



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Civil

**PLANIFICACIÓN DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA COMO GENERADORA
DE DESARROLLO EN LA REPÚBLICA DE GUATEMALA**

Felipe Eduardo Rodas Gómez
Asesorado por el Ing. Mario Rodolfo Corzo Ávila

Guatemala, septiembre de 2014

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**PLANIFICACIÓN DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA COMO GENERADORA
DE DESARROLLO EN LA REPÚBLICA DE GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

FELIPE EDUARDO RODAS GÓMEZ

ASESORADO POR EL ING. MARIO RODOLFO CORZO ÁVILA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, SEPTIEMBRE DE 2014

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Narda Lucía Pacay Barrientos
VOCAL V	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADORA	Inga. Carmen Marina Mérida Alva
EXAMINADOR	Ing. Luis Martinoly Godínez Orozco
EXAMINADOR	Ing. Marco Antonio García Díaz
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

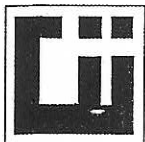
En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

PLANIFICACIÓN DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA COMO GENERADORA DE DESARROLLO EN LA REPÚBLICA DE GUATEMALA

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha 7 de mayo de 2013.



Felipe Eduardo Rodas Gómez



CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



Guatemala 30 de abril de 2014


Licenciado
Manuel María Guillén Salazar
Coordinador Área de Planeamiento
Escuela de Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala
Presente

Estimado Licenciado:

Cumpliendo con lo resuelto con la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, se procedió a la asesoría y revisión del trabajo de graduación: **PLANIFICACIÓN DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA COMO GENERADORA DE DESARROLLO EN LA REPÚBLICA DE GUATEMALA**, presentado por el estudiante: Felipe Eduardo Rodas Gómez.

Considero que el trabajo de graduación se ha desarrollado satisfactoriamente y cumple con los objetivos que motivaron la selección de dicho tema, por lo que hago de su conocimiento que apruebo el trabajo realizado. Sin otro particular, atentamente

Mario Rodolfo Corzo
INGENIERO CIVIL
Colegiado No. 2089


Mario Rodolfo Corzo Ayón
Ingeniero Civil Colegiado No. 2089





USAC
TRICENTENARIA
 Universidad de San Carlos de Guatemala

<http://civil.ingenieria.usac.edu.gt>

Universidad de San Carlos de Guatemala
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 Escuela de Ingeniería Civil



Guatemala,
 22 de abril de 2014

Ingeniero
 Hugo Leonel Montenegro Franco
 Director Escuela Ingeniería Civil
 Facultad de Ingeniería
 Universidad de San Carlos

Estimado Ingeniero Montenegro.

Le informo que he revisado el trabajo de graduación PLANIFICACIÓN DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA COMO GENERADORA DE DESARROLLO EN LA REPÚBLICA DE GUATEMALA, desarrollado por el estudiante de Ingeniería Civil Felipe Eduardo Rodas Gómez, quien contó con la asesoría del Ing. Mario Rodolfo Corzo Ávila.

Considero este trabajo bien desarrollado y representa un aporte para la comunidad del área y habiendo cumplido con los objetivos del referido trabajo doy mi aprobación al mismo solicitando darle el trámite respectivo.

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS

Lic. Manuel María Guillén Salazar
 Jefe del Departamento de Planeamiento

Manuel María Guillén Salazar
 ECONOMISTA
 Colegiado No. 4758



FACULTAD DE INGENIERIA
 DEPARTAMENTO
 DE
 PLANEAMIENTO
 USAC

/bbdeb.

Mas de 134 años de Trabajo Académico y Mejora Continua





USAC
TRICENTENARIA
 Universidad de San Carlos de Guatemala

<http://civil.ingenieria.usac.edu.gt>

Universidad de San Carlos de Guatemala
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 Escuela de Ingeniería Civil



El director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor Ing. Mario Rodolfo Corzo Ávila y del Jefe del Departamento de Planeamiento, Lic. Manuel María Guillén Salazar, al trabajo de graduación del estudiante Felipe Eduardo Rodas Gómez, titulado PLANIFICACIÓN DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA COMO GENERADORA DE DESARROLLO EN LA REPÚBLICA DE GUATEMALA, da por este medio su aprobación a dicho trabajo.

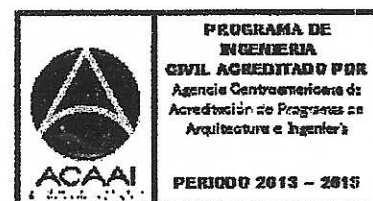

 Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco



Guatemala, septiembre 2014.

/bbdeb.

Mas de 134 años de Trabajo Académico y Mejora Continua



Universidad de San Carlos
de Guatemala



Facultad de Ingeniería
Decanato

DTG. 494.2014

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al Trabajo de Graduación titulado: **PLANIFICACIÓN DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA COMO GENERADORA DE DESARROLLO EN LA REPÚBLICA DE GUATEMALA**, presentado por el estudiante universitario **Felipe Eduardo Rodas Gómez**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
Decano

Guatemala, 22 de septiembre de 2014

/gdech



ACTO QUE DEDICO A:

Mi madre

María Camila Gómez, por ser mi mayor fuente de inspiración. A esa mujer, que a pesar de haber quedado sola, con miedos y problemas; jamás me abandonó, sino que asumió el rol de ser padre y madre en el hogar, demostrándome que en la vida no hay obstáculo imposible de superar cuando se confía plenamente en Dios.

Mis hermanos

Maritza, Mario, Tomás, Sara, Oswaldo y Adrián Rodas, por ser junto a mi madre, los seres que más amo en la vida, de quienes siempre he recibido una palabra de apoyo y cariño cuando me he sentido inundado por las dudas y problemas de la vida.

Mis sobrinos

Por su cariño incomparable, a quienes siempre he visto como mis hermanos menores debido a nuestra corta diferencia en edades, a quienes amo y respeto por lo que son y deseo con todo mi corazón que logren cumplir sus metas en la vida.

Mi abuela

Nolberta del Cid, por sus consejos inigualables que siempre estuvieron acompañados de amor y paciencia, los cuales jamás se apartarán de mi camino.

AGRADECIMIENTOS A:

- Dios** Por ser el único que me ha amado incondicionalmente en los buenos y malos momentos y quien me ha dotado con la sabiduría e inteligencia necesaria para cumplir mis metas.
- María Camila Gómez** De quien he aprendido que las cosas se pueden lograr cuando ponemos la mirada en Dios. Y quien me ha puesto el hombro en los momentos más difíciles.
- Mis hermanos** Por apoyarme a hacer realidad uno de mis mayores sueños y siempre brindarme su amor y apoyo incondicional.
- Ingeniero Mario Corzo** Por su apoyo brindado en la asesoría de este trabajo de graduación y haber contribuido en mi crecimiento como ser humano en el ámbito personal y profesional.
- Mis amigos: Astrid, Jorge y Humberto.** Por compartir conmigo sus vivencias, alegrías, tristezas, motivación, conocimiento y apoyo incondicional en los momentos difíciles.

La Universidad de San Carlos de Guatemala

Por darme la oportunidad de cursar mi carrera profesional en sus instalaciones.

Facultad de Ingeniería

Por abrirme las puertas del conocimiento y darme las herramientas necesarias para formarme como profesional.

Mis primos

Que han estado presentes en los contratiempos y apuros durante el desarrollo de mi carrera.

Ustedes

Que de una u otra manera han hecho posible que esta carrera sea culminada con éxito, a todos los que no puedo mencionar por nombre propio, pero se han hecho parte de mi vida durante este período de tiempo de estudio en la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	XI
LISTA DE SÍMBOLOS	XV
GLOSARIO	XVII
RESUMEN.....	XXIII
OBJETIVOS.....	XXV
INTRODUCCIÓN	XXVII
1. CONCEPTOS GENERALES.....	1
1.1. La cuenca hidrográfica	1
1.1.1. Definición.....	1
1.1.2. Tipos de cuencas.....	1
1.1.2.1. Cuenca endorreica	2
1.1.2.2. Cuenca exorreica.....	2
1.1.2.3. Cuenca arreica	3
1.1.3. Características de la cuenca hidrográfica.....	3
1.1.3.1. Red de drenaje	3
1.1.3.1.1. Orden de la red de drenaje	4
1.1.3.1.2. Densidad de drenaje	5
1.1.3.2. Escalas de trabajo en estudios hidrológicos.....	5
1.1.3.3. Características geomorfológicas.....	6
1.1.3.3.1. Área de la cuenca.....	6
1.1.3.3.2. Perímetro de la cuenca.....	7

1.1.3.3.3.	Altura máxima, mínima y desnivel	7
1.1.3.3.4.	Longitud del río principal.....	7
1.1.3.3.5.	Longitud de los ramales	8
1.1.3.3.6.	Altura y elevación promedio del relieve	8
1.1.3.3.7.	Índice de compacidad	8
1.1.3.3.8.	Curva hipsométrica	9
1.1.3.3.9.	Polígono de frecuencias de altitudes.....	10
1.1.3.3.10.	Rectángulo equivalente.....	10
1.1.3.3.11.	Factor de forma.....	11
1.1.3.3.12.	Tiempo de concentración.....	11
1.2.	Planificación	12
1.2.1.	Definición.....	12
1.2.2.	Principios de la planificación	13
1.2.2.1.	Autenticidad.....	13
1.2.2.2.	Universalidad.....	14
1.2.2.3.	De unidad y equilibrio	14
1.2.2.4.	Flexibilidad	14
1.2.2.5.	Racionalidad.....	15
1.2.2.6.	Previsión.....	15
1.2.2.7.	Continuidad	15
1.2.2.8.	Factibilidad	15

1.2.2.9.	Objetividad.....	15
1.2.2.10.	Cuantificación	16
1.2.2.11.	Precisión	16
1.2.2.12.	Inherencia	16
1.2.3.	Tipos de planificación	16
1.2.3.1.	Por su naturaleza.....	16
1.2.3.1.1.	Económico social.....	17
1.2.3.1.2.	Administrativa u operativa.....	17
1.2.3.1.3.	Físico territorial	17
1.2.3.1.4.	Cooperativa	17
1.2.3.2.	Por el grado de aplicación	17
1.2.3.2.1.	Planificación global.....	18
1.2.3.2.2.	Planificación sectorial ...	18
1.2.3.2.3.	Planificación económica estatal.....	18
1.2.3.2.4.	Planificación general	18
1.2.3.3.	Por la acción sujeta a planificación y al plazo de su realización	19
1.2.3.3.1.	Planificación indicativa	19
1.2.3.3.2.	Planificación compulsiva.....	19
1.2.3.3.3.	Planificación táctica y estratégica.....	19
1.2.3.4.	Por el sector económico, social y geográfico en donde se realiza.....	20
1.2.3.4.1.	De recursos naturales ..	20
1.2.3.4.2.	Demográfica	20

	1.2.3.4.3.	Sociocultural.....	21
	1.2.3.4.4.	Económico regional.....	21
1.2.4.		Proceso de la planificación estratégica	21
	1.2.4.1.	Definir la misión de la organización	21
	1.2.4.2.	Establecer objetivos	22
	1.2.4.3.	Analizar los recursos de una organización	22
	1.2.4.4.	Examinar el ambiente.....	22
	1.2.4.5.	Hacer predicciones.....	22
	1.2.4.6.	Analizar oportunidades y riesgos	23
	1.2.4.7.	Identificar y evaluar estrategias alternas.....	23
	1.2.4.8.	Seleccionar la estrategia	23
	1.2.4.9.	Instrumentar la estrategia.....	23
1.2.5.		Tipos de estrategia	24
	1.2.5.1.	Estabilidad.....	24
	1.2.5.2.	Crecimiento	24
	1.2.5.3.	Contracción	24
	1.2.5.4.	Combinación	25
1.2.6.		Técnica FODA.....	25
1.2.7.		Identificación y priorización de problemas.....	25
	1.2.7.1.	Causa de un problema	26
	1.2.7.2.	Efecto de un problema	26
	1.2.7.3.	Gráfica relación causa, problema, efecto.....	26
	1.2.7.4.	Priorización de un problema.....	26
	1.2.7.5.	Criterios de priorización.....	26
	1.2.7.6.	Identificar soluciones.....	27
	1.2.7.7.	Elegir el proyecto.....	27

1.3.	Características históricas, políticas, económicas y demográficas de la República de Guatemala	27
1.3.1.	Historia de Guatemala	28
1.3.2.	Breve relato de la historia económico-política de la República de Guatemala durante el siglo XX.....	29
1.3.2.1.	División política de la República de Guatemala	41
1.3.3.	Producto Interno Bruto.....	41
2.	CARACTERÍSTICAS HIDROLÓGICAS DE GUATEMALA	45
2.1.	Estaciones hidrometeorológicas	45
2.1.1.	Componentes de una estación meteorológica.....	48
2.1.1.1.	Terreno circundante.....	48
2.1.1.2.	Parcela meteorológica	48
2.1.1.3.	Abrigo meteorológico.....	48
2.1.1.4.	Instrumentación	49
2.1.2.	Componentes de una estación hidrométrica	50
2.2.	Curvas de duración de caudales	51
2.3.	Cuencas y ríos.....	53
2.4.	Características hidrográficas de las vertientes de Guatemala.....	54
2.4.1.1.	Vertiente del Pacífico.....	54
2.4.2.	Vertiente del Atlántico o mar Caribe	56
2.4.3.	Vertiente del golfo de México.....	58
2.5.	Precipitaciones	59
2.5.1.	Curvas de intensidad duración y frecuencia	60
3.	SITUACIÓN AMBIENTAL DE GUATEMALA.....	63
3.1.	Niveles de contaminación ambiental en Guatemala	64

3.1.1.	Contaminación del agua.....	65
3.1.1.1.	Fuentes definidas	66
3.1.1.1.1.	Fuentes puntuales.....	66
3.1.1.1.2.	Fuentes difusas.....	70
3.1.1.2.	Fuentes indefinidas	70
3.1.1.2.1.	Climáticos.....	70
3.1.1.2.2.	Otros	72
3.1.1.3.	Efectos de la contaminación hídrica	73
3.1.2.	Contaminación atmosférica	76
3.1.2.1.	Gases contaminantes de la atmósfera	77
3.1.2.1.1.	Monóxido de carbono....	77
3.1.2.1.2.	Partículas menores a 10 micras.....	77
3.1.2.1.3.	Dióxido de nitrógeno	78
3.1.2.1.4.	Dióxido de azufre	78
3.1.2.2.	El efecto invernadero	78
3.1.2.3.	Efectos de la contaminación atmosférica.....	81
3.1.3.	Contaminación del suelo	82
3.1.3.1.	Agentes contaminantes del suelo.....	83
3.1.3.1.1.	Pérdida de cobertura vegetal.....	84
3.1.3.1.2.	Insecticidas	84
3.1.3.1.3.	Herbicidas	85
3.1.3.2.	Consecuencias.....	85
3.2.	Cambio climático	86
3.2.1.	Efectos del cambio climático en Guatemala.....	88

4.	GESTIÓN INTEGRAL DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA.....	89
4.1.	Planificación de cuencas hidrográficas.....	89
4.1.1.	Planificación de recursos hídricos	90
4.1.2.	Planificación de propósito múltiple.....	91
4.1.3.	Planificación integrada de cuencas hidrográficas ...	91
4.1.4.	Potenciales usos del recurso hídrico	92
4.1.4.1.	Disponibilidad de recursos hídricos en Guatemala	94
4.2.	Niveles de planificación para cuencas hidrográficas	95
4.2.1.	Reconocimiento	96
4.2.2.	Prefactibilidad	96
4.2.3.	Factibilidad.....	97
4.2.4.	Diseño final	97
4.3.	El aspecto ambiental dentro de la planificación.....	97
4.4.	Costo/beneficio de las obras	100
4.5.	Obstáculos que pueden afectar la planificación de cuencas hidrográficas	100
5.	EVALUACIÓN INTEGRAL DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO CAHABÓN	103
5.1.	Características edafológicas de la cuenca del río Cahabón..	103
5.1.1.	Forma del terreno	103
5.1.2.	Pendiente.....	105
5.1.3.	Vegetación y uso de la tierra	107
5.1.4.	Clima	110
5.1.5.	Características del suelo	110
5.1.5.1.	Morfología del suelo	111
5.1.5.1.1.	Horizontes	111
5.1.5.1.2.	Color.....	113

	5.1.5.1.3.	Textura.....	113
	5.1.5.1.4.	Porosidad.....	113
	5.1.5.1.5.	Rasgos de origen biológico.....	113
	5.1.5.1.6.	Actividad humana.....	114
	5.1.5.1.7.	Origen o estructura	114
	5.1.5.1.8.	Consistencia o constitución	114
	5.1.5.1.9.	Rasgos edáficos.....	114
	5.1.5.1.10.	Cementación.....	115
	5.1.5.1.11.	Pedregosidad.....	115
	5.1.5.1.12.	Contenido de sales	115
	5.1.5.1.13.	Presencia de raíces	115
	5.1.5.2.	Composición del suelo	116
	5.1.5.2.1.	Fracción sólida	116
	5.1.5.2.2.	Fracción líquida.....	117
	5.1.5.2.3.	Fracción gaseosa.....	117
	5.1.5.2.4.	Propiedades fisicoquímicas.....	118
	5.1.5.3.	Clasificación taxonómica de suelos de la cuenca del río Cahabón.....	118
5.2.		Características hidrológicas de la cuenca del río Cahabón....	121
	5.2.1.	Determinación del caudal de escorrentía del río Cahabón mediante el método del balance hidrológico.....	123
	5.2.1.1.	Cálculo de la precipitación media a través del promedio aritmético	124
	5.2.1.2.	Cálculo de la precipitación media a través de los polígonos de Thiessen ..	125

5.2.1.3.	Determinación del caudal de escorrentía del río Cahabón por el método del balance hidrológico a partir de la precipitación media del promedio aritmético	127
5.2.1.4.	Determinación del caudal de escorrentía del río Cahabón por el método del balance hidrológico a partir de la precipitación media de los polígonos de Thiessen	128
5.2.2.	Determinación del caudal de escorrentía del río Cahabón mediante el método racional	129
5.3.	Características económicas y demográficas de las comunidades en desarrollo dentro de la cuenca del río Cahabón.....	133
5.3.1.	Principales vías de acceso a la cuenca del río Cahabón	137
5.4.	Planificación de la cuenca hidrográfica del río Cahabón	138
5.4.1.	Distribución del recurso hídrico en la cuenca alta y baja del río Cahabón.....	141
5.4.2.	Planes para la conservación de la parte alta y baja de la cuenca del río Cahabón	142
5.5.	Perspectiva de la ingeniería civil en el manejo integral de cuencas	145
CONCLUSIONES		147
RECOMENDACIONES		151
BIBLIOGRAFÍA.....		153

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Red de drenaje según Horton – Strahler.....	4
2.	División política de la República de Guatemala	41
3.	Producto Interno Bruto Guatemala 1999 – 2011	43
4.	Estaciones meteorológicas de Guatemala.....	46
5.	Estaciones hidrométricas de Guatemala.....	47
6.	Curva de duración de caudales.....	52
7.	Vertientes hidrográficas de la República de Guatemala.....	53
8.	Cuencas hidrográficas de la vertiente del Pacífico.....	55
9.	Cuencas hidrográficas de la vertiente del Atlántico.....	57
10.	Cuencas hidrográficas de la vertiente del golfo de México	58
11.	Medios que contaminan el sistema ambiental.....	63
12.	Forma de contaminación del agua	65
13.	Generación de aguas residuales por vertiente	67
14.	Generación de aguas residuales por actividad	69
15.	Circulación global de vientos.....	71
16.	Registro de denuncias por contaminación del aire.....	82
17.	Dinámica de cobertura vegetal de Guatemala	85
18.	Ubicación de la cuenca del río Cahabón.....	104
19.	Fragmento de la cuenca del río Cahabón de oeste a este.....	105
20.	Perfil del río Cahabón.....	106
21.	Fragmento de la cuenca del río Cahabón de norte a sur a inmediaciones de Cobán, Alta Verapaz	106
22.	Mapa de cobertura vegetal y uso de la tierra, cuenca río Cahabón ...	108

23.	Horizontes característicos de un suelo	112
24.	Clasificación taxonómica de suelos en la cuenca del río Cahabón	119
25.	Polígonos de Thiessen para la cuenca del río Cahabón.....	125
26.	Familia de curvas de intensidad, duración y frecuencia para la estación Cobán.....	132
27.	Municipios que conforman el territorio de la cuenca del río Cahabón.	134
28.	Carreteras dentro de la cuenca del río Cahabón	137
29.	Cuenca alta y baja del río Cahabón.....	139

TABLAS

I.	Escalas de trabajo para distintas áreas de cuencas	6
II.	Cuencas hidrográficas de la vertiente del Pacífico	56
III.	Cuencas hidrográficas de la vertiente del Atlántico	57
IV.	Cuencas hidrográficas de la vertiente del golfo de México	59
V.	Aguas residuales por vertiente hidrográfica de Guatemala distribuidas por unidad de área en km ²	68
VI.	Ríos no aptos para el consumo humano hasta el 2005	74
VII.	Cuerpos de agua desaparecidos en Guatemala entre 1990 y 2005...	75
VIII.	Emisiones de gases del efecto invernadero	80
IX.	Caudales medios anuales por cuenca por vertiente	95
X.	Vegetación y uso de la tierra en la cuenca del río Cahabón.....	109
XI.	Precipitación anual registrada en estaciones de la cuenca del río Cahabón	123
XII.	Áreas tributarias y precipitaciones para las estaciones en estudio de la cuenca del río Cahabón según polígonos de Thiessen	126
XIII.	Valores indicativos del coeficiente de escorrentía C.....	130
XIV.	Datos para la elaboración de curvas de intensidad, duración y frecuencia de la estación Cobán.....	131

XV.	Actividades económicas y demográficas de las comunidades en desarrollo dentro de los límites de la cuenca del río Cahabón.....	135
XVI.	Municipios que conforman cada subcuenca	140
XVII.	Distribución de caudales de acuerdo a la actividad económica desarrollada en cada subcuenca del río Cahabón	142

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
R	Agua subterránea
msnm	Altura en metros sobre el nivel del mar
A	Área de la cuenca
Qm	Caudal medio de escorrentía
C	Coefficiente de infiltración
D	Déficit de flujo
Dd	Densidad de drenaje
H	Desnivel del cauce principal de la cuenca
t	Duración de la tormenta en minutos
Q	Escorrentía
Ff	Factor de forma
Ha	Hectárea
Ic	Índice de compacidad
i	Intensidad de lluvia en milímetros por hora
Km	Kilómetro
Km²	Kilómetro cuadrado
L	Lado mayor del rectángulo equivalente
I	Lado menor del rectángulo equivalente
Lc	Longitud de un ramal
Lm	Longitud del cauce principal
m	Metro
m²	Metro cuadrado
m³	Metro cúbico

mm	Milímetro
B	Parámetro de ajuste para la elaboración de curvas de intensidad, duración y frecuencia, obtenido mediante regresión no lineal
n	Parámetro de ajuste para la elaboración de curvas de intensidad, duración y frecuencia, obtenido mediante regresión no lineal
Z	Parámetro de ajuste para la elaboración de curvas de intensidad, duración y frecuencia, obtenido mediante regresión no lineal
P	Perímetro de la cuenca
Tr	Período de retorno en años o probabilidad de ocurrencia de tormenta
Pr	Precipitación
mm/año	Precipitación en milímetros por año
Pm	Precipitación media
PIB	Producto Interno Bruto
PNB	Producto Nacional Bruto
π	Símbolo griego utilizado en matemática = 3,1416
Tc	Tiempo de concentración de una cuenca
s	Tiempo en segundos

GLOSARIO

Afluente	Arrollo o río secundario que desemboca o desagua en otro de mayor orden.
Alfisol	Tipo de suelo de acuerdo a la clasificación taxonómica de suelos, cuya principal característica es mantener reservas notables de minerales primarios y arcillas.
Andisol	Tipo de suelo de acuerdo a la clasificación taxonómica de suelos, cuya principal característica es agrupar suelos de origen volcánico de color oscuro.
Cauce	Conducto descubierto o acequia por donde corren las aguas para riegos u otros.
CIV	Ministerio de Comunicaciones, Infraestructura y Vivienda.
COGUANOR	Comisión Guatemalteca de Normas.
Crisis	Situación dificultosa o complicada que surge de la escasez o carestía.

Desarrollo	Evolución progresiva de una economía hacia mejores niveles de vida.
Devaluación	Disminución del valor o del precio de una moneda o de otra cosa.
Embalse	Depósito que se forma artificialmente, por lo común cerrando la boca de un valle mediante un dique o presa, y en el que se almacenan las aguas de un río o arrollo, a fin de utilizarlas en el riego de terrenos, en el abastecimiento de poblaciones, en la producción de energía eléctrica, etc.
Entisol	Tipo de suelo de acuerdo a la clasificación taxonómica de suelos, cuya principal característica es que no presenta horizontes diagnósticos, por lo tanto no tiene un desarrollo definido de perfiles.
Erosión	Desgaste de la superficie terrestre por agentes externos, como el agua o el viento.
Estabilidad	Ausencia de cambios y constancia en un período determinado.
Evaporación	Paso del estado líquido al estado de vapor de una sustancia, a temperatura de la ebullición.
Geomorfología	Estudio de las características propias de la corteza terrestre.

Golfo	Gran porción de mar que se interna en la tierra entre dos cabos.
Guatecompras	Sistema de Adquisiciones y Contrataciones del Estado de Guatemala.
Hiperinflación	Proceso de inflación acelerada, producido cuando un aumento de precios provoca una inmediata subida de salarios, la cual, a su vez, incide nuevamente en los precios.
INAB	Instituto Nacional de Bosques.
Inceptisol	Tipo de suelo de acuerdo a la clasificación taxonómica de suelos, cuya principal característica es que se forman rápidamente a través de la alteración del material de matriz.
INDE	Instituto Nacional de Electrificación.
INE	Instituto Nacional de Estadística.
INSIVUMEH	Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología.
IRCA	International Railways of Central America.

Isoyeta	Curva para la representación cartográfica de los puntos de la tierra con el mismo índice de pluviosidad media anual.
MAGA	Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación.
Manto freático	Manto de agua subterránea que se localiza entre dos capas de materiales térreos, relativamente impermeables.
MARN	Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales.
Meteorología	Ciencia dependiente de la física que estudia los fenómenos atmosféricos o meteoros.
Organización	Asociación de personas regulada por un conjunto de normas en función de determinados fines.
Permeable	Que puede ser penetrado o traspasado por el agua u otro fluido.
PIB	Producto Interno Bruto de una nación.
PNB	Producto Nacional Bruto de una nación.
Ramal	Parte que arranca de algo principal y se bifurca, como una cordillera, un río o una vía de comunicación.

Soil Taxonomy	Sistema de clasificación de suelos del Ministerio de Agricultura de los Estados Unidos de Norteamérica.
UFCO	United Fruit Company.
Ultisol	Tipo de suelo de acuerdo a la clasificación taxonómica de suelos, cuya principal característica es que poseen poca materia orgánica, bajo ph y poca fertilidad.

RESUMEN

Guatemala, su crecimiento poblacional es tal que, para el 2020 se espera que alcance la cifra de 18 055 025 habitantes; así como su población crece, también aumenta la demanda sobre los recursos naturales, es por ello que los planes de manejo de recursos deben de tomarse en consideración para prevenir el padecimiento de los mismos con el paso del tiempo.

Realizar una planificación sobre recursos naturales por municipio o departamento es complicado; es allí donde este trabajo de graduación surge, debido a la necesidad de determinar la cantidad de recursos disponibles para un área y buscar la mejor manera de distribuirlos de modo que sea equitativo sin alterar las condiciones ambientales de la región, tomando como referencia a la cuenca hidrográfica superficial.

El trabajo en sí tiene su base principal en considerar a la cuenca hidrográfica superficial como unidad territorial de planificación, investigando la cantidad de recurso hídrico que esta pueda tener y distribuirlo así dentro de sus pobladores de acuerdo a sus necesidades.

Este trabajo propone gestionar a la cuenca hidrográfica en el ámbito económico, social, demográfico, hidrológico y edafológico de modo que los recursos de la cuenca sean distribuidos equitativamente sustentados por los conceptos propuestos por la ingeniería civil.

OBJETIVOS

General

Considerar a la cuenca del río Cahabón como bien social y económico para las comunidades de Alta Verapaz, en donde el uso del agua debe ser planificado para que la disponibilidad y calidad de esta sea determinado por la naturaleza de su uso, desde la visión de la ingeniería.

Específicos

1. Que el río Cahabón sea fuente de desarrollo sustentable y sostenible para el beneficio y desarrollo socioeconómico de las comunidades de Alta Verapaz que se encuentran dentro de sus límites.
2. Proporcionar información de la cuenca hidrográfica del río Cahabón en el ámbito socioeconómico.
3. Caracterizar el comportamiento del recurso hídrico disponible.
4. Concientizar acerca de cómo la situación ambiental del país incide negativamente en las condiciones de las cuencas.
5. Concientizar a la ciudadanía en cuanto al uso racional de los recursos.

INTRODUCCIÓN

Uno de los principales propósitos de la ingeniería civil es contribuir al desarrollo y mejora en las condiciones de vida de los ciudadanos de una región a través de la planificación construcción y mantenimiento de obras de infraestructura.

En Guatemala, al desarrollar los planes de construcción de una obra de infraestructura, se cae en el recuento de que el territorio (establecido como la unidad territorial de planificación) no reúne condiciones hidrológicas y edafológicas coherentes entre sí, esto se debe a que la unidad territorial de planificación está siendo tomada como un área que usa los límites políticos establecidos históricamente en la delimitación del país, tales como: municipios y/o departamentos para su desarrollo, los cuales han sido establecidos no con base al tipo o ubicación geográfica del terreno sino mas bien, con base a la tenencia política de la tierra.

Considerar a la cuenca hidrográfica como base para la planificación territorial, resulta importante de considerar en Guatemala, debido a que los ecosistemas desarrollados dentro de los límites de una cuenca reúnen características físicas y ambientales relativamente coherentes entre sí. Por lo tanto resulta práctico llevar a cabo planes de desarrollo dentro de las inmediaciones de una cuenca hidrográfica en donde se tiene conocimiento de los recursos disponibles y de acuerdo a ellos planificar cual deberá de ser su correcta utilización.

Este trabajo propone considerar a la cuenca hidrográfica superficial como base para la planificación territorial, gestionando principalmente el recurso hídrico superficial disponible en la cuenca y distribuyéndolo de acuerdo a las necesidades de la población para impulsar el desarrollo, de manera equitativa.

En el capítulo uno de este trabajo se exponen los principales conceptos que posteriormente serán utilizados para su desarrollo, relativos a los tipos cuenca y sus principales características de estudio, conceptos de planificación y una breve historia económica y política de la República de Guatemala durante el siglo XX que termina con el producto interno bruto del país.

En el segundo capítulo se presentan las principales características hidrológicas de Guatemala, centrándose en las cuencas hidrográficas concernientes a la República de Guatemala y su ubicación dentro de las tres grandes vertientes del país.

Posteriormente, en el tercer capítulo se muestra cómo el ambiente es contaminado a través del medio que lo constituye, mostrando datos interesantes relativos al estado actual de la contaminación ambiental en el país, centrándose en la contaminación del agua, aire y suelo y en el principal medio que contamina a cada uno de estos tres constituyentes del sistema abiótico. Datos concernientes a la pérdida de cobertura vegetal, cuerpos de agua que han desaparecido en Guatemala y emanación de gases del efecto invernadero son también parte de este capítulo.

La gestión integral de la cuenca hidrográfica aparece como título principal del cuarto capítulo de este trabajo, en donde se explica con grado de detalle el beneficio que tiene el considerar a una cuenca hidrográfica superficial como base para la planificación territorial –centrándose principalmente en el recurso

hídrico—, incluyendo al ambiente dentro de los planes de manejo de cuencas a manera de reducir los riesgos de contaminación ambiental que aquejan al país.

Por último, en el quinto capítulo, sustentado en los capítulos anteriores, se desarrolla un ejemplo de gestión integral de cuencas, tomando como ejemplo a la cuenca hidrográfica del río Cahabón, gestionándola a través de sus características edafológicas, hidrológicas, económicas y demográficas, proponiendo planes para la conservación de la cuenca y generando las perspectivas de la ingeniería civil en cuanto al manejo de cuencas a partir de lo estudiado en el capítulo. Asimismo, se muestran datos importantes relativos a los recursos de la cuenca, demostrando que no solo el recurso hídrico puede impulsar el desarrollo de la región, sino también el recurso edáfico, lo cual dependerá de las actividades económicas de la región.

1. CONCEPTOS GENERALES

1.1. La cuenca hidrográfica

Las cuencas hidrográficas son espacios geográficos cuyos límites inician en las partes altas de las montañas, conocidas como parte agua y terminan en donde el agua producto de las precipitaciones escurre por el cauce principal hasta desembocar en el cuerpo receptor, o en un caso muy particular, al pasar la estación de aforo o punto en estudio.

1.1.1. Definición

Se le llama así al territorio que aporta agua al río o ríos contenidos en él. Es un área natural sobre la superficie terrestre en donde el agua precipitada dentro, es recolectada formando un curso mediante sus afluentes hasta que desemboca en el cuerpo receptor.

Las cuencas hidrográficas tienen la característica principal de ser utilizadas para la planificación territorial, es decir, para la determinación de la cantidad de recurso hídrico disponible que puede ser utilizado para impulsar el desarrollo agrícola, industrial y socioeconómico de la región, desde el punto de vista de la ingeniería.

1.1.2. Tipos de cuencas

Las cuencas hidrográficas se clasifican de acuerdo a su forma de drenaje, en tres principales tipos que son: endorreica, exorreica y arreica.

1.1.2.1. Cuenca endorreica

Es un tipo de cuenca cuya característica principal es que no posee desagüe natural hacia el mar, esto significa que toda precipitación que se produzca dentro de ella, será conducida hacia el lago principal en donde permanecerá y se drenará únicamente mediante infiltración y evaporación.

Estas cuencas sin drenaje fluvial hacia el mar se deben al tipo de relieve del terreno, y generalmente deben poseer un tipo de suelo lo suficientemente permeable para permitir la infiltración, aunque usualmente sus tasas de desalojo más altas se deben a la evaporación. En Guatemala, la única cuenca conocida como endorreica es la perteneciente al lago de Atitlán, en el departamento de Sololá.

1.1.2.2. Cuenca exorreica

Es un tipo de cuenca cuya característica principal es que desemboca en el mar o en el océano mediante de su cauce principal. Todos los ríos de orden inferior se unen al cauce principal aportando la precipitación recolectada para ser conducida hacia el mar.

Es el tipo de cuenca que predomina en la República de Guatemala, debido a que al ser un país estrecho con la cercanía de dos de los más grandes océanos del mundo (Pacífico y Atlántico), su drenaje es práctico y sin limitaciones. En Guatemala, las cuencas exorreicas usualmente son conocidas con el nombre de su cauce principal.

1.1.2.3. Cuenca arreica

Es un tipo de cuenca en donde la precipitación recolectada jamás desemboca en ningún arrollo, río, lago u océano. Generalmente se ubican en zonas en donde la temperatura es elevada y por consiguiente, el agua tiende a ser evaporada antes de poder llegar a un cauce mayor. También se estiman cuencas de este tipo con altas infiltraciones, lo que conlleva a la desaparición del flujo superficial.

1.1.3. Características de la cuenca hidrográfica

Las características de una cuenca hidrográfica son importantes; ya que brindan una idea generalizada de la respuesta que una cuenca pueda tener ante avenidas provocadas por eventos hidrometeorológicos, aún así no estando físicamente en el lugar de estudio, las principales características de una cuenca hidrográfica son las siguientes:

1.1.3.1. Red de drenaje

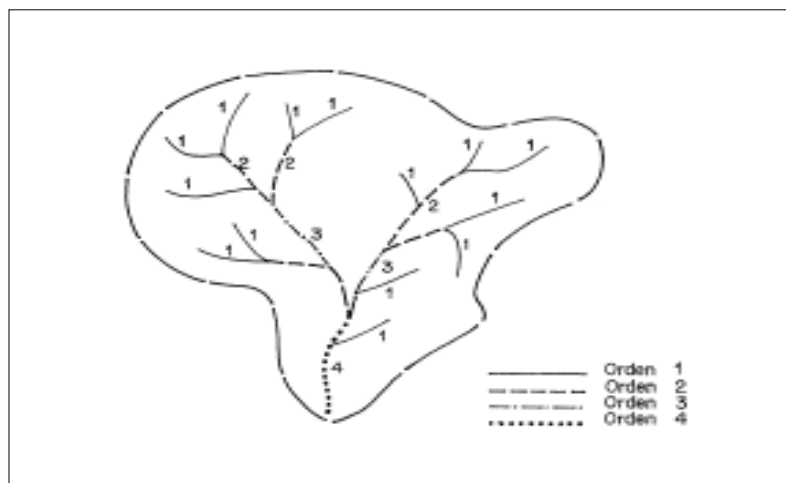
Se llama así al conjunto de cauces encargados de recolectar toda precipitación producida dentro de la cuenca y conducirla hacia un punto bajo de la misma, generalmente el punto en estudio. Cuando una cuenca posee una buena red de drenaje, mayor será su flujo superficial, aunque también dependerá de su capacidad de infiltración relacionada con aspectos geológicos.

1.1.3.1.1. Orden de la red de drenaje

El número de orden es el que refleja el grado de la ramificación dentro de una red. Puede determinarse de acuerdo a criterios expuestos por distintos autores, el más conocido es el expuesto por Horton – Strahler, que indica que se le debe atribuir el número de orden a los ramales de la siguiente manera:

- Corrientes de primer orden: a los canales que no tienen tributarios.
- Corrientes de segundo orden: cuando dos corrientes de primer orden se unen.
- Corriente de tercer orden: cuando dos corrientes de segundo orden se unen.
- Corriente de orden $n + 1$: cuando dos corrientes de orden n se unen.

Figura 1. Red de drenaje según Horton – Strahler



Fuente: FATTORELLI, Sergio; FERNÁNDEZ, Pedro. *Diseño hidrológico*. p. 256.

1.1.3.1.2. Densidad de drenaje

Es la relación que existe entre la sumatoria de la longitud proyectada en horizontal de los cauces y el área de la cuenca. Este parámetro es utilizado para el estudio de la rapidez o capacidad de evacuación que tiene una cuenca, una mayor densidad de drenaje indica que esta posee una buena cantidad de afluentes y, por lo tanto toda gota que se precipite dentro de ella, llegará más rápido al punto en estudio. La densidad de drenaje se calcula mediante la siguiente expresión:

$$D_d = \frac{L_c}{A}$$

Generalmente, la densidad de drenaje toma valores entre 0,5 kilómetros por kilómetro cuadrado si la cuenca es de drenaje pobre y hasta 3,5 kilómetros por kilómetro cuadrado si es una cuenca bien drenada.

1.1.3.2. Escalas de trabajo en estudios hidrológicos

Para poder realizar estudios y determinar parámetros geomorfológicos de una cuenca se requiere de información proveniente del Instituto Geográfico Nacional (IGN), el cual brinda hojas cartográficas que usualmente se encuentran a escala 1:50 000. La escala de mapa a utilizar para la determinación de ciertos parámetros dependerá del área de la cuenca a estudiar, con esto se obtendrán resultados más exactos; los tamaños de escala varían desde 1:25 000 hasta 1:100 000 y estas dependerán del grado de detalle que se necesite, para tener una idea generalizada de las escalas de trabajo a utilizar se presenta la tabla I.

Tabla I. **Escalas de trabajo para distintas áreas de cuencas**

Área de la cuenca	Escala
Menor de 100 km ²	1:25 000 a 1:50 000
100 – 1000 km ²	1:50 000 a 1:100 000
1000 – 10000 km ²	1:100 000 a 1:250 000
Mayor de 10000 km ²	1:250 000 a 1:500 000
Áreas mayores	1:500 000 a 1:1 000 000

Fuente: elaboración propia, con base a FATTORELLI, Sergio; FERNÁNDEZ, Pedro. *Diseño hidrológico*. p. 258.

1.1.3.3. Características geomorfológicas

En las ciencias de la Tierra se ha determinado que la geomorfología está ligada a los procesos geológicos y a la distribución y manejo del agua sobre la superficie terrestre.

Las características físicas de una cuenca hidrográfica son importantes, debido a que forman un conjunto que influye de manera directa en la determinación de parámetros hidrológicos de cada zona, desde el inicio de las acciones hidrológicas hasta las respuestas que la cuenca presenta ante estas.

1.1.3.3.1. Área de la cuenca

Tiende a expresarse en unidades de kilómetros cuadrados, está definida por su contorno, el cual inicia en los parte aguas en las montañas más altas y finaliza en la estación de aforo o la desembocadura. Es probablemente el parámetro más importante de las características geomorfológicas de una cuenca y se debe considerar como el área proyectada en horizontal de todos los cauces de drenaje de escorrentía.

Para determinar el área de la cuenca es necesario realizar la limitación de la misma, la cual debe considerar aspectos importantes como:

- Cortar las curvas de nivel en la parte cóncava
- Seguir hacia las partes altas de las cumbres
- No cortar ninguno de los cauces

1.1.3.3.2. Perímetro de la cuenca

Se refiere a la longitud de la línea de divorcio de la cuenca, es un parámetro importante que en conjunto con el área, brinda una idea de la forma de la cuenca. Para llevar a cabo la medición en el caso de que la divisoria siga una línea sinuosa –quebrada–, se puede seguir un criterio que no altere los resultados.

1.1.3.3.3. Altura máxima, mínima y desnivel

La altura máxima, conjuntamente con la altitud media, es un parámetro que se utiliza para saber la altura máxima a la que deberá elevarse una masa de aire para pasar sobre la cuenca. La altura máxima se determina como la cota del cerro de mayor altura localizado dentro o en el contorno de la cuenca, y la altura mínima corresponde al valor de cota del cauce principal. El desnivel no es más que la diferencia entre la altura máxima y mínima.

1.1.3.3.4. Longitud del río principal

Es la longitud proyectada en horizontal del cauce principal de la cuenca, desde el análisis e interpretación del estudio aguas arriba hasta el punto base

en estudio. Este parámetro y la sumatoria de los demás afluentes secundarios, es utilizado para la determinación de la densidad de drenaje de la cuenca.

1.1.3.3.5. Longitud de los ramales

Al igual que en la longitud del cauce principal, este parámetro se refiere a la longitud de los afluentes de orden inferior de la cuenca por separado. La sumatoria de la longitud de los afluentes utilizada para la determinación de la densidad de drenaje de la cuenca.

1.1.3.3.6. Altura y elevación promedio del relieve

Es la medida de la altura de la cuenca con relación al nivel del mar, es un parámetro de carácter importante de estudio en una zona montañosa, puesto que puede brindar una idea general de la climatología de la región y, por consiguiente, una idea de la cantidad de precipitación producida, sabiendo que las precipitaciones más grandes, generalmente se producen en las partes más altas sobre el nivel del mar.

1.1.3.3.7. Índice de compacidad

Se denomina también: coeficiente de compacidad o de Graveliús y está definido por la relación entre el perímetro de la cuenca y el perímetro de un círculo de área equivalente.

$$I_c = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}}$$

Mientras más cercano sea a la unidad el índice de compacidad, la forma de la cuenca será más próxima a la circular y, por consiguiente, mientras más lejano sea de la unidad, mayor será su irregularidad.

1.1.3.3.8. Curva hipsométrica

Es la curva que representa el área drenada en función de la altura de la cuenca. Se construye localizando el área de drenaje en el eje de las abscisas y la altura de la cuenca en las ordenadas, ya sea en valor o porcentaje. Es una manera de determinar las propiedades altimétricas de la cuenca en un plano y su elevación.

Construir una curva hipsométrica es de carácter importante en el estudio hidrológico y meteorológico de una cuenca, debido a que aspectos importantes como las precipitaciones, la temperatura y los caudales específicos se determinan en función de la altura de la cuenca. Los parámetros más importantes que se pueden determinar a partir de la curva hipsométrica son:

- Altura media

Es la ordenada media de la curva hipsométrica. En cuencas de zonas montañosas juega un papel importante con respecto a la precipitación, ya que la precipitación es el resultado del ascenso y enfriamiento de masas de aire. En resumen, la altura media es un indicador general de la cantidad de precipitación.

- Altura más frecuente

Es la altitud para la cual el valor porcentual es el máximo de la curva de frecuencia de altitudes.

- Altitud de frecuencia media

Es la altitud que corresponde a la abscisa media del polígono de la curva hipsométrica, es decir la altura al 50 por ciento del área.

1.1.3.3.9. Polígono de frecuencias de altitudes

Brinda las mismas características de la curva hipsométrica, con la única diferencia de que se construye en forma de histograma de frecuencias, con lo que se pueden obtener otros parámetros de carácter probabilístico.

1.1.3.3.10. Rectángulo equivalente

Es un rectángulo supuesto que debería tener un comportamiento hidrológico similar al de la cuenca, para construirlo hace uso de factores como el área y perímetro de la cuenca; sus curvas de nivel resultan paralelas al lado menor.

El rectángulo equivalente deberá tener igual área, perímetro e índice de compacidad al de la cuenca en estudio, y los lados de este se determinan con las siguientes expresiones:

$$L = \frac{I_c \cdot \sqrt{A}}{1.12} \left[1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{I_c} \right)^2} \right]$$

$$I = \frac{I_c \cdot \sqrt{A}}{1.12} \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{I_c} \right)^2} \right]$$

1.1.3.3.11. Factor de forma

Es un índice adimensional que relaciona el área de la cuenca con la longitud de su cauce principal al cuadrado, el cauce principal, generalmente suele ser el de mayor largo de la cuenca. Este factor se calcula con la siguiente expresión:

$$F_f = \frac{A}{L_m^2}$$

1.1.3.3.12. Tiempo de concentración

Se define como el tiempo que tarde una partícula que se precipita en el punto más alto de la cuenca en llegar a la estación de aforo o punto en estudio. Es un parámetro utilizado en los estudios de precipitación - escorrentía. Existen varias fórmulas utilizadas para la determinación de este parámetro, pero en Guatemala, la fórmula utilizada es la de Kirpich.

$$T_c = \left(\frac{3L_m^{1.15}}{154H^{0.38}} \right)$$

1.2. Planificación

La planificación juega un papel importante dentro de toda organización y/o proyecto que esté por dar inicio, es una herramienta que se utiliza con el fin de prever situaciones tanto favorables como desfavorables que puedan contribuir o afectar al buen desarrollo de los planes fijados.

1.2.1. Definición

Es un proceso básico utilizado con el propósito de conocer y determinar los objetivos de un proyecto; es la base teórica de toda acción y la forma clara para determinar cuándo, cómo, dónde y por qué se deben hacer las cosas.

“La planificación debe llevarse a cabo para determinar aspectos importantes como”¹:

- Prevé situaciones futuras contrarrestando la incertidumbre
- Fija su atención en los objetivos y los jerarquiza
- Ayuda a reducir costos y mejora la productividad
- Sirve de base para el control, optimizando recursos y aprovecha tiempos.

Determinar características como:

- Se rige como un puente entre el punto de donde se parte y hacia dónde se va.
- Implica actividades futuras y proporciona un orden adecuado para lograr los objetivos.

¹GUILLEN SALAZAR, Manuel María. *Curso de planeamiento Facultad de Ingeniería*, Universidad de San Carlos de Guatemala. p. 9 – 20.

- Constituye un fundamento para la administración.
- Dirigir al personal de manera eficaz.

Alcanzar ventajas como:

- Obtener, destinar y aprovechar los recursos
- Trabajar simultáneamente actividades que sean compatibles
- Seguir un orden de procesos
- Reducir el trabajo improductivo
- Seguridad al momento de ejecutar el trabajo

1.2.2. Principios de la planificación

La planificación utiliza su base teórica, extendiéndose a la acción, aplicando la razón y el entendimiento en la toma de decisiones y en la emisión de juicios. Se fundamenta en los siguientes principios.

1.2.2.1. Autenticidad

Todo plan debe ser autorizado para la selección adecuada de recursos, valoración de resultados. Se debe cumplir lo siguiente:

- Parte de un estudio objetivo de la realidad.
- Apreciación exacta de los medios que se necesitan y con los que cuentan.
- Consideración de los problemas con los que deberá afrontarse.

1.2.2.2. Universalidad

Debe abarcar todos los factores de la administración y prever sus posibles consecuencias, por lo que es necesario:

- Determinar prioridades
- Tiempo de ejecución
- Recursos indispensables
- Situación a experimentar e imprevistos para determinar la acción

1.2.2.3. De unidad y equilibrio

Comprende la integración de todas las partes necesarias de un plan, para formalizar su coordinación y eficacia, la aplicación de este principio encuentra los siguientes obstáculos:

- Tendencia a la dispersión administrativa.
- Falta de coordinación dentro de las unidades de una organización.
- Desconocimiento y/o desinterés de los objetivos empresariales o institucionales, ambiente interno y externo.

1.2.2.4. Flexibilidad

Capacidad de proseguir los obstáculos pese a cambios ambientales y las circunstancias e incertidumbres en el tiempo. Es conveniente un margen de holgura.

1.2.2.5. Racionalidad

Para toda acción deben seleccionarse alternativas en forma inteligente determinando ventajas y limitaciones a través de conocimientos científicos y del conocimiento sistemático para mayor aprovechamiento de los recursos.

1.2.2.6. Previsión

Análisis y diagnóstico de la situación actual, así como la proyección de tendencias observadas, en límite de tiempo, clase de actividades y recursos disponibles, posibilidades de control de objetivos perseguidos.

1.2.2.7. Continuidad

Programa secuencial de actividades, obtener el máximo aprovechamiento de los recursos, para que la organización subsista.

1.2.2.8. Factibilidad

Lo que se planifica debe ser posible realizarlo.

1.2.2.9. Objetividad

La planificación debe descansar en hechos reales más que en opiniones subjetivas, por ejemplo: estadísticas, censos, encuestas, entre otros.

1.2.2.10. Cuantificación

La planificación será más técnica en cuanto más pueda ser cuantificada.
Ejemplo: tiempos, normas, estándares, volúmenes, etc.

1.2.2.11. Precisión

La planificación debe ser sobre bases exactas y concretas.

1.2.2.12. Inherencia

La planificación está ligada e inseparable de la administración, siendo necesaria su utilización para fijar propósitos y objetivos y el uso eficiente de los recursos tanto en el sector público como en el sector privado.

1.2.3. Tipos de planificación

La planificación se divide en distintos niveles de acuerdo a su naturaleza, grado de aplicación, acción sujeta a la planificación, plazo de su realización y por el sector económico, social y demográfico en donde se realiza.

1.2.3.1. Por su naturaleza

La planificación se subdivide por su naturaleza en cuatro niveles: económico social, administrativa u operativa, físico territorial y cooperativa, los cuales se describen a continuación:

1.2.3.1.1. Económico social

Es efectuada por el Gobierno de un país, su objetivo principal es orientar la producción para que satisfaga adecuadamente las necesidades sociales. Se le conoce como planificación objetiva.

1.2.3.1.2. Administrativa u operativa

Se le conoce como planificación ejecutiva, canaliza todos sus esfuerzos a solucionar problemas administrativos.

1.2.3.1.3. Físico territorial

Proceso de adopción de programas y normas para el desarrollo de recursos naturales, así como para el crecimiento de ciudades, comprende tres niveles: urbano, regional y nacional.

1.2.3.1.4. Cooperativa

Es la orientación y coordinación de actividades de una comunidad a través de un programa que involucre los recursos y necesidades de la comunidad.

1.2.3.2. Por el grado de aplicación

La planificación se subdivide por su grado de aplicación en cuatro niveles: global, sectorial, económica estatal y general; estos se describen a continuación:

1.2.3.2.1. Planificación global

Comprende el análisis y la fijación de metas para toda la economía, valiéndose de indicadores de medición de carácter macroeconómico como: impuestos, presupuestos, el nivel de ingresos per cápita, tasa de consumo, PNB, PIB, etc.

1.2.3.2.2. Planificación sectorial

Comprende el análisis de la economía de un país, para su estudio se divide en tres sectores: primario, secundario y terciario. El sector primario es una actividad vinculada a la explotación de recursos naturales, el sector secundario son las actividades transformadoras y el terciario comprende el comercio y los servicios.

1.2.3.2.3. Planificación económica estatal

Implica la formulación de programas dirigidos en el alcance de objetivos y metas, para mejorar la eficiencia del sector público con el fin de prestar un mejor servicio a la sociedad.

1.2.3.2.4. Planificación general

Proceso de racionalización y abarca el total de la economía, comprende la planificación interrelacionada del conjunto de sectores económicos, agricultura, industria y servicios.

1.2.3.3. Por la acción sujeta a planificación y al plazo de su realización

La planificación se subdivide por la acción sujeta a planificación y al plazo de su realización en tres grados que son: indicativa, compulsiva y táctica y estratégica.

1.2.3.3.1. Planificación indicativa

Define orientaciones a largo plazo, que permite relacionar las inversiones públicas y privadas, así como lograr mayor coordinación en el corto plazo para evitar desequilibrio en el sistema económico. Proporciona a la iniciativa privada mayor información sobre las tendencias y expectativas que presentan las diversas ramas de la actividad económica donde se pueda invertir.

1.2.3.3.2. Planificación compulsiva

Propia de una economía socialista, consiste en todas aquellas medidas que impone el Estado, con el fin de influir sobre los elementos constitutivos de mercado, y en particular sobre los medios de la producción.

1.2.3.3.3. Planificación táctica y estratégica

Reúne a la planificación táctica que cuenta con una perspectiva estrecha, se ocupa de la selección de medios por los cuales ha de perseguirse los objetivos esperados y la estrategia que tiene una perspectiva amplia, en la cual se formula objetivos, como los medios para alcanzarlos. Se refiere a planes que

cubren toda la organización, establece los objetivos generales de la organización y busca colocarla en términos de su ambiente.

1.2.3.4. Por el sector económico, social y geográfico en donde se realiza

La planificación se subdivide por el sector económico, social y geográfico en donde se realiza en cuatro grados que son: de recursos naturales, demográfica, sociocultural y económica regional.

1.2.3.4.1. De recursos naturales

Trata de establecer un equilibrio entre unidades urbanas y rurales, y a la utilización regional de los recursos a través de:

- Control de la erosión
- Recursos forestales y minerales
- Protección de los recursos hidrológicos
- Utilización racional de la tierra

1.2.3.4.2. Demográfica

Estudia la relación entre el crecimiento de la población y los recursos disponibles. Es indispensable en áreas subdesarrolladas en las cuales el crecimiento de la población es desfavorable al desarrollo económico, como resultado de una densidad de población alta, ingresos bajos y no compensada con la existencia de recursos susceptibles de explotación.

1.2.3.4.3. Sociocultural

Estos dos elementos están íntimamente ligados con el desarrollo económico social de los países: salud, educación, vivienda, trabajo seguridad, recreación, entre otros.

1.2.3.4.4. Económico regional

Estudia las diversas etapas de los proyectos de desarrollo que deben seguir en un periodo determinado para el aprovechamiento óptimo de los recursos de una región. Trata de equilibrar los proyectos de desarrollo local con los nacionales.

1.2.4. Proceso de la planificación estratégica

La planificación estratégica sigue un proceso básico ordenado, para cumplir con sus objetivos y de esta manera asegurar mayor acierto en la predicción para el correcto desarrollo de los proyectos, este proceso consta de nueve pasos que se detallan a continuación:

1.2.4.1. Definir la misión de la organización

Toda empresa o institución tiene una misión que define su propósito, y que en esencia pretende contestar a la pregunta: ¿En qué negocio estamos? El definir la misión de la organización obliga a la administración a definir el espacio de su producto o servicio.

1.2.4.2. Establecer objetivos

Los objetivos son el fundamento de la planificación, la misión acelera el propósito o la institución, los objetivos traslada a la misión en términos concretos.

1.2.4.3. Analizar los recursos de una organización

Lo que la organización puede realizar está limitado por los recursos que posee y los que puede conseguir, lo que hace está condicionado a lo que puede hacer. Es necesario analizar los recursos financieros, humanos y físicos de la organización, con esta base se elaboran los planes.

1.2.4.4. Examinar el ambiente

Para asegurar resultados favorables es importante analizar y evaluar los factores externos; estos están en el ambiente en que se desenvuelve la organización y pueden ser: legales, sociales, políticos, económicos, entre otros.

1.2.4.5. Hacer predicciones

Esto se refiere a proyecciones de ingresos, gastos, utilidades, status político, inflación, tipo de cambio, tendencias, etc. Las predicciones pueden ser sobre factores externos o internos de la organización. En la medida que estas predicciones estén basadas en experiencia y conocimientos objetivos, en esa medida se acercarán lo más exactamente posible a los acontecimientos futuros.

1.2.4.6. Analizar oportunidades y riesgos

Después de analizar los recursos de la organización y las predicciones de factores internos y externos, se pueden establecer las oportunidades que favorezcan alcanzar los objetivos y las metas, así como los riesgos que se corran y que constituyen puntos críticos que pueden hacer fracasar el proyecto o la organización.

1.2.4.7. Identificar y evaluar estrategias alternas

Una vez identificados los riesgos y las oportunidades, el planificador debe analizar y plantearse diversas estrategias alternativas que le permitan mejorar las oportunidades y minimizar los riesgos.

1.2.4.8. Seleccionar la estrategia

Las estrategias seleccionadas entre las analizadas, deben ser consistentes con la misión y los objetivos deseados y corresponder a los recursos disponibles.

1.2.4.9. Instrumentar la estrategia

Este es el último paso, el cual requiere de una comunicación exitosa a todos los niveles de la organización. Si los funcionarios no logran corresponder al alcance de la estrategia, ni a su rol en ella, seguramente no alcanzarán los resultados deseados.

1.2.5. Tipos de estrategia

Los tipos de estrategia son cuatro, y de ellos depende que la empresa y/o proyecto asegure un futuro considerable de subsistencia, cuando estas estrategias no se aplican de manera adecuada o se sabe que no se está cumpliendo con sus expectativas, es seguro suponer que la empresa y/o proyecto fracasará.

1.2.5.1. Estabilidad

Se caracteriza por la ausencia de cambios significativos. Ejemplo: servir a los mismos clientes, no diversificar la producción ni los servicios, etc. Esta estrategia se presenta cuando la organización se encuentra en niveles satisfactorios de desempeño.

1.2.5.2. Crecimiento

Implica incrementar niveles de operación de la organización: producción, utilidades, ensanchar mercado, mejorar tecnología, incrementar empleados, etc., el incremento puede darse a través de la expansión directa, una fusión de organizaciones por medio de la diversificación de la producción y los servicios.

1.2.5.3. Contracción

Ante circunstancias adversas como la hiperinflación, devaluación de la moneda, estabilidad política y social de la organización, podrá reducir sus ventajas, despedir empleados. En mercados monopolizados es utilizada la estrategia para incrementar precios y se manifiesta reduciendo la oferta de bienes y servicios.

1.2.5.4. Combinación

Se refiere a una posible implementación de todas las estrategias y requiere la organización de los productos y las unidades administrativas. Este tipo de estrategia debe ser bien planteado de manera que, el buen funcionamiento de una de las estrategias combinadas no afecte en manera significativa a la otra u otras.

1.2.6. Técnica FODA

Es una técnica de análisis que permite poner en evidencia los factores internos y externos que influyen en el ambiente empresarial e institucional y que deben ser considerados por las personas que tienen bajo su responsabilidad una organización o una parte de ella.

Esta técnica se enfoca en el análisis de:

- Fortalezas
- Oportunidades
- Debilidades
- Amenazas

1.2.7. Identificación y priorización de problemas

Para la identificación de problemas se debe hacer la siguiente pregunta: ¿Existe alguna situación negativa dentro de la comunidad que sea fácil de observar y que impide la realización normal de las actividades diarias y/o mejorar la forma de vida de los habitantes?, ejemplo: escasez de infraestructura.

1.2.7.1. Causa de un problema

Es el origen, la razón, el motivo por el cual existe una situación negativa.

1.2.7.2. Efecto de un problema

Es la manifestación o el reflejo de las situaciones negativas.

1.2.7.3. Gráfica relación causa, problema, efecto

Es un gráfico en donde se analiza la causa, el problema y el efecto negativo que tiene la escasez o falta de algún servicio en una comunidad, por ejemplo:

- Efecto: costo elevado en el pago de energía eléctrica del lugar
- Problema: baja competencia o monopolio en el servicio de energía
- Causa: mal uso o gestión mal organizada del recurso hídrico del lugar

1.2.7.4. Priorización de un problema

Este proceso indica que dentro de un conjunto de problemas, se debe establecer un orden de importancia que ayude a conocer cuál de todos es al que debe dársele solución.

1.2.7.5. Criterios de priorización

Para determinar cuál de todos los problemas necesita solución, se debe pensar en lo siguiente:

- Afectar al mayor número de vecinos
- Ser el más fácil de resolver
- Existe antes que otros problemas
- Contar con los recursos inmediatos para su solución

1.2.7.6. Identificar soluciones

Tener en conocimiento que, todo problema planteado existe, por lo menos una solución, es decir, una forma de disminuirlo, eliminarlo o establecer una medida. Lo importante de la identificación de soluciones es saber si el problema será solucionado a base de donaciones o solo con la ayuda de la comunidad, en esta etapa es importante tener el conocimiento previo de la causa del problema, puesto que, sabiendo su origen, se puede determinar qué instituciones podrían estar interesadas en brindar ayuda.

1.2.7.7. Elegir el proyecto

Sabiendo cuál de todos los problemas es el más necesario de acuerdo a los criterios, sabiendo las causas del mismo, se puede proceder a buscar soluciones y determinar la más económica y factible.

1.3. Características históricas, políticas, económicas y demográficas de la República de Guatemala

Las características históricas, políticas, económicas y demográficas de la república de Guatemala se desarrollan desde la época de la Conquista hasta el siglo XX.

1.3.1. Historia de Guatemala

El nombre de Guatemala aparece por primera vez en las cartas de relación que Pedro de Alvarado envió a Hernán Cortés en 1524, allí se citan los viajes de conquista que el señor de Alvarado realizó en el área y por consiguiente, se nombran distintos lugares de lo que hoy es conocido como la República de Guatemala. En esa oportunidad es en donde se hace mención a Guatemala por primera vez en castellano, anteriormente se conocía como *Quauhtemalan* que en vocablo náhuatl significa, lugar de muchos árboles.

Guatemala ha pasado por varios periodos históricos durante su desarrollo como República, sus primeros habitantes fueron los creadores de la cultura maya. Posteriormente esta República fue sacudida por la conquista española, es hasta en el siglo XIX, el 15 de septiembre de 1821, cuando Guatemala logra su independencia de España junto al resto de Centroamérica; debido a las luchas continuas entre liberales y conservadores, la Federación Centroamericana llegó a su término a finales del siglo XIX.

Después de haber pasado procesos importantes que marcaron su historia, como la anexión a México, también hubo disturbios como la Revolución de 1944, que fue de carácter socialista, seguidamente la contrarrevolución en 1954, puramente capitalista y desembocó a una era de inestabilidad política con golpes de Estado y elecciones fraudulentas. Estos procesos de contrarrevolución, también dieron paso a los 36 años de guerra interna que finalizaron con los Acuerdos de Paz firmados el 29 de diciembre de 1996. A partir de entonces, Guatemala se caracteriza por una mejor visión, aunque por otra parte esta es frustrada debido al incremento de la delincuencia interna y la crisis económica mundial.

Los desastres hidrometeorológicos que se han desarrollado en los últimos años en el istmo centroamericano y parte de las Antillas han afectado considerablemente a Guatemala, dejando pérdidas monetarias y humanas. Se menciona como los de mayor daño significativo, el huracán Mitch en 1998, y la tormenta tropical Stan en el 2005, sin dejar por un lado el terremoto del 4 de febrero de 1976, que dejó un aproximado de 23 000 muertes, una economía devastada e infraestructura: carreteras, puentes e instituciones públicas dañadas.

La historia de Guatemala se desarrolla con base en las distintas etapas que vienen desde una época precolombina, la invasión española, la colonia, la independencia, la Federación Centroamericana y el fin de la misma, el desarrollo de los gobiernos liberales y conservadores, socialistas y capitalistas, revoluciones, guerra interna, genocidios, golpes de estado, invasión extranjera, democracia, paz, entre otros.

1.3.2. Breve relato de la historia económico-política de la República de Guatemala durante el siglo XX

La historia económico - política de la República de Guatemala durante el siglo XX se desarrolla a partir del gobierno de Manuel Estrada Cabrera (1898 -1920), hasta el de Óscar José Rafael Berger (2004 -2008).

Durante el gobierno de Manuel Estrada Cabrera se autorizó que empresas estadounidenses montaran el transporte de ferrocarriles en Guatemala, un puerto en el Atlántico y la generación, transporte y distribución de energía eléctrica en los departamentos de Guatemala y Escuintla.

El principal objetivo del traslado mediante ferrocarriles fue el de transportar los productos perecederos de la United Fruit Company (UFCO) a la mayor brevedad posible hacia los puertos y puestos de exportación; el contrato firmado entre la compañía norteamericana y el Gobierno de Guatemala establecía que la UFCO sería la encargada de terminar la construcción del tramo ferrocarrilero entre El Rancho en el departamento de El Progreso y la ciudad capital, brindando un derecho de propiedad de la línea férrea de 99 años.

Más adelante en 1912, la UFCO adquirió las acciones del Ferrocarril Central, el de Ocós y Occidental para formar la International Railways of Central America (IRCA), esto permitió el inicio del cultivo de banano en Izabal.

Durante el gobierno de Carlos Herrera (1920–1921), se estableció la Dirección General de Caminos y el Ministerio de Agricultura, aprobándose el pacto de Unión Centroamericana. Un hecho muy importante durante este gobierno fue la adopción del Sistema Métrico Decimal de unidades, además recibió las arcas monetarias llenas de parte del gobierno anterior, pero no pudo llevar a cabo la reforma monetaria y bancaria.

Hubo reducción de algunos impuestos de exportación y producción, pero a su vez, surgieron nuevos, como el impuesto a cada botella de aguardiente con el propósito de darle mantenimiento al ferrocarril de los altos, también se introdujo por primera vez el impuesto sobre la renta (ISR), aunque no fue sancionado por el mandatario. La tasa de impuesto más alta correspondía a la exportación del café, debido a que a la del banano tenía impuestos reducidos.

Posteriormente, el gobierno de José María Orellana (1921–1926), se vio obligado a iniciar el contrato que había sido firmado entre el periodo de Estrada

Cabrera y la International Rail Ways of Central América (IRCA), el cual pondría en comunicación a Guatemala con El Salvador a través de una línea férrea. Dentro de los logros más importantes de este periodo se encuentra el contrato AEG de Berlín Alemania, para terminar la construcción del ferrocarril de Los Altos, como también la reforma bancaria y monetaria que dio inicio a la moneda nacional conocida actualmente, (Quetzal).

Durante el gobierno de Lázaro Chacón (1926–1930) se fundó el Banco Crédito Hipotecario Nacional (CHN), se culminó la construcción del ferrocarril de Los Altos y el tramo ferrocarrilero Zacapa, frontera con El Salvador, se otorgó a la compañía de cemento la exención del impuesto de importación de maquinaria y productos relacionados durante diez años, pactando que el cemento sería vendido al Gobierno de Guatemala con un diez por ciento de descuento.

Luego del gobierno de Lázaro Chacón, Guatemala entró en un periodo que marcaría una pauta enorme en el sistema de vida para los guatemaltecos, lo que posteriormente se convertiría en una revolución.

El gobierno del general Jorge Ubico (1931–1944) favoreció en muchos aspectos a los ciudadanos, pero también hubo un efecto negativo en cuanto al circulante, en virtud de que no había poder adquisitivo en los habitantes del país para agenciarse de bienes y servicios.

Jorge Ubico redujo los salarios de los empleados públicos de la época y con esto en la economía del país se produjo una gran deflación, reduciendo los precios de los productos hasta en un 75 por ciento, esto favoreció a los más pobres, ya que con lo que ganaban les alcanzaba perfectamente para suplir sus necesidades básicas, el error más grave que produjo esta enorme deflación fue

que el crédito bancario se redujo enormemente, ya que la economía se mantuvo reprimida durante 12 años.

Dentro de los logros más significativos que se llevaron a cabo durante el gobierno del general Ubico se encuentra la creación de leyes que, posteriormente obligarían a los ciudadanos a vivir una vida de represión; las más importantes fueron:

- Ley de Probidad.
- Ley de Vialidad.
- Ley Contra la Vagancia.
- Sancionó la ley que señalaba que todo propietario de fincas rústicas cercadas, estarían exento de responsabilidad criminal al sorprender ladrones *in fraganti* dentro de sus propiedades.

El gobierno de Jorge Ubico llegó a su fin con la Revolución del 20 Octubre de 1944, y con esto también terminaron los 73 años de gobierno liberal, durante los cuales en Guatemala se alojaron muchos alemanes que llegaron a producir un 60 por ciento del café del país; el Tratado de Libre Comercio firmado entre Guatemala y Estados Unidos de Norteamérica durante el gobierno de Jorge Ubico, llegó a su fin con el de Juan José Arévalo.

Durante la revolución se originó una serie de decretos leyes, conjuntamente con una Constitución Política que entró en vigor el 15 de marzo de 1945, junto al presidente electo, Juan José Arévalo (1945-1951), un hecho importante de mencionar durante el gobierno de Arévalo es el temporal de lluvia ocurrido durante 1949, en donde se destaca la rápida respuesta hacia los damnificados por parte del Gobierno de Guatemala, para lo cual el Congreso de la República destinó 2 millones de quetzales, se estima que los daños

ocasionados por este temporal de lluvia fueron similares a los que produjo el huracán Stan en el 2005.

Durante este gobierno, también se realizó una reforma monetaria y bancaria, surgió el Instituto Guatemalteco de Seguridad Social (IGSS), el Instituto de Fomento de la Producción (INFOP), la creación del Código de Trabajo, se desarrolló la Ley de Expropiación, que más adelante daría problemas al siguiente gobierno por la reforma agraria; dentro de las reformas y creaciones de nuevos decretos, también se dieron experimentos de enfermedades infecciosas por parte de estadounidenses a guatemaltecos.

El segundo gobierno revolucionario llegó con la elección de Jacobo Árbenz Guzmán (1951-1954), durante este periodo se construyeron tres obras de infraestructura importantes que han perdurado hasta el siglo XXI.

- El puerto Santo Tomás de Castilla
- La carretera al Atlántico
- La hidroeléctrica Jurún Marinalá

El hecho más importante ocurrido durante este Gobierno fue la Reforma Agraria, al ser la compañía frutera UFCO uno de los principales propietarios de tierras en Guatemala y gracias a la Ley de Expropiaciones del gobierno anterior, Guatemala pudo hacer una oferta de compraventa por las tierras de la compañía frutera estadounidense con un monto igual al colocado en el Registro General de la Propiedad, sin embargo, esto desencadenó una serie de problemas mayores en los que el Gobierno de Estados Unidos apoyó a la compañía frutera, situación que llevó a la renuncia de Árbenz en 1954.

Luego de la renuncia de Árbenz, Guatemala entró en un gobierno conformado por una Junta Liberacionista que modificó la Carta Magna, esta nueva constitución entró en vigor en 1956. El liberacionismo era guiado por el presidente de la Junta Liberacionista Carlos Castillo Armas (1954-1957), quien se caracterizó por ser de carácter anticomunista, declarando decretos ley que prohibían la exportación e importación de toda clase de artículos originados o procedentes de 11 países comunistas, como también, el derecho a la propiedad privada.

Dentro de sus logros más significativos se encuentran: la creación del Tratado de Libre Comercio e Integración Económica con El Salvador y Honduras, la autorización a bancos extranjeros a quedar libres de colocar la tasa de interés de sus contratos, la creación del Consejo Nacional de Planificación Económica, se construyó La Terminal de autobuses urbanos y extraurbanos en la zona 4 de la ciudad capital, la emisión del Código de Petróleo.

Miguel Ydígoras Fuentes (1957–1963) fue el presidente sucesor de Castillo Armas, durante este gobierno se permitió que los guatemaltecos que habían sido exiliados de Guatemala al finalizar el tiempo de Árbenz, regresaran al país. Ydígoras Fuentes no concluyó con su periodo de 6 años de candidatura debido a un golpe de estado que lo derrocó, se permitió que cubanos anticastristas entrenaran en la finca Helvetia de Retalhuleu y, como protesta a este hecho se realizó un levantamiento militar, donde algunos de los integrantes serían los primeros guerrilleros en 1961-1962, con una guerrilla que finalizó en 1996, con la firma de los Acuerdos de Paz.

Dentro de los logros más significativos de este gobierno se encuentra, la adquisición de inmuebles para la construcción del Aeropuerto Internacional la

Aurora y operación del puerto Santo Tomás de Castilla, se creó el Instituto Nacional de Electrificación (INDE), las siguientes leyes: Ley de Parcelamientos Urbanos, Ley de Creación de la Comisión Guatemalteca de Normas (COGUANOR), Ley de Creación del Instituto de Recreación de los Trabajadores de Guatemala (IRTRA); se inició el proyecto de construcción del teatro Miguel Ángel Asturias, la aprobación de la Ley del Instituto de Fomento de Hipotecas Aseguradas, se reformó la Ley Orgánica del Banco de Guatemala, Ley de Bancos y Ley Monetaria.

El golpe de Estado militar ocurrido durante el gobierno de Ydígoras Fuentes se debió a las acusaciones de fraude que se hacían en su contra, además se llevó a cabo tras la postulación del expresidente Juan José Arévalo a las nuevas elecciones; Peralta Azurdia (1963-1966) fue el sucesor de Ydígoras Fuentes.

Durante este nuevo gobierno se emitieron 463 decretos ley; se exoneró a las universidades privadas de todo tipo de impuesto, la emisión de una nueva Ley de Impuesto Sobre la Renta y se inició el estudio para la introducción de agua a la ciudad capital desde los ríos Xayá y Pixcayá, se aprobó la Ley Orgánica del Centro de Desarrollo y Productividad Industrial predecesor del Instituto Técnico de Capacitación y Productividad (INTECAP), la Ley del Café, la Ley Orgánica de la Empresa Guatemalteca de Telecomunicaciones Internacionales (GUATEL), se emitió el Código de Minería y se aprobó el aguinaldo, no menor al 50 por ciento del salario mensual.

Posteriormente fue el turno del licenciado Julio César Méndez Montenegro (1966-1970) de asumir el cargo de la presidencia de la República de Guatemala, durante su gobierno se emitió el reglamento de aguinaldo para funcionarios públicos y pensionados, se aprobó la reforma a la Ley Orgánica del

Banco de Guatemala, la Ley Orgánica del Instituto Guatemalteco de Turismo, la Ley de la Empresa de Ferrocarriles de Guatemala (FEGUA).

Seguidamente, en el gobierno del Coronel Carlos Manuel Arana Osorio (1970-1974) se dio el primer *shock* petrolero que incrementaría el precio de los productos de la canasta básica y, por otro lado se realizaron las expropiaciones de terreno para la construcción del Anillo Periférico, se emitió la Ley del Instituto Técnico de Capacitación y Productividad (INTECAP), la Ley de adjudicación, uso y tenencia de tierra en Petén y se realizó la Reforma Fiscal.

Más adelante, en el gobierno del general Kjell Eugenio Laugerud García (1974-1978), Guatemala pasó por uno de los acontecimientos históricos más impactantes de los últimos años, el terremoto de San Gilberto el 4 de febrero de 1976, situación que fue manejada con honradez por parte del Gobierno, a pesar del impacto del terremoto, se impulsaron proyectos de gran magnitud como, la hidroeléctrica de Chixoy, construcción de la carretera de la Franja Transversal del Norte y el Puerto Quetzal en el Pacífico, se aprobó el Tratado de Libre Comercio entre Panamá y Guatemala, se incrementó la tasa fiscal para la circulación de vehículos, emisión de pasaportes, consumo de aguardiente, cigarrillos e Impuesto Sobre la Renta (ISR).

Luego del gobierno de Laugerud García, Guatemala se vería afectada nuevamente por un golpe de Estado, esta vez hacia el gobierno del general Fernando Romeo Lucas García (1978-1982), durante este periodo, la guerrilla se vio más activa que en gobiernos anteriores, se iniciaron protestas por el aumento al valor del transporte colectivo.

Se conoce al tiempo de los 80 como la década de pérdida, debido a que se redujo notablemente el crecimiento económico y hubo notables desórdenes

cambiaros producidos por el déficit fiscal financiado por el Banco de Guatemala, la guerra interna de Nicaragua redujo el comercio terrestre, iniciando el comercio por cabotaje mediante los dos océanos, sin embargo, a pesar de todo, la construcción de la hidroeléctrica de Chixoy, la carretera de la Franja Transversal del Norte y el puerto Quetzal, continuaron su rumbo. Los precios del café comenzaron a notar una baja, por lo que se redujo el impuesto para la comercialización del mismo, ya que era el principal producto de ingreso tributario.

Con el golpe de Estado de 1982, Efraín Ríos Montt, quien fue primero presidente de la Junta Militar, pasó a ser jefe de Gobierno y posteriormente presidente Guatemala hasta que fue derrocado en 1983. Durante el periodo de Ríos Montt, la guerrilla sufrió una ofensiva importante que terminó con la migración de guatemaltecos hacia México y Honduras, en 1983 se dio la primera visita del papa Juan Pablo II a Guatemala, fue en el gobierno de Ríos Montt cuando apareció el Impuesto sobre Valor Agregado (IVA) con una tasa del 10 por ciento, aunque muchos insumos quedaron exentos de dicho impuesto.

La hidroeléctrica de Chixoy y el puerto Quetzal se inauguraron bajo el gobierno del general Óscar Humberto Mejía Víctores (1983-1986), quien asumió el cargo de jefe de Estado, luego del golpe que se realizó al gobierno anterior, durante este periodo también se llevó a cabo en Guatemala los III Juegos Centroamericanos, por otro lado, Guatemala se encaminó a la democracia.

Más adelante vendría la nueva Carta Magna, fue en 1986 cuando la Constitución Política de la República de Guatemala fue reformada nuevamente, esta vez con una orientación social cristiana en donde se da la libertad de

religión, los derechos individuales y de propiedad privada, por otro lado se da conocimiento de las multas e impuestos confiscatorios y garantías individuales.

Con la llegada de la nueva Carta Magna iniciaría un nuevo gobierno bajo el mando de Marco Vinicio Cerezo Arévalo (1986-1991), durante este tiempo se firmó el acuerdo de Esquipulas II, por parte de los presidentes de Centroamérica, con el propósito de lograr la paz y terminar la guerrilla. Se creó la Comisión Guatemalteca de Normas (COGUANOR) iniciada durante el gobierno de Ydígoras Fuentes, se declaró área protegida la reserva maya de Petén, también se aprobó la nueva Ley de Impuesto Sobre la Renta y se modificó la Ley de Impuesto al Valor Agregado (IVA) desarrollada durante el gobierno de Ríos Montt.

Jorge Antonio Serrano Elías (1991-1993) tomaría la presidencia de Guatemala después del gobierno de Vinicio Cerezo, esta vez llegaría a su fin debido a un golpe de estado. Durante este periodo se otorgó el Premio Nobel de la Paz a Rigoberta Menchú, dentro de los logros más significativos se puede mencionar, la iniciación de las operaciones bancarias de Banco Uno, Banco Corporativo, Banco de Comercio y Vivibanco.

Es importante mencionar que durante este periodo, varios organismos internacionales y el Banco Mundial, suspendieron los préstamos hacia el Gobierno debido al incremento de la deuda pública. Durante esta época, al igual que en los gobiernos anteriores y posteriores, se aprobaron y reformaron muchas leyes que aún en el siglo XXI son utilizadas, y para utilidad de esta investigación es importante dar a conocer que fue este gobierno el que aprobó la Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente, Acuerdo Sobre Ambiente y Desarrollo y el Centro de Coordinación para la Prevención de

Desastres Naturales en América Central, también se declaró la bonificación para trabajadores del sector público y privado conocida como Bono 14.

Ramiro de León Carpio (1993-1996) fue procurador de los Derechos Humanos y luego continuó con la presidencia de Guatemala completando los 5 años de gobierno de Serrano Elías, durante su mandato se redujeron los diputados del Congreso de la República de 118 a 80 y se prohibió que el Banco de Guatemala financiara al Gobierno, se firmaron acuerdos globales sobre los derechos humanos con los guerrilleros y muchos de los guatemaltecos refugiados en México regresaron a Guatemala, nuevamente se llevó a cabo reformas a las leyes de impuestos vigentes.

Álvaro Enrique Arzú (1996-2000) asumió la presidencia después de Ramiro de León Carpio, durante este nuevo gobierno el hecho más importante que ocurrió fue la privatización de empresas del Estado como: Empresa Eléctrica Guatemalteca, (EEGSA) Instituto Nacional de Electrificación (INDE) y Telecomunicaciones de Guatemala (GUATEL), de este hecho ocurrido lo que se destaca es la Ley de Telecomunicaciones que permitió la introducción de la telefonía móvil en gran escala al país, pero el logro más importante de este gobierno fue la firma de los Acuerdos de Paz en Guatemala el 29 de diciembre de 1996.

La guerrilla interna de 34 años llegaría a su fin el 29 de diciembre de 1996. Durante este gobierno ocurrió uno de los desastres más trascendentales de la historia hidrometeorológica de Guatemala, el huracán Mitch atacó en 1998 a la república completa, ocasionando pérdidas humanas y miles de damnificados, daños a la infraestructura del país, derribando puentes, carreteras, escuelas, dejando sin hogar a muchas familias tanto en el interior de la república, como en los alrededores y asentamientos de la ciudad capital.

Alfonso Portillo (2000-2004) fue el elegido por el pueblo de Guatemala para gobernar después de Arzú, durante este gobierno se realizaron fusiones de bancos, se incrementó el Impuesto sobre Valor Agregado de una tasa del 10 a 12 por ciento y se modificaron leyes existentes, como también se crearon nuevas que dieron oportunidad al desarrollo de la tendencia capitalista en Guatemala, con la creación de la Ley de Propiedad Industrial, además se desarrolló una reforma fiscal.

Óscar José Rafael Berger (2004- 2008) asumiría el cargo de presidente de Guatemala luego de Portillo, dándole fin a la breve historia económico-política de Guatemala durante el siglo XX. Berger fue quien tuvo a su mando el cargo del gobierno cuando se firmó el Tratado de Libre Comercio entre Estados Unidos de Norteamérica, los 5 países de Centro América y República Dominicana. Durante este gobierno se estableció el sistema obligatorio de las licitaciones públicas a través de Guatecompras.

Durante este Gobierno se estableció la Comisión Internacional Contra la Impunidad en Guatemala (CICIG) y se construyó la primera fase de remodelación del Aeropuerto Internacional La Aurora, esta vez el Impuesto Sobre la Renta fue declarado como un 5 por ciento sobre ingresos brutos, se intentó reactivar nuevamente la reforma fiscal sin éxito.

Durante más de un siglo de historia económico-política, Guatemala continúa su desarrollo como República, teniendo altas y bajas en la economía, viéndose afectada todo el tiempo por los eventos hidrometeorológicos que azotan a la república completa, sin embargo, la visión de no continuar de ser un país en vías de desarrollo se ve en muchos de sus ciudadanos que cada día buscan un mejor futuro.

1.3.2.1. División política de la República de Guatemala

La República de Guatemala está dividida políticamente en 8 regiones y 22 departamentos, contando con un total de 338 municipios.

Figura 2. División política de la República de Guatemala



Fuente: MARN, Informe ambiental de Estado GEO 2009. p 5.

1.3.3. Producto Interno Bruto

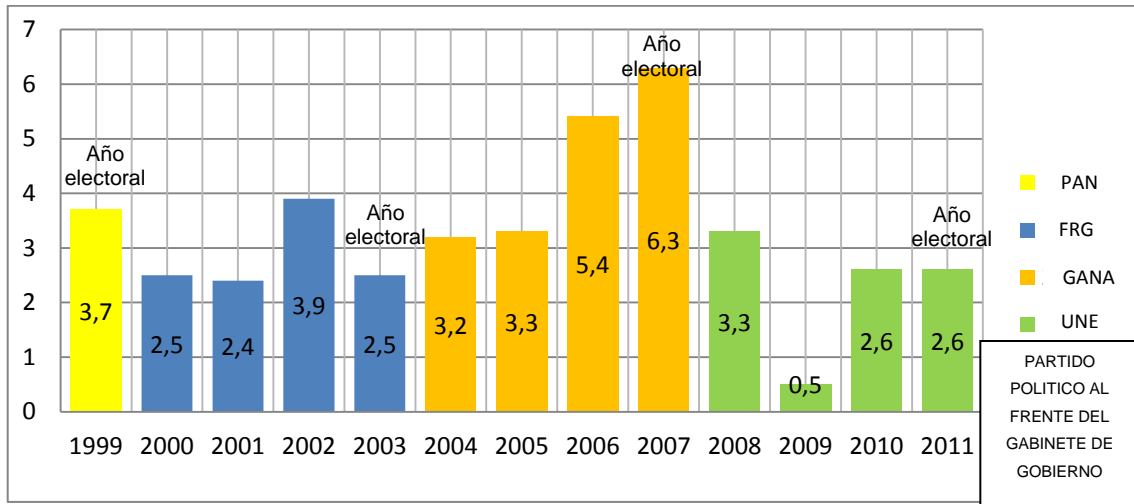
Cuando se trata de conocer los cambios en la economía de un país o región, surge la pregunta: ¿Cómo se logra determinar si la economía ha crecido, disminuido o se ha mantenido igual con respecto a otro periodo de tiempo en la historia?, para realizar comparaciones en cuanto al desempeño de la economía, existen dos procedimientos que suelen hacerse durante un

periodo de tiempo estipulado, generalmente de un año, estos suelen hacerse a través del Gobierno de cada país para mostrar a la población cómo está el desempeño de la economía con respecto a los gobiernos anteriores.

El proceso económico más conocido y utilizado para dar a conocer el desempeño de la economía de un país es el Producto Interno Bruto (PIB), este parámetro se define como el valor de mercado de todos los bienes y servicios finales producidos en un país durante un año por nacionales radicando en el país, más los extranjeros radicando en el país menos las remesas recibidas.

Sin embargo, este parámetro excluye los bienes no terminados y los producidos por residentes del país en el extranjero, es por ello que, acompañado al Producto Interno Bruto de una nación, se encuentra el Producto Nacional Bruto que es el valor de los bienes finales producidos por los residentes de una nación sin importar donde se localicen, es decir, el Producto Nacional Bruto (PNB) abarca a las empresas nacionales establecidas fuera de las fronteras del país más lo producido por nacionales radicando en el país menos lo producido por los extranjeros radicando en el país. Estos dos parámetros sirven para realizar los análisis correspondientes y determinar si el país cuenta o no con los recursos financieros suficientes para incrementar la economía. Ver figura 3.

Figura 3. **Producto Interno Bruto Guatemala 1999 – 2011**



Fuente: elaboración propia, con datos del Banco de Guatemala.

Estos valores no pueden compararse fácilmente de gobierno a gobierno, es decir, si durante el gobierno anterior se produjo cierta cantidad de prendas de vestir y durante el presente, la cantidad producida es la misma, no se puede decir que el PIB de este gobierno es igual al del anterior, puesto que los precios finales de las prendas pueden variar cada año, es por ello que tanto el PIB como el PNB se determina con referencia a una moneda internacional estable, en el caso de Guatemala, el dólar norteamericano.

2. CARACTERÍSTICAS HIDROLÓGICAS DE GUATEMALA

2.1. Estaciones hidrometeorológicas

Las estaciones hidrometeorológicas surgen de la combinación de estaciones hidrométricas y meteorológicas. Si bien es cierto, no existe una definición exacta para el término completo, por separado, estas estaciones dan a conocer registros importantes de eventos relacionados con el clima y el movimiento del agua en la atmósfera y sobre la superficie terrestre.

Las estaciones meteorológicas brindan información de eventos relacionados con el clima; este es el principal factor por medio del cual se lleva a cabo el ciclo del agua, es decir, el clima incide directamente en la distribución del agua en la atmósfera terrestre, eventos como: temperatura, tasas de evaporación y cantidad de precipitación determinan el ciclo del agua que termina con la escorrentía superficial del líquido y su infiltración al manto freático.

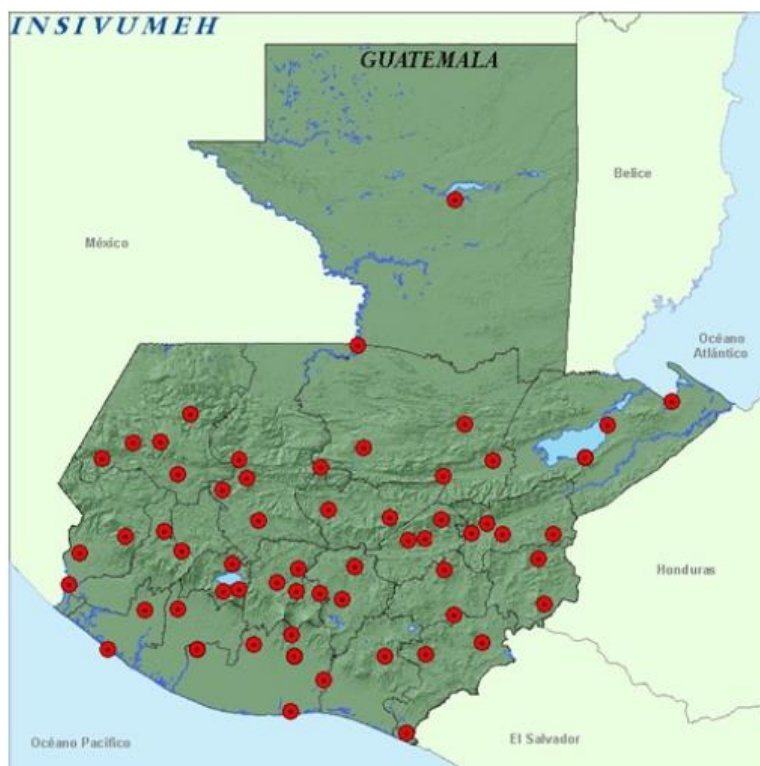
La medición de la cantidad de agua que se conduce superficialmente a través de los ríos se lleva a cabo en una estación hidrométrica, en donde, con la ayuda del limniméetro o limnígrafo y la curva característica de la estación, se determina directamente la cantidad de agua conducida en metros cúbicos.

En Guatemala, generalmente las estaciones meteorológicas e hidrométricas suelen estar unidas, sin hacer una diferencia significativa entre las mismas.

Las estaciones meteorológicas de Guatemala son gestionadas por el INSIVUMEH, contando con un total de 59 estaciones en la república.

Las estaciones que actualmente están registrando datos importantes como: viento, precipitación, temperatura, radiación, humedad, evaporación y presión atmosférica, entre otros y son gestionadas por el INSIVUMEH son las que se muestran en la figura 4.

Figura 4. **Estaciones meteorológicas de Guatemala**

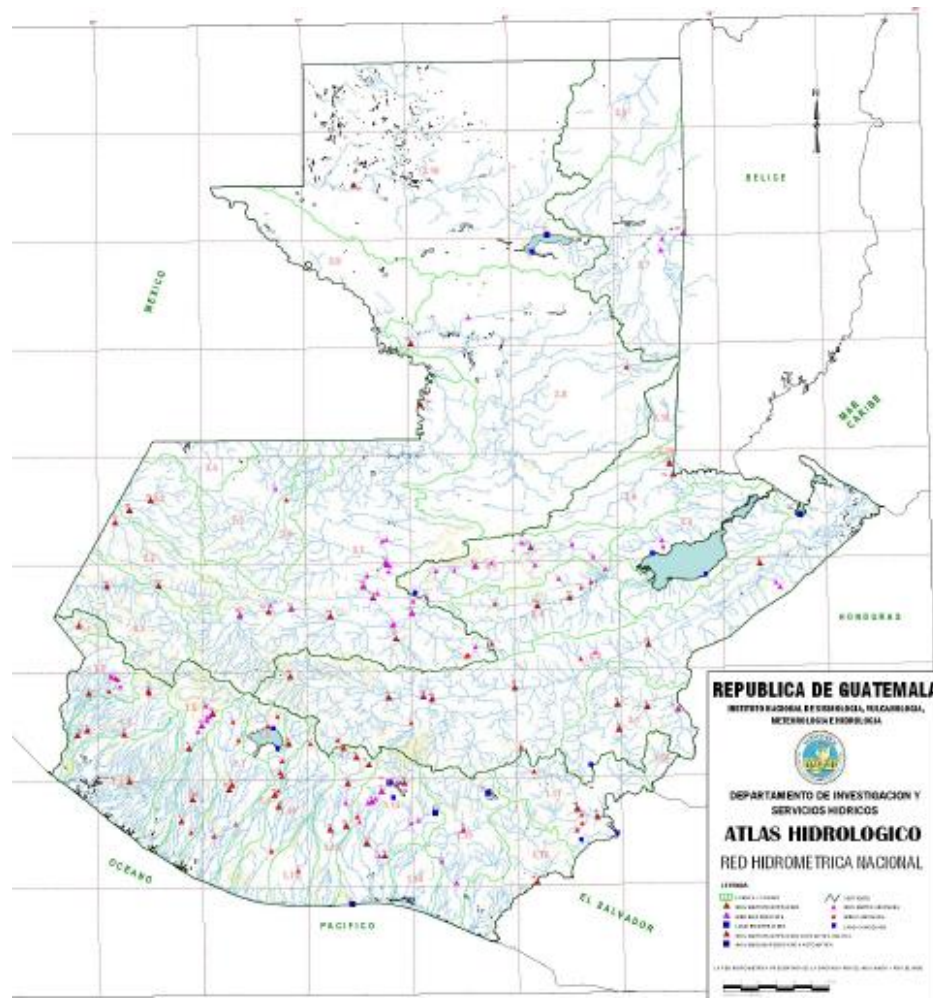


Fuente: INSIVUMEH, http://www.insivumeh.gob.gt/meteorologia/mapa_estaciones.htm.

Consulta: 15 de agosto de 2013.

Por otro lado, las estaciones hidrométricas de Guatemala son gestionadas tanto por el INSIVUMEH, como por el INDE y el CIV. Esta red de estaciones hidrométricas se presenta en la figura 5.

Figura 5. Estaciones hidrométricas de Guatemala



Fuente: INSIVUMEH,
www.insivumeh.gob.gt/hidrologia/ATLAS_HIDROMETEOROLOGICO/Atlas_Hidrologico/esthidro.jpg. Consulta: 24 de agosto de 2013.

2.1.1. Componentes de una estación meteorológica

Los componentes principales de las estaciones meteorológicas que se utilizan actualmente en Guatemala son las siguientes:

2.1.1.1. Terreno circundante

El terreno circundante es la zona que rodea a la estación meteorológica, este debe ser plano y sin obstrucciones, es decir, debe estar despejado de tal modo que, todos los eventos puedan registrarse sin ninguna anomalía, tiene que estar despejado de este a oeste, con el propósito de realizar una buena lectura de la radiación solar.

2.1.1.2. Parcela meteorológica

Es una porción rectangular o bien cuadrada de terreno, está destinado para la protección de los instrumentos al aire, en esta parcela se integra el abrigo meteorológico.

2.1.1.3. Abrigo meteorológico

Protege a los instrumentos más sensibles como: termómetros, evaporímetros, termohigrógrafos, termógrafos e higrógrafos. Se construye de tal modo, que se permita la libre circulación del aire dentro de él, manteniendo así la temperatura ambiente; el techo debe ser inclinado para permitir el desalojo de agua de lluvia y sus paredes deben ser de persianas reclinadas, para evitar que penetre la radiación solar.

2.1.1.4. Instrumentación

Los datos recopilados de los eventos hidrológicos y meteorológicos serán más exactos dependiendo de la ubicación de los instrumentos de medición, los utilizados para registrar los diferentes eventos se enlistan a continuación:

- Temperatura:
 - Termómetro de mínima
 - Termómetro de máxima
 - Termógrafo
 - Aspiropsicómetro
 - Geotermómetros

- Precipitación:
 - Pluviómetro
 - Pluviógrafo

- Humedad relativa:
 - Higrógrafo
 - Termohigrografo

- Brillo solar:
 - Heliógrafo

- Evaporación:
 - Evaporímetro de piche
 - Tanque de evaporación

- Viento:
 - Anemocinemógrafo
 - Anemógrafo

- Radiación solar:
 - Actinógrafo

- Presión atmosférica:
 - Barómetro
 - Barógrafo

2.1.2. Componentes de una estación hidrométrica

Las estaciones hidrométricas son más sencillas que las meteorológicas en cuanto a instrumentación utilizada, estas cuentan con un instrumento encargado de medir la altura del agua en los ríos, con este valor de altura de agua se determina el caudal que está pasando en ese momento mediante las diferentes técnicas de aforo aplicables a ríos; seguidamente con las diferentes alturas registradas y los caudales correspondientes a cada una, se traza la curva de calibración de la estación, conocida también como curva característica o ecuación de caudales.

La curva característica simplifica el trabajo del aforo, puesto que al tener la curva de la estación, simplemente midiendo la altura del río, se podrá determinar el caudal que está circulando en ese momento. Los instrumentos utilizados para medir la altura del río son:

- Limnómetro
- Limnógrafo

2.2. Curvas de duración de caudales

Estas curvas juegan un papel importante para la determinación de la cantidad de recurso hídrico que aporta un río, es decir, sirven para saber si este es aprovechable con respecto a la demanda requerida, o si se necesita de un embalsamiento para cumplir con esta.

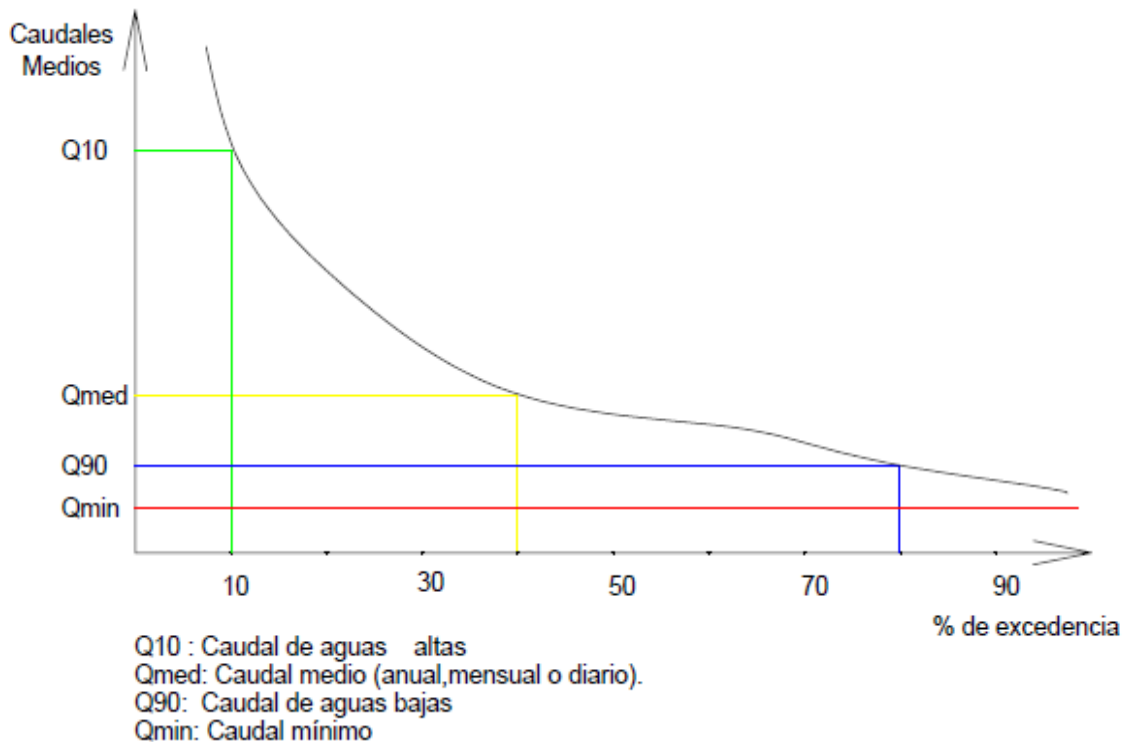
Una curva de duración de caudales es representativa de su cuenca y en un punto específico de aforo, debido a que se construye a partir de los caudales medios registrados, ya sea: diarios, mensuales o anuales; por lo tanto no puede utilizarse para predecir las avenidas de otro punto en estudio u otra cuenca. Es importante tomar en consideración que una curva de duración de caudales construida a partir de caudales medios anuales es más exacta para predecir avenidas diarias o mensuales porque los datos son más estables.

Como ya se ha mencionado, se construyen a partir de los caudales medios registrados en un periodo de tiempo y estos se grafican en el eje de las ordenadas, por otro lado, en el eje de las abscisas se colocan las probabilidades de que los caudales puedan ser igualados o excedidos.

El caudal medio mínimo que conduce un río tendrá la probabilidad de ser igualado o excedido muy cercana a un 100 por ciento, si este valor de caudal es mayor que el de demanda, significará que no se necesita de embasamiento para cumplir con la demanda, y por otro lado, la probabilidad de que el caudal medio mayor sea igualado o excedido dependerá de las características de relieve de la cuenca y será en un rango alrededor del 10 por ciento o menor.

La figura 6 muestra un ejemplo de una curva de duración de caudales.

Figura 6. **Curva de duración de caudales**



Fuente: elaboración propia.

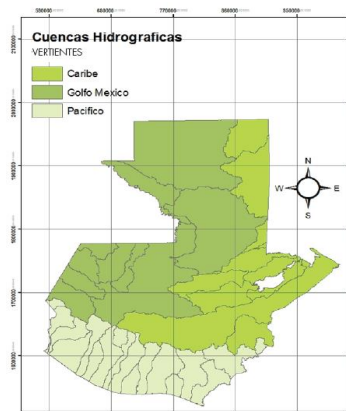
En Guatemala, actualmente no existe una base de datos que brinde directamente las curvas de duración de caudales correspondientes a las distintas estaciones de aforo para cada cuenca.

El atlas hidrológico del INSIVUMEH, ente encargado de gestionar la información hidrológica de Guatemala, únicamente hace mención al término en su página web, pero aún no existen curvas desarrolladas para cada estación. La página web fue consultada el 15 de octubre de 2013.

2.3. Cuencas y ríos

Las cuencas hidrográficas pertenecientes a la República de Guatemala son 38, divididas por las cadenas montañosas en 3 regiones conocidas como vertientes, estas son: Pacífico, Atlántico y Golfo de México. La mayoría de cuencas de Guatemala son exorreicas, es decir, drenan hacia el mar mediante su cauce principal, el cual también le da el nombre a la cuenca, a excepción de la cuenca de Atilán que es arreica.

Figura 7. Vertientes hidrográficas de la República de Guatemala



Fuente: MARN, informe ambiental de Estado 2011.

Las características principales de cada vertiente y las cuencas pertenecientes a cada una, se detallan a continuación.

2.4. Características hidrográficas de las vertientes de Guatemala

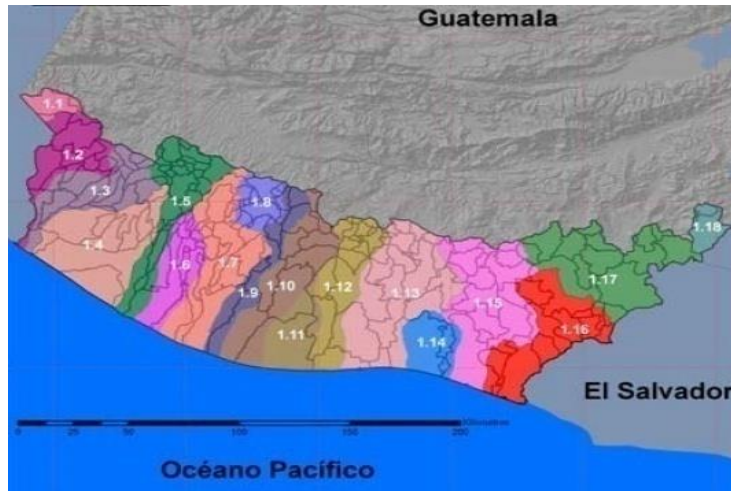
Cada una de las vertientes hidrográficas de Guatemala reúnen características hidrológicas específicas relativamente coherentes entre sí, por ejemplo, los cursos rápidos de los ríos de la vertiente del Pacífico que terminan por provocar inundaciones en la boca costa; estas características se detallan por vertiente a continuación:

2.4.1.1. Vertiente del Pacífico

Esta vertiente cuenta con la mayor cantidad de ríos de la República, siendo estos 18 de los 38 totales, es la más pequeña en cuanto a extensión territorial, ya que solo ocupa el 22 por ciento de la República; dentro de sus principales características se encuentra la pendiente predominante de la región, la cual es elevada, ya que la mayoría de cuencas inician en el área del cinturón de fuego a 3 000 metros sobre el nivel del mar, lo cual ayuda a que el curso de estas sea rápido y los ríos más cortos en comparación a los pertenecientes a las otras vertientes.

Al llegar al área de la costa las pendientes de estos ríos disminuyen y esto produce grandes zonas susceptibles a inundaciones al producirse crecidas de grandes magnitudes y corta duración.

Figura 8. **Cuencas hidrográficas de la vertiente del Pacífico**



Fuente: MARN, cuencas hidrográficas de Guatemala. p 5.

Esta región se ve alterada durante la época lluviosa debido a las erupciones de los volcanes activos, estos provocan que los ríos se inunden en la parte de la boca costa al arrastrar material volcánico que incide en la inestabilidad en las partes bajas.

Las precipitaciones se registran entre los 1 500 y 4 500 milímetros al año en las regiones este-oeste, siendo mayores hacia el oeste. Por otro lado, en las regiones norte-sur son menores, con un rango que va desde los 700 a 1 500 milímetros anuales, siendo menores en el área de la costa y aumentando conforme se amplía la elevación de la cuenca hasta el área del cinturón de fuego.

Tabla II. **Cuencas hidrográficas de la vertiente del Pacífico**

Vertiente del Pacífico			
	Cuenca	Área en km²	% Área nacional
1,1	Coatán	272	0,20
1,2	Suchiate	1 057	1,00
1,3	Naranjo	1 273	1,20
1,4	Ocosito	2 035	1,90
1,5	Samalá	1 510	1,40
1,6	Sis-Icán	919	0,80
1,7	Nahualate	1 941	1,80
1,8	Atitlán	541	0,50
1,9	Madre Vieja	878	0,80
1,10	Coyolate	1 648	1,50
1,11	Acomé	807	0,70
1,12	Achiguate	1 291	1,20
1,13	María Linda	2 572	2,40
1,14	Paso Hondo	721	0,70
1,15	Los Esclavos	2 271	2,10
1,16	Paz	1 732	1,60
1,17	Ostúa - Güija	2 243	2,10
1,18	Olopa	310	0,30
Total	18 cuencas	24 021	22%

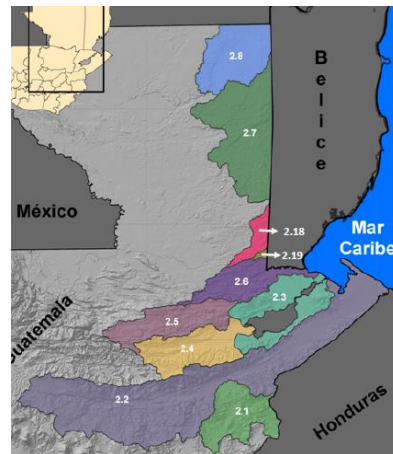
Fuente: elaboración propia, con datos del MARN, cuencas hidrográficas de Guatemala. p. 3.

2.4.2. Vertiente del Atlántico o mar Caribe

La vertiente del Atlántico cuenta con 10 cuencas caracterizadas por tener una pendiente moderada, los ríos de estas cuencas son profundos y extensos, por lo que resultan ideales para la navegación y actividades de pesca. Esta vertiente tiene desagüe natural hacia el Atlántico en el área conocida como Caribe Guatemalteco, la mayoría de sus cuencas desembocan en el Atlántico a través del golfo de Honduras y Belice. Las precipitaciones de esta región varían

desde los 500 milímetros al año en las regiones semiáridas de Zacapa y Chiquimula hasta los 4 000 milímetros en el departamento de Izabal.

Figura 9. **Cuencas hidrográficas de la vertiente del Atlántico**



Fuente: MARN, cuencas hidrográficas de Guatemala. p. 24.

Tabla III. **Cuencas hidrográficas de la vertiente del Atlántico**

Vertiente del Atlántico			
	Cuenca	Área en Km²	% Área Nacional
2,1	Grande de Zacapa	2 462	2
2,2	Motagua	12 670	12
2,3	Rio Dulce	3 435	3
2,4	Polochic	2 811	3
2,5	Cahabón	2 459	2
2,6	Sarstún	2 109	2
2,7	Mopán Belice	4 910	5
2,8	Hondo	2 575	2
2,18	Moho	643	1
2,19	Temash	69	0
Total	10 cuencas	34 143	31%

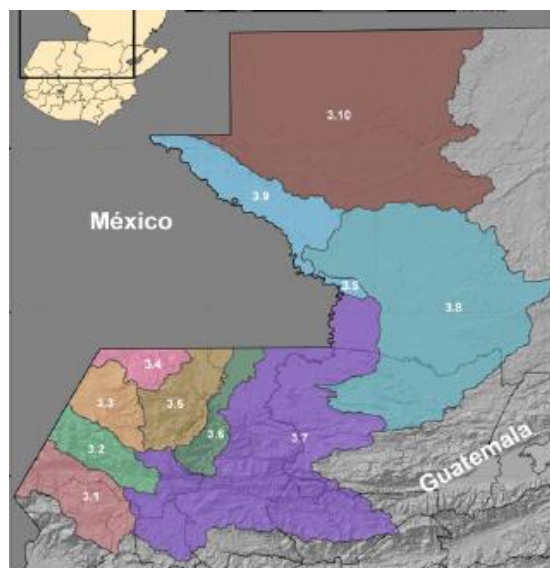
Fuente: elaboración propia, con datos del MARN, cuencas hidrográficas de Guatemala. p 3.

2.4.3. Vertiente del golfo de México

Es la vertiente más grande de la República de Guatemala, abarcando un área aproximada del 47 por ciento del territorio nacional y sus cuencas son compartidas con México. Uno de sus principales atractivos es que se registra como la vertiente más caudalosa de Guatemala, según datos del INSIVUMEH en el 2006 aportó un 49 por ciento del recurso hídrico total del país. El río más caudaloso de toda Centroamérica se localiza en esta región, siendo la frontera natural entre Guatemala y México, el Usumacinta; además la hidroeléctrica más grande de Guatemala Chixoy, se encuentra en la cuenca del río del mismo nombre.

Las precipitaciones en esta región se registran entre los 1 000 mm/año en el departamento de Alta Verapaz, hasta los 5 500 mm/año en Huehuetenango.

Figura 10. Cuencas hidrográficas de la vertiente del golfo de México



Fuente: MARN, cuencas hidrográficas de Guatemala. p. 35.

Tabla IV. **Cuencas hidrográficas de la vertiente del golfo de México**

Vertiente del Golfo de México			
	Cuenca	Area en Km²	% Área Nacional
3,1	Cuilco	2 274	2
3,2	Selegua	1 535	1
3,3	Nentón	1 451	1
3,4	Pojom	813	1
3,5	Ixcán	2 085	2
3,6	Xaclbal	1 366	1
3,7	Chixoy	12 150	11
3,8	La Pasión	12 083	11
3,9	Usumacinta	2 638	2
3,10	San Pedro	14 335	13
Total	10 cuencas	50 730	47%

Fuente: elaboración propia, con datos del MARN, cuencas hidrográficas de Guatemala. p. 3.

2.5. Precipitaciones

La precipitación es uno de los fenómenos que constituyen el ciclo hidrológico. Luego de evaporarse de la superficie terrestre y pasar en fase gaseosa hacia la atmósfera, el agua se condensa y se precipita nuevamente hacia la superficie terrestre en forma de lluvia, nieve o granizo.

El agua precipitada hacia la tierra tiene varios destinos, una parte de esta es evaporada nuevamente hacia la atmósfera antes de que toque la superficie, la otra se escurre por la superficie terrestre formando la escorrentía superficial que se concentra en cauces de agua que, posteriormente desembocan en un lago u océano y la última parte del agua precipitada se infiltra en la tierra, formando flujos subterráneos e infiltrándose en el manto freático.

En Guatemala, la época lluviosa ocurre durante los meses de mayo a octubre de cada año, al tratarse de un país estrecho críticamente limitado por dos de los más grandes océanos del mundo, este se ve afectado cada año con amenazas de tormentas tropicales que posteriormente tienden a convertirse en huracanes de intensidades fuertes, tal y como se registraron el Mitch y Stan en 1998 y 2005 respectivamente. Muchas de las tormentas tropicales que amenazan a Guatemala desaparecen literalmente al tocar el territorio nacional, esto debido a las grandes cadenas montañosas que atraviesan al país.

El INSIVUMEH, a través de sus estaciones meteorológicas registra las cantidades de agua precipitada durante el año, cabe destacar que en departamentos como Petén, aunque no sea época lluviosa, se registran precipitaciones en cualquier época del año debido a sus condiciones atmosféricas. Los registros van desde los 500 mm/año en los departamentos más áridos hasta los 4 500 mm/año en los más lluviosos.

A pesar de estos registros de precipitaciones y tormentas que registra el INSIVUMEH, aún no existe un régimen de lluvias que sea capaz de representar las probabilidades de ocurrencia de tormentas en la república.

2.5.1. Curvas de intensidad duración y frecuencia

Las curvas de intensidad duración y frecuencia (IDF) son utilizadas, frecuentemente como un medio para representar los regímenes de intensidad de lluvia de una región. Al tratarse del diseño hidráulico de una infraestructura en donde se involucre la cantidad de escorrentía originada por la lluvia, estas curvas toman un papel importante debido que, para construirlas se estudian probabilidades de ocurrencia de eventos meteorológicos.

Las curvas intensidad, duración y frecuencia se desarrollan a partir de datos de tormentas registradas en los últimos años y se asocian a periodos de probabilidad de ocurrencia de las mismas, comúnmente llamados periodos de retorno que, generalmente se toman de 2, 5, 10, 20, 25, 30, y 50 años.

Una vez desarrollada la curva, esta puede ser utilizada para el diseño hidráulico, ya que su finalidad es proporcionar la intensidad de lluvia asociada a un periodo de retorno y a un tiempo de duración de la tormenta. Finalmente este valor de intensidad de lluvia es introducido en la ecuación del método racional para calcular el caudal de escorrentía.

En Guatemala existe, únicamente un informe desarrollado a partir de datos del INSIVUMEH, en donde se desarrollan los cálculos experimentales para las curvas de 28 estaciones en la república.

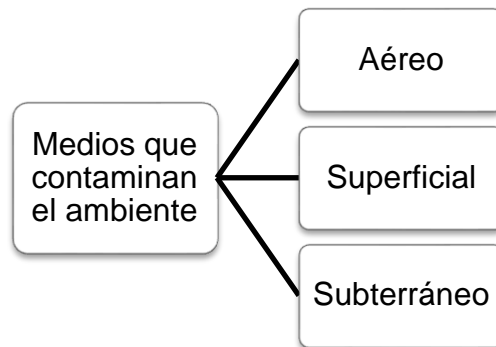
3. SITUACIÓN AMBIENTAL DE GUATEMALA

El ambiente, en términos generales, es conocido como el conjunto de elementos que rodean al ser humano, sean estos bióticos como la flora y fauna o abióticos como el agua, aire y suelo.

Cuando se habla de contaminación ambiental, se debe saber que el sistema abiótico es contaminado a través del medio que lo conforma, una vez el medio conductor se contamina, este afecta a los demás elementos de sistema ambiental.

Los principales medios que contaminan el sistema ambiental son: el aéreo, superficial y subterráneo. Estos afectan directamente al sistema abiótico que al estar contaminado produce serias alteraciones a la estabilidad del sistema biótico contaminándolo.

Figura 11. **Medios que contaminan el sistema ambiental**



Fuente: elaboración propia.

En Guatemala, las instituciones encargadas de velar por la estabilidad ambiental juegan un papel importante en la prevención de la contaminación. Hasta el 1987, el sector público encargado de la gestión ambiental era la Comisión Nacional de Medio Ambiente, según el Decreto Legislativo 68-86, que establecía a esta institución como encargada de la gestión ambiental.

Actualmente, la gestión ambiental se desarrolla de acuerdo a estrategias de fortalecimiento institucional, declaratoria de áreas protegidas, administración y supervisión de áreas protegidas, manejo de flora y fauna silvestre, educación ambiental e investigación de áreas protegidas.

Para desarrollar las estrategias, se ha delegado a instituciones velar por cada una de ellas, dentro de estas instituciones se encuentran: Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social a través de la Dirección de Programas de Salud y Ambiente, Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación a través del impulso a la Ley de Aguas y Ley de Pesca; Ministerio de Energía y Minas, Ministerio de Educación, Ministerio de Comunicaciones, Infraestructura y Vivienda a través de la promulgación de los estudios de impacto ambiental; Instituto de Fomento Municipal (INFOM), Instituto Guatemalteco de Turismo (INGUAT) y Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN).

3.1. Niveles de contaminación ambiental en Guatemala

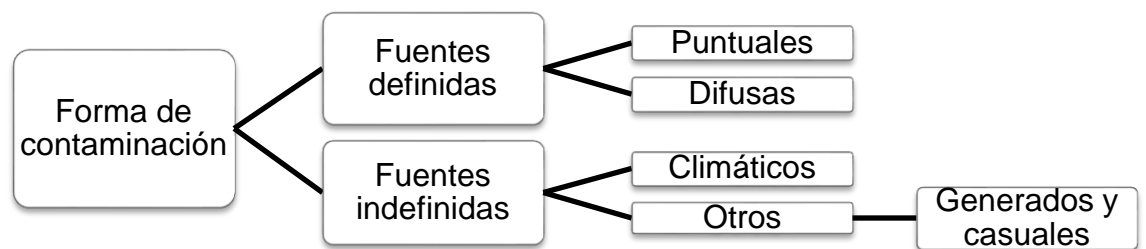
El conjunto de elementos bióticos y abióticos que rodean al ser humano se contaminan a través de un medio, los niveles de contaminación ambiental que se describen a continuación se enfatizan en representar el medio que contamina a cada uno de los componentes ambientales, siendo estos: agua, suelo y aire.

3.1.1. Contaminación del agua

El agua es un líquido que, por el uso que recibe, su contaminación tiende a ir en aumento. No solo el usarla mal es motivo de contaminación, el tirar desechos sólidos en los afluentes, también lo es, un ejemplo de esto es la proliferación del cadmio, este resulta de la combustión del carbón y de la basura y es un contaminante crítico del agua, ha sido encontrado en 8 cuencas de Guatemala, según indica la tabla V, por lo que el agua proveniente de esos ríos ya no puede ser utilizada para el uso y desarrollo humano.

El agua es contaminada por fuentes definidas e indefinidas, de acuerdo a la figura 12 es a través del medio superficial, subterráneo y aéreo inclusive. Asimismo, por los residuos de fertilizantes y contaminantes que se encuentran en la superficie terrestre, los cuales son arrastrados por el agua de lluvia hasta que desembocan en el arroyo, produciendo así una fuente de contaminación ambiental difusa.

Figura 12. **Forma de contaminación del agua**



Fuente: elaboración propia.

3.1.1.1. Fuentes definidas

Son las fuentes de contaminación que se registran con datos estadísticos, pudiendo así contabilizar la cantidad de contaminación que están produciendo.

3.1.1.1.1. Fuentes puntuales

Las fuentes puntuales que contaminan el agua son aquellas que pueden ser contabilizadas y ubicadas en el lugar donde se están desarrollando. Se menciona como principal fuente puntual de contaminación del agua superficial y subterránea la descarga directa de agua servida proveniente de uso doméstico, industrial y agrícola sin haber tenido un tratamiento.

El informe ambiental del Estado de Guatemala indica que en Suchitepéquez existen 8 municipios que en 2011 acumularon una cantidad de 1 194 descargas de aguas negras sin tratamiento.

En Alta Verapaz se reportó finalizada la construcción de una planta de tratamiento para atender 4 000 usuarios en el municipio de Cobán, por otro lado, en ese mismo departamento existe una planta de tratamiento en el municipio de San Cristóbal Verapaz, la cual no funciona.

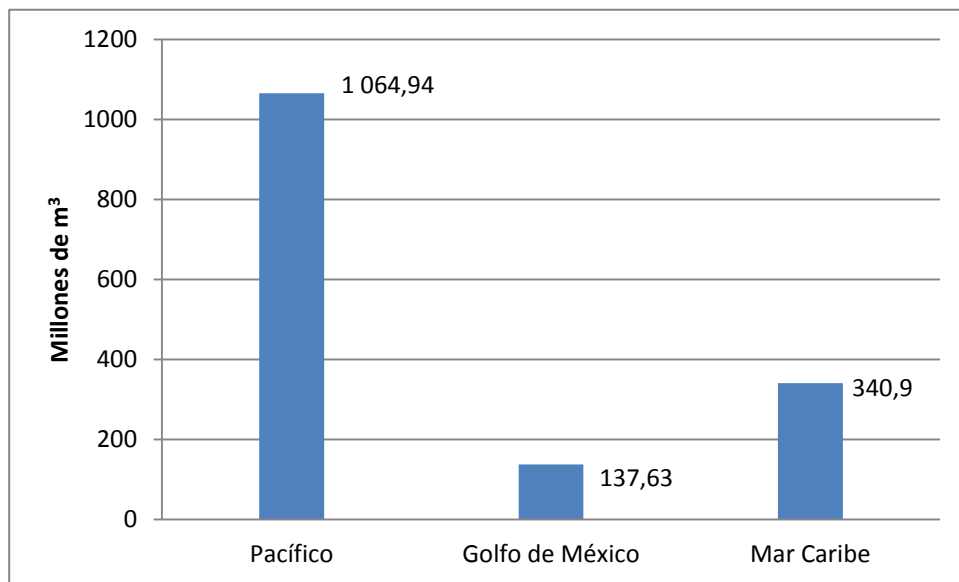
Baja Verapaz cuenta con 10 plantas de tratamiento que abarcan a 5 municipios, de las cuales solo 5 están en operación. Por otro lado, en Totonicapán se registra una planta de tratamiento administrada por los vecinos, entre otras ubicadas en el casco metropolitano y en el interior de la República.

Como se observa en los datos proporcionados anteriormente, aunque existen algunas plantas de tratamiento de aguas negras en el país, estas no

son suficientes para erradicar por completo el problema de contaminación que representa la descarga directa del agua residual en los cuerpos receptores, en Guatemala aún existe trabajo por hacer para reducir este tipo de contaminación.

A continuación, en la figura 13 se muestran las cantidades de aguas residuales generadas anualmente por cada una de las vertientes hidrográficas de Guatemala, esta información esta proporcionada en millones de metros cúbicos.

Figura 13. **Generación de aguas residuales por vertiente**



Fuente: elaboración propia, con datos del MARN, informe ambiental de Estado 2011. p. 97.

Las cantidades de agua residual producidas anualmente son altas, y para reducir la contaminación por este medio se requiere de la implementación de plantas de tratamiento de aguas residuales en la república, haciendo énfasis en el área de la vertiente del Pacífico.

De los datos anteriores se puede realizar una proyección del agua residual generada por vertiente a datos que se pueden concebir de mejor manera, del capítulo II de este trabajo se obtienen los datos de la extensión territorial que cada vertiente ocupa dentro del territorio nacional.

El agua residual anual generada en cada vertiente hidrográfica de Guatemala, dividida dentro de su área respectiva, da como resultado la cantidad de agua residual en metros cúbicos por unidad de kilómetros cuadrados, como se muestra en tabla V.

Tabla V. **Aguas residuales por vertiente hidrográfica de Guatemala distribuidas por unidad de área en km²**

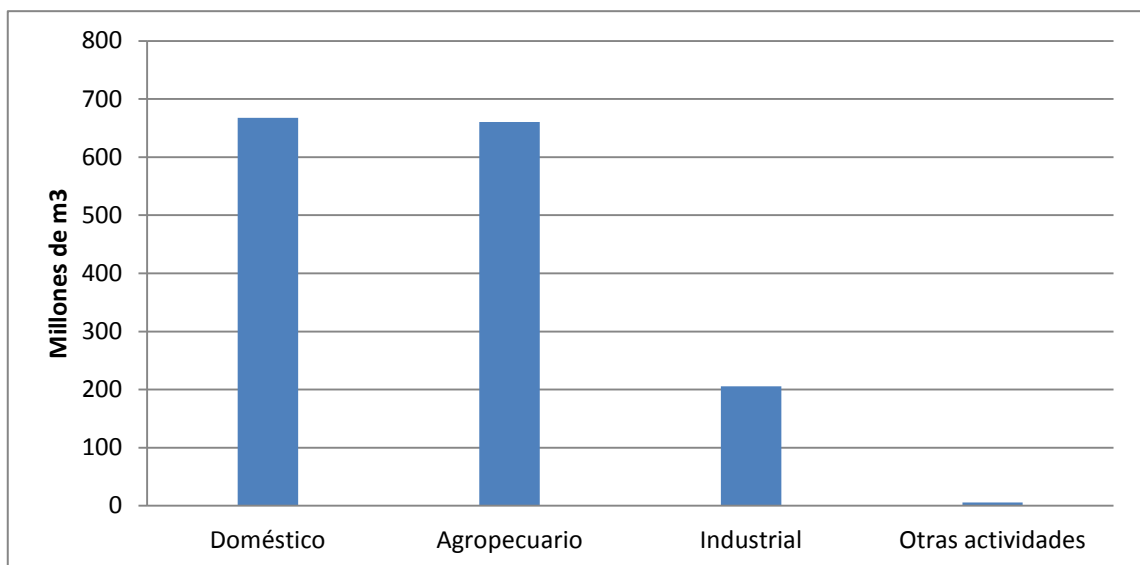
Vertiente	Agua residual producida anualmente en millones de m³	Área en km²	Agua residual por unidad de área, m³ por km² (anual)	Agua residual por unidad de área, m³ por km² (diario)
Pacífico	1 064,94	24 021	44 333,70	121,47
Atlántico	137,63	34 143	4 030.99	11,04
Golfo de México	340,90	50 730	6 719,89	18,41

Fuente: elaboración propia, con datos del MARN.

En la tabla V se observa que la vertiente más densa en cuanto a generación de agua residual en unidades de m³/km² por día, es la vertiente hidrográfica del Pacífico, en esta tabla se observa con claridad que la vertiente que sigue, en cuanto a generación de agua residual es la perteneciente al Golfo de México y, por último la vertiente del Atlántico.

El agua residual se genera dependiendo de su uso, en Guatemala los sectores que se ven con más actividad en el uso del agua son: el sector doméstico, industrial y agropecuario. Los datos de generación de aguas residuales de acuerdo a la actividad económica por sectores en Guatemala se muestran en la figura 14.

Figura 14. **Generación de aguas residuales por actividad**



Fuente: elaboración propia, con datos del MARN, informe ambiental de Estado 2 011. p. 97.

A pesar de que la mayor cantidad de volumen de agua residual es proveniente del uso doméstico y agropecuario, los contaminantes de las aguas se miden en cantidades de demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y demanda química de oxígeno (DQO), el MARN demuestra que la mayor carga de estos componentes se obtiene de las agroindustrias de la vertiente del Pacífico, también indica que el sector industrial genera más carga de estos que el sector doméstico.

3.1.1.1.2. Fuentes difusas

Las fuentes de contaminación difusas, también son contaminantes que afectan al agua de manera indirecta, este tipo de contaminación se da a partir de la erosión de los suelos y escorrentía superficial, esta fuente de contaminación proviene, principalmente de la ganadería, agricultura, drenaje urbano y rellenos sanitarios, afectando directamente al agua subterránea.

3.1.1.2. Fuentes indefinidas

Son las fuentes de contaminación ambiental de las cuales no se puede llevar un registro preciso de cuándo, cómo y dónde se están desarrollando; generalmente son producidas por respuestas naturales del ambiente en donde la mano del hombre no interviene.

3.1.1.2.1. Climáticos

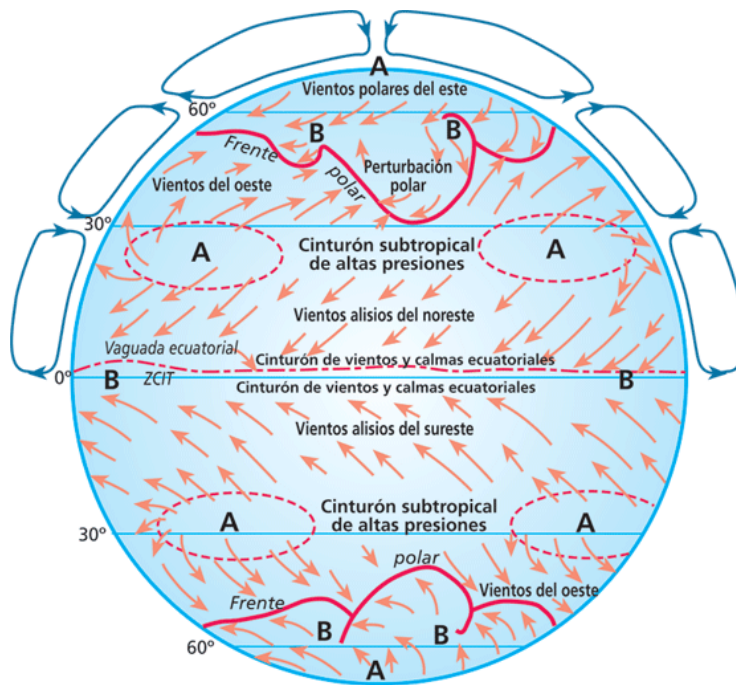
El clima es el producto de factores astronómicos, geográficos y meteorológicos de una región, adquiere características relativas a la topografía de la región y abarca elementos del tiempo atmosférico como: temperatura, humedad, presión, vientos y precipitaciones; por lo tanto es importante su consideración como fuente indefinida de contaminación ambiental, es decir, el clima no contamina directamente al ambiente, pero puede constituirse como un medio que altera las condiciones ambientales de una región, produciendo así inestabilidad ambiental.

Los vientos circulan en la atmósfera terrestre y tienen la capacidad de arrastrar partículas y semillas, por lo tanto son considerados como un poderoso

agente erosivo. Los vientos se dividen de acuerdo a la extensión de su recorrido en tres principales grupos que son: globales o planetarios, regionales y locales.

Los vientos planetarios son producidos por el movimiento de rotación de la Tierra y abarcan a las regiones polares, ecuatoriales y subtropicales. Los vientos regionales son determinados por la geografía de las regiones continentales mientras que los locales se producen por las condiciones climáticas de regiones más pequeñas.

Figura 15. **Circulación global de vientos**



Fuente: <http://otraorillahistoria.foroactivos.net/t2329-los-vientos-y-la-circulacion-atmosferica>.

Consulta: 28 de abril de 2014.

Guatemala es un país estrechamente limitado por los océanos Pacífico y Atlántico y se encuentra localizado dentro del trópico de cáncer, aproximadamente a una latitud de 15 °N, por lo tanto se constituye como un país tropical. Se localiza dentro del área donde los vientos alisios soplan desde el noreste y, por lo tanto tiene la tendencia de sufrir las consecuencias de las alteraciones meteorológicas que se desarrollan en el océano Atlántico.

Los vientos norte-sur que atraviesan al país son ligeramente insensibles en la mayor parte de la superficie del territorio nacional debido al relieve mayormente montañoso, estos vientos son críticos generadores de alteraciones meteorológicas cuando alcanzan alturas elevadas en donde suele haber frentes calientes como fríos que generan tormentas tropicales que afectan al país, alterando así las condiciones meteorológicas, produciendo más lluvia de la esperada, con lo que incrementa el riesgo de inundaciones y alteraciones ambientales generales.

3.1.1.2.2. Otros

- Generados y casuales

Las fuentes de contaminación indefinidas se distribuyen de acuerdo a hechos que no van ligados directamente con la interacción de la mano del hombre, estas son aquellas que son causadas por la misma naturaleza o efectos de procesos atmosféricos como los incendios de bosques, en donde la mano del hombre no interacciona, los cuales producen emanación de gases del efecto invernadero.

Otra fuente de contaminación indefinida casual es la erupción de los volcanes; al activarse, los volcanes generan gran cantidad de gases contaminantes que muchas veces suelen ser cantidades mayores a los generados por el sector industrial.

Los desechos tanto de la quema de bosques como de erupciones volcánicas son arrastrados posteriormente por la escorrentía superficial y contaminan los cuerpos receptores de agua.

3.1.1.3. Efectos de la contaminación hídrica

Una de las principales consecuencias de la contaminación del agua es la limitación al uso de este, muchos ciudadanos sin tener conocimiento usan el agua contaminada y esto provoca que en Guatemala aún existan altos índices de mortalidad infantil y enfermedades relacionadas: como diarreas y enfermedades gastrointestinales.

Ocho son las cuencas de Guatemala mostradas en la tabla VI que han sido reportadas con concentraciones de contaminantes químicos mayores al límite máximo permisible, es decir, estos ríos ya no son aptos para consumo humano según la Norma COGUANOR NGO 29 001 de 1998.

Otro de los efectos de la contaminación hídrica es la desaparición de los afluentes con el paso del tiempo, esto por la cantidad excesiva de bacterias que se alimentan de elementos como fósforo y nitrógeno, abundantes en el agua residual sin tratamiento. Según el inventario regional de los cuerpos de agua continentales del istmo centroamericano, hasta el 2005 había desaparecido 13 cuerpos de agua en Guatemala (ver tabla VII).

Tabla VI. **Ríos no aptos para el consumo humano hasta el 2005**

Cuenca	Río	Contaminante presente en cantidades mayores al LMP	Clasificación
Sis-Icán	Icán	pH mayor a 7,5	<p align="center">Según COGUANOR NGO 29 001</p> <p align="center">No apta para el consumo humano</p>
Grande	Shutaque	Turbiedad	
Naranjo	Nahuatán	Aluminio	
Sis-Icán	Sis	Aluminio	
Grande	Grande	Nitratos	
Suchiate	Cabuz	Cromo	
Grande Zacapa	Grande	Cadmio	
	Shutaque		
	San José		
Achiguate	Achiguate		
Nahualate	Cutzán		
Naranjo	Nahuatán		
Sis-Icán	Sis		
	Nahualate		
Madre Vieja	Madre		
	Naranjo		
	Melendrez		
Motagua	Motagua		
Suchiate	Suchiate		

Fuente: elaboración propia, con datos del MARN, informe ambiental de Estado, 2011. p. 114.

Tabla VII. **Cuerpos de agua desaparecidos en Guatemala entre 1990 y 2005**

No.	Nombre	Ubicación
1	Laguna Polizada	Alta Verapaz
2	Laguna San Vicente	Alta Verapaz
3	Río Madre Vieja	Retalhuleu
4	Río Madre Viejita	Retalhuleu
5	Laguneta los Tomatales	Retalhuleu
6	Laguna de Retana	Jutiapa
7	Laguna Grande	Jutiapa
8	Laguna de aldea la Laguna	Jutiapa
9	Laguna La Blanca	Petén
10	Laguna Juan Miguel	Santa Rosa
11	Laguna Palo Blanco	Escuintla
12	Laguna Quilisimate	Sacatepéquez
13	Laguna Danta	Quiché

Fuente: elaboración propia, con datos del MARN, informe ambiental de Estado, 2011. p. 79.

La tabla VII enlista los afluentes que dejaron de existir según el informe realizado en el 2005; si se toma en cuenta que este estudio se realizó entre 1990 y el 2005, es decir, en el transcurso de 15 años, es interesante imaginar cómo se encuentra el estado actual de los cuerpos de agua 8 años después del último informe.

Tal y como está sucediendo con la cuenca del lago de Atilán y las cianobacterias, esta bacteria se alimenta del fósforo y nitrógeno que existe en casi la totalidad de la cuenca, y de no mejorar la situación a nivel regional, posiblemente el lago llegue a desaparecer con el crecimiento de esta a largo plazo.

El primer afloramiento de cianobacterias en el lago de Atitlán ocurrió en noviembre de 2011, lo que permitió que varias instituciones realizaran estudios para identificar su origen, la Universidad de San Carlos de Guatemala estuvo dentro las instituciones; se logró determinar que el detrimento del lago se debía al profundo deterioro de la cuenca completa.

Sobre la orilla del lago a lo largo del área de restaurantes de Panajachel, se puede observar cómo aguas sin ser tratadas son directamente descargadas en el lago, lo que resulta una situación lamentable para el ambiente y su deterioro paulatino, esto repercute en aspectos negativos para el turismo, local, regional, nacional e internacional y el deterioro socioeconómico de las comunidades por falta de ingresos, producto del turismo.

3.1.2. Contaminación atmosférica

La atmósfera es el elemento fundamental para la salud y calidad de vida de los seres humanos, los contaminantes existentes en ella se movilizan a través de la circulación del aire, constituyéndose como un medio de contaminación ambiental, existen agentes acarreados por el aire de la atmósfera que provocan infecciones respiratorias en los seres humanos.

La contaminación del aire afecta a toda clase de vida que se desarrolla en la tierra, no solo a seres humanos sino también, a los ecosistemas que posteriormente se ven afectados por cambios climáticos y el calentamiento global.

Los contaminantes atmosféricos son producto de las actividades humanas y algunos casos de fuentes naturales, tal y como lo son las erupciones volcánicas, los incendios forestales, el consumo de combustibles fósiles y

procesos industriales que generan como producto gases que alteran la atmósfera a través del efecto invernadero. Los gases de este efecto son generados a través de la combustión de leña, bagazo de caña, residuos de cosechas, papel y carbón.

3.1.2.1. Gases contaminantes de la atmósfera

Como se ha mencionado, existen gases como los provenientes de combustiones que afectan al equilibrio atmosférico mediante el efecto invernadero, así también existen otros que alteran la atmósfera, como partículas menores de 10 micras, dióxido de nitrógeno y dióxido de azufre que, también contribuyen a la contaminación atmosférica. El medio principal que produce la contaminación atmosférica es el aire.

3.1.2.1.1. Monóxido de carbono

El monóxido de carbono es un gas dañino para la salud y es el principal contaminante emitido en Guatemala, se considera altamente dañino, ya que tiene 210 veces más alta afinidad con la hemoglobina de la sangre que el oxígeno. Las más altas procedencias de este gas son de la combustión de leña para cocinar, uso de vehículos y quema de basura.

3.1.2.1.2. Partículas menores a 10 micras

Por su tamaño, estas partículas no son visibles por el ojo humano, también proceden de la quema de leña; por otro lado provienen del calor guardado en las viviendas, también se generan en caminos de terracería que desprenden polvo y vehículos. En la ciudad de Guatemala ya existen altas

concentraciones de estas partículas en el aire, lo que genera una contaminación del aire en proporciones considerables.

3.1.2.1.3. Dióxido de nitrógeno

Es el principal factor para la generación de lluvia ácida, al entrar en contacto con moléculas de agua en el aire, este reacciona en forma de ácido nítrico, actualmente en la ciudad de Guatemala, los valores de este contaminante han excedido lo que se considera como tolerante para el ser humano.

3.1.2.1.4. Dióxido de azufre

Este es otro de los principales componentes de la lluvia ácida, se genera mediante la combustión de hidrocarburos y combustibles fósiles.

Existen emisiones provenientes de fuentes fijas y otras de fuentes móviles, se estima que las fuentes fijas emisoras de este gas aportan aproximadamente el 55 por ciento del mismo, mientras que las móviles un 35 por ciento del total de gases emanados.

3.1.2.2. El efecto invernadero

Los gases del efecto invernadero son los que permiten que las condiciones climáticas de la Tierra se mantengan estables; son los encargados de reflejar de vuelta al espacio aproximadamente una tercera parte de la radiación que el sol emite hacia este planeta. Estos gases existen de manera natural en la atmósfera terrestre y de no ser por ellos, la radiación solar sería mortífera para toda clase de vida sobre la Tierra y su temperatura sería baja.

Como se ha mencionado, estos gases se mantienen en la atmósfera terrestre y algunos de ellos como: vapor de agua, dióxido de carbono, metano y el monóxido de carbono son generados a gran escala en la Tierra por las actividades que el ser humano realiza y es en ese momento cuando el problema de contaminación inicia.

Como se conoce, las plantas realizan el proceso de respiración de manera inversa al ser humano en el día, con la ayuda de la luz solar, absorben dióxido de carbono y producen oxígeno, al ser tan elevada la cantidad de dióxido de carbono producida por el ser humano, las plantas no purifican su totalidad y este gas se convierte en un exceso que posteriormente se eleva y toma lugar en la atmósfera junto a los demás gases, formando así una cantidad considerable que permite que la radiación sea reflejada en muchas direcciones, provocando cambios de temperatura en las diferentes capas que constituyen la atmósfera.

En la medida que el dióxido de carbono se acumula en la atmósfera, también lo hacen los demás gases del efecto invernadero, y es por este fenómeno que el calentamiento global va cada día en aumento.

Cuando la temperatura media mundial aumenta debido a los gases del efecto invernadero, que son producto de las actividades humanas, se dice que este fenómeno es llamado calentamiento global. El clima sobre la Tierra tiene distintas variabilidades según sean sus condiciones de humedad y elevación, esto sumado al calentamiento global, provocan los cambios climáticos en diferentes regiones, es decir, el cambio climático es producto del calentamiento global y altera las condiciones climáticas específicas de cada región.

El incremento de los gases del efecto invernadero se da por actividades humanas como: la quema de combustibles fósiles, descomposición de materia orgánica y la tala excesiva de árboles, según el informe del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN) de 2011, en Guatemala se han emitido las siguientes cantidades en miles de toneladas, de gases del efecto invernadero entre 1990 y 2005, de acuerdo a la tabla VII.

Tabla VIII. **Emisiones de gases del efecto invernadero**

Sectores		Energía	Procesos industriales	Agri-cultura	Uso de la tierra	De-sechos	TOTAL
Gases	Año						
Dióxido de carbono (CO ₂)	1990	3 700,4	544,7	0	3 244,5	0	7 489,6
	2000	9 342,9	1 235,7	0	10 745	0	21 323
	2005	11	1 451,1	0	8 264,1	0	20 727
Metano (CH ₄)	1990	34,4	0	129,9	4,9	30,4	199,6
	2000	41,6	0	130,6	16,6	41,5	230,3
	2005	44,5	0	167,5	10,1	19,6	241,7
Óxido nitroso (N ₂ O)	1990	0,5	0	19,7	0,03	0,5	20,73
	2000	0,7	0	53,9	0,1	0,6	55,3
	2005	0,7	0	53,7	0,6	0	55
Óxido de nitrógeno (NO _x)	1990	36,9	0	5,7	1,2	0	43,8
	2000	69,8	0	15,8	4,1	0	89,7
	2005	87,1	0	16,9	2,5	0	106,5
Monóxido de carbono (CO)	1990	725,7	0	193,1	42,9	0	961,7
	2000	1 015,6	0	490,3	145,6	0	1 651
	2005	1 078	0	525,6	88,3	0	1 691,9
Compuestos orgánicos volátiles	1990	91,7	14,2	0	0	0	105,9
	2000	135,7	3 121,2	0	0	0	3 256,9
	2005	150,8	263,8	0	0	0	414,6
Óxido de azufre (SO ₂)	1990	74,2	0,3	0	0	0	74,5
	2000	97,7	0,6	0	0	0	98,3
	2005	90	0,5	0	0	0	90,5

Fuente: elaboración propia, con datos del MARN, informe ambiental de Estado, 2011. p. 155.

3.1.2.3. Efectos de la contaminación atmosférica

Los efectos de la contaminación atmosférica se ven reflejados de manera directa en el cambio climático drástico que se ha dado en los últimos años, unido a este cambio de clima está el calentamiento global, motivo de alarma mundial. Sus efectos se sienten por medio de olas de calor más frecuentes, incendios de mayor envergadura, lluvias torrenciales y más seguidas, así como sequías más extensa.

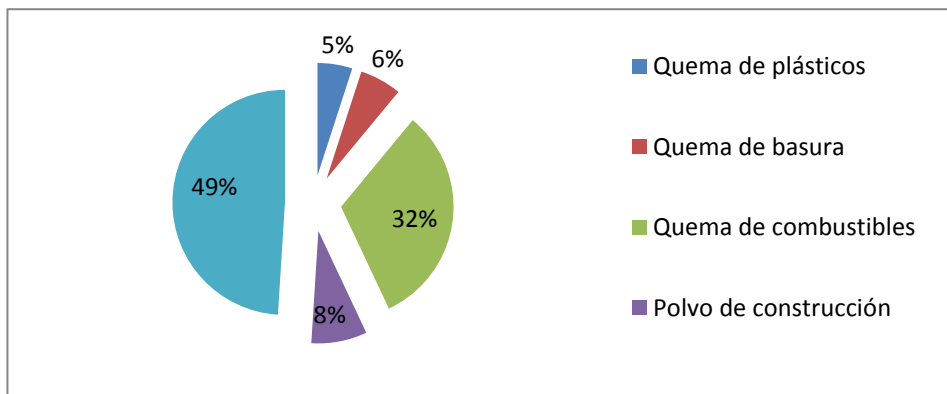
Guatemala, al constituirse como un país con variaciones considerables de clima debido a las distintas ecoregiones que se encuentran dentro de sus fronteras, manifiesta inestabilidad del clima afectando a la población, recursos físicos y abióticos y produciendo gran inseguridad alimentaria debido a los eventos climáticos que alteran las actividades agropecuarias; daños que se traducen en menor calidad de vida por el incremento de la pobreza.

Otro aspecto importante es el incremento de enfermedades respiratorias que son producto de las partículas menores de 10 micras que contaminan el aire, estas producen aproximadamente 2 mil muertes prematuras al año, debido a que las partículas pueden ser inhaladas profundamente afectando a los pulmones y provocando además, enfermedades cardiovasculares y empeoramientos del asma. Para el 2011 se reportaron 2 039 924 casos de infecciones respiratorias y 8 781 muertes.

Un estudio realizado por el Gobierno de Guatemala en el 2006 señala que el costo monetario por la contaminación de la calidad del aire, corresponde a un 0,25 por ciento del Producto Interno Bruto del país en inversiones, es decir, se necesita una cantidad de dinero igual a ese porcentaje del Producto Interno Bruto para tratar de solucionar los problemas de contaminación que existen.

Con el paso de los años las poblaciones han ido identificando las consecuencias de la contaminación del aire, por lo que según estudios realizados por el MARN, se documentaron 186 denuncias con respecto al caso durante 2010 y 2011, habiendo un 49 por ciento de denuncias por malos olores y 51 por ciento de contaminantes físicos del aire: como quema de basura, polvo de construcción y quema de combustibles.

Figura 16. **Registro de denuncias por contaminación del aire**



Fuente: elaboración propia, con datos del MARN, informe ambiental de Estado, 2011. p. 156.

3.1.3. **Contaminación del suelo**

Al igual que el agua y el aire, el suelo se constituye como uno de los principales componentes del sistema ambiental y el principal medio de contaminación del suelo es el superficial. El sector agrícola de Guatemala se constituye como uno de los principales medios que mantienen activa la economía del país, siendo el país mayormente agrícola, es por ello que el suelo juega un papel importante para la República de Guatemala.

El suelo no genera desarrollo por sí solo, es decir, necesita del recurso hídrico para producir bienes que impulsen al desarrollo ambiental y agrícola.

La contaminación del suelo es una amenaza para países como Guatemala, ya que cuando no se obtiene una producción agrícola suficiente para abastecer a los ciudadanos, esto se traduce en deficiencia de producción que afecta la alimentación, generando desnutrición y mala calidad de vida en general. Una mala gestión del suelo se traduce en desnutrición y amenaza de muerte, por lo tanto es importante hacer énfasis en el suelo y gestionarlo con una planificación adecuada para reducir amenazas.

Los bosques, que son dependencia directa del suelo y proporcionan muchos beneficios para los seres humanos y animales, también radican en la creación de productos farmacéuticos y madera, estos son estabilizadores del clima y generan protección para las cuencas hidrográficas a través de la facilitación a la infiltración, reduciendo así las grandes avenidas que generalmente terminan por atentar contra comunidades. Contribuyen a la conducción del agua a través de ríos y proporcionan una ayuda importante para reducir la erosión del suelo.

3.1.3.1. Agentes contaminantes del suelo

Los agentes que contaminan el suelo son aquellos que provocan cambios irreparables en su capacidad para producir bienes agrícolas, estos se detallan a continuación.

3.1.3.1.1. Pérdida de cobertura vegetal

El suelo es degradado dependiendo del uso que tenga, al perderse la cobertura vegetal este se ve expuesto a las acciones erosivas del agua y el viento. El suelo tiene una capa que es fértil, es decir, no toda su profundidad reúne los nutrientes apropiados para generar vida vegetal, al perder la cobertura vegetal y quedar expuesto, la capa fértil es la primera que se pierde con las acciones de la erosión, por lo que la producción agrícola se ve afectada.

Según estudios realizados por el Instituto Nacional de Bosques (INAB), la pérdida de la cobertura vegetal se debe a dos principales factores: uno de ellos es el crecimiento poblacional que genera mayor demanda de energía (leña), de esta demanda de energía se estima que un 84 por ciento es utilizada para suplir actividades domésticas en el área rural, un 13 por ciento para el área urbana y apenas un 3 por ciento corresponde para la demanda industrial. El segundo factor es la demanda de tierras para cultivos que se genera a partir de la extensión de las fronteras urbanas.

3.1.3.1.2. Insecticidas

Los insecticidas, como su nombre lo indica, se utilizan en el ámbito agrícola para eliminar plagas de insectos que atentan contra la cosecha de vegetales. Este producto es eficiente contra los insectos, exterminándolos, está conformado por agentes químicos que permanecen aproximadamente por diez años en el suelo, antes de que puedan ser degradados y de este modo alteran las condiciones de vida de la flora y fauna oriunda del lugar, provocando extinciones.

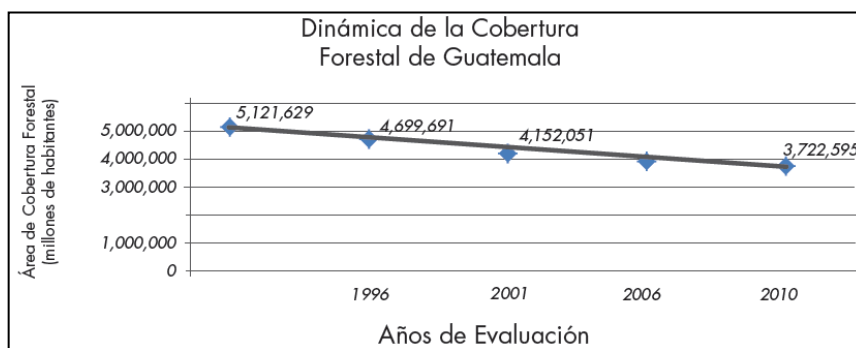
3.1.3.1.3. Herbicidas

Son utilizados como alternativa para erradicar las hierbas que crecen en lugares predestinados para el cultivo. El problema del uso de los herbicidas radica en el hecho de que las aves y otros animales se alimentan de hierbas, si un ave u otro animal herbívoro se alimenta de una rociada con algún tipo de herbicida, esta morirá poco tiempo después de haberla ingerido.

3.1.3.2. Consecuencias

En Guatemala existen altos índices de deforestación y la reforestación que realizan los entes públicos no es suficiente para suplir la demanda, por lo que la cobertura vegetal del país se ha visto afectada y cada año se registran pérdidas de esta, hecho lamentable, ya que de seguir con esta tendencia, en un futuro no muy lejano el territorio nacional ya no contará con la cantidad de bosques necesaria para reducir los gases contaminantes, generando un calentamiento global más elevado, y por otro lado un suelo erosionado incapaz de producir bienes agrícolas para suplir a toda la república.

Figura 17. **Dinámica de cobertura vegetal de Guatemala**



Fuente: MARN, informe ambiental de Estado, 2011. p. 206.

Los insecticidas, por su parte contienen agentes químicos contaminantes del suelo que indirectamente afectan al desarrollo de la vida silvestre de los alrededores del lugar donde son utilizados. El problema no radica únicamente en la alteración de la vida silvestre, sino también en el hecho de que sus agentes contaminantes pueden pasar hasta diez años en el lugar sin degradarse, si se analiza detenidamente este hecho se puede entender que, en Guatemala muchos suelos aledaños a comunidades son utilizados para el cultivo de hortalizas, pero si el terreno tiene altos índices de contaminación, perderá su valor y no podrá utilizarse más con ese fin, afectando así a los tenedores de la tierra, incrementando los índices de pobreza.

3.2. Cambio climático

Existe infinidad de ecoregiones a nivel mundial y cada una de ellas cuenta con un clima específico que la hace ser diferente de cualquier otra, solo en Guatemala existen alrededor de 14 ecoregiones únicas en el mundo con variedad de flora y fauna oriunda de cada una de ellas, cuando el ambiente se ve afectado a través de los distintos medios que lo conforman, dígase, el sistema atmosférico, hídrico y edáfico, surgen variedades del clima que son producidas directamente por la contaminación y mal uso de los recursos naturales que se traduce en pequeñas variaciones de clima denominadas, cambio climático.

El cambio climático afecta de manera directa a la flora y fauna de cada ecoregión, existen especies de flora y fauna que no pueden desarrollarse si las condiciones atmosféricas como: humedad, viento y temperatura no son las adecuadas, si bien es cierto, el clima no cambia de la noche a la mañana y de hecho, las variaciones que se dan cada año son casi imperceptibles para el ser humano, las especies endémicas de cada región logran determinar las

condiciones de vida a las que están siendo sometidas y al no lograr adaptarse a cambios drásticos, simplemente mueren y pasan a la historia, catalogadas como extintas.

Es lamentable saber que mucha variedad de flora y fauna, no solo de Guatemala sino del mundo entero, ha dejado de existir por causa del abuso que el ser humano comete contra los recursos naturales.

El cambio climático es provocado por la mala gestión de los recursos naturales, acciones como: tala excesiva de árboles, uso de insecticidas, herbicidas y los desechos agroindustriales, mal uso de la tierra y contaminación de afluentes hídricas, contribuyen a que los cambios en el clima sean cada vez más notorios y drásticos.

Adicional al cambio climático y como colaboración para la destrucción del ambiente, se encuentra el calentamiento global, este se debe a la emisión en exceso de gases del efecto invernadero, que permiten que cada vez menos radiación llegue a la superficie terrestre, calentándola considerablemente.

Si se hace un análisis del cambio climático y el calentamiento global junto, se podrá determinar que uno beneficia al otro, pero ambos a la vez se encargan de modificar las condiciones de vida, generando así una inestabilidad exagerada para el desarrollo de la vida sobre la Tierra.

No se trata únicamente de tener conocimiento sobre los problemas que el cambio climático genera, sino de tomar acción informando a la población sobre cómo reducir estos riesgos, aprendiendo a cuidar el ambiente como parte de la vida.

3.2.1. Efectos del cambio climático en Guatemala

Son varios los procesos que se ven afectados por el cambio climático, entre ellos está la inestabilidad para desarrollo de la vida silvestre, producción de bienes agrícolas y en sí el crecimiento poblacional. Al aumentar la temperatura en la superficie terrestre, existe también un incremento en la evaporación del agua que se convierte en una precipitación mayor a la esperada en la región, modificando el hábitat de las especies.

El cambio del clima adicionado a la tala excesiva de árboles ha provocado en Guatemala una erosión genética progresiva del suelo, produciendo altas tasas de mortalidad de las especies endémicas de las distintas ecoregiones, pero esta erosión no afecta únicamente a las especies silvestres, el ser humano también sufre las consecuencias de sus propios actos, ya que existe gran cantidad de terreno que no puede ser aprovechable para el cultivo de hortalizas y de este modo la calidad de vida se modifica.

Según estudios realizados por el MARN, de no mejorar la situación del cambio climático, para los de 2050- 2080 se habrá perdido aproximadamente un 50 por ciento de la diversidad genética actual del país. Las áreas con mayor amenaza son: la sierra de las Minas y la reserva de la Biósfera Maya.

Un aspecto importante a mencionar como consecuencia del cambio en el clima es la alteración de los eventos hidrológicos, como se mencionaba, una alta temperatura se traducirá en una mayor evaporación que, posteriormente provocará mayores precipitaciones y avenidas que atenten contra la calidad de vida para los ciudadanos que viven a los alrededores de las cuencas hidrográficas.

4. GESTIÓN INTEGRAL DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA

4.1. Planificación de cuencas hidrográficas

Diversos intereses relacionados con el uso del agua plantean retos importantes que inciden en la toma de decisiones relativas al manejo del recurso hídrico, particularmente cuando se trata de satisfacer equitativamente las necesidades de las poblaciones. La buena gestión de dicho recurso es uno de los retos más grandes que afronta el país, debido a que no solo en Guatemala sino en el mundo entero, este vital líquido es considerado uno de los fuertes más significativos para atraer el desarrollo a las comunidades.

La planificación de cuencas hidrográficas resulta de la necesidad de mantener un ambiente apto para el bienestar de cualquier tipo de vida que se desarrolle dentro de sus límites, desde el 1973 se comenzó a utilizar el territorio como una base para la planificación, con el paso del tiempo, los conceptos han evolucionado y la cuenca hidrográfica ha comenzado a tener un interés particular como unidad de planificación territorial.

No se trata únicamente de la delimitación de un territorio, sino además de lo que sucede dentro de él, es decir, se trata de identificar la manera en que los cambios ambientales inciden en la toma de decisiones para el uso del recurso y la planificación en general. Anteriormente, como punto de partida para llevar a cabo una planificación se utilizaba la unidad territorial, con el paso del tiempo se ha determinado que solo con un área de terreno en particular, no se puede desarrollar una planificación adecuada que envuelva lo que sucede dentro de ella.

Al hablar específicamente de la contaminación dentro de una gran región, se llega a cuestionar asuntos importantes como la estabilidad ambiental de su entorno y las formas en que se relacionan.

Siendo el manejo del agua un aspecto de suma importancia para el desarrollo de las comunidades, este debe ser distribuido según al tipo de desarrollo que genera, conociendo así las prioridades y planificándola de acuerdo a ellas, de modo que sea para beneficio equitativo de toda la población.

Al analizar microrregiones dentro de una misma cuenca, se busca que los sistemas hidrológicos y geológicos sean coherentes y relativamente similares entre sí, para proyectarse en un área considerablemente grande que brinde las condiciones hidrológicas y geológicas para las diferentes comunidades que se desarrollan dentro de ella.

La planificación de cuencas hidrográficas se ha subdividido a lo largo de su desarrollo en diferentes tipos que han marcado un interés particular sobre cada uno de los recursos que componen la totalidad de la cuenca, siendo estos, hídricos, ambientales y mixtos.

4.1.1. Planificación de recursos hídricos

Una de las primeras ideas de planificación que surgió como respuesta a la necesidad de determinar los espacios adecuados para el desarrollo de las comunidades fue la planificación de recursos hídricos, su principal objetivo fue el dar a conocer a través de procesos hidrológicos y geológicos las áreas menos aptas para vivir, debido a las inundaciones producidas por las fuertes

crecidas de los ríos, la posible utilización para navegar y el abastecimiento de agua para el consumo humano e industrial.

4.1.2. Planificación de propósito múltiple

Como se ha descrito con anterioridad, la planificación de cuencas hidrográficas inició aproximadamente en los años 70, el interés en este tipo de planificación ha ido en aumento, los planificadores se han visto en la necesidad de darle un sentido diferente a los datos que pueden recolectar a partir de generaciones de lluvia, estado del ambiente y uso de tierras, es por ello que, la planificación de propósito múltiple ha sido de gran ayuda para lograr el desarrollo a través del recurso hídrico, esto ha consistido en dividir la cantidad de agua disponible en el lugar para varios usos diferentes, tomando en cuenta las aguas contaminadas y la posible reutilización de las mismas, tratando de utilizar el agua de manera eficiente y creando un sentido común en la población para la protección del recurso hídrico.

4.1.3. Planificación integrada de cuencas hidrográficas

Este tipo de planificación surgió debido a las diferentes disputas que se generaron a partir de la división del uso del agua, tratando de llevar a cabo una coordinación y distribución con armonía entre las distintas partes necesitadas de usar el agua dentro de la cuenca; enfocándose no solo en el agua regional dentro de la cuenca, sino también fuera de ella, determinando valores útiles de las cuencas aledañas, esto por supuesto requiere de un orden mayor, una base de datos actualizada y personas capacitadas que se encarguen del buen control y procesamiento de datos, tanto como implementar estaciones de control en diferentes puntos dentro de las cuencas.

La planificación integrada de cuencas hidrográficas es una planificación que va mas allá de solo ver el recurso hídrico, esta trata de abarcar la mayor cantidad de recursos que sean determinantes para mejorar e impulsar el desarrollo de las regiones.

El crecimiento poblacional obliga a planes de desarrollo basados en la disponibilidad hídrica de las cuencas habitadas, si bien es cierto, existen entes encargados de regular los procesos ambientales a nivel nacional y registrar información en cuanto a eventos hidrológicos, aún no existe un encargado de unir los datos disponibles en un solo portal en donde sea de acceso público el conocer información actual del estado ambiental por regiones.

De no mejorar en la distribución del uso del agua, la demanda de este líquido irá cada vez en aumento, este recurso es de por sí ya limitado y de no mejorar la situación habrá consecuencias fuertes sobre los ciudadanos y, sobre todo en las comunidades menos favorecidas. No es un trabajo que se debe dirigir únicamente a los entes encargados de velar por el buen desarrollo humanitario sino de capacitar gente para que todos estén enterados de los daños irrevocables que muchas veces la mala educación ambiental produce en el uso del agua.

4.1.4. Potenciales usos del recurso hídrico

El recurso hídrico ha sido utilizado desde siempre para el desarrollo de la vida sobre la Tierra, el hombre en su necesidad de sobrevivir, se ha establecido en lugares aledaños a nacimientos de agua, ríos, arroyos, lagos, lagunas o bien lugares hidrológicamente estables para poder cosechar productos para comer y comercializar.

Los usos más significativos del agua son los siguientes:

- Consumo humano como agua potable
- Consumo público: limpieza de calles, parques, entre otros
- Agricultura y ganadería
- Generación de hidroeléctrica
- Minería y uso industrial

El ser humano consume agua dependiendo de las características del clima de la región, se puede hablar de un mínimo de 80 litros por habitante por día en alimentos, limpieza, lavado y aseo personal; al no haber un máximo establecido en Guatemala, las personas que tienen mejores posibilidades económicas pueden optar a tener una dotación mayor, sin restricción.

El agua es utilizada en riego dependiendo del tipo de producto agrícola y de la época del año, se podría decir, que el tiempo mínimo de riego para una cosecha es de cuatro meses, esto puede extenderse o acortarse, también está el uso del agua en la ganadería.

Por otro lado, el uso del agua en el sector industrial y minero es el de mayor demanda, significa que la cantidad de agua requerida aumenta dependiendo de la producción que se tenga que satisfacer, no es fácil indicar directamente el consumo hasta no tener datos de producción industrial; junto a la minería este sector requiere de una dotación de agua constante, ya que generalmente la producción no depende de una época específica del año.

Si se habla de la generación de energía hidroeléctrica, específicamente en Guatemala, es el sistema utilizado para abastecer a la población con energía eléctrica, se dice que la generación de energía a partir de un cauce que

recolecte agua es literalmente sano, estudios de impacto ambiental desarrollados en lugares aledaños a las represas demuestran que el hábitat de los animales se ve afectado, produciendo de este modo, cambios ambientales ligados a modificaciones en ecosistemas que se traducen en un cambio climático drástico que arrasa con las especies, con menor capacidad de adaptación y promueve el riesgo de extinción.

El agua como recurso tiene muchos usos, pero se debe de recordar que al utilizarla de manera inadecuada lo único que se está logrando es incrementar las tasas de contaminación del medio conductor y promoviendo la escasez del recurso para los años próximos, hasta posibles extinciones de cuerpos de agua tal y como se describió en el capítulo 3 de este trabajo.

No se trata solo de usar el agua, sino de darle un uso digno y asimismo, un saneamiento adecuado determinado por la naturaleza de su uso, es aquí donde la ingeniería civil, en su rama de saneamiento ambiental debe jugar un papel de suma importancia. No existe necesidad de sanear todas las aguas de la misma manera o de llevar a cabo proyectos costosos de mantenimiento, si se capacitara a la población y se le hiciera tener conciencia sobre sus actos.

De lo anterior, el recurso hídrico es también un medio de transporte y recreación que transporta contaminación cuando no es bien cuidado.

4.1.4.1. Disponibilidad de recursos hídricos en Guatemala

Guatemala es un país con un potencial hídrico suficiente para suplir las necesidades de los habitantes, el ente encargado de recolectar datos referentes a las precipitaciones que se desarrollan a lo largo del año dentro del país es el

INSIVUMEH; no solo recolecta datos de precipitaciones, sino los referentes a caudales máximos registrados por año por cada cuenca hidrográfica.

Tabla IX. **Caudales medios anuales por cuenca por vertiente**

Vertiente del Pacífico			Vertiente del Atlántico		
	Cuenca	Caudal m ³ /s		Cuenca	Caudal m ³ /s
1,1	Coatán	4,69	2,1	Grande de Zacapa	26,73
1,2	Suchiate	51,91	2,2	Motagua	207,74
1,3	Naranjo	70,55	2,3	Río Dulce	104,10
1,4	Ocosito	70,02	2,4	Polochic	100,78
1,5	Samalá	42,17	2,5	Cahabón	180,71
1,6	Sis-Icán	33,74	2,6	Sarstún	100,33
1,7	Nahualate	79,46	2,7	Mopán Belice	3,55
1,8	Atitlán	10,56	2,8	Hondo	25,34
1,9	Madre Vieja	29,55	2,18	Moho	1,74
1,10	Coyolate	69,00	2,19	Temash	43,03
1,11	Acomé	21,72	Vertiente del Golfo de México		
1,12	Achiguate	50,25	3,1	Cuilco	27,08
1,13	María Linda	69,92	3,2	Selegua	44,90
1,14	Paso Hondo	14,68	3,3	Nentón	53,34
1,15	Los Esclavos	66,69	3,4	Pojom	67,67
1,16	Paz	30,57	3,5	Ixcán	170,03
1,17	Ostúa - Güija	32,28	3,6	Xaclbal	95,26
1,18	Olopa	7,26	3,7	Chixoy	459,89
			3,8	La Pasión	306,44
			3,9	Usumacinta	79,59
			3,10	San Pedro	143,93

Fuente: elaboración propia, con datos del MARN, cuencas hidrográficas de Guatemala. p. 3.

4.2. Niveles de planificación para cuencas hidrográficas

Al igual que toda planificación, la de obras de infraestructura dentro de cuencas hidrográficas debe tener un orden estratégico que sea capaz de determinar si el proyecto a ejecutar es sostenible para el desarrollo de las

comunidades. De acuerdo a la Secretaría General de Organización de los Estados Americanos de Washington DC, los niveles de planificación deberían de contener lo siguiente:

4.2.1. Reconocimiento

Se conoce como idea o perfil, incluye temas de interés como opiniones principales y revisión de planes previos. En esta etapa es donde se debe desarrollar un inventario de recursos naturales y si fuese necesario programar visitas a entes encargados del manejo y control de recursos naturales del país, para el caso particular de Guatemala serían: MAGA, INAB, INSIVUMEH, MARN, INE, entre otros. A manera de determinar las áreas geográficas que serán estudiadas en la siguiente fase.

4.2.2. Prefactibilidad

Etapa del proyecto en la cual se debe prever de información relativa a la magnitud del mismo, es en esta fase donde se debe llevar a cabo un inventario de lo que se pretende hacer con la información que se dispone, los diseños preliminares se incluyen con el propósito de mejorarlos en la etapa de factibilidad. Es aquí donde se deben buscar las alternativas para alcanzar los objetivos y analizarlas en relación a los estudios de beneficio/costo de las obras. Para poder desarrollar la siguiente etapa del proyecto, se requiere que en esta se lleve a cabo la mitigación para encontrar las fuentes de financiamiento.

4.2.3. Factibilidad

El estudio de factibilidad se lleva a cabo para determinar cuál de los proyectos planteados será el que se ejecutará, si se habla de la elaboración de infraestructuras, es en esta etapa donde se llevan a cabo los estudios relativos a la topografía, geología y uso de la tierra del lugar, lo cual se presenta en planos bien identificados que sirvan de ayuda en el diseño. También se debe llevar a cabo un estudio económico del lugar, con el propósito de realizar la comparación técnico - científica, se realiza el diseño detallado de la obra como el presupuesto de costos unido a su listado de beneficios.

4.2.4. Diseño final

Es el último de los cuatro pasos principales para la planificación de cuencas hidrográficas. Este incluye los diseños de ingeniería seleccionados para su ejecución con un grado de detalle capaz de explicar claramente lo que se está construyendo, es en este punto en donde se debe verificar que la obra esté cumpliendo con los objetivos planteados.

4.3. El aspecto ambiental dentro de la planificación

Al hablar del ambiente, en términos generales, se entiende que está formado por todo el entorno. Está formado por ecosistemas que se distinguen dependiendo de sus características ambientales y físicas propias, es por ello que dentro de regiones grandes como una cuenca hidrográfica, se encuentra una innumerable cantidad de ecosistemas como: lagos, arroyos, ríos, terrenos agrícolas e inclusive ciudades.

Las clasificaciones del medio ambiente son diversas y estas dependen del grado de interacción que tengan con el ser humano, el cual ha estado en contacto con el ambiente desde su aparición en la Tierra. Por este motivo existen clasificaciones que van desde el punto de vista ecosistemas tales como: natural, rural y urbano; mientras por otro lado, también existe clasificación de ecosistemas culturales y naturales.

El incluir a los ecosistemas dentro de la planificación de cuencas hidrográficas es muy complicado. Por ello necesita de la ayuda de ciencias como la ecología, que se encarga de velar porque las condiciones ecológicas de las regiones se mantengan estables. Si bien es cierto, no se puede considerar a todos los ecosistemas como parte de la planificación, pero la misma puede conllevar a desarrollar estudios de impacto ambiental regionales que anulen los riesgos en las limitaciones para el desarrollo de las especies.

Generalmente, al realizar una modificación en un ecosistema, esta conllevará a otra y así sucesivamente, es por ello que la ecología dentro de uno de sus principios de causa y efecto señala que dentro de los cambios de un ecosistema hay dos tipos, uno que conlleva a la mejora en las condiciones de vida del ser humano y otra que no, por lo tanto, al desarrollar la planificación se debe buscar la manera adecuada para que los cambios ambientales positivos pasen con más frecuencia y en mayor cantidad a los negativos.

Existen problemas relacionados con la salud física y emocional de los seres humanos debido a las alteraciones en el ambiente, aspectos como la contaminación de cuerpos de agua, suelo y aire son factores determinantes para facilitar el trastorno físico y emocional de las personas. Como ya se ha descrito en el capítulo anterior, el ambiente se está deteriorando a pasos

agigantados y es por ello, que dentro de la planificación se debe tomar en cuenta aspectos que reduzcan estos hechos.

No se debe esperar para ver lo que sucederá con las modificaciones ambientales, es tiempo que las autoridades deben tomar cartas en el asunto e instruir a las poblaciones para que los procesos de planificación sean más objetivos.

La planificación de cuencas hidrográficas, también debe velar por la conservación de los recursos, si bien es cierto existen recursos naturales renovables, el mal uso de estos provoca que cada día se agoten, por ello no hay que confundir lo renovable con inagotable. Aspectos como mal uso del suelo o sobre explotación y la descarga directa de aguas negras a los cuerpos receptores son los que se deben mejorar. La planificación dentro de esto debe ser capaz de generar estabilidad y reducir lo mencionado a través de capacitaciones en educación ambiental.

El agua puede transformarse dependiendo de la temperatura a la cual está siendo sometida, los estados en los que el agua se puede encontrar son: líquido, sólido y gaseoso, para que el agua cambie de estado se requiere de una demanda de energía, como la solidificación que es el paso de la fase líquida a la sólida por medio del enfriamiento.

De acuerdo al concepto de entropía –magnitud termodinámica que indica el grado de desorden molecular–, cuando una clase de energía pasa de una forma a otra no es posible regresarla a su forma original, es decir, no de la misma forma que se transformó, por ello es que no se debe abusar en el uso del recurso hídrico, de tal modo que se llegue a sobrepasar los límites que esta tiene para cambiar de estado, y ya no pueda regresar a un estado que sea

aprovechable por el ser humano, la planificación de cuencas hidrográficas, por lo tanto, también debe velar porque el sector industrial no caliente el agua de manera excesiva a tal punto que ya no pueda ser utilizada por los seres humanos.

4.4. Costo/beneficio de las obras

Los análisis de costo/beneficio de las obras son determinativos para su realización, es decir, no se debe construir proyectos grandes con inversiones monetarias enormes sabiendo que no se beneficiará a la población de acuerdo a sus necesidades, este estudio es importante desarrollar para proyectos de grandes magnitudes como: centrales hidroeléctricas, puentes y carreteras.

4.5. Obstáculos que pueden afectar la planificación de cuencas hidrográficas

Todo parece perfecto y bien estructurado cuando se habla de planificar cuencas, sin embargo, existen obstáculos que impiden que la planificación se lleve a cabo tal y como se debe, estos dependen de factores sociales, económicos o políticos, los principales se describen a continuación:

- Los intereses particulares sobre los suelos pueden no estar de acuerdo con la planificación que se ha desarrollado para el área y, por lo tanto pueden oponerse o negarse a dejar de explotar ciertas regiones.
- Los objetivos de planificación municipal pueden no siempre coincidir con los intereses de planificación de cuencas.

- Las costumbres, razones económicas o simplemente negación de personas que usa la tierra puede afectar el buen desarrollo de la planificación.
- La numerosa cantidad de habitantes dentro de la cuenca puede incidir negativamente en la planificación si los planes se han desarrollado, considerando la interacción de la comunidad en el desarrollo ambiental.

5. EVALUACIÓN INTEGRAL DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO CAHABÓN

Para llevar a cabo la evaluación integral de una cuenca hidrográfica, es necesario desarrollar una investigación previa que incluya características importantes relativas al recurso hídrico de la cuenca, realizando un estudio edafológico, hidrológico y económico de las poblaciones que se desarrollan dentro de la cuenca para poder determinar la cantidad de recurso que se tiene y la demanda que se debe suplir de manera equitativa.

La cuenca hidrográfica del río Cahabón es exorreica y pertenece a la vertiente hidrográfica del Atlántico, un 95 por ciento de su área total se encuentra dentro del departamento de Alta Verapaz, el resto del área se reparte entre los departamentos de Baja Verapaz e Izabal.

5.1. Características edafológicas de la cuenca del río Cahabón

Las características edafológicas de una cuenca hidrográfica ayudan a los planificadores territoriales a tomar una idea generalizada de las principales características físicas del área, para la cuenca hidrográfica del río Cahabón se detallan las siguientes:

5.1.1. Forma del terreno

La república de Guatemala es un territorio con un relieve mayormente montañoso, lo que provoca su división en las 38 cuencas hidrográficas mencionadas con anterioridad; la del río Cahabón se encuentra localizada hacia

el norte de la cadena montañosa conocida como sierra de las Minas, aproximadamente en la región central del territorio guatemalteco.

Cerca se encuentra la cadena montañosa denominada sierra Madre, que atraviesa gran parte de México y América Central, por lo que la forma del terreno es montañoso en un 80 por ciento de su totalidad y ligeramente llano en las aéreas aledañas a su cauce principal, como los pequeños valles en donde se han desarrollado algunos pueblos y caseríos.

Figura 18. **Ubicación de la cuenca del río Cahabón**

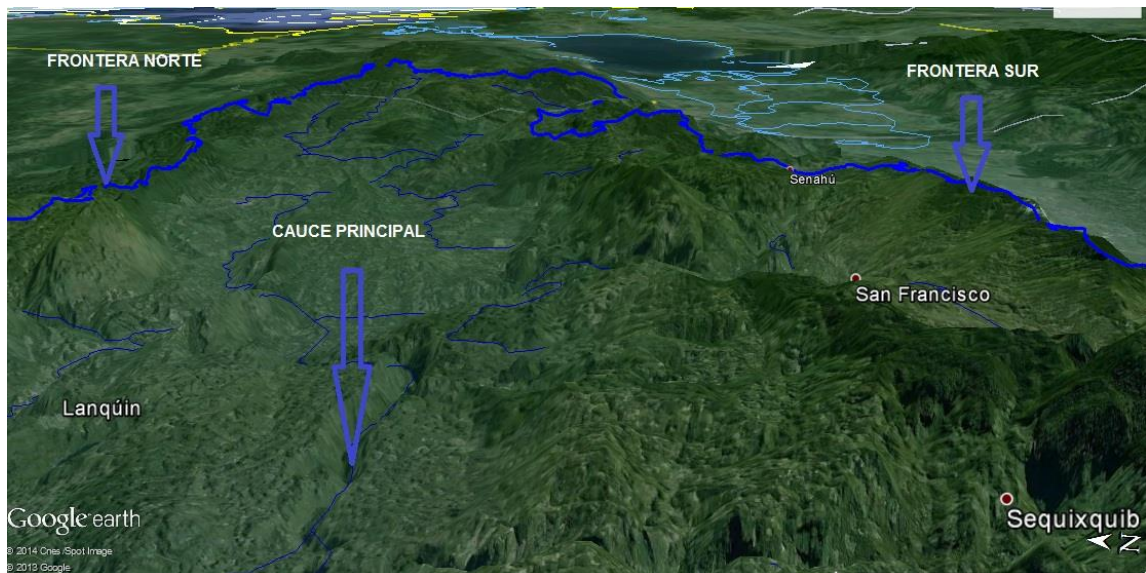


Fuente: elaboración propia.

Al norte de la cuenca se localiza la sierra plegada de Chamá, la cual constituye el eje central del territorio guatemalteco, atravesando desde Huehuetenango hasta Izabal, pasando por Quiché y Alta Verapaz. Al sur de la cuenca se localiza la zona montañosa de Senahú, Cobán, extendiéndose desde Tactic hacia el norte de Purulhá en donde se encuentran volcanes, cerros y lomas.

Se destaca también, pequeños valles en la región, que han sido utilizados para el desarrollo de la vida humana, siendo estos, pueblos como: Cobán, San Pedro Carchá y San Juan Chamelco, entre otros.

Figura 19. **Fragmento de la cuenca del río Cahabón de oeste a este**



Fuente: Google Earth. Consulta: 5 de febrero de 2014.

5.1.2. Pendiente

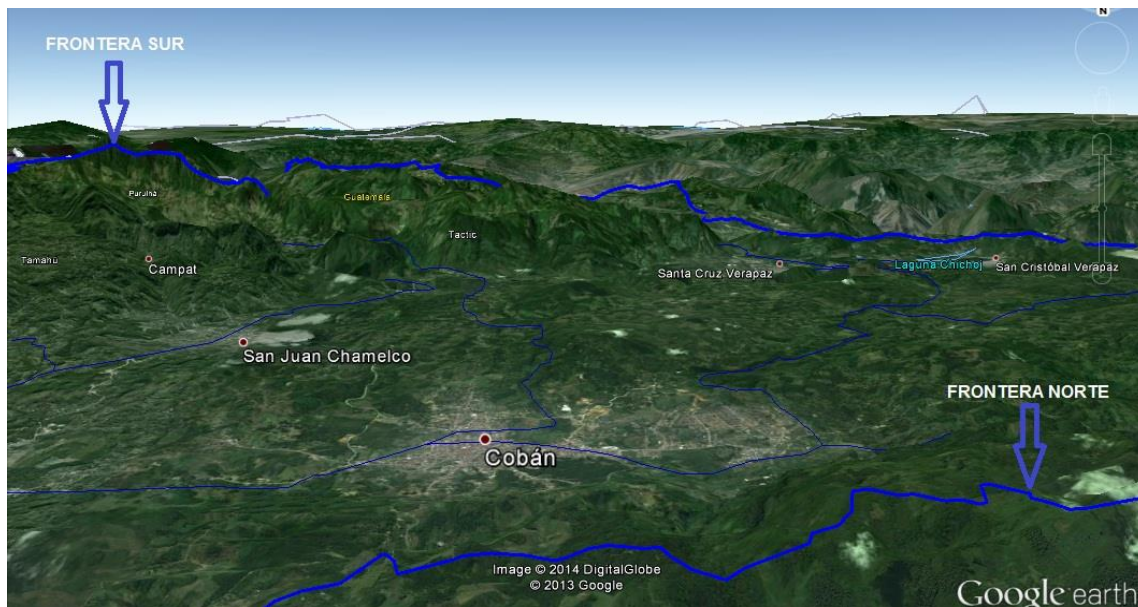
La cuenca del río Cahabón pertenece a la vertiente hidrográfica del Atlántico o Mar Caribe, por lo que reúne las mismas características principales predominantes en toda la vertiente, siendo su pendiente moderada con cursos de agua lentos utilizados, especialmente para la navegación y pesca. Su pendiente media es de aproximadamente 1 por ciento.

Figura 20. **Perfil del río Cahabón**



Fuente: elaboración propia.

Figura 21. **Fragmento de la cuenca del río Cahabón de norte a sur a inmediaciones de Cobán, Alta Verapaz**



Fuente: Google Earth. Consulta: 5 de febrero de 2014.

5.1.3. Vegetación y uso de la tierra

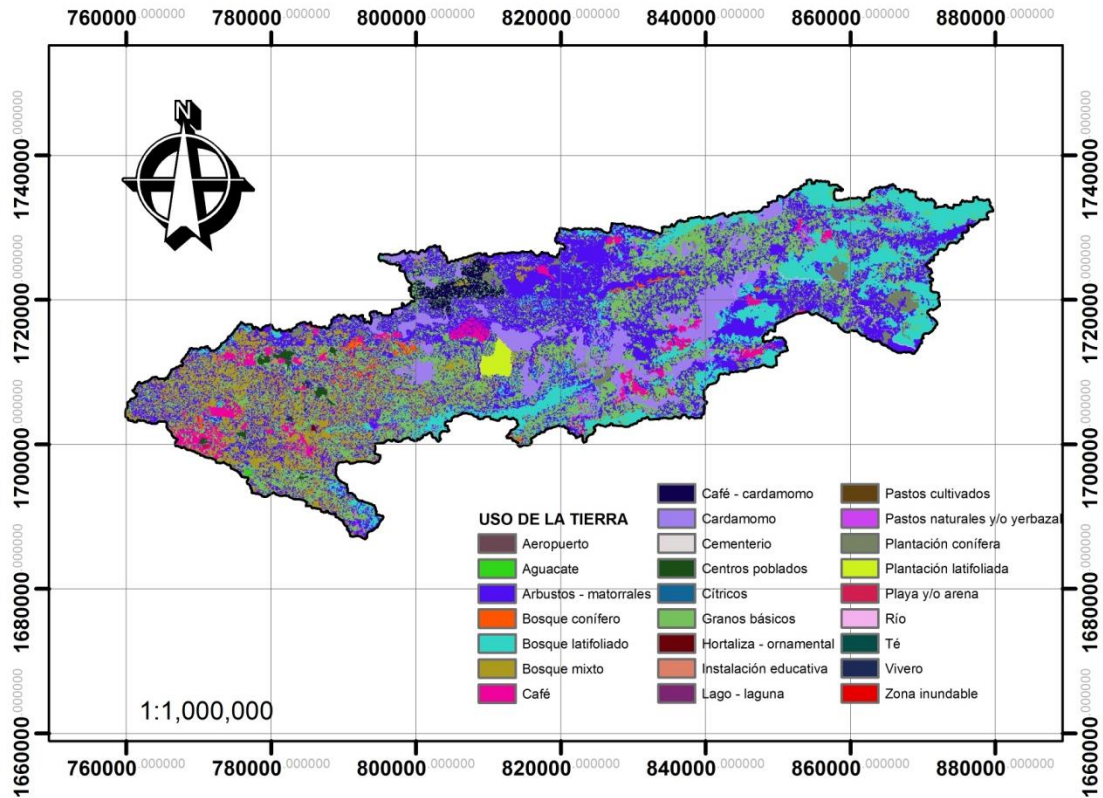
Debido a su relieve montañoso, el acceso a las cumbres aún es limitado y esto ha ayudado a que un alto porcentaje del terreno de la cuenca todavía no haya sido explotado, debido al tipo de suelo rocoso y con poco acceso, el primer lugar en vegetación corresponde a arbustos y matorrales, los cuales no necesitan de características climáticas perfectas para poder desarrollarse.

Son 14 en total los municipios que se desarrollan dentro de la cuenca del río Cahabón, el mayor índice de desarrollo dentro de la misma corresponde a la cabecera departamental de Alta Verapaz, Cobán. Otros pueblos con índices de desarrollo medios son: Purulhá, San Juan Chamelco, Santa Cruz Verapaz, San Cristóbal Verapaz y San Pedro Carchá.

Las actividades económicas de la región son mayormente agrícolas, centrándose en el cultivo de granos básicos como: maíz, frijol, arroz, cardamomo y café, lo que hace que esta actividad ocupe el segundo lugar en la cobertura vegetal y uso de la tierra en la cuenca, de acuerdo a la tabla X.

En Guatemala, uno de los entes encargados de llevar un registro sobre el uso de la tierra es el MAGA, el mapa de cobertura vegetal y uso de la tierra se ha desarrollado, gracias al aporte informativo por parte de este ente y corresponde a datos tabulados para el 2003, en él se expone detalladamente los usos que tiene el suelo de la cuenca del río Cahabón.

Figura 22. **Mapa de cobertura vegetal y uso de la tierra, cuenca río Cahabón**



Coordinate System: WGS 1984 UTM Zone 15N
 Projection: Transverse Mercator
 Datum: WGS 1984
 False Easting: 500,000.0000
 False Northing: 0.0000
 Central Meridian: -93.0000
 Scale Factor: 0.9996
 Latitude Of Origin: 0.0000
 Units: Meter

0 5 10 20 30 40 Kilometers



Fuente: elaboración propia.

Tabla X. **Vegetación y uso de la tierra en la cuenca del río Cahabón**

Cobertura forestal		
Uso del suelo	Área (Ha)	%
Arbustos - matorrales	86 074	35%
Granos básicos	64 629	26%
Bosque latifoliado	33 640	14%
Cardamomo	20 856	8%
Bosque mixto	19 340	8%
Café	9 216	4%
Plantación conífera	3 682	1%
Pastos naturales y/o yerbazal	2 053	1%
Plantación latifoliada	1 525	1%
Bosque conífero	1 437	1%
Centros poblados	1 206	0,1%
Zona inundable	745	0,1%
Río	703	0,1%
Arroz	445	0,1%
Vivero	183	0,1%
Pastos cultivados	44	0,1%
Hortaliza - ornamental	43	0,1%
Lago - laguna	41	0,1%
Té	22	0,05%
Aguacate	8	0,05%
Aeropuerto	6	0,05%
Playa y/o arena	3	0,05%
Total	245 901	100%

Fuente: elaboración propia, con datos del, MARN, cuencas hidrográficas de Guatemala. p. 29.

Según estudios realizados en el 2011 por el MARN, la vegetación y uso de la tierra en la cuenca del río Cahabón se distribuye proporcionalmente de acuerdo a la tabla IX, comparando detalladamente con los datos del MAGA en el 2003, el uso de la tierra no se ha modificado significativamente.

5.1.4. Clima

El clima varía conforme va descendiendo la altura a lo largo del cauce principal, comenzando por un clima subtropical húmedo en Purulhá, Baja Verapaz en donde nace el río, lugar donde se registran precipitaciones intensas de hasta 3 000 mm/año y una temperatura menor a los 20 grados centígrados. Seguidamente el río atraviesa el municipio de Tactic, Alta Verapaz, en donde el clima continúa siendo frío debido a su localización a 1 465 metros sobre el nivel del mar, este municipio también registra altas intensidades de lluvia. Poco más abajo el río llega a tierras cobaneras a aproximadamente 1 316 metros sobre el nivel del mar, en donde se genera un clima templado húmedo.

Al pasar de San Pedro Carchá, el río continúa en su recorrido libre sin atravesar ninguna otra comunidad de tamaño significativo hasta que desemboca en el río Polochic. El clima comienza a registrar aumento con forme se descende hacia la desembocadura, próxima al nivel del mar, en donde se registran altos índices de humedad y altas temperaturas de hasta 31 grados centígrados, convirtiéndose en un clima cálido similar al del departamento de Izabal.

5.1.5. Características del suelo

Las características de un suelo dependen exclusivamente de la geomorfología del mismo, es decir, de los procesos atmosféricos que han conllevado a su formación. Para el estudio del suelo de la cuenca hidrográfica del río Cahabón se ha adoptado la clasificación taxonómica de suelos del Ministerio de Agricultura de los Estados Unidos de América, pero antes de llegar a esta clasificación de suelos se desarrolla una pequeña introducción de la morfología de un suelo en términos generales.

5.1.5.1. Morfología del suelo

Los suelos son el producto de la degradación de la corteza superficial de la Tierra cuando esta interactúa con los procesos atmosféricos, es por ello que con el paso del tiempo los suelos se desarrollan en forma de capas, conocidas como horizontes, resultantes de las adiciones, pérdidas, transformaciones y transferencias de energía.

5.1.5.1.1. Horizontes

Los horizontes del suelo resumen descripciones de la clasificación del mismo y dan una idea del proceso genético que ha contribuido a su formación. Los horizontes del suelo se connotan con literales como A, B, C, entre otros; cada tipo de suelo es diferente, por lo que esta connotación ayuda a saber de qué capa de suelo se está hablando, es decir, ayuda a tener una idea de la capa genética del suelo.

Dependiendo del tipo de suelo que se analice, habrá horizontes cuya identificación será práctica, sin embargo, existen otros en donde su identificación será confusa, porque existen horizontes de transición y horizontes mezclados, los característicos de cualquier suelo son representados en la figura 23.

- Horizontes de transición

Se les llama así cuando el cambio entre el horizonte A y el B, o el B y el C, entre otros, se marca perfectamente.

- Horizontes mezclados

Los horizontes mezclados son los que no se pueden determinar con facilidad.

Figura 23. **Horizontes característicos de un suelo**



Fuente: <http://1.bp.blogspot.com/-Kh-PgwCxlJg/UnuCCjaOfPI/AAAAAAAAAc4w/oCEbdo6jJBs/s1600/horizonte-suelo.jpg>

Consulta: 26 de febrero de 2014.

5.1.5.1.2. Color

El color del suelo es una de las características morfológicas de mayor importancia dentro de la clasificación de suelos, ya que permite identificar con mayor facilidad la transición entre un horizonte característico y otro, también se utiliza para determinar de manera visual cuáles podrían ser los componentes químicos del suelo.

5.1.5.1.3. Textura

La textura de un suelo refleja la cantidad de gravas, arenas o finos que este pueda tener, los edafólogos experimentados pueden identificar el tipo de suelo de acuerdo a su textura, clasificándolos en gravas, arenas, limos o arcillas dependiendo de la medida del grano.

5.1.5.1.4. Porosidad

Es el resultado de la textura y estructura de un suelo, en otras palabras, es el sistema de espacios o vacíos conocidos como poros. El suelo está compuesto por partículas de sólidos, líquidos y gases que en conjunto constituyen el volumen total de la muestra, la porosidad del suelo se calcula como el volumen de vacíos dividido dentro del volumen total de la muestra de suelo.

5.1.5.1.5. Rasgos de origen biológico

Se refiere a la presencia imparcial o eventual de algún animal en algún momento, se pone en evidencia dentro del suelo en estudio a través de la observación de nidos dentro del terreno o bien rasgos de metamorfosis.

5.1.5.1.6. Actividad humana

Se refiere a los escombros que cualquier tipo de actividad humana puedan dejar dentro de los fragmentos de suelo, como la quema de basura y generación de la misma, son hechos que quedan dentro de la genética del suelo y que, por ende puede de cierto modo, alterar las características morfológicas del suelo.

5.1.5.1.7. Origen o estructura

Es la forma en la que se agrupan las partículas elementales del suelo para generar cuerpos de un tamaño mayor conocidos vulgarmente como terrones. Existen varias clasificaciones de la estructura de un suelo que van desde la forma particular, fibrosa y granular hasta la prismática, laminar y escamosa.

5.1.5.1.8. Consistencia o constitución

Es la variación entre las partículas del suelo, estas varían dependiendo de aspectos como el contenido de humedad, que dividirá al suelo entre la clasificación de seco, húmedo o mojado.

5.1.5.1.9. Rasgos edáficos

Estos son aspectos que se pueden observar dentro de los horizontes de un suelo, son unidades discretas incluidas dentro de la genética de un suelo, identificadas por la concentración de determinados componentes que dan origen a los procesos edafogénicos, por lo que su consideración es de suma importancia.

5.1.5.1.10. Cementación

Es cuando se produce una cristalización dentro de un horizonte del suelo, lo cual impide el crecimiento de las raíces de los árboles y la circulación de agua dentro de los poros funcionando como un tapón en el suelo, este proceso puede ser alterado por fisuras dentro de la capa cementada.

5.1.5.1.11. Pedregosidad

Existen tipos de suelo cuya pedregosidad es elevada, lo cual influye en la determinación y características de sus horizontes, la pedregosidad da la idea de la abundancia, tamaño, forma, naturaleza y nivel de alteración de las rocas en un determinado suelo.

5.1.5.1.12. Contenido de sales

Sirve para identificar la presencia de carbonatos dentro del suelo, existen suelos que tienen un contenido de sales pobre conocidos bajo el término de no calcáreo, mientras que los que tienen mayor concentración de sales se conocen como, fuertemente calcáreo.

5.1.5.1.13. Presencia de raíces

La importancia de considerar las raíces dentro de los horizontes radica en el hecho de saber cuál podría ser la cualidad nutritiva del suelo para el desarrollo de cultivos, interesa determinar la cantidad de raíces y saber hasta qué horizonte característico del suelo logra atravesar.

5.1.5.2. Composición del suelo

El suelo se compone, principalmente de una fracción sólida, una fracción líquida, una fracción conformada por vacíos y por sus propiedades fisicoquímicas; las clasificaciones del suelo por lo tanto, se determinan a partir de los porcentajes de cada componente presentes en cada determinado tipo de suelo.

5.1.5.2.1. Fracción sólida

La fase sólida de un suelo es la única que permanece de manera permanente durante el transcurso del tiempo y, por lo tanto es la responsable de su comportamiento, generalmente se distinguen dos fases: la orgánica y la mineral, de las cuales se desprenden características propias que indican la presencia de minerales o bien depósitos de materia orgánica producida por depósitos de basura de los seres humanos.

La fracción mineral del suelo deriva directamente del material original del mismo y está constituida por fragmentos unidos a procesos de transformación generados en el propio suelo.

La materia orgánica del suelo procede del resto de organismos caídos sobre la superficie, principalmente residuos de plantas, la cantidad de materia orgánica en el suelo varía dependiendo de la cantidad de vegetación que este pueda poseer.

5.1.5.2.2. Fracción líquida

Es la parte conocida como agua en el suelo, su procedencia es de las lluvias y del manto freático cuando su nivel es elevado. Es en esta fase en donde se desarrollan los procesos de evolución del suelo y se considera que la de mayor importancia es la concerniente a la interface sólido-líquido.

El suelo se comporta como una esponja capaz de retener agua y es gracias a esta característica que la mayoría de especies de la Tierra pueden mantenerse con vida, ya que al tener una mayor cantidad de agua en el suelo, las plantas pueden desarrollar sus procesos a un ritmo más elevado y de manera más práctica.

5.1.5.2.3. Fracción gaseosa

La fase gaseosa es también conocida como atmósfera del suelo y esto se debe a que es la que permite que los organismos vivos que se desarrollan en el suelo tengan cómo respirar a través de la circulación de aire, también ejerce un papel importante en la oxidación y descomposición que dan como resultado la evolución geológica del suelo.

El intercambio gaseoso entre el suelo y la atmósfera se produce por difusión entre ambos, sin embargo, existen procesos que favorecen a la circulación de gas entre el suelo y este proceso se conoce como respiración del suelo y ayuda a la respiración de los organismo que se desarrollan en el suelo.

5.1.5.2.4. Propiedades fisicoquímicas

Las propiedades fisicoquímicas son las que afectan a los fenómenos de superficie, especialmente a la interface sólido-líquida. Estas propiedades en el suelo son las que permiten que exista vida en la Tierra a través de la distribución de especies vegetales sobre el planeta, ya que cada una tiene diferentes preferencias en cuanto al valor del Ph del suelo en el que habitan.

El tipo de clasificación de suelos que se ha adoptado en la República de Guatemala es la que presenta el Ministerio de Agricultura de los Estados Unidos de Norteamérica, siendo esta la clasificación taxonómica de suelos o *Soil Taxonomy* en el idioma inglés.

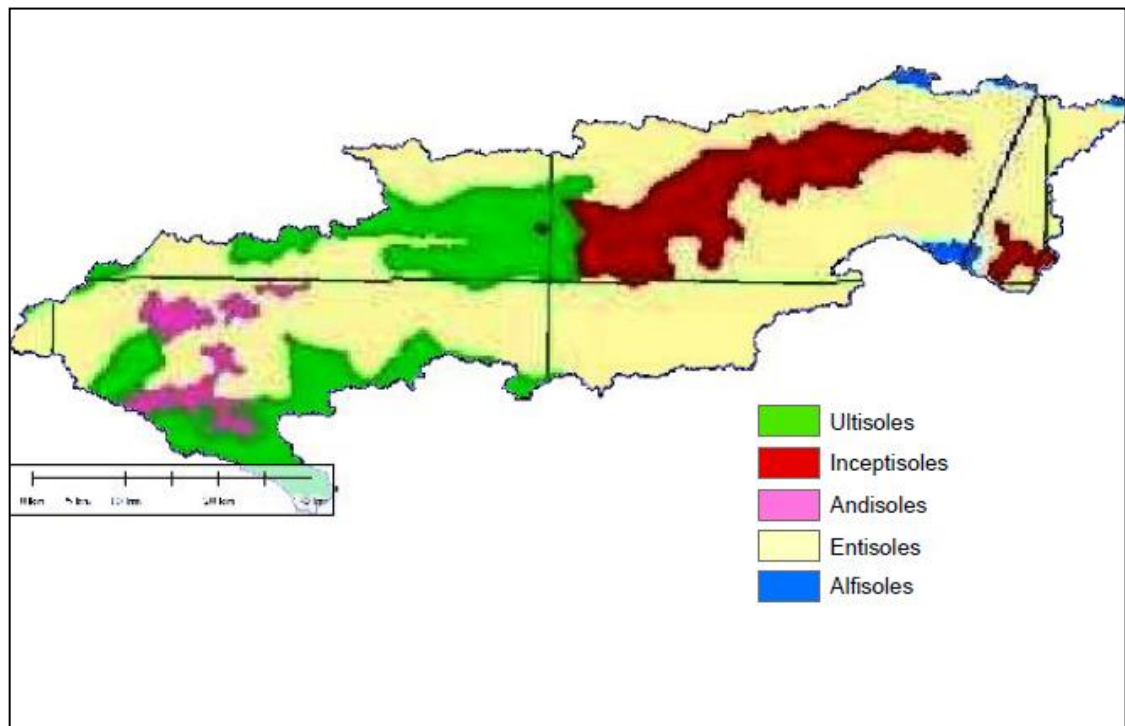
5.1.5.3. Clasificación taxonómica de suelos de la cuenca del río Cahabón

La clasificación taxonómica de suelos es desarrollada y gestionada a nivel internacional por el Ministerio de Agricultura de los Estados Unidos de Norteamérica, este tipo de clasificación de suelos se conoció en 1975, cuando se inició a estudiar los suelos de la Antártica.

Por su parte, el MAGA y el Programa de Emergencia por Desastres Naturales desarrollaron la primera aproximación de la clasificación taxonómica de suelos en la República de Guatemala en el 2002. Actualmente se desarrolla otro estudio de suelos mediante taxonomía para toda la República, esperando tener resultados más exactos de este estudio lo más pronto posible, según informa la Dirección de Información Geográfica, Estratégica y Gestión de Riesgos del MAGA en su portal web.

De los estudios realizados en el 2002 se obtuvieron los siguientes datos de clasificación de suelos mediante taxonomía para la cuenca del río Cahabón.

Figura 24. **Clasificación taxonómica de suelos en la cuenca del río Cahabón**



Fuente: elaboración propia, con datos del MAGA, mapa de clasificación taxonómica de suelos primera aproximación, república de Guatemala.

Por definición, los suelos Utisoles tienen las siguientes características:

- Suelos con un horizonte argílico de poco espesor
- Se desarrollan en áreas húmedas
- Presentan vegetación arbórea –árboles mayores a 5 metros de altura
- Su porcentaje de saturación de bases es menor al 35 %

- Son suelos de color pardo rojizo oscuro
- No muestran presencia de saturación hídrica

Los suelos Inceptisoles tienen las siguientes características:

- De bajas temperaturas, pero también se desarrollan en áreas húmedas
- Presentan alto contenido de materia orgánica
- Poseen mal drenaje
- PH ácido
- No presentan intemperización extrema

Los suelos Andisoles tienen las siguientes características:

- Desarrollado en procesos volcánicos.
- Se presentan en las regiones subhúmedas y húmedas.
- Alta productividad natural.
- Tienen textura franco arenosa.
- Contienen minerales amorfos con poca estructura cristalina.
- Se meteorizan rápidamente, formando mezclas amorfas de aluminio y silicato.

Los suelos Entisoles tienen las siguientes características:

- Tienen menos del 30 % de fragmentos rocosos.
- Suelos jóvenes y sin horizontes genéticos naturales.
- El cambio de color entre horizonte A y C es imperceptible.
- Son pobres en materia orgánica y en general responden a abonos nitrogenados.

Los suelos Alfisoles tienen las siguientes características:

- Suelos de regiones húmedas, por lo general permanecen húmedos la mayor parte del año.
- Con un porcentaje de saturación de bases mayor al 35 %.
- Generalmente poseen vegetación debido a su alta fertilidad.
- Son suelos jóvenes, generalmente con bosques de hoja caediza.

La clasificación taxonómica de suelos es una herramienta para la agricultura, ya que gracias a ella se puede seleccionar de mejor manera qué suelos son aptos para cada tipo de cultivo e inclusive determinar qué suelos no son aptos para la agricultura; de la taxonomía de suelos también se puede saber qué tipos de fertilizantes incrementan su aprovechamiento.

Otra de las ventajas que tiene la clasificación taxonómica de suelos es la de poder determinar cuáles son los menos fértiles y aprovecharlos para ser utilizados para otras actividades como: parques temáticos, asentar nuevas comunidades, entre otros.

5.2. Características hidrológicas de la cuenca del río Cahabón

Las características hidrológicas dentro de una cuenca hidrográfica conforman la parte más importante de la planificación para el desarrollo de las comunidades a partir del recurso hídrico; al hablar de hidrología se entiende todo lo relacionado con la ocurrencia, distribución y circulación del agua sobre la superficie de la cuenca.

La hidrología es una ciencia que abarca muchos aspectos relacionados con el ciclo del agua para su desarrollo, para efectos de esta investigación se

utilizará la precipitación como medio de estudio para poder determinar el caudal medio que recolecta el cauce principal en la desembocadura o estación de aforo.

El informe del MARN del 2011 indica que el caudal medio en metros cúbicos por segundo que genera el río Cahabón es de 180,71 según tabla IX, el INSIVUMEH, por su cuenta lleva un registro de las precipitaciones mensuales producidas en la región de acuerdo a cuatro estaciones aledañas a la cuenca, con estos datos se desarrollará un análisis de disponibilidad hídrica basado en la edafología y geomorfología de la región, con el fin de poder proceder a realizar la distribución de aguas con base a los datos recolectados.

Las estaciones meteorológicas de la cuenca del río Cahabón son las siguientes:

- Panzos
- Cahabón
- Cobán
- Papalha

La precipitación pluvial es el principal fenómeno natural para determinar la disponibilidad hídrica, pero existen varios métodos desarrollados para determinar el caudal medio que transporta el cauce principal, para efectos de este trabajo, se realizará el cálculo del caudal medio únicamente a través de los métodos siguientes:

- Balance hidrológico
- Racional

5.2.1. Determinación del caudal de escorrentía del río Cahabón mediante el método del balance hidrológico

El método del balance hidrológico para el cálculo del caudal de escorrentía se basa en el correcto cumplimiento del ciclo hidrológico, es decir, asume que la cantidad de agua precipitada más el agua subterránea (estado activo), es igual al escurrimiento, más el déficit de flujo, más la infiltración de agua a la napa freática (estado pasivo).

Tabla XI. **Precipitación anual registrada en estaciones de la cuenca del río Cahabón**

Precipitación en milímetros				
Año/Estación	Panzós	Cahabón	Cobán	Papalha
2000		2 429,70	2 386,00	1 632,00
2001		1 936,90	2 258,70	987,30
2002	775,60	2 467,50	2 383,80	2 063,90
2003	2 362,10	2 430,40	2 412,60	2 311,90
2004	2 452,40	1 955,80	1 631,30	1 707,40
2005	2 933,00	1 989,70	1 940,00	3 141,20
2006	301,30	2 841,70	2 500,00	2 099,40
2007	581,00	2 164,60	2 649,00	1 631,60
2008	2 605,70	2 369,50	2 842,10	2 402,60
2009	2 267,40	1 606,40	1 589,30	2 086,80
2010	2 267,40	1 570,30	710,00	2 430,10
2011		1 380,60		
Promedio	1 838,43	2 095,26	2 118,52	2 044,93

Fuente: elaboración propia, con datos del INSIVUMEH.

La ecuación del balance hidrológico descrita anteriormente es la siguiente:

estado activo = estado pasivo

precipitación (Pr) + agua subterránea (R) = escorrentía (Q) + déficit de flujo (D) + infiltración (R)

$$Pr + R = Q + D + R$$

$$Pr = Q + D$$

Este método utiliza como base de referencia la precipitación media, es decir el promedio de precipitaciones registradas dentro de toda la región o bien la precipitación teórica obtenida a través de métodos como el de los polígonos de Thiessen e Isoyetas.

5.2.1.1. Cálculo de la precipitación media a través del promedio aritmético

Este método para determinar la precipitación media se recomienda cuando los datos recolectados por cada estación no son muy dispersos, y es básicamente la suma de las precipitaciones dividida por la cantidad de estaciones.

$$Pm = \frac{\sum P_i}{\sum \text{Estaciones}}$$

$$Pm = \frac{P_{Cahabón} + P_{Panzos} + P_{Papatha} + P_{Cobán}}{4}$$

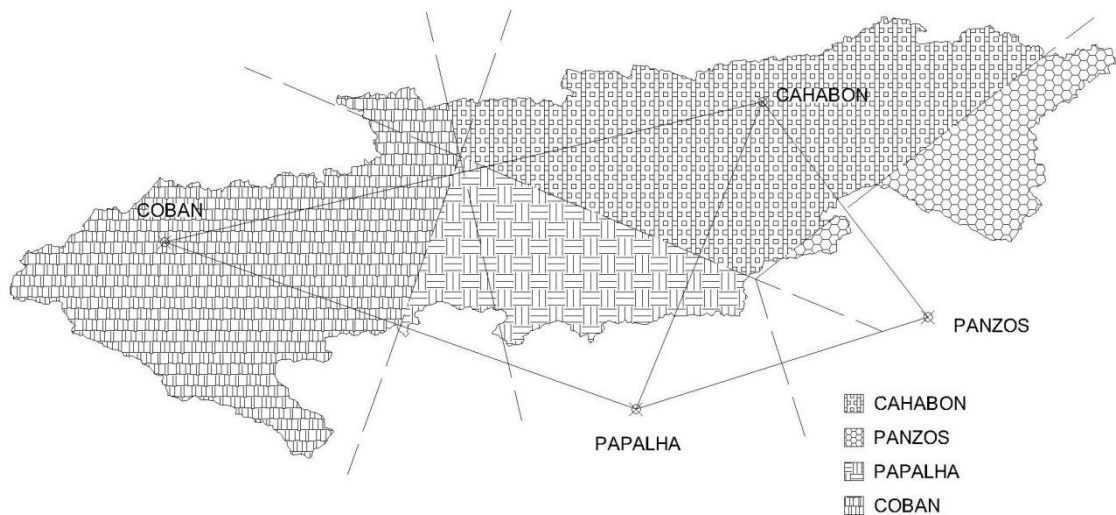
$$Pm = \frac{2\,095,26 + 1\,838,43 + 2\,044,93 + 2\,118,52}{4} = 2\,024,29\text{mm}$$

5.2.1.2. Cálculo de la precipitación media a través de los polígonos de Thiessen

Los polígonos de Thiessen son utilizados para realizar un cálculo teórico de la precipitación media dentro de una cuenca a partir de los datos de precipitación recolectados por las estaciones aledañas o localizadas dentro de la cuenca, la fórmula de cálculo se resume a lo siguiente:

$$P_m = \frac{1}{\text{Área Total}} \left[\left(\sum \text{Precipitación}_{Est\ i} * \text{Área}_{Est\ i} \right) \right]$$

Figura 25. Polígonos de Thiessen para la cuenca del río Cahabón



Fuente: elaboración propia.

Tabla XII. **Áreas tributarias y precipitaciones para las estaciones en estudio de la cuenca del río Cahabón según polígonos de Thiessen**

Estación	Área tributaria en Km²	Precipitación media anual en milímetros	% Área de la cuenca
Cahabón	912,17	2 095,26	37%
Panzós	228,64	1 838,43	9%
Papalha	409,24	2 044,93	17%
Cobán	896,31	2 118,52	37%
Total	2 446,37	8 097,14	100%

Fuente: elaboración propia.

Con los datos de la tabla XI se puede proceder a utilizar la fórmula de los polígonos de Thiessen, para calcular la precipitación media de la región.

$$Pm = \frac{1}{2\,446,37} [(912,17 * 2\,095,26) + (228,64 * 1\,838,43) + (409,24 * 2\,044,93) + (896,31 * 2\,118,52)]$$

$$Pm = 2\,071,72 \text{ mm}$$

Con los datos de precipitación media obtenidos mediante el método de promedio aritmético y polígono de Thiessen, se puede calcular ahora el caudal de escorrentía a partir de la ecuación del balance hidrológico. Una de las partes de la ecuación de balance hidrológico es el déficit de flujo que para efectos de ingeniería civil está determinado como la sumatoria de la evaporación y evapotranspiración producida dentro de la cuenca, al no disponer directamente de esta información, se puede asumir como un porcentaje de la precipitación generada. Para el caso específico de este estudio, se tomará como el diez por ciento de la precipitación media.

5.2.1.3. Determinación del caudal de escorrentía del río Cahabón por el método del balance hidrológico a partir de la precipitación media del promedio aritmético

Los datos de los que se disponen son los siguientes:

- Precipitación media anual = 2 024,29 mm = 2 024 m
- Área de la cuenca = 2 446,37 km² = 2 446,37 * 10⁶ m²
- Déficit de flujo aproximado = 10 % de la precipitación media anual
- Tiempo = 1 año = 31 536 *10⁶ s

Por lo tanto:

$$Pm = Q + D$$

$$Q = Pm - D$$

$$Q = 2,024m - 0,10(2,024m)$$

$$Q = 1,823m$$

Con lo que el caudal medio sería:

$$Qm = \frac{Q * \text{Área de la cuenca}}{\text{tiempo}}$$

$$Qm = \frac{1,823m * 2\,446,37e^6m^2}{31,536e^6s} = 141,36 \frac{m^3}{s}$$

5.2.1.4. Determinación del caudal de escorrentía del río Cahabón por el método del balance hidrológico a partir de la precipitación media de los polígonos de Thiessen

Los datos de los que se disponen son los siguientes:

- Precipitación media anual = 2 071,72 mm = 2 072 m
- Área de la cuenca = 2 446,37 km² = 2 446,37 * 10⁶ m²
- Déficit de flujo = 10 % de la precipitación media anual
- Tiempo = 1 año = 31 536 * 10⁶ s

Por lo tanto:

$$Pm = Q + D$$

$$Q = Pm - D$$

$$Q = 2,072m - 0,10(2,072m)$$

$$Q = 1,8648m$$

Con lo que el caudal medio sería:

$$Qm = \frac{Q * \text{Área de la cuenca}}{\text{tiempo}}$$

$$Qm = \frac{1,8648m * 2\,446,37e^6m^2}{31,536e^6s} = 144,66 \frac{m^3}{s}$$

5.2.2. Determinación del caudal de escorrentía del río Cahabón mediante el método racional

El método racional para el cálculo del caudal medio de escorrentía superficial en metros cúbicos por segundo, se basa en utilización del tipo y uso del suelo, tanto como el valor la intensidad de lluvia en milímetros por hora de la región en estudio. Su fórmula de cálculo es la siguiente.

$$Q_m = \frac{CiA}{3,6}$$

Aquella cantidad de agua que se infiltra y, por lo tanto no aporta valor a la escorrentía superficial se determina mediante el coeficiente de infiltración C, este coeficiente varía dependiendo del grado de fertilidad de la tierra, la pendiente y vegetación.

Otro factor determinativo del caudal de escorrentía es el área total de la cuenca A en kilómetros cuadrados, que se obtiene como se indica en las propiedades geomorfológicas de una cuenca en el capítulo 1.

Por supuesto, se utiliza el valor de la intensidad de lluvia (i) en milímetros por hora correspondiente a la estación en estudio, este valor se obtiene a partir de las curvas de intensidad, duración y frecuencia. Un factor importante de mencionar para el cálculo de la intensidad de lluvia es el tiempo de concentración de la cuenca, ya que de él dependerá la intensidad de lluvia a utilizar, generalmente se debe de interpolar el Tc dentro de la familia de curvas para obtener el valor de i de acuerdo a la probabilidad de ocurrencia o periodo de retorno seleccionado.

Tabla XIII. **Valores indicativos del coeficiente de escorrentía C**

Uso del suelo	Pendiente del terreno	Capacidad de infiltración del suelo		
		Alto	Medio	Bajo
Tierra agrícola	<5%	0,30	0,50	0,60
	5-10%	0,40	0,60	0,70
	10-30%	0,50	0,70	0,80
Potreros	<5%	0,10	0,30	0,40
	5-10%	0,15	0,35	0,55
	10-30%	0,20	0,40	0,60
Bosques	<5%	0,10	0,30	0,40
	5-10%	0,25	0,35	0,50
	10-30%	0,30	0,50	0,60

Fuente: National Engineering Handbook, Sec 4: Hydrology USDA 1972.

Las curvas de intensidad duración y frecuencia son de uso exclusivo para una estación estudiada y desarrolladas a base de tormentas registradas, tal y como se mencionó en el capítulo 2 de este trabajo, por lo tanto, las curvas que se utilizarán para la demostración de este método de cálculo, únicamente tienen validez para la estación en estudio y no deberán utilizarse para realizar cálculos de intensidad de lluvia para ningún otro lugar.

Para poder determinar el caudal de escorrentía se utilizarán los datos de intensidad de lluvia pertenecientes a la estación meteorológica Cobán, localizada dentro de la cuenca hidrográfica del río Cahabón, para la cual se ha desarrollado la siguiente familia de curvas de intensidad, duración y frecuencia con una cantidad de nueve años registrados y sesenta y siete tormentas.

La ecuación general para la elaboración de curvas de intensidad, duración y frecuencia es la siguiente:

$$i_{Tr} = \frac{Z}{(B + t)^n}$$

Donde i es la intensidad de lluvia asociada a un periodo de retorno Tr . A , B y n son parámetros de ajuste y t la duración de la tormenta en minutos. Una vez obtenida la familia de curvas de intensidad, duración y frecuencia, se debe seleccionar el periodo de retorno o bien en otras palabras la probabilidad de ocurrencia de la tormenta en años, seguidamente se deberá determinar el tiempo de concentración de la cuenca para realizar la interpolación en la gráfica de acuerdo a este valor y así determinar el valor de intensidad de lluvia a utilizar.

Tabla XIV. **Datos para la elaboración de curvas de intensidad, duración y frecuencia de la estación Cobán**

Periodo de retorno	2 años	5 años	10 años	20 años	25 años	30 años	50 años	100 años
Z	1 302	2 770	46 840	39 560	39 060	38 020	36 470	35 420
B	12	16	45	45	45	45	45	45
n	0,86,	0,966	1,43	1,381	1,374	1,374	1,362	1,353
R2	0,997	0,989	0,996	0,995	0,995	0,995	0,995	0,995

Fuente: Informe de intensidades de lluvia, Guatemala. p. 5.

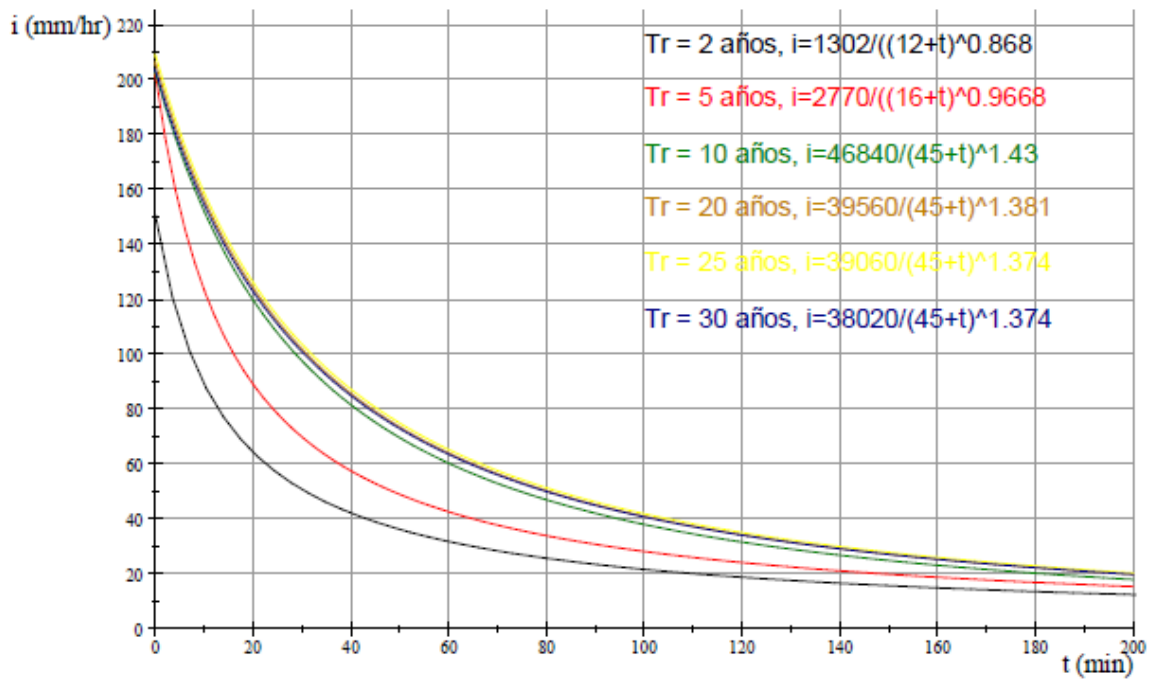
De acuerdo al capítulo 1 de este trabajo y a la pendiente de la cuenca obtenida en la sección de características edafológicas de la cuenca del río Cahabón de este capítulo, el tiempo de concentración de la cuenca es T_c :

$$T_c = \left(\frac{3L_m^{1,15}}{154H^{0,38}} \right)$$

Lm se refiere al largo total del río desde su nacimiento hasta su desembocadura o punto de aforo y H corresponde al desnivel de dicho tramo, entonces, con un Lm de 150 000 metros y H de aproximadamente 1 600 metros, el tiempo de concentración en minutos sería:

$$T_c = \left(\frac{3(150\,000m)^{1,15}}{154(1\,600m)^{0,38}} \right) = 1\,058 \text{ minutos}$$

Figura 26. **Familia de curvas de intensidad, duración y frecuencia para la estación Cobán**



Fuente: elaboración propia.

Como se puede observar, dentro de la familia de curvas de intensidad duración y frecuencia, el tiempo de concentración de la cuenca no tiene espacio lógico de cálculo, esto se debe a que la cuenca cuenta con un área mayor a la que estima el método para su correcta aplicación aproximadamente de 1 250

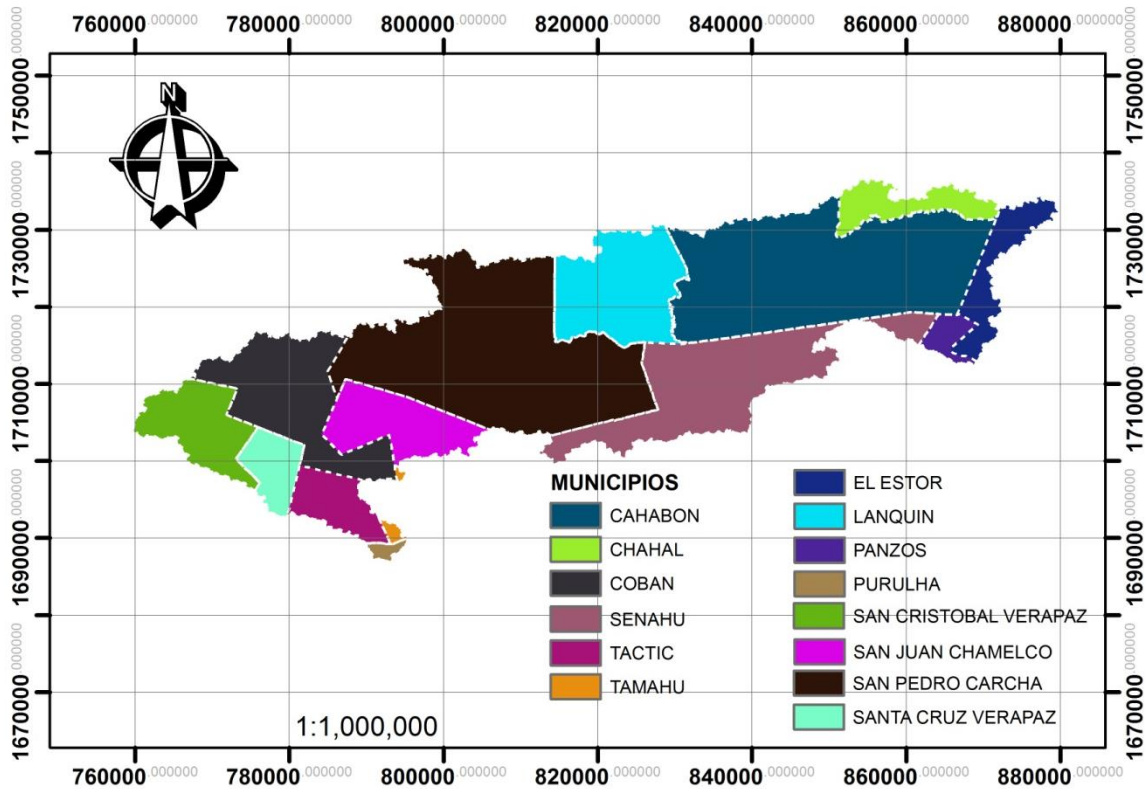
hectáreas o 12,5 kilómetros cuadrados, por lo tanto, para la cuenca hidrográfica completa del río Cahabón es imposible determinar el caudal medio de escorrentía a partir del método racional, sin embargo, el método sí puede ser utilizado en una microcuenca de esta.

5.3. Características económicas y demográficas de las comunidades en desarrollo dentro de la cuenca del río Cahabón

Son 14 los municipios que están dentro de los límites físicos de la cuenca del río Cahabón, municipios como: Purulhá, Tamahú, Panzós y El Estor no desarrollan caseríos de tamaño significativo dentro del área, esto no se debe a que sean de poca extensión territorial, sino más bien se debe al hecho de que la cuenca hidrográfica tiene parte de agua cercanas a los límites de los municipios, por lo que entran en pequeña porción dentro de ella.

La cuenca hidrográfica del río Cahabón se desarrolla prácticamente dentro del departamento de Alta Verapaz, municipios como Purulhá y El Estor forman parte de los departamentos de Baja Verapaz e Izabal respectivamente, la extensión de estos dentro de los límites de la cuenca es pequeña por lo que se puede asumir que la cuenca pertenece en un 95 por ciento o más al departamento de Alta Verapaz, por lo tanto el análisis demográfico se desarrollará únicamente tomando en consideración a los municipios pertenecientes al departamento de Alta Verapaz.

Figura 27. Municipios que conforman el territorio de la cuenca del río Cahabón



Coordinate System: WGS 1984 UTM Zone 15N
 Projection: Transverse Mercator
 Datum: WGS 1984
 False Easting: 500,000.0000
 False Northing: 0.0000
 Central Meridian: -93.0000
 Scale Factor: 0.9996
 Latitude Of Origin: 0.0000
 Units: Meter



Fuente: elaboración propia.

Tabla XV. Actividades económicas y demográficas de las comunidades en desarrollo dentro de los límites de la cuenca del río Cahabón

Municipio	Población 2014	Principales actividades económicas	Otras observaciones
Tactic	37 164	Cultivo de frijol, maíz, caña, tomate, papa, aguacate, pacaya, zanahoria, remolacha, rábano, coliflor, acelga, lechuga, arveja, haba, naranjas.	Las enfermedades más frecuentes son: infecciones respiratorias, parasitismo intestinal, diarrea, anemia, gastritis, infecciones urinarias.
Santa Cruz Verapaz	40 951	Cultivo de café, frijol, maíz y algunas hortalizas como tomate, chile pimiento, rábano, repollo y cilantro.	Debido al clima muy inestable, las infecciones respiratorias son frecuentes.
San Cristóbal Verapaz	63 963	Se desarrolla una agricultura promedio en la región, en el área industrial se encuentra la fábrica de calzado Luces del Norte.	Solo el 66 % de la población tiene luz eléctrica. El agua potable es de mala calidad.
Cobán	250 675	Su principal cultivo es el café, cardamomo y té. Se elaboran artesanías de madera, barro y cuero.	Es una región hidrológicamente activa a lo largo del año sin crecidas, pero con lluvia continua.
San Juan Chamelco	61 545	Cultivo de maíz, maguey, papa, frijol. Artesanía en madera, petates de palma y teja.	Se han recibido denuncias por conflictos de tierra y falta de agua.
San Pedro Carchá	235 212	Su principal actividad económica es la agricultura a escala familiar.	Según encuestas del INE, gran parte de agricultores son niños estudiantes.
Lanquín	26 164	Cultivo de maíz, plátano, chile, cacao y arroz. Artesanías con morro, barro y madera de palo blanco, caoba y cedro.	Se localiza uno de los principales atractivos turísticos de Guatemala, las Grutas de Lanquín.
Senahú	69 272	Cultivo de maíz, frijol, arroz y café. Artesanías de cerámica, hierro, cuero, candelas y petates.	Sitios arqueológicos como: Seacal, Seamay y Sepacuité.
Cahabón	63 003	La agricultura constituye un 84% de la economía del municipio, se cultiva maíz, cardamomo, chile seco, frijol, achiote y pimienta.	El principal sitio de interés turístico es el monumento natural Semuc Champey.
Chahal	28 141	Un 70 % de la población se dedica a la agricultura, un 10 % a la actividad agropecuaria. El resto se divide en la artesanía, negocios y servicios.	El promedio en ingresos mensuales de las personas se comprende entre Q.500,00 y Q.900,00

Fuente: elaboración propia.

El cultivo de brócoli y ejote que se realiza en el municipio de Tactic se desarrolla a gran escala puesto que este es el que suple la mayor parte de la demanda nacional.

La actividad económica predominante en toda la región es mayormente agrícola, para finales de los años 70 la población aún utilizaba métodos antiguos para la siembra y cosecha de hortalizas. Cabe mencionar que algunos municipios como Tactic han sido invadidos por personas que han llevado enseñanza y capacitación en agricultura, ya que la calidad del suelo es apta para el desarrollo de la misma.

La cuenca del río Cahabón se caracteriza por ser una de las de mayor potencial hídrico según indica el INSIVUMEH en su Atlas Hidrológico, se registran precipitaciones anuales que van desde los 1 500 mm/año hasta los 4 000 mm/año dentro de sus límites, por lo que la actividad agrícola podría infundirse a una escala mucho mayor.

El sector industrial de la región aun se encuentra en muy baja escala debido a la falta de capacitación y oportunidades de desarrollo, existen negocios y comercios a escala familiar, la industria de mayor reconocimiento localizada dentro de la cuenca que inclusive realiza exportaciones internacionales es la fábrica de calzado Luces del Norte en el municipio de San Cristóbal Verapaz.

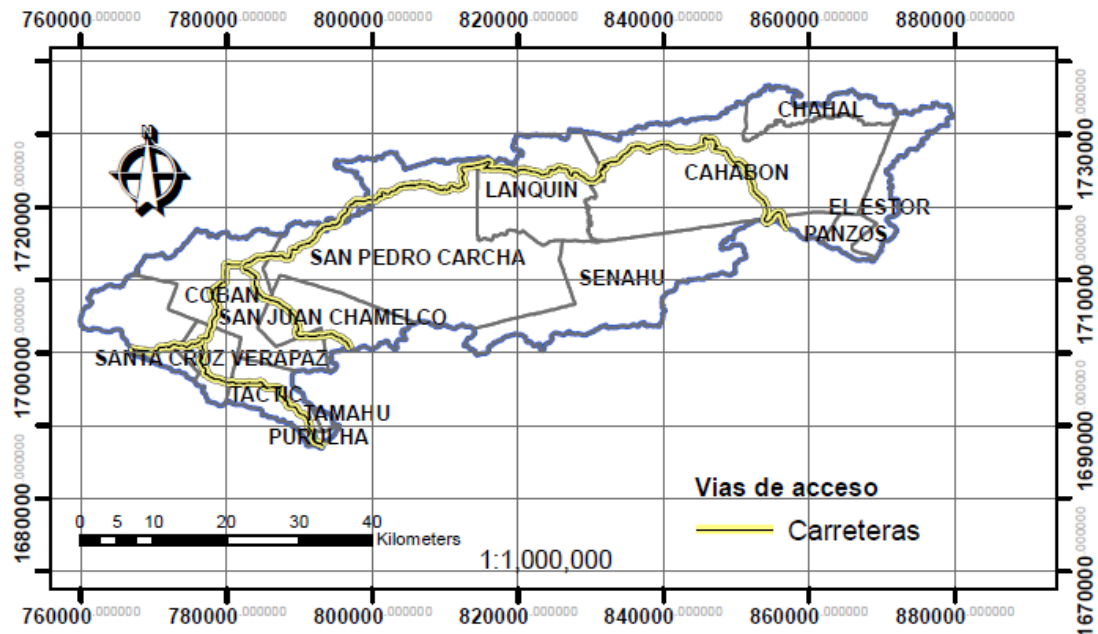
La actividad agropecuaria es realizada a baja escala por un total menor al 10 por ciento de la población, otro fuerte económico importante de destacar es la artesanía, esta se considera como una tradición de los antepasados y se realiza haciendo uso de materiales como: barro, hule, roca, madera y cerámicos.

5.3.1. Principales vías de acceso a la cuenca del río Cahabón

La principal vía de acceso a la cuenca hidrográfica del río Cahabón es la carretera CA14, que inicia a inmediaciones de El Rancho en el departamento de El Progreso con destino hacia la cabecera departamental de Alta Verapaz, Cobán, atravesando los municipios de Tactic y Santa Cruz Verapaz.

Otras carreteras importantes son las que conectan a Santa Cruz Verapaz con San Cristóbal Verapaz, Cobán con San Juan Chamelco y a Cobán con San Pedro Carchá extendiéndose hasta los municipios de Lanquín y Cahabón conectando a este último con el Polochic, en donde se conoce como ruta 29.

Figura 28. Carreteras dentro de la cuenca del río Cahabón



Fuente: elaboración propia.

5.4. Planificación de la cuenca hidrográfica del río Cahabón

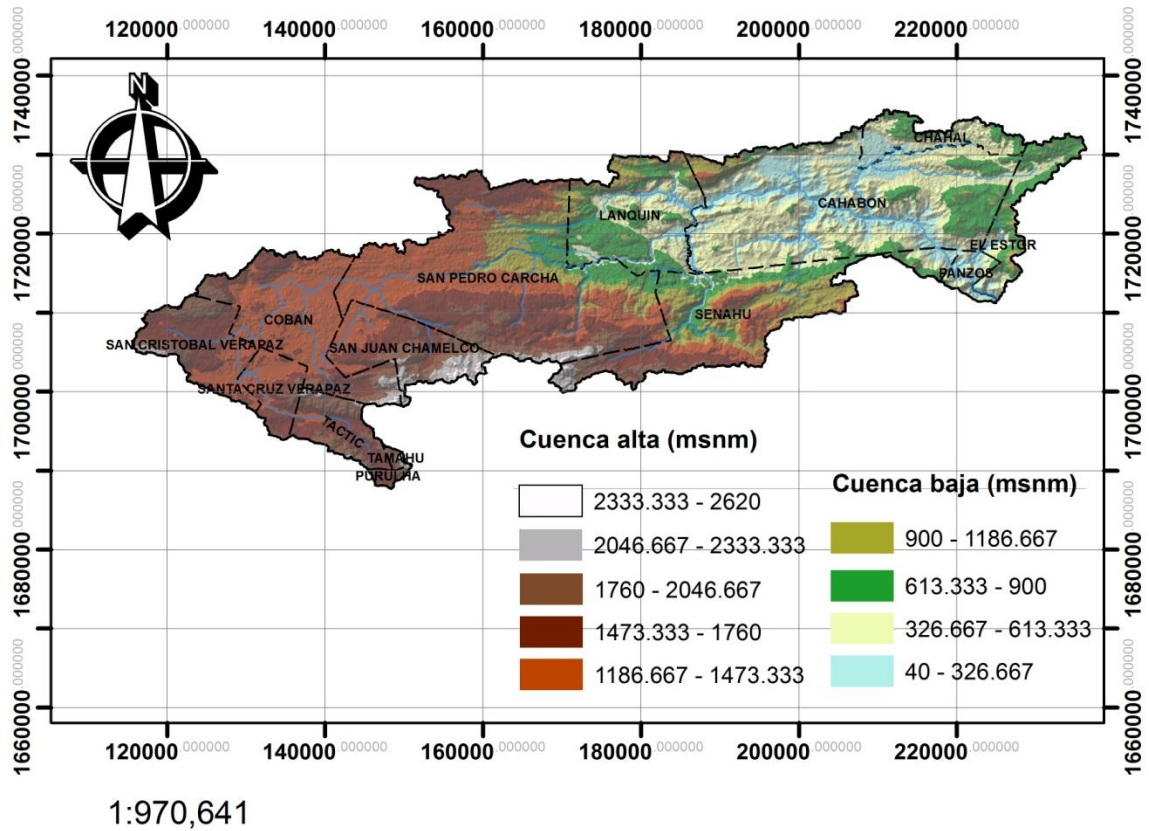
La planificación de recursos hídricos puede llevarse a cabo mediante software, un programa recomendado para identificar las áreas con mayor probabilidad de inundaciones es el de la rama GIS llamado ArcMap, en el se puede determinar aspectos relacionados con estos hechos.

Por otro lado, una gestión completa de recursos dentro de la cuenca hidrográfica del río Cahabón se debe desarrollar con la información recolectada en los subíndices anteriores.

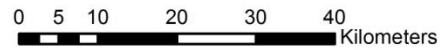
La cuenca hidrográfica del río Cahabón es una cuenca con forma física similar a la de un rectángulo más largo que ancho y debido a este hecho el agua de escorrentía producto de la precipitación comienza su recorrido en la parte más alta de la cuenca y atraviesa prácticamente a todos los caseríos y pueblos desarrollados en el lugar hasta que desemboca en el río Polochic, por esto es importante a tomar en consideración que la contaminación que se desarrolle en los pueblos donde inicia el río, contaminará a todos los municipios aguas abajo e inclusive esto incide negativamente en la conservación del lago de Izabal debido a que el río desemboca al océano a través del río Polochic y este lago.

Para poder desarrollar un estudio más específico de lo que sucede dentro de la cuenca se ha decidido subdividirla en dos regiones de acuerdo a su altura, estas se muestran en la figura 29.

Figura 29. Cuenca alta y baja del río Cahabón



Coordinate System: WGS 1984 UTM Zone 16N
 Projection: Transverse Mercator
 Datum: WGS 1984
 false easting: 500,000.0000
 false northing: 0.0000
 central meridian: -87.0000
 scale factor: 0.9996
 latitude of origin: 0.0000
 Units: Meter



Fuente: elaboración propia.

La división en cuenca alta y baja del río Cahabón ha sido la respuesta para poder llevar a cabo un control específico del recurso hídrico de la región.

Se ha decidido realizar una división para poder determinar más detalladamente lo que sucede en cada uno de los pueblos que conforman cada una de las subcuencas y por este hecho es que se ha decidido seleccionar los municipios que conforman cada subcuenca a nivel de planificación de la siguiente manera:

Tabla XVI. **Municipios que conforman cada subcuenca**

Subcuenca	Municipio
Cuenca alta	Tactic
	Santa Cruz Verapaz
	San Cristóbal Verapaz
	Cobán
	San Juan Chamelco
	San Pedro Carchá
Cuenca baja	Lanquín
	Senahú
	Cahabón
	Chahal

Fuente: elaboración propia.

El estudio de actividades económicas de cada municipio revela que en la región lo que prevalece es la agricultura, con siembra de productos a lo largo del año, generalmente los agricultores aprovechan la precipitación como medio de riego para sus cultivos. Es importante tomar en consideración que el área más activa económicamente hablando es la conformada por los municipios de la cuenca alta, por ello se debe de desarrollar planes estratégicos para que toda actividad que tome lugar en esta área no afecte negativamente a los municipios en desarrollo en la cuenca baja.

5.4.1. Distribución del recurso hídrico en la cuenca alta y baja del río Cahabón

El caudal de esorrentía superficial promedio de la cuenca del río Cahabón es de 140 metros cúbicos por segundo de acuerdo a los cálculos desarrollados con anterioridad, si se dispone a realizar una repartición equitativa de este caudal a los distintos pueblos que conforman cada parte de la cuenca, se dispondrá de un aproximado de 70 metros cúbicos por segundo para la parte alta de la cuenca y 70 metros cúbicos por segundo en total para la parte baja de la cuenca, sin tomar en consideración las aguas provenientes de la cuenca alta, entonces la distribución del caudal por actividades sería la de la tabla XVI considerando que el 70 por ciento de la población es agrícola y el resto industrial que abarca artesanías y otras actividades.

Esto, por supuesto se hace sin necesidad de requerir algún tipo de embalse para suplirlo, lo que sí debe de tenerse son medios para el transporte del agua hasta las áreas necesitadas, ya que de acuerdo al relieve del terreno, existen cerros en donde el acceso es limitado, por lo cual el recurso podría conducirse a través de un sistema de bombeo.

Tabla XVII. **Distribución de caudales de acuerdo a la actividad económica desarrollada en cada subcuenca del río Cahabón**

Sub Cuenca	Disponibilidad hídrica	Municipio	Sector agrícola m ³ /s	Sector industrial y artesanal m ³ /s
Cuenca alta	70 metros cúbicos por segundo	Tactic	2,641	1,132
		Santa Cruz Verapaz	2,910	1,247
		San Cristóbal Verapaz	4,546	1,948
		Cobán	17,814	7,635
		San Juan Chamelco	4,374	1,874
		San Pedro Carchá	16,715	7,164
Cuenca baja	70 metros cúbicos por segundo	Lanquín	6,871	2,945
		Senahú	18,192	7,797
		Cahabón	16,546	7,091
		Chahal	7,390	3,167

Fuente: elaboración propia.

Como se puede observar, los valores de caudal que le correspondería a cada sector son grandes y más de lo que necesitan para realizar sus actividades, con esto se puede observar que el potencial hídrico de la región puede suplir las actividades que se desarrollan dentro de ella.

5.4.2. Planes para la conservación de la parte alta y baja de la cuenca del río Cahabón

En los municipios de la cuenca alta ya existen enfermedades gastrointestinales debido a la contaminación de cuerpos de agua, los municipios de San Juan Chamelco y San Cristóbal Verapaz han experimentado infecciones intestinales debido a la mala calidad del agua, no es fácil determinar específicamente que hecho es el que ocasionó estos trastornos, pero es factible considerar que el mal uso del suelo, también provoca trastornos alimenticios en

los pobladores. Siendo estos dos municipios quienes primero reciben el agua, se puede imaginar que pasara aguas abajo si las descargas de aguas servidas se realizan directamente al cauce principal del río sin tratamiento previo.

Como se estudió en el capítulo 3 de este trabajo, el mal uso de los suelos provoca contaminación ambiental, tanto como la contaminación por desechos sólidos que afecta directamente al agua y aire, así es que para poder disminuir los efectos negativos sobre el ambiente se debe prever y dotar de información a las comunidades, concientizando sobre los cambios que el mal uso de recursos provoca al ambiente.

Realizando los esfuerzos de capacitación para la cuenca alta del río Cahabón, se preservará de manera significativa los sitios naturales y la calidad de vida de los pobladores de la cuenca baja.

El índice de desarrollo más alto lo presentan los pueblos que conforman la cuenca alta y, por ello los esfuerzos de prevención se deben de desarrollar en mayor manera en esta región, sin descuidar desde luego la cuenca baja.

La gestión del suelo es otro aspecto importante de tomar en consideración, como se puede observar en la figura 24, el tipo de suelo que más abunda dentro de la región es el denominado por taxonomía como Entisol, este suelo se caracteriza principalmente por responder de manera adecuada al uso de fertilizantes, esto junto al potencial hídrico de la cuenca puede traducirse en un cambio total de la actividad económica, podría predecirse una agricultura a un nivel aún mayor, con la intervención de conocimiento agroindustrial que prevea del tipo de fertilizante que se adapte mejor al suelo Entisol y que a su vez reduzca los riesgos de pérdida de cobertura vegetal y erosión del suelo.

El potencial hídrico del cauce principal inclusive puede ser utilizado para la generación de energía eléctrica en la región, esto supliría a toda aquella comunidad que aún no cuenta con energía eléctrica en su hogar y aun a comunidades e inclusive departamentos ajenos a la cuenca.

El caudal que el río recolecta es sin duda grande como para satisfacer la necesidad de dotación de energía eléctrica. De la figura 20 se observa que el perfil del río tiene un cambio de pendiente brusco entre los 60 y 100 kilómetros de su recorrido con un desnivel de aproximadamente 1 300 metros, esto sin duda alguna puede ser aprovechado para generar energía hidroeléctrica, no solo en una central sino distribuir varias centrales hidroeléctricas aprovechado la caída y la distancia de 40 kilómetros que se tiene entre esos puntos.

La construcción de plantas de tratamiento de aguas servidas es sin duda alguna un aspecto importante de considerar para esta cuenca, ya que generalmente las aguas servidas son descargadas de manera directa sin tratamiento previo al río, esto se traduce en una contaminación directa del afluente, este hecho debe de considerarse ahora que la población aún no es lo suficientemente grande para destruir por completo los recursos de la cuenca, ya que de no arreglar esta situación es muy posible que sitios como Semuc Champey aguas abajo desaparezca como parte del deterioro ambiental y turístico.

El aspecto del saneamiento de aguas es de suma importancia, este debe hacerse de acuerdo al uso que se le da. Ya que dentro de la cuenca la actividad económica es mayormente agrícola, solo se debe tener un control adecuado de los insecticidas y herbicidas a utilizar, para que el agua y el suelo no se contaminen. Según los estudios del MARN, la mayor cantidad de agua

descargada a los afluentes en Guatemala es la proveniente de la actividad doméstica e industrias.

Las industrias en la cuenca del río Cahabón no están completamente desarrolladas, lo cual es una ventaja puesto que al momento de crearse una nueva industria, se debe solicitar la inclusión de una planta de tratamiento de aguas negras; por otro lado según el MARN en su informe del 2011, existe únicamente una planta de tratamiento correspondiente a la cabecera de Alta Verapaz Cobán, por lo que es de suma importancia que se desarrolle una planta para cada una de las comunidades, ya que la de San Cristóbal Verapaz no se encuentra en perfecto funcionamiento.

De acuerdo a la figura 28, las vías de acceso con las que cuenta la región son pocas y esto se debe al tipo de terreno mayormente montañoso, por ello es importante realizar los esfuerzos para la planificación y construcción de vías de comunicación entre los municipios de Lanquín y Senahú con San Pedro Carchá.

5.5. Perspectiva de la ingeniería civil en el manejo integral de cuencas

La ingeniería civil tiene como objetivo traer mejores condiciones de vida a las comunidades mediante la planificación construcción y mantenimiento de obras de infraestructura. Por lo que, al tomar a la cuenca hidrográfica como base para la planificación territorial se puede lograr hechos que desarrollen mejor calidad de vida a las comunidades dentro de sus límites.

Desde el punto de vista de la ingeniería civil, la cuenca hidrográfica superficial juega un papel importante no solo para la planificación territorial sino también para el desarrollo de obras de infraestructura, puesto que no es lo

mismo diseñar una obra para una región desconocida que desarrollarla para un área específica en donde se conoce la necesidad que se tiene, junto con los aspectos hidrológicos, edafológicos y demográficos.

La planificación de acuerdo al sector económico, social y geográfico, debe ir de la mano con los planes de desarrollo de infraestructura para obtener un potencial mayor y con base en las necesidades que se deben suplir cumpliendo así con los principios citados por la planificación.

Un hecho importante de considerar es la generación de energía hidroeléctrica no solo para las comunidades asentadas dentro de la cuenca sino también, para aquellas comunidades pertenecientes a otras regiones en donde los recursos no son suficientes para generar energía o bien sus cualidades geomorfológicas e hidrológicas no lo permiten.

CONCLUSIONES

1. La cuenca hidrográfica, como base para la planificación territorial, tiene un futuro muy prometedor en Guatemala si su consideración es tomada en serio, puesto que, a partir de información ambiental, cultural, económica, edafológica e hidrológica de la misma, se puede llevar a cabo una mejor gestión de recursos, conociendo así los lugares más aptos para la ubicación de las comunidades e impulsar el desarrollo agrícola y agroindustrial de la región.
2. El manejo apropiado de la cuenca hidrográfica del río Cahabón puede brindar valiosos beneficios a las comunidades de los municipios de Alta Verapaz y comunidades circunvecinas, ya que puede brindar beneficios ecológicos, sociales y económicos; en lo ecológico, el paisaje, turismo, recreación, conservación del suelo y agua regenerando su ciclo; en lo social, producción de alimentos y patrimonio cultura y en lo económico, productos agropecuarios, hidroeléctricas, riego y generación de agua potable.
3. La ingeniería juega un papel importante en el desarrollo de las comunidades, por ello debe centrarse en atender específicamente a las necesidades más urgentes de la población, con un marco de referencia ambiental dentro de los planes de desarrollo para contribuir con un área ambiental más estable.

4. El uso del agua dentro de una cuenca hidrográfica juega un papel importante para impulsar el desarrollo dentro de la región, este manejo de agua debe desarrollarse dependiendo de las necesidades de los habitantes y el saneamiento de la misma debe de determinarse de acuerdo a la naturaleza de su uso, es decir, tratar las aguas negras según su procedencia para obtener un resultado adecuado y no invertir en tratamientos costosos que no traten los problemas que se tienen, o bien, que no curen el agua de acuerdo al uso que se le ha dado, este tratamiento debe ser determinado a través de análisis químicos y bacteriológicos que muestren el nivel de su pureza.

5. El mal uso del agua es un hecho alarmante para la sociedad guatemalteca en general, ecoregiones, cuerpos de agua, animales y plantas han dejado de existir. Infecciones respiratorias, muertes y enfermedades gastrointestinales son también el resultado de un mal uso de recursos y abuso en el uso de los mismos. Es falsa la creencia de que el calentamiento y variabilidad en el clima solo afectan a los glaciares y a los osos polares, sus efectos se sienten ya en todos los lugares del mundo por medio de olas de calor cada vez más frecuentes, lluvias torrenciales y más seguidas, sequias extensas, así como cada vez mas incendios de mayor envergadura, siendo la principal causa la emisión de gases del efecto invernadero a través de la quema del carbón, el consumo de petróleo y gases generados por los vehículos, prácticas agrícolas y ganaderas y en el medio guatemalteco la tala inmoderada de árboles sin control y regulación.

6. La planificación integrada de cuencas hidrográficas debe auxiliarse de ciencias de la Tierra como la ecología, edafología, agronomía, ingeniería, ambientalismo y demás, para poder llevar a cabo una gestión adecuada de recursos.

7. El uso de ciertos abonos para la agricultura dependen del tipo de suelo de la región, es por ello que para que la agricultura se desarrolle de manera adecuada en Guatemala, se debe de diseñar fertilizantes que estén de acuerdo al tipo de suelo y que, a su vez reduzcan los riesgos de erosión de la tierra y pérdida en la cobertura vegetal, estos fertilizantes deben ser desarrollados por expertos de la agronomía y ciencias afines.

RECOMENDACIONES

1. Para poder llevar a cabo una mejor gestión de una cuenca hidrográfica, es importante tomar en consideración que mientras más información se tenga mejores serán los resultados, por ello es importante que los entes encargados de llevar a cabo los registros hidrológicos y ambientales, instalen un mayor número de estaciones de control dentro de los límites físicos de cada cuenca hidrográfica, incluyendo dentro de ellos una estación hidrométrica en la salida o desembocadura de cada cuenca, en donde la información recolectada sea de uso público.
2. Los habitantes que radican en los márgenes de la cuenca hidrográfica del río Cahabón, principalmente los de los municipios de Cobán, Tactic, San Juan Chamelco, San Pedro Carchá, San Cristóbal Verapaz, Santa Cruz Verapaz, Lanquín, Cahabón, Senahú y Chahal, del departamento de Alta Verapaz y comunidades circunvecinas, deberán propiciar sus condiciones de vida cambiando de actitud en la producción agrícola, diversificando y proporcionando el uso racional y sostenible de los recursos.
3. El considerar a la cuenca hidrográfica superficial como base para la planificación es una idea que puede llegar a tener muchos resultados positivos para el desarrollo de las comunidades en Guatemala. Si los planificadores gestionaran una cuenca hidrográfica, sin duda alguna, los resultados obtenidos serían mucho más precisos y reflejarían resultados de acuerdo a las características de la cuenca y no del departamento.

4. Si se dividiera políticamente a la República de Guatemala de acuerdo a sus cuencas hidrográficas, su potencial económico mejoraría considerablemente, es decir, dejar de enfocarse en una región como lo es un departamento y comenzar a ver a la cuenca hidrográfica como base para el desarrollo.
5. Impulsar proyectos de capacitación a las comunidades que se desarrollan dentro de una cuenca puede ser benéfico para la reducción de los altos índices de contaminación que se registran en el país. Haciendo conciencia de cómo los malos actos o la mala educación ambiental están contribuyendo a que el ambiente se deteriore cada vez más a pasos agigantados.
6. Si se logra concientizar a la ciudadanía para tener un mejor uso de recursos, esto se traducirá en un aspecto positivo para la conservación del ambiente, no es seguro suponer que los daños se arreglen, porque seguramente ya no se podrá, sin embargo, se puede mantener un equilibrio estable que permita, por lo menos las especies que aún continúan con vida, se siga haciendo por un periodo más largo de tiempo.

BIBLIOGRAFÍA

1. BARQUÍN DURÁN, Edgar. *Perspectivas económicas en un año electoral*. Guatemala: Cámara de Industria de Guatemala, 2011. 29 p.
2. *Comisión Nacional de Microcuencas Proyecto Tacaná*. Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza. San Marcos, Guatemala: Sincronía, 2009. ISBN: 978-99922-2-605-6.
3. DARDON SOSA, Juan Jacobo. *La cuenca hidrográfica y su importancia para la gestión regional del desarrollo sustentable del altiplano occidental de Guatemala*. Morales Garzón, Cecilia Patricia (colaboradora). Guatemala: 2002. 29 p.
4. DEPARTAMENTO DE AGRICULTURA DE LOS ESTADOS UNIDOS DE AMÉRICA. *Claves para la taxonomía de suelos*. 10a ed. Montecillo, Texcoco, estado de México: 2007. 331 p.
5. FATTORELLI, Sergio; FERNÁNDEZ, Pedro. *Diseño hidrológico*. 2a ed. París: 2011. 531 p. ISBN: 978-987-05-2738-2.
6. GUERRERO, Omar Antonio. *Geomorfología de cuencas*. [en línea]. Venezuela. Capítulo 4, 32 p. http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/oguerre/4_Geomorfologia.pdf. [Consulta: 9 de junio de 2013]

7. GUILLÉN SALAZAR, Manuel María. *Curso de planeamiento Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala*. Guatemala: 2014. 71 p.
8. Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología. *Estudio de intensidades de precipitación en Guatemala*. Guatemala: INSIVUMEH. 12 p.
9. *Informe ambiental del Estado de Guatemala*. Guatemala: MARN, 2011. 267 p.
10. *Informe ambiental del Estado de Guatemala*. GEO 2009. Guatemala: MARN, 2009. 285 p. ISBN: 978-9929-8010-7-3.
11. Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. *Cuencas hidrográficas de Guatemala*. Guatemala: MARN, 2011. 49 p.
12. Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. *Primer Informe Indicativo de Medición de la Calidad del Aire Ambiente en las Cabeceras Departamentales de la República de Guatemala*. Guatemala: MARN, Usac, 2013. 51 p.
13. Ministerio de Educación. *Historia de Guatemala*. [en línea]. Guatemala: http://www.mineduc.gob.gt/portal/contenido/menu_lateral/programas/seminario/docs13/HISTORIA%20DE%20GUATEMALA.pdf. [Consulta: 26 de junio de 2013].

14. MOLINA CALDERÓN, José. *Breve historia económica de Guatemala del siglo XX*. [en línea]. Guatemala: Academia de Geografía e Historia de Guatemala. <<http://www.academiageohist.org.gt/actividades/HistoriaEconomicoSigloXXJMC.pdf>>. [Consulta: de 29 de julio de 2013].
15. Organization of American States. *Planificación de cuencas hidrográficas en relación al medio ambiente*. [en línea]. Washington DC: <<http://www.oas.org/dsd/publications/Unit/oea69s/ch006.htm>>. [Consulta: 7 de febrero de 2014].
16. ROSALES POSAS, Ramón. *Formulación y evaluación de proyectos*. Costa Rica: Instituto Centroamericano de Administración Pública 2008. 217 p.
17. TUCKER, Irvin. *Fundamentos de economía*. 3a ed. México: Thomson Learnig, 2001. 550 p. ISBN: 970-686-107-6.

