

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería



Factores que influyen en la implementación de una red de
estaciones meteorológicas para desarrollo hidroeléctrico en la
cuenca del Río Cahabón, Alta Verapaz, Guatemala

TOMO I

Trabajo de graduación en modalidad de megaproyecto presentado por
Julio Alejandro Abdo Rojas, Adriana Aguirre Aguilar,
Katherine Dayanne Corado Remón, Antonio Andreé Letona Samayoa,
Luis Rodrigoandrés Morales Ortega, Carlos Rodrigo Pacheco Lainfiesta,
Estuardo Villatoro Castañeda y Margarita María Vizcaíno Cabarrús
para optar al grado académico de
Licenciados en Ingeniería Civil.

Guatemala

2015

Factores que influyen en la implementación de una red de estaciones meteorológicas para desarrollo hidroeléctrico en la cuenca del Río Cahabón, Alta Verapaz, Guatemala

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería



Factores que influyen en la implementación de una red de estaciones meteorológicas para desarrollo hidroeléctrico en la cuenca del Río Cahabón, Alta Verapaz, Guatemala.


TOMO I

Trabajo de graduación en modalidad de megaproyecto presentado por
Julio Alejandro Abdo Rojas, Adriana Aguirre Aguilar,
Katherine Dayanne Corado Remón, Antonio Andreé Letona Samayoa,
Luis Rodrigoandrés Morales Ortega, Carlos Rodrigo Pacheco Lainfiesta,
Estuardo Villatoro Castañeda y Margarita María Vizcaíno Cabarrús
para optar al grado académico de
Licenciados en Ingeniería Civil.

Guatemala


2015


V Vo. Bo.

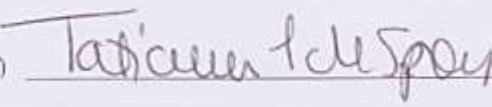
(f)  (f)
(Ing. Otoniel Echeverria)


(Ing. Roberto Godo)

Directores de los estudiantes que trabajaron el Megaproyecto:

(f)  (f)
(Ing. Otoniel Echeverria)

(f)  (f)
(Ing. Roberto Godo)

(f)  (f)
(Inga. Tatiana Lopera)

Fecha de aprobación: Guatemala, 25 de noviembre de 2015.

PREFACIO

El desarrollo del presente trabajo, surgió de la necesidad que existe en Guatemala de conocer las características hidrológicas, climáticas, medioambientales, socio-culturales y topográficas para realizar proyectos dentro del país, que permitan el desarrollo de proyectos hidroeléctricos. Uno de los problemas que detiene en gran parte la velocidad de desarrollo de los proyectos es la falta de orientación e información en cuanto a los procesos que conlleva desarrollar proyectos de esta índole. Si bien es cierto que la experiencia de los desarrolladores de proyectos hidroeléctricos juega un papel importante que determina el éxito de las obras, el hecho de contar con orientación e información confiable permite disminuir posibles errores que se traducen en ahorro de tiempo y recursos.

Una de las motivaciones al realizar esta investigación fue encontrar dentro de la Ingeniería Civil una aplicación que equilibrara el valor humano con las obras de infraestructura. Permitiendo atesorar el comportamiento humano, la historia, las características demográficas y la cosmovisión de las distintas culturas con el fin de encontrar medios para facilitar y promover el desarrollo de generación de energía por medio de hidroeléctricas.

Asimismo la elaboración del trabajo se concentra en la recopilación de información pertinente a los temas mencionados y relevantes a la región. Para lograr compartir esta información con mayor claridad, se elaboraron mapas a partir de capas de información ya existentes, aplicadas y analizadas al área de estudio con el programa QGIS.

En el documento se describen características físicas y ambientales de la cuenca del río Cahabón y de Alta Verapaz, así como el impacto de las actividades humanas realizadas dentro de una cuenca y problemas medioambientales. Finalmente se incluye conceptos relacionados a mejores prácticas que involucran planificación, conservación y gestión de cuencas, junto a procesos de desarrollo de proyectos como hidroeléctricas, de manera que sirvan como recomendación a las acciones que se puedan tomar a futuro en el área u otras partes del país que sea aplicable.

CONTENIDO

TOMO I

PREFACIO	vi
LISTA DE TABLAS.....	xxii
LISTA DE ILUSTRACIONES	xxvii
LISTA DE GRÁFICOS.....	xxxiii
RESUMEN.....	xxxiv
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. OBJETIVOS.....	3
A. Generales.....	3
B. Específicos.....	3
III. Características de una cuenca como sistema.....	4
A. Ubicación.....	4
1. Metodología.....	4
2. Implementación de la digitalización de cuencas.....	4
a. Evolución de la cartografía.....	4
b. Herramienta de digitalización.....	8
c. Recursos y fuentes de información.....	8
d. Ortofotos.....	10
e. Procedimiento de digitalización.....	11
B. Modelos Digitales de Elevación (MDE).....	20
1. Métodos de generación de Modelos Digitales de Elevación.....	20
2. Modelos indirectos.....	20
3. Elaboración de Modelos Digitales de Elevación (MDE).....	21
a. Preparación de fuentes de información digital.....	21
b. Generar una ubicación y un directorio de mapas.....	22
c. Aplicación de módulos GRASS.....	22

d.	Visualización de MDE en 3D.....	23
C.	Clima.....	24
1.	Clasificación climática.....	25
a.	El sistema de clasificación de Köppen.....	25
b.	El sistema de clasificación de Strahle.....	27
c.	El sistema de clasificación de Thornthwaite.....	29
2.	Clima en Guatemala.....	33
3.	Cambio climático.....	34
4.	Efectos del cambio climático en Guatemala.....	35
5.	Estaciones meteorológicas, hidrométricas, climatológicas.....	36
D.	Estándares para implementación de una estación.....	40
1.	Sistema de observación.....	40
2.	Requerimientos de instrumentos y sitio.....	41
3.	Coordenadas para estaciones.....	42
4.	Características.....	43
5.	Área de influencia.....	43
6.	Mantenimiento y calidad.....	44
7.	Clasificación estaciones.....	45
8.	Parámetros de medición.....	47
9.	Instrumentos según mecanismo de funcionamiento.....	47
a.	Observación directa.....	47
b.	Graficadores.....	48
10.	Características de instrumentos más utilizados.....	48
11.	Otros instrumentos.....	63
12.	Mediciones.....	66
13.	Unidades de medición.....	73
14.	Sistemas de recolección de datos.....	74
15.	Metadatos.....	74

16.	Recolección de datos convencional.	76
17.	Recolección de datos telemétrica.	77
18.	Sistema de observación global.	78
19.	GSM.	79
20.	GPRS.	79
21.	Estaciones meteorológicas en cuenca del río Cahabón.	79
22.	Estaciones públicas.	80
23.	Estaciones privadas.	92
IV.	Hidrología.	97
A.	Ciclo del agua.	97
1.	Cuencas hidrográficas.	98
2.	Definición de cuenca hidrográfica.	98
a.	Cuenca como sistema.	99
b.	Elementos de una cuenca.	99
c.	Partes de una cuenca hidrográfica.	101
d.	Divisorias.	101
e.	Clasificación de cuencas hidrológicas.	104
f.	Descripción física de una cuenca.	105
g.	Sistema de drenaje de una cuenca.	107
h.	Densidad de drenaje de una cuenca.	108
i.	Ventajas de una cuenca saludable.	109
j.	Deterioro de las cuencas hidrográficas.	109
B.	Perfil medioambiental.	110
1.	La contaminación de los ríos.	110
2.	Fuentes de contaminación antropogénica.	111
3.	Los efectos que provoca la contaminación sobre las aguas superficiales.	113
a.	Los sólidos en suspensión.	113
b.	Las grasas y los aceites.	113

c.	Los fenoles.	113
d.	Los detergentes.	114
e.	Los hidrocarburos.	116
f.	Los efectos de la contaminación del petróleo.....	116
g.	Las sustancias húmicas.	117
h.	La materia orgánica.	117
i.	La materia inorgánica.....	118
j.	Los compuestos orgánicos sintéticos.	118
k.	La salinidad del agua.....	118
l.	Los efectos del calor.....	119
m.	Los efectos provocados por microorganismos patógenos.	119
n.	Los efectos provocados por contaminación acústica.....	119
4.	Caracterización del agua.....	119
a.	Análisis físicos.	119
b.	Análisis químicos.	122
c.	Análisis bacteriológicos.	122
5.	Las aguas residuales.....	124
6.	Clasificación de las aguas residuales según su origen.	126
a.	Domésticas.	126
b.	Industriales.	126
c.	Agrícolas.	127
d.	Mineras.	128
e.	Energéticas.	128
f.	Radiactivas.	128
g.	Pluviales.	129
h.	Infiltración y caudales adicionales.	129
7.	Separación de las aguas residuales.....	129
8.	Tratamiento de las aguas residuales.....	131

9.	Proceso de tratamiento de las aguas residuales.....	131
a.	Fosas o tanques sépticos.....	132
b.	Plantas de depuración.....	133
10.	Tipos de tratamientos de las aguas residuales.....	133
11.	Degradación de suelos.....	136
12.	Riesgo en cuencas.....	137
C.	Caudal ecológico.....	138
1.	Consideraciones sobre caudal ecológico.....	138
2.	La regeneración de los causes.....	140
a.	Recuperación de cuencas.....	142
b.	Optimización.....	143
c.	Tratamiento de las aguas residuales previo a ser vertidas en las corrientes de agua superficial.....	143
3.	Caudal ecológico.....	143
4.	Las razones de establecer un caudal ecológico.....	145
5.	Régimen de un “caudal ecológico”.....	146
a.	Caudales ecológicos básicos.....	146
b.	Parámetros del régimen del caudal ecológico.....	147
6.	Métodos para la estimación de un “caudal ecológico”.....	147
a.	Métodos hidrológicos.....	148
b.	Métodos hidráulicos.....	155
c.	Métodos hidrobiológicos.....	159
d.	Métodos holísticos.....	164
7.	Análisis de la información y comparación de resultados.....	168
a.	Evaluación de los distintos métodos para la estimación de un caudal ecológico.....	168
b.	Comparación de las distintas metodologías para la estimación de un caudal ecológico.....	174
c.	Evaluación de los métodos de potencial adaptación al contexto nacional.....	179

d.	Análisis de los resultados e identificación de los métodos de potencial adaptación al contexto nacional.....	183
D.	Función de la vegetación en cuencas.....	190
1.	Hidrología forestal.....	194
V.	Perfil ambiental.....	196
A.	Definición de perfil ambiental.....	196
B.	Biodiversidad de Guatemala.....	198
VI.	Coberturas y uso de suelo.....	203
A.	Clasificación de tierras.....	203
B.	Planificación de uso de tierra.....	210
1.	Zonificación Ecológica-Económica.....	211
C.	Cultivos.....	212
1.	Alternativas y prácticas.....	214
D.	Actividades humanas dentro de una cuenca.....	220
1.	Urbanismo.....	224
2.	Agricultura.....	226
3.	Ganadería.....	228
4.	Otros: industria, minería, energía.....	228
VII.	Recursos naturales.....	231
A.	¿Qué son los recursos naturales?.....	232
B.	¿A quién pertenecen?.....	232
C.	Regulación de los recursos naturales.....	234
1.	Guatemala.....	234
2.	Europa.....	243
D.	Protección y conservación.....	252
1.	Recuperación de suelos.....	252
2.	Reforestación.....	254
3.	Explotación forestal.....	258
4.	Áreas de protección.....	259

E.	Turismo.	262
F.	Educación ambiental	263
VIII.	Aspectos socioculturales generales.....	265
A.	Demografía.....	265
1.	Número de habitantes registrados en Censos de 1994 y 2002.	265
2.	Densidad de población en 2002 y proyección para 2020.....	266
3.	Tasa de crecimiento poblacional.....	266
B.	Índice de desarrollo humano.	266
1.	Calidad de vida.	267
C.	Estructura social.	269
IX.	Gestión integrada de recursos hídricos (GIRH).....	271
A.	Situación actual del agua.	271
1.	Madrid.....	272
2.	Guatemala.	278
B.	Conflictividad.....	285
1.	Generalidades de los conflictos.....	285
2.	Gestión de conflictos.	285
3.	Resolución de conflictos.	286
C.	Conflictos y desafíos en proyectos hidroeléctricos en Guatemala.....	289
D.	Reacciones ante proyectos pasados.	291
1.	El caso emblemático de la construcción de la hidroeléctrica Chixoy.	291
2.	Río Hondo: La resistencia del pueblo de Río Hondo, Zacapa.	292
E.	Lecciones aprendidas.....	293
F.	Modalidades de manejo social en proyectos hidroeléctricos nacionales.	293
1.	Propuesta de gestión e inclusión social de proyectos hidroeléctricos (dirección de incidencia Pública, 2014).....	294
2.	Un nuevo marco para la toma de decisiones.....	301
3.	Guía metodológica para el desarrollo de una Estrategia de Abordaje Social en Proyectos de Generación de Energía con Fuentes Hídricas.	301

G.	Estudio de casos.....	302
1.	Lago de Atitlán.	302
2.	Cuenca del Lago Arenal.....	304
3.	Río Lempa.	306
4.	Manejo de la cuenca del Canal de Panamá.	308
X.	Legislación Internacional de aguas.....	311
A.	Corporaciones Municipales y la gestión del agua	311
1.	Los municipios y el agua en Guatemala.	311
2.	Los municipios y el agua en Latinoamérica.....	311
3.	Casos municipales.....	312
B.	Evolución de las políticas en Latinoamérica.	315
1.	Conflictos para mejorar la gestión del recurso hídrico.	316
2.	Tendencias actuales sobre políticas hídricas.....	318
3.	¿Por qué hacer cambios?.....	319
4.	¿Qué ha funcionado? ¿Qué no ha funcionado?.....	320
5.	Autofinanciamiento como parte de la gestión de aguas.....	321
6.	Avances regionales.	321
XI.	GESTIÓN INTEGRADA DE RECURSOS HÍDRICOS (GIRH)	323
A.	¿Qué es la Gestión Integrada de Recursos Hídricos (GIRH)?	323
B.	Importancia de la Gestión Integrada de Recursos Hídricos (GIRH).	323
C.	Principios.....	324
D.	Enfoque y planteamiento de la Gestión Integrada de Recursos Hídricos (GIRH).....	326
E.	Alcances.	327
F.	Límites.....	329
XII.	Guía Hidroeléctricas.	330
A.	El sector eléctrico en Guatemala.	330
1.	Antecedentes generales.	330
2.	El sector eléctrico en la actualidad.....	330
B.	Generación de la energía eléctrica.....	331

1.	Energía.....	331
2.	Energía no renovable.....	332
3.	Combustibles fósiles.....	332
	a. El petróleo.....	332
	b. El gas natural.....	333
	c. El carbón.....	334
	d. Energía renovable.....	335
C.	Situación actual de las centrales hidroeléctricas.....	337
1.	Componentes de una hidroeléctrica.....	338
	a. Toma o bocatoma.....	338
	b. Canal de acceso o conducciones.....	339
	c. Cámara de carga o desarenador.....	339
	d. Tubería de presión.....	339
	e. Válvula.....	339
	f. Turbina.....	340
D.	Situación actual de la generación de energía eléctrica en Guatemala.....	340
1.	Marco regulatorio.....	340
2.	Potencial hidrocarbúrfero:.....	342
3.	Potencial geotérmico:.....	342
4.	Potencial solar:.....	342
5.	Potencial eólico:.....	342
E.	Investigaciones previas al realizar un proyecto hidroeléctrico en Guatemala.....	350
1.	Aspectos de importancia al implementar un proyecto hidroeléctrico.....	351
2.	Guía de desarrollo de proyectos hidroeléctricos en Guatemala.....	352
3.	Anteproyecto.....	352
	a. Identificación del sitio.....	352
	b. Identificación de profesionales a nivel de la empresa para realizar la identificación de sitios propuestos:.....	353

c.	Estudios de caudal de la o las fuentes de agua propuestas con monitoreo entre 2 y 4 años:	353
d.	Inicio de procesos de adquisición o aseguramiento de las tierras (compra):	353
e.	Perfil geológico y topografía básica:	353
f.	Mapeo de actores:	354
g.	Debida diligencia para el respeto de derechos humanos:	354
h.	Diagnóstico de comunicación y relacionamiento:	354
i.	Análisis de contexto histórico, social, económico, político y cultural:	354
j.	Informe de las consideraciones para proyectos de gestión e inclusión social:	355
k.	Definición preliminar de la zona de influencia socio-económica del proyecto:	355
l.	Informe de consideraciones ambientales:	355
m.	Inicio del levantamiento de la línea base socio-económica:	355
n.	Diseño preliminar:	355
o.	Elaboración de planos preliminares de diseño:	356
p.	Matriz de priorización de posibles actividades ambientales para inversión responsable:	356
q.	Diseño de planes:	356
r.	Plan estratégico de gestión social:	356
s.	Proyección financiera para la gestión social:	356
4.	Prefactibilidad	356
F.	Evaluación del recurso hídrico	357
1.	Métodos de medición de caudales	359
a.	Curva de gasto.	359
b.	Método de área-velocidad.	360
c.	Con un flotador.	360
d.	Medidores de velocidad.	360
e.	Método del vertedero.	361
f.	La cresta,	361
2.	Régimen de caudales	361

a.	Hidrograma.	361
b.	Curva de caudales clasificados (CCC).	362
c.	Curva estándar de caudales clasificados.	363
d.	Curva de caudales clasificados en tramos no aforados.	363
3.	Potencia a instalar.	364
G.	Evaluación del recurso hídrico.	365
1.	Cartografía.	365
2.	Estudios geotécnicos.	366
3.	Fotogeología.	366
4.	Cartografía geomorfológica.	367
5.	Análisis de laboratorio.	367
6.	Estudios geofísicos.	367
7.	Análisis geológico estructural.	367
H.	Financiamiento.	367
1.	Financiamiento de preinversión.	368
2.	Deuda Senior.	368
3.	Project Finance.	369
4.	Crédito de promoción de las exportaciones.	370
5.	Instrumentos de financiamiento mezanine.	370
I.	Impacto ambiental.	371
1.	Categoría tipo I.	371
2.	Categoría tipo II: Biotopo protegido, Monumento (natural y cultural), Parque histórico.	372
3.	Categoría tipo III: Área de uso múltiple, Manantial, Reserva forestal, Refugio de vida silvestre.	372
4.	Categoría tipo IV: Área recreativa natural, Parque regional, Vías escénicas.	372
5.	Categoría tipo V.	372
6.	Categoría tipo VI.	373
7.	Impactos potenciales en el ambiente.	373

8. Leyes de aplicación para proyectos hidroeléctricos en Guatemala	375
--	-----

TOMO II

XIII. DEMOGRAFÍA Y ACTIVIDADES HUMANAS	381
A. Número de habitantes registrados en censos de 1994 y 2002.....	381
B. Densidad de población en 2002 y proyección para 2020.....	382
C. Proyección de población para el año 2020.....	384
D. Características de la población.	385
1. Natalidad y mortalidad.	385
2. Porcentaje de hombres y mujeres.	386
3. Distribución de la población por edad.....	387
4. Distribución de la población por área.....	388
5. Población indígena y no indígena.....	389
E. Características socioculturales.	391
1. Hechos históricos relevantes de la zona y contexto social.	391
2. Creencias y cosmovisión.....	391
a. Q’eqchi’	391
b. Poqomchi’	392
3. Grupos étnicos.....	393
F. Características socioeconómicas.	394
1. Actividades económicas en la cuenca del río Cahabón.	394
a. Urbanismo: vías terrestres, poblaciones, distribución poblacional.	395
b. Agricultura: tipos de cultivo, superficie agrícola.	396
c. Ganadería.	398
d. Otros: industria y minería.	398
e. Energía: hidroeléctricas.....	400
2. Potencial de la zona.....	407
3. Importancia económica de la zona.	407

XIV. DESCRIPCIÓN DE LA CUENCA DEL RÍO CAHABÓN.....	409
A. Ubicación y características físicas.....	409
1. Zonas de la cuenca.....	409
2. Resultados de área y perímetro de la cuenca.....	411
3. Topografía.....	411
4. Geología y fisiografía.....	412
B. Clima.....	412
1. Clima en la cuenca del río Cahabón.....	412
2. Parámetros meteorológicos.....	413
a. Temperatura.....	413
b. Precipitación.....	417
c. Evapotranspiración.....	421
d. Radiación solar.....	421
e. Humedad.....	423
f. Presión atmosférica.....	425
g. Viento.....	427
h. Nubosidad.....	430
3. Estaciones meteorológicas en la cuenca del río Cahabón.....	431
a. INSIVUMEH.....	431
b. INDE.....	432
c. ANACAFÉ.....	433
C. Hidrología.....	433
1. Resultados morfométricos de la cuenca.....	434
a. Resultados análisis de cuenca mediante MDE y plugin r.watershed.....	435
2. Recarga hídrica en la cuenca del río Cahabón.....	439
D. Uso de suelo y cobertura forestal.....	442
1. Uso de suelo del departamento de Alta Verapaz y cuenca del río Cahabón.....	442
2. Cobertura forestal del departamento de Alta Verapaz y cuenca del río Cahabón.....	444

3. Clasificación agrológica de USDA para Alta Verapaz y la cuenca del río Cahabón.	450
E. Recursos Naturales.....	451
1. Ecosistemas.....	451
2. Flora.....	455
3. Fauna.....	456
4. Problemas medioambientales y ejes de acción.....	457
a. Contaminación en suelos.....	458
b. Contaminación en aguas.....	459
c. Degradación de suelos.....	460
d. Riesgos en cuencas.....	461
e. Ejes de acción en ejecución.....	461
5. Áreas protegidas en Alta Verapaz y cuenca del río Cahabón.....	466
a. Turismo en la cuenca del río Cahabón.....	468
b. Cobertura forestal en las áreas protegidas de la cuenca del Río Cahabón.....	468
XV. GESTIÓN INTEGRADA DE RECURSOS HÍDRICOS ENFOCADA AL DESARROLLO HIDROELÉCTRICO	470
XVI. ANÁLISIS DE LA UBICACIÓN DE ESTACIONES METEOROLÓGICAS	477
A. Área de influencia ideal.....	477
1. INSIVUMEH.....	477
2. INDE.....	477
3. ANACAFÉ.....	477
4. Cobertura total por estaciones activas actualmente.....	478
B. Área de influencia crítica.....	478
C. Ubicación para futura instalación de estaciones.....	478
D. Implementación de una estación ideal.....	480
1. Tipo 481	
a. Por su función:	481
b. Por número de instrumentos:	481

2. Abrigo meteorológico.	482
3. Parcela.	482
4. Recolección de datos.	482
XVII. CONCLUSIONES	484
XVIII. RECOMENDACIONES.....	489
XIX. BIBLIOGRAFÍA.....	493
XX. APÉNDICE	522
A. MAPAS.	522
XXI. GLOSARIO.....	582
XXII. LISTA DE SIGLAS	595

LISTA DE TABLAS

Tabla	Página
Tabla 1. Clasificación de escalas.....	12
Tabla 2. Criterios de clasificación.....	25
Tabla 3. Tipos de climas según Köppen.....	26
Tabla 4. Características de las masas de aire primarios.....	27
Tabla 5 . Clasificación climática según Arthur Strahler.....	28
Tabla 6. Índice global de humedad según Thornthwaite.....	30
Tabla 7.Variación estacional de la eficiencia hídrica en climas húmedos.....	31
Tabla 8.Variación estacional de la eficiencia hídrica en climas secos.....	31
Tabla 9. Índice de eficiencia térmica según Thornthwaite.....	32
Tabla 10.Concentración estival de eficiencia térmica según Thornthwaite.....	32
Tabla 11. Tipos de clima en Guatemala, según Thornthwaite.....	33
Tabla 12.Cambio de temperatura y precipitación media anual para Guatemala bajo el escenario de emisiones altas de GEI.....	35
Tabla 13.Escalas para medición de variables.....	41
Tabla 14. Ejemplificación sistema de coordenadas.....	42
Tabla 15.Resumen instrumentos respectivos para medición de elementos climáticos (Martínez, 2006).....	63
Tabla 16. Unidades de medición en estaciones meteorológicas.....	73
Tabla 17. Estaciones Meteorológicas Departamento de Alta Verapaz, Guatemala.....	82
Tabla 18. Estaciones meteorológicas totales activas hasta el año 2015.....	84
Tabla 19. Estaciones meteorológicas convencionales activas hasta el año 2015.....	86
Tabla 20. Estaciones meteorológicas y climatológicas automáticas activas hasta el año 2015.....	87
Tabla 21.Estaciones hidrológicas activas hasta el año.....	89
Tabla 22. Estaciones meteorológicas en departamentos cercanos a la cuenca Cahabón, activas al año 2015.....	90
Tabla 23. Estaciones hidrometeorológicas activas y no activas al año 2015.....	91
Tabla 24. Estaciones hidrométricas e hidrológicas activas al año 2015.....	92
Tabla 25. Estaciones meteorológicas totales activas al año 2015.....	93
Tabla 26. Estaciones meteorológicas activas al año 2015.....	96
Tabla 27.Clasificación de cuencas con base en su área de escurrimiento.....	104
Tabla 28.Valores del coeficiente de compacidad.....	106
Tabla 29.Clasificación de densidad de drenaje de una cuenca con base en sus características físicas.....	109

Tabla 30. Estimación del estado ecológico del río con base en el análisis de los caudales de mantenimiento	152
Tabla 31. Estimación del caudal ecológico por el método de caudal base o de Nueva Inglaterra.....	153
Tabla 32. Comparación de las distintas metodologías para la estimación de un caudal ecológico	176
Tabla 33. Comparación de los métodos de potencial adaptación al contexto nacional	185
Tabla 34. Características climáticas y altimétricas de los bosques del trópico húmedo.	191
Tabla 35. Cambio de cobertura forestal en Guatemala.	199
Tabla 36. Zonas de vida de Guatemala.	200
Tabla 37. Ecorregiones de Guatemala.	202
Tabla 38. Clases de idoneidad.	206
Tabla 39. Clases de capacidad de uso de la tierra del Centro Científico Tropical.	206
Tabla 40. Clasificación de capacidad de las tierras orientada hacia el tratamiento.	208
Tabla 41. Categorías de capacidad de uso de la tierra del INAB y comparación con clasificación agrológica de USDA.	209
Tabla 42. Recomendación de prácticas agroforestales según la pendiente.	219
Tabla 43. Servicios proveídos por las cuencas.	220
Tabla 44. Efectos potenciales del uso de la tierra en régimen fluvial.	222
Tabla 45. Efectos de las actividades humanas en las cuencas.	223
Tabla 46. Efectos de la agricultura en las cuencas.	227
Tabla 47. Impacto de la actividad minera en cuencas.	230
Tabla 48. Comparación regulación en Guatemala y Unión Europea en manejo de recursos naturales	251
Tabla 49. Distancia entre barreras para conservación del suelo en zonas de ladera.	253
Tabla 50. Categorías de manejo del Sistema Guatemalteco de Áreas Protegidas.	260
Tabla 51. Soluciones implementadas para la crisis de agua en Madrid de 1965	273
Tabla 52. Sistema de abastecimiento de agua de la provincia de Madrid, España (1976)	273
Tabla 53. Plantas de tratamiento de agua potable.	276
Tabla 54. Químicos utilizados por EMPAGUA para tratamiento de aguas	281
Tabla 55. Ventajas y Desventajas de métodos de solución de conflictos	288
Tabla 56. Lugares poblados inundados por la hidroeléctrica Chixoy.....	292
Tabla 57. Resultados y experiencias plan piloto en el Municipio del Pimparo	313
Tabla 58. Efecto del uso del agua por sector sobre el recurso hídrico.....	327
Tabla 59. Potencial energético del país y nivel de aprovechamiento	343
Tabla 60. Generación de energía del sistema nacional interconectado	345

Tabla 61. Generación de energía por tipo de combustible	346
Tabla 62. Proyectos hidroeléctricos mayores a 5 MW (2013)	348
Tabla 63. Organización de datos de caudales	362
Tabla 64. Comparación de población de los censos 1994 y 2002.	381
Tabla 65. Densidad poblacional en 2002 y 2020.....	382
Tabla 66. Tasa de crecimiento poblacional por municipio para promedio de tasa.	383
Tabla 67. Proyección de población para 2020.....	384
Tabla 68. Natalidad y mortalidad por municipio.....	386
Tabla 69. Porcentaje de hombres y mujeres.	386
Tabla 70. Porcentajes de población por rangos de edades.....	387
Tabla 71. Distribución de población por área urbana y rural.	388
Tabla 72. Porcentaje de población indígena y no indígena por municipio.	389
Tabla 73. Distribución de grupos étnicos en porcentaje de población.	393
Tabla 74. Población urbana de los municipios de Alta Verapaz ubicados dentro de la cuenca del río Cahabón.	395
Tabla 75. Población dedicada a la agricultura por municipio de Alta Verapaz en la cuenca del río Cahabón.....	396
Tabla 76. Principales cultivos en los municipios de la cuenca del río Cahabón.....	397
Tabla 77. Consumo de agua anual por actividad industrial en el departamento de Alta Verapaz.	399
Tabla 78. Hidroeléctricas y proyectos hidroeléctricos en la cuenca del río Cahabón.....	400
Tabla 79. Ficha de información general Hidroeléctrica Chixoy.....	401
Tabla 80. Ficha técnica Hidroeléctrica Chixoy.	401
Tabla 81. Ficha de información general Hidroeléctrica Chichaic	402
Tabla 82. Ficha técnica Hidroeléctrica Chichaic.....	402
Tabla 83. Ficha de información general Hidroeléctrica Renace.....	403
Tabla 84. Ficha técnica Hidroeléctrica Renace.	403
Tabla 85. Ficha de información general Hidroeléctrica Santa Teresa.	404
Tabla 86. Ficha técnica Hidroeléctrica Santa Teresa.....	404
Tabla 87. Ficha de información general Hidroeléctrica La Perla.	405
Tabla 88. Ficha técnica Hidroeléctrica La Perla.....	405
Tabla 89. Ficha de información general Hidroeléctrica Secacao.	406
Tabla 90. Ficha técnica Hidroeléctrica Secacao.....	406
Tabla 91. Clasificación de alturas para determinar las diferentes zonas de la cuenca.	410

Tabla 92. Descripción climática de los municipios de la cuenca del río Cahabón.	412
Tabla 93. Temperatura media mensual y anual en centígrados de los años 1990 al 2011 de la estación Cahabón.....	413
Tabla 94. Temperatura media por municipio de la cuenca del río Cahabón.	414
Tabla 95. Tendencias a corto, mediano y largo plazo de la temperatura media mensual y anual en °C de la cuenca del río Cahabón.....	415
Tabla 96. Precipitación mensual y anual en la cuenca del Río Chabón.	418
Tabla 97. Precipitación pluvial media anual por municipio de la cuenca del río Cahabón.	419
Tabla 98. Tendencias a corto, mediano y largo plazo de la precipitación media mensual y anual en mm de la cuenca del río Cahabón.....	419
Tabla 99. Evapotranspiración media anual en la cuenca del río Cahabón.....	421
Tabla 100. Humedad Relativa Media mensual de los años 1990 al 2011 de la estación Chabón.	423
Tabla 101. Tendencias a corto, mediano y largo plazo de la humedad relativa mensual y anual en mm de la cuenca del río Cahabón.....	424
Tabla 102. Presión atmosférica en mm de mercurio de la estación de Cobán en la cuenca del río Cahabón.....	426
Tabla 103. Dirección del viento en la cuenca del río Cahabón mensual de los años 2000 al 2011.....	427
Tabla 104. Velocidad del viento en la cuenca del río Cahabón en km/h mensual del 2000 al 2011.	427
Tabla 105. Tendencias a corto, mediano y largo plazo de la velocidad del viento mensual y anual en km/h de la cuenca del río Cahabón.	428
Tabla 106. Nubosidad en la cuenca del río Cahabón en Octas del año 1990 al 2011.....	430
Tabla 107. Estaciones meteorológicas dentro de la cuenca, activas al año 2015.	432
Tabla 108. Estaciones meteorológicas dentro de la cuenca, activas al año 2015.	432
Tabla 109. Estaciones hidrometeorológicas, hidrométricas e hidrológicas dentro de la cuenca, activas al año 2015.	432
Tabla 110. Estaciones meteorológicas dentro de la cuenca, activas al año 2015.	433
Tabla 111. Distribución de caudales de acuerdo a la actividad económica desarrollada en cada subcuenca del río Cahabón.	434
Tabla 112. Unidades hidrológicas con influencia en la cuenca del río Cahabón.....	440
Tabla 113. Zonas de recarga y carga de agua en Cahabón (km ²).	441
Tabla 114. Uso suelo en la cuenca del río Cahabón, al año 2005.....	442
Tabla 115. Cobertura forestal de los municipios de la cuenca del río Cahabón para el período 2001-2006.	444

Tabla 116. Cobertura forestal de los municipios de la cuenca del río Cahabón para el periodo 2006-2010.	445
Tabla 117. Dinámica de cobertura forestal de Alta Verapaz.	446
Tabla 118. Cobertura por tipo de bosque de Alta Verapaz.	447
Tabla 119. Cobertura por tipo de bosque en la cuenca del río Cahabón.	449
Tabla 120. Zonas de vida de Alta Verapaz.	451
Tabla 121. Características físicas y climáticas de las zonas de vida de Alta Verapaz.	453
Tabla 122. Evolución de la extensión de las zonas de vida en Alta Verapaz de acuerdo a los escenarios del cambio climático.	454
Tabla 123. Áreas protegidas de Alta Verapaz.	466
Tabla 124. Instrumentos y variables a medir en modelo de estación meteorológica.	481

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Paralelos de Latitud y Meridianos de Longitud.....	5
Ilustración 2. Representación de la Proyección de Mercator de forma tangencial al ecuador.....	6
Ilustración 3. Representación de la Proyección Transversa de Mercator, transversal al eje de la tierra.....	6
Ilustración 4. Grid de zonas UTM del mundo, compilado por Alan Morton.	7
Ilustración 5. Planos equidistantes cortando el terreno y los cortes realizados proyectados sobre el papel. ..	8
Ilustración 6. Ejemplo de representación de curvas de nivel con cota de altura.....	9
Ilustración 7. Ejemplo de equidistancia entre curvas de nivel, en este caso curvas maestras a cada 100mts y Curvas Intermedias a cada 20mts.	9
Ilustración 8. Ejemplo de hoja cartográfica y posición de información de importancia.....	10
Ilustración 9. Ejemplo de ortofoto del área de Cahabón.....	10
Ilustración 10. Imagen ampliada de la Ilustración 20, en la cual es posible observar la información de posicionamiento geográfico.	12
Ilustración 11. Ejemplo de escala pequeña (izquierda) y escala grande (Derecha)	13
Ilustración 12. Procedimiento de carga de imagen a georreferenciar.	14
Ilustración 13. Colocación de puntos de estratégicos para la georreferenciación de la hoja cartográfica.	14
Ilustración 14. Coordenadas asignadas a los puntos de interés en el complemento de georreferenciación del programa GIS utilizado.	15
Ilustración 15. Hoja cartográfica georreferenciada con éxito, se utilizó un mapa de Guatemala para corroborar su posición.	15
Ilustración 16. Líneas utilizadas para representar curvas de nivel, con atributos de altura tomada desde el nivel del mar.....	16
Ilustración 17. Polígono utilizado para representar el Departamento de Guatemala con atributos de área y datos sociales.....	17
Ilustración 18. Puntos utilizados para representar edificios de interés en el área de Cayalá y Cardales en Guatemala	17
Ilustración 19. Ejemplo de secuencia, desarrollo Paseo Cayalá (2007-2013).	19
Ilustración 20. Ejemplo de representación de “Velocidades de Viento Anual por Departamento” con base en la información recolectada por el INSIVUMEH.	19
Ilustración 21. Esquema que representa la medición de puntos por medio del método LIDAR.	20

Ilustración 22. Correlación cruzada de imágenes estereoscópicas existentes, la imagen de la izquierda se alinea con la de la derecha formando una imagen en relieve.	21
Ilustración 23. Selección o creación de una ubicación para proyecto en Guatemala.	22
Ilustración 24. Modelo Digital de Elevación obtenido de las curvas de nivel utilizadas.	23
Ilustración 25. Modelo Digital de Elevación visualizado en 3D a través del uso de módulos GIS.	23
Ilustración 26. Fuentes de generación de gases de efecto invernadero.	34
Ilustración 27. Vista en planta estación meteorológica.	38
Ilustración 28. Estación meteorológica en planta solar, Chiquimulilla, Santa Rosa.	38
Ilustración 29. Abrigo meteorológico.	39
Ilustración 30. Ejemplo método de Isoyetas para precipitación media anual.	44
Ilustración 31. Actinógrafo.	48
Ilustración 32. Altura elementos de sombra según ángulo del Sol.	49
Ilustración 33. Altura otros elementos de sombra según ángulo del Sol.	49
Ilustración 34. Heliógrafo.	50
Ilustración 35. Altura elementos que proyecten sombra según altura angular del sol.	50
Ilustración 36. Altura otros elementos que proyecten sombra según altura angular del sol.	51
Ilustración 37. Termómetro.	51
Ilustración 38. Termógrafo.	52
Ilustración 39. Diagrama de especificaciones para temperatura del aire y humedad.	52
Ilustración 40. Termohigrógrafo.	52
Ilustración 41. Termómetro de mínima.	53
Ilustración 42. Termómetro de máxima.	53
Ilustración 43. Barómetro de mercurio.	54
Ilustración 44. Barógrafo.	54
Ilustración 45. Veleta.	54
Ilustración 46. Anemómetro Visita INSIVUMEH.	55
Ilustración 47. Anemocinómetro.	56
Ilustración 48. Evaporímetro piché.	56
Ilustración 49. Tanque de evaporación.	57
Ilustración 50. Lisímetro.	57
Ilustración 51. Limnímetro.	58
Ilustración 52. Estructura para un Limnógrafo.	58
Ilustración 53. Partes de un tensiómetro.	59

Ilustración 54. Psicrómetro giratorio.....	59
Ilustración 55. Higrógrafo.....	60
Ilustración 56. Higrotermógrafo.....	60
Ilustración 57. Higrómetro.....	60
Ilustración 58. Pluviómetro.....	61
Ilustración 59. Distancia para pluviómetro respecto a obstáculos en terreno.....	61
Ilustración 60. Distancia para pluviómetro respecto a obstáculos en terreno con.....	62
Ilustración 61. Pluviógrafo.....	63
Ilustración 62. Disdrómetro Joss-Waldvogel.....	64
Ilustración 63. Visibilímetro.....	64
Ilustración 64. Celiómetro.....	65
Ilustración 65. Microbarógrafo.....	65
Ilustración 66. Piranómetro.....	65
Ilustración 67. Pirheliómetro.....	66
Ilustración 68. Distribución de la radiación solar sobre la Tierra.....	67
Ilustración 69. Ciclo hidrológico, precipitación.....	71
Ilustración 70. Plantilla para metadatos de la estación.....	76
Ilustración 71. Ejemplificación funcionamiento sistema de observación global.....	78
Ilustración 72. Ubicación estaciones hidrométricas del INSIVUMEH e INDE.....	88
Ilustración 73. Representación gráfica del ciclo del agua en una cuenca hidrológica.....	97
Ilustración 74. Partes de una cuenca con base en su altura.....	101
Ilustración 75. Corte transversal de una cuenca hidrográfica.....	102
Ilustración 76. Método tradicional de trazo de la delimitación de cuenca, utilizando divisorias.....	102
Ilustración 77. Trazo total de la cuenca Cahabón por método tradicional.....	103
Ilustración 78. Ejemplo de error en delimitación, trazo intersectando un río que es parte de la cuenca.....	103
Ilustración 79. La cuenca tendrá apariencia similar a un círculo si su K_c es cercano a 1.....	106
Ilustración 80. Representación gráfica de la tendencia a crecientes que posee una cuenca irregular y una cuenca circular.....	107
Ilustración 81. Esquema para la definición del número de orden de un río.....	108
Ilustración 82. Contaminación por detergentes.....	114
Ilustración 83. Efectos de contaminación del petróleo.....	116
Ilustración 84. Substancias húmicas.....	117
Ilustración 85. Materia orgánica.....	118

Ilustración 86. Indicador universal (papel de tornasol)	120
Ilustración 87. Calidad del agua, turbidez	121
Ilustración 88. Calidad del agua, color	121
Ilustración 89. Bacteria perteneciente al grupo coliforme	122
Ilustración 90. Análisis de colimetría	124
Ilustración 91. Instalaciones de alcantarillado del Foro Romano	125
Ilustración 92. Sistema alcantarillado doméstico	126
Ilustración 93. Sistema alcantarillado industrial.....	127
Ilustración 94. Sistema alcantarillado agrícola.....	127
Ilustración 95. Sistema alcantarillado minero	128
Ilustración 96. Sir Edwin Chadwick (1800-1890).....	130
Ilustración 97. Ejemplo fosa séptica.....	132
Ilustración 98. Ejemplo pozo ciego o pozo negro	133
Ilustración 99. Reactor biológico	135
Ilustración 100. Tanque de sedimentación	135
Ilustración 101. Agua clarificada	135
Ilustración 102. Aproximación por rangos de variabilidad	150
Ilustración 103. Curva de permanencia	151
Ilustración 104. Método perímetro mojado	157
Ilustración 105. Curvas de Índices de adaptación y curva de Área Utilizable Ponderada vs. Caudal.	161
Ilustración 106. Ejemplo hipotético destacando características del régimen hídrico natural antes de un embalse (A) y aquellas que deben mantenerse después del funcionamiento de un embalse (B).....	166
Ilustración 107. Bloques hipotéticos que conforman los Requerimientos de Flujo (IFR) usando el método Building Block.	167
Ilustración 108. Diagrama de clasificación de tierras por idoneidad.....	205
Ilustración 109. Sistema agroforestal de cortinas rompevientos.	216
Ilustración 110. Sistemas agroforestales para protección contra la erosión por cauces y taludes.	217
Ilustración 111. Sistema agroforestal de cercos vivos.	217
Ilustración 112. Impacto de procesos humanos y naturales en cuencas.	222
Ilustración 113. Consumo de Energía a Nivel Mundial	231
Ilustración 114. Comparación de los periodos de sequía en Europa de 1971 a 1980 y de 2001 a 2011.....	246
Ilustración 115. Distribución de las aguas de la Unión Europea.	247
Ilustración 116. Estado del agua de un río, análisis visual	247

Ilustración 117. Diagrama de un bosque de galería.....	257
Ilustración 118. Mapa de calidad de vida.....	267
Ilustración 119. Sistema de Consejos de Desarrollo Urbano y Rural.....	269
Ilustración 120. Distribución de la población mundial sin abastecimiento de agua mejorada	271
Ilustración 121. Distribución de la población mundial sin saneamiento mejorado	271
Ilustración 122. Diagrama habitual del tratamiento de agua en la Comunidad de Madrid.....	275
Ilustración 123. Enfoques de gestión de conflictos	288
Ilustración 124. Ruta para el manejo social en evaluación de impacto ambiental.....	294
Ilustración 125. Acciones para la planificación de la comunicación.....	295
Ilustración 126. Ruta estratégica del proceso social.....	296
Ilustración 127. Responsabilidades mínimas de los actores	297
Ilustración 128. Propuesta de Ley de Aguas	298
Ilustración 129. Propuesta de participación ciudadana.....	299
Ilustración 130. Usos del suelo cuenca del Canal de Panamá	309
Ilustración 131. Distribución de las reservas de petróleo en 1993, 2003 y 2013.....	333
Ilustración 132. Consumo mundial de gas natural de 1998 a 2013 (billones de metros cúbicos)	334
Ilustración 133. Distribución de las reservas de Carbón en 1993, 2003, 2013	335
Ilustración 134. Esquema típico de una central hidroeléctrica	338
Ilustración 135. Fuentes primarias de energía utilizadas en Guatemala	344
Ilustración 136. Generación de energía por tipo de combustible.....	345
Ilustración 137. Crecimiento de la demanda de energía eléctrica	347
Ilustración 138. Generación eléctrica en GWh en el año 2013	347
Ilustración 139. Matriz energética, demanda de energía para el año 2012.....	348
Ilustración 140. Esquema del aprovechamiento hidráulico	358
Ilustración 141. Ejemplo de un hidrograma	362
Ilustración 142. Primera idea de división de la cuenca por zonas con base en altimetría.....	410
Ilustración 143. Clasificación de zonas con base en la altimetría.....	410
Ilustración 144. Topografía de la cuenca del río Cahabón.	411
Ilustración 145. Radiación solar media diaria para el mes de abril, 2011 (W/m ²).	422
Ilustración 146. Radiación solar media diaria del mes de octubre de 2011 (W/m ²).	422
Ilustración 147. Mapa de salida que representa la delimitación sugerida de microcuencas dentro del MDE de la cuenca Cahabón.	436
Ilustración 148. Mapa de salida que representa la dirección sugerida del paso de los ríos,	

encontrados en el MDE de la cuenca Cahabón.	436
Ilustración 149. Mapa de salida que representa el paso sugerido del cauce principal de los ríos encontrados en el MDE de la cuenca Cahabón.	437
Ilustración 150. Mapa de salida que representa los ríos y sus ramificaciones sugeridas encontrados en el MDE de la cuenca Cahabón.....	437
Ilustración 151. Mapa consolidado de acumulación y subcuencas sugeridas con base en MDE de la cuenca Cahabón.....	438
Ilustración 152. Área de la cuenca Cahabón visualizada en 3D.	438
Ilustración 153. Vista aérea de la cuenca del río Cahabón en 3D.	439
Ilustración 154. Unidades hidrológicas que conforman la cuenca del río Cahabón.	441

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Proyección de densidad poblacional al 2020.....	382
Gráfico 2. Tasa de crecimiento poblacional del Triángulo Norte de Centroamérica.....	384
Gráfico 3. Población según edad.	388
Gráfico 4. Distribución de población por rango de edades.....	388
Gráfico 5. Porcentajes de residencia urbana y rural para municipios de Alta Verapaz.	389
Gráfico 6. Porcentajes de indígenas y no indígenas para municipios de Alta Verapaz.	390
Gráfico 7. Distribución poblacional por etnia.	393
Gráfico 8. Composición étnica de Alta Verapaz.	394
Gráfico 9. Tendencias de temperatura de la cuenca del río Cahabón.	417
Gráfico 10. Tendencias de precipitación anual en la cuenca del río Cahabón.....	420
Gráfico 11. Tendencias de humedad relativa en la cuenca del río Cahabón.	424
Gráfico 12. Relación entre temperatura y humedad relativa de la cuenca del río Cahabón.	425
Gráfico 13. Tendencias de la velocidad del viento en la cuenca del río Cahabón.	429
Gráfico 14. Uso de la tierra en la cuenca del río Cahabón, para el año 2005.	443
Gráfico 15. Dinámica de cobertura forestal de Alta Verapaz para el período 1991-2012.....	446
Gráfico 16. Cobertura forestal de Alta Verapaz para los años 2001 al 2012.....	447
Gráfico 17. Dinámica de cobertura forestal en la cuenca del río Cahabón para el período 1991-2010.....	448
Gráfico 18. Proporción de cobertura forestal en la cuenca del río Cahabón.	449
Gráfico 19. Proceso de implementación de la GIRH.	471

RESUMEN

Para la toma de decisiones de cualquier proyecto es necesaria la evaluación inicial de la zona donde se desee instalar. Bajo esta premisa y la teoría que fundamenta la gestión integrada de recursos hídricos se evaluó la cuenca del río Cahabón en Alta Verapaz, Guatemala con el objetivo de identificar la posibilidad de implementar una red de estaciones meteorológicas para el desarrollo hidroeléctrico en la zona. Se realizó un análisis de la situación actual referente a sus características geomorfológicas, mediante modelos de elevación, además de características hidrológicas y de clima.

Debido a su importancia e influencia sobre el uso del recurso hídrico, se evaluó la situación de uso de suelo, cobertura forestal y características socioculturales de la población. Se identificaron las estaciones meteorológicas e hidrométricas y los proyectos hidroeléctricos actuales. Lo anterior es acompañado de conceptos sobre el caudal ecológico y la Gestión Integrada de Recursos Hídricos (GIRH), que toman importancia en la actualidad debido a la crisis medioambiental existente.

Finalmente se realizan recomendaciones sobre la ubicación de estaciones meteorológicas de acuerdo a la cobertura actual y sobre los requerimientos para el desarrollo de proyectos hidroeléctricos en el país.

I. INTRODUCCIÓN.

Con la declaración de Dublín en 1992, se establecieron cuatro principios básicos en los cuales se debe basar toda regulación que se haga para el manejo del recurso hídrico. En estos principios se ejemplifican realidades como la vulnerabilidad que tiene el agua ante las diversas problemáticas que afronta, el papel que tiene el agua para la vida, el valor social y económico que tiene el recurso hídrico, la limitada cantidad de agua disponible en el mundo lo que lo hace un recurso finito y que las soluciones deben incluir la participación de diversos grupos de la sociedad. La Gestión Integrada de Recursos Hídricos (GIRH) nace a partir de dichos principios.

Las nuevas tendencias globales, producto de las demandas sociales por un medio ambiente más limpio y más sano, reviven las nociones de diversos autores que desde la década de 1940, plantean que la continuidad del uso sustentable de los ríos precisa de una perspectiva ecológica. Se ha generado gran aceptación el desarrollo de las tecnologías relacionadas con el caudal ecológico, capaz de reconocer un proceso indispensable para el sostenimiento de la biodiversidad y la integridad de los ecosistemas.

El manejo de recursos implica el conocimiento de características de los mismos, su estado y disponibilidad. La tecnología en la actualidad es una herramienta esencial para la recolección de dicha información. La importancia del uso de tecnologías para facilitar la realización de tareas repetitivas en diversos ámbitos, tales como la geografía e hidrología, se ha percibido con mayor recurrencia en los últimos años. El uso de técnicas como los modelos digitales de elevación (MDE) permite ahorrar tiempo y recursos al analizar proyectos.

Los MDE son representaciones visuales de los valores de altura del terreno con respecto al nivel del mar. Estos permiten presentar en forma de relieve los elementos y objetos que conforman el mismo. Poseen una amplia gama de aplicaciones relacionadas al uso y manejo de recursos naturales, entre las cuales se encuentran: mejorar y facilitar la planeación y diseño de carreteras e infraestructura, realizar cálculos de perfiles de un terreno y movimiento de tierras. Además, permite el monitoreo de cuencas de drenaje, flujos hidrológicos, simulación de cuencas hidrológicas y monitoreo de inundaciones (INEGI, s/f). Mediante plugins y programas geoespaciales se pueden obtener datos del área representada, lo que permite la extracción de distintos tipos de información, con lo que se genera valor agregado por los distintos usos que se le pueden dar a un mismo archivo digital.

El manejo integral de cuencas considera a todos los componentes que interactúan en un sistema. Estos comprenden elementos tanto abióticos como bióticos, por lo que se deben considerar ecosistemas, seres vivos, actividades y características físicas de la cuenca para la toma de decisiones. Algunos de los parámetros para comprender a la cuenca como sistema incluyen al uso de suelo y cobertura forestal, pues representa la interacción de las actividades humanas con los ecosistemas naturales de una zona y cómo las

primeras las han modificado en el tiempo. El uso de suelo y la cobertura forestal tienen implicaciones sobre la disponibilidad y calidad de agua al influir en los procesos de escorrentía e infiltración.

Otro factor que tiene implicaciones indirectas en las características de una cuenca o región es el clima. En la actualidad el cambio climático ha tomado importancia alrededor del mundo debido a que sus efectos se empiezan a manifestar. Entre estos cambios se han generado desastres naturales a nivel mundial, a los cuales los países se deben preparar para lograr enfrentarlos, por lo que se busca constantemente estrategias de mitigación y adaptación. El estudio de los cambios se auxilian de la tecnología para analizar tendencias que proporcionan una idea de los posibles cambios climáticos a corto, mediano y largo plazo. Entre los parámetros a medir, la precipitación y la temperatura son variables climatológicas que cambian constantemente y que llegan a afectar significativamente el ambiente donde se habita.

Las características climáticas e hidrológicas dentro de una cuenca se pueden determinar mediante la medición de las distintas variables por medio de instrumentos y sensores y así, recaudar información del comportamiento de dichas variables en el tiempo. Es importante contar con un registro de datos abundantes para poder hacer varios análisis. Según el proyecto, dichos instrumentos se deben instalar como un conjunto dentro de una estación, la cual se clasifica según su uso. Es decir, se debe conocer la finalidad del proyecto para asignar las variables y observaciones a realizar y así instalar los instrumentos adecuados. Las estaciones pueden ser del tipo meteorológicas, hidrométricas e hidrológicas, de carácter privado o público. También es importante conocer el tipo, función y parámetros bajo las cuales son instaladas en base a las necesidades y a la normativa internacional.

Debido al cambio climático y particularmente a la emisión de gases de efecto invernadero, en la actualidad se busca sustituir fuentes de energía con potencial de contaminación por alternativas sostenibles y que aprovechen los recursos naturales renovables. Una de las alternativas llevadas a cabo para reducir la problemática de la contaminación es aquella energía producida gracias al movimiento del agua, la cual conocemos como energía hidroeléctrica. Este tipo de fuente renovable ha cobrado auge a nivel internacional y nacional ante la creciente presión de preservar el medio ambiente y la utilización de recursos naturales. Los proyectos hidroeléctricos logran mediante una serie de componentes y procesos transformar la energía cinética del agua en energía eléctrica. Sin embargo, debido a factores económicos, ambientales, políticos, sociales, etc. no se ha logrado explotar de la mejor manera posible en algunas regiones del mundo.

Siempre dentro de la gestión de recursos el análisis social de las poblaciones dentro de una cuenca es indispensable para la toma de decisiones de cualquier tipo de proyecto. Un análisis social incluye la investigación demográfica que a su vez presenta la población del lugar, densidad poblacional, mortalidad, distribución de la población por sexo, edad y área rural o urbana. Además, se deben considerar índices de calidad de vida e índice de desarrollo humano, para complementar los estudios socioeconómicos. Las características sociales de un área pueden o no influir en la generación de conflictividad. Por ejemplo, la conflictividad provocada por la construcción de hidroeléctricas es un tema de suma importancia, ya que puede hacer fracasar un proyecto y llevar a pérdidas materiales o incluso humanas.

II. OBJETIVOS.

A. Generales.

Determinar los factores que influyen en la implementación de una red de estaciones meteorológicas para el desarrollo hidroeléctrico en la cuenca del río Cahabón, Alta Verapaz, Guatemala.

B. Específicos.

1. Comprender la importancia del impacto social en la planificación y ejecución de proyectos hidroeléctricos en la cuenca del río Cahabón, Alta Verapaz.

2. Estudiar el marco agrícola y ambiental de la cuenca del río Cahabón para su consideración en la planificación de proyectos con enfoque en el manejo integral de cuencas.

3. Conocer el estado actual de los parámetros meteorológicos que rigen el clima de la cuenca del río Cahabón en Guatemala.

4. Determinar la mejor ubicación y estándares para la implementación de una red de estaciones meteorológicas e hidrométricas en la cuenca del río Cahabón, Alta Verapaz.

5. Describir en términos hidrológicos la cuenca del río Cahabón.

6. Realizar una recopilación de estudios nacionales e internacionales para informar a inversionistas y desarrolladores los aspectos de importancia en cuanto a la pre factibilidad de proyectos hidroeléctricos, para aumentar la probabilidad de éxito de los mismos.

7. Identificar el enfoque de la gestión integrada de recursos hídricos a proyectos de desarrollo hidroeléctrico.

8. Establecer bases y principios para la implementación de un método de caudal ecológico, a fin de obtener un mayor aprovechamiento de los recursos hidrológicos que beneficie a las comunidades adyacentes.

III. CARACTERÍSTICAS DE UNA CUENCA COMO SISTEMA.

A. Ubicación.

1. Metodología. Se busca delimitar y describir la cuenca del río Cahabón a través de la digitalización de mapas cartográficos del área. Se realizará una georreferenciación de las curvas de nivel, con base en el sistema de coordenadas guatemalteco (GTM), y por medio de un Modelo Digital de Elevación (MDE) se podrá analizar y proponer la distribución de nuevos puntos de instalación para estaciones meteorológicas. Además el modelo MDE permitirá posicionar, con coordenadas geológicas y elevaciones sobre el nivel del mar, diferentes puntos de interés de la cuenca, entre los cuales se encuentran: Hidroeléctricas, estaciones meteorológicas activas e inactivas, puntos de contaminación de la cuenca, áreas habitadas, bosques y áreas de captación.

2. Implementación de la digitalización de cuencas.

a. Evolución de la cartografía.

1) Mapas. Son definidos por la Real Academia Española (RAE, 2014) como «una representación geográfica de la Tierra o parte de ella en una superficie plana». Estos estuvieron presentes con anterioridad a la aparición del relato escrito, eran utilizados para establecer distancias, localizaciones, y registrar rutas, abriendo la posibilidad al ser humano de desplazarse de un lugar a otro con mayor precisión. El uso de mapas permitió a las personas independizarse del uso de la memoria para trasladarse, ayudo a optimizar el tiempo que tomaban los viajes al poder identificar más rutas cortas e iniciar navegaciones por medio del uso de embarcaciones primitivas. Entre otros usos comunes, el uso más importante que el ser humano logro identificar para los mapas fue el de comunicar de manera tangible a otras personas la información obtenida a través de los viajes y expediciones realizadas.

Existen mapas babilonios conocidos con una antigüedad datada del año 2300 a.C. Estos mapas eran realizados por medio de tallados en tablillas de arcilla y que en su mayoría proporcionaban mediciones de tierras realizadas con el fin de cobrar impuestos. Otro ejemplo del uso temprano de mapas ocurrió en China donde se utilizaron mapas regionales más extensos, trazados en seda, datados del siglo II a.C. Esto demuestra que la necesidad de realizar mapas es universal.

En el siglo XVI muchos cartógrafos de la época elaboraban mapas por medio de la información recopilada que reportaban los navegantes y exploradores. El cartógrafo flamenco, Abraham Ortelius presentó el primer atlas moderno conocido como *Theatrum Orbis Terrarum* en el año 1570. Abraham Ortelius realizó una selección de los mejores mapas disponibles y los redibujó en un formato lógico conocido como

Mapamundi, el cual clasificaba las regiones como Europa, Asia, África y Nuevo Mundo. El geógrafo y cartógrafo más sobresaliente de origen germano-holandés es Gerhard Kremer, en latín Gerhardus Mercator, nacido en el año 1512. En el año 1569 utilizó el sistema de proyección de mapas que más tarde sería bautizado con su nombre. Un año después de su muerte en 1594, se publicó su gran libro de mapas del mundo conocido como Atlas, y desde entonces se utiliza ese nombre para llamar las obras mayores de cartografía. La precisión de los mapas posteriores a Mercator aumentó debido a las determinaciones más precisas de latitud, longitud y cálculos del tamaño de la Tierra. (MGAR)

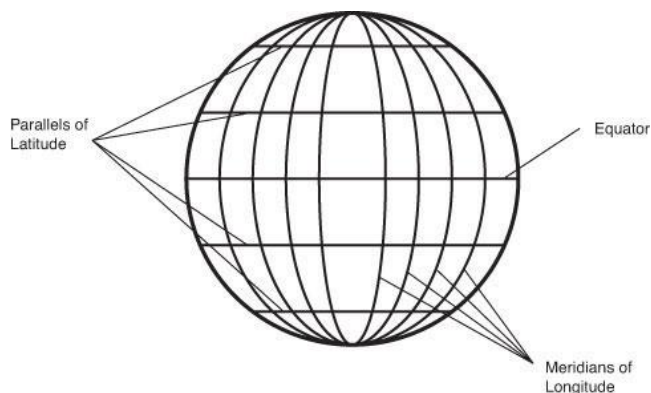
2) Proyección de Mercator. Es una representación pseudo-cilíndrica situada de forma tangencial al ecuador. Esta utiliza 60 zonas estándar predefinidas para representar cartográficamente la tierra. Cada zona tiene una variante Norte y otra Sur, lo cual genera un total de 120 zonas distintas que conforman el globo.

Fue originalmente desarrollada con propósitos militares pero ahora es utilizado mundialmente para el trazo y posicionamiento de mapas.

a) Meridianos. Anillos que envuelven al globo terrestre en dirección perpendicular al ecuador, estos pasan a través de los polos Norte y Sur. Los meridianos son utilizados para medir la Longitud.

b) Paralelos. Son anillos que envuelven al globo de forma paralela al ecuador, estas se utilizan para medir Latitud, que representa la distancia de un punto hacia el Norte o Sur del ecuador.

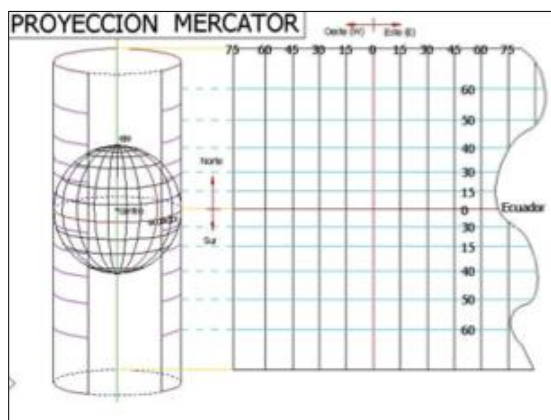
Ilustración 1. Paralelos de Latitud y Meridianos de Longitud.



Fuente: Noaa ocean service education, s/f.

La red creada permite que los meridianos y paralelos formen una cuadrícula oblicua llamada “Grid” de tal forma que los ángulos sean constantes entre meridianos.

Ilustración 2. Representación de la Proyección de Mercator de forma tangencial al ecuador.



Fuente: Fernandez, s/f.

3) Proyección Transversa de Mercator (UTM). Toma como base la proyección de Mercator, pero posiciona el cilindro de proyección de manera transversal al eje de la tierra. El sistema UTM (por su significado en inglés Universal Transverse Mercator) genera husos (posiciones geográficas que ocupan los puntos entre 2 meridianos) comprendidos entre meridianos de 6° de Longitud. La red “Grid”, se forma de huso a huso, a través de la utilización de un cilindro distinto tangente al meridiano central de cada huso aplicado. La relación entre las distancias reales y las proyectadas poseen de 1 a 1.01003% de distorsión, por lo que se utiliza un factor de corrección $K=0.9996$.

Las zonas UTM se expresan por un número de uso (1-60) y una letra de zona (C-X), que a su vez se descomponen en regiones rectangulares de $100 \text{ km} \times 100 \text{ km} = 10,000 \text{ km}^2$.

Ilustración 3. Representación de la Proyección Transversa de Mercator, transversal al eje de la tierra.



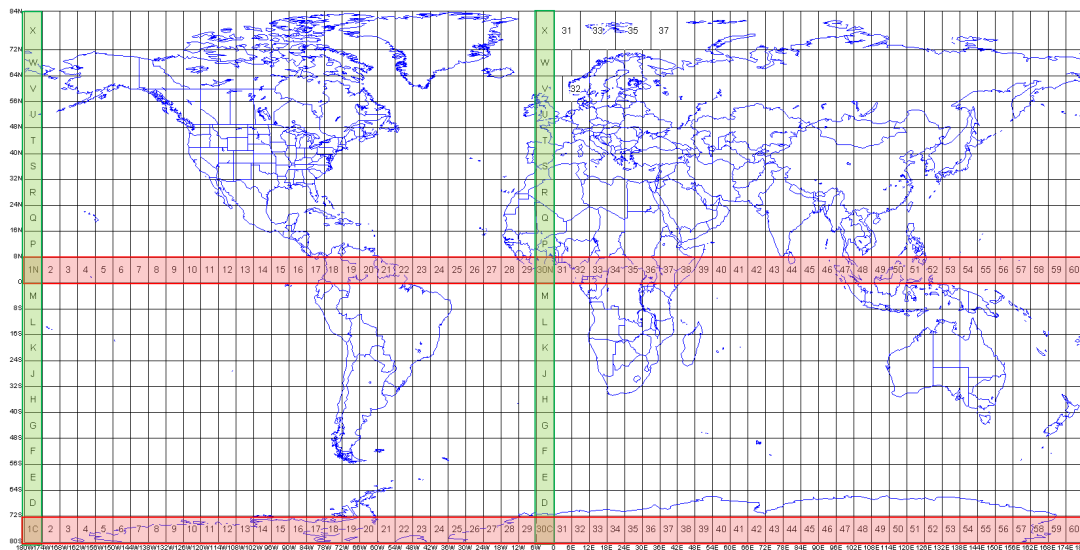
Fuente: Fernandez, s/f.

4) Sistema de Coordenadas UTM. Es un sistema diseñado para grandes mapas topográficos, basado en la Proyección Transversa de Mercator, en forma tangente al meridiano. Las magnitudes en el sistema UTM son expresadas en metros.

a) Husos UTM. El terrestre se divide en 60 husos de 6° de longitud, la zona de proyección UTM se encuentra definida entre los paralelos 80° S y 84° N. Cada uno de estos husos se numera de forma ascendente hacia el Este con un número entre el 1 y el 60 y están basados en su propio meridiano central. Los husos se encuentran limitados entre en la longitud 180° W y 174° W. (Representados por color rojo en Ilustración 4)

b) Zonas UTM. El globo se divide en 20 zonas de 8° de Latitud nombrados por medio de letras desde la C hasta la X (a excepción de las letras 'I', 'O' y 'Ñ'; siendo las primeras dos para evitar confusiones con el número cero y 1. Es importante señalar que las zonas polares no se encuentran consideradas en este sistema de referencia. (Representados por color verde en Ilustración 4)

Ilustración 4. Grid de zonas UTM del mundo, compilado por Alan Morton.



Fuente: Morton, s/f.

c) Notación del sistema UTM. Las cuadrículas en UTM se definen mediante el número del huso la letra de la zona.

Los mapas en papel con coordenadas UTM, se utilizan aun en muchas disciplinas y son fuentes primarias de información del cálculo de distancias. Estos mapas poseen cuadrículas con escalas determinadas donde un centímetro medido en papel equivale a su escala en kilómetros en medida real.

Con el avance de la tecnología y las formas de representar los mapas se ha logrado digitalizar la información, facilitando búsquedas, medición de distancias y posicionamiento geográfico de puntos de interés. (López, 2010)

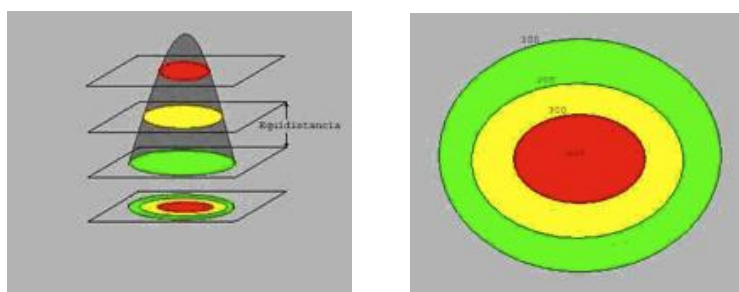
b. Herramienta de digitalización. La digitalización de cuencas es posible a través del trazo digital de curvas de nivel o la delimitación de áreas que componen a la cuenca. Tiene como fin transformar la información geográfica de los mapas en coordenadas digitales que permitan realizar mediciones, consultas y manejo de ubicación de regiones o puntos de interés. Por lo tanto para aprovechar de mejor manera las posibilidades que trae la digitalización cartográfica es necesario contar con las herramientas adecuadas.

c. Recursos y fuentes de información.

1) Hoja cartográfica. Las hojas cartográficas poseen elementos, que en su gran mayoría, son similares a los de un mapa. Estas también son representaciones geográficas de la tierra en una superficie plana, pero estas poseen mayor información que mejora la precisión al momento de ubicar puntos de interés en áreas puntuales. Dentro de la información que una hoja cartográfica posee se puede destacar la presencia de:

a) Curvas de nivel. Son representaciones en 2 dimensiones del corte de la superficie de un terreno mediante planos paralelos entre sí, que se encuentran separados a una distancia equidistante. Estas permiten conocer los niveles de elevación que una superficie terrestre posee sobre un plano común.

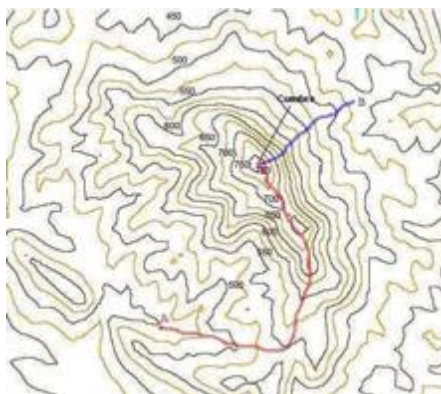
Ilustración 5. Planos equidistantes cortando el terreno y los cortes realizados proyectados sobre el papel.



Fuente: Urrutia & ARISTASUR, 2015.

b) Cotas. Para asegurar que la elevación y posición de la curva de nivel sea lo más clara posible, se indica la altura de cada una de las curvas respecto a un plano de referencia el cual como estándar se ha determinado el nivel del mar. Esto es esencial al momento de representar montañas, depresiones de suelo y valles en una hoja cartográfica. Si una cota mayor encierra a cotas pequeñas se está representando una depresión en el terreno y si las cotas menores encierran a una cota mayor, se está representando una elevación.

Ilustración 6. Ejemplo de representación de curvas de nivel con cota de altura.



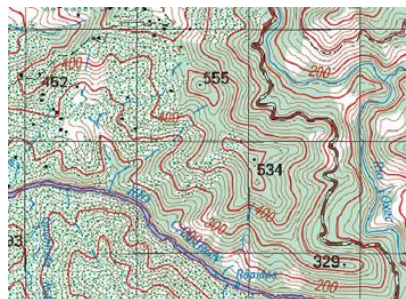
Fuente: Urrutia & ARISTASUR, 2015.

c) Equidistancia entre curvas de nivel. La distancia entre las curvas de nivel debe mantenerse equidistante para un mapa dado. En general se toman dos distancias diferentes una distancia entre curvas de nivel maestras (representadas generalmente por colores oscuros) y la distancia entre curvas de nivel intermedias (representadas generalmente por colores claros). (Urrutia & ARISTASUR, 2015)

Es importante tomar en cuenta que las curvas de nivel intermedias representan una fracción dada de la distancia total de entre curvas de nivel maestras. Por ejemplo si una curva de nivel maestra aparece cada 100mts una curva de nivel intermedia podría aparecer cada 50, 25, 20, 10, 5mts, entre más pequeña sea la distancia equidistante entre curvas de nivel intermedias más precisa será la representación del terreno.

Ilustración 7. Ejemplo de equidistancia entre curvas de nivel, en este caso curvas maestras a cada 100mts y

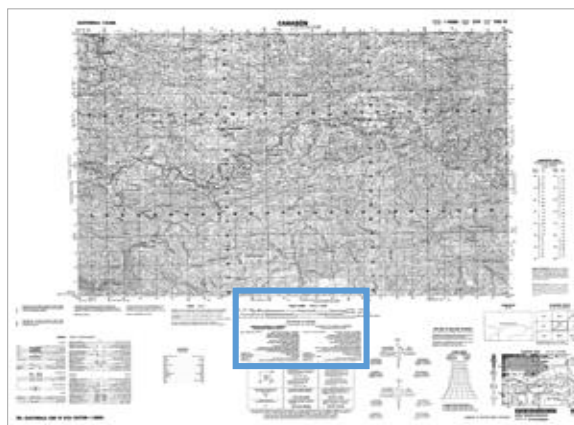
Curvas Intermedias a cada 20mts.



Fuente: Elaborado con información IGN, 2009.

d) Información de georreferenciación. La mayoría de las hojas cartográficas presentan información de georreferenciación que permite al usuario identificar el sistema de referencia utilizado, la zona donde se encuentra la superficie y la escala a la que fue representada.

Ilustración 8. Ejemplo de hoja cartográfica y posición de información de importancia.



Fuente: NIMA (National Imagery and Mapping Agency), s/f.

d. Ortofotos. Una ortofoto es una fotografía aérea corregida de forma geométrica para prevenir distorsiones en la imagen final. A diferencia de una simple fotografía aérea, una ortofoto puede ser utilizada para realizar mediciones reales de un área ya que es una representación precisa de la superficie terrestre. Este tipo de imagen es ideal para superponer elementos en un mapa. Estas pueden ser combinadas con las curvas de nivel de hojas cartográficas para generar representaciones más realistas de la forma de la superficie. En Guatemala el Instituto Geográfico Nacional (IGN) es el encargado de la toma y elaboración de ortofotos a través de vuelos fotogramétricos durante las épocas del año con condiciones climáticas favorables. (GRAFCAN)

Ilustración 9. Ejemplo de ortofoto del área de Cahabón.



Fuente: Google Earth, s/f.

e. Procedimiento de digitalización.

1) Obtener fuentes de información. Como se explicó con anterioridad existe una serie de fuentes de información disponible para la digitalización de mapas. Es importante tomar en cuenta que para este procedimiento se necesita utilizar información confiable como base del proyecto, siendo aún mejor si esta información es certificada por la identidad o empresa que las proporcione de tal forma que se asegure la calidad de la información y del trabajo en su totalidad.

En Guatemala una de las organizaciones que posee mayor confiabilidad en los servicios y productos que ofrece es el Instituto Geográfico Nacional (IGN). Esta es una dependencia del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA); es de carácter técnico científico, proveedor de productos y servicios, que elabora información geográfica. También elabora información cartográfica confiable para la investigación, planificación, monitoreo a nivel público y privado (IGN)

Entre los productos disponibles en el IGN se encuentran:

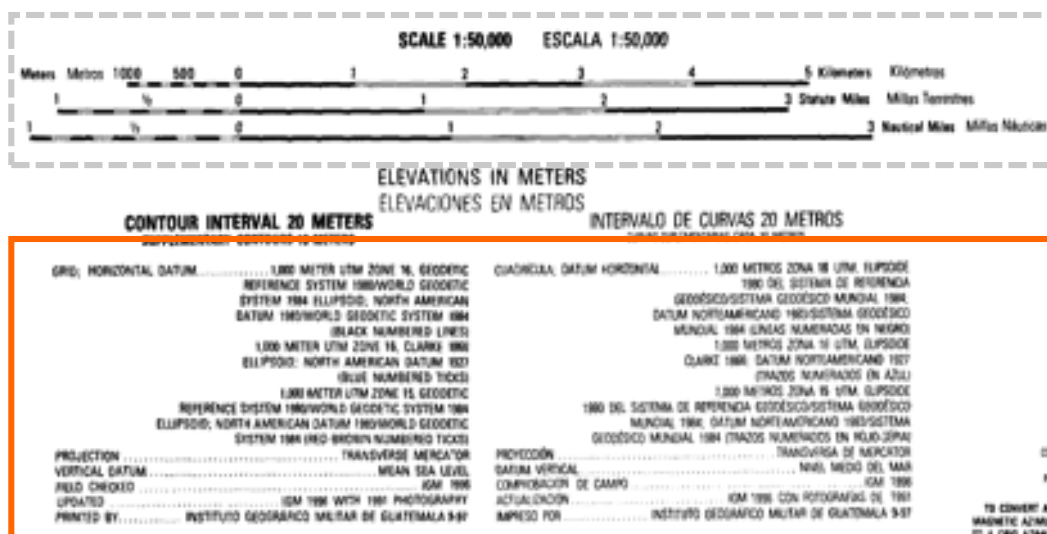
- Directorios geográficos.
- Ortofotos.
- Ampliación de ortofotos en áreas específicas.
- Cartas Náuticas.
- Hojas cartográficas
- Mapas temáticos, entre otros.

Toda la información utilizada deberá ser lo más actualizada posible para evitar discrepancias entre la planificación del proyecto y el área de investigación.

2) Identificar información de posicionamiento geográfico del mapa. Las hojas cartográficas certificadas deben contar con información de referencia de la posición del terreno representado en el mapa. Esta información permitirá establecer los parámetros necesarios para que el programa GIS utilizado pueda georreferenciar toda la información que sea implementada digitalmente al área y que esta coincida con las medidas y prácticas estándar a nivel mundial.

A fin de ejemplificar de mejor manera la posición de esta información, podemos ver la Ilustración 2 amplificada del cuadro en la Ilustración 20. El cuadro verde (línea punteada) contiene las escalas utilizadas para la representación de la hoja cartográfica. El rectángulo rojo (línea continua) contiene la información de la cuadrícula y el sistema de coordenadas con el que fue realizada la hoja cartográfica.

Ilustración 10. Imagen ampliada de la Ilustración 20, en la cual es posible observar la información de posicionamiento geográfico.



Fuente: Elaborado con información de NIMA (National Imagery and Mapping Agency), s/f.

a) **Escalas.** Se conoce como pequeña a una escala con denominadores altos y grande a la escala con denominadores pequeños. La escala pequeña servirá para visualizar objetos de gran escala o áreas extensas, mientras que la escala grande permitirá visualizar objetos con más detalle como calles, edificios. La siguiente tabla muestra una clasificación propuesta para determinar el tipo de escala utilizado.

Tabla 1. Clasificación de escalas.

INTERVALO DE ESCALAS	DENOMINACIÓN ESCALA / CARTOGRAFÍA	UNIDAD CARTOGRAFICA BASE
Menor de 1:500 000	Muy pequeña / exploratoria	> 625 ha
100 000 - 500 000	pequeña / reconocimiento	25 - 625 ha
25 000 - 100 000	Mediana / semidetallada	1,5 - 25 ha
10 000 - 25 000	Grande / detallada	2 500 - 15 625 m ²
Mayor de 10 000	Muy grande / intensiva	< 2 500 m ²

Fuente: Institut d'Estydis Catalans, s/f.

Ilustración 11. Ejemplo de escala pequeña (izquierda) y escala grande (Derecha)



Fuente: CONNECTED TEXAS, s/f.

3) Georreferenciación. El proceso de georreferenciación define la posición de un objeto sobre la superficie de la Tierra.

La georreferenciación de hojas cartográficas en el programa GIS involucra conceptos que deben ser aplicados para cumplir con los estándares y prácticas internacionales. Además de la correcta digitalización del terreno, la utilización del sistema de coordenadas estandarizado permitirá a países y organizaciones que utilicen sistemas de coordenadas locales “traducir” las coordenadas de un sistema a otro, contribuyendo a mejorar la experiencia y la facilidad de realizar colaboraciones internacionales en proyectos.

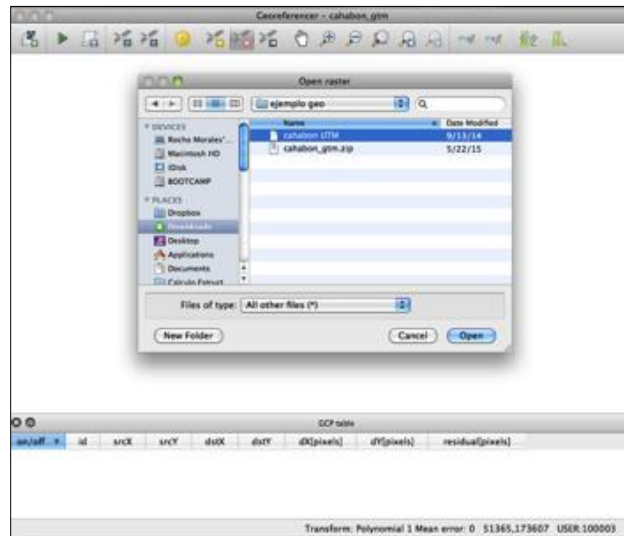
Actualmente Guatemala cuenta con un sistema de coordenadas local el cual lleva el nombre de Guatemala Transversa Mercator (GTM). Esta proyección local ha sido determinada con el fin de evitar riesgos de confusión entre los sistemas Lambert NAD27 y UTM (15 y 16). En el programa GIS utilizado se deberá definir la proyección GTM para poder utilizarla, esta se define de la siguiente forma:

```
“ +proj=tmerc +lat_0=0.0 +lon_0=-90.5 +k=0.9998 +x_0=500000.0 +y_0=0.0 +ellps=WGS84
+datum=WGS84 +units=m “
```

Para la georreferenciación una hoja cartográfica u ortofoto se deberá aplicar el siguiente procedimiento que puede variar dependiendo del programa GIS utilizado:

Cargar imagen con información a georreferenciar, por ejemplo una hoja cartográfica digital, ya sea de formato JPG, Tiff, entre otras que posean una resolución aceptable.

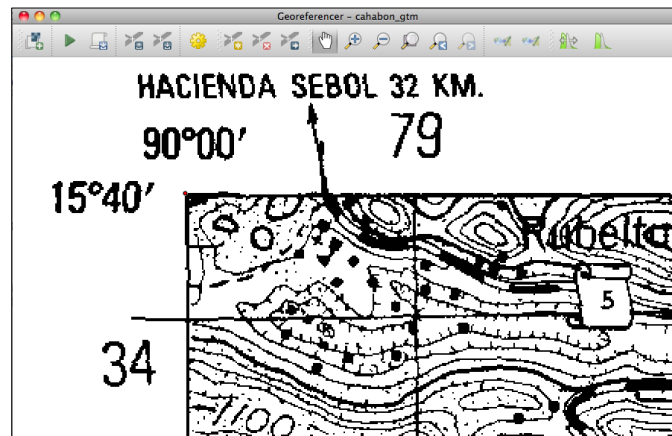
Ilustración 12. Procedimiento de carga de imagen a georreferenciar.



Fuente: Elaborado con Software QGIS, 2015.

Utilizando los complementos de georreferenciación del programa GIS, establecer puntos de control sobre la imagen para su interpretación posterior. Estos puntos deberán ser colocados en sitios estratégicos en la imagen, que sean reconocibles con facilidad para evitar producir distorsiones indeseadas.

Ilustración 13. Colocación de puntos de estratégicos para la georreferenciación de la hoja cartográfica.



Fuente: Elaborado con Software QGIS, 2015.

Asignarle a cada punto las coordenadas X y Y coincidentes con la fuente de información, utilizando la notación adecuada al sistema de coordenadas originales.

Ilustración 14. Coordenadas asignadas a los puntos de interés en el complemento de georreferenciación del programa GIS utilizado.

 0 | 553584.90 | 1732487.07 | 178358.67 | 1734246.43 | 0.29 | -0.24 | 0.38 |

 <tr>
 | 1 | 580387.20 | 1732562.74 | 205181.00 | 1733879.03 | -0.29 | 0.24 | 0.38 |

 <tr>
 | 2 | 580463.64 | 1714113.20 | 204957.88 | 1715417.80 | 0.29 | -0.24 | 0.38 |

 <tr>
 | 3 | 553636.74 | 1714031.02 | 178105.88 | 1715775.04 | -0.29 | 0.24 | 0.38 |

 The table is titled 'GCP table'. Below the table, it says 'Transform: Polynomial 1 Mean error: 0.755441 47342,172901 USER:100003'."/>

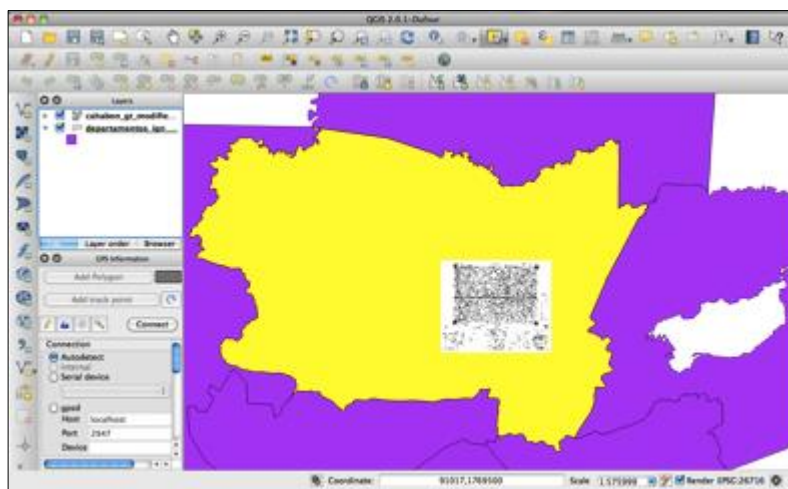
on/off	id	srcX	srcY	dstX	dstY	dX[pixels]	dY[pixels]	residual[pixels]
<input checked="" type="checkbox"/>	0	553584.90	1732487.07	178358.67	1734246.43	0.29	-0.24	0.38
<input checked="" type="checkbox"/>	1	580387.20	1732562.74	205181.00	1733879.03	-0.29	0.24	0.38
<input checked="" type="checkbox"/>	2	580463.64	1714113.20	204957.88	1715417.80	0.29	-0.24	0.38
<input checked="" type="checkbox"/>	3	553636.74	1714031.02	178105.88	1715775.04	-0.29	0.24	0.38

Transform: Polynomial 1 Mean error: 0.755441 47342,172901 USER:100003

Fuente: Elaborado con Software QGIS, 2015.

Tras realizar la asignación de coordenadas el programa será capaz de ubicar el mapa sobre la superficie de la Tierra en la posición indicada, proporcionando un punto de referencia para la traducción a cualquier sistema de proyección local definido con anterioridad. En el caso de Guatemala será posible cambiar su proyección a GTM.

Ilustración 15. Hoja cartográfica georreferenciada con éxito, se utilizó un mapa de Guatemala para corroborar su posición.



Fuente: Elaborado con Software QGIS, 2015.

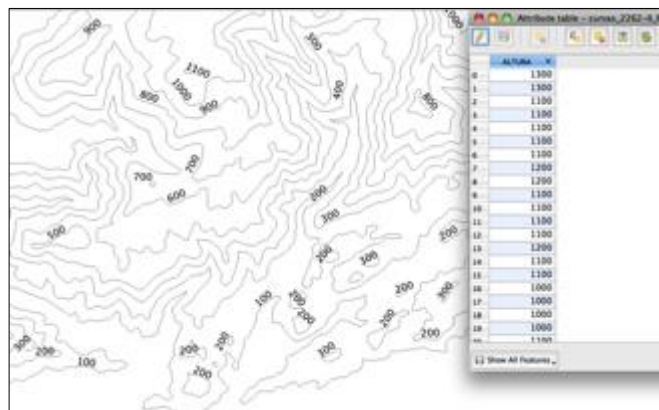
4) Trazo de objetos con atributos. Se tendrá seguridad que todo objeto e información que sea incorporado en el área que abarca un mapa georreferenciado, tendrá coordenadas relacionadas a esa área específica, por lo tanto será posible realizar el trazo de curvas de nivel y otros objetos con mayor fidelidad.

Es necesario conocer los conceptos básicos de los tipos de capas disponibles para la representación de objetos en un mapa digital.

a) Shapefiles. Las figuras “*shape*” son capas vectoriales que permiten la representación de objetos a través de líneas, polígonos y puntos. Es posible definir un sistema de coordenadas para cada capa creada de forma que puedan ser compartidas sin necesidad de reubicarlas cada vez que se carguen al proyecto en el programa GIS.

- **Líneas.** Este tipo de capa vectorial es ideal para la representación de curvas de nivel, ríos, carreteras y perímetros de áreas.

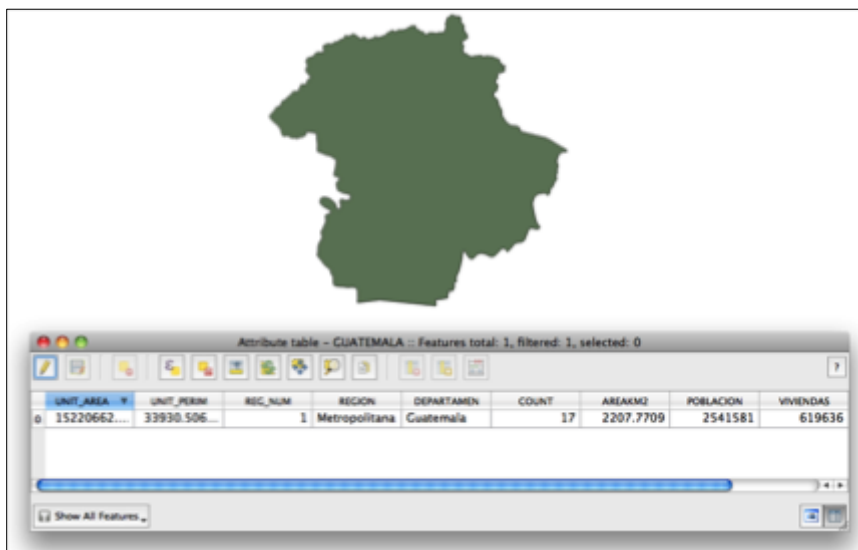
Ilustración 16. Líneas utilizadas para representar curvas de nivel, con atributos de altura tomada desde el nivel del mar.



Fuente: Elaborado con Software QGIS, s/f.

- **Polígonos:** Este tipo de capa vectorial permite identificar áreas de interés y confinar otros objetos para su posterior análisis.

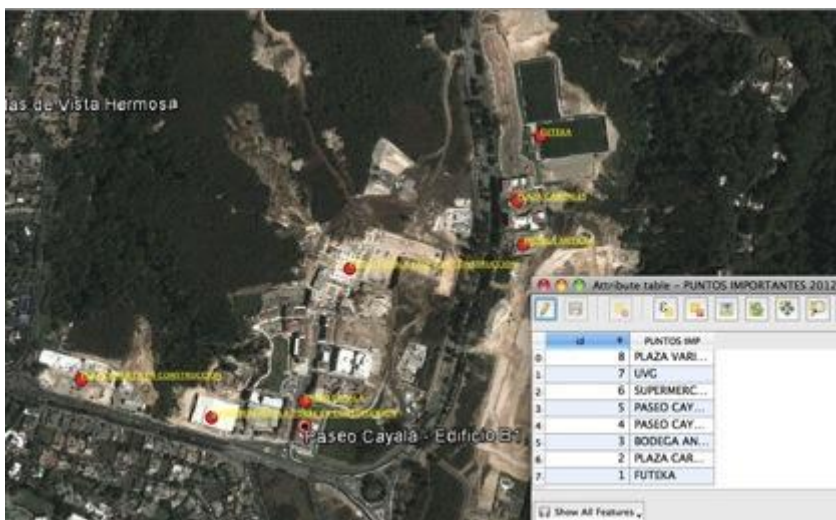
Ilustración 17. Polígono utilizado para representar el Departamento de Guatemala con atributos de área y datos sociales.



Fuente: Elaborado con Software QGIS, 2015.

- **Puntos:** Este tipo de capa vectorial permite identificar sitios de interés sin necesidad de crear áreas para representar edificaciones, parques, sitios turísticos, etc.

Ilustración 18. Puntos utilizados para representar edificios de interés en el área de Cayalá y Cardales en Guatemala



Fuente: Elaborado con imagen de Google Earth, 2013.

Es posible asignar información de tipo numérica y textual sobre las características importantes de a los objetos creados. A esta información se le llama atributos y permiten manipular, identificar y clasificar los objetos a través de una base de datos.

Por ejemplo, las curvas de nivel poseen diferentes alturas representadas por cotas, al ser digitalizadas, las cotas pueden colocarse como un atributo en cada curva de nivel trazada por medio de un valor numérico. Cuando sea necesario se podrá revisar la base de datos creada y será posible interactuar con los valores de curvas.

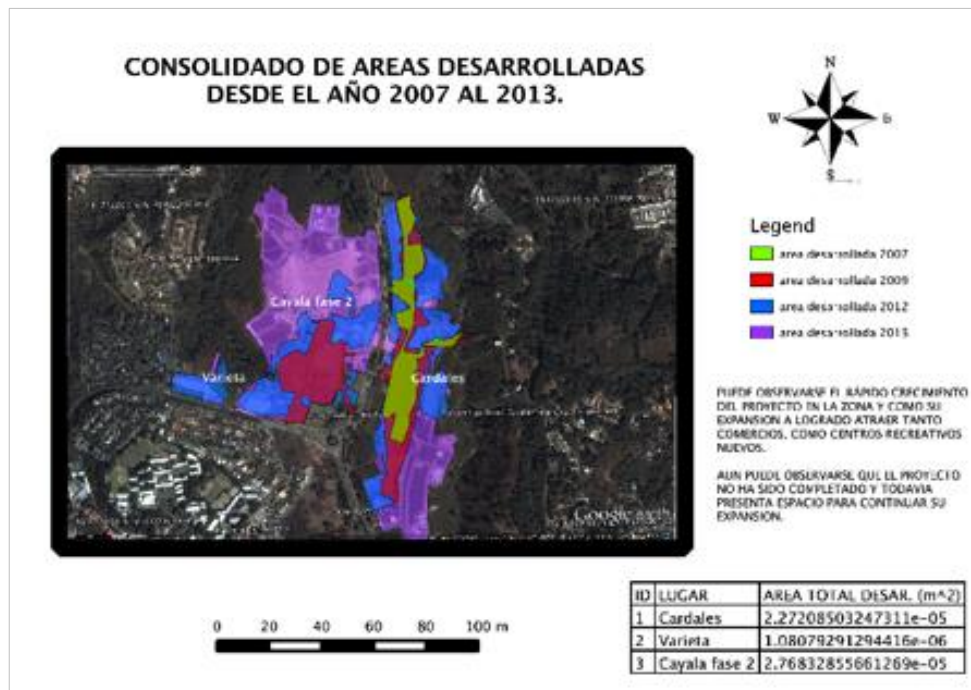
b) Raster. la capa raster como tal utiliza métodos de ordenamiento de pixels para generar una representación gráfica. Las capas tipo “*raster*” permiten insertar imágenes en diferentes formatos gráficos al proyecto. Por lo general este tipo de capa se utiliza para agregar ortofotos y hojas cartográficas al proyecto.

5) Elaboración de mapas temáticos. Gracias a la flexibilidad que permite la digitalización de mapas, es posible reutilizar elementos que han sido recreados de forma digital en un programa GIS. Por lo tanto los mapas que en su momento se utilizan para representar un área específica, sirven de base para mostrar situaciones de interés en forma visual. La realización de mapas temáticos facilita el análisis y planificación de fenómenos de diferente naturaleza, su aplicación es tan amplia que puede llegar a rozar una gran cantidad de disciplinas científicas.

Algunas de las aplicaciones que tiene un mapa temático son: uso de suelo en una región, mapas climáticos, áreas protegidas, mapas hidrográficos, geológicos, vías de comunicación, deforestación anual, cuencas hidrográficas, entre otros.

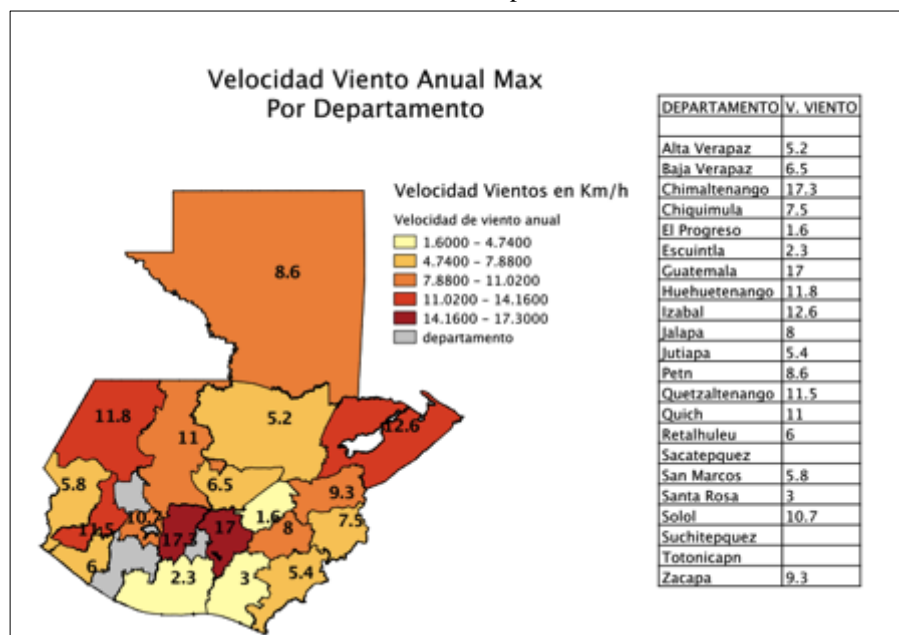
Por ejemplo se puede utilizar mapas temáticos para visualizar una secuencia de cambios en un área determinada y analizar las posibles razones de los mismos.

Ilustración 19. Ejemplo de secuencia, desarrollo Paseo Cayalá (2007-2013).



Fuente: Elaborado con imagen de Google Earth, 2013.

Ilustración 20. Ejemplo de representación de “Velocidades de Viento Anual por Departamento” con base en la información recolectada por el INSIVUMEH.



Elaborado con información INSIVUMEH, s/f.

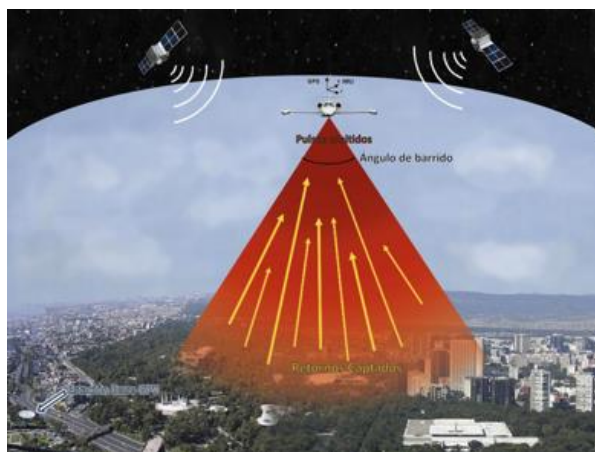
B. Modelos Digitales de Elevación (MDE).

1. Métodos de generación de Modelos Digitales de Elevación. Con el paso del tiempo se ha logrado percibir los beneficios del uso de la digitalización de mapas en diferentes disciplinas, esto ha llevado a buscar nuevas formas de aprovechar la tecnología y facilitar los trabajos de análisis y planeación.

a. Modelos directos. Estos modelos son generados con base en la medición directa del terreno real, estos métodos incluyen el uso de estaciones totales o GPS para realizar levantamientos topográficos y el uso de altímetros que realicen la medición desde una plataforma aérea por medio de un radar o laser.

La tecnología Light Detection and Ranging (LIDAR por sus siglas en inglés) permite generar un MDE a través de la obtención de coordenadas tridimensionales de puntos que conforman un terreno, al conjunto de puntos obtenido se le conoce como nubes de puntos LIDAR. La obtención de los puntos se realiza mediante la utilización de un telémetro laser colocado en un vehículo aéreo, el cual emite pulsos de luz que registra la posición del mismo al entrar en contacto con objetos o el terreno.

Ilustración 21. Esquema que representa la medición de puntos por medio del método LIDAR.



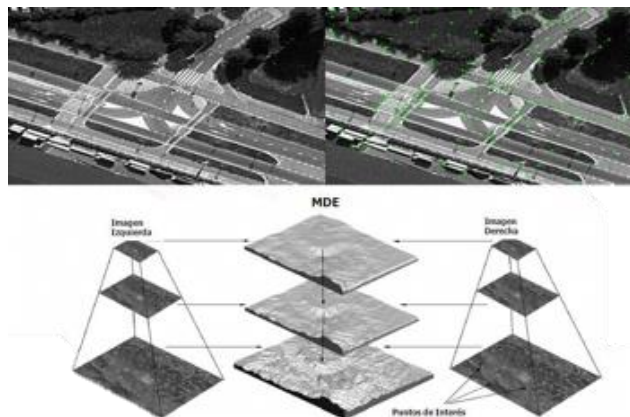
Fuente: INEGI, s/f.

2. Modelos indirectos. Utilizan documentos análogos o digitales como curvas de nivel y cartografía topográfica previamente digitalizada para generar un MDE. Este método utiliza procesos convencionales de conversión automática. También es posible realizar procesos fotogramétricos para la restitución numérica, analítica y digital de los terrenos.

El método fotogramétrico de correlación cruzada de imágenes, se basa en la comparación de pares estereoscópicos de fotografías tomadas por medio de vuelos georreferenciados de áreas digitalizadas. Estos pares de fotografías son alineadas por una persona capacitada que a través del uso de gafas especiales de tipo

activo o pasivo pueden visualizar el conjunto de imágenes en relieve. Este método permite visualizar, medir, actualizar y realizar cartografía existente.

Ilustración 22. Correlación cruzada de imágenes estereoscópicas existentes, la imagen de la izquierda se alinea con la de la derecha formando una imagen en relieve.



Fuente: INEGI, s/f.

La digitalización de cartografía topográfica es un método indirecto que recopila información del relieve del terreno a través de mapas topográficos, curvas de nivel, y puntos de altura. Es posible Digitalizar toda esta información y aplicar un algoritmo de interpretación que construya un Modelo Digital de Elevación con mayor eficiencia. Es importante tomar en cuenta que la calidad y el cuidado con el que se hayan digitalizado las curvas y se hayan asignado los valores de alturas de las mismas pueden influir en la calidad del modelo. Las curvas de nivel con atributos en un programa GIS son ideales para este método ya que la altimetría se encuentra asignada a cada curva de nivel previamente digitalizada, además de contar con la ventaja de trabajar con coordenadas georreferenciadas.

3. Elaboración de Modelos Digitales de Elevación (MDE).

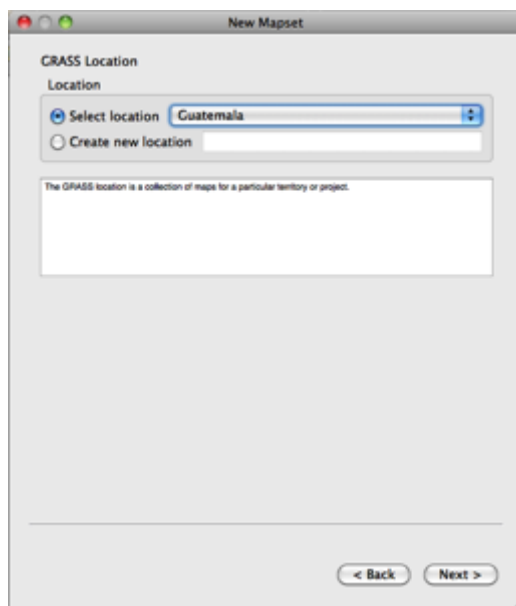
a. Preparación de fuentes de información digital. Una práctica común es generar los modelos con base en documentos análogos o digitales a través de métodos indirectos, los cuales reducen costos de producción. El uso de curvas de nivel digitalizadas es una gran opción si se tiene acceso a hojas cartográficas certificadas. En esta fase es importante verificar que las curvas de nivel previamente digitalizadas contengan, y si no contienen, se le asignen atributos numéricos con la altimetría de las curvas, para que sea posible aplicar el algoritmo de interpretación para MDE.

b. Generar una ubicación y un directorio de mapas. En los programas GIS se le conoce como Ubicación (LOCATION) a una extensión geográfica de interés que contiene un conjunto de información básica de la ubicación real del proyecto en un sistema de coordenadas determinado.

Un Directorio de Mapas (MAPSET) es utilizado para organizar mapas GIS de forma temática, geográfica o por proyecto.

Para generar una Ubicación y un Directorio de Mapas es necesario utilizar un Sistema Geográfico de Información (GIS) como GRASS, en el cual se debe delimitar del sitio de interés con base en un sistema de coordenadas geográfico.

Ilustración 23. Selección o creación de una ubicación para proyecto en Guatemala.

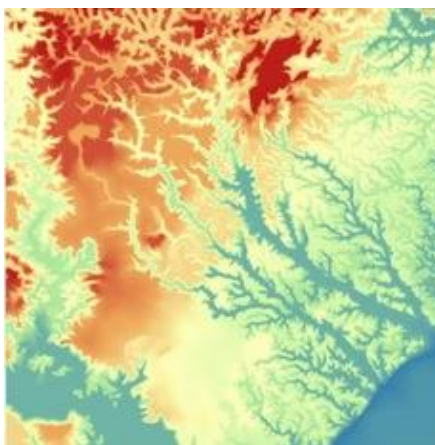


Fuente: Elaborado con Software GIS, 2015.

c. Aplicación de módulos GRASS. Se utilizan los módulos para los siguientes procedimientos:

- Importar el vector de curvas de nivel para que el plugin GRASS pueda utilizarlo y utilizarlo como base del Modelo Digital de Elevación.
- Convertir el vector importado a raster utilizando sus atributos de altimetría.
- Generar una superficie a través de los contornos rasterizados previamente.

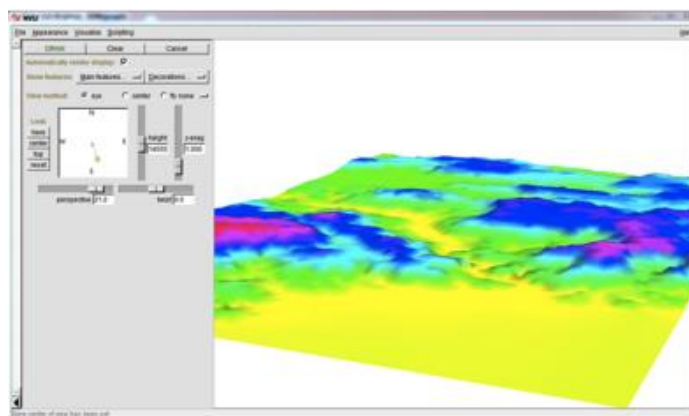
Ilustración 24. Modelo Digital de Elevación obtenido de las curvas de nivel utilizadas.



Fuente: geoparalinux, 2014.

d. Visualización de MDE en 3D. Después de convertir los contornos rasterizados en un MDE, es posible visualizar la superficie en 3D a través del uso de módulos GRASS. A estos modelos se les puede asignar una gama de colores que representen alturas específicas, de tal manera que se pueda observar con mayor facilidad la diferencia de alturas de un punto a otro. Además los MDE visualizados en 3D se podrán utilizar para realizar recorridos digitales del terreno realizado

Ilustración 25. Modelo Digital de Elevación visualizado en 3D a través del uso de módulos GIS.



Fuente: Elaborado con software QGIS, 201

C. Clima.

Para estudiar más a fondo las condiciones de una zona es importante tomar en cuenta todos los factores externos que pueden afectar a la misma. Un lugar se ve afectado por condiciones climáticas debido a que se ven involucradas distintas variables que es lo que hacen que un área cuente con características singulares. Dependiendo del comportamiento que tenga cada variable dentro de la zona, en este caso la cuenca del río Cahabón, se crea un ambiente único. Por esto mismo, es indispensable conocer acerca del clima y las variables que pueden afectarlo, provocando un impacto dentro de la cuenca.

Sin embargo, conocer únicamente del clima no es suficiente, ya que es necesario realizar un estudio de las distintas variables. Esto se puede realizar por medio de la captación de datos con la ayuda de instrumentos y sensores para poder contar con registros que permitan hacer análisis. Estos permiten estudiar el comportamiento y variación de clima y otros factores que han ocurrido por un determinado período de tiempo. Es importante realizar estos análisis debido a que las condiciones físicas y climatológicas de un área no siempre son constantes; existen fenómenos que se dan en ciertos períodos de tiempo o que cambian radicalmente. Para implementar un proyecto se requiere conocer esta información, ya que los resultados requeridos pueden verse afectados. Además, para proyectos de gran magnitud como las hidroeléctricas, pequeñas variaciones crean cambios significativos en los resultados.

Existen numerosas definiciones acerca del clima, por muchos años la climatología se basó en la definición de J. Hann: «El clima es el conjunto de fenómenos meteorológicos que caracterizan el estado medio de la atmósfera sobre un punto de la superficie terrestre.». El clima es la suma total de todas las condiciones atmosféricas que permiten que un lugar sea habitable para los seres vivos.

El clima en cada región es diferente y depende de varios factores o condiciones, entre ellas está la latitud, los vientos dominantes (fríos, calientes, húmedos o secos), la altura sobre el nivel del mar, la topografía, la cercanía del mar, las corrientes marinas frías o cálidas, la vegetación y tipo de suelo. Estos factores se relacionan entre si y determinan la temperatura, la humedad y las posibilidades de vida (FAO, 1996).

1. Clasificación climática. Según Zuñiga (2010), la clasificación climática es el agrupamiento de los diferentes climas en una serie de tiempos fundamentales, de acuerdo a sus características compartidas. El conjunto de factores astronómicos, meteorológico y geográfico del clima condiciona una determinada distribución de centros de acción, masas y frentes así como de los diferentes elementos climáticos.

- Radiación
- Temperatura
- Presión
- Humedad relativa
- Precipitación
- Evapotranspiración

Todos los climas encontrados en nuestro planeta son el resultado de la desigual de distribución de estos elementos.

a. El sistema de clasificación de Köppen. Esta clasificación se basa en la precipitación y temperatura media anual y mensual. Köppen era botánico y observó los efectos que tenían, tanto la precipitación, como la intensidad de la evaporación en la vegetación, por lo que usó la vegetación para lograr denominar los tipos de climas. En esta clasificación climática aparecen cinco grandes grupos de climas denominados por letras mayúsculas, que resultan de la división de las cinco zonas climáticas desde el Ecuador hasta los polos y están denominadas con letras mayúsculas. El sistema de Köppen era empírico, y no tomaba en cuenta los factores condicionantes que limitaban la precipitación y la temperatura. (Universidad de la República, 2012).

Tabla 2. Criterios de clasificación

Clasificación	Nombre	Características	Sub clasificación
A	Clima tropical	T = 18°C media mensual	f,w,m.
B	Clima seco	Evapotranspiración>Precipitación	S,W,h,k
C	Clima templado	T = -3°C y 18°C en el mes más frío	f,w,s,a,b,c,d
D	Clima fríos	T = -3°C mes más frío y T = 10°C mes más cálido	w,f,s,a,b,c,d
E	Clima de hielo	T = 10°C en el mes más cálido	T,F

Fuente: Elaborado con información del Instituto de Física de la Universidad de la República

De la combinación de grupos y subgrupos se obtienen los 12 tipos de climas según Köppen.

Tabla 3. Tipos de climas según Köppen

Clima	Denominación	Características
Af	Clima de selva tropical lluviosa	Precipitación mayor a 60 mm en el mes más seco
Aw	Clima de sabana tropical	Al menos un mes con precipitación menor a 60 mm
Am	Clima monzónico	Precipitación mayor a 60 mm en el mes más seco
BW	Clima seco árido	Precipitación menor a 40 mm anuales
BS	Clima de estepa	Clima árido continental
Cf	Clima templado húmedo sin estación seca	Precipitación mayor a 30 mm en el mes más seco
Cs	Clima templado con verano seco	La precipitación del mes más seco del verano es inferior a 30 mm y la del mes más lluvioso del invierno tres veces superior
Cw	Clima templado con estación invernal seca	El mes más húmedo del verano es diez veces superior al más seco del invierno
Df	Clima boreal de nieves y bosques con inviernos húmedos	No hay estación seca

Continuación Tabla 3. Tipos de climas según Köppen

Dw	Clima boreal de nieves y bosques con inviernos secos	Con una estación seca en invierno
ET	Clima de tundra	Temperatura media del mes más cálido es inferior a 10°C y superior a 0°C.
Df	Clima de hielos perpetuos	La temperatura media del mes más cálido es inferior a 0°C

Fuente: Barry *et al.*, 1985

b. El sistema de clasificación de Strahle. Arthur Strahler, a diferencia de Köppen, planteó un modelo más simple, en el que está basado en las causas por las que se generan los diferentes tipos de clima, en lugar de utilizar los valores de los elementos climáticos. Se basa principalmente de la situación de masas de aire, frentes y centros de acción. Una masa de aire es una gran porción de atmósfera, en la que las características principales de temperatura y humedad se mantienen casi iguales en grandes extensiones (Equipo, 2000).

Tabla 4. Características de las masas de aire primarios

Masa de aire	Símbolo	Temperatura (°C)	Humedad específica (g/kg)	Propiedades
Ártica Continental	Ac	-55 a -35	0.005 a 0.2	muy fría, muy seca, estable
Ántártica Continental Invierno	AAc			
Polar continental invierno	Pc	-35 a -20	0.2 a 0.6	fría, seca y muy estable

Continuación Tabla 4. Características de las masas de aire primarios

verano		5 a 15	4 a 9	fría, seca y estable
Polar marítima				
invierno	Pm	0 a 10	3 a 8	fresca, húmeda e inestable
verano		2 a 4	5 a 10	fresca, húmeda e inestable
Tropical continental	Tc	30 a 42	5 a 10	cálida, seca e inestable
Tropical marítima				
verano	Tm	22 a 30	15 a 20	cálida, húmeda, estable
Ecuatorial marítima	Em	Aprox. 27	Aprox. 19	cálida, muy húmeda e inestable

Según la clasificación de las masas de aire, Arthur logró clasificar 14 climas, que son los siguientes:

Tabla 5 . Clasificación climática según Arthur Strahler

Clima	Características
Ecuatorial lluvioso	Masa de aire ecuatorial; $P > 2,500$ mm; $T = 27^{\circ}\text{C}$
Monzónico	Masa de aire tropical; $P = 2,500$ mm; $25 > T > 27^{\circ}\text{C}$
Tropical seco y húmedo	Masa de aire ecuatorial y tropical marino; estación seca y estación húmeda
Tropical seco	Masa de aire tropical cont. ; Poca lluvia y altas temp.
Subtropical seco	Masa de aire tropical cont. ; P y T (altas)
Subtropical húmedo	Masa de aire tropical marit. ; húmedo por sus elev.
Mediterráneo	Masa de aire tropical marit. o cont.; $T = 15^{\circ}\text{C}$
Marítimo en costa oeste	Masa de aire polar; Temperaturas frescas
Seco de latitudes medias	Masa de aire polar cont. ; Veranos lluviosos pero calurosos
Continental húmedo	Masa de aire polar cont. ; Frío y lluvioso
Bosques boreales	Masa de aire polar cont.; Poca lluvia en forma de nieve
Tundra	Masa de aire polar cont. Y marít. ; No existe verano; nieve
Casquete polar	Masa de aire polar marit. ; $T < 0^{\circ}\text{C}$
Montañas	Masa de aire polar marit. ; varía la T con la altura

Fuente: Berry, 1985

c. El sistema de clasificación de Thornthwaite. Thornthwaite introdujo el concepto de balance hídrico, el cual relaciona dos parámetros importantes en las clasificaciones climáticas, la precipitación y la evapotranspiración. Se hace esta relación se hace con el fin de determinar el grado de disponibilidad de agua para las plantas durante un año (Hueveldop *et al.*,1986).

Esta clasificación está estructurada con cuatro índices que unidas describen las características climáticas del lugar.

B₄ = Índice Global de Humedad

R = Variación estacional de humedad (VEH)

A' = Índice de eficiencia térmica (ETP)

a' = Concentración estival de la eficiencia térmica

1) Índice Global de Humedad. Relación entre I_h e I_a pero se le da más peso al I_h debido a la existencia de otras fuentes de humedad, como la humedad en el subsuelo, napas freáticas y otros que pueden variar el efecto de una eventual sequía.

$$\text{Índice de humedad (Ih)} = \frac{100 * E}{EPT}$$

Dónde:

E = Excedente de humedad en el año.

EPT = Evapotranspiración potencial anual.

$$\text{Índice de aridez (Ia)} = \frac{100 * D}{EPT}$$

Dónde:

D = Deficiencia de humedad en el año.

EPT = Evapotranspiración potencial anual.

$$\text{Índice Hídrico (IH)} = \frac{(100 * E) - (60 * D)}{EPT}$$

Dónde:

E = Excedente de humedad en el año.

D = Deficiencia de humedad en el año.

EPT = Evapotranspiración potencial anual.

Tabla 6. Índice global de humedad según Thornthwaite

Símbolo	Designación	Índice Hídrico
A	Per húmedo	100 ò >
B ₄	Húmedo	100 a 80
B ₃	Húmedo	80 a 60
B ₂	Húmedo	60 a 40
B ₁	Húmedo	40 a 20
C ₂	Subhúmedo – Húmedo	20 a 0
C ₁	Seco – Subhúmedo	0 a -20
D	Semiárido	-20 a -40
E	Árido	-40 a -60

Fuente: Equipo, 2000.

d. Variación estacional de la eficiencia de la humedad. Es el exceso o déficit de agua estacional durante el año. En los climas húmedos se determinan las diferentes categorías aplicando el índice de aridez. En los climas secos se utiliza el índice de humedad (Equipo, 2000).

Tabla 7. Variación estacional de la eficiencia hídrica en climas húmedos

Climas Húmedos (A,B y C₂)		
		Índice de aridez
r	Poca o ninguna deficiencia de agua	0 a 16.7
s	Moderada deficiencia de agua en verano	16.7 a 33.3
w	Moderada deficiencia de agua en invierno	16.7 a 33.3
s₂	Deficiencia grande de agua en verano	más de 33.3
w₂	Deficiencia grande de agua en invierno	más de 33.3

Fuente: Equipo, 2000.

Donde p , e y E son, respectivamente, los valores medio de la precipitación mensual de la evapotranspiración mensual potencial y de la evapotranspiración anual potencial.

Tabla 8. Variación estacional de la eficiencia hídrica en climas secos

Climas secos (C₁,D y E)		
		Índice de humedad
d	Poca o ninguna excedente de agua	0 a 10
s	Moderado excedente de agua en invierno	10 a 20
w	Excedente moderado de agua en verano	10 a 20
s₂	Excedente grande de agua en invierno	más de 20
w₂	Excedente grande de agua en verano	más de 20

Fuente: Equipo, 2000

Donde p , e y E son, respectivamente, los valores medio de la precipitación mensual, de la evapotranspiración mensual potencial y de la evapotranspiración anual potencial.

e. **Índice de eficiencia térmica.** Se toman valores de evapotranspiración potencial anual, los que sirven para caracterizar los distintos tipos climáticos. Como índice de eficiencia térmica, se emplea la evapotranspiración potencial que depende de la temperatura y de la longitud del día. Una eficiencia favorable existe en regiones tropicales, en donde una elevada temperatura corresponde una abundante precipitación (Equipo, 2000).

Tabla 9. Índice de eficiencia térmica según Thornthwaite

Índice EPT (mm)	Símbolo	Tipo climático
n > 1140	A'	Megatermal (tropical)
1140 a 998	B' ₄	Mesotermal (templado)
997 a 856	B' ₃	Mesotermal (frío)
855 a 713	B' ₂	Mesotermal (frío)
712 a 571	B' ₁	Mesotermal (frío)
570 a 428	C' ₂	Microtermal (más frío)
417 a 286	C' ₁	Microtermal (más frío)
285 a 142	D'	Tundra
n < 142	E'	Helado

Fuente: Equipo, 2000

f. **Concentración estival de la eficiencia térmica.** Consiste en relacionar la evapotranspiración potencial correspondiente a los meses de verano con la evapotranspiración anual. El resultado se expresa en porcentaje (%) (Equipo, 2000).

Tabla 10. Concentración estival de eficiencia térmica según Thornthwaite

ETP (verano)/ETP (anual)*100 (%)	Tipo
< 48.0	a'
48.0 a 51.9	b' ₄
52.0 a 56.3	b' ₃
56.4 a 61.6	b' ₂

Continuación Tabla 10 Concentración estival de eficiencia térmica según Thornthwaite

ETP (verano)/ETP (anual)*100 (%)	Tipo
61.7 a 68.0	b'1
68.1 a 76.3	c'2
76.4 a 88.0	c'1
> 88.0	d'

Fuente: Equipo, 2000

2. Clima en Guatemala. Guatemala posee un clima tropical y subtropical dependiendo la zona y el mes. Sin embargo, el clima en nuestro país se ve afectado por las tormentas tropicales, la humedad y lluvia.

En Guatemala hay dos estaciones muy marcadas: la temporada seca y la temporada de lluvias, que abarcan de mayo a octubre en ciertas zonas del país, sobre todo en las zonas atlánticas. Las precipitaciones duran prácticamente todo el año, como lo es en las Verapaces y Peten; y las épocas secas por lo general son de abril a noviembre.

Tabla 11. Tipos de clima en Guatemala, según Thornthwaite

No.	Índice Global	Jerarquía de Humedad	Jerarquía de Temperatura	Vegetación Natural Característica
1	AA'	Muy húmedo	Cálido	Selva
2	AB'	Muy húmedo	Semi-cálido	Selva
3	AB'2	Muy húmedo	Templado	Selva
4	AB'3	Muy húmedo	Semi-frío	Selva
5	BA'	Húmedo	Cálido	Bosque
6	BB'	Húmedo	Semi-cálido	Bosque
7	BB'2	Húmedo	Templado	Bosque
8	BB'3	Húmedo	Semi-frío	Bosque
9	CA'	Semi-seco	Cálido	Pastizal
10	CB'	Semi-seco	Semi-cálido	Pastizal
11	CB'2	Semi-seco	Templado	Pastizal
12	CB'3	Semi-seco	Semi-frío	Pastizal
13	DA'	Seco	Cálido	Estepa

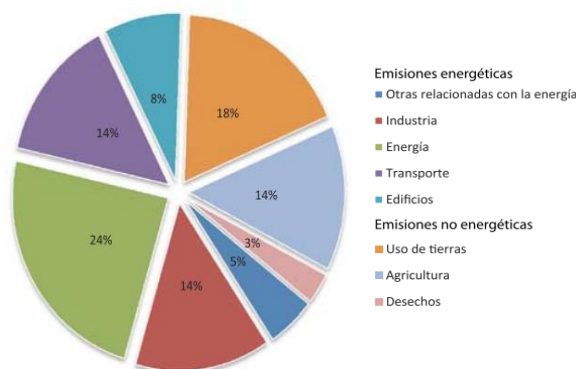
Fuente: SIG del MAGA, 2000.

3. Cambio climático. Al ver hacia el pasado, se observa cómo va en aumento la población y por lo tanto el promedio de consumo individual, lo que llevó a un incremento de la demanda global de todo tipo de recursos y esto modificó completamente la superficie continental del planeta.

Según Barrios (2005), la energía que llega a la Tierra en forma de radiación electromagnética proveniente del Sol, es en parte reflejada hacia el espacio exterior y en parte retenida en el planeta. Poca de la radiación solar que ingresa, es absorbida por los gases de la atmósfera: la mayor parte la atraviesa, siendo absorbida o reflejada en la superficie de la Tierra y en las nubes. Los cuerpos responden de diferentes maneras a las radiaciones electromagnéticas según la longitud de onda de las mismas. La superficie sólida o líquida, las nubes y la propia atmósfera reemiten energía, también como radiación electromagnética, pero con distinta longitud de onda, debido a que están mucho más frías que el sol. La atmósfera, que es transparente a la radiación solar, no lo es a la radiación terrestre. Así, la mayor parte de esta última queda atrapada en la atmósfera, excepto la que es emitida en una banda de longitudes de onda conocida como “Ventana de radiación”.

Existen componentes naturales tales como el vapor de agua, el dióxido de carbono, el metano y el óxido nítrico que tienen la propiedad de absorber una parte de esta radiación que sale de la ventana de radiación, entonces cuando su concentración aumenta, la radiación que sale al espacio exterior es muy pequeña, por lo tanto, la temperatura que adquiere el planeta aumenta, por esta razón se les llama “gases de efecto invernadero” (GEI). El efecto invernadero es el motivo del calentamiento global y el cambio climático, es el aumento de los gases de efecto invernadero los que aumentan la absorción de calor y a su vez genera cambios.

Ilustración 26. Fuentes de generación de gases de efecto invernadero



Fuente: Stern, 2007.

4. Efectos del cambio climático en Guatemala. Castellanos y Guerra (2009) indican que los extremos de temperatura que se espera, son lo que tiene mayor potencial para causar daños graves al país, tanto las temperaturas altas como las bajas. Tanto las sequías como las heladas, aun siendo un día al año, acaban con plantaciones completas. El grado en el que los cambios de temperatura se convierten en amenazas dependerá mucho de la magnitud de los mismos, de su variabilidad y también de cómo las poblaciones responden a ellos.

Entre los efectos más directos que hay por el cambio climático, está la alteración de los componentes del ciclo hidrológico. Las variaciones en la evapotranspiración y precipitación cambian la escorrentía superficial y subterránea, así como los niveles de los cuerpos de agua. El análisis del impacto del cambio climático sobre los recursos hídricos se basó en los escenarios normales, optimista y pesimista para 2030. Para la escorrentía, se estimó que habría una disminución del orden de 10% en todas las cuencas bajo el escenario normal: para el escenario optimista, se estimó un aumento de escorrentía del 15%; mientras que con el escenario pesimista se espera una disminución de hasta un 50% en algunos departamentos y ciudades importantes. El aumento o reducción de los caudales tiene impacto directo en los sistemas de suministro de agua y en la producción agrícola. Aparte de los cambios climáticos en las cifras anuales, la naturaleza de eventos individuales, en especial de precipitación, ocasionarán problemas como inundaciones, deslaves y pérdida acelerada de suelo, entre otros (MARN, 2001).

Tabla 12. Cambio de temperatura y precipitación media anual para Guatemala bajo el escenario de emisiones altas de GEI

Variable	2020	2030	2050	2070	2100
Temperatura °C	0.8	1.0	2.0	2.9	4.7
Lluvia %	-1.5	-1.3	-12.7	-14.2	-26.8

Fuente: CEPAL, 2010

La reducción de la lluvia se acentúa a partir de 2050 con una disminución arriba del 10% de la lluvia actual, al ver este porcentaje pareciera que no es mucho pero cambiarían los tipos de bosques y vegetación que vemos actualmente en nuestro país. Así que, estar preparados para adaptarnos a la situación de lluvia cambiante, será de suma importancia fomentar el uso de los sistemas de micro-riego y el almacenamiento de agua desde la escala doméstica, las comunidades e incluso las municipalidades. En el caso contrario, el exceso de lluvia, también será importante prever una adaptación.

5. Estaciones meteorológicas, hidrométricas, climatológicas.

a. Estaciones más utilizadas. Los resultados de una buena investigación se basan principalmente en la información que ésta utilice para analizar dentro de la misma; depende de los datos que se tengan para guiar el trabajo por el camino correcto. Para la implementación de proyectos es necesario hacer estudios de las características del área para determinar el comportamiento probable de los resultados. Es por esto que este proyecto busca determinar las mejores ubicaciones y estándares para la implementación de estaciones meteorológicas e hidrométricas en la cuenca del río Cahabón, Alta Verapaz; con el fin de obtener los datos necesarios para estudiar dicha área y así conocer si es viable la implementación de proyectos hidroeléctricos. La cuenca del río Cahabón «posee un área de **2,625.65km²** hasta su confluencia con el río Polochic, previo a desembocar en el Lago de Izabal [...]. Se ubica en los departamentos de Alta Verapaz e Izabal, en la vertiente del Golfo de Honduras» Para conocer su dimensión, la precipitación media registrada que tiene la cuenca se estima de 2,930mm anuales, de los cuales 1,558mm sufren de evapotranspiración y el caudal medio anual se estima de **164 m³/s**, clasificándose por el Instituto de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH) como una cuenca con muy alta disponibilidad de agua superficial (INDE, 2015).

Sin embargo, a pesar de conocer características de la cuenca, también se debe contar con información más específica acerca de parámetros que afecten lo que se quiere llevar a cabo, en este caso, la implementación de una hidroeléctrica. Proyectos de grandes dimensiones se ven afectados por pequeños cambios, por lo que es importante hacer análisis exhaustivos por medio de estudios y observaciones específicas para el lugar en donde se desea implementar el proyecto. Los estudios que se necesiten dependen mucho de las características del área, ya que existen ubicaciones con condiciones constantes, cambiantes o extremas; especialmente en lugares con clima muy diferente como en los departamentos de Alta Verapaz e Izabal.

Debido a que las condiciones son cambiantes en un período de tiempo relativamente corto, es importante contar con información confiable. Ésta debe de analizarse durante un período de tiempo. Cuanto mayor sea el rango de tiempo de estudio, son más confiables los datos; ya que se obtiene mayor información acerca de su comportamiento a lo largo de ese período. Aspectos como la temperatura, lluvia, humedad y otros varían considerablemente en un corto período y es por esto que existen unidades capaces de contar con grupos de instrumentos específicos para analizar dichos parámetros específicos. Estas unidades son estaciones capaces de almacenar instrumentos para recolectar información específica para hacer análisis de la misma. Existen distintos tipos de estaciones según el fin que se quiera alcanzar y los instrumentos que se necesiten, debido a que algunas son más especializadas para manejar mayores cantidades de datos para un estudio específico o institución que requiere de ellos. Para realizar un análisis y llevar un control de los registros, para implementación de un proyecto hidroeléctrico, es importante contar con datos del pasado, presente y futuro; y debido a que el proyecto es de carácter hidrológico se debe de contar con información de este tipo. Se obtiene a través de tres distintos tipos de estaciones: meteorológicas, hidrométricas y

climatológicas, las cuales se estarán desarrollando a lo largo del trabajo para comprender los instrumentos utilizan.

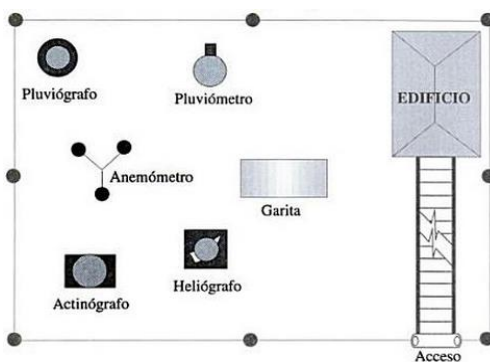
Una estación puede usarse para conocer si el comportamiento de las variables a estudiar es constante, si existe algún fenómeno cada cierto tiempo, observar anomalías o incluso hacer proyecciones. Éstas pueden contar con cualquier cantidad de instrumentos dependiendo de lo que se quiera medir o clasificación que ésta tenga. Para proyectos como las hidroeléctricas es indispensable contar con estaciones que puedan actualizar los datos constantemente porque su diseño se debe basar no solo en los datos recolectados, sino también en las probabilidades que se puedan tener para un futuro. Si no se hacen proyecciones, puede que se sub o sobre dimensionen algunos parámetros que puede llegar a ser extremadamente crítico.

En Guatemala se manejan mayormente estaciones que son de carácter meteorológico, hidrométrico o climatológico. Esto debido a que son tipos de estaciones que cuentan con variedad de instrumentos de medición que abarcan bastante información y no son precisamente para ser usadas solo para un fin en específico.

i. Estaciones meteorológicas. La Meteorología es la ciencia que estudia la atmósfera y los meteoros o fenómenos tales como el la lluvia y otros que en ella suceden; mientras que un parámetro meteorológico para Brenes y Saborío (1995) se refiere al conjunto de registros de variables que miden el estado del tiempo como la precipitación y temperatura. «Aquellas variables atmosféricas o fenómenos (temperatura del aire, presión, viento, humedad, tormentas, nieblas, ciclones o anticiclones, etc.) que caracterizan el estado del tiempo en un lugar específico y en un tiempo dado».

Según Brenes y Saborío (1995), una estación meteorológica se considera como el espacio físico donde están instalados los instrumentos para la medición de los diversos elementos meteorológicos. Consta de un edificio el cual sirve como oficina y al mismo tiempo proteger los instrumentos. Además, posee un área variable, por lo general de 9m de largo por 6m de ancho, llamada «parcela meteorológica». Esta parcela está cercada por una malla metálica de 1.70m de alto, en ella se ubican la garita meteorológica y los instrumentos de medición al aire libre.

Ilustración 27. Vista en planta estación meteorológica



Fuente: Brenes y Saborío, 1995.

Ilustración 28. Estación meteorológica en planta solar, Chiquimulilla, Santa Rosa.



Pueden además contener un «abrigo meteorológico» que tiene como función proteger los instrumentos más sensibles «[...] para lograr filtrar los efectos indirectos que pueden alterar las mediciones. Por ejemplo, el calentamiento directo que produce la radiación solar en el caso de la medición de la temperatura, o las variaciones provocadas por la fuerza del viento, en el caso de la medición de la presión atmosférica» y otros como los termómetros, sicrómetros, termohigrógrafos, evaporímetros, higrómetros, termógrafos e higrógrafos (Brenes y Saborío, 1995). Éstos deben de estar contruidos de forma que se permita una libre circulación de aire para mantener una temperatura; que sus paredes estén formadas por doble persianas para impedir el acceso de la radiación solar y el techo con una inclinación para que el agua de lluvia pueda escurrir (Visita INSIVUMEH, 2014). Además, la Organización Meteorológica Mundial (OMM y sus siglas en inglés *WMO*) indica que estos abrigos en donde deben de ir instrumentos como los termómetros deben de estar a una altura de 1.25m a 2.00m debido al gradiente de temperatura que existe menor a 1.25m. Existe una variación mínima de 0.2°C entre las medidas mencionadas anteriormente, por lo que es permitido instalarlo a una altura dentro de ese rango.

Ilustración 29. Abrigo meteorológico



Fuente: Visita INSIVUMEH, 2014.

j. Estaciones Hidrométricas. Una estación de este tipo es una «estación en la cual se obtienen datos del agua, en los ríos, lagos y embalses, de uno o varios de los elementos siguientes: niveles, flujo de las corrientes, transporte y depósito de sedimentos y propiedades físicas, químicas y bacteriológicas del agua» (ETESA, 2009). Sin embargo, también existen las estaciones hidrometeorológicas, las cuales combinan la ciencia de la Meteorología e Hidrografía. Cualquiera de estos dos tipos se utiliza como complemento a una estación meteorológica, ya que según el Instituto Nacional de Electrificación (INDE) éstas también incluyen la operación y monitoreo de 7 variables meteorológicas que son: temperatura, evaporación, intemperie, evaporación a sombra, humedad relativa, velocidad del viento, insolación y lluvia; siendo esta última variable de las más importantes. Sin embargo, no todas tienen necesariamente la medición de las 7 variables debido a que muchas veces las circunstancias no lo permiten como la ubicación, acceso, la topografía, entre otros.

En esta etapa del proyecto se estará analizando los posibles instrumentos que ayuden a obtener datos para el análisis de las áreas en donde se implementará una hidroeléctrica, según lo requisitos que éstas tengan. Por eso mismo se estará tomando en cuenta las variables tipo meteorológicas que son de tipo general y no tanto en análisis de las características del cuerpo de agua de la cuenca del río Cahabón, como análisis de sedimentos, propiedades físicas, químicas y bacteriológicas; estas características se estudian a más detalle en otras ramas de la Ciencia.

k. Estaciones climatológicas. Brenes y Saborío, (1995) definen las estaciones climatológicas principales como estaciones que «están cualificadas para realizar observaciones del tiempo atmosférico, precipitaciones, temperatura del aire, humedad, viento, radiación solar, evaporación y otros fenómenos especiales». Generalmente son estaciones más sencillas y con menor cantidad de instrumentos. Según el INSIVUMEH, se usan principalmente para pronósticos del clima, especialmente de lluvia. Se colocan en puntos en donde se obtengan datos representativos, como en lugares en donde cambia la topografía. Son estaciones individuales para medir una sola variable como la precipitación o estaciones combinadas que se usan para obtener datos meteorológicos, pero al mismo tiempo obtienen datos de éstas para realizar los pronósticos.

D. Estándares para implementación de una estación.

1. Sistema de observación. Las observaciones meteorológicas se realizan para tener información en tiempo real del clima para hacer pronósticos y advertencias; al igual que para hacer uso de ella en diferentes disciplinas como la Hidrología, Agricultura y Meteorología. Toda observación tiene un «grado de representatividad», el cual describe el valor de la variable requerida para un fin específico. Sin embargo, una observación de calidad se obtiene a través de un conjunto de instrumentos y mediciones en diferentes intervalos según se requiera para alguna aplicación específica. Por lo tanto, una observación sinóptica «generalmente debería ser representativa para un área de 100km alrededor de la estación, pero para aplicaciones de pequeña escala o locales el área puede ser considerada de 10km o menos». Algunas aplicaciones tienen una escala del área promedio, densidad de la estación y resolución. Si se tiene en baja cantidad las características mencionadas anteriormente, se utiliza para una estación meteorológica agrícola; si es en mayor cantidad para pronósticos de largo alcance. Aun así, no cualquier tamaño de estación funciona para realizar pronósticos, ya que depende del tamaño del fenómeno que se quiere analizar para conocer la cantidad y densidad de instrumentos con la que una estación debe de contar. Para Orlanski (1975), según OMM, las estaciones meteorológicas tienen un propósito según su escala, los cuales pueden ser los siguientes:

Tabla 13. Escalas para medición de variables.

Tipo Escala	Cobertura	Fenómeno a analizar
Microescala	menor a 100m	Meteorología agrícola, evaporación
Topoescala/ escala local	100 Km - 3Km	Contaminación aire, tornados
Mesoescala	3Km - 100Km	Tormentas, brisa de montaña o mar
Escala grande	100m - 3,000Km	Frentes, ciclones
Escala planetaria	mayor a 3,000Km	Grandes y altas olas troposféricas

Fuente: Elaborado con información de OMM, 2010.

A pesar de contar con los instrumentos adecuados al igual que el área ideal, se debe de tener la habilidad, entrenamiento, capacitación y apoyo para realizar la observación requerida. Según la OMM, dependiendo del fin que se tenga para dicha observación varían los intervalos, es decir, se establecen intervalos por minutos como para aviación; horas para agricultura; y días para descripciones climáticas. En ocasiones el almacenamiento de datos para muchos intervalos puede intervenir en la capacidad que el usuario tenga y la que requiera. Además de los intervalos, la exposición que cada instrumento tenga en el área designada también tiene un impacto en los resultados debido a que entre mayor sea la superficie, como en escalas mayores a los 100km, es más difícil y es más probable que se presenten errores. Esto es lo contrario de lo que sucedería a algún sistema que se encuentre totalmente aislado.

Se tiene que seguir un protocolo estandarizado para realizar la toma de datos correctamente, en donde los observadores son los encargados de velar por que todos los requerimientos se cumplan. Estas personas deben de ser capacitadas y certificadas para encargarse de:

- Realizar observaciones sinópticas y/o climatológicas representativas.
- Mantener los instrumentos, documentación y observaciones en orden.
- En ausencia de un sistema automático de codificación y comunicación, ellos deben de encargarse de ello.
- Mantener los instrumentos in situ.
- Hacer registros semanales o mensuales de los datos que instrumentos automáticos no realizan.
- Realizar observaciones cuando los equipos automáticos no las hagan de todo lo que se requiere.
- Responder a entidades públicas.

2. Requerimientos de instrumentos y sitio. La OMM tiene algunos parámetros que se deben cumplir para que las características físicas funcionen de acuerdo a las necesidades de las estaciones, en donde los más indispensables son los siguientes:

- Instrumentos de exterior se deben de colocar de preferencia en un pedazo de terreno, no menor a 25mX25m o si se considera que se tienen pocos instrumentos puede ser de 10mX7m. El terreno debe de estar cubierto por grama de una altura pequeña o alguna especie de la localidad. Se debe de dejar espacio de 2mX2m para observaciones del terreno como la temperatura.
- No debe de existir una pendiente muy pronunciada.
- El sitio debe de estar lo más alejado posible de árboles, edificaciones, muros o cualquier otra obstrucción. La distancia entre cualquier obstáculo y el instrumento no debe de ser menor al doble de la altura a la que está colocado.
- El instrumento de radiación solar y pluviómetro deben de ser expuestos según sus requerimientos (OMM, 2010).

Un requerimiento muy básico para una estación es que todos los instrumentos con los que se debe de realizar la observación deben de ser colocados in situ, en donde se deben de instalar de acuerdo a los requerimientos globales, regionales o nacionales. Aparte de conocer los requerimientos según la dimensión de las zonas, también existen requerimientos de instalación, calidad, mantenimiento y parámetros a medir.

Se debe de tomar en cuenta que los sitios tienden a cambiar con el tiempo debido al crecimiento de árboles, cambio del tipo de suelo, nuevas edificaciones cercanas, por lo que al escoger la ubicación para la estación se debe de considerar estos posibles cambios en un futuro a mediano plazo. De esta manera se minimiza los efectos que éstos provoquen en las mediciones y observaciones.

3. Coordenadas para estaciones. La posición de las estaciones debe de estar referenciada a WGS-84 (World Geodetic System 1984) o EGM96 (Earth Geodetic Model 1996). Las coordenadas deben de ser dadas como la OMM (2010) lo requiere. La latitud debe ser dada en grados, minutos y segundos enteros; la longitud en grados, minutos y segundos enteros; y la elevación se refiere a la altura al nivel sobre el mar, la elevación en metros con dos decimales.

Tabla 14. Ejemplificación sistema de coordenadas.

Estación	Longitud Oeste	Latitud Norte	Elevación (msnm)
Chió I	90° 22' 30"	15° 27' 30"	1,300

Fuente: Elaborado con información de OMM, 2010.

Es de suma importancia mantener un mismo sistema de medición para evitar confusiones con medidas y observaciones. Además, para identificar una estación geográficamente, todo debe estar bajo el mismo sistema de coordenadas. De lo contrario, habría confusión para realizar interpretaciones.

4. Características. Para que funcione correctamente, el INSIVUMEH indica que el terreno que circule una estación debe ser plano y libre de obstrucciones; si existen obstáculos alrededor estos deben encontrarse a una distancia y altura específica. La mayoría de veces la altura aparente sobre el suelo no debe exceder los 10° del horizonte al Este y al Oeste debe de estar despejado. También, para captar los datos se construye una pequeña oficina para el observador, muchas veces cuando se requiere instalar instrumentos para medir la presión atmosférica o equipo de radio comunicación. Para ello, la estructura debe ser sólida y el techo debe ser de concreto para permitir la instalación de otros equipos como los medidores de viento.

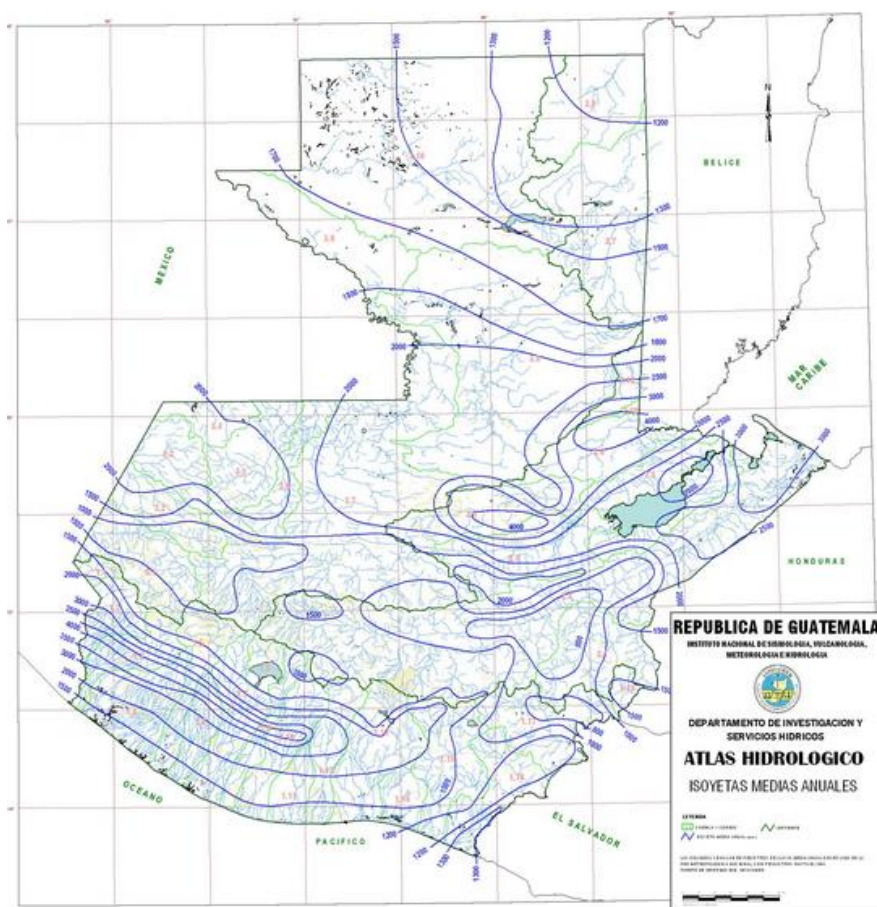
Depende del tipo de aplicación para la cual se vaya a utilizar la estación, la parcela está sola rodeada de una malla y se coloca los instrumentos necesarios al aire libre. Sin embargo, la ubicación sí es fundamental, ya que las mediciones que en ella se hagan deben ser representativas de toda un área. «Las estaciones no deben estar ubicadas sobre o cerca de pendientes pronunciadas, colinas, barrancos u hondonadas; debe evitarse la proximidad inmediata de grandes edificios y árboles» (Brenes y Saborío, V, 1995).

5. Área de influencia. Se le conoce como área de influencia a la cobertura que tiene una estación para que los datos sean representativos y válidos. Sin embargo, se debe de analizar las características del lugar, ya que existen fenómenos que obstruyan la captación de datos. La topografía es un factor importante que se debe de considerar debido a que provoca que existan ambientes muy distintos en lugares que se consideran cercanos. Según el INSIVUMEH una estación meteorológica tiene un área de influencia de aproximadamente 10km^2 para que los datos sean válidos; esto si el terreno se considera plano.

Además, para abarcar una mayor área de influencia es necesario mantener una buena calibración de los sensores e instrumentos, pues depende de ello la sensibilidad que éstos tendrán. Tomando en cuenta el área y la calibración de instrumentos, el INDE ha estimado que se necesitan alrededor de 25 estaciones para abarcar toda el área de la cuenca, ya que la cuenca cuenta con $2,625.65\text{km}^2$.

La precipitación es una de las variables más importantes a medir dentro de las estaciones meteorológicas, hidrométricas y climatológicas, por lo que otra de las formas en que se tiene una estimación del área de influencia es por medio de del método de Isoyetas. Este es uno de los métodos más precisos para obtener la precipitación media, pues permite la consideración de los efectos orográficos en el cálculo de la lluvia media sobre la cuenca en estudio. Éste se basa en el trazado de curvas con la misma precipitación, como para las curvas de nivel en un levantamiento topográfico. Este es uno de los métodos que utiliza el INDE para conocer el área de influencia que tiene una estación dentro de una cuenca, ya que realizan estudios hidrológicos en donde la precipitación es uno de los factores base para sus investigaciones.

Ilustración 30. Ejemplo método de Isoyetas para precipitación media anual.



Fuente: INSIVUMEH, 2012.

6. Mantenimiento y calidad. Para asegurar un correcto funcionamiento de cualquier tipo de estación como las sinópticas o las principales se debe de hacer una inspección por lo menos cada año o cada dos años. Sin embargo, si es posible, se debe de hacer revisiones preventivas en intervalos más cortos para rectificar que no existe alguna modificación dentro de las mismas. Esto también con el fin de conocer el estado de todos los instrumentos y ver que éstos siguen en el lugar que fueron documentados. Se deben hacer chequeos para determinar si es necesario hacer algún mantenimiento y así saber si la recolección de datos se está haciendo de manera uniforme y sin anomalías. Si esto es así se continúa con la toma de datos.

La OMM indica que debe de existir un mantenimiento regular para mantener la calidad de éstas, así no alterar las observaciones y que no haya deterioro significativo de las inspecciones. Este mantenimiento debe de seguir una rutina en donde se incluya su mantenimiento como el recorte de grama o cultivo cercano, limpieza de instrumentos expuestos y chequeo de automatizaciones. Si se mantiene un cuidado regular se reducen las fallas de los instrumentos, pero si hay una falla se debe de analizar para determinar si el instrumento puede repararse o debe de ser reemplazado por uno nuevo. Estas medidas son bastante estrictas

ya que pequeñas incertidumbres llegan a acumular errores significativos en las observaciones y mediciones. En general se requiere que el mantenimiento sea óptimo para lograr lo siguiente:

- Incertidumbre requerida por algún instrumento específico.
- Confiabilidad y estabilidad.
- Conveniencia de operación, calibración y mantenimiento.
- Simplicidad de diseño y consistencia de requerimientos.
- Durabilidad.
- Costo aceptable de instrumentos, consumibles y piezas para reparación (OMM, 2010).

7. Clasificación estaciones. Las estaciones meteorológicas pueden clasificarse dependiendo el número de instrumentos que posea o bien, por la función que desempeñe, se descomponen de la siguiente manera:

a. Por número de instrumentos.

1) Estaciones de Primer orden (Tipo A o completas). Miden principalmente las siguientes variables:

- Precipitación
- Temperatura máxima
- Temperatura mínima
- Temperatura de bulbo seco y húmedo
- Humedad relativa
- Viento
- Radiación solar
- Insolación
- Evaporación
- Temperatura del suelo
- Nubosidad
- Presión atmosférica (SENAMHI, 2015).

2) Estaciones de Segundo Orden (Tipo B). Son estaciones completas pero tienen menor cantidad y calidad de sensores e instrumentos. Miden lo siguiente:

- Precipitación
- Temperatura máxima

- Temperatura mínima
- Temperatura de bulbo seco y húmedo
- Humedad relativa
- Viento
- Radiación solar
- Insolación
- Evaporación
- Temperatura del suelo (SENAMHI, 2015).

3) Estaciones de Tercer orden (Tipo C). Miden las variables más usadas que son:

- Precipitación
- Temperatura máxima
- Temperatura mínima
- Temperatura de bulbo seco y húmedo
- Humedad relativa
- Viento
- Presión atmosférica (SENAMHI, 2015).

4) Estaciones de Cuarto Orden (Tipo D o Pluviométricas). Éstas miden solamente la precipitación (Brenes y Saborío, 1995).

I. Por su función. Además de las estaciones meteorológicas, hidrométricas, hidrometeorológicas y climatológicas, existen estaciones que también son complementarias a las anteriores. Existen estaciones de uso específico debido a que para llevar a cabo algunas investigaciones se requiere de instrumentos especiales para medir variables que no son necesarias para estudios convencionales.

1) Estaciones Sinópticas. «Realizan observaciones de superficie y de la atmósfera libre para los análisis del estado del tiempo a horas fijas establecidas internacionalmente» (Brenes y Saborío, 1995). Se canalizan al Centro Meteorológico Nacional y luego se envían los datos al Sistema Mundial de Comunicaciones para su concentración, intercambio y distribución de datos a los Centros Meteorológicos Mundiales, Regionales o Nacionales.

2) Estaciones Aeronáuticas. En ellas se realizan observaciones e informes meteorológicos para la navegación aérea nacional e internacional y también realizan observaciones sinópticas y climatológicas.

3) Estaciones Aerológicas. Se dedican a la observación de la atmósfera libre para medir temperatura, humedad, presión atmosférica, dirección y velocidad del viento a diferentes niveles.

4) Estaciones Especiales. «Comprenden todas las estaciones instaladas para cubrir fines no contemplados por las anteriores, tales como:

- Parásitos atmosféricos
- Electricidad atmosférica
- Localización de nubes e hidrometeoros con radar
- Rastreo satelital del tiempo
- Agricultura
- Ozono
- Microclimatología
- Química atmosférica, etc.» (Brenes y Saborío, 1995).

8. Parámetros de medición. Todos los elementos meteorológicos actúan como factores cuando influyen en el comportamiento de otros elementos. Para conocer su comportamiento de mejor manera, es importante contar con un registro de datos para interpretarlos y determinar cómo cambian. Para obtener datos confiables depende de la correcta medición de los elementos meteorológicos. Esto va ligado a la correcta instalación, pero también de la precisión de los instrumentos que se utilizarán dentro de la parcela meteorológica. Los instrumentos a utilizar se escogen dependiendo de los datos que se requieran y la clasificación de estación.

9. Instrumentos según mecanismo de funcionamiento. Los instrumentos que se utilizan para la medición se clasifican de acuerdo a su mecanismo de funcionamiento en dos tipos:

a. Observación directa. Miden constantemente los elementos meteorológicos, pero el valor solo se obtiene cuando se está frente a ellos y se hace la lectura. Estos instrumentos siempre llevan la terminación “metro” que significa medida.

b. Graficadores. Dejan automáticamente impresa una gráfica en una banda de papel graduado que tiene duración de un día, una semana o un mes. Se observa el registro continuo de los elementos meteorológicos que se están midiendo y llevan la terminación “grafo” que significa gráfico. Estos constan de tres partes esenciales: órgano sensible, órganos de transmisión y el cilindro o tambor. El primero recibe las manifestaciones físicas de los elementos meteorológicos y se mueve de acuerdo a esas variaciones; el segundo se encarga de amplificar esos movimientos por medio de un brazo con una plumilla especial llena con tinta para imprimir la gráfica sobre el papel que va prensado sobre el cilindro o tambor, el cual es un sistema de relojería que gira sobre un vástago marcando el tiempo real de la gráfica que se va imprimiendo (Brenes y Saborío, 1995).

10. Características de instrumentos más utilizados.

a. Actinógrafo. «Instrumento para medir la radiación solar que llega al suelo. Está formado por una cazoleta esférica de cristal transparente e incolora que no absorbe radiación y bajo la cual se encuentran los elementos sensibles» (Brenes y Saborío, 1995). El tambor completa una vuelta cada semana, por lo tanto se obtiene una gráfica semana y se debe cambiar el papel una vez, todas las semanas. En la gráfica, en el eje X se colocan las horas del día y en el eje y se colocan $\text{calorías}/\text{cm}^2 * \text{s}$. La radiación aumenta con el calor del día, generalmente presenta sus valores más altos a la mitad del día (Visita INSIVUMEH, 2014).

Ilustración 31. Actinógrafo.

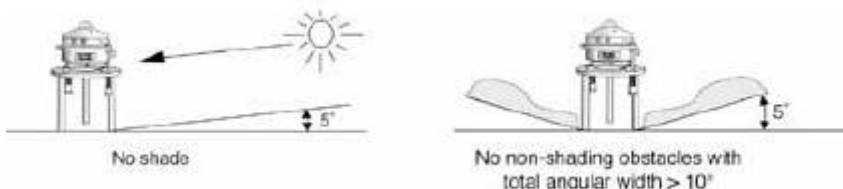


Fuente: Elaborado con información de INSIVUMEH, 2014.

Para la difusión de la radiación solar la OMM indica que cualquier obstáculo cercano al medidor debe de evitarse sin tomar en cuenta la sombra que se produzca de manera natural. Además, tampoco existe algún elemento cercano que sea reflectivo. Si algún objeto hace sombra, ésta no debe de ser proyectada al sensor del instrumento cuando el sol está a 5° de altura, mientras que para regiones en donde la latitud supera

los 60° el ángulo no debe de superar los 3° y los objetos que no hagan sombra a una altura superior a los 5° con una distancia angular mayor a los 10° .

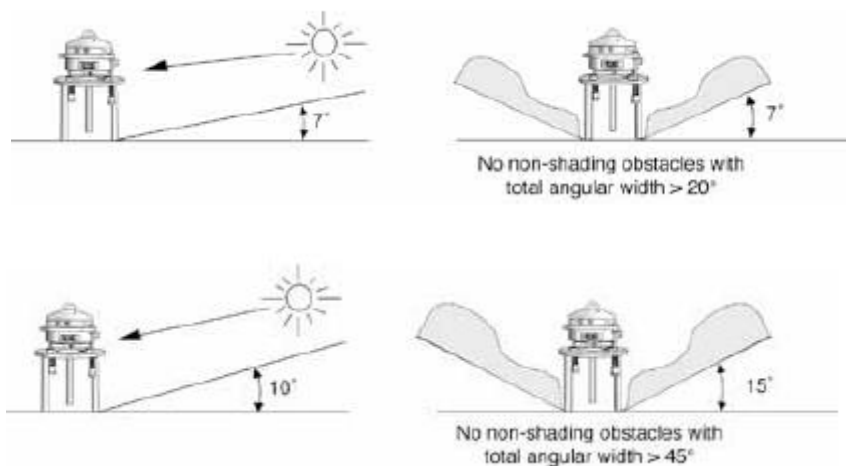
Ilustración 32. Altura elementos de sombra según ángulo del Sol.



Fuente: OMM, 2010.

Sin embargo, según el estudio que se vaya a realizar, se permite que haya elementos alrededor pero que no produzcan sombra cuando el sol está a los 7° y para regiones con latitud mayor a los 60° disminuye a 5° ; y los objetos que no hagan sombra a una altura angular arriba de los 7° y una distancia angular arriba de los 20° . También en otros casos se podría colocar a una altura que no haga sombra cuando el sol está a 10° y en regiones con latitud mayor a los 60° a 7° y los elementos que no proyecten sombra a una altura mayor a 15° y distancia angular de 45° .

Ilustración 33. Altura otros elementos de sombra según ángulo del Sol.



Fuente: OMM, 2010

b. Heliógrafo. «Se usa para medir las horas que el sol no ha estado interferido por nubes (horas sol). Se instala en un lugar libre de sombra, ubicado en dirección norte-sur y regulado según la latitud y época del año que se realiza la medición» (Brenes y Saborío, 1995). Mide el brillo solar utilizando un lente apoyado sobre un eje. Éstos miden la luz del sol cuando los rayos pegan directamente al lente, se concentran y caen en la gráfica. Cuando los rayos le pegan, es decir cuando está soleado, van quemando poco a poco el papel y cuando el papel no se quema indica que el día estuvo nublado. Se grafica una curva larga, corta o recta según

la luz del día; la curva larga indica días que se les llama “días largos” porque hay sol por más horas durante el día, alrededor de junio a septiembre; los “días cortos” son en la época entre diciembre a febrero. La gráfica que se obtiene como resultado está en dimensionales de hr/min (Visita INSIVUMEH, 2014).

Ilustración 34. Heliógrafo.



Fuente: Visita INSIVUMEH, 2014.

Para una medición más exacta y evitar que existan fenómenos que afecten los resultados la OMM también tiene algunas indicaciones en cuanto a la posición de los instrumentos y obstáculos que interfieren para la medición de las horas sol y la radiación directa. Se debe tomar en cuenta que todo lo que proyecte sombra de manera natural no debe de ser tomado en cuenta en estas especificaciones. Existen distintas posiciones angulares para los posibles obstáculos dependiendo del tipo de estudio que se quiera realizar, en donde uno de ellos es que la sombra del objeto no debe proyectarse al sensor cuando el sol está a una altura angular superior a los 3° .

Ilustración 35. Altura elementos que proyecten sombra según altura angular del sol.



Fuente: OMM, 2010.

Pero también existen los casos en donde la sombra no debe de proyectarse si el sol está a una altura angular superior a los 5° o 7° .

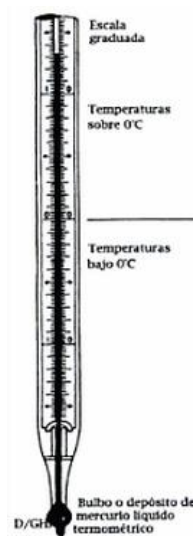
Ilustración 36. Altura otros elementos que proyecten sombra según altura angular del sol.



Fuente: OMM, 2010.

c. Termómetro. «Este instrumento tiene un depósito donde se encuentra el líquido termométrico, que por lo general es mercurio. El líquido termométrico sube por un tubo capilar muy delgado cuando se dilata. Detrás del tubo capilar se encuentra la escala graduada en una superficie de color blanco para que la altura del mercurio sea visible». En algunos termómetros se utiliza como elemento sensible el alcohol o tolueno en vez del mercurio (Brenes y Saborío, 1995).

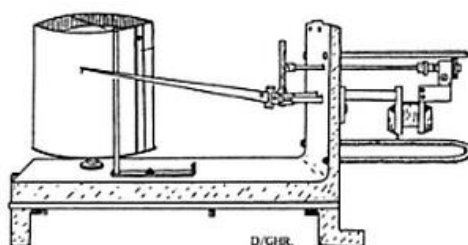
Ilustración 37. Termómetro.



Fuente: Brenes y Saborío, 1995.

d. Termógrafo. «Este instrumento grafica en forma continua las variaciones de la temperatura del aire. El más común usa como elemento sensible una cinta bimetalica que se expande y se contrae con las variaciones de la temperatura» (Brenes y Saborío, 1995).

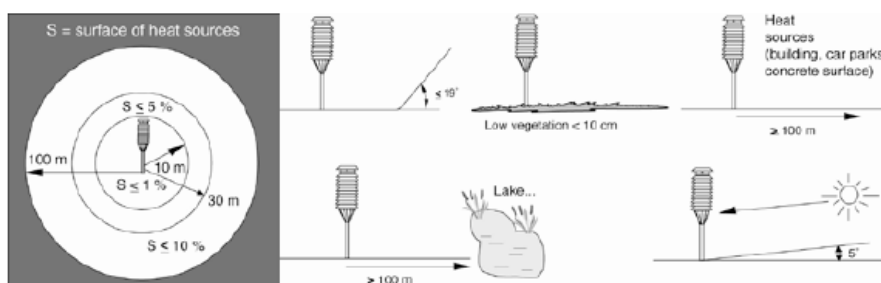
Ilustración 38. Termógrafo.



Fuente: Brenes y Saborío, 1995.

Para reducir variaciones en estas mediciones, al igual que para la humedad, la OMM indica que el terreno debe de ser plano horizontalmente, con espacio abierto y con una pendiente menor a 19° ; el suelo debe de estar cubierto con vegetación natural de altura baja (menor a 10cm) que sea representativa de la zona; alejado por lo menos 100m de cualquier fuente de calor o superficies reflectivas como edificios, superficies de concreto y otros; alejado de elementos que proyecten sombra cuando el sol está arriba de 5° .

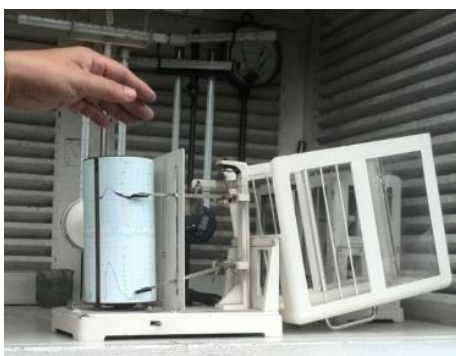
Ilustración 39. Diagrama de especificaciones para temperatura del aire y humedad.



Fuente: OMM, 2010.

e. **Termohigrógrafo.** Usa también un mecanismo de relojería dentro de un tambor para hacer una gráfica. Utiliza 2 plumillas, una indica la temperatura y la otra mide la humedad en donde también se determina la hora. Se lee una vez por semana (Visita INSIVUMEH, 2014).

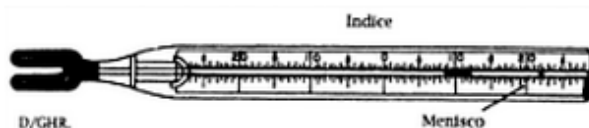
Ilustración 40. Termohigrógrafo.



Fuente: Visita INSIVUMEH, 2014.

f. Termómetro de mínima. «Estos termómetros usan como líquido termométrico alcohol o tolueno dentro del cual va sumergido un índice metálico. Cuando baja la temperatura, el índice es arrastrado en dirección al depósito por menisco que se forma en donde termina el líquido termométrico. Cuando sube la temperatura, el menisco se aleja del depósito y el índice permanece inmóvil porque el líquido termométrico resbala alrededor de él» El menisco marca la temperatura ambiente y el extremo del índice, la temperatura más baja (Brenes y Saborío, 1995).

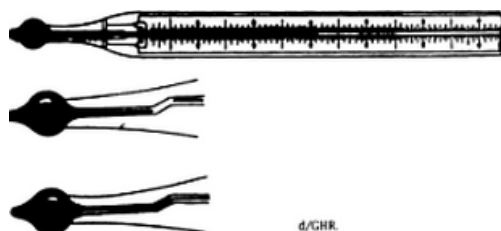
Ilustración 41. Termómetro de mínima.



Fuente: Brenes y Saborío, 1995.

g. Termómetro de máxima. «Presenta un estrechamiento o pequeña desviación del capilar de mercurio cerca del depósito, de esta manera cuando aumenta la temperatura y el mercurio se dilata, éste atraviesa el estrechamiento pasando al tubo. Si la temperatura disminuye, el mercurio se contrae, pero encuentra en el estrechamiento una resistencia superior a su cohesión molecular, la columna se parte y queda inmóvil marcando en su extremo la temperatura máxima» (Brenes y Saborío, 1995).

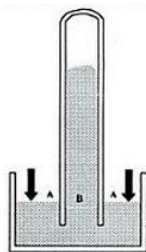
Ilustración 42. Termómetro de máxima.



Fuente: Brenes y Saborío, 1995.

h. Barómetro. Se utiliza para medir la presión atmosférica, «consiste en un tubo de vidrio de un metro de largo, cerrado por un extremo que se encuentra al vacío y sumergido en una cubeta llena de mercurio por el otro». Su nombre viene del griego “baros” que significa peso y de la palabra “metron” que significa medida. Su medición está basada en el Teorema de Toricelli, el cual establece que la presión atmosférica en los puntos A debe de ser la misma en la columna B de mercurio. El mercurio desciende dentro del tubo hasta que se establezca un equilibrio y la presión atmosférica es la altura en mm que alcanza la columna de mercurio en el tubo (Brenes y Saborío, 1995).

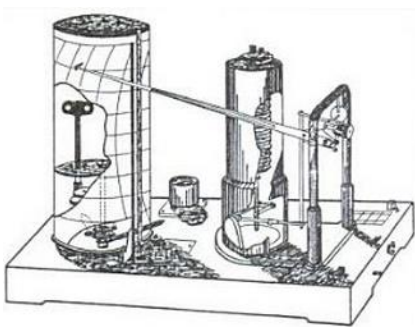
Ilustración 43. Barómetro de mercurio.



Fuente: Brenes y Saborío, 1995.

i. Barógrafo. Mide las variaciones que experimenta la presión atmosférica. «El elemento sensible que utiliza son pequeñas cápsulas al vacío con un pequeño resorte en su centro que compensa la presión que ejerce la atmósfera. Por lo general se sueldan varias de éstas cápsulas en serie para aumentar las oscilaciones que debe transmitir el mecanismo de palancas hasta la banda de papel» (Brenes y Saborío, 1995).

Ilustración 44. Barógrafo.



Fuente: Brenes y Saborío, 1995.

j. Veleta. Señala la dirección de donde procede el viento, girando libremente sobre un eje vertical. Consiste en una barra en forma de timón. La más común es una flecha que señala la dirección (Brenes y Saborío, 1995).

Ilustración 45. Veleta.



Fuente: Brenes y Saborío, 1995.

k. Anemómetro. Es un instrumento para medir la velocidad del viento, su nombre viene de “anemus” que significa viento y “metro” que significa medida. El más utilizado es el anemómetro de cazoletas que «está formado por cuatro copas hemisféricas montadas sobre un eje vertical. El aire al chocar contra las paredes cóncavas obligan a las copas a girar sobre el eje y el número de rotaciones por unidad de tiempo indica la velocidad» (Brenes y Saborío, 1995). Mide el recorrido del viento cada 24 horas y realiza una lectura de la cantidad de km que recorre el viento y la velocidad en m/s , la cual se convierte por lo general a km/hr . Se puede multiplicar por un factor de 24 para obtener la velocidad media de un día. Se debe instalar a una altura mínima de 10m sobre el nivel del suelo (Visita INSIVUMEH, 2014).

Ilustración 46. Anemómetro Visita INSIVUMEH



Fuente: Visita INSIVUMEH, 2014.

l. Anemocinógrafo. Con este instrumento se mide la dirección y velocidad del viento. Estos registran también las variaciones instantáneas de la velocidad llamadas ráfagas (Brenes y Saborío, 1995). Utiliza giróscopos que miden la velocidad del viento en km/hr y tiene una veleta que indica de dónde procede el viento. Cuando se está en una época seca del año o en lo que se conoce como canícula en Guatemala, el viento viene del norte. De lo contrario, en época de lluvia, viene generalmente del sur ya que viene viento del mar (Visita INSIVUMEH, 2014).

Ilustración 47. Anemocinemógrafo.

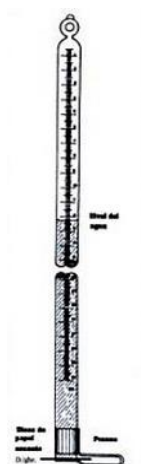


Fuente: Visita INSIVUMEH, 2014.

Para que cualquier instrumento realice mediciones de viento, se recomienda colocarlo a 10m sobre el nivel del suelo en donde el área sea abierta; con obstáculos a una distancia por lo menos diez veces la altura al cual esté el instrumento (OMM).

m. Evaporímetro piché. Los evaporímetros son instrumentos para medir la evaporación, en donde el más sencillo y más utilizado es el evaporímetro piché. «Consta de un tubo de vidrio cerrado por el extremo superior por el cual se cuelga. El extremo inferior es abierto y se tapa con disco de papel secante. En su interior se deposita agua de lluvia o destilada. El disco impide que el agua se derrame pero se impregna con ella y por estar en contacto con el aire se evapora. Conforme el agua se va evaporando, el nivel mostrado disminuye, el cálculo se hace restando las lecturas» (Brenes y Saborío, 1995).

Ilustración 48. Evaporímetro piché.



Fuente: Brenes y Saborío, 1995.

n. Tanque de evaporación. Son de materiales como hierro galvanizado, zinc y cobre; por lo general son de forma circular y de diferentes tamaños. Se utilizan para medidas ordinarias. Se mide la diferencia de la masa de agua influida por el calor recibido. Esta diferencia varía en razón inversa de su tamaño, por lo tanto, los tanques pequeños requieren de más ajuste.

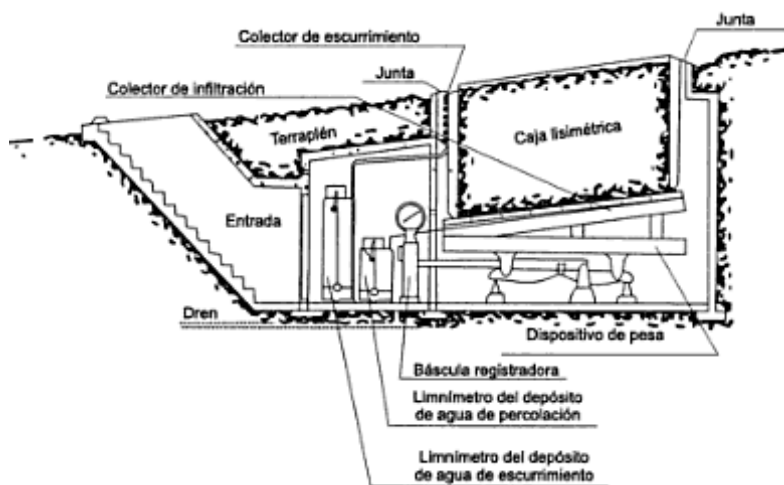
Ilustración 49. Tanque de evaporación.



Fuente: Visita INSIVUMEH, 2014.

o. Lisímetro. También conocido como evapotranspirómetro, ya que mide la evapotranspiración. Este consiste en la estimación de la pérdida de agua en un tanque lleno de tierra. Los lisímetros de drenaje permiten la medición diaria del agua que se agrega y la que se drena por el suelo, es de material impermeable y se introduce al suelo para realizar la medición. Se deja al descubierto la superficie con una inclinación para que pueda escurrir la precipitación y que ésta llegue a un dispositivo de medida. Éste retira el agua que se haya infiltrado para tener la lluvia natural y determinar el excedente de escurrimiento y de infiltración.

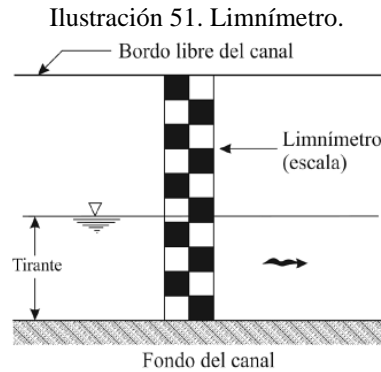
Ilustración 50. Lisímetro.



Fuente: Martínez, 2006.

p. Limnómetro. Este instrumento es una escala graduada en algún material como el concreto, madera o metal. Se posiciona de forma vertical al fondo de la masa de agua como un río, en un lugar visible

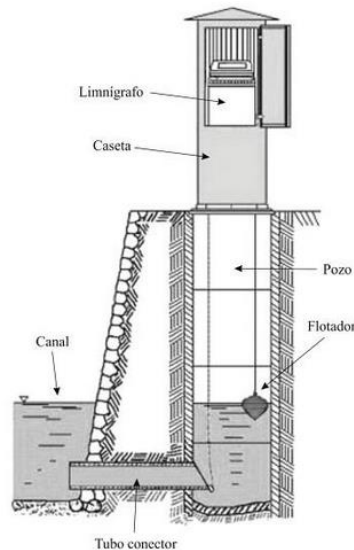
para obtener las lecturas desde un lugar accesible. Dicha profundidad indica el tirante de agua. Sin embargo, este método da problemas cuando hay grandes diferencias de oleaje y variaciones de nivel del agua por turbulencias originadas por la rugosidad o geometría del canal; por lo tanto, debe de interpretarse el resultado como una lectura media.



Fuente: Maderey, 2005.

q. Limnígrafo. Estos tienen un flotador que se coloca en la superficie del agua, el cual está ligado a una hoja de papel en donde marca con una aguja y registra las variaciones de los niveles del agua. El papel está sobre un cilindro que funciona con un sistema de relojería para permitirle desplazarse de un lado a otro, obteniendo resultados de cambios de elevación contra el tiempo.

Ilustración 52. Estructura para un Limnígrafo.

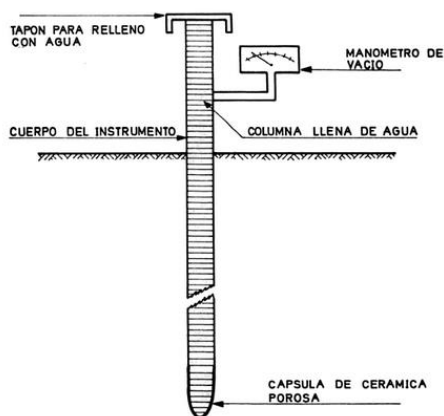


Fuente: Maderey, 2005.

r. Tensiómetro. Es utilizado para mediciones en el terreno como succión matricial, carga hidráulica, gradiente hidráulico. Consiste en una cápsula porosa conectada a un manómetro, es llenada de

agua y el agua interior se equilibra con el agua del suelo a través de los poros. También se utiliza para medir la humedad del suelo.

Ilustración 53. Partes de un tensiómetro.



Fuente: Martínez, 2006.

s. **Psicrómetro.** Es usado para determinar la humedad relativa del aire, el cual cuenta con un termómetro seco o de bola seca y otro húmedo con una calibración incorporada para hacer una lectura rápida. Tiene una mecha mojada con agua destilada a un extremo, la cual se hace girar a 150rpm de 15 a 20 segundos.

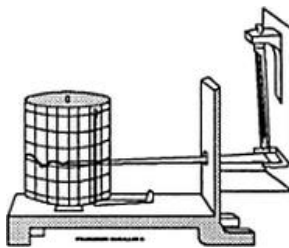
Ilustración 54. Psicrómetro giratorio.



Fuente: CIENTEC, 2013.

t. **Higrógrafo.** Mide la humedad atmosférica y «se basa en el efecto físico que tienen ciertos materiales que se estiran o encogen cuando absorben o pierden humedad, en especial la madera y los tejidos orgánicos». Se conecta a un sistema de palanca que tiene a su extremo una plumilla para registrar los movimientos en una banda de papel graduada en porcentajes (Brenes y Saborío, 1995).

Ilustración 55. Higrógrafo.



Fuente: Brenes y Saborío, 1995.

u. Higrotermógrafo. Este instrumento es una mezcla de un termógrafo e higrógrafo que comparten la banda de papel graduada para economizar. Grafica en la parte superior la temperatura y en la parte inferior la humedad del aire (Brenes y Saborío, 1995).

Ilustración 56. Higrotermógrafo.



Fuente: CIENTEC, 2013.

v. Higrómetro. Se utiliza para medir humedad media del ambiente. Se mide a través de la cantidad de vapor y porcentaje de humedad en el ambiente. Posee tres diferentes agujas y la más grande, la de en medio, indica el porcentaje según la temperatura. Es más alto el porcentaje cuando el día está nublado y hay poco sol. Un día despejado generalmente dispersa humedad y viento. Se alcanza un 100% en las noches o madrugadas. Su lectura debe de realizarse tres veces al día (Visita INSIVUMEH, 2014).

Ilustración 57. Higrómetro.



Fuente: Visita INSIVUMEH, 2014.

w. **Pluviómetro.** Se utiliza para medir la precipitación, el cual consiste en un recipiente cilíndrico con una boca de 200cm^2 . «Se coloca a 1.50 metros del suelo, para transportar lo recolectado a un recipiente situado en la parte inferior. En este último se acumula la precipitación que se mide con la probeta en cada observación» Cada unidad de medida de la probeta equivale a un milímetro de precipitación (Brenes y Saborío, 1995).

Ilustración 58. Pluviómetro.

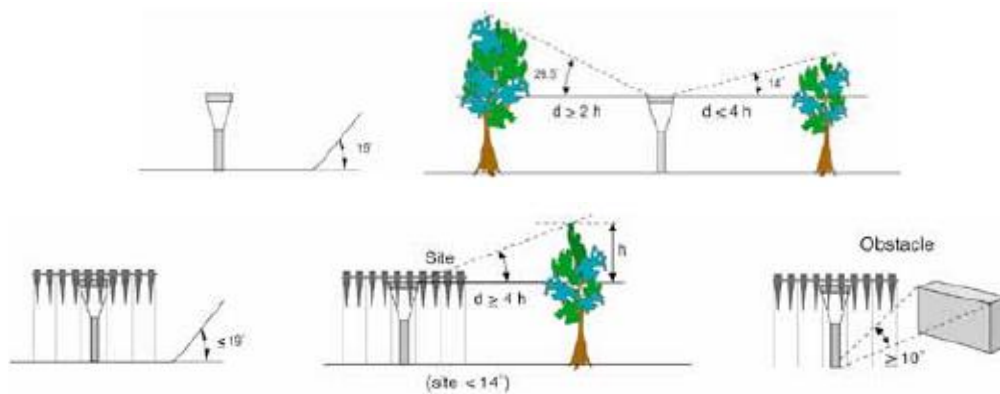


Fuente: Visita INSIVUMEH, 2014.

Para un pluviómetro un factor de perturbación es el viento, por lo que muchas veces se usan protectores artificiales contra el viento. Se utiliza como protector los arbustos o malezas cercanas para romper el viento que afecte este instrumento, mejor si son obstáculos a una altura uniforme y con esto se refiere a un ángulo de 10° o mayor. Si los protectores no se encuentran a una altura uniforme llegan a generar turbulencia y hacen que distorsione las mediciones. Por lo tanto, para tener datos más realistas es mejor contar con una distancia establecida respecto a los obstáculos. Debido a esto el terreno debe de ser plano horizontalmente, contar con un área abierta, pendiente menor a 19° . Los obstáculos, si tienen una altura uniforme, deben de estar entre 14° y 26° y a una distancia de 2 a 4 veces su altura.

Ilustración 59. Distancia para pluviómetro respecto a obstáculos en terreno

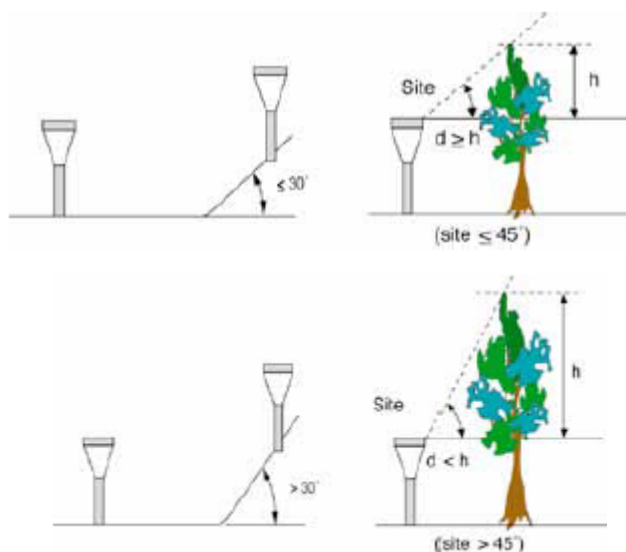
con pendiente menor a 19° .



Fuente: OMM, 2010.

Si el terreno tiene una pendiente menor a 30° , los obstáculos deben de estar situados a una distancia mayor a la altura del mismo y si es mayor a 30° los obstáculos pueden estar a una distancia mayor a la mitad de su altura.

Ilustración 60. Distancia para pluviómetro respecto a obstáculos en terreno con pendiente menor o mayor a 30° .



Fuente: OMM, 2010.

x. **Pluviógrafo.** «Registra la precipitación automáticamente. La precipitación recogida por el receptor de 200cm^2 de superficie pasa por el conducto al depósito del flotador». Está conectado por medio de un vástago a una plumilla que registra en el papel el nivel del agua del flotador y al alcanzar los 10mm se produce un “efecto sifón” y el agua se descarga a otro recipiente colocado en la base para que el flotador suba y baje las veces necesarias dependiendo de la cantidad de precipitación (Brenes y Saborío, 1995).

Ilustración 61. Pluviógrafo



Fuente: Visita INSIVUMEH, 2014.

Tabla 15. Resumen instrumentos respectivos para medición de elementos climáticos (Martínez, 2006).

ELEMENTO CLIMATICO	INSTRUMENTO DE LECTURA EN GRAFICA	INSTRUMENTO DE LECTURA DIRECTA	UNIDAD DE MEDIDA
Radiación solar	Actinógrafo	Actinómetro	cal.cm ² /min.
Brillo solar	Heliógrafo. (Heliopirógrafo ó piroheliógrafo)		Horas y décimos de hora
Temperatura	Termógrafo	Termómetro	°C
Presión	Barógrafo	Barómetro	Milímetros de mercurio
Viento	Anemógrafo	Anemómetro	Velocidad: metros/segundo. Dirección: rosa de vientos
Evaporación	Evaporígrafo	Evaporímetro (piché o tanque)	Milímetros
Humedad relativa	Higrógrafo	Higrómetro	%
Precipitación	Pluviógrafo	Pluviómetro	Milímetros

Fuente: Brenes y Saborío, 1995.

11. Otros instrumentos.

a. **Disdrómetro.** Este instrumento es diseñado para medir la intensidad o impacto con que cae una gota de lluvia. El más conocido es el disdrómetro Joss-Waldvogel, el cual es sensible a gotas pequeñas y tiene un rango de medición de tamaño de las mismas.

Ilustración 62. Disdrómetro Joss-Waldvogel.



Fuente: Maderey, 2005.

b. Visibilímetro. Se utiliza para medir la visibilidad, lo cual determina el alcance óptico meteorológico a través de un coeficiente de transmisión o extinción de la atmósfera. Se debe de medir a una altura aproximada de 2.50m.

Ilustración 63. Visibilímetro.



Fuente: Maderey, 2005.

c. Ceilómetro. Es usado para medir la altura base de las nubes y visibilidad vertical. Dependiendo de la capacidad del instrumento se llega a detectar distintas capas de nubes, lo cual es muy útil en la aviación y meteorología. También es conocido como *nefobasímetro*.

Ilustración 64. Celiómetro

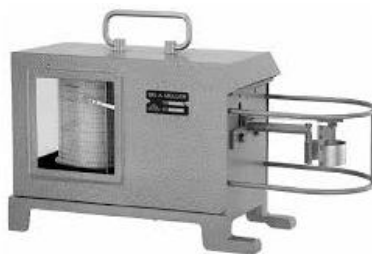


Fuente: Maderey, 2005.

d. Nofómetro. Es el instrumento para determinar la nubosidad atmosférica, el cual consiste en una retícula sobre la cual se refleja la bóveda celeste para conocer la parte cubierta por nubes.

e. Microbarógrafo. Es un barómetro muy sensible que mide las variaciones de presión sobre un diagrama con una escala agrandada.

Ilustración 65. Microbarógrafo.



Fuente: CIENTEC, 2013.

f. Piranómetro. Éste mide la radiación solar global, es decir, la directa y la difusa sobre toda una semiesfera. Usa una termopila que mide la diferencia de temperatura entre una superficie con distinta absorptividad solar. Se mueve de acuerdo con la posición solar. También es conocido como solarímetro.

Ilustración 66. Piranómetro.



Fuente: CIENTEC, 2013.

g. Pirheliómetro. Es un aparato para medir la radiación solar directa con campo de vista estrecho para recibir la radiación que procede del Sol exclusivamente.

Ilustración 67. Pirheliómetro.



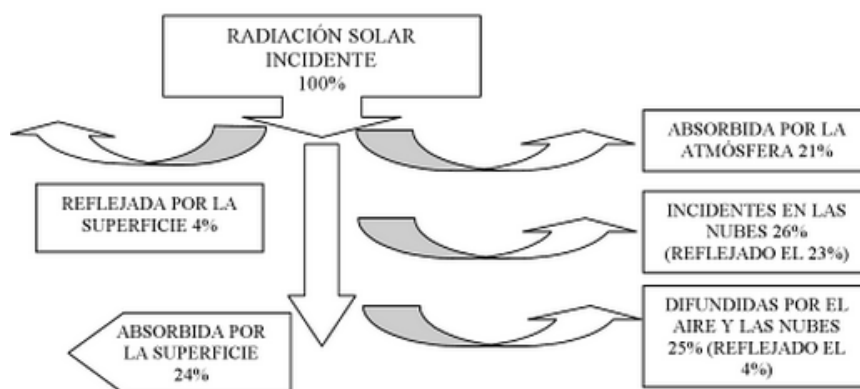
Fuente: Maderey, 2005.

12. Mediciones.

a. Radiación Solar. Energía emitida por el Sol, se propaga en todas direcciones a través del espacio mediante ondas electromagnéticas. Determina la dinámica de los procesos atmosféricos y el clima. Es reflejada por la atmósfera, principalmente por las nubes y también por la misma superficie terrestre (Martínez, 2006). La energía solar resulta del proceso de fusión nuclear que tiene lugar en el sol. Esta energía es el motor que mueve nuestro medio ambiente, siendo la energía solar que llega a la superficie terrestre 10,000 veces mayor que la energía consumida actualmente por toda la humanidad.

Según Bailey (1978), la radiación es transferencia de energía por ondas electromagnéticas y se produce directamente desde la fuente hacia fuera en todas las direcciones. Estas ondas no necesitan un medio material para propagarse, atraviesan el espacio interplanetario y llegan a la tierra desde el Sol. La longitud de onda y la frecuencia de las ondas electromagnéticas, son importantes para determinar su energía, su visibilidad y su poder de penetración. Todas las ondas electromagnéticas se desplazan en el vacío a una velocidad de 299.792 km/s (Bailey, 1978). Estas ondas electromagnéticas tienen diferentes longitudes de onda. El conjunto de todas las longitudes de onda se denomina espectro electromagnético. El conjunto de las longitudes de onda emitidas por el Sol se denomina espectro solar.

Ilustración 68. Distribución de la radiación solar sobre la Tierra.



Fuente: Martínez, 2006.

a. Radiación Ultravioleta. Tiene la mayor longitud de onda (360 nanómetros), y lleva mucha energía. Estas ondas son absorbidas por la capa de ozono, debido a su intensidad es muy importante protegerse de este tipo de radiación solar, debido a que alteran las moléculas del ADN y provocan el cáncer en la piel (Bailey, 1978).

b. Radiación Infrarroja. Esta radiación solar tiene longitudes de onda de más de 760 nm, y es la que tiene longitudes largas y lleva poca energía. El efecto de estas ondas crea un aumento en la agitación de las moléculas, generando un aumento en la temperatura. Esta radiación no se captan con la mirada pero si se logra sentir (Bailey, 1978).

c. Radiación visible. Se trata del intervalo del espectro electromagnético en el que el Sol presenta su máxima emisión, por lo que es la radiación que se puede observar por el ojo humano. La longitud de onda esta entre 360 nm (Violeta) y 760 nm (rojo) (Bailey, 1978).

d. Horas Sol. Es una medida de tiempo basada en el movimiento aparente del Sol sobre el horizonte de un lugar. Toma como origen el meridiano, que es el punto más alto y a partir de ese instante se cuentan las horas en intervalos de 24 partes para completar el ciclo diurno.

e. Temperatura del aire. Es un elemento fundamental del clima. Depende de muchos factores de la naturaleza como la superficie del suelo, la radiación solar, las partículas líquidas contenidas en el aire. Es probablemente una de las variables más fundamentales del clima que indica lo caliente o frío que se encuentra la atmósfera. Este indica la cantidad de energía calorífica que se encuentra acumulada en el aire en cierto momento y lugar. El calor es la cantidad de energía que se logra transferir de un lado a otro, y que

logra un movimiento en las moléculas de un cuerpo. Al adicionar calor a un cuerpo, este hace que aumente la velocidad con que se mueven sus moléculas y esto genera un incremento de su temperatura. Por lo que, la temperatura del aire indica la cantidad de energía calorífica existente en el mismo.

Para medir la temperatura ha sido necesario crear escalas que utilizan puntos de referencia fijos, como el punto de congelación y el punto de ebullición del agua a nivel del mar. La escala que más se utiliza según el Sistema Internacional (SI), es Centígrados, pero aún se sigue utilizando otras como Fahrenheit y Kelvin. Los valores Centígrado, Fahrenheit y Kelvin se designan respectivamente con las letras “C”, “F”, “K” (Brenes, 1995).

f. Presión Atmosférica. La atmósfera está constituida por un conjunto de gases que forman el aire, el aire aunque no se ve, tiene cierto volumen, peso y por lo tanto ocupa un lugar. Es igual al peso por unidad de superficie de la columna de aire comprendida entre esta superficie y la última capa de la atmósfera. Depende del punto en que se mida y las condiciones meteorológicas. Una presión atmosférica normal se define como 1 bar (Millán, 1995).

Cabe destacar que la presión atmosférica no es la misma en todos los lugares de la superficie terrestre, sino que cambia según la altura y la temperatura. Por lo que a mayor altura y temperatura, menor presión. Los gases que componen la atmósfera pierden densidad muy rápidamente a medida que aumenta la altura, por eso la presión atmosférica también disminuye con esa rapidez. Cuando más alto este un punto de la superficie terrestre, menos espesor de atmósfera soporta encima, por lo tanto, menos será la presión que sobre el ejerce. Así, la presión de la atmósfera es siempre menor en una montaña que al nivel del mar (Brenes, 1995).

La temperatura hace que la presión atmosférica varíe, ya que el calor varía la agitación de las moléculas de aire y por eso, la densidad del aire también varía. Cuando las masas de aire se calientan, las moléculas se agitan, se separan y el conjunto se vuelve menos denso. Lo que genera esto es que, en un mismo volumen, se encuentren menos moléculas, pesen menos y presionen menos contra el suelo.

g. Dirección del viento. El viento se caracteriza por su dirección y velocidad, en donde la primera se refiere a la dirección de la cual el viento está soplando. Se determina por el punto del horizonte de donde viene y no por el punto hacia el que se dirige. Los rumbos más conocidos de la dirección del viento son: N, NE, E, SE, SW, W, NW. Estas abreviaturas son designadas por las iniciales de los puntos cardinales en inglés.

h. Velocidad del viento. La velocidad del viento es una variable importante que varía con el tiempo y se mide en m/s o $km/día$. La velocidad es menor cerca de la superficie y aumenta con altura, es por esto que los anemómetros meteorológicos se colocan a 10m y los de agrometeorología a 2 ó 3m (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura, 2006). las masas de aire no se mueven uniformemente, más bien, sus partículas registran movimientos desordenados, formando pequeños remolinos y ondulaciones aparentando que el movimiento es uniforme.

i. Evapotranspiración. Consiste en un aspecto físico, que es el paso del estado líquido al gaseoso del agua. Thornthwaite definió la evapotranspiración potencial, la cual es la cantidad máxima posible de agua que pierde el suelo por evaporación y transpiración. Para que aplique se asume que el suelo cuenta con las condiciones ideales, como la saturación del mismo. En dichas condiciones, la evapotranspiración real coincide con la potencial, por lo general la real es menor.

Se introdujo el término de evapotranspiración potencial (ETP) para definir la evapotranspiración máxima hacia la que tiende una cubierta vegetal, independientemente de las especies vegetales que la constituyan, así como el suelo. Penman (1956), también emplea este término para referirse al límite máximo al que tiende la evapotranspiración de una cubierta vegetal sin restricciones hídricas. En climas áridos, el concepto de ETP está desprovisto de utilidad, dado que no se logra definir ni medir. Perrier (1985) recomienda entonces abandonar estas definiciones y propone como alternativa a ETP la evaporación potencial (EP). La evapotranspiración potencial tiene como variante la cantidad máxima de agua susceptible de perderse en fase de vapor, bajo un determinado clima y por una cobertura vegetal continua y bien alimentada de agua.

j. Evaporación «Es el cambio de estado de un líquido a vapor y su posterior difusión en estado gaseoso en el ambiente». El viento y las temperaturas altas hacen que el agua se evapore más rápido (Menéndez; et. al. 2008).

k. Transpiración. Consiste en la vaporización del agua líquida contenida en los tejidos de las plantas y su posterior remoción hacia la atmósfera. Casi toda el agua absorbida del suelo se pierde por transpiración y solamente una pequeña fracción se convierte en parte de los tejidos vegetales (Rascon, 2005).

l. Humedad atmosférica. Vapor de agua en la atmósfera que se condensa en una superficie fría. Está relacionada con la cantidad de H_2O que hay en la tropósfera, la cual es variable. El aire húmedo es más ligero que el seco, lo cual explica el descenso del barómetro cuando el tiempo es lluvioso (Rapin, 2002).

Ésta proviene, gran parte de la evaporación del agua de la superficie de los océanos, lagos y ríos; y la otra parte es suministrada por la tierra y la vegetación. No obstante, la humedad varía considerablemente de un lugar a otro de la superficie y esto depende de la temperatura del aire, ya que a mayores temperaturas, mayor es la evaporación. Esto sucede sobre todo en zonas cálidas, como las cercanas al ecuador. La humedad es clave, ya que la presencia de esta en el aire afecta a la disipación del calor, ayudando a estabilizar la temperatura en las zonas.

1) Humedad máxima. Es la cantidad máxima posible de vapor de agua que se encuentra a una temperatura determinada en un metro cubico de aire (Giancoli, 2006).

$$\text{Humedad màxima} = \frac{\text{masa màxima posible de vapor de agua}}{\text{volumen de aire fresco}} \quad [\text{g/cm}^3]$$

2) Humedad absoluta. Es la cantidad de agua que se encuentra en un volumen cerrado a una temperatura y presión determinadas. Mientras más alta es la temperatura existente en el aire, habrá más vapor de agua. Así que, a altas temperaturas, más elevada será la humedad relativa (Giancoli, 2006).

$$\text{Humedad absoluta} = \text{peso de agua} / \text{volumen de aire} \quad [\text{g/cm}^3]$$

3) Humedad relativa. La humedad relativa específica por medio de una cifra porcentual, el porcentaje de la cantidad máxima posible de vapor de agua actualmente en el aire. Como la unidad que se utiliza es porcentaje, esta varía entre 0% que indica que aire está completamente seco y 100% que indica que el aire está saturado (Giancoli, 2006).

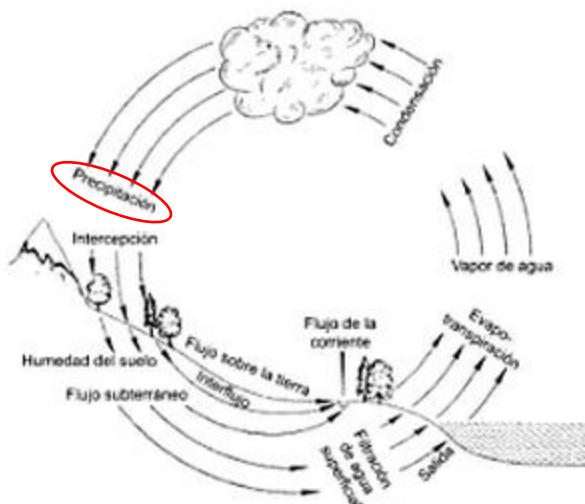
$$\text{Humedad relativa} = (\text{Humedad absoluta} / \text{Humedad màxima}) * 100\%$$

m. Precipitación. Es el resultado de la condensación, en la atmósfera, del vapor de agua depositado en la superficie de la Tierra. Esta es saturada al ascender este vapor de agua con una mayor temperatura que el de la atmósfera, por lo cual se condensa y debido al peso de las gotas derivadas se “precipitan” hacia la superficie nuevamente. El aire se satura a través de dos procesos: por enfriamiento y añadiendo humedad. Estas gotas que caen en virtud de su peso, lo hacen a una velocidad que varía entre 4 y 8 m/s, dependiendo del tamaño de las mismas y la influencia del viento. El tamaño de las gotas varía entre 0.7 y 5 milímetros de diámetro (Herrera, 2003).

Forma parte esencial del ciclo hidrológico, ya que se define como la caída de partículas líquidas o sólidas de agua y «da origen a todas las corrientes superficiales y profundas, debido a lo cual su evaluación y el conocimiento de su distribución, tanto en el tiempo como en el espacio, son problemas básicos en

hidrología». Se mide en milímetros, en donde 1 milímetro de precipitación recogido con un pluviómetro con boca de 200cm^2 es equivalente a un litro de lluvia recolectado en 1m^2 y se le llama milímetro por la altura que alcanza un litro de agua en 1m^3 (Maderey, 2005).

Ilustración 69. Ciclo hidrológico, precipitación.



Fuente: Maderey, 2005.

1) Formas de lluvia

a) Lluvia por convección. La lluvia por convección se produce por una columna de aire que asciende debido a que la superficie donde descansa se calienta. Esta columna se va enfriando hasta alcanzar la temperatura del entorno y condensa la humedad en él dando como resultado la precipitación. Al descender, esta columna de aire vuelve a su temperatura necesaria para volver a ascender (Sarochar, 2010).

b) Lluvia orográfica. Este tipo de lluvia se produce cuando una masa de aire húmedo y caliente se eleva a niveles más fríos debido a la existencia de un obstáculo orográfico, como una montaña. En este ascenso el aire se enfría hasta alcanzar el punto de saturación de vapor de agua y una humedad relativa del 100%, originando la lluvia (Sarochar, 2010).

c) Lluvia frontal o ciclónica. La lluvia ciclónica sucede cuando una masa de aire frío choca con una masa de aire caliente; siendo el aire frío más denso que el caliente, obliga a la masa de aire caliente al ascender, formando nubes y produciendo la precipitación en la zona donde estas dos masas hacen contacto (Sarochar, 2010).

n. Caudal. Se define como la cantidad de fluido que atraviesa una sección dada por unidad de tiempo. Se expresa en forma de masa o de volumen, en donde el caudal másico y el volumétrico están relacionados a través de la densidad del fluido, que en caso de los gases es variables con la presión y la temperatura. El caudal másico está dado en unidades de kg/s , mientras el caudal volumétrico está en m^3/s (Millán, 1995).

o. Nubosidad. Las nubes se forman cuando «el aire húmedo se enfría más allá del punto de saturación, el vapor de agua se condensa. Gotas de agua o cristales se acumulan en el aire y se suspenden a cierta distancia de la tierra». La cantidad de nubes se expresa como proporción de la superficie total del cielo cubierta por nubes en el momento de la observación, en octavos o décimas.

1) Composición de las nubes. Una nube es el conjunto de pequeñas gotas líquidas o de cristales de hielo muy finos formados por el vapor de agua condensado. Las nubes, en la atmósfera, aparentan ser estáticas y estar flotando en el aire, lo cual es solo una percepción ya que están en movimiento. Las finas gotas de agua y los diminutos cristales de hielo que forman las nubes están a su vez constantemente en proceso de evaporación y presentan también movimientos ascendentes y descendentes. En su lenta caída, las gotitas descienden a capas de aire más bajas que tienen temperaturas mayores; se evaporan de nuevo y ascienden; el vapor de agua vuelve a condensarse y engrosa otra vez la nube (Brenes, 1995).

2) Formación de las nubes. Las nubes se forman cuando el aire se eleva calentado por la irradiación terrestre. Cuando este aire se logra calentar, el aire sube y se eleva hasta su punto de rocío. Según Equipo (2,000), el concepto de rocío se refiere a «El momento a partir del cual se condensa el vapor de agua que hay en la atmósfera y se genera, de acuerdo a la temperatura, escarcha, neblina o rocío». La formación de las nubes varía igual que su textura, dependiendo del calor que las impulse, la composición atmosférica y el viento que las logre empuje logrando determinar su altura (Brenes, 1995).

3) Clasificación de las nubes. En cuanto a su aspecto, las nubes se clasifican en: estratiformes, desarrolladas horizontalmente, de poco espesor vertical y se extiende como un manto en el cielo, cubre grandes áreas y la lluvia es de carácter continuo o leve; y cumuliformes, desarrolladas verticalmente en grandes extensiones, por lo general las lluvias son fuertes pero de carácter local. Además por la altura donde se originan se conocen tres niveles: nubes bajas (del suelo a 2km), nubes medias (de 2km a 8 km) y nubes altas (de los 6 a los 18 km). De la mezcla entre estos tipos fundamentales se derivan 10 tipos principales que se denominan géneros; nimbostratus, status, stratocúmulus, cúmulus y cumulonimbus, en el nivel inferior; altostratus y altocúmulus, en el nivel medio; cirrus, cirrostratus, cirrocúmulus, en el nivel superior (Brenes, 1995).

p. Infiltración. Según Rascon (2005), la infiltración es el movimiento del agua de la superficie hacia el interior del suelo. Del agua infiltrada se alimentan caso todas las plantas terrestres y animales;

alimenta al agua subterránea y a la vez a la mayoría de las corrientes en el periodo de estiaje; reduce las inundaciones y la erosión del suelo.

La capacidad de infiltración es la cantidad máxima de agua que un suelo absorbe por unidad de superficie horizontal y por unidad de tiempo. Se mide por la altura de agua que se infiltra, expresada en mm/hora. La capacidad de infiltración va disminuyendo hasta llegar a un valor constante cuando la precipitación se prolonga, ya que el suelo se satura y es cuando empieza el escurrimiento.

13. Unidades de medición. Se trabaja con unidades del mismo sistema de medición para evitar errores de cálculo e interpretación. A pesar de que se trate de instrumentos que miden parámetros diferentes, todos deben de estar relacionados. Esto debido a que para los análisis también es necesario hacer uso de los datos dentro de una misma ecuación, lo cual brinda resultados erróneos si no se toma la debida precaución. La OMM es la institución encargada mundialmente por velar que se cumplan todos los estándares relacionados a cualquier tipo de estación, especialmente las estaciones meteorológicas. Ellos son los encargados de dictar las unidades en que todas deben de trabajar para que personas de todo el mundo puedan usar datos de las estaciones implementadas y que también puedan realizar interpretaciones con los resultados. Por eso mismo las unidades generales se muestran en la tabla siguiente.

Tabla 16. Unidades de medición en estaciones meteorológicas.

Observación	Unidades	Simbología
Presión atmosférica	Hectopascals	hPa
Temperatura	Grados Celsius	°C
Velocidad del viento	Metros por segundo	ms ⁻¹
Dirección del viento	Grados	°
Humedad relativa	Porcentaje	%
Precipitación	Milímetros/Kilogramos por m ⁻²	mm/kg m ⁻²
Intensidad precipitación	Milímetros por hora/Kilogramos por m ⁻² por segundo	mm h ⁻¹ /kg m ⁻² s ⁻¹
Agua de nieve	Kilogramos por m ⁻²	kg m ⁻²
Evaporación	Milímetros	mm
Visibilidad	Metros	m
Irradiación	Watts por m ²	W m ⁻²
Luz solar	horas	h
Altura de nubes	Metros	m
Cantidad de nubes	oktas	oktas
Geopotencial	Metros geopotenciales	m'

Fuente: Elaborado con información de OMM, 2010.

14. Sistemas de recolección de datos. Existe infinidad de métodos para la recolección de datos de una estación meteorológica. Este es uno de los procesos más importantes que se requiere dentro de una estación debido a que es el proceso en que se debe de recolectar y almacenar toda la información.

Una estación meteorológica brinda una diversidad de datos según el uso. De esto depende la cantidad de sensores y otras herramientas de las que se debe hacer uso. Sin embargo, la cantidad de datos que se recolectan depende de la complejidad de la misma. Éstos se almacenan en una base de datos de forma manual o automática. La primera depende del personal que esté encargado de visitar la estación de forma continua, generalmente se necesita guardar la información diariamente, y guardar la información en la base de datos para utilizarla y obtener los resultados necesarios. El INSIVUMEH indica que es necesario contar con una oficina sólida para el observador. La segunda forma, la automática, se hace a través de una plataforma que está conectada a una central para hacer la recaudación y enviar las tomas realizadas por los distintos sensores para ser utilizadas (Abac, 2012).

Según Abac (2012), para tener resultados representativos, es necesario colocar las estaciones meteorológicas en lugares donde el clima sea representativo de un área determinada. Es importante escoger una ubicación en donde parámetros externos afecten lo menor posible, como cambios drásticos de temperatura, viento y otros. La ubicación ideal debería de ser en un llano libre de obstáculos. El INSIVUMEH indica que «el terreno debe ser plano y libre de obstrucciones y obstáculos que los rodean deben encontrarse a una distancia y su altura aparente sobre el suelo, no exceda los 10 grados».

La información de todos los instrumentos debe dirigirse a una base de datos central, la cual debe de ser capaz de almacenar gran cantidad de datos. Para cada parámetro, se debe de tomar lecturas a horas específicas en un mismo día y debe de repetirse de forma diaria; es por esto que la cantidad de datos recolectada puede llegar a ser extremadamente grande. Sin embargo, también depende de la cantidad de instrumentos y sensores con que cuente la estación.

15. Metadatos. Son los datos descriptivos necesarios para procesar y usar los mismos datos, información y resultados obtenidos. Los metadatos pueden describir los servicios y el software a utilizar en una estación, lo cual puede estar o no especificado. «Los metadatos responde ¿quién?, ¿qué?, ¿dónde?, ¿por qué? y ¿cómo? De cada dato documentado». Ésta proporciona información de localización, instrumentos, tipo de observación, reportes de calibración, información del sitio, condición y otros. También tiene una de las funciones más importantes que es el procesamiento y creación de bases de datos; permitiendo que la información se adjunte a los datos históricos. Además, es una forma de tener datos estadísticos con menor incertidumbre.

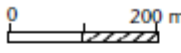
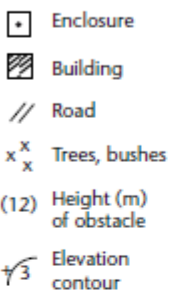

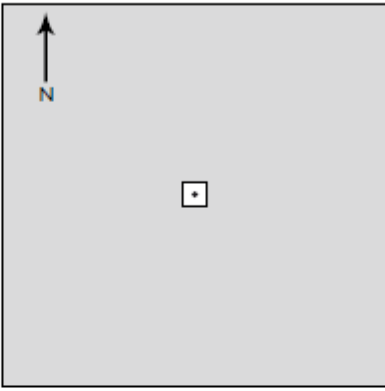

Puede llegar a describir de forma detallada la historia de una estación desde su inicio al presente y algunas proyectan datos futuros. Los metadatos también indican las unidades con que se trabaja y códigos implementados para asegurar la homogeneidad de los resultados. Brinda información como:

- a.** Nombre
- b.** Sobrenombre
- c.** Código brindado por la OMM
- d.** Número de estación
- e.** Fecha de inicio/finalización de la estación
- f.** Tipo de estación
- g.** Contacto para información

Es indispensable actualizarlos constantemente para asegurarse de tener información correcta. Se utiliza en forma de listado y es almacenada en dispositivos electrónicos o vía Internet. La OMM recomienda actualizar lo siguiente para evitar distorsiones de información:

- a.** Mapa actualizado
- b.** Mapa topográfico actualizado cada año
- c.** Mapeo de radiación
- d.** Fotos de las posiciones de los instrumentos
- e.** Mapa a microescala de los instrumentos

Ilustración 70. Plantilla para metadatos de la estación.

Station	Update	
Elevation	Latitude	Longitude
 	 	
Radiation horizon		
1: 6 1: 10 1: 20		
Temperature and humidity:	Sensor height	yes/no
	Artificial ventilation?	
Surface cover under screen		
Soil under screen		
Precipitation:	Gauge rim height	
Wind:	Anemometer height	Free-standing? yes/no
(if "no" above: building height	, width	, length
Terrain roughness class: to N	, to E	, to S, to W
Remarks:		

Fuente: OMM, 2010.

16. Recolección de datos convencional. La recolección de datos de manera convencional no necesariamente significa que es más sencillo. Esto se refiere a que debe de existir un observador calificado para la toma de datos e incluso una interpretación rápida. Todos los instrumentos necesitan que se hagan mediciones y observaciones de manera diaria para observar si existen cambios en el comportamiento del parámetro medido. Sin embargo, para algunos se necesita hacer mediciones cada cierta hora del día, ya que en un corto tiempo llegan a tener una gran variación. Además, el observador debe conocer acerca de los instrumentos para identificar si alguno de ellos está fallando e incluso hacer calibraciones temporales para no perder información.

Con este método se archiva información de forma gráfica, digital y con reportes manuales. Llega a ser compleja dependiendo de la ubicación en donde se encuentra la estación debido a que hay ubicaciones

con cambios extremos en períodos cortos de tiempo y por esto, los parámetros a medir se ven afectados constantemente. Además, existen análisis que no se realizan a través de aparatos electrónicos, por lo tanto, siempre es necesario hacer uso de este método.

17. Recolección de datos telemétrica. Este es un método de recolección de datos automática para ayudar a la recopilar los datos en lugares remotos y de transmisión para vigilancia. Comúnmente usa transmisión inalámbrica, pero también se hace uso de cable. La mayoría de veces se usa para tener información del clima o cualquier estación. Requiere de un transductor como dispositivo de entrada, otro en forma de líneas de cable u ondas de radio, dispositivos de procesamiento de señales y dispositivos de grabación de datos (Innova Technologies RC. 2015).

El proceso telemétrico que usa el INDE para algunas de sus estaciones es de este tipo o también conocido como satelital. Consta de un tubo galvanizado de hasta 6m de altura, una batería de ciclo profundo, un panel solar para alimentar la batería y otra batería interna en el panel de control. Ésta última alimenta a otros dispositivos como la tarjeta que permite almacenar datos y algunos sensores. Éstos están conectados a un satélite que recibe información de una computadora, en donde se tabula de manera automática la información al igual que las gráficas. Se programa para generar la recolección de datos y tabulación en ciertos intervalos de tiempo que varían entre 5, 30, 60 minutos o según se requiera. Sin embargo, la cantidad de datos que se necesiten almacenar va directamente vinculado a la capacidad y esto incrementa el costo para la implementación de este método. La automatización permite rapidez para:

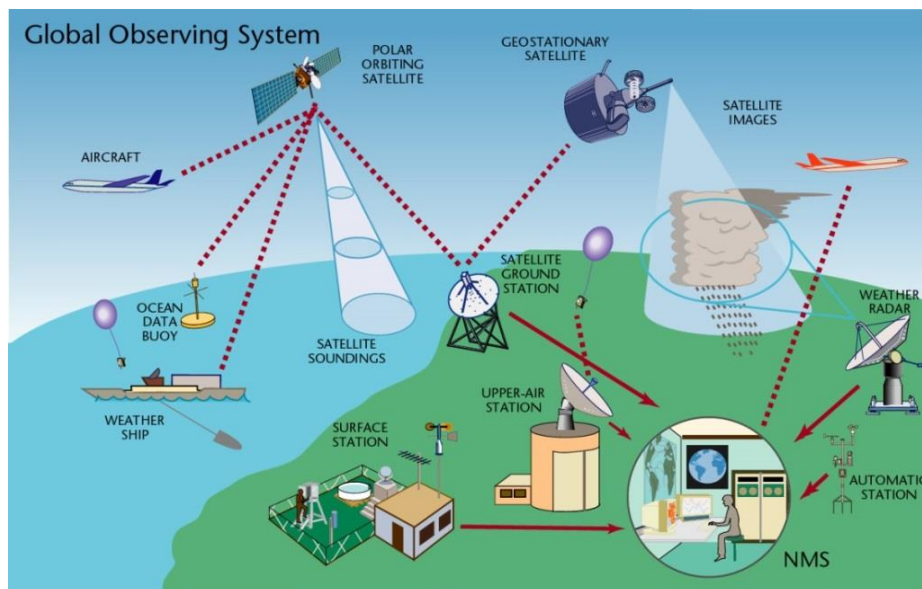
- a. Visualización de últimos datos leídos
- b. Visualización de alertas remotas
- c. Conexión remota a la estación
- d. Visualización de incidencias del sistema local
- e. Configuración del sistema

Esta forma es mucho más rápida que la convencional e incluso se disminuye la incertidumbre debido al error humano porque tiene mayor precisión y sensibilidad. Aun así, hay instrumentos y sensores que no son medidos por completo a través de una computadora. También si algún instrumento se llegara a dañar es más difícil que una computadora lo detecte rápidamente, ya que se refleja hasta que se realice la interpretación de datos. Puede llegar a ser muy costoso debido a que necesita de más aparatos de alta tecnología para hacer que funcione. Incluso es más minucioso el mantenimiento porque hay que limpiar constantemente los aparatos de lectura para evitar errores, protegerlos del sol, animales y otros (Taboada, 2005).

18. Sistema de observación global. La OMM cuenta con un sistema de observación global para tener conectadas todas las estaciones existentes y que cumplen con los requisitos para ser una estación con datos válidos. Esta conecta todas las estaciones, es decir, sin importar el tipo o clasificación que tenga; por lo tanto, incluye toda la información de observaciones que se realizan de forma terrestre, aérea, en océanos y en el espacio. El sistema de observación global por sus siglas en inglés GOS, cuenta con un sistema de métodos que permiten que todas las observaciones meteorológicas y otras pertenezcan a este programa. La información es recolectada en una base de datos a la cuales pertenecen y tienen acceso los países que sean miembros de la OMM si cumplen con los requisitos.

Este tipo de sistema es utilizado para la preparación de análisis del clima, pronósticos y alertas, pero al mismo tiempo para monitorear las actividades que se están llevando a cabo en distintos países con programas de esta organización. El sistema es operado por servicios meteorológicos nacionales, internacionales o agencias de satélites.

Ilustración 71. Ejemplificación funcionamiento sistema de observación global.



Fuente: OMM, 2014.

La cobertura y la cantidad de datos que se logra recopilar mundialmente es extremadamente grande. Existen 11,000 estaciones meteorológicas de observación terrestre que pertenecen a este sistema y que brindan alrededor de cada hora información sobre algunos parámetros como la presión atmosférica, velocidad del viento, dirección del viento, temperatura, humedad relativa y otros. Varios países, incluyendo a Guatemala, forman parte del convenio de la Organización Meteorológica Mundial para generar un desarrollo sostenible y «reducir las pérdidas de vidas y bienes ocasionadas por los desastres naturales y otras catástrofes».

relacionadas con el tiempo, el clima y el agua, así como de proteger el medio ambiente y el clima mundial para las generaciones presentes y futuras de la humanidad». Todo esto también debido a que los servicios meteorológicos, hidrometeorológicos y otros tienen una importancia vital para la comprensión de fenómenos, como los climáticos. En general tiene como fin lo siguiente:

- a. Fomentar la creación y el mantenimiento de sistemas para el intercambio rápido de información meteorológica.
- b. Fomentar la normalización de las observaciones meteorológicas y conexas.
- c. Promover actividades en materia de Hidrología operativa y colaboraciones de servicios meteorológicos e hidrológicos.
- d. Promoción de observaciones y recopilación de datos meteorológicos, hidrológicos y climatológicos a largo plazo.

19. GSM. Se le denomina GSM por sus siglas en inglés (Global System for Mobile communications), ya que se creó para la transmisión y recepción de información para la telefonía celular. Con el tiempo se vio que éste tipo de comunicación tiene algunas limitaciones como el tener una baja velocidad de transferencia de datos, el tiempo que se tarda en establecer una conexión llega a ser de hasta 30 segundos en donde se debía de reiniciar en cada sesión, el costo era más elevado debido a que se mantenía la conexión de forma fija y por último, era muy difícil mantener la conexión de forma constante (Gmspain, 2015).

20. GPRS. GPRS por sus siglas en inglés (General Packet Radio Services) es una forma de recolección de datos inalámbrica. «Es una técnica de conmutación de paquetes, que es integrable con la estructura actual de las redes GSM». Se hace bastante uso de este sistema para la recaudación de datos discontinua, así como el Internet y la mensajería. La conexión se realiza únicamente a la hora de recibir o enviar datos; haciéndolo más eficiente porque no está conectado todo el tiempo (Gmspain, 2015). Se creó este sistema debido a los problemas que causaban los sistemas analógicos.

21. Estaciones meteorológicas en cuenca del río Cahabón. Según la Hidrología e Hidrografía, Guatemala es un país rico en agua gracias a la gran cantidad de cuerpos de agua que posee. Esto se utiliza para sacar provecho del recurso, sin embargo, debido a la falta de planificación no se ha logrado hacer estudios profundos para conocer la capacidad que tiene por ofrecer este recurso (Ministerio de salud pública y asistencia social, 2010).

Para Aguilar (2010), la información recibida de los datos meteorológicos de una zona es vital para desarrollar cualquier tipo de proyecto. Para su implementación se debe de conocer el valor de la información recogida y su utilidad para el proyecto. Para la interpretación de datos se debe de generar mapas meteorológicos para tener una mejor idea de su significado. Se debe de instalar observatorios o estaciones

situadas en distintas ubicaciones para captar información de distintas variables en puntos diferentes. Y así con esto, abarcar una buena cantidad de información de la zona. Los datos de una estación deben de ser comparados con el resto de valores obtenidos de otras estaciones para reflejar mejor las condiciones de las variables analizadas.

En Guatemala, existe una cantidad desconocida de estaciones meteorológicas y su distribución exacta. Esto se debe a que muchas de ellas pertenecen a instituciones públicas a quienes les es más difícil darle el seguimiento adecuado para que éstas trabajen de forma apropiada y que sean consideradas como estaciones representativas. Se debe a diferentes razones, en donde unas de las más comunes es la falta de recursos económicos. Éste juega un papel importante para el debido funcionamiento de una estación, pues requiere de una inversión alta para implementarla, equiparla y darle continuidad; en donde es necesario contar con un presupuesto que cubra los distintos gastos que conlleva como el alquiler de terreno, limpieza y calibración de sensores, mantenimiento del terreno, observador, interpretadores de datos, tecnología para almacenamiento de información, aparatos para traslado de la misma, seguridad y otros. Además, llega a ser muy costosa la reparación o reemplazo de uno de los instrumentos de medición, por lo que una estación no está completa por falta de equipo, en donde también es importante tomar en cuenta los daños malintencionados o robo de elementos que pertenecen a las estaciones. En la República es común encontrar estaciones que no cuentan con un terreno propio, sino que es alquilado a su propietario o existen convenios entre organizaciones para trabajar en conjunto optando por brindar un área para la implementación a cambio de la información recolectada. Sin embargo, siempre existen problemas por modificaciones de dichos terrenos. Por otro lado, también es importante considerar que los desastres naturales afectan grandemente el comportamiento y funcionamiento de una estación meteorológica.

Todo esto conlleva a que gran parte de información recolectada por las estaciones se encuentra desactualizada o que varios de los datos no cuenten con un seguimiento constante para que sean confiables y válidos para estudios, por lo que ha causado la inactividad de las mismas. En Guatemala existe la problemática que por los problemas mencionados anteriormente, varias instituciones se han visto obligadas a la instalación de nuevas estaciones, ya que sin información es muy difícil llevar a cabo algún proyecto. Hay una variedad de éstas que se encuentran en estado activo, pero que pueden ser consideradas muy recientes, ya que la OMM indica que una estación debe de operar de forma continua por lo menos 10 años para una buena observación y análisis de datos. Todo esto afecta tanto a instituciones públicas como privadas, ya que toda estación es afectada por distintas razones sin importar la clasificación o el fin por el que se ha implementado.

22. Estaciones públicas.

a. Red de estaciones INSIVUMEH. El Instituto de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología, INSIVUMEH, es una organización de carácter científico y público del Gobierno de Guatemala.

Su fin es estudiar los distintos fenómenos geofísicos, atmosféricos e hidrológicos de todo el país. Se encargan de realizar monitoreos y tener sistemas tecnológicos para enriquecer la base de datos del país. Esta institución vela por la recolección de información y datos nacionales para realizar análisis y determinar el comportamiento de algunos fenómenos naturales. En base a esto ofrecen recomendaciones, especialmente en temas relacionados con desastres naturales. A partir del año 1,976 accionaron los servicios meteorológicos y climatológicos para monitorear la variación de los fenómenos que se presentan en diferentes regiones. Para ello tienen implementadas numerosas estaciones meteorológicas, hidrométricas, hidrometeorológicas y climatológicas alrededor del país para brindar información representativa de distintas zonas. Dependiendo del área y el estudio necesario se han colocado diferentes instrumentos y sensores de los cuales se registran los datos e interpretan para informar a la población guatemalteca. Con las distintas estaciones son capaces de tener información la mayoría de departamentos y de lugares con características específicas que brindan datos representativos para el país, como lo son las zonas del departamento de Guatemala, Quiché, Baja Verapaz, Alta Verapaz, Huehuetenango y otros.

Las estaciones del INSIVUMEH se encuentran clasificadas en clases de acuerdo a los instrumentos necesarios para recolectar los datos requeridos para los estudios, las cuales son de tipo A, B, C o D, en donde las de tipo A son las estaciones más completas. Para analizar la información que posee esta organización, es importante enfocarse en los departamentos que abarca la cuenca del río Cahabón, los cuales son: Alta Verapaz en su mayor parte, Baja Verapaz e Izabal. Por esto se debe de conocer que anteriormente solamente dentro del departamento de Alta Verapaz contaban con aproximadamente 34 estaciones, pero ahora muchas de ellas se clasifican como inactivas.

El INSIVUMEH posee estaciones con fines principalmente meteorológicos, hidrométricos y climatológicos. Éstas se manejan por distintos departamentos de la organización para interpretar y enviar la información necesaria a otras áreas que dependen de ésta. A lo largo de los años han contado con numerosas estaciones que al pasar del tiempo, la mayoría de ellas, han dejado de funcionar. Datan estaciones desde el año 1,939; muchas de éstas han sido trasladadas o usadas como complemento para otras estaciones. A continuación se muestran algunas de las estaciones que se han tenido en el departamento de Alta Verapaz, manejadas por esta institución junto al INDE.

Tabla 17. Estaciones Meteorológicas Departamento de Alta Verapaz, Guatemala.

No.	Ubicación	Tipo	Último año registro	Estado
1	Cobán	A	2010	Inactiva
2	Santa María Cahabón	A	2011	Inactiva
3	San Miguel Tucurú	C	1969	Inactiva
4	Senahú	D	1962	Inactiva
5	San Pedro Carchá	C	1958	Inactiva
6	San Juan Chamelco	C	1965	Inactiva
7	San Pedro Carchá	C	2001	Inactiva
8	San Pedro Carchá	C	1962	Inactiva
9	Tucurú	C	1969	Inactiva
10	Senahú	D	1949	Inactiva
11	Senahú	C	1969	Inactiva
12	San Pedro Carchá	D	1969	Inactiva
13	Senahú	D	1939	Inactiva
14	Senahú	D	1969	Inactiva
15	Panzós	D	1958	Inactiva
16	San Pedro Carchá	D	1962	Inactiva
17	Panzós	D	1969	Inactiva
18	San Pedro Carchá	D	1979	Inactiva
19	Senahú	C	1969	Inactiva
20	San Pedro Carchá	D	1971	Inactiva
21	Senahú	D	1953	Inactiva

Continuación Tabla 17. Estaciones Meteorológicas Departamento de Alta Verapaz, Guatemala.

No.	Ubicación	Tipo	Último año registro	Estado
22	Purulhá	C	1961	Inactiva
23	San Pedro Carchá	C	1962	Inactiva
24	Santa Cruz Verapaz	C	1969	Inactiva
25	Panzós	B	2003	Inactiva
26	Senahú	C	1969	Inactiva
27	Senahú	C	1961	Inactiva
28	Cobán	C	1995	Inactiva
29	Panzós	D	1999	Inactiva
30	San Pedro Carchá	D	1998	Inactiva
31	Cobán	C	2005	Inactiva
32	San Cristóbal	C	1982	Inactiva
33	Purulhá	C	2005	Inactiva
34	San Pedro Carchá	C	1998	Inactiva
35	-	-	2010	Inactiva

Fuente: Elaborado con información de MARN, 2011.

El INSIVUMEH cuenta información de algunas estaciones meteorológicas que es de carácter público, por lo que todos tienen acceso a la misma. Sin embargo, todas las estaciones mostradas en el mapa anterior se muestran inactivas con datos actualizados hasta aproximadamente el año 2010. Esta información se utiliza para hacer comparaciones o para obtener datos históricos, sin embargo, no se usa para hacer interpretaciones actuales. La mayoría cuenta con información antigua de precipitación, humedad relativa, temperaturas, velocidad y dirección del viento e insolación.

1) Estaciones meteorológicas. Actualmente se ingresa a la página web para localizar las estaciones con las que cuentan a través de mapas que también contienen información básica para que cualquier persona tenga acceso a ella. Allí mismo se ubica según sus coordenadas al igual que la información que realmente capta cada una de ellas. La mayoría de ellas colecta datos para medición de: temperatura

media, máxima y mínima; humedad relativa, nubosidad, lluvia, días de lluvia, evaporación piché, presión atmosférica, velocidad y dirección del viento.

Para tener una cobertura nacional de datos a través de estaciones meteorológicas, poseen estaciones meteorológicas en la mayoría de departamentos. Con las estaciones meteorológicas instaladas son capaces de obtener información básica de cada departamento o zona, en donde las curvas de nivel, ríos, accesibilidad y otros factores juegan un papel importante. Con los datos recolectados se realizan diagnósticos y al mismo tiempo pronósticos del clima en general o de una variable específica. Actualmente cuentan con 71 estaciones meteorológicas, de las cuales 40 son de tipo convencional y 31 son automáticas.

Tabla 18. Estaciones meteorológicas totales activas hasta el año 2015.

No.	Estación	Municipio	Departamento	Latitud	Longitud	Tipo
1	Cahabón	Cahabón	Alta Verapaz	15.608333	-89.810556	Meteorológica convencional
2	Cobán	Cobán	Alta Verapaz	15.466667	-90.407500	Meteorológica convencional
3	Panzós	Panzós	Alta Verapaz	15.397222	-89.643889	Meteorológica convencional
4	Panzós	Panzós	Alta Verapaz	15.397222	-89.643889	Meteorológica convencional
5	Cubulco	Cubulco	Baja Verapaz	15.108889	-90.614167	Meteorológica convencional
6	San Jerónimo	San Jerónimo	Baja Verapaz	15.061111	-90.250000	Meteorológica convencional
7	Alameda Icta	Chimaltenango	Chimaltenango	14.633889	-90.803333	Meteorológica convencional
8	Santa Margarita	Pochuta	Chimaltenango	14.500096	-91.000189	Meteorológica convencional
9	San Martín Jilotepeque	San Martín Jilotepeque	Chimaltenango	14.761944	-90.788611	Meteorológica convencional
10	Santa Cruz Balanyá	Santa Cruz Balanyá	Chimaltenango	14.686667	-90.915278	Meteorológica convencional
11	Chiquimula	Chiquimula	Chiquimula	14.839534	-89.517211	Meteorológica convencional
12	Esquipulas	Esquipulas	Chiquimula	14.558889	-89.341944	Meteorológica convencional
13	Chinique	Chinique	El Quiché	15.043889	-91.024444	Meteorológica convencional
14	Plata Grande	Ixcán	El Quiché	15.989530	-90.740040	Meteorológica convencional
15	Nebaj	Nebaj	El Quiché	15.398056	-91.142222	Meteorológica convencional
16	Sacapulas	Sacapulas	El Quiché	15.291111	-91.092222	Meteorológica convencional
17	Santa Cruz del Quiché	Santa Cruz del Quiché	El Quiché	15.010640	-91.149730	Meteorológica convencional
18	Escuintla	Escuintla	Escuintla	14.290861	-90.796417	Meteorológica convencional
19	Sabana Grande	Escuintla	Escuintla	14.382778	-90.829167	Meteorológica convencional
20	San José	Escuintla	Escuintla	13.936111	-90.834444	Meteorológica convencional
21	Pacaya	San Vicente	Escuintla	14.379619	-90.634583	Meteorológica convencional
22	Camantulul	Santa Lucía Cotzumalguapa	Escuintla	14.325000	-91.050833	Meteorológica convencional
23	Amatitlán	Amatitlán	Guatemala	14.468700	-90.630800	Meteorológica convencional
24	San José Pinula	Amatitlán	Guatemala	14.524783	-90.390778	Meteorológica convencional
25	La Aurora	Guatemala	Guatemala	14.586531	-90.529986	Meteorológica convencional
26	INSIVUMEH	Guatemala	Guatemala	14.586389	-90.532778	Meteorológica convencional
27	La Aurora	Guatemala	Guatemala	14.582222	-90.527500	Meteorológica convencional
28	Lo de Coy	Mixco	Guatemala	14.621953	-90.600262	Meteorológica convencional

Continuación Tabla 18. Estaciones meteorológicas totales activas hasta el año 2015.

No.	Estación	Municipio	Departamento	Latitud	Longitud	Tipo
29	San Pedro Ayampuc	San Pedro Ayampuc	Guatemala	14.776389	-90.454722	Meteorológica
30	Cuilco	Cuilco	Huehuetenango	15.406389	-91.946111	Meteorológica convencional
31	Huehuetenango	Huehuetenango	Huehuetenango	15.317222	-91.503056	Meteorológica convencional
32	San Pedro Necta	San Pedro Necta	Huehuetenango	15.495278	-91.763333	Meteorológica
33	San Pedro Necta	San Pedro Necta	Huehuetenango	15.495278	-91.763333	Meteorológica convencional
34	Todos Santos	Todos Santos	Huehuetenango	15.504722	-91.603611	Meteorológica convencional
35	Mariscos	Los Amates	Izabal	15.425300	-89.082200	Meteorológica
36	Morales	Morales	Izabal	15.474106	-88.823398	Meteorológica
37	Puerto Barrios	Puerto Barrios	Izabal	15.730242	-88.584114	Meteorológica convencional
38	Las Vegas	Río Dulce	Izabal	15.600000	-88.966667	Meteorológica convencional
39	Jalapa	Jalapa	Jalapa	14.633300	-89.916700	Meteorológica
40	Asunción Mita	Asunción Mita	Jutiapa	14.334444	-89.705833	Meteorológica convencional
41	Montúfar	Moyuta	Jutiapa	13.808889	-90.155000	Meteorológica
42	Montúfar	Moyuta	Jutiapa	13.808889	-90.155000	Meteorológica convencional
43	Quesada	Quesada	Jutiapa	14.266111	-90.037778	Meteorológica convencional
44	Flores	Flores	Petén	16.914722	-89.866389	Meteorológica
45	Flores	Flores	Petén	16.914722	-89.866389	Meteorológica convencional
46	Poptún	Poptún	Petén	16.325717	-89.410533	Meteorológica
47	Xán	San Andrés	Petén	17.530010	-90.785100	Meteorológica
48	Aeropuerto Los Altos	Olintepeque	Quetzaltenango	14.858889	-91.509444	Meteorológica
49	Labor Ovalle	Olintepeque	Quetzaltenango	14.870000	-91.513889	Meteorológica convencional
50	Pachuté	San Carlos Sija	Quetzaltenango	14.980556	-91.583056	Meteorológica
51	Champerico	Champerico	Retalhuleu	14.294444	-91.913889	Meteorológica
52	Retalhuleu	Retalhuleu	Retalhuleu	14.521944	-91.695833	Meteorológica convencional
53	Antigua Guatemala	Antigua	Sacatepéquez	14.539967	-90.731367	Meteorológica
54	Suiza Contenta	San Lucas	Sacatepéquez	14.618889	-90.661111	Meteorológica convencional
55	Catarina	Catarina	San Marcos	14.855556	-92.077222	Meteorológica convencional
56	Ixchiguán	Ixchiguán	San Marcos	15.167000	-91.930000	Meteorológica
57	Concepción	La Reforma	San Marcos	14.800000	-91.816700	Meteorológica
58	San Marcos	San Marcos	San Marcos	14.954200	-91.809400	Meteorológica
59	EFA	San Marcos	San Marcos	14.954167	-91.809444	Meteorológica convencional
60	Tecún Umán	Tecún Umán	San Marcos	14.673611	-92.139444	Meteorológica convencional
61	Los Esclavos	Cuilapa	Santa Rosa	14.252778	-90.278333	Meteorológica convencional
62	El Capitán	San Lucas Tolimán	Sololá	14.643056	-91.140556	Meteorológica convencional
63	El Tablón	Santa María El tablón	Sololá	14.790278	-91.181944	Meteorológica convencional
64	Santiago Atitlán	Santiago Atitlán	Sololá	14.631667	-91.231389	Meteorológica
65	Santiago Atitlán	Santiago Atitlán	Sololá	14.631667	-91.231389	Meteorológica convencional
66	La Máquina	Cuyotenango	Suchitepéquez	14.329200	-91.530000	Meteorológica

Continuación Tabla 18. Estaciones meteorológicas totales activas hasta el año 2015.

No.	Estación	Municipio	Departamento	Latitud	Longitud	Tipo
67	Totonicapán	Totonicapán	Totonicapán	14.911100	-91.359400	Meteorológica
68	LA FRAGUA, Zacapa	Estanzuela	Zacapa	14.964167	-89.584444	Meteorológica convencional
69	La Fragua	Estanzuela	Zacapa	14.964167	-89.584444	Meteorológica
70	La Unión	La Unión	Zacapa	14.963333	-89.291111	Meteorológica convencional
71	Pasabien	Río Hondo	Zacapa	15.030000	-89.680000	Meteorológica convencional

Fuente: Elaborado con información de INSIVUMEH, 2015.

2) **Estaciones meteorológicas convencionales.** Más de la mitad de estaciones meteorológicas del INSIVUMEH son de tipo convencional, es decir, manuales. Estas son mantenidas por operarios especializados, quienes son los encargados de la recolección de datos de varios de los instrumentos que éstas poseen. Se tiene estandarizado realizar, en los instrumentos que lo necesitan, tres tomas diarias; las cuales deben de ser realizadas a las 07:00 horas de la mañana, 13:00 horas y 19:00 horas. Pueden compartir datos con otras organizaciones, ya que es la institución encargada de brindar los datos nacionales.

Tabla 19. Estaciones meteorológicas convencionales activas hasta el año 2015.

10	Chinique	Chinique	El Quiché	15.043889	-91.024444	Meteorológica convencional
11	Nebaj	Nebaj	El Quiché	15.398056	-91.142222	Meteorológica convencional
12	Sacapulas	Sacapulas	El Quiché	15.291111	-91.092222	Meteorológica convencional
13	Sabana Grande	Escuintla	Escuintla	14.382778	-90.829167	Meteorológica convencional
14	San José	Escuintla	Escuintla	13.936111	-90.834444	Meteorológica convencional
15	Camantulul	Santa Lucía Cotzumalguapa	Escuintla	14.325000	-91.050833	Meteorológica convencional
16	INSIVUMEH	Guatemala	Guatemala	14.586389	-90.532778	Meteorológica convencional
17	La Aurora	Guatemala	Guatemala	14.582222	-90.527500	Meteorológica convencional
18	Cuilco	Cuilco	Huehuetenango	15.406389	-91.946111	Meteorológica convencional
19	Huehuetenango	Huehuetenango	Huehuetenango	15.317222	-91.503056	Meteorológica convencional
20	San Pedro Necta	San Pedro Necta	Huehuetenango	15.495278	-91.763333	Meteorológica convencional
21	Todos Santos	Todos Santos	Huehuetenango	15.504722	-91.603611	Meteorológica convencional
22	Puerto Barrios	Puerto Barrios	Izabal	15.730242	-88.584114	Meteorológica convencional
23	Las Vegas	Río Dulce	Izabal	15.600000	-88.966667	Meteorológica convencional
24	Asunción Mita	Asunción Mita	Jutiapa	14.334444	-89.705833	Meteorológica convencional
25	Montúfar	Moyuta	Jutiapa	13.808889	-90.155000	Meteorológica convencional
26	Quesada	Quesada	Jutiapa	14.266111	-90.037778	Meteorológica convencional
27	Flores	Flores	Petén	16.914722	-89.866389	Meteorológica convencional
28	Labor Ovalle	Olintepeque	Quetzaltenango	14.870000	-91.513889	Meteorológica convencional
29	Retalhuleu	Retalhuleu	Retalhuleu	14.521944	-91.695833	Meteorológica convencional
30	Suiza Contenta	San Lucas	Sacatepéquez	14.618889	-90.661111	Meteorológica convencional
31	Catarina	Catarina	San Marcos	14.855556	-92.077222	Meteorológica convencional
32	EFA	San Marcos	San Marcos	14.954167	-91.809444	Meteorológica convencional
33	Tecún Umán	Tecún Umán	San Marcos	14.673611	-92.139444	Meteorológica convencional
34	Los Esclavos	Cuilapa	Santa Rosa	14.252778	-90.278333	Meteorológica convencional
35	El Capitán	San Lucas Tolimán	Sololá	14.643056	-91.140556	Meteorológica convencional
36	El Tablón	Santa María El tablón	Sololá	14.790278	-91.181944	Meteorológica convencional
37	Santiago Atitlán	Santiago Atitlán	Sololá	14.631667	-91.231389	Meteorológica convencional
38	LA FRAGUA, Zacapa	Estanzuela	Zacapa	14.964167	-89.584444	Meteorológica convencional
39	La Unión	La Unión	Zacapa	14.963333	-89.291111	Meteorológica convencional
40	Pasabien	Río Hondo	Zacapa	15.030000	-89.680000	Meteorológica convencional

Fuente: Elaborado con información de INSIVUMEH, 2015.

3) **Estaciones meteorológicas automáticas.** Una estación automática generalmente se instala cuando la misma contiene una cantidad de instrumentos y sensores más completa para aprovechar y enviar una cantidad de datos mucho más grande que la que una estación más simple sea capaz de generar. En el INSIVUMEH, la mayoría de estaciones automatizadas las usan en una red llamada “Hidromet” que tiene un uso mayoritario por el departamento de Aeronáutica. Funciona por medio de satélites y comprende de estaciones meteorológicas, climatológicas, hidrológicas y climatológicas-hidrológicas las cuales envían información de forma rápida, en donde cualquier usuario tiene acceso para obtener los datos en intervalos de hasta 10 minutos de diferencia. En esta base de datos se recolectan datos de humedad relativa, lluvia, temperatura, dirección del viento, rocío, evaporación, velocidad del viento e incluso el voltaje de la batería para el rango de tiempo consultado. Dichos datos se obtienen también de forma diaria, semanal, diaria o anual. Además, se exportan los datos por medio de un documento en formato Excel para hacer uso de ellos. Poseen una base de datos completa gracias a la cantidad de estaciones.

Las estaciones automáticas se utilizan para monitoreo y actualizaciones entre aeropuertos, especialmente el aeropuerto nacional La Aurora. Para esto necesitan tener una mayor cantidad de datos que se actualice constantemente y que al mismo tiempo, tanto ellos como personas de otros países, vean la información de estaciones extranjeras. Debido a que son más completas son más costosas y requieren de un mayor mantenimiento. Incluyen las estaciones climatológicas porque requieren de actualizaciones más constantes para que hagan pronósticos diarios.

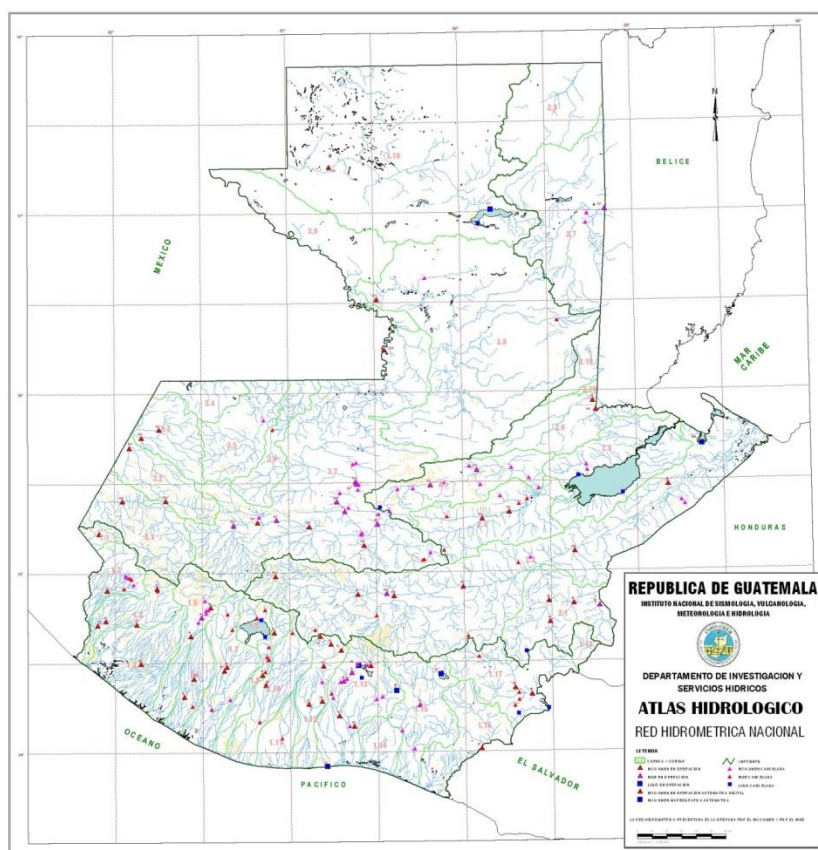
Tabla 20. Estaciones meteorológicas y climatológicas automáticas activas hasta el año 2015.

No.	Estación	Municipio	Departamento	Latitud	Longitud	Tipo
1	Panzós	Panzós	Alta Verapaz	15.397222	-89.643889	Meteorológica
2	Santa Margarita	Pochuta	Chimaltenango	14.500096	-91.000189	Meteorológica
3	Chiquimula	Chiquimula	Chiquimula	14.839534	-89.517211	Meteorológica
4	Plata Grande	Ixcán	El Quiché	15.989530	-90.740040	Meteorológica
5	Santa Cruz del Quiché	Santa Cruz del Quiché	El Quiché	15.010640	-91.149730	Meteorológica
6	Escuintla	Escuintla	Escuintla	14.290861	-90.796417	Meteorológica
7	Pacaya	San Vicente	Escuintla	14.379619	-90.634583	Meteorológica
8	Amatitlán	Amatitlán	Guatemala	14.468700	-90.630800	Meteorológica
9	San José Pinula	Amatitlán	Guatemala	14.524783	-90.390778	Meteorológica
10	La Aurora	Guatemala	Guatemala	14.586531	-90.529986	Meteorológica
11	Lo de Coy	Mixco	Guatemala	14.621953	-90.600262	Meteorológica
12	San Pedro Ayampuc	San Pedro Ayampuc	Guatemala	14.776389	-90.454722	Meteorológica
13	San Pedro Necta	San Pedro Necta	Huehuetenango	15.495278	-91.763333	Meteorológica
14	Mariscos	Los Amates	Izabal	15.425300	-89.082200	Meteorológica
15	Morales	Morales	Izabal	15.474106	-88.823398	Meteorológica
16	Jalapa	Jalapa	Jalapa	14.633300	-89.916700	Meteorológica
17	Montúfar	Moyuta	Jutiapa	13.808889	-90.155000	Meteorológica
18	Flores	Flores	Petén	16.914722	-89.866389	Meteorológica
19	Poptún	Poptún	Petén	16.325717	-89.410533	Meteorológica
20	Xán	San Andrés	Petén	17.530010	-90.785100	Meteorológica
21	Aeropuerto Los Altos	Olmitepeque	Quetzaltenango	14.858889	-91.509444	Meteorológica
22	Pachuté	San Carlos Sija	Quetzaltenango	14.980556	-91.583056	Meteorológica
23	Champerico	Champerico	Retalhuleu	14.294444	-91.913889	Meteorológica
24	Antigua Guatemala	Antigua	Sacatepéquez	14.539967	-90.731367	Meteorológica
25	Ichiguaná	Ichiguaná	San Marcos	15.167000	-91.930000	Meteorológica
26	Concepción	La Reforma	San Marcos	14.800000	-91.816700	Meteorológica
27	San Marcos	San Marcos	San Marcos	14.954200	-91.809400	Meteorológica
28	Santiago Atitlán	Santiago Atitlán	Sololá	14.631667	-91.231389	Meteorológica
29	La Máquina	Cuyotenango	Suchitepéquez	14.329200	-91.530000	Meteorológica
30	Totonicapán	Totonicapán	Totonicapán	14.911100	-91.359400	Meteorológica
31	La Fragua	Estanzuela	Zacapa	14.964167	-89.584444	Meteorológica

Fuente: Elaborado con información de INSIVUMEH, 2015.

4) **Estaciones hidrométricas.** Poseen también clasificación por estaciones que recolectan información hidrométrica. Como se muestra en la siguiente imagen, también trabajan en conjunto con el INDE para la recolección de datos, especialmente para la red hidrométrica. En esta se aprecian tanto las estaciones activas e inactivas de ambas instituciones. Para una mayor recopilación de datos se unen ambas instituciones y así también poseen una red más completa y mayor cobertura de información. A pesar de esto, la mayor parte de las estaciones ubicadas en la imagen anterior se encuentran en estado inactivo.

Ilustración 72. Ubicación estaciones hidrométricas del INSIVUMEH e INDE



Fuente: INSIVUMEH, 2012.

5) **Estaciones hidrológicas.** Las estaciones hidrológicas miden parámetros hidrológicos para complementar información recolectada con las estaciones meteorológicas, en donde el parámetro principal es la precipitación. La cobertura de esta red es menor debido a que son utilizadas como complemento a las anteriores. En total cuentan con 30 estaciones de este tipo, en donde la mayoría de ellas se ubican al Sur-Oeste del país.

Tabla 21. Estaciones hidrológicas activas hasta el año.

No.	Estación	Municipio	Departamento	Latitud	Longitud	Tipo
1	Matucuy	La Tinta	Alta Verapaz	15.295833	-89.890278	Hidrológica
2	Telemán	Panzós	Alta Verapaz	15.333333	-89.733333	Hidrológica
3	Concua II	Granados	Baja Verapaz	14.871400	-90.583300	Hidrológica
4	Camotán	Camotán	Chiquimula	14.822222	-89.370833	Hidrológica
5	Aguas Calientes	Esquipulas	Chiquimula	14.579167	-89.300833	Hidrológica
6	Puente Orellana	San Agustín Acasaguastlán	El Progreso	14.918611	-90.000000	Hidrológica
7	San Luis Ixcán	Chajul	El Quiché	15.928100	-90.034700	Hidrológica
8	Playa Grande	Playa Grande	El Quiché	15.968200	-90.746700	Hidrológica
9	Cenizas	Escuintla	Escuintla	14.270800	-90.896700	Hidrológica
10	Guacalate	Escuintla	Escuintla	14.268900	-90.811100	Hidrológica
11	Guacamayas	Guanagazapa	Escuintla	14.114722	-90.640556	Hidrológica
12	La Gomera	La Gomera	Escuintla	14.077222	-91.046111	Hidrológica
13	Pantaleón	Santa Lucía Cotzumalguapa	Escuintla	14.221438	-91.101739	Hidrológica
14	Yulquisis	Barillas	Huehuetenango	15.951044	-91.121528	Hidrológica
15	Xemal	Colotenango	Huehuetenango	15.260100	-91.668800	Hidrológica
16	Mariscos	Los Amates	Izabal	15.425300	-89.082200	Hidrológica
17	Morales	Morales	Izabal	15.473180	-88.825538	Hidrológica
18	Las Cruces	Asunción Mita	Jutiapa	14.318333	-89.615833	Hidrológica
19	El Tigre	La Libertad	Petén	16.597683	-90.653503	Hidrológica
20	Machaquilá	Poptún	Petén	16.393611	-89.443889	Hidrológica
21	Modesto Méndez	San Luis	Petén	15.897200	-89.230100	Hidrológica
22	Cantel	Cantel	Quetzaltenango	14.808600	-91.450300	Hidrológica
23	Coatepeque	Coatepeque	Quetzaltenango	14.719400	-91.874200	Hidrológica
24	El Asintal	El Asintal	Retalhuleu	14.566389	-91.722778	Hidrológica
25	Malacatán	Malacatán	San Marcos	14.908700	-92.042100	Hidrológica
26	Pajapita	Pajapita	San Marcos	14.736700	-92.049400	Hidrológica
27	Cunlaj	Tacaná	San Marcos	15.215600	-92.093100	Hidrológica
28	Panibaj	San Antonio Palopó	Sololá	14.672467	-91.088586	Hidrológica
29	La Máquina	Cuyotenango	Suchitepéquez	14.313600	-91.604200	Hidrológica
30	Gualán	Gualán	Zacapa	15.111111	-89.361667	Hidrológica

Fuente: Elaborado con información de INSIVUMEH, 2015.

6) Estaciones climatológicas. El INSIVUMEH maneja, por parte del área de Climatología, información obtenida por estaciones con fines climatológicos para hacer pronósticos de algunos parámetros como la lluvia, temperatura y otros. Éstas son menor cantidad y forman parte de uno de los tipos de estaciones anteriores, ya que brindan menos cantidad de información, pero igual de importante.

7) Red de estaciones INDE. El INDE es el Instituto Nacional de Electrificación, fue creado en el año 1,959 con el fin de brindar soluciones debido a problemas por escasez de energía eléctrica, así como «mantener la energía disponible a efecto de satisfacer la demanda normal e impulsar el desarrollo de nuevas industrias, incrementar el consumo doméstico y el uso de la electricidad en las áreas rurales» (INDE, 2013). Esta organización cuenta con distintos departamentos para mejor control de la información y asignación de tareas. Existe el departamento de Superintendencia de operación y mantenimiento de plantas, a la cual le sigue la división de programación y ambiente; a ésta le sigue el departamento de Hidrología. El departamento

de Hidrología se encarga de realizar estudios y la recaudación de datos para la implementación de distintos proyectos con fines de generación eléctrica, dentro de ellos algunas hidroeléctricas como Renace.

Para la obtención de información se implementó el uso de estaciones para realizar observaciones. En el año 1,969 iniciaron con estos proyectos para tener una red propia, la cual contaba con 250 estaciones a nivel nacional. Sin embargo, por problemática interna del país y otros factores como mantenimiento y costo se redujo la cantidad a alrededor de 150 estaciones. Éstas ya no tuvieron un enfoque nacional, sino que fueron más enfocadas para áreas específicamente de hidroeléctricas y otros proyectos para generación de energía. Actualmente poseen alrededor de 70 estaciones en total, de las cuales 30 son usadas para información de ríos y las otras 40 son de uso climático. De la totalidad de estaciones únicamente 4 pertenecen a la cuenca del río Cahabón.

Estas estaciones poseen la mayoría instrumentos básicos a los cuales se les realiza una revisión y supervisión por lo menos una vez al mes y en ocasiones más de una vez al mes para asegurarse que están funcionando adecuadamente. Poseen registros históricos con series que oscilan entre 18 y 47 años. (INDE, 2010).

8) Estaciones meteorológicas. Según el INDE (2015), el río Cahabón es uno de los más importantes del país por ser uno de los más grandes y abundantes. A partir de alrededor 1,960 se inició su estudio y recolección de datos por parte de esta institución, ya que se vio el potencial que tiene para la implementación de diferentes proyectos. «Las estaciones meteorológicas instaladas en la cuenca hidrográfica en su mayoría son de tipo C y D, monitoreando temperaturas ambientales, precipitación pluvial y evaporación de tanque. Las series históricas poseen longitudes de registros que oscilan entre 31 y 59 años. [...]». Éstas recolectan datos de: temperatura, precipitación, evaporación, humedad relativa y velocidad del viento.

Tabla 22. Estaciones meteorológicas en departamentos cercanos a la cuenca Cahabón, activas al año 2015.

No.	Estación	Cuenca	Latitud N	Longitud O	Tipo
1	El Volcán	Cahabón	15.4825	-89.874444	Meteorológica
2	San Cristobal	Cahabón	15.365278	-90.475833	Meteorológica
3	Purulhá	Cahabón	15.233889	-90.233333	Meteorológica
4	Sepamac	Cahabón	15.504444	-89.693056	Meteorológica
5	Seamay	Cahabón	15.408333	-89.802778	Meteorológica
6	La Navidad	Salinas	15.411667	-90.690278	Meteorológica
7	El Cebollal	Salinas	15.208333	-90.730556	Meteorológica
8	Quixal	Salinas	15.495833	-90.611111	Meteorológica
9	Cerro la Laguna	Salinas	15.391389	-90.528056	Meteorológica
10	Pueblo Viejo	Salinas	15.272222	-90.495833	Meteorológica
11	Chilascó	Polochic	15.122222	-90.115278	Meteorológica
12	Matanzas	Polochic	15.103056	-90.191389	Meteorológica

Fuente: Elaborado con información de INDE, 2015.

9) **Estaciones hidrometeorológicas.** Estas estaciones tienen un fin muy parecido a las anteriores a diferencia que la mayor parte de instrumentos y sensores están inclinados a la toma de datos hidrológicos. Sin embargo, también toman datos básicos y tienen instrumentos que una estación meteorológica tenga. En departamentos cercanos a la cuenca Cahabón existen 47 estaciones con estas características. Sin embargo, no se encuentran dentro de la misma.

Tabla 23. Estaciones hidrometeorológicas activas y no activas al año 2015.

No.	Estación	Cuenca	Municipio	Departamento	Latitud N	Longitud O
1	Chio I	Cahabón	Cobán	Alta Verapaz	15.45833	-90.37500
2	Salchichaj	Salinas	Cobán	Alta Verapaz	15.60833	-90.61056
3	Chama	Salinas	Cobán	Alta Verapaz	15.59944	-90.63111
4	Oxec I	Cahabón	Cahabón	Alta Verapaz	15.57500	-89.72083
5	Chajcar	Cahabón	San Pedro Carchá	Alta Verapaz	15.48528	-90.18611
6	Carcha	Cahabón	San Pedro Carchá	Alta Verapaz	15.46333	-90.28750
7	San Pedro	Izabal-Río Dulce	San Pedro Carchá	Alta Verapaz	15.47500	-90.31389
8	Chicuc I	Cahabón	San Pedro Carchá	Alta Verapaz	15.49472	-90.10694
9	Chicuc II	Cahabón	San Pedro Carchá	Alta Verapaz	15.49472	-90.10694
10	Bethania	Cahabón	San Pedro Carchá	Alta Verapaz	15.48250	-90.24222
11	San Agustín	Salinas	Chisec	Alta Verapaz	16.23917	-90.44167
12	Lanquin	Cahabón	Lanquín	Alta Verapaz	15.58472	-89.96250
13	Chipap	Cahabón	Lanquín	Alta Verapaz	15.56750	-89.91806
14	Cahaboncito	Cahabón	Panzos	Alta Verapaz	15.45944	-89.54861
15	Chulac	Cahabón	Panzos	Alta Verapaz	15.51556	-89.62000
16	Teleman	Polochic	Panzos	Alta Verapaz	15.33333	-89.73333
17	Boca Nueva	Polochic	Panzos	Alta Verapaz	15.37333	-89.66167
18	Matucuy	Polochic	Panzos	Alta Verapaz	15.29583	-89.89028
19	Panzos	Polochic	Panzos	Alta Verapaz	15.39583	-89.63139
20	El Lagarto	Polochic	Panzos	Alta Verapaz	15.45944	-89.54861
21	El Chico	Salinas	San Cristobal Verapaz	Alta Verapaz	15.26972	-90.49028
22	Los Encuentros	Salinas	San Cristobal Verapaz	Alta Verapaz	15.26250	-90.49306
23	Los Ganchos	Salinas	San Cristobal Verapaz	Alta Verapaz	15.50250	-90.60861
24	Quixal II	Salinas	San Cristobal Verapaz	Alta Verapaz	15.49306	-90.60972
25	Valparaíso	Cahabón	San Cristobal Verapaz	Alta Verapaz	15.33750	-90.42222
26	San José	Salinas	San Cristobal Verapaz	Alta Verapaz	15.32250	-90.48611
27	Pita Floja I	Salinas	San Cristobal Verapaz	Alta Verapaz	15.44222	-90.70278
28	Pambón	Salinas	San Cristobal Verapaz	Alta Verapaz	15.43944	-90.65917
29	Pita Floja II	Salinas	San Cristobal Verapaz	Alta Verapaz	15.43889	-90.70583
30	Las Curedas	Salinas	San Cristobal Verapaz	Alta Verapaz	15.37500	-90.70139
31	Quixalito	Salinas	San Cristobal Verapaz	Alta Verapaz	15.48611	-90.59583
32	Cat. Escala Inf.	Salinas	San Cristobal Verapaz	Alta Verapaz	15.45972	-90.60278
33	cala Sup. Panp	Salinas	San Cristobal Verapaz	Alta Verapaz	15.45972	-90.60278
34	Trece Aguas	Polochic	Senahú	Alta Verapaz	15.41667	-89.78750
35	El Volcán	cahabon	Senahú	Alta Verapaz	15.48194	-89.89806
36	Secacao	Polochic	Senahú	Alta Verapaz	15.40694	-89.77833
37	Tucurú	Polochic	San Miguel Tucuru	Alta Verapaz	15.30389	-90.09306
38	Chilasco	Polochic	Salamá	Baja Verapaz	15.11806	-90.11083
39	Chiruz	Salinas	Cubulco	Baja Verapaz	15.21167	-90.58583
40	Cala	Salinas	Cubulco	Baja Verapaz	15.21750	-90.58056
41	Panxic	Salinas	Cubulco	Baja Verapaz	15.20694	-90.58333
42	El Cebollal	Cuilco	Cubulco	Baja Verapaz	15.20889	-90.72944
43	Concua	Motagua	Granados	Baja Verapaz	14.86944	-90.58056
44	San Jeronimo	Salinas	San Jerónimo	Baja Verapaz	15.06472	-90.23861
45	Matanzas	Salinas	San Jerónimo	Baja Verapaz	15.10500	-90.19083
46	Las Astras II	Salinas	San Jerónimo	Baja Verapaz	15.06667	-90.22444
47	Camalmapa	Salinas	San Miguel Chicaj	Baja Verapaz	90.41944	-90.41944

Fuente: Elaborado con información de INDE, 2015.

10) Estaciones hidrológicas/hidrométricas. En todo el país poseen 28 estaciones hidrométricas que contienen instrumentos como: limnómetro, limnógrafo y medición de sedimentos. Además, el mismo departamento interno de Hidrología del INDE maneja las estaciones hidrológicas que se encargan de medir parámetros como: precipitación, temperatura, evaporación, evaporación piché y humedad relativa. Manejan parámetros muy parecidos a las meteorológicas pero se utilizan para fines específicamente hidrológicos, mientras las meteorológicas se utilizan para otras aplicaciones. En departamentos cercanos a la cuenca Cahabón únicamente cuentan con 10 estaciones activas de estos tipos.

Tabla 24. Estaciones hidrométricas e hidrológicas activas al año 2015.

No.	Estación	Latitud N	Longitud O	Tipo
1	Chajcar	15.48528	-90.18611	A
2	Matanzas	15.10500	-90.19083	B
3	Chilasco	15.11806	-90.11083	B
4	Los Ganchos	15.50250	-90.60861	A
5	Quixal I y II	15.49306	-90.60972	A
6	El Cebollal	15.20889	-90.72944	A
7	Las Torres	15.35833	-90.65833	A
8	Camalmapa	15.17944	-90.41944	A
9	Sta. Teresa	14.44389	-90.64444	A
10	Bethania	15.48250	-90.24222	A

Fuente: Elaborado con información de INDE, 2015.

23. Estaciones privadas. Una estación privada es aquella que cuenta con el conjunto de instrumentos necesarios para la medición de datos y es operada por una persona, club, asociación, negocio o cualquier entidad privada. Éstas son operadas solamente para la educación y uso del mismo propietario, pero también existen operadores privados que deciden compartir lo recolectado con otras personas. Se comparte por medio de la compilación de datos de forma manual o haciendo uso de la tecnología como por medio de internet.

a. Estaciones ANACAFE. La Asociación Nacional del Café (ANACAFE) ha implementado estaciones meteorológicas para formar su red nacional, en donde la mayoría de las que se han instalado son de tipo B y las utilizan para obtener datos propios. Hasta finales del año 2014 contaban con 45 estaciones, concentradas en la franja cafetalera. Según el Ing. Oscar García, para tener una cobertura más completa se debería de contar con por lo menos 165 estaciones que se concentren en elementos geográficos como montañas y volcanes, ya que esos son los lugares en donde existe mayor variación de topografía y por lo tanto, del comportamiento de los distintos parámetros a medir.

Ellos son los encargados de buscar la ubicación más adecuada, recolectar los datos, darles mantenimiento y realizar el análisis de los datos. Luego de la recolección de datos publican la información en su página web, en donde cuentan con mapas digitalizados por ellos y se busca la información para diferentes intervalos de tiempo y también para tener los datos de forma diaria, semanal, mensual y anual. Las estaciones de esta asociación se enfocan más en el clima y no en la hidrología; las estaciones que deberían generar más información hidrológica son públicas pero se encuentran inactivas. ANACAFE cuenta con datos constantes y recientes desde el año 2009 para ir generando su propia base de datos. Hacen uso de estaciones semiautomáticas que guardan información cada 15 minutos y otras que son convencionales en donde los técnicos llegan para descargar la información de forma manual (Ing. Oscar García, ANACAFE).

1) Estaciones meteorológicas. A pesar que esta organización se enfoca más en la implementación de estaciones meteorológicas en el área conocida como “el corredor del café”, que se concentra más en el Oeste del país; también poseen estaciones cerca del departamento de Alta Verapaz. Esto debido a que este departamento también forma parte de dicha región, pero en una mínima parte. Por lo que no existe una gran cantidad de estaciones para cubrir un área tan extensa como la cuenca Cahabón. Actualmente cuentan con 52 estaciones meteorológicas en todo el país de las cuales 6 pertenecen al departamento de Alta Verapaz.

Tabla 25. Estaciones meteorológicas totales activas al año 2015.

No.	Estación	Departamento	Latitud N	Longitud O
1	Coatepeque	Quetzaltenango	14.702811	-91.851622
2	San Cristobal Verapaz	Alta Verapaz	15.364530	-90.502020
3	Antigua Guatemala	Sacatepéquez	14.529320	-90.747392
4	San Pedro La Laguna	Sololá	14.692219	-91.271393

Continuación Tabla 25. Estaciones meteorológicas totales activas al año 2015.

No.	Estación	Departamento	Latitud N	Longitud O
5	San Pedro Carchá	Alta Verapaz	15.525120	-90.222780
6	Santa Rosa de Lima	Santa Rosa	14.416480	-90.297750
7	El Palmar	Quetzaltenango	14.681720	-91.639250
8	Fraijanes	Guatemala	14.484670	-90.446670
9	Acatenango	Chimaltenango	14.556272	-90.943275
10	Barberena	Santa Rosa	14.301020	-90.362720
11	Purulhá	Baja Verapaz	15.249980	-90.154970
12	Chicacao	Suchitepéquez	14.574220	-91.327920
13	El Tumbador	San Marcos	14.847713	-91.907251
14	Santa Cruz Barillas	Huehuetenango	15.769130	-91.242430
15	La Democracia	Huehuetenango	15.628380	-91.959080
16	San Martín Sacatepéquez	Quetzaltenango	14.782578	-91.714514
17	San Pedro Necta	Huehuetenango	15.592600	-91.791620
18	Olopa	Chiquimula	14.712560	-89.344440
19	Camotán	Chiquimula	14.784640	-89.290280
20	Gualán	Zacapa	15.019720	-89.217220
21	Mataquescuintla	Jalapa	14.521700	-90.186790
22	San Cristobal Cucho	San Marcos	14.852763	-91.774795
23	San Miguel Ixtahuacan	San Marcos	15.271295	-91.748610
24	Colomba	Quetzaltenango	14.705509	-91.713548
25	La Reforma	San Marcos	14.781368	-91.877409
26	San Rafael Pie de la Cuesta	San Marcos	14.920185	-91.903620
27	San Pablo	San Marcos	14.964342	-91.997188

Continuación Tabla 25. Estaciones meteorológicas totales activas al año 2015.

No.	Estación	Departamento	Latitud N	Longitud O
28	Malacatán	San Marcos	15.007251	-92.084298
29	Todosantos Cuchumatan	Huehuetenango	15.554065	-91.724798
30	Jacaltenango	Huehuetenango	15.664993	-91.718925
31	La Libertad	Huehuetenango	15.511872	-91.875418
32	Huehuetenango	Huehuetenango	15.301591	-91.512552
33	Cuilco	Huehuetenango	15.552767	-92.021383
34	Chajul	Quiché	15.616317	-91.110950
35	Cotzal	Quiché	15.452733	-90.962700
36	San Felipe Retalhuleu	Retalhuleu	14.612017	-91.642472
37	Casillas	Santa Rosa	14.409472	-90.084000
38	San Martín Jilotepéque	Chimaltenango	14.810250	-90.774583
39	Patulul	Suchitepéquez	14.546150	-91.153717
40	Senahú	Alta Verapaz	15.471980	-89.761580
41	La Unión	Zacapa	14.986191	-89.274951
42	Esquipulas	Chiquimula	14.594778	-89.217444
43	Tucurú	Alta Verapaz	15.268983	-90.067600
44	Atescatempa	Jutiapa	14.110870	-89.748080
45	San Agustín Acasaguastlán	El Progreso	15.059697	-89.944267
46	Cobán	Alta Verapaz	15.543717	-90.344833
47	San Miguel Dueñas	Sacatepéquez	14.506406	-90.810441
48	San Cristóbal Verapaz	Alta Verapaz	15.371972	-90.456453
49	El Palmar	Quetzaltenango	14.576324	-91.546212
50	Cuilco	Huehuetenango	15.518981	-92.023929

Continuación Tabla 25 Estaciones meteorológicas totales activas al año 2015.

No.	Estación	Departamento	Latitud N	Longitud O
51	Cobán	Alta Verapaz	15.465239	-90.386539
52	Unión cantinil	Huehuetenango	15.735000	-91.849167

Fuente: Elaborado con información de ANACAFE, 2015.

a. Estaciones CEAB-UVG. El Centro de Estudios Ambientales y Biodiversidad «tiene como objetivo buscar soluciones a la problemática ambiental de Guatemala con un enfoque integral e interdisciplinario, bajo un concepto de equidad y respeto a la vida» (UVG, 2015). Se encargan de estudiar fenómenos que afecten las condiciones dentro del país; junto a la ayuda de otras organizaciones. Para hacer estudios se están implementando estaciones meteorológicas en distintas regiones, incluyendo otros países centroamericanos como Honduras. Iniciaron con la colocación de estaciones recientemente, por lo que cuentan con muy pocas estaciones actualmente. Sin embargo, ya forman parte de una red de estaciones mundial llamada “Weather Link”. Estas estaciones pertenecieron Labco Comunicaciones (Laboratorio de Comunicaciones, S.A) anteriormente, empresa especializada en sensores de distintos tipos, y ahora forman parte del CEAB de la Universidad del Valle de Guatemala.

Tabla 26. Estaciones meteorológicas activas al año 2015.

No.	Estación	Municipio	Departamento	Latitud N	Longitud O
1	Fca. Colina San Jacinto	Mataquescuintla	Jalapa	14.546348	-90.199652
2	Beneficio del Cuje	Sta. María Ixhuatán	Santa Rosa	14.190345	-90.277732

Fuente: Elaborado con información de CEAB-UVG.

En los apéndices 1, 2 y 3 se observa la cobertura total con la que cuenta cada organización y además, la cobertura nacional actual que existe con los diferentes tipos de estaciones del INSIVUMEH, INDE, ANACAFE y CEAB-UVG. En éste se ven también los distintos tipos de estaciones que tiene por individual el INSIVUMEH y la cobertura de departamentos cercanos a la cuenca del INDE.

IV. HIDROLOGÍA.

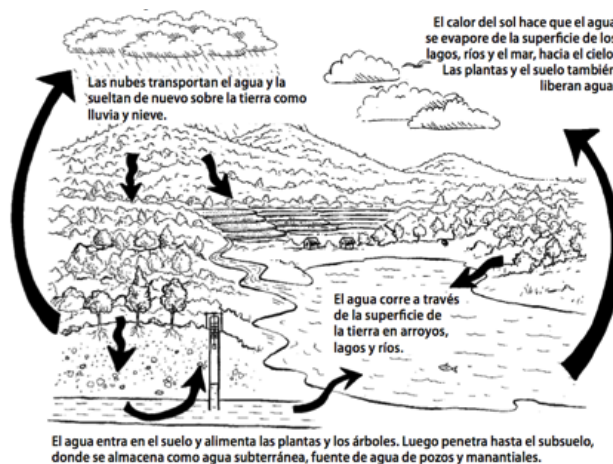
A. Ciclo del agua.

El agua se encuentra en constante movimiento. El movimiento cíclico del agua a través de diferentes ambientes no tiene principio ni fin, por lo tanto su explicación comenzará en un punto específico únicamente por razones explicativas. Las nubes, que son el resultado de la condensación de vapor, transportan el agua en estado gaseoso hacia las montañas y áreas verdes. Estas a su vez se encargan de retener las nubes, permitiendo que el agua a través de precipitación caiga a la tierra en estado líquido como lluvia o en bajas temperaturas de manera sólida como nieve o granizo.

El agua escurre desde el punto más alto al más bajo de manera superficial o subterránea. El agua sigue su cauce formando escorrentías que viajan guiadas con la topografía del terreno, estas a su vez, forman riachuelos que se combinan para formar ríos hasta su desfogue en un lago o mar donde el agua se almacena en grandes cantidades. Ya que el movimiento de agua también puede ser subterráneo, el agua se infiltra en el suelo y alimenta la vegetación de la zona. Con una densidad de drenaje del suelo baja, se producen corrientes subterráneas de agua que viajan sobre los estratos saturados que componen el terreno hasta su desfogue. Si la densidad de drenaje es alta, el agua penetrará hasta el subsuelo, donde se almacenará como agua subterránea, generando pozos naturales y manantiales.

El calor del sol interactúa con el agua almacenada en lagos y mares generando que esta se evapore nuevamente de la superficie líquida. De esta fase también es participe el proceso de evapotranspiración, el cual consiste en la liberación de vapor a través de la transpiración de animales y plantas al ambiente. El vapor liberado asciende al cielo donde se condensa nuevamente para continuar con el ciclo descrito. (Linsley, Kohler, & Paulus, 1977)

Ilustración 73. Representación gráfica del ciclo del agua en una cuenca hidrológica.



Fuente: Hesperian, 2011.

1. Cuencas hidrográficas. Se refiere a una región territorial donde toda agua caída por precipitación, se aglutina para formar un solo curso de agua que drena superficialmente a un punto en común. Esta área común puede ser un río principal que se integre a un de mayor tamaño un lago o al mar y puede ser utilizada como punto de control de la cuenca. Esta región territorial está delimitada por las partes más altas de las montañas, laderas y colinas.

El comportamiento de una cuenca hidrográfica depende de la interacción entre la cobertura vegetal, la profundidad del suelo, topografía del terreno, entre otros. Con el fin de clasificar cuencas con características similares se toma en cuenta una serie de rasgos físicos agrupados como:

- Superficie.
- Topografía.
- Geología y Suelos.
- Cobertura.

2. Definición de cuenca hidrográfica. El agua es un recurso vital para la supervivencia humana así como un medio para su desarrollo. Su uso y aprovechamiento ha permitido el avance de la civilización a lo largo de la historia. También, bajo ciertas consideraciones, es un recurso sumamente abundante en el planeta. Sin embargo, únicamente un bajo porcentaje de este es apto para el consumo humano debido a su contenido de sales o por encontrarse en un estado de la materia distinto al líquido (sólido o gaseoso – en forma de hielo o en la atmósfera). Es de conocimiento general que la mayor cantidad de agua se encuentra en los océanos. Su disponibilidad depende del ciclo hidrológico; es decir, evaporación, condensación, escorrentía, transpiración e infiltración. Únicamente el agua denominada “dulce” se encuentra en estado natural para el consumo humano, ya sea en glaciares, atmósfera, superficialmente o en reservorios subterráneos. Este líquido únicamente representa 2.60% de todo el agua en el planeta, del cual únicamente 0.35% se encuentra en lagos y ríos, y la mayor parte (cerca del 75%) se encuentra en cuerpos de agua congelados (Errázuriz, *et. al.*, 1998).

Del 2.60% de agua dulce en la Tierra, los cuerpos de agua dulce superficiales representan las fuentes de agua más accesibles. Esta clasificación se puede dividir en lagos y lagunas, ríos, riachuelos y otros afluentes menores que desembocan a los otros cuerpos de mayores dimensiones. El área de influencia o de captación – a donde escurre el agua que proviene de la precipitación y se dirige a los cuerpos de agua – se denomina cuenca hidrográfica. El área de drenaje superficial que define una cuenca está limitado por la geografía y topografía que rodea el afluente, por lo que sus límites dependen del parte aguas o divisorias de las partes más altas de la cuenca. Sin embargo, en un concepto más amplio se considera a una cuenca también como el conjunto de elementos que esta contenga (Faustino, 1996). Es decir, los recursos naturales presentes en la cuenca, flora, fauna, así como las actividades humanas que en ella se desarrollen (Reimold, 1998).

a. Cuenca como sistema. De acuerdo a Reimold (1998:2), es necesario «comprender las interacciones de las componentes de las cuencas para lograr un manejo efectivo de las mismas». Sin embargo, la humanidad no ha necesitado comprender dichas interacciones hasta después de observar el daño causado (Reimold, 1998). Dichas interacciones se limitan al área que la cuenca abarca donde suceden la mayor parte de procesos que influyen en el estado de la cuenca. Como se mencionó anteriormente, dichos procesos involucran a los actores dentro de la región; es decir a las características físicas de la cuenca, su importancia biológica y todas las acciones humanas realizadas en ella (González, 2004).

Para administrar correctamente los recursos que componen la cuenca es necesario comprenderlos todos y como unos afectan a otros para que las acciones a tomar no alteren el balance existente dentro del sistema. Es primordial conocer los usos que se le dan a los recursos presentes por las comunidades que habitan en la cuenca para comprender sus limitantes y las necesidades a satisfacer, tanto por parte de la actividad humana como de los componente que se encuentran naturalmente en el área. Todos ellos contribuyen al estado del agua de la cuenca (Heathcote, 2009).

b. Elementos de una cuenca. De acuerdo a Faustino (1996:3), para definir a una cuenca como sistema se debe entender como «un sistema de relaciones sociales y económicas cuya base territorial y ambiental es un sistema de aguas que fluyen a» un mismo cuerpo de agua. Por ello se identifican cuatro elementos fundamentales cuyas interacciones influyen en el estado del recurso líquido: elementos biofísicos, socioculturales, económicos y demográficos (Faustino, 1996).

1) Elementos biofísicos. Comprenden los elementos abióticos y bióticos propios de la cuenca que se ven afectados por la acción humana y dependen del recurso hídrico. En cuanto a los elementos abióticos incluye las características geológicas, el estado atmosférico, condiciones climatológicas, ciclo hidrológico y topografía que influyen en las características hidrológicas del cuerpo de agua principal. Por ello, cualquier daño o alteración ocasionada a dichos componentes influyen directamente a la calidad del agua y a su disponibilidad (Faustino, 1996).

La geología determina la capacidad de absorción del suelo así como posibles minerales presentes en el agua. Esto en combinación con la topografía influye en la cantidad de escorrentía que se pueda acumular para alimentar al cuerpo de agua superficial o por medio de escorrentía subterránea a los reservorios por debajo del suelo. Por otro lado, es posible determinar los elementos bióticos, es decir la flora y fauna que habitan la cuenca, mediante índices que se miden en determinados puntos para comprender cuales son los seres vivos que dependen del sistema y la interacción e interdependencia existente entre ellos. La flora en conjunto con las características fisiográficas tiene una gran influencia en la escorrentía que se pueda formar de acuerdo a las transformaciones que ocurran debido a la acción humana. Por ello, resulta de suma importancia conocer el uso

del suelo de la zona así como sus características para evaluar las posibles respuestas del sistema y actuar ante las consecuencias que estas acarreen (Heathcote, 2009).

2) Elementos socioculturales y demográficos. Los elementos socioculturales se refieren a las características propias de los habitantes de las comunidades que se encuentran dentro de la zona de influencia de las cuencas. Se toman en cuenta a las actividades que los pobladores realicen dentro de la cuenca, que forman parte e influyen en el resto de interacciones del sistema de la cuenca. Así se incluyen en este ámbito los temas de deforestación y pérdida de productividad, además de la degradación del suelo y otros que afectan a los elementos biofísicos directamente. Sin embargo, también los problemas que se pueden encontrar hacia los habitantes debido a las consecuencias relacionadas a su actuar o a las simples características biofísicas del área se deben considerar (Aguilar, 2007).

Los aspectos que se deben considerar abarcan desde los niveles educativos hasta la estratificación social, así como las prácticas que la población emplee en sus actividades. Se debe agregar el conocimiento de los distintos grupos culturales presentes, así como posibles conflictos que se hayan levantado en torno a la disposición de los recursos naturales (Faustino, 1996). De acuerdo a Heathcote (2009), comprender el componente social proporciona herramientas para pronosticar las posibles actitudes que se manifiesten ante distintas acciones y decisiones que se tomen sobre los recursos de la zona.

En esta categoría cabría mencionar aquellas características o sitios de importancia cultural o histórica que se encuentren dentro de la cuenca. Cualquier acción que perjudique a dichos lugares puede afectar al legado de las comunidades que en ella habiten. Comprenden todas las áreas destinadas a alguna actividad en específico que sea de importancia para los habitantes, lo cual debe ser tomado en cuenta a la hora de toma de decisiones (Heathcote, 2009).

En cuanto a los aspectos demográficos se refiere, comprende las características de crecimiento poblacional así como la dinámica de los centros poblados. Esto considera pues el avance del área poblada, la aparición de nuevos polos urbanos y como se distribuye la población en estos (Faustino, 1996).

3) Elementos económicos. Tiene relación al uso que se le da a la tierra en cuanto a producción de bienes y servicios en la región. De acuerdo a Faustino (1996:5), se considera:

«tipo de cultivos, tamaño de propiedad y tenencia de tierras, consumo, número de predios, costo de insumos, rubros de inversión, valor del recurso, nivel y sistemas de producción».

Como se observa, se incluyen aspectos relacionados a la cadena de valor de los productos generados en las comunidades desde el espacio que se necesita para la generación de la materia prima hasta los sistemas productivos existentes. Este, además, resulta un indicador que se puede incluir en el perfil ambiental de un país o región, junto al indicador social, pues toma en cuenta los recursos necesarios para la comunidad como para las actividades económicas que se llevan a cabo (Winograd, 1995). Un problema que se puede considerar a

partir de los aspectos sociales es en relación a la «perdida de productividad de los ecosistemas» y la «vulnerabilidad ante riesgos naturales y la vulnerabilidad alimentaria» pues influye en el desarrollo económico de las comunidades en la cuenca que dependen de los aspectos biofísicos presentes (Aguilar, 2007:11).

c. Partes de una cuenca hidrográfica. Las cuencas pueden clasificarse según criterios físicos como la altitud. Esta característica permite dividir la cuenca en tres partes, la parte alta de la cuenca, conocida como zona de recolección, la parte media conocida como la zona de transporte y la parte baja conocida como zona de calma y desembocadura.

También se utiliza la topografía para definir de manera más acertada cada zona, basando la clasificación en la forma del terreno. De este modo las partes con accidentes geográficos más pronunciados (montañas o laderas) representan la zona de recolección, las partes onduladas (valles o pies de montaña) representan la zona de transporte y las secciones con muy poca pendiente (planicies, estuarios y humedales) la zona de desembocadura.

Ilustración 74. Partes de una cuenca con base en su altura.



Fuente: World Vision, s/f.

d. Divisorias. Se conoce de esta manera a los puntos de cota máxima de las montañas, laderas o colinas que delimitan el área superficial de una cuenca. Su función natural es dividir la precipitación que cae entre cuencas inmediatamente vecinas. Estas a su vez se utilizan para delimitar el área total de la cuenca.

Las divisorias pueden ser de dos tipos:

- **Divisorias topográficas o superficiales.** Estas se ubican en el punto más alto del terreno, generalmente en las crestas de montañas. Su función emula la de un “techo a dos aguas” dirigiendo el agua recibida por precipitación en diferentes direcciones, además permiten identificar el inicio de un nuevo cauce principal superficial.

- **Divisorias freáticas o subterráneas.** Delimita el embalse de agua subterráneo del que se deriva el caudal base de la cuenca. Este tipo de divisoria varía con el nivel freático, el cual es el nivel de agua bajo la superficie del terreno generada por la acumulación de agua.

Ilustración 75. Corte transversal de una cuenca hidrográfica.



Fuente: MONSALVE, 1999.

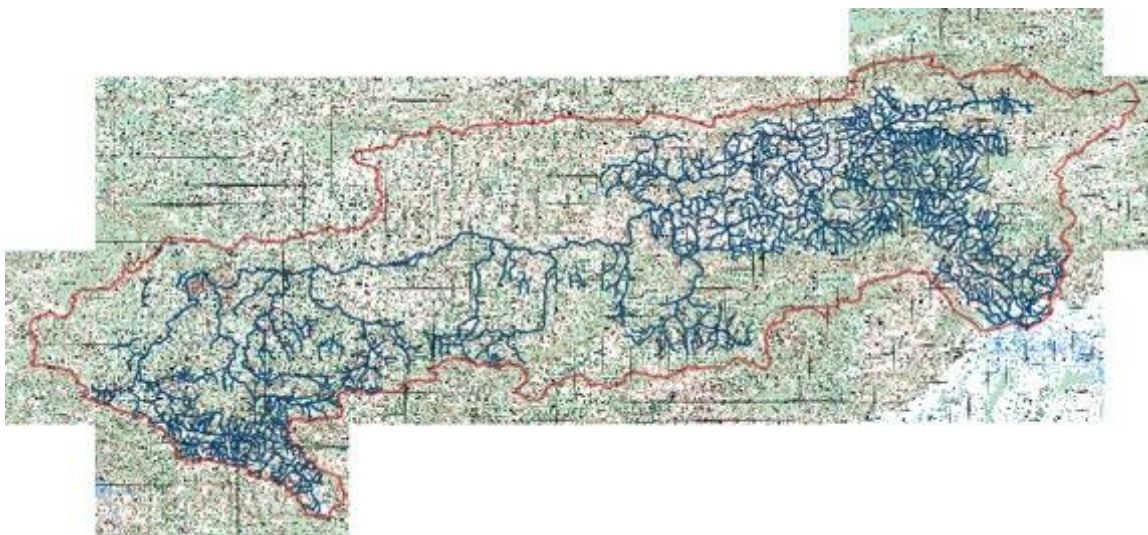
El método tradicional de delimitación consiste en trazar una línea siguiendo los puntos más altos de las divisorias que se encuentran alrededor de la cuenca. Para tener una idea de los puntos que se encuentran alrededor es importante contar con la posición del sistema hídrico y las ramificaciones de la cuenca que se vaya a estudiar. La línea de delimitación no podrá ser trazada a forma que se intersecte con ríos ni cuerpos de agua.

Ilustración 76. Método tradicional de trazo de la delimitación de cuenca, utilizando divisorias.



Fuente: Elaborado con información de IGN, 2009.

Ilustración 77. Trazo total de la cuenca Cahabón por método tradicional.



Fuente: Elaborado con información de IGN, 2009.

Ilustración 78. Ejemplo de error en delimitación, trazo intersectando un río que es parte de la cuenca.



Fuente: Elaborado con información de IGN,2009 y polígono proporcionado por MAGA, s/f.

Para una mejor visualización del área delimitada por el método tradicional ver: ANEXO. Delimitación de la cuenca con base en curvas de nivel.

e. Clasificación de cuencas hidrológicas.

1) Clasificación de cuencas por dirección de evacuación de aguas.

a) Exorreica. Es de este tipo cuando el punto de salida del agua se encuentra fuera de los límites de la cuenca a un sistema mayor de drenaje como un río o el mar.

b) Endorreica. Cuando el punto de salida de la cuenca se encuentra dentro de los límites de la misma por lo que el desfogue de la cuenca se realiza hacia un lago o laguna sin llegar al mar.

c) Arréica. Se define como arréica, cuando no logra drenar a un río, mar o lago. El desfogue de la cuenca se realiza mediante pérdidas como la evaporación o infiltración del agua en el suelo.

Ideas basadas en (World Vision).

2) Clasificación de los cursos de agua en una cuenca.

a) Cursos perennes o permanentes. Son escorrentías que poseen caudales constantes en cualquier época del año. El nivel freático ubicado debajo de las mismas, mantiene su caudal. Su representación gráfica en mapas y hojas cartográficas se realiza a través de líneas continuas.

b) Cursos intermitentes. Son escorrentías que se generan durante estaciones específicas del año. El nivel freático favorece la alimentación de la escorrentía en invierno pero esta desciende en verano. Su representación gráfica en mapas y hojas cartográficas se realiza a través de líneas intermitentes.

c) Cursos efímeros. Se generan exclusivamente al ocurrir precipitación. Esta genera escorrentía superficial. Un ejemplo de ellas son las áreas de captación.

Ideas basadas en (Colindres, 2006).

3) Clasificación de cuencas por área.

Tabla 27. Clasificación de cuencas con base en su área de escurrimiento.

UNIDAD	No. DE ORDEN.	AREA (Km ²)
Microcuenca	1, 2, 3	10 - 500
Subcuenca	4, 5	500 - 2000
Cuenca	6, 7 o más	Más de 2000

Fuente: Faustino, 1995.

No todas las cuencas hidrográficas cumplen con estas especificaciones debido a la escala de la información que se posea, ya que algunos ríos no se observan a ciertas escalas. De tal manera que quedará a criterio de la persona que describa su clasificación.

f. Descripción física de una cuenca. Para describir físicamente una cuenca se toman en cuenta diferentes aspectos geométricos. Estos se caracterizan por su capacidad de afectar el comportamiento potencial de la cuenca. Entre estos aspectos se encuentra:

1) Área. Se refiere a la cantidad de terreno plano drenable desde donde nace el cauce principal hasta el punto de salida, ambos ubicados dentro de las líneas divisorias topográficas. Es uno de los parámetros que más información proporciona sobre la cuenca ya que esta permite conocer la cantidad de agua que una cuenca puede captar, su importancia se ve reflejada en la fuerza de los caudales que cierta área pueda generar. Este parámetro se mide directamente de una fuente topográfica a través de software especializado, el uso de un planímetro o por método de descomposición geométrica del área.

Perímetro.

2) Perímetro. Es la longitud que posee el límite exterior de la cuenca, esta depende principalmente de la superficie y forma de la cuenca. Este parámetro se mide directamente de una fuente topográfica a través del uso de software especializado, el uso de un curvómetro o por el método del hilo metálico, el cual involucra el uso de la escala propuesta en el mapa utilizado para tener una referencia de la medida realizada en comparación a la longitud del hilo.

3) Longitud. Esta característica debe medirse en dos diferentes sentidos, cada uno con un propósito diferente. La primera es la longitud de la cuenca, esta se mide a través de una línea recta paralela al cauce principal. Esta medición se toma desde el punto de inicio del cauce, hasta el punto más lejano dentro de los límites del área de la cuenca.

La segunda es la longitud del cauce principal, esta debe tomarse en cuenta desde el punto de nacimiento del cauce principal, hasta el desfogue del mismo. Como en el caso del perímetro, este parámetro puede medirse directamente de una fuente topográfica a través del uso de software especializado y por el método del hilo metálico, el cual como se describió previamente involucra el uso de la escala propuesta en el mapa utilizado para tener una referencia de la medida realizada en comparación a la longitud del hilo.

4) Forma. La forma de la cuenca es una de las características más importantes ya que permite comparar la cantidad de escorrentía que pueden captar cuencas que poseen diferentes dimensiones. Esta comparación se realiza asumiendo que las cuencas a comparar poseen áreas similares y reciben una cantidad de lluvia semejante. También permite conocer un estimado del tiempo necesario para recorrer la cuenca desde sus extremos hasta la salida. Para determinar la forma de una cuenca se deben encontrar 2 datos elementales:

a) Coeficiente de compacidad. Es la relación entre el perímetro de la cuenca y la longitud de circunferencia de un círculo de área igual a la de la cuenca. Luchisheva (1950) Este trata de expresar la influencia del perímetro y el área de una cuenca en la escorrentía.

$$K_c = \frac{\text{Perímetro. Cuenca}}{\text{Perímetro. Círculo}} = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}} = 0.282 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

Donde P es el perímetro (km) y A es el área de la cuenca (km²). (Oñate) y (ECHO)

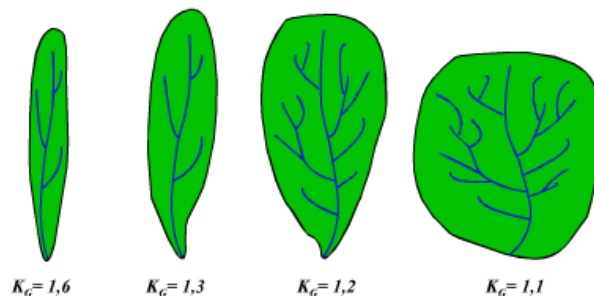
La irregularidad de forma de una cuenca es determinada por su semejanza a un círculo. Si una cuenca tiende a ser circular, esta poseerá un Kc cercano a 1, por lo que será más propensa a crecidas. Inversamente si una cuenca posee una forma más alargada y de menor semejanza a una circunferencia su coeficiente de compacidad será mayor, siendo menos vulnerable a crecidas.

Tabla 28. Valores del coeficiente de compacidad.

Kc	FORMA DE LA CUENCA	TENDENCIA A CRECIDAS
1-1.27	DE CASI REDONDA A OVAL REDONDA	ALTA
1.28-1.97	DE OVAL CUADRADA A CUADRADA	MEDIA
1.98-3.7	DE CUADRADA A RECTANGULAR	BAJA

Fuente: Elaborado con información de Zavoianu, 1978 y Oñate, s/f.

Ilustración 79. La cuenca tendrá apariencia similar a un círculo si su Kc es cercano a 1.



Fuente: Musy, 1998 y ECHO, s/f.

b) Factor de forma. Es la relación entre el ancho promedio y la longitud desde la salida hasta el límite de la cuenca.

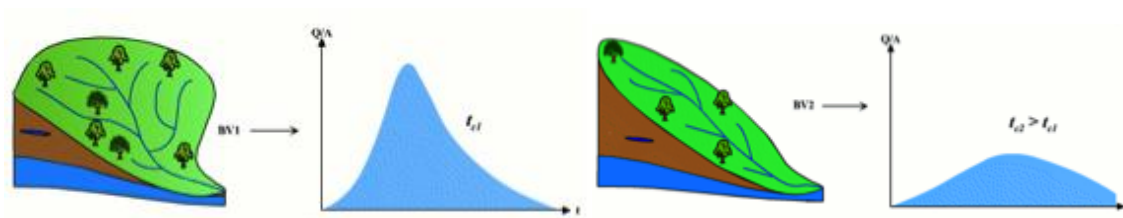
$$K_f = \frac{B}{L} = \frac{A}{L^2}$$

Donde B es el ancho promedio de la cuenca, L la longitud total de la cuenca, A el área de la cuenca.

(Colindres, 2006)

Si una cuenca posee un factor de forma bajo, se encuentra menos propensa a crecidas que una cuenca con la misma área y mayor factor de forma.

Ilustración 80. Representación gráfica de la tendencia a crecientes que posee una cuenca irregular y una cuenca circular.



Fuente: Musy, 1998 y ECHO, s/f.

g. Sistema de drenaje de una cuenca. El sistema de drenaje es una característica importante, ya que proporciona una idea preliminar de la rapidez con que se desaloja la cantidad de agua que recibe una cuenca, las condiciones del suelo y de la superficie de la cuenca. (Linsley, Kohler, & Paulus, 1977)

Horton sugirió el uso de números de orden de cauce para clasificar ríos como una medida de las ramificaciones con las que cuenta una cuenca hidrográfica. Para conocer el grado de ramificación de corrientes secundarias que llegan a unirse a una corriente principal en una cuenca, se utiliza el orden de corriente. El orden de una cuenca iniciará en 1 (primer orden) esta clasificación aumentará al momento de producirse una unión de 2 cauces del mismo orden.

- Los cauces de segundo orden se forman con la unión de dos cauces de primer orden. Por lo tanto sucesivamente un cauce de orden N se formará cuando 2 cauces de orden $N-1$ se unan.
- Cuando un cauce se une con un cauce de orden mayor, el canal resultante hacia aguas abajo retendrá el orden mayor.
- El orden de la cuenca es el mismo que el de su cauce principal de salida.

El número de orden depende de la escala del mapa utilizado ya que riachuelos, zanjas y otros canales intermitentes son poco visibles a gran escala. El uso de fotos cercanas al área de estudio ayuda a mejorar la identificación de estas ramificaciones, generando un número de orden con mayor precisión.

También propuesto por Horton el concepto de *relación de bifurcación* permitió definir la relación entre el número de ríos y el número de cauces. Estas relaciones de bifurcación por lo general generan valores entre 2 y 4. Esta información permite la propuesta de la ley del número de orden de los ríos.

$$N_u = r_b^{k-u}$$

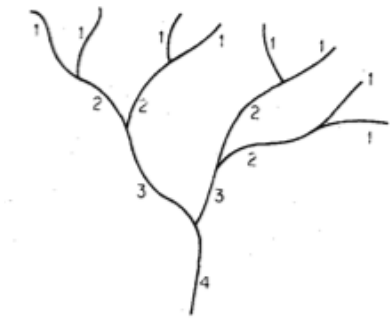
Donde:

N_u = Número de cauces de orden u .

r_b = relación de bifurcación.

k = número de orden del cauce principal

Ilustración 81. Esquema para la definición del número de orden de un río.



Fuente: Linsley, Kohler, & Paulus, 1977.

h. Densidad de drenaje de una cuenca. Es la relación entre la infiltración y la escorrentía, dando a conocer la permeabilidad que posee el terreno. En otras palabras permite conocer la facilidad que posee un terreno para evacuar la precipitación que cae sobre la superficie del suelo hacia las capas que lo componen. Si el subsuelo se encuentra saturado, la evacuación del agua resultará más difícil, por lo tanto si en estas condiciones la lluvia continúa almacenándose en la superficie, habrá un punto en el que el agua no puede ser drenada y esta fluirá hacia su cauce natural de manera superficial.

Para obtener la densidad de drenaje, se utiliza la longitud total de los cursos de agua de la cuenca dividido su área total.

$$D = \frac{L}{A}$$

Donde L es la longitud total de los cursos de agua y A es el área total de la cuenca.

Si una cuenca posee un drenaje cercano a los 0.5 km/km^2 se considera bajo y si se encuentra cercano a los 3.5 km/km^2 se consideran bien drenadas. (Oñate) (Linsley, Kohler, & Paulus, 1977)

Tabla 29. Clasificación de densidad de drenaje de una cuenca con base en sus características físicas.

Característica	Densidad Alta	Densidad Baja
Resistencia a la erosión	Materiales erosionables	Resistente
Permeabilidad	Suelos impermeables	Muy Permeable
Cobertura vegetal	Poca cobertura vegetal	Cobertura vegetal densa

Fuente: Elaborado con información de Linsley, Kohler, & Paulus, 1977.

i. Ventajas de una cuenca saludable. El agua en una cuenca se encuentra principalmente almacenada en el suelo, a través de los ríos y lagos que la componen. Para considerar una cuenca como saludable, es necesario que exista un abastecimiento constante de agua limpia, sobre tierra limpia, rica en nutrientes y sobre todo una amplia cantidad de vegetación.

Algunos puntos destacables de las ventajas de una cuenca saludable son:

- Los ríos y lagos que componen una cuenca sirven de sustento básico de agua para los seres vivos que la habitan (animales, plantas, personas). En el caso de las personas, los ríos proporcionan un recurso esencial para el riego de siembras. La limpieza del agua será fundamental para la calidad final de la cosecha.

- Las plantas y los árboles sanos ayudan a retener el agua condensada manteniéndola dentro de la cuenca. Estas permiten que el paso de lluvia sea más lento para que el agua tenga mayor probabilidad de infiltrarse en el suelo. El uso de vegetación es uno de los métodos más eficientes de prevención de deslaves y erosión de la tierra, sus raíces brindan sujeción al suelo, regulan la cantidad de agua reduciendo el ablandamiento del mismo. (Gobierno Nacional de la República del Ecuador, s.f.)

- Los humedales, que generalmente se encuentran ubicados al pie de las cuencas, ayudan a filtrar y limpiar el agua cuando esta se infiltra en el suelo, emulando el trabajo de un tamiz muy fino que permite filtrar algunos tóxicos del agua.

j. Deterioro de las cuencas hidrográficas. Anteriormente se describió la importancia de mantener una cuenca hidrográfica saludable. De igual manera se considerarán las consecuencias que genera el descuidar la salud de una cuenca.

Es importante tomar conciencia de los siguientes puntos que afectan la salud integral de cuencas hidrográficas:

- La destrucción o deterioro de humedales genera un rendimiento menor al momento de filtrar y limpiar la contaminación que contenga el agua proveniente de secciones más elevadas, esto expone la salud de comunidades, siembras, vegetación general y animales que habitan la zona.
- La deforestación lleva a la prolongación de periodos secos, volviéndolos más frecuentes. El suelo pierde capacidad de absorción facilitando la erosión del suelo, esto afecta directamente la producción de cultivos y por lo tanto el sustento de la población.
- Otro problema causado por la deforestación en una cuenca es la pérdida de agua disponible para la cuenca. Ya que durante el proceso de condensación del agua, cierta cantidad de vapor podría pasar de largo elevaciones de terreno de baja altura, lo cual a su vez generaría que la lluvia cayera en sobre una cuenca diferente.
- La combinación del deterioro de humedales y la deforestación genera inundaciones y estancamiento de agua en sectores bajos de la cuenca, siendo esta una amenaza económica y de salubridad.

B. Perfil medioambiental

1. La contaminación de los ríos. Desde la antigüedad hasta el día de hoy, los índices de contaminación de las corrientes superficiales se han ido acentuando conforme el crecimiento demográfico, de las grandes ciudades y de las poblaciones que se han asentado a las orillas, ha ido en un considerable aumento. Si bien, la contaminación de las aguas puede provenir de fuentes naturales como la ceniza que arroja un volcán en erupción o el mercurio y el arsénico que se encuentra naturalmente en la corteza terrestre, la mayor parte proviene de actividades humanas, el desarrollo, la industrialización y el uso de medios de transporte fluvial.

El volumen de contaminantes lanzados a los ríos en forma de desperdicios orgánicos producto de desagües cloacales, de restos sólidos vertidos en sus márgenes como colectores de basura y de desechos químicos a consecuencia del desarrollo industrial, se ha incrementado de tal manera que la calidad del agua deja de ser la natural por la degradación de su composición, además de transportar consigo productos tóxicos y sólidos que afecta tanto a la flora, así como la fauna que vive en el ecosistema como a los humanos que la consumen.

En los países donde la producción agrícola tiene una alta demanda, el uso continuo e indiscriminado de herbicidas e insecticidas provoca la polución química de los cursos de agua, causando daños severos a la cuenca hidrográfica que muchas veces son irreversibles y provocando tanto la pérdida de la biodiversidad en el ecosistema acuático como la afección de la calidad de vida de los individuos allí residentes.

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), el agua está contaminada cuando su composición se ha alterado de modo que no reúne las condiciones necesarias para el consumo humano, de los animales y las plantas. Por contaminación se entiende la presencia de sustancias químicas o de otra naturaleza en concentraciones superiores a las condiciones naturales. Entre los contaminantes más importantes se encuentran

los microbios, los nutrientes, los metales pesados, los químicos orgánicos, aceites y sedimentos; el calor también puede ser un agente contaminante, al elevar la temperatura del agua que aumenta la actividad microbiológica.

En comparación con las aguas subterráneas, las aguas superficiales son las más vulnerables a la contaminación de origen antropogénico por su exposición directa a la actividad humana. Por otra parte, mediante la sucesión natural de los ciclos de escorrentía estacionales, las fuentes de agua superficial pueden restaurarse más rápidamente que las subterráneas, aunque los efectos sobre la calidad del agua serán distintos para ríos y embalses y diferentes para acuíferos de roca o arena y grava.

A pesar de que los contaminantes constituyen la causa fundamental de la degradación de la calidad de agua en el mundo, la fuente principal de contaminación de las aguas superficiales es la falta de gestión y tratamiento adecuados de los residuos humanos, industriales y agrícolas. Aunque de forma natural la regeneración de los cursos de agua la efectúan los microorganismos que mantienen el equilibrio del nivel de concentración de las diferentes sustancias que puedan encontrarse disueltas, cuando la cantidad de contaminantes es excesiva o se encuentran inmersos sólidos y desechos tóxicos de origen químico, la recuperación de los ríos muchas veces resulta imposible.

Día tras día se vierten millones de metros cúbicos de aguas residuales sin tratar y de desechos industriales y agrícolas en los sistemas hídricos del mundo. El agua para consumo empieza a escasear y escaseará aún más a medida que avance el cambio climático. Si bien los recursos hídricos tienen una gran capacidad de recuperación, cada vez se vuelven más vulnerables a los efectos de la contaminación y se ven amenazados por la falta de un saneamiento adecuado. De continuar contaminando indiscriminadamente las fuentes de agua superficial, en un futuro cercano la creciente población tendrá que competir por la demanda de agua a fin de satisfacer sus necesidades de consumo y para preservar la producción de alimentos, la obtención de materias primas, la generación de energía y de todos aquellos servicios de que dependen de dicho recurso, sin descuidar que para este propósito es de vital importancia recuperar la naturaleza de los ecosistemas en grave peligro, los que se han convertido en las mayores víctimas de la contaminación y de la escasez de agua dulce.

2. Fuentes de contaminación antropogénica. Las fuentes de contaminación antropogénica pueden clasificarse según el origen de los contaminantes y desechos ocasionados por las distintas actividades humanas, de la manera siguiente:

- Las aguas servidas que provienen de núcleos urbanos contienen sustancias contaminantes entre excrementos, desechos sólidos, detergentes, aceites y otros compuestos que son tóxicos para la flora y fauna de los ecosistemas acuáticos. Presentan un color grisáceo por la gran cantidad de materia orgánica que transportan y contienen un cuantioso número de microorganismos, algunos de ellos patógenos, capaces de transmitir enfermedades. Este tipo de contaminación se estima en función del caudal y de la concentración de materias en

suspensión. Aunque algunas sustancias contaminantes son biodegradables, es conveniente que las aguas servidas sean tratadas previo a su descarga al río y retirados los sólidos.

- Las aguas residuales procedentes del riego y la ganadería aportan grandes cantidades de materia orgánica, nutrientes y microorganismos, además de transportar agentes tóxicos de herbicidas e insecticidas que provocan un efecto acumulativo y la polución química de los cursos de agua. Este tipo de contaminación es difusa por encontrarse extendida sobre grandes áreas, por lo que resulta prácticamente imposible su depuración.

- Los procesos industriales generan una gran variedad de aguas residuales en función de los usos a los que se destine el agua. Los contaminantes se encuentran disueltos o en suspensión y ser de origen orgánico, como los producidos por las plantas procesadoras de alimentos o de papel, e inorgánicos como aceites, ácidos, disolventes, etc., que por su naturaleza química no son biológicamente biodegradables.

- La generación de energía produce una serie de contaminantes que son vertidos en su mayoría al río sin ningún tipo de tratamiento; entre ellos, destacan los derivados por la quema de combustibles fósiles y por el sistema de refrigeración utilizado para controlar la temperatura de la energía que no se transforma en electricidad. Mientras los residuos que generan las centrales nucleares no cuentan con un tratamiento viable para su neutralización, los producidos por las centrales renovables también generan una serie de residuos una vez finalizado su ciclo de vida, como ocurre con las placas fotovoltaicas de energía solar. Las disposiciones de estos desechos contaminan las aguas subterráneas que posteriormente alimentan las corrientes de agua superficial.

- Las aguas residuales producidas por el vertimiento de subproductos de procesos mineros, constituidas por la concentración de minerales diluidos entre hierro, cobre, zinc, mercurio, plomo, arsénico y una gran cantidad de desechos tóxicos y de otras sustancias sumamente perjudiciales para las plantas, los animales y el propio ser humano, usualmente también contaminan las aguas subterráneas que posteriormente alimentan las corrientes de agua superficial.

- La inclusión de sustancias radioactivas en los torrentes superficiales, derivados de los residuos de materiales radiactivos producidos por la minería y el refinado del uranio y el torio utilizado con fines industriales, energéticos, médicos y científicos, provocan daños irreversibles a los ecosistemas y pone en riesgo la calidad del agua para el consumo humano, animal y vegetal.

3. Los efectos que provoca la contaminación sobre las aguas superficiales. Los efectos que provoca la contaminación sobre las aguas superficiales están en relación con los propósitos y usos de su utilización o con su función ecológica dentro del ecosistema a fin de preservar la biodiversidad acuática y terrestre; entre algunos de los efectos que producen los elementos contaminantes se mencionan los siguientes:

a. Los sólidos en suspensión. Absorben la radiación solar, lo cual provoca la disminución de la actividad fotosintética de la vegetación acuática y como consecuencia, la reducción del oxígeno disuelto; al mismo tiempo que enturbian el agua obstruyen los cauces y embalses. Cuando intervienen en los procesos de producción industrial pueden corroer los materiales, lo que encarece el costo de saneamiento del agua.

b. Las grasas y los aceites. Los cuales por ser menos densos y no poderse mezclar con el agua, flotan y se esparcen de modo que pequeñas cantidades cubren grandes superficies de agua que disipan la radiación solar, lo cual disminuye la actividad fotosintética de la vegetación acuática trayendo como consecuencia, la reducción de la producción interna de oxígeno disuelto y la capacidad de re-oxigenación del agua por su contacto directo con el aire. Cuando intervienen en los procesos de producción industrial suelen acarrear algunos aceites que pueden ser extremadamente tóxicos, especialmente los minerales, lo que encarece los tratamientos de saneamiento del agua.

c. Los fenoles. Son compuestos orgánicos aromáticos que resultan de la contaminación ambiental y de los procesos naturales de descomposición de la materia orgánica, tienen cierto carácter ácido y forman sales metálicas que le confieren al agua un sabor y olor desagradables. Los clorofenoles, que son compuestos empleados en numerosos procesos relacionados con la fabricación de herbicidas, fungicidas, pesticidas, productos farmacéuticos y pinturas, constituyen un grave riesgo para la salud y los ecosistemas, además de conferirle un olor y sabor muy desagradable al agua. Los peces, especialmente las especies como la trucha y el salmón y las anguilas los acumulan.

d. Los detergentes. Modifican las propiedades físico-químicas del agua. Cuando incluyen ciertos aditivos como blanqueadores, fragancias, abrillantadores ópticos (tinturas que le dan a la ropa un aspecto de limpieza) o agentes espumantes, se pueden convertir en graves contaminantes del agua; el principal aditivo son compuestos denominados en forma genérica fosfatos, que actúan como elemento nutritivo para algas y plantas acuáticas, lo que a su vez provoca la degradación de las aguas naturales. Actualmente se encuentran en el mercado los llamados detergentes anti-bacteriales, que contienen agentes bactericidas, cuya concentración en exceso elimina a los microorganismos capaces de degradar ciertas sustancias nocivas, incluidas las de los propios detergentes. También se hallan los detergentes biológicos, que contienen enzimas las cuales atacan sustratos orgánicos específicos, generalmente las proteínas y los lípidos, pero el exceso de su concentración daña directamente a los seres vivos que las ingestan y a los nutrientes que componen su dieta alimenticia. Los detergentes arrastran consigo la parte de la suciedad no soluble formando emulsiones que se acumulaban en los ríos junto a las capas de espuma, en algunos casos de varios metros de altura, que afectan grandemente a los procesos de regeneración de las aguas.

Ilustración 82. Contaminación por detergentes



(Rodríguez, Monserrat Aguilar, Ríos, Soto, & Guzmán, 2010)

Entre algunos de los efectos nocivos de los detergentes se pueden mencionar los siguientes:

1) La formación de espumas, que además de representar una virulenta alteración del paisaje, incrementan la posibilidad de transportar bacterias patógenas y concentrar virus (hepatitis y polio). Aunque la producción de espuma no tiene nada que ver con la eficacia del detergente, limita el acceso del oxígeno a las corrientes de agua y aumenta la toxicidad de otros microcontaminantes de enorme acción cancerígena.

2) **La disminución de la velocidad de los procesos de regeneración del agua** y la inhibición de la actividad de las bacterias celulolíticas que colonizan la superficie de restos vegetales, las que poseen un complejo de varias enzimas con funciones específicas en la degradación y la oxidación escalonada de diversos substratos y en los productos finales de su fermentación.

3) **La alteración en la transferencia y la disolución del oxígeno**, a consecuencia de la formación de una película superficial que, además de reducir la capacidad de re-oxigenación del agua por su contacto directo con el aire, disipa la radiación solar, lo cual disminuye la actividad fotosintética de la vegetación acuática reduciéndose entonces la producción interna de oxígeno disuelto, y en consecuencia, impiden la regeneración de las corrientes de agua.

4) **La perturbación de los procesos de sedimentación**, que según las variaciones en el tamaño de las partículas detergentes en suspensión y de acuerdo a la inclusión de ciertas sales minerales que forman parte de su formulación, se aumenta la velocidad de caída de las partículas superiores a 25 micras.

5) **La disminución del rendimiento de los procesos de regeneración biológica**, producidos por bacterias capaces de metabolizar como nutrientes los contaminantes biológicos presentes en esa agua (lodos activos) o que eliminan una amplia gama de compuestos contaminantes mediante procesos biológicos (biofiltros).

6) **La alteración de la permeabilidad de los suelos**, lo que facilita la penetración de microorganismos en las aguas subterráneas; los detergentes facilitan el desplazamiento de bacterias que viven en las heces fecales, como las del género bacilo-coliformes, que producen patologías como la disentería bacilar, salmonelosis y tifoidea, contaminando las aguas del subsuelo.

7) **La concentración de nutrientes para algas y plantas acuáticas**, producidos por los detergentes cuya formulación contienen nitratos y fosfatos, que marcan elevados niveles de actividad microbiológica y el incremento excesivo de la flora acuática, fenómeno conocido como “eutrofia”, que conduce al deterioro de las fuentes de agua superficial produciendo turbiedad, cambios de coloración, olores y sabores nauseabundos. Aunque este fenómeno raramente se presenta en el curso alto del río donde el agua encuentra un estancamiento, suele aparecer en los remansos del cauce y en los embalses que se forma por la topografía del terreno en los cursos medio y bajo de la corriente superficial.

8) **La alteración del olor y el sabor de las aguas**, cuando se acumulan grandes cantidades de detergentes que arrastran consigo la parte de la suciedad no soluble formando emulsiones

9) **La transportación de agentes tóxicos, de acuerdo a su origen**, temporalidad de sus efectos, niveles de toxicidad, cantidades de concentración, afecta directamente la cantidad y calidad del agua disponible

para los usos a que se destine, acorta el tiempo de vida de los ecosistemas y ponen en riesgo a las especies nativas, así como a la salud de los humanos que la consumen. Al utilizar aguas que contengan detergentes para irrigación, se contaminan los suelos y por consiguiente, los cultivos.

e. Los hidrocarburos. Son compuestos orgánicos formados únicamente por átomos de carbono e hidrógeno, que se encuentran en el petróleo, el carbón, en los depósitos de alquitrán y como productos derivados por la utilización de combustibles, ya sean fósiles o biocarburantes (combustibles derivados de fuentes biológicas o de la biomasa, el material biológico utilizado como biocombustible), producidos a partir del aprovechamiento de los residuos de la materia orgánica e industrial y que también se hallan en los bosques de abetos y hayas, modifican las propiedades físico-químicas del agua.

A pesar de ser biodegradables y los procesos de potabilización eliminan la mayor parte de los mismos, suele haber una preocupación debido a que algunos compuestos, que apenas se acumulan en el cuerpo porque se metabolizan muy rápidamente, han sido identificados como agentes cancerígenos y causantes de fenómenos de mutación y de malformaciones o anomalías congénitas; asimismo, porque se sospecha que los detergentes potencian su toxicidad.

f. Los efectos de la contaminación del petróleo. generados durante las operaciones de su explotación y por los derramamientos ocasionados durante su transporte, tienen una incidencia directa e indirecta sobre la contaminación del medio ambiente, de los suelos y de las aguas superficiales y subterráneas, cuyos efectos pueden manifestarse en el corto y largo plazo.

Los derrames de petróleo y los desechos producen la alteración del sustrato original que deja a los suelos inutilizables durante años y sobre las aguas superficiales produce la disminución del contenido de oxígeno disuelto y el aporte de sólidos y de sustancias orgánicas e inorgánicas. En los ecosistemas, los efectos de la fijación del petróleo sobre la flora y la fauna son desastrosos; provocan el envenenamiento por su ingestión directa o de agua y vegetación contaminadas; sobre las aves puede ser letal, ya que la impregnación de las plumas las incapacita para el vuelo y la flotación.

Ilustración 83. Efectos de contaminación del petróleo



Perez, 2012

g. Las sustancias húmicas. Proviene de la descomposición de los restos orgánicos por organismos y microorganismos, son relativamente estables contra las degradaciones bioquímicas; son transportadas a través de los cursos de agua superficial y depositadas en las zonas donde la pendiente se torna bastante suave o cuando se acerca a su desembocadura, curso bajo, en los océanos, lagos, lagunas o embalses artificiales, donde forman complejos compuestos orgánicos que las protegen de la descomposición microbiana. Un medio rico de sustancias húmicas pueden tener efectos perjudiciales en los ecosistemas acuáticos; provocan una baja productividad debido a la inmovilización de micronutrientes; absorben la luz solar que limita la actividad fotosintética de la vegetación acuática lo cual reduce el oxígeno disuelto; las altas concentraciones obstruyen los cauces y embalses al mismo tiempo que enturbian el agua; producen una acidez excesiva y sustancias como fenoles que le confieren al agua un sabor y olor muy desagradables.

Ilustración 84. Sustancias húmicas



Moreno, 2012

h. La materia orgánica. produce efectos diferentes según se trate de materia orgánica biodegradable o no biodegradable. Los procesos de biodegradación provocan una disminución del oxígeno disuelto lo cual reduce la capacidad de regeneración del agua y produce la disolución de minerales y nutrientes que se encuentran en los sedimentos; al llegar a ser totalmente consumido, la vida animal y vegetal desaparece y en su lugar surgen compuestos típicos de la putrefacción, que llenan el agua de malos olores y le dan un aspecto nauseabundo al paisaje, disminuyendo drásticamente la calidad del agua y contaminando el ecosistema. La materia orgánica que no es biodegradable puede presentar efectos diferentes, como su acumulación en los tejidos animales y la toxicidad que ello representa.

Ilustración 85. Materia orgánica



Moreno, 2012

i. La materia inorgánica. Presente en los residuos líquidos que generan actividades industriales y mineras o en los compuestos químicos de pesticidas, herbicidas, insecticidas o plaguicidas, causan efectos de características muy diversas. Pueden ser tóxicos, como los efectos producidos por la concentración de sales de los metales pesados, como el plomo que es sumamente tóxico al acumularse en el organismo o el mercurio que es más tóxico aún, o el cromo, cobre, cadmio, zinc, entre otros. Los efectos inductivos, como los producidos por la acidez y la alcalinidad, varían la toxicidad de algunas sustancias y disuelven los precipitados químicos (cristales o sólidos). Los microorganismos presentes en el agua transforman estos compuestos en otros compuestos más tóxicos aún que es fácilmente son asimilados y concentrados por la cadena alimenticia hasta llegar a la población humana con mayor frecuencia a través de los peces.

j. Los compuestos orgánicos sintéticos. Relativamente estables y difíciles o lentamente degradables, presentes en los pesticidas, son sustancias capaces de bio-acumularse y amplificarse a lo largo de la cadena alimenticia de los ecosistemas, cuyos efectos tóxicos son distintos para los diferentes tipos de organismos, manifestando su toxicidad de forma aguda y sobre todo, crónica.

k. La salinidad del agua. Disminuye la concentración de oxígeno disuelto, favorece la formación de espumas y aumenta la presión osmótica (que regula la entrada y salida de un flujo a través de una membrana semipermeable). Por otra parte, la presencia de sales inorgánicas en grandes cantidades inutiliza los procesos industriales y producir incrustaciones.

l. Los efectos del calor. Que provocan la disminución del oxígeno disuelto y actúa directamente sobre el metabolismo de las especies acuáticas. El aumento de temperatura incrementa las velocidades de reacción biológicas y la solubilidad de algunos compuestos orgánicos e inorgánicos.

m. Los efectos provocados por microorganismos patógenos. Habitan o son transportados por las corrientes de agua superficial, según la Organización Mundial de la Salud (OMS), son los siguientes:

1) **Virus.** Infecciones víricas, inflamaciones cutáneas y oculares.

2) **Bacterias.** Infecciones gastrointestinales, endémicas o epidémicas, como el cólera, la fiebre tifoidea o la salmonelosis, entre otras.

3) **Protozoos y metazoos.** Enfermedades parasitarias como la hidatidosis, esquistosomiasis y otras.

n. Los efectos provocados por contaminación acústica. Producidos por todo tipo de embarcaciones, incluyendo las dedicadas a actividades deportivas y recreativas, afecta especialmente a la fauna acuática.

4. Caracterización del agua. Antes de someter cualquier agua residual a un proceso de saneamiento se debe examinar su composición con el objeto de conocer los elementos químicos y biológicos que contiene, a fin de que dicha información permita a los Ingenieros expertos en el tratamiento de aguas diseñar plantas apropiadas de acuerdo al tipo de agua residual que será procesada.

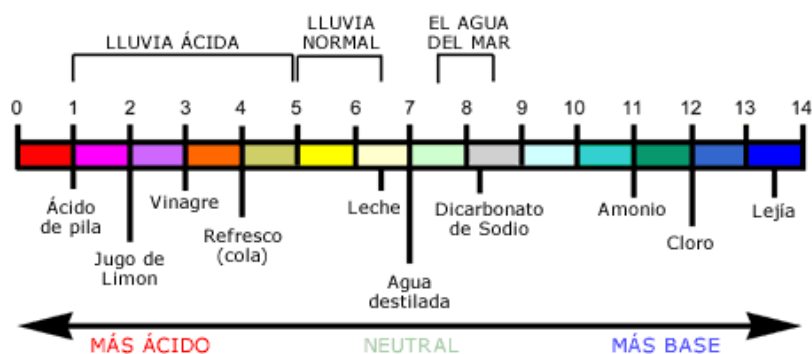
La caracterización del agua depende del uso que se le va a dar. Para saber si el agua es o no nociva para la salud, sus características se determinan mediante análisis de laboratorio físicos, químicos y microbiológicos, de compuestos orgánicos y metales.

a. Análisis físicos. La apariencia física del agua puede resultar engañosa con respecto a su calidad. Un agua que contenga cianuro sódico, incoloro, procedente de la actividad minera, la convierte en venenosa, aun conservando un buen aspecto.

Los exámenes físicos que se realizan a las muestras de agua residual permiten conocer las características del cuerpo acuático a tratar, como el olor, el sabor, la apariencia y la aceptabilidad del agua de una manera general. Entre los análisis físicos más comunes se enumeran las siguientes:

1) Análisis del “potencial de Hidrógeno” o valor de “pH”

Ilustración 86. Indicador universal (papel de tornasol)



Patricio, 2011

El valor de pH indica la acidez, neutralidad o alcalinidad del agua. Este valor adquiere importancia debido a que es esencial para la vida acuática, en especial, la de los peces. Un pH menor que 7 indica que es ácida, característica que provoca la corrosión de las tuberías de hierro; si el pH es equivalente a 7 señala que es neutra; y si el pH es mayor que 7, la solución es alcalina, particularidad que reviste suma importancia en los procesos de potabilización del agua.

2) **Turbidez.** La apariencia del agua en base a su turbidez marca un rasgo estético o de rechazo. Se mide por la interferencia que las partículas en suspensión presentan al paso de la luz. La falta de transparencia se debe a la presencia de partículas en suspensión; cuantos más sólidos en suspensión tenga el agua, más sucia parecerá y más alta será la turbidez. Se produce por la presencia de arcillas, lodo, partículas orgánicas e inorgánicas, metales pesados, microorganismos y cuerpos similares en dilución. La turbidez provee una noción de la eficiencia de su tratamiento, al ser considerada una buena medida de la calidad del agua, cuanto más turbia, menor será su calidad. Se mide en Unidades Nefelométricas de turbidez (NTU -Nephelometric Turbidity Unit). Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), la turbidez del agua para consumo humano no debe superar en ningún caso las 5 NTU y será ideal por debajo de 1 NTU.

Ilustración 87. Calidad del agua, turbidez



Meres, 2013

3) **Color.** El color constituye una característica de orden estético y su acentuada concentración puede causar cierto rechazo, aunque siempre que hay color, la calidad del agua es deficiente. El color del agua se debe a la presencia de sustancias orgánicas e inorgánicas disueltas o en suspensión y de microorganismos y otros cuerpos vivos, como las algas. Las arcillas y los ácidos húmicos tiñen el agua de color marrón y los sedimentos glaciares de gris; ciertas algas dan un aspecto lechoso, verde o rojizo; y algunas bacterias provocan rojizos intensos o verdosos. El color amarillento lo da el azufre contenido en el ácido sulfúrico procedente de la actividad minera y el hierro; este color está disuelto en el agua, no es debido por partículas suspendidas.

Ilustración 88. Calidad del agua, color



Admin, 2012

4) **Olor y sabor.** Todas las sustancias inorgánicas y los organismos vivos como las algas y el plancton pueden producir olores y sabores desagradables, según el nivel de concentración en que se encuentren. Por lo general, sólo el análisis del olor se realiza debido a que el olfato humano es más sensible que el paladar.

El olor puede ser indicativo de contaminación de diversos tipos. Los olores del agua pueden ser producidos por productos químicos, materia orgánica en descomposición y bacterias.

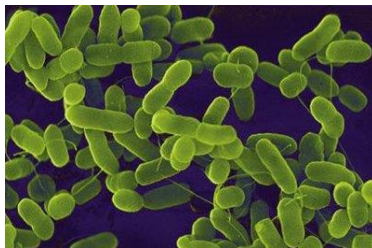
Un agua potable debe tener un sabor débil y agradable. Las aguas muy puras son menos agradables, debido a que tienen menos minerales. Los cloruros le dan sabor salobre, el magnesio lo produce amargo y el aluminio un sabor terroso. El agua adquiere un sabor a remedio cuando en los procesos de saneamiento los compuestos de fenol se mezclan con el cloro. Salvo el sabor debido a minerales que es fácilmente apreciable, el resto son indicadores de contaminación o de la existencia de algas; las algas verdes dan un sabor a hierba y las verdes-azuladas un sabor a podrido.

b. Análisis químicos. Los análisis químicos se han convertido en una de las principales exigencias para la caracterización del agua. La Organización Mundial de la Salud (OMS) señala que los contaminantes químicos pueden afectar la salud después de una exposición prolongada; los que generan especial inquietud son los que tienen propiedades tóxicas acumulativas, como los metales pesados y las sustancias cancerígenas. El cadmio, el cianuro, el cobre, el mercurio y el plomo destacan entre las sustancias químicas nocivas para la salud y que dañan el agua potable. Los desinfectantes químicos empleados en los procesos de tratamiento del agua inducen la formación de productos secundarios, algunos potencialmente peligrosos. Por otro lado, sustancias químicas como el cloruro, el cobre, el manganeso y el total de sólidos disueltos, pueden producir olores y sabores desagradables, turbidez y corrosión, entre otros.

Otro análisis corresponde a la dureza del agua, causada por las concentraciones de calcio y magnesio que se hallan disueltos; mientras el agua “dura” tiene una elevada concentración el agua “blanda” las contiene en muy poca cantidad. Aunque la OMS señala que la dureza del agua no produce ningún efecto pernicioso para la salud, estudios han demostrado que hay una relación con las enfermedades cardiovasculares.

c. Análisis bacteriológicos. Los análisis bacteriológicos son indispensables para determinar la potabilidad del agua o destinarla a otros usos. Sin embargo, realizar este tipo de análisis para descartar la presencia de organismos patógenos en el agua es muy compleja, debido a que las bacterias se encuentran en el agua en una cantidad reducida y su presencia no es permanente. El método para constatar la presencia de bacterias se basa en la detección de las bacterias pertenecientes al grupo coliforme, que son organismos indicadores de contaminación fecal.

Ilustración 89. Bacteria perteneciente al grupo coliforme



Rossini, Estrada, Beltran, & Rios, 2014

Aunque desde el punto de vista bacteriológico, la ausencia de coliformes indica que el agua es potable, en la actualidad se examina la existencia de estreptococos fecales provenientes de las heces de origen humano, que si bien, habitan en menor número, no se multiplican en el agua, lo que determina un conteo más exacto.

Los exámenes bacteriológicos también permiten determinar las características del agua para un determinado uso: consumo, recreación, irrigación, etc.; medir de la eficacia de las plantas de tratamiento de agua: agua en estado natural, decantada, filtrada y clorada; y permite efectuar un control de la potabilidad del agua distribuida.

Para ello se efectúan las siguientes pruebas bacteriológicas:

1) **Colimetría**, que son exámenes que se realizan para determinar el índice de contaminación fecal de las aguas, tanto naturales como residuales, medida por el número de bacterias coliformes que contienen, ya sea de manera:

- **Presuntiva**, cuando se sospecha la posible presencia de contaminación fecal.
- **Confirmativa**, cuando la colimetría presuntiva ha dado positivo, por lo que es necesario determinar el nivel de concentración de la contaminación fecal.

En los procesos de tratamiento de las aguas residuales las pruebas bacteriológicas de colimetría se llevan a cabo de la siguiente forma:

- En el agua de la fuente, el examen debe ser realizado mensualmente como mínimo.
- En el agua tratada y clorada, a la salida de la estación, el examen debe ser diario.
- En el agua presente en los distintos puntos de la red, el examen debe ser diario.

2) **Conteo de colonias en placas de cultivo**, que son exámenes que se realizan al menos cada 48 horas en las distintas fases del saneamiento del agua: en fuente, decantada, filtrada y clorada, para controlar la eficacia del proceso de tratamiento y el estado de profilaxis (higiene) de filtros y decantadores.

La colimetría se realiza a manera de expresar el resultado de acuerdo al Número Más Probable (NMP), que es el cálculo de la densidad probable de bacterias coliformes en la combinación de resultados positivos y negativos obtenidos en cada dilución, en cada 100 cc de agua.

El conteo de colonias se realiza generalmente en discos de Petri, un recipiente redondo de cristal o plástico con una cubierta para cerrar el recipiente, aunque no de forma hermética, al que se le agrega una

gelosa nutritiva como medio de cultivo, que son mantenidos de 24 a 48 horas entre 35 y 37° de temperatura en el Laboratorio.

La colimetría deberá demostrar un máximo de 10 coliformes expresados como NMP por 100 cc de agua y la ausencia permanente de *E. coli* (*Escherichia coli*), una bacteria que contiene más de 30 géneros y más de 100 especies que pueden tener morfología de cocos o bacilos, que se encuentra generalmente en los intestinos animales y por ende, en las aguas negras. El conteo en placas demostrará un máximo de 200 colonias por cc de agua. Las siembras de agua para la colimetría y el conteo en placas deberán ser realizadas en el mismo momento, breve tiempo después de la extracción de las muestras.

Ilustración 90. Análisis de colimetría



Organización Mundial de la Salud, 2012

En Guatemala, las normas de calidad del agua para su consumo se detallan en el Acuerdo Ministerial No. 523-2013 de fecha 3 de octubre de 2013, emanados por el Ministro de Salud Pública y Asistencia Social, el cual emite el “MANUAL DE ESPECIFICACIONES PARA LA VIGILANCIA Y EL CONTROL DE LA CALIDAD DEL AGUA PARA CONSUMO HUMANO”.

5. Las aguas residuales. Desde la antigüedad, el hombre ha buscado métodos para la disposición de las aguas, que después de haberlas utilizado con diversos propósitos, su calidad ya no era la adecuada para ser reutilizadas con otras distintas intenciones; es así como en lugares prehistóricos de Creta y en las antiguas ciudades asirias se han encontrado instalaciones de alcantarillado, destacando las canalizaciones de desagüe construidas por los romanos, algunas todavía en funcionamiento en nuestros días.

Ilustración 91. Instalaciones de alcantarillado del Foro Romano



Mar Borque & Asociados, S.L., 2012

Siglos más tarde, la costumbre de construir desagües en forma de canales al aire libre, donde junto con el agua viajaban grandes cantidades de materia orgánica y otros desechos sólidos que además de causar malos olores eran fuentes de enfermedades, fue transformarse y nuevos sistemas de redes de alcantarillado subterráneo, cuya función principal era el drenaje de las aguas domésticas, fueron desarrollados en las grandes metrópolis urbanas. Desde los comienzos del siglo XX, algunas ciudades industriales comenzaron a reconocer que el vertido directo de desechos en los ríos provocaba problemas sanitarios, trayendo consigo la construcción de instalaciones de depuración dedicadas inicialmente a la remoción de materiales sólidos y a degradar la materia orgánica soluble mediante tratamientos físicos y químicos, lo que más tarde llevó a la introducción de los tratamientos biológicos que han perdurado hasta nuestros días.

Hoy en día, el concepto de aguas residuales se refiere a aquellas aguas que después de haber sido utilizadas para el consumo doméstico y urbano, procedentes del riego y la ganadería, empleada para la generación de energía o en los procesos industriales y mineros o en cualquier otro tipo de actividad antropogénica donde se afectó negativamente su calidad, incluyendo las aguas que se mezclaron con las anteriores, ya sean aguas pluviales o naturales, son dispuestas en los cauces o embalses hídricos sin ninguna clase de tratamiento.

Según la Organización para la Alimentación y la Agricultura (FAO -Food and Agriculture Organization-), las aguas residuales se definen como el agua que no tiene valor inmediato para el fin para el que se utilizó ni para el propósito para el que se produjo debido a su calidad, cantidad o al momento en que se dispone de ella. No obstante, las aguas residuales de un usuario pueden servir de suministro para otro usuario en otro lugar. Las aguas de refrigeración no se consideran aguas residuales.

6. Clasificación de las aguas residuales según su origen. La procedencia de las aguas residuales influye directamente sobre el tipo, cantidad y toxicidad de los contaminantes que transportan, lo que origina una clasificación genérica para diferenciar unas de las otras: las llamadas “aguas servidas”, que son las aguas residuales contaminadas con heces, orina y otros desechos orgánicos, a las que también se les conoce como “aguas negras” debido a la coloración oscura que presentan, “fecales” por acarrear excrementos o “cloacales” ya que son conducidas por sistemas de alcantarillado (del latín cloaca, que significa alcantarilla) y los llamados “vertidos”, que transportan las impurezas procedentes de procesos productores de desechos energéticos, industriales y mineros; la genealogía de los vertidos industriales es muy variada y dependen según sea el tipo de industria.

Nuevos criterios han dado lugar a distintas catalogaciones de las aguas residuales de acuerdo a su origen, entre ellos, la siguiente clasificación:

a. Domésticas. Son las aguas que fueron utilizadas con fines alimenticios, higiénicos, ornamentales, limpieza, etc.; también se incluyen los desechos originados en establecimientos comerciales, públicos y similares. Consisten básicamente en residuos humanos y orgánicos, aunque también se incluyen los detergentes, jabones, aceites y grasas que llegan a las redes de alcantarillado.

Ilustración 92. Sistema alcantarillado doméstico



EcoPeriodismo, 2011

b. Industriales. Se refieren a los residuos líquidos generados por la actividad industrial en los distintos procesos de producción, transformación o manipulación. Poseen características específicas, dependiendo del tipo de industria. Contienen casi todos los tipos de contaminantes entre materias orgánicas, minerales, metales pesados, además de ocasionar la contaminación térmica del medio hídrico receptor por las aguas de refrigeración.

Ilustración 93. Sistema alcantarillado industrial



Seresponsible.com, 2014

c. Agrícolas. Son las aguas cuyo uso fue destinado a la agricultura, la ganadería y granjas avícolas, cuya disposición final contaminan las fuentes superficiales y las aguas subterráneas al filtrarse al subsuelo. Son la fuente de muchos contaminantes orgánicos e inorgánicos de las aguas superficiales y subterráneas. Estos contaminantes incluyen a los sedimentos procedentes de la erosión de las tierras de cultivo como a los compuestos de fósforo y nitrógeno que proceden de los residuos animales y del uso de fertilizantes comerciales. Los excrementos animales, así como los residuos provenientes de los criaderos industriales y los rastros, a menudo albergan organismos patógenos.

Ilustración 94. Sistema alcantarillado agrícola



Agromeat, 2014

d. Mineras. Se refieren a los desechos líquidos y lodos generados en los distintos procesos de extracción, tratamiento y refinación, además de los asociados con la maquinaria utilizada (aceites, grasas lubricantes, líquidos hidráulicos, etc.). Mientras que los residuos de la extracción incluyen el suelo vegetal, materiales inertes y minerales disueltos, los derivados de los procesos del tratamiento varían de acuerdo a la técnica utilizada y a los reactivos empleados, amalgamando los lodos residuales contenidos de ácido sulfúrico y cianuro sódico, metales pesados, escorias vítreas, cenizas y lodos solidificados, lodos electrolíticos con alto contenido en metales y otros lodos y barros de similar composición.

Ilustración 95. Sistema alcantarillado minero



Romero, 2007

e. Energéticas. Contempla las aguas que fueron utilizadas por las centrales nucleares o convencionales, en los procesos de generación de vapor, refrigeración tratamiento y depuración del agua para la alimentación y limpieza de calderas y precalentadores entre otros, además de los asociados con las turbinas y la maquinaria utilizada (aceites, grasas lubricantes, líquidos hidráulicos, etc.). Consisten básicamente en residuos líquidos contaminados con materiales diversos como coagulantes, productos de corrosión, escorias, derivados por la combustión de carbón, derivados del petróleo y gas natural, cenizas y otros.

Otros tipos de contaminación que se producen se refieren, tanto a las descargas de tipo térmico a consecuencia de que la mayor parte del calor residual producido es eliminado por condensadores mediante el agua de refrigeración, la que al verterse podrían ocasionar una eventual contaminación térmica del medio hídrico receptor, como a la que se produce por un incremento de la concentración salina debida a los efectos de la evaporación y a la purga de los sistemas que se utilizan para la refrigeración, cuyos efectos alteran el equilibrio salino y el pH de las aguas receptoras.

f. Radiactivas. Son las aguas residuales con contenidos de sustancias radiactivas procedentes de los residuos producidos por la minería y el refinado del uranio y el torio, las centrales nucleares y el uso industrial, médico y científico de materiales radiactivos.

g. Pluviales. Es el agua proveniente de las precipitaciones y que descargan grandes cantidades arena, tierra, hojas y otros residuos que pueden estar sobre el suelo. Una parte de esta agua es drenada y otra escurre por la superficie.

h. Infiltración y caudales adicionales. Las aguas de infiltración penetran en el sistema de alcantarillado a través de los empalmes y paredes de las tuberías defectuosas, tuberías de inspección y limpieza, etc. Hay también aguas pluviales, que son descargadas por medio de varias fuentes, como canales, drenajes y colectores de agua de lluvia.

7. Separación de las aguas residuales. Las “redes de drenaje” o “redes de alcantarillado”, son estructuras hidráulicas constituidas por un sistema de tuberías y construcciones utilizado para la captación y el transporte de las aguas domésticas, industriales y pluviales de una población, desde el lugar en el cual se generan hasta el punto donde se vierten al medio natural o se tratan.

Las primeras redes de drenaje de aguas negras surgieron en las ciudades europeas durante el siglo XIX. La Revolución Industrial originó la masificación poblacional de los centros de producción y las grandes ciudades, lo que trajo como consecuencia innumerables problemas sanitarios y epidemiológicos, ocasionados especialmente por la deficiente o inexistente evacuación de las aguas negras. A pesar de que en muchas de estas ciudades ya se disponía desde varios siglos antes de conductos para el drenaje de las aguas pluviales, las aguas negras se vertían en las calles y a lo sumo, en pozos negros. En 1815, Londres fue la primera ciudad en conectar las descargas fecales a la red de drenaje pluvial, sistema que posteriormente fue adoptado por la mayor parte de las ciudades europeas, dando origen a las primeras “redes de drenaje combinado”.

A principios del siglo XIX, Inglaterra aún prohibía verter las aguas negras a la red de drenaje pluvial, no obstante, la construcción de las primeras redes de drenaje combinado puso de manifiesto que aunque mejoraban las condiciones locales, la contaminación agravaba las condiciones sanitarias y ambientales de los cauces donde eran dispuestas.

En 1842, Sir Edwin Chadwick, un reformista social inglés, estableció la necesidad de captar las aguas negras en un sistema de drenaje independiente, a partir de las condiciones insalubres que padecía el río Támesis en esa época. Su apotegma, “el agua pluvial al río y la residual al campo”, proponía, además de la reutilización del agua para la fertilización del suelo, el primer sistema de drenajes, sanitario y pluvial, totalmente separados. Desde mediados del siglo XX, con el surgimiento de los primeros sistemas de depuración, las redes de drenaje separadas se empezaron a construir en varios países para tratar solamente las aguas residuales, con la idea de reducir los costos.

Ilustración 96. Sir Edwin Chadwick (1800-1890)



MacFarlane, 2002

En la actualidad, las nuevas concepciones ecologistas a nivel mundial dirigen sus esfuerzos hacia la conservación de los recursos hídricos previniendo su contaminación, pero sobre todo, evitando desperdicios, con el objeto de preservar la cantidad y calidad del agua tanto para el consumo humano como para la autosustentación de los ecosistemas. En esta línea de pensamiento, la preservación de las fuentes de agua dulce implica de cierta manera los siguientes criterios:

a) La separación de las “**aguas negras**” de las “**aguas grises**”, que a diferencia de las primeras, no contienen desechos fecales, aunque provienen del uso doméstico, su procedencia deriva del agua utilizada para la higiene y el lavado de utensilios y enseres del menaje doméstico. Para reducir el consumo del agua potable, las aguas grises se reutilizan directamente en los inodoros y mingitorios, donde se transforman en aguas negras.

b) La práctica en la construcción de redes de drenaje separadas: las “**redes de drenaje sanitario**”, para la evacuación de las descargas domésticas e industriales hasta una planta depuradora y las “**redes de drenaje pluvial**”, para la captación y el transporte de las aguas pluviales hasta el cuerpo de agua receptor, pero que a su paso pueden arrastrar desde los techos y la superficie de la tierra varios contaminantes incluyendo partículas del suelo, metales pesados, compuestos orgánicos, desechos de origen animal, aceites y grasas, generando una considerable contaminación de los cauces donde son vertidas.

Las redes separadas constan de dos canalizaciones totalmente independientes, lo cual incrementa significativamente no solo los costos de su instalación en comparación con las redes de drenaje combinado, sino también los de su mantenimiento, pues durante los períodos de época seca las redes de drenaje pluvial requieren de limpieza. Asimismo, implica instalar redes separadas al interior de las edificaciones para evitar que se viertan aguas residuales en la red de pluviales, que irían a parar directamente al medio natural sin depurar.

8. Tratamiento de las aguas residuales. La escasez cada vez mayor de las aguas dulces, debido al crecimiento demográfico, la urbanización y el cambio climático global, convierten en algunos casos a las aguas residuales como el único recurso hídrico disponible para su reutilización. Una de las prácticas habituales es su utilización para la producción agrícola, especialmente en donde las comunidades subsisten de este medio, sin embargo, su uso no controlado repercute en serios impactos perjudiciales para la salud humana. En 1989, la Organización Mundial de la Salud (OMS) publicó normas sobre el uso seguro de aguas residuales en la agricultura y acuicultura (cultivo de especies acuáticas como peces, camarón, ostras, etc.), las que han regulado significativamente el reciclaje de las aguas servidas y en todos los países.

En general, las aguas residuales deben ser tratadas, tanto para proteger la salud pública como para preservar el medio ambiente, eliminando toda clase de contaminantes físicos, químicos y bacteriológicos que puedan ser nocivos para los seres humanos, la flora y la fauna, de manera que al devolver el agua al ecosistema, sus condiciones físicas, químicas y sanitarias sean como mínimo, las apropiadas para no comprometer la capacidad de regeneración natural del cuerpo receptor.

9. Proceso de tratamiento de las aguas residuales. El tratamiento de aguas residuales consiste en una serie de procesos físicos, químicos y biológicos que tienen como finalidad eliminar los contaminantes físicos, químicos y biológicos existentes en el agua para el consumo humano. El objetivo del tratamiento es producir agua limpia (**efluente tratado**) o que pueda ser reutilizable en el ambiente y separar los residuos sólidos y lodos (biosólidos, barros o fangos) que sean aprovechables para su reutilización, de los residuos sólidos y lodos que por su contenido de contaminantes nocivos para la salud y el ambiente, sea necesaria su disposición final y/o su saneamiento.

Al proceso de tratamiento de las aguas residuales es muy común llamarlo “**depuración de aguas residuales**”, para distinguirlo del “**tratamiento de aguas potables**”.

La “depuración de aguas residuales” se lleva a cabo en el lugar donde son generadas mediante “**fosas o tanques sépticos**” u otros medios de depuración, o bien, pueden ser recogidas y transportadas a una “**planta de tratamiento de aguas residuales**”, comúnmente denominadas “**plantas de depuración**”. A menudo, ciertos contaminantes, en su mayoría de origen industrial, están presentes en las aguas residuales, requiriendo de distintos procesos de tratamiento especializado para su depuración de acuerdo al tipo, la concentración y los niveles de toxicidad de los contaminantes.

Los dos sistemas para la “**depuración de las aguas residuales**” son:

a. Fosas o tanques sépticos. Una fosa o tanque séptico es una cavidad excavada por el hombre que recibe y trata las aguas domésticas provenientes de viviendas en áreas rurales o aisladas. En esta fosa, la parte sólida de las aguas residuales es separada por un proceso de sedimentación y a través del denominado “proceso séptico”, se estabiliza la materia orgánica para transformarla en un lodo inofensivo.

Por lo general, las fosas sépticas se construyen a partir de una gran caja rectangular, con una o más divisiones, que se encargan de recibir los excrementos y las aguas domésticas. Lo más común es que estas fosas se encuentren enterradas y cubiertas por una loza de concreto. Su principal objetivo es reciclar las aguas domésticas, eliminando los desechos sólidos.

Ilustración 97. Ejemplo fosa séptica



Católica, 2013

Debido a que estas fosas poseen una altísima concentración de materias orgánicas y organismos patógenos, causantes de diversas enfermedades e infecciones, es necesario que su estructura sea hermética y de paredes resistentes e impermeables. Deben contar con un acceso a través de la cual se puedan realizar tareas de inspección y de vaciado, siendo necesario instalar un tubo de ventilación por los gases que emanan, en especial, el metano.

No hay que confundir este término con el de “pozo ciego o pozo negro”, que se refiere a un antiguo sistema para recibir la descarga de las aguas negras y que actualmente está prohibido en muchos países por su deficiente tratamiento de los residuos. Es una excavación en el terreno en forma de pozo, que a través de sus paredes perforadas, filtra la parte líquida en el terreno, reteniendo la sólida hasta que se descompone por efecto de su propia biodegradación. La profundidad máxima del pozo está determinada por la capa freática, por lo que si llega hasta la misma, la contamina.

Ilustración 98. Ejemplo pozo ciego o pozo negro



Gallo, 2015

b. Plantas de depuración. Una planta de tratamiento de aguas residuales tiene por objeto devolver al ecosistema un **efluente tratado** con mejores características de calidad y cantidad, o que como mínimo tenga las condiciones físicas, químicas y sanitarias apropiadas para no comprometer la capacidad de regeneración natural del cuerpo receptor.

En general, las plantas depuradoras tratan las aguas residuales procedentes de las ciudades locales, en su mayoría “domésticas”, así como las “pluviales” provenientes de la escorrentía superficial del drenaje de las zonas urbanas; plantas especializadas se diseñan y construyen para absorber las descargas de las aguas “industriales” y “agrícolas”.

10. Tipos de tratamientos de las aguas residuales. El tipo de tratamiento que las aguas residuales requieren depende en gran medida de la composición y la calidad del agua que será procesada y de la finalidad a la que serán destinadas, ya sea para su reutilización en otros procesos de producción industrial, agrícola, energética o minera, o simplemente devolver el agua al ecosistema con suficientes condiciones físicas, químicas y sanitarias que como mínimo, no comprometan la capacidad de regeneración natural del cuerpo receptor.

Otras aplicaciones en el manejo de las aguas residuales depuradas, tales como su empleo en los servicios públicos (incendios y lavado de calles), usos ornamentales (riego de parques y plantas) y la recarga de acuíferos, exigen una calidad determinada para que su reutilización sea segura.

En general, las aguas residuales deben ser tratadas, tanto para proteger la salud pública como para preservar el medio ambiente y el paisaje circundante, eliminando toda clase de contaminantes físicos, químicos y bacteriológicos que puedan ser nocivos para los seres humanos, la flora y la fauna. El tratamiento del agua se basa fundamentalmente en dos procesos básicos: la separación física de sólidos, minerales y materia orgánica y la desinfección química para eliminar los microorganismos nocivos existentes en el agua.

Los primeros sistemas de depuración aparecieron a mediados del siglo XIX y consistían únicamente en la eliminación de sólidos; posteriormente, en Inglaterra, en 1893, con el propósito de separar los sólidos en suspensión y la materia orgánica fácilmente sedimentable, se puso en funcionamiento el primer filtro percolador; eran estanques impermeables rellenos de piedra triturada que se llenaban con el agua residual y se la dejaba reposar durante 6 horas. El lecho se vaciaba y antes de que se repitiera el ciclo, los sedimentos se dejaban reposar otras 6 horas. Los filtros modernos no difieren mucho de los anteriores en su concepción; el agua residual se vierte mediante un distribuidor giratorio sobre una cama sumamente permeable de inertes pétreos o plásticos, al que se adhieren los microorganismos a través del cual se filtra el agua residual. Un sistema de desagüe inferior, con una estructura porosa a través de la cual puede circular el aire, recoge el líquido tratado y los sólidos biológicos que se haya separado.

Los filtros percoladores son considerados como una unidad de acondicionamiento para el tratamiento de las aguas residuales de los tipos domésticos e industriales o combinados con el agua pluvial. Éstos además de remover la materia orgánica y sólidos suspendidos pueden eliminar nitrógeno y fosforo.

Desde inicios del siglo XX, surge una variedad de mecanismos y procesos con el propósito de originar el crecimiento de organismos biológicos y utilizar el oxígeno disuelto para remover substancialmente la materia orgánica y eliminar los microorganismos patógenos presentes en las aguas residuales. Es así como en Inglaterra, en 1914, se realiza la primera separación sólido-líquido y la oxidación biológica de la materia orgánica mediante un tratamiento conocido como “lodos o fangos activados”, que consiste en desarrollar un cultivo bacteriano con la adición de floculantes, una sustancia química comúnmente orgánica que aglutina los sólidos que se hayan en suspensión, a fin de provocar su sedimentación.

El proceso considerado como una autodepuración acelerada y controlada artificialmente, consiste en alimentar un tanque con el agua residual y el lodo biológico (cultivo bacteriano), donde son mezclados por medios mecánicos para su homogenización y aireación, esta última con el fin de suministrar el oxígeno necesario a las bacterias que se desarrollan sobre la materia orgánica y que les sirve de sustrato alimenticio, la que finalmente se sedimenta junto a los contaminantes biológicos presentes en esa agua. Los procesos modernos no difieren mucho del anterior en su concepción; el agua residual y el cultivo bacteriano se mezclan y airean en un tanque denominado “reactor biológico”, para luego dejarse reposar en otro depósito conocido como “tanque de sedimentación”, donde se deposita el lodo o fango producido, consiguiéndose separar el agua tratada de los residuos sólidos. El agua clarificada constituye el efluente que se vierte al cauce y parte de los fangos son recirculados de nuevo al reactor biológico para mantener en el mismo una concentración suficiente de organismos. El excedente de fangos, se extrae del sistema y se evacua hacia el tratamiento de fangos.

Ilustración 99. Reactor biológico



López M., 2007

Ilustración 100. Tanque de sedimentación



Aguas Residuales, 2010

El impacto que las aguas residuales tuvieron a nivel mundial entre las décadas de 1950 y 1960 sobre el medio ambiente y los recursos naturales, marcado por un alto crecimiento demográfico, industrial, energético y minero, además del acentuado uso de productos foliares, insecticidas y pesticidas para incrementar la producción agrícola, trajo como consecuencia la investigación de nuevos tratamientos físicos, químicos y biológicos, así como la experimentación de nuevas tecnologías que buscaban mejorar la calidad del agua que era dispuesta en los cauces y embalses naturales o artificiales, con altos contenidos de contaminantes provenientes de las actividades humanas.

Ilustración 101. Agua clarificada



Tierra Firme México, 2015

De esta forma, hacia finales de los años sesenta ya se había desarrollado una considerable base científica para el tratamiento biológico de las aguas residuales, no obstante, en esa misma época se produjo un nuevo adelanto científico que destacaba como un objetivo de la gestión de la calidad del agua, la importancia de la utilización de procesos físico-químicos como un método complementario de los procesos biológicos convencionales para la transformación de los compuestos de fósforo en formas inorgánicas más estables y la eliminación de los compuestos de nitrógeno, debido a que la neutralización de las materias orgánicas y de estos nutrientes reduce la cantidad de microorganismos en el efluente tratado para su adecuada reutilización. La aplicación de esta tecnología ha sufrido numerosas modificaciones, dando lugar al desarrollo e implementación de otras nuevas que hoy día se emplean como tratamientos adicionales.

En general, el proceso de tratamiento de las aguas residuales se inicia con la separación física de sólidos, como basura, envases, plásticos, ramas, etc., de la corriente de las aguas domésticas o industriales empleando un sistema de rejillas o mallas, aunque también pueden ser triturados por equipos especiales. A continuación se aplica un desarenado para la separación de sólidos pequeños pero muy densos como la arena, seguido de una sedimentación primaria o de un tratamiento similar, para separar los sólidos suspendidos. Para eliminar los metales disueltos se utilizan reacciones de precipitación a fin de eliminar, especialmente, el plomo y el fósforo. Luego, progresivamente se trata la materia biológica disuelta hasta conseguir una masa biológica sólida, mediante cierto tipo de bacterias generalmente presentes en estas aguas. Una vez que la masa biológica es separada o removida, proceso denominado sedimentación secundaria, el agua tratada se somete a procesos adicionales de desinfección y filtración, entre otros. Ya en este momento, el efluente final o efluente tratado puede reintroducirse nuevamente al cuerpo receptor de agua natural, es decir, ser descargado a una corriente de agua superficial o un embalse, o a otro ambiente del ecosistema, ya sea sobre el terreno superficial o directamente al subsuelo. Los sólidos biológicos segregados, antes de su descarga, su reutilización o su disposición apropiada, experimentan un tratamiento y neutralización adicional.

11. Degradación de suelos. Una de las consecuencias más preocupantes del cambio de uso de suelo y las actividades humanas es la degradación de las tierras, que dadas las condiciones climáticas y propias del suelo puede conducir a la desertificación. Dicha degradación perjudica la capacidad productiva de la tierra para cualquier uso, y entre sus causas se encuentra la erosión, cambio en sus propiedades químicas y físicas, además de «la pérdida duradera de vegetación natural». De estos, se identifica a la erosión como la que más perjudica los suelos pues es un proceso que puede facilitar la degradación por cualquier otra forma (Almorox, López y Rafaelli, 2010:29).

La erosión causada por agentes naturales como la lluvia y el aire es magnificada por malas prácticas de labranza en sistemas agrícolas. El principal propósito de la labranza es facilitar el crecimiento de las raíces de las plantas al aflojar la tierra, entre otras. Sin embargo, la mala aplicación de dicha técnica puede incurrir en situaciones contrarias a las intenciones iniciales, como una disminución en la infiltración, favorece la escorrentía y por lo tanto la erosión. Esto ocurre pues la estructura del suelo es alterada mediante la labranza, y capas inferiores pueden sufrir de compactación lo que reduce su capacidad de infiltración (Giasson, 2000).

Entre las propiedades estructurales del suelo que la labranza afecta se incluye la porosidad, densidad y tamaño de poro, que consecuentemente influye en su capacidad de infiltración. Aunque inicialmente la labranza busca aflojar el suelo para facilitar el crecimiento de los cultivos, la labranza tiende a generar compactación y con ello aumentar la densidad del suelo y disminuir su porosidad y tamaño de poro. Esto impide que las raíces penetren con facilidad la tierra y de igual forma desfavorece la infiltración por la reducción de

espacios vacíos en la estructura del suelo. Si el agua no puede penetrar la estructura, se favorece la escorrentía y por lo tanto la erosión mediante el arrastre de material de las capas superiores (Giasson, 2000).

Falta o insuficiencia de cobertura vegetal contribuye a la degradación del suelo por erosión pues provoca que el suelo esté más expuesto al impacto de las gotas de lluvia, que altera la integridad física del suelo. También, la reducción de la materia orgánica en la capa superior del suelo a causa de actividades como la labranza reduce la capacidad de infiltración e influye en la alteración de su estructura. Una reducción a la materia orgánica influye en el aumento del efecto erosivo sobre la tierra. La tierra pierde productividad a medida que se sigue utilizando pues se magnifican los efectos de las acciones mencionadas (Giasson, 2000).

Algunos de los efectos que causa la degradación de los suelos incluyen aspectos ecológicos y físicos. Entre ellos se incluyen pérdida de cobertura vegetal natural que es sustituida por vegetación que se adapta a las nuevas condiciones de terreno, pérdida de fertilidad debido a una disminución del material orgánico, compactación y más erosión por cambios en cobertura vegetal y en estructura del suelo. A mayor escala, representa un riesgo en laderas y otras zonas debido a deslizamientos causados por la erosión. La compactación generada por la degradación del suelo a causa de actividades ganaderas, agrícolas, entre otras, además de la erosión, impide que se regenere la cobertura vegetal pues el terreno ya no resulta apto para el desarrollo de raíces y por la falta de nutrientes (Almorox, López y Rafaelli, 2010).

A nivel regional, Latinoamérica presenta una alta degradación de suelos a lo largo de su territorio, debido principalmente a la erosión. Esto comprende el 14.6% de su territorio afectado, donde únicamente en Centroamérica la tierra agrícola con degradación abarca el 74%, hace dos décadas. Guatemala se encuentra en una situación crítica a nivel latinoamericano debido a su dependencia económica y de subsistencia de la agricultura, pues la degradación de suelos representa una pérdida de productividad de los mismos. Esta pérdida de productividad, reflejado en una menor fertilidad de los suelos, indica una mayor necesidad de fertilizantes necesarios para que se puedan realizar cultivos, lo cual al mismo tiempo perjudica la calidad del suelo. Las prácticas de agricultura intensiva han sido una de las causas del agotamiento de nutrientes del suelo. En la región mesoamericana, la pérdida de nutrientes de los suelos se incrementó de 39 a 49 kilogramos por hectárea para las últimas dos décadas del siglo XX. Este ciclo influye en la pobreza debido a pérdidas económicas y mayor necesidad de insumos y técnicas mejoradas de agricultura para producir (PNUMA, 2003).

12. Riesgo en cuencas. El crecimiento de los centros poblados y otras actividades concentradas en las cuencas hidrográficas ha llevado a que sea más propensa a respuestas ambientales que ponen en peligro a los habitantes de las zonas. Las acciones río arriba usualmente han tenido consecuencias río abajo, principalmente relacionados a inundaciones temporales pues se ha modificado el ciclo hidrológico de la zona. Otro riesgo que se incrementa debido a la exposición del suelo a la acción de la erosión, con el cambio de uso

de suelo, incluye deslizamientos de tierra. Inclusive acciones de regulación de caudal, tales como represas, pueden representar daños a la ecología río abajo, por causa de sedimentación y rebalse (Höfer y Warren, 2007).

Usualmente, los efectos negativos de las actividades humanas en las cuencas se relacionan a los eventos climáticos en la época lluviosa de los trópicos. De forma natural, los cambios de pendiente en la parte alta favorecen la rápida acumulación del agua de escorrentía río abajo, durante tormentas que incrementan el volumen de agua de los afluentes. Si el caudal rebasa la capacidad de los cauces, se provocan inundaciones, principalmente en zonas planas o con poca pendiente. Este caudal además incrementa el arrastre de sedimentos y los procesos erosivos a medida que fluye por los cauces, lo que provoca que se deposite material río abajo, que puede ocasionar daños en poblaciones aledañas. La erosión se ve favorecida con los cambios de uso de suelo, al igual que los volúmenes de escorrentía usualmente ante la falta de cobertura forestal. Las tormentas tropicales y otros eventos meteorológicos de gran magnitud tienden a incrementar los efectos dañinos en los poblados ubicados en las cuencas hidrológicas (Mundo, 2006).

C. Caudal ecológico.

1. Consideraciones sobre caudal ecológico. Hoy en día, la protección del medio ambiente y de los recursos naturales en cantidad y calidad suficientes se ha convertido en una demanda social imperante, como consecuencia de la degradación de hábitats y especies ocasionadas por el hombre, siendo uno de los objetivos primordiales, asegurar la disponibilidad de los volúmenes de agua dulce.

Las aguas superficiales que corren por los espacios terrestres son vitales para los seres vivos, a pesar de ser una mínima parte del total de agua que hay en el planeta. La menor proporción de sales que llevan disueltas en comparación con las aguas oceánicas, razón por la que se denomina agua dulce, las hacen imprescindibles para el consumo humano, animal y vegetal.

La mayor parte de ríos nacen a partir del afloramiento de las aguas subterráneas hacia la superficie como resultado de la filtración del agua proveniente de la precipitación, o por el derretimiento de masas congeladas, que penetra en un área y emerge en otra de menor altitud, formando fuentes naturales que brotan desde la tierra o entre las rocas denominadas manantiales. Dependiendo de la frecuencia de las precipitaciones o del derretimiento que infiltra la tierra, un manantial puede ser permanente o temporal.

Las aguas termales y los géiseres también son manantiales, cuyos cursos subterráneos de agua se calientan por el contacto con rocas ígneas y afloran como aguas termales. Las perforaciones a gran profundidad para hacer emerger el agua a la superficie, o pozos artesianos, son manantiales artificiales.

Desde su nacimiento en las regiones altas o en zonas montañosas, las corrientes superficiales suelen ir siguiendo el cauce natural y disminuyendo la pendiente del terreno hasta llegar a su desembocadura en el mar o en embalses naturales sin salida llamados lagos o lagunas. Normalmente la pendiente es fuerte en el primer tramo del río conocida como “curso alto” y bastante suave cuando se acerca a su desembocadura a la que se le llama “curso bajo”. Entre las dos, suele haber una pendiente moderada o “curso medio”. Un río con sus afluentes drena una zona llamada cuenca hidrográfica.

Las corrientes superficiales experimentan variaciones en su caudal, que aumenta en las estaciones lluviosas y disminuye en las secas. Las crecidas graduales o muy bruscas, dando lugar a inundaciones catastróficas. Por el contrario, cuando la disponibilidad de agua se reduce drásticamente en un área geográfica por la falta de precipitaciones, induce épocas de sequía. A este fenómeno se le denomina “sequía meteorológica”, pero si se prolonga en el tiempo provoca una “sequía hidrológica”, caracterizada por la desigualdad entre la disponibilidad y las demandas de agua. En casos extremos, cuando la sequía persiste, las condiciones circundantes empeoran gradualmente y su impacto en la población local se incrementa, llegando a la “aridez”.

El caudal de agua también se reduce por el uso intenso de las corrientes superficiales para el riego de las zonas próximas de la cuenca, la gran cantidad de poblaciones que se asientan en sus riberas, las desviaciones de los cursos acuíferos para su captación con fines agrícolas, energéticos e industriales, causando daños al hábitat que afectan la vida silvestre en la ecorregión terrestre y acuática.

Todas estas variaciones de caudal se definen como régimen hidrológico. Las variaciones temporales ocurren durante o después de las tormentas. En casos extremos, cuando el aporte de agua es mayor que la capacidad del río para evacuarla, se produce la crecida, ocasionando desbordamientos e inundaciones de las áreas aledañas. Si no llueve en absoluto o la media de las precipitaciones es inferior a lo normal durante largos periodos de tiempo, el río se puede llegar a secar trayendo consecuencias desastrosas para la biodiversidad del río y sus riberas, así como para las poblaciones que dependan de este suministro de agua.

Las variaciones también se producen porque el caudal del río aumenta en su recorrido aguas abajo a medida que va recolectando las aguas de la cuenca de drenaje y los aportes de las cuencas de otros ríos que se unen al mismo como afluentes. Las aguas subterráneas acumuladas en el subsuelo y que circula bajo tierra, conocido como caudal basal también alimentan el caudal del río, aunque tarda mucho más entre días, semanas o meses después de la precipitación que generó la escorrentía. Debido a esto, el río suele ser pequeño cerca de su nacimiento y mucho mayor en las tierras próximas a su desembocadura. La excepción son los desiertos, en los que la cantidad de agua que se pierde por la filtración y evaporación supera la cantidad que aportan las corrientes superficiales.

Otro tipo de variaciones en el caudal de las corrientes superficiales se deben a la modificación o alteración de los cauces hidrológicos mediante la construcción de infraestructuras de cualquier tipo, las que influyen directamente trastornando las características físicas del hábitat natural y estableciendo nuevos contextos ambientales para la biodiversidad nativa a los que deberá adaptarse para su supervivencia, con mayor o menor complejidad.

De esta forma, el término caudal ecológico se expresa como el caudal mínimo necesario que el cauce de agua superficial debe mantener, especialmente durante los extremos hidrológicos y climatológicos, para preservar la biodiversidad que se refugia en los hábitats naturales de las cuencas y los cinturones de vegetación contiguos, resguardar las funciones de regeneración ambiental y conservar el paisaje.

Por lo tanto, el caudal ecológico también implica prevenir la alteración o transformación de los cauces y mitigar los potenciales impactos nocivos como consecuencia de la actividad humana, siendo imprescindible que cualquier obra de infraestructura que conlleve la captación o derivación de agua superficial (represas, agua potable, riego, etc.), considere medidas que eviten la perturbación de los corredores ecológicos integrados a las corrientes de agua superficial.

2. La regeneración de los causes. El avance de la frontera agrícola, la tala inmoderada y el sobrepastoreo han hecho desaparecer la cubierta de vegetación que recubría las laderas de colinas y montañas de las cuencas hidrográficas, ocasionando que el agua de lluvia ya no se filtre a través del suelo para recargar naturalmente los mantos acuíferos, en su lugar, escurre por la pendiente carcomiendo y desgastando a su paso la capa fértil cada vez a mayores velocidades que erosionan con mayor drasticidad la corteza del estrato superior, hasta dejar en el horizonte del terreno una superficie endurecida y estéril entre talpetate y materiales pétreos.

El deterioro de las cuencas resulta implacable. En donde antes había bosques el riguroso proceso de erosión va formando depresiones que poco a poco se van convirtiendo en enormes surcos con ramificaciones irregulares por donde la escorrentía se deja entre correr configurando un caudal que se precipita cada vez con fuerza y velocidad; con el paso del tiempo, en las tierras altas los surcos se convierten en barrancos y el relieve del terreno se transforma árido. En el valle, la sobreexplotación del manto acuífero mediante pozos produce un rápido descenso de los niveles freáticos.

Sobre los cursos hídricos se construyen represas para embalsar el agua con diferentes propósitos; la captación de caudales requiere de una fuerte estructura para contener el empuje del torrente que, como consecuencia de la deforestación, ahora se precipita con mayor fuerza y velocidad. Además del alto coste que esto representa, las presas tienen una vida útil limitada debido a la gran cantidad de materiales y sedimentos que las azolvan. Como los embalses reducen el volumen del flujo de salida, esta problemática solo se traslada, pues se repite de nuevo en los asentamientos poblacionales aguas abajo.

Finalmente, la degradación de las cuencas surge de los efectos que provoca el cambio climático global que afecta inflexiblemente el ciclo hidrológico del agua provocando inundaciones y largos periodos de sequía, pero más aún, de la contaminación ambiental producto de las quemas sin control en la búsqueda de extender la frontera agrícola y de la desmedida e incontrolable polución de los ríos que se han convertido en vertederos de toda clase de desechos y producto de las descargas directas e indirectas de aguas servidas y de las residuales

procedentes de la industria, la agricultura y la minería, lo cual presagia una acelerada reducción de las corrientes de agua superficial.

Por otra parte, el drenaje natural de una cuenca puede preservarse mediante una esmerada gestión de los recursos del ecosistema acuático, de su vegetación y de sus suelos, además de que es posible controlar la calidad del agua y su grado de contaminación. Para ello, debe enfocarse la complejidad de las causas que originan el deterioro de las cuencas y que exigen el manejo integral de los recursos naturales, estableciendo como una prioridad la regeneración de los cauces.

Debe tomarse en cuenta que la recuperación de un sistema fluvial requiere de muchos años para lograr restablecer su condición inicial, aunque es posible recobrar su dinámica fluvial en un corto periodo de tiempo, es decir, en rescatar los procesos naturales a partir del equilibrio geomorfológico e hidráulico a fin de recobrar el funcionamiento del ecosistema acuático. Además, la recuperación se debe contemplar como la fase inicial de un proceso cuyo objetivo final pretende la conservación de las cuencas y la preservación de los ecosistemas acuáticos y terrestres invalidados.

Si se retiran o eliminan los elementos antropogénicos que alteran o modifican la dinámica fluvial de los ríos, las propias corrientes de agua superficial tienen la capacidad de regenerarse, de recuperar sus características hidráulicas, de reconstruir su geomorfología y a readaptarse nuevamente a los parámetros ecológicos presentes. Por ello, para que la restauración del sistema fluvial sea sostenible hay que actuar sobre las causas antropogénicas que originaron y continúan perturbando las condiciones ambientales y las características físicas, químicas y biológicas de los cauces y no sobre los efectos e impactos nocivos que han provocado sobre el mismo.

La ecohidrología, una nueva ciencia que relaciona la ecología con la hidrología y el ciclo hidrológico del agua, es una herramienta utilizada para encontrar soluciones innovadoras a los problemas del deterioro de las cuencas y de la degradación de los ríos, a partir de dos consideraciones:

- Los procesos hidrológicos regulan a los ecológicos, o sea, la forma en que las variaciones de caudal, las características físicas de los cursos de agua y las variables hidráulicas condicionan y limitan la biodiversidad del cauce y la biología de los ecosistemas

y subsecuentemente,

- Los procesos ecológicos regulan a los hidrológicos, o sea, la forma en que los factores ambientales como el clima y las propiedades físicas del hábitat como la geología, regulan o modifican las características de los cursos de agua.

La recuperación de un sistema fluvial requiere restablecer su condición inicial, recobrando previamente su dinámica fluvial en un corto periodo de tiempo, a fin de rescatar los procesos naturales a partir del equilibrio geomorfológico e hidráulico. Esto involucra de forma implícita la recuperación del drenaje natural de la cuenca mediante una esmerada gestión de su vegetación y de sus suelos, así como de la optimización del uso del agua y del tratamiento de las aguas residuales previo a su disposición en los cauces de agua superficial, por lo que una solución integral al menos debe considerar:

a. Recuperación de cuencas. Los esfuerzos dedicados a la rehabilitación de las cuencas están dirigidos en su mayoría a controlar la retención de los suelos y la filtración del agua para la recarga los mantos acuíferos. La combinación de tratamientos específicos, unos para reducir la velocidad de los escurrimientos o para desviar los flujos no deseados de aportación a la cuenca y así evitar sus efectos erosivos y otros para permear los suelos y permitir la filtración, permite la regeneración de la cuenca tratada, con el objeto de que la misma provea el agua de manera suficiente y sostenible en el largo plazo. Entre estas medidas y acciones se mencionan las siguientes:

- Reforestación de laderas y barrancos

En las laderas de las pendientes escarpadas de colinas y montañas se deben hacer zanjas, estacados con ramas y anillos de reforestación con especies adecuadas al clima de la región, a fin de evitar la erosión, reducir la velocidad de escurrimiento pluvial, favorecer la formación de suelos que faciliten la filtración y conducir la escorrentía con la menor cantidad de sedimentos hasta cuenca. Donde la pendiente es menor la reforestación debe continuar para que además de proteger la superficie a los efectos de la erosión, se prepare el suelo para filtrar el agua hacia los mantos acuíferos.

En los barrancos se debe recuperar el suelo en los surcos, generalmente más anchos y profundos, que el agua ha excavado; inicialmente se deben identificar los brazos tributarios de primer orden donde los escurrimientos originan los mayores caudales, para luego construir diques que los contengan o hacer terrazas a desnivel que reduzcan la velocidad de escurrimiento pluvial. Este proceso debe continuar repitiéndose en todos los brazos tributarios para que a través del estancamiento temporal del agua en diversos puntos de toda la cuenca, se logre la retención de los suelos y la filtración del agua para recargar los mantos acuíferos.

- Captación y desvío del agua

La captación del agua de lluvia mediante terrazas a desnivel o diques en las partes altas de la cuenca o en las zonas de fuerte erosión, construidas de manera similar a las de los barrancos, persiguen la retención de los suelos y la filtración del agua para la recarga los mantos acuíferos, mediante el estancamiento temporal del agua en diversos puntos de toda la cuenca.

Las represas además de captar el agua con diversos propósitos la filtran a través del suelo; la excavación de pozos de poca profundidad laterales al curso del río aguas abajo o en los manantiales que ha revitalizado proveen este recurso incluso aun en épocas secas. Otro método es la perforación de pozos horizontales en las laderas para extraer el agua por gravedad.

La desviación del agua de lluvia mediante canales abiertos o entubada en las partes altas de la cuenca tiene como finalidad encauzar los flujos no deseados de aportación a la cuenca; para ello se conducen hacia una cuenca vecina o a un embalse para su almacenamiento temporal y luego devolverla a la corriente. En zonas de fuerte erosión persigue contener los escurrimientos por la pendiente que a su paso carcomen y desgastan la corteza del estrato superior.

b. Optimización En los usos del agua: Según lo publicado en la “Política Nacional de Gestión Integrada de los Recursos Hídricos PNGIRH” (SEGEPLAN), la relación entre agua y sociedad es insoluble y se manifiesta en diferentes formas. Los temas considerados urgentes y relevantes se vinculan con lograr cobertura universal de los servicios públicos de agua potable y saneamiento en el área rural y mejorar notablemente la calidad de éstos en las ciudades.

La agricultura consume cerca del 40 %, el uso doméstico el 9 % y otros usos, entre ellos el industrial, el 3 %. El 48 % restante se emplea en usos no consuntivos, principalmente hidroelectricidad. Aún no se han estimado las demandas de agua para fines turísticos ni caudales ecológicos.

La cobertura de agua potable ha mejorado significativamente durante los últimos años; alcanza al 75 % de la población. Sin embargo, cerca de tres millones de guatemaltecos aún se abastecen directamente de fuentes naturales cuya calidad no es confiable. Si prevalece el ritmo de crecimiento de la tasa poblacional y de la inversión en el subsector, para el 2025 serán 5 millones de habitantes quienes no tengan acceso a estos servicios.

c. Tratamiento de las aguas residuales previo a ser vertidas en las corrientes de agua superficial.

Referirse al anterior tema “LAS AGUAS RESIDUALES”, tratado en este mismo capítulo.

3. Caudal ecológico. El caudal ecológico se expresa como el caudal mínimo necesario que el cauce de agua superficial debe mantener, especialmente durante los extremos hidrológicos y climatológicos, para preservar la biodiversidad que se refugia en los hábitats naturales de las cuencas y los cinturones de vegetación contiguos, resguardar las funciones de regeneración ambiental y conservar el paisaje.

Consecuentemente, el caudal ecológico también implica prevenir la alteración o transformación de los cauces y mitigar los potenciales impactos nocivos como consecuencia de la actividad humana, siendo imprescindible que cualquier obra de infraestructura que conlleve la captación o derivación de agua superficial (represas, agua potable, riego, etc.), considere medidas que eviten la perturbación de los corredores ecológicos integrados a las corrientes de agua superficial.

Un caudal se considera ecológico cuando al mismo tiempo que se conserva la salud del cauce y de su ecosistema, se prevee la explotación racional del recurso hídrico y se garantiza el abastecimiento de agua para el uso doméstico y el suministro agrícola, energético e industrial, para lo cual se debe asegurar un dinámico equilibrio entre la subsistencia de la flora y la fauna, la calidad sanitaria y físico-química del agua y los valores sociales, culturales y paisajísticos del medio fluvial.

Para armonizar la demanda social, económica y ambiental de los cauces de agua, es necesario hacer conciencia en las poblaciones involucradas que los bienes y servicios que proveen las cuencas hidrológicas no son imperecederos y que los procesos naturales de regeneración dependen en gran medida de factores sociales, advirtiendo que solamente conservando y preservando los recursos hídricos se puede garantizar la provisión futura de agua dulce.

Es así como la gestión del agua ha tomado particular importancia en la política de desarrollo económico de muchos países desde el siglo XX, considerando que el resguardo y conservación de los medios fluviales no solo dependen de la capacidad de autoregeneración y sostenimiento de las cuencas hidrologías y sus ecosistemas, sino que también obedecen al establecimiento de normativas legales que garanticen la explotación racional de recursos que proveen los recursos acuáticos y los corredores ecológicos que circunscriben, eviten la contaminación de las aguas superficiales y subterráneas derivada de los vertidos de las aguas domésticas, industriales y agrícolas sin tratar y dicten medidas de control para prevenir la alteración o transformación de los cauces y mitigar los potenciales impactos nocivos como consecuencia de la minería y la producción de energía eléctrica, a fin de garantizar la cantidad y la calidad del agua de los caudales que se requieren para el bienestar humano.

El concepto de caudal ecológico surge entonces como un instrumento de la gestión del agua que maximiza el bienestar social y económico de las comunidades adyacentes, mediante el manejo integral y sostenible del agua, la tierra y los recursos afines, sin comprometer la sustentabilidad de los ecosistemas vinculados a las corrientes de agua superficiales, evitando así su deterioro.

4. Las razones de establecer un caudal ecológico. Las nuevas tendencias globales se enfocan cada vez más en la preservación y conservación de las fuentes de agua dulce, uno de los retos inesperados que se afronta y preocupa en este nuevo siglo. El cambio climático, la explosión demográfica, la contaminación de las fuentes de agua superficial y subterránea, entre otros, anticipan una futura y drástica disminución de las fuentes de agua dulce.

Una corriente de agua superficial fluye de manera continua, aunque el caudal que transporta rara vez es constante. Si bien, las variaciones en el comportamiento del caudal que circula por su cauce de forma natural a lo largo del año dependen principalmente del régimen de precipitaciones, la temperatura de la cuenca que determina una mayor o menor evaporación, la captación de aguas subterráneas desde el nivel freático, la pendiente del relieve del terreno por donde circula, la geología, la vegetación y la acción humana, modifican este régimen hidrológico natural.

La frecuencia de las crecidas del caudal en la época de invierno y su reducción por la filtración y la evaporación durante los periodos de sequía o que producen las zonas desérticas, alteran substancialmente en promedio el comportamiento del caudal. Asimismo, las obras de infraestructura o los sistemas que se construyen para la captación o derivación del agua superficial (represas, agua potable, riego, etc.), modifican el régimen natural del caudal de un cauce y por lo tanto, producen transformaciones en el comportamiento ecológico de las corrientes de agua superficial que alteran el hábitat de las especies nativas que a lo largo del tiempo se han adaptado a los cambios naturales del caudal, poniendo aún más en riesgo la biodiversidad del ecosistema.

Las razones de establecer un caudal ecológico tienen como finalidad regenerar el régimen hidrológico natural, mediante el análisis de los patrones de caudales máximos en la época lluviosa y mínimos durante la época seca o en la temporada de sequías, así como de la duración y frecuencia de los regímenes de crecidas y las tasas de cambio, con el objeto de determinar la dinámica de los ecosistemas acuáticos y su relación con los ecosistemas terrestres.

El concepto caudal ecológico promueve el desarrollo de las cuencas y establece la calidad, cantidad y el régimen del caudal de agua requerido para preservar la biodiversidad del ecosistema y su capacidad de regeneración, para que a través de un manejo racional e integrado de los recursos, se provea el bienestar social, cultural y económico de las comunidades aledañas a la corriente superficial.

5. Régimen de un “caudal ecológico”. En las últimas décadas, la creciente demanda originada por el desarrollo agrícola, industrial y urbano, así como la cantidad de infraestructuras hidráulicas construidas en los cauces de las corrientes superficiales, que sumado al vertido de aguas residuales muchas veces sin ningún tipo de tratamiento, reduce significativamente la cantidad y calidad de los recursos hídricos y pone en riesgo la sobrevivencia de los ecosistemas vinculados.

La necesidad de adoptar una metodología que restrinja previamente la explotación de los cauces de agua superficial, a fin de garantizar la devolución de los caudales originales a los ecosistemas donde fueron extraídos, denominado de Régimen de Caudal Ecológico, que se refiere a la fijación de caudales capaces de proteger biodiversidad del ecosistema según las fluctuaciones de las crecidas del caudal en la época de invierno y su reducción por la filtración y la evaporación durante los periodos de sequía, las que alteran substancialmente en promedio el comportamiento del caudal.

a. Caudales ecológicos básicos. La determinación de un caudal ecológico básico se basa en la estimación de la capacidad de tolerancia de los ecosistemas a la escasez de caudal y retornar a su estado natural al restituirse el nivel de caudal mínimo, sin que sus características se hayan alterado significativamente.

Para ello, se parte de dos tipos de métodos:

- El análisis histórico de los regímenes de caudales

Estudia los caudales mínimos naturales de un cauce, intuyendo que la biodiversidad del ecosistema ha subsistido a lo largo del tiempo adaptándose a las variaciones naturales del caudal, las que a su vez, modifican el comportamiento ecológico de las corrientes de agua superficial que alteran el hábitat de las especies nativas, llegando a tolerar caudales extremadamente pequeños por un periodo corto de tiempo durante épocas de sequía.

- El análisis de la variación del hábitat en relación a los caudales circulantes

Estudia la dinámica de las variaciones naturales del caudal de un cauce en el tiempo y la manera en que la diferencia de los niveles de agua altera el hábitat de algunas especies nativas, a fin de determinar un caudal circulante capaz de mantener sus poblaciones.

Cualquiera de los dos métodos proporciona los caudales ecológicos básicos que aseguran la sobrevivencia de las especies que habitan en el ecosistema y que según sea el método utilizado para su cálculo o el nivel de exigencia ecológica, reciben diversas denominaciones como caudales mínimos, óptimos, aconsejables o de mantenimiento, entre otros.

b. Parámetros del régimen del caudal ecológico. El régimen de un caudal ecológico debe incluir los siguientes parámetros básicos:

1) **Los caudales mínimos** deben superarse a fin de mantener la dinámica fluvial de la corriente de agua superficial y la biodiversidad del ecosistema y salvaguardar las comunidades nativas del hábitat.

2) **Los caudales máximos**, efecto del asentamiento de infraestructuras sobre el cauce, no deben ser superados con el fin de mantener la dinámica fluvial de la corriente de agua superficial y proteger a las especies más vulnerables.

3) **La distribución temporal de los caudales mínimos y máximos** debe establecer las variaciones temporales del régimen de caudales de acuerdo con los requerimientos de las principales especies de la biodiversidad acuática.

4) **Los caudales de crecida** deben procurar la preservación de la biodiversidad, mantener la dinámica fluvial de la corriente de agua superficial y las características físico-químicas del agua y sedimentos, mejorar las condiciones y disponibilidad del hábitat, favorecer la geomorfológica del cauce y los procesos hidrológicos de los cursos de agua dulce.

5) **Las Tasa de cambio** han de evitar los impactos nocivos de variaciones drásticas del caudal, mantener la dinámica fluvial de la corriente de agua superficial y procurar condiciones óptimas para la regeneración de especies vegetales acuáticas y ribereñas.

6. Métodos para la estimación de un “caudal ecológico”. A mediados del siglo pasado se empezaron a desarrollar en el Oeste de los Estados Unidos de América, las primeras herramientas que estimaban los caudales mínimos imprescindibles para preservar ciertas especies particulares de peces que eran generalmente de interés comercial y/o deportivo. Más tarde, entre las décadas de 1960 y 1970, la salud de los ecosistemas acuáticos era evaluada en relación con los análisis hidrológicos, las características de la cuenca y el suministro de agua requerido para los distintos usos a los que se destinan diferentes tramos de un cauce.

En la actualidad, el término “caudal ecológico” ha sido adoptado, como un instrumento de prevención o como una medida de mitigación, para enfrentar los impactos ecológicos nocivos causados por proyectos e infraestructura hidráulica que conllevan la captación o derivación de agua superficial (represas, agua potable, riego, etc.) que de cualquier manera alteran o transforman el régimen hídrico natural de los causes de agua superficial, a fin de preservar los ecosistemas y los corredores ecológicos integrados a los mismos.

Distintos métodos a nivel mundial son utilizados para la estimación de un caudal ecológico, aunque los más comunes solo se centran en estimar los niveles mínimos que debe conservar el cauce, sin tomar en

consideración las variaciones naturales del flujo hídrico por su interacción con las aguas subterráneas y la geomorfología de la cuenca. A pesar de que otros consideran la biodiversidad acuática y la que habita en las márgenes, todas estas distintas metodologías no consideran la contaminación provocada por el vertido de las aguas residuales provenientes de las distintas actividades humanas, lo cual deteriora substancialmente el bienestar social, cultural y económico, además de mermar la capacidad de regeneración natural del ecosistema.

Aunque existe una cuantiosa bibliografía acerca de los métodos para calcular caudales ecológicos, la mayoría de los autores consultados coinciden en que las metodologías más representativas se clasifican en cuatro grupos genéricos, de acuerdo al enfoque científico en que se fundamentan y al propósito de conservación que persigue cada una, como se muestra a continuación:

a. Métodos hidrológicos. Considerados como las aproximaciones más sencillas, se basan en la adaptación de la biodiversidad a las variaciones de caudal originadas por las diferencias del régimen hidrológico en el tiempo. Para ello, se realiza el análisis estadístico de los regímenes de caudales históricos, es decir, de datos de aforos disponibles y fiables recopilados por décadas o más tiempo, para establecer teóricamente un caudal mínimo ideal, o rangos de variabilidad del caudal, que técnicamente conserve las características del ecosistema existente. El caudal recomendado se expresa en términos de porcentaje, como resultado de una estadística de tendencia central. Son aplicables desde la planificación hidrológica para cada corriente fluvial hasta los efectuados exclusivamente para cada tramo de un cauce determinado; se llevan a cabo en gabinete y son rápidos, sencillos y económicamente accesibles.

La complejidad o la manera de analizar los datos recabados han dado como resultado una gran variedad de métodos, incluyendo algunos que podrían denominarse “secuenciales” por basarse en el estudio de las series continuas de caudales diarios, como el Método del Caudal Básico de Mantenimiento (QBM) y el Método de Aproximación por Rangos de Variabilidad (RVA). Entre los métodos hidrológicos que más destacan se mencionan los siguientes:

1) Método del Caudal Básico de Mantenimiento (QBM): Esta metodología, desarrollada por el Dr. Antoni Palau Ibars, biólogo, asume que el “caudal básico de mantenimiento” es el caudal mínimo que debe circular en un cauce a lo largo del tiempo para el sustento y desarrollo de la biodiversidad acuática. La información hidrológica que recaba y analiza es la sucesión de valores mínimos y medios de la serie de datos de aforos realizados a través del tiempo, dado que las variaciones de caudal condicionan y limitan la biodiversidad del cauce. Se calcula a partir de un “caudal básico” (Qb), considerado como el flujo mínimo absoluto que debe circular en el cauce, al que se le adiciona de forma permanente o temporal en caso de resultar ser insuficiente, a consecuencia de significativas modificaciones de la geomorfología del cauce o en aquellos casos donde la conservación de la biodiversidad, del paisaje, de un valor cultural o por intereses socioeconómicos, se convierten en un factor mandatorio, un complemento denominado “caudal de acondicionamiento” (Qa).

Se expresa mediante la siguiente relación matemática:

$$Q_{mi} = (Q_b + Q_a) \sqrt{\frac{Q_{mesi}}{Q_{mesmin}}}$$

Donde:

Q_{mi} es el caudal de mantenimiento del mes "i"

Q_b es el caudal básico

Q_a es el caudal de acondicionamiento

Q_{mesi} es el caudal medio el mes "i" para el período de años considerados en la serie de registros analizada

Q_{mesmin} es el caudal medio mensual más bajo.

2) Método de Aproximación por Rangos de Variabilidad: *“Según sus propios autores, este método ha sido ideado para casos en que se tenga como primer objetivo de manejo, la conservación de los ecosistemas. Se basa en datos de largos periodos de tiempo donde se describe la variabilidad hidrológica antes y después de instalada una represa.*

Consiste en tener una descripción del flujo natural a través de 32 parámetros que fueron considerados y definidos por Richter (1996) como claves en el funcionamiento del ecosistema para luego, estimar un rango de variación máximo de esos parámetros. Se considera como flujo natural aquel que se registra antes de la instalación de una represa. Con este método se recomienda un sistema de manejo con objetivos anuales intentando emular o “imitar” las características del flujo natural después del funcionamiento de la represa o hidroeléctrica. Esta metodología es adaptativa y depende el monitoreo continuo para la redefinición de sus objetivos.

El método comprende 6 pasos básicos:

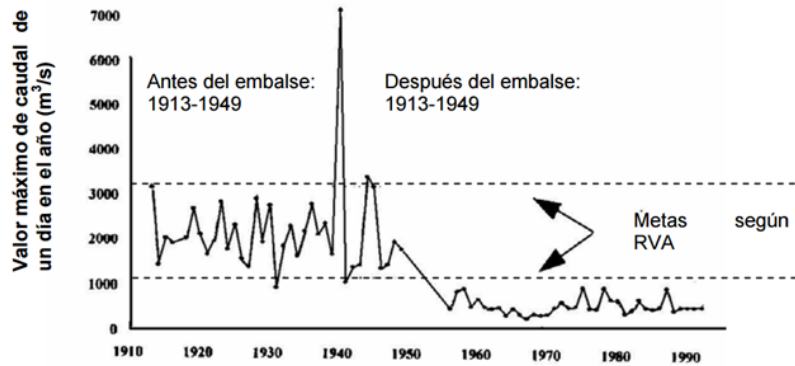
a) *Caracterizar el rango de variabilidad natural según los 32 parámetros descritos por Richter usando indicadores de alteración hidrológica (IHA).*

b) *Para estos 32 parámetros se calcula una tendencia central (ejem. mediana o media) y de dispersión (desviación estándar o coeficiente de variación).*

c) *Se definen como objetivos ciertos rangos de variabilidad para cada parámetro-indicador, ya sea como un valor máximo de la desviación estándar (por ejemplo, los valores deben caer dentro de la Media ± 1 la Desviación Estándar) o basados en los niveles percentiles (los valores deben estar entre el 20 y 80 percentil). Estos objetivos deben estar basados en información ecológica, sin embargo, los autores recomiendan que frente a la ausencia de esta información se puede utilizar el criterio de ± 1 la Desviación Estándar.*

En la ilustración se muestran los resultados de uno de los parámetros estudiados en el río Roanoke en Carolina del Norte, donde se comparan los valores máximos de un día antes y después de instalada un embalse. Para este parámetro estimaron un rango de variación máximo de ± 1 la Desviación Estandar delimitada en el gráfico por las líneas punteadas.

Ilustración 102. Aproximación por rangos de variabilidad



Dominguez & Finotti, 2004

d) Usando los objetivos de rangos de variación, el grupo de trabajo diseña un sistema de manejo.

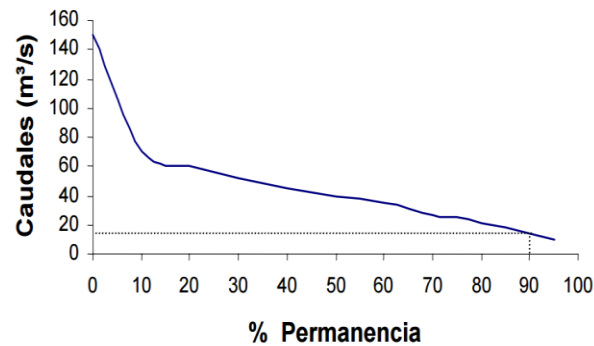
e) Una vez el sistema es implementado se comienza el monitoreo paralelo a un programa de investigación ecológica para determinar los efectos del manejo.

f) Al finalizar cada año, la variación actual es caracterizada usando los mismos 32 parámetros y los valores de esos parámetros son comparados con los valores definidos como objetivos.

g) Se repiten los pasos del 2 al 5 incorporando los resultados del año pasado y los datos del monitoreo y de las investigaciones ecológicas". (Dominguez & Finotti, 2004).

3) Método de la Curva de Permanencia: Consiste en la construcción de una curva a partir de datos de caudales diarios, mensuales o anuales donde se presenta la relación entre ciertos rangos de caudales y el porcentaje de tiempo en que cada uno de esos rangos es igualado o excedido. El caudal ecológico es expresado como un valor fijo que corresponde a un rango de caudal que se mantiene igualado o excedido un cierto porcentaje de tiempo. Ese porcentaje es elegido a criterio de los expertos y generalmente se ha realizado de acuerdo estudios en ríos que dan indicios de ciertos niveles mínimos en que peces o invertebrados aún pueden sobrevivir. (Dominguez & Finotti, 2004).

Ilustración 103. Curva de permanencia



Dominguez & Finotti, 2004

4) Método de Tennant: Está basado en un estudio realizado por la US Fish and Wildlife Service en 11 arroyos ubicados en Montana, Nebraska y Wyoming. Los estudios buscaban encontrar una relación entre el caudal y la disponibilidad de hábitat para la biota acuática, el transporte de sedimentos y la disponibilidad para la recreación. Para esos arroyos determinaron que el hábitat comenzaba a degradarse cuando el flujo era inferior al 10% del flujo medio anual (esto asociado a una velocidad media de 0.25 m/s y una profundidad media de 0.3 m), mientras que el 60% se consideró como un caudal para mantener un hábitat óptimo. (Dominguez & Finotti, 2004).

“Fue aplicado en los Estados Unidos en la década del setenta y consiste en una recomendación de caudales mínimos basados en un conjunto de porcentajes de caudales medios anuales calculados para un aprovechamiento local y que son aplicados a diferentes porcentajes para los periodos octubre-marzo y para abril-septiembre. Las variables utilizadas son los periodos estacionales del año (húmedo o seco) y el caudal medio anual.

Este método es particularmente adecuado para un nivel de planeación regional y es el más utilizado en Estados Unidos. Asimismo, comprende las siguientes etapas:

- a) Determinación del caudal medio anual de aprovechamiento hidráulico local.*
- b) Observación de cursos de agua durante los periodos en los cuales el caudal es aproximadamente 10%, 30% y 60% del caudal medio anual.*
- c) Otros caudales podrán ser igualmente analizados, pero éstos permiten abarcar un rango de flujos que, de una manera general, sirven para la protección de los ecosistemas acuáticos y rupícolas de la mayoría de los cursos de agua.*
- d) Utilización de la información obtenida para elaborar recomendaciones de caudales de mantenimiento en cursos de agua con base en la tabla 1.*

Tabla 30. Estimación del estado ecológico del río con base en el análisis de los caudales de mantenimiento.

ESTADO ECOLÓGICO	RÉGIMEN DE CAUDALES RECOMENDADO (Porcentaje del caudal medio anual)	
	OCTUBRE-MARZO (SEMESTRE SECO)	ABRIL-SEPTIEMBRE (SEMESTRE HÚMEDO)
De descarga o máximo	200%	
Gama óptima de variación	60% -100%	
Excelente	40%	60%
Muy buena	30%	50%
Buena	20%	40%
Débil o degradante	10%	30%
Pobre o mínimo	10%	10%
Degradación alta	0% -10% DEL CAUDAL MEDIO	

Agualimpia Dualiby & Castro Méndez, 2006

5) Método de Nueva Inglaterra: “Este método fue desarrollado en Estados Unidos por el Servicio de Pesca y Fauna en 1981. La recomendación de un caudal mínimo se basa en registros históricos de los caudales, a partir de la mediana calculada en el mes de agosto, que corresponde al registro más bajo, el cual constituye el caudal mínimo o básico por mantener a través de todo el año, con la excepción de los periodos de reproducción de incubación de especies piscícolas. En este periodo la mediana mensual o más baja para el caudal mínimo, corresponderá a la del caudal durante ese periodo, si es superior al caudal básico. Sin embargo, el cálculo de la mediana sólo es válido para cursos de aguas naturales en donde exista un registro de caudales mayores a veinticinco años. En otras situaciones, en cursos de aguas naturales en los que se verifican derivaciones importantes en el tamaño de registros de caudales inferiores a veinticinco años, un caudal mínimo es un porcentaje de caudal definido en función del área de la cuenca hidrográfica (ver tabla 2). Cuando un caudal de agua es menor a lo definido en este criterio, corresponderá al instantáneo para ese mismo periodo. Las variables utilizadas en este método son los periodos estacionales del año, el caudal mínimo anual y el rendimiento de la cuenca.

Tabla 31. Estimación del caudal ecológico por el método de caudal base o de Nueva Inglaterra.

ESTACIÓN DEL AÑO	PERIODOS DE REGISTROS HISTÓRICOS	
	Inferiores a 25 años (m3s-1/km2)	Superior a 25 años ^(a)
Abril a primera quincena de junio ^(b)	0,29	100% mediana de agosto ^(c)
Segunda quincena de junio a septiembre	0,04	100% mediana de agosto ^(c)
De octubre a marzo ^(b)	0,07	100% mediana de agosto ^(c)

Agualimpia Dualiby & Castro Méndez, 2006

- * *Río natural, cuenca hidrográfica superior a 130 km², precisión superior o igual al 10 %.*
- * *Periodo de postura o incubación. Si el caudal de agua es inferior al mes de agosto, entonces el caudal se debe verificar localmente con los cursos de agua.*
- * *Si el caudal de agua es inferior al mes de agosto, entonces el caudal se debe verificar localmente con los cursos de agua”. (Agualimpia Dualiby & Castro Méndez, 2006).*

6) Método de Caudal base: “Fue desarrollado para cursos de agua del río Cataluña (Norte de España) con base en un conjunto de cursos de agua representativos de varios tipos de regímenes hidrológicos que caracterizan la región, normalmente, son regímenes permanentes o temporales con características mediterráneas o no.

Este método considera que el caudal es la única variable independiente del ecosistema y que la información contenida en series hidrológicas permitirá mantener las relaciones de funcionalidad con las otras variables. Por otro lado, la comunidad piscícola y los macroinvertebrados constituyen las variables con mayor grado de dependencia, pero que son considerados de mayor sensibilidad y con mayor valor indicador para evaluar las alteraciones del ecosistema. Las variables utilizadas en este método son las especies piscícolas, los macroinvertebrados y los caudales medios mensuales”. (Agualimpia Dualiby & Castro Méndez, 2006).

7) Método 7Q10 (caudal mínimo de 7 días con período de ocurrencia de 10 años): Chiang y Jonhson⁴ (1976) recomendaron los caudales ecológicos basados en caudales medios mínimos observados durante un intervalo de tiempo de siete días, con un periodo de retorno de diez años. Este método es una variación del que inicialmente fue denominado $7Q_2$ y utiliza los mismos criterios, fue desarrollado para un periodo de retorno de dos años. Las variables utilizadas en este método son los caudales medios mínimos diarios. (Agualimpia Dualiby & Castro Méndez, 2006).

Este método entrega el valor de un caudal mínimo estadístico $7Q_{10}$ que corresponde al valor que en media, a cada diez años, será igual o menor que el caudal medio en cualquier evento de 7 días de sequía consecutivos. Este método supone que a valores menores que éste puede generarse un stress ecológico, por lo cual, es considerado en algunos países en desarrollo como un caudal ecológico. (Dominguez & Finotti, 2004).

8) Método de Northern Great Plains Resource Program (NGPRP): El método norteamericano del programa de recursos de grandes planicies se desarrolló en 1964 para los ríos salmonícolas provenientes de las montañas rocosas del oeste de Estados Unidos. En la estimación de caudales mínimos se tienen en cuenta la postura y el crecimiento de los individuos y los flujos de descarga de lavados finos, se recomienda calcular los mínimos durante todos los meses del año, con base en la curva de duración de caudales durante el mes analizado. Este método no requiere de mucho trabajo de campo, puesto que las curvas de duración de caudales son obtenidas a partir de un registro de caudales medios diarios superior a veinte años, en el que los flujos de temporada seca se eliminan, ya que este método supone que las componentes biológicas más representativas de un sistema acuático son esencialmente mantenidas por las condiciones hidrológicas que se verifican en años normales y no para eventos extremos que ocurren durante periodos de corta duración. Un caudal mínimo recomendado para cada mes corresponde al que es excedido en el 90% del tiempo (o en el 84% del tiempo según Dougal, 1979 y Loar y Sale, 1981), exceptuando los meses de caudales máximos, en los cuales el mínimo recomendado corresponde al que es igualado o excedido en el 50% del tiempo. Las variables utilizadas en este método son los periodos estacionales del año y los caudales medios diarios. (Aguilimpia Dualiby & Castro Méndez, 2006).

9) Método de Hope: En 1975 Hope modificó el método norteamericano del programa de recursos de grandes planicies utilizando ecuaciones basadas en áreas de cuencas hidrográficas para lugares en donde no existían registros de caudales. El método se basa en porcentajes de curvas de duración de caudales medios diarios y en las etapas del ciclo de vida de las especies; siendo desarrollado inicialmente para especies salmonícolas. El flujo que es igualado o excedido el 40 % del tiempo, es el caudal recomendado para la postura, mientras que el flujo que es igualado o excedido el 80% del tiempo es el recomendado para el crecimiento. El flujo que es igualado o excedido el 17 % del tiempo es considerado un caudal de descarga para un periodo de 48 horas. Las variables utilizadas en este método son los caudales medios diarios y el ciclo biológico de las especies. (Aguilimpia Dualiby & Castro Méndez, 2006).

10) Método de Arkansas: Fue desarrollado a partir del método de Tennant considerando varias especies piscícolas y dividiendo el año hidrológico en tres periodos en función de las características físicas y biológicas de los cursos de agua. Un caudal ecológico es definido como la base mensual correspondiente a un porcentaje del caudal medio mensual en cada periodo del año. Con base en lo anterior, para el periodo de caudales elevados (noviembre a marzo) es recomendable el 60% del caudal medio mensual, para una época de desove (abril a junio) sería el 70% y para el periodo de caudales bajos (junio a octubre) el 50% de este mismo caudal. La aplicación de este método produce estimaciones muy altas del caudal ecológico para cursos de agua salmonícolas.

Las variables utilizadas en este método son los periodos estacionales del año, el ciclo biológico de las especies y los caudales medios mensuales. (Aqualimpia Dualiby & Castro Méndez, 2006).

11) Método de Texas: Fue desarrollado para el área de Texas (estado semiárido de los Estados Unidos) y define un porcentaje variable de mediana mensual de forma que considera las características hidrológicas y biológicas de cursos de agua no salmonícolas, pero sí las especies lólicas obligatorias como especies indicadoras, en un índice hidrológico que refleje el régimen de caudales de los cursos de agua. Otros factores también tenidos en cuenta son las diferencias regionales a nivel de diversidad específica, las estadísticas más apropiadas para medir la tendencia central de los registros históricos de caudales, en este caso es un elemento cuyos valores son más bajos que las medias aritméticas y han mimetizado el modelo estacional de flujo base. Las variables utilizadas en este método son las características hidrológicas y biológicas, la diversidad específica y los caudales medios mensuales. (Aqualimpia Dualiby & Castro Méndez, 2006).

b. Métodos hidráulicos Reconocidos como predecesores de otros métodos más complejos, establecen que las características físicas de los cursos de agua y las variables hidráulicas, como el ancho, la velocidad, la profundidad y el perímetro mojado, constituyen elementos que condicionan y limitan la biodiversidad del cauce. Para ello, se analizan los cambios en la magnitud del caudal en relación a la variación de alguna de estas variables, al mismo tiempo que se vincula la geometría del cauce con las condiciones de habitabilidad para la biodiversidad acuática. Los datos son obtenidos de las secciones transversales ubicadas en los tramos más sensibles del cauce y a partir de estudios en el sitio se determinan para las variables que fueron consideradas, sus “valores límite”.

“Se conocen también con el nombre de métodos basados en secciones transversales. Relacionan el caudal y las características físicas de los cursos de agua, como son el perímetro mojado, la velocidad y la profundidad del flujo, sin tener en cuenta las preferencias específicas del hábitat de las especies a lo largo del ciclo de vida; para ello se considera una o más secciones transversales en el tramo de estudio del río. Uno de los aspectos más importantes de este tipo de métodos es la selección de una o más variables físicas que son directamente afectadas por la variación del caudal y que se constituyen en un factor limitante para las especies piscícolas u otras especies acuáticas. Se presume que un valor mínimo para estas variables permitirá la preservación integral del ecosistema. La aplicación de estos métodos involucra la definición de secciones transversales en zonas donde las variables seleccionadas son particularmente sensibles a las variaciones de caudal, siendo en cierto modo general definidas en lugares representativos de varios tipos de hábitat existentes localmente considerados críticos para una determinada especie.

Estos métodos se caracterizan por la introducción de muchas técnicas simples de simulación y en ellos son utilizados modelos hidráulicos que permiten disminuir el trabajo de campo necesario, para así obtener las características específicas de cada sitio, normalmente la morfología de cursos de agua. Muchos de estos métodos

difieren en la forma como son utilizados los datos de campo y no en cómo es tratada o utilizada la información. La recomendación de caudales mínimos se define a partir de curvas de variación teniendo en cuenta la variable o variables hidráulicas en función del caudal según los siguientes criterios:

- *Criterio de mantenimiento de características físicas de hábitat.* Considera las diferencias existentes entre las características de hábitat para un caudal en análisis y para el caudal de referencia, para lo cual se asume que existen condiciones favorables para las especies acuáticas. Un ejemplo de este criterio es el perímetro mojado correspondiente al caudal máximo el cual no se le debe aplicar una reducción superior al 25%.
- *Criterio de punto de inflexión.* Consiste en encontrar un punto en la curva de respuesta de la variable hidráulica en función del caudal, por ejemplo el perímetro mojado en función del caudal, con el que se verifica una variación acentuada de declive. El caudal correspondiente a este punto es considerado como un referente por debajo del cual la calidad del hábitat es significativamente degradada. La desventaja principal del criterio del punto de inflexión es el carácter subjetivo que está asociado a la selección de este punto en la curva o debido a la existencia de varios puntos de inflexión.

Los métodos basados en los análisis de registros históricos de caudal, presentan una desventaja relativa con respecto a los que consideran las características hidráulicas y de caudal, ya que, además, estos últimos tienen en cuenta las características específicas del lecho y, por lo tanto, el hábitat del tramo del río en estudio”. (Aguilimpia Dualiby & Castro Méndez, 2006).

Dentro de este grupo de métodos pueden citarse los siguientes:

1) Método del Perímetro Mojado: “En este método se asume que existe una relación directa entre el perímetro mojado y la disponibilidad de hábitat para las especies piscícolas. Se definen secciones transversales en una o más zonas de rápidos donde se realizan por lo menos cinco mediciones de velocidad y profundidad del flujo, para que igualmente se pueda aplicar una modelación hidráulica. Se define un gráfico de perímetro mojado en función del caudal y se identifica el principal punto de inflexión de la curva, a partir del cual el aumento del caudal se traduce en un aumento poco significativo de perímetro mojado y un rápido deterioro de las condiciones de hábitat.

El caudal correspondiente al punto de inflexión es el recomendado, si se considera como el caudal óptimo y si existen varias zonas de rápidos, se tomará el valor medio. Sin embargo, con este método se corre el riesgo de que el conocimiento definido de velocidades y de profundidades asociadas al caudal definido no sean apropiadas para las especies en cuestión. La elección de rápidos, principal hábitat de macroinvertebrados bentónicos, que constituyen la fuente de alimentos de diversas especies piscícolas, normalmente salmonícolas, tienen por principio que la productividad bentónica esté directamente relacionada con la superficie mojada del lecho del río,

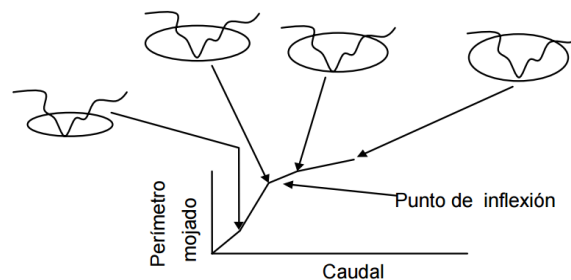
representada en el perímetro mojado; sin embargo cualquier alteración de estas poblaciones afectará a las piscícolas.

Por otro lado, las zonas de rápidos se constituyen en sitios de paso para algunas especies y en zonas de postura y crecimiento de alevinos; son las zonas de cursos de aguas más afectadas por la disminución del caudal, aunque no definen un caudal de mantenimiento en dichas zonas, sí permitirán la circulación de aguas en zonas más profundas, que son normalmente preferidas por los adultos. El caudal recomendado por este método es en general excedido por el caudal medio diario en 60 a 90% del tiempo. Las variables utilizadas en este método son el tipo de sustrato, la velocidad media, la profundidad y el perímetro mojado”. (Agualimpia Dualiby & Castro Méndez, 2006).

En este método se asume que la integridad del hábitat está directamente relacionada con el área húmeda del hábitat. Para ello se construyen curvas de descarga versus perímetro mojado mostrando como crece rápidamente el perímetro mojado a medida que aumenta la descarga hasta un cierto punto de inflexión donde el perímetro ya crece a una tasa menor. Generalmente el flujo recomendado es aquel cerca de este punto de inflexión pues se presume es el punto óptimo para el desove de peces o para la producción de invertebrados bentónicos. (Dominguez & Finotti, 2004).

Este método es uno de los de mayor aplicación a nivel mundial.

Ilustración 104. Método perímetro mojado



Dominguez & Finotti, 2004

2) **Método de Montana:** Conocido como método de Tennant, generalmente ha sido clasificado como un método hidrológico debido a que su técnica de cálculo consiste en la estimación de porcentajes fijos del caudal medio anual, no obstante, es un método completamente hidráulico, pues se basa en la relación que existe entre los cambios en la magnitud del caudal respecto de algunas variables hidráulicas como la profundidad del lecho, la velocidad del flujo y ancho de lámina de agua). Es uno de los métodos más utilizados y ha validado ciertos criterios en la definición de caudales de mantenimiento.

3) Método de Idaho: *“Fue desarrollado por Cochnauer y White en 1975, para los grandes ríos de estado de Idaho en los Estados Unidos. Este método se basa en la supuesta pérdida de hábitat debido a la disminución del caudal, teniendo en cuenta las características requeridas por las especies seleccionadas como indicadoras del hábitat. En este método se definen las áreas críticas para la libre circulación, reproducción y crecimiento de especies piscícolas; a su vez, en cada área crítica se determinan secciones transversales en las que se miden velocidad, profundidad y tipo de sustrato. La caracterización física de cada sección transversal es realizada una sola vez para el caudal más bajo. Se utiliza un modelo de simulación hidráulica, para generar los valores de profundidad, velocidad y perímetro mojado, para un amplio rango de caudales.*

La comparación de las condiciones de hábitat simuladas con las necesidades de hábitat de las diferentes especies permite generar recomendaciones de caudales mínimos para la circulación, reproducción y crecimiento. Los caudales para la circulación sin restricciones de los individuos son basados en la profundidad mínima necesaria. Para la postura, el caudal que permite el ancho máximo disponible (valor medio obtenido de todas las secciones transversales) se usa como orientación para determinar el caudal mínimo. El caudal mínimo para el crecimiento de peces es determinado con base en el método de perímetro mojado. Las variables utilizadas en este método son el tipo de sustrato, la velocidad media, la profundidad y el perímetro mojado”. (Agualimpia Dualiby & Castro Méndez, 2006).

4) Método de Colorado de la región 2 de U.S.F.W.S.: Este método fue desarrollado en 1993 para los ríos salmonícolas de las montañas rocosas del estado de Colorado, sudeste de los Estados Unidos por Russel y Mulvaney. Este método se basa en una selección de áreas críticas, con sus respectivas secciones transversales, en donde se realiza una simulación hidráulica, para de esta forma obtener valores para el perímetro mojado, el área de sección transversal, para la velocidad media y para la profundidad, a partir de las cuales son definidas curvas de variación de los parámetros hidráulicos en función del caudal. De modo general, estas áreas corresponden a zonas menos profundas y rápidas del tramo en análisis. Las variables utilizadas en este método son el perímetro mojado, la velocidad media y la profundidad. (Agualimpia Dualiby & Castro Méndez, 2006).

5) Método de la región 4 U.S.F.W.S: Fue desarrollado por Herrington y Dunham en 1967, para la recomendación de caudales mínimos que permitan el mantenimiento de las características generales del hábitat en las poblaciones residentes de salmonídeos en cursos pequeños de agua de montaña de los estados de Utah, Idaho y Wyoming del sudeste de Estados Unidos. Este método fue modificado posteriormente por Dunham y Collotzi en 1975. La selección de los lugares se realiza a partir de fotografías aéreas y de mapas topográficos, para lo que son definidas al menos cinco secciones transversales en cada uno de los sitios seleccionados. La caracterización de éstos analizada para un caudal bajo y se considera los siguientes parámetros: profundidad, sustrato y características de las márgenes. Se utiliza un modelo de simulación hidráulica, para definir curvas de hábitat en función del caudal en las que se considera un porcentaje de hábitat relativamente óptimo, correspondiente al 100% del valor obtenido

para un caudal de estiaje. Las variables utilizadas en este método son los caudales mínimos, el tipo de sustrato y las características de las márgenes. (Aqualimpia Dualiby & Castro Méndez, 2006).

c. Métodos hidrobiológicos. Denominados métodos ecohidráulicos, de simulación o modelización de hábitats, se contemplan como la metodología más avanzada para la determinación del caudal ecológico. Evalúan los efectos que provocan las variaciones de caudal en la estructura del canal, la calidad del agua, la temperatura y la disponibilidad de hábitat físico utilizable mediante una combinación de datos hidráulicos, hidrológicos y biológicos, para lo cual se acude al análisis de pequeños módulos en los que se divide cada una de las secciones transversales en los tramos más sensibles del cauce, en los que se relaciona la velocidad del flujo hídrico y el hábitat circundante.

Particularmente, estos métodos establecen la relación existente entre el caudal circulante con los parámetros físicos del hábitat fluvial y los requerimientos de determinadas especies, para definir el caudal en base a la respuesta de la especie en estudio a las variaciones del mismo. Para ello, el caudal se deduce a partir de una cuantificación previa de la cantidad y calidad del hábitat físico para una o varias especies de referencia, normalmente peces, que se evalúan bajo múltiples regímenes hidrológicos y en diversos escenarios de configuración biológica, llevándose a cabo el análisis de su relación con el caudal a través de una simulación hidráulica. Requieren de series históricas de caudal, variables hidráulicas de diferentes secciones transversales y detalles del hábitat de las especies objeto de estudio.

Algunos de estos métodos emplean variables biológicas como la biomasa, que se refiere al total de la materia constituida por las especies que residen en un lugar determinado (expresada en peso por unidad de área o de volumen) o la diversidad ecológica de diferentes comunidades naturales, entre organismos que habitan el fondo y la vegetación de las márgenes, incluyendo además el transporte de sedimentos y la calidad del agua, así como también ciertos indicadores socioculturales.

“También se conocen con el nombre de métodos ecohidráulicos. Analizan secciones transversales del río, subdividas en pequeñas celdas en las que se relacionan el hábitat y la velocidad del flujo con el objeto de evaluar los efectos que producen cambios incrementales de caudal en la estructura del cauce, la calidad del agua, la temperatura y la disponibilidad de hábitat físico utilizable a través de una combinación de datos hidráulicos, hidrológicos y biológicos; se consideran los métodos más avanzados para la determinación del caudal ecológico”. (Aqualimpia Dualiby & Castro Méndez, 2006).

Hoy en día, entre los métodos hidrobiológicos más utilizados para definir y establecer regímenes de caudales ecológicos y uno de los más divulgados a nivel mundial es la metodología IFIM (Instream Flow Incremental Methodology, Bovee K. D., 1982), sin embargo, aún se prefiere la aplicación práctica de otros menos complejos como los que se describen a continuación:

1) Metodología IFIM (Instream Flow Incremental Methodology): Se ha definido como una herramienta de negociación en la gestión de ríos regulados, derivada de una puesta en común de conceptos del ámbito de la ecología de peces, la hidrología y la hidráulica fluvial. Se trata de analizar cómo va cambiando el hábitat para una especie de pez determinado (especie objetivo), frente a las variaciones de caudal circulante y decidir, sobre los resultados, el régimen de gestión más conveniente. (Palau, MÉTODO QBM (CAUDAL BÁSICO DE MANTENIMIENTO), 2004).

La Instream Flow Incremental Methodology (IFIM) es considerada por muchos como un avance significativo en la determinación de los caudales ecológicos, ya que sintetiza los aspectos más relevantes de los métodos de Washington y de California. A partir de ella se analizan conjuntamente variables de tipo hidráulico y biológico. La metodología IFIM puede ser definida como un conjunto de procesos analíticos y simulaciones elaboradas para prever los cambios en el hábitat de los ríos, debido a las alteraciones del flujo. La forma como se aplique esta metodología podrá ser determinada para cada caso, dependiendo de la especificidad de la situación y así generar varias alternativas, ya que a partir de un caudal inicial se trabaja con diferentes valores de éste al igual que se considera si la especie cuenta con el hábitat físico que requiere, además de trabajar con los datos hidráulicos, hidrológicos y biológicos pertinentes. (Agualimpia Dualiby & Castro Méndez, 2006).

“Fue desarrollado por US Fish and Wildlife Service integrando modelos analíticos hidráulicos junto con el estudio de la calidad del agua, sedimentos, estabilidad de los canales, temperatura y otras variables que afectan la producción de peces. También contiene un modelo computarizado (Physical Habitat Simulation System) que relaciona el caudal con datos obtenidos del hábitat físico.

Debido a que en este método se presupone que el hábitat de los peces está determinada por las características hidráulicas, existen modelos para predecir profundidades y velocidades en función de un cierto caudal. Dentro de estos modelos el más conocido se denomina IFG4 que usa múltiples transectas. Este modelo se calibra y construye a partir de datos de campo donde se crea una célula por cada punto de medición a lo largo de una transecta. Cada célula tiene una velocidad y profundidad media relacionada con un tipo de sustrato o cobertura para un flujo o caudal particular.

Por otra parte, se construyen índices y curvas de adecuación por especies para cada variable de velocidad, profundidad y sustrato por separado. Estos índices pueden construirse de diversas maneras, ya sea por opinión de expertos y/o por observación directa. Las curvas varían dependiendo de la especie y del estado en que se encuentren dentro de su ciclo biológico. Posteriormente, se construyen índices de adaptación compuestos para cada especie multiplicando los valores de los índices de adaptación por cada variable.

$$i_{ac} = (iah_{g.i.v})_s * (iah_{g.i.p})_s * (iah_{g.i.c})_s$$

Donde:

i_{ac} , es el índice de adaptación compuesto de la célula (i), en el caudal (q) y la especie (s)

$(iah_{q,i,v})_s$, es el índice de adaptación de velocidad para la célula (i), en el caudal (q) y la especie (s)

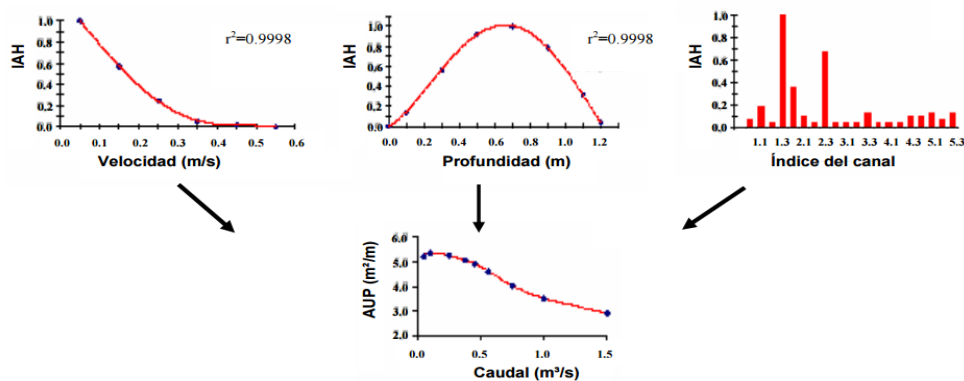
$(iah_{q,i,p})_s$, es el índice de adaptación de profundidad para la célula (i), en el caudal (q) y la especie (s)

$(iah_{q,i,c})_s$, es el índice de adaptación del sustrato/cobertura para la célula (i), en el caudal (q) y la especie (s)

De esta manera, se calcula una superficie ponderada utilizable para una determinada especie y caudal de una célula por el producto de i_{ac} y el área superficial de la célula. Sumando los valores obtenidos en todas las células de la sección transversal se determina el Área Utilizable Ponderada (AUP) para todo el trecho en estudio.

$$AUP_{qs} = \sum iac_{qi} * a_{iq}$$

Ilustración 105. Curvas de Índices de adaptación (iah) y curva de Área Utilizable Ponderada vs. Caudal.



Dominguez & Finotti, 2004

En la ilustración 27 se muestran los resultados de un estudio realizado para calcular el caudal ecológico en el Río Santa María da Victoria en el Estado Espírito Santo de Brasil, a través de la metodología IFIM. Los resultados de las figuras corresponden a los índices de adecuación para una de las tres especies de pez estudiadas (*Astyanax aff. taeniatus*) en relación a valores de profundidad, velocidad e índice del canal (construido por la combinación de la cobertura y el tipo de sustrato). Estas curvas permitieron luego la construcción de la curva caudal vs AUP.

Posteriormente, para determinar el valor del caudal ecológico se pueden usar múltiples criterios o métodos, en el caso de este estudio se definió el caudal que minimizara la reducción del microhábitat para las tres especies estudiadas a través de una matriz de optimización". (Dominguez & Finotti, 2004).

2) Metodología PHABSIM (Physical Habitat Simulation System o Sistema de Simulación de Hábitat Físico): Es derivado de la metodología IFIM y consiste en realizar simulaciones hidráulicas y de hábitat, lo que permite hacer variaciones en caudal y en la geomorfología del cauce las cuales están relacionadas con el índice de hábitat. Las variables utilizadas en este método son profundidad y velocidad del flujo, sustrato, cobertura y el ciclo de vida (alevinos, juvenil y adulto) o sus actividades específicas (reproducción, desove, alimentación o reposo), que se reflejan en las curvas de preferencia. (Aguilimpia Dualiby & Castro Méndez, 2006).

“Su aplicación informática es hasta la fecha, la referencia incuestionable en la determinación de caudales de mantenimiento en ríos de los últimos 25 años, a pesar de que, como sus propios autores indican, ni se pensó ni sirve para determinarlos. Deriva de una metodología de cuantificación de hábitats (HEP, Habitat Evaluation Procedure).

El caudal de mantenimiento se define como el punto de cambio de pendiente de la curva que relaciona la cantidad de hábitat (WUA; Weighted Usable Area) y el caudal. A partir del PHABSIM se han generado multitud de modelos similares, como el RHYABSIM (River Hydraulics and Habitat Simulation Program), el RHABSIM (Riverine Habitat Simulation Program), todos ellos unidimensionales. Actualmente progresan los que utilizan modelos hidráulicos bidimensionales, como por ejemplo el CASIMIR (Computer Aided Simulation Model for Instream Flow Requirements) o el River 2D, entre otros”. (Palau, MÉTODO QBM (CAUDAL BÁSICO DE MANTENIMIENTO), 2004).

3) Método de WRRRI Cover: Fue desarrollado por Wesche en 1973, para trucha (*Salmo Trutta*) en pequeños ríos de montaña, con caudales medios igual o inferior a 30 m³/s, basándose fundamentalmente en la cobertura. Se aplica en secciones transversales en tramos de cursos de agua en estudio, siempre que existan alteraciones significativas de sus características. En cada sección transversal se caracteriza el sustrato y se realizan mediciones de profundidad, caudal y ancho superficial del flujo, así como las mediciones de longitud de la cobertura de las márgenes y la profundidad del agua a ella asociada. La gama de caudales seleccionados varía entre el 10% y el 100% del caudal medio (si no existen registros de caudales, se utiliza el caudal medio de fin de verano) y se considera al menos cuatro valores de caudal. Este método tiene una sensibilidad ecológica elevada, después de haber verificado una buena correlación entre una cobertura y la biomasa piscícola. Las variables utilizadas en este método son la cobertura vegetal, los caudales medios anuales, la longitud y el área de la sección. (Aguilimpia Dualiby & Castro Méndez, 2006).

4) Método de Washington: Fue desarrollado para el Washington Department of Fisheries, (Departamento Pesquero de Washington, EE.UU) por Collings, en 1974, para especies salmonícolas; también es llamado método de las áreas favoritas. Utiliza la cartografía básica de los tramos de los ríos para determinar las áreas de postura y crecimiento de especies consideradas; se aplica para un rango de caudales de interés, considerando criterios biológicos de preferencia para una velocidad y una profundidad del flujo. Estos criterios

definen los límites superiores e inferiores de los intervalos de valores seleccionados para las especies. Por lo menos, son considerados tres sitios representativos para desove o crecimiento, siendo definidas cuatro secciones transversales en cada sitio. A lo largo de cada sección transversal y de preferencia –también entre secciones– son realizadas mediciones de velocidad y de profundidad para mínimo cinco valores de caudal. Los valores obtenidos permiten definir isolíneas para la profundidad y velocidad. Este método constituye igualmente un ejemplo del caudal recomendado con base en criterios de mantenimiento del hábitat. Una ventaja es la forma de su gráfica, no siendo necesario correr la simulación hidráulica. Las variables utilizadas en este método son la velocidad, la profundidad de flujo, el caudal y el ciclo biológico de las especies. (Aqualimpia Dualiby & Castro Méndez, 2006).

5) Método de California o Método de Waters: Fue desarrollado por Waters en 1976 para la determinación de caudales mínimos para la postura y crecimiento de especies salmonícolas existentes en los cursos de aguas de California. Este método es semejante al método de Washington y también es conocido con el nombre de las áreas favoritas, en los cuales se elaboran dos mapas planimétricos: uno de velocidad y otro de profundidad del flujo, a partir de información obtenida en secciones transversales seleccionadas para muestreo (en un número mínimo de 600 mediciones), para los caudales de interés, en un número superior a tres, sin aplicar una simulación hidráulica. Son considerados factores de ponderación, valores entre cero y uno, para cada uno de los parámetros. Adicionalmente, puede ser incluida una caracterización del sustrato en cada sitio del muestreo. Las variables utilizadas en este método son la velocidad, la profundidad de flujo, el área de la subsección, el sustrato. (Aqualimpia Dualiby & Castro Méndez, 2006).

6) Método de Oregón: *“También es conocido como el método del ancho utilizable LU o del ancho ponderado utilizable LPU, cuyo fin fue determinar los caudales mínimos y los caudales óptimos para el paso, postura, incubación y crecimiento de especies seleccionadas, siendo aplicados para tramos de ríos salmonícolas del estado Oregón (noroeste de Estados Unidos). El hábitat disponible y cuantificado como una fracción del ancho del tramo de curso de agua es aplicado para las especies seleccionadas, si se tiene en cuenta criterios de hábitat para la fase del ciclo de vida considerado y para las características físicas del tramo del río. La relación entre el hábitat y el caudal se obtiene a través de mediciones realizadas en secciones transversales, con las que se definen las zonas de hábitat crítico, para un número mínimo de tres caudales; originalmente no se incluyen en este método modelos de simulación hidráulica.*

Los criterios de hábitat se basan en valores de velocidad y profundidad de flujo donde se verifica la presencia de peces. El ancho utilizable (LU) es definido según un criterio binario: utilizable y no utilizable; para ello se considera un rango de valores de velocidad y profundidad utilizados por la especie, en cada una de las fases del ciclo de vida. El ancho medio utilizable (LPU) se presenta como criterio para definir la aptitud de hábitat y se considera como un factor de ponderación, que varía entre 0 y 1 para cada variable. Para calcular LPU, cada sección transversal es uniformemente dividida en subsecciones, cada una caracterizada por una profundidad y un ancho y una velocidad media. El ancho de cada subsección es multiplicada por un factor de ponderación para la

velocidad y para la profundidad, lo que permite cuantificar en términos relativos el valor de hábitat en cada subsección.

La curva de factores de ponderación se puede obtener a través de opinión personal u observaciones experimentales, si se tiene en consideración las preferencias de las poblaciones de especies potencialmente existentes en los cursos de aguas analizadas”. (Agualimpia Dualiby & Castro Méndez, 2006).

d. Métodos holísticos Aunque en la práctica la aplicación de esta metodología resulta ser bastante compleja, se trata de una aproximación global la cual considera que el régimen hidrológico natural mantiene la biodiversidad de un cauce, la geomorfología del canal, las zonas de transición entre los ecosistemas acuáticos y terrestres formadas por los corredores ecológicos en la ribera de los cursos y cuerpos de agua dulce (zona ripariana) y las áreas que frecuentemente son inundadas o saturadas por aguas superficiales o subterráneas (humedales), así como los estuarios que se originan por el intercambio de agua dulce y salada al desembocar una corriente fluvial en el mar. El caudal se deduce examinando la magnitud y la distribución del caudal en el tiempo para identificar las características esenciales y el conjunto de procesos biológicos, físicos y químicos del flujo hídrico que podrían provocar impactos nocivos al ecosistema, al bienestar social, cultural y económico de las comunidades aledañas a la corriente superficial y el deterioro del paisaje, o todos en conjunto. Para ello, se analizan de forma independiente las variables del flujo hídrico que ecológicamente son más importantes que otras, incluyendo todos aquellos factores preceptivos (paisaje), culturales y socioeconómicos de interés, con el objeto de identificar las características esenciales que pueden generar un impacto ecológico nocivo, asumiendo que la biodiversidad y la integridad estructural, funcional, espacial y temporal del ecosistema serán mantenidas si las mismas son incorporadas dentro de un régimen de flujo modificado. Este tipo de métodos se basan en el juicio de expertos que consideran y definen cada uno de los elementos del caudal para alcanzar determinados objetivos ecológicos y sociales.

Estos métodos evalúan aspectos hidrológicos, ambientales, sociales y económicos antes de determinar un régimen de caudal, el cual generalmente se estima a partir desde dos perspectivas:

- Estimando el caudal desde cero e incrementar sus valores procurando igualar o superar las características del régimen natural (aproximación de abajo hacia arriba o bottom-up approach).
- Estimando el caudal a partir de un flujo máximo tolerable y reducir sus valores sin degradar las características del régimen natural (aproximación de arriba a abajo top-down).

Hoy en día, este tipo de métodos son poco utilizados debido a la complejidad de interrelacionar la diversidad de los resultados obtenidos para cada elemento considerado. Las dos metodologías que destacan son las siguientes:

1) Metodología BBM (Building Block Methodology): Considerando que las especies fluviales dependen de elementos básicos del régimen de caudal para conservar la estructura geomorfológica del cauce y la dinámica de los sedimentos, incluyendo caudales mínimos e inundaciones, esta metodología evalúa, sino todos, la mayoría los componentes del ecosistema fluvial e identifica previamente cuáles serán los elementos bióticos, abióticos, culturales o socioeconómicos que se pretenden conservar, basado en el régimen hidrológico natural del cauce.

Es una metodología basada en la participación de varios sectores, a la que se integra un grupo de especialistas en hidrología, hidrogeología y geomorfología, así como de científicos en química, biología, botánica, entomología acuática y biología acuática, además de expertos en componentes sociales, culturales y económicos. Por ello, sus resultados a diferentes niveles de resolución son pragmáticos, justificables y flexibles, con una mayor probabilidad de perdurar en el tiempo.

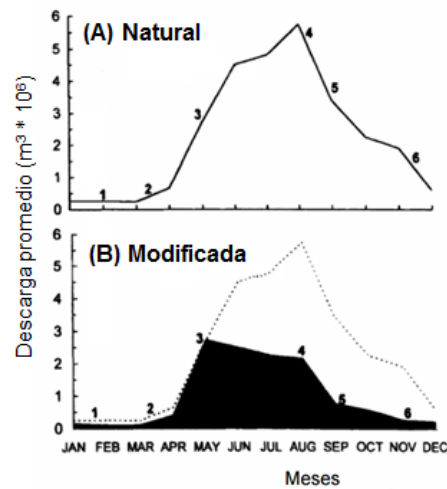
2) “Método de Building Block (aproximación bottom -up): *Se realiza en base de grupos de trabajos multidisciplinarios, tomando en cuenta trabajos de investigación ya realizados, modelos para entender la respuesta caudal - características hidráulicas y juicios de expertos. Dentro de los pasos más importantes, se encuentran:*

a) Determinar área de estudio y sus características e importancia en términos económicos, sociales y ecológicos. Para la estimación de la importancia económica y social se realiza una evaluación de la dependencia social y económica de los ecosistemas ribereños en conjunto con la comunidad. Para la evaluación ecológica se estudian las características geomorfológicas, se evalúan requerimientos de calidad del agua del pasado, presente y futuro y se investiga sobre la distribución, abundancia y rareza de las especies.

b) Identificar y describir en términos de predictibilidad, duración y magnitud los flujos que se consideran más importantes en el flujo natural. Generalmente estos son: grado de perennibilidad de un río, magnitud de los flujos bases en periodos secos y húmedos, magnitud, frecuencia y duración de las inundaciones en estaciones húmedas y picos de flujos en meses secos. Ver ilustración 28.

La ilustración 28 muestra algunas características del flujo hídrico que son destacadas como más importantes con los números del 1 a 6, así como también aquel flujo que se recomendaría una vez modificado por la construcción de un embalse. Las características 1 y 6 muestran la cuán perenne es el río y el deseo de mantener esto en (B), las características 2, 4 y 5 muestran la diferencia entre estaciones húmedas y secas y la característica 3 reconoce el tiempo del primer flujo de inundación para la estación seca.

Ilustración 106. Ejemplo hipotético destacando características del régimen hídrico natural antes de un embalse (A) y aquellas que deben mantenerse después del funcionamiento de un embalse (B).

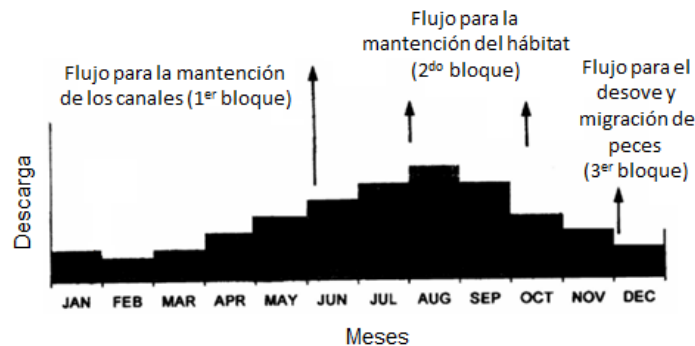


Dominguez & Finotti, 2004

c) *Determinar en qué estado de conservación y/o condiciones ambientales quieren ser mantenidos los ecosistemas. Tomando en cuenta estos estados deseados, cada especialista de diversas áreas recomienda un set de caudales. Posteriormente, hidrólogos hacen uso de modelos para relacionar los caudales recomendados con profundidad, perímetros mojados, velocidad o áreas inundadas.*

d) *Determinar y describir en términos de tiempo, duración y magnitud los flujos que se recomendarán. La descripción de cada uno de los componentes del flujo son considerados como los building block. Estos bloques conforman los Requerimientos de Flujo (IFR, Intream Flow Requiremnts) los cuales incluyen lo que significan en términos de requerimientos ecológicos y funciones geomorfológicas. El primer bloque define el requerimiento de pernilibilidad. Subsecuentemente se construyen bloques con flujos mayores. Ver ilustración 29.*

Ilustración 107. Bloques hipotéticos que conforman los Requerimientos de Flujo (IFR) usando el método Building Block.



Dominguez & Finotti, 2004

3) **Benchmarking** (aproximación Top-Down): *Se basa en principios similares al método Building Block. Con información disponible, modelos conceptuales y juicio de experto se identifican indicadores hidrológicos que son considerados ecológicamente relevantes. Con estos indicadores son caracterizados canales que se escogen dentro de un río como bench mark o de referencia.*

En estos canales de referencia no existe necesariamente un flujo natural pero son escogidos porque cubren variados tipos y niveles de flujo que se registran en la cuenca. Posteriormente en estos sitios o reaches se relacionan impactos ecológicos en función de cambios en el flujo hídrico, de esta manera se investiga cuanto puede cambiar el flujo del agua antes de que el ecosistema sea degradado.

Esta metodología cuenta con cuatro pasos claves:

- a) *Formación de un panel técnico (TAP Technical Advisory Panel) y desarrollo de un modelo hidrológico para la cuenca hidrográfica.*
- b) *Determinación de las condiciones y tendencias de los canales.*
- c) *Desarrollo de una evaluación de los riesgos ambientales por cambios en el flujo.*
- d) *Evaluación de escenarios futuros posibles". (Dominguez & Finotti, 2004).*

4) **Metodología AHA** (Australian Holistic Approach): Esta metodología se basa en los mismos principios teóricos y científicos de la BBM (Building Block Methodology), aunque diverge en los criterios de análisis de los requerimientos de cada uno de los componentes del ecosistema fluvial objetivo y de la biodiversidad acuática y en la secuencia de su aplicación.

7. Análisis de la información y comparación de resultados.

a. Evaluación de los distintos métodos para la estimación de un caudal ecológico. La actividad humana sobre las cuencas hidrográficas, el régimen pluviométrico, la temperatura que rige los índices de evaporación, la pendiente originada por el relieve, el tipo de vegetación, la geología y la geomorfología en cada tramo del cauce y el flujo de las aguas subterráneas, condicionan los procesos naturales en los cursos de agua superficial afectando de manera distinta el comportamiento y el régimen de caudal de la corriente, la calidad del agua y los ecosistemas.

También se debe tomar en cuenta que los proyectos y las obras de infraestructura hidráulica destinadas a la captación o derivación de caudales, así como los extremos meteorológicos y climatológicos que provocan la intensidad de la frecuencia de crecidas y las épocas de sequía, perturban substancialmente e influyen directamente en las características del flujo.

Por otra parte, las metodologías para la estimación de un caudal ecológico han surgido en países donde sus cauces de agua superficial y los ecosistemas asociados a los mismos, presentan características bastante particulares y muy distintas a las de nuestro país, por lo que implementar alguna de estas metodologías requiere de una sólida evaluación que permita su aplicación y adaptación al contexto nacional.

A continuación, se discuten los enfoques teóricos para definir el caudal y las ventajas y desventajas de las diferentes metodológicas para la determinación del caudal ecológico:

1) Métodos hidrológicos: Estos métodos están dirigidos a mantener un caudal mínimo específico para conservar un determinado nivel ecológico del hábitat que permita la preservación de las especies acuáticas; se fundamentan en la adaptación de la biodiversidad a las variaciones de caudal originadas por las diferencias del régimen hidrológico en el tiempo, es decir, los organismos evolucionan y se adaptan naturalmente a los cambios temporales o estacionales que se producen en el comportamiento del ciclo biológico de su hábitat.

Se basan en el análisis estadístico de los regímenes de caudales históricos a fin de estimar un caudal mínimo específico que permita prevenir y conservar la exacta relación entre el régimen hidrológico y un delimitado nivel ecológico del ecosistema en estudio, para la estimación del caudal ecológico; sin embargo, al determinar un flujo mínimo sólo se toma en cuenta la magnitud mínima del caudal como el factor limitante en los requerimientos de la biodiversidad acuática, dejando de considerar el intercambio de materiales y nutrientes que de una u otra forma pueden afectar la funcionalidad del ecosistema, además de restarle importancia a la interacción de las zonas de transición formadas por los corredores ecológicos entre los ecosistemas acuáticos y terrestres en la ribera de los cursos de agua superficial, así como de otros componentes que dependan del flujo.

Asimismo, al fundamentarse estos instrumentos metodológicos sobre una base estadística en la que sólo se calculan caudales mínimos según las probabilidades de ocurrencia de ciertos eventos de sequía o frecuencia de caudales bajos, sin considerar los efectos de corto plazo que producen los flujos mínimos que suceden de manera extraordinaria y los efectos de largo plazo que se generan por mantener estos mismos flujos mínimos como constantes el tiempo, que en ambos casos son muy diferentes, se dejan en la incertidumbre el carácter complejo que caracteriza a los ecosistemas, por lo que únicamente se podría estar beneficiando la sobrevivencia de unas pocas especies acuáticas y no de todo el ecosistema en su conjunto.

Por otra parte, los métodos hidrológicos pertenecen al grupo más simple de metodologías para estimar caudales ecológicos, por lo que encuentran fácil su aplicación. Requieren pocos datos, en principio series históricas de caudal y en algunos casos datos sobre la ecología del lugar. Se realizan en gabinete y no requieren de trabajos específicos de campo. Son económicos, rápidos y poco dispendiosos de aplicar. Los resultados obtenidos son de fácil interpretación por lo que pueden ser manejados por personas sin una elevada experiencia en el tema.

Si bien, la principal ventaja de este grupo de metodologías es su simplicidad, lo que facilita su utilización en los distintos niveles de la planificación hidrológica desde su aplicación en el estudio de toda la cuenca hasta su empleo en tramos específicos del cauce, la mayoría de métodos no cuentan con una base ecológica que sustenten los estudios y en algunas ocasiones sólo se consideran aspectos biológicos, asimismo, no incluyen investigaciones previas de los elementos geomorfológicos del cauce y establecen generalmente un caudal invariable en el tiempo, lo cual puede llevar a proponer caudales mínimos ineficientes, es decir, que sean insuficientes para el sostenimiento del ecosistema fluvial, o excesivos, con la consecuente pérdida de recurso.

A nivel mundial destaca la aceptación de los métodos Tennat, Curva de Permanencia y $7Q_{10}$. Su aplicación requiere definir los aspectos ecológicos, sociales, culturales y/o económicos que sean objetivos de conservación, el nivel de sobrevivencia del hábitat que se pretenda alcanzar, las especies que se procuran proteger y otros, con la intención de introducir variables que sean cuantificables para que pueda generarse un sistema de monitoreo y control.

En cuanto a un método de aplicación para las zonas riparianas (corredores ecológicos en la ribera de los cursos y cuerpos de agua dulce) y humedales (áreas frecuentemente inundadas o saturadas por aguas superficiales o subterráneas), se prefiere el de Aproximación por Rangos de Variabilidad (RVA) porque genera diferentes respuestas biológicas que influyen en la biodiversidad acuática, dependiendo de las características de los ecosistemas en relación a los efectos combinados del cambio del flujo hídrico natural y los impactos generados por las diversas actividades humanas en el ecosistema, como la agricultura.

2) Métodos hidráulicos: Estos métodos están dirigidos a preservar el nivel poblacional de una cierta especie; establecen que las características físicas de los cursos de agua y las variables hidráulicas, como el

ancho, la profundidad, la velocidad y el perímetro mojado constituyen elementos que condicionan y limitan la biodiversidad del cauce.

Se basan en el análisis de variables hidráulicas simples, entre ellas las más frecuentemente utilizadas son el perímetro mojado y la profundidad máxima, a fin de estimar un caudal mínimo específico que permita prevenir y conservar la exacta relación entre alguno de los parámetros hidráulicos y un delimitado nivel ecológico del ecosistema en estudio, para la estimación del caudal ecológico; sin embargo, presuponen que la geomorfología del cauce y del lecho permanecen invariables a través del tiempo y que las áreas de muestreo normalmente elegidas como base para estudiar una característica particular del cauce son representativas de las características generales de las corrientes de agua superficial, lo que dificulta su aplicación en zonas con elevada variabilidad geomorfológica, como es el caso de los rápidos o de los cursos de agua de las regiones semiáridas.

Asimismo, al igual que los métodos hidrológicos, sólo se calcula un flujo mínimo como el único factor limitante que altera o transforma el ecosistema, dejando de considerar los efectos a corto y largo plazo que ocasiona un flujo mínimo cuando acontecen ciertos eventos con poca probabilidad de ocurrencia o que suceden pocas veces, como las épocas de sequía o de escasa precipitación, así como los que se producen cuando un flujo mínimo se mantiene constante, que en ambos casos son muy diferentes. Estos métodos tampoco consideran los componentes fuera del cauce que interaccionan en las zonas de transición formadas por los corredores ecológicos entre los ecosistemas acuáticos y terrestres en la ribera de los cursos de agua superficial.

Por otra parte, los métodos hidráulicos desarrollan una apreciación muy sencilla para estimar caudales ecológicos, partiendo de que solo con una o muy pocas variables hidráulicas se cuenta con la capacidad de deducir adecuadamente el caudal requerido para las especies acuáticas que son objeto de estudio. Introducen el manejo de criterios ecológicos y datos sobre la ecología del lugar. Conllevan un ligero aumento en sus costes ya que requieren de trabajos específicos de campo y exigen un trabajo de gabinete más intenso. Son relativamente fáciles y rápidos en su ejecución. Los resultados obtenidos son de fácil interpretación por lo que son accesibles a personas sin una elevada experiencia en el tema.

Si bien, la principal ventaja de este grupo de metodologías es su sencillez, por lo que resultan ser de gran utilidad en los distintos niveles de la planificación de recursos desde su aplicación en el estudio de toda la cuenca hasta su empleo en tramos específicos del cauce, frente a las metodologías basadas en los índices hidrológicos es la utilización de criterios ecológicos que sustentan los estudios. Sin embargo, generalmente establecen un caudal invariable en el tiempo y no incluyen investigaciones previas de los elementos geomorfológicos del cauce y del lecho por lo que se presumen permanentes, lo cual puede llevar a proponer caudales mínimos ineficientes, ya sea insuficientes para el sostenimiento del ecosistema fluvial, o excesivos, con la consecuente pérdida de recurso; asimismo, la dependencia de una o pocas variables hidráulicas implica un riguroso muestreo, especialmente en zonas con elevada variabilidad geomorfológica, esencial para obtener resultados fiables

A nivel mundial, este grupo de metodologías se dirigen a la preservación y conservación de ciertas especies acuáticas. La más utilizada es el método del perímetro mojado, que se basa en el criterio de que la integridad del hábitat fluvial está directamente relacionado con el área que inunda el caudal circulante. Este método se aplica principalmente en ríos que presentan secciones transversales relativamente largas, rectangulares y poco profundas.

3) Métodos hidrobiológicos: Estos métodos están dirigidos a preservar el nivel poblacional de una especie objetivo (casi siempre peces) y no ecosistemas acuáticos; establecen que el aumento de hábitat físico utilizable para la especie en estudio está en función de las variaciones discretas de caudal, producidas por cambios en las características del cauce y determinadas variables hidráulicas.

Se basan en la respuesta de una especie objetivo a los efectos que producen los cambiantes regímenes de flujo, a fin de estimar un caudal mínimo específico que permita, a partir de una cuantificación previa del hábitat físico disponible y del análisis de su relación con las variaciones de caudal mediante simulación hidráulica, la estimación del caudal ecológico; sin embargo, no definen los criterios para escoger una especie objetivo ni establecen los parámetros acerca de la selección de las áreas de muestreo para estudiar las características particulares de su adaptación al hábitat modificado, por lo que los indicadores obtenidos muchas veces no corresponden a la realidad del cauce. Además, consideran que el nivel poblacional de la especie objetivo es directamente proporcional al hábitat físico disponible y que las únicas variables de preferencia de hábitat para los peces son la profundidad, la velocidad del flujo hídrico y el sustrato.

Asimismo, sólo se calcula un flujo mínimo como el único factor limitante que altera o transforma el hábitat de la especie objetivo, dejando de considerar el resto de componentes del flujo hídrico, así como los componentes fuera del cauce que interaccionan en las zonas de transición formadas por los corredores ecológicos entre los ecosistemas acuáticos y terrestres en la ribera de los cursos de agua superficial. Estos métodos contienen una serie de suposiciones que aún no han sido validadas con otros estudios, considerando además que únicamente en unos pocos lugares de Estados Unidos de América sus resultados han sido admitidos.

Por otra parte, los métodos hidrobiológicos son considerados como la metodología más avanzada para estimar caudales ecológicos, partiendo de que además de introducir el manejo de criterios ecológicos y datos sobre la ecología del lugar, vinculan un alto grado de experiencia en hidrológica, hidráulica y biológica con una alta calidad de información que incluye series históricas de caudal, variables hidráulicas de múltiples secciones transversales, estudios y bibliografía de disponibilidad de hábitat de varias especies de la biodiversidad acuática, entre otros. Conllevan un apreciable aumento en sus costes ya que requieren de trabajos de campo detallados y exigen un trabajo de gabinete mucho más intenso. Son relativamente complejos y rigurosos en su ejecución. Los resultados obtenidos requieren ser interpretados por personas con una cierta experiencia en el tema.

Si bien, la principal ventaja de este grupo de metodologías es su capacidad para evaluar los impactos derivados de pequeños cambios de caudal sobre el hábitat físico disponible, utilizando criterios ecológicos fácilmente aplicables en una simulación hidráulica y biológica a una escala significativa, lo cual les permite su aplicación en una gran cantidad y variedad de escenarios diseñados para diferentes especies acuáticas o estados del hábitat utilizable, también cabe mencionar que han sido criticadas por los inconvenientes que en la práctica representa su aplicación y por la falta de conocimientos en el ciclo de vidas de las especies acuáticas, además de estar dirigidas hacia una sola especie objetivo que puede no ser la representativa del ecosistema a estudiar, no ser de aplicación para otros componentes del ecosistema fluvial y especialmente porque con métodos más simples se han calculado caudales de magnitudes similares a los calculados con estas metodologías.

A nivel mundial, este grupo de metodologías se dirigen a la preservación y conservación de ciertas especies acuáticas, casi siempre peces. Su aplicación se restringe en las regiones semiáridas, debido a que fluyen caudales muy bajos y con una alta diversidad geomorfológica que impiden la selección de áreas de muestreo representativas de las características generales del cauce.

La más conocida es la IFIM (Instream Flow Incremental Methodology), que se apoya en tres puntos básicos: el valor potencial del hábitat fluvial, las curvas estadísticas de adaptación y preferencias de las especies objetivo y un modelo hidráulico fluvial.

4) Métodos holísticos: Estos métodos están dirigidos a preservar la biodiversidad acuática y las zonas de transición entre los ecosistemas acuáticos y terrestres formadas por los corredores ecológicos en la ribera de los cursos y cuerpos de agua dulce (zona ripariana) y las áreas que frecuentemente son inundadas o saturadas por aguas superficiales o subterráneas (humedales), así como los estuarios que se originan por el intercambio de agua dulce y salada al desembocar una corriente fluvial en el mar; establecen que las especies de ambos ecosistemas dependen de un amplio rango de elementos básicos del régimen de caudal, incluyendo caudales mínimos e inundaciones, la estructura geomorfológica del cauce y la dinámica de sedimentos.

Se basan en el análisis independiente de los distintos elementos del flujo hídrico (magnitud, frecuencia, duración, predictibilidad y tasas de cambio) y de los diferentes requerimientos de los componentes del ecosistema fluvial objetivo, entre aspectos ecológicos, abióticos (geomorfología del cauce, calidad del agua, drenaje de la cuenca, etc.), perceptuales (paisaje), culturales y socioeconómicos, o todos en su conjunto para la estimación del caudal ecológico y asumen que el régimen hidrológico natural de un cauce mantiene dinámicamente la biodiversidad, la geomorfología del canal, la zona ripariana, los humedales y los estuarios vinculados al ecosistema fluvial; sin embargo, en la práctica su aplicación puede llegar a ser bastante compleja debido a la multiplicidad y diversidad de los resultados obtenidos parcialmente para cada uno de los componentes del ecosistema fluvial objetivo que fueron considerados.

Asimismo, la naturaleza de su enfoque exige de una densa y fidedigna recolección de información social y económica de las poblaciones residentes en las aéreas que serán objeto de estudio, así como de una alta calidad de los datos que serán recabados sobre la ecología del lugar, registros de series históricas de caudal, variables hidráulicas de múltiples secciones transversales, estudios y bibliografía de disponibilidad de hábitat de varias especies de la biodiversidad acuática, entre otros, además de modelos, muy cuidadosamente simulados, que relacionen el caudal con los requerimientos de cada uno de los componentes del ecosistema fluvial objetivo y de la biodiversidad acuática que previamente fueron considerados, a fin de obtener resultados reproducibles. También, debe tomarse en cuenta que estos métodos fueron desarrollados inicialmente en países como Sudáfrica y Australia, que además de contar con ríos que presentan una alta variabilidad en los regímenes de caudal, se han construido grandes represas que han transformado las características hidrológicas de los cauces, razón por la que su extrapolación hacia otros países o regiones implica tomar medidas rigurosas y un especial cuidado en la incorporación de estos conceptos al régimen regulado de caudales, a fin de no poner en riesgo las condiciones del ecosistema y la integridad funcional del cauce.

Por otra parte, los métodos holísticos corresponden a la metodología más reciente para la estimación de caudales ecológicos, razón por la que todavía no existen suficientes estudios científicos y bibliografía que sustenten el grado de éxito de su aplicación, no obstante, en comparación con las metodologías anteriores estos métodos manifiestan profundos avances e introduce nuevos adelantos en la simulación hidráulica y de hábitats, integran subrutinas de otros métodos para el análisis, cálculo y validación de variables, incluyen la participación ciudadana en los estudios socioeconómicos de la dependencia de los ecosistemas y toman en cuenta el mayor número de componentes del hábitat fluvial en base al régimen hidrológico natural del cauce, además pueden ser medibles y cuantificables a través de procedimientos de control y un continuo monitoreo de los resultados que proyectan. Su aplicación conlleva un elevado nivel de costes por la necesidad de expertos en muchos campos para desarrollar los trabajos de campo y gabinete. Son sumamente complejos e intensamente rigurosos en su ejecución. Los resultados obtenidos son más pragmáticos, justificables y flexibles, a diferentes niveles de resolución, pero requieren ser interpretados por personas con suficiente experiencia en el tema.

Si bien, la principal ventaja comparativa de este grupo de metodologías en relación con otros métodos para la estimación de un caudal ecológico es su capacidad para evaluar dinámicamente cada uno de los componentes del ecosistema fluvial objetivo en su conjunto, por lo que su empleo en las zonas riparianas, los humedales y los estuarios vinculados al cauce resulta ser de gran utilidad, también cabe mencionar que han sido criticadas por los inconvenientes que en la práctica representa su aplicación y por depender excesivamente del juicio y la experiencia de distintos especialistas expertos en muchos campos, lo cual las convierte en poco utilizables en los diferentes niveles de la planificación hidrológica, asimismo, porque en términos de gestión, la base científica de esta metodología no es adaptable a las condiciones otros países, pues aún no incorporan suficientes estudios científicos y bibliografía que recomienden los procesos para su extrapolación.

Aunque a nivel mundial estas metodologías no se encuentran totalmente difundidas, su muy limitada aplicación se ha destinado particularmente a la estimación de caudales que son requeridos para los distintos usos socioeconómicos y la explotación del recurso hídrico, la preservación de la calidad estética del paisaje y de los bienes histórico-artísticos, aunque también puede incluirse el interés científico sobre el cauce. Las dos metodologías más destacadas en este grupo son la Building Block Methodology, desarrollada en Sudáfrica y la Holistic Approach, en Australia.

b. Comparación de las distintas metodologías para la estimación de un caudal ecológico.

Esta investigación se basa en la consulta, análisis, evaluación y comparación de algunas de las distintas metodologías existentes, las cuales se han originado con propósitos precisos en países donde sus ríos y los ecosistemas vinculados al mismo presentan características y condiciones con ciertas particularidades muy diferentes a las del territorio nacional.

Las distintas razones para mantener un cierto caudal dependen de los intereses ambientales, sociales, culturales y económicos que se persiguen, de las actividades humanas que demandan distintos aprovechamientos del recurso hídrico y de los usos potenciales que se pretendan realizar dentro de los cauces de agua superficial.

Conocer la finalidad que persigue cada una de metodologías más representativas, la base teórica en que se fundamentan, los parámetros que consideran, la practicidad de su aplicación, la naturaleza de su enfoque técnico y sus condicionantes adversas, así como sus ventajas y desventajas, permite discernir si su aplicación posiblemente se adapta a las características y condiciones del contexto nacional, lo que facilita la selección de la aproximación metodológica que se pretenda implementar. No obstante, en la mayoría de países, la estimación de caudales ecológicos responde a la necesidad de alcanzar la preservación y conservación del ecosistema fluvial.

Es importante señalar que de todas las metodologías consultadas, ninguna contempla un estudio que considere la aportación de los flujos provenientes del vertido de las aguas residuales en las corrientes de agua superficial, situación que actualmente en Guatemala resulta ser indiferente desde el punto de vista social, político, económico y legal, lo que ha producido incluso, la polución de embalses naturales como es el caso del lago de Amatitlán.

En la tabla No. 3, “Comparación de las distintas metodologías para la estimación de un caudal ecológico”, que se muestra seguidamente, se comparan las distintas metodologías en el mismo orden en que han sido referidas anteriormente a efecto de visualizar de manera objetiva las cualidades y las diferencias de su aplicación; para el efecto, a continuación se describe la intención de cada columna:

Método, se refiere al grupo de metodologías que fueron consultas, analizadas y sometidas a un proceso teórico de evaluación para determinar su probable aplicación dentro del contexto nacional.

Objetivo, indica la finalidad que persigue cada una de metodologías y el propósito de su desarrollo e implementación a nivel mundial.

Base teórica, describe el fundamento teórico-científico sobre el cual cada metodología basa la estimación práctica del caudal ecológico.

Herramienta, menciona los instrumentos de análisis sistemático y de cálculo que son empleados por cada una de las metodologías para deducir la estimación del caudal ecológico.

Aplicación, pretende dar una orientación acerca de su potencial utilización y las limitaciones en su implementación.

Ventajas y desventajas, distingue las diferencias a favor y en contra, respectivamente, que cada metodología ostenta una respecto de la otra.

Utilidad del método sugerido, señala los métodos de mayor implementación a nivel mundial de cada grupo de metodologías, en base al propósito y de acuerdo a los factores que limitan su aplicación.

Referirse a la tabla No. 32, “Comparación de las distintas metodologías para la estimación de un caudal ecológico”

Tabla 32. Comparación de las distintas metodologías para la estimación de un caudal ecológico

Método	Objetivo	Base teórica	Herramientas	Aplicación	Ventajas	Desventajas	Método sugerido y su utilidad
HIDROLÓGICOS	Conservar un determinado nivel ecológico del hábitat que permita la preservación de las especies acuáticas	La biodiversidad se adapta a las variaciones de caudal originadas por las diferencias del régimen hidrológico en el tiempo	Análisis estadístico de los regímenes de caudales históricos, en principio series históricas de caudal y en algunos casos datos sobre la ecología del lugar	Fácil utilización desde el estudio de toda la cuenca hasta su empleo en tramos específicos del cauce	Se realizan en gabinete y no requieren de trabajos específicos de campo. Requieren pocos datos. Son rápidos, económicos y poco dispendiosos de aplicar. Sus resultados son de fácil interpretación por lo que son manejados por personas sin una elevada experiencia en el tema	No consideran los efectos de corto y largo plazo que producen los flujos mínimos constantes y los que suceden de manera extraordinaria, perjudicando la sobrevivencia de unas pocas especies acuáticas y de todo el ecosistema en su conjunto	Tennat, $7Q_{10}$ y Curva de Permanencia, para distintos propósitos como alimento, refugio, reproducción, regeneración del cauce, etc.; y en zonas riparianas y humedales, Aproximación por Rangos de Variabilidad (RVA)
HIDRÁULICOS	Preservar el nivel poblacional de una cierta especie	Las características físicas de los cursos de agua y las variables hidráulicas condicionan y limitan la biodiversidad del cauce	Análisis de variables hidráulicas como el ancho y la profundidad del canal, la velocidad del flujo y el perímetro mojado	Difícil utilización en zonas con elevada variabilidad geomorfológica, cursos rápidos de agua o los circulantes en regiones semiáridas	Son relativamente fáciles y rápidos en su ejecución. Los resultados obtenidos son de fácil interpretación por lo que son accesibles a personas sin una elevada experiencia en el tema	Conllevan un ligero aumento en sus costes ya que requieren de trabajos específicos de campo y exigen un trabajo de gabinete más intenso	Perímetro mojado, para la explotación de especies y la pesca deportiva, principalmente en ríos que presentan secciones transversales relativamente largas, rectangulares y poco profundas

Continuación Tabla 32 Comparación de las distintas metodologías para la estimación de un caudal ecológico

Método	Objetivo	Base teórica	Herramientas	Aplicación	Ventajas	Desventajas	Método sugerido y su utilidad
HIDROBIOLÓGICOS	Preservar el nivel poblacional de una especie (casi siempre peces) y no de los ecosistemas acuáticos	Las características del cauce y determinadas variables hidráulicas condicionan el aumento de hábitat físico utilizable para la especie objetivo	Análisis de la respuesta de la especie objetivo a los efectos que producen los cambiantes regímenes de flujo	Utilización restringida en las regiones semiáridas, ya que fluyen caudales muy bajos con una alta diversidad geomorfológica que limita la selección de áreas de muestreo representativas de las características generales del cauce	Capacidad para evaluar los impactos derivados de pequeños cambios de caudal sobre el hábitat físico disponible, utilizando criterios ecológicos fácilmente aplicables en una simulación hidráulica y biológica a una escala significativa, lo cual les permite su aplicación en una gran cantidad y variedad de escenarios diseñados para diferentes especies acuáticas o estados del hábitat utilizable	Son relativamente complejos, rigurosos en su ejecución y vinculan un alto grado de experiencia en hidrológica, hidráulica y biológica. Conllevan un apreciable aumento en sus costos ya que requieren de trabajos de campo detallados y exigen un trabajo de gabinete mucho más intenso. Los resultados obtenidos requieren ser interpretados por personas con una cierta experiencia en el tema. Contienen una serie de suposiciones que aún no han sido validadas con otros estudios, considerando además que únicamente en unos pocos lugares de Estados Unidos de América sus resultados han sido admitidos	La Instream Flow Incremental Methodology (IFIM) y la Physical Habitat Simulation System (PHABSIM), para la explotación de especies y la pesca deportiva en secciones y tramos concretos del cauce

Continuación Tabla 32 Comparación de las distintas metodologías para la estimación de un caudal ecológico

Método	Objetivo	Base teórica	Herramientas	Aplicación	Ventajas	Desventajas	Método sugerido y su utilidad
HOLÍSTICOS	Preservar la biodiversidad acuática y la los ecosistemas acuáticos y terrestres, especialmente en las zonas riparianas, los humedales y los estuarios vinculados al cauce.	Las especies y los ecosistemas acuáticos y terrestres dependen de la geomorfología del cauce, la dinámica de sedimentos y los elementos básicos del régimen de caudal, incluyendo caudales mínimos e inundaciones	Análisis independiente de los distintos elementos del flujo hídrico y de los diferentes requerimientos de los componentes del ecosistema fluvial objetivo, o todos en su conjunto	Utilización bastante compleja por la multiplicidad y diversidad de los resultados obtenidos parcialmente para cada uno de los componentes del ecosistema fluvial objetivo que fueron considerados	Los resultados obtenidos son más pragmáticos, justificables y flexibles, a diferentes niveles de resolución en el estudio de toda la cuenca de tramos específicos del cauce	Conllevar un elevado nivel de costes por la necesidad de expertos en muchos campos para desarrollar los trabajos de campo y gabinete. Son sumamente complejos e intensamente rigurosos en su ejecución. Los resultados obtenidos requieren ser interpretados por personas con suficiente experiencia en el tema	La Building Block Methodology (BBM) y la Australian Holistic Approach (AHA), para distintos usos socioeconómicos y de explotación del recurso hídrico, la preservación de la calidad estética del paisaje y de los bienes histórico-artísticos e interés científico sobre el cauce

c. Evaluación de los métodos de potencial adaptación al contexto nacional En Guatemala, la desmedida contaminación de los ríos y lagos, que se han convertido en vertederos de toda clase de desechos y producto de las descargas directas e indirectas de aguas servidas y de las residuales procedentes de la industria, la agricultura y la minería, así como la tala inmoderada y las quemas sin control aunadas a los largos periodos de sequía ocasionados por el cambio climático global, presagian una acelerada reducción de las fuentes de agua superficial y el deterioro de las cuencas.

Un efecto derivado de la marcada contaminación ambiental que aqueja la salud a los ríos en general, es la evidente percepción de degradación de los ecosistemas fluviales a consecuencia de que muchos afluentes, permanentes o temporales, transmiten a los cauces la aportación de los efluentes sin ningún tipo de tratamiento provenientes del vertido de aguas residuales.

El hecho de que el drenaje natural de una cuenca hidrológica puede preservarse mediante una esmerada gestión de los recursos del ecosistema acuático, de su vegetación y de sus suelos, además de que es posible controlar la calidad del agua y su grado de contaminación, hace necesario revisar los siguientes antecedentes:

- Los ecosistemas fluviales en el país presentan distintas y particulares características ecológicas, según la vertiente de escurrimiento superficial donde circulan, la del Pacífico, la del Atlántico y la del Golfo de México.
- La drástica variabilidad de los caudales, producto de la excesiva precipitación durante la época lluviosa y de periodos prolongados de sequía, reducen la capacidad de los ecosistemas fluviales de absorber perturbaciones y alteran o modifican significativamente sus características de estructura y funcionalidad.
- Las demandas de agua para el consumo doméstico y comercial, la generación de energía eléctrica, la agricultura, la industria y la minería, hoy en día continúan reduciendo los recursos hídricos disponibles, superficiales y subterráneos, de forma acelerada.
- Los impactos ecológicos causados por proyectos e infraestructura hidráulica que conllevan la captación o derivación de agua superficial (represas, agua potable, riego, etc.) y por la falta de controles en el constante vertido de aguas residuales directa e indirectamente en los ríos, alteran o transforman el régimen hídrico natural de los cauces de agua superficial
- La legislación nacional no contempla una “Ley de Protección y Conservación de los Recursos Hídricos” y no existe certeza jurídica en los derechos de su uso, poniendo en riesgo el resguardo de los recursos hídricos del país.

Por otra parte, las distintas metodologías consultadas han sido desarrolladas en otros países con distintos propósitos específicos, por lo que la extrapolación de muchos de sus métodos no son aplicables a las condiciones y características particulares de los cauces hídricos y ecosistemas fluviales en el país.

La identificación de uno o varios métodos que sean de potencial implementación al contexto nacional, parte de la finalidad que persigue cada una de metodologías y el propósito de su desarrollo e implementación a nivel mundial; de esta forma, se examinan los objetivos de cada grupo de metodologías descritos en la columna “Objetivo” de la Tabla No. 32, “comparación de las distintas metodologías para la estimación de un caudal ecológico”, como sigue:

- 1) **Hidrológicos** Conservan un determinado nivel ecológico del hábitat que permita la preservación de las especies acuáticas.
- 2) **Hidráulicos** Preservan el nivel poblacional de una cierta especie.
- 3) **Hidrobiológicos** Preservan el nivel poblacional de una especie (casi siempre peces) y no de los ecosistemas acuáticos.
- 4) **Holísticos** Preservan la biodiversidad acuática y la los ecosistemas acuáticos y terrestres, especialmente en las zonas riparianas, los humedales y los estuarios vinculados al cauce.

Se puede distinguir que los métodos hidráulicos e hidrobiológicos han sido desarrollados con la finalidad exclusiva de preservar el nivel poblacional de una cierta especie con el propósito de la explotación y la pesca deportiva de dicha especie, lo cual los coloca en una desventaja comparativa razonable con los métodos hidrológicos y holísticos.

También se puede apreciar que a excepción de los métodos holísticos, el resto de metodologías no consideran los componentes fuera del cauce que interaccionan en las zonas de transición formadas por los corredores ecológicos entre los ecosistemas acuáticos y terrestres en la ribera de los cursos de agua superficial, lo cual los coloca en una desventaja comparativa razonable con los métodos holísticos.

El siguiente criterio de evaluación radica en su potencial utilización y las limitaciones en su implementación, para lo cual se examinan las aplicaciones de cada grupo de metodologías descritas en la columna “Aplicación” de la misma tabla, como sigue:

- **Hidrológicos** Fácil utilización desde el estudio de toda la cuenca hasta su empleo en tramos específicos del cauce.
- **Hidráulicos** Dificil utilización en zonas con elevada variabilidad geomorfológica, cursos rápidos de agua o los circulantes en regiones semiáridas.
- **Hidrobiológicos** Utilización restringida en las regiones semiáridas, ya que fluyen caudales muy bajos con una alta diversidad geomorfológica que limita la selección de áreas de muestreo representativas de las características generales del cauce.
- **Holísticos** Utilización bastante compleja por la multiplicidad y diversidad de los resultados obtenidos parcialmente para cada uno de los componentes del ecosistema fluvial objetivo que fueron considerados.

Se puede apreciar que los métodos holísticos reflejan ser sumamente complejos, especialmente por la excesiva dependencia del juicio y la experiencia de los distintos especialistas expertos en muchos campos que intervienen en los estudios y aunque la principal ventaja de este grupo de metodologías en relación con otros métodos es su capacidad para evaluar dinámicamente cada uno de los componentes del ecosistema fluvial objetivo en su conjunto, todavía no existen suficientes estudios científicos y bibliografía que sustenten el grado de éxito de su aplicación, aspectos que resultan ser inconvenientes en la práctica de su implementación y que los convierte en poco recomendables para su utilización en los diferentes niveles de la planificación hidrológica, lo cual coloca a estos métodos en una desventaja comparativa razonable con los métodos hidrológicos.

Finalmente, además de las ventajas comparativas de los métodos hidrológicos descritas en la columna “Ventajas” de la misma tabla, la principal utilidad de este grupo de metodologías es su simplicidad, lo que facilita su aplicación en los distintos niveles de la planificación hidrológica desde su empleo en el estudio de toda la cuenca hasta su manejo en tramos específicos del cauce, consideraciones que los disponen como los más recomendables, a pesar que la mayoría de métodos sólo contemplan aspectos biológicos y no cuentan con una base ecológica e investigaciones previas de los elementos geomorfológicos del cauce que sustenten los estudios, lo cual puede conducir a proponer caudales mínimos ineficientes, es decir, que sean insuficientes para el sostenimiento del ecosistema fluvial, o excesivos, con la consecuente pérdida de recurso.

Con el objeto de no descartar la posibilidad de adaptar los principios teóricos y científicos en los que se basan las distintas metodologías a las condiciones y características particulares de los causes hídricos y ecosistemas fluviales en el país, otro razonamiento en la identificación de uno o varios métodos que sean de potencial implementación al contexto nacional, parte del fundamento teórico-científico sobre el cual cada metodología basa la estimación práctica del caudal ecológico; de esta forma, se examina la base teórica de cada grupo de metodologías descritos en la columna “Base teórica” de la Tabla No. 32, “Comparación de las distintas metodologías para la estimación de un caudal ecológico”, como sigue:

- **Hidrológicos** La biodiversidad se adapta a las variaciones de caudal originadas por las diferencias del régimen hidrológico en el tiempo.
- **Hidráulicos** Las características físicas de los cursos de agua y las variables hidráulicas condicionan y limitan la biodiversidad del cauce.
- **Hidrobiológicos** Las características del cauce y determinadas variables hidráulicas condicionan el aumento de hábitat físico utilizable para la especie objetivo.
- **Holísticos** Las especies y los ecosistemas acuáticos y terrestres dependen de la geomorfología del cauce, la dinámica de sedimentos y los elementos básicos del régimen de caudal, incluyendo caudales mínimos e inundaciones.

Se puede distinguir que los métodos hidráulicos e hidrobiológicos han sido desarrollados partiendo de los mismos principios teóricos y científicos, pues su finalidad es la preservar el nivel poblacional de una cierta especie que tiene como propósitos la explotación y la pesca deportiva de dicha especie, lo cual nuevamente los pone en una desventaja comparativa razonable con los métodos hidrológicos y holísticos.

Asimismo, en el proceso de evaluación de los distintos métodos para la estimación de un caudal ecológico anteriormente descrito, se determinó que en términos de gestión, la base teórico-científica de los métodos holístico no es adaptable a las condiciones de otros países o regiones debido a que aún no se incorporan los suficientes estudios científicos y bibliografía que recomienden procesos puntuales y concluyentes para su extrapolación, por lo que la adopción de estos métodos o la aplicación de sus conceptos sin tomar medidas rigurosas y un especial cuidado durante su implementación, podría transformar las características hidrológicas y el régimen regulado de caudales, además de poner en riesgo las condiciones del ecosistema y la integridad funcional del cauce.

El siguiente criterio de evaluación consiste en determinar si los instrumentos de análisis y de cálculo empleados por cada una de las metodologías, pueden ser total o parcialmente aplicables a los ecosistemas fluviales en el país para deducir la estimación del caudal ecológico, para lo cual se examinan las herramientas de análisis de cada grupo de metodologías descritas en la columna “Herramientas” de la misma tabla, como sigue:

- **Hidrológicos** Análisis estadístico de los regímenes de caudales históricos, en principio series históricas de caudal y en algunos casos datos sobre la ecología del lugar.
- **Hidráulicos** Análisis de variables hidráulicas como el ancho y la profundidad del canal, la velocidad del flujo y el perímetro mojado.
- **Hidrobiológicos** Análisis de la respuesta de la especie objetivo a los efectos que producen los cambiantes regímenes de flujo.
- **Holísticos** Análisis independiente de los distintos elementos del flujo hídrico y de los diferentes requerimientos de los componentes del ecosistema fluvial objetivo, o todos en su conjunto.

Se puede distinguir que los métodos holísticos relacionan el caudal con los requerimientos de cada uno de los componentes del ecosistema fluvial objetivo y de la biodiversidad acuática, previa y juiciosamente considerados. La naturaleza su enfoque, que incluye la participación ciudadana en los estudios socioeconómicos de la dependencia de los ecosistemas y toman en cuenta el mayor número de componentes del hábitat fluvial en base al régimen hidrológico natural del cauce, además de modelos hidráulicos y de hábitats muy cuidadosamente simulados a fin de obtener resultados reproducibles, puede ser parcial o totalmente aplicable conjuntamente con los instrumentos de análisis y de cálculo de cualquiera de las otras metodologías en los distintos niveles de la planificación hidrológica.

También se puede apreciar que los instrumentos de análisis sistemático y de cálculo para deducir la estimación del caudal ecológico de los métodos hidrológicos e hidráulicos, pueden ser parcial o totalmente aplicables

conjuntamente con el enfoque de cualquiera de las otras metodologías en los distintos niveles de la planificación hidrológica.

Finalmente, de los métodos sugeridos y su utilidad por cada grupo de metodologías descritos en la columna “Método sugerido y su utilidad” de la misma tabla, se aprecia que los métodos hidrológicos han sido desarrollados para distintos propósitos como alimento, refugio, reproducción, regeneración del cauce, etc., lo que facilita su aplicación en los distintos niveles de la planificación hidrológica desde su empleo en el estudio de toda la cuenca hasta su manejo en tramos específicos del cauce, incluyendo la zona ripariana y los humedales, consideraciones que los disponen como los más recomendables.

d. Análisis de los resultados e identificación de los métodos de potencial adaptación al contexto nacional. La gestión del recurso hídrico en Guatemala requiere de la adopción de soluciones integrales, pues si se analiza detenidamente la situación particular de los ríos en el país, su excesiva contaminación y la carencia de una legislación sobre los usos del suelo y el agua, aunado a la incidencia de los componentes sociales, culturales y económicos que demandan distintos aprovechamientos del recurso hídrico, se podría pensar que primero es necesario definir una “Política Nacional para la Preservación y Conservación de los Recursos Hídricos” con el objeto de rescatar las corrientes y masas de agua superficial, para luego proponer el caudal ecológico como un criterio para salvaguardar la biodiversidad y la integridad funcional de los cursos de agua.

Por lo tanto, decidir sobre uno o varios métodos para la estimación de un caudal ecológico dirigidos a la conservación de un determinado nivel ecológico del hábitat que permita la preservación de las especies acuáticas y de los ecosistemas vinculados a los cursos fluviales, probablemente requería de numerosas y singulares adaptaciones a las condiciones particulares de cada cauce de agua superficial y de varios años de estudios ambientales, hidrológicos, sociales y económicos, lo que conllevaría que después de su implementación los resultados deban esperarse en el largo plazo (considerando al menos diez años).

En este orden de ideas, la identificación de uno o varios métodos que sean de potencial implementación en el contexto nacional, parte de la importancia ambiental, social, cultural y económica que representan las corrientes superficiales de agua dulce y de la importancia de preservar los ecosistemas acuáticos y los corredores ecológicos integrados a los mismos, pero más aún, de la conciencia social y del interés del Estado, temas que se excluyen de esta investigación.

En la Tabla No. 33, “Comparación de los métodos de potencial adaptación al contexto nacional”, que se muestra seguidamente, se comparan los aspectos positivos y negativos de las distintas metodologías en el mismo orden en que han sido referidas anteriormente a efecto de visualizar de manera objetiva las cualidades y las diferencias de su potencial implementación al contexto nacional; para el efecto, a continuación se describe la intención de cada columna:

Método, se refiere al grupo de metodologías que fueron consultas, analizadas y sometidas a un proceso teórico de evaluación para determinar su probable aplicación dentro del contexto nacional.

Aspectos positivos, se refiere a las consideraciones que a juicio del investigador resultan ser convenientes en la práctica de su implementación y que las convierten en recomendables para su utilización en los diferentes niveles de la planificación hidrológica.

Aspectos negativos, se refiere a las consideraciones que a juicio del investigador resultan ser inconvenientes en la práctica de su implementación y que las convierten en poco recomendables para su utilización en los diferentes niveles de la planificación hidrológica.

Referirse a la Tabla No. 33, “Comparación de los métodos de potencial adaptación al contexto nacional”.

Tabla 33. Comparación de los métodos de potencial adaptación al contexto nacional

Método	Aspectos positivos	Aspectos negativos
HIDROLÓGICOS	<ul style="list-style-type: none"> • Su simplicidad facilita su aplicación en los distintos niveles de la planificación hidrológica desde su empleo en el estudio de toda la cuenca hasta su manejo en tramos específicos del cauce • Desarrollados para distintos propósitos como alimento, refugio, reproducción, regeneración del cauce, etc., lo que facilita su aplicación en los distintos niveles de la planificación hidrológica desde su empleo en el estudio de toda la cuenca hasta su manejo en tramos específicos del cauce, incluyendo la zona ripariana y los humedales 	<ul style="list-style-type: none"> • La mayoría de métodos sólo contemplan aspectos biológicos y no cuentan con una base ecológica e investigaciones previas de los elementos geomorfológicos del cauce que sustenten los estudios, lo cual conduce a proponer caudales mínimos ineficientes, es decir, que sean insuficientes para el sostenimiento del ecosistema fluvial, o excesivos, con la consecuente pérdida de recurso • No consideran los componentes fuera del cauce que interaccionan en las zonas de transición formadas por los corredores ecológicos entre los ecosistemas acuáticos y terrestres en la ribera de los cursos de agua superficial
HIDRÁULICOS	<ul style="list-style-type: none"> • Los instrumentos de análisis sistemático y de cálculo para deducir la estimación del caudal ecológico es parcial o totalmente aplicables conjuntamente con el enfoque de cualquiera de las otras metodologías en los distintos niveles de la planificación hidrológica 	<ul style="list-style-type: none"> • Desarrollados con la finalidad exclusiva de preservar el nivel poblacional de una cierta especie con el propósito de la explotación y la pesca deportiva de dicha especie • No consideran los componentes fuera del cauce que interaccionan en las zonas de transición formadas por los corredores ecológicos entre los ecosistemas acuáticos y terrestres en la ribera de los cursos de agua superficial

Continuación Tabla 33 Comparación de los métodos de potencial adaptación al contexto nacional

Método	Aspectos positivos	Aspectos negativos
HIDRO BIOLÓGICOS		<ul style="list-style-type: none"> • Desarrollados con la finalidad exclusiva de preservar el nivel poblacional de una cierta especie con el propósito de la explotación y la pesca deportiva de dicha especie • No consideran los componentes fuera del cauce que interaccionan en las zonas de transición formadas por los corredores ecológicos entre los ecosistemas acuáticos y terrestres en la ribera de los cursos de agua superficial
HOLÍSTICOS	<ul style="list-style-type: none"> • Capacidad para evaluar dinámicamente cada uno de los componentes del ecosistema fluvial objetivo en su conjunto • Relacionan el caudal con los requerimientos de cada uno de los componentes del ecosistema fluvial objetivo y de la biodiversidad acuática, previa y juiciosamente considerados • Incluye la participación ciudadana en los estudios socioeconómicos de la dependencia de los ecosistemas • Toman en cuenta el mayor número de componentes del hábitat fluvial en base al régimen hidrológico natural del cauce • Incluyen modelos hidráulicos y de hábitats muy cuidadosamente simulados a fin de obtener resultados reproducibles • La naturaleza su enfoque puede ser parcial o totalmente aplicable conjuntamente con los instrumentos de análisis y de cálculo de cualquiera de las otras metodologías en los distintos niveles de la planificación hidrológica 	<ul style="list-style-type: none"> • Reflejan ser sumamente complejos • Dependen excesivamente del juicio y la experiencia de distintos especialistas expertos en muchos campos • Todavía no existen suficientes estudios científicos y bibliografía que sustenten el grado de éxito de su aplicación • Su base teórico-científica no es adaptable a las condiciones de otros países o regiones debido a que aún no se incorporan los suficientes estudios científicos y bibliografía que recomienden procesos puntuales y concluyentes para su extrapolación

Después de haber examinado los aspectos positivos y negativos de las distintas metodologías, con el objeto de lograr la identificación de uno o varios métodos que sean de potencial implementación en el contexto nacional para deducir la estimación del caudal ecológico y tomando en consideración que la necesidad prioritaria sobre la gestión del recurso hídrico en Guatemala requiere de la adopción de soluciones integrales con el objeto de rescatar las corrientes y masas de agua superficial, para luego proponer el caudal ecológico como un criterio para salvaguardar la biodiversidad y la integridad funcional de los cursos de agua, se realizó el análisis de los resultados, tomando en consideración los criterios que a continuación se detallan:

- El primer criterio consistió en evaluar la finalidad que persigue cada una de metodologías y el propósito de su desarrollo e implementación a nivel mundial; de esta forma se razona lo siguiente:

Los métodos hidráulicos e hidrobiológicos son metodologías que han sido desarrolladas con la finalidad exclusiva de preservar el nivel poblacional de una cierta especie con el propósito de la explotación y la pesca deportiva de dicha especie, por lo que no consideran los componentes fuera del cauce que interaccionan en las zonas de transición formadas por los corredores ecológicos entre los ecosistemas acuáticos y terrestres en la ribera de los cursos de agua superficial.

Por lo tanto, la finalidad que persiguen ambas metodologías no satisfacen los requerimientos actuales para su potencial implementación en el contexto nacional.

- El segundo criterio consistió en evaluar el fundamento teórico-científico sobre el cual cada metodología basa la estimación práctica del caudal ecológico, con el objeto de no descartar la posibilidad de implementar parcial o totalmente ciertos principios teóricos y científicos que se adaptan a las condiciones y características particulares de los cauces hídricos y ecosistemas fluviales en el país; de esta forma se razona lo siguiente:

La base teórico-científica de los métodos hidráulicos e hidrobiológicos ha sido desarrollada para preservar el nivel poblacional de una cierta especie que tiene como propósitos la explotación y la pesca deportiva de dicha especie.

Asimismo, la base teórico-científica de los métodos holístico no es adaptable a las condiciones de otros países o regiones debido a que aún no se incorporan los suficientes estudios científicos y bibliografía que recomienden procesos puntuales y concluyentes para su extrapolación, por lo que la adopción de estos métodos o la aplicación de sus conceptos sin tomar medidas rigurosas y un especial cuidado durante su implementación, podría transformar las características hidrológicas y el régimen regulado de caudales, además de poner en riesgo las condiciones del ecosistema y la integridad funcional del cauce.

Por lo tanto, los fundamentos teóricos y científico de estas tres metodologías no satisfacen los requerimientos actuales para su potencial implementación en el contexto nacional, sin embargo, la naturaleza su enfoque puede ser parcial o totalmente aplicable conjuntamente con los instrumentos de análisis y de cálculo de cualquiera de las otras metodologías en los distintos niveles de la planificación hidrológica.

- El tercer criterio consistió en evaluar los instrumentos de análisis sistemático y de cálculo que emplea cada una de las metodologías para deducir la estimación del caudal ecológico, con el objeto de determinar si algunos de estos instrumentos pueden incorporarse parcial o totalmente como herramientas de análisis y cálculo en los estudios de los causes hídricos y ecosistemas fluviales en el país; de esta forma se razona lo siguiente:

Los métodos hidrobiológicos son considerados como la metodología más avanzada para estimar caudales ecológicos; para ello recurren al análisis de la respuesta de la especie objetivo a los efectos que producen las variaciones de los regímenes de flujo, derivados de los cambios en la profundidad, la velocidad del flujo hídrico y el sustrato. En la práctica, estos métodos contienen una serie de suposiciones que aún no han sido validadas con otros estudios, considerando además que únicamente en unos pocos lugares de Estados Unidos de América sus resultados han sido admitidos. Asimismo, no definen los criterios para escoger una especie objetivo ni establecen los parámetros acerca de la selección de las áreas de muestreo para estudiar las características particulares de su adaptación al hábitat modificado, por lo que los indicadores obtenidos muchas veces no corresponden a la realidad del cauce.

Por lo tanto, se considera que los instrumentos de análisis sistemático y de cálculo para deducir la estimación del caudal ecológico que emplean los métodos hidrobiológicos no son recomendables y tampoco se ajustan a los requerimientos actuales para su potencial implementación en el contexto nacional, no así los de las otras metodologías, que pueden ser parcial o totalmente aplicables conjuntamente con el enfoque de cualquiera de las mismas en los distintos niveles de la planificación hidrológica.

- El cuarto criterio consistió en evaluar los factores que posibilitan la potencial aplicación de una metodología en particular en el contexto nacional y las limitaciones en su implementación; de esta forma se razona lo siguiente:

Cada grupo de metodologías presenta un cierto grado de complejidad en su aplicación conforme el nivel de exigencia aumenta, es decir, que los métodos más sencillos encuentran mayor facilidad de aplicación que los más sofisticados, como se puede constatar a continuación:

HIDROLÓGICOS, son de fácil utilización desde el estudio de toda la cuenca hasta su empleo en tramos específicos del cauce.

HIDRÁULICOS, son de difícil utilización en zonas con elevada variabilidad geomorfológica, cursos rápidos de agua o los circulantes en regiones semiáridas.

HIDROBIOLÓGICOS, son de una utilización restringida en las regiones semiáridas, ya que fluyen caudales muy bajos con una alta diversidad geomorfológica que limita la selección de áreas de muestreo representativas de las características generales del cauce.

HOLÍSTICOS, son de una utilización bastante compleja por la multiplicidad y diversidad de los resultados obtenidos parcialmente para cada uno de los componentes del ecosistema fluvial objetivo que fueron considerados.

Además, la calidad de los resultados de cada grupo de metodologías aumenta conforme el nivel de exigencia aumenta, como se puede constatar a continuación:

HIDROLÓGICOS e **HIDRÁULICOS**, son de fácil interpretación por lo que pueden ser manejados por personas sin una elevada experiencia en el tema.

HIDROBIOLÓGICOS, requieren ser interpretados por personas con una cierta experiencia en el tema.

HOLÍSTICOS, requieren ser interpretados por personas con suficiente experiencia en el tema.

Por otra parte, cada grupo de metodologías ha desarrollado una serie de métodos con diferentes propósitos de utilidad y de acuerdo a los factores que limitan su aplicación, algunos de ellos con mayor aceptación e implementación a nivel mundial, como se puede constatar a continuación:

HIDROLÓGICOS, para distintos propósitos como alimento, refugio, reproducción, regeneración del cauce, etc.; y en zonas riparianas y humedales.

HIDRÁULICOS, para la explotación de especies y la pesca deportiva, principalmente en ríos que presentan secciones transversales relativamente largas, rectangulares y poco profundas.

HIDROBIOLÓGICOS, para la explotación de especies y la pesca deportiva en secciones y tramos concretos del cauce.

HOLÍSTICOS, para distintos usos socioeconómicos y de explotación del recurso hídrico, la preservación de la calidad estética del paisaje y de los bienes histórico-artísticos e interés científico sobre el cauce.

Por lo tanto, se considera que las metodologías con mayor potencial implementación en el contexto nacional en los distintos niveles de la planificación hidrológica son los métodos hidrológicos.

D. Función de la vegetación en cuencas.

Autores especializados en el tema de conservación forestal y calidad del agua están de acuerdo que los bosques juegan un rol importante en cuanto a la regulación del ciclo hídrico (Jiménez y Vargas, 1998; y Stadtmüller, 1994). Se ha mencionado que, en conjunto con las características geológicas y topográficas de la zona, la vegetación influye activamente en la captación del agua y en la consecuente escorrentía proveniente de la precipitación. Se conoce que los bosques ayudan a disminuir la tasa de erosión del suelo de acuerdo a las condiciones topográficas del lugar. Esto influye por lo tanto en el acarreo de sedimentos por las corrientes de agua tras la precipitación. Otra contribución de los bosques en cuanto a la calidad del agua es que permiten disminuir su contaminación debido al balance de nutrientes que generan las raíces como parte del ciclo de vida de la misma vegetación (Urquijo, 2011).

Para comprender los efectos que puede tener la vegetación en los ciclos hidrológicos se debe conocer los procesos que se llevan a cabo en el ciclo de vida de la vegetación que dependen del ciclo del agua. Los procesos en los que se ven involucradas las plantas en el ciclo hidrológicos corresponden a la interceptación, evaporación, transpiración y consecuente evapotranspiración (Jiménez y Vargas, 1998). Los mismos influyen por lo tanto en la escorrentía o precipitación neta pues determinan la cantidad de agua proveniente de la precipitación que finalmente llegará a la superficie (Stadtmüller, 1994).

Con interceptación se refiere a la cantidad de agua que el sistema foliar de la vegetación puede retener y eventualmente se evaporará. Dicha cantidad no depende únicamente de las características de la cobertura forestal sino también de la intensidad de la tormenta. Por ello se reconocen dos tipos de interceptación que se refiere a cada una de las situaciones descritas. La interceptación relativa – inversamente proporcional al volumen de lluvia durante la tormenta – depende de las condiciones de la precipitación mientras que las características foliares y densidad de la vegetación determinan la interceptación absoluta (Jiménez y Vargas, 1998). De acuerdo a las características de los bosques y el tipo de vegetación presente se dan distintos porcentajes de interceptación. El proceso descrito además favorece la protección contra a erosión debido al impacto directo de la lluvia (Stadtmüller, 1994).

Tabla 34. Características climáticas y altimétricas de los bosques del trópico húmedo.

Tipo de bosque (Stadtmüller, 1994:6)	Lugares (Stadtmüller, 1994:6)	Altitud (msnm) (Stadtmüller, 1994:6)	Biotemperatura media anual (Committee on Sustainable Agriculture and the Environment in the Humid Tropics, 1992:28)	Precipitación media anual (mm) (Committee on Sustainable Agriculture and the Environment in the Humid Tropics, 1992:28)	Intercepción (% precipitación) (Stadtmüller, 1994:6)
Bosque lluvioso tropical bajo	Brasil (Amazonía) Indonesia (Java) Puerto Rico	80 – 120	> 24 °C	1500 - 4000	12 13 25
Bosque tropical húmedo	Ghana	-	> 24 °C	1500 – 4000	16
Bosque siempre verde tropical	Venezuela (Amazonía)	119	> 24 °C	4000 – 8000	13
Bosque secundario	Puerto Rico	570	> 24 °C	1500 - 4000	57
Bosque siempre verde intermedio	Tanzania	1300 – 1800	18 – 24 °C	1000 – 2000	16
Bosque de dipterocarpaceas en colinas	Malasia	270 – 600	18 – 24 °C	2000 – 4000	18
Bosque clímax de tierras altas	Mauritius	-	6 – 12 °C	> 2000	31
Reserva forestal Mpanga	Uganda	1160	18 – 24 °C	1000 - 2000	35

Fuente: Stadtmüller, 1994:6.

Otro fenómeno dentro del ciclo hidrológico corresponde a la evaporación. Esta no está ligada directamente a los procesos de la vegetación, sin embargo dependerá de ella y de su densidad en una zona. Lo anterior se debe a que la evaporación se mide directamente desde la superficie del suelo donde se encuentran microclimas que en función de la vegetación desfavorece dicho proceso (Jiménez y Vargas, 1998).

Un mecanismo utilizado por las plantas para controlar sus niveles internos de contenido de agua es mediante la transpiración. Para que sea medible, se considera la transpiración como la pérdida de agua a través de los estomas de la planta (Stadtmüller, 1994). Jiménez y Vargas (1998:118) afirman que la magnitud de transpiración, a pesar de ser una respuesta biológica de las plantas, «depende de las características climáticas y varía por lo tanto entre zonas».

A la combinación de los dos últimos procesos mencionados se conoce como evapotranspiración. Dicho término, de acuerdo a Stadtmüller (1994:7) se resume al «total de agua convertido en vapor por una cobertura vegetal» conforme a las características descritas de cada proceso. Debido al volumen de evaporación a causa del agua interceptada por la vegetación, los bosques presentan la mayor tasa de evapotranspiración, aunque disminuye en bosques tropicales debido a las características de los eventos de lluvia. Por esta razón, el suelo tiende a permanecer más seco en las distintas temporadas, permite que el agua proveniente de las precipitaciones con mayor intensidad saturen los suelos y desfavorece la escorrentía en la zona. La capacidad de infiltración en los suelos se beneficia del humus producto del desecho orgánico de materia vegetal. Este material mejora sus características de infiltración y permite que el agua permanezca más tiempo para que dicho proceso suceda, facilitada aún más por los canales creados por los sistemas radiculares de las plantas (Stadtmüller, 1994). Esto explica por qué los bosques están asociados a una disminución en la escorrentía superficial y a la protección contra la erosión del suelo.

Otra manera que los bosques influyen en el ciclo hidrológico de una región depende de la ubicación de estas masas en cuanto a la elevación y al cauce del cuerpo de agua de estudio. Popularmente se asocian a los bosques con mayor cantidad de agua lo que se justifica en sitios elevados, en la parte alta de las cuencas, donde «los árboles forman barreras» que dirigen el aire con cierto contenido de humedad, proveniente de la evapotranspiración, en dirección ascendente que promueve la formación de nubes e inicia el proceso de condensación. Lo anterior ocurre al tomar en cuenta como las formaciones montañosas sirven de barreras que dirigen el viento, pero las masas boscosas tienden a incrementar dicho efecto en el aire que circula más cercano a la superficie terrestre. Por ello es usual en bosques de altura observar los fenómenos de neblina y rocío, aunque no son exclusivos a dichas condiciones (Toledo, 2006:42).

El tipo de vegetación presente en una zona es uno de los aspectos que restringen los beneficios que los bosques tienen sobre el ciclo hidrológico. Otros factores como la geología, topografía y clima también condicionan el efecto de la vegetación dentro de la cuenca. Por ejemplo, en época de estiaje el flujo de agua no depende únicamente de la cobertura forestal sino que de todos los aspectos anteriores, aunque sí se considera un factor limitante. También, en época lluviosa los bosques pueden prevenir un incremento de escorrentía, pero no resultan efectivos ante grandes inundaciones (Croitoru y Merlo, 2005).

Los bosques influyen en la disponibilidad del agua «al regular la tasa en que la precipitación es absorbida y liberada» en las cuencas. Debido a la presencia de los sistemas radiculares de la vegetación, el agua se puede infiltrar a un ritmo moderado, se reduce la escorrentía superficial y el arrastre de sedimentos a los afluentes debido a la disminución de la erosión. Con ello se logra moderar los peligros de inundación río abajo. También, se mantiene la capa fértil del suelo que sin cobertura vegetal sería erosionada, especialmente en «tierras con altas pendientes y suelos poco profundos» (Committee on Sustainable Agriculture and the Environment in the Humid Tropics, 1992:32).

Un servicio ambiental adicional que proporcionan los bosques en las cuencas está relacionado a la calidad del agua. Estos disminuyen el arrastre de materiales en la escorrentía que logra fluir por las zonas con cobertura vegetal. La acción de las plantas en el suelo, como ha sido descrito, permite que este actúe como un filtro para el agua que se dirige a los afluentes principales, aunque esto no garantiza una mejora en los mantos freáticos. Debido a su acción contra la erosión, desfavorece a la concentración de sedimentos – que acarrean nutrientes – en los cuerpos de agua que también es disminuida por la presencia de humus en el suelo. Esta acción también resulta beneficiosa ante la presencia de contaminantes arrastrados por la escorrentía superficial (Calder, *et. al.*, 2007).

Los bosques localizados en los bordes de los ríos y lagos, entre otros cuerpos de agua, tienen una mayor influencia como barreras ante el arrastre de contaminantes y nutrientes. Sin embargo, esta capacidad se limita de acuerdo al tipo de vegetación y a los contaminantes presentes, por lo que se conoce una mayor efectividad en cuanto a detener el transporte de sedimentos. La vegetación lo logra mediante la mejora de infiltración y la absorción de nutrientes arrastrados por la escorrentía para uso propio en su ciclo biológico (Vigiak, *et. al.*, 2007).

De acuerdo a Vigiak, *et. al.* (2007), «la densidad, la altura y el tipo son las características más importantes que influyen la capacidad de la vegetación para retener los sedimentos». La velocidad de arrastre de sedimentos es disminuida a mayor densidad presente en un área debido a que la vegetación resulta una barrera física que el agua debe esquivar. En cuanto al tipo depende de la cercanía con el cuerpo de agua para que sea efectivo en distintos niveles de captura de sedimentos y que se procure mantener una densidad apropiada para lograr su cometido.

A pesar de los estudios realizados, no se ha logrado cuantificar el impacto que tiene la cobertura forestal sobre la disponibilidad de agua. Usualmente, se ha responsabilizado a la deforestación de los cambios del ciclo hídrico, aunque estos también dependen de otros factores propios del área de estudio. Sí se afirma que las zonas boscosas incrementan la presencia de humedad, pero no se ha comprobado que tengan implicaciones en la producción de lluvia. Cualquier cambio es producto de la interacción de todas las variables involucradas en la producción de precipitación en una zona, en donde el cambio de uso de la tierra, tales como la deforestación, tiene un menor impacto que los otros factores (FAO, 2007).

Ha sido posible medir el rol de los bosques en cuanto a la intercepción y evaporación presente en una zona. Por ello, se ha afirmado que bajo ciertas condiciones, los bosques disminuyen la disponibilidad de agua en forma de escorrentía, debido a la intercepción que generan para su supervivencia. Se han encontrado reducciones de caudal en presencia de bosques nuevos en época de estiaje (estación seca cuando se dan los menores caudales), con mediciones anuales. Sin embargo, la dependencia de otros factores es alta de acuerdo a las condiciones específicas del área de estudio. A pesar de ello, la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (2007) llega a ciertas conclusiones al respecto:

- «El aumento de la transpiración reduce la humedad del suelo y los caudales de la estación seca,
- El aumento de la infiltración bajo el bosque natural aumenta la reposición del agua del suelo y los caudales de la estación seca» (FAO, 2007:16).

1. Hidrología forestal. La hidrología se refiere al estudio del ciclo del agua en la tierra, proceso que incluye la precipitación, condensación, evaporación así como distintos métodos de intercepción del agua. De forma complementaria, la hidrología forestal estudia la relación entre el ciclo hidrológico y las masas boscosas en una zona de estudio. Esta relación está presente en los fenómenos de evapotranspiración e intercepción, así como en otros procesos discutidos en la sección anterior que se refieren a la calidad del agua, al transporte de sedimentos y la infiltración. Por lo tanto, un concepto que abarca la hidrología forestal se refiere a las zonas de recarga hídrica, aunque el mismo también depende de otras características del área tales como geología y topografía (INAB, 2005).

La hidrología forestal como ciencia debe correlacionar los distintos factores del ciclo del agua que involucran a las masas boscosas. Esto se realiza con el fin de identificar «las influencias de la vegetación sobre el clima, el agua y el suelo en cuencas torrenciales» (INAB, 2005:12). Información básica para el manejo integral de cuencas proviene de la hidrología forestal con la cual se pueden identificar zonas de importancia hídrica que tienen relación directa a la presencia de masas boscosas, o su ausencia. Sin embargo, la relación agua-bosque también se presenta de manera inversa, pues para que se pueda desarrollar un bosque, también depende de las características del ciclo hidrológico en la zona. La dependencia de los bosques al ciclo del agua recae especialmente en la precipitación, al igual que la presencia de vegetación influye en la producción o escasez de agua (Chang, 2006).

A lo largo del desarrollo de la hidrología, y con la introducción del concepto de hidrología forestal en las décadas de 1940 y 1950, se han llevado a cabo distintos estudios para determinar la influencia de los bosques en la producción de agua o, específicamente, en la influencia que tiene en la escorrentía. Los estudios han encontrado relación entre la alteración del suelo y la escorrentía, pero han diferido en cuanto a la relación con los bosques. Sin embargo, no se puede descartar su existencia debido a la presencia de otros factores para la

generación de escorrentía, tales como las características geológicas y topográficas. Lo anterior se comprueba en estudios en los cuales la remoción del bosque propiciaba la “generación de agua”, pero que a la larga dependía de las otras características mencionadas (Levia, et. al., 2011).

Los impactos de los bosques sobre la disponibilidad del agua, sin embargo, depende en general del área que se estudia, es decir de la extensión de tierra cuyo efecto se desea medir. Así Nelson y Chomitz (2004), identifican que un incremento en escorrentía que lleva a inundaciones es perceptible en cuencas con áreas menores a 100 km². A pesar de ello, el efecto se disipa al considerar cuencas mayores. No obstante, nuevamente depende de otros factores, en especial de los ciclos de precipitación en la región que se estudia. Otro efecto por el cambio de uso de suelo tras la deforestación es una disminución en la infiltración. Los mismos autores, identifican que los efectos de inundaciones, derrumbes y sedimentación dependen en mayor parte de las dimensiones del área a estudiar, así como de las condiciones topográficas y geológicas, principalmente de la pendiente del terreno. Las implicaciones de los efectos de la cobertura forestal sobre el ciclo hidrológico se ve presente, además, en el porcentaje de área deforestada con respecto al área total, siempre dependiendo del tamaño de la cuenca de estudio (Nelson y Chomitz, 2004)

V. PERFIL AMBIENTAL.

A. Definición de perfil ambiental.

Para describir un país en su totalidad, se cuentan con distintas mediciones que pueden ser comparadas a nivel mundial para conocer la posición del mismo entre otros y determinar así las acciones que se deben tomar para mejorar su situación ante determinada problemática. Una de las características que resulta atractiva para su medición es su desarrollo medioambiental, las características ecológicas del país, los problemas que presenta en dicha índole, su riqueza y diversidad en flora y fauna, entre otras. Así nace la necesidad de crear perfiles ambientales de una región o país. De acuerdo a Quiroga (2008:131), el objetivo de un perfil ambiental, en el caso de uno elaborado en España, es «proporcionar información útil sobre la situación y evolución del medio ambiente mediante la utilización de indicadores ambientales». Los perfiles ambientales también se utilizan para conocer el desarrollo o deterioro del medio ambiente a lo largo de la historia en un país a partir del momento en que se inicien a realizar los estudios. Permiten identificar tendencias y evaluar soluciones en regiones específicas de la nación estudiada. También facilitan el estudio de planes de acción y su efectividad a partir de observaciones realizadas con frecuencia anual o de acuerdo a la capacidad del país para realizar los estudios e investigaciones necesarias para ponderar los parámetros establecidos.

Un perfil ambiental se podría definir como el estado del ambiente del área de estudio. Es decir las características del mismo en relación a materia ambiental (biodiversidad, conservación, recursos naturales, efectos del clima, etc.) en el momento que el estudio se realice, o a partir de estudios individuales previos que se enfoquen a los distintos elementos que se pretendan evaluar. La finalidad es proveer suficiente información que pueda describir la situación ambiental de un país para comprender las dinámicas que se presenten, el impacto de estas, las consecuencias que se han manifestado, así como los avances logrados en base a políticas y programas que se hayan fundamentado en previos análisis. Resulta una herramienta para la toma de decisiones y el seguimiento de estos en los años posteriores.

Los indicadores ambientales que se utilicen en una región o país dependerán de las situaciones en las que se quiera enfocar, los problemas presentes, así como las características del sitio. Según Winograd (1995), también dependerá del nivel al que se llegará a medir, es decir el alcance del indicador en determinada área y el potencial que se tenga para que con dicho indicador se puedan tomar medidas que contrarresten dificultades encontradas o fortalezcan prácticas que beneficien el entorno. De la misma manera, establece que «necesitamos comprender el comportamiento e interacciones de los otros componentes del sistema» (1995:6). No basta con establecer medidas para distintos indicadores de los

elementos a considerar para tomar decisiones y que estos indicadores sean efectivos, se necesita comprender la magnitud de las acciones a tomar desde la unidad hacia el conjunto para que sea de mayor beneficio y no perjudique las interacciones identificadas. Además, los indicadores deben fundamentarse en objetivos determinados ya sea a nivel regional, nacional o internacional para poder justificar acciones en base a los resultados (Winograd, 1995).

Acorde a las necesidades de un país, los perfiles ambientales elaborados se pueden enfocar en distintos indicadores de acuerdo a tendencias identificadas en años anteriores. Así los indicadores pueden abarcar temas tan amplios que incluyan la relación entre desarrollo socioeconómico y el impacto ambiental, como específicamente mediciones de factores biológicos de determinada región o área, con el fin de poder estudiar su comportamiento en el tiempo y las relaciones presentes entre todos sus componentes. Adicionalmente, es una forma de comunicar a la población la información pertinente a la situación del país en cuanto a materia ambiental para su estudio y posterior participación, necesaria para futuras decisiones que tomen en cuenta la opinión, necesidades e intereses de los agentes humanos, que también forman parte fundamental del entorno debido a su influencia en él.

Los indicadores ambientales pueden estar enfocados en los principales problemas que se observen en un país o región. Sin embargo, debido a la amplitud de los mismos es por ello que se puede optar a dirigir el estudio durante un período específico a una problemática específica que involucre distintos indicadores relacionados entre sí que logren definir el estado actual de la situación de interés. Por ejemplo, para América Latina «los principales estudios sobre medio ambiente y desarrollo para la región [...] identifican 10 problemas ambientales graves» que incluyen áreas tales a la degradación de los suelos, deforestación, deterioro y contaminación de los recursos naturales, así como «la calidad de vida en los asentamientos humanos y la migración rural y tenencia de tierra» (Winograd, 1995:8). Así es posible comprender cómo el contexto de los últimos 20 años en América Latina ha permitido identificar las áreas en las que un perfil ambiental de los países que integran la región se debe enfocar para encontrar soluciones en base al desarrollo en el tiempo de los problemas mencionados.

Otra manera de identificar los indicadores ambientales más apropiados para su estudio en un perfil ambiental es mediante la comprensión de las necesidades de la población y la actividad económica de un país. Así se tomarán en cuenta aquellos factores que más influyen sobre los recursos naturales que se utilizan y que sean necesarios para los usuarios (Quiroga, 2008).

B. Biodiversidad de Guatemala.

Guatemala se encuentra en la región Mesoamericana, al sur de México y es el primer país de norte a sur de Centro América. Su posición geográfica entre dos océanos ha facilitado el desarrollo de variados ecosistemas en la extensión de su territorio, favorecido por sus características geográficas y geológicas que han proporcionado barreras naturales para que se den condiciones favorables para el endemismo. Por esta razón, Guatemala es un país de gran importancia en cuanto a biodiversidad se refiere, y es considerado «uno de los países de mayor diversidad de especies por unidad de superficie en el continente» americano. La riqueza biológica de Guatemala se puede justificar en el hecho que la región ha servido de puente entre el norte y el sur del continente, en el campo de la Biología conocidos como el Neoártico y el Neotrópico (Godoy y Castro, 1991:3).

Debido a la alta biodiversidad del país, resulta prioritaria su conservación y protección. El país no es rico únicamente en especies de flora y fauna, sino que además es importante en materia de genética, en especial de plantas cultivadas para uso humano a lo largo del desarrollo de su población. Esta riqueza genética permite la mejora de otros cultivos en base a la resistencia de distintos factores que podrían afectar su producción, inclusive especies arbóreas aptas para la industria maderera. Godoy y Castro (1991), en este aspecto, mencionan especies de «maíz, aguacate, amaranto, chiles y tubérculos», además de las especies de pino del país (Godoy y Castro, 1991:5).

Como en otras partes del mundo, esta riqueza se ve amenazada por el avance de la frontera agrícola debido a la deforestación y cambio de uso de suelo, contaminación atmosférica hasta contaminación de las fuentes hídricas (Godoy y Castro, 1991). Esto se acentúa con aumento demográfico en las zonas urbanas y rurales, marcado por un incremento en las migraciones hacia los centros urbanos y falta de disponibilidad de tierra que obliga a la creación de asentamientos en zonas de riesgo.

Como se ha mencionado, la pérdida de hábitat a causa del cambio de uso de suelo que generalmente conlleva algún grado de deforestación, es una de las causas de riesgo para la fauna y flora de un país o región. En Guatemala es particularmente preocupante la tasa de deforestación. Hacia el año 2010 únicamente el 34.2% del territorio nacional tenía cubierta boscosa, que representó una pérdida cerca del 1% de la cubierta forestal con respecto al año 2006. Resulta alarmante pues 60 años atrás la cubierta forestal abarcaba el 64.05% del área total del país lo que indica que se ha reducido prácticamente a la mitad en el presente medio siglo. La deforestación se debe principalmente a la ganadería, agricultura de monocultivos, incendios forestales, entre otras (Gálvez, López y Sandoval, 2012).

Tabla 35. Cambio de cobertura forestal en Guatemala.

Año	Cobertura forestal (ha)	Porcentaje del área total nacional (%)	Ritmo de deforestación (ha/año)
1950	6,974,340	64.05	-
1978	5,700,339	52.35	-
1991	5,121,629	47.04	57,000
2001	4,152,051	38.13	93,127
2006	3,868,708	35.53	101,869
2010	3,722,595	34.19	132,138

Fuente: Gálvez, López y Sandoval, 2012.

Aparte de la protección en reservas naturales y municipales ante el avance agrícola y depredación forestal, se han generado pocos esfuerzos para la recuperación de la masa boscosa. Entre estos se mencionan los programas de incentivos forestales, así como actividades agroforestales, tales como las plantaciones de hule que, a pesar de ser un tipo de monocultivo, aumenta la cobertura vegetal. Con ello, «se calcula unas 8,200 hectáreas de reforestación al año» de manera planificada y sostenida, diferente a la regeneración natural que no se puede afirmar un ritmo positivo por no tener control alguno. Debido a que el ritmo de deforestación supera al ritmo de reforestación, un pronóstico positivo y alcanzable fija estabilizar en 35% la cobertura forestal para el año 2030, si se cumple con «evitar un 10% de la deforestación anual acumulada y reforestar anualmente 10,000 ha» (Gálvez, López y Sandoval, 2012:110).

La biodiversidad no se mide únicamente por las especies individuales ubicadas en un área, sino que como conjunto dentro de los ecosistemas. Las condiciones climáticas de temperatura y precipitación, así como la humedad presente en un área, que depende de las características fisiográficas de una zona, determinan la zona de vida de acuerdo al sistema de clasificación de Holdridge. Esta clasificación determina la flora que se puede ubicar en cada región de acuerdo a las condiciones previamente descritas y así describir ecorregiones y a mayor escala biomas. Sin embargo, este sistema es susceptible a los cambios climáticos pues tienen la capacidad de alterar las condiciones necesarias para la supervivencia de determinadas especies (Santizo, *et. al.*, 2004).

Tabla 36. Zonas de vida de Guatemala.

Zona de vida	Código	Área (km ²)	Porcentaje (%)	Distribución
Bosque muy húmedo subtropical cálido	bmh-S(c)	40,268.98	36.98	Se extiende a lo largo de la bocacosta del Pacífico, la Franja Transversal del Norte y el sur del Petén.
Bosque húmedo subtropical cálido	bh-S(c)	26,693.96	24.51	Comprende el área entre la bocacosta y la costa del Pacífico, además del norte de Petén.
Bosque húmedo subtropical templado	bh-S(t)	12,508.44	11.49	Abarca la región central y oriental del país, así como parte de Baja Verapaz, Quiché y el oeste de Huehuetenango.
Bosque húmedo montano bajo	bh-MB	9,758.21	8.96	Se encuentra en el altiplano occidental.
Bosque muy húmedo montano bajo	bmh-MB	5,558.35	5.10	También en el altiplano occidental, al sur de la zona de vida bh-MB y sobre la cadena volcánica occidental.
Bosque seco subtropical	bs-S	4,117.44	3.78	Abarca algunas regiones del oriente del país, así como el área occidental de Huehuetenango.
Bosque muy húmedo tropical	bmh-T	2,662.69	2.45	Únicamente corresponde al área de la costa del departamento de Izabal.
Bosque muy húmedo subtropical frío	bmh-S(f)	2,661.47	2.44	Se encuentra en la zona suroccidental de Alta Verapaz.
Bosque pluvial subtropical	bp-S	1,144.65	1.05	Se localiza entre Quiché y Alta Verapaz.
Bosque muy húmedo montano	bmh-M	1,110.11	1.02	Se ubica en las partes más altas de la cadena volcánica y de la Sierra de los Cuchumatanes.
Monte espinoso subtropical	me-S	942.11	0.87	Se extiende en el valle del Motagua de los departamentos de El Progreso y Zacapa.

Continuación Tabla 36. Zonas de vida de Guatemala

Bosque pluvial montano bajo	bp-MB	926.28	0.85	Comprende las partes altas de la Sierra de las Minas y de la cuenca del río Polochic
Cuerpos de agua	-	285.58	0.26	Comprende 5 lagos, además de lagunas y ríos
Bosque seco tropical	bs-T	162.45	0.15	Únicamente alrededor del Lago Güüja en el departamento de Jutiapa.
Bosque húmedo montano	bh-M	88.28	0.08	Ubicado en el departamento de Huehuetenango

Fuente: MAGA, 2002.

Tres tipos de bosque húmedo corresponden a la mayor cobertura del territorio nacional, que están identificados por las denominaciones bmh-S(c), bh-S(c) y bh-S(t). Únicamente los primeros dos abarcan todos los departamentos de la Costa Sur, además de la Franja Transversal del Norte y Petén, con un total de área de 61.49%. La tercera clasificación de bosque húmedo además del bosque húmedo montano bajo se extiende a lo largo de una franja que atraviesa el centro del país, desde Huehuetenango al oeste hasta Chiquimula y Jutiapa al este (MAGA, 2002).

De acuerdo a las 14 zonas de vida descritas con anterioridad, así como a las barreras geográficas, otras barreras naturales y la presencia de cuerpos de agua, el país se puede catalogar en 14 ecorregiones que contienen distintos tipos de ecosistemas. De ellos, los que representan menor cobertura incluyen a los bosques húmedos de Yucatán como un bosque transitorio entre los bosques secos al norte y los bosques húmedos en Petén, ubicado al norte de Petén. También se incluyen los bosques montanos de Chiapas, al norte de Huehuetenango y los manglares del norte de Honduras en la desembocadura del río Motagua en el golfo de Honduras que sirve de área de paso para aves migratorias. La distribución de las otras ecorregiones se adecúa a las zonas de vida que están limitadas por los accidentes geográficos pues estos pueden condicionar las características climáticas de la zona (Santizo, *et. al.*, 2004).

Las ecorregiones de Guatemala se pueden clasificar, además, en 7 biomas de carácter más general y que se distinguen entre sí principalmente por la presencia de distinta clase de vegetación. Entre los biomas que cabe destacar debido a su extensión en el territorio nacional se incluye el bosque de montaña, con gran abundancia de coníferas y diferencias de temperatura a lo largo del año. También, la sabana tropical húmeda que originalmente abarcaba selva tropical que se extendía en la planicie de la costa del Pacífico y que en la actualidad se encuentra ocupado por sistemas agrícolas. Tres tipos de selva se pueden encontrar al norte del país: en Petén, la selva tropical húmeda; en Izabal, la selva tropical lluviosa; y, finalmente, en las Verapaces la selva de montaña que presenta «alto endemismo» y se caracteriza por la disponibilidad de agua (Santizo, *et. al.*, 2004:115).

Tabla 37. Ecorregiones de Guatemala.

Ecorregión	Superficie (km ²)	Características
Bosques húmedos del Atlántico centroamericanos	7,800	Abarca una ruta migratoria para las aves, además de ser un foco importante de biodiversidad, en el departamento de Izabal.
Bosques montanos centroamericanos	5,670	Se encuentra en las partes altas de las sierras y cadena volcánica, donde predominan las coníferas, además de ser hábitat de orquídeas.
Bosques húmedos Petén-Veracruz	47,876	Su nombre proviene del área que cubre, «con lluvias durante 7 meses al año» (2004:115).
Bosques húmedos de la Sierra Madre de Chiapas	5,860	Se ubica al sur de la cordillera volcánica y era catalogada como un área de alta biodiversidad.
Bosques secos centroamericanos	6,520	Originalmente ubicados en las llanuras de inundación de la Costa Sur, y servían de ruta para aves migratorias y como bosque de transición.
Bosques secos de la depresión de Chiapas	910	Al oeste del departamento de Huehuetenango, en la cuenca del río Grijalva, presenta un área de alturas variables y por lo tanto flora y fauna que varía con ellas.
Bosques de pino-encino centroamericanos	29,195	A lo largo del centro de Guatemala, comprende bosques de varias especies de coníferas que a su vez permiten el crecimiento de plantas epífitas. También es una ruta migratoria y de endemismo de aves.
Arbustal espinoso del Valle del Motagua	2,323	Con el clima más seco de Centroamérica, cuenta con flora propia de áreas desérticas.
Manglares de la costa beliceña	385	En la costa de Izabal, representa un refugio para las aves migratorias así como hábitat del manatí.
Manglares del norte seco de la costa del Pacífico	150	Área para el paso de animales migratorios, con temporadas de sequía y lluvia, en la costa de Santa Rosa y Jutiapa
Manglares de Tehuantepec-El Manchón	853	Sirve de refugio en el invierno a aves migratorias norteamericanas debido a que provee una fuente de alimentación.

Fuente: Santizo, *et. al.*, 2004.

VI. COBERTURAS Y USO DE SUELO.

A. Clasificación de tierras.

Para un manejo adecuado en el uso de los recursos, es necesario conocer cuales están disponibles y qué clase de uso se le está dando. Un recurso importante y sobre el cual se ejecutan la mayoría de las actividades humanas es el suelo. Particularmente para la agricultura y otros sistemas de cultivo, la evaluación de tierras es de suma importancia para comprender qué usos se le puede dar o si la finalidad que se le ha dado en la actualidad es la correcta. Así surge la clasificación por capacidad de uso de la tierra de acuerdo a los tipos de suelo y otras características que hace distintas áreas aptas o no para su uso en distintas actividades (Richters, 1995).

La información necesaria para clasificar un zona específica depende del nivel de planificación que se necesite realizar en la misma. Así, algunas características que influyen en el uso de la tierra y que se pueden medir para categorizarlo incluyen características climáticas, topografía, tipo de cobertura vegetal, así como las necesidades de la población. La escala de clasificación determina así el nivel de planificación que se puede ejecutar. Es decir, una clasificación más amplia proporciona herramientas para establecer fundamentos básicos para la identificación de zonas más específicas, donde es posible encontrar problemas o necesidades que requieran más detalle para la planificación de acciones. La recopilación de información y la categorización de suelos permite, además, priorizar acciones encaminadas a la conservación del suelo de acuerdo a las bases de las instituciones que manejen la clasificación (Sheng, 1990).

1. Clasificación agrológica del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos.

La clasificación del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, USDA por sus siglas en inglés, es una de las clasificaciones más utilizadas a nivel mundial. Se trata de un sistema agrológico que toma en cuenta características del suelo tales como «propiedades físicas y químicas» que lo hacen idóneo para la actividad agrícola u otra. El sistema maneja las categorías de «clases, subclases y unidades de capacidad» para definir las cualidades de los suelos y su aptitud para un fin agrícola (Núñez, 2000:165). La primera categoría se refiere específicamente a dicha finalidad y se refiere a las limitantes de la tierra para el cultivo en ellas. Así, utiliza una escala en números romanos que a medida que incrementa disminuyen las posibilidades que la tierra sea utilizada para la agricultura, donde el número VIII únicamente incluye suelos aptos para la conservación (Núñez, 2000).

La categoría de clases por capacidad «se refiere al alcance y a la intensidad de los usos que son posibles en una parcela dada de tierra» (Sheng, 1990:21). Así, ciertas características favorecen su uso para cultivos, pero otras tales como la pendiente limitan su uso hacia dicha práctica debido a la susceptibilidad a la erosión tanto eólica como a causa de la escorrentía y la precipitación. Sin embargo, las demás categorías deben tomarse en cuenta para conocer la idoneidad de dichas regiones para otras actividades como los sistemas agroforestales. También, de manera general al sistema de clasificación, se debe considerar que el mismo fue elaborado en un país donde los procedimientos de agricultura son más mecanizados que otros procesos más artesanales llevados

en otros países y regiones. Sin embargo, se ha dado a su adaptación a las circunstancias de cada país que lo ha empleado (Sheng, 1990).

Luego de clases, la siguiente categoría se refiere a las subclases de capacidad. Emplea un sistema tres consonantes y una vocal para indicar distintas limitantes o riesgos tales como erosión (e), características no favorables del suelo (s), (w) para humedad, y clima (c). En cuanto al riesgo por erosión se mide a partir de la escorrentía «en relación a pendiente, textura y precipitación». Finalmente, la última categoría comprende las unidades de capacidad medidas por medio de índices de producción con una separación entre cada unidad del 25%. «Se indican con numerales arábigos separados por un guión de la clase y subclase». Si la unidad se incrementa indica que es un 25% menos productiva que otro suelo bajo las mismas circunstancias (Núñez, 2000:166).

Algunos comentarios respecto al sistema de clasificación, discutidos por Richters (1995), indican que la clasificación sobre suelos que no se considerarían aptos para algunos sistemas productivos no implica que sea imposible su aprovechamiento. El sistema de clasificación indicaría en dicho caso que se deben tomar medidas especiales para la conservación del suelo y así poder cultivar para las categorías del V al VII. Es decir «el motivo principal de esta clasificación es evitarle daños al suelo» (Richters, 1995:137).

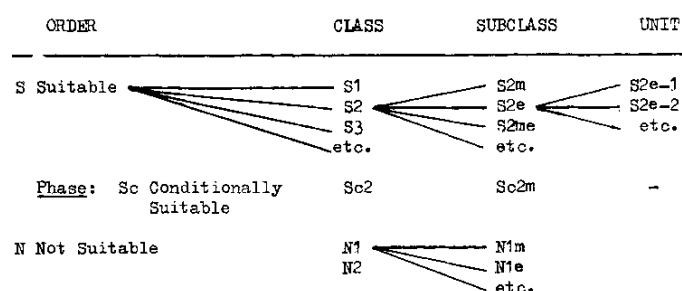
En Alta Verapaz, la mayor parte del territorio se clasifica como tipo VII, es decir que dichas áreas no son aptas para el desarrollo de la agricultura, por lo que se debe destinar a manejo de bosques. De igual forma, dentro de la cuenca del río Cahabón, esta clasificación corresponde al 79% del área. Sin embargo, esto no corresponde con la realidad y la necesidad de los cultivos en la región, tanto como para consumo como para fines económicos. Tanto en el departamento como dentro de la cuenca no se encuentra la categoría I la cual indicaría que las tierras no tienen limitantes para la agricultura. Sin embargo, sí existen tierras aptas para la agricultura con pocas limitantes, que corresponden al tipo II, pero se limitan al 2% del departamento y de la cuenca, ubicados en la parte alta de la cuenca donde se encuentran zonas urbanas importantes, así como en la parte final de la cuenca, donde limita con el río Polochic al sureste del departamento (MAGA, 2005).

Debido a las discrepancias entre la capacidad de la tierra y su uso, se maneja el término de intensidad de uso, el cual indica cómo se está aprovechando la tierra de acuerdo a la situación actual de uso y a cómo se debería utilizar. De esta manera, al año 2005 se encuentra que el 42% de la extensión de la cuenca del río Cahabón se utiliza de manera adecuada. Sin embargo, otro 40% de la misma se encuentra sobre utilizada. Es decir que las actividades realizadas en dicha área sobrepasan la capacidad de uso de la tierra de acuerdo a sus características de topografía y suelo. A pesar de ello, existe un 17% del territorio que permanece subutilizado, lo que indica que no se han desarrollado actividades en ella o que las actividades que se desarrollan no aprovechan al máximo el potencial del área. Todo esto presenta el impacto que genera no contar con planificación de acuerdo a las características de una zona, pues perjudica áreas que no son aptas para el uso que se le da en la actualidad, mientras que otras permanecen ociosas y podrían destinarse a actividades sostenibles y productivas (MAGA, 2005).

2. Clasificación de idoneidad de tierras FAO. En 1976, la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación lanzó un sistema de clasificación de tierras de acuerdo a su idoneidad para el uso que se le esté dando o que se le vaya a dar. Se basa, en parte, en la productividad del área de estudio en cuanto a los cultivos que se presenten en el área. Así, este sistema contempla la necesidad de prácticas avanzadas u otras herramientas para que se pueda llevar a cabo una agricultura eficiente. El mismo categoriza mediante cuatro niveles que incluyen orden, clase, subclase y unidad. Se contempla una subdivisión de uno de los órdenes para distintos tipos de suelos inadecuados, ya sea por «razones prácticas o económicas» en el tiempo de evaluación o que definitivamente no es apto su uso para cultivo (Moorman,1974:71).

Similar al sistema de clasificación de la USDA, las subclases se refieren al tipo de limitante en la parcela. En el orden se emplea si es idóneo (S) o no idóneo (N), en la cual la última corresponde a la subdivisión descrita con anterioridad. A medida que aumenta el número arábigo que acompaña al orden, denominado clase, así decrece su idoneidad para su uso en la agricultura. Los limitantes que comprenden las subclases incluyen factores como la humedad y el riesgo de erosión, que se representan usualmente con la primera letra del nombre del factor o factores que impiden el aprovechamiento de la parcela. Finalmente, las unidades indican el nivel de producción de cada área estudiada, o en otros casos el grado de limitantes presente. Se agrega una condición de idoneidad, representado por una c seguido del orden, cuando bajo ciertas características se llegan a cumplir, existe un área mínima apta dentro de otra no idónea, o si mejora su condición de idoneidad al cumplir con ciertos requisitos (FAO, 1976).

Ilustración 108. Diagrama de clasificación de tierras por idoneidad.



Fuente: FAO, 1976.

Tabla 38. Clases de idoneidad.

Clase	Descripción
S1 – Alta idoneidad	Nula o muy bajas limitantes sin reducción en la producción o incremento inaceptable en los recursos.
S2 – Moderada idoneidad	El uso sostenible de la tierra se ve limitado e incrementa la necesidad de recursos.
S3 – Marginalmente idóneo	El uso sostenido es severamente limitado.
N1 – No idóneo actualmente	No se puede emplear con las prácticas y conocimientos actuales
N2 – Permanentemente no idóneo	Cualquier intento de uso resulta infructuoso debido a las limitantes presentes.

Fuente: FAO, 1976.

3. Sistema de determinación de capacidad de uso para Costa Rica, del Centro Científico Tropical. Uno de los sistemas que surgieron a partir del sistema de clasificación agrológica de la USDA fue el elaborado por el Centro Científico Tropical para su aplicación en Costa Rica. Su publicación fue en 1985 y consiste en diez clases generales que surgieron de «35 sistemas de clasificación». Al igual que otros, se consideraron propiedades físicas del suelo tales como erosión, textura, profundidad y drenaje, entre otros, además de topografía y otros factores climáticos que influyen en la capacidad de un suelo para la producción (CATIE, 1986:81).

A diferencia de otras metodologías, el sistema únicamente se basa en categorías de clases y subclases. En total, se contemplan diez clases donde a medida que se incrementa, disminuye la capacidad del suelo. Se identifican mediante números romanos. Las subclases indican el tipo de limitante presente en la parcela en consideración. Similar al sistema de clasificación agrológica, emplea la primera letra de la limitante para asignar el área a una subclase. Las características que se tomaron en consideración para dicha categoría incluyen la erosión (e), riesgo de inundación (i), limitaciones por drenaje (d), compactación (c), «baja penetrabilidad para raíces (r) [...], escasez de agua (a) [...] [y] baja fertilidad (f)». En ocasiones se puede añadir subclases por condiciones climáticas, pero depende de la escala del área de estudio para que existan diferencias bajo dicho parámetro (Beks y van Olst, 1986:20).

Tabla 39. Clases de capacidad de uso de la tierra del Centro Científico Tropical.

Clase de capacidad de uso	Descripción
I – Cultivos anuales (muy alto rendimiento)	No se presentan limitantes para los cultivos y dicha actividad no resulta en deterioro del suelo.
II – Cultivos anuales (alto rendimiento)	Tierras aptas para la agricultura «ecológicamente adaptada al lugar sin deterioro de la capacidad productiva de la tierra».

Continuación Tabla 39. Clases de capacidad de uso de la tierra del Centro Científico Tropical.

III – Cultivos anuales (moderado rendimiento)	A pesar de mayores limitaciones, la práctica de agricultura no presenta un daño al suelo y su productividad.
IV – Cultivos permanentes o semipermanentes	Requiere de cultivos que garanticen la cobertura vegetal por largos períodos de tiempo sin «remoción frecuente y continuada del suelo».
V – Pastoreo intensivo	No comprende tierras aptas para cultivo, pero sí actividades de pastoreo.
VI – Pastoreo extensivo	Su uso se ve limitado a pastoreo moderado.
VII – Cultivos arbóreos	Es necesaria la cobertura vegetal garantizada mediante cultivos de origen arbóreo.
VIII – Producción forestal intensiva	Permite el aprovechamiento del recurso forestal.
IX – Producción forestal extensiva	Mediante el manejo de bosques, se puede aprovechar los recursos forestales.
X – Protección	Debido a las limitantes de las parcelas, se limita a función de protección de suelos.

Fuente: Beks y van Olst, 1986:17.

4. Clasificación de tierras por capacidad de uso para tierras marginales. Usualmente se refiere a otro sistema en referencia a su autor, T. C. Sheng. El mismo fue elaborado con el fin de su aplicación en áreas que en otros sistemas se descartarían debido a las limitantes por pendientes. Debido a ello, resultó idóneo su desarrollo para Jamaica y posteriormente se adaptó a países centroamericanos, como El Salvador y Honduras, que en su territorio poseen características topográficas similares. Las principales características del terreno consideradas en dicha clasificación incluyen «la pendiente y la profundidad del suelo como factores limitantes» (CATIE, 1986:81).

El sistema nace de la idea que mientras se tomen medidas para disminuir la erosión en terrenos con pendientes considerables, es factible realizar prácticas de agricultura. Además de la profundidad del suelo y la pendiente, otros parámetros que permiten clasificar la tierra incluyen la humedad, pedregosidad, riesgo de inundación y erosión. Las clasificaciones incluyen rangos de pendiente hasta cerca del 58% y profundidades de entre 15 y 60 centímetros, para catalogar en una de siete clasificaciones de suelo. Sin embargo, las limitaciones de los otros factores pueden conducir a que las tierras se clasifiquen en no aptas para cultivo, ya sea pastizales o bosques, de acuerdo al grado de limitación. En cuanto a la clasificación de tierras cultivables, a medida que se incrementan las limitaciones de esta por pendiente y profundidad de suelo, se le asigna una cifra del 1 al 4 (Sheng, 1990).

Tabla 40. Clasificación de capacidad de las tierras orientada hacia el tratamiento.

Capacidad de la tierra	Pendiente (%)	Profundidad (cm)	Descripción	Conservación de suelos.
C1	Hasta 12	Mayor a 15	Apto para toda clase de cultivo con métodos mecanizados y artesanales.	Se incluye el uso de terrazas.
C2	12 – 27	Mayor a 30	También permite variedad de cultivo, pero con menor grado de mecanización	Uso de terrazas sencillas.
C3	27 – 36	Mayor a 45	Toda clase de cultivo con el menor grado de mecanización.	Aplicación de terrazas.
C4	36 – 47	Mayor a 55	«Cultivos anuales y perennes».	Terrazas y bancales.
P – Pastizales	Hasta 47	Menor a 55	Cobertura exclusiva de pastizales.	De acuerdo a la combinación de pendiente y profundidad se permite o no el pastoreo.
AF – Árboles frutales	47 – 58	Mayor a 60	«Cultivos arbóreos».	«Terrazas de árboles frutales».
AS - Agrosilvicultura	47 – 58	Menor a 60	Áreas destinados a «cultivos arbóreos»	Protección debido a cobertura vegetal.
F – Tierras forestales	Desde 47	–	Áreas de uso forestal exclusivamente.	Mediante la cobertura forestal.

Fuente: Sheng, 1990:23.

5. Clasificación de tierras por capacidad de uso INAB. Como se mencionó, la clasificación agrológica desarrollada por el USDA ha sido adaptada por diferentes países para su aplicación. Uno de dichos países es Guatemala, en el cual el Instituto Nacional de Bosques elaboró un sistema de clasificación de acuerdo a las necesidades del país pero en base a la clasificación agrológica descrita. Se denomina clasificación de tierras por capacidad de uso y su objetivo principal es identificar las zonas con potencial para conservar las zonas boscosas del país, así como una herramienta para planificación territorial. El sistema de clasificación se fundamentó además en la categorización del territorio nacional en base a características biofísicas propias de cada región. Entre las características para dicha primera división se tomó en cuenta las características de suelo, topografía, clima, características de los ecosistemas, así como un sistema fácilmente reconocible por las regiones popularmente conocidas. Así, «se identificaron siete regiones naturales, tierras de las llanuras costera

del Pacífico, tierras volcánicas de la bocacosta, tierras altas volcánicas, tierras metamórficas [a lo largo de la falla del Motagua], tierras calizas altas del norte, tierras calizas bajas del norte, tierras de las llanuras de inundación del norte» (INAB, 1997:16-17).

Para llegar al sistema de clasificación, las características físicas del suelo que se tomaron en cuenta fueron la profundidad, pendiente y pedregosidad, que pueden limitar la capacidad de un suelo para cultivar en él. De acuerdo a ellas, y al nivel en que estas implicarían la práctica de mejoras en los cultivos, se crearon siete categorías designadas por letras mayúsculas y minúsculas que indican las primeras letras del nombre de cada clasificación (INAB, 1997). Sales, *et. al.*, (2004) comparó los sistemas empleados por el INAB y el sistema de clasificación de la USDA, en la cual únicamente se unifican las clases V y VI de la clasificación agrícola para la categoría de sistemas silvopastoriles en el sistema del INAB.

Tabla 41. Categorías de capacidad de uso de la tierra del INAB y comparación con clasificación agrológica de USDA.

Categoría de capacidad de uso INAB	Clasificación agrológica USDA	Descripción
A – Agricultura sin limitaciones	I	Áreas aptas para cultivos con pocas limitaciones y facilidad para métodos mecánicos de cultivo.
Am – Agricultura con mejoras	II	Presentan mayores limitaciones por las cuales es necesario realizar prácticas mejoradas de agricultura para conservación del suelo.
Aa – Agroforestería con cultivos anuales	III	Suelos que limitan la producción a sistemas agroforestales con prácticas de conservación de suelo.
Ap – Agroforestería con cultivos permanentes	IV	Permite la agricultura de cultivos permanentes asociados con árboles.
Ss – Sistemas silvopastoriles	V y VI	No facilita el cultivo más que de sistemas forestales y pastos.
F – Tierras forestales para producción	VII	Tierras cuyas características de pendiente y erosión permite el aprovechamiento sostenible del recurso forestal
Fp – Tierras forestales de protección	VIII	Dedicadas a la conservación de suelos y del medioambiente debido a limitantes. Incluye «áreas de inundación, manglares y bosques de galería que abarcan una franja de 15 a 30 metros de ancho de cobertura vegetal a partir de los márgenes de los ríos» (INAB, 1997:28).

Fuente: Sales, *et. al.*, 2004:51; INAB, 1997:26-28.

Cada una de las regiones naturales identificadas por el INAB ha sido categorizada de acuerdo a matrices de la relación entre pendiente y profundidad del suelo. Se hace la aclaración al momento de clasificar que «cuando se considera más de una categoría de uso posible, debe dársele prioridad a la categoría de menor intensidad de uso» (INAB, 1997:29). De esta forma, por ejemplo, las tierras altas calizas del norte empiezan a presentar las categorías de agroforestería hasta las tierras forestales de protección a partir de pendientes del 32% y profundidad del suelo de menos de 50 cm. Además de ello, se debe realizar un ajuste a las clasificaciones de acuerdo a las limitaciones por pedregosidad y drenaje, cuyo efecto tiende hacia las prácticas de conservación de suelos si se consideran como limitantes ambos factores (INAB, 1997).

B. Planificación de uso de tierra.

Al tomar las cuencas hidrográficas como unidad de gestión, la planificación se facilita en cuanto al diagnóstico de los recursos presentes dentro de la unidad geográfica, condicionados ya sea por las actividades humanas o por eventos naturales. Se busca, en general, la optimización del uso de los recursos para garantizarlos en el futuro. Una de las acciones necesarias para lograr dicho objetivo involucra la ordenación territorial para tomar decisiones en cuanto al uso que se le debe dar a zonas en específicas de acuerdo a sus capacidades y en consideración a las necesidades sociales, económicas y ambientales de la zona. El ordenamiento no se da únicamente de forma geográfica sino que también en cuanto a los procesos de las diversas actividades llevadas a cabo en una cuenca hidrográfica; es decir, pretende un cambio en las técnicas y procesos de producción para la utilización óptima de recursos (Villareal, 2000).

Un ordenamiento requiere de herramientas institucionales, políticas y sociales para su planificación, modificación y ejecución de acuerdo a los intereses y necesidades de los actores involucrados. Socialmente, las características culturales también influyen en las costumbres de una región y la interacción de la sociedad en el medio que se desarrollan. El ordenamiento permite «el uso sostenible de los recursos naturales» que permita el desarrollo de una zona en base de las poblaciones ya establecidas, el ambiente y divisiones políticas existentes, entre otros aspectos. No recae únicamente en una zonificación ecológica sino también en las necesidades económicas de la población, por lo que se labora en acuerdo a esta de manera participativa (Chamochumbi, 2010:5).

Mediante una zonificación del territorio, es posible determinar el impacto que se ha generado debido a las actividades que se han llevado a cabo. También, permite tomar acciones específicas para poder tomar acciones al respecto en base a un análisis informado de la situación general del área en cuanto al uso de la tierra y el estado de los recursos. Otro beneficio, inclusive el uso óptimo de recursos que se ha discutido respecto al desarrollo sostenible, involucra «la optimización de las interacciones entre las diferentes actividades y el uso múltiple del territorio» bajo la visión de garantizar la calidad de vida de la población y su desarrollo económico sin perjudicar la disponibilidad de los recursos para el futuro (Villareal, 2000:13).

Para realizar un ordenamiento de cualquier zona, es necesario un diagnóstico de las condiciones de la misma para entender las interacciones que se llevan en ella entre todos los factores y agentes involucrados. En el caso de la cuenca hidrográfica, esto implica el conocimiento del estado natural y físico, además de las características socioeconómicas de la población y sus actividades. La disposición de información del área de estudio resulta esencial para el desarrollo de un diagnóstico efectivo, por lo que herramientas tales como estadísticas poblacionales e información geográfica son necesarias para realizar el análisis previo, aunque de carecer de ellos limita el alcance del mismo, tal como lo hace la falta de financiamiento (Chamochumbi, 2010).

Todo el proceso debe tender a la participación de los actores directamente implicados en cualquier cambio, en especial la población, de forma dinámica y cíclica para generar retroalimentación que provee parámetros específicos de acuerdo a necesidades y experiencias. Las actividades económicas desarrolladas también se deben considerar. Esto es de gran importancia pues cualquier provecho o daño ocasionado irá dirigido directamente a quienes sacan beneficio de la zona a ordenar. Así, «todos [los] usuarios debieran ser conscientes de los beneficios que reciben y de las normas que regulan [el] uso» de los recursos disponibles en el área, mediante el proceso de participación. Finalmente, los descubrimientos y necesidades se adaptan al espacio físico mediante procesos que se aplicarán paulatinamente (Chamochumbi, 2010:23).

1. Zonificación Ecológica-Económica. Una de las herramientas o metodologías mencionadas por Chamochumbi (2010) es la zonificación ecológica-económica, desarrollada por la FAO. En ella, se toman en cuenta los factores económicos y de los usuarios de los recursos en una zona, con especial énfasis en cultivos. Este enfoque permite identificar las áreas donde es necesario la aplicación de acciones, ya sea para satisfacer las necesidades de las poblaciones, necesidades de desarrollo económico o para garantizar los recursos naturales y conservar zonas con importancia ambiental. Es de tipo consensual y dinámica para proveer soluciones al correcto y óptimo uso de la tierra, dentro de un marco temporal y físico definido por las necesidades del área en consideración (FAO, 1997).

Como en otras metodologías de zonificación, la Zonificación Ecológica-Económica, ZEE, implica la recopilación de información para la elaboración de un diagnóstico. En dicho proceso, se identifican características de los recursos, tales como geografía, suelo, recurso hídrico, uso y tenencia de suelo, recursos y características ambientales, además de características de la población. Uno de los puntos que valen recalcar es que se identifica cuáles son los usos que de acuerdo a las características ecológicas se consideran factibles dentro de la zona de estudio. Para la división del área, se consideran las características biofísicas para el uso que se le da a cada unidad. También, se identifican usos alternativos de acuerdo al estado de los recursos naturales, lo cual debe ser negociado e implementado con todos los agentes interesados que actúan en la región (FAO, 1997).

La ZEE es una metodología derivada de la zonificación agro-ecológica también elaborada por la FAO. Lo que se busca con este tipo de zonificación es el uso racional de los recursos de acuerdo a las necesidades de los cultivos que se desarrollan en distintas áreas, según las «limitaciones y potencialidades para el uso de tierras»

de estas (FAO, 1997:5). Por medio de estas se elaboran recomendaciones o planes de acción según la evaluación ecológica de las condiciones en que se da el uso actual del suelo, entre los que se puede «limitar la degradación de los suelos». Debido al énfasis en cultivos de la metodología, la zonificación se basa en los criterios de «período de crecimiento, el régimen de temperatura, y la unidad cartográfica de suelos», bajo las cuales «las condiciones [...] son idóneas para la producción del cultivo» (FAO, 1997:7,9).

La zonificación agro-ecológica, ZAE, no es únicamente una herramienta utilizada para comprender la situación actual, sino que busca crear proyecciones de las alternativas que se pueden generar un área de estudio de acuerdo al diagnóstico realizado. Así, la utilización de la tierra se define tanto por los cultivos presentes como por cultivos alternativos. El parámetro de uso de suelo considera la situación económica del área y los procesos de acuerdo a las actividades desarrolladas. También, se establecen cualquier limitante presente y requisitos para que los cultivos se desarrollen óptimamente y los recursos disponibles para dicha finalidad (FAO, 1997).

Un esfuerzo para emplear la zonificación agro-ecológica en Guatemala proviene de la industria azucarera del país. La zona de análisis correspondía a la Costa Sur del país, área ubicada principalmente en el departamento de Escuintla. Información sobre el balance hídrico y de suelos fueron aplicados para realizar la división de la zona, que resultó en un total de 44 zonas según resultados de humedad. Este análisis se realizó para optimizar la producción de la caña de azúcar de acuerdo a las propiedades del área donde se cultiva y tomar decisiones al respecto (Villatoro, *et. al.*, 2009).

C. Cultivos.

Ante las necesidades económicas y alimenticias, la población en países de desarrollo depende de la agricultura como actividad de subsistencia y para la generación de ingresos. Las regiones tropicales comprenden la mayoría de países en dicha situación, que representa un riesgo para sus ecosistemas en especial con el aumento de la población. Esto se ve acompañado al manejo inadecuado de los recursos naturales, monocultivos y otras prácticas no sostenibles, tanto a pequeña como a gran escala. La conversión de los suelos de su estado natural hacia la agricultura se incluye entre las acciones que más presión ejercen sobre los ecosistemas, sin mencionar los problemas de contaminación que se han discutido en capítulos anteriores (Committee on Sustainable Agriculture and the Environment in the Humid Tropics, 1992).

La presión ejercida por la agricultura en el medio ambiente va de la mano con la dinámica poblacional. Particularmente, existe un incremento en el efecto sobre los ecosistemas con el aumento de la población debido a la necesidad de más alimento y más recursos necesarios para satisfacer las necesidades, que provoca la conversión de tierras hacia la agricultura. Usualmente, esto genera que las prácticas se encaminen únicamente a una mayor producción, sin necesariamente considerar la conservación o prácticas con menor impacto en el ambiente por considerarse no tan efectivas al corto plazo. Sin embargo, estas prácticas «pueden involucrar

costos sociales, económicos y ambientales a largo plazo» (Committee on Sustainable Agriculture and the Environment in the Humid Tropics, 1992:40).

Otro factor que puede intensificar los efectos de la agricultura es su práctica en terrenos poco aptos para dicha actividad, como suele suceder en el caso de los cultivos de subsistencia. De acuerdo al Committee on Sustainable Agriculture and the Environment in the Humid Tropics, la situación se agrava cuando las políticas y acciones para mejorar la productividad se enfocan más en parcelas con condiciones adecuadas para la agricultura, en lugar de proveer alternativas a las áreas con baja capacidad para cultivos. Un menor impacto ambiental se puede lograr al implementar acciones en áreas cultivadas ya existentes con las que se pueda restaurar la calidad de los suelos y mejorar la productividad (Committee on Sustainable Agriculture and the Environment in the Humid Tropics, 1992).

La agricultura de subsistencia es practicada por la población vulnerable en la región centroamericana. El impacto de esta actividad se incrementa al desarrollarse en zonas de ladera, cuya excesiva pendiente en algunas áreas las vuelve inadecuada para cultivos, que representan el 30% del territorio. Estas regiones no son aptas debido a la rápida pérdida de material orgánico y la erosión de la delgada capa de tierra útil, que aceleran la degradación del suelo. La falta de aptitud agrícola de dichas tierras provoca baja productividad que no genera exceso suficiente de cultivos para su comercialización (Barber, 1999a).

La dependencia en Centro América de la actividad agrícola ha permanecido casi constante ya que otras industrias no han alcanzado el desarrollo necesario para reemplazarla como actividad económica principal. Las exportaciones de productos agrícolas han representado un creciente ingreso económico, así como lo es a nivel local. Sin embargo, el impacto de ambos tipos de producción difiere en la cantidad de recursos necesarios para su realización. El uso de tierras marginales para la agricultura de subsistencia se ha acentuado con el desarrollo de otros tipos de actividades en áreas aptas para cultivos, además de las siembras a mayor escala, lo que promueve el avance de la frontera agrícola (CATIE, 1994).

Como en otras partes del trópico, la agricultura en la región se caracteriza por los monocultivos. Estos ocupan gran parte de las zonas cultivables a causa de su importancia económica. Sin embargo, es una de las razones que la agricultura a menor escala se desplace a áreas poco aptas y se vea la necesidad de utilizar zonas forestales. Debido a las grandes extensiones dedicadas al monocultivo, representan un peligro para la biodiversidad, así como una fuente importante de contaminación. Sin embargo, por su importancia como fuente de ingresos y alimentos, el manejo adecuado de químicos como pesticidas y fertilizantes, y prácticas de recuperación de suelos, como mantener la cobertura vegetal y la implementación de obstáculos o barreras, pueden permitir la continuidad de dicho sistema (Committee on Sustainable Agriculture and the Environment in the Humid Tropics, 1992).

1. Alternativas y prácticas. El término de agricultura sostenible surge a partir del cumplimiento de ciertas características o condiciones de las prácticas y cultivos que se desarrollen. Entre estas se contemplan un bajo impacto ambiental, incremento de productividad y mejora en el manejo de recursos. Se debe considerar la satisfacción de las demandas alimenticias, sociales y económicas, además de procurar la conservación del medio ambiente. Además, al considerar el cambio climático y la situación económica mundial, los agricultores «deben ser capaces de responder efectivamente a las presiones ambientales y económicas, y a las oportunidades» (Committee on Sustainable Agriculture and the Environment in the Humid Tropics, 1992:22).

La implementación de alternativas y prácticas encaminadas hacia una agricultura sostenible y su efectividad dependen de varios factores propios del área beneficiada. Estos comprenden los elementos abióticos del agua, sol y nutrientes de los suelos, de los cuales dependen las plantas para su desarrollo. Entre estos, la disponibilidad de agua puede ser el más limitante al estar condicionado a las características climáticas de la región, y los patrones de lluvia y época de sequía. A ello se le suma el efecto de «la tasa de evaporación, infiltración, escorrentía y capacidad de retención de los suelos». Las mismas condiciones climáticas pueden favorecer la presencia de plagas o no ser adecuadas para algunas clases de cultivos (Committee on Sustainable Agriculture and the Environment in the Humid Tropics, 1992:52).

Otro limitante para los cultivos es el suelo, que contiene distintos minerales de acuerdo al tipo y también unos presentan más susceptibilidad a la erosión que otros. Las prácticas de agricultura se deben escoger para mantener el «nivel de sustentabilidad» de los suelos, así como el contenido de material orgánico esencial para el desarrollo de la vida vegetal, y que puede influir en el volumen de fertilizante necesario para los cultivos (Committee on Sustainable Agriculture and the Environment in the Humid Tropics, 1992:54). Las prácticas de agricultura sostenible se deben orientar al aumento de la productividad y al freno del avance de la frontera agrícola. Además, los esfuerzos se deben dirigir hacia la recuperación de áreas degradadas y la conservación de regiones forestales o áreas que aún no presentan intervención humana (CATIE, 1994).

a. Técnicas de siembra. Para algunos tipos de cultivos, es necesario remover la vegetación vieja y original para dar paso a nuevas siembras. Sin embargo, se ha recurrido a la quema o roza de parcelas de tierra para facilitar este proceso de limpieza. A pesar de ello, no quemar permite que la cobertura vegetal anterior cumpla con algunas funciones. Entre ellas se incluye la retención de humedad y «menores pérdidas de suelo» (Barber, 1999a:19). Dejar las especies maderables presentes originalmente en las parcelas garantiza un suministro de leña y madera que se puede utilizar más adelante por los agricultores. Se recomienda dejar los restos vegetales de cultivos anteriores y no labrar la tierra pues con estas medidas se disminuye la erosión. También se favorece el crecimiento de las plantas y los restos vegetales se pueden utilizar como alimento de ganado (Barber, 1999a).

Relacionado a la práctica de la roza se encuentra la agricultura itinerante. Consiste en la utilización de una parcela por un tiempo para cultivo y la migración a otra parcela mientras que la original se regenera al no ser cultivada. Con largos períodos de regeneración permite «el reciclaje de nutrientes, conservación de tierra y

agua las tierras sin cultivar acumulan nutrientes en su biomasa y controlan malas hierbas». Sin embargo, ante la creciente demanda de alimento, los resultados han sido dañinos pues no se prolongan lo suficiente los períodos en tierras sin labrar por lo que los beneficios mencionados no se logran (Committee on Sustainable Agriculture and the Environment in the Humid Tropics, 1992:59).

La densidad de plantas en una zona de cultivo es algo determinante en la productividad de una parcela. Al disminuir el espaciamiento entre plantas, se aprovecha más el espacio, sin favorecer la competencia por recursos al sembrar en el mismo espacio y con área disponible para otras actividades o cultivos. Las densidades recomendadas, según Barber (1999b:56) para maíz son de «dos plantas por hoyo espaciadas 80 – 90 cm entre surcos y 40 – 50 cm entre hoyos dando una densidad de 45,000 – 62,000 plantas/ha». En zonas de ladera, la anterior metodología se complementa con la siembra en contorno. Consiste en sembrar de forma paralela a las curvas de nivel, es decir perpendicularmente a la pendiente. Los surcos creados permiten que el agua se infiltre, con la reducción de escorrentía y la erosión, pues forman «pequeñas barreras discontinuas». Este procedimiento facilita la cosecha posterior (Barber, 1999b).

Los beneficios de la siembra en contorno se incrementan al utilizar barreras vivas. Es decir, se coloca otro tipo de vegetación a lo largo de las curvas de nivel espaciado entre si, usualmente especies para forraje, que logran atrapar e infiltrar el sedimento arrastrado por la escorrentía. Entre cada barrera, espaciadas a no más de 20 metros, se siembra el cultivo. El inconveniente con las barreras depende de la competencia por nutrientes y sol que represente la especie utilizada contra el cultivo, además de la diferencia en ingresos económicos que genera la barrera y el cultivo original. Las plantas de barrera son de carácter más permanente o de especies perennes, por lo que sirven más adelante de guía para la siembra en contorno (Barber, 1999b).

Una forma de cultivo que ofrece tanto incremento de productividad como protección a erosión por un aumento en la cobertura vegetal es el «sistema de cultivos anuales intercalados». Se produce más de una especie de cultivo en un mismo terreno, lo que desfavorece el ataque de plagas. Además, se utilizan especies que se pueden favorecer entre sí, tales como especies fijadoras de nitrógeno combinada con otros cultivos. Un ejemplo tradicional de este sistema es el de maíz y frijol. El maíz se ha intercalado con otros tipos de cultivo que incluyen calabaza, sandía y sorgo. Adicionalmente, se puede implementar un «sistema de cultivos consecutivos», que consiste en la siembra de distintas especies de cultivos en distintas épocas del año. Con ello se garantizan cosechas a lo largo del año, se mantiene una cubierta vegetal en contra de la erosión y se aprovechan los desechos del cultivo previo, al aplicar la no labranza (Barber, 1999b).

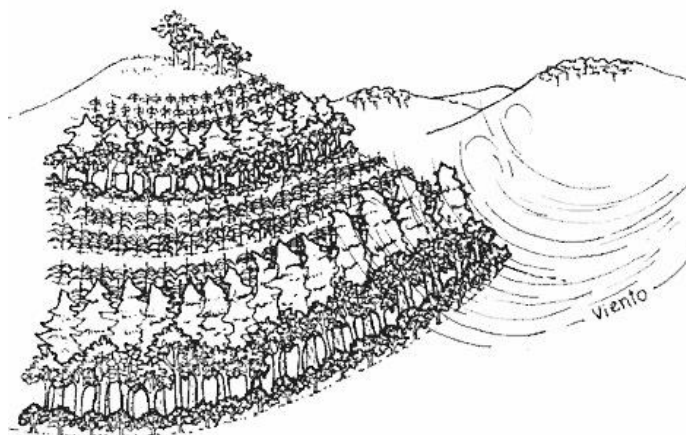
b. Prácticas agroforestales. Entre los sistemas mixtos de agricultura, se incluyen a los sistemas agroforestales, los cuales consisten en la siembra o conservación de árboles dentro de una parcela agrícola. Como otras prácticas que combinan distintos cultivos, se obtienen beneficios como la reducción a la erosión en zonas de ladera, además de mantener o mejorar la cobertura vegetal de la zona, con importancia en la conservación del ambiente además de conservar las características del suelo (Jiménez, 2001). Algunas de estas

alternativas incluye «árboles dispersos en sistemas anuales, en pasturas, arboles de sombra y rompevientos» entre otros (Barber, 1999b:63).

Como en algunos sistemas de no quema, al dejar algunos de los árboles existentes en una parcela agrícola permite la obtención de productos de los mismos adicionales a los cultivos. Nutrientes y materia orgánica pueden ser reciclados por las especies de árboles dispersos. Algunas especies de árboles se prestan más a esta práctica de acuerdo a sus características de sombra, por lo que en general requieren de una poda para que no compita con los cultivos por energía lumínica. La capa de desecho generado por los árboles disminuye la pérdida de humedad del suelo. La presencia de árboles en sistemas mixtos no se limita a las prácticas agrícolas, también se emplean en las actividades agropecuarias. Estos proveen de «sombra y alimento al ganado», además de los beneficios mencionados sobre la conservación del suelo, en áreas de pastura. Se puede emplear inclusive en áreas desprovistos de árboles al plantar en áreas cercadas y permitir su crecimiento sin que sean dañados (Barber, 1999b).

Algunos cultivos se ven favorecidos por la sombra provista por especies de árboles. No sólo conservan el suelo por la reducción de la erosión y conservación de la humedad por el material depositado, sino que proporciona protección de excesiva exposición a la luz solar, que puede ser dañino para algunos cultivos. Usualmente se emplea en cultivos de cacao y de café, donde se puede conseguir productividad mejorada al emplear especies frutales, como el aguacate, aunque la elección de una u otra especie puede depender de las ya presentes así como de los requerimientos de espacio y sombra de los cultivos principales. Los árboles también proveen de protección contra viento en donde este representa un riesgo para las plantaciones (Barber, 1999b). Se deben establecer «en dirección perpendicular a los vientos dominantes idealmente con diferentes especies» (Jiménez, 2001:63).

Ilustración 109. Sistema agroforestal de cortinas rompevientos.



Fuente: Jiménez, 2001:85.

Los árboles dentro de una parcela se pueden disponer de distintas formas de acuerdo a la aplicación que se pretenda cumplir. Una de las funciones que los árboles provee es la estabilización del terreno, ya sea mediante la siembra de barreras vivas de forma paralela a las curvas de nivel. Estas a su vez pueden controlar el nivel de escorrentía de acuerdo a la densidad en que se siembran los árboles, o en márgenes de afluentes y taludes que se pueden ir socavando y que representen un riesgo a la parcela agrícola. Ambas se pueden acompañar de obras de estabilización según la necesidad y la pendiente en una parcela (Jiménez, 2001:63).

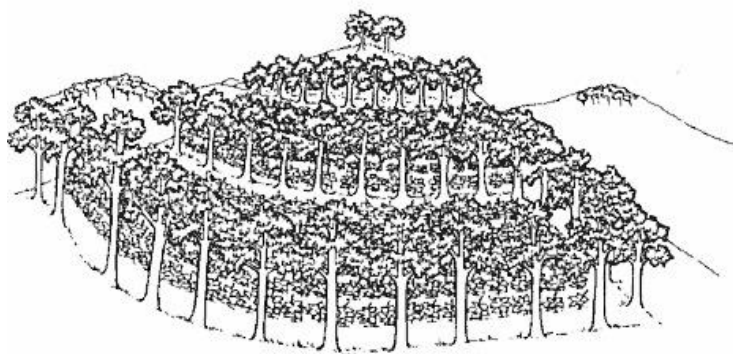
Ilustración 110. Sistemas agroforestales para protección contra la erosión por cauces y taludes.



Fuente: Jiménez, 2001:79.

La presencia de árboles en las áreas de cultivo puede ofrecer otros servicios de protección. Tales usos se incluyen en los cercos vivos, que pueden proteger contra el ataque de animales, así como hábitat de animales que pueden proteger de plagas; además, se pueden emplear para la demarcación de linderos, lo cual es una práctica usual en Centro América. La siembra de árboles en hileras y callejones no se limita a áreas con pendiente pues representan una fuente importante de reciclaje de nutrientes, y al podarse los desechos regeneran el material orgánico del suelo (Jiménez, 2001).

Ilustración 111. Sistema agroforestal de cercos vivos.



Fuente: Jiménez, 2001:83.

Los sistemas agroforestales representan una oportunidad de conservar la biodiversidad en un área. No únicamente ofrece beneficios para la agricultura, sino también para el medio ambiente local al dedicar espacios para el desarrollo vegetal que puede albergar especies animales y otra vegetación. Entre las ventajas que involucra a ambos ámbitos incluye los hábitats para animales que cumplen funciones de «polinizadores [...], diseminadores de semillas y enemigos naturales de las plagas de cultivos». También, prácticas sostenibles pueden incrementar el precio de los productos, ante una creciente demanda de este tipo de productos a escala mundial, y la posibilidad de realizar otras actividades como el ecoturismo debido a la conservación de ciertos ecosistemas (Harvey, 2001:95).

Las áreas dedicadas a la agroforestería presentan diversidad tanto por las especies que intencionalmente se colocan para la producción, como por los seres vivos que progresivamente van habitando el hábitat creado o mantenido. Las mismas condiciones que favorecen el desarrollo de otro tipo de vida en los sistemas agroforestales, facilita la preservación del bosque pues permite mejor el desarrollo de plantas jóvenes. La presencia de áreas forestales puede influir «mejorando las condiciones microclimáticas locales (reducción de temperatura, incremento de la humedad)» (Harvey, 2001:115). También, pueden funcionar como parte de corredores biológicos entre áreas protegidas y de importancia biológica para el paso de animales, así como áreas de descanso para aves migratorias. De la misma manera, sirven de transición entre las áreas protegidas y otras con mayor impacto humano, denominadas zonas de amortiguamiento (Harvey, 2001).

A pesar de los beneficios encontrados en los sistemas agroforestales tanto a nivel agrícola como para la biodiversidad, no siempre favorece a la producción de acuerdo a distintos factores. Uno de ellos contempla la potencial competencia por recursos entre las especies para cultivo y las arbóreas, por lo que se debe encontrar la densidad adecuada para garantizar la producción. Algunas plagas locales también se pueden favorecer con la creación de nichos y hábitats mediante los sistemas agroforestales. Sin embargo, se pueden lograr sistemas que mejoren la productividad de los cultivos mientras se conserva la biodiversidad. Estas acciones, además, va acompañado de una reducción del uso de fertilizantes, pesticidas y herbicidas de carácter inorgánico para disminuir el efecto dañino al medio ambiente (Harvey, 2001).

De acuerdo a estudios del CATIE (1992), distintos métodos agroforestales pueden ser aplicados a zonas de ladera según su pendiente. De esta forma, se identifica las tierras con pendientes menores al 2.5% con baja necesidad de métodos de conservación del suelo, sin ignorar prácticas para mejora de productividad y sostenibilidad. Por otra parte, cuando la pendiente se encuentra entre el 2.5 y el 10%, se recomienda el uso de la rotación y de callejones para conservación del suelo. La siguiente clasificación, con pendientes entre 10 y 20%, requiere de mayor estabilización del suelo mediante la siembra de callejones a poca distancia. Pendientes por encima al 20% no son recomendadas para prácticas agrícolas, pero difiere de la realidad. Por ello, es necesario la implementación de callejones o cercos vivos a distancias menores a los 5 metros (CATIE, 1992).

Tabla 42. Recomendación de prácticas agroforestales según la pendiente.

Pendiente (%)	Práctica agroforestal	Prácticas de cultivos
Todas	Barreras o cercos vivas	No labranza
< 2.5	-	-
2.5 – 10	«Callejones con árboles fijadores de nitrógeno»	«Rotación de cultivos»
10 – 20	Callejones a menor distancia	Cercos vivos
20 – 30	Callejones entre 3 y 5 metros de distancia	Cercos vivos a 15 cm de distancia

Fuente: CATIE, 1992:34-35.

c. Huertos. Ante la necesidad de proveer alimento en el hogar y otra fuente de ingresos económicos, es usual encontrar en las zonas tropicales huertos familiares. Se caracterizan por abarcar un área reducida cercana a la vivienda o dentro del terreno circundante, con una alta diversidad de plantas. Como el fin es proveer alimentación, dentro de esta clasificación se incluyen además distintos tipos de animales que también representan otra fuente de ingreso. Los huertos comprenden distintos tipos de plantas, desde vegetales y hervas, hasta árboles frutales y maderables a los que se les puede sacar provecho. También se consideran un espacio de protección para especies de plantas nativas, debido a la gran diversidad que en los huertos se puede encontrar (Harvey, 2001).

En promedio, un huerto casero o familiar comprende un área menor a las 0.5 ha. Sin embargo, puede presentar una alta densidad debido a la necesidad de tener varias especies vegetales en un espacio reducido. En promedio, en el área centroamericana, se pueden encontrar 65 especies vegetales, aunque dicho número puede alcanzar valores mayores a 100. Entre los cultivos también se encuentran plantas medicinales, adicionales a las plantas destinadas a la alimentación. Por las razones anteriores, los huertos juegan un papel importante en la diversidad genética y en la conservación de las especies nativas (Harvey, 2001).

Una de las ventajas desde el punto de vista ambiental de los huertos es que representan un ecosistema debido a las interacciones que se dan dentro de estos entre sus distintos componentes. Las especies vegetales, que incluyen árboles frutales y maderables, forman distintos estratos. La diversidad de plantas permite distintos períodos de cosecha, en interacción con los animales, humanos y recursos no bióticos presentes en la parcela (Harvey, 2001).

Las especies de plantas en los huertos no se limitan a aquellas consumidas por los humanos, como de alimentación y especies maderables. También se incluyen plantas de tipo ornamental y medicinal, mencionadas con anterioridad. Esto se refleja, por ejemplo, que en Alta Verapaz únicamente entre el 35 y 45% de las plantas en los huertos tienen fin alimenticio. En dicha región, el promedio de variedad de especies en los huertos es del

52%, de las cuales cerca del 50% son nativas. Usualmente, las especies se organizan dentro del huerto según la finalidad que tengan (Azurdia, 2008).

Los huertos familiares, pueden destinarse para autoconsumo o para comercialización, aunque cualquier excedente puede ser aprovechado para generar ingresos. Esta clasificación determina la manera en que es manejado el huerto. En el departamento de Alta Verapaz, los huertos familiares para autoconsumo representan «el 83% de los huertos en la zona cálida y el 52% de la zona fría». Los huertos con fines comerciales no son exclusivos a dicha actividad. Más bien un área de la parcela se dedica al cultivo de alguna especie vegetal que se pretende vender (Azurdia, 2008:417).

D. Actividades humanas dentro de una cuenca.

Los ríos proveen uno de los recursos naturales necesarios para la vida: el agua. También crean hábitats y las condiciones suficientes para que se desarrolle flora y fauna que se adapta a las condiciones propias de la zona o cuenca. Estos ecosistemas depende de las características de la cuenca y de acuerdo al área, distintas formas de vida se desarrollan pues adquieren los recursos necesarios para sobrevivir. El ser humano ha sacado provecho de las cuencas y los ríos. Estos no solamente proveen de agua para las poblaciones sino que ofrece otros servicios de los cuales dependen. Entre ellos, ofrece alimento y áreas para cultivos, debido a los sedimentos arrastrados, a la disponibilidad de agua, y condiciones topográficas en ciertas áreas de la cuenca que facilitan el desarrollo de actividades relacionadas al cultivo. También, ofrece materiales utilizados para las actividades comerciales e industriales (tales como madera, rocas, arena e inclusive recursos minerales). Incluso ha ofrecido un medio de transporte desde la antigüedad, y en las últimas décadas, una oportunidad para la generación de energía eléctrica necesaria para todas las actividades desarrolladas hoy en día (Höfer y Warren, 2007).

Tabla 43. Servicios proveídos por las cuencas.

Servicio		Usuarios
Regulación de flujo de agua	La forma de las cuencas permite el almacenamiento y distribución de agua, tanto superficial como sub-superficialmente, de manera conjunta a la acción de la vegetación y la capacidad de infiltración del suelo.	Sistemas de irrigación Hidroeléctricas Suministro de agua potable
Regulación de sedimentos	También por la acción de la vegetación en las orillas, se regula el transporte de sedimento. El mismo sedimento, producto de la capacidad erosiva del agua, provee nutrientes necesarios para los seres vivos.	Suministro de agua potable Hidroeléctricas

Continuación Tabla 43. Servicios proveídos por las cuencas.

Servicio		Usuarios
Control de concentración de residuos químicos	A lo largo del recorrido de la escorrentía, el suelo y la vegetación proveen cierto grado de filtración.	Suministro de agua potable

Fuente: Höfer y Warren, 2007.

Debido a los servicios proveídos por los ríos y por las cuencas, estos han sido motivo de modificaciones para sacar el mayor provecho para las poblaciones humanas asentadas en sus márgenes o proximidades. Las condiciones topográficas a lo largo de una cuenca permite el desarrollo de distintas actividades, que se acomodan a las necesidades humanas para garantizar la supervivencia y bienestar de las poblaciones. Sin embargo, las poblaciones que se benefician de las cuencas no necesariamente se encuentran cerca. Por lo anterior, depende de todas las características que incluyen topografía, suelo, recurso hídrico y clima para que los humanos le encuentren alguna utilidad, pero no se limitan a ellas. La humanidad ha sido capaz de alterar el paisaje y la naturaleza con tal de satisfacer sus necesidades en base a la disponibilidad de recursos (Höfer y Warren, 2007).

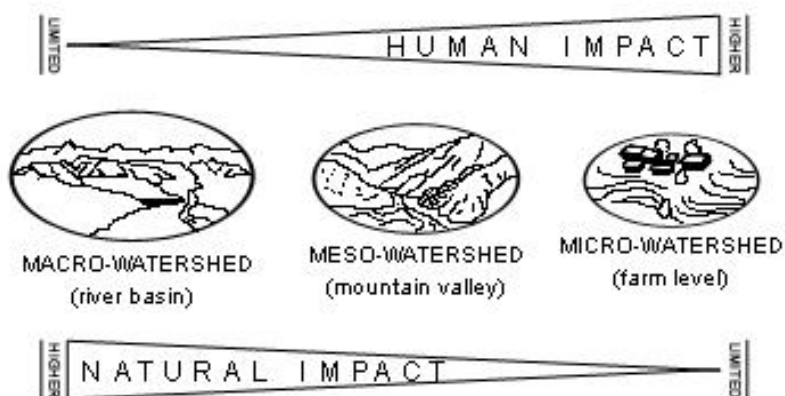
De acuerdo a Höfer y Warren (2007), las cuencas son consideradas a menudo como sistemas estables. Sin embargo, por las actividades humanas esta estabilidad se ha visto afectada y como consecuencia las cuencas han sufridos cambios y por ende los ecosistemas que sostienen. Los asentamientos humanos han afectado principalmente las zonas altas de las cuencas, donde áreas de bosque han sido eliminadas para dar paso a zonas pobladas y así alterar la capacidad de regulación de caudal río abajo. La construcción de edificios y otros proyectos en laderas, plantas hidroeléctricas, cambio de uso de suelo para agricultura, han causado cambios en los caudales y el arrastre de sedimentos (Höfer y Warren, 2007).

Las actividades humanas han afectado no únicamente de manera local sino que globalmente con la evidencia del cambio climático. El cambio de temperatura y de clima ha modificado los patrones de lluvia y de temporadas de sequía, lo que hace más susceptible la captación de agua en las cuencas que al mismo tiempo se ha alterado por las acciones locales. Nuevamente, los efectos de las partes altas de las cuencas implican consecuencias en las partes bajas, y así variaciones en las lluvias sumado a alteraciones del estado natural de los suelos pueden provocar inundaciones río abajo (FAO, 2007).

La magnitud de los efectos de las actividades humanas, como se ha mencionado en el capítulo anterior, depende del área que se considere para medir su impacto. De acuerdo a parámetros de hidrología y topografía, las cuencas se pueden dividir desde microcuencas, subcuencas, hasta llegar a las cuencas. De la misma forma, se ha determinado que a menor escala, el impacto de las acciones humanas resulta más representativo que aquellas de causa natural, e viceversa. Por ello, cuencas intermedias o sub cuencas se encuentran afectadas de

manera similar, entre causas naturales y humanas. Las dimensiones también son consideradas para prever el impacto de futuras acciones en un manejo integral de cuencas (Höfer y Warren, 2007).

Ilustración 112. Impacto de procesos humanos y naturales en cuencas.



Fuente: Höfer y Warren, 2007:25.

El cambio de uso de suelo puede influir en una modificación en el régimen hidrológico de una zona. Sin embargo, diversos estudios han presentado resultados distintos que dependen de otros factores propios del área de estudio, por lo que no se ha establecido el efecto directo que provoca el cambio de uso de suelo. A pesar de ello, la FAO (2007:17) afirma «que todo cambio del uso de tierra que compacta el suelo o disminuye su porosidad hace aumentar el escurrimiento y el caudal máximo durante las lluvias, y es posible que también incremente las inundaciones». Nuevamente, esta afirmación se aplica de acuerdo a la extensión de la zona en consideración, donde un área reducida presenta mayores implicaciones relacionadas al cambio de uso de suelo descrito. Así, no se ha encontrado correlación en algunas zonas de estudio entre los efectos río abajo debido al cambio del estado natural de las zonas altas, cuyo resultado también depende del tamaño del área en consideración. Por lo tanto, se vuelve a afirmar que la escala se vuelve un factor determinante en cuanto a la magnitud de los efectos a causa de los cambios en el uso de suelo y las actividades humanas (FAO, 2007).

Tabla 44. Efectos potenciales del uso de la tierra en régimen fluvial.

Efecto observable del uso de la tierra en:	Tamaño de la cuenca hidrográfica		
	Pequeña (0.1 – 10 km ²)	Mediana (10 – 100 km ²)	Grande (por lo menos 100 km ²)
Caudal medio	X	–	–
Caudal máximo	X	–	–

Continuación Tabla 44. Efectos potenciales del uso de la tierra en régimen fluvial.

Caudal de base	X	–	–
Recarga de los mantos acuíferos	X	–	–
Carga sólida	X	–	–
Patógenos	X	–	–
Nutrientes	X	X	X
Salinidad	X	X	X
Plaguicidas	X	X	X

Fuente: FAO, 2007:19.

Como se observa en la tabla 44, las cuencas hidrográficas con un área menor a los 10 km² son susceptibles a los efectos ocasionados por la actividad humana, en cuanto a calidad y cantidad de agua disponible en la cuenca. Sin embargo, mayores áreas se ven menos afectadas por las actividades humanas a medida que las causas naturales implican mayores efectos, que se confirma con lo establecido por Höfer y Warren (2007). En cuanto a calidad del agua, por otro lado, el efecto de los desechos de las actividades humanas siempre repercuten inclusive en cuencas hidrográficas con áreas mayores a los 100 km², pues cuencas más grandes involucra la afluencia de varios ríos que van acumulando los contaminantes a lo largo del cauce principal (FAO, 2007).

Sin considerar la magnitud de los efectos de las acciones humanas, estos existen a cualquier nivel sobre una cuenca y tiene consideraciones que pueden afectar a las mismas actividades que las originaron. Algunas actividades que cabe mencionar se ha cuantificado su efecto sobre la calidad de las cuencas incluyen «la agricultura, la ganadería, la explotación forestal y al desarrollo urbano e industrial» (Pozo y Elosegí, 2009:43). De acuerdo a que los ecosistemas presentes dependen del recurso hídrico en la cuenca, los efectos de las actividades mencionadas directamente sobre la disponibilidad del recurso y su calidad afectan a la vida que se desarrolla en toda la cuenca. «El mayor o menor impacto que estas actividades puedan generar depende de la intensidad y duración de la perturbación, así como de la entidad del río» (Pozo y Elosegí, 2009:44).

Tabla 45. Efectos de las actividades humanas en las cuencas.

Actividad	Efecto
Empleo de fertilizantes	Eutrofización
Fuego y pastoreo	Erosión, aumento de sedimentos
Residuos ganaderos y agrícolas	Elevada demanda de oxígeno
Construcción de pistas	Aumento de material en suspensión tras las lluvias
Tala y extracción de madera	Cambios en escorrentía, sólidos en suspensión, luz incidente, temperatura del agua, nutrientes, entradas de hojarasca...

Continuación Tabla 45. Efectos de las actividades humanas en las cuencas.

Plantaciones forestales	Cambios en cantidad y calidad de entradas de hojarasca y en productividad Cambio en estructuras retentivas y en disponibilidad de hábitats
Vertidos urbanos e industriales	Pérdida de calidad del agua y disminución de la biodiversidad
Embalses	Cambios en los regímenes hidrológico y térmico, características químicas y transporte de sedimentos, y barreras a la dispersión
Canalizaciones	Pérdida de hábitats

Fuente: Pozo y Elozegi, 2009:43.

1. Urbanismo. Debido a la creciente demanda por tierra para proveer de un lugar para vivir a la población, muchos centros urbanos se han establecido próximos o contiguos a los cauces de los ríos. Entre algunas de las razones resalta la inmediata disponibilidad del agua que proveen los mismos. Usualmente, y de forma desfavorable, se han poblado las zonas naturalmente propensas a inundaciones por ser relativamente planas u ofrecen una topografía donde se facilita la edificación y la expansión de los poblados. En la expansión de estos, se ha favorecido la canalización de afluentes menores que dividirían naturalmente el terreno donde se desarrollan distintas zonas urbanas. Uno de los efectos de la urbanización consiste en la impermeabilización de la zona, principalmente con el trazo de vías de comunicación terrestre y la construcción de edificaciones de vivienda, comercio y de servicio de acuerdo del trazado previamente descrito. Estas extensiones de superficie impermeable incrementa la escorrentía hacia los afluentes más cercanos. También, el consumo del agua a partir de dichos afluentes afecta, según la escala en que se mida el área afectada, el caudal que llevan (Welcomme, 1980).

Desde los primeros asentamientos humanos que se fueron convirtiendo posteriormente en grandes centros urbanos y metrópolis, es usual encontrar que el área de margen de los afluentes se ha dejado a un mínimo con el fin de aprovechar al máximo el terreno disponible. Estas decisiones, acompañada del incremento de escorrentía debido a la impermeabilización de la superficie y al redireccionamiento de agua fluvial por medio de sistemas de alcantarillados hacia los cuerpos de agua, incrementan el riesgo de inundación local por la reducción del área que ha quedado de ellos. Otro efecto negativo es la disminución del área de recarga hídrica debido a la impermeabilización (Vidal y Romero, 2010).

Otra de las causas del cambio geomorfológico de los cauces, es decir el cambio en su forma original, es el desarrollo de vías de comunicación, ya sea dentro de una misma población o entre zonas pobladas. Estas vías no se limitan al uso de los mismos afluentes para la navegación, que a gran escala conllevan grandes proyectos de infraestructura que incluye «canalización, dragados, y la construcción de presas y esclusas» (Welcomme, 1980:40). También se debe tomar en consideración las vías terrestres pues comprende la extensión de las áreas impermeabilizadas así como el transporte de escorrentía a puntos de colección a lo largo de su trayecto hacia otros cuerpos de agua. La necesidad de puentes, terraplenes y otras estructuras para evitar

distintos accidentes geográficos e incluso los mismos afluentes, pueden cambiar en sus bordes el cauce de estos (Welcomme, 1980).

El efecto de los centros poblados sobre las cuencas ha incrementado junto al aumento de la población. A mayor población, más necesidad de servicios se requiere para satisfacer las necesidades de esta. Uno de ellos implica un incremento en el consumo de agua, tanto para consumo directo como para consumo doméstico e industrial. Además, un aumento en la población significa mayor demanda de espacio para vivienda. Ambas necesidades implican mayores presiones para la cuenca sumado a la migración demográfica entre una zona y otra para buscar mejores condiciones de vida (FAO, 2007).

El crecimiento poblacional no únicamente constituye una presión para el sistema de una cuenca debido a los servicios que provee, sino que implica un aumento en la contaminación de las fuentes hídricas. El desarrollo de nuevas zonas urbanas representa un foco de producción de sedimentos arrastrados por la escorrentía, además de la pérdida ocasionada al estado natural de la zona de dicho desarrollo. La misma impermeabilización favorece este proceso, que consigo arrastra contaminantes que repercuten la calidad del agua. La urbanización comprende algunos focos de contaminación que incluye, pero no se limita, a desechos sólidos, aguas servidas, desechos industriales, entre otros (Dourojeanni y Jouravlev, 1999).

En Latinoamérica, el crecimiento demográfico no es una excepción. Este crecimiento, desde mediados del siglo XX se ha dado principalmente en los centros urbanos de la región. Esto se ha visto favorecido por el incremento en la migración de áreas rurales hacia las ciudades, usualmente ubicadas cerca de fuentes de agua. Debido a las diferencias socioeconómicas, los nuevos pobladores se han asentado en zonas marginales usualmente ubicados en áreas poco aptas para la urbanización, tales como laderas y otras áreas propensas a deslizamientos e inundaciones. Esto genera aún mayor presión sobre las cuencas debido al arrastre de sedimento, la potencial contaminación originada de las nuevas áreas pobladas, y una creciente demanda de servicios (Dourojeanni y Jouravlev, 1999).

2. Agricultura. Como se ha mencionado, los cambios en el uso de suelo en las cuencas se debe primordialmente al incremento en la necesidad de ofrecer servicios a una creciente población. Entre estos servicios, se satisface la necesidad de alimento a través de las actividades agropecuarias y la industria alimenticia. La agricultura forma parte de las actividades agropecuarias, y mediante ella se ha garantizado una fuente de alimento de origen vegetal a lo largo de la historia desde los primeros asentamientos humanos. A medida que ha avanzado la tecnología y se ha incrementado la población mundial, se han desarrollado técnicas de cultivo con el fin de maximizar el producto final, evitar pérdidas por plagas y otros fenómenos naturales. Sin embargo, esto se ha realizado a costas del entorno natural sin medir sus efectos. Se ha pasado de métodos tradicionales y de supervivencia de la agricultura a procedimientos industrializados y masivos en donde se requieren de grandes extensiones de terreno. Tanto a mayor como a menor escala, se ha optado por la utilización de químicos para procurar mejores cosechas, aunque con efectos secundarios sobre el medio ambiente.

Se reconoce a la agricultura como «una de las actividades humanas que más recurso hídrico utiliza» (González, 1996:214). Gracias al avance tecnológico, se han mejorado técnicas para satisfacer la demanda hídrica que requiere dicha actividad y así asegurar el producto para su consumo. Algunas de las formas con las que se logra garantizar la disponibilidad del agua para la agricultura incluyen el uso de presas y el uso de canales para almacenaje y distribución. Un método que emplea canales se conoce como regadío, el cual aprovecha las fuentes de agua ubicados cerca de las tierras agrícolas. Sin embargo, no se limita a obras de infraestructura para obtener el servicio de agua, también lo requieren obras de mitigación para prevenir inundaciones que pueden perjudicar las plantaciones. Hasta el momento, se ha explicado desde un punto de vista del agua superficial, pero el suministro de agua para las actividades agrícolas también se extiende a la extracción de agua de los acuíferos, según sea la disponibilidad de agua superficial en el área a explotar (González, 1996).

En la región latinoamericana, la agricultura representa el mayor uso de agua con un 73.5% del total utilizado. La práctica más utilizada para distribuir el agua en las áreas agrícolas es mediante la irrigación, la cual no aprovecha efectivamente el recurso. Un peor caso resulta la práctica mediante inundación, debido a que el agua restante lleva consigo nutrientes y compuestos químicos adicionales que son arrastrados a las fuentes de agua superficial por escorrentía y subterráneas por infiltración. No sólo el aprovechamiento de los cuerpos de agua superficiales está destinado a la agricultura, también la mayor parte de la extracción de agua subterránea en los países de la región es destinada para esta actividad económica. En el caso de la extracción de agua de los acuíferos perjudica no únicamente por la potencial contaminación de estos, sino la disminuida capacidad de regenerarse por medio de la infiltración (PNUMA, 2003).

Tabla 46. Efectos de la agricultura en las cuencas.

Efecto potencial	Causa
Aumento de erosión	Labranza de suelos para facilitar la siembra de cultivos.
Arrastre de sedimentos y nutrientes	Cambio de cobertura vegetal con potencial de retención.
Reducción de hábitat para la flora y fauna	Remoción de los ecosistemas naturales para dar paso a la cobertura agrícola.
Modificación de morfología de los cauces	Canalización, dragado, embalses y obras de drenaje para controlar el suministro de agua.
Aumento de temperatura superficial	Eliminación de sombra proveída por vegetación
Incremento de escorrentía	Nueva cobertura agrícola puede no tener la misma capacidad de intercepción.
Incremento en la contaminación del agua	La agricultura es una fuente de contaminación debido a los productos químicos utilizados en la práctica.

Fuente: González, 1996.

Debido al sistema de las cuencas, los ríos transportan tanto sedimentos como nutrientes y otros químicos en su trayectoria hacia mayores cuerpos de agua. Estos son arrastrados por la escorrentía que fluye sobre la superficie de la cuenca, que puede o no ser interceptada de acuerdo a las características geológicas y de cobertura de vegetación de la zona. Este arrastre de compuestos químicos se ve favorecido por la agricultura (González, 1996). El mismo proceso de la agricultura agrava esta situación, pues la actividad va disminuyendo el aporte nutritivo del suelo natural y de los sedimentos arrastrados por los ríos por la modificación en los cauces. Sin embargo, puede suceder lo contrario por malas prácticas agrícolas en que se cambian los márgenes y se dejan susceptibles a la erosión (Welcomme, 1980).

Algunos de los mayores contaminantes a causa de la agricultura son los plaguicidas, fertilizantes inorgánicos, entre otros productos químicos. Estos químicos se van acumulando en las fuentes de agua, en un proceso conocido como eutrofización. Dicho proceso no depende únicamente de los desechos a causa de la agricultura, sino que de procesos como la erosión, además de otras actividades humanas como aguas residuales y desechos de la ganadería. La concentración de sustancias tales como el fósforo y el nitrógeno, que en moderada medida son necesarios para la vida, favorecen el crecimiento de algas que disminuyen la concentración de oxígeno en las fuentes de agua, creando situaciones adversas para otras formas de vida. Tanto el uso de sustancias químicas como la erosión son las principales causas de la eutrofización (FAO, 2007).

3. Ganadería. Autores se refieren a uno de los principales efectos de la actividad ganadera, la deforestación o cambio de uso de suelo para la creación de pastizales para el consumo del ganado. Este cambio de cobertura vegetal, como se ha discutido en secciones anteriores, provoca un cambio en el ciclo hidrológico de la zona, especialmente en cuanto a la escorrentía y a la infiltración pues ya no hay vegetación que intercepta la precipitación. Sin embargo, como el efecto de otras actividades sobre el medio ambiente, depende de otros factores que incluyen las propiedades del suelo, el tipo de vegetación y la concentración de ganado en el área. La reducción en la cobertura vegetal de los pastizales y en la infiltración del terreno, además de un incremento en la escorrentía, se debe principalmente a la compactación del terreno a causa del ganado. Nuevamente, la magnitud de dichos efectos dependerá de los factores previamente mencionados. Sin embargo, la cantidad de material erosionado puede aumentar con el aumento de pendiente, así como una alta compactación del terreno y falta de vegetación que evite la acción erosiva ante fuertes precipitaciones (Mwendera y Saleem, 1997).

Los efectos dañinos de la ganadería, similar a los daños ocasionados por malas prácticas de agricultura, generan un ciclo en que las áreas destinadas para el ganado se van deteriorando y ya no resultan aptas para el mismo fin. Esto se debe a la erosión del sustrato superior que provee nutrientes a las plantas y que debido a la escorrentía, es llevado río abajo donde se puede provocar eutrofización. La acción de la escorrentía se magnifica pues no solo presenta una alta acción erosiva, sino que consigo lleva nutrientes como fósforo y nitrógeno que en altas concentraciones contaminan las fuentes de agua (Mwendera y Saleem, 1997).

La ganadería influye en el régimen hídrico no únicamente debido al cambio del uso de suelo, sino que también debido al consumo directo de agua. Además, es empleado para la producción del alimento del ganado. La disponibilidad del agua para el fin descrito depende de la región y la cercanía de cuerpos de agua que se aprovechan directamente, aunque también se recurre a métodos de almacenaje. Sin embargo, se requiere de otras medidas donde la precipitación es reducida, por lo que se puede afectar los niveles de los acuíferos debido a la extracción de agua (Ortega-Gaucin, 2011).

4. Otros: industria, minería, energía. El desarrollo de una zona depende mucho de su producción de bienes o por los servicios que se prestan, tanto de manera local como hacia otras áreas. La transformación de bienes es una de las actividades que generan ingresos a partir de materia prima que también puede ser de origen local o se necesite adquirir de otras fuentes. Esta industria depende tanto de la fuente de los bienes como de otros procesos para poder transformarlos en un producto final. Para estas actividades se necesita del consumo de agua para poder realizar algunos de los procesos requeridos para la transformación de bienes. El recurso hídrico puede provenir de fuentes de agua cercanos, si conlleva un proceso más artesanal y la productora puede potabilizar el agua, o puede provenir de los sistemas establecidos de agua potable de la localidad. De igual forma, de acuerdo al grado de actividad industrial establecido en una zona, así será el consumo destinado para dicho fin (du Fraiture, Rubiano y Álvarez, 1999).

A medida que crecen los polos urbanos en Latinoamérica, así lo ha hecho la actividad industrial en la zona. Hacia el año 2002, se estimaba que el uso industrial del agua alcanzaba el 8.7% del consumo total, aunque

en Mesoamérica representaba un porcentaje menor del 5.4%, donde el 77.9% correspondía al uso agrícola y un 16.7% el uso doméstico. Sin embargo, el movimiento migratorio hacia los centros urbanos pueden indicar también el traslado de actividades agrícolas a actividades industriales o de servicios en los últimos años, que representaría un aumento en el uso industrial del recurso hídrico (PNUMA, 2003).

Uno de los efectos dañinos de la actividad industrial recae principalmente en la contaminación de las fuentes de agua. Esto se debe, principalmente, a que en la región latinoamericana la capacidad de saneamiento de las aguas residuales es disminuida, y en algunos casos ni siquiera es aplicada. Esta agua, si es dirigida a los cuerpos de agua locales, representa un riesgo para los consumidores, incluidos la agricultura, cuyos productos luego podrían perjudicar la salud de la población. La contaminación industrial depende mucho del producto que se elabore; así, puede contaminar con material orgánico si proviene de la industria alimenticia, como con compuestos químicos inorgánicos entre otros si tiene otro producto final (PNUMA, 2003).

La minería es otra de las actividades que generan un impacto en las cuencas, principalmente sobre la calidad del agua, aunque influye en otros aspectos del ciclo hidrológico. El implemento de la industria minera en una zona depende mucho de las características físicas y de los minerales presentes debido a los procesos geológicos que se han desarrollado en ella. De acuerdo a los minerales que se puedan extraer, así será la escala de la industria y el área que se abarcará según la disponibilidad y necesidad tanto local como internacional. Debido a los procesos geológicos en su formación, generalmente, las partes altas de las cuencas son más favorables a que se desarrolle la industria minera, lo cual es perjudicial para el resto de la cuenca hidrológica. Otro tipo de minería, sin embargo, no depende tanto de las áreas montañosas para la presencia de ciertos minerales (Hammond, Rosales y Oubeter, 2013).

En la minería, la potencial magnitud del efecto dañino sobre la calidad del agua y el entorno depende del tipo de mineral a extraer. Esto se debe a que distintos metales conllevan diferentes procesos para su extracción, en los cuales se requiere la utilización de químicos para la obtención del mineral final tras su extracción de las canteras, y de acuerdo a esto se puede medir la efectividad del proceso extractivo. También depende del método de explotación, ya sea por medio de túneles, que puede influir en los mantos acuíferos, o a cielo abierto, que resulta de gran impacto al entorno. La escala de la minería también influye en el impacto a corto y largo plazo, especialmente respecto a las medidas correctivas, donde a mayor escala más presión y responsabilidad se ejerce por el grado de formalidad de la práctica, aunque depende de las políticas locales. Sin embargo, durante el proceso extractivo, a mayor escala, más impacto se genera al entorno debido a la necesidad de maquinaria, químicos, métodos de extracción utilizados, y el volumen de minerales manejados para su viabilidad económica. Con la escala, también se incrementa la necesidad de agua para los procesos de separación de los minerales y por ende más desechos se generan a los afluentes (Hammond, Rosales y Oubeter, 2013).

Tabla 47. Impacto de la actividad minera en cuencas.

Efecto	Impacto
«Sedimentos en suspensión»	Debido al descubrimiento y alteración de la topografía cercana a los afluentes, se favorece el arrastre de partículas de la superficie hacia estos, los cuales se depositan más adelante en la cuenca, lo cual provoca un incremento en la turbidez del agua que desfavorece los procesos de fotosíntesis de organismos acuáticos.
Cambio en la topografía	La modificación del paisaje altera la dirección de la escorrentía y por lo tanto la forma en que se distribuye el agua en una cuenca.
Contaminación por metales pesados	La minería representa fuentes de contaminación puntual, al descargarse directamente a cuerpos de agua, de metales pesados «como el plomo, el cadmio y el arsénico», y el mercurio, especialmente en la explotación de oro y plata. El mercurio resulta dañino tras su proceso de oxidación por el cual es posible que ingrese a las cadenas alimenticias.
Deforestación	De acuerdo a la magnitud de la explotación minera, así será la necesidad de despejar el área de cobertura vegetal para poder tener acceso al mineral.
«Impacto indirecto»	Otras actividades relacionadas a la minería pueden afectar el entorno, tales como la necesidad de vías de comunicación para llevar a cabo la extracción, además del abasto de suministro de bienes para el uso directo en la extracción como para actividades administrativas y del personal.

Fuente: Hammond, Rosales y Oubeter, 2013:8-11.

Una de las necesidades ante la creciente población en varias zonas es garantizar el suministro de corriente eléctrica. Alrededor del mundo, para aprovechar el recurso hídrico este se emplea en la generación de energía eléctrica. Sin embargo, con dicho fin, se deben realizar obras de almacenamiento de agua y posterior redireccionamiento de esta a través de turbinas para su generación. Por ello, se ha optado por la construcción de represas de distintas magnitudes para aprovechar el volumen de agua retenida por estas para la generación de energía. Sin embargo, a mayor escala de las represas mayores daños se ocasionan ambientalmente y socialmente. Esto se debe a las áreas inundadas y al cambio morfológico de los afluentes debido a las represas. Este obstáculo también genera variaciones en el transporte de sedimento río abajo pues este queda atrapado dentro del área inundada de la represa e impide el paso de nutrientes necesarios para las tierras río abajo (Acosta, 2004).

VII. RECURSOS NATURALES.

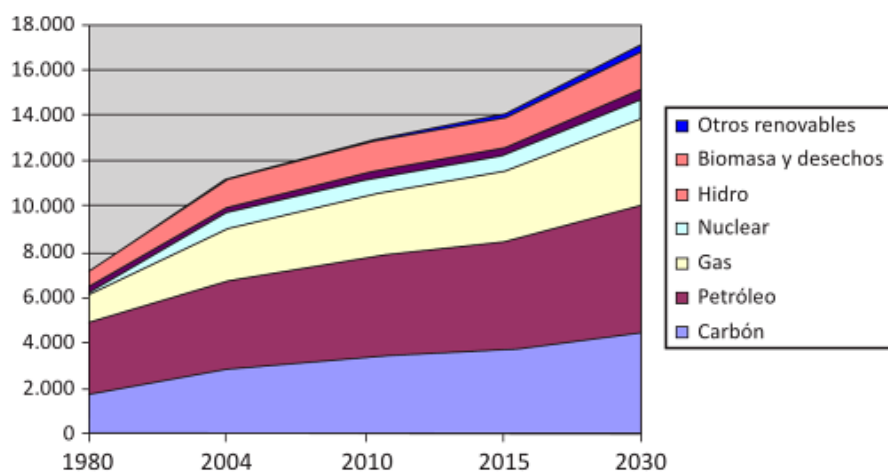
De acuerdo con los índices de crecimiento poblacional, es un hecho que la sociedad ha aumentado significativamente su población en las últimas décadas. Dicho crecimiento ha llegado a tal punto que hoy en día nuestra población es de aproximadamente 7,200 millones y recientes estudios de las Naciones Unidas, indican que para el año 2,050 la población será de unos 9,600 millones de habitantes, es decir que en menos de cincuenta años la población mundial experimentará un aumento de aproximadamente 33%. (TV-Novosti, 2013)

Junto con el crecimiento poblacional se observa que la economía se encuentra en alza, ya que el PIB mundial ha ido en crecimiento, desde un 2% en 1980 hemos llegado hasta un 5% en 2008. Este aumento lo que denota es un claro crecimiento económico a nivel mundial. (Garay & Cristián, 2013)

Esta situación de crecimiento económico y social ha sido impulsada principalmente por el uso de los recursos naturales, debido a que estos determinan que industrias se desarrollan en cada país, generando así patrones de comercio dentro de ciertas regiones.

Esta dependencia de los recursos se encuentra presentes en varios aspectos impulsores de la economía mundial, desde la obtención de materias primas para la realización de distintos productos, hasta la generación de energía. Esto se hace aún más evidente al analizar el consumo de los recursos para la producción de energía. Como lo muestra la gráfica publicada en 2006 por la Agencia Internacional de Energía, la demanda y proyecciones de la energía consumida alrededor del mundo depende primordialmente de recursos como el agua, petróleo, carbón y otros recursos naturales. Es importante notar la tendencia al alza que se muestra la gráfica en cuanto a demanda energética que se generará conforme a los años, lo cual se traduce a mayor demanda de recursos para satisfacer esta demanda.

Ilustración 113. Consumo de Energía a Nivel Mundial



Fuente: BP Statistical Review of World Energy, 2006

A partir de esta situación se hace clara la importancia de la administración y el buen uso de los recursos naturales, es decir que se manejen de manera integral con el fin de poder satisfacer la demanda energética presente en los diversos sectores de la sociedad.

A. ¿Qué son los recursos naturales?

Por recursos naturales se comprende todos los factores bióticos y abióticos presentes en la naturaleza, que el hombre utiliza para satisfacer sus necesidades. Debido a que es importante conocer si se recuperan y regeneran, estos se clasifican como renovables y no renovables.

Los recursos renovables, son todos aquellos perpetuos, que no corren peligro de agotarse conforme al transcurrir de los años. Sin embargo, el manejo de estos recursos debe de realizarse de manera sostenible, es decir, que la tasa de consumo no sea mayor a la tasa de producción del recurso; por otra parte, los recursos no renovables, son aquellos que no pueden ser producidos, regenerados o reutilizados, lo que hace que su consumo debe de ser limitado un ejemplo de esto es el petróleo. (Garay & Cristián, 2013)

Los factores bióticos, son todos aquellos recursos que poseen vida, la cual puede estar presente en organismos unicelulares o pluricelulares. Los factores abióticos son los que carecen de vida, pero determinan la existencia de cualquier organismo dentro de un ecosistema. (Sánchez Félix, Guerrero Sánchez, & Castellanos Vázquez, 2012).

El estudio y la clasificación los recursos toma importancia ya que a partir de estas, podemos conocer de mejor manera con que es lo que contamos, analizar para que se está utilizando, cuantificar en que cantidades se usa (importante para conocer la demanda) y como debemos manejar el uso de los mismos.

B. ¿A quién pertenecen?

La pertenencia de los recursos naturales, puede verse desde varios puntos de vista, para ello en principio hay que ubicarse en un espacio geográfico determinado. Además de esto se tiene que reconocer que se vive dentro de sociedades las cuales se rigen por ciertas normas políticas, de convivencia, que se son impuestas. Estas normas son importantes ya que ayudan a regular el comportamiento de los individuos dentro de un territorio determinado. Las regulaciones toman mayor importancia cuando su fin es el normar el uso y manejo de los recursos naturales, los cuales son importantes para el desarrollo de un país.

Para determinar, quién es el responsable de establecer las normas sobre el uso, cuidado y preservación de los distintos recursos naturales, es importante responder primero ¿de quién son los recursos naturales? La pregunta anterior no se responde bajo una sola perspectiva ya que al hablar de recursos naturales, estamos se hace referencia a elementos que tiene varios años de existir y por ende su respuesta abarca distintos enfoques.

Uno de estos enfoques es de tipo religioso, ya que es a partir de esto que distintas comunidades se “apropian” de los recursos como ríos, lagos, montañas, debido al significado religioso que estos tienen para ellos, el cual es determinado por su cosmovisión.

Otro enfoque de mucha injerencia es el enfoque legal, para comprender este hay que establecer y conocer varios aspectos importantes que nos ayudaran a determinar de quien son los recursos naturales en Guatemala. Guatemala tiene un sistema de gobierno republicano, democrático y representativo, la cual se organiza mediante el Estado. Este a su vez se divide en tres poderes Legislativo, Ejecutivo y Judicial.

Dentro de nuestro sistema de gobierno la máxima ley y de mayor jerarquía es la Constitución Política de la República. Es aquí donde se establecen los Derechos y Obligaciones de todos los ciudadanos guatemaltecos, así mismo se establece la estructura y organización del estado y los lineamientos bajo los cuales se aprueban las normas que rigen la vida dentro del país. La Constitución contempla los principales derechos de los ciudadanos, dentro de los cuales se encuentran: la vida, libertad, salud, educación, familia, identidad cultural, deporte, trabajo, derecho a elegir y ser electo, medio ambiente, seguridad

A partir de esto, en el artículo 121 de la Constitución Política de la República de Guatemala se establece cuáles son los bienes del Estado:

- a.** Los de dominio público.
- b.** Las aguas de la zona marítima que ciñe las costas de su territorio, los lagos, ríos navegables y sus riberas, los ríos, vertientes y arroyos que sirven de límite internacional de la República, las caídas y nacimientos de agua de aprovechamiento hidroeléctrico, las aguas subterráneas y otras que sean susceptibles de regulación por la ley y las aguas no aprovechadas por particulares en la extensión y término que fije la ley.
- c.** Los que constituyen el patrimonio del Estado, incluyendo los del municipio y de las entidades descentralizadas o autónomas.
- d.** La zona marítima terrestre, la plataforma continental y el espacio aéreo, en la extensión y forma que determinen las leyes o los tratados internacionales ratificados por Guatemala.
- e.** El subsuelo, los yacimientos de hidrocarburos y los minerales, así como cualesquiera otras substancias orgánicas o inorgánicas del subsuelo
- f.** Los monumentos y las reliquias arqueológicas
- g.** Los ingresos fiscales y municipales, así como los de carácter privativo que las leyes asignen a las entidades descentralizadas y autónomas
- h.** Las frecuencias radio eléctricas.

Conforme a dicho artículo, se puede decir que lo que concierne a recursos naturales le pertenecen al Estado de Guatemala, lo que convierte al Estado de Guatemala al responsable de hacer toda la normativa que regule el manejo de los recursos naturales, así como el hecho de tener la potestad de otorgar concesiones necesarias para la exploración, explotación y comercialización de estos.

C. Regulación de los recursos naturales.

La importancia de la regulación de los recursos naturales se puede entender desde distintos puntos de vista, sin embargo uno de las problemáticas más preocupantes o alarmantes que nos obligan a esto, es la disminución de la biodiversidad y por ende daños a nuestro almacén de recursos. Las repercusiones de esta situación como sociedad son sumamente críticas, partiendo de la premisa que los recursos son determinantes para el desarrollo y crecimiento de toda sociedad.

Esto es lo que ha motivado a los gobiernos para desarrollar legislaciones que ayuden a regular el uso, manejo y aprovechamiento de los recursos naturales. Sin embargo estas legislaciones tienen que irse modificando y actualizando conforme a las necesidades y cambios que va experimentando cada sociedad. Los cambios son importantes ya que las problemáticas varían de acuerdo a la ubicación geográfica y los recursos con que cuenta cada región del país.

A continuación se conocerá como es que se regulan los recursos naturales en distintos sectores del globo terráqueo en comparación con nuestro país.

1. Guatemala. La regulación de los recursos naturales en nuestro país comienza con los siguientes artículos de la Constitución Política de la República:

a. Artículo 119.- Obligaciones del Estado. Son obligaciones fundamentales del Estado:

- Adoptar las medidas que sean necesarias para la conservación, desarrollo y aprovechamiento de los recursos naturales en forma eficiente.

b. Artículo 125.- Explotación de recursos naturales no renovables. Se declara de utilidad y necesidad públicas, la explotación técnica y racional de hidrocarburos, minerales y demás recursos naturales no renovables.

El Estado establecerá y propiciará las condiciones propias para su exploración, explotación y comercialización.

c. Artículo 126.- Reforestación. Se declara de urgencia nacional y de interés social, la reforestación del país y la conservación de los bosques. La ley determinará la forma y requisitos para la explotación racional de los recursos forestales y su renovación, incluyendo las resinas, gomas, productos vegetales silvestres no cultivados y demás productos similares, y fomentará su industrialización. La explotación de todos estos recursos, corresponderá exclusivamente a personas guatemaltecos, individuales o jurídicas.

d. Artículo 127.- Régimen de aguas. Todas las aguas son bienes de dominio público, inalienables e imprescriptibles. Su aprovechamiento, uso y goce, se otorgan en la forma establecida por la ley, de acuerdo con el interés social. Una ley específica regulará esta materia.

e. Artículo 128.- Aprovechamiento de aguas, lagos y ríos. El aprovechamiento de las aguas de los lagos y de los ríos, para fines agrícolas, agropecuarios, turísticos o de cualquier otra naturaleza, que contribuya al desarrollo de la economía nacional, está al servicios de la comunidad y no de persona particular alguna, pero los usuarios están obligados a reforestar las riberas y los cauces correspondientes, así como a facilitar las vías de acceso.

Los bosques y la vegetación en las riberas de los ríos y lagos, y en las cercanías de las fuentes de aguas, gozarán de especial protección.

En los artículos anteriores hay ciertos aspectos importantes a resaltar. En principio el artículo 119 en su literal C, deja en claro que todas las medidas para la conservación de los recursos naturales son una obligación del Estado. Debido a esto es que se han creado distintos Ministerios, comités, instituciones, leyes, decretos los cuales apoyan el espíritu de la constitución, del resguardo a los recursos naturales. Algunos ejemplos como el Normativo de concesiones de servicios para visitantes en el Sistema Guatemalteco de Áreas Protegidas – SIGAP-, Ley de Hidro Carburos, Ley de Áreas Protegidas, Convenio sobre la Diversidad Biológica. Todos están cargo del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. Dicho Ministerio, “es la entidad del sector público especializada en materia ambiental, bienes y servicios naturales del Sector Público, al cual le corresponde proteger los sistemas naturales que desarrollen y dan sustento a la vida en todas sus manifestaciones y expresiones, fomentando una cultura de respeto y armonía con la naturaleza, protegiendo, preservando y utilizando racionalmente los recursos naturales, con el fin de lograr un desarrollo transgeneracional, articulando el quehacer institucional, económico, social y ambiental, con el propósito de forjar una Guatemala competitiva, solidaria, equitativa, inclusiva y participativa.” (Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, 2001)

a. Sector forestal. Siendo Guatemala un país con una gran capacidad forestal, ya que cuenta con un total de 43,000 km² de bosque en todo su territorio, lo cual representa un 40% del total de las tierras del país. Esta gran masa boscosa presente en una gran parte de Guatemala torna al sector forestal en una pieza clave para el ordenamiento territorial, así mismo este posee una injerencia en el manejo de los recursos hídricos y conservación de otros recursos naturales. Es por eso, necesaria la presencia de una entidad estatal encargada de regular todo lo que concierne a materia forestal, hoy por hoy el encargado de dicha tarea es el Instituto Nacional de Bosques (INAB). (Sistema de Información Forestal de Guatemala -SIFGUA-, 2013)

El manejo forestal en Guatemala ha sido incluido en diversas iniciativas de ley propuestas por los distintos sectores, sin embargo los resultados de estos han sido reducidos principalmente por la falta de objetivos y metas enfocadas a largo plazo. Otro aspecto que ha afectado directamente los resultados del manejo forestal es la falta de concepto, en cuanto a manejo forestal, que se hace presente en las políticas estatales que han sido impulsados.

Esta falta de claridad en las acciones de las autoridades hizo que en los últimos años el manejo de recursos forestales, debe ser enfocado hacia al aprovechamiento forestal, ya que se ha promovido la extracción minera y el crecimiento de este sector ha generado la destrucción de importantes reservas forestales nacionales las cuales albergaban una gran cantidad y calidad de recursos.

El transcurrir de la historia ha hecho que se desarrollen distintas iniciativas en relación al manejo forestal. Los registros históricos indican que la primera referencia concreta relacionada con el manejo forestal comienzan en 1,920 cuando se emitió el Decreto Gubernativo 670. En dicho decreto se le atribuye al Ministerio de Agricultura la responsabilidad de tomar las medidas enfocadas a las normativas de aplicación para la conservación e incremento de los bosques. (Sistema de Información Forestal de Guatemala -SIFGUA-, 2013)

Luego de esta iniciativa, en 1,925 se crea el Decreto Ley 1,364 en el cuál se promulga la primera Ley Forestal de Guatemala. Dicha ley pasó vigente por 20 años hasta que se promulgó la Segunda Ley Forestal en 1,945. En esta última se designó la administración de los recursos forestales del país, a través de la División Forestal al Ministerio de Agricultura.

Avanzando más en la historia hacia 1,956 se emite el Decreto 543, en el cuál se establecieron las bases del reglamento sobre la explotación de los bosques nacionales. En esta normativa se define una serie de estatutos dentro de los más importantes están las “unidades industriales de explotación forestal en bosques nacionales”. En estos periodos se establecieron una serie de decretos en los cuales se instituían impuestos por árboles, áreas protegidas, fondos forestales, condecoraciones y declaratorias de parques el objetivo de estas era darle viabilidad a la actividad forestal del país.

Esta nueva legislatura se mantuvo vigente hasta 1,974 cuando se emite la Tercera Ley Forestal por medio del Decreto 58-74. Esta nueva legislatura se crea el Instituto Nacional Forestal (INAFORO) el cuál fue un ente autónomo y descentralizado responsable del sector forestal del país. En este periodo se comenzó a tecnificar la actividad forestal y como parte de esta medida se diluyeron muchos manejos administrativos que se otorgaban por parte de las autoridades. La ley de 1,974 se mantuvo hasta 1,984 cuando se creó por medio del Decreto 118-84 la Cuarta Ley forestal del país.

En 1,989 con el Decreto 79-89 se suprimió el INAFORO y se creó la Dirección General de Bosques y Vida Silvestre (DIGEBOS) la cuál era una Dirección administrativa que formaba parte del Ministerio de Agricultura. En ese decreto se emitió la Quinta Ley Forestal, la cual contenía aspectos importantes relacionados con el manejo forestal y en la cual se promovió el manejo forestal de forma racional y sostenible. En este entonces las fincas se enfocaron primordialmente al aprovechamiento selectivo de las especies presentes en sus territorios, lo que tuvo como consecuencia la degradación cualitativa de los bosques en los que se practicó esta medida. (Sistema de Información Forestal de Guatemala -SIFGUA-, 2013)

Para mediados de la década de los noventas, se emitió el Decreto 101-96 en el cuál se publica la actual Ley Forestal. En esta se declara de urgencia nacional y de interés social la reforestación y conservación de los

bosques. Para ello se establecen que se debe propiciar el desarrollo forestal y su manejo sostenible, por medio del cumplimiento de ciertos objetivos como:

- 1) Incrementar la productividad de los bosques existentes, sometiéndolos a manejo racional y sostenido de acuerdo a su potencial biológico y económico
- 2) Conservar los ecosistemas forestales del país, a través del desarrollo de programas y estrategias que promuevan el cumplimiento de la legislación respectiva

Es aquí donde se instituye el Servicio Forestal y se crea el Instituto Nacional de Bosques (INAB), el cuál es la entidad estatal, autónoma, descentralizada, con personalidad jurídica, patrimonio propio e independencia administrativa; con la designación de ser el órgano de dirección y autoridad en Materia Forestal. Las principales atribuciones de mayor importancia e injerencia en el desarrollo nacional, que tiene por ley dicha entidad son:

- 3) Ejecutar las políticas forestales que cumplan con los objetivos de esta Ley.
- 4) Promover y fomentar el desarrollo forestal el país mediante el manejo sostenido de los bosques.
- 5) Otorgar, denegar, supervisar, prorrogar y cancelar el uso de concesiones forestales, de las licencias de aprovechamiento de productos forestales, fuera de las áreas protegidas

El decreto 101-96 establece también que el INAB es responsable de la administración forestal fuera de las áreas protegidas, ya que el manejo de estas es responsabilidad del Consejo Nacional de Áreas Protegidas. A partir de 1,998 se evidencia el inicio de la formulación de políticas con enfoques a corto, mediano y largo plazo generado por instituciones encargadas del manejo de los recursos naturales del país. Ejemplo de esto la creación del Ministerio de Agricultura Ganadería y Alimentación, esta entidad se establece como la encargada de consensuar y administrar políticas y estrategias que propicien el desarrollo sustentable del sector agropecuario, forestal e hidrobiológico. Es por eso que el Ministerio es el encargado de emitir Política Agraria y Sectorial, como marco general, dentro del cual las políticas específicas como la forestal, deben tener su marco de referencia y contribuir a la consecución de los objetivos, especialmente en lo referente al ordenamiento territorial, del uso y manejo de los recursos hídricos y la conservación de otros recursos naturales vinculados al forestal. (Sistema de Información Forestal de Guatemala -SIFGUA-, 2013)

Tomado como base la generación de estas entidades, en 1,999 se promulgó la Política Forestal. Esta se establece como instrumento que orienta a los principales protagonistas de este sector y les ayuda en el desarrollo de los procesos de planificación, ejecución, administración, gestión y evaluación. Esta fue la primera política explícita en el Gobierno de Guatemala.

Las políticas anteriores a esta tenían aspectos negativos como el sometimiento del sector forestal y desvalorización de los bosques, trayendo como consecuencias la pérdida de la diversidad forestal y la competitividad en el sector forestal. Esta situación se hace evidente con el hecho que la mayoría de poblaciones que viven en pobreza utilizan los recursos forestales para obtener ingresos económicos, lo que genera una de

las causas, de la destrucción de la masa boscosa del país. Así pues la revalorización de los bosques y su transformación hacia un sector dinámico generadora de empleos se convirtió en la base de la última Ley Forestal

Los conceptos anteriores definen las líneas bajo las cuales se desarrollan las políticas en la última Ley Forestal. Dentro de los aspectos importantes a resaltar se encuentra el “Fomento al Manejo Productivo de Bosques Naturales”, esto se basa en la idea que “la incorporación del bosque natural a la actividad económica permitirá su conservación en la medida que la población dependa de ellos y perciba beneficios”, lo cual se generará a partir de nuevas prácticas silviculturales que generen incrementos volumétricos por hectárea y la calidad maderera reduciendo ciclos de vida.

Algunas de las últimas acciones implementadas por el INAB es la presentación de su Plan Estratégico, programas de Fomento y Desarrollo Forestal que busca promover la incorporación de áreas naturales con bosques a la producción sostenible. Para alcanzar esto se ha implementado diversas vías para lograrlo entre las que podemos mencionar:

- 1) Pagos de incentivos.
- 2) Mecanismos de Desarrollo Limpio.
- 3) Producción de Agua.

b. Régimen de aguas. Hoy en día en Guatemala no existe un régimen que regule el manejo de aguas dentro del país como tal, sin embargo, a lo largo de los años se han desarrollado distintas iniciativas de ley, programas ministeriales y políticas que puedan servir en un futuro, como base para la Ley de Aguas.

A pesar de que actualmente no se cuenta con una Ley de Agua en sí, se han generado diversos conceptos importantes para la gestión del recurso. Es importante comprender la importancia que tiene el agua en nuestro medio. Como menciona la firma MMA Y CA en su página oficial el agua es un bien público capaz de satisfacer usos de interés general y a su vez es un bien social el cual es de uso común y de aprovechamiento especial.

Estos conceptos han sido avalados e incluidos en las constituciones desde 1,824 hasta la vigente hoy en día, la constitución de 1,985. En esta misma que se establece que “el uso, goce y aprovechamiento de las aguas se debe de realizar con la forma establecida por la ley y de acuerdo con el interés social. Se establece que debe de existir una ley específica para regular dicha materia. Sin embargo 30 años después sigue sin existir una ley específica que cumpla con el artículo 127 de la Constitución de la República. Entidades como el Organismo Legislativo son los responsables de la aprobación de dichas leyes que puedan regular esta materia. (MMA y CA, 2013)

A continuación se describirán algunas de las iniciativas que se han generado para la regulación de Aguas en nuestro país:

1) Política nacional del agua de Guatemala y su estrategia: Esta política se inició con el objetivo de asegurar la contribución del agua al logro de metas y objetivos de desarrollo nacional de Guatemala. Es una Política Pública promovida por parte del Gobierno Central y representa un referente de acciones que llegan a establecerse como una Política Pública de Estado de largo plazo. En 2008 el Gabinete General de Gobierno toma como prioridad el tema hídrico y es allí donde nace el Gabinete Específico del Agua (GEA). Las funciones específicas atribuidas a esta entidad, se establecen en el Acuerdo Gubernativo 204-2008 en su Artículo 4 como: “revisar, actualizar y velar por la implementación de las acciones contenidas en la Política Nacional de Gestión Integrada de los Recursos hídricos y la Estrategia Nacional de Gestión Integrada de los Recursos hídricos”. A partir de esto se ha podido plantear la Política Nacional del Agua y su Estrategia de manera coherente con las competencias institucionales y con las necesidades de fortalecimiento en materia hídrica para el país. (Gabinete Específico del Agua, 2011)

Analizando la importancia del recurso hídrico, es necesario resaltar que el agua tiene contribución directa a la economía del país. Se ha estimado que el aprovechamiento de los recursos hídricos tiene un 70% de participación en las actividades que conforman el PIB, dicha participación genera un valor agregado equivalente al 5.6% del mismo PIB, siendo esta una cifra cerca de los Q.13, 000 millones anuales. Esta influencia se ha ido consolidando a tal punto que se establece una relación proporcional al crecimiento del uso del agua en los sectores agropecuarios e industriales con el PIB. Sin embargo, la dependencia y la influencia de los recursos hídricos, hace vulnerable a la población guatemalteca ante amenazas de la naturaleza como lo sucedido en 1998 con el huracán Mitch y en 2010 con la tormenta Agatha, las cuales dejaron pérdidas equivalentes al 1.6% y 1.0% del PIB respectivamente.

Esta vulnerabilidad pone en evidencia la falta de capacidad de gestión y de gobernanza que se tiene sobre el agua. Es ante estas situaciones donde se hace cada vez más importante la necesidad de una Ley de Aguas, con esta legislación se pretende lograr metas entre las cuales se menciona el promover el desarrollo del potencial hidroeléctrico para reducir considerablemente el costo del kilovatio/hora para así mejorar las condiciones de competitividad del país, así mismo el promover el aprovechamiento del agua para riego podría tener injerencia en las exportaciones agrícolas y así contribuir al desarrollo económico desde las áreas rurales (SEGEPLAN, 2006). Otra estrategia a implementar es la aseguración de los servicios de agua potable y saneamiento de las ciudades, ya que esto ayuda a que se contara con mejor calidad de vida en los pueblos y ciudades favoreciendo el intercambio comercial y la competitividad de las distintas regiones del país. (Gabinete Específico del Agua, 2011)

Otro factor que no se puede dejar a un lado es el cambio climático, ya que este es uno de los grandes desafíos que la humanidad tiene hoy en día, los cuales ponen en Guatemala y en diversas partes del mundo en peligro la vida, su calidad y los medios que la sustentan, afectando severamente las condiciones socioeconómicas de las poblaciones. La recurrencia de desastres naturales extremos en nuestra región genera retraso en el limitado crecimiento y desarrollo por daños y pérdidas que provoca.

Haciendo un recuento de dichos eventos y como estos han afectado al país iniciamos en 1998 con el huracán Mitch mueren un total de 268 personas y las pérdidas ascendieron hasta 748 millones de dólares; en 2001 una irregularidad en las lluvias en el oriente provocó sequía en 102 municipios y la pérdida del 80% de los cultivos de maíz y frijol; en 2005 la tormenta tropical Stan ocasionó la muerte de 669 personas y pérdidas por 988.3 millones de dólares; en 2008 la depresión tropical número 16 causó daños y pérdidas en aproximadamente 27 municipios; en 2009 una nueva sequía similar a la de 2001 afectó varios municipios del corredor seco y propició que se propagara la cianobacterias en el lago de Atitlán; en 2010 con la erupción del volcán de Pacaya y las excesivas lluvias de la tormenta tropical Agatha fallecieron 165 personas y las pérdidas se registraron en 982 millones de dólares. (Gabinete Específico del Agua, 2011)

Analizado esta información, se observa que en los últimos 15 años las perdidas han ascendido hasta 2718 millones de dólares y más de 1102 víctimas. Cabe recalcar que el agua es un elemento presente en todas estas circunstancias, ya sea por falta o exceso de la misma. A pesar de las grandes consecuencias no se han tomado medidas preventivas que nos ayuden a mejorar nuestra capacidad en cuanto a gestión y gobernanza del agua. De seguir así, Guatemala continuará siendo el país más vulnerable en Latinoamérica ante los efectos del cambio climático. Lo anterior es uno de los principales hallazgos de la política y estrategia de gestión integrada de recursos hídricos, la cual se resume en la inminente necesidad de la gestión del recurso.

Siendo este panorama tan preocupante para el país, diversas investigaciones se han realizado, las cuales indican que los periodos de sequías e inundaciones aumentarán tanto en magnitud como en frecuencia, lo cual representa una amenaza seria para Guatemala. Debido a la diversidad y amplitud de sus efectos, estos pueden afectar desde sectores productivos hasta la adquisición de servicios vitales. Este difícil escenario puede llegar a ser realidad, si no se toman cartas en el asunto. Es por eso que se deben de implementar sistemas integrales de gestión de sequías e inundaciones, con lo cual se puedan establecer medidas preventivas que ayuden a reducir a cero las pérdidas de vidas humanas y minimizar el impacto de estos fenómenos dentro de la economía Guatemalteca.

En base a este diagnóstico se presentó la propuesta de Política y Estrategia Nacional de Gestión Integrada de Recursos Hídricos (PNGIRH y ENGIRH) la cual se aprobó hasta el 2008 por el Gabinete Específico del Agua. Sin embargo para lograr tomar las medidas necesarias es importante incluir políticas públicas dirigidas no solo a la protección sino también a la conservación de los recursos naturales y el medio ambiente, ya que estas serán las bases de un desarrollo social sostenible y posteriormente la generación de políticas económicas-sociales. (Gabinete Específico del Agua, 2011)

2) Política nacional del sector de agua potable y saneamiento: La Política Nacional del Sector de Agua Potable y Saneamiento es un marco de referencia para establecer estrategias y objetivos de prioridad nacional, para que la población Guatemalteca cuente con servicios de agua y saneamiento adecuados. (Gobierno de Guatemala -Oficina Sanitaria, 2013)

Para determinar la importancia del agua potable para el desarrollo de la sociedad, según la Encuesta Nacional de Condiciones de Vida (ENCOVI) las coberturas de agua para consumo humano y saneamiento son de 75.3% y 55.96% respectivamente. Según dicha encuesta para el 2001 se tuvo un retroceso del 3.4% de la cobertura de agua para consumo humano. La causa de esto se encuentra en los eventos extraordinarios ocurridos en los últimos años dentro del país, además del rezago que han experimentado los servicios de abastecimiento de agua versus el crecimiento poblacional. Al mismo tiempo existe una clara diferencia en cuanto a la calidad, cobertura, accesibilidad, continuidad y precio entre los servicios de agua entre los cascos urbanos y las áreas rurales.

Según estimaciones, aproximadamente 3 millones de personas no cuentan con acceso a sistemas adecuados de agua y más de 6 millones no cuentan con servicios adecuados de saneamientos. A pesar de los avances en cuanto a la institucionalidad del sector de agua potable y saneamiento, hoy en día aún hay grandes retos que afrontar de acuerdo con el hecho que el acceso al agua potable y sistemas de saneamiento son de suma importancia para el país, pues con esto se contribuye a reducir problemáticas nacionales como la desnutrición, la pobreza, la deserción escolar, la tasa de mortalidad materno-infantil.

De acuerdo con el Departamento de Asuntos Económicos y Sociales de las Naciones Unidas, el 28 de julio de 2010 se reconoció el derecho humano al agua y al saneamiento, por lo tanto esta política establece las acciones y estrategias que contribuyen al cumplimiento de dicho derecho, a los habitantes de Guatemala.

Con esta Política se busca orientar al mejoramiento de la calidad de vida, bienestar individual y social de los guatemaltecos, por medio de una mejora en la gestión pública sostenible de los servicios de agua potable y saneamiento, las buenas prácticas de higiene y el manejo del agua para consumo humano. Dentro de los retos más importantes planteados en esta política se encuentran los siguientes:

“ a) Contribuir al mejoramiento de las condiciones de salud y calidad de vida, bienestar individual y social de los habitantes, a través del mejoramiento de las coberturas y calidad de los servicios de agua potable y saneamiento. Para ello se pretende asegurar que la dotación de agua cumpla con las especificaciones en cantidad, 6 continuidad, calidad sanitaria, accesibilidad y costos, así como la provisión de servicios de saneamiento adecuados (disposición de excretas y manejo de aguas residuales y desechos sólidos, control de la contaminación y vivienda saludable), a los sectores de la población que han sido excluidos históricamente por factores técnicos, socioeconómicos, culturales, género, origen étnico, territorialidad urbana o rural y legales

b) Lograr la institucionalidad del sector de agua potable y saneamiento, principalmente, a través del fortalecimiento de las funciones de rectoría, regulación y ejecución en las instituciones correspondientes a nivel nacional y local

c) Promover el uso adecuado y racional del recurso hídrico para consumo humano, la conservación del mismo dentro de su entorno natural, así como la prevención de la contaminación, con pertinencia cultural. La Política Nacional ha sido elaborada en base a los preceptos legales contenidos en la Constitución Política

de la República de Guatemala, Código Municipal, Código de Salud, Ley General de Descentralización, Ley de los Consejos de Desarrollo Urbano y Rural y en aquellas que regulan materia de agua potable y saneamiento y que es competencia del Organismo Ejecutivo. Al Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social, como ente Rector del Sector de Agua Potable y Saneamiento, le compete la formulación e implementación de la presente Política Nacional, la cual es de interés nacional, ya que contiene un conjunto de medidas encaminadas a mejorar la salud y el bienestar general de la población.” (Gobierno de Guatemala -Oficina Sanitaria, 2013)

c. Minería. La minería hoy en día es un tema de mucha controversia en nuestro país, sin embargo la regulación minera se inició a principios de 1900 cuando se dictó el primer código minero y hacia 1932 se emitió la Ley de Minería e Hidrocarburos y el Reglamento con el decreto 686. A esta legislación se le realizaron cinco cambios, los cuales van desde nuevas iniciativas y modificaciones que tienen lugar entre 1933 y 1937. Entre los años de 1955 y 1969 se emiten tres nuevos códigos mineros, sin embargo hasta 1983 se emite el primer código minero que reguló la pequeña minería que luego, junto con el Decreto 69-85 se establece las regulaciones técnicas, legales, impositivas y reglas que debe de cumplir este sector.

Con la promulgación de la Constitución Política de la República de Guatemala en 1985 se estableció que los recursos naturales pertenecen al Estado de Guatemala. En el año de 1993 se creó el Decreto 41-93: Ley de Minería, el cuál derogó las anteriores, sin embargo en este decreto no se estableció la figura de la licencia que concede los derechos de exploración y explotación, igualmente se exoneraba de impuestos de importación y las regalías eran del 7%, se podían explotar hasta 50 kilómetros cuadrados y explorar hasta 200 kilómetros cuadrados, el problema en todo esto es que no existían en ese entonces regulaciones ambientales. Es por eso que con el Decreto Legislativo No 48-97 se creó la vigente Ley de Minería, la cual tiene el objetivo de formar toda la normativa de actividades de reconocimiento, exploración, explotación de operaciones mineras.

Este nuevo decreto autoriza licencias de reconocimiento de 500 a 3000 kilómetros cuadrados en un periodo de seis meses prorrogables, mientras que las licencias de exploración se autorizan hasta 100 kilómetros cuadrados durante un periodo de tres años los cuales también son prorrogables. Por su parte, la licencia de explotación autoriza un polígono no mayor a los 20 kilómetros cuadrados durante un periodo de hasta 25 años prorrogables. Las regalías establecidas son del 1% y se destina un 50% de las mismas para el estado y otro 50% para las municipalidades. Existen exoneraciones de las tasas y derechos arancelarios sobre los insumos, maquinaria, equipo, accesorios, explosivos, repuestos que sean para uso minero. (Gobierno de Guatemala - Oficina Sanitaria, 2013)

Las regulaciones ambientales correspondientes al tema minero, la ley establece que se debe de realizar los estudios de mitigación para las operaciones mineras. Así mismo los estudios de impacto ambiental deben de ser aprobados por el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. En esta ley se establece que se genera una suspensión del derecho minero cuando se quebranten las regulaciones del ambiente. Lo que concierne al tema social, la actual ley no presenta elementos vinculantes con respecto a consultas y participación de los actores públicos en cuanto la aceptación de las minas. Por último el tema hídrico y el uso del mismo se les

habilitan a las mineras, con la condición que el uso del mismo sea de manera racional y no afecte el ejercicio de otros derechos. (Naciones Unidas, 2010)

2. Europa.

a. Sector forestal. La Unión Europea ha generado diversas políticas en torno a una gran cantidad de temas, en materia forestal no existe una política como tal, no obstante hay una serie de políticas e iniciativas en toda Europa que tiene influencia en los bosques tanto de la Unión Europea como el de otros países ajenos a esta. (Parlamento Europeo, 2015)

Estas políticas sobre los bosques, parten de la connotación de bosque que maneja, la cual como lo establece el Parlamento Europeo son:

“terrenos de extensión superior a 0.5 hectáreas que estén cubiertos por árboles en más de un 10 % de su superficie, siempre que dichos árboles alcancen una altura mínima de cinco metros en su madurez”

Acorde con la anterior definición, los bosques de la Unión Europea se extienden a lo largo de 159 millones de hectáreas en toda su región, representando un 4% de la superficie forestal mundial. Estos cubren hasta un 38% del territorio de la Unión Europea, aunque solo seis Estados miembros abarcan dos tercios de la superficie forestal europea, estos son: Alemania, España, Finlandia, Francia, Polonia y Suecia. A escala nacional su importancia varía sensiblemente ya que el 60% de la superficie de los países de Eslovenia, Finlandia y Suecia está cubierta por bosques, versus un 11% en lugares como los países Bajos y el Reino Unido. A pesar de esto, en esta zona, a diferencia de otras partes del planeta la deforestación no constituye un problema grave, ya que la superficie forestal europea aumento entre los años de 1990 y 2010, 11 millones de hectáreas debido a labores de forestación y la expansión natural de los bosques. (Parlamento Europeo, 2015)

Como se mencionó anteriormente la Unión Europea no posee una política forestal, ya que en los tratados no se hace mención a los bosques. Es por eso que la política forestal se convierte en una iniciativa propia de cada país, es así como un gran número de acciones europeas repercuten en los bosques de la Unión y de terceros países.

Así fue como en 2013 la Comisión Europea adoptó una nueva estrategia a favor de los bosques de la Unión. En esta se propone un marco de referencia para toda Europa, con el cual se elaboran políticas sectoriales que ayuden a los bosques. Los principios de esta estrategia son la gestión sostenible de los bosques, el fomentar la multifuncionalidad de los mismos, el uso eficaz de los recursos y la responsabilidad de la Unión Europea en relación a los bosques mundiales. En este documento, se incluyen también las pautas estratégicas que debe de realizar los Estados miembros y la Comisión Europea. (Parlamento Europeo, 2015)

Esto viene acompañado de un plan director en el cual se describen las medidas con las que se busca responder a los desafíos de la industria forestal europea. Un total del 90% de los fondos de la Unión Europea para bosques proviene del Fondo Europeo Agrícola de Desarrollo Rural.

Fue en la última reforma a la Política Agrícola Común, en la que se publicó el nuevo reglamento relativo a la ayuda al desarrollo. En esta se incluyen medidas específicas de todos los tipos de ayudas a favor de las inversiones forestales. Estas medidas abarcan una amplia gama de métodos por los cuales se pretenden la conservación de los bosques. Algunas de estas son la reforestación y creación de zonas forestadas, movilización y comercialización de los productos forestales, inversiones tecnológicas en bosques, prevención y reparación de daños causados por incendios, etc. Otra manera por la cual se trabaja es con la remuneración por servicios forestales, ambientales y climáticos. (Parlamento Europeo, 2015)

De acuerdo a lo mencionado anteriormente, cada Estado miembro de la Unión le corresponde elegir las medidas forestales que aplicarán, así como los fondos financieros destinado hacía para la implementación de dichas medidas. Todos los programas a implementar deben de estar contemplados para el periodo de 2014-2020 y además ser aprobados por la Comisión Europea.

El hecho que Europa no cuente con una política de bosques no representa un problema para el manejo de sus recursos forestales, ya que cuentan con una serie de entes reguladores que tienen objetivos definidos bajo los cuales trabajan. Entre esto se menciona que todo tipo de comercialización de materiales forestales se regula mediante la Directiva 1999/105/CE. La Unión Europea es la que asigna fondos a la investigación forestal por medio del programa Horizonte 2020. El régimen fitosanitarios se encarga de combatir la propagación de organismos que pongan en riesgo las zonas boscosas de la región. Lo relacionado con políticas energéticas, se rige bajo el objetivo de lograr alcanzar una cuota del 20% de las energías renovables, respecto al consumo total de energía hasta el año 2020, para ello se pretende incrementar la demanda de la biomasa forestal. Al momento de que un país miembro experimente algún tipo de catástrofe existe el Fondo de Solidaridad que ayuda a sobrellevar situaciones. Y por último, las políticas de cohesión financian proyectos de tipo forestal por medio del Fondo Europeo del Desarrollo Regional, con este ayudan a la producción de energías renovables y preparación contra los cambios climáticos. (Parlamento Europeo, 2015)

Siendo la utilización racional de los bosques, una de las prioridades temáticas se adjudicaron 37.5 millones de hectáreas forestales a la red natura 2000 de protección de la naturaleza y se creó el Programa de Medio Ambiente y Acción por el Clima de la Unión Europea. Es con este programa que se planea la implementación de una estrategia para la preservación de la biodiversidad los cuales se enfocan en la gestión forestal sostenible de bosques públicos. Otro proyecto importante es el Plan de Acción FLEGT (*Forest Law Enforcement, Governance and Trade*), el encargado de controlar la comercialización ilegal de madera. En contraste con el Plan de Acción FLEGT, la Unión Europea promueve la contratación pública ecológica, lo que hace crecer la demanda de madera sostenible para la creación de parques, muebles y papel. Un último sistema europeo importante a mencionar es EFFIS (*European Forest Fire Information System*), el cual se encarga de vigilar los incendios.

Dentro de todo este marco legal y ecológico la Unión Europea tiene participación en procesos internacionales relacionados al manejo de bosques. Uno de los principales programas que presentan iniciativas políticas en cuanto a materia forestal es el *Forest Europe*, el cual se encarga de las negociaciones sobre acuerdos

jurídicos sobre el uso y gestión sostenible de bosques. Así mismo, la Unión europea ha sido pionera en la implementación de medidas que ayuden a la integración de la agricultura con los bosques, además de participar en distintas negociaciones mundiales para la reducción de emisiones de gases que propicien el efecto invernadero. Dentro de los planes internacionales más ambiciosos que presenta la Unión Europea, se encuentra en detener la disminución de la cobertura forestal mundial para el año 2030 y la reducción de la deforestación tropical en un 50% como mínimo para el año 2020. Es por eso, que la Unión Europea es de los principales financista de proyectos que tienen como objetivo la reducción de la deforestación y la degradación de los bosques en América Latina, Asia y África. (Parlamento Europeo, 2015)

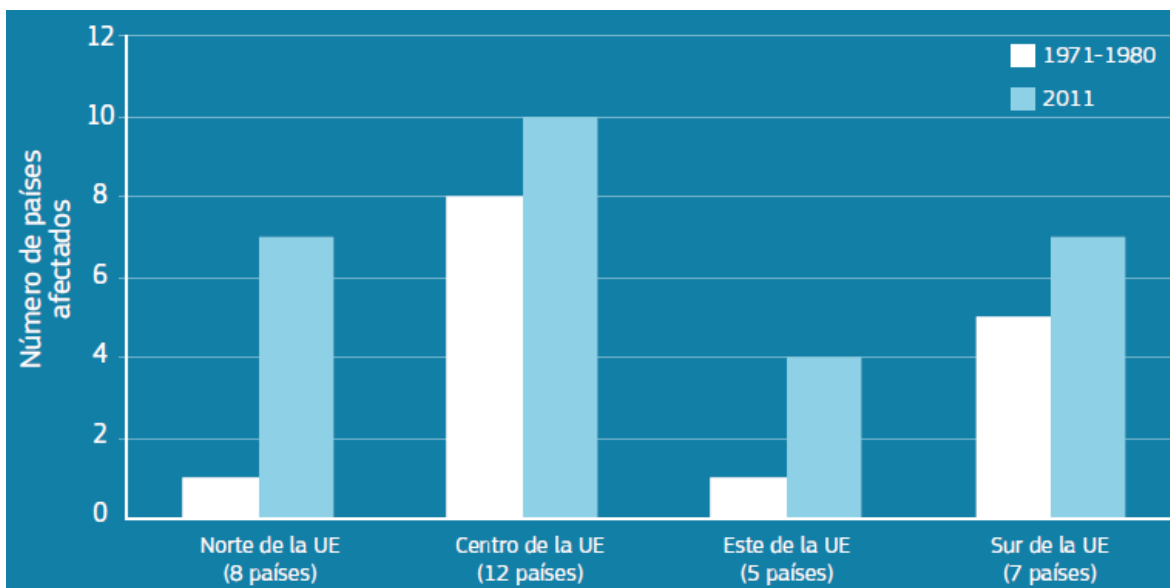
b. Régimen de aguas. El manejo de aguas en la Unión Europea, comienza en el año 2000 cuando se adopta la Directiva Marco del Agua, caracterizada por presentar un planteamiento innovador, nuevo y coherente con respecto a la protección del agua, el cual se basa en la protección de las cuencas hidrográficas. Esta directiva es la encargada de tener todas las aguas europeas en buenas condiciones para finales del 2015. (Comisión Europea, 2014)

La preocupación de la UE, es que debido al aumento de la población y las urbanizaciones, el hecho de no adoptar acciones que regulen el uso y tratamiento del agua significa que para 2015, el 47% de las aguas de la unión no tendrán un buen estado ecológico. No menos preocupante es la situación de las aguas subterráneas, ya que el 25% de las mismas se encuentran en estados deplorables por influencia directa de la actividad humana, conjuntamente se desconoce el estado del 40% de las aguas superficiales. Anteriormente, Europa ha pasado tenido problemas de este tipo, lo que ha obligado a la implementación de programas donde se toman medidas severas. Estas medidas se han enfocado primordialmente en mitigar los problemas, como el caso de las sequías y la escasez de agua.

La escasez de agua es un fenómeno que ha aumentado, como mínimo en un 11% el número de afectados en toda Europa, ya que desde la década de los ochentas se han generado un gran número de sequías en todo el continente europeo, las cuales se calcula que han tenido un costo material de al menos 100, 000 millones de euros desde aquel entonces. Igual de culpa ha tenido la sobreexplotación de los recursos hídricos para riego, ya que el principal problema es la extracción ilegal en las cuencas del mediterráneo. Otro gran problema presente, son las fugas en los métodos de transporte de agua, con el cuál se estima que se pierde hasta el 50% del recurso hídrico. (Comisión Europea, 2014)

Es así como los gobiernos de la Unión Europea, han evidenciado la necesidad establecer sistemas de alertas tempranas para la prevención, en primera instancia, de las sequías. A partir de esto se constituye el Observatorio Europeo de la Sequía creado por el Centro Común de Investigación de la Comisión Europea. Es importante evidenciar, la razón por la cual se comenzó a trabajar con las sequías. En la Gráfica 2 se puede ver que el aumento en los países afectados por las sequías ha aumentado sensiblemente al comparar la década de los setentas con el año 2011. Este aumento ha sido más sensible al norte de Europa.

Ilustración 114. Comparación de los periodos de sequía en Europa de 1971 a 1980 y de 2001 a 2011



Fuente: Comisión Europea, 2014

A partir del plan publicado en 2012, para conservar los recursos hídricos de Europa, se plantean una serie de soluciones que trabajan bajo 7 hechos los cuales se mencionan a continuación:

3) HECHO 1: El agua de Europa está sometida a presiones

La necesidad de agua es inminente y esta tiene un uso integral. La utilización del agua va desde la agricultura hasta ser elemento vital para la vida. Sin embargo su disponibilidad es vulnerable al cambio climático. Así como la tasa de sequías e inundaciones aumenta, la demanda de agua también aumenta, por eso se genera una tensión general con respecto a la disponibilidad del agua.

El agua es importante no solo en cantidad sino también en calidad. Esta última característica es la que se ve principalmente afectada por la contaminación, la sobreexplotación del recurso, la descarga de aguas residuales a cuerpos de agua limpios, etc. (Comisión Europea, 2014)

4) HECHO 2: La acción de la UE es necesaria, porque las cuencas hidrográficas y la contaminación no entienden de fronteras. El enfoque basado en las cuencas hidrográficas es el más adecuado para gestionar el agua

Los ríos son los principales afectados en cuanto a contaminación y el mal manejo de estos puede repercutir no solo en una población, sino que en varios países. Esto se debe a que la calidad de un río se encuentra íntimamente ligada a su cuenca hidrográfica. Los estados de la Unión Europea han delimitado las cuencas hidrográficas y sus zonas en 110 demarcaciones hidrográficas, de las cuales 40 son internacionales y cubren un total de 60% del territorio de la Unión.

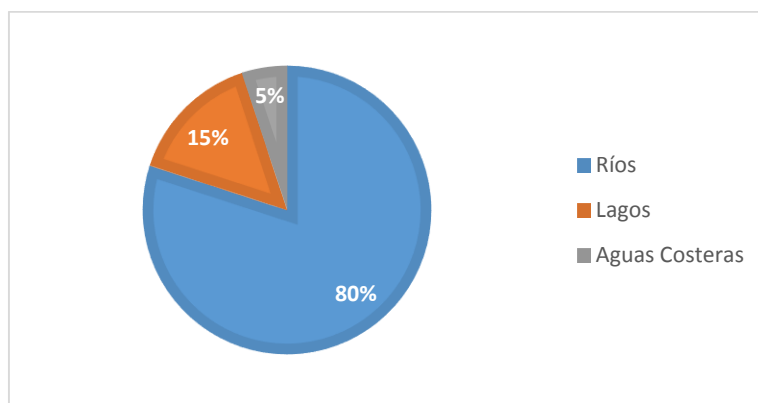
La gestión del agua, se puede realizar de una manera más adecuada enfocándose en las divisiones hidrográficas generadas por una cuenca y no en divisiones geopolíticas. Lo que busca la gestión integrada de cuencas es la protección de las masas de agua desde sus afluentes hasta su desembocadura. Se deben de resguardar los 110 cuerpos de agua. (Comisión Europea, 2014)

5) HECHO 3: Las aguas deben alcanzar un buen estado ecológico y químico, para proteger la salud humana, el suministro, los ecosistemas naturales y la biodiversidad

El estado ecológico hace referencia a diversas características que nos indican la salud de un sistema acuático, para ello hay que conocer el contenido de nutrientes temperatura, salinidad, fauna, presencia de contaminantes, además de parámetros morfológicos como la profundidad, estructura de los lechos fluviales, caudal. La Directiva Marco del Agua plantea cinco estados ecológicos para las aguas superficiales.

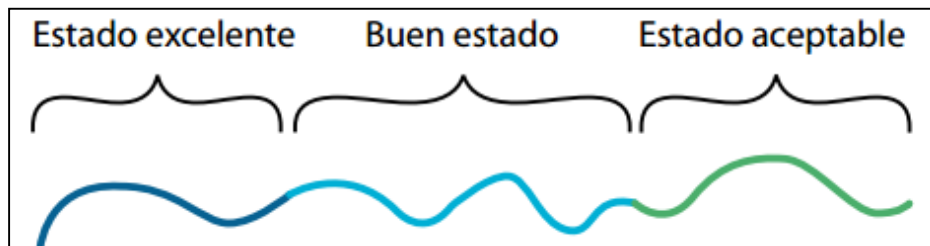
La distribución de aguas de la Unión Europea se muestra en la siguiente gráfica. En esta se aprecia que la mayoría son perteneciente a ríos y lagos. Es por eso que un río puede ubicarse en diferentes estados y encontrarse con distintas masas de agua a lo largo de su recorrido. Para determinar el estado de un río, un análisis visual puede ser un buen parámetro inicial, la presenta imagen muestra como es el estado de un río según su coloración. (Comisión Europea, 2014)

Ilustración 115. Distribución de las aguas de la Unión Europea.



Fuente: Comisión Europea, 2014

Ilustración 116. Estado del agua de un río, análisis visual



Fuente: Comisión Europea, 2014

Sin embargo la caracterización de un río depende a su vez, del estado químico del mismo, así pues la Unión Europea ha determinado los parámetros para 45 contaminantes químicos nuevos junto con 8 que fueron previamente regulados, para determinar la calidad de un río.

Por su parte, la caracterización de aguas subterránea difiere de la de aguas superficiales, ya que aquí el objetivo es obtener un buen estado químico y cuantitativo. Para ello cada estado puede hacer uso de datos geológicos para identificar el volumen de acuíferos subterráneos y así regular la extracción a un porcentaje de la capacidad de recarga anual. La contaminación de aguas subterráneas no es permitida, es primordial la detección e interrupción de cualquier tipo de contaminante que ponga en riesgo estos acuíferos.

6) HECHO 4: La implicación de la ciudadanía es esencial

La Directiva Marco del Agua, establece que los Estados miembros deben de realizar consultas con el público y las partes interesadas para la identificación de problemas, soluciones a manera de incluirlos en los planes hidrológicos para las cuencas. Es necesario que al menos seis meses de duración tenga la consulta y posteriormente se haga una consulta cada seis años, a fin de actualizar los planes.

El rol público es esencial para la protección de las aguas. Sin tener el respaldo de los ciudadanos, toda legislación que se promueva será en vano. El papel del ciudadano se debe enfocar en ayudar a los gobiernos en alcanzar el equilibrio entre aspectos sociales económicos y ambientales. (Comisión Europea, 2014)

7) HECHO 5: Algunos avances, pero todavía mucho por hacer

La DMA cuenta con ciclos de aplicación, en los cuales se trabaja conforme a objetivos el primer periodo abarca de 2009 a 2015. En este periodo se establecieron los límites geográficos de las cuencas y se identificó quienes deberían de ser los responsables de la gestión de agua. Posteriormente se realizaron análisis ambientales y económicos los cuales serían las bases para que los Estados miembros presentasen los planes de gestión de cuencas con los objetivos a alcanzar, para que en 2010 se comenzara con la introducción de políticas de precios de agua.

La siguiente fase ocurrió en 2012 cuando la Comisión determinó que para 2009 el 43% de las aguas superficiales se encontraban en buen estado y se espera que para 2015 aumente un 10%. Es importante recalcar que de no tomar acciones el 47% restante no podrá llegar a los estados esperados.

Estos planes lo que buscan implantar una mejor y mayor integración de los objetivos políticos que se tengan entre regiones, así como de eliminar las lagunas legislativas que se tienen. Estas lagunas se encuentran en situaciones como la eficiencia hídrica, uso de suelo, gobernanza del agua, contaminación de aguas. (Comisión Europea, 2014)

8) HECHO 6: La gestión del agua tiene muchas dimensiones políticas; la integración es la única manera de avanzar en el uso sostenible del agua

Debido a su uso integral, la regulación del agua entra en juego dentro de varias políticas hoy en día. La totalidad de las actividades dependen del estado de los ecosistemas, el cual la función de garantizar la salud humana y la regulación del clima. Por ende, es necesario integrar de una manera correcta la gestión del agua tomando en cuenta las diversas aguas, siendo primordial identificar el uso y el consumo que cada sector tiene del agua. (Comisión Europea, 2014)

9) HECHO 7: El cambio climático impone desafíos de cara al futuro

La amenaza del cambio climático es inaplazable, haciendo esto que la gestión del agua se le presenten retos que no se consideraron en un principio. Ante esto se pueden presentar dos escenarios, según estudios de la UE, en distintas regiones las cuales se describen a continuación.

Hablando de casos específicos, se prevé disminución en cuanto a precipitación y el aumento de las temperaturas en ciertas regiones del Este y el Sur de Europa, hace necesario la implementación de un plan para salvaguardar recursos hídricos de la zona. Lo que se propone es la medición de parámetros que determinen la eficiencia del uso del agua en dicha zona, como el cálculo del caudal ecológico, la reutilización del agua para industria o riego de siembras, aparte de la creación de una nueva filosofía en cuanto a criterios de diseño en obras relacionadas al manejo de agua.

En el otro extremo, el exceso de lluvias que se han presentado en la zona norte aumenta el riesgo de inundaciones. Las zonas más afectadas por esta situación son Irlanda, el Oriente de Europa y el Reino Unido. Es por eso que la Directiva se ha enfocado en promover la restauración de llanuras de inundación con el fin de promover la infraestructura verde y así trabajar en beneficio de la naturaleza. (Comisión Europea, 2014)

c. Minería. Como se mencionó anteriormente la minería tiene como objetivo el aprovechamiento de los recursos del subsuelo y en países desarrollados se ha convertido en parte fundamental de sus actividades económicas. Sin embargo, el desarrollo minero e industrial junto con el crecimiento urbano es un factor primordial en la degradación del medio ambiente, lo que ha convertido a la necesidad de dar respuesta a este problema en parte fundamental para evitar atentados contra la naturaleza y la vida. (Universidad de Castilla-La Mancha, 2009)

La explotación minera se proliferó en Europa, a principios de los años setentas con la crisis energética, la que tuvo como consecuencia una subida en los precios del petróleo haciendo reconsiderar a los usuarios del mismo acerca de sus fuentes energéticas. Fue así como se comenzó a usar materiales como el carbón para generar energía. El exceso en el uso de este material potencializó el deterioro ambiental. Conforme se fue acrecentando esta realidad distintos países generaron políticas que muchas veces eran disparejas o contradictorias.

Ante esta situación la Comunidad Europea, generó una política que intentó unificar la dispersión entre las distintas legislaciones en materia medioambiental. La política se basa en la necesidad de evaluar constantemente los efectos, a los cual está expuesta la calidad de vida y el medioambiente, con esto se garantiza mantener estos efectos hasta ciertos niveles para garantizar la salud de las personas, la conservación tanto en cantidad como en calidad de los recursos. (Universidad de Castilla-La Mancha, 2009)

Las evaluaciones planteadas por la política son las evaluaciones de impacto ambiental, en las que se introduce la variable ambiental para decidir sobre proyectos que tengan relación o efecto en el medio ambiente. Esta técnica ha mostrado ser bastante eficaz al momento de elegir entre las diferentes alternativas posibles, quedándose con la alcance un balance entre la eficiencia del proyecto y el resguardo a la naturaleza.

Esta es una de las bases por las cuales se planteó la Dirección General de Empresas e industrias, la cual busca ayudar a que realicen sus actividades dentro de un marco, en el que se mantenga la competitividad, pero al mismo tiempo se mantenga los principios de desarrollo sostenibles y el comercio justo. Dentro de las industrias beneficiadas se encuentran:

- Acero
- Metales no ferrosos
- Cemento
- Cerámica
- Vidrio
- Cal

Para realizar estos procesos, se han implementado programas de evaluación del impacto de los productos extraídos, en las leyes y políticas, enfocándose más aún en su relación con el medio ambiente. Para ello se ha promovido la competencia, innovación y los centros de investigación y desarrollo.

Otra medida que se ha tomado por parte de la Dirección, es el animar a los distintos sectores para que contribuyan a alcanzar con los objetivos de las políticas de desarrollo sostenible a través de su participación en programas comunitarios. Esto va de la mano con la constante información que se le suministra órganos más representativos de los Estados miembros, sobre los diferentes desarrollos comunitarios.

La evaluación es determinante para visualizar el avance de las acciones tomadas, es por eso que constantemente se recopila la información sobre los parámetros económicos en cuanto a la actividad minera para luego evaluar la viabilidad de las alternativas tomadas y el efecto que han tenido estas. . (Universidad de Castilla-La Mancha, 2009)

A continuación se presenta una tabla donde se muestran algunos puntos importantes que comparan la situación actual sobre el manejo de recursos naturales en Guatemala y en la Unión Europea.

Tabla 48. Comparación regulación en Guatemala y Unión Europea en manejo de recursos naturales

GUATEMALA	UNIÓN EUROPEA
<p>FORESTAL</p> <ul style="list-style-type: none"> • Entidad reguladora (INAB) • Leyes, decretos para desarrollo • Plan Estratégico de Fomento y Desarrollo Forestal 	<p>FORESTAL</p> <ul style="list-style-type: none"> • No hay política como tal pero si existe estrategia (bases). • Iniciativas de cada país. • Parlamento Europeo revisa avances. • Influencia en reducción de deforestación a nivel mundial
<p>AGUAS</p> <ul style="list-style-type: none"> • NO EXISTE LEY DE AGUAS • Política Nacional del Agua • Política Nacional del Sector de Agua potable y Saneamiento 	<p>AGUAS</p> <ul style="list-style-type: none"> • Adoptan la Directiva Marco del Agua. • Trabajan bajo 7 hechos • Buscan mitigar la escases, mala calidad e inundaciones • Reutilización de aguas
<p>MINERÍA</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ministerio (entidad reguladora) • Decretos y leyes para desarrollo • Regulaciones ambientales 	<p>MINERÍA</p> <ul style="list-style-type: none"> • Iniciativas de cada país. • Normativas medioambientales más estrictas del mundo

D. Protección y conservación

1. Recuperación de suelos. Las actividades humanas tales como la agricultura dependen del suelo y sus propiedades. Por esta razón, las características de estos son alteradas a medida que se utiliza en el tiempo. Un suelo se considera degradado cuando pierde productividad debido a que se ha empleado más de su capacidad de regeneración. El suelo no comprende únicamente los minerales que lo componen sino que también la capa de material orgánico que proporciona servicios al ambiente y a los sistemas agrícolas. Particularmente la agricultura es responsable de la pérdida de más del 50% de esta capa, lo que ha incrementado la necesidad de fertilizantes y el efecto de la erosión, con lo que se ha acelerado la degradación de los suelos (Grandy, Fraterrigo y Billings, 2013).

El ciclo de nutrientes en los suelos están ligados al tipo de vegetación, sin embargo el efecto de regeneración de la capa orgánica lleva un proceso más lento. Se encuentra un efecto de mayor degradación con la eliminación de la vegetación sobre los ciclos de nutrientes, aunque la magnitud de esta depende de la cobertura vegetal original. De igual forma, el ritmo de recuperación de los nutrientes en el suelo es dependiente a las especies de plantas que repueblen el área. También el mismo suelo juega una función importante en su capacidad de recuperación, especialmente de acuerdo a sus propiedades físicas y composición mineral. Los organismos microscópicos que habitan la tierra influyen en la generación de compuestos y fijación de elementos como el nitrógeno (Grandy, Fraterrigo y Billings, 2013).

Suelos con bajos niveles de nutrientes difícilmente pueden sostener vida vegetal, mucho menos si se van a destinar a la agricultura. Esto lleva al uso de fertilizantes que a largo plazo pueden degradar el suelo. Sin embargo, al conocer las características del suelo es posible controlar las cantidades necesarias y el tipo de fertilizante necesario para contrarrestar las deficiencias sin causar un mayor daño. Los abonos orgánicos pueden sustituir los fertilizantes químicos y ante la escasez de nitrógeno, una actividad que se favorece es la rotación de leguminosas u otras especies fijadoras de nitrógeno, siempre que los niveles de fósforo en el suelo sean suficientes. Estas últimas alternativas además de practicar la cero labranza pueden favorecer a la regeneración o mantenimiento de la capa orgánica del suelo (Barber, 2000).

La erosión es uno de los fenómenos que contribuyen a la degradación del suelo. Este puede ser controlado mediante prácticas que conserven la cobertura vegetal sobre áreas susceptibles a la erosión. Las plantas pueden contribuir tanto a la protección contra la acción del aire y el agua, a que se facilite la infiltración y disminuir el escurrimiento. Esto se consigue mediante algunas de las técnicas de cultivos mencionadas tales como la labranza cero que promueve el mantenimiento de la cobertura vegetal. También, permite que permanezca mayores cantidades de materia orgánica la cual favorece la infiltración, aunque depende de las características locales del suelo para que dicho efecto sea favorecedor (Carrasco y Vergara, 2002).

La vegetación también funge el papel de obstáculo ante el escurrimiento. Este papel se consigue mediante las barreras vivas como práctica de cultivo. También se combina junto a terrazas y surcos, que en

conjunto buscan disminuir el arrastre de material, la disminución del escurrimiento y la mejora de la infiltración. Para que dichas medidas sean efectivas deben ser perpendiculares a la dirección de la pendiente, es decir que deben ser paralelas a las curvas de nivel. En el caso de las barreras vivas, es preferible la combinación de varias especies, particularmente las que formen barreras naturales en la zona y de carácter perenne, que inclusive pueden incluir especies forestales u otros cultivos, aunque en todos los casos su efectividad depende de la densidad con que se planten (Charrasco y Vergara, 2002).

Muros y terrazas complementan la protección contra la erosión al evitar la pérdida de suelo arrastrado por el agua. Charrasco y Vergara (2002) recomiendan distintas distancias para las barreras a medida que se incrementa la pendiente. Sin embargo, se deben tomar en cuenta las condiciones de precipitación y el tipo de cultivo que pueden indicar la necesidad de establecer los obstáculos a menor distancia entre sí (Charrasco y Vergara, 2002).

Tabla 49. Distancia entre barreras para conservación del suelo en zonas de ladera.

Pendiente	Distancia horizontal (m)
3 – 5 %	40 – 30
5 – 10 %	30 – 20
10 – 15 %	20 – 15
15 – 20 %	15 – 10
> 30 %	< 10

Fuente: Charrasco y Vergara, 2002: 73.

Según el tipo de cultivo, Barber (2000) recomienda la aplicación de algunos de los métodos mencionados de conservación de suelos, además de delimitar los tipos de cultivo según las pendientes. De esta forma, las hortalizas se recomiendan para pendientes menores al 10%, en combinación a los sistemas de cultivo por fajas y barreras vivas. Lo granos básicos se pueden cultivar en pendientes por debajo del 50%, aunque a medida que la pendiente aumenta se debe disminuir el espaciamiento entre las barreras vivas desde 12 m para pendientes de 10% hasta 6 m para pendientes cercanas al 50%. Lo mismo aplica al cultivo de árboles frutales, pero ambos se deben intercalar con leguminosas, aunque los árboles frutales se pueden aplicar a pendientes hasta del 60%. Todas las prácticas de cultivo se complementan con la cero labranza para garantizar una cobertura vegetal y de materia muerta que favorecen a la capa orgánica de los suelos (Barber, 2000).

A la degradación del suelo, se le suma la contaminación de diversas fuentes que puede ser causada por presencia de metales pesados u otros compuestos que alteran las propiedades químicas del suelo. En dicho caso, puede ser más complejo el deterioro y por lo tanto más lenta su recuperación. Existen casos en que la contaminación es tal que es necesario su traslado a basureros. Los tratamientos contra la contaminación dependen del tipo de contaminante y de las características propias del suelo, y pueden emplear distintas sustancias químicas si el fin del tratamiento es de «disminuir la concentración de los contaminantes» (Ortiz, *et. al.*, 2007:22).

A pesar de existir formas de descontaminación, pueden resultar complejas y no aplicables de acuerdo al área afectada. Sin embargo, existen maneras de evitar que los contaminantes migren a zonas circundantes mediante técnicas de confinamiento y de contención. Con ellos se evita que la contaminación afecte a fuentes de agua y otros suelos. Estas incluyen distintos tipos de barreras principalmente verticales que usualmente deben ser de materiales impermeables, a profundidades mayores a los 30 metros (Ortiz, *et. al.*, 2007).

Entre los métodos de descontaminación, Ortiz, *et. al.*, (2007) menciona el método de fitorrecuperación que emplea especies vegetales que sean «tolerantes a la toxicidad» de los contaminantes en el suelo. Especialmente, este manejo de contaminantes se dirige al control de metales pesados, así como a compuestos orgánicos que estén en exceso. También ha sido efectivo para reducir la contaminación debido a pesticidas. La recuperación del suelo mediante este método depende de las capacidades de las plantas que se empleen para la revegetación de la zona para ya sea la absorción de los contaminantes; la inmovilización mediante la generación de otros compuestos en el suelo que neutralicen los contaminantes; o por medio de la degradación por medio de procesos metabólicos de las plantas y microorganismos presentes en el suelo. Constituye una recuperación lenta de la contaminación y su efectividad depende de la toxicidad de los contaminantes y la capacidad de las plantas ante esta (Ortiz, *et. al.*, 2007).

2. Reforestación. En cuencas hidrográficas, la cobertura vegetal y forestal es importante para evitar la erosión y las crecidas de los ríos, mediante el control de caudales. En zonas de ladera principalmente, protegen los suelos del efecto de la lluvia y el viento, y controlan los niveles de escorrentía. Sin embargo, las áreas boscosas originales han cedido bajo la presión de las poblaciones, por lo que ha sido necesario recurrir a programas de reforestación para garantizar los servicios que los bosques proveen a las cuencas y el medio ambiente (Spears, 1982).

La necesidad inmediata de reforestación puede depender del riesgo que representan distintas zonas al carecer de vegetación. Involucra distintos programas que involucran una inversión significativa, por lo que ocurre que la regeneración natural sea más factible de aplicar al limitar cualquier acción humana sobre una zona en específico. Con un enfoque para evitar la erosión la reforestación se puede orientar hacia cubrir zonas desprovistas de vegetación, producción, manejo y «mejorar bosques naturales existentes». Sin embargo, los programas de reforestación para que sean exitosos como un esfuerzo para conservación del ambiente se debe acompañar de otras actividades para reducción de uso de leña, prácticas agroforestales, aprovechamiento sostenible de recursos forestales, y establecimiento de viveros (Spears, 1982).

A pesar de los beneficios que acompañan a la reforestación por mantener las zonas boscosas de un área, esta puede enfrentar dificultades en su implementación y planificación. Para cualquier tipo de programa es necesario conocer el ámbito socioeconómico del área impactada, así como los intereses y necesidades de las poblaciones. La tenencia de tierra y el fin que se le da a ella puede frenar los procesos de reforestación debido

a la necesidad de emplearla para la agricultura. También se debe proteger y garantizar el crecimiento de las nuevas plantas para lograr su cometido (Spears, 1982).

En Guatemala se maneja la Política Forestal la cual contempla entre sus acciones la reforestación y conservación de zonas boscosas. Busca obtener beneficios económicos a partir de las actividades forestales mediante la conservación y el manejo de los recursos naturales. Mediante el Sistema Guatemalteco de Áreas Protegidas se pretende la conservación de zonas boscosas acompañado de impulso a los «sistemas agroforestales y silvopastoriles». También la integración de la producción forestal para asignarle valor a los cuerpos boscosos mediante el manejo sostenible de los mismos (Melgar, 2003:33).

Dentro de la Política Forestal de Guatemala se contempla la Ley Forestal con la que se creó al Instituto Nacional de Bosques en 1996. Uno de los atributos de dicha institución, además de la conservación de los bosques, es la de promover la reforestación además de otras actividades relacionadas. Esta ley se complementa con la Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente, creada una década antes pero reformada en la década de los 90, donde también se le asigna al Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales la facultad de protección y conservación mediante control de las actividades de potencial riesgo para el ambiente y por medio de programas e incentivos que promuevan el cuidado de los recursos naturales (Melgar, 2003).

a. **Programas de incentivos forestales.** Junto a la creación del INAB se contemplan los incentivos forestales como herramienta para la conservación del bosque y reforestación. El primer Programa de Incentivos Forestales, PINFOR, estaba contemplado para 20 años a partir de su establecimiento. Por medio del mismo el Ministerio de Finanzas Públicas otorga incentivos a propietarios de tierras dedicadas a la reforestación y a la conservación de áreas forestales. Al año 2012, mediante el programa se había logrado la reforestación de 112,341 hectáreas principalmente en Alta Verapaz y Petén, que representan el 35% y 24% del área total reforestada en el país. Adicionalmente, se incorporaron áreas bajo manejo forestal que equivalen a 216,235 hectáreas donde Petén, Izabal y Alta Verapaz son los departamentos con mayor área, con lo que se contribuye a la conservación de las masas boscosas. Las especies prioritarias empleadas para la reforestación incluyen especies de pino, teca, palo blanco, cedro, caoba, santa maría y pinabete (SIFGUA, 2013b).

A partir del año 2010, con la intención de acompañar los esfuerzos de conservación y manejo de bosques en el país, se estableció el Programa de incentivos forestales para pequeños poseedores de tierras de vocación forestal y agroforestal, PINPEP. Este se enfoca en plantaciones forestales y sistemas agroforestales. Adicionalmente contempla el manejo de bosques naturales tanto para protección como para producción, con lo que se incrementa la conservación del bosque existente fuera de áreas protegidas, con beneficios económicos para los involucrados (SIFGUA, 2013c).

Mediante la ley PROBOSQUE se pretende extender el programa de incentivos forestales debido a los resultados obtenidos a la fecha. Adicionalmente, se extienden las categorías de manejo forestal para que sean

incluidos dentro de los incentivos. Entre estas clasificaciones se encuentran los sistemas agroforestales, bosques energéticos y bosques para la producción, entre otros (Reyes, 2015).

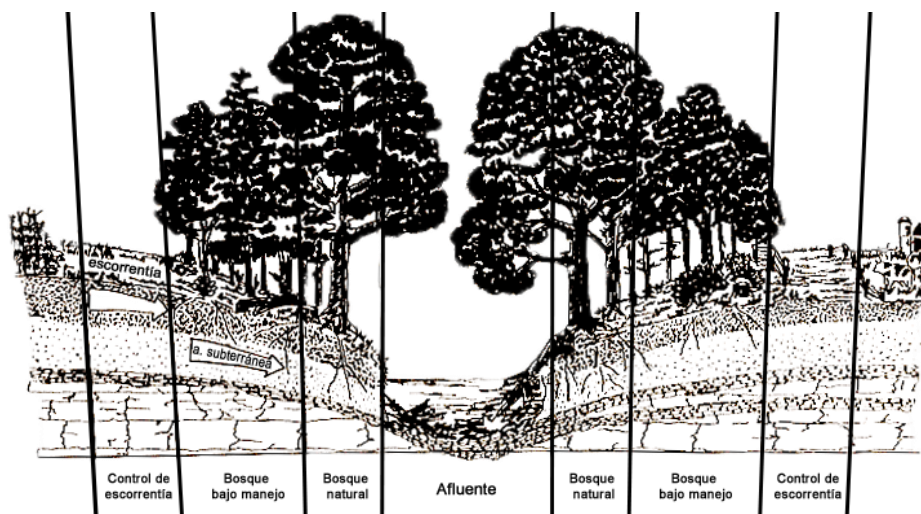
Ambos programas de incentivos del INAB ha permitido la conservación de bosques y la regeneración de los mismos en áreas desprovistas de vegetación. Para el año 2014, entre ambos programas, se estimaban 132,600 hectáreas recuperadas por reforestación bajo el sistema agroforestal y plantaciones. La inclusión de sistemas agroforestales y pequeños terratenientes mediante el PINPEP permitió aumentar el área de tierras forestales en el país. Únicamente en plantaciones se han dedicado 126,199 hectáreas desde 1998, mientras que el manejo de bosques naturales en ambos programas de incentivos alcanza 232,792 hectáreas (INAB, 2015).

b. Bosques de galería, restauración del paisaje y corredores biológicos. Dentro de la clasificación de tierras por capacidad de uso del Instituto Nacional de Bosques de Guatemala, se incluye en las tierras forestales de protección a los bosques de galería. Esta categoría se refiere a los bosques ribereños que se encuentran en los márgenes de cuerpos de agua que comprenden franjas de tierra de entre «15 y 30 metros de ancho a partir de los márgenes» de los afluentes (INAB, 1997:28). También dentro de la Constitución Política de la República de Guatemala (2001) está contemplada la reforestación de los márgenes de los cuerpos de agua por los usuarios de los mismos.

Los bosques de galería funcionan como amortiguadores del arrastre de sustancias y sedimentos por la escorrentía hacia los cuerpos de agua. Cumplen con la función de filtros de nutrientes y sedimentos que pueden ser arrastrados desde zonas agrícolas, incluidos nitratos y fósforo que de acuerdo a estudios pueden ser removidos hasta en un 80 y 75% respectivamente, además de la reducción de concentraciones de otros compuestos orgánicos. Permiten así controlar la fuente difusa de contaminación proveniente de tierras agrícolas previo al arrastre hacia ríos (Brenner y Brenner, 1998).

La cobertura vegetal a la orilla de los ríos facilita espacios de conservación de bosque y de biodiversidad. Proveen hábitat a varias formas de vida que dependen de los recursos de los ríos y ayuda a mantener la calidad del recurso hídrico. Las masas boscosas a la orilla de los ríos evitan también que distintas actividades como agricultura y ganadería se expandan hasta las zonas de márgenes de los ríos, con lo que se evita contaminación directa de dichas fuentes. Análisis de agua cercanas a bosques ribereños han comprobado que también reducen la concentración de coliformes fecales que pueden representar un riesgo a la salud de la población (Brenner y Brenner, 1998).

Ilustración 117. Diagrama de un bosque de galería.



Fuente: Brenner y Brenner, 1998.

Debido a la importancia del papel de los bosques en los ecosistemas, se deben dirigir esfuerzos para garantizar que cumplan con sus funciones en áreas que han perdido su cobertura, pero con el fin de integrar todos los intereses tanto ambientales como socioeconómicos. De esta manera surge el concepto de restauración de paisaje que pretende alcanzar regiones más amplias de tierra que únicamente mediante la conservación de bosques existentes. Mediante este concepto también se busca aprovechar servicios y productos que contribuyan al desarrollo del área. La escala a la que se maneja la restauración de paisaje es a nivel de ecorregiones, la cual contiene varios ecosistemas con características similares y de donde se identifican “paisajes” (Ceccon, 2013).

La restauración del paisaje fue definida en el año 2000 por la World Wide Fund for Nature, WWF, y la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza y Recursos Naturales, IUCN, como «un proceso planificado que tiene como objetivo recuperar la integridad ecológica y mejorar el bienestar humano en paisajes deforestados o degradados» (Ceccon, 2013:140). El objetivo no implica únicamente la recuperación de cobertura vegetal para fines ecológicos, debido a los diferentes actores involucrados y creciente población alrededor del mundo; más bien, busca la conservación de la mano de aprovechamiento sostenible de productos y recursos para las comunidades involucradas (Ceccon, 2013).

Mediante zonas de conservación como los corredores biológicos se pretende conectar las masas boscosas originales para garantizar la migración de especies de flora y fauna a través de ellos. También se pueden evitar los daños a nivel genético ocasionado por las poblaciones aisladas al permitir la interacción entre poblaciones y contribuir a la diversidad genética. En estos corredores se pueden establecer mecanismos agroforestales y de manejo forestal para sacar provecho a productos y recursos de manera sostenible. Ceccon (2013) identifica algunas clasificaciones de los corredores que incluye tipo lineales, «trampolines ecológicos y corredores del paisaje». Difieren en área y distribución, en que los tipo lineal comprenden espacios reducidos entre 40 y 80 metros de ancho. Similarmente son los corredores del paisaje, aunque estos dependen de la

cobertura forestal del área y abarcan mayores superficies. Finalmente los trampolines que involucran pequeños parches distribuidos entre zonas de protección que permite encontrar refugio al momento de la migración entre áreas de bosque (Ceccon, 2013).

Los bosques de galería cumplen con la función de restauración de paisajes dentro de la modalidad de corredores biológicos, dentro de la clasificación de corredor del paisaje. Estas zonas de conexión entre bosques inalterados junto a prácticas agroforestales permiten el desplazamiento de los organismos presentes en el área y contribuyen a la conservación de la biodiversidad. Inclusive, Ceccon (2013) afirma que la agricultura a pequeña escala bajo el conocimiento y prácticas tradicionales locales puede contribuir a la conservación sin perjudicar la productividad, basado en experiencias de pequeños agricultores (Ceccon, 2013).

La restauración del paisaje requiere de una ordenación en base a los intereses de los habitantes de las tierras y las características ecológicas de la zona. En este ordenamiento generalmente se deben contemplar no sólo zonas de conservación sino que zonas de producción, pero manejados desde el punto de vista sostenible. Así, se identifican zonas forestales de protección y de producción. También áreas de reforestación, que pueden ser destinadas a la producción, y otras de regeneración natural. Las zonas de protección incluyen a las recién mencionadas de regeneración, bosques remanentes, corredores biológicos y riveras de los ríos. Por otro lado las áreas de producción aplican prácticas agroforestales y de manejo forestal (FAO, 2007a).

3. Explotación forestal. Los bosques ofrecen distintos servicios a los ecosistemas y a los humanos. Los productos que ofrece no se limitan a madera y leña, aunque de estos se pueden obtener beneficios económicos de forma más directa. En áreas rurales, el consumo de leña suele ser elevado debido a su empleo como combustible frente a otras alternativas que pueden resultar más caras y menos accesibles a la población. Esto se acompaña de la extracción legal e ilegal de recursos forestales que presentan una presión más a las masas boscosas de una zona. El manejo de bosques permite sacar provecho de los recursos forestales de una manera sostenible mediante plantaciones o manejo de bosques existentes (Tuy, *et. al.*, 2009).

Los programas de incentivos forestales permiten el desarrollo de plantaciones y manejo de zonas boscosas para obtener beneficios económicos de los servicios y productos que proveen mientras se garantiza la conservación de la cobertura forestal. A estos programas se le suman las concesiones forestales en las cuales tierras estatales se conceden por determinado número de años para su aprovechamiento sostenible y cuyos productos puedan ingresar a la industria forestal. En el caso de Guatemala, impulsadas por la Ley Forestal, estas han sido algunas de las maneras de contribuir al sector, donde al 2001 se estimaba una demanda de 800,000 m³/año de productos maderables, sin incrementar la presión sobre las masas boscosas existente (Revolorio, 2004).

En Guatemala el modelo de concesiones se ha dado tanto dentro de zonas protegidas como en áreas fuera de estas. En el primer caso corresponde al Consejo Nacional de Áreas Protegidas su control, mientras que el resto corresponde al Instituto Nacional de Bosques. Por medio de este sistema ha sido posible monitorear las

actividades extractivas en los terrenos concesionados al mismo tiempo que se promueve la conservación de zonas boscosas por su valor a quienes obtienen productos de estas (SIFGUA, 2013a).

4. Áreas de protección. Ante la continua demanda de recursos debido al aumento poblacional, es necesaria la conservación de zonas que sustentan la biodiversidad para evitar su agotamiento. Dichas zonas deben poseer bosques de grandes extensiones o ecosistemas en los cuales las acciones humanas aún no han tenido un efecto irreversible. La combinación de ambos sistemas permite la protección de especies de flora y fauna que de lo contrario desaparecerían bajo la presión de las actividades humanas. La delimitación de áreas protegidas impiden hasta cierto punto el avance de las zonas modificadas por las necesidades de la población, aunque también permiten el desarrollo sostenible a partir del provecho de zonas forestales fuera de las áreas protegidas para la conservación de la biodiversidad (Blockhus, *et. al.*, 1995).

A pesar de constituir un freno para la expansión de zonas destinadas a satisfacer las necesidades humanas, usualmente las áreas de protección necesitan de zonas de amortiguamiento donde se lleven a cabo actividades económicas y sociales de carácter sostenible. La importancia de las zonas de protección recae principalmente en la conservación de la biodiversidad local y las áreas circundantes de amortiguamiento permite expandir las áreas donde habitan las especies pero en consideración de las necesidades de la población de poder emplear con limitaciones los recursos naturales del área (Blockhus, *et. al.*, 1995).

En América Latina, las áreas protegidas se empezaron a establecer a partir de la década de los 60s. La mayor parte de las zonas boscosas han cedido ante la presión del avance de la frontera agrícola, aunque para 1995 los bosques ocupaban el 54% de la región. A pesar que la mayoría de los países cuentan con legislación respecto a las zonas de protección y al aprovechamiento forestal, no se ha logrado administrar eficientemente ni impedir la deforestación debido a una falta de control y de ordenación territorial (Blockhus, *et. al.*, 1995).

Guatemala inició su historia oficial de conservación de áreas naturales con el establecimiento del Parque Nacional Tikal en 1955. A partir de entonces se inició la creación de varias áreas de conservación incluidos los conos volcánicos en el sur del país, aunque sin un ente regulador hasta tres décadas más tarde. El Consejo Nacional de Áreas Protegidas, CONAP, fue fundado en 1989 a partir de la Ley de Áreas Protegidas con la cual se le dio el manejo del Sistema Guatemalteco de Áreas protegidas, SIGAP, administrador previo de las zonas de conservación. Junto a esta promulgación se declararon 44 áreas de protección especial y desde entonces ha aumentado el número (Barreda, *et. al.*, 1999).

Desde un inicio, la mayor parte de las áreas protegidas en Guatemala se han ubicado en los departamentos de Petén e Izabal, donde distintas instituciones públicas y privadas han realizado esfuerzos para la conservación y manejo de las áreas protegidas. Todas las áreas de protección deben satisfacer distintos criterios según la Ley de Áreas Protegidas, sin embargo, la mayoría se encuentran bajo distintas presiones debido a la presencia de asentamientos y la falta de zonas de amortiguamiento, planes de ordenación o problemas con tenencia de tierras e invasiones (Barreda, *et. al.*, 1999).

El SIGAP maneja distintas clasificaciones de áreas protegidas, de acuerdo a sus características y a las necesidades de administración que necesita cada una. En total se consideran seis tipos que abarcan a todas las zonas de protección dentro del país, que comprenden el 31% del territorio nacional, con más de 300 áreas protegidas. Entre estas se incluyen en algunos casos sitios de importancia arqueológica y cultural, que son manejadas junto al Ministerio de Cultura y Deportes. Cabe mencionar que dentro de las distintas categorías, en el caso de las zonas de protección más extensas pueden contener otras áreas con tipos de protección más específicos (SIGAP, 2015a).

Tabla 50. Categorías de manejo del Sistema Guatemalteco de Áreas Protegidas.

Tipo	Descripción	Categoría	No. de áreas	Área total (ha)
			(CONAP, 2015)	
I	Son áreas de interés por su biodiversidad y características de paisaje. «No se permiten las alteraciones del paisaje, ni la extracción de recursos.	Parque Nacional	21	735,480.78
		Reserva Biológica	1	60,878.00
II	Comprenden zonas de menor área que el tipo I, pero que poseen características de interés para la educación y el turismo.	Biotopo Protegido	6	118,804.06
		Monumento Cultural	3	6,315.00
		Monumento Natural	1	1,714.00
III	Zonas que han sido afectadas por las actividades humanas donde ahora se practican «actividades productivas sostenibles» para conservación del entorno.	Área de usos múltiples	4	162,914.00
		Refugio de Vida Silvestre	6	227,180.45
		Reserva Protectora de Manantiales	2	52,805.00
		Reserva Forestal Municipal	2	158.50
		Reserva Hídrica Forestal	1	19,013.44

Continuación Tabla 50. Categorías de manejo del Sistema Guatemalteco de Áreas Protegidas.

IV	Áreas de conservación de biodiversidad bajo el manejo de corporaciones municipales. Además, se consideran rutas y vías escénicas.	Parque Regional Municipal	66	49,306.89
V	Zonas de conservación dentro de propiedad privada que pueden ser parte de un sistema de corredores biológicos.	Reserva Natural Privada	179	65,841.96
VI	Se caracterizan por su área extensa de importancia mundial bajo el manejo sostenible de recursos.	Reserva de la Biósfera	5	2,591,806.45
Sin categoría	Incluyen algunos conos volcánicos de la parte sur del país.	Zonas de veda definitiva	30	38,901.10

Fuente: SIGAP, 2015a.

Resalta el hecho que la mayor parte de las áreas protegidas corresponde a las Reservas de la Biósfera, de las cuales sobresale la Reserva de la Biósfera Maya en Petén. Esta categoría corresponde a más del 60% de todo el área que maneja el SIGAP. Entre otras categorías, se mencionan los parques municipales que se han establecido desde 1996 y cuyo número ha aumentado considerablemente desde el año 2007. De igual forma, las Reservas Naturales Privadas representan un porcentaje mayoritario entre el número de áreas de conservación, aunque no así en extensión (CONAP, 2015).

El esfuerzo de conservación en las reservas de carácter privada ha tomado relevancia a nivel nacional por ser una manera de preservar zonas naturales que de lo contrario no se protegerían. En algunos casos, se consideran como Reservas Naturales Privadas a propiedades que pueden tener fines de producción tanto forestal o de cañicultura, entre otros. Estas además ofrecen servicios ambientales debido a que comprenden zonas boscosas que sirven de hábitat para la fauna y la flora local (Paredes, s/f)

Las reservas privadas incluyen también a propiedades comunitarias que han sido inscritas parcialmente como zonas de conservación por las mismas comunidades. Los propietarios e involucrados en la conservación en tierras privadas son representados en la Asociación de Reservas Naturales de Guatemala, que se fundó en 1989. Entre las funciones de las reservas naturales privadas, como se ha mencionado, es la creación de corredores biológicos entre áreas protegidas más extensas, y permiten así la migración de la fauna y la flora entre ellas sin necesidad de atravesar zonas pobladas (Paredes. s/f).

Uno de los parámetros que debe considerar un sistema de áreas protegidas es la conservación de las zonas de vida presentes en un país, debido a su importancia para la biodiversidad. De esta manera se puede

proveer protección a especies que habitan únicamente ciertas regiones debido a sus características bióticas y abióticas. En este aspecto, el SIGAP ofrece protección principalmente a las zonas de vida de Bosque Húmedo Subtropical Cálido y Bosque Muy Húmedo Subtropical Cálido, que representan el 60% y 24% del total del área protegida, respectivamente. Este fenómeno se debe a que la Reserva de la Biósfera Maya y otras zonas de protección en Petén e Izabal que también abarcan la mayor parte de las áreas protegidas, y cuyas áreas corresponden principalmente a las zonas de vida descritas (CONAP, 2015).

E. Turismo.

Las áreas de protección, en compañía de los cuerpos de agua, representan destinos que pueden ser de interés turístico. Mediante el turismo en dichas zonas se generan ingresos a partir de la conservación del medio ambiente y biodiversidad, al ser estos de interés local e internacional. Estos ingresos, de acuerdo a la lejanía o cercanía de los sitios turísticos, pueden incidir directamente a las comunidades aledañas a los sitios protegidos mediante la prestación de servicios. Las zonas protegidas pueden ser administradas correctamente con el fin de su aprovechamiento en el sector turístico mediante normas establecidas por las instituciones a cargo de las áreas de protección y aplicadas por las autoridades de turismo y entes locales (MacKinnon, *et. al.*, 1990).

Se pueden considerar algunos criterios para establecer si determinadas zonas protegidas tienen potencial turístico. Mucho depende de los atractivos, tanto naturales como culturales, que ofrezca así como su diferenciación con otros puntos de interés. Las distancias a comodidades y servicios, las condiciones de los trayectos y servicios, seguridad en el área, así como actividades que se puedan realizar pueden influir en el atractivo de un sitio para los turistas. Inclusive la garantía de observar ciertos fenómenos naturales o animales puede impactar en la afluencia turística. A pesar de estos factores que dependen de las condiciones específicas del sitio de interés, existen otros de carácter externo que pueden influir, tales como «cambio en las rutas y precios de las aerolíneas, tasas de cambio, problema[s] político[s] o mejor oferta turística en otro país (MacKinnon, *et. al.*, 1990:48).

El turismo puede generar tantos beneficios como inconvenientes o presiones hacia las áreas de conservación. Entre las causas de algunas presiones se menciona la percepción que se tenga localmente sobre las zonas protegidas y el fin de estas. Es decir, la creencia que se resguarda un lugar por motivos económicos más que por su importancia a la biodiversidad y medio ambiente. Otro aspecto involucra la mala planificación y evaluación del impacto del desarrollo turístico, pues esto implica que se pueda generar daños a los ecosistemas por las obras necesarias para recibir a una carga turística mayor. El daño ocasionado por un exceso de carga o volumen de turistas hacia el ecosistema depende de la cantidad de recursos y espacios para recibir en los sitios de interés (MacKinnon, *et. al.*, 1990).

Entre los daños ocasionados por sobrepasar el límite de carga de un área protegida debido al uso de recursos se incluye la presión en el medioambiente y los animales. También ciertas actividades pueden irrumpir en la vida animal por la invasión de su territorio. Además, se puede ocasionar puntos de contaminación si no se

establece un control sobre los desechos generados. Otros daños pueden ser provocados por la actitud indebida de los turistas y agentes de turismo en zonas protegidas. Adicionalmente, obras de infraestructura necesarias para la atención al turismo pueden modificar el entorno natural, por lo que se debe buscar limitar el impacto de dichas acciones según el nivel de conservación del área (MacKinnon, *et. al.*, 1990).

Una de las formas de turismo que se consideran de bajo impacto debido a su enfoque es el denominado ecoturismo. Este aprovecha las características del medio ambiente de zonas protegidas para establecerlas como destinos turísticos. El impacto de dicha actividad se maneja mediante poco desarrollo de infraestructura y de usualmente emplear a la población local como guías y prestadores de servicios debido a sus conocimientos del área. De esta manera se puede asignar un valor a la conservación del medio ambiente para los habitantes locales, que se puede derivar en un turismo de carácter comunitario o manejado por la comunidad bajo el enfoque de ecoturismo (Barreda, *et. al.*, 1999).

F. Educación ambiental

El manejo integral de cuencas hidrográficas se logra mediante varias herramientas y la participación de todos los agentes involucrados. Se requiere de la correcta planificación, divulgación y administración de los planes a concretarse establecido a partir de las necesidades de todos los interesados. Un aspecto importante para la efectividad del manejo de cuencas incluye la educación, particularmente la enfocada en temas ambientales para lograr un manejo adecuado de los recursos naturales a partir de la enseñanza de la importancia de su conservación.

Mediante la educación ambiental se busca que los estudiantes y otros interesados se identifiquen dentro del medio ambiente como seres dependientes de los recursos disponibles. La educación permite divulgar el conocimiento necesario para el planteamiento de soluciones ante los problemas y poder tomar decisiones fundamentadas. A partir de la educación se puede involucrar a más personas en la participación de tomas de decisiones y la generación de actitudes encaminadas a la conservación del medio ambiente y recursos naturales (MARN, 2011).

La comprensión de las relaciones existentes entre las personas y su entorno natural permite la adquisición de valores y actitudes a favor de la conservación y uso apropiado de los recursos naturales. La educación no se limita únicamente a su ámbito formal, aplicado en el sistema escolar de un país. Además, se extiende hasta las mismas acciones de los ciudadanos hacia su entorno y los programas establecidos mediante otros medios de divulgación que de igual forma generan un impacto en la población (Almeida y García, 2009).

Dinámicas grupales y comunitarias permite la divulgación de información ambiental para la generación de propuestas e ideas. Por medio de este tipo de actividades se logra transmitir información específica de áreas de interés para que sea de conocimiento general de los actores involucrados y constituye una forma de educación. También permite conocer la percepción ante la presentación de datos de la situación

actual de una zona o región, y se complementa con capacitaciones y cursos relacionados al tema ambiental (Almeida y García, 2009).

En Guatemala, en el año 2010 se decretó la Ley de Educación Ambiental, la cual tiene como objetivo introducir este ámbito en los planes escolares debido a su importancia como herramienta para la planificación del uso de recursos naturales. La implementación del tema en los estudios a nivel nacional queda a cargo del Ministerio de Educación, junto al Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. Se contempla abarcar tanto el nivel escolar como a nivel de capacitación y la aplicación de los conocimientos adquiridos se debe dar dentro de la figura de seminario, que es un requisito de graduación para el nivel medio escolar (MARN, 2011).

VIII. ASPECTOS SOCIOCULTURALES GENERALES.

A. Demografía.

La demografía es la ciencia que estudia las poblaciones humanas tratando, desde un punto de vista principalmente cuantitativo, estructura, dimensión, evolución y características generales. Esta es la definición que aparece en el Diccionario Demográfico Multilingüe de Naciones Unidas. La definición limita, pues algunos autores consideran necesario incluir información cualitativa. Por lo que se llegó a un consenso indicando que la demografía tiene por objeto estudiar los cambios de la población en sus contextos biológicos y sociales.

Los censos tiene por objetivo dar información sobre educación, empleo, migración, distribución de la población por área rural y urbana, estructura social por edad y sexo, natalidad, mortalidad, estado conyugal. El estudio de una población representa un análisis de las variables que arroja un censo, por lo que para este segmento de la investigación se presentan los datos del censo 1994 y 2002.

En esta investigación es importante tomar en cuenta las variables de un censo porque indica las necesidades reales de una comunidad o de las familias. Conocer las necesidades, permite establecer una negociación con la población y tener un plan de acción con las reacciones previstas debido a su condición social, cultural y económica.

1. Número de habitantes registrados en Censos de 1994 y 2002. Los censos poblacionales son actividades estadísticas que permiten el recuento de las personas de un país o una región. Se trabaja con la población total y no con una muestra pues se busca la cantidad completa de habitantes. Son sumamente complejos y con costos elevados lo que hace que se realicen censos cada 10 años por país. En Guatemala el último censo oficial fue realizado en 2002. El costo se eleva debido a que es una encuesta realizada por censistas. Son personas que se dedican a pasar un formulario que contiene las variables socio demográficas más relevantes, como edad, cantidad de hijos, situación laboral, características de la vivienda, etc.

Los censos en Guatemala son responsabilidad del INE, Instituto Nacional de Estadística. El censo para Guatemala se ha venido prorrogando desde el 2012. En 2013 se estimaba que el costo para realizar el censo sobrepasaba los Q100 millones (Prensa Libre, 2012).

Debido a la falta de información actualizada, se requiere utilizar los censos más antiguos. El penúltimo censo se realizó en 1994, la relación entre los censos ayuda a realizar proyecciones de población y estimaciones sobre la tasa de crecimiento poblacional.

2. Densidad de población en 2002 y proyección para 2020. La densidad se refiere a la relación entre población y territorio, es decir el promedio de personas que habitan por kilómetro cuadrado.

La densidad de población es un índice que varía entre municipios y departamentos. Existen varios factores que pueden aumentar o disminuir este índice. Los factores de distribución desigual de la población pueden ser físicos como humanos. Los físicos comprenden el clima, el relieve y el suelo. Los factores humanos hacen referencia a la política, la economía y la historia.

3. Tasa de crecimiento poblacional. La tasa de crecimiento poblacional es un promedio porcentual anual del cambio en el número de habitantes, como resultado de nacimientos y muertes, y el balance de los migrantes que entran y salen de un país. El porcentaje puede ser positivo o negativo. La tasa de crecimiento es un factor que determina la magnitud de las demandas que un país debe satisfacer por la evolución de las necesidades de su pueblo en cuestión de infraestructura (por ejemplo, escuelas, hospitales, vivienda, carreteras), recursos (por ejemplo, alimentos, agua, electricidad), y empleo. El rápido crecimiento demográfico puede ser visto como una amenaza por los países vecinos.

Existen distintos métodos para calcular la tasa de crecimiento poblacional. En este caso, se utilizó el Método Geométrico, también conocido como interés compuesto. En este se asume que el crecimiento de la población es proporcional a su tamaño y por lo tanto un crecimiento constante en el tiempo.

La tasa de crecimiento poblacional por el método geométrico se obtuvo por medio de la siguiente ecuación:

$$\text{Tasa de Crecimiento poblacional} = (P_f/P_o)^{\frac{1}{n}} - 1$$

Donde:

P_f = Población final

P_o = Población inicial

n = Número de años entre las poblaciones inicial y final

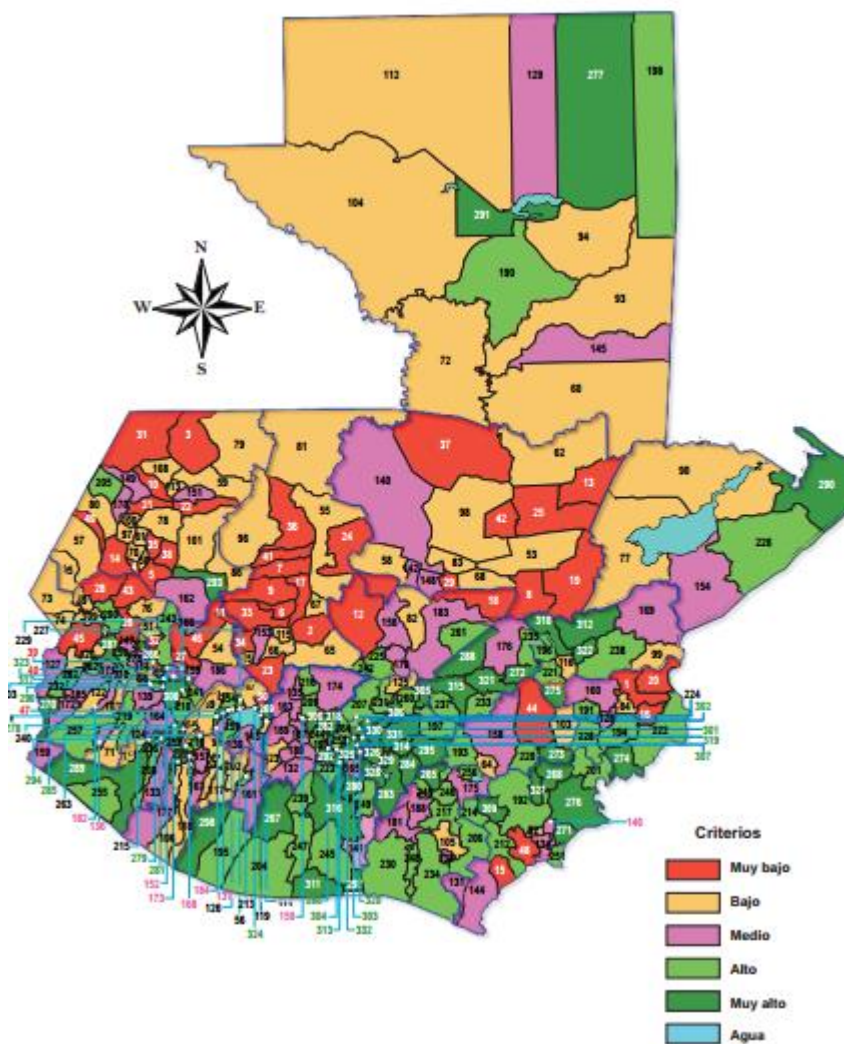
B. Índice de desarrollo humano.

El desarrollo humano se considera un paradigma de desarrollo que va mucho más allá del aumento o la disminución de los ingresos de un país. Comprende la creación de un entorno en el que las personas desarrollan el máximo potencial; lleven adelante una vida productiva y creativa de acuerdo con las necesidades e intereses. Las personas son la verdadera riqueza de las naciones. Por lo tanto, el desarrollo implica ampliar las oportunidades para que cada persona viva una vida que valore. El desarrollo es entonces mucho más que el crecimiento económico, que constituye sólo un medio para que cada persona tenga más oportunidades. El desarrollo humano tiende a medirse por medio del Índice de Desarrollo Humano.

El IDH es un indicador que expresa de manera sintética tres dimensionales básica para el desarrollo humano: salud, educación y nivel de vida. El valor del IDH puede ser entre 0 y 1, donde 0 es el nivel más bajo y 1 el nivel alto.

1. Calidad de vida. La calidad de vida se define como el bienestar, la felicidad y satisfacción del ser humano, que le permite actuar, funcionar y tener una sensación positiva de su vida. Esto es muy subjetivo debido a que se ve influida por la personalidad y el entorno de vida de la persona.

Ilustración 118. Mapa de calidad de vida



Fuente: SEGEPLAN, 2008

El mapa de calidad de vida, produjo un listado de priorización municipal con respecto a los criterios evaluados por grado de vulnerabilidad. Los factores evaluados para definir este rango son:

1. Vulnerabilidad alimentaria: este se conformó a su vez con el estudio de tres variables: situación alimentaria, riesgos ambientales y capacidad de respuesta.

2. Marginación: fenómeno estructural que se origina en el patrón de desarrollo de una región. Es la exposición de una población a privaciones, riesgos y vulnerabilidad. Las variables integradoras de este criterio son la cantidad de población analfabeta, la población sin primaria completa, porcentajes de población por tipo de vivienda y por acceso a servicios y porcentaje de ocupantes de localidades rurales.

3. Pobreza: fenómeno complejo que engloba los aspectos tangibles e intangibles a la incapacidad de las personas de tener una vida tolerable. Se relaciona con insuficiencia de recursos. Se considera pobre a una persona que tenga ingresos de alrededor de Q4,318.00 por persona por año. Este costo incluye consumo de alimentos necesarios y mínimo de bienes y servicios.

4. Pobreza extrema: se diferencia de la pobreza general por el ingreso por persona. Este es menor a Q1,911.00 por persona por año y solo permite adquirir las 2,172 calorías mínimas.

5. Ocupación precaria: identifica los hogares con una baja capacidad potencial de obtener ingresos para alcanzar los niveles mínimos de consumo de bienes y servicios. Este indicador es la combinación del nivel educacional y la carga económica. La carga económica es el número de personas que tiene a cargo el jefe o los perceptores de los ingresos.

6. Asistencia escolar: la evaluación se dividió por área urbana y área rural debido a las diferentes condiciones por región. Este índice se determina calculando la cantidad de niños de entre 7 y 12 años que no asisten a establecimientos de educación formal.

7. Servicios sanitarios: se basa en la disponibilidad de la infraestructura sanitaria y de sistemas de eliminación de excretas de la vivienda. Los hogares del área urbana que no satisface esta dimensión se debe a que no tiene conexión a la red de desagüe y no tienen servicio sanitario como excusado lavable, letrina o pozo ciego. En el área rural son los hogares que no cuentan con ningún sistema de eliminación de excretas.

8. Abastecimiento de agua: hogares que no tienen acceso a abastecimiento de agua a través de una red de distribución y se abastecen con una fuente pública, pozo, camión, río, lago o manantial.

9. Hacinamiento: es la densidad de ocupación de la vivienda que se expresa por el número de personas por cuarto. La necesidad insatisfecha se considera en hogares con más de tres personas por cuarto (Excluyendo baño y cocina).

10. Calidad de vivienda: la vivienda cubre la necesidad de proteger a las personas de las inclemencias del tiempo y factores ambientales adversos como polvo, ruido e insectos. Para el área urbana se considera insatisfecha la necesidad si tiene paredes de bajareque, lepa, palo, caña u otro, o si tiene paredes de mampostería, madero o lámina pero piso de tierra. Para el área rural la necesidad es insatisfecha si tiene paredes de lámina, bajareque, lepa, palo, caña y piso de tierra.

11. Retardo en talla: esta medición fue realizada en el Censo de talla escolar en 2001. El proceso consiste en medir la estatura de los niños y niñas de seis años con cero meses a los nueve años con once meses de edad. La talla debe estar entre 70.0 a 151.0 centímetros.

C. Estructura social.

En Guatemala, existe un sistema de Consejos de Desarrollo Urbano y Rural. El fin de este sistema es tener una red de coordinadores en varios niveles para promover el desarrollo del país.

Ilustración 119. Sistema de Consejos de Desarrollo Urbano y Rural



Fuente: Elaboración con información de Herrera, 2006

Las organizaciones sociales, contribuyen a mejorar la condición de vida de los habitantes y por consiguiente de cada municipio. Brindan soporte a las actividades que se desarrollan en la población. En el año 2001, se comenzó a implementar el Consejo Municipal de Desarrollo (COMUDE) y los Consejos Comunitarios de Desarrollo (COCODE). Estos reemplazaron a los Comités pro-mejoramiento existentes.

Los COMUDES son entes coordinados por la Alcaldía Municipal con la cooperación de los síndicos y concejales que tienen como función promover, facilitar y apoyar el funcionamiento de los COCODES. Los COMUDES están integrados por al menos veinte personas.

Los COCODES están administrados por las Asambleas Comunitarias. Estas tienen como función promover, facilitar y apoyar la organización y la participación efectiva de la comunidad a través de comités, agrupados con el objetivo de priorizar las necesidades, problemas y soluciones para el desarrollo integral de las comunidades.

Los comités son los encargados de llevar a cabo los trámites para obtener fondos y autorización de los proyectos propuestos por las comunidades de los municipios. Existen comités pro-mejoramiento y comités de padres de familia. Los comités pro-mejoramiento cubren las necesidades de agua potable, energía eléctrica, construcción de escuelas, mantenimiento de carreteras y letrización. Los comités de padres de familia se enfocan en colaborar en el sector de educación. Apoyan las actividades artísticas, científicas y deportivas en el establecimiento educativo. Además, velan por la asistencia del maestro, la compra, preparación y repartición del desayuno escolar.

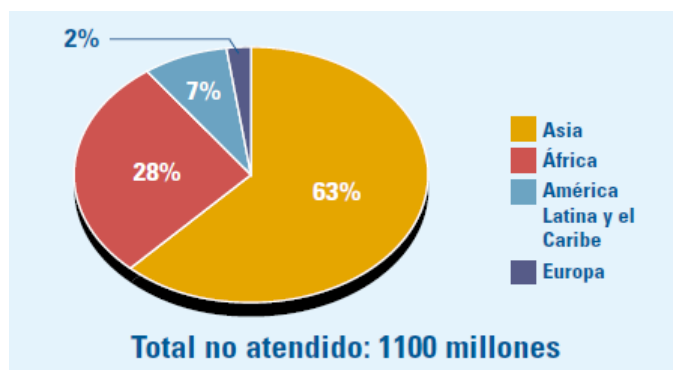
Además, existen organizaciones productivas complementarias que colaboran con el desarrollo de las comunidades. Algunas cooperativas tienen como finalidad el bienestar de la comunidad y de sus asociados mediante el impulso de actividades productivas.

IX. GESTIÓN INTEGRADA DE RECURSOS HÍDRICOS (GIRH).

A. Situación actual del agua.

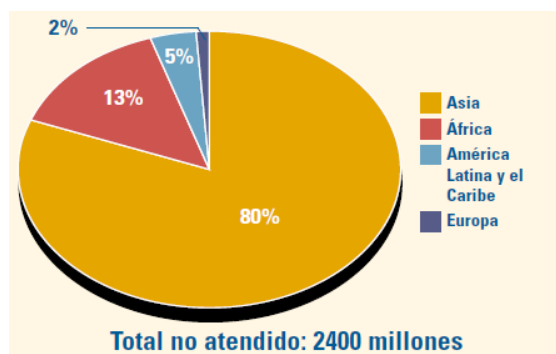
En la última década previa al inicio del nuevo milenio, se calcula que la población mundial tuvo un incremento del 15%. La población aumentó de 5,270 millones de personas a 6060 millones de personas en todo el globo terráqueo. Este crecimiento fue mayor en las áreas urbanas que las rurales, las cuales experimentaron un incremento del 25% versus un 8% de incremento en las áreas rurales. Junto con este crecimiento ha sido necesario que se aumenten la necesidad de agua y para lograr esto hacia el año 2000, se registró que más de 620 millones de persona lograron tener acceso a agua y unos 435 millones tuvieron acceso a agua tratada. Sin embargo aún existen una gran parte de la población que no cuenta con acceso a servicios de agua potable y otro aun mayor a agua previamente tratada. (Organización Mundial de la Salud y Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia, 2000)

Ilustración 120. Distribución de la población mundial sin abastecimiento de agua mejorada



Fuente: Organización Mundial de la Salud y Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia, 2000

Ilustración 121. Distribución de la población mundial sin saneamiento mejorado



Fuente: Organización Mundial de la Salud y Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia, 2000

1. Madrid.

a. ¿De dónde se obtiene el agua? La historia de abastecimiento de agua para la ciudad de Madrid comienza a mediados del siglo XIX, cuando esta ciudad experimentó una grave crisis de agua. Este problema se originó cuando los sistemas existentes de captación de agua, denominados en ese entonces como los viajes de agua, que proveían de agua a la ciudad por medio de una red de galerías que captaban agua del subsuelo alcanzaron su límite de distribución. En aquellos tiempos la población madrileña rondaba aproximadamente por 220 mil personas y disponían tan solo de 7 litros diarios por persona para todas sus actividades. La situación se agravaba con la nula existencia de drenajes lo que hacía que la higiene pública y privada fuese lamentable. (López-Camacho & Iglesias Martín, 2007)

Esta grave situación hizo que el Gobierno español desarrollara varios proyectos para abastecer de agua a la ciudad, ya que de no encontrar solución a este problema se planeaba cambiar la capital española de lugar. Hacia 1851 se publicó la aprobación del ingeniero Juan Rafo que planteó traer agua del río Lozoya por medio de un canal, llamado Canal de Isabel II. El propósito de dicho proyecto era lograr almacenar agua en la época de primavera para estar preparados cuando el caudal de río Lozoya flaqueara. Así fue como se comenzó un proyecto de 7 años, con la construcción de la presa del Pontón de la Oliva y un canal que llegaba hasta Madrid, todo con el fin de transportar un caudal equivalente a 4 m³/s. Debido a filtraciones que hicieron que la presa del Pontón de la Oliva se vaciara, se construyó la presa de El Villar, la cual alberga hasta 22 hectómetros cúbicos de agua. Todo lo anterior fue realizado para que en 1879, este complejo pudiera iniciar funciones.

Hacia 1907 con un Madrid de 600 mil personas, una nueva crisis se produjo. Esta se originó por dos grandes razones, la primera un periodo de sequía prolongado y la segunda enturbiamiento de las aguas debido sedimentos que se alojaron en los embalses por la precipitación que movilizó estos a esas áreas. Sin embargo, estas situaciones hicieron que se tomaron una serie de decisiones que ayudaron a mejorar el sistema de agua de Madrid, las medidas utilizadas fueron las siguientes:

- 1) Elevación de agua para suministrar a los barrios que se encontraban en la parte alta al norte de Madrid.
- 2) Supresión de la concesión de caño libre y cambió por contadores.
- 3) Construcción de la presa Puente Viejas, la cual serviría como depósito de sedimentación
- 4) Construcción del depósito de Islas Filipinas.
- 5) Construcción de Torrelaguna, central eléctrica, y el canal de El Villar.
- 6) Construcción del depósito Santa Engracia.

Así fue como para 1930, el sistema de abastecimiento de agua de Madrid era uno la más innovadora y vanguardista de toda Europa. Sin embargo, este panorama cambiaría quince años (1945) después cuando una nueva sequía, evidenció las carencias del sistema. Con un poco más de un millón de habitantes, la ciudad se vio obligada a restringir el agua a ciertos sectores hasta por 117 horas al día. Esta difícil situación hizo necesaria la construcción dos grandes obras. La primera el embalse de Riosquillo ubicado sobre el río Lozayo y la segunda

iniciar con el aprovechamiento de los ríos Sorbe y Jarama. Estas nuevas obras comenzaron a funcionar en 1960. (López-Camacho & Iglesias Martín, 2007)

Estas últimas medidas implementadas, no lograron solucionar la problemática por mucho tiempo ya que para mayo de 1965, Madrid experimentó la última gran crisis en cuanto a abastecimiento de agua. Este problema se agudizó por el gran crecimiento de los barrios ubicados en las afueras de la ciudad. Fue así como se comenzó un plan de abastecimiento de agua, que incluía una gran serie de soluciones, que contemplaba la intervención sobre diversos cuerpos de agua. La tabla a continuación muestra las intervenciones realizadas en aquel entonces.

Tabla 51. Soluciones implementadas para la crisis de agua en Madrid de 1965

Cuerpo de agua intervenido	Construcción realizada
Río Lozoya	Embalse de Pinilla y Atzar
Río Guadalix	Embalse Pedrezuela
Río Manzanares	Embalse Manzanares el Real
Río Aulencia	Embalse Vlamayor
Río Alberche	Elevación de Picadas
-	Plantas de tratamiento de agua potable

Fuente: López-Camacho & Iglesias Martín, 2007

Las obras mencionadas anteriormente se finalizaron en 1976, para cuando Madrid albergaba unos tres millones de habitantes. Fue así como se estableció la base para la red de distribución del agua para Madrid.

Hoy en día el sistema de abastecimiento de agua para Madrid se encuentra dividido en cinco sistemas principales, descritos en la Tabla 52.

Tabla 52 . Sistema de abastecimiento de agua de la provincia de Madrid, España (1976)

Sistema	Zona que abastece	Cantidad de personas que abastece
Canal	Capital y doce municipios más	4 millones
Consortio de Abastecimiento a la Sierra de Guadarrama	Diez municipios, ubicados en el noroeste	200 mil
Mancomunidad de Agua del Sorbe	Guadalajara y pueblos alcarreños, Alcalá de Henares y Meco	-
Fundación Sur de Aguas Potables	Ocho municipios al suroeste	-

Fuente: López-Camacho & Iglesias Martín, 2007

Estas iniciativas lograron el abastecimiento de varios de los municipios con sus propios recursos, por medio de la perforación de pozos. Luego de la implementación de estos sistemas en 1984, por medio de la Ley 17/84 se estableció que el Canal de Isabel II dependería de la Comunidad de Madrid y se le encomendó, además

de abastecimiento de agua para dicha zona, la depuración de las aguas residuales, así como la mejora y conservación de los ríos de Madrid. Esta nueva medida promovió la reunificación en el Canal el sistema CASRAMA y la integración de campos de pozos de Fuencarral y dejando a un lado los sistemas de Alcalá de Henares, los sistemas propios de algunos municipios y 19 municipios del área denominada Sierra Pobre.

En 1988 se añade el embalse de Los Morales y posteriormente en 1991 al sistema se le incorporó el embalse de La Aceña para abastecer a las poblaciones de la Sierra del Guadarrama lo que representó un volumen 946 hectómetros cúbicos de agua. Los avances no terminan allí, ya que en los inicios de los años noventa el sistema se complementa por medio de aguas subterráneas, las cuales se conforman por dos grandes acuíferos. El primordial es el acuífero que se utiliza para abastecer a la Comunidad de Madrid cuando se hacen presentes periodos de sequías u otros problemas. Dicho acuífero cuenta con un total de 74 pozos que aportan hasta 75 hectómetros cúbicos en un año. El siguiente acuífero es el de Torrelaguna, el cuál llega a aportar de 5 a 12 hectómetros cúbicos al año. El Canal Isabel II, está actualmente construyendo un nuevo campo de pozos el cual estará integrado por 28 perforaciones, que van hacia una arteria colectora que permitirá transportar las aguas hacia el norte y sur del campo para que se dispongan posteriormente a plantas de tratamiento. Se planea que este nuevo campo pueda suplir un total de 30 hectómetros cúbicos de agua al año. (López-Camacho & Iglesias Martin, 2007)

b. Tratamientos. Lograr almacenar agua y preservar la calidad de esta para que sea apta para el consumo humano, son dos actividades determinantes para el desarrollo de toda civilización. El interés del cuidado de la calidad del agua se remonta hasta los griegos. Se conocía que agua de mala calidad era capaz de transmitir enfermedades. Debido a esto, los griegos hervían y/o filtraban su agua previa a su ingesta. Los procesos de tratamiento de agua han ido evolucionando con el avance de los tiempos, implementando nuevas técnicas más efectivas y desechando otras menos útiles. (Canal de Isabel II, 2010)

Es por eso que hoy la mayoría de ciudades poseen gran interés en el manejo de las aguas. Las estaciones de tratamiento de agua potable (ETAP) tienen por función transformar el agua proveniente de la captación de embalses naturales, en agua apta para el consumo humano, de acuerdo a la legislación vigente.

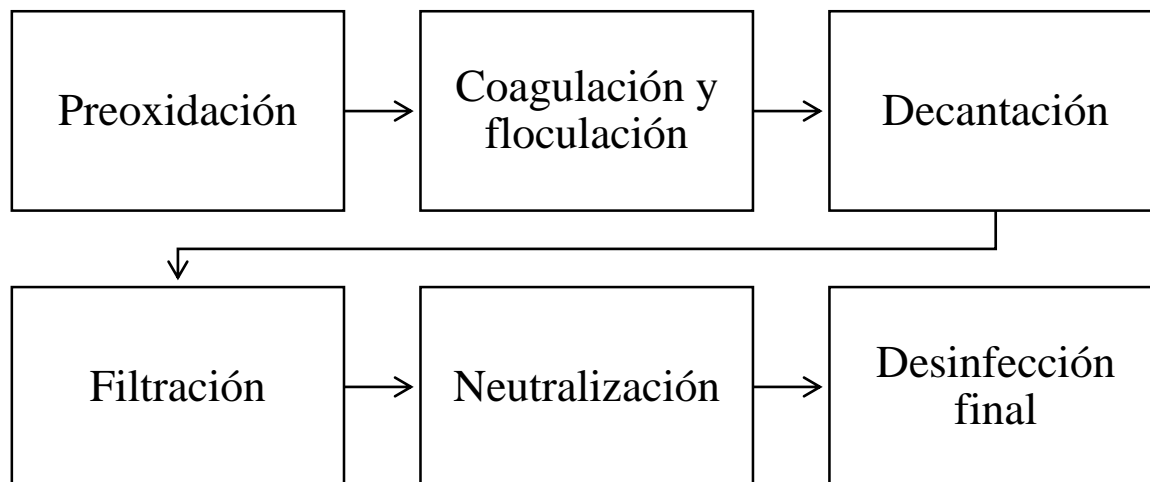
Es importante mencionar, que el agua que gestiona el Canal de Isabel II, proveniente de los ríos Manzanares, Aceña, Tajo, Morales, Lozoya, Aulencia, Sorbe, Jarama, Guadalix, Alberche, Guadarrama así como las aguas subterráneas captadas en las zonas norte y central presentan una alta calidad. Sin embargo, para garantizar que esta agua sea apta para el consumo de los habitantes, la Comunidad de Madrid cuenta con un sistema de trece estaciones potabilizadoras, en las cuales se tratan aspectos organolépticos, sanitarios y tienen una capacidad de tratar un caudal próximo a los 46 metros cúbicos por segundo. La estación de Torrelaguna es la más antigua, comenzó a trabajar en 1967 y la que cuenta con una mayor capacidad es la de Colmenar la cual trata aproximadamente 16 metros cúbicos de agua por segundo. (Canal de Isabel II, 2010)

El Canal de Isabel II, cumple actualmente a cabalidad con la normativa española vigente para calidad de agua. Sin embargo, con el afán de mantener la calidad y no experimentar una nueva crisis de agua se llevan

a cabo distintos proyectos que involucran mejoramiento y renovación. En estos procesos se incluyen tratamientos más avanzados y efectivos así como la ampliación de ciertas plantas para que manejen hasta un 100% más de caudal.

Las aguas tratadas dentro de la comuna, llevan un tratamiento especial acorde a sus características. No obstante, se puede evidenciar un proceso habitual que siguen la mayoría de aguas, el cuál es descrito en la siguiente imagen.

Ilustración 122. Diagrama habitual del tratamiento de agua en la Comunidad de Madrid



Fuente: Canal de Isabel II, 2010

El proceso de pre oxidación es cuando se le introduce un agente químico oxidante al agua, con el cual se busca eliminar cualquier materia que se oxigene ya se orgánica o inorgánica. La coagulación y floculación es un proceso que se encarga de facilitar la agrupación de partículas que dan el color y la turbidez al agua. En el proceso de decantación, se mantiene el agua en un estado casi de reposo y por medio de la acción de la gravedad se depositan en el fondo el exceso de partículas formadas en el proceso anterior, dando como resultado un fango que se ubica en el lecho de los tanques el cual se extrae posteriormente. Subsiguientemente se hace la retención de partículas que no extraídas en el proceso de decantación y se ajusta la acidez del agua por medio de reactivos con el fin de evitar la corrosión en las tuberías. Por último se le agrega una serie de reactivos, que generalmente son cloro y amoníaco, para eliminar microorganismos que afecten al consumidor final. (Canal de Isabel II, 2010)

El Canal de Isabel II cuenta con un programa de vigilancia que va desde el origen de abastecimiento de agua hasta la entrega al consumidor final. El proceso más exhaustivo se realiza cuando el agua se ubica en la red de distribución, es aquí donde se le hacen un gran número de análisis para garantizar, evaluar y monitorear la calidad del agua.

Otra de las grandes innovaciones en el sistema de tratamiento de agua de la Comuna Madrileña es la implementación de Tratamiento de Fangos. Con esto se busca mejorar el estado ecológico de los causes en los

cuales se vierten los desechos procedentes de las instalaciones de agua potable y así recuperar una buena parte de los caudales que antes se vertían. (Canal de Isabel II, 2010)

La siguiente tabla nos muestra las estaciones de tratamiento de agua con las que cuenta la Comunidad de Madrid, así como su fecha de inicio de servicio y la capacidad máxima de tratamiento por segundo y al día

Tabla 53. Plantas de tratamiento de agua potable

PLANTA	FECHA DE INICIO EN SERVICIO	CAPACIDAD MÁXIMA (m ³ /s)	CAPACIDAD MÁXIMA (m ³ /día)
Torrelaguna	1967	6.00	518,000
Majadahonda	1967	3.80	328,000
El Badonal	1969	4.00	346,000
Vavacerrada	1969	1.00	86,000
La Jarosa	1969	1.50	130,000
Santillana	1972	4.00	346,000
Colmenar	1976	16.00	1,382,000
Valmayor	1976	6.00	518,000
Rozas de Puerto Real	1988	0.18	15,000
Pinilla	1992	0.42	36,000
La Aceña	2000	0.5	43,000
Griñón	2008	0.94	81,000
Tajo	2010	2.00	173,000

Fuente: Canal de Isabel II, 2010

c. Reutilización del agua. Conforme al informe elaborado por la Agencia Europea de Medio Ambiente (AEMA), en Europa se debe de enfocar gran parte de los esfuerzos en poder hacer más eficiente el uso del agua para que no se produzcan impactos a nivel económico. El seguir teniendo usos ineficaces del agua tiene efectos negativos que afectan tanto a los ecosistemas y las personas, los cuales son los elementos esenciales de la productividad y la seguridad europea.

En este documento se menciona que el punto de partida debe ser el mejoramiento en cuanto a la aplicación de las legislaturas actuales y que el enfoque de estas a futuro sea hacia la gestión integral del agua. En este aspecto se evidencia que los distintos sectores (agricultura, energético, industrial, público), en Europa mantienen una disputa por tan limitado recurso. Aunado a esto el cambio climático está complicando las proyecciones que se realizan para prever el abastecimiento de agua a las ciudades. Es aquí donde se evidencia aún más la necesidad de hacer más eficiente el uso del agua, ya que de no hacerlo las consecuencias pueden afectar los sectores industriales y agrícolas fuertemente, a tal punto que se replique a toda Europa la restricción del servicio de agua, lo cual en la actualidad es necesario en ciertos sectores Europeos.

En materia de reutilización del agua, la agricultura es uno de los principales sectores a implementar métodos de reutilización de agua ya que un cuarto de los recursos hídricos de toda la Unión Europea están destinados a esta actividad.

La utilización ineficiente del agua, se traduce en un aumento en el consumo de energía. Esto conlleva costes financieros y ambientales, ya que la necesidad de más recurso hídrico hace necesario bombear y tener que potabilizar aguas salinas para el uso de las personas. Esta tecnología está presente en varios países de la Unión Europea, siendo España uno de los mayores usuarios de dicha tecnología. (Agencia Europea de Medio Ambiente, 2012)

Ante esta situación España, por medio de su Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente ha estado desarrollando un plan para la Regeneración y Reutilización de Aguas depuradas.

Esta iniciativa consisten en la aplicación de las aguas residuales para usos específicos, las cuales son sometidas a procesos de tratamiento complementarios que van de acuerdo al uso que se les está destinando. El hecho de reutilizar el agua ayuda reducir los vertederos y por ende genera un aumento en la disponibilidad del recurso para actividades que requieran agua con una menor calidad en comparación del agua para las comunidades.

Con el fin de mitigar el déficit hídrico en áreas de escasez, la reutilización de aguas residuales se ha constituido como una práctica común en España, que lleva un poco más de cuatro décadas. Esta práctica se ha vuelto común en lugares como los archipiélagos balear o canario o la franja del mediterráneo. Ya regenerada el agua se utiliza para diversos usos como la industria o riego en parques, jardines, limpieza de calles. . (Agencia Europea de Medio Ambiente, 2012)

En España se producen un poco más de 450 hectómetros cúbicos al año de agua tratada. Esto representa un 10% del caudal utilizado para el abastecimiento de las zonas urbanas.

En España todas las actividades relacionadas con el manejo de agua se encuentran reguladas por medio del Real Decreto 1620/2007 en el cual se establece el régimen jurídico para la reutilización de aguas depuradas. Es aquí donde se determinan cuáles son los estándares que debe de cumplir las aguas depuradas en función a su reutilización, se regula aquí los procedimientos para obtener la concesión para usar las aguas depuradas.

Las actividades que demandan una mayor calidad de agua, luego del uso doméstico, es el riego ya que este se encuentra en contacto directo con productos comestibles para los humanos.

Debido al impacto que ha tenido el uso de la reutilización de agua el Ministerio de Agricultura Alimentación y Medio Ambiente de España se encuentra trabajando en un plan nacional de reutilización que busca duplicar la capacidad existente de las aguas depuradas y en los cuales se deben de incluir planes hidrológicos. . (Agencia Europea de Medio Ambiente, 2012)

Lo que concierne al servicio de regeneración y reutilización, el ministerio establece debe de cumplir con ciertas características que no varían sensiblemente con respecto al diseño de otro sistema de tratamiento, regulación y transporte.

1) No son necesarias complejas obras de captación ni de regulación ya que los recursos disponibles se encuentran asociados a los afluentes de las Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales (EDAR).

2) Es indispensable el estudio de demanda para identificar cuáles serán los usuarios potenciales, donde se ubican, la demanda y los requerimientos de calidad del agua para estos.

3) La determinación del uso del agua es vital para establecer el tipo de tecnología por la cuál será tratada el agua residual. Los procesos de tratamiento incluyen una etapa de coagulación química, filtración y desinfección por rayos UV. Además de esto, es trascendente que se garantice la correcta operación y mantenimiento de las instalaciones donde va a ser encausada el agua residual para así garantizar la calidad de esta en los sistemas de regeneración.

4) Cuando se trata de usos agrarios es importante dotar una cierta regulación a las infraestructuras de regulación y almacenamiento.

(Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, 2015)

2. Guatemala. El uso de agua en Guatemala, al igual que diversos lugares del mundo satisface a distintos sectores, industrial, agropecuario, doméstico, hidroeléctrico. La mayor demanda del recurso, se da en el sector agropecuario e industrial. El agua se encuentra vinculada directamente con el desarrollo humano y es por eso, que la falta o deficiencia de esta limita el desarrollo social. Es por eso que lograr la cobertura de agua potable es vital para mejorar la calidad de vida en las ciudades.

Encontrar en la mejora de los servicios de agua una medida efectiva para el combate a los problemas más severos que afronta el país, como lo es la pobreza, mortalidad materno-infantil, desnutrición, salud, deserción escolar, etc. Alcanzar esto es vital para cumplir los Objetivos de Desarrollo del Milenio en Guatemala. (Organización Mundial de la Salud y Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia, 2000)

Estimaciones indican que un incremento del 10% en la cobertura de agua potable en hogares, disminuye hasta en 8.2% la probabilidad de existencia de desnutrición infantil de la tasa de mortalidad materna podría bajar hasta 116 muertes por cada 100,000 niños nacidos vivos, en relación a la actual tasa de 153 muertes por cada 100,000.

Se estima que un incremento del 10% en la cobertura de sistemas adecuados de agua potable de hogares urbanos implicaría disminuir un 8.2% la probabilidad de que exista desnutrición infantil global y, a su vez, disminuir la tasa de mortalidad materna de 153 a 116.33 muertes por cada 100,000 niños nacidos vivos. (Organización Mundial de la Salud y Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia, 2000)

a. ¿De dónde se obtiene? La ciudad de Guatemala cuenta con una serie de plantas que son las encargadas del abastecimiento de agua para la ciudad capital. La Empresa Municipal de Agua (EMPAGUA) es la responsable de dotar de agua potable y el manejar todo el sistema de alcantarillado de la Ciudad de Guatemala. Hoy en día, la producción de agua de EMPAGUA ronda los diez mil millones de litros mensuales, suficiente para cubrir la demanda de aproximadamente dos millones y medio de personas ubicadas en la ciudad.

A continuación se describen las plantas que utiliza EMPAGUA para dotar de agua a la Ciudad de Guatemala:

1) SISTEMA EL CAMBRAY Y PLANTA DE BOMBEO HINCAPIÉ: Se ubica en el Km 7 de la Carretera que conduce a Santa Catarina Pínula. Con una producción diaria de 25 mil metros cúbicos diarios, este sistema es el más antiguo de la ciudad, ya que fue construido con el traslado de la ciudad al Valle de la Ermita.

Este sistema se constituye por una presa de captación, ubicada sobre el río Pínula y la estación de bombeo Hincapié, conformado por otra presa de captación, el tanque de alimentación, desenredado y las unidades de bombeo. (Municipalidad de Guatemala, 2015)

2) SISTEMA LA BRIGADA: Se ubica en la 47 avenida zona 7, sobre la Calzada San Juan y tiene una producción diaria de 40 mil metros cúbicos de agua potable. Este sistema se implementó en 1945, cuando el crecimiento de la ciudad se comenzó a dar en las áreas del sur y oeste de la ciudad. Está conformado por la línea de conducción hacia la presa de la planta y ocho pozos. Además cuenta con su propia planta de tratamiento. (Municipalidad de Guatemala, 2005)

3) SISTEMA LAS ILUSIONES Y ESTACIÓN DE BOMBEO EL ATLÁNTICO: Sistema ubicado en la zona 18 al final de la Colonia Kennedy. Esta planta produce 25 mil metros cúbicos de agua al día. Esta planta se construyó con el fin de captar y bobear el agua proveniente de los ríos Teocinte, Ocote y Bijague. Estas aguas son tratadas en la planta las Ilusiones. Sin embargo, desde su creación en 1972 trabajó durante unos años y en 1996 fue rehabilitado con ayuda de la Agencia Japonesa de Cooperación Internacional.

Hoy por hoy cuenta con una estación de bombeo, una presa de captación ubicadas en los ríos y plantas de tratamiento. (Municipalidad de Guatemala, 2005)

4) ESTACIÓN DE BOMBEO OJO DE AGUA: Construida en 1958, la Estación de bombeo Ojo de Agua comenzó aflorando el agua superficial, lo que fue evolucionando hasta hoy en día el bombeo de agua de 13 pozos profundos. Dicha planta consta con un tanque circular, utilizado en sus inicios para regulación de las aguas y hoy funciona para la desinfección de la misma.

Se ubica al final de la Avenida Petapa y produce un total de 87 mil metros cúbicos diarios de agua. (Municipalidad de Guatemala, 2005)

5) SISTEMA XAYÁ-PIXCAYÁ Y PLANTA DE TRATAMIENTO LO DE COY: Es el sistema más grande de abastecimiento de agua potable para la ciudad de Guatemala, se ubica en el kilómetro 175 en la carretera interamericana jurisdicción de Mixco. Esta planta produce un total de 140 mil metros cúbicos de agua potable al día, lo cual representa el 39% del agua que distribuye EMPAGUA en metrópolis.

A principios de los años sesenta, se comenzaron a realizar los estudios pertinentes para evaluar el poder traer agua desde los ríos Xayá y Pixcayá para abastecer de agua a la ciudad capital. Esta iniciativa fue hecha tanto por la Municipalidad de Guatemala como por el gobierno central y fue pues, luego de aproximadamente diez años, que la obra dio inicio en 1971. Este sistema se encuentra compuesto de la siguiente manera:

- Acueducto Xayá
- Presa de derivación “La Sierra”
- Presa de derivación “El Tesoro”
- Línea de conducción
- Planta de tratamiento “Lo de Coy”

(Municipalidad de Guatemala, 2005)

6) SISTEMA SANTA LUISA: El sistema Santa Luisa, comenzó su funcionamiento en 1938 cuando trataba las aguas provenientes de la presa “EL Teocinte” y se fue ampliando para que pudiese manejar caudales mayores.

Hoy en día esta planta ubicada en Acatán, Santa Rosita, zona 16, produce unos 10 mil metros cúbicos al día de agua por medio de 4 vertederos 1 punto de dosificación, un fluctuador, dos sedimentadores, 6 filtros, tanques elevados y 2 tanques de almacenamiento. (Municipalidad de Guatemala, 2005)

b. Tratamientos. El tratamiento de las aguas de la Ciudad de Guatemala, inicia su historia en 1918 cuando se comienza con la aplicación de cloro a las aguas que surtían a la ciudad. La importancia del tratamiento de aguas es debido a la diversidad de sustancias que están disueltas lo que hace que no sea potable. (Municipalidad de Guatemala, 2005)

El agua transporta una serie de sedimentos que son finos o gruesos, en general muchas de las partículas se pueden tratar o eliminar del agua mediante sedimentación o extracción de las mismas. Ejemplo de esto pueden ser gravas, residuos plásticos, metales, basura, en general materiales sólidos no solubles en el agua.

Sin embargo existen sustancias miscibles o inmiscibles en el agua, que complican el proceso de potabilización del líquido. Este tipo de contaminantes propicia la generación de bacterias y otro tipo de agentes que son dañinos para la salud de las personas. Es debido al amplio espectro de contaminantes que están en el agua, que se necesitan una vasta serie de procesos químicos que ayuden a mantener los niveles de contaminantes fuera de los límites establecidos por las normas. La norma que en rige las características con las que debe de cumplir el agua potable para Guatemala es la norma NTG – 29001. La tabla a continuación muestra los químicos

utilizados por EMPAGUA para la potabilización del agua y la función que cumple cada uno de estos. (Municipalidad de Guatemala, 2005)

Tabla 54. Químicos utilizados por EMPAGUA para tratamiento de aguas

QUÍMICO	FUNCIÓN
Sulfato de Aluminio	Tratamiento para eliminar la turbiedad del agua
Poliele Electrolyto	Tratamiento alternativo para eliminar la turbiedad del agua
Sulfato de Cobre	Eliminación de algas
Cal Hidratada	Optimizar el PH de coagulación y floculación / Corrección de la acidez
Cloro Gaseoso	Eliminación de contaminación por bacterias
Hipoclorito	Eliminación de contaminación por bacterias
Silito Floruro de Sodio	Prevención de caries

Fuente: Municipalidad de Guatemala, 2005

c. Reutilización de agua. El recurso hídrico en nuestro país es abundante, sin embargo tan solo una parte de las áreas urbanas tienen acceso a fuentes de agua mejorada. Esta situación se vuelve más crítica al momento de conocer que gran parte de los cuerpos de agua de nuestra región se encuentran contaminados. Este panorama tan complicado es auspiciado por la nula existencia de una legislación con respecto a las aguas. En otros países se utilizan le da tratamiento a aguas grises para distintos usos y su tratamiento va de acuerdo al uso que se le esté planteando dar. (Instituto de Problemas Nacionales de la Universidad de San Carlos de Guatemala, 2011)

La reutilización del agua es un tema que ha venido ganando auge desde hace un par de décadas, el ciclo hidrológico es una clara reutilización del agua que existe en nuestro planeta, la cual es importante para todo tipo de vida. Es así como a partir de la lluvia parte de esta queda retenida en el suelo, para luego infiltrarse y reunirse con aguas subterráneas y otra parte va a ríos, lagos y se llegan a los océanos. En este proceso de circulación del agua, es intervenido por animales y la actividad humana, siendo esta última la más nociva al sistema debido a que se genera contaminación ya sea del suelo o las mismas aguas con distintos tipos de contaminantes sólidos y líquidos. Las aguas provenientes de sistemas de alcantarillado o de fosas sépticas deben de experimentar tratamientos para mejorar la calidad del agua; de lo contrario, esas aguas presentan altos índices de contaminación que son difíciles de tratar. Otro problema es la producción de lixiviados que se generan en vertederos, que pueden llegar a afectar la escorrentía y los mantos freáticos.

La calidad del agua es vital para garantizar el saneamiento, higiene y por ende la salud de una población. Conforme a un informe de SEGEPLAN en 2006, el 90% de las aguas superficiales del territorio Guatemalteco se encuentran contaminadas y tan solo un 5% de las aguas residuales que se generan son las que reciben algún tipo de tratamiento para poder retornar al medio ambiente. (Instituto de Problemas Nacionales de la Universidad de San Carlos de Guatemala, 2011)

De acuerdo con el Tercer Informe de Avances en el Cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo del Milenio en 2006, en promedio, el 78.7% de la población contaba con acceso a fuentes mejoradas de agua y tan solo el 54% de esta gozaba con servicios de saneamiento de agua. Sin embargo, esta realidad es muy contrastante, ya que había municipios en los cuales solo el 21% de sus pobladores contaban con acceso a agua y de los cuales únicamente un 2% contaba con servicios de saneamiento de agua. La contaminación del agua en nuestro país ha llegado a tal punto que la Organización Panamericana de la Salud indica que esta es la principal amenaza para la salud de nuestras personas y esto hace que se comprometan gran parte de los fondos públicos, lo cual limita los fondos para invertir en desarrollo educacional, industrial y agrícola. Esto en definitiva tiene una incidencia directa en la economía nacional ya que la problemática ambiental se traduce en pérdidas de hasta un 5% del Producto Interno Bruto en la cual el 40% de estos costos son representados por el manejo de aguas residuales.

Uno de los sectores más grandes en nuestro país es el agropecuario, ya que sus productos y comercio representan un 23% del PIB Guatemalteco. Todas las áreas de plantación dependen íntegramente de las aguas de la época lluviosa y de riegos en la época seca, agua que proviene de ríos y lagos. Debido a los altos índices de contaminación presentes en estos cuerpos de agua, en los últimos años se ha incrementado la perforación de pozos, lo que se traduce a una sobreexplotación de las aguas subterráneas. Estas aguas parecen abundantes, sin embargo la tasa de recarga hídrica de estos cuerpos de agua es sumamente baja, existen casos de suelos que su velocidad de infiltración es de hasta 48 minutos/cm, además del aumento de deforestación y erosión del suelo hacen que las áreas de recarga de las capas freáticas disminuyan. (Instituto de Problemas Nacionales de la Universidad de San Carlos de Guatemala, 2011)

Para que los guatemaltecos cuenten con recurso hídrico tanto en cantidad como de calidad, es necesario reconocer que en Guatemala dependemos de la lluvia y la recarga de los cuerpos de agua subterráneos. En el país tenemos aproximadamente 6 meses de lluvia, época en la cual se presenta una notable diferencia en el caudal de los ríos. No obstante, la distribución irregular de las lluvias y la disponibilidad del agua no coinciden con los lugares donde más se solicitan. Las regiones más pobladas se encuentran en las partes altas de las cuencas, en lo que situación en la que se encuentra la ciudad de Guatemala y se replica a diez cabeceras departamentales con mayor población y unas 130 cabeceras municipales. El caso más crítico sin duda alguna es el de la metrópolis, ya que esta alberga más del 20% de la población la cual vierte gran cantidad de aguas residuales a la cuenca y los recursos hídricos presentes en la zona no son suficientes para abastecer la demanda. Esta situación se presenta en ciudades como Quetzaltenango y otras comunidades dentro del área rural, lo que ha obligado a las municipalidades a introducir proyectos de agua y saneamiento de la misma, financiada por cooperación internacional, pero con el grave problema de tener una cobertura desigual entre sectores urbanos y rurales, sumando a esto la infraestructuras dañadas, las fugas en los sistemas, el abandono a plantas de tratamiento hace que la captación, tratamiento y distribución del agua se complique más con el día a día.

Esto ejemplifica que todo esfuerzo que se haga en pro de la preservación y utilización del agua contribuye significativamente a la mejora de la salud y economía de nuestro país. De esta idea nace el concepto

de reutilización de aguas grises. Se entiende por aguas grises, todas aquellas que son utilizadas para la higiene corporal, el lavado de ropa y otros utensilios. Estas aguas están compuestas con jabón, detergentes o residuos de cocina, las cuales de no ser oxigenadas a tiempo o de entrar en contacto con heces fecales y contaminantes químicos se consideran aguas negras. Las aguas grises contienen altos niveles de nitrógeno y fósforo, proveniente de los detergentes, los cuales sirven como nutrientes para plantas. Por otro lado la presencia de sodio y cloro es perjudicial para ciertos organismos. (Instituto de Problemas Nacionales de la Universidad de San Carlos de Guatemala, 2011)

Esta iniciativa busca identificar las actividades que se realizan dentro del hogar, las cuales no requieren agua con una alta calidad, de ser para consumo humano. Ejemplo de esto son las aguas de llenado de inodoro, lavado de vehículos, riego de jardines, por lo que se utiliza aguas grises con cierto grado de tratamiento. De acuerdo con estudios del Instituto Valenciano de la Edificación, las aguas más eficientes para ser reutilizadas, son las que provienen de duchas, lavamanos, lavado de ropa ya que son las menos contaminadas. Los tratamientos que aguas grises se hacen por medio de unidades de baja tecnología, pero lo más importante de esto es el hecho de que la implementación de estas unidades se traduce en un ahorro para las empresas de agua, EMPAGUA en el caso de la ciudad de Guatemala, y a los usuarios, ya que esto haría que la dotación de agua mensual por usuario se disminuyera hasta en 50% y todo esto sin arriesgar la salud de los usuarios. Es así como la reutilización de aguas grises trae las siguientes ventajas:

- Reducción del consumo de agua potable.
- Ahorro a municipalidades en cuanto a infraestructura para abastecimiento, tratamiento y distribución.
- Impacto positivo en áreas regadas con aguas grises tratadas.
- Evita degradación de medio ambiente.
- Reduce la demanda de agua.
- Reducción la cantidad de aguas negras a tratar.

En Latinoamérica existen países en los cuales se ha implementado el tratamiento de aguas grises como lo son México y Colombia. En estas regiones se han enfocado en tratar las aguas que se originan en los domicilios de áreas rurales y de acuerdo con un informe de seguimiento sobre un plan piloto hecho por la Universidad Autónoma de México (UNAM), se ha logrado la reducción de dotación mensual de agua de los hogares, de hasta un 75% con los métodos de tratamientos químicos que ellos definen como simples y de bajo costos. Hasta hoy en día los métodos de tratamiento de aguas grises más utilizados han sido por medio de drenajes enramados, humedales y lechos vegetales. La modificación de los sistemas hidrosanitarios en las construcciones existentes es sumamente difícil y costoso, sin embargo es necesario hacerlo. Es por eso que distintos estudios planteados en la Universidad de San Carlos de Guatemala, indican que un buen comienzo para el manejo de aguas residuales dentro de Guatemala sería el regular la utilización de las mismas en nuevas construcciones. Se plantea que dichos sistemas se apliquen a las viviendas, centros deportivos, hoteles, oficinas ubicados en áreas urbanas y rurales. (Instituto de Problemas Nacionales de la Universidad de San Carlos de Guatemala, 2011)

A continuación se presentan una serie de propuestas que se han desarrollado en nuestro país que se pueden replicar a distintos sectores de la población.

d. Uso, re uso y reciclaje del agua residual en una vivienda: El primero fue desarrollado en 2004 por Patricia Kestler, la cual presentó un modelo para la Ciudad de Guatemala, aplicado para viviendas individuales de clase media de reutilización de aguas grises para emplearse en inodoros y riego de áreas verdes. En este sistema se realiza un tratamiento primario el cual consiste en conducir a las aguas provenientes de estos elementos a una trampa de grasa donde se busca eliminar la grasa que tiende a formar nata y tapar filtros o rejillas. Posteriormente se deben de movilizar estas aguas a un depósito donde se le aplique una cantidad de cloro para luego almacenarse en otro depósito acumulador y utilizarlo en un sistema de riego por goteo. (Kestler Rojas, 2004)

e. Tratamiento de aguas grises, Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos (ERIS): esta entidad ha propiciado una serie de estudios sobre el tratamiento de aguas grises por medio de la implementación de plantas de baja tecnología las cuales se encuentran destinadas a instalarse en viviendas que cuenten con un área para que se instalen filtros.

Es primordial que al plantear una política pública sobre el recurso hídrico en Guatemala se debe de tener presente el carácter público del recurso hídrico y la atribución del Estado en promover y desarrollar las entidades pertinentes para realizar la administración del agua, lo cual implica establecer regulaciones en cuento al uso y goce de la misma. El planteamiento de esta política debe de generar que tanto el Estado, las municipalidades y las poblaciones cuenten con las fuentes de agua correctas que satisfagan las demandas actuales y futuras. Para ello es importante que se puedan establecer una serie de buenas prácticas de uso del recurso hídrico, sumado a esto se debe de crear distintos tipos de incentivos que hagan que se le de tratamiento y reutilización a las aguas grises. Otra parte importante que se debe de promocionar son los valores de conservaciones de los recursos para lograr evitar la contaminación y que se comienza a generar esta cultura en las generaciones jóvenes. (Instituto de Problemas Nacionales de la Universidad de San Carlos de Guatemala, 2011)

Hoy por hoy hay pocos municipios que cuentan con requisitos legales que regulen la construcción de plantas de tratamientos en ciertos proyectos, a pesar de esto en el Código Municipal y en el Código de Salud tienen la facultad de emitir reglamentos que consideren estos pertinentes, para regular los servicios que se le van a brindar a las comunidades. Para garantizar esto es que se emiten las licencias de construcción bajo un dictamen favorable del Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social.

Para que se logre el cumplimiento de estas políticas públicas lo que se debe de contemplar es la construcción de plantas de tratamiento lo cual es una gran inversión económica. La instalación de servicios de reutilización de aguas grises en construcciones se puede decir que da una salida viable, ambiental, social y económica para una mejor conservación. (Instituto de Problemas Nacionales de la Universidad de San Carlos de Guatemala, 2011)

B. Conflictividad

1. Generalidades de los conflictos. Un conflicto es un aspecto normal de la vida y en casi todas las eventualidades está presente. Se da cuando dos o más partes perciben que sus intereses no coinciden y no son justos, por lo que se expresan con actitudes hostiles para defender sus condiciones y estas medidas pueden ser perjudiciales a las demás partes o a personas que no estén involucradas. Una conflictividad no se define como la mera suma de aquellos conflictos puntuales de índole similar, sino más bien como el conjunto de dichos conflictos más las relaciones que se establecen a partir de ello. Es usual que surjan conflictos con relación a:

- Acceso y distribución de recursos
- Control del poder y participación en la toma de decisiones políticas
- Identidad cultural, social y política
- Estatus de sistemas de gobierno, religión o ideología

En relación a la conflictividad por hidroeléctricas, se consideran las causas de los conflictos los siguientes:

- Falta de información, ignorancia, información con malas intenciones y la asociación con la minería.
- Grupos de izquierda, la iglesia, las ONGs
- Desinterés del Estado, la falta de normativa para el otorgamiento de licencias de construcción.
- La falta de experiencia para evaluar proyectos.
- Falta de credibilidad en general de las instituciones públicas.
- La comunidad percibe a los inversionistas como un enemigo con el que no se puede dialogar y solo busca beneficiarse de sus recursos naturales.

Para el manejo de conflictos existen dos aspectos en el proceso, el primero que es la gestión de conflictos y el segundo es la resolución de conflictos.

2. Gestión de conflictos. La gestión de conflictos asume un rol proactivo en la prevención, motivando a una comunicación efectiva y colaboración entre intereses diversos, tratando las causas reales de los conflictos, desarrollando la confianza y la comprensión. Promueve la planeación participativa y colaboradora. Utiliza métodos como la negociación, conciliación y consenso. La gestión de conflictos inicia por tomar acciones de prevención y se busca trabajar para crear condiciones que eviten los conflictos y fomentar la resolución.

Es una herramienta para anticipar, prevenir y reaccionar a los conflictos. El proceso inicia por hacer que las partes se comuniquen, identifiquen los problemas reales entre sus intereses y luego descubran soluciones beneficiosas para ambas partes. No siempre se logra que las partes no sacrifiquen en alguna medida sus solicitudes y por lo tanto, en algunos casos no se llega a ningún acuerdo. Para la gestión de conflictos no hay técnicas específicas, se basa en la intuición, la lógica y la flexibilidad.

3. Resolución de conflictos. En el ámbito de resolución de conflictos para construcción de proyectos hidroeléctricos, se buscan la resolución alternativa de disputas (RAD). Estas se basan en la negociación.

Es necesario comprender que los conflictos ofrecen oportunidades de cambio. En algunos casos los conflictos muestran las anomalías y contradicciones que obstaculizan el progreso. A veces, esto logra establecer reformas que resultan más beneficios y equitativas para las partes.

Una resolución apresurada puede ser indicio de que una de las partes tiene intereses de que no se den a conocer factores en su contra.

Se debe considerar que existe una diferencia entre resolver el conflicto real y resolver un síntoma, por lo que es necesario tener claro la causa del conflicto y combatir este directamente.

Los conflictos suelen ser difíciles pero no se tratan de ninguna manera de procesos destructivos. El conflicto tiene un papel positivo si se enfoca correctamente y si se utilizan las metodologías indicadas para crear el bienestar para las partes en desacuerdo.

Para determinar el método de resolución de conflictos se siguen los pasos descritos a continuación:

- Definir el problema.
- Concentrarse en los intereses.
- Identificar alternativas.
- Separar la generación de alternativas de su evaluación.
- Acordar criterios para evaluar alternativas.
- Documentar los acuerdos para evitar malentendidos posteriores.
- Acordar el proceso de revisión de acuerdos y el proceso de resolución de desacuerdos.
- Utilizar el proceso para crear acuerdos.
- Crear un compromiso permitiendo que los grupos asuman sus roles específicos en las medidas del programa acordado.

a. Métodos de resolución de conflictos.

1. Litigio: es el mecanismo con más peso, sin llegar a la coerción ni a la violencia física. Estas son las acciones amparada por el sistema legal del país. En algunos casos, este es la única solución para resolver el conflicto. Solo pueden resolver las cuestiones políticas por lo que se deja sin resolver las diferencias reales entre las partes.

2. Resolución alternativa de disputas.

3. Negociación: es un proceso en el que las partes de la disputa se reúnen para lograr una solución aceptable para ambas. No hay facilitación o mediación por terceros. Este método cada vez es más

utilizado en el ámbito político. Se conoce como creación de normas negociadas o negociación regulatoria. Los representantes expresan sus intereses y se acuerdan nuevas normas que regulen estándares y las preocupaciones de las partes.

4. **Facilitación:** en este método es necesario un individuo parcial que participa en el diseño y en las reuniones de solución de problemas. Esto con el fin de que la persona realice un diagnóstico y ayude a las partes a crear e implementar soluciones. Su función principal es crear un ambiente en el que ambas partes puedan hablar libremente pero que no ofrezcan ideas propias ni participen activamente en el logro de los acuerdos. Puede ser el primer paso para la identificación del proceso de resolución de disputas.

5. **Mediación:** similar a la facilitación solo que ahora es un agente externo el que supervisa la negociación entre las partes. Busca crear un ambiente cómodo para que ambas partes compartan la información, analicen los problemas, expresen sus emociones y pensamientos. Es más formal que la facilitación y se comparten los gastos entre las partes.

6. **Arbitraje:** se utiliza como alternativa para un proceso menos formal que el litigio, pero una persona neutral se reúne con las partes y escucha las presentaciones de ambas. Luego decide un resultado. Las partes eligen al árbitro mediante consenso. Se utiliza el método cuando se desea una solución rápida.

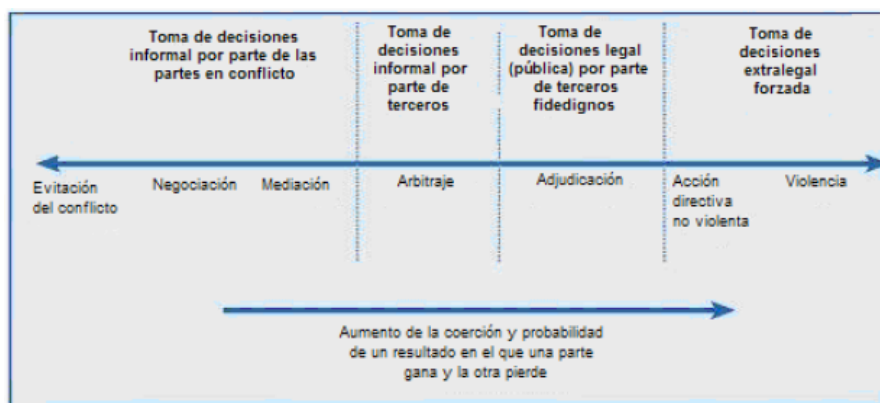
7. **Prevención de conflictos antes de que surjan:** es importante anticipar las formas de conflicto futuros. En las cuencas hidrográficas surgen conflictos con cierta periodicidad y es útil poner en contexto los conflictos mediante la creación de un programa en la que las partes se puedan reunir con regularidad y puedan comunicar sus necesidades, interés y posiciones. No existe una metodología establecida, pero la participación activa en los diálogos sobre políticas y procesos puede ser beneficiosa.

Tabla 55. Ventajas y Desventajas de métodos de solución de conflictos

Método	Ventajas	Desventajas
Litigio	<ul style="list-style-type: none"> Aplicación de normas legales que pueden resolver los desequilibrios de poder 	<ul style="list-style-type: none"> Lento y costoso Puede generar más litigios La decisión está restringida a parámetros legales limitados Las partes ceden el control sobre procesos y decisiones
Negociación	<ul style="list-style-type: none"> Más rápido y económico Las partes trabajan juntas para alcanzar soluciones Las decisiones pueden adaptarse a las necesidades de las partes Es más probable que se cumplan los acuerdos 	<ul style="list-style-type: none"> Puede no ser útil en casos complejos Si no se cumplen los acuerdos puede ser necesario recurrir a la corte para obligar
Mediación	<ul style="list-style-type: none"> Más rápido y económico Permite soluciones creativas Las partes trabajan juntas Las decisiones se pueden adaptar a las partes Las partes pueden contribuir con conocimiento y experiencia Puede restablecer la comunicación entre la partes 	<ul style="list-style-type: none"> Pueden acentuarse los desequilibrios de poder Es posible no llegar a un acuerdo
Arbitraje	<ul style="list-style-type: none"> Más rápido y económico que el litigio Las decisiones se pueden adaptar a las partes Las partes pueden elegir expertos como árbitros 	<ul style="list-style-type: none"> Ceden el control sobre la decisión final El éxito depende el los árbitros No es posible apelar la decisión

Fuente: Swatuk, 2008

Ilustración 123. Enfoques de gestión de conflictos



Fuente: Swatuk, 2008

Para tener una resolución exitosa existen condiciones que cumplir, algunas son: estar dispuestos a participar; posibilidad de que exista un beneficio mutuo; asegurar la oportunidad de que ambas partes participen; identificar los intereses y escuchar los intereses de la otra parte, desarrollo neutral de posibles soluciones y opciones, y la parte más importante es el cumplimiento del acuerdo.

C. Conflictos y desafíos en proyectos hidroeléctricos en Guatemala.

Guatemala es un país con una riqueza envidiable de recursos naturales. El aprovechamiento responsable de los mismos presentaría grandes beneficios para el país, como los siguientes:

- Vía para reducir la factura petrolera.
- Mitigar las emisiones de gases que contribuyen al cambio climático.
- Incremento de la independencia energética nacional.
- Un sistema eléctrico desconcentrado y limpio.
- Desarrollo de otros sectores de la economía.
- Generación de empleos directos e indirectos.

Estas razones justifican promover el desarrollo hidroeléctrico del país. Guatemala se ha convertido en un foco de interés para el desarrollo de proyectos hidroeléctricos en parte por su posición geográfica estratégica. El potencial disponible de recursos hídricos y la creciente demanda regional de energía eléctrica. Este escenario se ha visto favorecido por la legislación ordinaria de Guatemala, que establece que es *libre la generación de electricidad y no requiere la autorización o condición previa por parte del estado*. A esto se le suma la promulgación de la Ley de Incentivos para el Desarrollo de Proyectos de Energía Renovable. El objetivo es promover el desarrollo de proyectos de generación de energía renovable y establece los incentivos fiscales, económicos y administrativos.

Pese a todas las ventajas que se presentan, este sector encuentra rechazo por algunos sectores de la población. La implementación de una hidroeléctrica en Guatemala debe analizarse con precaución, considerando que se tiene una población culturalmente diversa con ideologías diferentes sobre el valor y utilidad de la naturaleza, es un país post-conflicto que aún no se recupera, es uno de los Estados más débiles del continente en el plano institucional y fiscal, el proceso de registro de propiedad inmueble es largo y complejo, la aceptación de personas ajenas en una comunidad requiere un proceso largo de socialización, se tiene una falta de definición a nivel municipal sobre los límites jurisdiccionales de sus municipios en áreas con potencial hidroeléctrico, los proyectos se ven encarecidos por la falta de infraestructura básica en las áreas con potencial y se tiene una ausencia de comités legales, por lo que el alcance de acuerdos es lento.

Los principales desafíos en Guatemala son de índole política, institucional, socio-ambiental y tecnológica. En este segmento de la investigación, el enfoque busca los desafíos sociales, pero debido a que la sociedad se ve afectada por los cuatro ámbitos citados anteriormente se describen brevemente.

En cuanto a los desafíos políticos, el Estado Guatemalteco arrastra una herencia negativa del conflicto con poblaciones locales desde los años setenta en la construcción de la hidroeléctrica de Chixoy. En la última década ha sido evidente el rechazo de varios municipios a la política de generación.

Los desafíos institucionales hacen referencia a que las instituciones públicas deben garantizar condiciones de equidad entre las partes, interpretando justamente la legislación.

La conflictividad por nuevos proyectos hidroeléctricos, en el 2010 abarcaba 13 de los 22 departamentos y 27 municipios del país. Para enero de 2014, el Viceministerio de Desarrollo Sostenible del Ministerio de Energía y Minas (MEM) informó que se tenía identificados 31 casos de conflictos energéticos de diferente intensidad. Hay municipios que no tienen autorizaciones para nuevos proyectos hidroeléctricos, donde ya se reportan rechazos abiertos a posibles inversiones en ese sector. Estos son los desafíos socio-ambientales.

En el tema tecnológico, Guatemala carece de registros hidrológicos actualizados y de una red hidrométrica que permita establecer el potencial a desarrollar. A nivel geológico se cuenta con planos generales insuficientes para la preparación de estudios básicos serios y la información técnica es necesaria recabarla desde cero para elaborar un diseño de concepto.

Los actores principales del desarrollo de Guatemala son el Estado, los Alcaldes, las comunidades y los inversionistas. Cada actor ha tenido sus fallos y sus dificultades para trabajar en conjunto y alcanzar sus metas. El Estado debe dejar de ser un actor neutro en la conflictividad, pues es el promotor de la política que está en cuestión. Es necesario el apoyo del Organismo Ejecutivo y de otras instituciones públicas para poder prevenir, manejar y resolver los conflictos exitosamente. En las instituciones del gobierno no se considera necesario modificar la política pública para superar la conflictividad, ya que se relaciona con frenar el desarrollo. En la Constitución Política, el Estado es el único dueño de los recursos naturales declarados de dominio público.

Los alcaldes son la autoridad más cercana y accesible a la población, aunque reciben presión del gobierno central, del partido al que pertenecen, de las empresas, de la oposición, de los líderes comunitarios y de los que lo eligieron. Los alcaldes consideran que los conflictos no se pueden resolver a través de los ministerios y que estos solo dañan su gestión. Además, algunos ven una oportunidad para negociar y lograr algunos beneficios favoreciendo a sus allegados y mejorando su imagen política.

Las comunidades tienen visiones diferentes dependiendo de su cultura. Los indígenas tienden a ver la naturaleza como un espacio para convivir y procurar un equilibrio comunitario, asignándole un valor cultural,

ecológico, social y económico. Esta visión contrasta drásticamente con la percepción de los inversionistas que valoran la naturaleza como un recurso económico, susceptible de generar riquezas y oportunidades de inversión y desarrollo.

La conflictividad que existe relacionada con los proyectos hidroeléctricos se agudiza por la falta o debilidad de mecanismos institucionalizados de información, acompañamiento y supervisión de estos proyectos por parte del Estado.

D. Reacciones ante proyectos pasados.

En los territorios con conflictividad existen creencias y necesidades básicas no satisfechas que generan conflictos. Esto más las diferentes concepciones del valor de la tierra y agua en cada una de las culturas presentes en la región, la cosmovisión de los pueblos y otros factores, hace que en el 65% de los municipios del país donde se otorgan licencias para la construcción de hidroeléctricas se presenten conflictos sociales. La cifra aumenta en el caso de la industria minera y en la agroindustria.

Los problemas sociales que surgen como respuesta de una construcción de una hidroeléctrica son obvios y los gobiernos no han desarrollado soluciones efectivas para resolver problemas de este tipo y estos se agravan con el tiempo. La institución responsable de brindar protección al pueblo es señalada de participar en hechos delictivos. Los principales abusos de derechos humanos incluyen la corrupción generalizada institucional. La policía y los militares se han visto envueltos en delitos como secuestro, tráfico de drogas, extorsión, violencia social e incluso mortal y contra mujeres.

1. El caso emblemático de la construcción de la hidroeléctrica Chixoy. El proyecto se empezó a gestionar en 1975 durante el gobierno de Kjell Laugerud. En el Acuerdo Gubernativo en 1978 se establece la necesidad de este proyecto para el beneficio del país. Se hizo posible a través del financiamiento del Banco Mundial y el Banco Interamericano de Desarrollo. Este fue el primer proyecto que requería el desplazamiento de personas y un embalse de esta magnitud.

Se dieron las masacres del río Negro por hacer viable la construcción de este proyecto, según el Informe de la Comisión de Esclarecimiento Histórico. Se debía movilizar la comunidad del río Negro hacia la aldea modelo construida por el INDE, en Rabinal, Alta Verapaz. En este proyecto no se consultó a la población, no se respetó la propiedad comunitaria de la tierra inundada, se masacró a la población para obligarla a salir del área inundada, las aldeas del área del embalse a la fecha no tienen energía eléctrica, no ha habido ningún resarcimiento a las familias que perdieron tierras y seres queridos.

Tabla 56. Lugares poblados inundados por la hidroeléctrica Chixoy

Lugar poblado	Municipio	Viviendas	Area inundada (manzanas)	Régimen de tenencia
Los Encuentros	Cubulco	17	48	Privada
Chitac	Cubulco	5	14	Comunal
Chirramos	Cubulco	49	28	Comunal
Chitomax	Cubulco	20	180	Comunal
Guaynep	Cubulco	11	76	Comunal
Chicruz	Cubulco	92	337	Comunal
Patzalup	Cubulco	10	30	Comunal
Pueblo Viejo	Cubulco	16	48	Comunal
San Juan Las Vegas	Cubulco	12	21	Comunal
Panxic	Cubulco	12	34	Comunal
Paxec	Cubulco	17	239	Comunal
Xuaxán	Cubulco	2	3	Comunal
Pacaná	Cubulco	1	2	Comunal
Chisajcap	Cubulco	2	12	Comunal
Río Negro	Rabinal	150	420	Comunal
Canchén	Rabinal	2	48	Comunal
Camalmapa	Rabinal	6	36	Comunal

Fuente: Barrios, 1996

2. Río Hondo: La resistencia del pueblo de Río Hondo, Zacapa. En el año 2005 la población del municipio de Río Hondo se pronunció mediante una consulta de vecinos contra el proyecto hidroeléctrico río Hondo II, sobre el río Colorado. Hasta el día de hoy los inversionistas no han podido iniciar la construcción a pesar que la Corte de Constitucionalidad sentenció que la Consulta de Vecinos no es vinculante.

Como respuesta a varios casos de hidroeléctricas que han pasado por encima de los derechos humanos, han surgido agrupaciones y colectivos buscando que no se violen los derechos. El Colectivo MadreSelva indica que rechazan los proyectos hidroeléctricos que:

- a. Privilegien a los intereses económicos privados propiciando la destrucción de los recursos naturales.
- b. Atenten contra los derechos socio ambientales y económicos de los pueblos.
- c. Pongan en peligro la vida, bienes y cultura de las comunidades en el área de influencia del proyecto.
- d. No informen ni respeten el derecho a la consulta con las comunidades afectadas.
- e. Promuevan el beneficio económico de unos pocos sacrificando a las mayorías históricamente excluidas.

El colectivo apoya pequeñas hidroeléctricas que no afecten la biodiversidad y que sean manejadas por las comunidades.

Ejemplos exitosos de proyectos de generación eléctrica como el que se desarrolló en la aldea Chel de San Gaspar Chajul, Quiché. Allí el proyecto comunitario genera electricidad a bajo costo por medio de una mini hidroeléctrica que da servicio a tres aldeas con 440 familias. La administración está a cargo de la Asociación Chelence y es un ejemplo vivo de un proyecto comunitario de bajo impacto ambiental con beneficios claros para la población local.

Otra experiencia positiva se encuentra en el municipio de Uspantán, en la Zona Reina de El Quiché, con la hidroeléctrica comunitaria “31 de mayo”. La hidroeléctrica toma una parte del caudal del río mediante una captación lateral. No interrumpe el caudal ecológico y produce electricidad para la comunidad. Se construyó con el trabajo voluntario de los comunitarios y fue financiado con el apoyo de la organización *Siembra de las Islas Canarias*.

E. Lecciones aprendidas.

- 1) El tiempo y los costos de un proyecto hidroeléctrico se incrementan para el sector privado y para el país debido a la resistencia presente ante estos proyectos.
- 2) El paso más sencillo y efectivo económicamente para evitar la conflictividad en torno al desarrollo de proyectos es informar a las comunidades, autoridades y gobierno. Además, es la única forma de evitar la manipulación.
- 3) Se requiere un esfuerzo combinado de instituciones públicas, empresas y líderes sociales representativos para formar diálogos y facilitar la socialización de los proyectos.
- 4) Las comunidades no creen en las instituciones públicas y las consideran canales inefectivos para mediar ante un conflicto.
- 5) Las consultas populares se perciben como producto de la manipulación y como un proceso en el que no se pueden plantear los argumentos en condiciones de igualdad, por lo que se debe convertir en espacios de intercambio equitativo de información para dialogar y negociar.
- 6) En general, se reconoce la necesidad de generar energía eléctrica y no existe oposición directa a los proyectos hidroeléctricos. El rechazo es hacia la forma en que se han gestionado y desarrollado los proyectos hidroeléctricos en los territorios.

F. Modalidades de manejo social en proyectos hidroeléctricos nacionales.

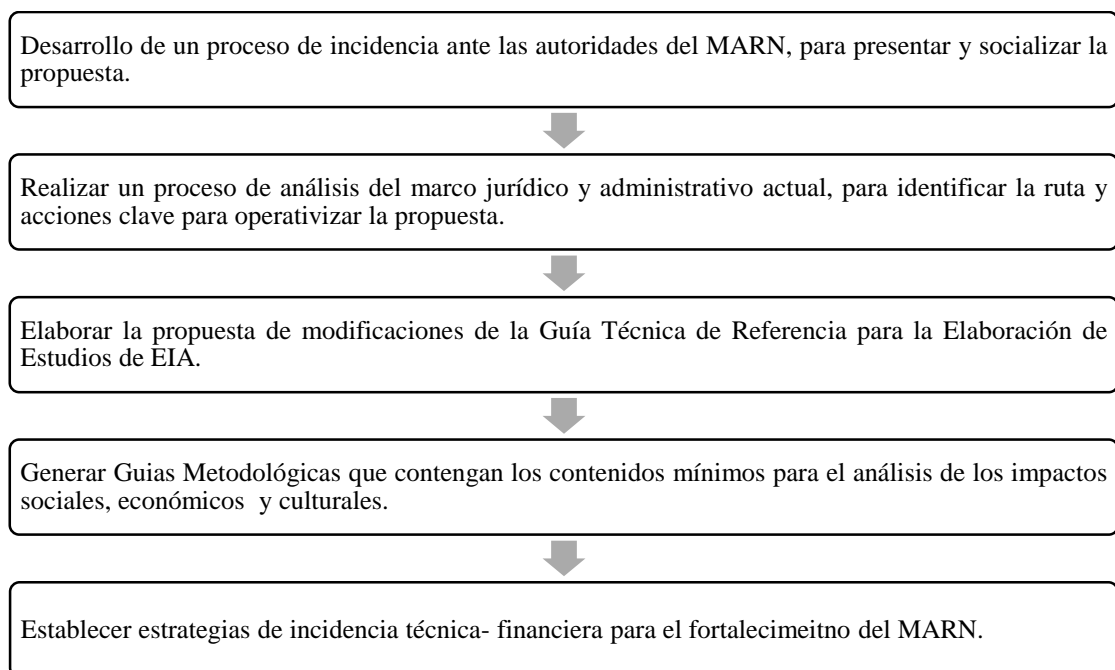
En Guatemala se observa un incremento en la cantidad de proyectos hidroeléctricos que están en fase de gestión o previo a iniciar su construcción, algunos de éstos han estado fuertemente cuestionados por la forma en que fueron concebidos y socializados con la población local.

1. Propuesta de gestión e inclusión social de proyectos hidroeléctricos (dirección de incidencia Pública, 2014). Es el programa en el que se profundizará debido a que es un programa Guatemalteco y presenta una gran variedad de propuestas. Proyecto desarrollado bajo la coordinación de la Dirección de Incidencia Pública, con participación del Instituto de Estudios Ambientales y Recursos Naturales (IARNA), el Instituto de Investigación Económicas y Sociales (IDIES) y el Instituto de Transformación de Conflicto para la construcción de la Paz (INTRAPAZ).

Inclusión social se conoce como el proceso de apertura mediante el cual se promueve y acepta la participación sin discriminación, integral, dinámica, enfocándose en todos los actores interesados en abortar temáticas que los vinculan de alguna manera.

a. Manejo social en la evaluación de impactos de proyectos hidroeléctricos.

Ilustración 124. Ruta para el manejo social en evaluación de impacto ambiental



Fuente: Chojolan, 2011

b. Gestión participativa de la responsabilidad social empresarial La gestión participativa de la responsabilidad social empresarial. Se sustenta en un proceso de construcción colectiva que articule las capacidades, colaboraciones e intereses de los actores en la actividad hidroeléctrica.

Para eso se utilizan tres estrategias:

1) Comunicación proactiva. La planificación de la comunicación con los actores vinculados al proyecto hidroeléctrico es el primer paso y es fundamental para la construcción de confianza y credibilidad mutua. La comunicación debe ser continua durante toda la implementación del proyecto hidroeléctrico. Debe ser flexible, respetuosa y adaptada al contexto social del territorio.

Ilustración 125. Acciones para la planificación de la comunicación



Fuente: Chojolan, 2011

2) Diálogo multiactores para el cambio. Es un proceso continuo para abordar los diferentes puntos de vista e intereses para establecer acuerdos, consensos y una visión compartida sobre la generación, impacto y beneficios de la actividad hidroeléctrica. Reúne a los representantes de los sectores vinculados en el territorio y estos interactúan de una manera equitativa.

3) Participación. Incorporación activa de cada actor vinculado durante las etapas del proyecto. Articula los intereses de la empresa, las comunidades, el gobierno local y central, a través de promover el involucramiento de los actores locales en los proyectos hidroeléctricos.

4) Proyectos socioambientales comunitarios Dentro de esta propuesta se desarrollaron tres metodologías.

5) Fomento de la pre inversión de proyectos para Micros y Pequeñas Centrales Hidroeléctricas Comunitarias y/o Municipales. Pretende contribuir con el desarrollo económico rural integral a través de la gestión de proyectos hidroeléctricos comunitarios o municipales para la generación de energía eléctrica de bajo costo que permita mejorar las condiciones de vida de las poblaciones a nivel local.

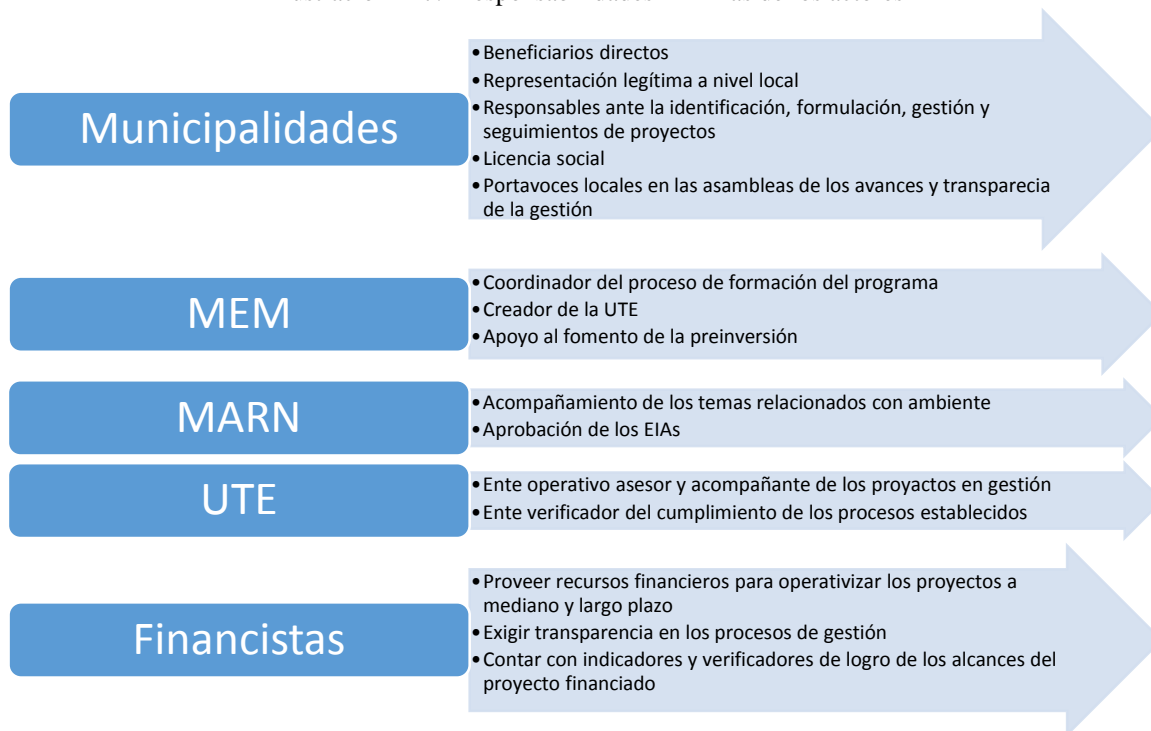
Ilustración 126. Ruta estratégica del proceso social



Fuente: Chojolan, 2011

Dentro de los actores en la región están las municipalidades, el Ministerio de Energía y Minas (MEM), el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN), la Unidad Técnica de Ejecución (UTE) y los financistas ya sean internos o externos. Cada uno de estos tiene responsabilidades mínimas, entre las cuales están:

Ilustración 127. Responsabilidades mínimas de los actores



Fuente: Dirección de Incidencia Pública, 2014

1) Reconocimiento Económico al Servicio Ambiental Hidrológico (RESAH). Contribuye con el desarrollo económico rural integral a nivel comunal o municipal, a través de actividades que promuevan la sustentabilidad, responsabilidad y participación social en el acceso y uso del recurso hídrico, a través de un mecanismo de reconocimiento económico en el uso de bienes y servicios ambientales, con énfasis en el recurso hídrico. El objetivo final de este proyecto socioambiental comunitario es asegurar en el largo plazo, la protección y el abastecimiento de agua o para otros usos, dentro de un ambiente sano y equilibrado con la participación activa y toma de decisiones de los actores locales que acceden y usan el recurso hídrico, mitigando las vulnerabilidades locales y la recurrencia de conflictos por el acceso y uso a este recurso.

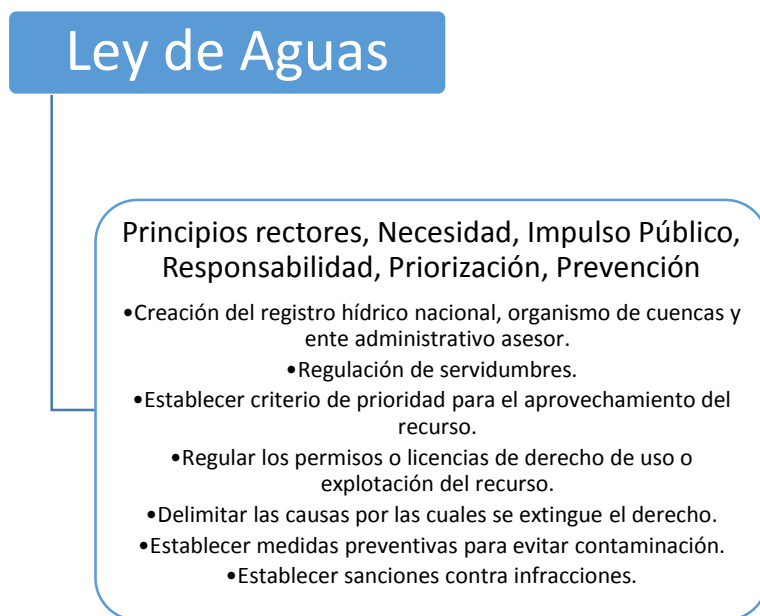
2) Manejo Responsable de los Recursos Naturales de las Microcuencas. Es una estrategia para garantizar en el largo plazo la disponibilidad y calidad del agua para usos diversos como el consumo humano, la agricultura y la generación eléctrica. El marco integrador de la propuesta es el Plan de Manejo Integrado de Cuenca (PMIC), el cual constituye un instrumento de planificación para utilizar, manejar, rehabilitar, proteger y conservar los recursos naturales en las cuencas hidrográficas de acuerdo a los enfoques sistémicos, socioambiental, integral y del agua como recurso integrador de la cuenca.

c. **Propuestas Jurídico-Legales para la Gestión de Proyectos Hidroeléctricos en Guatemala.** Se trabaja la Ley General de Electricidad, el Régimen nacional de aguas y la Participación ciudadana. En cuanto a la Ley General de Electricidad se proponen cambios al marco jurídico vigente que refleje un enfoque integral del manejo de recursos naturales, reduzca los riesgos de privilegios y promueva procesos incluyentes para la gestión de generación eléctrica. En el régimen nacional de aguas se propone un marco jurídico nuevo a través de la creación de una Ley de Aguas, que contemple las necesidades actuales. Además se propone la creación de entes de derecho público encargados de la prevención y resolución de conflictos relacionados con la gestión de agua. El tema de participación ciudadana plantea una propuesta que abarca procesos de diálogo, negociación y participación que involucra la gestión hidroeléctrica.

Actualmente, se discute sobre el Convenio 169 del OIT, Organización Internacional del Trabajo. En esta propuesta se incluye los derechos de participación de los pueblos indígenas y todos los grupos de población guatemalteca que estén involucrados en los proyectos hidroeléctricos. Esta propuesta se fundamenta en dos sistemas diferenciados de participación ciudadana implementados en Latinoamérica, uno de Perú y otro de Colombia. Ambos casos considerados exitosos y desarrollados en contextos similares a los de Guatemala.

1) Ley de Aguas

Ilustración 128. Propuesta de Ley de Aguas



Fuente: Dirección de Incidencia Pública, 2014

La intención de crear una norma jurídica es para regular y promover puntos como: el uso racional del recurso hídrico nacional, establecer un marco jurídico para el desarrollo de políticas públicas como elemento preventivo de conflictividad social que surjan por el deterioro del recurso, colaborar con el fortalecimiento de

la seguridad ambiental nacional, generar uniformidad administrativa en lo referente a procedimientos que deban desarrollarse ante la administración pública dentro del régimen referente al agua, concordancia de la normativa con los preceptos constitucionales y necesidades nacionales, desarrollar el régimen jurídico de aguas dentro del Derecho Público en virtud de la obligación constitucional hacia el estado para su regulación.

2) Ley de participación ciudadana

Ilustración 129. Propuesta de participación ciudadana



Fuente: Dirección de Incidencia Pública, 2014

Esta propuesta busca promover procesos incluyentes en la gestión de proyectos hidroeléctricos, cuya carencia ha sido uno de los factores de conflictividad social y uno de los aspectos críticos que afectan la efectividad de las empresas relacionadas con la generación de energía en el país. En el diagnóstico realizado por URL-DIP 2014, se encontró que en la mayoría de casos las comunidades se mostraban resistentes hacia los proyectos hidroeléctricos no por el proyecto en sí, sino por la forma en la que son gestionados. Se encontraban inconformes con la forma de otorgar licencias sin información y sin diálogo entre inversionistas, gobierno y comunidades.

d. Consenso, Articulación y Participación (CAP). Esta propuesta se basa en dos iniciativas orientadas al diálogo-acción:

1) Fortalecimiento institucional de las entidades del gobierno. Busca establecer un diálogo de coordinación y articulación interinstitucional, a través de un PGI. Este pretende lograr una respuesta coordinada a nivel interinstitucional para la gestión efectiva de los proyectos hidroeléctricos y la prevención y reducción de conflictividad causada por los mismos. El Plan de Gestión Interinstitucional (PGI) estaría a cargo del Comité de Gestión Interinstitucional (CGI), conformado por las instituciones nacionales públicas que tienen relación directa con los proyectos hidroeléctricos bajo la coordinación del MEM.

2) Implementación de una metodología de diálogo multiactores para el cambio. El diálogo puede asumirse como un medio para conocer la posición o la opinión de una persona o de un grupo de personas acerca de un tema de interés común. Se puede definir como un espacio caracterizado por la empatía y la confianza, donde las partes interesadas se acercan, se conocen, se escuchan y son capaces de llegar a acuerdos.

Este tipo de diálogo es posible cuando se construyen condiciones de confianza y los actores se sienten respetados, valorados y reconocidos.

Gráfico 1. Diálogo multiactor para el cambio



Fuente: Dirección de Incidencia Pública, 2014

Como fundamento para la propuesta CAP se presenta un inventario de Prácticas y Propuestas para la Gestión e Inclusión Social:

- 1) Elevar la capacidad técnica del MEM y MARN.
- 2) Clarificar el rol de las municipalidades.
- 3) Política institucionalizada de diálogo.
- 4) Información y procesos transparentes.
- 5) Desarrollar mecanismos efectivos de diálogo, mediación, negociación y resolución de conflictos.

2. Un nuevo marco para la toma de decisiones. Expone de manera detallada los resultados y conclusiones de la revisión y análisis de represas a nivel mundial efectuados por la Comisión Mundial de Represas (CMR).

3. Guía metodológica para el desarrollo de una Estrategia de Abordaje Social en Proyectos de Generación de Energía con Fuentes Hídricas. Tiene como público objetivo a los desarrolladores de proyectos con recursos hídricos. El eje central es el abordaje social basado en la pluralidad participativa de actores y el cumplimiento de políticas que garanticen la sostenibilidad en áreas financieras, sociales y ambientales.

a. Inversión comunitaria estratégica. Centra su atención en cómo llevar a cabo la inversión privada en función de las prioridades de desarrollo expresadas por los actores clave de los territorios.

b. Relaciones con la comunidad y otros actores sociales. Es complementario al documento de Inversión comunitaria estratégica.

c. Principios del Pacto Mundial de Responsabilidad Social Empresarial de las Naciones Unidas. El Pacto Mundial se encuentra integrado por diez principios basados en declaraciones y convenciones universalmente aceptadas. Los principios se encuentran organizados en áreas de derechos humanos, laborales, medio ambientales y lucha contra la corrupción en las actividades y la estrategia de negocios de las empresas.

A nivel mundial los enfoques de planificación, gestión e implementación de proyectos hidroeléctricos han ido evolucionando. Se tiene una experiencia acumulada en temas desde factibilidad tecno-económica hasta

la comprobación de impactos sociales, económicos y ambientales, así como una propuesta posterior de planes de mitigación y de compensación por daños. La tendencia actual es implementar los proyectos hidroeléctricos bajo un esquema integral multidimensional donde los aspectos socio-ambientales, socioeconómicos, de inclusión social y consenso, de desarrollo sostenible, de cumplimiento de derechos, de prevención y mitigación de daños, responsabilidad social empresarial y de inversión comunitaria estratégica, entre otros, se ponen en primer plano. Cuando se quiere calificar como efectiva la implementación de una hidroeléctrica se toma como elemento fundamental la inclusión de las poblaciones afectadas y especialmente las más vulnerables. Se hace referencia a aspectos como participación activa e incluyente, diálogo, información transparente y de calidad, estrategias consensuadas de planificación y puesta en marcha, derechos de las poblaciones afectadas, inversión comunitaria estratégica con impacto positivo, alianzas público-privadas y desarrollo territorial.

G. Estudio de casos.

1. Lago de Atitlán.

a. Descripción. La cuenca del Lago de Atitlán se ubica en la vertiente del Pacífico entre una elevación de 1,562 y 3,340 msnm, siendo su altura promedio de 2,205msnm. En esta zona el clima es variado debido a las diferencias de elevación, humedad que provee la masa boscosa de la región y del lago y lo heterogéneo del relieve. Posee una temperatura anual promedio de 18.6°C y una precipitación anual de 1,277 mm que se desarrolla a lo largo de 105 días. (Cabrera, 2003)

Esta cuenca es cerrada y sus aguas convergen en el punto más bajo de esta, lugar donde se encuentra el lago. Esto lo que representa es que el lago no presente un drenaje externo visible sino únicamente fisuras de una falla geológica localizadas en el fondo del mismo. El lago representa el 21% del área total de la cuenca.

Los principales afluentes del lago se ubican en el norte de este, y son el Panajachel y Quiscab. Algunas otras corrientes confluyen durante la época lluviosa, sin embargo en época de estiaje estas son efímeras. La utilización de los ríos en la parte alta es en su mayoría para riego de hortalizas. (Cabrera, 2003)

Los suelos de la cuenca son bastante heterogéneos, debido a que la formación geológica que tuvo esta presentó distintos materiales los cuales hace que los suelos de esta región tengan distintas características físico-químicas. Distintas partes de esta localidad presentan procesos de erosión.

De las 22,000 hectáreas que se dedican a la agricultura en esta zona, lo cual representa el 35% del total de la cuenta. La cobertura vegetal original es bosque de coníferas, latifoliadas y mixtos. Actualmente existen 15,000 hectáreas de bosques lo que representa un 25% de la cuenca. (Cabrera, 2003)

b. Situación actual. Debido a que el lago es el punto de convergencia de todos los afluentes de la cuenca, esto hace que el lago en los últimos años presenta alzas en los índices de contaminación ya que todo lo que vierten las comunidades hacia los ríos llega en algún momento al lago. Es por eso que se han tomado distintas acciones encaminadas a la protección del lago y su cuenca, como la ley de medio ambiente. Otra iniciativa implementada fue la declaración de área protegida la como “Reserva de uso múltiple” la cuenca del lago de Atitlán por medio del decreto 64-97 y para monitorear y garantizar la preservación de esta nueva área se fundó en 1,999 la Unidad Técnica de Atitlán la cual es la que se encarga de administrar el área protegida. En materia regulatoria se han mencionado ciertas plantas de tratamiento de aguas residuales, como parte de proyectos municipales y se han tomado acciones específicas en materia de reforestación, prevención de incendios, regulación de pesca, medidas para conservar el suelo, regulaciones de transporte acuático y construcciones a la orilla del lago. Sin embargo todas estas acciones no han podido ser suficientes para que se preserve en excelentes condiciones el lago de Atitlán. (Cabrera, 2003)

Es por eso que en el año 2,000 se desarrolló un plan denominado “Plan Maestro” y hoy en día se encuentra bajo análisis y revisión por parte del CONAP. Todavía no se ha difundido entre los departamentos y distintos sectores poblacionales de la cuenca. Por el momento dicho plan, no puede ser utilizado como marco referencial de proyectos de inversión y normativo para los proyectos desarrollados en la cuenca. Esto ha obligado a que se encaminen diversas acciones contenidas en el plan de forma aislada y sin una dirección integral por lo que sus alcances son limitados.

Otra problemática que afecta al lago, es que los fondos de los gobiernos municipales de la zona, no se tienen contemplados rubros especiales para acciones y actividades de protección del lago. Los fondos sociales de las entidades del sector público son muy escasos para financiar proyectos de manejo y conservación de la cuenca. Por otro lado, la poca o nula participación de la población en reconocer la importancia que tienen en la conservación del lago es uno de los factores que atentan contra la vida de este. (Cabrera, 2003)

c. Problemática cuenca Lago de Atitlán. Uno de los principales problemas de la cuenca del lago de Atitlán es la contaminación proveniente de las aguas residuales que no reciben tratamientos en los asentamientos humanos ubicado en las cercanías del lago, concentrados en la parte norte de la cabecera departamental de Sololá y Panajachel. A esto se le agregan químicos provenientes de la producción de hortalizas y verduras que se cosechan en esta zona y las aguas mieles extraídas de la producción de café en la zona sur. El hecho de ser una cuenca endorreica maximiza los efectos de la contaminación. (Cabrera, 2003)

Una situación bastante crítica es el hecho que las medidas que se han tomado solo abarcan el plano legal e institucional y las obras físicas han sido poco abordadas, ya que únicamente el proyecto ALA, el cual es un proyecto que busca el desarrollo sostenible en la cuenca del lago de Atitlán y es impulsado con ayuda de la Unión Europea, Construyó 3 plantas de tratamiento ubicadas en el Barrio San Antonio, Barrio san Bartolo y Panajachel; por otra parte con un apoyo monetario del Fondo de Intervención Social (FIS) se construyó una planta de tratamiento en la Colonia María Tecún. El bajo interés en desarrollo de obras se ve reflejada en que

las plantas de tratamiento ubicadas en Panajachel y en el barrio San Bartolo, las cuales no se encuentran en uso por problemas de diseño y mantenimiento.

Se ha impulsado proyectos como la construcción de beneficios húmedos y secos impulsados por ANACAFE y el aprovechamiento de las aguas de la cuenca en seis diferentes maneras. Sin embargo los conflictos siguen ocurriendo porque las comunidades acaparan el agua y no permiten que sea utilizada por otras comunidades para el consumo humano. La falta de normativas regulatorias es otro de los generadores de conflictos. Un caso muy particular es la construcción de un lavadero público ubicado en Santa Lucía Uvatlán, el cuál contamina con aguas grises un manantial de agua utilizado para abastecer comunidades aguas abajo. Otro caso es la construcción de drenajes y una fosa séptica en Santa Clara la Laguna pero de acuerdo a vecinos se generaría contaminación en un nacimiento de agua que pertenece a la comunidad de Santa María. Estos problemas se dan a su vez por la falta de estudios de impacto ambiental que muestran una visión de lo que ocurrirá con este tipo de proyectos. (Cabrera, 2003)

La existencia de la Autoridad para el Manejo Sostenible de la Cuenca del Lago de Atilán y su Entorno (AMSCLAE) es importante siempre y cuando esta fuera un vínculo que generase una relación activa y eficiente entre el sector público y privado lo que se tradujera en acciones concretas para el buen uso de las áreas de la cuenca. A pesar del incremento del presupuesto de esta entidad en un 75%, de Q. 264,305 en 1998 a Q2, 867,762 en 2,000 no son fondos suficientes ya que al no contar con respaldo político no se desarrollan planes de gestión efectivas en los que se pueda fortalecer la participación activa de la población local para la conservación y el uso sostenible de los recursos de la cuenca.

2. Cuenca del Lago Arenal.

a. Problemática. La cuenca del lago Arenal se encuentra en Costa Rica y es un reservorio de agua que se utiliza principalmente para dos actividades. La primera es la generación de energía por medio de una hidroeléctrica y la segunda es para riego de tierras que se dedican a la agricultura en esa zona. (Echeverría, 2003)

La problemática de la cuenca del lago Arenal comenzó con la construcción de una represa en el lado este del lago, con la que se logró almacenar más de 2,000 millones de metros cúbicos de agua para generar desarrollo hidroeléctrico, proyecto que en la actualidad logra abastecer el 25% de la demanda energética Costarricense y regar más de 40,000 hectáreas de tierra en la cual la precipitación anual es baja, pero la tierra sumamente fértil, lo cual representa cerca del 77% de las áreas de riego de Costa Rica

Llegando al final de la década de 1,980 se empezó a generar ciertas situaciones que atentaban contra la estabilidad de la cuenca. Aumentaron los niveles de deforestación y esto hacía que se generara sedimentación en el embalse. Este conflicto se planteó en los estudios de impacto ambiental realizados previamente, por lo

que la atención de las entidades de gobierno se tuvo que enfocar en la protección de la masa boscosa de la zona y desarrollar una visión sustentable del proyecto. A pesar del gran impacto social que ha tenido el proyecto, ciertos sectores se han beneficiado en mayor parte que otros. El país se ha logrado liberarse de la emisión de contaminantes al usar energía limpia, que a su vez genera un empuje económico a la región. En contraste con diversos sectores han tenido discrepancias sobre la construcción del embalse y el destino de gran parte del recurso hídrico para riego. (Echeverría, 2003)

Junto con esta problemática, diversas ONG que operan en el área se percataron que debido al aumento de la actividad agrícola, se comenzaron a generar problemas debidos a la escorrentía de la agricultura, la cual lleva plaguicidas y fertilizantes a los cuerpos de agua que alimentan el Parque Nacional de Palo Verde. Esto ha hecho diversas organizaciones comiencen a trabajar para proteger los humedales de las tierras bajas, ya que estos son los que resultan mayormente afectados por la situación de expansión agrícola. Lo que se busca es que se expanda la economía aplicando un enfoque sectorial de tecnologías amigables con el ambiente para el buen manejo de los conflictos generados.

Esto hizo que varias instituciones gubernamentales empezaron a tomar medidas, sin embargo no tenían un plan de acción definido por lo que las acciones implementas se realizaron de forma aislada, mermando así el alcance de estas. (Echeverría, 2003)

Luego de ver que estas acciones no lograron generar cambios sustanciales, se comenzó a trabajar en el Plan de Desarrollo y Gestión de la Cuenca del Lago Arenal el cual buscaba proveer una visión unificada del desarrollo al área de la Cuenca por medio de la participación y consulta constante.

b. GIRH en el caso de la Cuenca del lago Arenal. En definitiva este caso es de gran importancia para Costa Rica ya que el agua de ese sector tiene un uso determinante para dos grandes actividades económicas. Se plantea incorporar una visión a pesar de que no existen incentivos que promuevan la transparencia, participación y la toma de decisiones en conjunto con las partes. (Echeverría, 2003)

Lo que se pretende con la implementación de la GIRH en este caso es que se generen beneficios económicos a la sociedad costarricense, en los cuales se deben de incluir aspectos de tipo social, económico y de protección al medio ambiente por medio de la participación de todas las partes para lograr que la organización de la cuenca sea representativa, abierta e inclusiva. Es determinante que la planificación y la coordinación de toda operación a realizar para aumentar la eficiencia de esta y evitar costos de operación altos al momento de implementar.

Se debe de plantear una política de fijación de precios destinados a la gestión de recursos hídricos es indispensables, estas se realiza de acuerdo al volumen lo que haría que se logran prácticas eficientes en cuanto al uso del recurso. (Echeverría, 2003)

3. Río Lempa.

a. Descripción de la región. La cuenca del río Lempa se encuentra en una zona fronteriza entre tres países de Centroamérica, Guatemala, El Salvador y Honduras. Esta convergencia se encuentra en la región denominada como el Trifinio, la cual se localiza en la parte alta de dicha cuenca y cuenta con unos 7500 kilómetros cuadrados. La región está conformada por 45 municipios pertenecientes a los departamentos Santa Ana y Chalatenango en El Salvador, Ocotepeque y Copán en Honduras y Chiquimula y Jutiapa en Guatemala. (Artiaga, 2003)

Esta zona es muy particular ya que coinciden tres cuencas de importantes cuerpos de agua de la región, las cuales se describen a continuación:

- Cuenca del río Ulúa, perteneciente a Honduras.
- Parte alta de la cuenca del río Lempa, ubicado entre Guatemala, Honduras y El Salvador con dren hacia la costa del Pacífico.
- Cuenca del río Motagua, la cual drena hacia Guatemala.

Además de la influencia de estas tres cuencas en dicha zona, el Trifinio tiene una importancia biológica considerable ya que es parte de la Biósfera de la Fraternidad. En esta zona se identifican 5 tipos de bosques de los cuales un 29% pertenecen a territorio guatemalteco, un 34% a territorios salvadoreños y un 59% a territorio hondureño. El 75% de la cuenca se describe como montañosa y complejos para el desarrollo agrícola debido a que en su mayoría presente tierras semi áridas con poca cobertura vegetal, a pesar de esto se estima que un 72% de la tierra es utilizada para la siembra de cultivos. Esta zona abarca una extensión de aproximadamente 6,227 kilómetros cuadrados. (Artiaga, 2003)

Hacia el 2,000 la zona contaba con una densidad poblacional promedio de 89 habitantes por kilómetro cuadrado, equivalente a unos 670,000 de habitantes de los cuales el 70% de estos se ubicaban en zonas rurales y la mayoría, 87%, vive en condiciones de pobreza y del cual 53% en condiciones de pobreza extrema.

Sin embargo los problemas que aquejan esta zona son severos, debido a que existen altos niveles de sedimentación que provienen de las partes altas de la misma y la contaminación provocada por las aguas negras de ciudades como Ocotepeque y Esquipulas. La deforestación y los incendios forestales han producido pérdidas en cuanto a la regulación del agua y altos niveles de erosión lo que se traduce en un gran riesgo en cuanto a desastres naturales para las poblaciones del sector. Estimaciones indican que aproximadamente que anualmente se tala un total de 5,000 hectáreas de bosque las cuales no son reforestadas. (Artiaga, 2003)

b. Antecedentes. La parte alta de la cuenca del río Lempa se ha caracterizado a lo largo de su historia por ser un territorio olvidado, marginado y donde los esfuerzos para impulsar desarrollo por parte de los gobiernos son escasos o casi nulos, esta situación se ve reflejada en la carencia de infraestructura básica para el desarrollo de dicha zona.

Esta situación ha obligado a que zonas pertenecientes a la parte alta de la cuenca, como lo es el Trifinio hayan optado y desarrollado en la zona una integración “natural”, en la que se enfocan en desarrollar una relación comercial dinámica y sistemática producto de la exclusión y la inexistente relación con otros municipios propios de los países centroamericanos. (Artiaga, 2003)

Con el transcurrir de los años la situación ha ido mejorando para esta zona ya que a mediados de los noventas se comenzó con la implementación de distintas iniciativas que buscaban desarrollar la infraestructura de la zona y que lograron mejorar la principal red vial; por su parte, el sistema vial secundario aún presenta carencias lo cual ha tenido una influencia considerable en la capacidad de comercializar los productos agrícolas de la zona, situación la cual se hace más evidente en la parte perteneciente a Honduras país el cual ha invertido menos en la zona. (Artiaga, 2003)

c. Problemática. De acuerdo con la historia de la zona, la parte alta de la cuenca del río Lempa y en especial la zona del Trifinio, es una zona con problemas de integración que corresponden en mayor parte a su ubicación fronteriza y alejada de los cascos urbanos, lo que genera una gran pérdida de los suelos que se destinada a actividades agrícolas y de pastoreo de ganados, además de un aumento en la explotación no sostenible de áreas boscosas, que aumenta la escorrentía superficial dando como origen grandes inundaciones en la parte baja de la cuenca en municipios pertenecientes al territorio Salvadoreño, todo esto inmerso en un medio que carece de infraestructura para brindar servicios básicos. Esta situación se evidenció a partir del huracán Mitch en 1998, desastre natural que afectó a la zona centroamericana y que en el área del Trifinio perteneciente a El Salvador se observó un aumento en cuanto a la contaminación y sedimentación. (Artiaga, 2003)

La región presenta una dinámica social muy viene estructurada, en la cual existen vínculos socio-económicos entre las poblaciones de la zona, sin importar la ubicación geográfica y división política de la misma. Es así como se definen los problemas que aqueja a la zona, algunos asociados con el manejo de los recursos naturales

Estas crecientes problemáticas y las consecuencias que se comenzaron a hacer evidente hace ya varias décadas, hizo que los gobiernos de los tres países en cuestión, tengan interés en poder conservar esta área. Así fue como se concretó hacia el final de 1987 la iniciativa del denominado “Plan Trifinio”. (Artiaga, 2003)

EL plan busca generar un desarrollo sostenible, cimentado en varios aspectos determinantes para el su desarrollo. El primero es la participación ciudadana, ya que sin una ciudadanía que se involucre en los planes de desarrollo y mejoramiento del manejo de los recursos, todos los esfuerzos que se hagan son en vano ya que no se crearía una conciencia en el manejo de los mismos. La descentralización en el manejo de los recursos de la zona, es vital para lograr desarrollar el plan sostenible. Esto generaría un uso consiente de los recursos basándose en la equidad y la incorporación de la perspectiva de género. Así es como el Plan define las siguientes líneas de acción:

- Desarrollo social: mejoramiento de la calidad de vida poblacional.
- Desarrollo económico: aumento de la capacidad productiva, tomando en cuenta el desarrollo ecológico integral.
- Integración trinacional: facilitación de servicios y flujo de personas entre los países que conforman la región.
- Protección ambiental: busca combatir la degradación, explotación y mal manejo del suelo y los recursos naturales.

d. Importancia del caso para GIRH. Este caso es una evidente evolución en cuanto a la gestión de un espacio que se encuentra entre tres países que comparten una cuenca. Se muestra que, logra concretar programas que busquen la integración de la sociedad, promover el buen uso y manejo de los recursos, estos se van expandiendo progresivamente hacia otros ámbitos lo cual hace que se incluyan al manejo sostenible otros temas y se pueda plantear así una gestión integrada de los recursos hídricos sólidos. (Artiaga, 2003)

Es importante recalcar que a pesar de las complicaciones políticas que presenta el caso, que para abordar los problemas relacionados con la sostenibilidad de recursos es necesaria la participación de las personas de la zona, además de que ellos se sientan parte de la problemática y al mismo tiempo parte de la solución.

Este proceso tiene una gran relevancia en el ámbito político ya que sirve como base de un marco institucional para que se implemente el desarrollo y unión centroamericana, para que se implementen planes regionales de manejo territorial siendo el próximo tema a tocar el agua ya que inicialmente no se ha tocado temas de calidad ni cantidad del agua, estas situaciones se dan hasta que se experimentan situaciones críticas con el recurso a tal punto que afectan el desarrollo de una población. (Artiaga, 2003)

4. Manejo de la cuenca del Canal de Panamá.

a. Descripción. Con un total del 6.5% del territorio total del territorio panameño, la cuenca del Canal de Panamá cuenta con 5,527 kilómetros cuadrados, la cual se compone principalmente por dos principales componentes, la cuenca tradicional y la occidental. (Castro H., 2003)

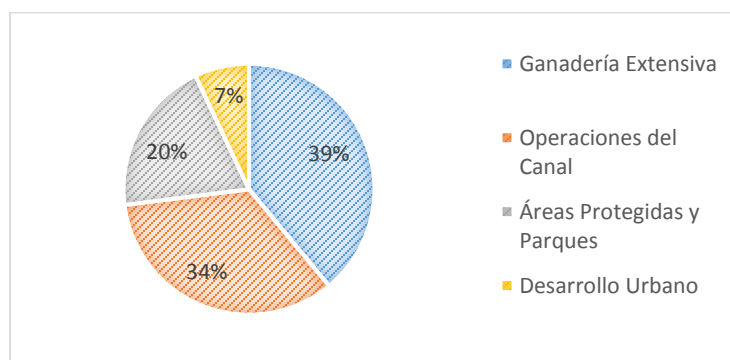
La cuenca tradicional es un área de 3,396 kilómetros cuadrados, alberga al 79% de la población total e incluye las cuencas de los ríos Chagres y Grande los cuales fluyen al norte y sur de la misma respectivamente. Esto forma parte de lo que se conoce como el Corte Galliard, el cual se construyó entre 1904 y 1914 a través de las tierras altas del país. En este sistema se incluyen, además de los ríos mencionados anteriormente los lagos Gatún y el lago Alajuela. Este último fue creado como una reserva de agua extra luego de que se construyera la represa Madden. La estructura social de esta zona incluye componentes urbanos y se encuentra integrada plenamente a la economía del país.

La cuenca occidental cuenta con un total de 2,131 kilómetros cuadrados, alberga al 21% restante de los pobladores de la cuenca e incluye las cuencas de los ríos Caño Sucio, Coclé del norte e Indio, los cuales vierten hacia el Océano Atlántico. Esta cuenca cumple la función de ser un cinturón de protección y reserva de agua de la cuenca tradicional. En esta zona las actividades socioeconómicas se pueden describir como de tipo rural. (Castro H., 2003)

Con una población que ha aumentado 9 veces su tamaño en 50 años, pasando de tan solo 21,000 habitantes en 1950 a 188,000 en el año 2000, hoy por hoy esta se ubica en áreas rurales y asentamientos, 60% y 40% respectivamente. La situación de pobreza se presenta en esta zona, debido a que el 60% de los pobladores pertenecientes tanto al área urbana como rural, viven en condiciones de pobreza. Las consecuencias más graves del desarrollo rural y urbano insostenibles se encuentran al sur de la cuenca. (Castro H., 2003)

El uso de la tierra en la cuenca del canal de Panamá se describe en la gráfica a continuación:

Ilustración 130. Usos del suelo cuenca del Canal de Panamá



Fuente: Castro H., 2003

El recurso hídrico de dicha cuenca tiene que suplir demandas de tipo internacional y locales. De los 5,000 millones metros cúbicos de agua producidos anualmente en esta cuenta aproximadamente 500 millones de metros cúbicos se descargan al océano por prevención de inundaciones en las esclusas del Canal. La mayoría del agua (94%) es utilizada por el Canal, instalación que provee servicios para el 4% del tráfico marítimo a nivel mundial, y distribuye su uso de la siguiente manera:

- 60% es usado para la operación y manejo de esclusas.
- 34% utilizado para generación hidroeléctrica.
- 6% utilizado por el Instituto de Acueductos y Alcantarillados Nacionales (IDAAN) para proveer de agua potable a más del 65% del sector industrial y aproximadamente el 50% de la población panameña.

Esta distribución en cuanto al uso del recurso, está íntimamente con la economía del país, pues el 85% de PIB es aportado por el sector industrial y de servicios, el sector agrícola brinda un 10%. Así pues, en la zona urbanas cercanas al Canal es donde se encuentra las principales actividades de servicios e industria, por lo que

se dice que es aquí donde radica la importancia de la cuenca del Canal de Panamá, porque el 80% del PIB se forma dentro de la cuenca que alberga a más de la mitad de la población. (Castro H., 2003)

b. Problemática. Conociendo e identificando lo que representa el recurso hídrico y la cuenca del Canal de Panamá, se han identificado tres factores por los que llegan a afectar la calidad, sostenibilidad y más crítico aun la disponibilidad del suministro de agua, para el Canal y las ciudades cercanas a este.

1) Erosión. Hoy en día, la erosión no es un problema relevante, sin embargo la Autoridad del Canal de Panamá (ACP) ya cuenta con un programa para la prevención de sedimentos. Esta se logra con monitoreo de los sedimentos suspendidos en los ríos más importantes de la cuenca, además de programas de reforestación y educación ambiental. De acuerdo con los estudios realizados por la ACP se estima que se ha perdido un 17% de la capacidad de almacenamiento de agua por efecto de la sedimentación. Una medida implementada para manejar este problema es aumentando el volumen de almacenamiento y disminuir las descargas por medio de los dragados hechos en el Lago Gatún. (Castro H., 2003)

2) Calidad del agua. Esta cuenca provee el agua para que funcionen cuatro plantas de tratamiento, debido a los problemas significativos de contaminación en las aguas de la cuenca. Esto fue determinado por la Autoridad Nacional del Ambiente y el Instituto de Investigaciones Tropicales Smithsonian. La contaminación presente en la zona presenta dos orígenes, agro-industrial y urbano. (Castro H., 2003)

3) Cantidad de agua/demanda. Según estudios realizados por la ACP se ha evidenciado que una disminución significativa en la precipitación de la cuenca no es muy factible. No obstante las fluctuaciones en el volumen de agua varían debido a la presencia del fenómeno del Niño. (Castro H., 2003)

c. Importancia del caso para la GIRH. Este es un caso en el cual se observa una serie de problemas muy peculiares que se presenta en una cuenca catalogada como artificial, manejada por instituciones públicas, que a su vez cuenta con una población donde la aceptación y cultura de proyectos hidroeléctricos es muy deficiente.

Es por eso que se necesita evidenciar e identificar a la GIRH como una herramienta útil para el manejo de cuencas de este tipo. No obstante es necesario definir un marco legal adecuado y las estructuras que van a manejar los recursos, las cuales deben de contar con conomiento científico. Las poblaciones no se dejan a un lado en la implementación de estos planes y es por eso que la cultura hidráulica no se ha fortalecido en estas zonas. Es así que la importancia de la GIRH en este caso radica en que se logra un desarrollo sostenible para la región de Panamá (Castro H., 2003)

X. LEGISLACIÓN INTERNACIONAL DE AGUAS.

A. Corporaciones Municipales y la gestión del agua

1. Los municipios y el agua en Guatemala. *“El Código Municipal en su Artículo 2 define al municipio “la unidad básica de la organización territorial del Estado y espacio inmediato de participación ciudadana en los asuntos públicos. Se caracteriza primordialmente por sus relaciones permanentes de vecindad, multiétnicidad, pluriculturalidad, y multilingüismo, organizado para realizar el bien común de todos los habitantes de su distrito.”*

En este mismo Código en su Artículo 35, inciso e, establece que le compete al Concejo Municipal *“el establecimiento, planificación, reglamentación, programación, control y evaluación de los servicios públicos municipales, así como las decisiones sobre las modalidades institucionales para su prestación, teniendo siempre en cuenta la preeminencia de los intereses públicos”.*

Así mismo, el Código de Salud le delega a las municipalidades, todas las actividades necesarias para realizar el manejo y abastecimiento de agua así como el saneamiento de las mismas. Estas atribuciones han sido delegadas hacia estas entidades debido a la nula existencia de un ente regulador y una ley. En el único municipio el servicio de agua es manejado por una empresa, llamada EMPAGUA la cual distribuye aproximadamente unos 120,000 metros cúbicos de agua dentro de la ciudad al año.

2. Los municipios y el agua en Latinoamérica. Alrededor del mundo una de las grandes limitantes para abordar las problemáticas del agua, se relaciona a su extensión territorial. En varios casos para abordar estas problemáticas es necesario la intervención de diversos municipios ya las cuencas se encuentran entre varios municipios. (Jouravlev, 2003)

Debido al crecimiento poblacional los municipios son los usuarios mayoritarios de los cuerpos de agua. Es por eso que constantemente se tienen hacer inversiones para desarrollar sistemas que mejoren el abastecimiento, la captación y la protección del agua; debido a este crecimiento poblacional, demanda sobre los cuerpos de agua ha aumentado, exponiendo a las fuentes a degradación o contaminación. La dependencia para la vida del agua hace necesaria la inversión para generar nuevas áreas de captación o tratar las aguas contaminadas. El costo de estos proyectos es sumamente alto por lo que la implementación de actividades relacionadas con el buen manejo de las cuencas hace que se protejan las áreas de captación para mejorar y mantener la calidad del agua. Las actividades que deben de realizar las municipalidades que conciernen al manejo de las cuencas comienzan desde las funciones tradicionales de estas. La principal función de una municipalidad es la prestación de servicios públicos locales. Así mismo, estas tienen a su cargo la planeación,

fiscalización y el fomentar el ordenamiento territorial, el orden público, la protección al medio ambiente, regular las actividades económicas.

Esta situación hizo que se creara la asociación de diversos municipios para plantear objetivos que ayudaran a la resolución del problema del crecimiento poblacional. Sin embargo, las asociaciones municipales en diversos países de la región, afronta una serie de conflictos. Una de las primeras problemáticas que afrontan es el tener a los municipios en diversas locaciones de la cuenca y con poblaciones rurales y urbanas; la rivalidad presente entre las poblaciones de los municipios y sus gobernantes complica el establecer acuerdos y planes de acción intermunicipales, lo que conlleva altos costos para desarrollar el proceso de gestión. (Jouravlev, 2003)

A pesar de las dificultades que se presentan para tratar esta situación, existen casos en algunos municipios Brasileños los cuales han logrado identificar como abordar estos problemas de manera comunal es vital para la resolución de los conflictos. En este sentido los estados de Espírito Santo y Sao Paulo han logrado generar proyectos en conjunto, con un enfoque más técnico y una viabilidad económica mejor de la que había podido hacer antes.

3. Casos municipales.

a. Municipio de Pimampiro, Ecuador. Siendo la regulación hídrica uno de las principales atribuciones de los bosques, el sobrepastoreo, los incendios forestales y la deforestación en las partes altas de las cuencas (lugar donde generalmente se encuentran las mejores especies de árboles), hacen que la disponibilidad del recurso hídrico sea muy escasa. Esta es la situación de las poblaciones urbanas y rurales de Ecuador, en especial el municipio de Pimampiro ubicado en la provincia de Imbabura. (Jouravlev, 2003)

La población urbana de esta zona se encuentra ante una escasez de agua que la afecta desde hace varios años. A partir del año 1998 se comenzó con una serie de medidas que buscan controlar y mejorar esta situación.

La primera institución que se creó fue la *Unidad de Medio Ambiente y Turismo (UMAT)* la cuál vela por el control, ejecución y coordinación de actividades que protejan los bosques por medio de un manejo sostenible de los recursos y un año más tarde por medio la Corporación para el Desarrollo de los Recursos Naturales Renovables se firmó el convenio para la ejecución del proyecto de “ Manejo Sustentable de los Recursos Naturales del Cantón Pimampiro para el Mantenimiento de la Cantidad y Calidad del Agua.

La siguiente acción que se tomó fue la creación del Plan Estratégico Cantonal el cuál se planeó para ejecutarse entre los años 2,000-2,004. En este plan se reconoce a la protección de los recursos naturales como un factor determinante para la mejorar el abastecimiento de agua. Paralelo a este plan, el Municipio y asociaciones en representación de familias propietarias de aproximadamente 638 hectáreas de bosques de la parte alta de la cuenca, se constituyó el “*Plan de Manejo para los páramos y Bosques Nativos en Nueva*

América". Este plan se planteó con el objetivo de mejorar las zonas que alimentan al río Palauco el cuál ha sido afectado por la implementación de actividades agrícolas y ganaderas. (Jouravlev, 2003)

A principios de 2001, por medio de una ordenanza Municipal, se estableció que del pago de los usuarios del servicio hídrico del Pimampiro, aproximadamente un 20% se destine para formar el "*Fondo para el Pago por Servicios Ambientales para la Protección y Conservación de Bosques y Páramos con Fines de Regulación de Agua*"; el cuál se utiliza para darlo a los propietarios de los bosques de la zona con la condición de que estos protejan en ciertas condiciones los bosques o recuperar estas zonas, con ayuda técnica que se le brinda por parte de un comité. En resumen, la condición para optar a los pagos es que se cumplan los planes de manejos establecidos y firmados por ambas partes.

Para analizar el éxito de esta iniciativa, se implantó un plan piloto con la Asociación Nueva América. Este plan se comenzó con el levantamiento y la identificación de los usos del suelo para establecer los planes de manejo para cada locación. Luego se comenzó una serie de negociaciones con las partes que poseían las tierras para negociar el monto del pago por servicios ambientales y la manera por la cual se dará el seguimiento técnico por parte de la UMAT. (Jouravlev, 2003)

Los resultados y experiencias obtenidas de este plan se describen en la tabla siguiente:

Tabla 57. Resultados y experiencias plan piloto en el Municipio del Pimparo

RESULTADOS	EXPERIENCIAS
<ul style="list-style-type: none"> • Se identificó a la voluntad política y la colaboración de las familias como factores que ayudaron al éxito del plan. • La ayuda técnica se debe de realizar de manera continua. • La ayuda técnica debe de realizarse por parte de personal competente. 	<ul style="list-style-type: none"> • Determinar los pagos por medio de la creación de categorías para estos. • Ampliar la manera por la cual se involucran las personas. • Mejorar la cooperación entre las distintas instituciones implicadas para establecer roles más definidos y evitar conflictos. • Ampliar el plan de acción hacia otros lugares. • Definir una serie de reglamentos de gobernanza, negociación, capacitación, etc. • Priorizar los aspectos técnicos para la conservación de la zona.

Fuente: Jouravlev, 2003

b. Heredia, Costa Rica: Empresa de Servicios Públicos

La provincia de Heredia, en Costa Rica, es provista del servicio de agua potable, alcantarillado, alumbrado público y energía eléctrica por medio de la Empresa de Servicios Públicos de Heredia (ESPH). Esta empresa está formada por los municipios de San Rafael, San isidro y Heredia. (Jouravlev, 2003)

La zona es abastecida de agua por las microcuencas de diversos ríos, entre los que tenemos el río Tibas, Bermúdez, Ciruelas, Pará y Segundo. En esta zona se utiliza en su mayoría para ganadería lechera, siendo este el uso menos óptimo para la región ya que solo el 25% de estas tierras son aptas para el ganado. Esta situación junto con el problema de erosión, el crecimiento de proyectos habitacionales en la parte superior de la cuenca y el aumento de la contaminación son una de las amenazas para la conservación del recurso hídrico.

Analizando esta situación se presentó en 1,999, la Empresa de Servicios Públicos de Heredia (ESPH) planteó a la Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos un nuevo modelo tarifario, que incluye cuotas por prestación de servicios además de un rubro de tarifa hídrica. Con esto se planea generar financiamiento para la conservación de las microcuencas donde se realiza la captación del agua, lo que garantizaría la prestación del servicio para futuras generaciones. Esta solicitud se aprobó en el año 2,000. Con estos fondos se financia el programa de PROCUENCAS, se encarga de conservar y recuperar las fuentes donde se produce agua para la Empresa de Servicios Públicos de Heredia (ESPH) y mejorar la calidad de los ríos de la zona.

Este programa está destinado a los terratenientes que cuentan con zonas boscosas dentro de su patrimonio o tierras deforestadas y que se interesen en la regeneración de los bosques. Para ingresar al programa se debe de hacer un contrato, el cual puede ser por un plazo de 10 años periodo en el cual se deben de realizar acciones para la protección de los bosques o regeneración natural del mismo o por un período de 20 años en los cuales se busca reforestar especies endémicas. A lo largo del periodo de implementación del programa se han presentado una serie de problemas que dificultan la buena implementación del mismo, que se enuncian a continuación:

- Inconsistencias de la legislación.
- Complicaciones para garantizar el cumplimiento de contratos.
- Programa no atractivo para tamaños de propiedades pequeños.
- No registro legal de las propiedades.
- Invasión de ganado para pastoreo.

c. Caso del Municipio de Tacuba, El Salvador

En el Departamento de Ahuachapán, el concejo de la municipalidad de Tacuba, encontró una reducción en el caudal del río Guayapa y en la cantidad de manantiales de la sub cuenca de este río, por lo que se han planteado la regulación de las maneras de uso, explotación y desarrollo de los recursos pertenecientes a la sub cuenca del río Guayapa. (Jouravlev, 2003)

Para llevar a cabo dicha empresa, se han planteado una serie de medidas en las cuales se promueve el uso sostenible de los recursos, la protección de bienes públicos y la disminución que tiene la población en los cuerpos de agua que utilizan en otras regiones, ubicadas en la parte de debajo de la cuenca. Para ello la propuesta planteada por el gobierno municipal abarca los siguientes temas:

- Plan de manejo: para dirigir el uso de los recursos se hará un plan, el cual se fundamenta bajo estudios. Este plan debe de estar en constante actualización y retroalimentándose de la implementación del mismo. (Jouravlev, 2003)

- Aprovechamiento y regulación de los recursos: el uso de los recursos hídricos se puede realizar, siempre y cuando se vele por la protección de las zonas de captación y nacimientos de agua. Por protección a estas zonas, se entiende no realizar acciones que afecten la calidad del agua. Se definirán zonas de protección. (Jouravlev, 2003)

- Protección a los inmuebles e infraestructura: las obras que se realicen en beneficio del control y manejo de las aguas deberá de tener la aprobación municipal previa. Para ello esta obra debe de estar acorde a los planes municipales. (Jouravlev, 2003)

- Pago por servicios ambientales: se creará un *Fondo para Pago de Servicios Ambientales*. El mismo se iniciará con fondos municipales y posteriormente se irá fomentando a partir de los fondos provenientes de las cuotas establecidas para los Pagos por Servicios Ambientales. Este fondo se utilizará para realizar pago a los propietarios de zonas indicadas donde se debe de preservar el suelo para garantizar la recarga hídrica. (Jouravlev, 2003)

B. Evolución de las políticas en Latinoamérica.

Las tendencias en investigación, desarrollo humano, educación, hasta en la industria alimenticia plantean hoy por hoy propuestas “integrales”. Para ello, las propuestas incluyen dentro de sí conceptos de desarrollo sostenible y metas que tienen influencia en varios aspectos y no solo uno. El generar proyectos de desarrollo sustentable y sostenible es complicado, ya que estas metas son muy difíciles de cuantificar. Es así como el desarrollo sustentable es un concepto que busca encontrar el punto de equilibrio entre diversos factores que se encuentran asociados entre sí y busca la equidad, crecimiento económico y la sustentabilidad ambiental. (Dourojeanni & Jouravlev, 2002)

Esas grandes decisiones y acciones no deben de ser únicamente impulsadas por un solo sector, además de que deben de ir adaptándose a las necesidades por lo que experimentan cambios constantemente, deben de ser interdisciplinarios y buscar la participación de varias entidades.

1. Conflictos para mejorar la gestión del recurso hídrico. El desarrollo de las políticas hídricas en la mayoría de la región Latinoamericana presenta grandes dificultades al momento de realizarse ya que los aspectos legales son complicados y no son adaptables a modificaciones para alcanzar las metas del proceso de gestión integral del agua. A este escenario se le agrega que la influencia de diversas instituciones es sectorizada, las divisiones políticas no son las ideales para la aplicación de gestión de las cuencas ya que muchas quedan estas se encuentran en su mayoría en diversas zonas ya sea municipales o entre países y los actores de la problemática tienen posiciones polarizadas y por ende sus planes no se acoplan a los planes de las regiones. (Dourojeanni & Jouravlev, 2002)

Los valores juegan otra parte importante del proceso en este sentido ya que al no tener sistemas cimentados en los valores como ética y solidaridad se generan actitudes individualistas. Estas actitudes presentan un gran reto para la implementación de la gestión integral de los recursos, ya que con esa se basa en la solidaridad y la conciliación diversos intereses. Por otra parte la implementación de acciones sectorizadas hoy en día no ayuda a alcanzar objetivos integrales, ya que solo se enfoca en aspectos económicos, ambientales, sociales. Actualmente, las políticas hídricas tienen un panorama muy complicada ya que se deben de realizar en un ámbito individualista y con enfoques sectoriales, un escenario completamente opuesto de lo que se requiere para la gestión integrada de recursos hídricos.

Para lograr resultados positivos se requiere de crear y poner en práctica trabajos entre diversas disciplinas, sectores sociales y lo más importante es que estos modelos se apliquen dentro de diversos niveles de gobierno. Esto conlleva la implementación de reorganizaciones de las instituciones nacionales las cuales se deben de hacer para gobernar el agua de mejor manera. Es claro que estos cambios que se necesitan son demasiado contrastantes con lo que en la actualidad se maneja y es por eso que su implementación debe de hacerse paulatinamente para que las organizaciones se vayan adaptando paulatinamente a estos cambios. Para esto es importante establecer metas a corto, mediano y largo plazo. Sin embargo, estos cambios se han tornado en promesas electorales que plantean programas donde no se discuten los temas a fondo y muchos de estos terminan generando una serie mayor de problemas. (Dourojeanni & Jouravlev, 2002)

La poca investigación sobre lo que es la gobernabilidad en la gestión de agua, causa que las observaciones hechas a modelos implementados en diversos países de la región, sea únicamente apreciaciones subjetivas de los mismos, lo que complica el crear modelos de gobernanza de agua que se evalúen bajo parámetros establecidos. Una de las definiciones que se maneja hoy en día y bajo la cual se han trabajado diversos modelos de gobierno de agua, es la de Peter Rogers, el que define la gobernabilidad sobre el agua como *“la capacidad de un sistema social para movilizar energía en forma coherente para alcanzar el desarrollo sostenible de los recursos hídricos”*. (Rogers, 2002)

Esta definición presenta varios puntos importantes. En principio, el hecho de ser coherentes hace que la capacidad de gobernar, a pesar de la complejidad del sistema, por medio de diversos elementos. Para que se

realice una buena gobernabilidad sobre los recursos hídricos esta debe cumplir con las siguientes características:

- Abierta
- Efectiva
- Racional
- Transparente
- Motivadora
- Participativa
- Eficiente
- Sustentable
- Verificable
- Ética
- Equitativa
- Interactiva
- Integradora
- Comprometida

La gobernabilidad sobre el agua comienza desde el sistema político y se extiende a hasta las medidas colectivas que realiza la sociedad para la conservación del recurso. Es por eso que se dice que el implementar mecanismos claros y concisos que ayuden a negociar conflictos genera una gobernabilidad efectiva. Con esto se busca fomentar la participación de los actores en los procesos de gestión, por medio de compromisos que se le dan a estos, para que se puedan ejecutar y verificar las acciones necesarias para el control de las aguas.

En Latinoamérica y el Caribe se han planteado muchas propuestas para el mejoramiento de la gestión de aguas, sin embargo la mayoría de estas propuestas carecen de un punto de convergencia entre sí. Se puede decir que toda propuesta es válida siempre que se realice coherentemente su aplicación y las estrategias a implementar. Estas deben de tener delimitadas sus etapas y recursos. Es de suma importancia que las estrategias se basen en estudios, por los cuales se conozca el estado físico de cada cuenca y se identifiquen los factores que se encuentran alterando el ciclo hidrológico. (Rogers, 2002)

Otras definiciones de Peter Roger menciona que una buena gobernabilidad se logre si se tiene el sistema político dinámico, es decir que este tenga los órganos de estado necesarios para diseñar políticas y que además estas se adapten para mejorarlas y hacer más eficientes. En todo este proceso no se debe de olvidar la presencia de los actores internos y externos que tienen influencia sobre el recurso hídrico. El concepto anterior es sumamente importante ya que es un punto de partida para trabajar bajo un marco institucional. El evaluar esto permite analizar con que se cuenta en cada región y comenzar así a trabajar la gobernabilidad con lo que

se cuenta. Saliendo de un marco legal óptimo y migrando hacia sistemas judiciales deficientes, políticas inestables y problemas económicos el desarrollo de políticas hídricas será más difícil.

La participación de la población es vital para el desarrollo, la implementación de las medidas para el manejo del agua y que esta participación debe de ser democrática e incluir a los diversos sectores de las poblaciones; no se debe de incurrir en el error de pensar que la participación social puede sustituir a las autoridades. Es necesario la existencia de autoridades que se encarguen de gestionar el agua. Estas autoridades son las responsables de promover y lograr la participación, así como de lograr generar el clima de confianza y de presentar resultados a las comunidades para que se sepa que se está haciendo un buen uso de los recursos. Esto debe ir de la mano con la existencia de personal capacitado para que tomen decisiones en base los estudios que se realicen en las cuencas. (Rogers, 2002)

De conformidad con lo expuesto anteriormente, se dice que los conflictos que atraviesa Latinoamérica para la gestión del recurso hídrico, es la ausencia de liderazgo político y la nula existencia de un marco legal/administrativo que desarrolle políticas capaces de plantear soluciones razonables a estos problemas.

Otro gran reto que se afronta es el deseo de incidir inmediatamente, sobre todas las actividades que genera el hombre en la cuenca. La gestión integrada de recursos hídricos debe de plantearse como un proceso continuo, de cambios paulatinos y saber que para que las acciones formen parte de la gestión deben de evaluadas y coordinadas previamente. Todas las acciones que se implementen deben de generar beneficios ambientales y productivos, tomando como base el ciclo hidrológico y no afectando áreas de recarga hídrica.

2. Tendencias actuales sobre políticas hídricas. En los últimos años, en Latinoamérica se han generado una serie de cambios en las legislaciones para integrar las regulaciones a la gestión y aprovechamiento del agua. El enfoque de estas legislaciones varía de país en país, al igual que sus avances. Mientras que unos países cuentan con se ha instituido el sector del agua como tal (México, Colombia, Brasil, Chile, etc.) en otros aún se llevan a cabo debates en los que se proponen los cambios legales e institucionales para comenzar las regulaciones hídricas. Casos como los de Bolivia y Guatemala, son algunos de los más preocupantes dentro de la región. En Bolivia hasta el año 2,000 cuando el gobierno proceso a las iniciativas de reformas a la ley de aguas, existían 32 propuestas que venían desde 1,906 para reformar la ley y crear una normativa de aguas. Caso similar sucede en Guatemala donde se han presentado cerca de 17 iniciativas de ley al Congreso de la República, pero hasta hoy en día no se tiene ningún avance en materia de legislación del agua. (Dourojeanni & Jouravlev, 2002)

La implementación y desarrollo de legislaciones en otros países se ha ido generando una serie de conocimientos. Uno de las primeras lecciones es la tendencia a aplicar modelos de otros países en uno nuevo, sin un previo análisis de la situación geográfica, institucional y cultural de ambos, lo cual hace que los resultados

no sean los esperados y piense que la legislación de aguas no es factible. Es por eso que se dice que los modelos de gestión de agua no se exportan, lo que sí es viable es la adopción de principios en los cuales se basa algún tipo de modelo de gestión con las respectivas adaptaciones a las condiciones del nuevo lugar donde se vaya a implementar. Se deben de considerar las variaciones entre las distintas regiones del país o de las cuencas que se vayan a tratar.

Hoy en día, una ley de aguas debe de basarse en hechos científicos, promover el uso de la tecnología y utilizar las experiencias de otros países en su recorrido que han llevado para generar una gestión integrada del agua.

Estos cambios deben de realizarse en un ambiente donde las negociaciones son sumamente complejas, debido a los intereses e ideologías que se mueven alrededor del recurso hídrico, el sector público tiene pocos recursos para retener a las personas más capacitadas, se pretenden que los cambios se implementen de la noche a la mañana, no se tiene información actual sobre el estado y disponibilidad del agua, existen una serie de problemas que aquejan a las poblaciones sin resolver, no hay un balance del poder entre los sectores de la sociedad y se tiende a menospreciar la importancia del recurso hídrico. Estudios de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe muestran que en toda la región de una población en el año 2,000 de 522 millones de personas existen 77 millones de personas sin acceso a agua potable y de los que cuentan con este servicio 103 millones no poseen servicios de saneamiento. (Dourojeanni & Jouravlev, 2002)

3. ¿Por qué hacer cambios? Se puede enunciar tres grandes motivos por los cuales son necesarios los cambios para que se implementen regulaciones al uso del agua.

El primero es la creciente demanda sobre el agua debido al aumento de las poblaciones urbanas, el crecimiento de la agricultura, la generación hidroeléctrica, el aumento en los niveles de contaminación, los desastres causados por fenómenos naturales hace inminente la necesidad de mejorar la gestión de recursos hídricos. (Dourojeanni & Jouravlev, 2002)

Los cambios políticos que han ocurrido a nivel mundial han hecho que los gobiernos tiendan a fomentar la descentralización de los sistemas y que el sector privado se involucre más en el aprovechamiento del recurso hídrico. Esto ha generado que se creen nuevos mercados, como lo es el mercado de aguas, pero que a su vez sea necesario desarrollar las normativas pertinentes para el buen manejo y desempeño de esta nueva oportunidad.

Por último la participación de varios países de la región en tratados internacionales, han generado que los gobernantes logren ver la vulnerabilidad a la que se encuentran expuestos y tomen caros en el asunto para mejorar sus leyes en este sentido. (Dourojeanni & Jouravlev, 2002)

4. ¿Qué ha funcionado? ¿Qué no ha funcionado? A partir de los años ochenta se han generado una serie de cambios en los gobiernos que han afectado primordialmente al sector público. La responsabilidad de administrar todo lo relacionado al manejo de aguas ha pasado a ser atribución del sector público y las demás obras han sido delegadas al sector privado. Esto ha contribuido a la generación de instituciones públicas que se encarguen de la gestión del agua.

Sin embargo todas las medidas de manejo de agua implementadas hasta ahora tienen un enfoque sectorial, donde cada sector se enfoca en una actividad y no buscan que el agua tenga usos múltiples donde se aproveche de mejor manera este recurso. Estas medidas actúan hasta hoy en día de manera independiente y sin ninguna coordinación en la mayoría de los casos. Por consecuencia se han creado un sin número de entidades que tratan temas relacionados con el agua en cada país, pero casi ninguna tiene injerencia real sobre el tema, lo que ha ido limitando la capacidad de tratar conflictos relacionados con el agua. Los enfoques sectoriales, se han ido cambiando por enfoque integrales paulatinamente; si los cambios son muy severos, se pueden generar conflictos serios entre las partes. (Dourojeanni & Jouravlev, 2002)

Las nuevas tendencias, se enfocan en coordinar los diversos usos del agua, controlar la contaminación por medio de entes independientes y asignar responsabilidades políticas. La motivación de los cambios es el hecho que las entidades sectoriales no han sido capaces de generar una gestión de agua adecuada e imparcial. El manejo no objetivo de los recursos es notable en varios casos, como el del sector agrícola en Perú donde se ha visto que las autoridades han generado decisiones que benefician los intereses de ese sector. Esta situación trae como consecuencia la disminución de la autoridad del organismo en cuestión ya que en su mayoría solo depende de un solo usuario y tiene influencia directa sobre el ente rector.

No se debe de promover en paralelo la gestión y el aprovechamiento de los recursos ya que se genera un tipo de sesgo al momento de plantear las actividades de aprovechamiento se pierde el enfoque que debe de tener la gestión. Por otra parte la gestión del agua conlleva tomar decisiones, que son catalogadas como drásticas, en ámbitos políticos, sociales, ambientales y económicos.

La definición de las atribuciones operativas de las entidades que vayan a manejar la gestión del agua. Se debe de empoderar en todo sentido a estas entidades ya que la experiencia ha evidenciado que las facultades teóricas deben de ir de la mano con las facultades operativas.

De acuerdo con los diversos consensos internacionales, en los cuales se declara como prioridad que los esfuerzos con respecto al agua debe de ser en beneficio de la conservación del recurso, los países de la región Latinoamericana han implementado diversas direcciones por medio de sus ministerios para cumplir esta función. El hecho de asignar estas atribuciones a los ministerios de medio ambiente distorsiona el enfoque de la gestión. Esto también ha causado confusiones con los conceptos de gestión ambiental y manejo de cuencas. Este manejo global del medio ambiente ha evidenciado que las entidades no se encuentren aptas para gestionar uno solo de los recursos debido a su amplio espectro de influencia y es por eso que se debe de separar las autoridades del agua con las ambientales. (Dourojeanni & Jouravlev, 2002)

5. Autofinanciamiento como parte de la gestión de aguas. Las reformas implementadas a partir de los años ochenta, han indicado que los sistemas de servicios de agua deben de ser sostenibles y deben ser capaces de autofinanciarse. Esto es importante ya que el brindar un servicio de calidad, va de la mano con tener sistemas financieros viables. Por sistemas financieros viables, se comprende que las tarifas impuestas sean las necesarias para cubrir las necesidades de la población sin dejar a un lado la calidad del recurso, los costos de operación y futuras expansión de los sistemas. No se debe depender de subsidios provenientes por parte del estado.

Ese sistema de autofinanciamiento, debe de incluir un rubro donde se aplique subsidio para proveer del servicio de agua a los sectores sociales más bajos. Los sistemas de subsidios tienden a cobrar tarifas más elevadas a cierto sector de la población para beneficiar a otro. Este sistema ha resultado ineficiente a lo largo de su aplicación en diversos sectores. Uno de los sistemas que ha tenido una mejor aceptación es el implementado en Chile. En este sistema las municipalidades presentan al Estado central proporcional a consumo de agua y uso de alcantarillado de cierto sector. Los postulados a recibir esta colaboración son inscritos y aceptados previamente. Sin embargo un sistema como este no se implementa como tal en cualquier parte de la región, ya que para ello Chile cuenta con varios aspectos que garantizan el éxito de este. El sistema fiscal Chileno es capaz de generar los fondos para este subsidio y por otro lado el sistema administrativo es capaz de determinar qué personas son las que realmente necesitan esta ayuda y que esta llegue a su destino. (Dourojeanni & Jouravlev, 2002)

Por su lado, Colombia estableció un sistema de subsidios para usuarios de bajos ingresos. Este sistema se enfocó en realizarse y establecerse desde un principio como un sistema transparente en el cuál los recursos financieros son obtenidos a partir de contribuciones hechas por los usuarios industriales, comerciales y residenciales que cuentan con altos ingresos. Este sistema ha afrontado grandes problemas a tal punto que ha creado un déficit el cual no se ha saldado, debido a la evasión en el pago del servicio. Estos sistemas son funcionales cuando se busca subsidiar a un porcentaje bajo de la población, con una gran parte de la población. (20% subsidiado, 80% aporta fondos). (Dourojeanni & Jouravlev, 2002)

6. Avances regionales. A pesar de los grandes retos que afronta la región, se han logrado avances en diversos ámbitos. Con lo que concierne a la gestión del agua se ha logrado generar una tendencia a que se planteen medidas multisectoriales y con alcance a niveles políticos altos. Se ha logrado generar interés en la conservación de las cuencas y en la aspiración de encontrar un balance entre el uso eficiente del agua y aprovechamiento del mismo. Se ha podido generar una visión más realista de lo que son los mercados del agua, en la que se acepta que los cambios deben de ser implementados para buscar la mejora del sistema. (Dourojeanni & Jouravlev, 2002)

En cuanto a servicios de agua y saneamiento se ha generado una mayor aceptación a posibles tarifas que cubran el costo de servicios, estas nuevas tarifas deben de ir acompañadas de un porcentaje para la implementación de subsidios. Los avances obtenidos nos muestran que los organismos que regulen el agua debe

de ser un ente independiente para no politizar su administración y que no se pierda el enfoque de la gestión; no sirve crear una gran cantidad de entidades reguladoras ya que el exceso de estas hacen que no se formulen políticas públicas reales donde estas tenga injerencia directa sobre la gobernabilidad del agua.

En cuanto a las legislación de aguas, se ha logrado establecer que estas se deben de basar en el hecho, que el agua es un bien de dominio público y propiedad del estado. Esto conlleva que el estado es el encargado de crear los medios reguladores para esta cuestión. El otorgar concesiones para el uso del agua debe de realizarse bajo ciertos términos en los cuales no se perjudique el medio ambiente. Estas regulaciones deben de estar amparadas en artículos constitucionales para evitar problemas a futuro. Difundir las leyes y la manera en la que se aplican estas es importante para que todos sepan que es lo que se busca con estas legislaciones. (Dourojeanni & Jouravlev, 2002)

Es importante que toda gestión se haga por medio de instituciones independientes y estables; estas instituciones tengan sus atribuciones y cuenten con los recursos necesarios para su desarrollo. No se debe de mezclar el cuidado ambiental con la gestión del agua. La unión de estos dos conceptos modifica la perspectiva de la gestión. Para llevar a cabo todo esto, deben de existir unidades de resolución de conflictos.

XI. GESTIÓN INTEGRADA DE RECURSOS HÍDRICOS (GIRH)

A. ¿Qué es la Gestión Integrada de Recursos Hídricos (GIRH)?

Para definir que es la Gestión Integrada del Recurso Hídrico, es necesario comprender el hecho que el agua tiene diversos usos y estos son independientes uno del otro. Hay que reconocer que el uso del agua bajo ninguna regulación causa desperdicio del recurso. Las grandes cantidades de agua que utiliza el sector agropecuario, disminuyen la cantidad de agua disponible para las poblaciones o las industrias; las aguas negras provenientes de los municipios han contaminado ríos y lagos; etc. (Cap-Net; Global Water Partnership; Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo , 2005)

La gestión integrada del recurso hídrico comienza en principio con la identificación de los usos del agua en una determinada zona y luego hacer que estos se consideren para distribuir el recurso. Con esto se busca considerar el efecto que tiene cada uso sobre los otros. Con esto se logra establecer las metas que tiene cada sector para plantear desarrollo sostenible. La gestión integrada busca incluir a los diferentes actores que actúan sobre el recurso, ya que todos tienen influencias sobre los planes estratégicos de desarrollo. La inclusión de los personajes hace que estos sean los que ayuden a la conservación de agua y protección de las áreas de captación, siendo esta una manera más eficiente de regulación, que hacerla por medio de una entidad estatal.

De acuerdo con lo anterior se establece que, la Gestión Integrada del Recurso Hídrico, es un proceso por el cual se plantea un sistema, donde se busca el desarrollo sostenible del recurso hídrico, garantizando la disponibilidad del agua para futuras generaciones y supervisión del mismo bajo contextos ambientales, económicos y sociales. Busca además, reducir el enfoque sectorial que se ha manejado hasta hoy en día, por de la unificación de diversas entidades regulatorias del agua, que al tener atribuciones parecidas sus decisiones creen conflictos y no logra plantear soluciones de fondo a los problemas relacionados con el agua, ni generar un uso sostenible del recurso. (Cap-Net; Global Water Partnership; Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo , 2005)

B. Importancia de la Gestión Integrada de Recursos Hídricos (GIRH).

El agua es sinónimo de vida y desarrollo. Sin el agua no se tendría acceso a salud, higiene y tampoco se puede subsistir. Si bien en el mundo existe una gran cantidad de agua, la gran mayoría de esta es agua salada y no puede ser utilizada por los humanos. El agua dulce es para el consumo humano. Este hecho y su reducida existencia, provoca que la demanda sobre esta sea muy alta y su distribución compleja, razón por la cual muchas personas no cuentan con un servicio de agua que satisfaga sus necesidades básicas. La limitada disponibilidad

del agua y la creciente demanda sobre el recurso hídrico ha generado una serie de conflictos que se han originado por el crecimiento poblacional, aumento en los estándares de vida y el crecimiento económico.

Esta situación, nos muestra que estamos a punto de experimentar una crisis hídrica y hay varios hechos que respaldan esta hipótesis. El primer hecho es que bajo el crecimiento poblacional y el aumento en las actividades económicas, la competencia entre los usuarios por el agua se ha incrementado. La contaminación en las cuencas es un hecho innegable en algunos sectores, donde las consecuencias son experimentadas por las personas que viven en las partes bajas de las cuencas. Estas dos situaciones combinadas hacen que el impacto en el medio ambiente sea muy severo. Este impacto se refleja en las complicaciones que se presentan hoy por hoy para mitigar los efectos del cambio climático, el cual ha aumentado el número de sequías e inundaciones. Lograr atacar estos efectos ha resultado tan difícil debido al enfoque sectorial y con falta de coordinación que se le ha dado al desarrollo y gestión del agua. (Cap-Net; Global Water Partnership; Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo , 2005)

A causa de esta situación que se debe de comenzar a cambiar lo que se ha hecho hoy en día para manejar el recurso hídrico antes de que sea muy tarde y se complique aún más la obtención de agua.

C. Principios.

A partir de la Declaración de Dublín, se demostró que era importante modificar el enfoque que se tenía hasta entonces con respecto al manejo del agua y se debe de buscar hacer reformas al sector regulatorio hídrico. Esta conclusión se alcanzó luego de que se evidenciara la crisis de gobernabilidad del agua que existían en diversas partes del mundo lo cual ponía en riesgo inminente la disponibilidad de agua para las personas y la producción de alimentos y no olvidando que los ecosistemas donde se realiza la recarga hídrica para la capa freática, estaban siendo dañados. (Cap-Net; Global Water Partnership; Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo , 2005)

Es por eso que en esta declaración se establecieron cuatro principios, los cuales se mencionarán a continuación, bajo los cuales debe de regirse toda reforma que se haga al sector hídrico.

a) PRINCIPIO 1: *El agua dulce es un recurso finito y vulnerable, esencial para mantener la vida, el desarrollo y el medio ambiente.*

Los puntos débiles son en casos los más importantes, el identificar el riesgo nos hace estar conscientes a lo que estamos expuestos. Siendo las áreas de captación o de recarga hídrica la unidad básica que da origen a todo este proceso; la vulnerabilidad del recurso hídrico, en especial del agua dulce, proviene de que el ciclo del agua produce (y funciona) con una cantidad determinada de agua en un cierto periodo. Hasta el día de hoy los humanos no tenemos la capacidad de aumentar esta cantidad, pero sí de disminuirla por efectos contaminantes.

Este principio nos muestra la diversidad del uso del agua, lo que con lleva que la gestión de esta debe de considerar e involucrar a todos las personas que hacen uso del recurso, considerando las necesidades y demandas de cada uno, así como las amenazas a las que cada sector expone al agua. (Cap-Net; Global Water Partnership; Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo , 2005)

b) PRINCIPIO 2: *El desarrollo y gestión del recurso hídrico debe fundamentarse en una propuesta participativa, involucrando a usuarios, planificadores y tomadores de decisiones en todo nivel.*

La temática hídrica es del interés común y por ende la participación de los actores es vital y representativa en la toma de decisiones. Lo que se busca con una participación de los actores es llegar a consensos que se apliquen a largo plazo, no se opte por medidas a corto plazo y de muy poca influencia. De no llegar a consensos siempre se debe de contar con una entidad reguladora que pueda ayudar a establecer las medidas a tomar. La participación de cada sector de los implicados, depende de dos factores; el primero de los factores y el ámbito político y como este deje actuar a las personas dentro de la toma de decisiones, en este aspecto el gobierno debe generar los espacios para que los grupos marginados a unirse a este cambio, una buena manera de hacerlo es tener que tomar decisiones descentralizadas; el segundo es de acuerdo a la relevancia de las decisiones a tomar. La necesidad de esta participación inclusiva radica en que los actores reconozcan su importancia y responsabilidad en la resolución de conflictos, que logren visualizar que ellos pueden tener una injerencia real en las soluciones. (Cap-Net; Global Water Partnership; Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo , 2005)

c) PRINCIPIO 3: *Las mujeres tienen un papel central en la provisión, gestión y salvaguardia del agua.*

Históricamente el papel de la mujer ha estado muy ligado a la provisión de agua, así como de ser usuarias muy frecuentes del mismo. En diversas organizaciones que resguardan el medio ambiente y el agua, las mujeres han formado una parte vital en el manejo de estas. Sin embargo, lo que respecta a la gestión y la toma de decisiones, el género masculino tiene una mayor influencia.

Dentro de la Gestión Integrada del Recurso Hídrico se reconoce el valor y la tarea de cada género dentro de un contexto en el cuál cada uno tiene una participación. El buen uso y cuidado del agua tiene una relación directa con la igualdad de género, y viceversa, lo que resulta beneficioso para lograr la sostenibilidad. Se considera que las mujeres deben de formar parte de la toma de decisiones a niveles más altos. (Cap-Net; Global Water Partnership; Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo , 2005)

d) PRINCIPIO 4: *El agua tiene un valor económico en todos sus usos competitivos. Debe ser reconocida como un bien económico y además como un bien social.*

Debido a que el agua es un elemento del cual no se puede prescindir para vivir, todos los seres humanos tienen derecho a contar con agua limpia, que se pueda consumir sin que esta represente un riesgo para la salud y además tenga un precio accesible. Es aquí donde convergen los dos términos sobre el valor económico y social del agua. Gestionar el agua por medio de su valor económico ayuda a cumplir objetivos sociales, como usar eficientemente el recurso, dar una repartición equitativa del mismo, ambas acciones promoviendo la conservación del agua. El no considerar uno de los dos valores puede incurrir en el fracaso de cualquier modelo de gestión.

Se debe de establecer la diferencia entre el concepto de “valor” y “precio”, a pesar de que parezcan lo mismo, expresan dos ideas distintas. El valor del agua, comprende lo que representa esta para cualquier uso que se le dé, lo que nos obliga a hacer un uso racional de la misma el cual debe de hacerse por medio de instrumentos. El precio del “precio” del agua es la aplicación un instrumento económico, el cobro, que se realiza para cumplir varios objetivos:

- Proporcionar incentivos que ayuden a manejar la demanda del recurso.
- Recuperación de los costos de inversión en los planes de gestión.
- Ayudar a grupos desfavorecidos y marginados.
- Ayudar a mejorar el comportamiento de conservación y uso del agua.
- Identificar tendencias del mercado usuario, que ayuden a definir hacia donde se tienen que hacer las inversiones futuras.

Tratar el agua a través de su valor económico ayuda a que este se pueda distribuir de una mejor manera dentro de los diversos sectores y se vuelve más importante aun cuando el agua comienza a ser escasa y obtener más no es una opción viable. (Cap-Net; Global Water Partnership; Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo , 2005)

D. Enfoque y planteamiento de la Gestión Integrada de Recursos Hídricos (GIRH).

Hablar de la Gestión Integrada de Recursos Hídricos, ha sido un tema controversial, debido a que en el modelo que plantea se confronta y rompe el modelo sectorial que se ha manejado hasta hoy en día, en el cuál se manejan intereses propios de cada sector, para plantear un uso más equitativo y de acorde a las necesidades de los diversos sectores. Este rompimiento del estado actual hace que la implementación de la GIRH se torne

compleja, pero su importancia y necesidad es inminente para la preservación del agua. (Cap-Net; Global Water Partnership; Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo , 2005)

Para llegar a un desarrollo hídrico sostenible, hay que identificar a la GIRH como una filosofía y no tan solo como un plan a seguir. El adoptar esta nueva tendencia como una filosofía, implica que las personas logren identificar que el uso que le da al agua no es un único y que no beneficia o afecta únicamente a un sector sino a toda la sociedad. Se busca también que los cambios comiencen desde lo niveles jerárquicos más bajos.

Esta nueva filosofía, abre una serie de nuevos mercados, ideas, acciones las cuales conllevan una serie de amenazas y oportunidades. Se atenta contra el poder y la forma en que se ha utilizado el recurso por las personas hasta hoy en día; sin embargo se genera la oportunidad de lograr crear una forma de trabajar entre diversos sectores que presentan grandes diferencias y muy poca relación entre sí.

Los cambios a implementar, son imposibles de realizar ante los marcos legales e institucionales actuales, o la ausencia de los mismos. Es por eso que las reformas a estos marcos, son la primera fase de la GIRH. Estas reformas deben de apoyar el plan general, el cual se debe de realizar enfocándose en lograr la transformación del manejo del agua. Estos procesos pueden tornarse largos, por lo que se deben de ir generando y adaptando paralelamente al acontecer propio de cada región. No se puede pensar a la GIRH como un lujo, se debe de considerar como una necesidad.

En un contexto donde los problemas son muchos, las soluciones urgentes y se deben de implementar en diversos sectores (social, económico, político), la aplicación de estas no es una tarea fácil. Es por eso que la aplicación de la GIRH se debe de hacer de manera gradual para que se logre alcanzar los objetivos a largo plazo. Estos objetivos buscan incidir en reducir la pobreza. (Cap-Net; Global Water Partnership; Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo , 2005)

E. Alcances.

La GIRH tiene pretenden abarcar diversos ámbitos de uso del agua. Para ello se debe de comenzar conociendo cuales son los efectos positivos y negativos que cada uno de estos contiene para conocer en dónde y cómo trabajar. La siguiente tabla, nos muestra los efectos sobre el recurso que tiene cada sector, sobre el uso del agua. (Cap-Net; Global Water Partnership; Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo , 2005)

Tabla 58. Efecto del uso del agua por sector sobre el recurso hídrico

SECTOR	EFECTO POSITIVO	EFECTO NEGATIVO
MEDIO AMBIENTE	<ul style="list-style-type: none"> e) Purificación f) Almacenamiento g) Ciclo Hidrológico 	

Continuación Tabla 58. Efecto del uso del agua por sector sobre el recurso hídrico

<p>AGRICULTURA</p>	<p>h) Flujos de retorno i) Aumento en infiltración j) Disminución en erosión k) Recarga de aguas subterráneas l) Reciclaje de nutrientes</p>	<p>m) Desgaste n) Contaminación o) Salinización p) Anegamiento q) Erosión</p>
<p>SUMINISTRO DE AGUA Y SANEAMIENTO</p>	<p>r) Reciclaje de nutrientes</p>	<p>s) Se requiere altos niveles de seguridad del agua t) Contaminación de aguas superficiales y subterráneas</p>

Fuente: Cap-Net; Global Water Partnership; PNUD, 2005

Estos efectos son muy generales y no todos se presentan en todas las regiones. Al igual que esto los objetivos de cada región en cuanto a economía y desarrollo, son establecidos de acuerdo a la situación política, ambiental y social.

A continuación se describirán los efectos, de la GIRH en estos diversos aspectos de las regiones.

u) Beneficios ambientales

En definitiva se pueden presentar mejoras en los ecosistemas, al tomar en cuenta las demandas medioambientales dentro del marco del uso del agua, sector que hoy en día tiene poca influencia sobre las decisiones alrededor del tema. El desarrollo de la GIRH fomenta el desarrollo y la divulgación de información. El poder difundir cuales son los beneficios que se obtienen al tener cuidado con los ecosistemas, puede ayudar a que se le dé el valor que estos benéficos tienen.

A partir de la premisa de que las zonas de recarga hídrica, son la base para el ciclo hidrológico, la GIRH plantea promover el resguardo de estas zonas, y por ende del ecosistema existente allí, para mantener la calidad y cantidad del agua. Con este se busca hacer planes de reforestación, control de contaminación, etc. (Cap-Net; Global Water Partnership; Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo , 2005)

v) Beneficios para la agricultura

Siendo una de las actividades de mayor consumo de agua y uno de los principales generadores de contaminación del agua, la agricultura juega un papel importante en la GIRH. En los últimos años se ha visto que se reduce la cantidad de agua para agricultura, debido a que los productos que genera tienen poco valor agregado y por ende el agua se utiliza para otras actividades. Esto puede generar consecuencias económicas serias para países que dependen de la agricultura.

La GIRH busca impulsar planes que ayuden a controlar esta situación por medio del uso razonable y eficiente en la agricultura. Busca que ante la presencia de todos los sectores, se valore los productos que esta genere y se busquen nuevas alternativas para la generación más eficiente de productos por volumen de agua. (Cap-Net; Global Water Partnership; Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo , 2005)

w) Beneficios para el suministro y saneamiento del agua

Uno de los alcances primordiales de la GIRH es que las comunidades más pobres tengan acceso a agua potable a través de implementar políticas que garanticen el suministro a estas familias a costos bajos. Es trascendental que distribución se haga equitativamente, reconociendo los derechos y necesidades de las personas.

Se busca que las personas puedan alcanzar un nivel de conciencia, en donde el uso eficiente llegue a promover el reciclaje, reducción y reutilización de los materiales. Es aquí donde comienza el tratamiento de aguas, ya que si el tratamiento que se le debe de dar al agua es menor se invierten más recursos en distribución.

Lo que se pretende con toda GIRH es que se instituya estos programas y se implementen como como programas de gobierno. Se busca que tanto políticos como la sociedad en sí se conviertan en entes reguladores e informados sobre la importancia, beneficio, desarrollo de temas de agua, generar una cultura alrededor de la GIRH. La secuencia a seguir en cada país es diferente, pero todas están encaminadas a lograr alcanzar ciertos objetivos a largo plazo que se pueden resumir en eficiencia en el uso, igualdad social y sostenibilidad. (Cap-Net; Global Water Partnership; Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo , 2005)

F. Límites.

Los planes de la GIRH son ambiciosos, toman tiempo, recursos y se tornen complejos. Ante este gran reto, las limitantes son varias. Se debe comenzar identificando los problemas de cada zona y así saber cuáles acciones implementar en cada caso.

Al momento de conocer cuáles son las los elementos que se van a tratar, es necesario fiar una serie de prioridades de acuerdo ya que el no hacerlo provoca que se traten algunos temas que no son primordiales antes que otros. (Cap-Net; Global Water Partnership; Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo , 2005)

De acuerdo a nuestras prioridades, es importante que se logre implementar una estructura de costos, que pueda generar beneficios y que no exceda los recursos económicos con los que se cuentan, porque esto pondría en riesgo la posible implementación, seguimiento y evaluación de los planes.

Las limitaciones pueden encontrarse fuera de nuestro contexto, el ámbito político genera una limitante clara para la generación de los planes de GIRH. Así mismo la poca participación puede ser perjudicial para el desarrollo integral. (Cap-Net; Global Water Partnership; Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo , 2005)

XII. GUÍA HIDROELÉCTRICAS.

El sector eléctrico en Guatemala.

1. Antecedentes generales. La historia de Guatemala del sector eléctrico puede dividirse en dos etapas: antes y después de la promulgación de la Ley General de Electricidad (LGE), Decreto 90-96 del Congreso de la República. Previo a la promulgación de esta ley, en Guatemala funcionaban 2 agentes del mercado del sector eléctrico, El Instituto Nacional de Electrificación (INDE), el cual velaba por la distribución, generación y transmisión de energía eléctrica del área rural; y la Empresa Eléctrica de Guatemala (EEGSA) que se encargaba del área central. Sin embargo, en 1990 Guatemala sufre una de los mayores problemas en la historia en cuanto a la energía, pues no se contaban con propuestas de nuevos proyectos de generación de energía y la demanda de la misma estaba aumentando significativamente. Por ende, se decidió reducir el suministro de electricidad en las diversas regiones del país y se tomaron en cuenta algunos puntos de interés para modernizar la política del sector eléctrico. Dentro de estas modernizaciones, cabe resaltar las siguientes: 1) La promulgación de la LGE, 2) Cambios en la estructura de las dos mayores empresas eléctricas públicas, 3) Privatización de sectores de producción y distribución, 4) La creación de la Comisión Nacional de Energía Eléctrica (CNEE), institución encargada de la regulación del sector eléctrico y de la protección de los derechos de los clientes. (Aldana, 2012)

2. El sector eléctrico en la actualidad. Guatemala cuenta con diversos agentes encargados del sector eléctrico en Guatemala, participando en las diversas actividades que este sector incluye, tales como la generación, transmisión, distribución y comercialización de la energía.

La razón por la cual se mencionó que la historia del sector eléctrico se podía dividir en un antes y un después de la promulgación de la (LGE), se respalda en el hecho que la situación actual del sector eléctrico en Guatemala es producto de la reforma realizada en el año 1996, con la emisión absoluta de su marco legal. Seguidamente de la Ley General de Electricidad (LGE), se emitieron otros reglamentos que complementaban la (LGE), El Reglamento de la Ley General de Electricidad (RLGE), y el Reglamento del Administrador del mercado Mayorista (AMM).

Debido a la demanda de energía eléctrica en el país, surge la (LGE) como una solución inmediata ante el problema, pues la falta de energía para el país representaba un obstáculo para su desarrollo. Debido a esto, la (LGE) fue creada con el objeto de: 1) modernización del sector eléctrico, 2) promover la libre competencia dentro del sector, permitiendo la libre generación, transporte y distribución de electricidad, 3)

evitar la monopolización del sistema de generación de energía eléctrica, 4) separar las actividades de generación, transmisión, distribución y comercialización de electricidad, entre otros.

Como resultado de todas las reformas llevadas a cabo, en 1999 Guatemala adoptó el Plan de Electrificación Rural (PER) con el fin de ampliar la cobertura de electrificación, especialmente en el área rural.

En la actualidad, el PER tiene como objetivos principales, los siguientes: a) introducir energía eléctrica a 1.5 millones de habitantes; b) construir obras de transmisión de energía eléctrica y c) incrementar el índice de electrificación rural en el país al 90%. (Aldana, 2012)

Según el Ministerio de Energía y Minas (MEM), se estima que a diciembre de 2008, existía un porcentaje de cobertura eléctrica en el país de 83.5%. Según algunos estudios, se estimaba que para el año 2010, la cobertura eléctrica alcanzaría el 87.7%. El porcentaje indicado por el Ministerio de Energía y Minas es difícil de establecer con exactitud, ya que el último censo efectuado por el INE se realizó en el año 2002, por lo que no se tiene una cantidad de familias que necesitan de electrificación. De acuerdo con la información indicada por el MEM, los departamentos en los que hay menor índice de electrificación son Alta Verapaz, Petén y Baja Verapaz.

B. Generación de la energía eléctrica

1. Energía. El término energía, hace énfasis en física, al ámbito social y tecnológico de la misma. Enfocado en el área de la física, la energía se define como “La capacidad de hacer un trabajo físico a partir de acciones mecánicas, térmicas, químicas o eléctricas, o de causar una transferencia de calor entre dos objetos que se hallen a distintas temperaturas”. (Sánchez, 1994)

En cuanto al aspecto social y tecnológico, el enfoque o la definición varía significativamente, de este modo la definición de energía se describe como “Aquella Fuente que permite generar calor y trabajo a través de transformaciones apropiadas, es una de los elementos más importantes para satisfacer las necesidades básicas y humanas. Su utilización va desde la cocción de alimentos hasta el procesamiento de insumos industriales”. (Aldana, 2012)

Abordados dos campos de la energía, restaría aclarar la utilización que el ser humano hace de ella para diversos fines. “La energía se halla muy difundida en la naturaleza en formas muy diferentes, algunas de ellas, como el Sol, el viento y el interior de la Tierra, de extraordinaria potencia e inagotables. El ser humano se enfrenta sin embargo, con la dificultad de llegar a dominar en provecho propio dichas fuentes energéticas y de descubrir otras aún poco conocidas”. (Aldana, 2012)

Teniendo en cuenta estas definiciones, se concluye que la energía es un trabajo generado debido al aprovechamiento adecuado de las fuentes de energía como lo los recursos naturales, utilizando procedimientos mecánicos, térmicos y químicos para la transformación requerida.

2. Energía no renovable. La energía no renovable se conoce también como energía convencional, y en general se refiere a las fuentes de energía presentes en el planeta tierra cuya cantidad es limitada, es decir puede existir gran cantidad de ella para el uso de la humanidad, pero debido a su naturaleza son cuerpos que no pueden generarse una vez se hayan consumido en su totalidad. Las fuentes de energía clasificadas como no renovables son los combustibles fósiles y los combustibles nucleares.

3. Combustibles fósiles. Como su nombre lo indica, el origen de estos combustibles proviene de los fósiles, que a través de los años han sufrido una serie de transformaciones cuando están expuestos a presión y temperatura. Dichas transformaciones son la razón por la cual los fósiles logran implementarse como una fuente de energía. Existen dos formas de aprovechamiento de los combustibles fósiles para la generación de energía. La primera forma suele referirse como directa, pues el fósil se quema para producir calor y movimiento en diversos utensilios como hornos, motores, entre otros. La otra posibilidad de obtención de energía fósil es la indirecta, la cual se logra mediante la utilización del vapor de agua generado al quemar los restos fósiles donde el mismo es conducido a presión para activar el funcionamiento de turbinas. Los combustibles fósiles más conocidos son el petróleo, el carbón y el gas natural.

a. El petróleo. Es el combustible fósil más utilizado en la actualidad. La energía que se obtiene mediante este aceite natural formado por compuestos de Carbono e Hidrógeno (llamados Hidrocarburos) se obtiene quemándolo en centrales térmicas para producir electricidad. El hecho de estar catalogado el petróleo dentro de los combustibles fósiles se respalda en el proceso de su formación, básicamente los hidrocarburos que componen el petróleo son restos de plantas y organismos vivos que se depositan a ciertas profundidades de la corteza terrestre en forma de sedimento. “Se calcula que, de continuar el actual ritmo de extracción, el petróleo se acabará en unos doscientos años”. (del Sol, 2008) Esta afirmación es un respaldo sólido para catalogar este recurso como no renovable.

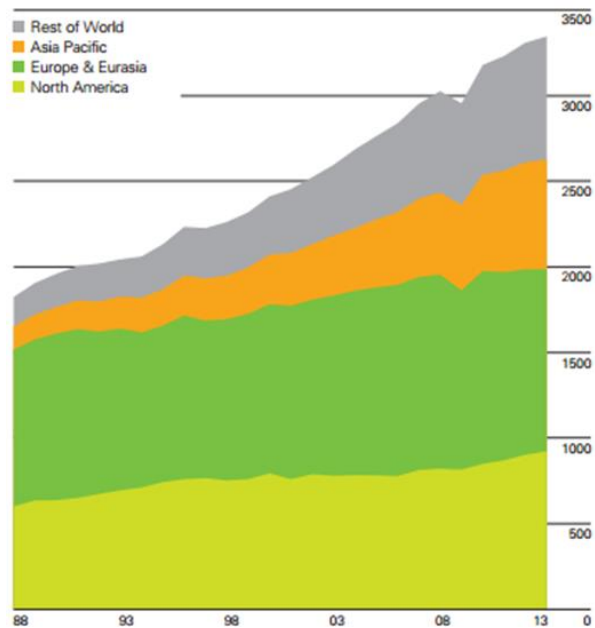
Ilustración 131. Distribución de las reservas de petróleo en 1993, 2003 y 2013



Fuente: BP Statistical Review of World Energy, 2014

b. El gas natural. El gas natural es aquel que está formado por una gran variedad de gases que se encuentran en el interior de la tierra. Actualmente, el gas natural se consume con más frecuencia que hace unos años debido a su fácil extracción y el alza de los precios del petróleo. De forma general, el gas natural está formado por 70% gas metano y 30% gases licuables, los cuales en ciertas situaciones son los residuos del proceso de refinamiento del petróleo como el butano y el propano, o simplemente se encuentran en el lugar de yacimiento en forma de gas donde se requiere de procesos posteriores para su uso en la industria. Debido al incremento en la concientización de la preservación del medio ambiente y reducir el consumo de aquellos factores que propician el efecto invernadero, el gas natural se ha vuelto más común en nuestros días gracias a su moderada contaminación y gran utilidad en la industria del transporte y generación de electricidad.

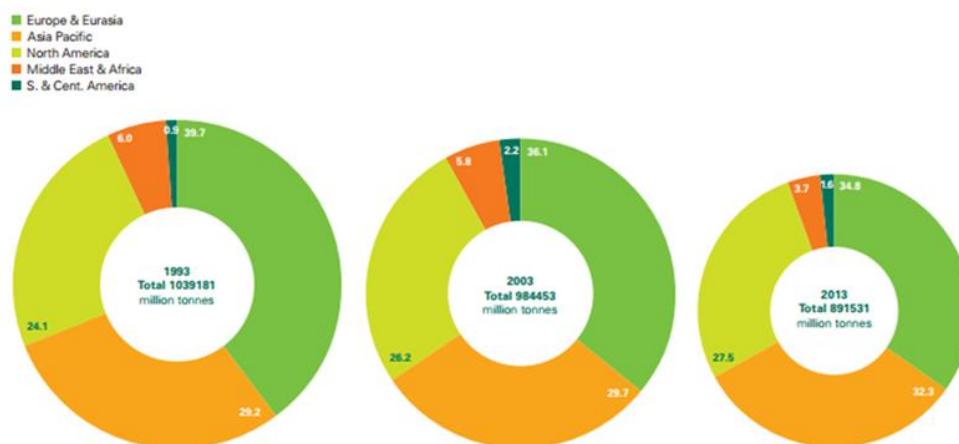
Ilustración 132. Consumo mundial de gas natural de 1998 a 2013 (billones de metros cúbicos)



Fuente: BP Statistical Review of World Energy, 2014

c. El carbón. El carbón es otro hidrocarburo dentro de la clasificación de combustible fósil. El carbón se ha formado durante millones de años de material orgánico que al sufrir cambios de temperatura y presión le brindan las propiedades con las que lo conocemos hoy en día. Fue el primer combustible fósil en ser utilizado por el ser humano. “Su potencial radica en que representa un total de 70% de las reservas de energía a nivel mundial, lo que lo convierte en el hidrocarburo más utilizado para la generación de electricidad”. (León, 2010)

Ilustración 133. Distribución de las reservas de Carbón en 1993, 2003, 2013



Fuente: BP Statistical Review of World Energy, 2014

d. Energía renovable. El calentamiento global, muy conocido como efecto invernadero “fenómeno por el cual la atmósfera de la tierra retiene parte de la energía que el suelo emite por haber sido calentado por la radiación solar, el cual constituye uno de los principales factores que provocan el calentamiento de la tierra” (Erickson, 1992) , ha provocado cambios drásticos en la configuración natural del medio ambiente, en especial el incremento de la temperatura, que trae consigo una serie de consecuencias que sitúan al planeta en un panorama inquietante. La causa principal del calentamiento global es el uso desmedido de los recursos fósiles, que, a opinión de muchos autores, “se generará la posibilidad de una crisis energética en países dependientes del petróleo si no se buscan alternativas económicas y técnicamente viables de los recursos disponibles”. (Ulianov, 2009)

Por esta razón, una solución al problema del efecto invernadero es la energía generada a partir de “fuentes que tienen como característica común que no se terminan, o que se renuevan por naturaleza”. (Ministerio de Energía y Minas, 2009) La razón por la cual son la solución más viable y efectiva descubierta hasta ahora, es el hecho de su casi nulo impacto ambiental en cuanto a la emisión de gases del efecto invernadero. La generación de las energías renovables ha aumentado considerablemente a través de los años, en su totalidad debido a que la demanda de energía a nivel mundial no se cubre utilizando combustibles fósiles.

Existen varios tipos de energías renovables, las cuales dependen de la fuente que las genera. Entre ellas podemos citar las siguientes:

a) Energía Hidráulica: este tipo de energía se debe al movimiento del agua, es decir la energía cinética de la misma es aprovechada para hacer girar turbinas (energía mecánica), para ser transformada en energía eléctrica. Este es el proceso del cual se rigen las hidroeléctricas.

b) Energía Solar: “es la energía del sol que a través de su radiación produce calor e iluminación”. (Ministerio de Energía y Minas, 2015) Este tipo de energía necesita de sistemas de captación y concentración, pues los rayos del sol no son constantes, por lo que se necesita el almacenamiento de los mismos. Los sistemas más utilizados para el almacenamiento de la energía solar son los paneles solares, la superficie oscura de los paneles permite absorber los rayos y poder calentar agua (solar térmica). Por otro lado, la energía solar puede transformarse en energía eléctrica, a través de células fotovoltaicas formadas por Silicio (solar eléctrica). Este tipo de energía no tiene un impacto negativo en el medio ambiente a menos que se utilicen paneles fotovoltaicos, pues estos liberan químicos que alteran los ecosistemas.

c) Energía Geotérmica: Como su nombre lo indica, Geo (tierra), Termo (temperatura) la energía geotérmica se obtiene a través del calor que emana la profundidad de la tierra, el cual se encuentra en la corteza terrestre, gracias a la descomposición de los elementos radioactivos. La manifestación de la energía geotérmica es evidente en procesos geológicos como los volcanes, géiseres y aguas termales. Una vez emanado el vapor de la superficie, este es conducido por medio de tuberías, donde al formarse vapor seco acciona turbinas y generar electricidad. Entre los usos se encuentran: calefacción, agricultura, extracción de minerales, entre otros. Genera la emisión de CO_2 , y contaminar aguas con arsénico y amoníaco. (Ministerio de Energía y Minas, 2015)

d) Energía Eólica: es la energía generada por el viento. “Se considera una forma indirecta de energía solar, pues el viento es producido por el calentamiento de las masas de aire, donde al calentarse pesan menos y ascienden, y las masas de aire frío descienden” (Ministerio de Energía y Minas, 2015). Los aerogeneradores son los que convierten el viento en energía. Las ventajas de generar energía por medio del viento son varias, como por ejemplo evita la lluvia ácida, es barata y no produce residuos, instalación sencilla.

e) Energía Biomásica: los recursos biológicos son la fuente de energía de la biomasa, como lo son restos animales y vegetales. Entre ellos se puede encontrar la madera, desechos de cosechas (residuos de café, maíz, arroz, azúcar, etc.). Básicamente la energía se obtiene mediante las reacciones químicas entre los restos vegetales y animales. Si bien ayudan a reducir los gases que producen el efecto invernadero, necesita de mucho terreno para el aprovechamiento energético.

C. Situación actual de las centrales hidroeléctricas. Las centrales hidroeléctricas son una fuente de energía renovable eficiente. Son sistemas que aprovechan del recurso hidráulico para producir energía. Los sistemas que utilizan las hidroeléctricas para su funcionamiento radican en el uso de la energía potencial de una masa de agua (caudal de agua) y un salto de agua (diferencia de altura entre dos puntos) que existen dentro de un cuerpo de agua (especialmente un río) para finalmente producir energía eléctrica. (Dirección General de Energía, Subsector Eléctrico, 2009)

La energía disponible en una corriente de agua puede ser aprovechada por dos factores determinantes: la altura disponible a la que se encuentra el agua y la cantidad de agua. Por esta razón es que muchos cuerpos de agua (en especial ríos) se transforman en sitios favorables para instalación de centrales hidroeléctricas, no importando si el río presenta grandes desniveles o la cantidad de masa de agua es elevada, lo que se traduce a mayor cantidad de energía.

Existen varias formas de diseñar una central hidroeléctrica, dependiendo de diversos factores como:

- Los recursos con los que se cuentan para su construcción
- La capacidad de energía que se quiera generar
- El recurso hídrico que se cuenta (ubicación geográfica).

Las centrales hidroeléctricas son el pilar que soporta los sistemas energéticos en aquellos países en vías de desarrollo, como lo es Guatemala. Sin embargo, a pesar que Guatemala posee cuencas con el potencial necesario para la explotación de centrales hidroeléctricas, el problema radica en la falta de recursos económicos para la implementación de proyectos de esta magnitud. Otro de los problemas actuales con los que se enfrentan las obras hidroeléctricas es el impacto ambiental y social que provocan las instalaciones, donde se pueden incluir temas relacionados con el impacto visual y conflictos sociales con sectores de la población que habita en territorios cercanos.

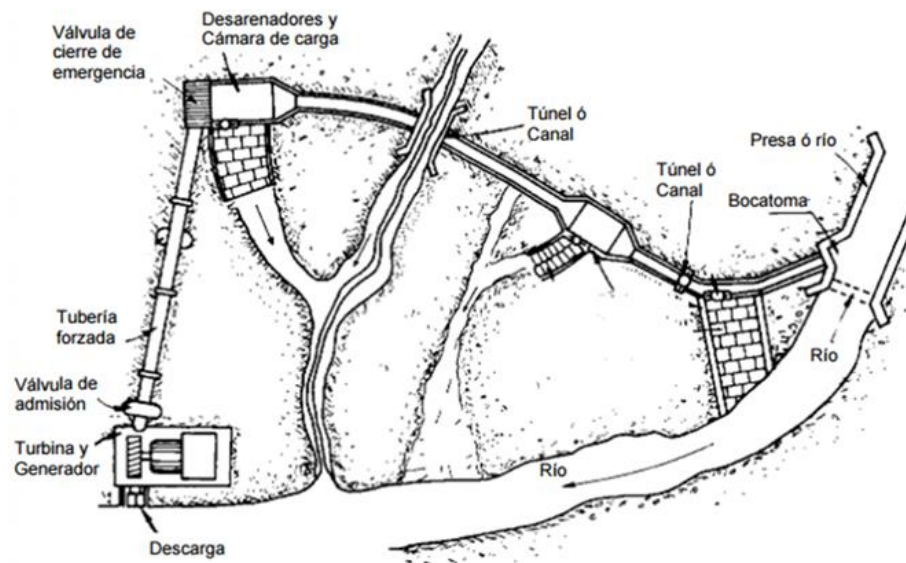
Las centrales hidroeléctricas se dividen en dos tipos diferentes. La clasificación de las mismas se debe en gran parte al tipo de aprovechamiento del recurso hídrico.

A pie de presa o con embalse (canal de derivación y tubería forzada): Este tipo de presas se construyen cuando se cuenta con una diferencia de alturas considerable entre algún tramo del río (salto de agua). Generalmente están ubicadas debajo de los embalses. Una de las ventajas de este tipo de hidroeléctricas es la capacidad de almacenamiento de energía para utilizarla cuando más se necesita. La turbina más utilizada es la Pelton.

Centrales de agua fluyente o a filo de agua: este tipo de centrales no poseen un embalse pues el terreno no presenta mucho desnivel. Por esta razón el caudal del río debe ser constante para asegurar la generación de energía hasta en época de verano. En general, el funcionamiento de este tipo de hidroeléctricas se basa en la conducción del caudal del río hacia un cuarto de máquinas, en el cual se produce la energía ante la activación de ciertas turbinas. Las turbinas más utilizadas en este tipo de centrales son: tipo Francis Kaplan.

1. Componentes de una hidroeléctrica. Las hidroeléctricas constan de ciertos componentes que permiten la transformación de energía cinética del agua en energía eléctrica por medio del movimiento de turbinas. A continuación, se presentan los componentes básicos de una hidroeléctrica. (Mejía, 2011)

Ilustración 134. Esquema típico de una central hidroeléctrica



Fuente: Villaroel, 2013

a. Toma o bocatoma. En general, la bocatoma es una estructura capaz de realizar la captación de agua de la fuente hídrica para transportarla hacia el canal de acceso. Es muy importante que cuente con componentes capaces de permitir el ingreso del agua filtrando cualquier otro material presente en el cuerpo de agua (normalmente se utilizan rejillas metálicas como filtros) como troncos, piedras, que dañan las turbinas. Asimismo deben de asegurar mantener un caudal constante a pesar de ser época de crecidas. Las bocatomas se encuentran en las paredes interiores de las presas, es decir, aquellas áreas que están en contacto directo con el cuerpo de agua.

b. Canal de acceso o conducciones. La función del canal de conducción es transportar parte o la totalidad del caudal de la bocatoma hasta el canal de acceso o cámara de carga. Los canales de acceso pueden ser naturales o estructuras hidráulicas. Algunos de los factores tomados en cuenta para el diseño del canal de acceso son: el caudal, sección, pendiente, tipo de suelo longitud desde la bocatoma hasta la cámara de carga.

c. Cámara de carga o desarenador. La cámara de carga tiene como función principal almacenar cierto volumen de agua localizado al final del canal de conducción. El tipo de cámara de carga dependerá en gran parte del tipo de central que se está diseñando. El propósito de este componente es de suministrar el volumen necesario de agua para activar las turbinas.

Muchas veces, la cámara de carga consta de un vertedero, pues en ocasiones, la central deja de funcionar por algunos instantes, y es necesario que el agua que no ha sido transportada hacia las turbinas, sea desaguada hacia el río. Al igual que en la bocatoma, es necesaria la instalación de ciertos componentes como rejillas que actúen como filtro de impurezas y material orgánico.

d. Tubería de presión. Existen diversos tipos de tuberías de acuerdo a las condiciones en las que se encuentre la central. Normalmente las tuberías de presión suelen ser de acero (instaladas sobre apoyos), fundición, fibrocemento o plásticos reforzados con fibra de vidrio, PVC, etc. Es necesario anclar o fijar las tuberías al terreno por medio de componentes adecuados. La función principal de la tubería de presión es transportar el agua desde la cámara de carga hacia el ingreso de las turbinas.

El diseño de las turbinas debe ser minucioso, pues además de soportar la presión de la columna de agua, debe ser capaz de resistir cambios repentinos en la presión, como es el caso del golpe de ariete, “Se denomina golpe de ariete al choque que se produce sobre las paredes de un conducto forzado cuando el movimiento del líquido es modificado bruscamente. En otras palabras, consiste en la sobrepresión (o subpresión) que las tuberías reciben al cerrarse o abrirse bruscamente una válvula o al ponerse en marcha o detenerse una máquina hidráulica” (Toledo, 2009) en caso de existir un paro en el funcionamiento de la central. El espesor de la tubería no varía significativamente de proyecto a proyecto, sin embargo, se diseña por condiciones de la caída, en cambio, el diámetro de la tubería radica en función del caudal.

e. Válvula. La función principal de las válvulas en una tubería es regular el flujo o caudal de agua. La válvula más importante dentro de una central hidroeléctrica es la válvula de admisión, la cual permite el paso de agua a la turbina y generar energía eléctrica. La razón por la cual se necesita de una válvula entre la tubería forzada y las turbinas se debe en gran parte a que se necesita contar con un componente que impida el flujo de agua hacia la turbina hidráulica. Además de la razón expuesta anteriormente, “la válvula

de admisión es necesaria para realizar el mantenimiento de la turbina sin vaciar el agua contenida en la tubería forzada.” (Villaroel, 2013)

f. Turbina. La turbina es una maquina hidráulica capaz de absorber la energía que le transmite un fluido para después transformarla en energía mecánica. Una máquina hidráulica tiene por objetivo permitir el paso de flujo turbulento proveniente de un curso de agua (energía cinética) para captar ese torbellino y utilizar la energía en un movimiento rotacional de un eje ubicado en la turbina, que a la vez transforma la energía cinética rotacional en energía eléctrica por medio de un generador. La razón por la cual sucede el procedimiento descrito anteriormente es la unión rígida entre los ejes de ambas máquinas (generador y turbina) lo que provoca que las revoluciones en un lapso de tiempo sean idénticas y no se pierda energía por movimientos relativos entre ellos.

D. Situación actual de la generación de energía eléctrica en Guatemala

1. Marco regulatorio. El sector y la estructura de energía eléctrica en Guatemala es una de las más grandes a nivel centroamericano, es muy importante la regulación de las actividades destinadas hacia el sector energético de Guatemala, con el fin del aprovechamiento de los recursos de la forma más efectiva. El marco regulatorio guatemalteco comprende una serie de leyes que han sido aprobadas por el congreso de la república (reglamentos que han sido validados por acuerdos gubernativos), resoluciones de la Comisión Nacional de Energía Eléctrica (CNEE) y normas técnicas formuladas por el Administrador del Mercado Mayorista (AMM) y la ejecución de las funciones normativas, de control y supervisión en cuanto al ámbito de energía eléctrica llevado a cabo por el Ministerio de Energía y Minas (MEM). Todos los esfuerzos de estas entidades radican en regular la generación, transmisión, distribución y comercialización de la energía eléctrica en Guatemala.

La reforma del sector eléctrico en Guatemala tiene sus inicios con la promulgación de las leyes (marco legal) de la Ley General de Electricidad (Decreto 93-96 del Congreso de la República de Guatemala) la cual fue promulgada el 15 de noviembre de 1996. Con el nacimiento de esta ley, se sumaron el Reglamento de la Ley General de Electricidad (Acuerdo 256-97 del 2 de abril de 1997) y el Reglamento del Administrador del Mercado Mayorista (Acuerdo 299-98 del 1 de junio de 1998). (Asociación Nacional de Generadores, Sector eléctrico guatemalteco).

La Ley General establece que: “la libertad de la instalación de centrales generadoras, las cuales no requieren de autorizaciones por parte del estado, salvo las establecidas en la Constitución de la República y las Leyes del País, incluyendo las referidas a medio ambiente, protección a las personas, a sus derechos y sus

bienes”. Sin embargo, cuando los proyectos hidroeléctricos sobrepasan una generación de energía mayor de 5MW, necesitan la autorización del Ministerio de Energía y Minas para utilizar los bienes del estado.

Debido a que las regulaciones de las actividades relacionadas con la producción de energía son numerosas, se han distribuido las funciones de la Ley General en las tres instituciones previamente mencionadas. A continuación se presenta una descripción breve en cuanto a las funciones de las instituciones que conforman el subsector eléctrico guatemalteco:

El Ministerio de Energía y Minas (MEM): “es el órgano del Estado responsable de formular y coordinar las políticas, planes del Estado, programas indicativos relativos al Subsector Eléctrico y aplicar esta Ley y su Reglamento.” (ANG, 2012)

El Ministerio de Energía y Minas es el encargado de propiciar actividades y ejecutarlas para que se promuevan inversiones destinadas al sector de generación de energía eléctrica en Guatemala, velando por gestión integral de los recursos naturales.

La comisión Nacional de Energía Eléctrica (CNEE) es un organismo técnico del Ministerio de Energía y Minas el cual se encarga de regular y normar las leyes propuestas por la Ley General de electricidad. Formula, implanta y fiscaliza las regulaciones del sector subeléctrico. Este órgano del estado es el responsable del sector de distribución y transporte de la energía eléctrica, determinando los precios para dichas actividades. Para determinar los precios, esta institución debe de estar al tanto de las condiciones de competencia de la AMM.

El administrador del Mercado Mayorista de Electricidad (AMM) es un ente de carácter privado a cargo de la administración y operación del Sistema Nacional Interconectado “el conjunto de instalaciones, centrales generadoras, líneas de transmisión, subestaciones eléctricas, redes de distribución, equipo eléctrico, centros de carga y en general toda la infraestructura eléctrica destinada a la prestación del servicio, interconectados o no, dentro del cual se efectúan las diferentes transferencias de energía eléctrica entre diversas regiones del país” (Ley de electricidad guatemalteca, Artículo 6) Otras de las actividades que realiza esta entidad son: establecimiento de precios de mercado a corto y largo plazo, así como garantizar la seguridad y el abastecimiento de energía eléctrica.

La ley General de Electricidad (LGE) nació ante la crisis energética de los años 90, en la cual las actividades de generación, transporte distribución estaban en manos del estado. Estos procesos eran muy costosos y el estado no podía cobrar a los usuarios los costos reales que representaba la cadena de generación, transporte y distribución de energía, por lo que La Ley General de Electricidad fue la solución al problema. La LGE ha permitido hoy en día atraer la inversión privada en generación, transporte y distribución de la

energía eléctrica. Como resultado, en la actualidad se encuentran al menos 50 empresas generadoras privadas y públicas funcionando en el país.

Guatemala es un país conocido por poseer una biodiversidad muy amplia. Este hecho le permite tener a disposición con gran cantidad de recursos naturales para la generación de energía. Entre los recursos más abundantes dentro del territorio guatemalteco, se pueden mencionar los siguientes:

Guatemala, por su ubicación geográfica y topografía peculiar posee sistemas montañosos que han generado el nacimiento de ríos que desembocan tanto en el Océano Pacífico como en el Atlántico. Estas dos regiones hidrográficas permiten la utilización del movimiento de las aguas de los ríos (energía cinética) para la producción de energía por medio de centrales hidroeléctricas.

2. Potencial hidrocarburífero: Aproximadamente, el 65% del territorio guatemalteco se compone de rocas sedimentarias (MEM). Esto podría significar la presencia de petróleo en territorio guatemalteco, pues las rocas sedimentarias son hidrocarburos (componentes principales del petróleo).

3. Potencial geotérmico: La ubicación del país, de nuevo, es una ventaja para aprovechar la generación de energía geotérmica. El movimiento de las placas tectónicas (Cocos, Caribe y Norte América), especialmente de subducción entre las placas de Cocos y del Caribe han generado la formación de cadenas volcánicas muy extensas. Los volcanes liberan grandes cantidades de vapor a grandes presiones, que con tuberías se pueden aprovechar para el movimiento de turbinas.

4. Potencial solar: El potencial solar es significativo, pues según estudios realizados por el ministerio de Energía y Minas, se pueden generar alrededor de 200, 000 TWh.

5. Potencial eólico: Otros estudios realizados por el Ministerio de Energía y Minas han llegado a la conclusión que Guatemala cuenta con una superficie de 1,568 Km² con una clase de viento catalogado como 4 o superior, capaz de dar movimiento en los molinos de viento. Según los estudios, la energía eólica en Guatemala podría aprovecharse para generar 20,000 GW.

Tabla 59. Potencial energético del país y nivel de aprovechamiento

Recurso	Estimado	Aprovechamiento
Petróleo	Reserva de 195,146,605 barriles	Producción de 10,500 barriles / día
Gas natural	No contabilizado	Sin aprovechar
Potencial hidroeléctrico	6,000 MW	Aprovechado un 15%
Potencial geotérmico	1,000 MW	Aprovechado un 5%
Potencial eólico	280 MW	Sin aprovechar
Potencial solar	5,3 KWh/m ² /día	Utilizado en sistemas aislados
Potencial biomásico	No contabilizado	306.5 MW aprovechados

Fuente: Ministerio de Energía y Minas, 2013

Como se aprecia en la Tabla anterior, el aprovechamiento de los recursos naturales en Guatemala es escaso. Contando con grandes potenciales eólicos y geotérmicos solamente se está utilizando un 5%. El recurso más aprovechado es el potencial hidroeléctrico el cual en la actualidad es una de las bases para la generación de energía a nivel nacional. Sin embargo también se puede explotar más esta área, pues solamente se está produciendo un 15% de la energía total que se podría generar.

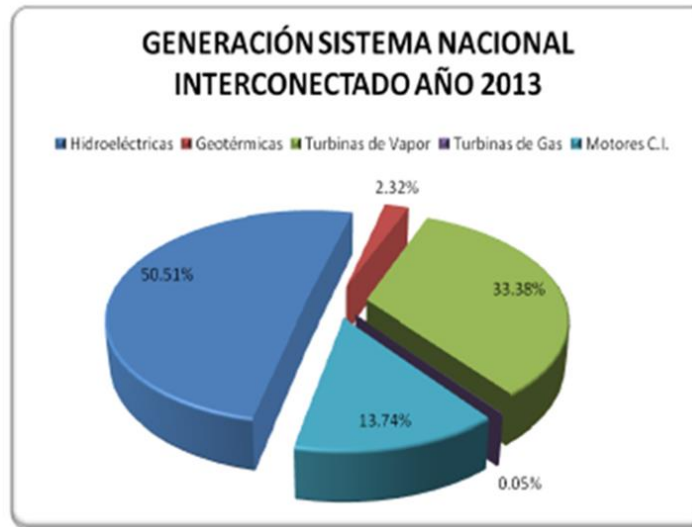
a. Fuentes de energía eléctrica en Guatemala. Es común que al aumentar la demanda de energía eléctrica aumente también la producción de energía. Por esta razón es que ante la creciente demanda de energía eléctrica en Guatemala, se han desarrollado proyectos de diversa índole para la

producción de energía por diversas fuentes. Una sola fuente de energía por sí sola no es capaz de abastecer las necesidades de un país en general, por lo que deben de existir diversas fuentes de energía.

La generación de energía eléctrica se basa en transformar alguna fuente de energía (por ejemplo, energía química, mecánica, térmica, etc.) en energía eléctrica. En Guatemala, las formas habituales de generar energía eléctrica se basan en mover turbinas donde estas a la vez logran que un generador eléctrico se encuentre en movimiento. La diferencia radica en la causa que genera el movimiento en las turbinas. Es aquí donde se hace uso de las fuentes como viento, agua, calor, entre otros.

En Guatemala, las fuentes de energía más utilizadas en la actualidad son: el búnker y diésel, movimiento de las aguas de algún cuerpo (lago, río), turbina de vapor de agua y gas, aire caliente, el carbón mineral y la biomasa en calderas de ingenios azucareros y plantas geotérmicas. (Aguilar, 2012)

Ilustración 135. Fuentes primarias de energía utilizadas en Guatemala



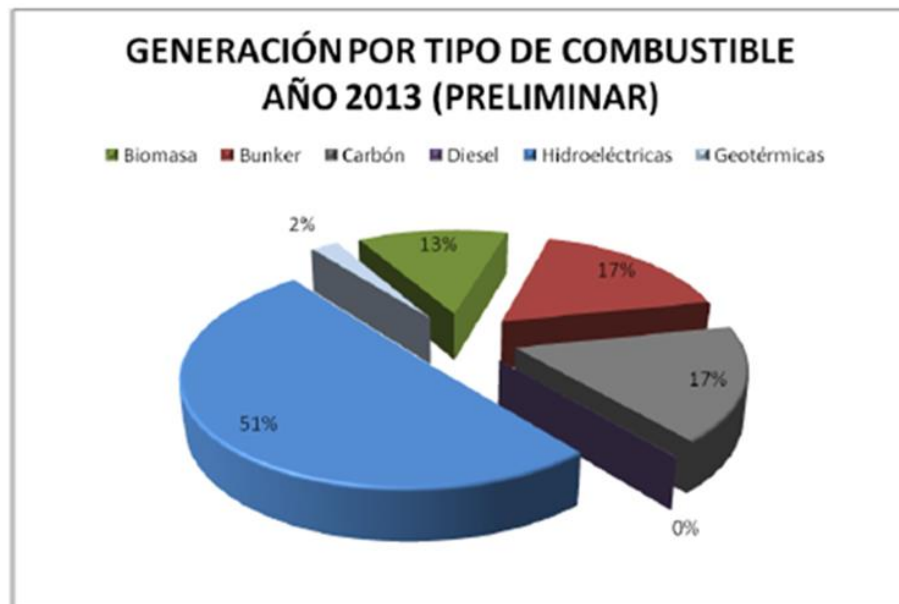
Fuente: Ministerio de Energía y Minas, 2013

Tabla 60. Generación de energía del sistema nacional interconectado

Tipo de Central	GWh	%
Hidroeléctricas	4,630.80	50.51%
Geotérmicas	212.3	2.32%
Turbinas de Vapor	3,060.80	33.38%
Turbinas de Gas	4.7	0.05%
Motores C.I.	1,260.00	13.74%
Total	9,168.60	100%

Fuente: Ministerio de Energía y Minas, 2013

Ilustración 136. Generación de energía por tipo de combustible



Ministerio de Energía y Minas, 2013

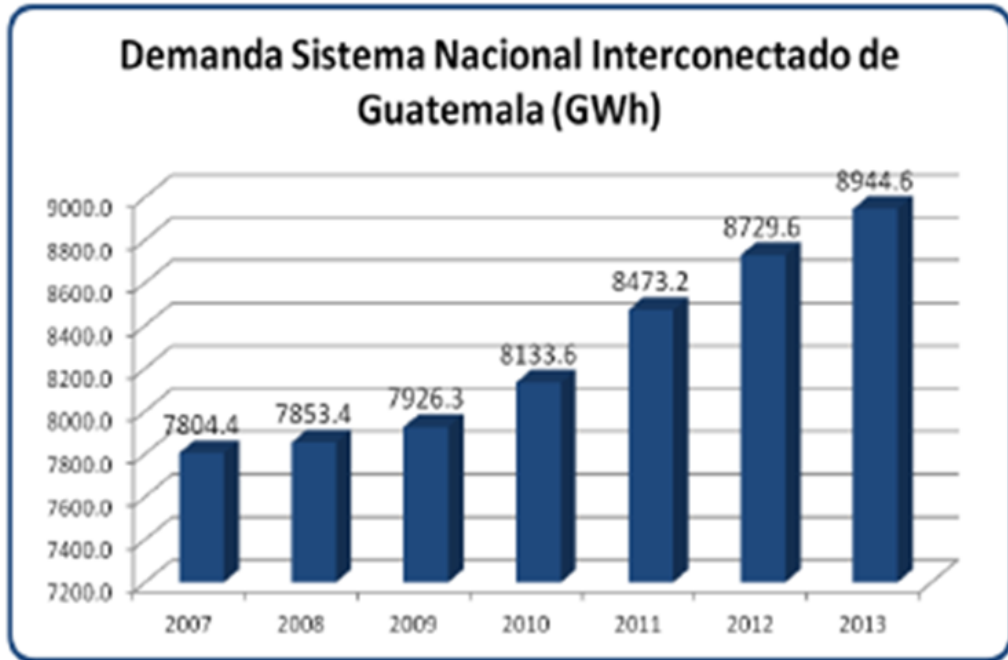
Tabla 61. Generación de energía por tipo de combustible

Tipo de energético	2013 (GWh)
Hydroenergía	4,630.80
Geoenergía	212.3
Bagazo de Caña	1,171.10
Carbón Mineral	1,565.70
Fuel Oil	1,583.80
Diesel Oil	4.669
Total	9,168.60

Fuente: Ministerio de Energía y Minas, 2013

Con base en la ilustración y tabla anterior se concluye que la base de la generación de energía dentro del sistema de nacional interconectado es la que se produce por el movimiento de aguas a través de las hidroeléctricas, contando con un 50.51% del total de GWh hora producidos en el 2013, datos que no han cambiado significativamente hasta la fecha. Es importante destacar también, que la generación de energía en cuanto a las turbinas de vapor y motores de combustión interna son muy significativos en su aporte. Como se mencionó anteriormente, ante la creciente demanda de energía en la actualidad, se necesitan instalar centrales con diversas fuentes de energía para cubrir las demandas. Sin duda, en Guatemala se están llevando a cabo diversos planes para fomentar el uso de recursos renovables como generadores de energía, además del agua. Una de las principales razones por las cuales se está promoviendo el uso de fuentes de energía diferentes es la dependencia del precio del petróleo para la generación de energía eléctrica. Por esta razón La Comisión Nacional de Energía (CNEE) ha planteado un Plan de Expansión del Sistema de Generación de energía eléctrica, donde el objetivo primordial del mismo es eliminar la dependencia del costo de la energía eléctrica con las innumerables variaciones del precio del petróleo. Si este plan se lleva a cabo con éxito, se espera que para el año 2022, las centrales destinadas a generar energía eléctrica por medio de derivados del petróleo disminuirá significativamente. Esto promoverá el desarrollo de proyectos, en especial hidroeléctricos en áreas con potencial.

Ilustración 137. Crecimiento de la demanda de energía eléctrica



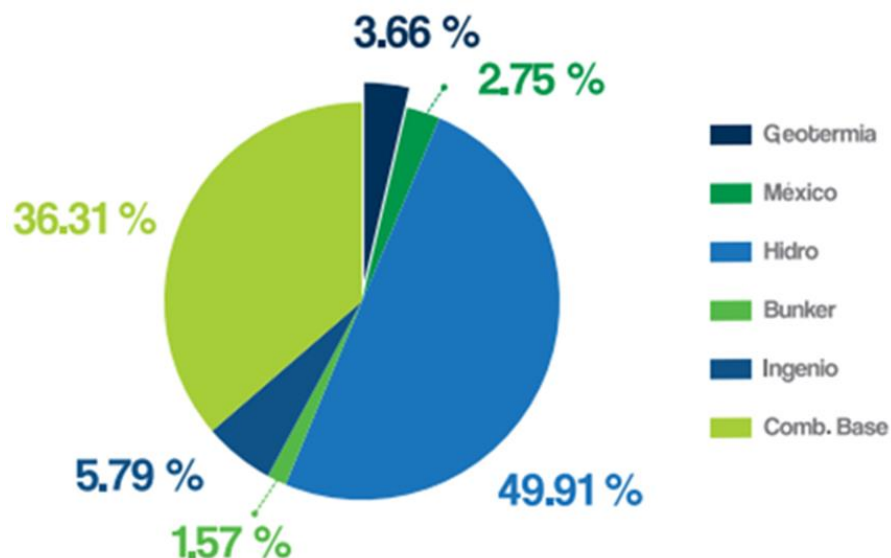
Ministerio de Energía y Minas, 2013

Ilustración 138. Generación eléctrica en GWh en el año 2013



Ministerio de Energía y Minas, 2013

Ilustración 139. Matriz energética, demanda de energía para el año 2012



Ministerio de Energía y Minas, 2013

Tabla 62. Proyectos hidroeléctricos mayores a 5 MW (2013)

Plantas Generadoras	Unidades	Potencia		Fecha de Instalación	Ubicación	
		De placa	Efectiva al sistema		Municipio	Departamento
		MW	MW			
Hidroeléctricas		948.28	908.656			
Chixoy	5	300	280.983	27 de noviembre de 1983	San Cristóbal	Alta Verapaz
Hidro Xacbal	2	94	97.053	8 de agosto de 2010	Chajul	Quiché
Palo Viejo	2	85	87.231	31 de mayo de 2012	San Juan Cotzal	Quiché

Continuación Tabla 62. Proyectos hidroeléctricos mayores a 5 MW (2013)

Aguacapa	3	90	79.759	22 de febrero de 1982	Pueblo Nuevo Viñas	Santa Rosa
Jurún Marinalá	3	60	61.664	12 de febrero de 1970	Palín	Escuintla
Renace	3	68.1	66.306	marzo de 2004	San Pedro Carchá	Alta Verapaz
El Canada	2	48.1	47.203	noviembre de 2003	Zunil	Quetzaltenango
Las Vacas	2	39	35.849	mayo de 2002	Chinautla	Guatemala
El Recreo	2	26	26.129	julio de 2007	El Palmar	Quetzaltenango
Secacao	1	16.5	16.052	julio de 1998	Senabú	Alta Verapaz
Los Esclavos	2	15	13.231	17 de agosto de 1966	Cuilapa	Santa Rosa
Montecristo	2	13.5	13.182	mayo de 2006	Zunil	Quetzaltenango
Pasabien	2	12.75	12.147	22 de junio de 2000	Río Hondo	Zacapa
Matanzas	1	12	11.783	1 de julio de 2002	San Jerónimo	Baja Verapaz
Poza Verde	3	12.51	9.848	22 de junio de 2005	Pueblo Nuevo Viñas	Santa Rosa

Continuación Tabla 62. Proyectos hidroeléctricos mayores a 5 MW (2013)

Río Bobos	1	10	10.362	10 de agosto de 1995	Quebradas, Morales	Izabal
Choloma	1	9.7	9.651	11 de diciembre de 2011	Senabú	Alta Verapaz
Santa Teresa	2	17	16.688	9 de octubre de 2011	Tucurú	Baja Verapaz
Panan	3	7.32	7.677	18 de septiembre de 2011	San Miguel Panan	Suchitepéquez
Santa María	3	6	5.858	25 de junio de 1927	Zunil	Quetzaltenango
Palín 2	2	5.8	0	junio de 2005	Palín	Escuintla

Fuente: Ministerio de Energía y Minas, 2013

Se han construido cinco hidroeléctricas más además de las mencionadas en la tabla 622. Dichas centrales son: El Capulín, El Porvenir, El Salto, La Perla, San Isidro y Compuertas de Amatitlán.

E. Investigaciones previas al realizar un proyecto hidroeléctrico en Guatemala.

Toda planificación de proyectos se basa en la calidad y cantidad de información recopilada en las investigaciones previas al realizar algún proyecto. La información con la que se cuenta para el desarrollo del proyecto es de vital importancia tanto para la planificación del mismo, así como para garantizar el resultado final. A continuación, se expondrán aquellos aspectos que deben de tomarse en cuenta a la hora de planificar un proyecto hidroeléctrico.

1. Aspectos de importancia al implementar un proyecto hidroeléctrico.

Cada proyecto hidroeléctrico posee ciertas condiciones circundantes tales como el clima, topografía e hidrología que no generan soluciones estándares para el diseño de las mismas. Un diseño estándar se refiere al énfasis en los elementos que componen la hidroeléctrica, como por ejemplo las turbinas, las represas, canales, tubería.

La selección de los elementos que componen la hidroeléctrica deben adecuarse a las condiciones del sitio en el cual se instalará, además de otros factores como las habilidades y la experiencia de los desarrolladores con el fin de garantizar el resultado final deseado. Los métodos de construcción determinan en gran parte la selección de los elementos que componen la hidroeléctrica. Dichos métodos generalmente son definidos en las etapas iniciales de la planificación.

Otros aspectos determinantes en cuanto al desarrollo de proyectos hidroeléctricos son los económicos, la hidrología del sitio y la topografía. La economía dicta en gran parte la factibilidad de implementar cierto proyecto, donde los mayores gastos se presentan en la construcción. Por ende las dimensiones de los elementos que componen el proyecto deben ser las adecuadas para no sobre dimensionar los mismos. Por esta razón es muy importante realizar estudios de hidrología y topografía, pues estos factores determinan en gran parte la dimensión del proyecto.

A continuación se presentará una guía que abarca todos los aspectos de importancia para el desarrollo de proyectos hidroeléctricos, donde se tomó como referencia la guía elaborada por la dirección de Incidencia Pública de la Universidad Rafael Landívar, con el apoyo de la Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo (AECID), en la cual se incluyen algunos aspectos a tomarse en cuenta para el desarrollo de proyectos hidroeléctricos. Se incluirán temas ajenos a la guía mencionada anteriormente con el fin de complementar la información y generar una metodología lógica para la realización de proyectos de esta índole. La finalidad de incluir otros aspectos a la guía y profundizar en ciertas secciones es generar un manual que abarque diversos estudios nacionales e internacionales a manera de cubrir todos los requisitos de pre factibilidad que propicien el desarrollo de un proyecto exitoso. Además, en la sección de pre factibilidad se hace énfasis en temas relacionados con hidrología, topografía y geología, pues son estos factores los que establecen la posibilidad de realizar un proyecto de generación de energía eléctrica, además de los temas administrativos, económicos y sociales.

2. Guía de desarrollo de proyectos hidroeléctricos en Guatemala. La guía que se presentará a continuación reúne diversos estudios y es en general un resultado de la extracción de los temas más importantes de las guías elaboradas que tienen como objetivo ser un apoyo para los inversionistas nacionales e internacionales interesados en el campo de la generación de energía renovable en territorio guatemalteco. La guía es una base pues en ella se presentan algunos requisitos para implementar proyectos hidroeléctricos en Guatemala, así como brindar herramientas que faciliten a todos los involucrados en la gestión de proyectos para fomentar el desarrollo del país en cuanto a la generación de energía eléctrica. La guía que se desarrollará a continuación tiene un enfoque en la sección de pre factibilidad de proyectos hidroeléctricos, sin embargo se incluirán otros temas de interés.

“La inversión privada es fundamental para el desarrollo rural; sin embargo, el inversionista en la mayoría de ocasiones se encuentra con un choque de realidades, pues no se pueden replicar las prácticas empresariales de otros lugares a dinámicas sociales tan diversas como la guatemalteca. A ello se suman las complejidades sociales y políticas del país, la frágil institucionalidad estatal, las dinámicas territoriales cambiantes, la fragmentación social y la necesidad de responder a una realidad multicultural, donde no existen reglas jurídicas claras pero sí normas cultural e históricamente aceptadas”. (Guía empresarial para la gestión social integral de proyectos hidroeléctricos en Guatemala).

La guía que se presentará a continuación pretende mencionar de forma general los requisitos tanto obligatorios como voluntarios en las diversas etapas de desarrollo de un proyecto hidroeléctrico, en las que se incluyen el establecimiento, gestión y desarrollo. Una guía de este tipo es de vital importancia para los inversionistas, de cierta manera se garantiza el conocimiento jurídico, social y económico mínimo requerido por las instituciones gubernamentales.

3. Anteproyecto. La fase de anteproyecto puede variar según la magnitud del proyecto y otros factores relevantes como cantidad de información disponible, facilidad de acceso al área de estudio, entre otros.

a. Identificación del sitio. Visitas preliminares a los sitios propuestos: tanto el inversionista como los desarrolladores de la obra deben de realizar visitas al sitio de interés con la intención de identificar la ubicación exacta en la cual se desarrollará el proyecto. En esta primera instancia, se sugieren opciones para la construcción en base a la accesibilidad del sitio.

b. Identificación de profesionales a nivel de la empresa para realizar la identificación de sitios propuestos: además de los especialistas en topografía, geología, hidrología que proporcionen datos que indican la factibilidad de un proyecto hidroeléctrico, se necesita observar el panorama desde el punto de vista social, económico y ambiental, muchas veces los proyectos cumplen con los requisitos en el campo de ingeniería pero carecen de las obligaciones o pautas en otros aspectos que generan conflicto con la situación social, política y cultural del sitio a instalar la hidroeléctrica. Por esta razón se necesita de sociólogos, comunicólogos y economistas para que se pueda decidir si el proyecto no interrumpe el desarrollo de las comunidades cercanas.

c. Estudios de caudal de la o las fuentes de agua propuestas con monitoreo entre 2 y 4 años: el caudal es uno de los factores determinantes ante la posibilidad de la instalación de una hidroeléctrica, por esa razón es necesario llevar un control del caudal del cuerpo de agua para determinar si el mismo ha mantenido sus características años atrás y lograr realizar una proyección a futuro en época de verano e invierno.

d. Inicio de procesos de adquisición o aseguramiento de las tierras (compra): cuando se inicia el proceso de adquisición del terreno en el cual se instalará la hidroeléctrica, se debe contar con diversos métodos de comunicación para informar a los habitantes de comunidades cercanas el propósito del proyecto, indicando que la generación de energía eléctrica es esencial para el desarrollo.

e. Perfil geológico y topografía básica: las condiciones del terreno son esenciales para la eficiencia de la hidroeléctrica. Más adelante se ampliará la importancia de la topografía en el salto del agua para generar una mayor energía cinética (por diferencia de alturas). Esta sección está destinada para que se detallen los límites del terreno del proyecto, así como la ubicación de los elementos básicos como túneles, la derivación, etc. Los perfiles son una fuente de información importante para establecer áreas de influencia y otros conflictos territoriales.

f. Mapeo de actores: el mapeo de actores se refiere a localizar aquellos grupos o entes que se vinculan de forma directa o indirecta con el proyecto a desarrollarse. Dichos grupos pueden ser “representantes de gobiernos municipales del territorio relacionado con el proyecto, delegados de gobierno central y autoridades estatales (COPREDEH, PDH, SAA), sistema de consejos de desarrollo, autoridades ancestrales, organizaciones de sociedad civil (comités ciudadanos, comités especializados en la temática, iglesias, organizaciones no gubernamentales), líderes comunitarios.” (Guía empresarial para la gestión social integral de proyectos hidroeléctricos en Guatemala) La ubicación de los actores mencionados anteriormente es una de las partes más importante en el proceso de estudios básicos, pues la comunicación es la base para desarrollar cualquier proyecto, por lo que si en dada circunstancia se necesita de alguna modificación que no estaba contemplada o alguna otra inquietud, se tendrá el conocimiento de las ubicaciones a las que hay que dirigirse para tratar estos asuntos.

g. Debida diligencia para el respeto de derechos humanos: toda comunidad y región en específico poseen diversas leyes en cuanto al respeto de los derechos humanos. Por esta razón es necesario tener el conocimiento de dichas políticas para no alterar la vida de las personas que habitan las comunidades aledañas. La diligencia empresarial es reconocida como aquellas prácticas que sostienen las empresas responsables y conscientes del respeto de los derechos humanos. Por esta razón es que cualquier proyecto hidroeléctrico debe respetar el patrimonio cultural, pues este es un indicio de confianza entre las comunidades y los desarrolladores de la obra.

h. Diagnóstico de comunicación y relacionamiento: la comunicación eficiente con las comunidades cercanas sigue siendo un punto relevante para garantizar la eficiencia de la obra, generando canales, herramientas u organizaciones que tengan como objetivo el relacionamiento, participación y toma de decisiones.

i. Análisis de contexto histórico, social, económico, político y cultural: el análisis al que hace referencia esta sección de estudios básicos se refiere a generar una línea del tiempo o una bitácora donde se incluyan los antecedentes y estado actual de temas como “relaciones de poder en torno a la propiedad de la tierra, migraciones, usos de la tierra, concepción de territorio y medios de vida), temas relacionados con gobernabilidad local (procesos de participación y toma de decisiones, conflictos de intereses, riesgos de corrupción, débil credibilidad de autoridades), focos y escenarios de conflictividad, visiones de desarrollo, actividades productivas y concepción de territorio y medios de vida.” (Guía empresarial para la gestión social integral de proyectos hidroeléctricos en Guatemala)

j. Informe de las consideraciones para proyectos de gestión e inclusión social: como se mencionó anteriormente, en la guía se presentan ciertas acciones obligatorias y voluntarias. Esta sección es de carácter voluntario, sin embargo el descontento de las comunidades puede ser una razón definitiva para dar fin a cualquier proyecto. Por esta razón el desarrollo de actividades destinadas a satisfacer las demandas y las necesidades de las comunidades del territorio pueden propiciar el apoyo que se busca para dar seguimiento a la obra de generación de energía.

k. Definición preliminar de la zona de influencia socio-económica del proyecto: el área de influencia de un proyecto es directamente proporcional a la magnitud del mismo. Un proyecto hidroeléctrico, que en la mayoría de los casos abarcan grandes dimensiones, posee un área de influencia económica y social significativa. Sin embargo, no se ha implementado un método como tal en cuanto al área de influencia del determinado proyecto, depende en gran parte de la región en la que se lleve a cabo.

l. Informe de consideraciones ambientales: la preservación del medio ambiente es vital para el desarrollo de la humanidad en general. Por esta razón es que cualquier proyecto que intervenga de forma directa con el medio ambiente debe ser evaluado para determinar el impacto ambiental que provocará. El estudio de impacto ambiental debe realizarse por personas capacitadas pues se abarcan temas como el suelo, bosques, agua, comunidades, etc. los cuales son factores esenciales para la conservación de los ecosistemas. Debido a ello, es que en la actualidad ciertos términos como la gestión integrada de recursos hídricos y gestión social son importantes, pues si bien es cierto que los proyectos están destinados a resolver ciertos problemas, no se deben de alterar aquellos factores que se encuentran en buen estado para satisfacer diversas necesidades.

m. Inicio del levantamiento de la línea base socio-económica: la línea básica socio-económica es el estudio de todas las actividades económicas que realizan las comunidades cercanas al desarrollo del proyecto para evitar que el mismo interfiera con ellas y se alteren las condiciones de vida actuales de las comunidades. Se utiliza el mapeo de actores como complemento y el diagnóstico de comunicación para generar las condiciones culturales y sociales del área. La información recopilada es de gran ayuda para realizar los análisis de impacto ambiental y social. Si ambos análisis resultan satisfactorios, se adquiere la licencia del proyecto.

n. Diseño preliminar: Elaboración del perfil: el perfil del proyecto se refiere a datos importantes como el nombre, ubicación, tiempo estimado de construcción, entre otros. Es un reporte propio de cada empresa, por lo que no existe un formato base para realizarlo, depende de cada empresa la imagen del mismo.

o. Elaboración de planos preliminares de diseño: todos los estudios realizados anteriormente son utilizados para realizar un pre dimensionamiento de los elementos que conforman el proyecto. No se generan planos finales ya que existen ciertos factores que todavía no se han investigado, y el diseño se alteraría. En el set de planos realizados se define la capacidad de la obra, es decir, una aproximación de la energía que podría generar la hidroeléctrica.

p. Matriz de priorización de posibles actividades ambientales para inversión responsable: es imposible que una obra con estas magnitudes no altere en más de alguna manera el medio ambiente. Por ello se deben de analizar posibles proyectos o inversiones con el fin de propiciar un manejo sustentable y responsable de recursos naturales (proyectos socio ambientales). La matriz de priorización es la base para la siguiente fase, es decir el diseño de planes.

q. Diseño de planes: Plan para el desarrollo del proyecto: el plan de desarrollo se presenta por escrito, en el cual se exponen las razones primordiales de la necesidad de inversión en el proyecto. En general es una fuente de validez para la toma de decisiones finales y se logre garantizar que la inversión genere el resultado deseado.

r. Plan estratégico de gestión social: ya que la parte de diseño de planes es una aproximación al resultado final, el plan estratégico se refiere a plantear la metodología y los objetivos necesarios para garantizar la relación, la comunicación y la responsabilidad social, es decir todos aquellos factores que permitan que las comunidades aledañas a la obra no se sientan excluidas y no afectar la situación actual de las mismas.

s. Proyección financiera para la gestión social: esta proyección es una aproximación de los costos destinados al desarrollo de la gestión social. Esta proyección de los costos está basada en la experiencia y estudios preliminares. La finalidad de estos estudios es analizar la sostenibilidad del proyecto. En la proyección financiera se deben de tomar en cuenta ciertos factores como el porcentaje que será destinado para desarrollar proyecto socio-ambientales, relacionamiento y comunicación.

4. **Prefactibilidad.** En la fase de pre factibilidad, es común que se realicen ciertos estudios de campo, por lo que a diferencia de la fase anterior (planificación), la posibilidad de desarrollar el proyecto se analiza a través del estudio de ciertas áreas o factores de interés:

- Plantear la justificación del proyecto, así como las necesidades que se van a cubrir tras la implementación del proyecto.

- Realizar un plan de proyecto, en el cual se incluyan estudios de impacto ambiental y social.
- Analizar los factores determinantes que dicten la posibilidad de implementar el proyecto. Estos factores incluyen aspectos económicos, técnicos (en este caso análisis hidrológico del área de estudio) que definirán los límites del proyecto, tanto en magnitud como en localización.

Los estudios que se presentarán a continuación dictan en gran parte la posibilidad de instalación de una hidroeléctrica, como lo son la topografía, la geología y la hidrología. Cabe mencionar que muchas veces los datos recopilados para el análisis hidrológico de cierta región deben ser extrapolados de estaciones meteorológicas cercanas, pues actualmente no se cuenta con una cobertura de estaciones lo suficientemente amplia para contar con datos puntuales. La consecuencia más significativa radica en que la extrapolación en muchos casos puede llevar a sobre dimensionar los elementos de la obras lo cual resta viabilidad a las mismas.

F. Evaluación del recurso hídrico

Las condiciones de suministro de agua son los factores determinantes en las conclusiones generadas tras los estudios hidrológicos. Una vez que se cuente con la presencia de un cuerpo de agua, se procede a medir la cantidad aproximada con la que se cuenta, la variabilidad que existe en épocas de verano e invierno y la calidad de agua destinada a utilizarse en el proyecto, que se refiere básicamente a la cantidad de sedimentos transportados. (ESHA, 2006).

Si bien es cierto que la cantidad de agua juega un papel importante en la ubicación de un proyecto hidroeléctrico, son dos los factores que determinan un aprovechamiento hidráulico efectivo: caudal y el desnivel o salto bruto, donde estos dos dictarán la potencia a generar las turbinas. El caudal se define como la cantidad de agua que fluye por un punto en específico en una cantidad de tiempo dada. El caudal se expresa $Q = m^3/s$ en Sistema Internacional. Por salto bruto se entiende la diferencia de altura desde la toma de agua de la central hidroeléctrica hasta el nivel en el cual se devuelve el agua hacia el cauce que ya se ha transportado a través de las turbinas.

Existen muchas posibilidades de aprovechar el potencial o las características presentes en un curso de agua. En este aspecto es cuando se hace presente la experiencia del desarrollador de la obra o el mismo diseñador, pues se deben elegir aquellos aspectos que garanticen el aprovechamiento del potencial del río.

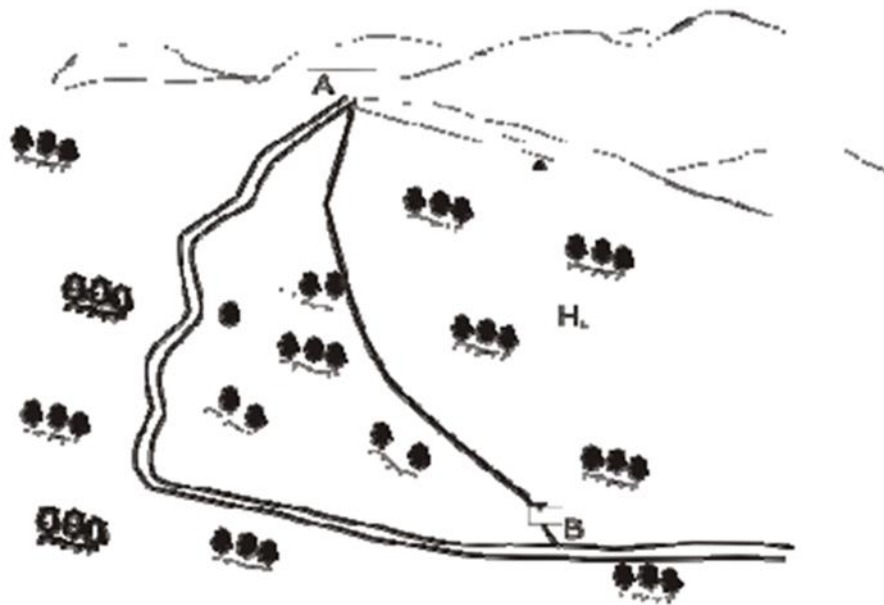
Existe una ecuación que relaciona el caudal del río, el salto bruto y el peso del agua para poder determinar la potencia generada por estos factores. Dicha ecuación es:

$$P = Q H_g \gamma$$

En donde

- P es la potencia expresada en Kw
- Q el caudal expresado en m^3/seg
- Hg el salto bruto expresado en ΔH (m)

Ilustración 140. Esquema del aprovechamiento hidráulico



Fuente: European Small Hydropower Association, 2006

La potencia entonces el factor que provoque el funcionamiento de las turbinas, donde la potencia es directamente proporcional al salto bruto y al caudal del río. Sin embargo las pérdidas por fricción disminuyen el potencial generado por las aguas del río, por lo que un diseño con pocas pérdidas localizadas generará una potencia que satisfaga el funcionamiento de la central. Si en dado caso el agua ingresa a la hidroeléctrica siguiendo el cauce principal del río, la potencia se disipa tanto en fricción como en turbulencia por lo que en muchas ocasiones la energía se traduce en un aumento de temperatura del agua.

Se debe de contar con registros históricos de datos hidrológicos del área de análisis, especialmente en torno al caudal. Valores puntuales o instantáneos del caudal no revelan información de peso que propicie el desarrollo de un proyecto hidroeléctrico, por lo que una serie temporal de caudales en el tiempo (mientras más larga la historia genera datos más confiables) asegura de cierta manera que el caudal mantendrá sus características en el futuro o tiempo de vida de la obra. Por esta razón es que se debe de contar con estaciones meteorológicas en diversas áreas con potencial para que las mismas generen información confiable. El problema es que no se cuenta con estaciones meteorológicas suficientes para la generación de información de esta índole, por lo que la extrapolación de datos se vuelve la herramienta más utilizada debido a la falta de información detallada. Otra de las soluciones a la problemática actual sería la instalación de estaciones de aforo.

1. Métodos de medición de caudales. En la mayoría de países europeos se cuenta con establecimientos destinados exclusivamente al análisis, gestión y recopilación de información hidrológica y climática para que posteriormente la información sea utilizada para el aprovechamiento de los sitios elegidos. La información recopilada incluye registros históricos de caudales y mapas de diversas cuencas donde se resaltan los puntos de recepción, escorrentías, etc.

Ya que en Guatemala no se cuenta con este tipo de establecimientos, se requiere recurrir a la medición de caudales de manera directa. La medición de caudal directa se refiere a que mediante la utilización de algún instrumento o metodología estandarizada, se encontrará el caudal de forma directa. Estas mediciones deben realizarse a lo largo de un año como mínimo, pues las mediciones puntuales no generan información relevante. A continuación se presentan diversas opciones para la medición del caudal según la guía para el desarrollo de una pequeña central hidroeléctrica (ESHA):

a. Curva de gasto. Este método consiste en conocer la sección transversal del río en algún tramo elegido para realizar las medidas. En el tramo elegido se debe de medir la velocidad media de la corriente de agua, por lo que el terreno debajo de la superficie de la sección de control (tramo destinado para realizar todas las mediciones de caudal) debe de ser lo más recto posible sin existir pendientes, pues se quiere asegurar que exista una relación certera entre la altura de la lámina de agua y el caudal.

b. Método de área-velocidad. El método área-velocidad se basa en determinar la sección transversal de un tramo del río para luego obtener las velocidades de flujo de la corriente. Cuando se haya elegido el tramo del río a analizar, la sección transversal debe de descomponerse en diversos trapecios para poder garantizar que los resultados obtenidos sean válidos, si se analizara toda la sección transversal sin realizar una división de trapecios, el caudal resultante no sería real, pues a cada trapecio corresponde una velocidad de corriente y un área diferente.

c. Con un flotador. este método se basa en elegir un objeto que flote (densidad menor a la del agua) pero que no sea muy liviano para que el mismo se desplace con la corriente libremente. Normalmente se utilizan botellas parcialmente llenas que se colocan en la superficie del río para medir el tiempo en segundos que necesita para recorrer una distancia medida en metros. También se pueden fabricar flotadores de tal manera que en un extremo contengan un elemento capaz de hundirse y en el otro uno capaz de permanecer a flote. Para el cálculo de la velocidad, se utiliza la ecuación de movimiento rectilíneo uniforme ($V=D/T$), en el que se considera que el objeto utilizado como flotador se desplaza a una velocidad constante por la superficie del río. La velocidad calculada corresponde a la velocidad superficial, sin embargo como lo que se desea determinar es la velocidad media, basta con multiplicar dicha magnitud por un coeficiente que depende de la profundidad y rugosidad de las paredes y el fondo del curso de agua.

d. Medidores de velocidad. Los medidores de velocidad proporcionan información de una forma más rápida que el método del flotador, sin embargo estos medidores representan un costo mayor, pues constan de elementos hidráulicos que miden la velocidad en puntos específicos dentro del río. Al utilizar estos medidores de velocidad, y utilizando el método de área-velocidad, se puede determinar el caudal de la sección transversal.

A pesar de la variedad de instrumentos destinados a medir la velocidad de un río, el principio hidráulico por el cual se basan todos ellos es el mismo. Los instrumentos por lo general constan de aspas que por efectos de presión axial giran dentro de las tuberías del instrumento. Los medidores de velocidad son considerados métodos indirectos de medición del caudal, se basan en la medición de la velocidad para calcular el caudal resultante. Tal y como se describió en los distintos instrumentos medidores de velocidad, las mediciones se basan en la proporcionalidad que existe entre el número de vueltas de las aspas y la velocidad del agua dentro de las tuberías. Los instrumentos funcionan aplicando la ecuación de continuidad ($Q=A \times V$) donde Q es el caudal, A es el área de la tubería y V la velocidad registrada por el medidor.

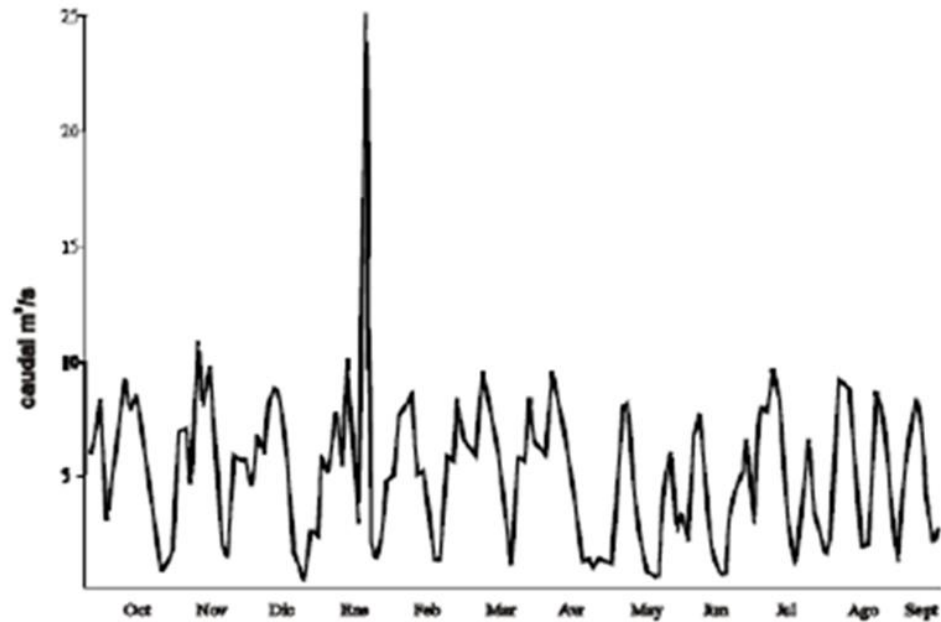
c. Método del vertedero. Los vertederos son estructuras con secciones predeterminadas por normas que se construyen temporalmente en dirección opuesta a la dirección de la corriente. Ya que la sección del vertedero es conocida, al pasar el agua por ella se procede a calcular el caudal, cuya precisión estará marcada en la manera que se consiga que toda el agua logre pasar la sección construida. Los vertederos más utilizados en la actualidad son los rectangulares, trapezoidales y los triangulares o de escotadura en V. Elegir la forma del vertedero radica en gran parte de la magnitud del caudal que posea el río, pues cuando se desea medir caudales pequeños, normalmente se utilizan los de escotadura en V. Los rectangulares se utilizan para medir caudales mayores.

f. La cresta, o parte superior del vertedero sobrepasa el nivel natural del agua para que exista un espacio entre la cresta y el nivel del agua, lo que permitirá que el agua fluya libremente por la abertura del vertedero. Para medir el espesor de la carga de agua sobre la cresta, se realiza aguas arriba a una distancia mayor a 4h. Es muy importante que el sitio que se escoja para realizar el vertedero se encuentre libre de obstáculos para evitar mediciones erróneas.

2. Régimen de caudales. Se ha mencionado anteriormente que para poder garantizar el éxito de los proyectos hidroeléctricos, se debe de contar con suficiente información de fondo. A pesar que muchas veces se cuenta con gran cantidad de información, la misma no se analiza correctamente si no se organiza de una forma adecuada para interpretarla. Uno de los casos más representativos, es el registro de caudales realizado durante una serie de años, para interpretar toda esa información recaudada en campo, se necesita de una organización de datos que permita la visualización eficiente de los mismos. A continuación se presentarán diversas formas de organizar los datos hidrológicos, los cuales según la (ESHA) han sido los más eficientes en cuanto a la organización y facilidad de análisis.

a. Hidrograma. El hidrograma es una herramienta eficaz de organización de datos hidrológicos, que muestra la variación en el tiempo de algún régimen hidrológico, como por ejemplo, caudales, niveles de agua, etc. Mediante un hidrograma, se puede apreciar de una forma sencilla, el caudal pico registrado en el tiempo, así como aquellas épocas en las cuales el caudal alcanza sus puntos más bajos.

Ilustración 141. Ejemplo de un hidrograma



Fuente: (European Small Hydropower Association, 2006)

b. Curva de caudales clasificados (CCC). Otra forma de organización de datos hidrológicos (especialmente caudales) es por medio de la curva de caudales clasificados. A diferencia del hidrograma, la CCC no ordena de forma cronológica, sino se interesa más por la magnitud de los caudales, donde se puede indicar el número de días en los que el caudal supero un determinado valor. El número de días puede ser representado por medio de un porcentaje, como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 63. Organización de datos de caudales

Caudal	n° de días	% del año
Caudales de más de 8,0 m ³ /s	41	11,23
Caudales de más de 7,0 m ³ /s	54	14,90
Caudales de más de 6,5 m ³ /s	61	16,80
Caudales de más de 5,5 m ³ /s	80	21,80
Caudales de más de 5,0 m ³ /s	90	24,66
Caudales de más de 4,5 m ³ /s	100	27,40
Caudales de más de 3,0 m ³ /s	142	39,00

Continuación Tabla 63. Organización de datos de caudales

Caudales de más de 2,0 m ³ /s	183	50,00
Caudales de más de 1,5 m ³ /s	215	58,90
Caudales de más de 1,0 m ³ /s	256	70,00
Caudales de más de 0,35 m ³ /s	365	100,00

Fuente: European Small Hydropower Association, 2006

Por medio de la tabla anterior, se genera la curva de caudales clasificados, en la que en el eje y se muestran los caudales registrados y en el eje x el porcentaje del año en el que los caudales superaron determinada magnitud.

c. Curva estándar de caudales clasificados. La curva estándar de caudales clasificados se utiliza generalmente para comparar las curvas de caudales clasificadas de diversos ríos. Es importante comparar las curvas de los ríos presentes en una región para lograr analizar cuál de ellos cumple con los requisitos que requiere el proyecto. Para realizar este tipo de curvas, es conveniente dividir los valores de los caudales por la superficie de la cuenca de captación y por la intensidad media anual de precipitación.

En las curvas estándar de caudales clasificados, se acostumbra a graficar o analizar diversos ríos con cuencas de captación geológicamente diferentes, lo cual establece la influencia directa de la geología de la cuenca de captación en la forma de la gráfica.

Es importante mencionar que si se cuenta con suficiente información de series temporales de ríos cercanos con cuencas de características similares tales como, topografía y climatológicas, es posible analizar curvas CCC en aquellos tramos del río que no fueron aforados. Ocurre también que se conozca la CCC de un tramo del río, por medio de la cual se extrapola la información hacia el tramo de río sin aforar en función de las áreas de las cuencas de recepción. A continuación se muestra un gráfico de curva estándar de caudales clasificados.

d. Curva de caudales clasificados en tramos no aforados. A veces, no existen series confiables de caudales para un tramo del río en específico, así como tampoco existe la posibilidad para extrapolar información de áreas con características similares, ya que no se cuenta con la información necesaria. Cuando se presente este acontecimiento, se analizan características fisiográficas, intensidad de precipitaciones y valores de evotranspiración para generar la CCC sintética pero con fundamento válido.

3. Potencia a instalar. La potencia que puede generar la central dependerá de ciertos factores como propiedades del agua, eficiencia de las turbinas, potencia mecánica producida en el eje de la turbina, etc. Sin embargo son dos los factores determinantes que permitirán tener una idea de la magnitud de la potencia disponible, dichos factores son el caudal y el salto neto.

Las turbinas, por medio de la energía cinética del agua logran girar sus ejes (conversión de energía cinética a mecánica) que a su vez están conectados a un generador que rota en la misma dirección y velocidad que el eje de las turbinas. El generador es el encargado de transformar la energía mecánica en energía eléctrica. La generación de energía eléctrica será proporcional entonces a la potencia que la turbina logre producir.

La potencia generada por un sistema hidráulico se puede calcular mediante la siguiente ecuación (Vélez, 2013)

$$P = \eta \rho g Q H$$

En donde:

P: potencia mecánica producida en el eje de la turbina en W (watts)

η : eficiencia hidráulica del equipo (turbina, generador, transformador)

ρ : densidad del agua en Kg/m³

g: aceleración de la gravedad m/s²

Q: caudal que pasa por la turbina m³/s

H: salto neto (m)

Existe otra ecuación que relaciona varios parámetros con el fin de calcular la energía anual producida en la central hidroeléctrica. La ecuación de la energía anual se expresa en Kwh y viene dada por la siguiente ecuación:

$$E = Q_{\text{diseño}} \cdot H_n \cdot \eta_{\text{multiplicador}} \cdot \eta_{\text{generador}} \cdot \eta_{\text{transformador}} \cdot \eta_{\text{turbina}} \cdot Y \cdot h$$

En donde

$$Q_{\text{diseño}} = \text{caudal m}^3/\text{s}$$

H_n = salto neto m

$n_{multiplicador}$ = eficiencia del multiplicador

$n_{generador}$ = eficiencia del generador

$n_{transformador}$ = eficiencia del transformador

$n_{turbina}$ = eficiencia de la turbina

γ = peso específico del agua KN/m³

h = número de horas en un año de funcionamiento de las turbinas

La eficiencia de las turbinas con capacidades de generación de energía elevada (destinadas a centrales hidroeléctricas) se encuentran en un rango entre el 80% y 90%, mientras que las turbinas destinadas para mini centrales hidroeléctricas son menores, resultando en un rango entre 60% al 80%.

G. Evaluación del recurso hídrico.

Para generar electricidad a través de la energía cinética del agua, es necesario contar con un caudal y un salto neto que se encuentre dentro de los rangos establecidos para que el costo-beneficio sea provechoso para el desarrollador. Para estimar el salto neto, así como otras características del suelo sobre el cual se desea instalar la hidroeléctrica, debe llevarse a cabo una evaluación del terreno, la cual constará de un riguroso trabajo de campo que abarca las áreas siguientes, según la guía para el desarrollo de una pequeña hidroeléctrica.

1. Cartografía. Muchos de los países industrializados cuentan con mapas a la escala que más convenga para analizar el terreno. Normalmente, en países en vías de desarrollo o tercermundistas solamente se cuenta con mapas a grandes escalas (1:25,000), en los cuales la escala es tan grande que no se aprecian algunos detalles de interés. En Europa sin embargo, ya existen mapas a escala 1:5,000 los cuales ya presentan un gran detallado.

Es muy común también realizar orto fotografías digitales cuando las superficies de interés se extienden más allá de los 100 Km², las cuales se georreferencian para su posterior análisis en algún sistema de información geográfica, como por ejemplo QGIS. Las ortofotos son obtenidas por vistas aéreas o por satélites, las cuales se aprecian en tres dimensiones. El detalle de las fotografías puede llegar a ser de muy

buena resolución, lo que le permite al ingeniero geólogo poder identificar alguna inestabilidad de talud, tipos de roca y suelo para así localizar la tubería forzada, canales, presas, entre otros elementos. “Hoy en día las fotografías orto rectificadas, al unir la precisión del mapa y el detalle de la fotografía, permiten, casi sin salir de la oficina, situar la toma de agua, trazar el canal de derivación y la tubería forzada y ubicar la casa de máquinas con la precisión que exige un estudio de viabilidad”. (European Small Hydropower Association, 2006)

2. Estudios geotécnicos. Los estudios geotécnicos en muchas ocasiones (en referencia a cualquier proyecto estructural) no son llevados a cabo debido a la subestimación de la información que brindan los mismos. La falta de estudios geotécnicos ha llevado a muchas obras al fracaso y pérdida total.

Como se mencionó anteriormente, en algunos países desarrollados se puede estar en la posibilidad de adquirir mapas de alta resolución con información que revele datos importantes para la obra. Sin embargo, cuando no se está en la posibilidad de obtener alguno de estos mapas, es necesario recurrir a otros métodos, como por ejemplo los sondeos y extracción de testigos.

Como en toda obra estructural, el objetivo principal es el comportamiento de la misma ante cualquier amenaza externa, como por ejemplo condiciones de suelo, sismos, etc. Muchas veces, las estructuradas son apoyadas sobre terrenos poco estables, lo que ha provocado daños significativos en las estructuras a través de los años. Es aquí entonces en donde el desarrollador decide si invertir en un estudio geotécnico adecuado (usualmente con precios elevados) o correr el riesgo de un atraso del proyecto o la detención total del mismo a causa de no tomar en cuenta un estudio previo.

En los aprovechamientos ubicados en las montañas es en donde la desintegración y descomposición de las rocas superficiales (por meteorización) provocan que las características geomorfológicas se modifiquen de su estado natural. Los mayores problemas se presentan en la toma de agua en el embalse, es aquí en donde se presentan las inestabilidades naturales más severas. En el azud, los problemas más comunes son a causa de cimentaciones sobre estratos no consolidados además de darse problemas con la estabilidad de laderas por los cambios de nivel en el embalse.

3. Fotogeología. La toma de fotografías aéreas o a través de satélites, es una de las formas más comunes y sencillas utilizadas en la actualidad para analizar el terreno. Si bien existen fotografías a escala 1:25,000, la tecnología ha permitido aumentar los niveles de detalle, logrando crear fotografías a escala 1:5,000 que permiten analizar diferentes zonas geomorfológicas.

4. Cartografía geomorfológica. Con la información recabada de la fotogeología, se puede proceder a la elaboración de mapas geomorfológicos, en los cuales se representan y clasifican los tipos de suelo y algunas formaciones superficiales que de cierta manera afectan el trazado de algunos elementos que conformarán la hidroeléctrica. Normalmente se requieren mapas a escala 1:10,000 o 1:5,000 para poder apreciar todos los detalles posibles.

5. Análisis de laboratorio. Para clasificar las formaciones superficiales y clasificar los suelos, se necesita realizar ciertos ensayos de laboratorio, como por ejemplo, análisis petrográficos químicos y difracción de rayos x. Con la información obtenida de los ensayos, es más sencillo clasificar los suelos y proceder a realizar los mapas geomorfológicos.

6. Estudios geofísicos. Los estudios geofísicos son de vital importancia para determinar características como: posibilidades de deslizamiento, cohesión entre las partículas que conforman el suelo, espesor de la capa de suelo. Para este tipo de estudios, se utilizan técnicas eléctricas o de refracción sísmica, la cual se basa en determinar la velocidad de propagación de las ondas a través del suelo. Depende de la velocidad de propagación, se clasifica el suelo.

7. Análisis geológico estructural. Este tipo de análisis no se considera una técnica geomorfológica, sin embargo la realización de este análisis revela información valiosa en cuanto a la estabilidad a nivel de cimentaciones de las estructuras hidráulicas. Este tipo de análisis es necesario realizarlo en la toma de agua y en el tramo que atraviesa la tubería forzada (si la misma está constituida por macizo rocoso).

H. Financiamiento

Esta sección está destinada para describir diferentes tipos de financiamiento dentro de los proyectos de generación de energía renovable en Guatemala. Cabe mencionar que los tipos de financiamiento que se mencionaran a continuación, no son las únicas alternativas en cuanto a la búsqueda de capital para el desarrollo de este tipo de proyectos, sin embargo son los más utilizados actualmente.

Existen 6 tipos de financiamiento que deben ser considerados como primeras opciones por los desarrolladores de proyectos de energía renovable, los cuales son: (Ossenbach, 2010)

1. Financiamiento de preinversión. Este tipo de financiamiento está categorizado como un pasivo dentro de las operaciones contables de la empresa o desarrolladora. La razón por la cual la pre inversión se encuentra catalogada como una deuda se debe a que el financiamiento está destinado a cubrir todas aquellas estudios y actividades que permiten el desarrollo del proyecto en las fases iniciales. Por ejemplo, los estudios de prefactibilidad, factibilidad, estudios ambientales, entre otros, son algunas actividades cubiertas por el financiamiento de preinversión, pues en la mayoría de ocasiones son estos temas los que permiten que el proyecto madure y se establezca la posibilidad de desarrollo del mismo, por lo que muchas veces se necesita de gran capital para llevarlas a cabo.

El tipo de financiamiento necesario para el tipo de estudios descritos anteriormente, suelen ser sumas muy elevadas que necesiten recurrir a instituciones especializadas en financiamiento para proyectos como los de generación de energía renovable. Normalmente se cuenta con el apoyo de bancos multilaterales (los cuales se definen como aquellos bancos especializados para brindar apoyo financiero y asesorías a los países en vías de desarrollo promoviendo actividades para lograrlo) y bancos de desarrollo público (aquellos bancos que financian proyectos a una tasa de interés menor a la presente en el mercado, con la intención de promover proyectos de desarrollo económico). El BCIE (Banco Centroamericano de Integración Económico) tiene por objetivo principal promover aquellas actividades que permitirán el desarrollo de los países fundadores, dentro de los cuales se encuentra Guatemala, por lo que la institución cuenta con facilidades de financiamiento para los proyectos.

El tiempo establecido para efectuar el pago del financiamiento no se establece como suele realizarse con préstamos efectuados en bancos comunes, en donde se fija un período exacto de tiempo (en años o en meses). Para el pago de la pre inversión suele acordarse finalizarlo en el instante en el cual se reciban los fondos destinados para la construcción del proyecto. Debido a la incertidumbre en cuanto al tiempo requerido para realizar los estudios de pre factibilidad y factibilidad, las tasas de interés de la pre inversión suelen ser mayores a las tasas otorgadas para el financiamiento de la construcción.

2. Deuda Senior. La deuda senior es uno de los préstamos más usuales dentro del desarrollo de proyectos de energía renovable. Este tipo de deuda es común dentro de los proyectos con dimensiones pequeñas y medianas pues los accionistas y los socios del proyecto no son capaces de aportar el capital total necesario para llevar a cabo el proyecto. A diferencia del financiamiento de preinversión, los fondos otorgados por la Deuda Senior son utilizados en la mayoría de los casos para la etapa de construcción del proyecto, pues en general es la fase que consume la mayor parte del costo del proyecto.

Dependiendo de la magnitud del proyecto, los préstamos destinados para el desarrollo del proyecto provienen de bancos comerciales nacionales e internacionales para aquellos proyectos de pequeña y mediana

escala. Cuando las dimensiones del proyecto son elevadas, normalmente se recurre a bancos multilaterales y de desarrollo público.

Los plazos para cubrir el préstamo están destinados a realizarse a largo plazo que comprende un rango entre los 8 y 15 años. Existen varios factores que determinan el plazo para pagar el préstamo, sin embargo el más importante radica en la capacidad que tendrá el proyecto para generar ingresos o repago del proyecto (retorno de inversión). Los préstamos para el tipo de proyectos de esta índole son elevados, por lo que los bancos generalmente acuerdan un plazo en el cual sólo se deben de pagar los intereses. El plazo establecido por los bancos nuevamente se basa en diversos factores, pero en general la decisión se ve influenciada en gran parte por el tiempo necesario para construir la obra y el funcionamiento de la misma, que normalmente se extiende entre 2 y 3 años.

Es importante recalcar la forma en la cual se acuerda el pago de intereses y la amortización por parte de los bancos. La tasa de interés en las Deudas Senior son variables, es decir, los bancos fijan una tasa de interés para cada período de pago, el cual se establece en función de parámetros de mercado internacionales y locales. Este hecho puede ser negativo para los desarrolladores de la obra, pues si en dado caso se presenta un cambio considerable en la economía mundial, los costos del proyecto se incrementarán. El monto total de intereses y amortización es establecida por el banco en cada período de pago, en los cuales en una primera etapa el mayor porcentaje lo representan los intereses, mientras que conforme se avanza en los pagos, el mayor porcentaje lo representa la amortización debido a la reducción del valor de los activos de la empresa a lo largo del tiempo.

3. Project Finance. Este tipo de financiamiento también se presenta en forma de deuda, sin embargo los proyectos que requieren de este tipo de financiamiento poseen capacidades de generación de energía significativas (mayores a 25MW). Para tener una idea de la magnitud de los proyectos que requieren de este tipo de financiamiento, la hidroeléctrica Renace, ubicada en Alta Verapaz posee una capacidad de generación de energía efectiva aproximada de 66MW, mientras que la hidroeléctrica Chixoy localizada en Alta Verapaz produce alrededor de 280MW.

Debido a las cantidades elevadas de los préstamos, los bancos comerciales no son capaces de proveer a la empresa con la cantidad requerida, por lo que los bancos multilaterales y bancos internacionales privados son los encargados de brindar este tipo de financiamiento. Generalmente los préstamos de grandes magnitudes se realizan de forma sindicada, es decir, la suma requerida por la empresa es dividida en diversos bancos, lo que proporciona a la empresa ampliar sus relaciones bancarias, así como la ampliación de las fuentes de financiamiento.

Al igual que la Deuda Senior, este tipo de financiamiento se incluye en la categoría a largo plazo, pues generalmente abarcan entre 10 y 15 años para finalizar de cubrir la deuda. Debido a la magnitud del préstamo y del proyecto como tal, se acuerda tener un período de gracia, en el cual solamente se cubren los intereses por cierto período de tiempo.

4. Crédito de promoción de las exportaciones. El financiamiento de crédito de promoción de las exportaciones, como su nombre lo indica, se utilizan exclusivamente para importar el equipo necesario en la etapa de construcción, pues muchas veces en Guatemala no se cuenta con la tecnología adecuada para desempeñar ciertas acciones de campo, por lo que es indispensable adquirir maquinaria especializada de países más desarrollados en cuanto a la tecnología necesaria. Es importante contactar a las empresas en el extranjero que cuentan con la tecnología necesaria antes de tramitar el financiamiento. Cuando se requiere importar maquinaria, existen agencias extranjeras que promueven y facilitan las exportaciones de las industrias de su país, denominadas ECA's (agencias especializadas en países industrializados). Por lo tanto, se debe de contactar la agencia presente en el país del cual se requiera importar la maquinaria o equipo.

Este financiamiento es facilitado gracias a las agencias de crédito de exportación de aquellos países desarrollados. Los plazos para este tipo de préstamos suelen ser en el rango de 2 a 10 años, en los cuales la ECA's financian alrededor del 75% del valor total del equipo adquirido por parte del desarrollador de la obra. La amortización y los intereses en este tipo de financiamiento suele hacerse por pagos periódicos.

5. Instrumentos de financiamiento mezanine. El financiamiento mezanine está destinado a utilizarse para lograr cubrir la diferencia que existe entre el capital aportado por los accionistas y la deuda. Cuando se utiliza el financiamiento mezanine, se utilizan ciertos términos como la deuda subordinada, la deuda convertible y acciones preferentes. La utilización de cada una de ellas dependerá de las condiciones del préstamo. Las entidades con capacidad de financiar un proyecto acuerdan la tasa de interés y la amortización de acuerdo a la capacidad de paga que posee el proyecto.

Este tipo de financiamiento lo otorga la banca multilateral, la banca pública desarrollo y otras instituciones con capacidad. Por lo general aportan hasta un 30% de la necesidad de gastos de la desarrolladora. La finalidad de las empresas que solicitan un financiamiento tipo mezanine es recuperar la inversión en un tiempo comprendido entre los 5 a 7 años.

I. Impacto ambiental.

El estudio de Impacto Ambiental se define como la serie de actividades de carácter técnico y legal que se realizan con la finalidad de identificar posibles amenazas al ambiente a causa de la obra. Una vez identificadas las amenazas se debe proceder a conocer y a gestionar cada amenaza para dar una solución que logre reducir el impacto y no evite el desarrollo de la obra. En Guatemala, los estudios de impacto ambiental son obligatorios para cada proyecto que se desea implementar, dicha ley está contemplada en el Decreto 68 de 1986 donde se tratan temas como la Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente.

El CONAP (Consejo Nacional de áreas protegidas) es una entidad gubernamental que se encarga de la dirección y coordinación del sistema Guatemalteco de áreas protegidas (SIGAP). La importancia de las áreas protegidas se resume, en que son espacios identificados por la sociedad y el gobierno en la que los esfuerzos y las leyes se concentran en la conservación y manejo racional de los recursos naturales, para que los mismos puedan preservarse en su estado natural, debido a su importancia histórica, arqueológica, escénica, etc.

“Guatemala cuenta actualmente con 243 Áreas Protegidas (AP), de distintas categorías de manejo, que cubren una superficie de 3,493.939.33 hectáreas que constituyen el 32.8% del territorio nacional, y que conforman el Sistema Guatemalteco de Áreas Protegidas” (Equipo de consultores en proyectos de desarrollo ecológico sostenible, S.A, 2008). En el transcurso de los años, El CONAP, en base a la experiencia y apoyo de otras entidades, ha determinado que los proyectos de mayor impacto en el ambiente son los hidroeléctricos. En base a este hecho, nace la necesidad de crear una guía que permita a los desarrolladores fortalecer todos los procesos de evaluación de impacto ambiental, y tratar de mitigar los efectos.

Existe una clasificación de zonas donde el criterio más importante de clasificación se debe en gran parte al nivel de protección que requiera el área. La zonificación se clasifica en: Zona natural o núcleo, Zonas modificables, Zonas de uso múltiple o sostenible, de recuperación y cultural, Zona de protección, Zona de uso extensivo, Zona de uso especial y Zona de uso público. (ECODESA, 2008)

Categorías de manejo: Además de la clasificación de la zonificación descrita anteriormente, Guatemala posee 7 categorías de manejo de las áreas protegidas de acuerdo a la importancia escénica, cultura y la necesidad de conservar y proteger la naturaleza. Las categorías son:

1. Categoría tipo I: Parque nacional y reserva biológica. Las áreas categorizadas como tipo I son las más protegidas por el estado, debido a la importancia de la conservación de la flora, fauna, valores escénicos, etc. La interacción de las personas con las áreas está limitada, pues solo se permite su uso recreativo de forma controlada, por lo que quedan prohibidos los asentamientos humanos y extracción de

especímenes, a menos que los mismos sean a causa de estudios para la conservación del área. Los terrenos quedarán en poder del estado, a menos de tratarse de instituciones guatemaltecas dedicadas al estudio y conservación de la naturaleza (sin fines de lucro).

2. Categoría tipo II: Biotopo protegido, Monumento (natural y cultural), Parque histórico. Las áreas de tipo II son territorios destinados a la protección elementos sobresalientes de la naturaleza del país, protección de vestigios arqueológicos e históricos y algunos otros elementos con importancia tanto nacional como internacional. Estas áreas son utilizadas en su mayoría como turísticas, educativas y recreacionales. Sin embargo, el control adecuado de estas actividades asegura la conservación de las áreas protegidas consideradas como patrimonio cultural.

3. Categoría tipo III: Área de uso múltiple, Manantial, Reserva forestal, Refugio de vida silvestre. Son áreas con grandes extensiones de cobertura forestal. El estado permite utilizar las áreas para la producción de productos forestales, como por ejemplo agua, flora y fauna, siempre y cuando la intervención humana no altere las condiciones originales del territorio. La planeación es un requisito estatal para obtener el derecho de aprovechamiento de los recursos del área, sin embargo si no existe un buen planteamiento del mismo que asegure el manejo sostenible de los recursos, la petición será rechazada.

4. Categoría tipo IV: Área recreativa natural, Parque regional, Vías escénicas. Son áreas protegidas debido a la presencia especies silvestres y otros factores bióticos de importancia cultural y paisajística de Guatemala. En estas áreas, el acceso ya no se restringe tanto como en las categorías anteriores, pues debido a sus características escénicas, la recreación pública es muy común. Las modificaciones en el paisaje son permitidas, siempre y cuando no se pierda la esencia natural del mismo. Estas áreas se dividen en dos grupos: los paisajes escénicos que, debido a su belleza natural, son utilizados especialmente para la interacción hombre-naturaleza (fines recreativos y turísticos) y los paisajes naturales que son aprovechados por el hombre para esparcimiento (rutas y vías).

5. Categoría tipo V: Reserva Natural Privada. Estas áreas pueden ser propiedad de personas individuales o jurídicas, pero siempre se presta especial atención a la conservación del medio

ambiente así como la supervivencia de la flora y fauna. El tamaño de las áreas depende en gran parte del propietario, quien le dará el manejo necesario siempre y cuando cumpla con la ley.

6. Categoría tipo VI: Reserva de la biosfera. Reservas de la biosfera son de vital importancia a nivel mundial, debido a los recursos naturales y culturales que posee. El objetivo mundial de poseer áreas en esta categoría, es para medir cambios en la biosfera, es decir, observar las modificaciones de la naturaleza y el medio ambiente a nivel mundial para generar un estudio que abarque estudios en todo el mundo.

Anteriormente se mencionó que un gran porcentaje (32.8%) del total del territorio guatemalteco se encuentra clasificado como áreas protegidas. Las áreas protegidas son de vital importancia para Guatemala y es necesaria la conservación de la naturaleza en todo momento, ya que es la única forma que los recursos naturales (especialmente el agua) y todos los factores bióticos existentes sin peligro a extinguirse.

Muchas de las investigaciones llevadas a cabo por parte de la CONAP, han concluido que los proyectos hidroeléctricos ocupan las primeras posiciones dentro de los factores más contaminantes del medio ambiente. Por esta razón es que Guatemala cuenta con áreas protegidas para disminuir la contaminación y el uso desmedido de los recursos naturales, pues de no ser así se correría el riesgo de enfrentar la extinción de la flora, fauna y el líquido vital de la vida, el agua.

Los desarrolladores de proyectos hidroeléctricos necesitan realizar investigaciones en cuanto a la posibilidad de la construcción de una hidroeléctrica en alguna área de interés, ya que la misma puede encontrarse dentro de las áreas protegidas de Guatemala, y al iniciar el desarrollo del proyecto se encuentre bajo serios problemas legales.

Cuando la CONAP cataloga a las hidroeléctricas como una de las fuentes de contaminación más grandes a nivel nacional, no se refiere exclusivamente a la polución o a la producción de gases que provocan el efecto invernadero, pues si bien es cierto que de cierta manera contaminan el ambiente, las consecuencias de los proyectos hidroeléctricos se ven reflejadas en otros aspectos. Para contrarrestar los efectos de este tipo de proyectos, Guatemala ha elaborado La Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente (abordado con más detalle en la sección de aspectos legales en cuanto al desarrollo de proyectos hidroeléctricos) debido a los siguientes impactos ambientales potenciales.

7. Impactos potenciales en el ambiente. Toda obra hidroeléctrica requiere de maquinaria especializada para lograr cumplir con el objetivo final. Ciertas actividades que se desarrollan haciendo uso

de maquinaria pesada, son factores que contribuyen de forma directa a la contaminación ambiental y otras áreas involucradas. A continuación, se presentarán los impactos ambientales, que según El Manual de Buenas Prácticas para Proyectos Hidroeléctricos elaborado por el Equipo de Consultores en Proyectos de Desarrollo Ecológico Sostenible, S.A. (ECODESA), son los que mayor daño representan nivel de ecosistema.

- Impactos potenciales en el medio físico: Las hidroeléctricas (dependiendo del tamaño) cuentan con maquinaria que al utilizarse emiten diversos gases a la atmósfera de forma constante, pues el equipo en estos proyectos se encuentra en funcionamiento la mayor parte del tiempo. En el proceso de construcción, el movimiento de tierras genera que gran cantidad de partículas del suelo (las más finas) se transporten a causa del viento, lo que puede provocar enfermedades respiratorias en las comunidades cercanas y a los mismos trabajadores.

La maquinaria utilizada tanto en la construcción (motores de camiones, perforadoras, etc.) como en el funcionamiento del proyecto (turbinas y otros utensilios) provoca contaminación acústica, que parece inofensiva, pero puede provocar daños severos en las personas y otras consecuencias, como por ejemplo interferencia en la comunicación, pérdida de audición, perturbación del sueño y el estrés.

Según el manual de buenas prácticas para proyectos hidroeléctricos, existen estudios que han demostrado que sonidos que superan los 70db (decibeles) pueden ocasionar efectos negativos en actividades que requieren concentración. Si los sonidos alcanzan magnitudes entre 80db y 90db podrían llegar a producir estrés, cansancio e insomnio.

El suelo también se ve afectado durante el proceso de construcción de las hidroeléctricas, pues el movimiento de tierras ocasiona que la geomorfología se vea afectada. Durante el movimiento de tierras, la pendiente del terreno se modifica debido a los cortes, lo que produce que aumente la cantidad de material suelto que llega a sedimentarse en el cauce de los ríos. La construcción de la derivación de los ríos puede ocasionar cambios significativos en la morfología del cauce del río.

- Aguas superficiales y subterráneas: cuando se realizan los diversos trabajos de movimiento de tierra, el suelo queda desprotegido, es decir, pierde la adherencia y fijación necesaria para evitar deslaves o el transporte de partículas. Uno de los problemas asociados al material suelto es la modificación de la calidad del agua en ríos, lagos, riachuelos, entre otros. A la hora de presentarse una precipitación fuerte, la escorrentía puede ser suficiente para transportar material hacia los cuerpos de agua.

Normalmente, se utiliza el agua de los ríos para realizar los trabajos de construcción de los proyectos hidroeléctricos. Si el cuerpo de agua posee sedimentos, al succionar el agua para el uso propio de la obra, los sedimentos pueden ascender a la superficie, provocando que la calidad del agua se vea afectada.

El agua superficial y subterránea puede contaminarse si el servicio sanitario de los trabajadores de la obra no son controlados o tratados bajo ciertas condiciones, pues muchas veces los manantiales son afectados por la contaminación fecal. Otra forma de contaminación de agua superficial y subterránea es el contacto que el agua puede tener con algunos líquidos, como combustibles o aceites derramados por la maquinaria.

- Impactos potenciales en el medio biótico: En algunas ocasiones, el acceso al área de interés se ve afectada por obstáculos naturales como la flora de los bosques. Por esta razón es que durante el proceso de construcción se requiere la tala de árboles, que como consecuencia altera el hábitat de las especies que habitan en el área. Si por alguna razón se optó por la tala de árboles, es necesario un proceso de reforestación.

Cuando se está construyendo la derivación del río, el régimen del caudal es afectado, por lo que los organismos deben adaptarse a las nuevas condiciones creadas. El área destinada para el embalse (agua retenida por cierto tiempo para originar la sedimentación de partículas) debe de estar libre de materia orgánica, por lo que es necesario remover diversas especies de plantas para prevenir la eutrofización (crecimiento de algas), cuando la cobertura herbácea se encuentra bajo agua y puede llegar a descomponerse.

Impactos potenciales en el medio socioeconómico: El movimiento de tierra puede afectar vestigios históricos y culturales (si en dado caso hubiera), por lo que si dentro del proceso de construcción y excavación se hiciera contacto con algún artefacto histórico, inmediatamente se debe suspender la actividad y contactar al Instituto de Antropología e Historia (IDAEH) para proceder como se indique.

Los paisajes pueden verse afectados por la construcción de la obra, por lo que en ocasiones es evidente observar la obra desde las carreteras, poblados y comunidades debido a la tala de árboles otros procedimientos. El constante transporte pesado puede provocar efectos dañinos al paisaje, sin embargo este hecho sólo sucede en tiempo de construcción.

8. Leyes de aplicación para proyectos hidroeléctricos en Guatemala. Si bien existen una serie de leyes generales para la construcción y operación de proyectos hidroeléctricos, la Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente (creada en 1986, Decreto 68-86) es una de las más importantes dentro del campo de generación de energía renovable. El ministerio de Ambiente y Recursos

Naturales es la entidad encargada de velar por el cumplimiento de las leyes enfocadas a la protección del medio ambiente. Sin embargo, en el caso de las hidroeléctricas, juega un papel muy importante la Ley de Electrificación regida por el Ministerio de Energía y Minas.

La ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente se puede resumir en los siguientes postulados:

a) “La protección, conservación y mejoramiento de los recursos naturales del país, así como la prevención del deterioro y mal uso o destrucción de los mismos, y la restauración del medio ambiente en general”. (Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente, Artículo 12, Título II, Disposiciones Preliminares)

b) “La prevención, regulación y control de cualesquiera de las causas o actividades que origine deterioro del medio ambiente y contaminación de los sistemas ecológicos, y excepcionalmente la prohibición en casos que afecten la calidad de vida y el bien común calificados así, previos dictámenes científicos y técnicos emitidos por organismos competentes”. (Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente, Artículo 12, Título II, Disposiciones Preliminares)

La ley de electrificación o electricidad, se encuentra en el Decreto 93-96, donde el Ministerio de Energía y Minas se encarga de velar por el cumplimiento de todos los artículos presentes en dicho decreto. A continuación, se mencionarán los artículos, que según el Manual de Buenas Prácticas para Proyectos Hidroeléctricos, son los más importantes dentro del ámbito legal en lo que concierne al desarrollo de proyectos hidroeléctricos.

Artículo 1. Básicamente, esta sección de la ley de electricidad se refiere a las actividades de generación, transporte, distribución y comercialización de electricidad, que debe cumplir con los siguientes enunciados: a) La generación de electricidad es libre, no requiere autorización de parte del estado, sin embargo debe cumplir con las leyes mínimas dictadas por la Constitución Política de la República de Guatemala. b) El transporte y distribución de electricidad es libre, siempre y cuando no se utilicen bienes de dominio público. c) Si en dado caso, para el transporte de electricidad se necesita de la utilización de bienes de dominio público, debe ser autorizado por las entidades encargadas en este aspecto. d) Los precios por prestar el servicio de electricidad son libres, a menos que para el transporte y distribución se haya requerido de bienes de dominio público, el precio será acordado. Dentro del mercado mayorista (transferencia de energía desde los generadores, comercializadores, importadores y exportadores) las actividades estarán reguladas conforme la ley lo dicta.

Artículo 2. En este artículo se menciona que las normas de la Ley General de Electricidad se aplican a todos aquellas personas que realicen cualquiera de las siguientes actividades: generación, transporte,

distribución y comercialización de electricidad, sean estas individuales o jurídicas, con participación privada, mixta o estatal.

Artículo 3. Este artículo expresa que el Ministerio de Energía y Minas es el órgano responsable de formular y coordinar las políticas, planes de estado, programas dirigidos al subsector eléctrico. Básicamente, el Ministerio de Energía y Minas debe velar por el cumplimiento de todo lo que dicta la ley.

a) Comisión Nacional de Energía Eléctrica. Artículo 4. Si bien El Ministerio de Energía y Minas es el encargado de atender lo relativo al régimen jurídico aplicable a la producción, distribución y comercialización de la energía en Guatemala, necesita el apoyo necesario para aplicar la ley, pues el campo de la energía es muy extenso. Por esta razón La Ley General de Energía crea la Comisión Nacional de Energía Eléctrica, que funciona como un órgano técnico del MEM. La CNEE posee independencia al aplicar las siguientes funciones (Decreto 93-96, Artículo 4): a) Cumplir y hacer cumplir la presente ley y sus reglamentos, en materia de su competencia, e imponer las sanciones a los infractores. b) Velar por el cumplimiento de las obligaciones de los adjudicatarios y concesionarios, proteger los derechos de los usuarios y prevenir conductas atentatorias contra la libre competencia, así como prácticas abusivas o discriminatorias. c) Definir las tarifas de transmisión y distribución sujetas a regulación, de acuerdo a la presente ley, así como la metodología para el cálculo de las mismas. d) Disminuir las controversias que surjan entre los agentes del subsector eléctrico, actuando como árbitro entre las partes cuando éstas no hayan llegado a un acuerdo. f) Emitir las normas técnicas relativas al subsector eléctrico y fiscalizar su cumplimiento en congruencia con prácticas internacionales aceptadas.

Instalación de Obras de Generación, Transporte y Distribución de Electricidad. Capítulo I Generalidades. Artículo 8. En este artículo se vuelve a mencionar que no se requiere autorización gubernamental para la instalación de centrales generadoras de energía, sin embargo es imprescindible cumplir con las regulaciones de conservación del medio ambiente y protección de las personas. Cuando se desea utilizar bienes del estado para la instalación de las centrales, y la potencia exceda 5MW, se deberá contar con la respectiva autorización de MEM. El Ministerio deberá resolver las solicitudes en un plazo de 90 días a partir de la fecha en que se presentó la solicitud, y se haya cumplido con lo estipulado en el artículo 10 (presentado en el desarrollo del trabajo).

Artículo 10. Este artículo menciona que cualquier proyecto de generación y de transporte de energía eléctrica deberá realizar y adjuntar los resultados de una evaluación ambiental. Los resultados de dicha evaluación serán analizados por parte de la Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA) en un plazo de 60 días a partir de la recepción del documento.

Luego de la evaluación por parte de CONAMA, se aprobará o rechazará el proyecto. En muchas ocasiones los proyectos son aprobados, sin embargo se incluyen algunas recomendaciones que deben cumplirse por parte de los desarrolladores de la obra. Si en dado caso no se tiene una respuesta de parte de CONAMA en el plazo de 60 días, el proyecto se dará por aprobado.

Artículo 11. Para los estudios previstos de proyectos de generación, transporte y distribución de electricidad, se puede autorizar un plazo máximo de 1 año. Durante ese año, se cuenta con la autorización para realizar estudios, sondeos y mediciones en terrenos públicos y privados. Si llegaran a causarse daños debido a los estudios, los perjuicios serán determinados por la ley.

La solicitud temporal de permiso para realizar los estudios previos a desarrollar el proyecto (pre factibilidad) debe efectuarse de acuerdo a lo establecido por el reglamento. Los permisos son autorizados por el Ministerio de Energía y Minas, y no existe ningún limitante para que otro interesado soliciten permisos de estudios para la misma área.

Artículo 12. Cuando algún recurso hidráulico (cuerpos de agua, especialmente ríos y lagos) se utilice de manera conjunta para generar energía y otros usos, o más aprovechamientos hidráulicos de energía eléctrica en el mismo cauce (dos hidroeléctricas en el mismo río) el titular que autoriza el aprovechamiento del recurso debe percatarse que todos los proyectos y usos que se le da al cuerpo de agua, no se vean afectados unos a otros.

Autorizaciones para la generación, transporte y servicio de distribución final de electricidad. Artículo 13. En cuanto a la autorización del ministerio para la instalación de las generadoras, se deberá recurrir al artículo 8 del Decreto 93-96, el cual se desarrolló anteriormente. El transporte y la distribución de la electricidad se abarcan en el capítulo 8 y 11, sin embargo se debe tomar en cuenta cualquier otra obligación estipulada por la ley, que se abarque en otros artículos.

Artículo 14. La autorización para la instalación de centrales generadoras podrá ser solicitada por cualquier persona individual o jurídica. Para poder obtener la autorización, se debe aplicar ante el Ministerio de Energía y Minas, con la información que se solicita en la ley, incluyendo las servidumbres que se deben aplicar ante el uso de propiedad privada.

Artículo 15. Es obligación por parte del Ministerio de Energía y Minas publicar en el diario de Centro América o algún otro diario de importancia, las generalidades de la solicitud de autorización. En el transcurso de ocho días después de la publicación, cualquier persona que tenga alguna objeción o desea solicitar un permiso para implementar un proyecto en la misma área y con los mismos propósitos, deberá comunicarlo con el Ministerio por medio de algún medio escrito. Si no dado caso no se presentaran objeciones, en un plazo de treinta días, el Ministerio deberá formalizar la autorización.

Artículo 16 y 17. Después de haberse concluido los plazos mencionados en el artículo 15, en los siguientes 15 días, el Ministerio deberá proceder en acto público a la apertura de las plicas o escritos, que no deben abrirse a menos que se den las circunstancias adecuadas.

El Ministerio debe resolver las solicitudes de las autorizaciones en un plazo de 60 días. Si en dado caso no se llega a una conclusión certera en el plazo establecido, se deberá aplicar otros métodos según lo estipulado por la ley.

Artículo 18. Si las solicitudes de autorización se resuelven sin ningún percance, en los siguientes 15 días, se deberá publicar en el diario de Centro América el acuerdo Ministerial en el cual se deja constancia de la resolución. Dicho acuerdo deberá contener todos los derechos y obligaciones de ambas partes, condiciones especiales si llegaran a ocurrir imprevistos, servidumbres sobre terrenos privados, causas que puedan causar el fin del contrato, fecha en la que inicia la obra, plazos máximos para finalizar la obra, etc.

Artículo 19. A los 30 días de la fecha de publicación del acuerdo con el Ministerio, se deberá suscribir el contrato en escritura pública. En dicha escritura, deberán incluirse todos los procedimientos que se llevarán a cabo en caso se necesitara una modificación o ampliación de la autorización.

Artículo 20. La autorización de la distribución final de electricidad incluirá una zona territorial que se delimitará de acuerdo a la ley. Sin embargo, dicha zona territorial puede ampliarse o modificarse siempre y cuando se cuente con la autorización del Ministerio. La zona que ha sido autorizada no otorga exclusividad de servicio al adjudicatario. Dentro del territorio de la zona delimitada, habrá un área obligatoria de servicio, la cual no debe ser menor a 200 metros alrededor de las instalaciones.

Artículo 21 y 22. Si el Acuerdo Ministerial que autoriza la distribución de electricidad no se suscribe a la escritura pública en un lapso de diecinueve días, el acuerdo caducará.

Las personas que adquirieron las autorizaciones tanto para el transporte como la distribución de electricidad están en la libertad de realizar las siguientes acciones, siempre y cuando estén facultados para realizarlas, pues cualquier por cualquier daño ocasionado, los adjudicatarios deberán hacerse responsables (Ley de electrificación, Decreto 93-96) a) Usar en la construcción de las obras los bienes de dominio público, cruzar ríos, puentes, vías férreas y líneas de transporte y distribución de electricidad. b) Remover la vegetación que sea necesaria dentro de la franja de la servidumbre de paso, a efecto de lograr las libranzas especificadas que garanticen la seguridad de vidas, bienes y las propias instalaciones eléctricas.

De la Imposición de Servidumbres en Bienes de Dominio Público y Privado. Artículo 23. Tipos de servidumbres legales de utilidad Pública. Este artículo se refiere a los diversos tipos de servidumbres legales que existen para el caso de instalaciones de generación de energía. El primer tipo se refiere a la servidumbre de paso, la cual permite la construcción de senderos o caminos en el terreno privado. También existen los de agua, los cuales permiten la construcción de acueductos o la utilización de ciertas técnicas destinadas al estudio de la zona.

Artículo 24. Las líneas de conducción están autorizadas para cruzar líneas telefónicas, eléctricas, telegráficas, ríos, acueductos, calles, líneas férreas, canales, siempre y cuando las instalaciones se realicen con las especificaciones adecuadas para garantizar la seguridad de las personas y de la prestación de servicios.

Artículo 25. Este artículo se refiere a la duración de las servidumbres, las cuales tendrán un plazo indefinido. Si en dado caso ya no se requiere mantener las instalaciones para la prestación de servicios en el terreno sirviente, se deberá acudir al Ministerio para realizar los trámites adecuados.

Artículo 26. Cuando se acuerde no continuar con las servidumbres, sin importar el motivo, el dueño del predio o terreno recuperará el dominio total del mismo y no estará obligado a devolver compensaciones recibidas.

Artículo 28. Si se finaliza el período de uso de bienes de dominio público, las servidumbres pueden permanecer vigentes si fuera necesario volver a utilizar el terreno para el fin deseado. Por esta razón, el nuevo adjudicatario tendrá los mismos derechos sobre el terreno que el anterior.

Artículo 31. Derechos que implica la constitución de servidumbres legales de utilidad pública. Este artículo se refiere a los derechos que poseen los adjudicatarios de los terrenos sirvientes (Ley de electrificación, Decreto 93-96): a) Construir en los terrenos afectados por la servidumbre, las obras e instalaciones necesarias y destinadas al servicio correspondiente. b) Colocar postes y torres, tender cables aéreos o subterráneos, instalar subestaciones y demás estructuras necesarias para la prestación del servicio, bajo la responsabilidad exclusiva del adjudicatario. c) Utilizar las áreas necesarias para la constitución de las servidumbres en general y para la construcción, inspección, mantenimiento, reparación y modificación de las instalaciones correspondientes. d) Delimitar los terrenos para las bocatomas, canales de conducción, vertederos, clasificadores, estanques, cámaras de presión, tuberías, dependencias, habitaciones para el personal, canales de desagüe, caminos de acceso y en general todas las demás obras estrictamente requeridas para las instalaciones. e) Descargar las aguas, por los cauces existentes en el predio sirviente, siempre que las condiciones de los mismos lo permitan.

Artículo 32. Obligaciones que implica la constitución de las servidumbres legales de utilidad pública. Los propietarios de los terrenos sobre los cuales se realizan las servidumbres, deben cumplir con las siguientes obligaciones (Ley de electrificación, Decreto 93-96): a) Permitir la construcción de las instalaciones que correspondan, así como el paso de los inspectores y de los trabajadores que intervengan en el transporte de materiales y equipo necesario para los trabajos de construcción, reconstrucción, inspección, mantenimiento y reparación o modificación de las instalaciones. b) La no realización de construcciones, siembras u otros trabajos dentro del área, de la servidumbre; se exceptúan los cultivos, siembras y en general uso de la tierra que no afecten las libranzas eléctrica.