

CUENCAS HIDROGRÁFICAS:
BASES CONCEPTUALES – CARACTERIZACIÓN-
PLANIFICACIÓN-ADMINISTRACIÓN

CARLOS HERNANDO LONDOÑO ARANGO

Profesor Titular

Universidad del Tolima

TRABAJO REALIZADO DURANTE EL PERÍODO DE AÑO SABÁTICO

UNIVERSIDAD DEL TOLIMA
FACULTAD DE INGENIERÍA FORESTAL
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA

Ibagué, 2001

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	13
1 EL HOMBRE Y SU RELACIÓN CON LA NATURALEZA	17
1.1 ETNIAS Y CULTURAS COLOMBIANAS	19
1.1.1 Indígenas	19
1.1.2 Afrocolombianos	20
1.1.3 Campesinos	20
1.1.4 Colonos	21
1.2 EL CLIMA EN COLOMBIA	22
1.3 LA BIODIVERSIDAD COLOMBIANA	27
1.4 EL MACIZO COLOMBIANO	33
1.5 EL HOMBRE Y LOS RECURSOS NATURALES RENOVABLES	35
1.6 EL HOMBRE Y LOS SISTEMAS HIDROGRÁFICOS	40
1.7 CONTAMINANTES DE MARES, RÍOS Y LAGOS	52
2 LA CUENCA HIDROGRÁFICA	57
2.1 CONCEPTOS DE CUENCA HIDROGRÁFICA	57
2.2 LA CUENCA HIDROGRÁFICA COMO UN SISTEMA	59
2.2.1 Objetivos del sistema	61
2.2.2 Ambiente del sistema	61
2.2.3 Recursos del sistema	61
2.2.4 Componentes del sistema	61
2.2.5 Administración del sistema	62
2.2.6 Productos o servicios	62
2.3 DELIMITACIÓN DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA	64
2.4 CLASIFICACIÓN DE LAS CUENCAS HIDROGRÁFICAS	66
2.5 LA ACTIVIDAD DE LOS RÍOS	70
2.5.1 Procesos erosivos	71
2.5.2 Desfiladeros y cañones	71
2.5.3 Rápidos y cataratas	71
2.5.4 Meandros	71
2.5.5 Planicie de inundación	72

2.5.6	Deltas	73
2.6	PATRÓN DE DRENAJE	73
2.6.1	Patrones de drenaje erosionales	74
2.6.1.1	Dendrítico	74
2.6.1.2	Pinnado	75
2.6.1.3	Paralelo	75
2.6.1.4	Rectangular	76
2.6.1.5	Radial	77
2.6.1.6	Anular	77
2.6.1.7	Trellis	77
2.6.2	Patrones de drenaje deposicionales	78
2.6.2.1	Reticular	79
2.6.2.2	Distributivo	79
2.6.3	Patrones de drenaje especiales	79
2.6.3.1	Multibasinal	79
2.6.3.2	Artificial	81
2.6.4	Patrones de corrientes individuales	81
2.6.4.1	Cauces rectos	81
2.6.4.2	Cauces meándricos	81
2.6.4.3	Cauces trenzados	82
2.7	CLASIFICACIÓN DE LOS CURSOS DE AGUA	83
3	INTERRELACIONES PRESENTES EN UNA CUENCA HIDROGRÁFICA	86
3.1	RELACIÓN AGUA – SUELO – PLANTA	88
3.2	INTERRELACIONES ENTRE INFRAESTRUCTURA FÍSICA -POBLACIÓN - MEDIO AMBIENTE	94
3.3	CICLOS FUNDAMENTALES PARA LA VIDA	96
3.3.1	El ciclo del oxígeno	96
3.3.2	El ciclo del carbono	96
3.3.3	El ciclo del nitrógeno	97
3.3.4	El ciclo del fósforo	98
3.3.5	El ciclo del azufre	99
3.3.6	El ciclo del agua	101
4	LA ACCIÓN ANTRÓPICA Y LOS FENÓMENOS NATURALES EN LAS CUENCAS HIDROGRÁFICAS	103

4.1	ALTERACIONES DE ORIGEN ANTRÓPICO	105
4.1.1	Uso agrícola	107
4.1.2	Actividad forestal	111
4.1.3	Desarrollo urbano	117
4.1.4	Ciénagas y pantanos	123
4.1.5	Minería	125
4.1.6	Incendios	126
4.1.7	Generación de energía	128
4.1.8	Abastecimiento de agua	130
4.1.9	Control de inundaciones y navegación	130
4.1.10	Recreación	131
4.2	ALTERACIONES DE ORIGEN NATURAL	131
4.3	AFECTACIÓN LOCAL O REGIONAL	135
4.4	AFECTACIÓN GLOBAL	137
5	MANEJO DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS	142
5.1	CONCEPTO DE MANEJO DE CUENCAS	142
5.2	DESARROLLO DEL CONCEPTO DE MANEJO DE CUENCAS A NIVEL MUNDIAL	145
5.3	DESARROLLO DE LAS ACTIVIDADES DE MANEJO DE CUENCAS EN COLOMBIA	149
5.4	EVOLUCIÓN DE LA PLANIFICACIÓN DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS HACIA EL CONCEPTO DE DESARROLLO INTEGRADO	156
5.5	OBJETIVOS POSIBLES DENTRO DEL DESARROLLO INTEGRAL DE GRANDES CUENCAS HIDROGRÁFICAS	165
5.6	IMPORTANCIA DEL MANEJO DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS	167
5.6.1	Control de erosión y sedimentación	167
5.6.2	Control de inundaciones	169
5.6.3	Cuencas para el abastecimiento de agua a las ciudades	172
5.6.4	Desarrollo social y económico	176
6	JERARQUIZACIÓN DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS	178
6.1	IMPORTANCIA DEL PROCESO DE JERARQUIZACIÓN	178
6.2	SELECCIÓN Y DELIMITACIÓN DE LAS ÁREAS A JERARQUIZAR	180
6.3	DEFINICIÓN DE CRITERIOS	180
6.4	NÚMERO DE CRITERIOS	181
6.5	PONDERACIÓN DE CRITERIOS	182

6.6	MEDICIÓN DE CRITERIOS	184
6.7	CALIFICACIÓN DE LOS CRITERIOS	184
6.8	MATRIZ DE DECISIÓN	186
7	CARACTERÍSTICAS MORFOMÉTRICAS Y FISIOGRÁFICAS DE LAS CUENCAS HIDROGRÁFICAS	189
7.1	ASPECTOS LINEALES DE LOS SISTEMAS DE CAUCES	190
7.1.1	Número de orden de los cauces	190
7.1.2	Razón de bifurcación	192
7.1.3	Longitud de los cauces	194
7.1.4	Razón de longitud	195
7.1.5	Sinuosidad de las corrientes de agua (S)	197
7.2	ASPECTOS DEL ÁREA DE LAS CUENCAS DE DRENAJE	198
7.2.1	Área de la cuenca	199
7.2.1.1	Importancia del área	199
7.2.1.2	Relación del área a la descarga	202
7.2.1.3	Relación entre el área y la longitud de los cauces principales	203
7.2.2	Forma de la cuenca	205
7.2.2.1	Factor de forma de Horton (R_f)	206
7.2.2.2	Factor de forma de Gravelius (F_f)	207
7.2.2.3	Razón circular de Miller (R_c)	208
7.2.2.4	Razón de elongación de Schum (R_e)	208
7.2.2.5	Coefficiente de compacidad de Gravelius (K_c)	208
7.2.2.6	Índice de alargamiento (I_a)	209
7.2.2.7	Índice de homogeneidad (I_h)	209
7.2.3	Índice asimétrico (I_a)	210
7.2.4	Densidad de drenaje (D)	210
7.2.5	Constante de mantenimiento de cauces (C)	213
7.2.6	Textura de drenaje	213
7.2.7	Frecuencia de cauces (F)	214
7.2.8	Extensión media de la escorrentía superficial (E)	215
7.3	ASPECTOS DEL RELIEVE SUPERFICIAL Y DE LOS SISTEMAS DE CAUCES	216
7.3.1	Gradientes del cauce	216

7.3.1.1	Perfil longitudinal del cauce	217
7.3.1.2	Pendiente media del cauce	218
7.3.1.2.1	Método de los valores extremos	218
7.3.1.2.2	Método de compensación de áreas o pendiente racional	218
7.3.1.2.3	Método de Taylor y Schwarz	218
7.3.1.3	Concavidad o convexidad de los cauces (c)	220
7.3.2	Gradientes de la superficie	220
7.3.2.1	Método de isotangentes	221
7.3.2.2	Método de coordenadas al azar	222
7.3.2.3	Método de la red cuadrada	223
7.3.2.4	Método de Horton	223
7.3.2.5	Índice de pendiente	225
7.4	ASPECTOS ALTITUDINALES DE LAS CUENCAS	226
7.4.1	Importancia de la elevación de la cuenca	226
7.4.2	Curva hipsométrica	229
7.4.3	Altura media	230
7.4.3.1	Método área-elevación	230
7.4.3.2	Método a partir de la curva hipsométrica	231
7.4.3.3	Método de las cuadrículas	231
7.4.4	Coeficiente de masividad (Cm)	232
7.4.5	Rectángulo equivalente	232
8	CARACTERIZACIÓN DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA	235
8.1	RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN	237
8.1.1	Descripción general del área de la cuenca	239
8.1.2	Características biofísicas de la cuenca	239
8.1.3	Características sociales	258
8.1.4	Características económicas	260
8.1.5	Infraestructura existente en la cuenca	262
8.1.6	Presencia institucional	263
8.1.7	Caracterización cultural	263
9	EL PROCESO DE PLANIFICACIÓN APLICADO A LA FORMULACIÓN DE PLANES DE MANEJO DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS	265
9.1	METODOLOGÍAS DE PLANIFICACIÓN	272
9.1.1	Prospectiva	272

9.1.2	Planificación estratégica	272
9.1.3	Planificación estratégica situacional	273
9.1.4	Planificación acción participativa	273
9.1.5	Evaluación ecológica rápida	273
9.1.6	Evaluación rural rápida	273
9.2	PROCESO DE PLANIFICACIÓN PARA EL MANEJO DE CUENCAS	274
9.2.1	Diagnóstico	279
9.2.1.1	Identificación de actores	280
9.2.1.2	Definición de los objetivos de uso de la cuenca	280
9.2.1.3	Identificación y descripción del medio	280
9.2.1.4	Identificación y descripción de situaciones	281
9.2.1.5	Determinación de restricciones	283
9.2.1.6	Identificación de soluciones	284
9.2.2	Formulación del plan	284
9.2.2.1	Objetivos del plan	286
9.2.2.2	Selección de la alternativa deseada	288
9.2.2.3	Priorización de alternativas	288
9.2.2.4	Estrategias y programas de acción	289
9.2.2.5	Definición de programas y proyectos	290
9.2.2.6	Organización para la ejecución del plan	291
9.2.2.7	Monitoreo y evaluación	293
9.2.2.8	Características esenciales del contenido del plan	294
10	LA ADMINISTRACIÓN APLICADA AL MANEJO DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS	297
10.1	EL PROCESO ADMINISTRATIVO	299
10.1.1	Planeación	299
10.1.2	Organización	306
10.1.3	Integración de personal	309
10.1.4	Dirección	310
10.1.5	Control	313
11	LEGISLACIÓN FUENTES DE FINANCIACIÓN E INSTITUCIONES INVOLUCRADAS EN LA PLANIFICACIÓN Y EL MANEJO DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS	316
11.1	LEGISLACIÓN	316
11.1.1	Constitución Política de la República de Colombia	316

11.1.2	Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente – Decreto ley 2811 de 1974	319
11.1.3	Decreto número 2857 de 1981	322
11.1.4	Ley número 99 de 1993	324
11.1.5	Ley número 161 de 1994	328
11.1.6	Ley número 70 de 1993	330
11.1.7	Otras aspectos de la normatividad	333
11.2	INSTRUMENTOS DE FINANCIACIÓN	336
11.3	ORGANISMOS QUE INTERVIENEN EN LA GESTIÓN DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS	341
11.3.1	Ministerio del Medio Ambiente	341
11.3.2	Planeación Nacional	341
11.3.3	Corporaciones Autónomas Regionales	341
11.3.4	Departamentos	342
11.3.5	Municipios	343
11.3.6	Unidades Ambientales Urbanas	343
11.3.7	Unidades Municipales de Asistencia Técnica Agropecuaria a Pequeños Productores - UMATAS	344
11.3.8	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM	344
11.3.9	Instituto Geográfico Agustín Codazzi - IGAC	344
11.3.10	Instituto de Investigaciones en Geociencia, Minería y Química - INGEOMINAS	348
11.3.11	Cuerpo Especializado de la Policía Ambiental y de los Recursos Naturales	348
11.3.12	Servicio Ambiental	348
11.3.13	Organizaciones Ambientales no Gubernamentales - ONGS	348
11.3.14	Asociaciones de Usuarios	349
	BIBLIOGRAFÍA	350

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Número de especies reportadas en los 17 países más destacados por su biodiversidad	30
Tabla 2. Distribución de la población colombiana por vertientes y su relación con la oferta hídrica.	47
Tabla 3. Inventario de las cuencas hidrográficas de Colombia	69
Tabla 4. Efectos del corte del bosque sobre algunos parámetros de la calidad del agua medidos un año después del corte.	113
Tabla 5. Efectos del corte comercial y del corte silvicultural sobre la turbidez del agua	115
Tabla 6. Ponderación de criterios	183
Tabla 7. Calificaciones para cada una de las categorías de clase establecidas para cada criterio	186
Tabla 8. Matriz de decisión	187
Tabla 9. Valores mínimos y máximos de la densidad de drenaje para 1283 cuencas hidrográficas estudiadas en el departamento del Tolima - Colombia	213
Tabla 10. Modelo de tabla para ordenar la información necesaria para la construcción de la curva hipsométrica (quebrada San Antonio - Subcuenca Río Chipalo)	229

LISTA DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 1. Algunas características hidrológicas de las cuencas pequeñas y grandes	67
Cuadro 2. Objetivos posibles dentro del desarrollo integral de grandes cuencas hidrográficas	166
Cuadro 3. Medición de los criterios	184
Cuadro 4. Matriz para establecer los conflictos de uso del suelo	257
Cuadro 5. Información general sobre las Corporaciones Autónomas Regionales	347

LISTA DE FIGURAS

		Pág.
Figura 1.	Zonificación del macizo	34
Figura 2.	Zonificación hidrográfica de Colombia	46
Figura 3.	Megasistema de relaciones envolviendo agua tierra y hombre	60
Figura 4	Divisoria de aguas de la microcuenca de la quebrada San Antonio subcuenca del río Chipalo	65
Figura 5.	Meandros	72
Figura 6.	Patrones de drenaje erosionales	75
Figura 7.	Patrones de drenaje erosionales	76
Figura 8.	Patrones de drenaje erosionales	78
Figura 9.	Patrones de drenaje deposicionales	79
Figura 10.	Patrones de drenaje especiales	80
Figura 11.	Patrones de drenaje individuales	82
Figura 12.	Evolución de la planificación de cuencas hidrográficas hacia el concepto integrado de desarrollo	161
Figura 13.	Determinación del orden de la microcuenca de la quebrada San Antonio subcuenca del río Chipalo por los métodos de Horton (A) y Strahler (B)	192
Figura 14.	Determinación del orden de la microcuenca de la quebrada San Antonio subcuenca del río Chipalo por el método de Shreve	193
Figura 15.	Sinuosidad de las corrientes de agua	198
Figura 16.	Variación de los caudales promedios anuales y máximos instantáneos en relación con el crecimiento del área de la cuenca	200
Figura 17.	Crecimiento del caudal promedio de una cuenca hidrográfica con cabeceras en las montañas, en función del crecimiento del área	201
Figura 18.	Crecimiento de los caudales máximos en una cuenca hidrográfica, en función del crecimiento del área	201
Figura 19.	Disminución de los caudales promedios y mínimos de un río, a medida que crece el área de la cuenca, cuando el río penetra en una zona de litología muy permeable	203
Figura 20.	Disminución de los caudales máximos de un río, a medida que crece el área de la cuenca, cuando el río penetra en una zona de ciénagas o zonas inundables	204

Figura 21.	Factor de forma	207
Figura 22.	Texturas de drenaje	215
Figura 23.	Extensión media de la escorrentía superficial	216
Figura 24.	Perfil longitudinal del cauce principal de la quebrada San Antonio subcuena río Chipalo	217
Figura 25.	Determinación de la concavidad del cauce principal de la quebrada San Antonio subcuena río Chipalo	221
Figura 26.	Mapa de pendientes superficiales microcuena San Antonio – subcuena río Chipalo	224
Figura 27.	Relación entre rendimientos promedios multianuales y elevaciones medias de las cuencas hidrográficas	226
Figura 28.	Curva hipsométrica de la microcuena de la quebrada San Antonio subcuena río Chipalo	229
Figura 29.	Rectángulo equivalente de la microcuena de la quebrada San Antonio subcuena del río	233
Figura 30.	El proceso administrativo como un sistema aplicado al manejo de cuencas hidrográficas	300

INTRODUCCIÓN

La sociedad actual es dinámica y cambiante, y para satisfacer sus necesidades hace uso de los recursos naturales de diferentes modos, produciendo efectos sobre el medio ambiente, como una reacción del ecosistema a la acción del hombre en el desarrollo de sus actividades cotidianas. Las consecuencias del uso de los recursos naturales pueden hacerse sentir a nivel local, regional o mundial, dependiendo de su intensidad y extensión.

El uso de los recursos naturales de una cuenca hidrográfica conlleva a la generación de serios problemas ambientales y de agotamiento de dichos recursos. Actividades tales como la deforestación, construcción de hidroeléctricas, uso agropecuario, construcción de vías, urbanizaciones, etc., ocasionan efectos inevitables sobre las cuencas hidrográficas, que pueden incidir seriamente en el desarrollo de las sociedades presentes y futuras, si no se toma en cuenta su conservación, a través de un manejo racional.

Las demandas por el recurso agua crean conflictos entre los seres humanos, y de estos con su entorno. Es por esto, que se debe adelantar todo un proceso de gestión alrededor del recurso agua y de sus cuencas de captación, con el fin de evitar dichos conflictos, prevenirlos y solucionarlos. El ser humano debe aprender a vivir con estos conflictos y enfrentarlos adecuadamente, teniendo en cuenta, además, que la escasez relativa de agua se incrementará constantemente con el tiempo, como resultado del crecimiento económico, demandas sociales y cambios climáticos. En cuencas donde se asientan poblaciones o que abastecen a zonas urbanas, estos conflictos se agudizan.

La degradación de los suelos por el uso inadecuado de las tierras constituye otro de los grandes problemas que confronta la agricultura en el mundo, y que se acentúa cada vez más, no sólo por la falta de capacitación de los usuarios de este recurso, sino, también, debido al crecimiento de la población, que cada día presiona por un

uso más intenso de los recursos, y por una ampliación de la frontera agrícola para el establecimiento de ganaderías y/o cultivos. En Colombia, esta presión sobre el suelo se ve acentuada con la destrucción de áreas de vocación forestal, para el establecimiento de cultivos ilícitos, y actividades agropecuarias sin técnicas adecuadas de conservación de suelos; lo mismo que la construcción de edificaciones, caminos, carreteras, extracción de madera, minería y otras actividades, que crean serios problemas de erosión de los suelos, transporte de material erosionado y sedimentación, ocasionando la pérdida de fertilidad de las tierras, la disminución de la capacidad de los cauces para conducir el agua, y una mayor probabilidad de ocurrencia de inundaciones. Estos efectos negativos, además de atentar contra la economía de los habitantes de la cuenca y de la región, causan severos problemas ambientales dentro y fuera de la misma.

La mayoría de los procesos de erosión pueden evitarse o mitigarse, aplicando medidas de prevención a través de una buena planificación para el uso de las tierras. En consecuencia, un conocimiento básico de los diferentes usos y problemas derivados, es fundamental para la planificación de los recursos naturales existentes en la cuenca, con miras a un uso sustentable de los mismos; es decir, que las actividades deben estar orientadas a la obtención de bienes y servicios, para cubrir las necesidades de la comunidad, sin ocasionar impactos ambientales negativos para los usuarios de la cuenca y los habitantes de aguas abajo de la misma, ni afectar la sustentabilidad de la productividad de la cuenca.

Los conflictos, cada vez más graves, que se producen por el uso inadecuado de los diferentes recursos naturales, en especial el suelo, el agua y la vegetación, han hecho que los graves efectos de desastres provocados por inundaciones y sequías aumenten la sensibilidad de la población con relación a este tema. En la última década del siglo veinte, los desastres provocados por fenómenos naturales han sido y siguen siendo de gran importancia. Prácticamente no hay país que no haya sufrido y siga sufriendo enormes tragedias, con pérdidas de vidas humanas y económicas, a causa de inundaciones o sequías, así como por contaminación.

La complejidad de interacciones que se dan en el sistema cuenca hidrográfica, obliga a que los planificadores de cuencas, las instituciones que tienen que ver con el manejo de los recursos naturales renovables, y estudiantes o personas que deseen recibir capacitación sobre el tema, adquieran un enfoque claro y preciso sobre algunos conceptos básicos, que les permitan actuar con mayor propiedad en este campo.

La Comisión Económica para América Latina y el Caribe, CEPAL, (1999), considera que hay necesidad de formar equipos interdisciplinarios que aborden el tema de gestión de cuencas y del agua, así como entrenar a los múltiples actores involucrados en la gestión del agua. Manifiesta, además, que es esencial elaborar libros de texto sobre la materia. Al respecto, recomienda evaluar el material escrito disponible, redactar nuevos textos adaptados a cada región o país, y distribuirlos a los centros de educación.

El autor del presente libro, teniendo en cuenta las múltiples situaciones de deterioro que afrontan las cuencas hidrográficas del país; su experiencia al frente de las cátedras de diagnóstico y planificación de cuencas hidrográficas, que se dictan en la Facultad de Ingeniería Forestal de la Universidad del Tolima; y retomando las recomendaciones de la CEPAL, ha hecho una cuidadosa revisión y evaluación del material escrito disponible, con el fin de elaborar un documento que sea un paso adelante, hacia la consecución de un texto que se adapte a las condiciones del país. El documento se compone de once capítulos, a lo largo de los cuales se hace una reseña de la diversidad étnica, biológica y climática de Colombia; se exponen los problemas que se han originado por la relación equivocada del ser humano con la naturaleza; se compilan algunos conceptos sobre cuenca hidrográfica y manejo de cuencas; se hace una reseña histórica de lo que ha sido el desarrollo del manejo de cuencas, a nivel mundial y nacional; se analizan las interrelaciones que se pueden presentar entre los diferentes elementos que se encuentran en una cuenca hidrográfica, enfatizando en las relaciones que se dan entre las plantas, el suelo y el agua; se expone la forma como las alteraciones ambientales surgen de la interacción

entre los procesos naturales, sociales, económicos y culturales, y la afectación que estas alteraciones pueden traer a nivel local, regional o global; para finalizar con temas relacionados con el proceso de planificación de cuencas hidrográficas, y la legislación que, sobre el particular, se tiene en Colombia.

Este libro puede considerarse como un texto de consulta para los estudiantes de los cursos de Diagnóstico y Planificación de Cuencas Hidrográficas, que se dictan en la Facultad de Ingeniería Forestal, al igual que para las personas interesadas en el tema del uso, conservación y protección de las cuencas hidrográficas, los recursos naturales renovables y del medio ambiente, en general.

CAPÍTULO 1

EL HOMBRE Y SU RELACIÓN CON LA NATURALEZA

Desde el Homo habilis (que vivió hace aproximadamente dos millones de años), pasando por el Homo erectus (que vivió hace aproximadamente 1,6 millones de años), el proceso evolutivo del hombre llegó al Homo sapiens que vivió entre hace 100.000 y 35.000 años en Europa, África del Norte y Asia, hasta llegar al Homo sapiens sapiens, especie actual, representada entonces por el hombre de Cro Magnon. Ya por esas épocas, las primeras comunidades de humanos, pueblos nómadas de pescadores y cazadores, interactuaban con el ambiente circundante. Posteriormente, hace aproximadamente 12.000 años, se inicia el período neolítico, y se empiezan a organizar las primeras sedes de población; el hombre se va haciendo sedentario e inicia nuevas actividades: la agricultura y la ganadería. Las poblaciones se fueron expandiendo y se organizaron en regiones donde las condiciones ambientales (clima, fauna, flora) eran más propicias o permitían el desarrollo. Durante un largo período, se forman las primeras civilizaciones. Se desarrollan actividades como la metalurgia y la industria, que son nuevas formas de interacción del hombre con el medio biofísico. Un hecho destacado, en la historia de las relaciones sociedad–naturaleza, es la revolución industrial a finales del siglo XVIII, ya que, en esa época, se inicia una nueva forma de interacción con la materia y la energía, con una mayor intensidad de los flujos de algunos elementos hacia la atmósfera.

La aparición del hombre, el crecimiento de la población, el progreso científico y tecnológico, y la expansión social y económica llevaron a la formación de una nueva esfera del ecosistema planetario: la antroposfera. Los procesos que en ella se desarrollan y la interacción con las demás esferas (la atmósfera, la hidrosfera, la litosfera y la biosfera), juegan un papel importante en la dinámica del ecosistema global actual.

La atmósfera es la capa gaseosa que cubre el planeta, y además de contener el aire, incluye partículas sólidas y líquidas en suspensión o aerosoles y nubes. Está compuesta aproximadamente, en volumen, por un 78% de nitrógeno, un 21% de oxígeno y el resto por anhídrido carbónico, gases nobles, vapor de agua y ozono. La composición de la atmósfera y los procesos que allí se desarrollan tienen gran influencia en la actividad humana y en el comportamiento del medio ambiente en general y, en una u otra medida, afectan los procesos de producción, intercambio y consumo de bienes y servicios, el bienestar y la seguridad de la población, las relaciones sociedad-naturaleza, y los procesos en otras esferas del medio natural. De ahí la necesidad de hacer el seguimiento continuo de la dinámica de la atmósfera, su circulación, las variaciones en su composición y los fenómenos que en ella ocurren.

La hidrosfera es el conjunto de la envoltura acuosa, en estados líquido, sólido y gaseoso, que rodea la Tierra, y ocupa, aproximadamente, el 70% de su superficie, repartida en aguas dulces y marinas. Constituye un medio fundamental para el desarrollo de la vida. Conjuntamente con la atmósfera, forma una máquina térmica que condiciona aspectos fundamentales del clima. Su composición no es uniforme, ya que, existe una variedad importante, en cantidad y calidad, de sales disueltas entre el agua oceánica y continental, y también la diferencia entre las distintas aguas dulces es mayor, ya que, están mucho más condicionadas por la cubeta que las contiene.

La litosfera es la parte sólida de la Tierra, formada por la corteza y parte del manto superior; su espesor oscila entre 70 y 150 kilómetros. Se supone que la parte más externa (sial, por la predominancia de silicio y aluminio) descansa sobre la parte más densa y profunda (sima, formada por silicio y magnesio).

La biosfera es la parte de la Tierra y de la atmósfera en la que es posible la vida y, por extensión, el conjunto de todos los organismos animales y vegetales actuales o extintos.

La antroposfera incluye todas las formas de actividad, de relaciones y de funciones dentro de la sociedad humana.

1.1 ETNIAS Y CULTURAS COLOMBIANAS

La Constitución Política de Colombia establece que “el Estado reconoce y protege la diversidad étnica y cultural de la Nación colombiana” (artículo 7) y que “es obligación del Estado y de las personas, proteger las riquezas culturales y naturales de la Nación” (artículo 8). Estos dos artículos de la Constitución Nacional se pueden considerar como los pilares que sustentan, conjuntamente con toda la legislación sobre estos temas existente en el país, la defensa del patrimonio ambiental y cultural, y de la razón de ser de una nación, como es su población, con sus diferentes razas, tradiciones y costumbres.

En Colombia existen diferentes etnias, entre las cuales las más sobresalientes son: indígenas, afrocolombianos, campesinos y colonos.

1.1.1 Indígenas. Indígena es el grupo humano que vive de acuerdo con la forma de relación con el medio natural en el que se asentaron los diferentes grupos aborígenes desde antes de la Conquista, y la han conservado y dinamizado a lo largo de la historia.

En el país existen diversas culturas indígenas, las cuales poseen diferentes modos de relación afectiva y emotiva, de conocimiento y de uso de la naturaleza. Sin embargo, el denominador común de todas ellas consiste en que la supervivencia física y cultural de las mismas está altamente condicionada por las características ecológicas de las áreas donde se hallan asentadas, sea por la fragilidad territorial y biótica del ecosistema, por el hacinamiento a que los reduce el avance de la frontera agrícola, o por la competencia territorial con otros sectores, o con otros intereses de la sociedad.

En Colombia se conservan 81 etnias nativas reconocidas, las cuales se localizan a todo lo largo y ancho del país, especialmente en las regiones de la Amazonia y Orinoquia, al norte de la costa Pacífica, y en los departamentos de La Guajira, Cauca y Nariño. Estas etnias se localizan, en su mayoría, en territorios culturales denominados resguardos, que es el hábitat o territorio exclusivo que le sirve de asentamiento a una comunidad indígena, y en el cual los miembros de esta adelantan sus actividades productivas y desarrollan su vida social.

1.1.2 Afrocolombianos. Afrocolombiano es el grupo humano que vive de acuerdo con la forma cultural desarrollada por las etnias de procedencia africana, una vez asentadas en el territorio colombiano.

La negritud, como etnia de los denominados afrocolombianos, asume diversas formas de expresión cultural, en virtud de variables que tienen que ver con: el origen africano diferente, según la región de procedencia; la actividad a que sus antepasados fueron destinados en Colombia; la región a donde llegaron o donde se asentaron; el grado de contacto e integración con otras culturas vecinas, y la relación con los espacios que habitan en Colombia.

La inexistencia de la negritud en los censos, como variable étnica para caracterizar cuantitativamente la población, no permite conocer cuántos afrocolombianos hay en el país. Con base en el reconocimiento de la diversidad étnica de la nación colombiana, surgió un proceso organizativo y de construcción de identidad por parte de las comunidades negras. A partir del Artículo Transitorio 55, de la Constitución Política de la República de Colombia, se promulgó la ley 70 de 1993, con los mecanismos para “garantizar que estas comunidades obtengan condiciones reales de igualdad de oportunidades frente al resto de la sociedad colombiana”.

1.1.3 Campesinos. Campesino es el grupo humano que habita y desarrolla sus actividades en áreas rurales, especialmente dedicado a actividades agrarias.

De acuerdo con el concepto asumido para el término campesino, desde el punto de vista demográfico-territorial, se puede afirmar que la población campesina de Colombia es toda aquella que no habita en las cabeceras municipales, y que, en los censos del Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas (DANE), figura como “población resto”.

Distintos tipos de campesino pueden ser caracterizados a partir de la región natural donde predomina el asentamiento de una población que se distingue por pertenecer a dicha región, bien sea por la delimitación real o por las características del paisaje; por la contribución de un ancestro indígena predominante en la formación de las características culturales del mestizo campesino; por la formación de una economía con base en un producto predominante o monocultivo; y por la existencia de formas dialectales de expresión lingüística o de expresión artística popular.

De acuerdo con las características descritas anteriormente, es posible afirmar la existencia de varios tipos de campesinado en Colombia: antioqueño o paisa, cafetero, calentano, del altiplano, llanero, paramuno, sabanero, santandereano y vallenato.

1.1.4 Colonos. Colono es la persona perteneciente al grupo humano que, en virtud de la falta de oportunidades en el medio natural y social de su propia cultura, las busca en áreas diferentes.

Sin embargo, es necesario distinguir, por un lado, el llamado impropriamente colono, producto de una realidad social cuya alternativa, para satisfacer sus necesidades, es migrar con un relativo conocimiento de lo que busca y de la posibilidad de encontrarlo en el lugar a donde se dirige.

No obstante, sigue existiendo el ciclo clásico según el cual el colono abre un área como fuente de producción para el mantenimiento de la unidad familiar, posteriormente, la debe expandir ante la insuficiencia del rendimiento en condiciones

de fertilidad natural, y, ante la carencia de recursos para adquirir los insumos con los cuales mantener los niveles de productividad, vende a empresarios ganaderos quienes, a su vez, cederán el espacio a grandes plantaciones de cultivos industriales.

Los efectos de la actividad de los colonos son, generalmente, negativos sobre los elementos y sobre los procesos naturales, así como sobre los procesos sociales y económicos en las poblaciones que residen permanentemente en el área que los recibe.

El común denominador en todas las áreas de colonización está representado por: 1) el cambio en la cobertura vegetal, con el aprovechamiento del bosque natural; 2) la desaparición del bosque alto andino con el surgimiento del páramo antrópico; 3) la creación de monocultivos y áreas ganaderas en zonas pendientes de las vertientes medias y bajas de las cordilleras, que contribuye a la inestabilidad natural de los suelos en dichas condiciones fisiográficas; y 4) el desarrollo de condiciones de sabana sobre las áreas boscosas de las galerías fluviales o del bosque denso que depende de la circulación de nutrientes, a partir de la propia producción vegetal, debido a la dificultad del sustrato geológico para descomponerse y formar suelos.

Ninguno de estos procesos está acompañado, en general, por una actitud de conocimiento del medio y de creatividad tecnológica, de acuerdo con la relación cultural que se pretende establecer con él, lo cual hace prever que estén desapareciendo, sin posibilidad ninguna de saberlo con certeza, especies y ecosistemas completos, cuyo valor y utilidad no pueden ser calculados.

1.2 EL CLIMA EN COLOMBIA

Colombia es un país con una amplia diversidad de climas. La posición geográfica, las características fisiográficas, y el hecho de que la totalidad de su territorio se ubique en la franja de desplazamiento de la zona de confluencia intertropical, son algunos de los factores que determinan este hecho.

El clima de Colombia es muy variado, tanto a lo largo y ancho de su territorio como a través del tiempo. Esta diversidad climática, como ya se dijo, está determinada, en gran medida, por la ubicación geográfica y por las características fisiográficas del territorio colombiano. La diversidad climática colombiana es un recurso importante del país, en razón de que las variaciones del clima juegan un papel fundamental en las diversas formas de actividad humana en el ámbito nacional.

Con base en el estudio realizado por el IDEAM (1998), a continuación se presenta una síntesis de los aspectos climáticos más relevantes de Colombia:

La principal fuente de energía para casi todos los procesos atmosféricos la constituye la energía radiada por el Sol hacia la Tierra, en el rango de 0,1 hasta, aproximadamente, 30 micrones (onda corta). La radiación que llega del Sol a la superficie de la Tierra se llama radiación directa; la parte que es difundida por las partículas atmosféricas y nubes llega a la Tierra en forma de radiación difusa, y la suma de estas dos se llama radiación global.

La región de mayor radiación en Colombia es la península de la Guajira, siendo en el mes de julio cuando se presentan los mayores valores, con promedios superiores a 650 calorías por centímetro cuadrado por día. Las zonas con niveles más bajos de radiación son la costa del Pacífico y el Piedemonte Llanero, con niveles promedio menores a 300 cal/cm²/día, presentando poca variabilidad durante el año. En la región Andina sobresale el altiplano cundiboyacense con valores máximos en el mes de febrero, llegando a niveles de 480 cal/cm²/día, y luego desciende gradualmente hasta junio, mes de mínimos con 420 cal/cm²/día; nuevamente se incrementa gradualmente hasta septiembre, y luego desciende hasta noviembre. El resto de la región Andina presenta un comportamiento similar durante el año, pero con menores valores extremos.

El régimen de la temperatura del aire en Colombia está directamente influenciado por factores que modifican su comportamiento, como: ubicación geográfica, las

particulares características fisiográficas del territorio, y las continuas corrientes y masas de aire que penetran al país. El primer factor influye, ante todo, sobre la amplitud anual de la temperatura del aire, mientras que el segundo determina en gran parte la variabilidad espacial de la misma.

La mayor parte del país presenta temperaturas que exceden los 24 grados centígrados, en especial en la regiones Caribe, Pacífica, Amazónica y del Orinoco, que representan casi el 80% del territorio colombiano.

En la región Andina, el régimen de la temperatura del aire se particulariza por la presencia de los llamados pisos térmicos, que se presentan con la disminución de la temperatura media del aire a medida que aumenta la altura sobre el nivel del mar, presentándose franjas bien marcadas de valores relativamente altos de temperatura en los valles interandinos, como el Magdalena y el Cauca; valores muy bajos, como los registrados en los altiplanos cundiboyacense y de Nariño; y temperaturas extremadamente bajas, como las del macizo volcánico de la cordillera Central, o como en el nevado del Cocuy.

Otro factor que afecta el clima en Colombia es la precipitación. En el país el volumen anual de lluvias varía considerablemente entre las diferentes regiones. El régimen normal de la precipitación del país está determinado por la situación geográfica, y por la influencia de algunos factores importantes, tales como: la circulación atmosférica, el relieve, la integración entre la tierra y el mar, y la influencia de áreas selváticas o boscosas.

La posición geográfica de Colombia en la zona ecuatorial la sitúa bajo la influencia de los Alisos del noreste y sureste. Estas corrientes de aire cálido y húmedo provenientes de latitudes subtropicales de los dos hemisferios, confluyen en la franja denominada zona de confluencia intertropical.

La zona de confluencia intertropical, zona que favorece el desarrollo de nubosidad y de lluvias, se mueve latitudinalmente siguiendo el desplazamiento aparente del Sol con respecto a la Tierra, con un retraso aproximado de dos meses. Con este desplazamiento, la zona de confluencia intertropical pasa sobre el territorio colombiano en dos ocasiones cada año. El desplazamiento de esta zona, y la acción de factores físico-geográficos regionales, como la orografía, determinan el régimen de lluvias en las regiones de Colombia. En el país se pueden presentar dos regímenes o patrones de lluvias, uno monomodal, caracterizado por un largo período de lluvias que es seguido por un período seco, y otro bimodal, caracterizado por dos períodos lluviosos intercalados por uno seco. El primero se presenta, principalmente, en las zonas sur y norte del país, y en los Llanos Orientales; y el bimodal en la zona central.

En Colombia los niveles de lluvias son muy variables, con promedios que van desde los 267 mm. anuales en la Guajira, hasta 9.000 mm. anuales en algunas regiones de la costa Pacífica (Chocó), fenómeno que se debe al gran volumen de masas de aire que penetran al país por el oeste, y vienen a chocar contra el flanco occidental de la cordillera Occidental. Por su parte, la región Andina presenta una gama muy amplia de niveles de lluvia que están influenciadas, principalmente, por las condiciones del terreno y la altitud. Las lluvias en esta zona pueden ir desde los 1.500 mm. anuales, en los valles interandinos, hasta los 4.000 mm. anuales en los altiplanos y bosques alto andinos.

Con respecto a los vientos, Colombia por encontrarse geográficamente ubicada entre el Trópico de Cáncer y el Trópico de Capricornio, está sometida a los vientos Alisios que soplan del noreste en el hemisferio norte y del sureste en el hemisferio sur. Los vientos no siempre tienen exactamente estas direcciones. Por estar ubicada Colombia en las proximidades del Ecuador, la fuerza de Coriolis (fuerza de inercia, debida a la aceleración de Coriolis, perpendicular al movimiento del cuerpo y de sentido contrario al movimiento de rotación de los ejes), que es muy importante en el campo del viento, se hace muy pequeña y, por ello, los vientos están influenciados

principalmente por las condiciones locales, y por el rozamiento proporcionado por las grandes irregularidades que presenta la cordillera de los Andes, al ramificarse en tres sistemas que se extienden longitudinalmente a lo largo del país, con diferentes elevaciones. Además, los dos mares que lo bañan también tienen su papel en el comportamiento de los vientos. Esto hace que la velocidad y dirección de los vientos varíen de un instante a otro, y de un sitio a otro.

Entre las circulaciones de los vientos se pueden destacar la brisa mar-tierra y tierra-mar, y los vientos montaña-valle y valle-montaña. La brisa de mar tierra se presenta en las proximidades de las costas; frecuentemente, al final de la mañana se establece un viento que sopla del mar hacia la tierra, alcanzando su intensidad máxima en la tarde, después disminuye progresivamente, y en la noche este movimiento puede cesar o invertirse en una corriente dirigida de la tierra al mar. El viento valle-montaña se produce cuando las laderas de las montañas se calientan por la radiación solar, y la temperatura del suelo se hace más elevada que la del aire, así se establece una corriente que sube por las montañas en días soleados. En la noche se produce un proceso inverso, el aire desciende de las montañas a los valles. Vientos locales de carácter fuerte también son importantes por los efectos devastadores. Los factores descritos tienen gran importancia en el aporte de humedad, en favorecer los movimientos verticales, y en la formación de nubes convectivas, provocando chubascos o tormentas, particularmente en la tarde, los cuales pueden estar acompañados de vientos violentos de corta duración, cuyas velocidades, en ocasiones, pueden superar los 100 kilómetros por hora.

En cuanto a la disponibilidad de agua en el suelo, su determinación se hace mediante el cálculo del balance hídrico a nivel decadal, ya que describe la hidrología de una zona determinada. A partir de él, se pueden realizar mapas de los déficit de agua, superávit, necesidades de riego, escorrentía subterránea y, prácticamente, de cualquier factor que se considere necesario para definir el territorio. Los balances hídricos, tanto globales como regionales y locales, permiten determinar la disponibilidad hídrica natural de las áreas en consideración, y conocer el

comportamiento de la oferta de agua, tanto superficial como subterránea, a través del estudio de las diferentes fases del ciclo hidrológico.

El siguiente es el comportamiento general, a escala anual, de la disponibilidad de agua en zonas destacadas del país, con el rango medio de variación de agua disponible. Se entiende que a lo largo del año estas cifras varían considerablemente: 1) áreas deficitarias (0 a 500 mm.), costa Atlántica y la Guajira, cuenca del río Chicamocha, área de Cúcuta, altiplano Cundiboyacense cuenca del río Magdalena desde el sur del Huila hasta Honda, con máximos en áreas de Girardot y Neiva, parte de la cuenca del alto Cauca entre Cali y la Unión, parte del altiplano Nariñense, incluida la cuenca del río Juanambú y la región de Arauca. 2) Áreas de excesos (1.000 a 6.000 mm.), cuenca del Pacífico, cuenca amazónica, cuenca del río Orinoco, a excepción de Arauca, medio Magdalena, estribaciones de la cordillera Central, áreas del alto y medio Cauca y el bajo Cauca.

En total, las áreas que presentan exceso neto durante el año representan el 83% del territorio colombiano, y las áreas con déficit, el 17%.

1.3 LA BIODIVERSIDAD COLOMBIANA

La biodiversidad se define como la variación de las formas de vida, y se manifiesta en la diversidad genética de poblaciones, especies, comunidades, ecosistemas y paisajes. La biodiversidad reviste gran importancia por los servicios ambientales que se derivan de ella, y por sus múltiples usos para la humanidad

Dentro de los 17 países biológicamente más ricos del mundo, en cuyos territorios se encuentra entre el 60 y el 80 por ciento de la vida, Colombia sobresale por albergar entre el 10 y el 14 por ciento de todas las especies animales y vegetales existentes en el planeta, en una superficie equivalente al 0,8% de las tierras emergidas del mundo, y se constituye como tercera potencia más rica en diversidad biológica, luego de Brasil e Indonesia. La principal riqueza natural del país es precisamente la

biodiversidad, pero su aprovechamiento, a partir de formas propias de desarrollo sostenible, es un camino que no se ha empezado a recorrer todavía.

El gran número de especies animales y vegetales que se encuentran en Colombia se da por una gran variedad de ecosistemas y una gran representación de grupos taxonómicos. La posición del país en el planeta, localizado cerca del Ecuador, se ve reflejada en la temperatura relativamente estable a lo largo del año, según la altura sobre el nivel del mar. Por otro lado, la diversidad de ecosistemas en Colombia, generada por su geografía que incluye tres cadenas montañosas, dos océanos, sabanas y selvas húmedas tropicales, entre otros, ha permitido la aparición de una gran variedad de especies que se han adaptado a las diferentes condiciones de cada ecosistema.

Los 17 países destacados por su mayor concentración de biodiversidad están repartidos en cuatro continentes, de los cuales siete se encuentran en América: Brasil, Colombia, México, Venezuela, Ecuador, Perú y Estados Unidos. Los otros son: Sudáfrica, Madagascar, República Democrática del Congo (anteriormente llamado Zaire), Indonesia, China, Papua/Nueva Guinea, India, Malasia, Filipinas y Australia. Tabla 1.

El Continente Americano es considerado el más rico, y en él se encuentran las mayores áreas de hábitat natural intacto.

En Colombia la flora se puede considerar como la primera gran riqueza, en términos de recursos naturales, ya que posee cerca de 55.000 especies de plantas, un tercio de las cuales se encuentra exclusivamente en nuestro territorio, es decir, son endémicas. Esto coloca a Colombia como el segundo país en el mundo con mayor diversidad de plantas. El primer lugar lo ocupa Brasil.

Entre las plantas, Colombia es particularmente rica en orquídeas, ocupando el primer lugar mundial con cerca de 3.500 especies, que representan el 15% del total

existente en el planeta. Igualmente, es el país con mayor número de especies de palmas en el mundo, con 258 especies; entre ellas se destaca la palma de cera, considerada el árbol nacional. Otros grupos de plantas que también presentan una gran diversidad en Colombia son: las bromeliaceas y los helechos.

En cuanto a fauna, Colombia está posicionado dentro de las estadísticas mundiales como uno de los países más biodiversos, junto con Brasil, Méjico, Indonesia, República Democrática del Congo, Madagascar y Perú.

El total de especies en Colombia no se conoce con exactitud, pero se ha establecido que en cuanto a aves, Colombia sobresale como el país más diverso, ya que posee alrededor de 1.815 aves, que equivalen al 19% del total conocido en el mundo, y al 60% de las especies en sur América, superando a Perú y Brasil. Ocupa el primer lugar en el mundo en anfibios, con un total de 583 especies reconocidas; el tercer lugar en reptiles, con 520 especies; y el cuarto lugar en mamíferos, con 456 especies reportadas.

Según Santiago Carrizosa: "Colombia enfrenta un reto importante para garantizar la conservación de este patrimonio y uno de los primeros pasos que se debe emprender es una campaña de educación ambiental nacional. Colombia debería estar orgullosa de su patrimonio natural, el cual es único en el ámbito mundial. La biodiversidad es la mejor carta de presentación de Colombia y esta situación la posiciona en un lugar envidiable frente a otras naciones del planeta" (El Tiempo, 21 de febrero de 1999).

La posición de Colombia, y los 16 países restantes más ricos en biodiversidad, demuestra los lazos que se pueden establecer entre la diversidad biológica y la humana, además de señalar el valor económico de esos recursos a largo plazo, el cual es muy significativo como una ventaja comparativa en el competitivo mercado mundial.

Tabla 1. Número de especies reportadas en los 17 países más destacados por su biodiversidad

País	Plantas vasculares	Mamíferos	Aves	Reptiles	Anfibios
Colombia	(2)	456 (4)	1.815 (1)	520 (3)	583 (1)
Brasil	(1)	524 (1)	1.622 (3)	468 (5)	517 (2)
Indonesia	(3)	515 (2)	1.531 (5)	511 (4)	270 (6)
México	(5)	450 (5)	1.050 (10)	717 (2)	284 (4)
Venezuela	(7)	288 (10)	1.360 (6)	293 (13)	204 (9)
Ecuador	(8)	271 (13)	1.559 (4)	374 (8)	402 (3)
Perú	(9)	344 (9)	1.703 (2)	298 (12)	241 (7)
Australia	(13)	282 (12)	751 (14)	755 (1)	196 (11)
Madagascar	(15)	105 (17)	253 (17)	300 (11)	178 (13)
China	(4)	499 (3)	1.244 (8)	387 (7)	274 (5)
Filipinas	(17)	201 (16)	556 (16)	193 (17)	63 (17)
India	(12)	350 (8)	1.258 (7)	408 (6)	206 (8)
Papúa/Nueva Guinea	(11)	242 (15)	762 (13)	305 (10)	200 (10)
Estados Unidos	(10)	428 (6)	768 (12)	261 (16)	194 (12)
Malasia	(14)	286 (11)	738 (15)	268 (14)	158 (14)
Sudáfrica	(6)	247 (14)	774 (11)	313 (9)	95 (15)
Congo	(16)	415 (7)	1.094 (9)	268 (14)	80 (16)

Fuente: Megadiversity (Conservation International); en página web del Ministerio del Medio Ambiente de Colombia, modificada el 18 de enero de 2001.

() Posición del país en número de especies a nivel mundial.

Sin embargo, no es difícil reconocer que, aparte de los factores naturales que regulan la supervivencia de las especies, los factores antrópicos están ejerciendo una gran fuerza dentro del complejo proceso de sobrevivir o morir a que está sometida la flora y fauna colombiana.

Al analizar los modelos de desarrollo económico y patrones culturales que imperan en Colombia, se observa una variedad de actividades que inciden en el deterioro de la flora y fauna. Actividades como la deforestación, la introducción de especies foráneas, la sobreexplotación de especies silvestres, la expansión de la frontera agrícola a zonas boscosas, el comercio ilegal de flora y fauna, la caza, la contaminación, la transformación de los hábitats como consecuencia de la construcción de infraestructura, la producción de residuos sólidos, el uso intensivo de plaguicidas y fertilizantes, la constante voladura de oleoductos por parte de los grupos guerrilleros, la fumigación de cultivos ilícitos por parte del mismo Estado, la carencia de tecnologías apropiadas y compatibles con la conservación de los recursos naturales, son, entre otras circunstancias, las que están afectando el mantenimiento y conservación de la biodiversidad.

Al analizar los procesos de tala y quema, utilizados para ampliar la frontera agrícola, se puede establecer que estos traen consigo la pérdida y disminución de hábitats naturales o bien, la producción de sustancias químicas que son descargadas al ambiente y contaminan los recursos aire, agua y suelo, y ocasionan el envenenamiento de las especies y el deterioro de la salud humana. Por la extracción de oro en los ríos, se arrojan grandes cantidades de mercurio en las aguas, que al ser asimiladas por los peces se han convertido en una amenaza inminente de intoxicación para el ser humano.

La caza indiscriminada de individuos, para ser utilizados como mascotas o como proveedores de materia prima para la producción de artículos de consumo, se constituye en otra amenaza para la fauna; ejemplo de esta depredación ha sido la caza de cocodrilos, con el fin de comercializar la piel. Especies como el jaguar, el oso

de anteojos, el perro de agua, y muchas otras, han ido desapareciendo de muchas regiones cuando el bosque desaparece. En Colombia son muchas las especies de plantas y animales que se encuentran en peligro de extinción.

Igualmente, la introducción de especies exóticas pone en peligro las poblaciones nativas de fauna. Es el caso del anuro *Rana catesbeiana*, que al ser introducida al trópico despliega un comportamiento reproductivo y de crecimiento anormal, y constituye una plaga para el medio natural en el que se libere. La introducción de varias especies de tilapia (*Tilapia rendalli*, *T. mossambica* y *T. nilotica*) ha ocasionado el descenso de poblaciones nativas por competencia de alimento o de espacio. Se conoce que estas especies introducidas presentan un comportamiento complejo que las favorece frente a las poblaciones locales; la capacidad para soportar situaciones ambientales extremas, el cuidado parental que ejercen y el amplio rango de opciones en su dieta, las colocan en un nivel ventajoso de adaptación y proliferación, frente a las especies nativas.

El conocimiento de la biosfera es primordial, dado que de ella depende nuestra supervivencia, y permite determinar por qué algunas especies vegetales y animales están desapareciendo a un ritmo acelerado. Este proceso de destrucción no ocurre de manera uniforme en todo el mundo. La biodiversidad del planeta se concentra principalmente en los trópicos. Como la pobreza y el crecimiento de la población son mucho mayores en casi todos los países tropicales, no es sorprendente que en ellos los problemas de conservación sean más graves.

Por lo anterior, y por la profunda transformación que conlleva la actividad humana, lícita e ilícita, en donde los hábitats naturales han sido reducidos de grandes regiones a pequeñas manchas, es imperativo conservar y preservar aquellas áreas que, en alguna medida, representan el valor de la biodiversidad.

1.4 EL MACIZO COLOMBIANO

A la anterior situación, a la que se ve abocada la biodiversidad colombiana, no escapa el gran Macizo Colombiano, considerado por la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, Ciencia y Cultura (UNESCO) como una de las Reservas Mundiales de la Biosfera.

Región estratégica, con una gran riqueza en agua, flora y fauna, tiene una extensión de 3'268.237 hectáreas, es considerada la estrella fluvial colombiana por excelencia, debido a que allí nacen cinco arterias fluviales que abastecen de agua al 70% de la población colombiana: Magdalena, Cauca, Patía, Caquetá y Putumayo; se encuentran 65 cuerpos lagunares; y más de 15 páramos (257.000 Ha. con vegetación única en el mundo), extensas áreas de bosque alto andino (1'350.000 Ha.) y numerosos relictos de bosque de niebla.

Espacialmente, la zona del Macizo Colombiano va desde el páramo de Bordoncillo, en el Putumayo, hasta la zona de influencia del flanco norte del nevado del Huila.

Políticamente, sobre la zona del macizo tienen jurisdicción 54 municipios, de los departamentos de Cauca (20 municipios), Huila (15 municipios), Tolima (3 municipios), Nariño (9 municipios), Putumayo (5 municipios) y Caquetá (2 municipios). Figura 1.

Alberga una población aproximada de 1.100.000 habitantes (74% rural), entre campesinos tradicionales, indígenas, colonos y población urbana. De las etnias asentadas en su área de influencia se destacan los yanaconas (el grupo más numeroso), paéces, guambianos, coconucos, totoroos, ingas, kamentzás y sibundoyes.

Allí se encuentran los Parques Naturales Nacionales de las Hermosas, Nevado del Huila, Puracé, y la cueva de los Guácharos; las reservas forestales Río Mocoa y la

laguna de la Cocha; además, existen 44 áreas protegidas del nivel municipal, albergando allí una buena parte de la reserva genética del país

Dentro de este ecosistema se destaca el Valle de las Papas, rodeado de cerros de gran importancia geomorfológica, biológica, climática y, especialmente, hidrológica para la región y el país, pues allí nace el río Magdalena, la corriente hídrica más importante de Colombia.

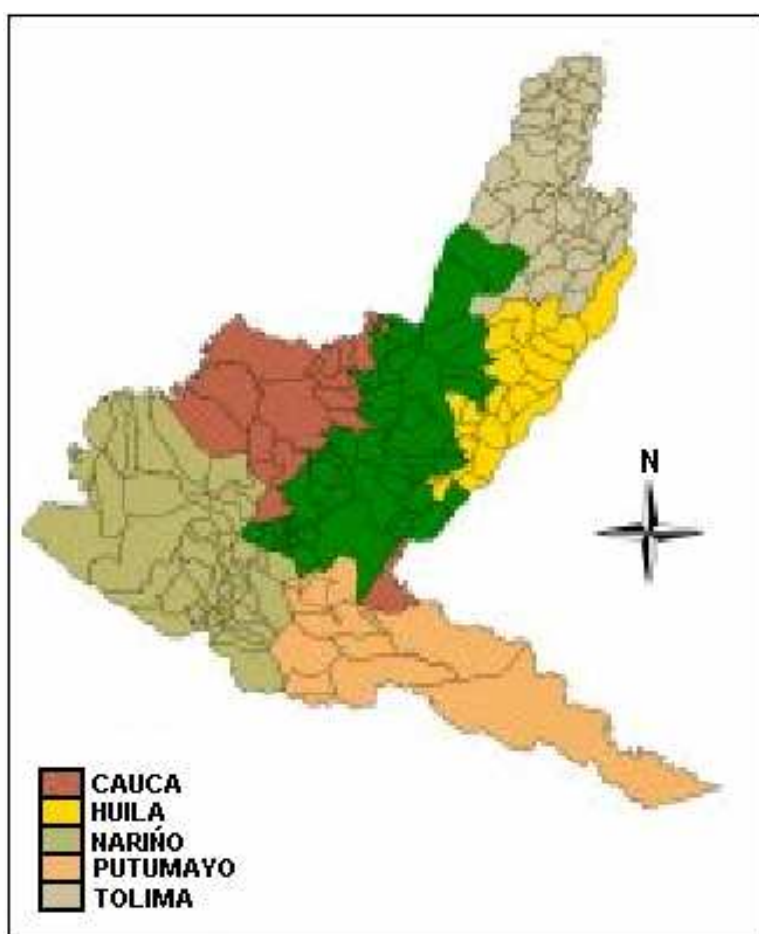


Figura 1. Zonificación del macizo colombiano (área en color verde)
(Fuente: Ministerio del Medio Ambiente-www.minambiente.gov.co)

El Macizo Colombiano encierra valles glaciares, llanuras y planadas lacustres, formas volcánicas glaciares, laderas de montañas, piedemontes, lomas y colinas, en donde se presentan variedad de pisos térmicos, con temperaturas que van desde cero hasta 18 grados centígrados.

Este ecosistema ha sido lugar de numerosos conflictos sociales y ambientales como consecuencia de: 1) la deforestación, desde los 2.000 metros sobre el nivel del mar, hasta aproximadamente los 3.000 metros sobre el nivel del mar, que ha conllevado a la sustitución del bosque nativo por cultivos agrícolas e ilícitos, así como para pastos para ganadería; 2) establecimiento de cultivos ilícitos (amapola), entre los 2.000 y 3.200 metros sobre el nivel del mar; 3) expansión de la colonización, se registran 17 frentes de colonización que abarcan 133.162 hectáreas de las zonas de amortiguación de los parques y páramos; 4) sistemas de producción inadecuados, caracterizados por el establecimiento de cultivos en terrenos de fuertes pendientes, y la conversión de páramos en zonas de producción agropecuaria; 5) procesos de erosión, el 83% del macizo presenta un grado de amenaza alta, relacionada con derrumbes y movimientos en masa frecuentes; 6) tenencia de la tierra, en la zona del macizo predomina el minifundio, y la inequidad en la distribución de las tierras productivas es la constante; y 7) pobreza y marginalidad, las necesidades básicas insatisfechas para los municipios donde predomina la población indígena son del 76%, y para toda la zona del macizo son, en promedio, de 61% (Censo 1993). Las anteriores consideraciones han llevado a agudizar los problemas de orden público que vive el país.

1.5 EL HOMBRE Y LOS RECURSOS NATURALES RENOVABLES

Los habitantes de muchas zonas rurales de América Latina y el Caribe están viviendo, en la actualidad, graves problemas a causa del deterioro de su entorno natural. Tienen menos tierra fértil para cultivar, sus bosques producen menos madera, sus campos se vuelven desiertos o las inundaciones dañan sus cultivos y sus pertenencias. Las consecuencias de estos efectos empiezan a sentirse luego en las ciudades cercanas, afectando siempre a los sectores más marginados.

En este sentido, no existe un solo aspecto de la vida del ser humano y de su entorno que no se vea influenciado o afectado por la expansión de la población, y su concentración en zonas urbanas. Las zonas urbanas se ven, sin embargo, afectadas

por las actividades que se realizan en su entorno, sobre todo por las acciones que se llevan a cabo en las partes altas de las cuencas donde se asientan las poblaciones, y se realizan actividades agrícolas y pecuarias sin aplicar técnicas adecuadas de manejo y conservación de suelos y aguas, y por las lluvias que caen directamente sobre los centros urbanos. La interacción de los centros urbanos, las cuencas, las lluvias y las zonas de pendiente, debe ser considerada adecuadamente para prevenir riesgos, así como para garantizar el abastecimiento de agua para el consumo humano.

Colombia no escapa a esta realidad, y el panorama ambiental del país es cada vez más oscuro. El deterioro de los recursos naturales es cada vez más evidente, ya existen síntomas claros de como se ha abusado de la oferta ambiental, hasta el punto de comprometer la calidad de vida de la población en vastos sectores del territorio nacional. La creciente escasez de agua, la destrucción de los bosques, la acelerada pérdida de suelos agrícolas, la contaminación de los ríos y quebradas, y la del aire de nuestras grandes ciudades, son ejemplos de esta gravísima situación que afecta tanto el presente como el futuro de los colombianos.

Esta dilapidación del patrimonio ambiental es consecuencia de muy diversos y complejos factores que parten de una relación equivocada entre el hombre colombiano y su entorno, que tradicionalmente ha estado signado por la violencia y la destrucción, al considerar el territorio nacional como el escenario de la lucha del hombre contra la naturaleza. Desde luego, son causa fundamental de este deterioro el modelo económico imperante, basado en un concepto de destrucción y saqueo de los recursos naturales, y la pobreza y la falta de oportunidades que sufren vastos sectores de la población, que se ven obligados, por estas mismas razones, a utilizar en forma no sostenible los recursos naturales para buscar la supervivencia inmediata.

El empobrecimiento y el mal aprovechamiento de la oferta ambiental contrastan con la enorme riqueza potencial que ofrece el medio ambiente colombiano, que se

expresa en una vastísima, y aún poco conocida, variedad ecosistémica, originada en factores de tipo geográfico, como ubicación planetaria del país en la zona ecuatorial y su cercanía a los dos mayores océanos, que determinan condiciones de temperatura, humedad, lluvia, insolación y demás variables de tipo climático, especialmente propicias para el desarrollo de la vida. Estos factores, al actuar sobre un paisaje caracterizado por áreas con un relieve muy desarrollado, en la región Andina, y por extensas zonas que pertenecen a las grandes cuencas del Amazonas y del Orinoco, del Caribe y del Pacífico, producen una increíble variedad de climas ambientales que alojan exuberante biodiversidad. La principal riqueza natural del país es precisamente la biodiversidad, pero su aprovechamiento a partir de formas propias de desarrollo sostenible es un camino que no se ha empezado a recorrer todavía.

Esto último ha traído como consecuencia el deterioro de los recursos naturales básicos, agua, suelo y vegetación, lo cual se manifiesta, entre otras cosas, en la reducción de terrenos posibles de cultivar y, por consiguiente, en el empobrecimiento de los grupos humanos que dependen directamente de la agricultura para subsistir. Por esta causa, y sumada la violencia que se vive en el campo, son muchas las familias campesinas que han debido abandonar sus tierras para vivir en la ciudad, generalmente con un notorio descenso en su calidad de vida.

El proceso de migración rural–urbana, ha traído como consecuencia la creación de extensas zonas urbanas marginales en la periferia de las ciudades más grandes, sin ninguna planificación de infraestructura y servicios. La mayoría de los desplazados que llegan de las áreas rurales o ciudades más pequeñas, se establece en asentamientos irregulares conocidos como invasiones, localizados, generalmente, en la periferia de las ciudades. Muchos de estos asentamientos ilegales se establecen en lugares ambientalmente sensibles, más expuestos a peligros de diverso tipo, especialmente inundaciones y deslizamientos de tierra.

La rápida expansión de la población urbana ha puesto en serios problemas a los administradores públicos, especialmente en lo referente a la gestión que deben adelantar frente al recurso hídrico, tanto dentro del casco urbano como en las cuencas aledañas. Ello ha originado, también, serios conflictos con otros asentamientos humanos que compiten por las mismas fuentes de agua, en zonas localizadas aguas abajo.

Sin embargo, los recursos naturales podrían y deberían satisfacer con creces las necesidades de la población, siempre y cuando fueran utilizados mediante prácticas que aseguren su protección y rendimiento a lo largo del tiempo. Desgraciadamente, existe la certeza de que estos recursos se deterioran fundamentalmente por la intervención inadecuada del hombre. Así es como la destrucción de la cubierta vegetal trae como resultado el deterioro de la calidad del suelo y del agua, disminuye la productividad agrícola, reduce la producción de alimentos, eleva sus costos y, en consecuencia, rebaja progresivamente los ingresos de la población, llevándola a un desmejoramiento de su calidad de vida.

Por otra parte, debido al deterioro de las áreas agrícolas, y a la mayor demanda por tierras, muchos campesinos están cultivando laderas montañosas que debieran destinarse a funciones de protección.

A pesar del uso irracional que hace el hombre de los recursos naturales, el ambiente presta una funciones básicas a las actividades económicas que este realiza y, por ende, al bienestar de la sociedad.

La primera función es proveer a la economía de los recursos, ya sea en forma de materias primas, energía o de productos finales, como es el caso de la mayoría de los alimentos. Estos recursos se clasifican en continuos, no renovables y renovables. Los primeros están constituidos por las energías solar, geotérmica y de gravedad. Los no renovables están constituidos por los minerales, el carbón y el petróleo, y son producidos por la naturaleza en ciclos extremadamente largos que exceden los

horizontes de la previsión humana. Los renovables son producidos en ciclos relativamente cortos, siempre y cuando se mantengan las condiciones mínimas para su regeneración. El agua, la flora y la fauna hacen parte de esta última categoría.

La segunda gran función de la biosfera es recibir, asimilar, dispersar y reciclar o degradar, los desechos de origen natural y antrópico, especialmente los derivados de las actividades sociales y económicas.

La tercera y menos conocida función de la biosfera es suministrar servicios ambientales, constituidos por el valor paisajístico, estético y recreativo proporcionado por la naturaleza; y el suministro de las condiciones para la supervivencia de todas las especies y formas de vida, incluyendo la humana.

Tal pareciera que la naturaleza existiera sólo para el ser humano, con exclusión del resto de las especies, y con excepción de aquellas pocas que él utiliza directamente. Desgraciadamente, las políticas conservacionistas han sido motivadas más por los intereses económicos, que por los cambios culturales y éticos que claman por un mayor respeto hacia la naturaleza.

Con el aumento creciente de la población, junto a la incorporación de áreas a la producción agrícola, aumentará también el uso de áreas para la generación de energía y para la expansión urbana. Frente a esta creciente presión sobre los recursos de la tierra, se hace necesario apoyar el desarrollo rural con acciones que tengan en cuenta la dependencia existente entre el hombre y la naturaleza, y que consideren también la factibilidad económica de dichas acciones, dada la escasez de recursos financieros.

Una metodología eficiente para solucionar estos problemas es el tratamiento adecuado de las cuencas hidrográficas, consideradas como los sistemas naturales productivos donde el hombre puede interactuar con los recursos naturales, armonizando las potencialidades de estos con las actividades de aprovechamiento

de los mismos, para satisfacer las necesidades de la población. Concretamente, esto se logra mediante intervenciones de tipo legal y de coordinación entre las instituciones involucradas y la comunidad afectada.

Las relaciones causa-efecto en la correcta utilización o en el mal manejo de los recursos naturales están en las manos del hombre. Él puede prevenir, desde una perspectiva social, el daño o el beneficio resultante de sus acciones.

1.6 EL HOMBRE Y LOS SISTEMAS HIDROGRÁFICOS

Los ecosistemas acuáticos continentales figuran entre los más productivos de la tierra. Son fuente de diversidad biológica, y aportan el agua y la productividad primaria a las innumerables especies animales que de ellos dependen para su supervivencia.

Entre las funciones de los ecosistemas acuáticos se pueden mencionar: 1) el abastecimiento y almacenamiento de agua para riego, consumo humano, procesos industriales, pesca, transporte, recreación y turismo, y generación de energía eléctrica; 2) la mitigación de inundaciones; 3) la recarga y descarga de acuíferos; 4) el transporte y la retención de nutrientes y sedimentos (fertilización de planos inundables); 5) la oferta de recursos hidrobiológicos; y 6) refugio y hábitat de cientos de especies de microorganismos, plantas y animales, incluidas las aves migratorias. Por otro lado, los ecosistemas acuáticos son receptores de los procesos de contaminación de las diferentes actividades de los sectores productivos, por lo que, además, se convierten en un medio para la transmisión de enfermedades y de contenidos tóxicos; sin embargo, estos ecosistemas también tienen la capacidad para depurar las aguas de algunos agentes contaminantes, especialmente los de origen orgánico.

El estudio de los ecosistemas acuáticos continentales se denomina limnología, y comprende tanto el estudio de las aguas lénticas o estancadas (lagos, lagunas,

ciénagas, pantanos y embalses), como de las aguas lóaticas o corrientes, que son aquellas aguas que fluyen en forma permanente con un eje unidireccional (ríos, quebradas, arroyos).

Los ecosistemas acuáticos son sistemas abiertos, es decir, que intercambian masa y energía con su entorno, y dependen mucho de estos procesos de intercambio. Las variables externas son los flujos de agua de entrada y de salida, el aporte de nutrientes y de sustancias tóxicas, la precipitación, el viento, la radiación solar y la temperatura. Otras variables son las de estado o variables internas, como la presencia de fitoplancton (conjunto de organismos vegetales que se encuentran suspendidos en la columna de agua y se mueven a merced de la corriente), los nutrientes almacenados y las poblaciones de peces.

Colombia está reconocida como uno de los países con mayor riqueza en recursos hídricos en el mundo. En él se pueden encontrar seis tipos de aguas, incluyendo aguas lluvias, aguas superficiales, aguas subterráneas, aguas termo minerales, aguas marinas y oceánicas, y aguas de alimentación glacial. Igualmente, por su ubicación geográfica y las condiciones fisiográficas del terreno, presenta una precipitación media anual de más de 3.000 mm., lo que representa una significativa abundancia hídrica comparada con el nivel promedio de las lluvias en el mundo que es de 900 mm., y con el de Sur América que sólo llega a los 1.600 mm. al año.

Sin embargo, los crecimientos de los consumos y, sobre todo, la deforestación y la escasa gestión sobre las cuencas y manejo de los recursos naturales, al igual que la ausencia casi total de tratamiento de aguas residuales, han puesto en la mira, cada vez con mayores evidencias, problemas en la disponibilidad del agua, incluyendo las limitaciones por calidad de la misma, desabastecimiento y racionamiento en un número cada vez mayor de municipios del país, con sus consecuentes efectos nocivos sobre la calidad de vida de la población y sobre el buen desarrollo de las actividades económicas.

En todas las declaraciones de políticas hídricas se menciona que las mismas deben satisfacer objetivos sociales, ambientales y económicos, sin explicar objetivamente como se pueden lograr estos tres objetivos. La carencia de estrategias para lograr estos objetivos es precisamente una de las mayores razones por las cuales, normalmente, la legislación al respecto queda simplemente como un enunciado de buenas intenciones. De hecho, hoy en día prima lo económico sobre lo social y ambiental. La falta de compromiso de los actores involucrados para alcanzar simultáneamente las tres metas, explica por qué hay tantas personas adeptas al concepto de desarrollo sustentable, pero muy pocas dispuestas a sacrificar algo de su estilo de vida para alcanzarlo.

“El desarrollo sustentable no se refiere a una meta tangible ni cuantificable a ser alcanzada en determinados plazo y momento. Se refiere, más bien, a la posibilidad de mantener un equilibrio entre factores que implican un cierto nivel de desarrollo del ser humano, nivel que es siempre transitorio, en evolución y, al menos, en teoría, debería ser siempre conducente a mejorar la calidad de vida de los seres humanos” (CEPAL, 1999).

“El llamado desarrollo sustentable es, en consecuencia, la resultante de un conjunto de decisiones y procesos que deben llevar a cabo generaciones de seres humanos, dentro de condiciones siempre cambiantes, con información usualmente insuficiente, sujetas a incertidumbres y con metas poco compartidas por una sociedad, en general, no muy solidaria. Sólo si el desarrollo sustentable se mantiene en el tiempo, se alcanza la sostenibilidad” (CEPAL, 1999).

La ubicación geográfica, la variada topografía y el régimen climático que caracterizan el territorio colombiano han determinado que el mismo posea, como ya se mencionó, una de las mayores ofertas hídricas del planeta. Sin embargo, esta oferta no está distribuida uniformemente entre las diferentes regiones del país y, por otra parte, está sometida a fuertes oscilaciones que determinan la disponibilidad del recurso hídrico, razón por la cual en el territorio continental de Colombia se presentan desde zonas

deficitarias, hasta aquellas, con excedentes considerables, que someten importantes áreas del país a inundaciones periódicas de duración considerable.

La riqueza hídrica colombiana se manifiesta en una extensa red fluvial superficial que cubre el país; en unas condiciones favorables de almacenamiento de aguas subterráneas, estimadas en 140.879 kilómetros cúbicos, que equivalen a cerca de 70 veces el total de aguas superficiales del país, estimadas en 2.000 kilómetros cúbicos; en la existencia de cuerpos de agua lénticas, distribuidos en buena parte de la superficie del territorio nacional; y en la presencia de enormes extensiones de humedales (IDEAM, 1998).

Si bien se reconoce la riqueza hídrica nacional, tanto en la distribución temporal como espacial, este enorme potencial se restringe en su aprovechamiento por la confluencia de múltiples factores antrópicos que han generado efectos en los componentes del ciclo hidrológico y, en especial, sobre la calidad del agua, por la incorporación de residuos a las fuentes abastecedoras. También lo afectan, en buena medida, los patrones de aprovechamiento, caracterizados por mecanismos de uso poco eficiente del recurso.

Antes de detallar los problemas relacionados con el recurso hídrico que se pueden presentar en una cuenca hidrográfica, y las posibilidades de manejo que tienen sus habitantes, es conveniente revisar, a grandes rasgos, la situación general de las cuencas del país.

El sistema hidrográfico colombiano puede agruparse en tres grandes vertientes: 1) la vertiente del Caribe, conformada por grandes sistemas fluviales que fluyen hacia el océano Atlántico (ríos Atrato, Sinú, Magdalena, Ranchería y Catatumbo), se puede decir que es la vertiente más importante del país, especialmente desde el punto de vista económico, ya que alrededor de sus ríos se ha estructurado un complejo intercambio entre las regiones que recorre; 2) la vertiente del Pacífico, constituida por ríos de corta longitud y muy caudalosos (ríos Baudó, San Juan, Micay, Guapi, Patía y

Mira); y 3) la vertiente Oriental, conformada por las cuencas de los ríos Orinoco (ríos Arauca, Meta, Tomo, Vichada y Guaviare) y Amazonas (ríos Guainía, Caquetá y Putumayo), que bañan una vasta región de los llanos orientales y la selva de la amazonia colombiana, respectivamente. Figura 2.

En la tabla 2 se puede apreciar la gran diferencia que existe en Colombia, entre el porcentaje de habitantes con relación a la ubicación de los recursos hídricos, lo cual constituye uno de los rasgos característicos, no sólo de Colombia, sino también de la región conformada por las cuencas andinas, costa del Pacífico y América Central.

La definición de los procesos del desarrollo del país y de las regiones, en general, no ha tenido en cuenta la oferta de los recursos naturales, y del recurso agua en particular, lo cual genera una mayor vulnerabilidad de los sistemas de abastecimiento de este vital recurso, tanto para la población como para las diferentes actividades económicas. Como se muestra en la tabla 2, los rendimientos más elevados se concentran en las vertientes Oriental (Amazonia y Orinoquia) con el 66%, región donde la densidad de la población es baja, 8%, y no existen actividades económicas extensivas; en tanto, los grupos humanos al igual que los aprovechamientos hidráulicos del país, se concentran, principalmente, en la vertiente del Caribe, que se caracteriza por estar conformada, en gran parte, por la zona montañosa de los Andes colombianos y la gran llanura aluvial del río Magdalena.

En general, los grandes sistemas hidrográficos del país se utilizan poco, y la demanda por agua a escala regional es todavía reducida, presentándose así un desajuste entre la localización de los centros de mayor demanda y los sectores de menor disponibilidad.

Aunque el mayor uso del agua en Colombia es para actividades agropecuarias (57%), que corresponden a las de riego y a las pecuarias exclusivamente, los aspectos más críticos de la disponibilidad tienen relación con sus usos para el

abastecimiento de agua potable para la población, para los procesos industriales, y para la generación de energía eléctrica.

Estimativos realizados por el IDEAM (1998), establecen que la oferta hídrica total del país supera los 2.000 kilómetros cúbicos al año, y corresponde a 57.000 metros cúbicos anuales por habitante. Así mismo, se estima que si se incorporan reducciones, tanto por alteración de la calidad como por regulación natural, se alcanza apenas una disponibilidad de 34.000 metros cúbicos por habitante al año. Para las condiciones de año seco, esta disponibilidad se reduce a 26.700 metros cúbicos por persona, la cual es muy superior a la disponibilidad promedio del resto del mundo, que apenas alcanza los 7.700 metros cúbicos por persona.

La distribución heterogénea del recurso hídrico, de la población y de las actividades económicas en Colombia, hacen que el indicador promedio, relativamente favorable, que ostenta el país, no sea tan favorable como parece, en la medida que se consideran exclusivamente las zonas donde se concentra la mayor parte de la población y de las actividades económicas, como son las cuencas de los ríos Magdalena y Cauca, y de los ríos que drenan al Caribe colombiano, incluido el Catatumbo, los cuales, en conjunto, representan sólo el 24% del volumen de agua anual en Colombia. Esta situación hace que se presenten serias señales de preocupación e incluso de alarma, en algunas áreas y municipios del país.

A pesar de que la mayor parte del territorio colombiano posee una buena oferta de agua y una densa red hidrográfica, no hay suficiente ordenamiento para el uso de los recursos hídricos. Lo anterior determina que aprovechamientos del recurso para acueductos urbanos (más del 80%), que se abastecen en general de ríos pequeños, quebradas y arroyos, no cuenten, en su mayoría, con programas de conservación de cuencas, sistemas de regulación y almacenamiento, transporte y tratamiento, ni con previsiones económicas para realizarlas.

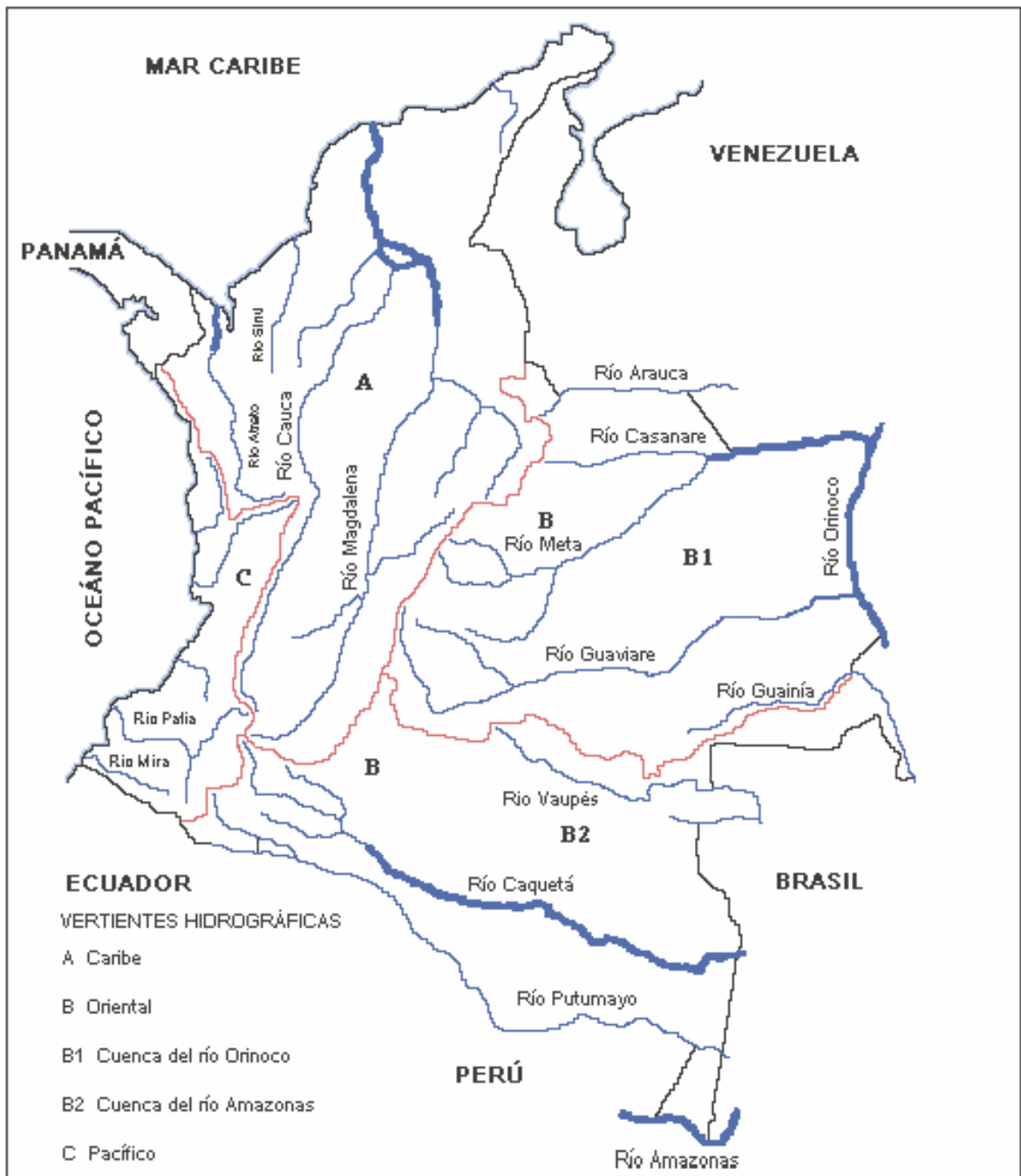


Figura 2. Zonificación hidrográfica de Colombia. Adaptado de: IGAC 1988

Tabla 2. Distribución de la población colombiana por vertientes y su relación con la oferta hídrica (Adaptado: HIMAT, 1992 - DANE, 1993)

Vertiente	Superficie (%)	Escurrimiento (%)	Población (%)
Caribe	32	24	88
Pacífico	7	10	4
Oriental	61	66	8

Los recursos hídricos se ven cada vez más exigidos por el constante crecimiento de la población y las necesidades propias del desarrollo. Especialmente en asentamientos humanos en expansión constante, es fácil prever que en muy poco tiempo, será preciso buscar una máxima eficiencia en el aprovechamiento del agua disponible. El agua tiene diversos usos, los que entran en competencia entre sí. Dichos usos a su vez ocasionan impactos que causan diversas consecuencias ecológicas, sociales y económicas. Es por ello que es necesario planificar, cuidadosamente, el aprovechamiento, manejo y conservación del agua, a fin de evitar conflictos graves entre sus usuarios, a corto, mediano y largo plazos.

A pesar de la enorme riqueza hídrica con que cuenta el país, los problemas de los servicios de abastecimiento de agua potable y saneamiento, pueden analizarse en función de los siguientes parámetros: 1) el porcentaje de población con acceso adecuado a servicios de abastecimiento de agua potable y saneamiento, y su relación con la salud; 2) el déficit de cobertura, principalmente en cuanto se refiere a servicios de saneamiento y tratamiento de aguas servidas; 3) la falta de acceso a los servicios de agua potable y saneamiento, para los grupos asentados en zonas de laderas; 4) el alto índice de crecimiento de las ciudades; 5) el deterioro de la infraestructura de agua potable y alcantarillado, debido a la falta de mantenimiento; y 6) la mala situación financiera de las empresas públicas, que no les permite prestar un buen servicio de suministro de agua potable y, mucho menos, expandir la cobertura de los servicios.

Las grandes zonas metropolitanas localizadas en la vertiente del Caribe muestran una característica común en cuanto al uso del agua, que consiste en la mayor demanda para uso doméstico e industrial. Esta situación explica el aumento de descarga de desechos en el agua, cuya consecuencia evidente es la contaminación de los cursos de agua. La mayor parte de los contaminantes del agua provienen de la actividad industrial, minera, agrícola y doméstica. Los sectores mineros e industriales vierten al agua residuos como químicos orgánicos sintéticos, y componentes inorgánicos. El uso de fertilizantes y pesticidas en la agricultura también contribuye a la contaminación de las aguas.

Los ecosistemas acuáticos se ven afectados también, por la ampliación de la frontera agrícola y ganadera, por desecación de terrenos, y por la eutroficación (enriquecimiento por nutrientes de las aguas, alterando su flora y fauna, y limitando su utilización).

Los ríos y lagos proveen beneficios únicos, tanto a las personas como a la naturaleza. Sin embargo, la mayoría de los ríos ha sido fuertemente afectada por una amplia variedad de actividades humanas, incluyendo, entre otras, la canalización, el dragado, y otras acciones destinadas a controlar las inundaciones. Históricamente, en el mundo miles de hectáreas de humedales han sido drenadas para crear tierras agrícolas de alta productividad, o para la expansión urbana, como por ejemplo la sabana de Bogotá. El rápido crecimiento de la población urbana, sumada a la progresiva expansión de los sistemas de alcantarillado, el uso más intensivo de la tierra agrícola próxima a las ciudades, la destrucción de la cobertura vegetal para establecer construcciones urbanas, la ocupación del territorio de las cuencas de captación, de las áreas de recarga de las aguas subterráneas y riberas de los ríos, así como las interferencias en el ciclo hidrológico y clima local, como consecuencia de las construcciones urbanas, han tenido serias repercusiones sobre los recursos hídricos y el medio ambiente en general.

Estos factores determinan algunas características comunes de la utilización del agua en muchos centros urbanos, entre las cuales, según Federovisky (1990), se destacan las siguientes:

- La demanda creciente para usos doméstico e industrial, lo que agota las fuentes cercanas a los grandes centros urbanos e impone la necesidad de aprovechar fuentes de agua cada vez más distantes y costosas, a menudo privando de este recurso a otras zonas, y causando graves efectos económicos, sociales, culturales y ambientales, sobre las zonas desde las cuales el recurso se transfiere.
- Lo anterior se ve agravado, porque en los centros urbanos existe total despreocupación con respecto a las zonas de captación de agua, sean estas superficiales o subterráneas. Las ciudades no muestran ningún interés por el manejo de las cuencas de donde proviene este recurso vital para el desarrollo de cualquier sociedad.
- Como resultado de la demanda creciente de agua y el agotamiento de las fuentes de agua cercanas a los centros urbanos, muchos de estos centros monopolizan el uso del agua, sin tener en cuenta que dentro de una misma cuenca pueden existir otras actividades u otros centros urbanos que también requieren de este recurso.
- Se está buscando superar la insuficiente infraestructura hidráulica, con un mayor incentivo a la participación privada, mediante la entrega de concesiones para la construcción de obras hidráulicas. La falta principal de infraestructura hidráulica urbana se encuentra aún en materia de tratamiento de aguas servidas, residuos industriales líquidos, y drenaje urbano, así como en servicios de abastecimiento de agua potable y alcantarillado en zonas marginales.

- El aumento de descargas de aguas servidas en los cuerpos de agua cercanos a las zonas urbanas, tanto en volumen como en el grado de concentración de los elementos contaminantes, no ha sido acompañado por sistemas de tratamiento.
- Otro aspecto importante es la creciente contaminación y agotamiento de las aguas subterráneas. A pesar de su importancia, la protección de las aguas subterráneas no ha recibido casi ninguna atención. No hay prácticamente preocupación por mantener zonas de recarga. La extracción excesiva del agua subterránea resulta en el descenso del nivel de las aguas freáticas, el impacto adverso sobre aguas superficiales conexas, intrusión de aguas salobres en los cuerpos de aguas dulces subterráneas, lo mismo que problemas de subsidencia de suelos.
- En las zonas urbanas se aumenta el riesgo como consecuencia de la degradación de la vegetación en las laderas y áreas de captación de agua, y la expansión urbana en dichas zonas. Ello trae como consecuencia un aumento en la escorrentía superficial, disminución de la recarga de agua subterránea, aumento de la erosión, y una mayor agresividad en la descarga de agua en épocas de lluvias. Hay una enorme pérdida en el flujo de agua subterránea y subsuperficial, fundamental en la alimentación de los manantiales, en épocas secas.
- Otros aspectos por los que la rápida expansión de la población urbana también incide en los recursos hídricos son: 1) el aumento de la demanda del recurso, tanto para el abastecimiento de agua para las ciudades, como para la agricultura, y el esparcimiento acuático en los cuerpos de agua cercanos a las ciudades; 2) la ocupación generalizada de las riberas de los ríos por las construcciones urbanas que han eliminado gran parte de la vegetación ribereña y deteriorado la funcionalidad de las riberas; 3) el drenaje de tierras

pantanosas o humedales, y su posterior ocupación; 4) la construcción de obras de encauzamiento que alteran el flujo natural del agua; y 5) la canalización de casi todos los cuerpos de agua en todas las zonas urbanas.

En general, se podría decir que el estado ambiental de los ecosistemas acuáticos del país indica que los situados en la Amazonia, Orinoquia y el Pacífico se encuentran en relativo buen estado, mientras que los que están localizados en las regiones Andina y Caribe se encuentran en mal estado ambiental.

Las construcciones y otras actividades que alteran la superficie de las cuencas proveedoras de agua para las áreas urbanas están poniendo en peligro las posibilidades de mantener el abastecimiento actual de agua, y asegurarlo en el futuro para las poblaciones. Además, existe una falta generalizada de planificación, zonificación y control de la ocupación y uso de la tierra, que acarrea problemas causados por la ubicación inadecuada de muchos asentamientos humanos a lo largo de ríos y quebradas, con alto riesgo de sufrir inundaciones o deslizamientos. Por estas razones, una de las áreas de gestión del agua que requiere atención inmediata es el manejo de cuencas, cuyo fin principal es la captación de agua para abastecer a las ciudades.

Generalmente, cuando se presentan problemas por la deficiencia en el suministro de agua para las ciudades, las políticas se orientan a captar más agua, sin importar los efectos que ello conlleva, ni en las fuentes de donde se obtiene el agua, ni en las zonas de evacuación de las aguas servidas; en lugar de orientar dichas políticas hacia la búsqueda de la eficiencia del uso del agua, o de reducir la demanda por otros medios.

Para poder enfrentar el país las dificultades de abastecimiento previsibles en un futuro, deberá valorar cuidadosamente los beneficios y los costos de programas de ordenamiento, manejo y regulación de las cuencas hidrográficas, a fin de garantizar su máxima productividad. Parte del proceso de planificación y gestión del recurso

hídrico que debe adelantar el país, de forma inmediata, para evitar dificultades cada vez mayores en la disponibilidad de agua, requiere evaluaciones detalladas a partir de información local y regional que mejore el conocimiento e información disponible. En esta labor deben jugar un papel trascendental las Corporaciones Autónomas Regionales, las empresas abastecedoras de agua, y los diferentes sectores de usuarios del agua.

1.7 CONTAMINANTES DE MARES, RÍOS Y LAGOS

Los sistemas de captación de agua dulce dependen, en gran parte, de lagos, ríos y embalses superficiales, así como de aguas subterráneas, como fuentes primarias de obtención de agua. Cuando estas fuentes de agua se contaminan, la inversión para el control de dicha contaminación, para mantener la salud pública, así como para proteger otros usos, se incrementa grandemente, debido a los costos adicionales de monitoreo, tratamiento de la contaminación y eliminación de sedimentos.

En vista del incremento de los costos, así como de la falta de garantía para poder tratar y eliminar con absoluta seguridad los contaminantes del agua, existe el convencimiento de que la mejor forma de abastecer con seguridad, y a menor costo agua de buena calidad para la población, sólo se puede lograr mediante la protección de las fuentes de captación de agua tanto superficial como subterránea. Lo anterior implica realizar actividades de manejo y regulación de las cuencas de captación.

La protección de la calidad del agua para consumo humano se debe extender más allá de controlar las fuentes puntuales de contaminación. El control de los problemas que originan las contaminaciones se debe enfocar en el ámbito de cuenca hidrográfica. En este sentido, se debe delimitar las zonas de captación de agua dulce, realizar inventarios de todas las posibles fuentes potenciales de contaminación que existen en dichos lugares, así como determinar todas las posibles fuentes de contaminación a partir de su desplazamiento, desde sus orígenes hasta las plantas de tratamiento.

El énfasis creciente en proteger las zonas de captación de agua significa, que las empresas de abastecimiento de agua potable, sean públicas o privadas, deberán involucrarse en realizar y financiar, conjuntamente con otros actores, programas de manejo del agua en el ámbito de cuencas, y de manejo de cuencas.

Sin embargo, la tónica imperante en América Latina y el Caribe, y a la cual no es ajena Colombia, no ha sido ni es atacar el problema de contaminación del agua en su origen, sino sólo en el momento en que es captada para un uso específico. Cada usuario se defiende como puede de la contaminación del agua, o simplemente no le preocupa contaminar sus productos al utilizarla, como sucede con muchos productos agrícolas que se cultivan en la sabana de Bogotá, los cuales son regados con aguas del río Bogotá, las cuales llevan una alta carga de sustancias contaminantes; igualmente, a otros usuarios del agua no les interesa tratarla antes de devolverla a las corrientes naturales, una vez la han utilizado. El uso de este recurso, vital para la existencia de cualquier forma de vida, se ha caracterizado, a través del tiempo, por el individualismo y la anarquía, por encima del interés colectivo.

Si se quiere que los diferentes usuarios del agua asuman con responsabilidad el uso y manejo de este recurso, es fundamental poner en una balanza los intereses de cada actor y vincularlos a los costos y beneficios que implica una buena gestión del agua, y de la superficie de la cuenca de captación. Para llegar a este nivel de gestión es necesario realizar acuerdos que involucren compromisos financieros de las partes. Para esto, lo primero que debe hacerse es crear alianzas, y para fomentar las alianzas es importante involucrar a la población. Por ejemplo, en Seattle, estado de Washington, hay un programa de visitas a las cuencas de captación de agua, que permite que 10.000 estudiantes al año conozcan la relación que existe entre el uso de las tierras de las cuencas de captación y la calidad del agua que consumen.

Las fuentes principales de alteración del recurso hídrico son:

- Aguas residuales domésticas, caracterizadas principalmente por contener sustancias biodegradables y compuestos químicos domésticos como detergentes, compuestos de cloro y microorganismos patógenos. El 95% de la población colombiana carece de cubrimiento eficiente en el tratamiento de aguas residuales.
- Aguas residuales industriales, las cuales contienen sales de metales pesados como sulfatos, cloruros o nitratos de plomo, cromo, cadmio, mercurio, entre otros; compuestos orgánicos sintéticos como derivados halogenados del petróleo.
- Aguas residuales de zonas de producción agrícola y ganadera (contaminación difusa), que contienen fertilizantes como nitratos y fosfatos, sales de potasio, plaguicidas y fungicidas.
- Aguas lluvias, que arrastran compuestos azufrados y nitrogenados presentes en la atmósfera, debido a los procesos de combustión en la industria y en la generación de energía térmica.
- Transporte terrestre, fluvial y marítimo de sustancias peligrosas, y de petróleo y sus derivados, que accidentalmente son derramados en cuerpos de agua.
- Obras de infraestructura que incrementan el aporte de sedimentos.
- Aguas de lavado procedentes de los procesos de extracción minera, las cuales pueden contener cianuro y mercurio.
- Residuos sólidos dispuestos en rellenos sanitarios o directamente en cuerpos de agua, que incrementan la demanda de oxígeno en los procesos de oxidación de los materiales en el recurso hídrico.

Las principales fuentes de contaminación de las aguas, tanto dulces como del mar, son la descarga directa de aguas servidas de origen doméstico e industrial. En el país hay una falta generalizada de plantas de tratamiento de aguas servidas, salvo, en algunos casos, para los desechos industriales más tóxicos. Otro factor importante que contribuye a la contaminación de las aguas es la evacuación directa de desechos sólidos (basureros) en los cuerpos de agua cercanos a las poblaciones.

En la distribución geográfica de las fuentes puntuales de la contaminación del agua, predominan los flujos provenientes de las grandes ciudades. En la gran mayoría de estas, casi todas las aguas servidas se vierten a los cursos de agua más cercanos sin tratamiento alguno. La mayoría de las ciudades no cuentan con una recolección y disposición racional de sus aguas servidas. También es común que no se separen las aguas residuales industriales de las domésticas, y de las aguas lluvias, y que las primeras no reciban tratamiento alguno antes de su descarga en redes de alcantarillado.

En consecuencia, muchas corrientes naturales de agua que corren cerca de las ciudades o que las atraviesan, son poco más que alcantarillas abiertas, como el río Bogotá, que corre cerca a la ciudad de Bogotá.

Adicionalmente, el espacio atmosférico almacena los volúmenes de agua provenientes de la evapotranspiración originada en el espacio continental y de la evaporación originada en el espacio marino. De tal forma, el agua atmosférica es alterada por: emisiones originadas por la industria, que se conoce como contaminación de fuentes fijas; y contaminación generada por automotores en general, que constituye la contaminación por fuentes móviles.

Los despropósitos contra el agua se deben a que poco se valora este recurso o no se utiliza bien, tal vez porque Colombia es un país privilegiado en recursos hídricos.

Respecto a los recursos hídricos, se observa, lamentablemente, una tendencia a disminuir la importancia relativa de dichos recursos en el contexto de la preocupación general por el medio ambiente. Se busca manejar el ambiente en forma global sin aún haber demostrado, ni siquiera, la capacidad de manejar bien uno solo de los recursos naturales. Lo que a menudo no se tiene en cuenta, es que la gestión de los recursos hídricos ocupa un lugar preponderante en la gestión ambiental. Si se lograra manejar integralmente dicho recurso, así como las cuencas de captación y todo lo que afecta la calidad, cantidad y distribución del agua, lo más probable es que gran parte de los problemas ambientales estaría resuelta.

CAPÍTULO 2

LA CUENCA HIDROGRÁFICA

2.1 CONCEPTOS DE CUENCA HIDROGRÁFICA

El Estado colombiano, en el artículo 312 del Código Nacional de los Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente (Decreto ley 2811 de 1974), define la cuenca hidrográfica así: "Entiéndese por cuenca u hoya hidrográfica el área de aguas superficiales o subterráneas, que vierten a una red hidrográfica natural con uno o varios cauces naturales, de caudal continuo o intermitente, que confluyen en un curso mayor, que, a su vez, puede desembocar en un río principal, en un depósito natural de agua, en un pantano o directamente en el mar". Como se puede apreciar, este es un concepto desde un punto de vista puramente hidrográfico.

Otra definición de cuenca, basada en la concepción hidrográfica, es la que da Monsalve, G. (1995), quien dice que "una hoya o cuenca hidrográfica se puede concebir como un área definida topográficamente, drenada por un curso de agua o un sistema conectado de cursos de agua, tal que todo el caudal efluente es descargado a través de una salida simple". Durante este proceso ocurren pérdidas diversas de agua. El proceso de evaporación se presenta desde cuando se inicia la precipitación. Por otro lado, la superficie del terreno no es completamente plana. Existen depresiones en el terreno, y al caer el agua y acumularse, puede ser evaporada o infiltrada en éste.

También, en el proceso de infiltración, al penetrar el agua en el suelo sigue diversos caminos, quedando almacenada temporalmente en dicho medio; de ahí, por medio del proceso de percolación, continúa a estratos más profundos, formando el nivel freático, o se mueve lateralmente como escorrentía subterránea, y puede surgir

superficialmente como fuente de escorrentía superficial o, según la localización de la divisoria del nivel freático, escurrir hacia otra cuenca.

Según Botero, L. S. (1982), “la cuenca hidrográfica es una unidad espacial definida por un complejo sistema de interacciones físicas, bióticas, sociales y económicas”. La interdependencia de los elementos que constituyen la cuenca es evidente en muchos casos: la deforestación en el área receptora facilita la acción impermeabilizante de las gotas de lluvia y de la escorrentía, y el mayor escurrimiento superficial reduce el tiempo de concentración y aumenta el caudal máximo de crecida. La degradación de la cubierta vegetal reduce la infiltración y, por lo tanto, la capacidad reguladora del escurrimiento freático que alimenta los manantiales y los cursos de agua, provocando estiajes más acentuados. La acción erosiva de la escorrentía contribuye al incremento del transporte de sólidos, y al comportamiento torrencial de las cuencas de montaña, ocasionando la destrucción de las obras de infraestructura, poniendo en peligro los asentamientos humanos, y ocasionando el entarquinamiento (colmatación con cieno) de embalses, bocatomas y canales.

Para Negret, R. (1982), “la cuenca hidrográfica es una unidad natural claramente delimitada por los divisores topográficos, y definida territorialmente por una superficie común de drenaje, donde interactúan los factores físicos, biológicos y humanos, para conformar un megasistema socio–ecológico”. Figura 3.

López y Hernández (1972), definen la cuenca hidrográfica como “un área o superficie limitada por una línea o divisoria de aguas, dentro de la cual aparecen sistemas naturales, sociales y económicos, muy dinámicos e interrelacionados entre sí”.

Según la FAO, “la cuenca hidrográfica es una unidad territorial formada por un río con sus afluentes, y por un área colectora de las aguas. En la cuenca están contenidos los recursos naturales básicos para múltiples actividades humanas, como: agua, suelo, vegetación y fauna. Todos ellos mantienen una continua y

particular interacción con los aprovechamientos y desarrollos productivos del hombre.”

Sánchez, S. F. (1995), concibe la cuenca como “una unidad espacial global, delimitada superficialmente por un área natural de drenaje cuyas aguas vierten a un colector común, en la cual interactúan orgánicamente elementos físico-bióticos, que el hombre utiliza en los procesos de producción y consumo de medios materiales de vida, como base de recursos, base de soporte y base de desechos, en el marco de las relaciones de producción de un sistema social dado”.

En las anteriores definiciones de cuenca hidrográfica se pueden destacar las múltiples relaciones e interdependencias que se dan entre los diferentes elementos que la constituyen, lo que determina la complejidad que se presenta cuando se aborda el estudio de las mismas.

2.2 LA CUENCA HIDROGRÁFICA COMO UN SISTEMA

La teoría general de los sistemas es un enfoque que proporciona los elementos conceptuales, metodológicos, técnicos y científicos, en el estudio de problemas complejos, al analizarlos como una unidad en donde el carácter fundamental son las interrelaciones que se suceden en su interior, y las relaciones de esta unidad con su medio. Por lo tanto, al aplicar esta teoría al estudio de unidades complejas, como son las cuencas hidrográficas, se debe llevar una visión integral.

Antes de abordar la concepción de la cuenca hidrográfica como un sistema, es conveniente definir qué es un sistema, y las partes que lo componen.

Un sistema es un conjunto de partes coordinadas para lograr un conjunto de objetivos. (Churchman, C. W., 1968, en Pérez A., C. E., 1981).

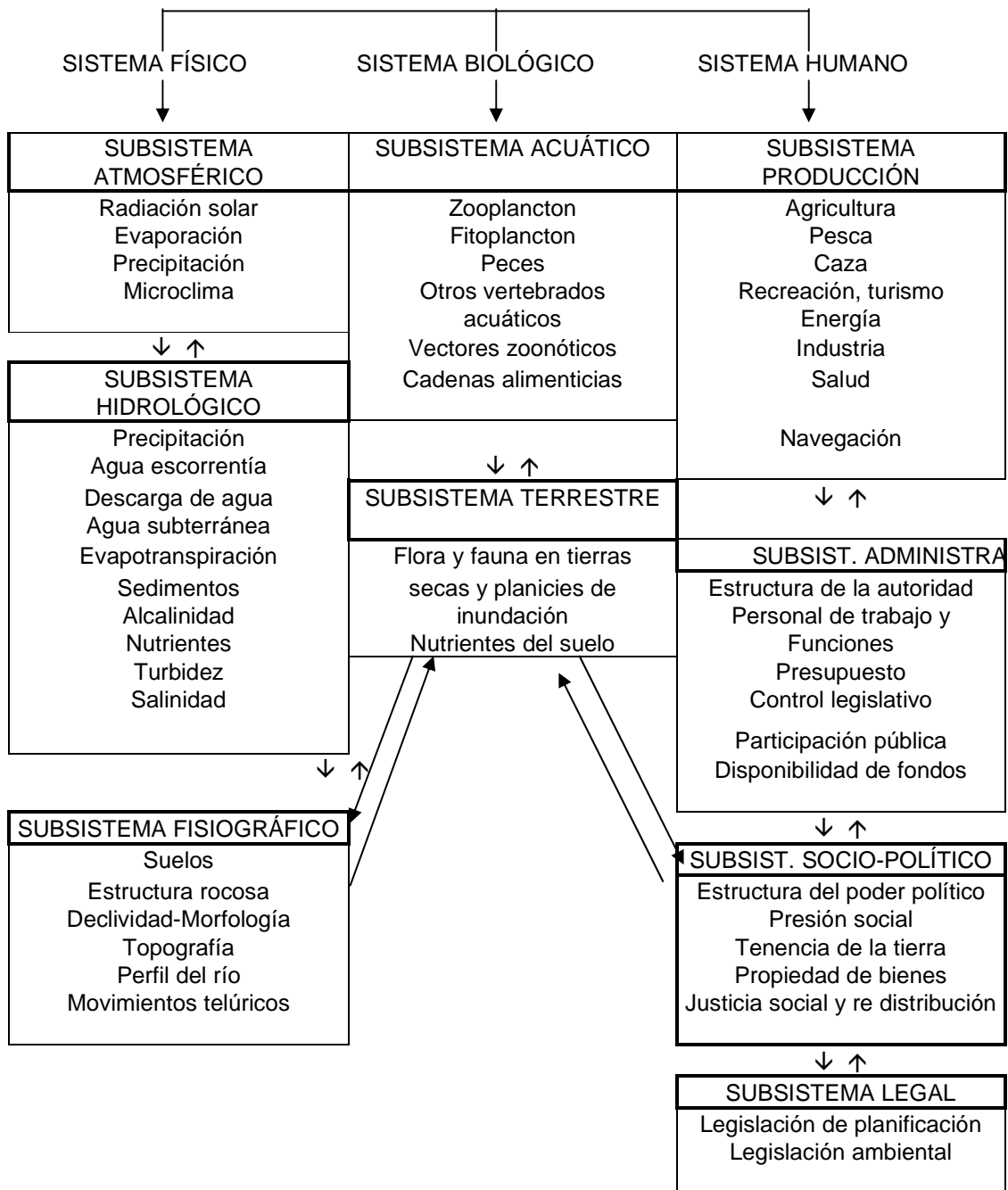


Figura 3. Megasistema de relaciones envolviendo agua tierra y hombre

Fuente: SAHA, S. K. 1981 River basin planning as a field of study: Design of a course structure for practitioners in river basin planning. Theory and practice; en Negret (1982).

El proceso de identificación o reconocimiento de un sistema impone la identificación de los siguientes aspectos: 1) los objetivos del sistema, 2) el ambiente del sistema, 3) los recursos del sistema, 4) los componentes del sistema y sus objetivos particulares, 5) los productos o servicios, y 6) la administración del sistema. A continuación se presenta una breve descripción de cada uno de estos componentes, relacionándolos con la cuenca hidrográfica.

2.2.1 Objetivos del sistema. Los objetivos constituyen la razón de ser del sistema. En sistemas complejos, como las cuencas hidrográficas, se acepta la noción que existen objetivos múltiples. Dentro de algunos objetivos del sistema cuenca hidrográfica se pueden mencionar los siguientes: abastecimiento de agua, producción agrícola, producción pecuaria, producción forestal, turismo y recreación, generación de energía hidroeléctrica, riego, etc.

2.2.2 Ambiente del sistema. El ambiente del sistema es el conjunto de elementos que influyen directamente sobre el sistema, pero el sistema no puede hacer nada para modificarlos. Ambiente no es sólo aquello que se encuentra fuera del control del sistema, sino que, también, es algo que determina, en parte, la conducta de este. Para la cuenca hidrográfica el ambiente se puede dividir en: político, jurídico, social, económico, cultural y ecológico.

2.2.3 Recursos del sistema. Los recursos del sistema corresponden a los medios con que dispone el sistema para el logro de sus objetivos. Los recursos del sistema se pueden agrupar en: humanos, económicos, físicos y naturales.

2.2.4 Componentes del sistema. Los componentes del sistema (subsistemas) son subconjuntos organizados de recursos del sistema, con una misión específica condicionada al logro de los objetivos globales del sistema. Un aspecto importante, asociado con la identificación del sistema, se relaciona con la comprensión, por parte de la administración del sistema y de los componentes, de las interrelaciones existentes entre las misiones de los diferentes componentes, y la subordinación de

las misiones particulares a la misión global del sistema. Esta comprensión permitirá, a cada componente, orientar sus esfuerzos hacia el logro de su misión, teniendo siempre presente el papel que desempeña en el logro de los objetivos globales del sistema. En el sistema cuenca hidrográfica se identifican los siguientes subsistemas: biótico, físico, social y económico.

2.2.5 Administración del sistema. La administración del sistema es el conjunto de individuos responsables del logro de los objetivos del sistema. Para ello, la dirección debe fijar los objetivos de los componentes, distribuir los recursos, y controlar la actuación y comportamiento del sistema. La administración no es responsable solamente de establecer objetivos, sino también de garantizar que se logren los mismos. Esto impone la existencia de un sistema de información que permita la toma de acciones correctivas orientadas al logro de este propósito. Para el caso de la cuenca hidrográfica, la administración corresponde a los organismos que toman decisiones dentro del área, tales como: corporaciones autónomas regionales, alcaldías, empresas de acueducto, etc.

2.2.6 Productos o servicios. Los productos o servicios representan los resultados finales que el sistema entrega al medio, y que constituyen instrumentos a través de los cuales el sistema espera lograr sus objetivos. Estos productos o servicios, referidos a la cuenca hidrográfica, pueden ser: hectáreas de bosque sembrado, toneladas de productos agrícolas, mejoramiento de la calidad del agua, regulación de los caudales, aumento en los ingresos económicos de la población, etc.

Visto lo anterior, se puede afirmar que la teoría general de sistemas es un enfoque que permite establecer la cuenca hidrográfica como un sistema contenido dentro de otro sistema (el ambiente), compuesto por las interacciones de los subsistemas biofísico, social y económico, cuyo fin principal es producir bienestar a la sociedad que la gobierna. Este bienestar está constituido por la cantidad y calidad de agua, energía, insumos de producción, alimentos, recreación, belleza paisajística, conservación de los recursos, etc., que el sistema cuenca hidrográfica pueda

producir. De la magnitud, en calidad y cantidad de las interacciones de los mencionados subsistemas, surgen la dimensión de su cobertura y nivel de complejidad que se presentan en una cuenca hidrográfica.

Las múltiples relaciones e interdependencias que se dan entre los diferentes elementos que constituyen la cuenca, hacen que el estudio de la cuenca tenga características especiales, en razón de que no es posible entrar a estudiar un elemento en particular y modificarlo, por ejemplo: las coberturas vegetales, sin que esto produzca efectos en los demás elementos (fauna, suelo, agua, microorganismos, etc.), puesto que, el funcionamiento y desarrollo dependen de las interrelaciones existentes entre componentes.

Como subsistema biofísico, la cuenca hidrográfica está constituida por una oferta ambiental en un área delimitada por la divisoria de aguas, y con características específicas de clima, suelos, flora, fauna, red hidrográfica, componentes geológicos, procesos bioenergéticos, etc.

El subsistema social de la cuenca hidrográfica incluye las comunidades humanas asentadas en su área, teniendo en cuenta sus valores culturales, tradiciones y creencias, dinámica demográfica, instituciones, acceso a servicios básicos, estructura organizativa, formas de organización, actividades, etc., que necesariamente causan impacto sobre el ambiente natural.

Como subsistema económico, la cuenca hidrográfica presenta una disponibilidad de recursos que se combinan de acuerdo con técnicas diversas para producir bienes y servicios; es decir, en toda cuenca existe la posibilidad de aprovechar o transformar los recursos naturales. Este subsistema se compone de elementos clásicos como: empleo, ingresos, mercados, tecnología, etc.

En síntesis, una cuenca hidrográfica es un ente que emite y recibe acciones dentro del contexto de tres subsistemas (económico, social y biofísico), los cuales determinan la extensión temporal y compleja de cada situación particular. Por razón

de este intercambio de efectos internos y externos dentro de una cuenca hidrográfica, se dificulta definirla en términos de un solo parámetro. En este sistema abierto existen influencias y dependencias entre y hacia los elementos de los subsistemas, lo cual se manifiesta en una dinámica de comportamiento que puede llegar a ser compleja, y que obliga a analizarla en forma integral.

2.3 DELIMITACIÓN DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA

El Estado Colombiano, en el artículo 2^{do} del decreto número 2857 de 1981 emanado del Ministerio de Agricultura, establece que "una cuenca hidrográfica se delimita por la línea de divorcio de las aguas. Entendiéndose por línea de divorcio la cota o altura máxima que divide dos cuencas contiguas.

Cuando los límites de las aguas subterráneas de una cuenca no coincidan con la línea superficial de divorcio, sus límites se extenderán subterráneamente hasta incluir la de los acuíferos que confluyan hacia la cuenca deslindada por las aguas superficiales".

Generalmente, la delimitación de la cuenca como área de estudio, en mapas o fotografías aéreas, se hace siguiendo la línea de mayor altura o divisoria de aguas, hasta encerrar toda el área cuyas aguas drenan a través de un colector común, en una sección o punto considerado, que bien puede ser la desembocadura o cualquier sección dentro del cauce principal. En los mapas, la línea de mayor altura está representada por la forma cóncava que presentan las curvas de nivel, en tanto que los drenajes o partes más bajas están determinados por la forma convexa de las curvas de nivel. Figura 4.

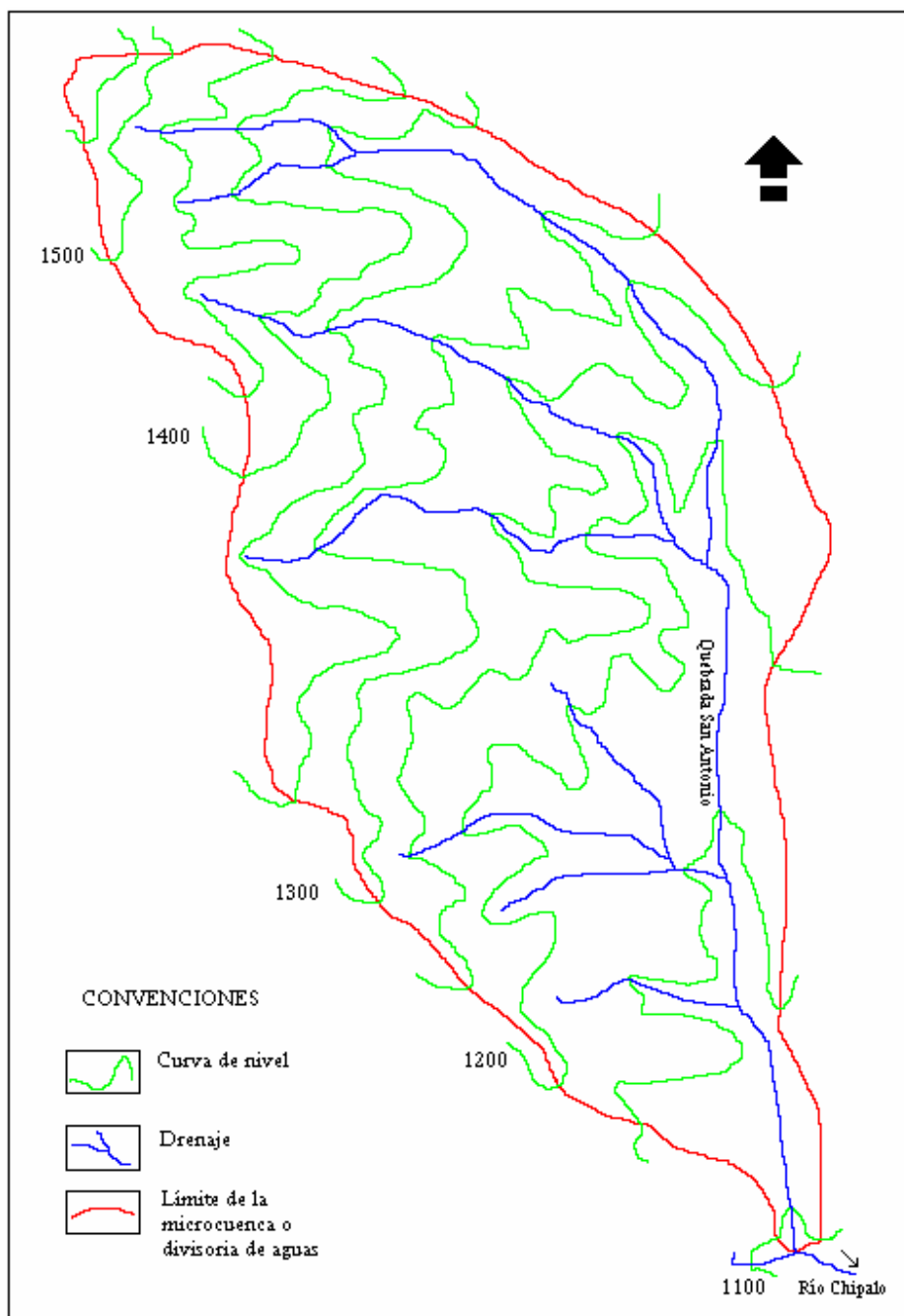


Figura 4. Divisoria de aguas de la microcuenca de la quebrada San Antonio subcuenca del río Chipalo. Fuente: IGAC (1967). Plancha cartográfica 244-II-D, escala 1:25.000

2.4 CLASIFICACIÓN DE LAS CUENCAS HIDROGRÁFICAS

El sistema orográfico y climático colombiano han permitido el desarrollo y conformación de una gran variedad de cuencas hidrográficas en cuanto a tamaño, forma y rendimiento hídrico, y con condiciones hidrológicas y climáticas especiales.

De esta forma, el desempeño de una cuenca, en cuanto a disponibilidad de agua, es un sistema complejo dada la intervención de variables biofísicas, climáticas, cobertura vegetal, estructura geológica y tipo de suelos, todas las cuales inciden en la sostenibilidad del recurso hídrico.

Al hablar de manejo de cuencas hidrográficas es necesario tener en cuenta la idea de cuenca pequeña y cuenca grande. La Unión Geofísica Americana define como cuenca pequeña, aquella en la cual la sensibilidad a las lluvias de alta intensidad y de corta duración y al uso de la tierra, no es suprimida por las características de almacenamiento en el valle; en las cuencas grandes el efecto del flujo en el cauce o el efecto del almacenamiento en el valle es mucho más pronunciado, y así tal sensibilidad es suprimida. El límite superior para una cuenca pequeña se puede considerar en 130 kilómetros cuadrados. Este límite es relativo, en razón de que puede variar de acuerdo con las características que presente la cuenca, o sea, las condiciones en las cuales la sensibilidad prácticamente desaparece. En el cuadro 1 se resumen algunas características hidrológicas de las cuencas pequeñas (torrentes) y grandes.

Estas diferencias en el comportamiento hidrológico hacen que los tratamientos en las cuencas pequeñas, con miras al manejo del agua, se fundamenten, esencialmente, en medidas que toman en cuenta la vegetación y la tierra. En cuencas grandes, el papel desempeñado por el tratamiento de la tierra y el manejo de la vegetación se ve disminuido por el almacenamiento en el valle, el cual requiere para su control de obras de ingeniería de mayor envergadura.

Cuadro 1. Algunas características hidrológicas de las cuencas pequeñas y grandes. Fuente: Vidal, R. (1988).

Procesos	Cuenca pequeña	Cuenca grande
Factor dominante en los caudales de crecida.	Escurrimiento superficial en las vertientes.	Escorrentía en el cauce.
Sensibilidad.	a) A lluvias de alta intensidad y corta duración. b) Uso de la tierra (manejo de la tierra).	La sensibilidad a estos factores es suprimida por el efecto de almacenamiento en el valle.
Efecto del escurrimiento.	El efecto del escurrimiento superficial en las vertientes predomina en los picos de crecida. De ahí la importancia del uso de la tierra y manejo de las vertientes en general.	El efecto del almacenamiento en el valle determina las características del pico de crecida.
Crecidas e inundaciones.	Súbitas y violentas.	Lentas y de larga duración.
Arrastre de material.	Arrastre de gran cantidad de sedimentos, con alto porcentaje de material de gran diámetro.	Arrastre moderado de material, de baja granulometría.
Caudal de estiaje.	Reducido o nulo.	Regular, régimen hídrico permanente.
Pendiente media.	Pronunciada.	Suave.
Tamaño.	Menor de 130 Km ² .	Mayor de 130 Km ² .

El IDEAM (1998), con base en el inventario de las cuencas hidrográficas de Colombia, ha dividido el país en 12 zonas con características hidrológicas representativas. Para cada una de ellas se han cuantificado las cuencas de acuerdo con un orden de magnitud. Se han considerado como microcuencas, todas aquellas con una superficie inferior a 10 kilómetros cuadrados. De estas microcuencas depende más del 80% del agua potable que se consume en el país, y de la disponibilidad del recurso hídrico existente en ellas depende también el desarrollo de la mayoría de los municipios de Colombia.

Es importante observar que un alto porcentaje de los acueductos del país se surte de ríos pequeños, quebradas y arroyos, lo cual determina una alta vulnerabilidad de esos aprovechamientos, especialmente en aquellas zonas con serios problemas por las típicas distribuciones espacial y temporal del recurso hídrico, tales como la región Caribe, particularmente, los departamentos de La Guajira, Cesar, Magdalena y Bolívar; en la región Andina, los departamentos de Huila, Tolima, Boyacá, los Santanderes, y parte de los departamentos de Nariño y Cauca.

En la tabla 3 se muestra el inventario de las cuencas hidrográficas del país, donde se puede apreciar que existen aproximadamente 714.311 microcuencas con extensión menor de 10 kilómetros cuadrados, de las cuales el 72,8% se encuentra en la vertiente del Amazonas. En el país sólo existen cinco cuencas hidrográficas con área mayor a 100.000 kilómetros cuadrados, que corresponden a las cuencas de los ríos Magdalena, Meta, Guaviare, Caquetá y Putumayo.

La Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC, 1995), ha definido, para el área de su jurisdicción, los siguientes términos relacionados con la clasificación de cuencas:

- Gran cuenca del alto Cauca. Conformada por el área comprendida entre las cordilleras Central y Occidental, cuyas aguas drenan al río Cauca.
- Cuenca hidrográfica. Área delimitada por divorcios de aguas cuyos drenajes principales desembocan directamente al río Cauca.
- Subcuenca. Área determinada por una vertiente cuyas aguas drenan a la corriente principal de una cuenca hidrográfica.
- Unidad de manejo de cuencas (UMC). Es un concepto administrativo adoptado por la CVC, que conlleva a subdividir el área de jurisdicción en

sectores; la UMC puede estar conformada por una o varias cuencas, una o varias subcuencas y, en ocasiones, por una subcuenca.

Tabla 3. Inventario de las cuencas hidrográficas de Colombia. Fuente IDEAM (1998)

Zonas	<10 Km ²	10 a 100 Km ²	100 a 1.000 Km ²	1.000 a 5.000 Km ²	5.000 a 10.000 Km ²	10.000 a 50.000 Km ²	50.000 a 100.000 Km ²	>100.000 Km ²
1 Pacífico y Atrato	91.500	3.900	153	26		4		
2 Bajo Magdalena Río Sinú	8.570	300	59	4				
3 Sierra Nevada de Sta Marta	19.100	170	47					
4 Baja y Alta Guajira	3.750	300	45					
5 Alto Magdalena	8.400	320	72	16	2			
6 Medio Magdalena	20.700	1.420	142	17	4	1		
7 Alto Cauca	7.321	370	51	4				
8 Medio Cauca	6.420	177	89	6	2			
9 Cabeceras Ríos Meta y Arauca	11.605	216	25	4				
10 Catatumbo	11.420	284	27	5				
11 Sabanas Ríos Meta y Arauca	5.525	510	170	34				
12 Ríos Guaviare Vichada y Amazonas	520.000	18.900	430	33	16	10	2	3 (2)
Totales	714.311	26.867	1.310	149	24	15	2 (1)	5 (3)

(1) Ríos Cauca e Inírida (2) Ríos Guaviare, Caquetá y Putumayo (3) Ríos Magdalena, Meta, Guaviare, Caquetá y Putumayo.

Sánchez, S.F. (1995), propone una clasificación de las cuencas por categorías de tamaño:

- Microcuenca. Área determinada por divorcios de agua, con una superficie menor o igual a 10.000 Ha.
- Cuenca pequeña. Área con una superficie mayor a 10.000 Ha., pero menor o igual a 100.000 Ha.
- Cuenca mediana. Le corresponde una superficie mayor a 100.000 Ha., pero menor o igual a 500.000 Ha.
- Cuenca grande. Es aquella que tiene una superficie mayor de 500.000 Ha, pero menor o igual a 1.000.000 Ha.
- Cuenca muy grande. Es la que tiene una superficie mayor a 1.000.000 de Ha.

En Méjico, se utiliza la siguiente clasificación de cuencas: 1) cuenca de primer orden, también denominada macrocuenca; 2) cuenca de segundo orden, o subcuenca; y 3) cuenca de tercer orden, o microcuenca (CEPAL, 1999).

2.5 LA ACTIVIDAD DE LOS RÍOS

Los ríos se forman como consecuencia del desagüe superficial de las precipitaciones líquidas y sólidas producidas en las montañas; también cuando afloran aguas subterráneas, como en el caso de los manantiales; y en tercer lugar, se pueden originar también por las aguas de fusión procedentes de nieves y glaciares.

El lecho de un río se estructura en tres sectores: el curso superior, donde el desnivel es máximo y la impetuosa velocidad de la corriente fluvial genera la máxima actividad

erosiva; el curso medio, que transporta gran parte del material erosionado en el curso superior, que luego se deposita en el curso inferior; en este último sector, durante la denominada fase senil del río, la velocidad de la corriente, como consecuencia del escaso desnivel existente, se reduce hasta el punto que el río deja de transportar materiales sedimentarios.

2.5.1 Procesos erosivos. Los efectos tanto erosivos como de acumulación de las aguas corrientes crean y configuran el cauce fluvial. Las rocas del curso superior van reduciéndose constantemente, hasta que son transportadas río abajo por la fuerza de arrastre de las aguas, en forma de derrubios y fragmentos rocosos, los cuales van excoriando, a su vez, el lecho del río, a la par que ellos mismos experimentan una fuerte abrasión, de tal forma que las aguas del curso medio transportan ya finísimos sedimentos y fragmentos de roca redondeados. El material más pesado y voluminoso es arrastrado al principio por las turbulencias creadas por las irregularidades del cauce mediante el proceso de saltación, pero más tarde dicho material se precipita al fondo, tan pronto como las aguas disminuyen su velocidad.

2.5.2 Desfiladeros y cañones. En el curso superior de los ríos es donde se produce, en particular, la erosión profunda, como lo demuestran los valles fluviales, cuyo perfil en forma de V ha ido cortando y barrenando profundamente las estribaciones montañosas y las laderas, formando los desfiladeros y cañones.

2.5.3 Rápidos y cataratas. En las montañas pueden aparecer grandes formaciones rocosas de gran dureza que, cuando cruzan perpendicularmente el lecho del río, se inclinan levemente en dirección de la corriente, y forman los denominados rápidos. Las cataratas se forman en los lugares donde la capa de rocas duras ocupa una posición superior o acusa una gran inclinación con respecto al perfil del cauce fluvial, además de descansar sobre capas de rocas más blandas.

2.5.4 Meandros. Las repetidas variaciones del cauce pueden provocar, sobre todo en los tramos del río con importante desnivel (como suele suceder en el curso medio

de un río), la formación de meandros, que se forman cuando el río traza unas curvas sinuosas que van profundizándose en el terreno. El meandro propicia, por lo general, una erosión disimétrica, con unas márgenes cóncavas cortadas casi verticalmente donde el agua actúa con más fuerza, produciendo erosión lateral en los puntos donde se produce el embate de las aguas, contribuyendo a que se agranden lateralmente las sinuosas curvas del cauce, y otras convexas, donde el agua se remansa, siendo las márgenes de suave o nulo desnivel, depositando, en su lugar, los sedimentos que transporta. Figura 5.



Figura 5. Meandros

Un meandro profundamente encauzado puede llegar a formar una especie de vado (paraje de un río con fondo firme, llano y poco profundo) al producirse un derrubio local en ambas márgenes del río, pero luego la intensa erosión lateral del borde cóncavo puede propiciar, en ciertas ocasiones, que el vado se transforme en una presa, tras lo cual el meandro resulta incomunicado, y queda, entonces, como una laguna de agua estancada (madre vieja). Figura 5.

2.5.5 Planicie de inundación. La planicie de inundación de un río es el valle adyacente al canal, que puede ser inundado durante períodos de aguas altas. Los

cauces naturales parecen serpentear de un lado a otro del valle removiendo y redepositando los materiales de la planicie, y erosionando primero un brazo del río y luego el otro. Las planicies de inundación están formadas, primordialmente, por la deposición de sedimentos en el canal del río, y por la deposición de sedimentos finos en el valle durante las avenidas.

La planicie de inundación está sometida a inundaciones frecuentes, y es por esta razón que la construcción de obras de infraestructura o edificaciones en dicha zona, y su uso en general por el hombre, debe regularse cuidadosamente. La pendiente transversal de una planicie de inundación es generalmente muy pequeña, y es difícil detectar diques naturales por inspección visual. Por esta razón, en estudios en los cuales la planicie de inundación es importante, se debe contar con mapas adecuadamente detallados o levantamientos topográficos especiales, que definan satisfactoriamente la información necesaria.

2.5.6 Deltas. Tan pronto como un río desemboca en un lago o en el mar, pierde casi instantáneamente su fuerza de arrastre, y deposita sobre el fondo todo el material que acarrea. Estos sedimentos pueden llegar incluso a obstaculizar su corriente, con lo que modifican también su lecho, además de ramificarse hasta formar así un delta o cono aluvial. Antes de producirse el paso del río al mar o a un lago, el sedimento más grueso se distribuye por los diferentes brazos del río, y es depositado posteriormente en las ya existentes capas de sedimentos de granos más finos y medios. Los grandes deltas pueden penetrar profundamente en el mar, siempre que las corrientes marinas de la desembocadura sean débiles.

2.6 PATRÓN DE DRENAJE

El patrón de drenaje de una cuenca puede definirse como el arreglo que presentan las vías de drenaje, permanentes y transitorias, que contribuyen a evacuar las aguas superficiales de la cuenca. El patrón de drenaje es un elemento compuesto, para

cuyo análisis es fundamental tener en cuenta el relieve, la distribución de la vegetación, y las condiciones estructurales de la zona.

Por las relaciones mencionadas anteriormente, durante el proceso de análisis de los patrones de drenaje es necesario definir si este tiene o no, y de que tipo, algún control que esté orientando la dirección en que se está presentando un determinado patrón. Sobre el particular, Botero, P. J. (1978) destaca que para los patrones de drenaje pueden presentarse dos tipos de control: uno litológico, debido a las condiciones estructurales de los materiales sobre los cuales se desarrolla el patrón; y otro topográfico, en el que la pendiente del terreno obliga a las corrientes a tomar una determinada dirección.

Los patrones de drenaje han sido agrupados en cuatro categorías por Way (1977), citado por el Ministerio del Medio Ambiente de España (1998), y por Botero, P. J. (1978), teniendo en cuenta el carácter de los procesos genéticos predominantes en ellos. Las categorías son: erosionales, deposicionales, especiales e individuales.

2.6.1 Patrones de drenaje erosionales. Son aquellos que, predominantemente, están causando procesos de erosión en la zona en la cual se presentan. A este grupo pertenecen los siguientes: dendrítico, pinnado, paralelo, subparalelo, radial, anular, trellis, rectangular y angular.

2.6.1.1 Dendrítico. Es el patrón que más frecuentemente se presenta, y se caracteriza por mostrar una ramificación arborescente en la que los tributarios se unen a la corriente principal formando ángulos agudos. Se desarrolla en suelos homogéneos, moderadamente permeables, con pendientes suaves y sin ningún tipo de control. Se presenta, con frecuencia, en zonas de rocas sedimentarias blandas, aluviones finos, tobas volcánicas, depósitos de till glacial (brecha consolidada o roca sedimentaria, cuyos materiales de partida se han formado por fenómenos glaciares), principalmente. Figura 6.

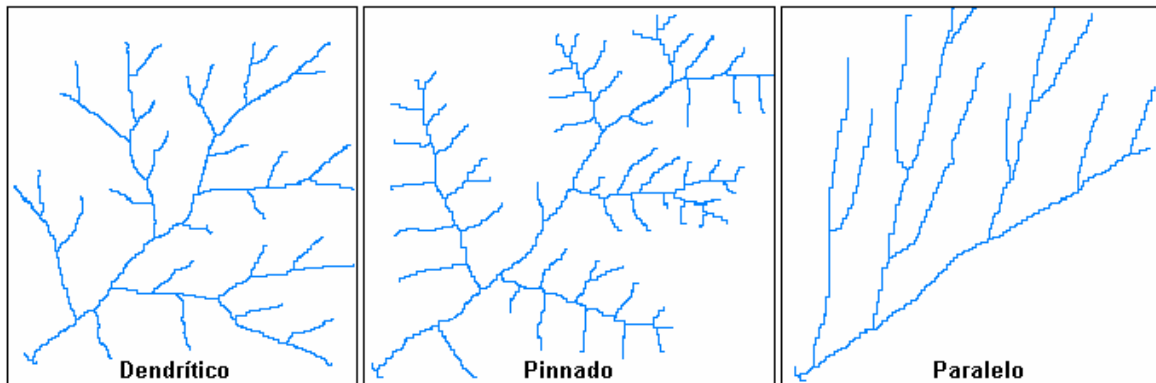


Figura 6. Patrones de drenaje erosionales

2.6.1.2 Pinnado. Corresponde a un drenaje dendrítico modificado que presenta una gran cantidad de tributarios cortos y poco espaciados, e indica un elevado contenido de limo en el suelo. Es típico de zonas planas o casi planas, con materiales muy homogéneos, friables y finos, eólicos o aluviales, como: loess (roca sedimentaria incoherente, de partículas muy finas), ceniza volcánica, till. Tampoco presenta controles. Figura 6.

2.6.1.3 Paralelo. Este patrón presenta los tributarios paralelos o casi paralelos entre sí. Tiene la característica que se puede presentar por influencia de control topográfico o estructural, siendo más común el topográfico, ya que es muy frecuente encontrarlo en zonas con fuertes pendientes. Figura 6.

Puede presentarse también en planicies inclinadas, flujos de lava, restos de abanicos y valles inclinados y, además, en planos costeros jóvenes y coladas de basalto. Este patrón se desarrolla en zonas de materiales homogéneos.

En él se pueden presentar dos variantes: una conocida como patrón subparalelo, desarrollado en zonas de alto relieve con pendientes escarpadas, y en algunos depósitos glaciares debido a su distribución; y otra conocida como patrón colinear, que, aunque es escaso, puede presentarse en zonas de dunas longitudinales,

complejos de orillares, y se caracteriza por tener corrientes paralelas simples, sin tributarios, que en algunos tramos son subsuperficiales. Figura 7.

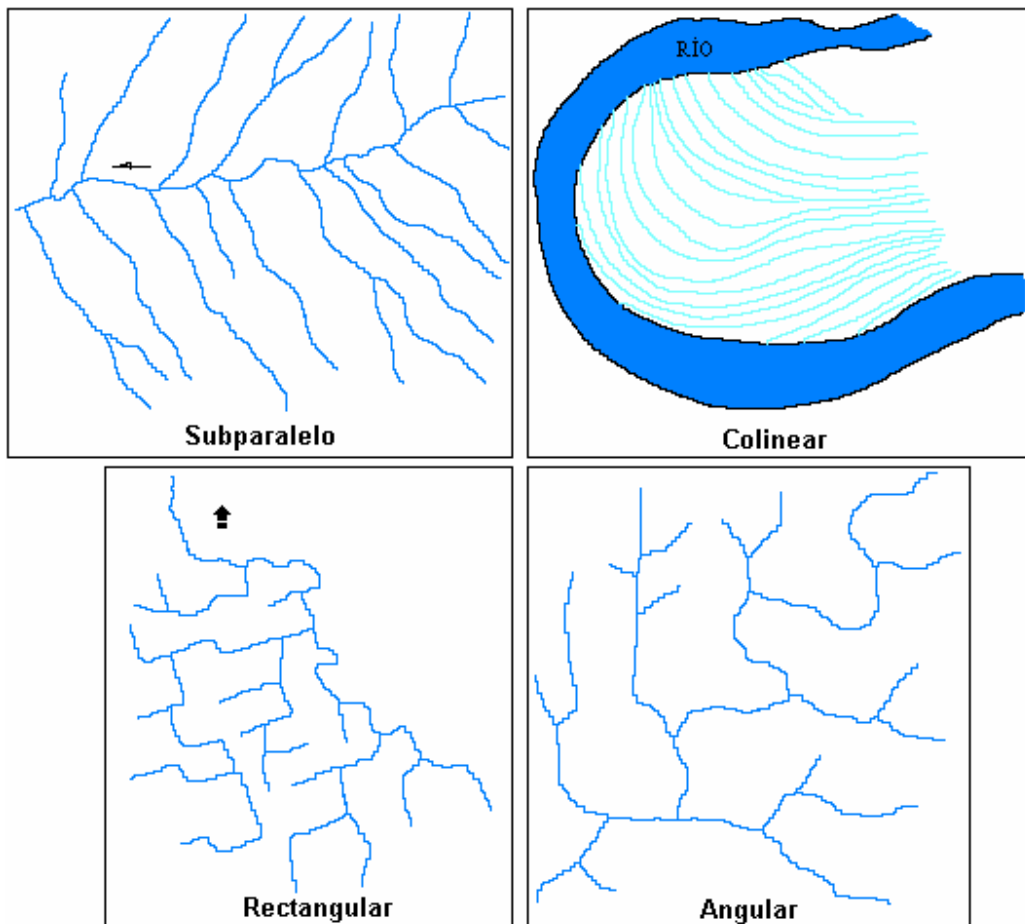


Figura 7. Patrones de drenaje erosionales

2.6.1.4 Rectangular. Es otra variante del drenaje dendrítico. Los tributarios suelen juntarse con las corrientes principales en ángulos casi rectos. Presenta un control estructural originado por diaclasas, foliaciones y/o fracturas en la roca. Cuanto más claro es el patrón rectangular, más fina será la cubierta del suelo. Suele desarrollarse sobre pizarras metamórficas, esquistos y gneis (roca metamórfica compuesta de cuarzo, feldespato y mica); en areniscas resistentes, si el clima es árido, o en areniscas de poco suelo, en climas húmedos. Figura 7.

Cuando las condiciones estructurales de la roca no se presentan formando ángulos rectos sino agudos, se pasa a tener un patrón angular, en el cual son frecuentes las curvas angulares agudas en las corrientes principales. Figura 7.

2.6.1.5 Radial. La dirección de las corrientes es radial a un punto central, y según el sentido en que se desplazan esas corrientes, el patrón se denomina radial centrífugo o radial centrípeto. Figura 8.

El patrón de drenaje radial centrífugo es una forma de drenaje que se caracteriza por una red circular con canales paralelos procedentes de un punto elevado. Suele existir cuando las corrientes van del punto central hacia fuera. Los volcanes y cerros aislados suelen presentar este tipo de drenaje.

El radial centrípeto es una variante del sistema radial en la que el drenaje se dirige desde afuera hacia un punto central. Suele reflejar una depresión cerrada como dolinas (cavidad formada por disolución química de rocas calcáreas o por hundimiento de una masa superficial sobre una cavidad), cráteres, basines, etc., o en los sitios donde termina un anticlinal (pliegue de los estratos rocosos convexo) o un sinclinal (parte cóncava de un pliegue geológico) erosionado.

2.6.1.6 Anular. Este patrón de drenaje presenta un control estructural y se desarrolla principalmente en relieves semejantes a domos, compuestos de estratos sedimentarios de diferente resistencia a la erosión, dispuestos en forma concéntrica, los cuales orientan la dirección de las corrientes. Puede presentarse también en domos graníticos. Figura 8.

2.6.1.7 Trellis. Este patrón de drenaje presenta control estructural. Generalmente presenta todos los drenajes de la misma categoría, paralelos entre sí, y los tributarios primarios son cortos, que se juntan en ángulos rectos, en su gran mayoría. Refleja más la estructura de la roca madre que el tipo de roca, y usualmente indica rocas

sedimentarias plegadas o intercaladas en las que las corrientes principales siguen las uniones de las capas. Figura 8.

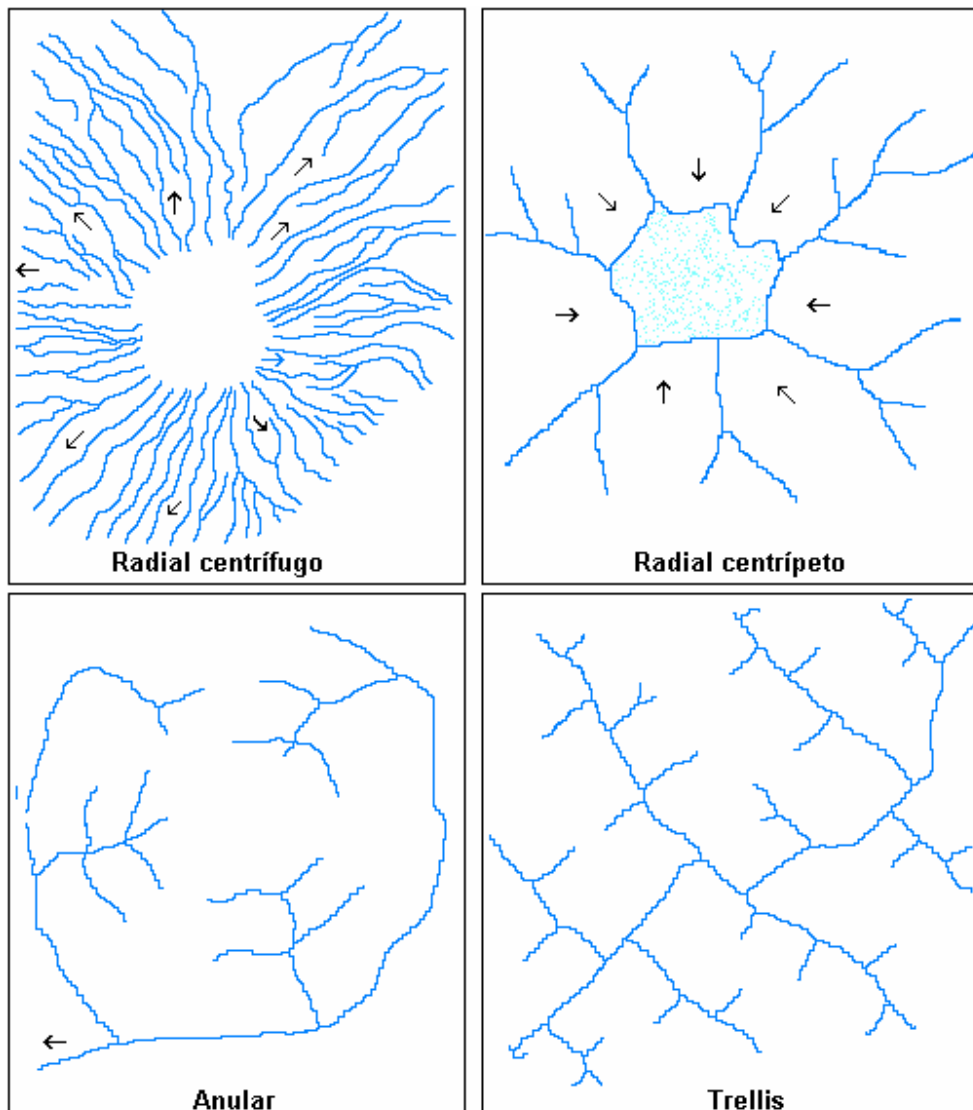


Figura 8. Patrones de drenaje erosionales

2.6.2 Patrones de drenaje deposicionales. Los patrones de drenaje deposicionales son aquellos que se desarrollan en superficies donde los procesos dominantes son los sedimentarios. Los más comunes son: reticular y distributario.

2.6.2.1 Reticular. Es un patrón que se forma generalmente en planicies costeras jóvenes, muy planas y que se asemeja a una red; se observa gran cantidad de canales interconectados y meandros con curvas rectangulares debidas a la influencia de las mareas. Además, las corrientes que llegan al mar amplían bastante su cauce, en las cercanías a él. Figura 9.

2.6.2.2 Distributivo. Es el patrón de drenaje que se forma típicamente en los abanicos aluviales jóvenes, en el que todas las vías de drenaje parecen salir del ápice del abanico, y dispersarse, en forma casi radial, sobre la superficie del mismo. También se observa en los deltas. Figura 9.

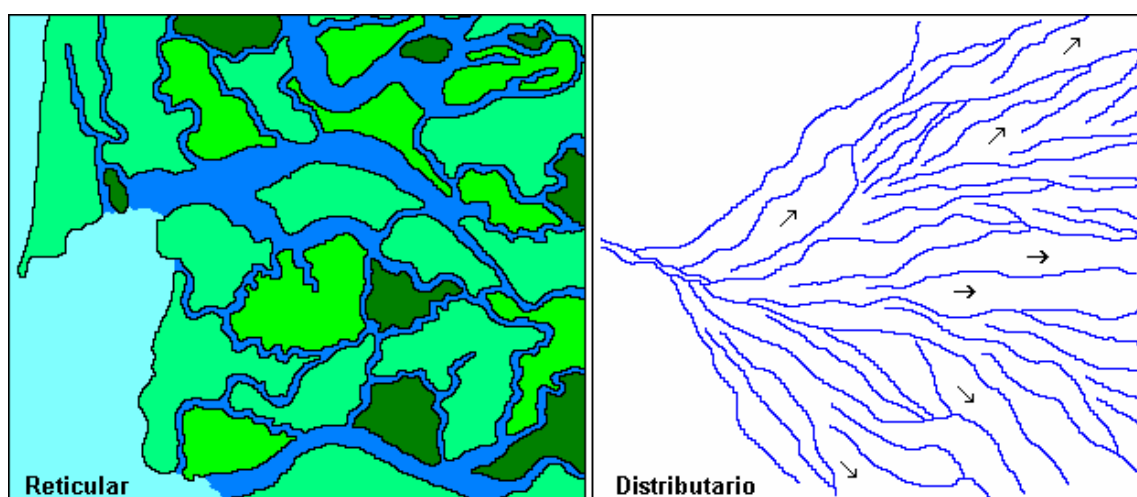


Figura 9. Patrones de drenaje deposicionales

2.6.3 Patrones de drenaje especiales. Son aquellos que, por sus características tan particulares, no se pueden incluir en los otros grupos. Entre estos se tienen: el multibasinal y el artificial.

2.6.3.1 Multibasinal. Es un patrón en el cual abundan los sumideros, que pueden presentar agua o estar secos. Dependiendo del tipo de material sobre el cual se desarrolla este patrón de drenaje, se pueden presentar dos clases: el multibasinal no integrado y el multibasinal integrado. Figura 10.

El multibasinal no integrado se desarrolla en zonas con rocas solubles, los sumideros se presentan aislados y desconectados entre sí, debido a que el drenaje de esta zona se realiza en forma subterránea; en este caso, los sumideros son los colectores del agua que cae en la superficie, los cuales la recogen y conducen hacia el interior de la formación rocosa, la cual se va disolviendo y formando cavernas y cauces subterráneos que movilizan los excesos de agua. Este patrón se da principalmente en calizas, yeso, sal gema; pero, además, puede desarrollarse en materiales insolubles porosos, en los que se presenta el fenómeno de sofusión que produce, en estos materiales, el mismo efecto mencionado para los materiales solubles.

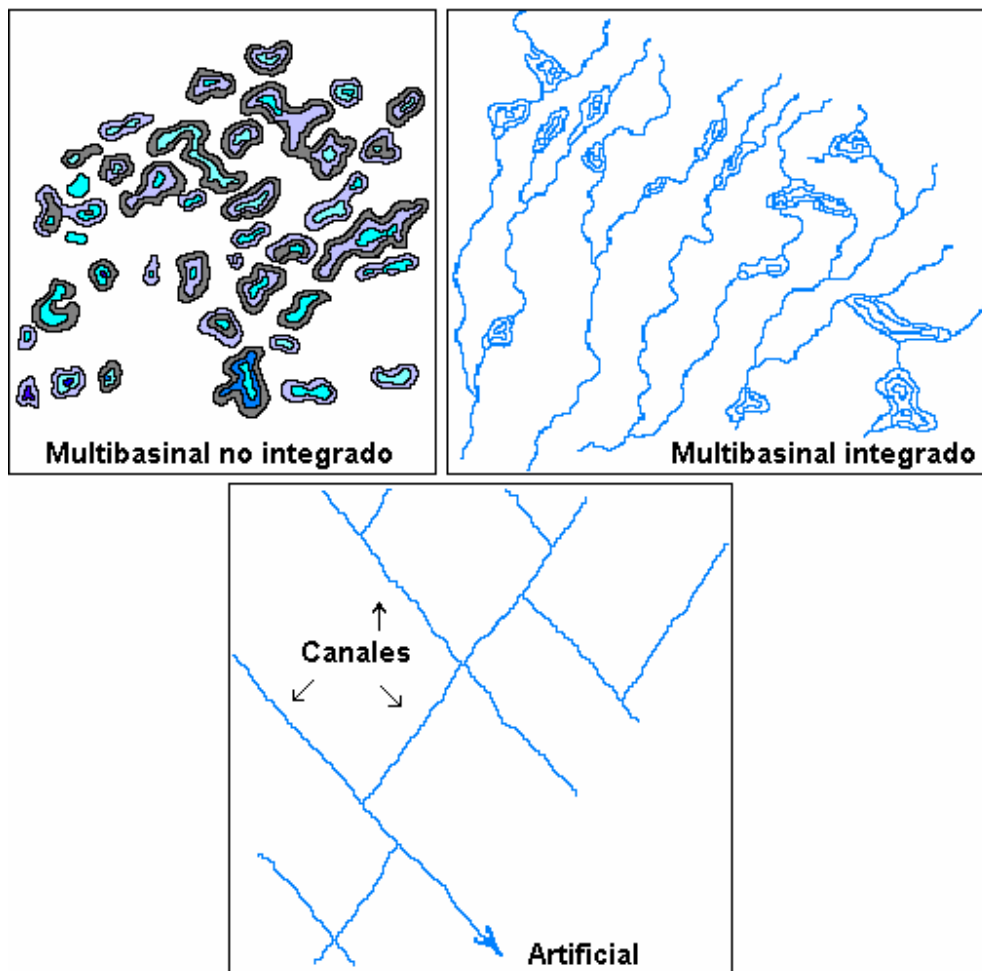


Figura 10. Patrones de drenaje especiales

El multibasinal integrado se desarrolla en zonas que estuvieron sometidas a procesos glaciares, en las cuales quedan gran cantidad de cuerpos de agua como lagos y lagunas, que dan una apariencia similar a la producida en el caso anterior; la diferencia de este con aquel, es que, en estas zonas glaciares los cuerpos de agua están conectados entre sí por medio de pequeños arroyos, lo cual hace que este patrón sea integrado y superficial, a diferencia del otro que no lo es.

2.6.3.2 Artificial. Cobija todas las obras que realiza el hombre para evacuar los excesos de agua de zonas mal drenadas. No se debe confundir con las acequias de riego en zonas áridas o semiáridas. Figura 10.

2.6.4 Patrones de corrientes individuales. Teniendo en cuenta que de la dinámica de las corrientes individuales se derivan algunos fenómenos geomorfológicos importantes, en las corrientes de agua principales es necesario hacer un análisis para tratar de determinar aquellos procesos y sus efectos en la zona estudiada. De acuerdo con la forma de su alineamiento en planta, los cauces naturales pueden clasificarse en: rectos, meándricos y cauces trenzados.

2.6.4.1 Cauces rectos. Son tramos del cauce que discurren en línea casi recta y que pueden estar asociados con problemas de fallas que lo están controlando. Este tipo de canales no son frecuentes en la naturaleza. También se presenta este tipo de cauces en ríos canalizados y, en este caso, no hay relación entre el cauce y algún fenómeno geológico. Figura 11.

2.6.4.2 Cauces meándricos. Este tipo de cauces es indicativo, según Strahler (1979), de ríos que están en su etapa de madurez, caracterizados por poseer valles amplios y planos, en los cuales el cauce se desplaza formando lazos u ondulaciones más o menos regulares, que aumentan grandemente su longitud, con respecto a la longitud que presenta el valle. Según Linsley, R., et al (1977), la longitud media de los canales con meandros, parece ser, aproximadamente, igual a 1,5 veces la longitud del valle, esta medida recibe el nombre de sinuosidad del canal; la longitud

de onda de los meandros varía entre 7 y 11 veces el ancho del cauce, y el radio de curvatura de los mismos varía generalmente entre dos y tres veces el ancho del canal; la amplitud de las curvas, o el ancho del cinturón de meandros, varía considerablemente, y parece que está controlada, principalmente, por el material de las bancas del río, generalmente varía entre 10 y 20 veces el ancho del cauce. En las llanuras de estos ríos se presenta una situación intermedia entre los procesos de erosión lateral en las partes externas de las curvas de los meandros (lado cóncavo), y sedimentación en sus partes internas (lado convexo), en las cuales se forman los complejos de orillares. Los meandros se pueden explicar como una forma de disipar energía. Figura 11.

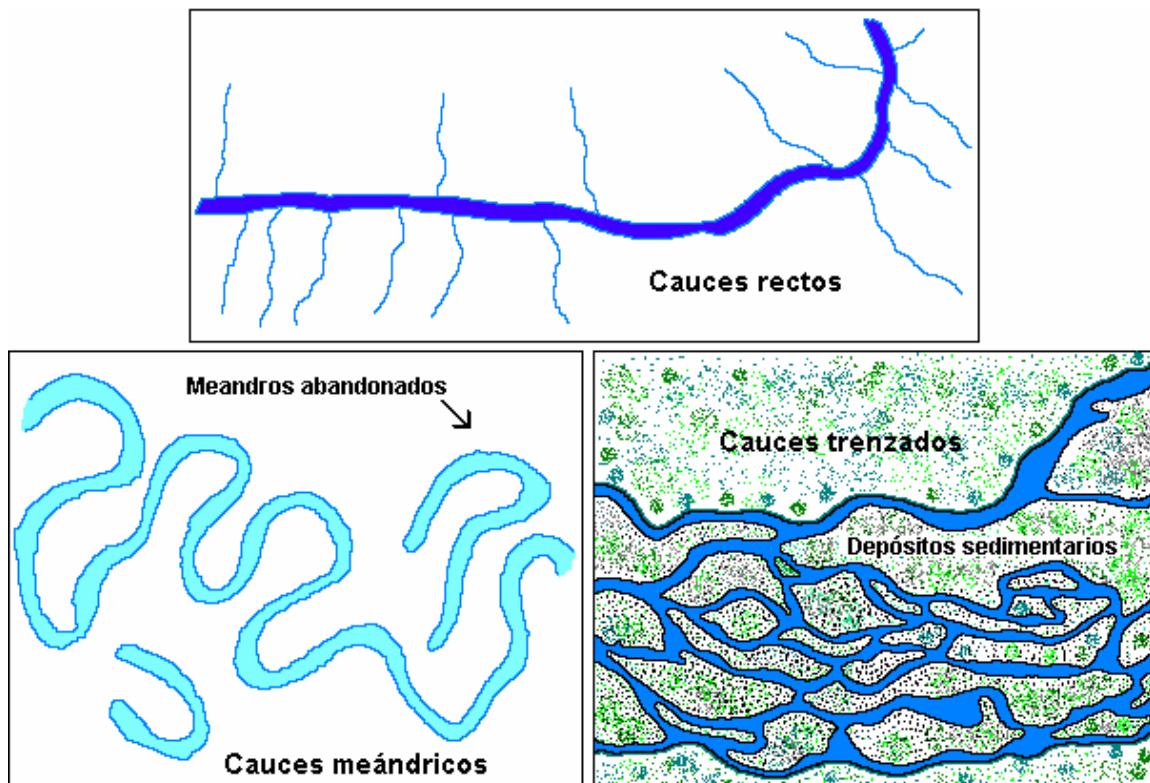


Figura 11. Patrones de drenaje individuales

2.6.4.3 Cauces trenzados. Los cauces trenzados, llamados también por Strahler (1979) anastomosados o anastomóticos, evidencian un aporte de sedimentos a las corrientes, mayor del que ellas pueden transportar; por esto se observa que los

depósitos de material dentro del cauce del río son bastante considerables, obligando a las corrientes a dividirse en una serie de canales interconectados (brazos), y separados por islas, con lo cual van adquiriendo una apariencia de trenza. Los canales trenzados tienden a ser muy anchos y relativamente poco profundos, con materiales gruesos en el fondo y bien gradado. Los canales trenzados se encuentran generalmente en sitios donde las bancas son fácilmente erosionables (materiales arenosos con poco recubrimiento vegetal). La pendiente de estos canales es mayor que la de los tramos adyacentes del río que no son trenzados. De esta manera, el cauce trenzado es una forma de disipar energía cuando la pendiente del río se hace más fuerte, evitando así aumentos en la velocidad del flujo, que podrían producir erosión. Figura 11.

2.7 CLASIFICACIÓN DE LOS CURSOS DE AGUA

Teniendo en cuenta la constancia de la esorrentía, los cursos de agua se pueden clasificar en:

- Perennes.
 - Corrientes con agua todo el tiempo.
 - El nivel de agua subterránea mantiene una alimentación continua y no desciende nunca debajo del lecho del río.

- Intermitentes.
 - Corrientes que escurren en estaciones de lluvia y se secan durante el verano.
 - El nivel de agua subterránea se conserva por encima del nivel del lecho del río sólo en la estación lluviosa. En verano el escurrimiento

cesa, u ocurre solamente durante o inmediatamente después de las lluvias.

- Efímeros.
 - Existen apenas durante o inmediatamente después de los períodos de precipitación, y sólo transportan escurrimiento superficial.
 - El nivel de agua subterránea se encuentra siempre debajo del nivel inferior del lecho de la corriente; no hay, por lo tanto, posibilidad de escurrimiento subterráneo.

Los cursos de agua, permanentes o eventuales, son complejos ecosistemas que incluyen los cauces, las planicies y taludes aledaños al río, las plantas y animales, y la compleja red o sistemas de corrientes de agua superficial y subterránea en que se dividen y estratifican dichos cursos. Los cursos de agua, dentro de este contexto amplio, desempeñan una serie de funciones ecológicas tales como: modular el flujo de la corriente, almacenar agua, remover del agua materiales dañinos, y proporcionar un hábitat para plantas y animales terrestres y acuáticos. Los cursos de agua y sus zonas adyacentes tienen características de suelo y vegetación muy diferentes de las zonas altas circundantes. Sostienen niveles más altos de diversidades y densidades de especies, y tasas de productividad biológica, que la mayoría de otros elementos del paisaje. Inclusive, los cauces que se consideran casi siempre secos, en zonas semiáridas, proveen ecosistemas especiales únicos.

Los cursos de agua normalmente funcionan dentro de rangos naturales de flujo, movimiento de sedimentos, temperatura y otras variables, en lo que es denominado un equilibrio dinámico. Cuando los cambios introducidos van más allá de rangos naturales, el equilibrio dinámico se puede perder, resultando, a menudo, en ajustes en el ecosistema que entran en conflicto con las ocupaciones urbanas. En algunas circunstancias, un nuevo equilibrio dinámico puede desarrollarse, pero los marcos

temporales en que estos suceden pueden ser largos, y los cambios e inversiones necesarias para lograr este nuevo balance, ser significativos.

Las actividades humanas contribuyen a los cambios en el equilibrio dinámico de los cursos de agua. Estas actividades se centran en manipular los cursos de agua para una amplia variedad de propósitos, incluyendo el abastecimiento doméstico e industrial de agua, riego, transporte, hidroenergía, eliminación de desechos, minería, control de inundaciones, recreación, etc. Los aumentos en la población humana y el desarrollo comercial, industrial y residencial crean fuertes demandas sobre los cursos de agua.

Las alteraciones a la estructura y funciones de los cursos de agua, típicamente desencadenan una serie de eventos, los cuales se pueden sintetizar así: los cambios en el uso de la tierra o cursos de agua, generan cambios en la geomorfología e hidrología, los cuales producen cambios hidráulicos de la corriente, que a su vez generan cambios en funciones tales como hábitat, transporte y almacenamiento de sedimentos, los cuales producen cambios en la población, composición y distribución de la fauna y flora, eutroficación, y elevación en la napa de agua subsuperficial.

La recuperación de cursos de agua y de cuencas requiere de muchos pasos, esfuerzo que comienza con el reconocimiento de las alteraciones antrópicas o naturales, ocurridas separada o simultáneamente, y que dañan la estructura natural y funciones del ecosistema o que evitan su restitución a una condición sostenible. Requiere, además, de un entendimiento de la estructura, dinámica y funciones de los ecosistemas de cursos de agua, y los procesos físicos, químicos y biológicos que les dan forma. Paralelamente, la iniciación de un proceso de recuperación de cauces requiere disponer del conocimiento y entendimiento sobre los procesos sociales, legales, institucionales y políticos que permitieron inducir a la ocupación y alteración de los cursos de agua.

CAPÍTULO 3

INTERRELACIONES PRESENTES EN UNA CUENCA HIDROGRÁFICA

El mundo que habitamos es de acción y de interacción, de causa y efecto, de movimiento y de cambio, tanto en el tiempo como en el espacio, y el equipo de planificación de cuencas hidrográficas tiene que poner atención a la naturaleza y significado de estas interrelaciones. Así, por ejemplo, el número y tamaño de los árboles de un bosque podría ser importante para los propósitos de la planificación; pero, pueden ser igualmente importantes para esos mismos fines de planificación, el papel que representa ese bosque en el control de la erosión, en el abastecimiento de agua y alimentos, el valor de su riqueza genética, su etapa de sucesión, y su potencial en el ciclo de nutrientes.

La cuenca hidrográfica es una unidad espacial definida por un complejo sistema de interacciones físicas, bióticas, sociales y económicas. La interdependencia de los elementos que constituyen la cuenca es evidente en muchos casos.

Se sabe que a cada comunidad vegetal, bien definida, corresponde una comunidad animal; así, el conjunto de ambas constituye una comunidad biótica. Estas dos comunidades interactúan entre sí y con el medio circundante (componente abiótico), y establecen relaciones generadoras de ciclos de materia y de flujos de energía, en un área determinada, de tal manera, que conforman un ecosistema. Un ejemplo de cómo funciona un ecosistema se describe a continuación: la energía proveniente del sol, el aire, el dióxido de carbono (CO₂) del aire, el agua y los minerales del suelo, son utilizados selectivamente por las plantas (productores primarios), para producir el alimento y desarrollarse. Los animales herbívoros (consumidores primarios) se alimentan de plantas y sirven, a su vez, de alimento a otros animales carnívoros (consumidores secundarios). Al morir, las plantas y los animales se descomponen por acción de los microorganismos (bacterias y hongos), liberando, de esta forma, los

nutrientes que son retenidos por el suelo, y sus complejos orgánico-minerales, e incorporados nuevamente por las plantas. En cada una de estas actividades que desempeñan los seres vivos, se libera energía en diferentes formas. Por lo tanto, una consideración ambiental en la planificación, es identificar las estructuras de niveles tróficos, y las cadenas alimenticias y sus funciones en los ecosistemas de cuencas hidrográficas, de modo de poder predecir los resultados de la intervención del hombre, a través de los procesos de desarrollo, así como sugerir proyectos que puedan aprovechar estos procesos.

El examen de las interrelaciones entre la población, los asentamientos humanos, el medio ambiente y el desarrollo, requieren de la consideración de un conjunto de variables y criterios que conforman los siguientes sistemas (IDEAM, 1998):

- El sistema sociocultural, que incluye la población y su organización como sociedad en términos políticos y culturales.
- El sistema natural, que se refiere a las condiciones ecosistémicas, características del territorio y de los recursos naturales.
- El sistema construido, que incluye la transformación y apropiación del espacio físico, que se materializa en una infraestructura física y tecnológica realizada por el hombre.

Estos sistemas mantienen una relación de interdependencia entre sí. Esta relación se expresa, por una parte, en el modo como la población humana se organiza en el espacio, con las consecuencias potenciales de la dinámica sobre el medio y, por otra parte, en la manera como la naturaleza y sus procesos inciden en la dinámica poblacional, y condicionan el patrón de asentamiento, y las formas de apropiación del espacio.

Cuando se habla de población, se debe entender un conjunto de aspectos demográficos, dentro de los cuales se incluyen la cantidad de individuos, la tasa de crecimiento, la estructura, la distribución espacial, los componentes de la dinámica demográfica (fecundidad, mortalidad, migración), la densidad (número de personas por kilómetro cuadrado), la población en riesgo o afectada por fenómenos naturales, etc., en virtud de que cada uno de estos aspectos tiene vínculos específicos con el medio ambiente.

En cuanto a la infraestructura física, se pueden distinguir algunos aspectos dentro de los cuales se generan importantes interrelaciones entre la población y el medio ambiente. Entre estos aspectos se tienen: las coberturas de los servicios de acueducto, alcantarillado, energía, condiciones de potabilidad del agua, recolección de aguas residuales o sistemas de saneamiento, recolección y disposición de basuras, el transporte de personas, usos del suelo, etc.

Tanto la demanda de servicios básicos como las características de estos, se relacionan directamente con el tamaño y la distribución de los asentamientos humanos, y tienen estrecha relación con los patrones de consumo y de producción de la sociedad en general.

3.1 RELACIÓN AGUA – SUELO - PLANTA

El proceso evolutivo de los recursos naturales, y de adaptación de las especies, se traduce en un estado de equilibrio natural, en el que se establecen las relaciones de dependencia. Esta interdependencia se hace más evidente en el sistema agua - suelo - vegetación.

Respecto a los procesos hidrológicos, estos son extremadamente complejos, y pueden ser que nunca sean completamente comprendidos. Sin embargo, en la ausencia de un perfecto conocimiento, ellos pueden ser representados, de manera

simplificada, por medio del concepto de sistema; siendo este un conjunto de partes conectadas que forman un todo.

Es así, como los factores que controlan el flujo hidrológico se pueden dividir en transitorios y permanentes.

Los factores transitorios son: la intercepción, la evaporación, la infiltración, el tipo de precipitación (intensidad, cantidad, duración), y la capacidad de almacenamiento del sustrato y del suelo.

Los factores permanentes son: características del cauce (sección, rugosidad, pendiente), red de drenajes (densidad, longitud) y características de la cuenca (tamaño, forma, pendiente, morfología y relieve).

Un factor intermedio, que también influye notoriamente en el flujo hidrológico, son los usos del suelo, según el tipo de cultivo y las prácticas agrícolas que se apliquen, la vegetación arbórea y arbustiva, y las superficies impermeabilizadas.

En la formación de una cuenca hidrográfica, es el agua el elemento que ha determinado la existencia y características de los demás componentes. Como un agente formador del relieve, el agua determina tanto el aspecto de un lugar como las relaciones de evolución y adaptación del suelo, la vegetación, la fauna y, por ende, la potencialidad agropecuaria presentes en el sistema a través del tiempo.

En otra acepción, el agua es considerada como un recurso natural finito, cuyo uso afecta directa o indirectamente otros recursos naturales como: el suelo, la flora y la fauna. El agua es también usada para el desarrollo y la evolución de organismos vivos y de otros recursos naturales, y dichos usos deben ser considerados en el proceso de planificación.

Con relación a la productividad de los suelos, la materia orgánica aumenta la fertilidad al regular sus propiedades físicas, químicas y biológicas. Respecto a las propiedades físicas, mejora la estructura del suelo, favoreciendo la formación de agregados individuales e incrementando la capacidad de retención de agua. La materia orgánica tiene un efecto muy importante sobre las propiedades químicas del suelo, al suministrarle elementos nutritivos por la mineralización; además, ayuda a la estabilización de la acidez, por su poder amortiguador. Sobre las propiedades biológicas, la materia orgánica tiene algunos efectos tales como: estabilizar la actividad de la flora y la fauna, y proporcionar energía y nutrientes a todos los organismos del suelo. Por otra parte, la materia orgánica hace que el suelo sea menos susceptible a la erosión, por la mayor agregación, y la acción protectora de los residuos vegetales.

Los suelos tropicales van de la mano con el clima que los moldea y altera, con la vegetación que los protege, y con los seres vivos, en general, que reciclan o, simplemente, retienen nutrientes. Los suelos tropicales de Colombia deben considerarse como un elemento soporte, en mayor o menor grado, del sistema natural, y no como un cuerpo inerte y aislado.

Respecto a la vegetación, la deforestación en el área receptora, con relación al agua, facilita la acción impermeabilizante de las gotas de lluvia y de la esorrentía, y el mayor escurrimiento superficial; reduce el tiempo de concentración y aumenta el caudal máximo de crecida, aumentando el riesgo de inundaciones; reduce la infiltración y, por lo tanto, la capacidad reguladora del escurrimiento freático e hipodérmico que alimentan los manantiales y los cursos de agua, provocando estiajes más acentuados; aumenta las pérdidas de agua por evaporación; disminuye el aporte de agua por el fenómeno de intercepción; y se afecta la calidad del agua para consumo humano.

En lo que respecta a los suelos, la deforestación disminuye la intercepción de las gotas de lluvia y su amortiguación en el choque con el suelo; modifica y desmejora la

estructura del suelo; favorece la acción erosiva de la escorrentía; y contribuye al incremento del transporte de sólidos, y al comportamiento torrencial de las cuencas de montaña, ocasionando la destrucción de las obras de infraestructura, y poniendo en peligro los asentamientos humanos.

La acción de la deforestación sobre la fauna trae como consecuencia: la destrucción del hábitat de muchas especies animales, especialmente la avifauna; la alteración de las cadenas tróficas, migración de especies animales; el decaimiento y desaparición de especies animales, tanto a nivel macro como micro; la proliferación de especies animales indeseables; y el desecamiento de pantanos y lagos, que conlleva a la afectación del hábitat de especies animales.

En síntesis, la cubierta vegetal tiene dos funciones importantes en relación con el agua y con el suelo: primero, protege el suelo del impacto y escurrimiento erosivo de las aguas; y segundo, incrementa la capacidad de infiltración, retención y almacenamiento de agua en el suelo.

En el caso de presentarse una lluvia, la acción benéfica de la cubierta vegetal consiste en:

- Intercepción de la precipitación. El follaje intercepta cierto porcentaje de las gotas de lluvia (precipitación negativa), e impide la pérdida de agua por evaporación proveniente de la superficie del suelo, y crea un microclima forestal.
- Almacenamiento de detención en el follaje. Parte del volumen de agua interceptada se evapora, y el resto desciende en forma retardada a la superficie.

- Caída del agua al suelo por goteo o resbalamiento. Los tallos, bejucos y raíces columnares, conducen, por resbalamiento, el agua del dosel hasta el suelo en forma lenta y segura.
- Almacenamiento de detención en la hojarasca. La cobertura muerta neutraliza la energía liberada en el impacto de las gotas de lluvia; además, provee una capa esponjosa que mantiene el agua en almacenamiento temporal, posibilitando la infiltración, y reduciendo el escurrimiento superficial y la evaporación.
- Almacenamiento de retención en el suelo, escurrimiento y recarga de las aguas freáticas. La cobertura muerta aumenta la capacidad de almacenamiento de retención, debido a las características del coloide orgánico que produce.
- Escurrimiento superficial. Si se presenta escurrimiento superficial, este será muy sinuoso y muy lento, por efecto de los obstáculos que interpone la cobertura. Además, es sometido a un proceso de tamizado que le impide llevar material de arrastre.
- Aislante térmico. La cobertura muerta hace de aislante térmico, impidiendo el desecamiento del suelo.
- Infiltración al suelo y percolación en el subsuelo. La cobertura muerta forma una capa superficial (humus), que favorece la infiltración; propicia la actividad de los insectos y la microfauna que construyen cavidades, las cuales permiten una mayor infiltración y percolación; y es la fuente de la materia orgánica del suelo, que permite constituir agregados estructurales muy estables y resistentes a la erosión pluvial, que aumentan la porosidad del suelo, facilitando, igualmente, la infiltración y la percolación. La fracción de agua que

se infiltra puede seguir tres rutas bien definidas: una parte es absorbida por las raíces de las plantas, y llegar a formar parte del tejido vegetal, o es liberada a través del proceso de transpiración hacia la atmósfera. Otra cantidad puede desplazarse paralelamente a la superficie, a través de la zona no saturada del terreno, como flujo subsuperficial, hasta llegar a aflorar en los nacimientos o manantiales; y el resto puede continuar infiltrándose hasta la zona saturada, donde recargará el almacenamiento de las aguas subterráneas; de esta última, una parte alimentará el caudal de los cursos de agua, como caudal base.

Por el contrario, el efecto de la lluvia en el suelo descubierto de vegetación origina básicamente dos acciones:

- Remoción de las partículas del suelo, por acción del impacto de las gotas de lluvia.
- Transporte y sedimentación de dichas partículas.

Así mismo, el tipo de suelo y la cantidad de agua existentes en una cuenca, influyen en el tipo y la cantidad de vegetación que puede crecer en el sitio. En este sentido, las relaciones entre los factores del medio ambiente, como clima, suelo, vegetación y fauna, determinan las posibilidades de desarrollo que tiene un área frente a las necesidades humanas.

Frente a las anteriores relaciones, es necesario tener en cuenta que cada predio es parte de una cuenca hidrográfica. Esto significa que cada agricultor puede ser afectado por cambios originados en sectores altos de la cuenca y, a su vez, las actividades de cada agricultor pueden afectar a las personas que viven aguas abajo.

La anterior situación nos obliga a tener en cuenta que la propiedad o dominio de un recurso natural permite la obtención de aprovechamientos individuales legítimos, siempre que se tenga en cuenta su uso adecuado para no provocar efectos negativos en terceras personas, perjudicando el bien común de la sociedad. Por esto es que el manejo de cuencas busca compatibilizar el interés individual y colectivo, minimizando los conflictos.

3.2 INTERRELACIONES ENTRE INFRAESTRUCTURA FÍSICA-POBLACIÓN-MEDIO AMBIENTE

Las interrelaciones en una cuenca hidrográfica también se ponen en evidencia, cuando se construyen obras de infraestructura física, como por ejemplo, cuando se construye una represa para fines múltiples. En este caso, los impactos ambientales y económicos se pueden analizar de la siguiente manera:

- Los habitantes del área donde se establece la represa son desplazados a tierras aguas arriba, o a la planicie de inundación, aguas abajo.
- La migración aumenta la presión de la población en zonas marginales y de altas pendientes, incrementando la erosión del suelo.
- Las actividades en las zonas altas (labores agrícolas, forestales, construcción de caminos y de asentamientos), causan erosión en el suelo y contaminación de las aguas, por sedimentos y productos químicos.
- El sedimento producido por la erosión del suelo es depositado en el embalse. La sedimentación en el embalse reduce su capacidad de almacenamiento de agua y la cantidad de nutrientes llevados por el río; la disminución de nutrientes puede reducir más tarde la producción primaria en los ecosistemas

de ríos y estuarios, causando, consecuentemente, una reducción en la producción de peces y en la producción pesquera.

- La sedimentación en el embalse tiene efectos positivos y negativos, aguas abajo. Al reducirse los sedimentos aguas abajo de la presa, se tiene como resultado un costo menor en los trabajos de dragado. Sin embargo, la reducción de la carga de sedimentos de un río puede incrementar la fuerza erosiva del río, aumentando el potencial de erosión y la pérdida de infraestructura.
- La turbidez de las aguas afecta la pesca y la recreación.
- El ingreso excesivo de nutrientes al embalse causa problemas de eutroficación.
- La expansión de la agricultura bajo riego, provoca que se deposite sedimento en los canales, siendo necesaria su limpieza periódica.
- Si se da una irrigación inadecuada, puede suceder que se produzca salinización de los suelos.
- El flujo de retorno del riego puede acarrear sustancias tóxicas y sales, las cuales afectan la pesca y otros usos del agua.
- La ocurrencia de tormentas severas o períodos prolongados de lluvias, pueden obligar a producir grandes alivios de agua, y ocasionar daños en la planicie de inundación.

3.3 CICLOS FUNDAMENTALES PARA LA VIDA

Las esferas que conforman el ambiente global están constituidas por diferentes elementos químicos, indispensables para la vida, y el funcionamiento de los ecosistemas existentes en la Tierra. La atmósfera es fundamentalmente nitrógeno y oxígeno; la litosfera es silicio, oxígeno, carbono, aluminio, hierro y nitrógeno. Existen otros elementos que no están presentes en grandes cantidades en las diferentes esferas, pero, que son fundamentales para el sostenimiento de la vida, entre ellos: el fósforo, el azufre y el potasio.

Estos elementos se intercambian continuamente entre las esferas donde están depositados en diversos estados (sólido, líquido o gaseoso) y compuestos. Este proceso de intercambio se denomina ciclos biogeoquímicos o ciclos de gases y nutrientes.

3.3.1 El ciclo del oxígeno. El oxígeno es un elemento esencial para el desarrollo de los seres vivos, y para el funcionamiento del sistema global en general. Este elemento constituye el 20% de la atmósfera; en la biosfera se encuentra en la materia orgánica; en la hidrosfera es componente del agua, y se presenta también como oxígeno disuelto; en la litosfera forma parte de la materia orgánica del suelo; en la antroposfera está almacenado en diferentes elementos resultantes de la actividad humana, como los procesos industriales, entre otros.

Durante la fotosíntesis las plantas toman el dióxido de carbono (CO_2), y en la incorporación del carbón a los tejidos se libera el oxígeno a la atmósfera.

3.3.2 El ciclo del carbono. El carbono compone aproximadamente el 50% de los tejidos de los organismos vivos y, en forma de dióxido de carbono (CO_2), se constituye en elemento esencial para el crecimiento de las plantas. El carbono también, en forma de dióxido de carbono, juega un papel importante en la regulación del clima del planeta. Este elemento se encuentra depositado en todas las esferas

del sistema global en diferentes formas: en la atmósfera, como dióxido de carbono, metano y otros componentes; en la hidrosfera, en forma de dióxido de carbono disuelto en el agua; en la litosfera, en las rocas y en depósitos de carbón, petróleo y gas; en la biosfera, en los carbohidratos; y en la antroposfera, en los objetos creados por la sociedad.

Los mayores flujos de intercambio naturales de carbono tienen lugar entre la atmósfera y la biota terrestre (biota: palabra de origen griego que significa naturaleza o condición de la vida; conjunto de seres vivos integrado por las plantas y los animales), y entre la atmósfera y las aguas superficiales de los océanos.

Durante la historia del planeta, el ciclo del carbono ha presentado cambios en la dinámica de alguna de sus fases. En la atmósfera primitiva, el CO₂ tenía una concentración mayor. La aparición de la vegetación y la captura de CO₂ asociada a esta, depositó grandes cantidades de carbono en la biosfera. Actualmente, los procesos en la antroposfera están acelerando el paso del carbono desde algunas esferas, litosfera y biosfera principalmente, a la atmósfera, donde llega en forma de CO₂. De esta manera se está aumentando la concentración de CO₂ en la atmósfera, lo que conllevará a una readaptación del sistema global a nuevas condiciones.

La concentración ambiental de CO₂ ejerce una cierta acción sobre la temperatura media de la atmósfera, por absorción de determinadas radiaciones solares (infrarrojas), siendo el principal acelerante del calentamiento global de la atmósfera, conocido como “efecto invernadero”.

3.3.3 El ciclo del nitrógeno. El nitrógeno es un elemento importante que actúa como nutriente en diferentes procesos que se desarrollan en la biosfera. Este elemento forma parte de los aminoácidos que constituyen las proteínas y el ácido desoxirribonucleico (DNA), esenciales moléculas de la vida.

El nitrógeno es abundante en la atmósfera, en comparación con el existente en otras esferas. En esta, se presenta en estado gaseoso en forma de compuesto diatómico,

constituyendo el 79% del aire. En estado gaseoso, el nitrógeno no puede ser utilizado por las plantas y los animales, es necesario que se forme inicialmente el compuesto amoníaco (NH_3) que, después de reaccionar con el agua, conforma el nitrito (NO_2) y el nitrato (NO_3). Este último, al ser utilizado por las plantas, incorpora el nitrógeno a las cadenas alimenticias. El proceso de conversión del nitrógeno atmosférico en compuestos nitrosos, disponibles para las plantas en el suelo, se conoce como fijación de nitrógeno, y en él juega un papel importante la bacteria *Azobacter*.

Los animales incorporan el nitrógeno al consumir las plantas. Al morir los animales y las plantas, las bacterias y hongos descomponen los restos. En este proceso, estos organismos utilizan el nitrógeno como alimento y producen como residuos N_2 y óxido nitroso (N_2O), gases que retornan a la atmósfera.

En los últimos dos siglos, los procesos que se desarrollan en la antroposfera agregaron un componente más al ciclo del nitrógeno. La combustión artificial propicia el paso del nitrógeno desde la biosfera y la litosfera a la atmósfera, en forma de N_2O . De la misma manera, la descomposición de los fertilizantes compuestos de nitrógeno, libera N_2O a la atmósfera.

El N_2O es un gas de efecto invernadero y su incremento en la atmósfera, a través de estos nuevos procesos, está causando cambios en el sistema global. Igualmente, este gas tiene efectos nocivos para la salud humana, ya que puede ocasionar problemas relacionados con el sistema respiratorio, dependiendo de las concentraciones presentes.

3.3.4 El ciclo del fósforo. El fósforo es un constituyente esencial del protoplasma, de los nucleótidos, de los ácidos nucleicos y, por ende, de los seres vivos. Este elemento se encuentra en los tejidos y huesos de los organismos (biosfera) como fosfatos (PO_4) y en la corteza terrestre (litosfera).

A diferencia del oxígeno, del carbono, del nitrógeno y del azufre, el fósforo no se encuentra en forma gaseosa. Por ello, el fósforo no está disponible en la atmósfera, sino que existe en pequeñas cantidades en la corteza terrestre.

El mayor reservorio de fósforo son las rocas contenedoras de fosfatos. Dichos depósitos se han ido erosionando gradualmente por la lluvia, liberando de esta forma los fosfatos para que sean consumidos por las plantas. Una vez en las plantas, el fósforo pasa a los animales cuando estos las ingieren como alimento. El retorno parcial a la litosfera, particularmente al suelo, se hace gracias a actividades como la pesca, y a las aves marinas que se alimentan de peces, y depositan sus excrementos en las áreas continentales.

Una buena parte del fósforo es arrastrado desde la parte continental por los ríos hacia el mar, donde se deposita en los sedimentos del fondo del océano. El levantamiento geológico de los depósitos minerales marinos, como rocas fosfóricas, lleva este fósforo nuevamente a tierras emergidas, en un proceso de millones de años.

La actividad humana, particularmente la agricultura, está introduciendo, en la actualidad, una variable más en el ciclo del fósforo. Para efectos de mejorar la producción agrícola se está adicionando fósforo al suelo. Este es arrastrado a los ríos, por donde es transportado a los lagos o al océano. De esta manera se está acelerando el paso del fósforo del continente al mar.

3.3.5 El ciclo del azufre. El azufre es un elemento importante en el sistema global. En primer lugar, es componente de proteínas y algunas vitaminas necesarias para el desarrollo de la vida; en segundo lugar, participa en la formación de fenómenos del sistema, como la nubosidad y la lluvia; y finalmente, puede ser un regulador del clima del planeta.

El azufre se encuentra en las diferentes esferas en forma de compuestos. En la atmósfera se presenta en forma de sulfuros gaseosos, como: los dimetilsulfidos (DMS), el carbonil sulfido, el dióxido de azufre (SO_2) y de aerosoles, como el sulfato (SO_4). En los sistemas acuáticos se encuentra como sulfato disuelto. En los sedimentos está en forma mineral, y como materia orgánica.

Los organismos descomponedores, con ayuda del oxígeno, convierten el azufre orgánico en sulfatos; en esta forma las plantas lo toman a través de la raíz, y acumulan una parte en las hojas. El azufre que existe en los suelos proviene inicialmente de la descomposición de la roca madre, y luego de la descomposición de la materia orgánica vegetal.

El DMS es producido por algas en las aguas superficiales del océano, de donde pasa a la atmósfera. Una vez allí, el DMS es oxidado y se convierte en sulfato que, finalmente, conforma pequeñas partículas o aerosoles. Estos últimos actúan como núcleos de condensación donde se forman las gotitas de agua que constituyen las nubes. De igual manera, las erupciones volcánicas introducen sulfatos en forma de aerosoles en la atmósfera.

El carbonil sulfido es producido en el océano debido a la disolución de compuestos del azufre, y escapa a la atmósfera. Este gas es inerte en la troposfera, pero en la estratosfera es oxidado y convertido en sulfato, formando aerosoles. Los aerosoles en la atmósfera actúan como una película que refleja la radiación solar. Un incremento de estos aerosoles en la atmósfera genera un enfriamiento. Por esta razón, el ciclo del azufre es importante en la regulación del clima mundial.

El incremento de los procesos en la antroposfera está perturbando el ciclo del azufre. El uso de los combustibles fósiles libera dióxido de azufre, con el que se puede incrementar la cantidad de aerosoles en la atmósfera. De otra parte, al actuar como núcleo de condensación y reaccionar con el agua, el dióxido de azufre aumenta la

acidez de la lluvia. Estas alteraciones en el ciclo del azufre están afectando todas las esferas del ambiente, produciendo cambios en el ambiente mundial.

El SO₃, formado a partir del SO₂, y el ácido sulfúrico, son contaminantes secundarios y dan lugar a los problemas de lluvia ácida y al smog (niebla espesa con humo). Los efectos que el SO₂ puede causar en la salud humana se centran, principalmente, en el sistema respiratorio, básicamente en la generación de infecciones respiratorias.

3.3.6 El ciclo del agua. El agua se encuentra en todas las esferas del sistema global, constituyéndose en el compuesto más abundante del sistema. El agua, y su intercambio entre las diferentes esferas, es necesaria para el funcionamiento de cada una de estas y del sistema global en general.

El ciclo hidrológico es el proceso continuo de la circulación del agua, en sus diversos estados, en la esfera terrestre. Sucede bajo la influencia de la radiación solar, de la acción de la gravedad, y la dinámica de la atmósfera, litosfera y biosfera. Las diferentes fases del ciclo son el marco de referencia para el estudio del estado y del comportamiento del agua.

El agua está en constante movimiento. Se evapora pasando de la hidrosfera a la atmósfera. En esta última se condensa, cae a la superficie de la tierra (continente u océano) en forma de lluvia, nieve, granizo, u otras formas de precipitación. Una vez en la superficie terrestre, el agua fluye en las corrientes superficiales, se infiltra en el suelo o percola a capas más profundas.

A través de la evaporación de las aguas superficiales o por la evapotranspiración de las plantas, las moléculas de agua regresan a la atmósfera para completar el ciclo.

El agua se evapora hacia la atmósfera, en grandes proporciones, desde el océano(86%); y, en menor proporción, desde el continente (14%); siendo el viento el agente transportador del vapor de agua, hasta distancias donde encuentra

condiciones propicias para la condensación, reiniciándose, de esta forma, un nuevo ciclo hidrológico.

En la biosfera, el agua compone, aproximadamente, el 95% de los vegetales y el 60% de los animales y de los seres humanos. Se estima que el volumen total de agua es de 1.386 millones de kilómetros cúbicos. De este volumen, la mayor parte está en grandes depósitos, como los océanos, que almacenan cerca del 97% del agua total del planeta. El 3% restante corresponde a ríos, lagos, acuíferos, hielo y nieve. De este 3%, el 75% se encuentra en capas de hielo y nieve, el 24% en acuíferos, y el 1% corresponde a aguas superficiales, disponible en lagos y ríos para el sostenimiento de la vida, y el desarrollo de los procesos de la antroposfera.

La dinámica de los procesos que se desarrollan en la antroposfera está produciendo cambios importantes en el ciclo hidrológico. Esta alteración, al igual que la de otros ciclos, repercute en otras esferas, y en factores del sistema global como el clima.

La concentración y crecimiento de la demanda de agua, en zonas donde la oferta es limitada; la deforestación, el aprovechamiento, y el uso indiscriminado y no planificado de los recursos naturales, alteran seriamente el ciclo hidrológico y los componentes del balance hídrico, y modifican la disponibilidad de agua, tanto en términos de cantidad como de calidad, situación esta que puede causar efectos catastróficos sobre las actividades humanas.

CAPÍTULO 4

LA ACCIÓN ANTRÓPICA Y LOS FENÓMENOS NATURALES EN LAS CUENCAS HIDROGRÁFICAS

Desde tiempo atrás se viene analizando las relaciones entre la población, el medio ambiente y el desarrollo, puesto que los problemas ambientales surgen de la interacción entre los procesos naturales y los procesos sociales, económicos y culturales.

En el ámbito mundial existe consenso en que, si bien algunos daños ecológicos se derivan de procesos de orden natural, el deterioro creciente de los ecosistemas responde, en gran parte, a repercusiones de las actividades humanas. El 28 de octubre de 1982, la Asamblea General de la Organización de Naciones Unidas, ONU, adoptó y proclamó la Carta Mundial de la Naturaleza. La inmensa mayoría de los países del mundo declaró que los procesos no debían ser perturbados, que el fondo de los genes de los seres vivos y su vitalidad no debían ponerse bajo amenaza, que la cantidad de poblaciones de todas las formas de vida debían conservarse en un nivel suficiente para su supervivencia. Estos y otros muchos problemas más, como la afectación de la capa de ozono y el peligro de perturbación del equilibrio ecológico, fueron temas tratados en la Cumbre de Río en 1992. Es decir que, prácticamente en un lapso de diez años, los problemas que se van generando y que afectan al medio ambiente son más graves, y por tanto más preocupantes para toda la humanidad.

No obstante, cada vez se hacen más difíciles, complejas y tensas las condiciones para el desarrollo entre la sociedad humana y la naturaleza, en general. Para muchos países y regiones del mundo, la prioridad se asigna al desarrollo industrial, urbanización, agricultura y transporte, pasando a un segundo plano los programas de protección de la naturaleza.

Está claramente establecido, por ejemplo, que las vertientes que conforman la región Andina colombiana, generadoras del recurso hídrico para fuentes energéticas, irrigación, consumo humano y desarrollo industrial, paulatinamente han venido siendo degradadas, de manera especial, por los siguientes factores:

- Factores físicos naturales, como: características litológicas inestables, topografía de fuertes pendientes, climas de lluvias intensas, o marcados períodos de sequía.
- Factores sociales y económicos, determinados, en parte, por el desarrollo desordenado de los asentamientos humanos, de la colonización, tipos de explotación y formas de tenencia de la tierra, uso actual de los suelos, expansión de áreas para el establecimiento de cultivos ilícitos, y fuerte presión demográfica.

Las cuencas hidrográficas son, por su naturaleza misma, unidades físicas complejas. El hecho de que sustenten asentamientos humanos y de que se vean sometidas a los efectos de la actividad antropogénica, complica aún más la situación y aumenta la dificultad de reducir la degradación ambiental. La actividad humana irrestricta puede acrecentar la vulnerabilidad de una cuenca hidrográfica a los desastres naturales, al tiempo que reduce su capacidad de recuperación. El grado de degradación dependerá del nivel social, de las actividades económicas y productivas prevalecientes, y de las condiciones ecológicas.

Ya que se ha mencionado el término “asentamientos humanos”, vale la pena hacer claridad sobre la connotación de este término, y para ello se retoma el concepto dado por HABITAT, (1994). Los asentamientos humanos “son la expresión física de las interacciones sociales, económicas y políticas de las personas que viven en comunidades, tanto si son urbanas como rurales; su desarrollo supone una transformación del entorno natural y su conversión en un entorno construido por el

hombre. Los elementos de origen humano, necesarios para satisfacer las necesidades humanas básicas, incluyen la vivienda y la infraestructura conexas, los lugares de trabajo, los servicios sociales y de recreo, y las instituciones para producirlos y administrarlos. La nueva concepción de los asentamientos no separa lo urbano de lo rural ni da trato independiente, se basa en una relación de apoyo mutuo e interrelación entre la ciudad y el campo, en especial, entre los centros urbanos pequeños e intermedios, y las zonas agrícolas que los rodean”.

Dentro de la nueva concepción de los asentamientos humanos, los problemas ambientales adquieren unas particularidades y especificidades en el territorio, las cuales se pueden analizar en dos direcciones: la primera, relacionada con la presión que ejercen los asentamientos sobre los recursos naturales, y su contribución al deterioro ambiental. La segunda, está asociada con la vulnerabilidad y el riesgo de los asentamientos por eventos naturales, tales como: inundaciones, deslizamientos, vendavales, sismos, y otros fenómenos naturales.

Por lo anterior, se puede decir que la cuenca hidrográfica puede sufrir alteraciones de su estado natural, que pueden ser originadas por la acción del hombre o, bien, debido a fenómenos naturales.

4.1 ALTERACIONES DE ORIGEN ANTRÓPICO

Las consideraciones para la conservación de los recursos naturales se basan en el hecho de que su uso causa un deterioro gradual de los mismos. El hecho de que muchos de estos recursos sean renovables, no quiere decir que sean también inagotables. Más aun, el exceso de uso y el abuso en la utilización de estos recursos, crean una necesidad para la explotación de áreas vírgenes, por encima de las necesidades del crecimiento económico. Los suelos, el agua y los bosques son claros ejemplos de esto, y, en un sentido muy real, estamos viviendo del capital y no del interés.

La conservación no significa, necesariamente, no usar los recursos, sino hacer un uso racional y sostenido de ellos, y esto es, también, una consideración a tener en cuenta en la planificación de cuencas hidrográficas, para asegurarse de que los recursos naturales sean sabiamente utilizados.

La preservación, tanto como la conservación, es también una de las consideraciones ambientales, y puede en sí, y por sí misma, constituir un uso. Evidentemente, el más alto retorno económico sostenido de muchas regiones ocurre, a menudo, debido a la preservación del estado natural de las mismas (parques naturales, reservas, pantanos, ciénagas). Como consecuencia, la planificación debe también considerar la preservación, como una alternativa viable para el desarrollo.

Las diversas actividades agrícolas, mineras o industriales, lo mismo que algunas obras de infraestructura física, provocan alteraciones en el sistema natural, y sobre el suelo, el agua y el aire, en particular. De estos efectos, uno de los más importantes es la reducción del área agrícola aprovechable, en términos de superficie y fertilidad.

Cuando se modifica la cubierta forestal protectora y se deja la tierra desprotegida frente a la acción de la lluvia, se produce la pérdida de suelo. Este proceso afecta directamente el predio donde se alteró la cubierta vegetal, e indirectamente a los sectores y predios ubicados en las áreas más bajas, donde el suelo removido se deposita en los cauces, y obstruye el escurrimiento de las aguas, provocando los desbordamientos y las inundaciones de tierras ribereñas.

Este proceso de destrucción de la cubierta vegetal, primero, y luego del suelo, provoca un proceso paulatino de deterioro y reducción de la productividad, que se denomina desertización. Por otra parte, los nutrientes que han sido arrastrados, junto con el suelo, producen una alteración en el funcionamiento de los lagos, lagunas o embalses, donde son depositados, dando origen a la eutroficación o desarrollo excesivo de poblaciones de plancton, las que impiden el aprovechamiento de esos cuerpos de agua, destruyendo, al mismo tiempo, el hábitat de muchas especies de

fauna. Este proceso de contaminación se monitorea muy poco en el ámbito mundial, y se podría decir que es nulo en Colombia. Dos de los indicadores básicos de la eutroficación son los contenidos de clorofila y fósforo total.

Todos estos aspectos, junto a muchos otros, se traducen en dificultades económicas que afectan a toda la comunidad presente en la cuenca. Una prueba palpable de este efecto, social y económico, la constituye los fenómenos de migración rural-urbana, y el aumento de población en condiciones de extrema pobreza, que se genera en torno a sectores afectados por el desequilibrio irreversible del sistema natural.

4.1.1 Uso agrícola. El uso más difundido y antiguo de las tierras es para desarrollar actividades agrícolas. El proceso productivo agrícola es una actividad extractiva de recursos naturales, que tiene como soporte un proceso biológico, caracterizado por un flujo continuo de energía y materia, que se transforma en productos biológicos para atender las necesidades alimenticias de los seres humanos y de los animales; y en materias primas para la industria. Durante el proceso productivo, intervienen factores biofísicos y antrópicos que regulan el desarrollo, y la obtención de productos. Las actividades antrópicas están dadas por elementos como: la adecuación del suelo y la utilización de insumos físicos, químicos y mecánicos, entre otros.

El componente biofísico básico, en el cual reposa el proceso, es la fotosíntesis, en la que parte de la energía solar es capturada y transformada por las plantas, que después se convierten en alimentos y materias primas; por su parte, en la ganadería se presenta una conversión de radiación solar en alimentos vegetales, y de estos en proteínas animales.

Los impactos ambientales de la actividad agrícola son múltiples y complejos. Dentro de ellos se destacan: la erosión, la compactación y la salinización de los suelos, y la contaminación de las aguas y suelos por el uso excesivo de agroquímicos. En los

países en desarrollo, gran parte de la agricultura se realiza a un nivel de subsistencia, con un riesgo grande de causar daños ambientales, debido a las altas tasas de erosión y sedimentación, asociadas con las prácticas de tala y quema, u otro tipo de sistema de manejo agrícola. La tecnología requerida para el control de la erosión y de la contaminación existe, en su mayor parte, pero en el caso de los pequeños agricultores, especialmente en los de subsistencia, no existen los recursos económicos necesarios que les permitan afrontar estos problemas.

En el recurso suelo, los métodos de labranza inadecuados, las prácticas de deforestación, el sobrepastoreo de ganado, y el establecimiento de cultivos en terrenos pendientes sin formar terrazas, o en suelos sin aptitud agrícola, generan erosión y pérdida de fertilidad. Por otro lado, la utilización mediana y excesiva de riego saliniza los suelos; el uso de maquinaria agrícola pesada, y la alta densidad de cabezas de ganado por hectárea, compactan el suelo; las labranzas en tierras marginales desertizan el suelo; y el uso excesivo de plaguicidas no biodegradables, la inadecuada disposición de envases y residuos, contaminan el suelo, ocasionando impactos ambientales a nivel del desarrollo de los organismos del suelo, responsables de procesos biológicos, que mantienen una oferta biogeoquímica en los suelos. De igual manera, también afectan a los suelos, en gran medida, las fumigaciones que realiza el gobierno colombiano para la erradicación de cultivos ilícitos.

Las causas principales de la degradación física de los suelos son los tipos, patrones de mecanización y labores culturales no adecuadas. Se manifiestan en la compactación de los primeros centímetros del suelo, conocida como capa de arado, la pérdida de la estructura, y el afloramiento de horizontes no aptos para usos agropecuarios.

En Colombia, todos los suelos dedicados a la agricultura intensiva en zona plana presentan degradación física, química y biológica. Las áreas más afectadas por compactación, contaminación por agroquímicos y salinización, son la altiplanicie

cundi-boyacense, la zona de Tocaima-Girardot, y las llanuras del Tolima (IDEAM, 1998).

Respecto al cultivo del café, la degradación de suelos en cafetales con sombra o tradicional es mínima, en comparación con los cafetales que requieren máxima exposición solar; la interrupción de la dinámica del ecosistema los han vuelto más dependientes del hombre, quien tiene que recurrir al uso de agrotóxicos y sobre costos en insumos, para mantener la productividad.

En la zona cafetera predomina como degradación física la erosión hídrica, especialmente en suelos sobre rocas metamórficas, con pendientes superiores al 75%, longitudes largas, con presencia de cascajo, incluso recubiertas con capas de diferentes espesores de cenizas que, aunque le imprimen estabilidad estructural, presentan movimientos en masa por discontinuidad litológica.

La acidificación y la toxicidad por el mal manejo de los fertilizantes y pesticidas, y la salinización, especialmente por diseño, operación y mantenimiento deficientes de los distritos de riego y drenaje, son otras de las causas de la degradación de los suelos.

En el recurso agua, el escurrimiento de plaguicidas, los sedimentos resultantes de la erosión, los vertimientos de excretas, la orina, las aguas de lavado y, en general, los escurrimientos de campos agrícolas, producen contaminación física, química y bacteriana de las aguas superficiales. De igual manera, la lixiviación de plaguicidas, los nitratos provenientes de fertilizantes inorgánicos y de las sales resultantes del agua de riego, generan contaminación de aguas subterráneas, especialmente si son suelos con textura arenosa.

En el recurso aire, las explotaciones ganaderas intensivas, especialmente las bovinas, emiten gases de efecto invernadero (metano), en el proceso digestivo de los animales, debido a la fermentación entérica (intestinal), y durante el manejo del estiércol; igual sucede con el proceso de cultivo de arroz, en el que también se

genera metano, cuando la cosecha se realiza bajo régimen de inundación, debido a la descomposición anaeróbica de la materia orgánica presente bajo el agua; con la práctica cultural de la quema de sabanas (en la Orinoquia), de pastizales mejorados (en la región Andina), y la quema en el campo, de residuos de trigo, maíz, caña de azúcar, arroz, algodón, sorgo y soya, se producen los gases de efecto invernadero, típicos de la combustión.

El uso de plaguicidas con bromuro de metilo disminuye el ozono estratosférico; y el uso de plaguicidas, rociados desde avionetas y con aspersores de superficie, contamina el aire que, en la mayoría de los casos, trasciende a ecosistemas lejanos.

El pastoreo ocasiona impactos adversos sobre las cuencas, constituyéndose en una fuente de contaminación cuando no se establecen prácticas apropiadas para el control de la erosión, y cuando los animales penetran sin control dentro de los cuerpos de agua.

El pastoreo de ganado afecta las características hidrológicas de la cuenca, tanto debido a la remoción de la cobertura vegetal como por la compactación, debido a las pisadas del ganado. Hay varios efectos negativos ocasionados por el uso de la cuenca para pastoreo (FAO, 1997), entre los cuales se tienen: 1) incremento del impacto de caída de las gotas de lluvia sobre el suelo; 2) disminución de la materia orgánica del suelo; 3) alteración de la estructura del suelo; 4) formación de costras impermeables en la superficie del suelo; 5) decrecimiento de las tasas de infiltración y, por ende, disminución de la recarga de los acuíferos subterráneos; 6) incremento de la escorrentía superficial, y aumento del potencial de arrastre; y 7) incremento de la producción de sedimentos.

Si bien la tendencia de los efectos indicados es la misma, la magnitud varía en función de factores como clima, tipo de pasto y de ganado, topografía, intensidad de pastoreo y prácticas de manejo (Blackburn et al., 1982, en FAO, 1997).

Para la fauna y la flora, el uso y el manejo de agroquímicos inorgánicos, la tala y la quema de bosques, y los métodos de labranza inadecuados, generan la disminución de microorganismos recicladores, pérdida de diversidad genética, desaparición de especies vulnerables, la ruptura de cadenas tróficas, y la destrucción del hábitat.

Como resultado de este uso del suelo, que presiona y afecta los recursos naturales, se disminuye la calidad de vida de la población ubicada en las áreas de influencia de las actividades agrícolas, que se manifiesta en riesgos por intoxicación, aparición de malformaciones congénitas, mutaciones; y disminución de ingresos económicos, por la pérdida de potencial productivo de los suelos.

Las mejores medidas de control para la tierra agrícola incluyen: prácticas y obras de conservación de suelos, restricciones al pastoreo, y manejo de desechos animales y agroquímicos. Las prácticas de control de la actividad agrícola son particularmente difíciles de aplicar, debido a su naturaleza dispersa, y por la falta de controles reguladores para fuentes contaminantes difusas o no puntuales.

En Colombia, los procesos sociales y económicos asociados con la violencia, la pobreza y las migraciones que han tenido lugar en buena parte de áreas rurales, en la última década, no propician una expansión de las áreas agrícolas a costa de los bosques naturales. Por el contrario, la crisis que ha afectado la agricultura, desde 1992, ha generado una sustitución de áreas de cultivos por pastos y rastrojos, en importantes zonas del país.

4.1.2 Actividad forestal. Los bosques cumplen funciones de gran importancia, estando, en primer lugar, la de ser hábitat natural de una gran variedad de especies animales y vegetales. Por otro lado, los bosques son reguladores de los flujos de masa y de energía más eficientes de todos los ecosistemas existentes, dado que mantienen el balance de energía, de tal manera, que han dado lugar a sistemas ecológicos equilibrados. Otras funciones, no menos importantes, que cumple el bosque, son: provee frutos que sirven como alimento para el ser humano, y para las

especies consumidoras asociadas; es fuente de combustible (leña y carbón vegetal) y madera para diferentes usos; produce materias primas para la farmacopea, resinas, gomas, fibras y otras bases industriales, domésticas y artesanales; protege los suelos contra la erosión, y la función insustituible de mantener las fuentes de agua. Recientemente, se ha resaltado la importancia de los bosques como bloqueadores del dióxido de carbono, a través del trabajo fotosintético. Igualmente, los bosques ayudan a preservar la diversidad biológica, puesto que mantienen los procesos ecológicos esenciales, y contribuyen al equilibrio de los procesos bioclimáticos.

Investigaciones han demostrado que la cobertura boscosa es la mejor protección contra la erosión y la contaminación. Los bosques poseen una alta capacidad de retención de agua por intercepción y retención superficial en la hojarasca que favorece la infiltración en el suelo, y la percolación en el subsuelo, que, en conjunto, hacen disminuir la escorrentía superficial, ayudando a mantener y mejorar los estándares de cantidad, calidad y flujo permanente de los sistemas hidrológicos; además, poseen funciones reguladoras, porque absorben, almacenan y descargan bióxido de carbono, oxígeno y minerales; absorben aerosoles y sonidos; absorben y transforman la energía solar.

El bosque absorbe del 60 al 90% de la radiación solar recibida. La cantidad de energía solar absorbida varía, dependiendo, esencialmente, de la densidad y del desarrollo foliar de la población. Para una población densa de coníferas o latifoliadas, cerca del 75 al 90% de la radiación solar puede ser absorbida; una población de densidad baja y de copas mal desarrolladas, absorbe, aproximadamente, el 60% (Reiesnyder, W. E. y Lull, H. W., 1995; en Lima, W., 1986).

La cantidad de nutrientes que entran a un ecosistema por las lluvias, presenta enorme variación local y temporal, dependiendo de la proximidad de las fuentes emisoras, y en relación a la época del año. Varios trabajos muestran, por ejemplo,

mayor concentración de nutrientes en las aguas de las primeras lluvias de la estación húmeda. La entrada anual de nutrientes en el ecosistema, por el agua de lluvia, presenta los siguientes rangos de valores, en Kg/Ha/año, obtenidos en diferentes localidades del mundo: nitrógeno, 0,3 a 60; fósforo, 0,1 a 24,8; potasio, 0,8 a 21,4; calcio, 0,9 a 28, magnesio, 0,2 a 6,7; sodio, 0,4 a 50 y sulfato, 5,1 a 49 (Lima, W., 1986). La importancia de este mecanismo de lixiviación de nutrientes por las lluvias puede ser visualizado, por ejemplo, por su participación relativa en la absorción media de nutrientes por los ecosistemas forestales.

Las actividades de aprovechamiento maderero de los bosques, en cambio, exponen el suelo a la erosión, ocasionando una pérdida de suelo y nutrientes, e incrementando la escorrentía y la contaminación de los cursos de agua. En la tabla 4, se muestran los efectos del corte del bosque sobre algunos parámetros de la calidad del agua, comparados con los obtenidos en una cuenca testigo, que permaneció con su cobertura forestal inalterada.

Tabla 4. Efectos del corte del bosque sobre algunos parámetros de la calidad del agua medidos un año después del corte. Fuente: Aubertin y Patric, 1974; en Lima, W., 1986

Parámetros	Cuenca cortada	Cuenca testigo
Sólidos totales disueltos (ppm)	10,7	11,6
Temperatura máxima del agua (°F)	60,1	58,1
Temperatura mínima del agua (°F)	52,2	52,2
Turbidez (FTU)*	16,7	6,3
Turbidez (FTU)**	2,0	2,0
PH	6,0	6,0

(*) Esgurrimiento directo.

(**) Esgurrimiento base.

FTU = Unidades formazina de turbidez.

Kochenderfer y Aubertin (1975), en Lima, W., 1986, realizaron un estudio en tres cuencas hidrográficas experimentales, con el fin de comparar el aporte de sedimentos a las corrientes, resultante de dos tipos de explotación forestal: explotación comercial, que se realizó sin ninguna prevención para proteger la calidad del agua; y explotación silvicultural, en la que se tomaron algunas medidas tendientes a proteger el recurso hídrico, tales como: cuidado de la localidad, construcción y mantenimiento de vías, establecimiento de cargadores y patios de carga, así como la no perturbación del suelo forestal, durante las operaciones. Los resultados medidos, y comparados a través de la turbidez del agua, y en comparación con una tercera cuenca que permaneció inalterada, como testigo, se pueden observar en la tabla 5.

La intensificación de los procesos en la antroposfera está provocando una reducción de la cobertura forestal, la cual está siendo ocupada para otros usos. La destrucción de la masa forestal en todo el planeta constituye, en la actualidad, una de las principales amenazas para el equilibrio del ecosistema terrestre, alterando el régimen de lluvias, facilitando el calentamiento de la superficie, y permitiendo el proceso de desertización, a causa de los efectos erosivos de la lluvia.

El problema alcanza grandes dimensiones en las regiones tropicales y subtropicales, ya que en estas regiones, en un área inferior al 10% del total de la superficie del planeta, se encuentra más del 50% de la biomasa y, en la actualidad, debido a las necesidades de una población en rápido crecimiento, los procesos de deforestación en estas regiones son más intensos.

El bosque mantiene una regulación constante de la composición de los gases de la atmósfera, entre ellos el ozono, el dióxido de carbono y el vapor de agua, los cuales, a su vez, son los reguladores de la temperatura del aire en la atmósfera terrestre, a fin de que sea apta para la vida humana. En este sentido, la destrucción del bosque puede tener efectos nocivos sobre el clima del planeta, pasando de un clima

húmedo, en el que la temperatura, el ciclo hidrológico y la composición del aire están regulados, a uno seco, en el que estos componentes estarán desequilibrados.

Tabla 5. Efectos del corte comercial y del corte silvicultural sobre la turbidez del agua. Fuente: Kochenderfer y Aubertin (1975), en Lima, W., 1986

Tratamiento	Turbidez (JTU)	
	Escurrimiento base	Escurrimiento directo
Corte comercial:		
Durante la explotación	490	56.000
Un año después del corte	38	5.000
Dos años después del corte	2	170
Corte silvicultural:		
Durante la explotación	6	90
Un año después del corte	5	35
Dos años después del corte	2	23
Testigo	2	25

JTU = Unidades Jackson de turbidez.

En el cambio de uso del suelo se puede presentar tanto captura como emisión de gases invernadero. Si ocurre sustitución de bosque por cultivos o tierras de pastoreo, se generan emisiones, cuando la biomasa que se extrae del bosque se quema o se deja descomponer en el sitio de extracción. Si lo que ocurre es el crecimiento del bosque en terrenos que estaban dedicados a cultivos o pastos, o si se realizan programas de reforestación, se presentará captura de dióxido de carbono.

La reducción de la cobertura vegetal en las zonas con un grado importante de pendiente, como en las cuencas localizadas en la zona Andina colombiana, origina la erosión hídrica y eólica, el empobrecimiento de los suelos por la desaparición de los nutrientes y de la microfauna, y lleva al incremento de sedimentos en las corrientes de agua, lo cual ocasiona un cambio en las características físicas del agua, y un deterioro de la calidad de la misma.

La tala de árboles disminuye la transpiración, reduciendo la demanda de agua en el suelo; disminuye la intercepción de la lluvia, incrementando la escorrentía superficial, alterando los caudales pico y la duración de las crecidas de diferentes frecuencias de ocurrencia; produce cambios en la evapotranspiración neta; y el flujo de base puede aumentar, dependiendo del nivel de humedad disponible en el suelo. En áreas húmedas, con lluvias frecuentes y de gran magnitud, la respuesta a la perturbación de las áreas forestales se manifiesta en un incremento de la frecuencia y magnitud de los caudales pico y del flujo base entre tormentas, como consecuencia de un humedecimiento y drenado más frecuentes del perfil del suelo (FAO,1997).

Las actividades de manejo forestal pueden ocasionar una acumulación de efectos en muchos parámetros de las corrientes de agua. Cuando se remueve totalmente la vegetación adyacente a pequeñas corrientes, la temperatura del agua aumenta; este incremento de la temperatura del agua de los tributarios, trae consigo, no sólo, un incremento de la temperatura en la corriente principal, sino que afecta el ecosistema acuático. Igualmente, los restos vegetales que son arrastrados a las corrientes de agua, al descomponerse, por la acción de microorganismos, produce una disminución del oxígeno disuelto en el agua. La cantidad de oxígeno requerida para la oxidación química y biológica de ese material se conoce como demanda bioquímica de oxígeno (DBO), parámetro que es ampliamente utilizado como un indicador del grado de deterioro de una corriente.

Las actividades forestales de aprovechamiento requieren de la construcción de carreteras, campamentos y otras instalaciones, que modifican la condición natural del terreno; estas actividades conllevan a un aumento en la escorrentía superficial y, como consecuencia, a un aumento en la producción de sedimentos.

La conversión de los bosques húmedos tropicales en áreas agrícolas y de pastos, constituye otro uso de las tierras que ocasiona un considerable incremento en la escorrentía anual. Sin embargo, en el caso de los suelos de la Amazonia, estos son de vocación eminentemente forestal, y el cambio de uso del suelo hacia actividades

agropecuarias no es rentable, en razón de que son suelos pobres en nutrientes, que sólo sirven para una o dos cosechas, y después no sirven para actividad económica alguna.

En los bosques nublados, o sea aquellos que se encuentran una gran parte del año por encima del nivel de condensación, la neblina constituye un componente importante del ciclo hidrológico. Por lo tanto, los bosques nublados de elevadas altitudes, como los Andes, constituyen importantes fuentes de abastecimiento del caudal base de las corrientes de agua, durante los períodos secos.

La gran riqueza en biodiversidad que posee Colombia se ve amenazada por la desaparición de los bosques. Más del 80% de las especies animales que el país posee se ubican en los bosques, muchas de ellas son endémicas, y con la pérdida de los ecosistemas boscosos desaparece parte importante de la fauna. Igualmente, la gran variedad de flora existente tiende a disminuir con la deforestación, en especial del bosque natural.

Las mejores medidas de control para el aprovechamiento forestal incluyen: el establecimiento de franjas amortiguadoras o franjas de protección, apropiados diseños y construcción de carreteras y caminos forestales, control de la erosión del suelo después de la extracción del recurso forestal, restricciones operacionales por temporadas, y el manejo de desechos forestales. La construcción de carreteras y caminos debe recibir una atención especial en las fases de planeamiento, construcción y monitoreo, porque, generalmente, en estas etapas se genera una cantidad desproporcionada de erosión.

4.1.3 Desarrollo urbano. La creciente demanda de suelo para el desarrollo de asentamientos humanos, ejerce una influencia grande sobre los parámetros del ciclo hidrológico.

El crecimiento demográfico, los movimientos migratorios y los requerimientos de desarrollo económico de las sociedades, presionan por un uso urbano cada vez más intenso de las tierras. En Colombia, el desarrollo social y económico se ha centrado, en su gran mayoría, sobre la región Andina, región que presenta características inestables, determinadas por la influencia de una estructura geológica y edafológica frágiles, aunada a la variabilidad y agresividad del clima propio del trópico. Sobre estas áreas inestables se ha hecho necesario implementar una amplia red de infraestructura, especialmente vial, la cual, en muchos casos, ha interrumpido el equilibrio natural, al realizar cortes de suelos, y de formaciones superficiales que cumplen funciones de drenajes hipodérmicos, concentrando las aguas de escorrentía y, en muchos casos, originando procesos de remoción en masa. Otro de los efectos ocasionados por los cortes de taludes, en la construcción de vías, es la interrupción o pérdida de las líneas de infiltración o circulación de aguas subsuperficiales, alterando la dinámica hídrica natural.

La región Andina colombiana concentra el mayor desarrollo industrial y urbano (se asienta el 80% de la población colombiana), que ha propiciado el crecimiento sectorial de la economía nacional. Por su manejo inadecuado, ha sido, igualmente, generadora de los mayores procesos de contaminación y de degradación de la oferta ambiental. La potencialidad de esta región obedece a su localización geográfica, a su clima, a la productividad de sus suelos, y a la abundancia relativa de sus recursos hídricos, características que han permitido la expansión y consolidación de la industria nacional. El desarrollo industrial y cafetero de esta región ha dinamizado allí los procesos de urbanización.

En las grandes ciudades colombianas, como: Bogotá, Cali, Medellín y Barranquilla, los problemas ambientales se centran, principalmente, en los niveles de contaminación del aire y del agua, por desechos industriales y comerciales, y por sistemas inadecuados para eliminar las aguas residuales, entre otros. Estos asentamientos son los que producen la mayor parte de los desechos procedentes de la producción y el consumo, y provocan la contaminación del aire, del suelo y del

agua, con graves efectos en la salud de la población. Esta situación se ha tornado más crítica, si se tiene en cuenta que el sistema colombiano de ciudades permite que la mayoría de la población migrante se dirija a ellas en busca de nuevas oportunidades de trabajo, mejores ingresos, vivienda, educación, y, en la última década, como refugio, ante la violencia que se vive, principalmente, en la zona rural del país.

Prueba de lo anterior, es que, de una población rural del 76% que tenía Colombia en los años 50, se ha pasado a una cifra del 26% (IDEAM, 1998), con aumento en los flujos migratorios hacia zonas con ecosistemas frágiles, y con el continuo movimiento de desplazados a causa de la violencia. Este fenómeno, entre otros problemas, ha causado una fuerte demanda de recursos naturales, y ha aumentado la marginalidad social en el país.

De igual manera, se destaca el aniquilamiento de los suelos de vocación agrícola, ocasionado por la expansión de los asentamientos humanos.

Los procesos urbanísticos son responsables de varios efectos sobre el ambiente, tales como: alteración de la composición de la atmósfera, de los parámetros hidrológicos de la cuenca, de la geomorfología de los cauces y otros cuerpos de agua, así como de las condiciones naturales del suelo. Existen diversas fuentes de contaminación asociadas con el urbanismo, tales como: desechos industriales, sistemas de calefacción y/o refrigeración, sistemas de transporte, disposición de aguas servidas, recolección y disposición de desechos sólidos.

Durante el período de construcción de los asentamientos urbanos, los efectos se reflejan en grandes pérdidas de suelo. En cuencas ampliamente urbanizadas, la mayor parte de sedimentos que transportan las corrientes pueden provenir de áreas bajo construcción.

La construcción de estructuras hidráulicas asociadas con los desarrollo urbanísticos, tales como: puentes, canalizaciones, muros, rectificación de cauces, entre otras, alteran la geomorfología del cauce de forma irreversible, lo mismo que el hábitat natural.

En relación con el régimen hídrico, las zonas urbanas producen las siguientes alteraciones, (FAO, 1997): 1) disminución de la infiltración y aumento del coeficiente de escorrentía, en comparación con las zonas rurales; 2) disminución del tiempo de concentración, resultando en una respuesta de la cuenca más rápida y de mayor magnitud, que la de condiciones naturales; los caudales pico pueden aumentar de dos a cinco veces, y con ello el potencial de inundación; el caudal base, por el contrario, disminuye; 3) disminución del nivel freático, como consecuencia del aumento de las áreas impermeables, las construcciones profundas y de los sistemas de canalización; 4) reducción de las tasas de erosión en las áreas urbanizadas, pero incremento del potencial de erosión en taludes; 5) rápido lavado de contaminantes; 6) incremento de la frecuencia de los eventos de escorrentía transportadores de contaminantes, como consecuencia de la impermeabilización; y 7) la remoción de contaminantes requiere de volúmenes de escorrentía muy bajos, en comparación con las zonas rurales, donde los contaminantes sólo son removidos por eventos extremos de precipitación.

La contaminación difusa de origen urbano no es ocasionada por el uso en sí, sino por la entrada de contaminantes en los cuerpos de agua, así como por procesos y actividades contaminantes que se desarrollan sobre dichas áreas. Hay varias fuentes de contaminación no puntal asociadas con el urbanismo y las vías (FAO, 1997), entre las cuales se tienen: 1) contaminantes contenidos en el agua de precipitación, especialmente en los centros más poblados e industrializados; 2) erosión de las áreas permeables; 3) acumulación de depósitos atmosféricos secos (polvo) y basuras acumuladas sobre las áreas impermeables, que luego son lavados por la lluvia y la escorrentía; 4) contaminación de la escorrentía por componentes relacionados con el tráfico, particularmente metales pesados y microcontaminantes

orgánicos; 5) acumulación de residuos sólidos en los sistemas de alcantarillado; 6) lavado de contaminantes de los pozos sépticos y rellenos sanitarios, contaminando las aguas subterráneas y superficiales; 7) aplicación, almacenamiento y lavado de disolventes, colorantes y otros productos químicos; 8) aplicación de fertilizantes y pesticidas en parques y jardines, que posteriormente son lavados hacia los sistemas de drenaje; y 9) contaminantes provenientes del uso doméstico y automotor, tales como aceites, grasas, detergentes, solventes químicos, etc., que son lavados hacia los sistemas de drenaje.

El desarrollo económico y social actual, ha producido problemas asociados a la contaminación del aire en varias escalas: local, especialmente en las áreas urbanas y zonas industriales; regional y global. Los problemas no sólo ocasionan trastornos en la visibilidad de las áreas afectadas, sino, también, para el bienestar humano, de muy diversas maneras. Además de los olores desagradables, los efectos más graves son sobre la salud humana, llegando, algunas veces, a causar la muerte. La contaminación del aire también afecta el medio natural y el patrimonio cultural debido a la lluvia ácida. Estos efectos pueden tener repercusiones económicas y sociales, agregando costos a la atención médica y la restauración de construcciones, disminuyendo la producción agrícola, afectando los bosques, la vida silvestre y, en general, deprimiendo la calidad de vida.

Los causantes principales de la contaminación del aire son: los gases inorgánicos, los compuestos orgánicos volátiles (hidrocarburos, aldehidos) y sus componentes en forma de partículas (hollín, ceniza y polvo). Las causas principales de la producción de estos contaminantes son: el transporte, la industria, los hogares y las centrales de energía térmica. De igual manera, la disposición de residuos, de origen doméstico e industrial, contribuye a la emisión de metano, dióxido de carbono y compuestos orgánicos volátiles, como resultado de la degradación de la materia orgánica.

En las zonas industriales, el agua depositada en la atmósfera reacciona con los contaminantes del aire e incrementa su acidez. Las gotas ácidas al precipitarse,

pueden llegar a los cuerpos de agua, y cambiar sus características físicas, poniendo en peligro la existencia de las comunidades biológicas, que allí habitan.

La lluvia ácida es una disolución acuosa que contiene en disolución los ácidos sulfúrico y nítrico, producidos por la combinación de los contaminantes, óxido de azufre y de nitrógeno con el vapor de agua atmosférico. Una lluvia se considera ácida si su pH es inferior a 5,6. La lluvia ácida en Colombia aún no se manifiesta como problema agudo.

La consolidación de grandes centros urbanos es fuente continua de emisiones, vertimientos y residuos, que no cuentan con procesos de disposición final adecuados. La calidad del aire en ciudades, como Bogotá, muestra altos niveles de dióxido de azufre (SO₂), dióxido de carbono (CO₂), óxidos de nitrógeno (NO_x) y material particulado, niveles que sobrepasan los límites permisibles. El problema ambiental generado por esta ciudad se extiende a todo lo largo del país, sobre todo por la carga contaminante que aporta el río Bogotá a el río Magdalena, cerca de la ciudad de Girardot.

La recolección de basuras es uno de los servicios públicos que mayor impacto reporta sobre las condiciones del medio ambiente, y en la constitución de un entorno digno para la habitación de los diferentes grupos humanos. El efecto ambiental más obvio del manejo inadecuado de las basuras es el deterioro de las ciudades, y del paisaje urbano y natural, pero el problema más serio es la contaminación de las aguas superficiales y subterráneas por el vertimiento de las basuras a los ríos y quebradas, y por el líquido percolado de los botaderos a cielo abierto, y de los rellenos sanitarios mal manejados. Son pocos los municipios del país que cuentan con un lugar adecuado para disponer de sus basuras o residuos sólidos y, en la mayoría de los casos, los llamados rellenos sanitarios no cumplen con las debidas especificaciones, de manera que los lixiviados y gases no se conviertan en un problema ambiental.

Con respecto a la disposición final de aguas residuales, en áreas urbanas, la mayoría de los municipios del país la realiza en corrientes superficiales.

4.1.4 Ciénagas y pantanos. Otras áreas a considerar en la planificación y manejo de cuencas son las ciénagas y pantanos, en razón de que estas áreas son esenciales para el sostenimiento del ecosistema de la cuenca, y para un balance normal del ciclo hidrológico. Su función natural es la amortiguación de las inundaciones, la clarificación de las aguas, protección de playas, y la recarga del agua subterránea. Igualmente, sirven para retener nutrientes y otros contaminantes que luego son incorporados en la biomasa; también proveen hábitat para una serie de especies animales y vegetales. Su destrucción o mal uso crea efectos contrarios a los indicados (FAO, 1997).

Según la Convención de Ramsar, en IDEAM, 1998, los humedales son “extensiones de marismas, pantanos, turberas o aguas de régimen natural o artificial, permanentes o temporales, estancadas o corrientes, dulces, salobres o saladas, incluyendo extensiones de agua marina cuya profundidad en marea baja no exceda de seis metros”.

En nuestro medio, se utiliza el término humedales para referirse a la amplia zona de transición entre los ecosistemas terrestres y los ecosistemas acuáticos, o suelos saturados donde persiste el encharcamiento.

Los pantanos o humedales poseen una función natural en el ecosistema de la cuenca, y su drenado, mal uso o destrucción, altera el equilibrio hidrológico produciendo daños irreparables. Los humedales proveen muchos beneficios, incluyendo alimento y hábitat para peces y vida silvestre; protección contra inundaciones; control de inundaciones costaneras; productos naturales para uso humano; mejoras en la calidad del agua; y oportunidades para recreación, educación e investigación.

Los humedales se encuentran entre los ecosistemas naturales más productivos, biológicamente en el mundo. Pueden ser comparados a los bosques húmedos tropicales y los arrecifes de coral, en la diversidad de especies que los habitan. Producen grandes volúmenes de alimento cuando las hojas y tallos se descomponen en el agua; este material enriquecido se llama “detrito”. El detrito es comida para insectos y peces, y provee nutrientes para las plantas y algas en los humedales.

Los humedales funcionan, mayormente, como esponjas, almacenando agua (de inundaciones, o agua superficial recolectada en depresiones aisladas) y liberándola lentamente. Los árboles y demás vegetación de humedales ayudan a retrasar las aguas de inundación. Esta acción combinada, almacenamiento y retraso, puede aminorar los picos de las inundaciones y reducir el potencial erosivo del agua.

La destrucción o degradación de los humedales puede provocar serias consecuencias, tales como: el aumento en las inundaciones, la extinción de especies, y el empeoramiento de la calidad del agua.

Los humedales ribereños boscosos, en cuencas predominantemente agrícolas, han demostrado remover, aproximadamente, 80% del fósforo y 90% del nitrógeno del agua. Sin embargo, si los humedales no llevan a cabo esta función, los resultados incluirían un aumento en el crecimiento de algas y otras plantas acuáticas indeseables. Cuando los desarrollos de algas se descomponen, grandes cantidades de oxígeno son utilizadas, privando a los peces y otros organismos acuáticos del mismo. Los grandes florecimientos de algas son una causa mayor de la muerte de peces.

En Colombia los humedales se localizan, especialmente, en el norte del país, en la alta montaña y en los valles interandinos. Conforman una parte importante del territorio nacional, y corresponden a ciertas dinámicas tectónicas y sedimentológicas que han acompañado el levantamiento del sistema andino, con sus subsiguientes

subsistemas. Infortunadamente, la expansión de los asentamientos humanos los está destruyendo.

4.1.5 Minería. La minería es otra actividad que afecta el ambiente natural de la cuenca. Las actividades mineras pueden ser: subterránea, a tajo abierto y extracción superficial, perforaciones para la extracción de petróleo y gas, canteras para la extracción de materiales de construcción, y dragado de cauces en busca de oro y otros materiales, como materiales de construcción (FAO, 1997).

Los impactos ambientales del sector minero abarcan un amplio espectro de elementos asociados a cada una de las etapas de los proyectos, y de los diferentes tipos o sistemas de minería. En general, estos impactos tienen efectos sobre la fisiografía, el suelo, el agua, el aire, la biota y los ecosistemas, en los cuales se desarrollan las actividades de exploración, explotación y transporte; afectando, además, la salud de la población, no sólo residente en el área del aprovechamiento minero, sino también aguas abajo, como consecuencia de la contaminación del agua por sedimentos, sales y ácidos, y del aire, por partículas de polvo proveniente de canteras y minas a tajo abierto.

La minería, en general, ocasiona daños a los ecosistemas, y destrucción del hábitat natural, local y adyacente; elimina la vegetación exponiendo el suelo a los agentes erosivos, y como consecuencia se presentan efectos antiestéticos en el paisaje. Las canteras para la extracción de arena, roca y grava, destruyen la vegetación ribereña, alteran la naturaleza de los taludes, de las planicies de inundación y de las terrazas adyacentes. El dragado de los cauces rompe el equilibrio entre el ambiente físico del canal y la comunidad biológica, y puede incrementar la cantidad de bacterias aguas abajo, al ser liberadas de los sedimentos del lecho (Grimes, 1975; en FAO, 1997). Los terrenos que han sido dedicados a la minería no son fáciles de recuperar, y requieren de una cuidadosa selección del tipo de material vegetal a plantar.

Las sustancias tóxicas (metales, ácidos y sólidos suspendidos), provenientes de las operaciones mineras, producen contaminación de las aguas subterráneas y superficiales, destruyendo la vegetación ribereña, y exponiendo los taludes a la acción de los agentes erosivos; algunos productos químicos no destruyen la vegetación, pero pueden ser asimilados por las plantas, por tanto, penetran en la cadena alimenticia, y afectan a otros seres del ciclo.

El aire se afecta, como consecuencia de la dispersión de partículas, gases y vapores. Las emisiones atmosféricas de los molinos de trituración de material pueden devastar la vegetación de las áreas adyacentes.

La minería produce cambios topográficos que alteran completamente el sistema de drenaje, especialmente de los cauces de orden inferior. El material de los frentes de minas y canteras, forma pendientes pronunciadas que favorecen los deslizamientos masivos y la caída de rocas. El dragado de los cauces y la excavación de los taludes alteran la geomorfología, generan un incremento en la turbidez del agua y una concentración de sedimentos. Las canteras que se ubican en las planicies de inundación dejan incisiones que luego se convierten en brazos de cauces, provocando un cambio total en la dirección del flujo, dando origen a serios problemas de erosión, y destruyendo las vías que bordean los cauces (Sandecki, 1989; en FAO 1997).

Las actividades mineras, en general, alteran la composición química ambiental, al exponer los materiales a la acción del intemperismo, y por la producción de desechos.

4.1.6 Incendios. Otro grave proceso ambiental que ataca a las coberturas vegetales son los incendios forestales; estos pueden ser de origen natural o antrópico. El fuego puede originarse por descuido de las personas; puede ser planificado, como una medida para el manejo de bosques y praderas, y como método de cultivo (tala y quema), en los países en desarrollo, o puede ser

ocasionado por la acción de pirómanos. En algunos países de África el fuego es ocasionado intencionalmente, con la finalidad de combatir plagas como la mosca tse tse (FAO, 1997).

El primer efecto de los incendios, en las cuencas, es la pérdida de la cobertura vegetal. Como consecuencia, el efecto benéfico de la cobertura vegetal sobre el suelo y el agua se ve suprimido. Las gotas de lluvia golpean directamente el suelo, se produce erosión, y se aumenta el transporte de sedimentos. Estos últimos aumentan la turbidez del agua, que sumada al aumento de la temperatura de la misma, como consecuencia de la pérdida de la vegetación ribereña, afecta la vida acuática. Los procesos de erosión se presentan de diferentes maneras, dependiendo del clima, tipo de suelo, vegetación, topografía y uso del suelo. El fuego hace decrecer la resistencia mecánica del suelo, favoreciendo, en períodos secos, la ocurrencia de deslizamientos por la acción de la fuerza de la gravedad. Los sedimentos se acumulan en el pie de la ladera hasta que son removidos por la escorrentía intensa. Los incendios, también, exponen los suelos a la acción erosiva del viento, el cual rompe y transporta las partículas sueltas.

En las superficies quemadas se disminuye la infiltración, en especial cuando las precipitaciones se dan sobre suelos previamente saturados, aumentando el potencial de escorrentía superficial, y la capacidad de transporte de sedimentos, favoreciendo, de esta manera, la erosión en surcos y cárcavas.

Debido a la degradación del suelo y al desmejoramiento de la capacidad de retención de humedad por el conjunto suelo-vegetación, se altera el ciclo hidrológico, la infiltración disminuye, y con ello, se menguan las reservas hídricas superficiales y subterráneas. Los gases que se emiten durante la combustión, por su parte, contribuyen al efecto invernadero con la liberación de carbono.

Además de los efectos adversos sobre los suelos y el ciclo hidrológico, los incendios forestales afectan los recursos bióticos, los bienes materiales y la salud de las

personas, y, aun, pueden ocasionar la muerte de aquellas que se encuentren cerca o en el lugar del incendio.

En el período 1997-1998, se registraron en el país 11.768 incendios forestales, que afectaron 223.081 hectáreas; las áreas más afectadas fueron los Parques Nacionales Naturales, con el 20,2% del total del área, y los departamentos de Cesar (16,1%), Tolima (10,7%) y Casanare (9,67%) (IDEAM, 1998).

4.1.7 Generación de energía. La producción de energía está íntimamente relacionada con el agua. La cantidad de agua requerida para producir energía varía con el tipo de sistema. En Colombia, el sistema más utilizado es el hidroeléctrico (76%), que requiere de la construcción de grandes represas, donde los consumos de agua se dan por evaporación de los embalses, y la mayor parte se retorna al drenaje natural, aguas abajo de la presa. El otro sistema utilizado en el país es el térmico de combustible fósil (24%), que, al igual que las plantas nucleares y geotérmicas, requiere de grandes cantidades de agua, como refrigerante.

La creciente producción de energía eléctrica por medio de centrales térmicas produce impactos ambientales significativos, especialmente en emisiones gaseosas a la atmósfera y contaminación térmica en los cuerpos de agua.

Aunque la hidroelectricidad es considerada como la forma menos contaminante de energía, y su uso prácticamente no genera impactos ambientales, las represas y obras civiles requeridas para la producción de hidroenergía generan, en mayor o menor grado, perturbaciones sobre los ecosistemas y, en particular, sobre los recursos pesqueros. De igual manera, los procesos de adecuación de los terrenos para la construcción de las obras civiles como: el desmonte y limpieza, el descapote, los cortes y terraplenes, producen efectos sobre la capa vegetal, aportes de sólidos suspendidos a los cuerpos de agua cercanos, cambios en el uso del suelo, incremento de la erosión, y alteración del paisaje.

En Colombia, como ya se dijo, la principal fuente de generación de energía es la hidroeléctrica, que requiere de la construcción de sistemas de almacenamiento por embalses, que a su vez pueden satisfacer, además de la generación hidroeléctrica, múltiples propósitos como: abastecimiento de agua para consumo urbano, agroindustrial, control de inundaciones, navegación, retención de sedimentos, regulación del flujo aguas abajo, y recreación. Este sistema de generación de energía está seriamente limitado por la disponibilidad de agua; ejemplo de esta situación lo constituye el severo racionamiento de energía que sufrió Colombia al inicio de la década de los 90.

Los efectos de estos usos sobre la cuenca dependen de la magnitud del almacenamiento y del tipo de uso; pero todos los almacenamientos alteran la vegetación sumergida y la de las riberas. Los embalses soportan altas concentraciones de algas, y liberan gran cantidad de materia orgánica hacia aguas abajo. Las estructuras hidráulicas de retención alteran la naturaleza de los caudales extremos, máximos y mínimos, y modifican la ecología del cauce aguas abajo de la presa. Cuando es necesario recurrir a los trasvases, la cuenca donante se torna más seca aguas abajo de la bocatoma, ocasionando la disminución de la vegetación existente, y un cambio en la misma; mientras que la cuenca receptora muestra efectos contrarios, además de incrementar el agua subterránea y el nivel de humedad del suelo.

Los almacenamientos y derivaciones también alteran la topografía creando lagos y divisorias artificiales; se pueden presentar deslizamientos al exponer las laderas a la acción de las olas, y por el incremento de la presión de poros debido al ascenso capilar del agua. La descomposición de los sedimentos orgánicos dentro de las aguas turbias estancadas consume el oxígeno aportado por las aguas turbulentas que entran a los embalses, dañando la vida acuática. La descomposición de la vegetación sumergida eutrofica los cuerpos de agua, y modifica su química y el ciclo de nutrientes.

La construcción de una presa genera problema para los peces, en la medida en que constituye un impedimento físico para las migraciones de las poblaciones de peces, bien sea para su alimentación o reproducción.

4.1.8 Abastecimiento de agua. El desarrollo de proyectos hidráulicos para el suministro de agua está conectado con la demanda para abastecimiento urbano, industrial y agrícola. Tales proyectos incluyen sistemas de almacenamiento, conducción y distribución de las aguas superficiales y subterráneas, y sus obras complementarias como vías de acceso y mantenimiento que, en conjunto, crean efectos acumulados sobre el ambiente, en especial, cuando es necesario construir embalses, para suplir las demandas de agua (FAO,1997).

La mayor parte de los problemas concernientes a la calidad del agua tienen que ver con la contaminación por materia orgánica, nutrientes y una amplia gama de sustancias químicas. Esta contaminación puede ser un obstáculo en el uso sostenible del recurso agua para el abastecimiento humano, agrícola, industrial, hidroenergético, recreacional y turístico.

Por otra parte, no se puede olvidar que, en la prestación de estos servicios, la recolección y disposición de aguas servidas afecta la calidad de los recursos hídricos disponibles, para los usuarios aguas abajo en la misma cuenca.

Un programa de monitoreo de calidad del agua en ríos y embalses es esencial para asegurar un abastecimiento de agua potable, adecuado y seguro.

4.1.9 Control de inundaciones y navegación. Los programas de control de inundaciones y navegación incluyen la construcción de diques, presas, embalses, esclusas, mejoramiento hidráulico del cauce, dragados, zonificación, medidas de pronóstico etc. La navegación requiere, además, de obras para proteger los taludes de la acción de las olas producidas por las embarcaciones. Todas estas obras alteran la geomorfología del cauce y la calidad del agua (FAO,1997).

El tráfico permanente de embarcaciones puede introducir en las aguas una serie de elementos contaminantes como: aceites, combustibles y pinturas; además, producen una remoción de sedimentos de fondo, incrementando la turbidez del agua y favoreciendo la eutroficación.

4.1.10 Recreación. El uso de la cuenca para recreación es mucho más intenso en áreas cercanas a centros poblados, donde la densidad demográfica presiona por centros de esparcimiento, afectando, generalmente, las cuencas que abastecen de agua a los acueductos municipales. El desarrollo y uso de estos lugares requiere de la construcción de una serie de instalaciones, como embalses, muelles, vías, áreas de campamento, etc., que alteran la vegetación. El paso de peatones y vehículos compacta el suelo, y deja huellas que se transforman en drenajes para la escorrentía. Adicionalmente, los visitantes tienden a usar los recursos vegetales como combustibles, y contaminan las aguas con desechos, combustibles, aguas servidas, jabones y otros productos químicos.

4.2 ALTERACIONES DE ORIGEN NATURAL

Los paisajes tropicales de Colombia presentan diversos grados de estabilidad, que dan origen a limitaciones que pueden condicionar el uso social y el manejo técnico de los suelos. Como característica básica se señala la tendencia a la erosión, aun en condiciones naturales. En el sistema montañoso, húmedo y muy húmedo, predominan los movimientos en masa, generalizados en muchos sectores. En las zonas con estaciones secas marcadas, es notorio el escurrimiento superficial. La actividad de la montaña se manifiesta en las zonas bajas, representadas por gargantas, valles y depresiones, que, en conjunto, soportan procesos de sedimentación. La torrencialidad afecta el sistema de drenaje montañoso andino, y la dinámica fluvial es muy agresiva, fenómeno que se manifiesta en la alta torrencialidad de los cursos de agua, y en los flujos de lodo en la alta, media y baja montaña.

El hecho de estar Colombia emplazada en la convergencia de tres placas tectónicas (Caribe, Nazca y Suramericana; las dos primeras de tipo oceánico y la última continental), hace que el territorio nacional se comporte como una especie de cuña sujeta a las fuerzas de choque entre estas estructuras. Como resultado se tiene un sistema orográfico formado a través de varios millones de años, y que continúa, hoy en día, en proceso de modelado; los sismos, los deslizamientos, los volcanes activos, las inundaciones, son ejemplos de un relieve dinámico y en formación.

Los fenómenos naturales de tipo tectónico, climático, geomorfológico e hidrológico, representan elementos que han modelado el paisaje mediante su acción a lo largo de millones de años, y que generan, con mayor o menor probabilidad, unos riesgos que pueden producir un daño o catástrofe social en una zona, debido a la actividad de un proceso natural. Ante su magnitud e intensidad, las opciones de intervención humana se reducen a la prevención, usando métodos de zonificación y de alerta de su ocurrencia.

El proceso natural de erosión, transporte y sedimentación es un ejemplo de esta situación, y constituye una forma de adaptación del relieve a una nueva condición de equilibrio más estable. Frente a este tipo de alteración el hombre no tiene prácticamente opciones para intervenir.

Las amenazas y riesgos naturales son acentuados por factores de tipo económico y social, los cuales están en relación directa con el proceso de desarrollo del país. Así, la población de más bajos recursos ha tenido que ocupar zonas de ladera inestables, susceptibles de inundación, tanto en las áreas urbanas como rurales.

Así como el ser humano puede aumentar el riesgo, también puede reducirlo o eliminarlo. Fenómenos como las erupciones volcánicas y sismos, no pueden ser impedidos, pero sus efectos pueden mitigarse o reducirse, a través de una adecuada planificación del territorio.

En este sentido, la prevención de desastres se convierte en un instrumento de planificación del desarrollo que permite intervenir los factores que generan riesgo para un territorio, en especial los de carácter antrópico; además, las acciones de prevención son vistas como la mejor estrategia desde el punto de vista económico, social, político y ambiental. Para esta gestión, según el Ministerio del Medio Ambiente (1998), se requiere: 1) desarrollar conocimientos sobre los peligros existentes en el territorio, lo que está expuesto a dicha amenaza y, por ende, lo que puede perderse en caso de manifestarse la amenaza; 2) identificar asentamientos humanos y actividades productivas ubicadas en zonas de riesgo, y formular políticas para su manejo y tratamiento; y 3) operacionalizar la capacidad organizativa, administrativa y comunitaria necesaria para el manejo de los instrumentos, buscando la coordinación como elemento de la acción, en caso de manifestarse la amenaza.

Al tocar el tema de desastres, naturales o antrópicos, es conveniente precisar algunos conceptos, tales como: amenaza, vulnerabilidad y riesgo.

Amenaza “es el peligro latente que representa la posible ocurrencia de un evento catastrófico, de origen natural o tecnológico, en un período de tiempo, y en un área determinada. Debe considerarse en una zona específica la presencia de una amenaza y su posible cobertura para definir así la zona de amenaza en la cuenca” (Dirección Nacional para la prevención y atención de desastres - Ministerio del Interior; en Ministerio del Medio Ambiente, 1998).

Vulnerabilidad “es la condición en que se encuentran las personas y los bienes expuestos a un grado de amenaza, en relación con su capacidad o inhabilidad para afrontar o soportar la acción de un evento posible” (IGAC, 1996, en Ministerio del Medio Ambiente, 1998).

“La combinación de la amenaza y la vulnerabilidad determina el riesgo, el cual indica la probable pérdida de bienes y personas, en caso de presentarse un evento

determinado” (Ministerio del Medio Ambiente, 1998). El riesgo puede calificarse como alto, medio o bajo, a través de su respectiva zonificación, que debe plasmarse en un mapa, en donde se puedan visualizar las áreas de riesgo, y aquellas que no presentan problemas, identificando las que puedan ser recuperadas y las que revisten mayor potencial de amenaza.

La mayoría de los eventos por remoción en masa del tipo derrumbes y deslizamientos, ocurridos en Colombia desde el mes de enero de 1994 hasta mayo de 1998, se originó por lluvias intensas ocurridas sobre estructuras geológicas tradicionalmente inestables. De los componentes ambientales más afectados, por estos eventos, se destacan: los asentamientos humanos, 106; con un gran número de víctimas, 71; y 5.056 familias afectadas; así como infraestructuras, principalmente casas, 510; vías, 120; acueductos, 35; y centros educativos 11. Siendo los departamentos más afectados: Antioquia, Cauca, Boyacá, Norte de Santander, Risaralda y Tolima (DNPAD y la Cruz Roja Colombiana, en IDEAM, 1998).

Igualmente, existen fenómenos hidrometeorológicos extremos que dan origen a grandes crecidas o sequías, ante lo cual la acción humana sólo puede desarrollar estrategias de mitigación de efectos, y de advertencia oportuna.

Por lo tanto, los fenómenos naturales como la erosión, las crecidas de ríos y quebradas, las heladas, sequías y vendavales, adquieren carácter de catástrofe sólo en aquellos lugares en donde afectan gravemente a la población y sus bienes. Luego, en la medida que el hombre planifique sus actividades en áreas que presenten bajo riesgo de ocurrencia de esos fenómenos, estará evitando los efectos catastróficos de estos eventos. Por el contrario, las actividades humanas que rompen el equilibrio ecológico de las cuencas en las que son frecuentes los fenómenos naturales, arriba mencionados, provocan o aceleran un comportamiento extremo de ellos, haciendo más grave aún sus efectos.

Por esto, se hace necesario implementar métodos, modelos y tecnologías para el conocimiento, seguimiento, monitoreo y predicción de la ocurrencia, y posibles efectos de eventos tales como: remociones en masa del tipo derrumbes y deslizamientos, que son precisamente los de mayor impacto en áreas tradicionalmente inestables; crecidas de los ríos y torrentes; y eventos climáticos y meteorológicos extremos como heladas, sequías y vendavales.

4.3 AFECTACIÓN LOCAL O REGIONAL

El deterioro y desequilibrio en las cuencas se está reflejando básicamente en:

- Deficiencias, en cantidad y calidad, en el suministro de agua para las demandas de una población en incremento permanente.
- Racionamientos en el suministro de energía eléctrica.
- Restricciones en el uso de los terrenos agrícolas por falta de agua en épocas de verano.
- Ocurrencia de crecidas en épocas de invierno, afectando cultivos e infraestructuras físicas.
- Degradación de los suelos como consecuencia de prácticas inadecuadas de manejo.
- Contaminación de las fuentes superficiales de agua, por las descargas residuales de actividades domésticas, agrícolas, industriales, mineras y petroleras.
- Afectación de las condiciones sociales y económicas de la población.

La acción del hombre en la cuenca produce unos daños, cuyos costos no son difíciles de cuantificar cuando se trata de efectos directos y tangibles. Se puede expresar en términos del costo de dragado de embalses, de ríos, de puertos y de canales; en términos de la reducción en la vida útil de las represas; y en las centrales hidroeléctricas se puede reflejar en elevados costos de mantenimiento y reposición de equipos. Otros no se pueden traducir fácilmente en términos económicos, entre ellos la pérdida de vidas humanas, por efecto de crecidas, inundaciones, deslizamientos, entre otros procesos.

El costo del tratamiento del agua para consumo humano e industrial, proveniente de corrientes que presentan un alto contenido de materiales en suspensión, es otro indicador del grado de deterioro de una cuenca hidrográfica. Pero, a menudo, tales costos, así como los costos de limpieza de canales y bocatomas, tienden a constituirse en gastos corrientes de operación y mantenimiento, y no se piensa en la posibilidad de reasignar dichos recursos del presupuesto para emprender esfuerzos con miras a reducir los efectos nocivos.

Igual cosa ocurre con las carreteras de montaña, afectadas por deslizamientos, cárcavas y torrentes. A menudo, es necesario reconstruir la vía después de cada período de lluvia, pero, raramente, hay una partida presupuestaria que permita estabilizar taludes, disipar energía en cunetas y colectores, y realizar trabajos de drenaje e intercepción de la escorrentía.

Así, es obvia, por ejemplo, la relación que comúnmente se observa entre las carreteras de montaña inadecuadamente trazadas, que constituyen focos erosivos, y su impacto sobre el régimen y la calidad del agua en los cursos fluviales. Dicha relación es, en efecto, de doble sentido: mientras que las carreteras de montaña contribuyen al aumento de la torrencialidad, los procesos morfodinámicos desencadenados tienen una incidencia sobre el área receptora, originando deslizamientos y mecanismos de erosión regresiva en los tributarios, que pondrán, a su vez, en peligro las vías de comunicación. Además, los puentes y la banca de las

carreteras que bordean los cursos fluviales estarán a merced de crecidas y lavas torrenciales, de gran capacidad de arrastre. Por otra parte, es frecuente observar en el curso inferior, obras de defensa que quedan sepultadas por los aluviones, cuando no se han neutralizado los focos erosivos en el área receptora.

Todas las actividades humanas que se han descrito tienen una afectación muy grande sobre los recursos naturales de una cuenca hidrográfica, pero, muy especialmente, inciden significativamente sobre el recurso hídrico, esencial para el desarrollo de la vida sobre el planeta, y para todas las actividades sociales y económicas.

4.4 AFECTACIÓN GLOBAL

El cambio global se puede definir como los cambios generados por los procesos naturales y por la actividad humana, que afecta el medio ambiente global en forma directa, o a través de la acumulación de alteraciones locales o regionales.

Las escalas espacio-temporales de los procesos que llevan al cambio global son variadas: algunos, como la deforestación, son de escala regional, y pueden ser medidos en días; otros, como el calentamiento global y el cambio climático, cubren todo el planeta y se manifiestan en períodos que van desde el decenio hasta milenios.

Muchos son los procesos que actualmente están conduciendo a un cambio global. Dentro de estos, los que se desarrollan en la antroposfera están jugando un papel importante, ya que están induciendo una nueva dinámica en los ciclos biogeoquímicos, acelerando algunas fases de los mismos.

Los ciclos del carbono y del nitrógeno, por ejemplo, se han modificado como consecuencia del uso intensivo de combustibles fósiles, la deforestación y algunos procesos agrícolas e industriales. Estos factores han acelerado el flujo del carbono y

del nitrógeno de la litosfera y biosfera hacia la atmósfera, intercambio que se desarrollaba en períodos de tiempo mayores (cientos a miles de años).

La humanidad está modificando la composición atmosférica, la calidad del agua, las características de la superficie terrestre, cultiva intensa o extensivamente algunas especies mientras agota otras, transporta especies propias de una región a otra, etc. Debido a estas acciones se están produciendo cambios en la escala mundial (reforzamiento del efecto invernadero y el calentamiento global), o regional, con alcance global, como, por ejemplo, el cambio en el uso de la tierra en la Amazonia.

Entre las actividades más relevantes en la emisión de gases de efecto invernadero están el uso de combustibles, los procesos de transformación de la industria, algunas actividades agrícolas y pecuarias, la disposición de residuos sólidos y la explotación de los bosques.

El uso de combustibles fósiles produce gases de efecto invernadero, debido a que para obtener la energía que contienen estos materiales, y convertirla en vapor, electricidad o movimiento, es necesario someter el material a combustión. En este proceso, los constituyentes del combustible se oxidan, liberando a la atmósfera, principalmente, dióxido de carbono, monóxido de carbono, metano, óxido nitroso y óxidos de nitrógeno (NO_x).

Los gases variables como: dióxido de carbono (CO₂), monóxido de carbono, el óxido nitroso (N₂O), el vapor de agua, el metano (CH₄), el ozono troposférico (O₃) y los clorofluorocarbonos (CFCs), estos últimos de origen netamente antrópico, son relativamente transparentes a la radiación solar en el rango visible, pero absorben la radiación de onda larga saliente de la superficie de la Tierra.

Estos gases irradian parte de la energía absorbida al espacio, y parte la retornan en dirección de la superficie de la Tierra. Este intercambio de energía entre la atmósfera y la superficie de la Tierra es conocido como efecto invernadero natural. Debido a

este efecto, la Tierra tiene una temperatura promedio más alta que la que tendría si no existieran estos gases en la atmósfera; así mismo, gracias al efecto invernadero, la amplitud de las variaciones de la temperatura es tal, que permite el desarrollo de la vida en el planeta. La temperatura media global de la atmósfera es de aproximadamente 15°C., gracias al efecto invernadero. Si no existiera este efecto, la temperatura sería de cerca de -23°C.

El forzamiento radiactivo puede verse alterado por cambios en la concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera, provocados por modificaciones en la dinámica de los ciclos biogeoquímicos. Esta alteración recibe el nombre de efecto invernadero inducido.

De los gases de efecto invernadero emitidos por la actividad humana, el dióxido de carbono tiene particular importancia, debido a que su contribución al cambio de forzamiento radiactivo ha sido, aproximadamente, de 55%, comparado con el 17% de los CFCs, y el 15% del metano. Por esta razón, se presta gran atención a las concentraciones de gases de efecto invernadero, pero principalmente a las de dióxido de carbono.

El dióxido de carbono es el gas que se emite en mayor cantidad, en el mundo, por actividades humanas. Se estima que más del 80% de la emisión mundial de gases de efecto invernadero es de dióxido de carbono, y que es generado, en un 75%, por la producción y uso de combustibles. En 1995, por uso de combustibles, se emitieron en el planeta del orden de 22.150 millones de toneladas (Tn) de dióxido de carbono, de las cuales Colombia aportó, aproximadamente, el 0,29% (65 millones de Tn), cantidad inferior a la de países latinoamericanos como: Méjico, 328 millones de Tn; Brasil, 287 millones de Tn; Argentina, 128 millones de Tn; y Venezuela, 113 millones de Tn. En el ámbito mundial, los países que más contribuyeron con emisiones de dióxido de carbono fueron Estados Unidos (24%), China (14%), Rusia (7%), Japón (5%) y Alemania (4%) (IDEAM, 1998).

En 1990 en Colombia la emisión bruta de dióxido de carbono fue, aproximadamente, de 59.096.000 Tn, y se originó, principalmente, en las actividades relacionadas con el uso de combustibles con fines energéticos (88%), en la pérdida de la cobertura boscosa (7%) y en los procesos industriales (5%). La recuperación de cobertura boscosa permitió una captura aproximada de 20.265.000 Tn de dióxido de carbono; esto significa que durante 1990, Colombia capturó una cantidad equivalente al 34% de dióxido de carbono emitido en el mismo año y que, en términos netos, la emisión fue solamente de 38.831.000 Tn de dióxido de carbono.

La actividad humana, que se ha intensificado en los dos últimos siglos, está propiciando el incremento de estos gases en la atmósfera, lo cual conllevaría al reforzamiento del efecto invernadero, y a un calentamiento global que, finalmente, produciría cambios en el clima a escala mundial, regional y local. Se estima que durante los últimos 100 años, la temperatura media global se ha incrementado entre 0,3 y 0,5 grados Celsius.

Al igual que en otras partes del planeta, la actividad humana en el territorio colombiano está inyectando a la atmósfera gases que irán a reforzar el efecto invernadero. Por esta razón, las actividades sociales y económicas tienen un aporte en el incremento de gases de efecto invernadero. De otro lado, las emisiones, tanto de los gases de efecto invernadero como de otros gases contaminantes producidos por la actividad nacional, están cambiando la calidad del aire.

El territorio colombiano podría verse afectado por el calentamiento global, que para la zona tropical, según modelos climáticos desarrollados, sería del orden de los 2° C. en los próximos 100 años.

Este calentamiento global conduciría, además, a la desaparición de los glaciares de montaña y al incremento del nivel medio del mar, entre otros efectos.

Durante el siglo veinte desaparecieron en Colombia ocho pequeños nevados, bien por efectos atmosféricos o por reactivación volcánica, como el volcán Galeras, aunque en épocas de lluvias estos y otros picos altos se cubren temporalmente de nieve pero no hay formación de hielo. Los glaciares o nevados que desaparecieron fueron: volcán Puracé (1940), volcán Galeras (1948), volcán Sotaró (1948), volcán Chiles (1950), volcán Pan de Azúcar (1960), volcán Quindío (1960), volcán del Cisne (1960) y volcán Cumbal (1985). Se ha calculado la posible desaparición de los glaciares que quedan en Colombia; los nevados del Ruiz y del Tolima son los más próximos a desaparecer, y el nevado del Huila el más longevo, que desaparecería, aproximadamente, en el año 2110 (Flórez, 1992, en IDEAM, 1998).

Se estima que, durante los últimos 100 años, se ha presentado un incremento en el promedio mundial del nivel del mar del orden de los 10 a 25 centímetros. De continuar con el ritmo del calentamiento actual, el incremento en los próximos 100 años estaría entre 30 y 80 centímetros (IDEAM, 1998). La elevación del nivel del mar traerá impactos importantes a las zonas costeras y a los territorios insulares. Los asentamientos humanos localizados en las zonas bajas de las playas se verán afectados por las pleamares y por el oleaje que se desarrollará sobre un nivel del mar más elevado. De otra parte, la elevación del nivel del mar traerá como consecuencia cambios ambientales a las regiones costeras como: la salinización de los sistemas de agua dulce, cambios en la vegetación, y daños a los sistemas de coral, entre otros.

CAPÍTULO 5

MANEJO DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS

5.1 CONCEPTO DE MANEJO DE CUENCAS

En América, el término “manejo de cuencas” fue adoptado por primera vez en los Estados Unidos, y fue traído de los países de los Alpes europeos, a inicios del siglo veinte. En Europa el manejo de cuencas se denomina control de torrentes, y se orienta, principalmente, al control de inundaciones y material de arrastre en las corrientes de montaña. En los Estados Unidos el énfasis principal del manejo de cuencas ha sido la protección, la producción de agua, en cantidad y calidad deseadas, y el control de inundaciones. En los países en desarrollo, el objetivo principal ha sido el control de la erosión y sedimentación.

El gobierno colombiano, en el artículo 316 de Decreto número 2811 de 1974, establece que “se entiende por ordenación de una cuenca la planeación del uso coordinado del suelo, de las aguas, de la flora y la fauna, y por manejo de la cuenca, la ejecución de obras y tratamientos”.

Posteriormente, en el artículo 4° del Decreto número 2857 de 1981, emanado del Ministerio de Agricultura, se establece que “la ordenación de una cuenca tiene por objeto, principal, el planeamiento del uso y manejo de sus recursos y la orientación y regulación de las actividades de los usuarios, de manera que se consiga mantener o restablecer un adecuado equilibrio entre el aprovechamiento económico de tales recursos y la preservación de la estructura físico-biótica de la cuenca y, particularmente, de sus recursos hídricos”.

Según López y Hernández (1972), el manejo de cuencas hidrográficas puede ser definido como “el conjunto de actividades del hombre encaminadas a intervenir en los procesos naturales, sociales y económicos, con el fin de controlarlos en función de sus objetivos prácticos inmediatos”.

Blair, E. (1990) dice, que el manejo de cuencas hidrográficas es “la actividad ordenada y planificada que desarrolla el hombre dentro de un área física denominada cuenca hidrográfica, para aprovechar los recursos naturales, buscando una producción óptima y sostenida, que resulte en un incremento en el bienestar social y económico del hombre”.

Precisando los términos de la anterior definición, se tiene que:

- Como actividad ordenada y planificada se entiende el trabajo multisectorial, interdisciplinario e interinstitucional, que permita un ordenamiento de actividades prioritarias, en función de las necesidades nacionales, regionales o locales, según sea el caso. Este proceso debe considerar la coordinación de todos los sectores involucrados.
- El hombre como eje central del proceso, planifica, ejecuta, opera y se beneficia de toda su actividad; en este sentido, el hombre es el personaje, y no la naturaleza, ni la ciencia, ni el conocimiento, aspectos que sólo son medios para alcanzar el objetivo de elevar la calidad de vida.
- El área física es la cuenca hidrográfica, por cuanto que, a través del recurso agua, se establece una comunidad de intereses. Comparándola con una división político-administrativa, la cuenca es más versátil, manteniendo una idea de conjunto o sistema.

- El aprovechamiento de los recursos naturales, aún cuando no es exclusivo del hombre, es la base de su permanencia en la cuenca. Dentro de estos recursos se destacan los recursos agua y suelo.
- La producción óptima y sostenida es importante, desde todo punto de vista, dado que se persigue que el aprovechamiento de los recursos se logre a un nivel óptimo, sin perder de vista que ese nivel óptimo deba permitir su uso en forma permanente. Esta producción se refiere a la agricultura, los bosques, la ganadería y la minería, y a todas las actividades que ello implica.
- Como resultado de todo esto está el mejoramiento del nivel de bienestar del hombre, con relación a su cultura, su medio físico, su salud y, en términos generales, su felicidad.

Para la FAO, el concepto inicial de manejo de cuencas enfatizó, principalmente, en la planificación del recurso hídrico, definiendo el manejo de cuencas como “el arte y la ciencia de manejar los recursos naturales de una cuenca, con el fin de controlar la descarga de agua, en calidad, cantidad y tiempo de ocurrencia”. Posteriormente, enfatiza en la acción del hombre, como principal agente en el uso de los recursos naturales. Es así como se plantea que el "manejo de cuencas es la gestión que el hombre realiza en un determinado sistema hidrográfico, para aprovechar y proteger los recursos naturales que le ofrece, con el fin de obtener una producción óptima y sostenida".

Una definición más reciente dada por la FAO (1997), dice: "el manejo de la cuenca se concibe como el conjunto de acciones de gestión en la fase permanente (operación y mantenimiento de todas las obras construidas y de todas aquellas requeridas para la preservación de los recursos de la cuenca) del proceso de desarrollo de una cuenca, extensivas a todos los recursos, sean estos naturales o construidos por el hombre; incluye, por lo tanto, manejo de suelos agrícolas, fauna,

silvicultura, pastos, cuerpos de agua y áreas ribereñas, nieve, escorrentía, sitios de construcción urbana, minería y vías de comunicación".

Otra concepción de lo que es el manejo de cuencas, dice: "se entiende por manejo de cuencas la aplicación de principios y métodos para el uso racional, integrado y participativo de los recursos naturales de la cuenca; fundamentalmente, del agua, del suelo y de la vegetación, a fin de lograr una producción óptima y sostenida de estos recursos, con el mínimo deterioro ambiental, para beneficio de los pobladores y usuarios de la cuenca" (IPROGA, 1996).

En síntesis, el manejo de cuencas implica modelos integrados y sostenibles de producción agrícola, pecuaria y forestal, adaptados a las realidades políticas y económicas de la cuenca, culturalmente aceptables y socialmente justos, con miras al bienestar de los pobladores, que dependen de esa producción. La ordenación así concebida constituye el marco para planear el desarrollo integral de la cuenca, y programar la ejecución de proyectos específicos de aprovechamientos hidráulicos.

Se debe pensar que, en todo momento, la actividad cotidiana del hombre incluye una serie de fenómenos que se fundamentan en los recursos naturales, en su aprovechamiento, comprensión y manejo adecuado. Es así, como las acciones descritas permiten una vida en armonía con el medio, obteniendo de él una serie de beneficios, sin destruirlo o deteriorarlo, más allá de lo imprescindible.

5.2 DESARROLLO DEL CONCEPTO DE MANEJO DE CUENCAS A NIVEL MUNDIAL

La constatación de que la cuenca hidrográfica constituye la unidad espacial más adecuada para coordinar esfuerzos de desarrollo, no es privilegio de los planificadores de nuestro tiempo. Ya en la época del Imperio Romano se constituyeron asociaciones en algunas de las cuencas principales de Europa, para asegurar la navegabilidad de los cauces fluviales, y promover el comercio.

Las ideas iniciales del manejo de cuencas en los Estados Unidos fueron establecidas a fines del siglo diecinueve, se hicieron en relación con la influencia del bosque sobre el medio ambiente, tomando como objetivo principal la protección. Por ser estas cuencas montañosas un medio esencialmente forestal, en el desarrollo de estas ideas los forestales jugaron un papel importante; sin embargo, la falta de un criterio científico, los llevó a exagerar la influencia del bosque, llegándose a argumentar dos ideas cuya validez científica era cuestionable: la primera, que el bosque, por si solo, controlaba las inundaciones; y la segunda, que la presencia del bosque aumentaba la precipitación.

La reacción de ciertos ingenieros y geólogos, en el sentido de negarle al bosque toda influencia en el control de las crecidas, permitió que, posteriores investigaciones, aclararan en una mejor forma cuál es la relación entre el uso de la tierra, bosque, escorrentía y producción de sedimentos.

El estado actual de los conocimientos en relación al efecto del bosque sobre la hidrología de cuencas, previamente deforestadas, es el siguiente:

- El bosque produce una gran disminución en la erosión y producción de sedimentos.
- El bosque produce un aumento en la pérdida de agua por evapotranspiración, disminuyendo el rendimiento hídrico.
- El bosque puede absorber completamente lluvias de baja intensidad, de tal manera que no se produce escorrentía.
- El bosque puede ejercer una modificación considerable en la forma del hidrograma, para lluvias cuya precipitación excedente es una fracción pequeña de la lluvia total.

- El bosque no produce un efecto discernible sobre la magnitud de los picos de caudal para grandes crecidas; sin embargo, durante estas crecidas existe poco incremento en la producción de sedimentos, si se compara con áreas sin vegetación boscosa. Las grandes crecidas, normalmente, son consecuencia de lluvias de larga duración que afectan áreas extensas, o lluvias que ocurren en condiciones de saturación previa de los suelos, por precipitaciones anteriores.
- Cuando se efectúan reforestaciones o se induce el mejoramiento protector en el tipo de cobertura vegetal, se observa que el efecto hidrológico aparece lentamente.

La Sociedad de Forestales Americanos, en López y Hernández (1972), define el manejo de cuencas como "la aplicación de métodos y principios técnicos para el manejo de todos los recursos naturales renovables en una cuenca, con el objeto de asegurar el máximo suministro de agua usable, régimen deseado, prevención y control de erosión y reducción de inundaciones y sedimentación".

Otro concepto es el propuesto por Dils, quien dice que "el manejo de cuencas es el manejo de la tierra para la óptima producción de agua de alta calidad, la regulación del rendimiento hídrico, la máxima estabilidad del suelo, además de surtir otros productos del suelo" (en López y Hernández, 1972).

Por las definiciones anteriores, se nota que el enfoque norteamericano de manejo de cuencas enfatiza en el rendimiento hídrico, control de la calidad del agua y estabilidad del suelo; es decir, el manejo del agua, a través del manejo de las vertientes.

En Europa se desarrolló el concepto de corrección de torrentes, diferente, en ciertos aspectos, al enfoque norteamericano de manejo de cuencas. Esta diferencia es

producto de una orografía más reciente, y una mayor densidad de población en las zonas montañosas. En estas montañas existen cuencas pequeñas, con vertientes muy empinadas, en formaciones geológicas inestables, que al ser sometidas a lluvias intensas responden con crecidas que presentan hidrogramas de picos pronunciados, y elevado arrastre de carga del lecho.

Estos problemas han sido y son desarrollados independientemente de las actividades del hombre; sin embargo, las deforestaciones en suelos montañosos agravaron su incidencia. Al mismo tiempo que ocurrían estas deforestaciones en las vertientes, se producía una intensificación de uso no planificado de las tierras en las zonas inmediatas a las gargantas de los torrentes y en los valles intermontañosos. Surge entonces la necesidad de la protección de estas zonas contra las crecidas de los torrentes, lo que originó el desarrollo de la disciplina de corrección de torrentes, que, según la definición dada por Keller (en López y Hernández, 1972), tiene como objetivos proteger las obras y actividades en la parte inferior de los torrentes, y reducir al mínimo la erosión y el transporte de carga del lecho.

En el enfoque europeo se hace muy poca o ninguna consideración al rendimiento hídrico y calidad del agua, destacándose más las labores de protección y restauración.

A diferencia de los Estados Unidos, donde la mayoría de las cuencas se encuentra forestada o en estado natural, en los países en desarrollo las cuencas se encuentran densamente pobladas, y afectadas por la agricultura de subsistencia, lo que ha conllevado a que, en estos países, el objetivo de manejo de cuencas se centre, fundamentalmente, en el control de la erosión y la sedimentación.

5.3 DESARROLLO DE LAS ACTIVIDADES DE MANEJO DE CUENCAS EN COLOMBIA

Desde el período de la Independencia se observa cierta preocupación por los recursos naturales, aunque sin relacionar directamente los aspectos ambientales, los reguladores de caudales y otros aspectos críticos.

La primera ocasión que Colombia se inició en el estudio de los problemas torrenciales, y en el enfoque de sus soluciones, dentro de la concepción unitaria de cuencas hidrográficas, fue en el año de 1926. En esa época Julius Berger llevó a cabo estudios en la cuenca del río Magdalena.

Durante la primera mitad del siglo veinte no se tenía una idea clara, por parte de los técnicos, administradores y políticos, acerca del origen de los problemas de desequilibrio hídrico, erosión y consiguientes repercusiones ambientales.

En el período 1940–1960, se concretan los primeros programas parciales en cuencas hidrográficas, por acción del Servicio Técnico Agrícola Colombo Americano, STACA, cuya actividad principal fue la reforestación. La práctica de reforestación, naturalmente, implicaba la adquisición de las tierras que afectaban las fuentes de aprovechamiento de agua, para plantarlas con especies introducidas (coníferas y eucaliptos), convirtiéndose esta modalidad en la panacea, para los problemas de nuestras cuencas, en la abrupta topografía de las tres cordilleras. Esta solución fue adoptada por las empresas municipales de abastecimiento de agua más solventes, pues implicaba cuantiosas erogaciones. Es así como se establecen plantaciones en buena parte de las cuencas de los ríos San Francisco y San Cristobal, cerca a Bogotá; Piedras Blancas, en Medellín; Blanco, en Manizales; Tona, en Bucaramanga; Otún, en Pereira y río Cali, en la ciudad de Cali.

Cuando se quiso hacer extensivo el anterior sistema a otras tierras de ladera, donde los cultivos limpios estaban ocasionando desequilibrios marcados, se originaron

conflictos sociales, pues se trataba de parcelas de autoconsumo, pertenecientes a minifundistas. Se crearon así situaciones de agudo enfrentamiento entre la autoridad, que procuraba asegurar la conservación de los recursos naturales, y los campesinos y colonos que temían ser expulsados de sus tierras.

Pronto se presentó otro elemento adverso, que se sumó a los conflictos sociales inherentes a esta política conservacionista desconcertada. En las tierras erosionadas y empobrecidas por los cultivos limpios, el bosque plantado no pudo cumplir, en muchos casos, la función de producción de madera que se pretendía obtener, adicional a la función protectora. Los costos de establecimiento, mantenimiento y fomento de las plantaciones, al no tener una justificación económica evidente, conllevaron al cambio progresivo de las reforestaciones por la regeneración natural, la cual aseguraba de manera eficaz, y a menor costo, la protección de las cuencas receptoras.

Ante la imposibilidad de reubicar en tierras aptas para actividades agropecuarias a toda la población que se encontraba en zonas quebradas marginales, y no habiendo sido satisfactorios los resultados de la orientación que se había dado al manejo de cuencas, bajo la inspiración de las técnicas introducidas por STACA, conforme a lo que en Estados Unidos se denomina “watershed management” (manejo de vertientes), se imponía un replanteamiento de la política.

Por esa misma época, los estudios de cuencas no obedecían a ninguna metodología específica. Así por ejemplo, en el estudio de cuencas para el establecimiento de hidroeléctricas, sólo se consideraba la hidrología y la geología, sin contemplar la protección y conservación de los demás recursos naturales, necesarios para garantizar la utilización permanente y óptima del recurso agua.

Ante los anteriores problemas, y la falta de cohesión y coordinación entre los organismos ejecutores del Estado, conjuntamente con los problemas de uso irracional de los recursos naturales, y las perspectivas favorables que planteaban

algunas cuencas del país, como un medio natural y propicio para un desarrollo integrado de todos sus recursos, se creó, en el año de 1954, con el fin de imitar el exitoso modelo de la Tennessee Valley Authority (TVA), y bajo la orientación de uno de sus primeros directivos, Arthur Lillienthal, la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC), con jurisdicción sobre la cuenca superior del río Cauca.

Con la creación de la CVC, se introduce al manejo de cuencas, en el país, el concepto de ordenamiento y desarrollo integral de cuencas, con propósitos múltiples.

A partir de 1968, al reestructurarse el sector agropecuario, se crea, mediante el Decreto número 2420, el Instituto de Desarrollo de los Recursos Naturales Renovables (INDERENA), teniendo bajo su responsabilidad, entre otras funciones, la de adelantar labores de ordenación de cuencas hidrográficas, y promover su desarrollo integral.

La tendencia predominante del INDERENA fue la de fundamentar la planificación del manejo de las cuencas en numerosos y detallados estudios, sin que estos obedecieran a unos objetivos claros, con respecto al manejo, y sin que se le diera mucha importancia a la condición interdisciplinaria de los diferentes estudios, soportes del plan.

En la década de los años setenta, la CVC define las fases de la planificación así: 1) acercamiento comunitario, 2) diagnóstico, 3) formulación, 4) ejecución, 5) control y 6) evaluación. Para esa época, dicha Corporación tenía en funcionamiento 28 unidades de manejo, en el área de su jurisdicción. Las experiencias anteriores, unidas a las de otras corporaciones y organismos del estado, van generando conocimientos que permiten mejorar los esquemas metodológicos de la planificación, para el manejo integral de las cuencas.

Prieto, R. (1982), hace un balance de las acciones realizadas hasta 1979, en los programas de ordenación y manejo de cuencas hidrográficas, considerando que estas acciones no habían alcanzado el éxito esperado, por las siguientes causas:

- Se pretendió llevar a cabo, en un comienzo, grandes proyectos de desarrollo rural integral en las cuencas, sin que se contara con la suficiente investigación y experiencia institucional.
- Los recursos financieros puestos a disposición de las instituciones, para el manejo de cuencas hidrográficas, no correspondían a la magnitud que demandaban sus problemas.
- La no existencia de mecanismos apropiados de coordinación interinstitucional, que permitieran concertar e integrar esfuerzos técnicos y financieros.
- La falta de toma de conciencia en instituciones que usufructúan el recurso hídrico, dando total importancia al aprovechamiento intensivo de los recursos que integran la cuenca, y no a la necesidad de tomar medidas para su utilización permanente, y rendimiento sostenido.
- Falta de instrumentos legales apropiados en ordenamiento y manejo de cuencas, de manera especial, para la definición de competencias institucionales, metodologías de trabajo, mecanismos de financiación, y participación de los usuarios de las cuencas.

El incremento del desarrollo hidroeléctrico nacional, con gran inversión de recursos financieros, así como el abastecimiento de agua potable para diversas comunidades, y el desarrollo agropecuario intensivo bajo riego, permitieron identificar una fuerte presión, cada vez mayor, sobre los recursos hídricos. Esta importancia del recurso

hídrico determinó, a partir de 1979, los siguientes hechos y cambios positivos, a nivel nacional (Prieto R., 1982):

- Montaje de proyectos piloto por parte del INDERENA y la CVC, en busca de mayor investigación e identificación de modelos de ordenamiento y manejo.
- Las instituciones que administran el sector eléctrico empezaron a tomar conciencia sobre la importancia de la conservación del recurso hídrico, constituyendo unidades técnicas, y destinando recursos financieros para este fin (Ley 56 de 1981).
- Al desarrollo de acueductos veredales o regionales, se incorporaron los trabajos de conservación de suelos y aguas, con la participación de la Federación de Cafeteros, en zonas cafeteras, y del Programa de Desarrollo Rural Integrado, DRI, en zonas de minifundio.
- La aprobación, por parte del Gobierno Nacional, del Decreto Reglamentario de Cuencas Hidrográficas, Decreto 2857 de 1981, dio los instrumentos legales para la adopción de nuevas estrategias y enfoques en este campo.

A finales de los años setenta y principios de la década de los ochenta, la CVC introduce el elemento de participación comunitaria en el proceso de planificación, esboza el carácter de la cuenca como un sistema, identifica unidades de manejo experimental demostrativo, en su jurisdicción, y acoge la modalidad de proyectos operativos, en los diferentes planes de manejo en ejecución.

A partir de 1982 se realizan, respectivamente, en Medellín, Bucaramanga y Cali, el primero, segundo y tercer Congreso Nacional de Cuencas Hidrográficas. Allí se presentan experiencias y resultados logrados en las actividades de planificación y manejo de cuencas hidrográficas, y se plantea la necesidad de crear una asociación

de cuencas hidrográficas, que equivale a lo que fue la Red Nacional de Cooperación para el Ordenamiento y Manejo de las Cuencas Hidrográficas, RENORDE, proyecto este del Plan de Acción Forestal para Colombia, PAFC.

En el año de 1983 el Proyecto Cuenca Alto Magdalena (PROCAM), del INDERENA, después de varios años de conceptualización y negociación, se empieza a ejecutar con tres cuencas piloto, en los Departamentos de Huila y Tolima; siendo estas las de los ríos Yaguará y las Ceibas, en el Departamento del Huila, y Combeima en el Departamento del Tolima. Con estos tres proyectos, de tipo experimental demostrativo, se esperaba generar experiencias e investigación, que permitieran la extrapolación de resultados a otras cuencas de la región. Sin embargo, problemas de financiación dieron por terminado este proyecto en el año de 1988.

El PAFC ratifica el papel fundamental de la cuenca en el proceso de planificación del manejo del bosque, facilitando así el estudio de este ecosistema, y de sus interacciones con los otros componentes del sistema cuenca hidrográfica. De esta forma, dentro de los proyectos del PAFC, figuraron algunos como el de manejo de microcuencas y RENORDE, que permitieron generar conocimientos para la toma de decisiones, en las diferentes instancias del manejo integral del ambiente, y de la base natural de recursos.

El tema del manejo integral de cuencas hidrográficas tiene hoy amplia difusión, y la Constitución de 1991 le hace un reconocimiento cuando plantea, en el artículo 331, la necesidad de crear la Corporación Autónoma Regional del Río Grande de la Magdalena.

Con la aprobación de la Ley 99 de 1993, se establece que la administración del medio ambiente y los recursos naturales renovables estará, en todo el territorio nacional, a cargo de las corporaciones autónomas regionales, las cuales tendrán, entre otras funciones, la de ordenar y establecer las normas y directrices para el manejo de las cuencas hidrográficas ubicadas dentro del área de su jurisdicción.

Mediante la Ley 161, del 3 de agosto de 1994, se organiza la Corporación Autónoma Regional del Río Grande de la Magdalena, CORMAGDALENA, se determinan sus fuentes de financiación, y se dictan otras disposiciones para su funcionamiento.

En 1994, el Gobierno Nacional (Departamento Nacional de Planeación y Ministerio del Medio Ambiente), desarrolla, a través del Programa Ambiental y de Manejo de Recursos Naturales (PAMRN), el subprograma de microcuencas, el cual es cofinanciado con recursos externos, y que tiene como propósitos promover la reforestación protectora y productora-protectora en las microcuencas del país.

La ejecución de los proyectos de protección y rehabilitación de microcuencas estuvo, desde un comienzo, encomendada a las corporaciones autónomas regionales. Estas por su naturaleza y funciones, se consideraron ejecutoras adecuadas para adelantar los proyectos elegibles.

La participación de la comunidad ha sido requisito indispensable para la ejecución de los proyectos de microcuencas, en el marco del PAMRN, procurando que las comunidades estén permanentemente involucradas en el proceso de identificación, ejecución y seguimiento de las acciones, con el fin de que se apropien y asimilen el proyecto en toda su dimensión. Esta metodología, que podría considerarse novedosa, pretende promover y comprometer la sostenibilidad de los diferentes proyectos de microcuencas, una vez culminada la fase de cofinanciación, con recursos de crédito externo.

Igualmente, se ha pretendido lograr que los usuarios, vinculados al subprograma, ejerzan una función de multiplicadores, que oriente cambios de actitud en relación con el uso del suelo, cuyo efecto neto sea una reducción efectiva del avance de la deforestación, y sus consecuencias sobre el régimen hidrológico. En este sentido, el subprograma busca no sólo la recuperación de áreas degradadas, sino prevenir su deterioro.

A través del subprograma de microcuencas se han ejecutado actividades en 341 microcuencas, localizadas en 23 departamentos y 254 municipios.

Durante el año de 1999, CORMAGDALENA convocó a los entes territoriales, instituciones, gremios, organizaciones no gubernamentales, universidades y ciudadanía, en general, a una serie de foros con el fin de unir esfuerzos en torno a la formulación del “Plan de ordenamiento y manejo integral de la cuenca del río Grande de la Magdalena”. Con la formulación de este plan se espera que el mismo sirva de escenario para asumir compromisos que permitan planificar, coordinadamente, la cuenca, desarrollar el transporte intermodal, asociado al río Magdalena, y usar y aprovechar sosteniblemente sus recursos naturales.

Actualmente se desarrolla el Programa de implementación del Plan estratégico para la restauración y el establecimiento de Bosques en Colombia (Plan Verde): Bosques para la Paz, cuyo objetivo es el de implementar acciones para la restauración de servicios ambientales de los ecosistemas, a través del establecimiento y manejo de coberturas vegetales, con participación activa de las comunidades, que permitan la restauración de ecosistemas, mejorar la oferta de bienes y servicios ambientales, atenuar el impacto de los procesos de degradación, y contribuir al mejoramiento de la calidad de vida de la población. El Programa está orientado a promover acciones de restauración de ecosistemas degradados, la reforestación protectora, protectora-productora, y la agroforestería. En la implementación del Programa se vinculan las entidades territoriales, las corporaciones autónomas regionales, y las comunidades participantes en los proyectos.

5.4 EVOLUCIÓN DE LA PLANIFICACIÓN DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS HACIA EL CONCEPTO DE DESARROLLO INTEGRADO

Con el aumento creciente de la población, se ha incrementado notoriamente la destrucción de los recursos naturales; esto ha determinado la necesidad de planificar, científicamente, la utilización, no sólo de los recursos hídricos, sino de

todos los recursos naturales, para que, de esta forma, sea posible conciliar la utilización económica de los mismos con su conservación.

La demanda de recursos por parte de la población concentrada en las grandes ciudades, normalmente, sobrepasa las fronteras de la cuenca, y es importante la presión sobre el entorno respecto a tierras para la expansión urbana, áreas de cultivo, consumo de agua, materiales para construcción y otros recursos. La presión que genera la población rural se puede asumir que se hace, por lo general, dentro de los límites de la cuenca o en un entorno más limitado.

El concepto de desarrollo integrado de cuencas hidrográficas puede considerarse como un concepto reciente, y en su aparición jugaron un papel importante una conjunción de circunstancias que se dieron a fines del siglo diecinueve y comienzos del veinte, que crearon condiciones propicias para utilizar las cuencas como marco de planificación del desarrollo integrado. Esas circunstancias fueron:

- La degradación extrema de las zonas de montaña con alta presión demográfica, como los Alpes, en Europa, y los Apalaches, en los Estados Unidos; y los daños causados por los fenómenos torrenciales y las inundaciones.
- El movimiento conservacionista que se dio en los Estados Unidos, y el esfuerzo de restauración de los Alpes, iniciado en la segunda mitad del siglo diecinueve.
- El descubrimiento de la turbina hidráulica y del hormigón, que dieron origen a las grandes presas, y con ello a la posibilidad de aprovechamientos hidráulicos con propósitos múltiples.

- La revolución industrial que impuso una racionalización en el empleo de los recursos, y que dio origen a nuevas tecnologías, tales como el empleo de fertilizantes y la mecanización agrícola, que permitieron el desarrollo intensivo de las tierras de alto potencial agrícola, facilitando, a su vez, los cambios en el uso de la tierra, y la emigración de población, en condición precaria, de las tierras marginales.

En 1928 se aprobó, en los Estados Unidos, la construcción de la represa Hoover, la primera gran presa para uso múltiple: producción de energía, riego, abastecimiento de agua para la población, y recreación.

La más notable de las organizaciones a nivel de cuenca, la TVA, creada en 1933, tuvo el más grande impacto en la época de la gran depresión económica, y en una región de extrema pobreza, en los Apalaches. Esta organización surgió con los siguientes objetivos principales: control de inundaciones, generación de energía hidroeléctrica, desarrollo agrícola, conservación de vertientes, desarrollo de recursos forestales y recreación.

Pero, al lado de las obras de gran envergadura, a nivel de grandes cuencas hidrográficas, es necesario destacar los esfuerzos de desarrollo integrado a nivel de pequeñas cuencas. En 1953 había en los Estados Unidos, 800 organizaciones locales responsables del desarrollo de pequeñas cuencas; a raíz de la ley de protección de cuencas y prevención de inundaciones, aprobada en 1954, más de 900 proyectos de ordenación de cuencas, con participación activa de la comunidad local, habían sido aprobados hasta 1975.

A partir de 1950, la TVA orientó su esfuerzo hacia el establecimiento de organismos que canalizaran la participación de las fuerzas vivas, a nivel de cuencas tributarias. La comunidad local se expresa allí a través de cabildos abiertos, desde la fase de planificación, y desempeña un papel activo en la ejecución de los programas.

En este sentido, el enfoque de desarrollo integrado de cuencas se puede aplicar a unidades espaciales de diversa magnitud (cuenca, subcuenca, microcuenca, vereda, finca), y con marcos institucionales de diverso tipo.

“Desarrollo integrado de cuencas y ordenación integrada de cuencas vienen a ser sinónimos, cuando se considera la conjunción de todos los factores (físicos, bióticos, sociales y económicos), y las actividades se enmarcan dentro de los conceptos de aprovechamiento con propósitos múltiples, rendimiento sostenido de los recursos naturales renovables, ordenación del territorio y optimización de la calidad de vida” (Botero, L.S., 1982).

Particular énfasis debe darse, en la concepción y en la ejecución de proyectos de ordenación de cuencas, al papel de la comunidad local. En la mayoría de los casos, el ordenador de cuencas tiene que trabajar con el campesino, y a través de los grupos locales organizados. El trabajo con la comunidad debe enmarcarse dentro del enfoque de desarrollo rural integrado, con el fin de que los trabajos de conservación, ligados a esfuerzos de incremento de la producción y de mejoramiento del nivel de vida, puedan ser asimilados por el campesino, dentro de fórmulas tecnológicas apropiadas para las tierras de ladera.

Una síntesis bien lograda de la evolución del desarrollo de cuencas hidrográficas hacia el concepto de desarrollo integrado, fue presentada en el Seminario Interamericano sobre desarrollo de cuencas hidrográficas realizado en Mérida, Venezuela, en noviembre de 1978. En la figura 12, se esquematiza lo que ha sido la evolución de la planificación de cuencas hidrográficas hacia el concepto de desarrollo integrado. Inicialmente, el objetivo principal se centró en el control de inundaciones, el cual demanda conocimientos técnicos aplicados (ingeniería, edafología, hidrología), a fin de conseguir estructuras de control (diques, riego, corrección de torrentes), y determina una sola posible alternativa de acción. Progresivamente se van incorporando conocimientos de apoyo que van desde las ciencias sociales hasta la ecología, incrementando los propósitos y actividades, que incluyen el bienestar y

los recursos naturales. Aparecen entonces, en el proceso de toma de decisiones, los modelos de optimización, como instrumentos eficientes en el manejo de relaciones complejas.

Los enfoques sobre manejo de cuencas han evolucionado en todos los países. De una visión centrada en el manejo del agua, se va pasando, paulatinamente, a considerar el uso múltiple del recurso, al manejo de las áreas de captación, y al aprovechamiento de todos los recursos naturales e incluso, a la consideración de acciones para el desarrollo integral de los habitantes de las cuencas. La concepción hidrológico-forestal del manejo de cuencas, es decir, la sola producción de agua y madera, es algo que ha quedado como cosa del pasado, dando paso a la concepción de varios tipos de producción, tales como: agrícola, forrajes, ganadería, vida silvestre, recreación, etc.

El administrador de cuencas debe dedicar esfuerzo a la administración de cada elemento dentro de un contexto integral, y resolver los conflictos que puedan presentarse. Para ello, se requiere de una perspectiva de uso múltiple, que le permita lograr un manejo de cuencas integrado y sostenible, especialmente en los países en desarrollo, donde grandes comunidades de pobladores rurales dependen de una variedad de recursos que se producen en las partes altas de las cuencas, en donde las actividades desordenadas de manejo han conducido a su degradación, y han originado impactos aguas abajo. La solución a estos problemas está en diseñar estrategias de manejo que permitan la diversificación y el incremento de los ingresos, a través de la producción agrícola, y el aprovechamiento de los recursos naturales, pero, promoviendo los objetivos de conservación del suelo, del agua y la vegetación.

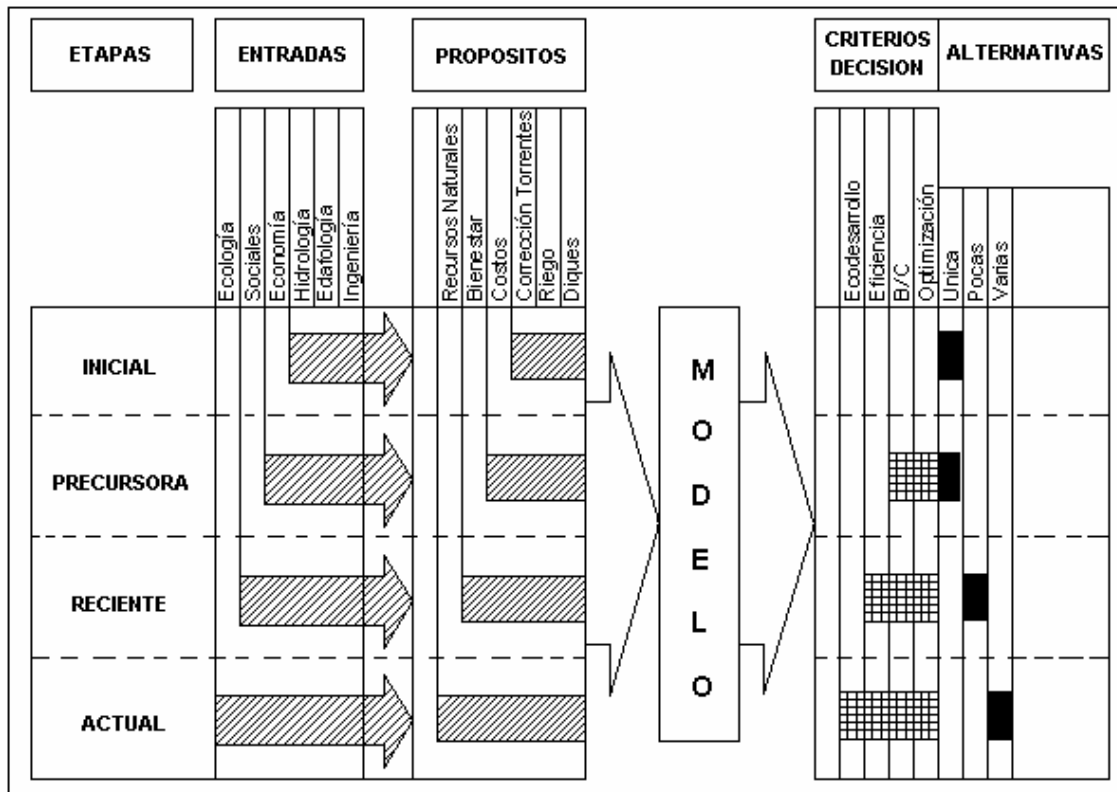


Figura 12. Evolución de la planificación de cuencas hidrográficas hacia el concepto integrado de desarrollo. Fuente: Rabinovich, J. E. (modificación del original), en Seminario Interamericano sobre desarrollo de cuencas hidrográficas, (1978).

Infelizmente, por lo general, al manejo sostenible de las cabeceras de las cuencas se le asigna una prioridad, relativamente, baja, en comparación con los supuestos beneficios mayores y más inmediatos que pueden lograrse con las inversiones económicas en las cuencas bajas, tales como: la irrigación para la agricultura mecanizada, el suministro de agua para consumo humano e industrial, la producción piscícola y el desarrollo turístico. Los formuladores de políticas, los inversionistas y otros interesados, suelen hacer caso omiso de los servicios ambientales cruciales y los beneficios económicos que produce un buen manejo de las cuencas altas, tanto para la salvaguarda de las poblaciones y las inversiones económicas y sociales en las cuencas bajas, así como en el aseguramiento de otros

servicios ambientales esenciales, como el aseguramiento y protección de las fuentes de agua y la regulación del clima.

El término “uso múltiple” puede estar orientado al manejo de un recurso o al manejo de un área. En el primer caso, se refiere al hecho de que el mismo recurso puede ser usado para varios propósitos; por ejemplo, el agua puede ser usada para riego, industria, consumo humano, generación de energía, producción agropecuaria, recreación, pesca, etc. Este tipo de manejo depende de los conocimientos que se tengan sobre el efecto que produce el manejo de un recurso sobre el uso de los demás recursos, o el efecto de un uso del recurso, sobre otros usos del mismo recurso. El uso múltiple aplicado al área, significa el manejo simultáneo de varios recursos naturales.

Para poder aplicar en forma óptima el término “uso múltiple”, en el manejo de cuencas, se deben tomar en cuenta las siguientes consideraciones: 1) mediciones locales de la producción de los recursos naturales y agropecuarios, para el sistema de manejo de uso múltiple que se esté considerando; 2) conocimiento de la relación costos-beneficios directos, asociados con cada alternativa; y 3) reconocimiento de los impactos relacionados con cada alternativa (CEPAL, 1999).

El manejo integral de un sistema natural, en este caso una cuenca hidrográfica, tan sólo es posible a partir del momento en que se conozcan los complejos mecanismos que lo mantienen en funcionamiento. El ordenamiento y manejo de un ecosistema depende del conocimiento que se tenga de su estructura, dinámica y función, para que, así, cualquier intervención humana esté en armonía con la naturaleza, y no violente su equilibrio.

La definición clásica de un ecosistema es que se trata de una unidad de organización, formada por todos los organismos de un área, que actúan entre ellos mismos y el medio ambiente físico. Un ecosistema grande, como por ejemplo una cuenca hidrográfica, contiene muchos otros ecosistemas: bosques, lagos, ríos,

terrenos agrícolas, pastizales, e incluso ciudades. Existe una porción biológica que incluye al hombre; también existe una porción física que influye en las actividades de la porción biológica. Hay, en fin, un gran número de procesos que condicionan las interacciones entre los componentes. Estas interacciones pueden ser definidas por flujos y ciclos de materia y energía, y pueden medirse por calorías, gramos, litros, toneladas o dinero, así como por los movimientos y el comportamiento de las poblaciones.

El conocimiento de la estructura de un ecosistema requiere de varias disciplinas, tales como: la anatomía, la fisionomía (elementos florísticos y faunísticos), el análisis biotipológico (estudio de los biotipos y sus correlaciones), y el estudio de los patrones de distribución de especies y comunidades, y de la biomasa.

La dinámica de los ecosistemas incluye la investigación de los factores cambiantes en el tiempo y en el espacio, tales como: la fenología (floración y fructificación), la regeneración natural, y las etapas sucesionales, entre otras.

Para el estudio de la función, se necesita el análisis de la oferta y demanda ambiental, de las tasas de descomposición y respiración, de los ciclos de minerales, y de la biología de las especies.

El ecosistema como unidad básica funcional de la naturaleza, constituye una medida importante para delimitar regiones y planificar su desarrollo integrado, ya que permite obtener una noción específica de cada factor, y global de la región en estudio, como resultante de la interacción entre todos los factores físicos, y las comunidades vivas que lo habitan, incluyendo el hombre.

Los ecosistemas no permanecen estáticos, al contrario, están en modificación constante; la materia y la energía se transforman, entran y salen a través de vectores biológicos y físicos. Como los ecosistemas son sistemas abiertos, y existe comunicación constante entre ellos, su delimitación es puramente convencional y, de

acuerdo con el área de interés, ha de ser investigada. En esta concepción, teórica y práctica, se fundamenta la importancia del ecosistema como unidad de estudio para planificar el desarrollo integral de cualquier región, independientemente de su extensión y localización, puede tratarse de un departamento, un municipio, un parque nacional o una cuenca hidrográfica.

En la cuenca hidrográfica, los principales factores físicos o abióticos son los meteorológicos, edafológicos, geomorfológicos e hidrológicos; los factores bióticos o comunidades vivas son la fauna y la flora. La interacción entre todos los factores, y las actividades humanas que actúan sobre ellos, determinan la situación actual de la cuenca.

El análisis de cada factor debe ser elaborado desde el punto de vista de su importancia o función en el sistema de la cuenca, considerando los aspectos generales, el potencial productivo y la utilización actual del recurso, posible impacto o susceptibilidad a ser degradado por las actividades humanas y, finalmente, recomendaciones, normas y directrices, para una mejor utilización.

Esta metodología de análisis permite obtener una visión individual de cada factor, y del sistema de la cuenca como un todo, y constituye el único camino científico para elaborar un plan de manejo integrado, pues este concepto ecológico implica conocer los mecanismos que mantienen en funcionamiento el sistema, para poderlo guiar a objetivos específicos y determinados.

El desarrollo integrado de cuencas hidrográficas implica que las consideraciones ecológicas son tan fundamentales en la planificación, como lo son las económicas, políticas y sociales. Es un concepto de desarrollo integrado, no sólo desde el punto de vista de conocer los sistemas naturales, sino, también, integrado en el sentido de una participación interinstitucional, para que pueda existir una metodología común de trabajo, coordinada por los mismos principios, y teniendo como objetivo,

fundamental, satisfacer las auténticas aspiraciones, necesidades de transformación y progreso de la región.

5.5 OBJETIVOS POSIBLES DENTRO DEL DESARROLLO INTEGRAL DE GRANDES CUENCAS HIDROGRÁFICAS

Las cuencas hidrográficas por ser las unidades físicas en las cuales tienen lugar todos los procesos naturales, son, así mismo, las unidades naturales y lógicas para el desarrollo agrícola, ambiental, social y económico. Con el crecimiento demográfico y el aumento de las necesidades de urbanización, industrialización y producción de alimentos, los efectos de la actividad antropogénica ya no se limitan sólo a zonas pequeñas, ni a una comunidad en particular; siendo esta la razón por la que deben examinarse en el contexto más amplio en el que ocurren.

Aunque en las cuencas de mayor tamaño las obras hidráulicas tienden a desempeñar un papel preponderante, la tendencia en el manejo integral de cuencas hidrográficas es hacia una diversificación de objetivos y programas, que contribuyan a la conservación y el aprovechamiento de los recursos naturales, y a la promoción del desarrollo regional. En el cuadro 2, se esquematizan algunos objetivos posibles dentro del desarrollo integral de grandes cuencas hidrográficas.

5.6 IMPORTANCIA DEL MANEJO DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS

El manejo de cuencas establece una serie de medidas con las cuales se quiere disminuir el impacto negativo, tanto en lo económico como en lo social, de las actividades desarrolladas por el hombre en el manejo de los recursos naturales. La importancia del manejo de cuencas hidrográficas se puede analizar a partir de los siguientes aspectos: 1) control de erosión y sedimentación, 2) control de inundaciones, 3) abastecimiento de agua para las ciudades, y 4) desarrollo social y económico.

Cuadro 2. Objetivos posibles dentro del desarrollo integral de grandes cuencas hidrográficas

Propósito	Descripción	Tipos de trabajos y medidas
Control de inundaciones	Prevención o reducción de daños por inundaciones a obras y actividades. Regulación de ríos.	Diques, presas, muros, mejoramiento hidráulico del cauce, zonificación, medidas de pronóstico.
Irrigación	Producción agrícola	Diques, presas, embalses, pozos, canales, bombas, obras de drenaje, etc.
Desarrollos hidroeléctricos	Suministro de energía eléctrica para desarrollo económico	Diques, presas, embalses, salas de máquinas, líneas de transmisión, etc.
Navegación	Transporte de bienes y pasajeros	Diques, presas, embalses, canales, esclusas, mejoramiento hidráulico del cauce, etc.
Manejo de cuencas	Conservación y mejoramiento del suelo, control de erosión, regulación de la escorrentía, control de sedimentos y protección de embalses, mejoramiento de bosques y pastizales, protección de la calidad del agua.	Corrección de torrentes y regulación de ríos torrenciales, prácticas de conservación de suelos, pequeños embalses para conservación del agua, manejo silvo-pastoril.
Acueductos	Suministro de agua para uso doméstico, industrial, comercial y otros.	Diques, presas, embalses, pozos, red de distribución, bombas, planta de tratamiento, etc.
Uso recreacional del agua	Ofrecer oportunidad de recreación basado en el recurso agua.	Embalses, parques, muelles, etc.
Piscicultura y vida silvestre	Mejoramiento del hábitat para peces y vida silvestre con propósito de recreación y otros, fomento de la piscicultura como actividad deportiva y comercial	Refugios, viveros, escaleras para peces, regulación del régimen, embalses, control de la contaminación, regulación en el uso de la tierra.
Reducción de la contaminación	Protección o mejoramiento de la calidad del agua de acuerdo al uso doméstico, industrial, comercial, agrícola, pecuario y hábitat acuático	Planta de tratamiento, embalse de regulación, sistema de alcantarillas, regulación de medidas legales.
Drenaje	Producción agrícola, desarrollo urbano, protección de la salud pública.	Zanjas, drenes, muros, estaciones de bombeo, etc.

FUENTE: López, J. y Hernández, E. (1972)

5.6.1 Control de erosión y sedimentación. Dentro de los objetivos posibles del manejo de cuencas, en nuestro medio, este es, tal vez, el principal. Esta aseveración se sustenta en las siguientes realidades: 1) la región Andina, por naturaleza, es en su mayoría inestable, caracterizada por una intensa actividad de modelado, con vertientes empinadas, y formaciones geológicas frágiles; 2) los suelos son muy jóvenes y, en su mayor parte, reciben influencias tropicales agresivas, como altas temperaturas, brillo solar intenso y lluvias abundantes; 3) el clima, como se acaba de mencionar, presenta características de agresividad, en especial las precipitaciones de alta intensidad; 4) el uso inapropiado de los suelos, donde se tiene una actividad agrícola y pecuaria relativamente densa en las montañas, y con prácticas de manejo inadecuadas; y 5) la alta concentración de la población en áreas montañosas, valles intermontañosos o pie de montes; todos estos aspectos son factores que inciden y condicionan, en mayor o menor grado, la estabilidad de las formaciones superficiales del país, favoreciendo el arrastre y deposición de materiales, que originan cuantiosas pérdidas económicas y de vidas humanas.

En general, en Colombia se aprecia una gran inestabilidad en las zonas de cañones de las cordilleras; es decir, en las fuertes y profundas depresiones por donde corren ríos torrentosos. Estos cañones son muy inestables, debido a que se encuentran, generalmente, sobre líneas de falla y fracturas, con control parcial de la red de drenaje, y sobre pendientes muy fuertes. En estas zonas predominan procesos erosivos importantes, como: desplomes, derrumbes y flujos torrenciales.

Se podría sintetizar lo anterior, diciendo que son variadas y complejas las causas, formas y dinámicas de la erosión del suelo en Colombia. El relieve y la naturaleza de las formaciones superficiales y geoformas, así como la influencia tectónica, asociada a otros aspectos como: el clima, los procesos de alteración, la retención de la humedad y la pendiente, inciden y condicionan, en mayor o menor grado, los diversos tipos de erosión que se manifiestan en el país.

La gran dinámica de los paisajes andinos colombianos obliga a asociar, a estos, amenazas y riesgos sobre la población, sus obras y sus actividades, como consecuencia de la actual formación del relieve. Así, por ejemplo, un deslizamiento en la alta o media montaña tendrá consecuencias localmente, en la baja montaña y en los valles aluviales. Las montañas actúan como un sistema de transferencia, en donde existe movilización de materiales desde las partes altas hacia las bajas.

La influencia del hombre en este proceso puede ser crucial, la sola intervención en una vertiente en proceso de ajuste, como puede ser la construcción de una carretera, acelera los procesos de remoción en masa.

Debido al carácter erosivo de las corrientes de agua, y a su capacidad de remover y transportar materiales sueltos, provenientes de las vertientes y de los propios cauces, los ríos y los sistemas de drenaje tienen una significativa influencia en la geomorfología de las cuencas y en la morfología de los cauces. Parte de los sedimentos transportados por los ríos son una consecuencia natural de los procesos geológicos y de erosión. El resto de los sedimentos que transportan los ríos son producto de la acción antrópica.

Los procesos de erosión dominantes en el país, en orden de magnitud, según el área afectada, son: 1) escurrimiento superficial difuso, desde disección leve hasta moderada, siendo el escurrimiento superficial difuso con truncamiento de suelos, el que cubre mayor área; 2) escurrimiento superficial concentrado o disección profunda; y 3) remoción en masa fuerte, moderada y leve; este proceso es el que mayores efectos causa sobre los asentamientos humanos, infraestructuras, actividades sociales y económicas, áreas de agricultura intensiva, etc (IDEAM, 1998).

Se calcula que en Colombia cada año son transportados, en promedio, aproximadamente 300 millones de toneladas de sedimentos que llegan a los océanos, a través de todo el sistema hidrográfico del país. El mayor aportante es el

río Magdalena, con 130 millones de toneladas de sedimentos, que van anualmente al mar Caribe (IDEAM, 1998).

La descarga de sedimentos, especialmente en las corrientes de origen torrencial, está relacionada con la intensidad de las lluvias, la cobertura vegetal, y los usos del suelo en las cuencas. La concentración de sedimentos varía constantemente a lo largo de los cursos de agua. Las variaciones puntuales dependen de ciertos parámetros, como: la pendiente de los cauces; la velocidad del flujo; la turbulencia; el aporte de los afluentes y el aporte a las ciénagas, donde el sedimento se colmata; la formación de deltas; las planicies de inundación; y la socavación y sedimentación de los cauces de los ríos, cuando se presenta una variación fuerte de las secciones transversales de los mismos.

Los procesos de erosión y sedimentación traen como consecuencia graves repercusiones en la economía del país, ya que se afectan importantes y costosas obras de aprovechamiento hidráulico (embalses, hidroeléctricas, distritos de riego, acueductos), carreteras, puentes, y afectan poblaciones y asentamientos humanos ubicados en los conos de deyección.

5.6.2 Control de inundaciones. Las características de la red de drenaje superficial que cubre el territorio nacional, determinan que, en las cuencas bajas de los ríos, las zonas adyacentes a los cauces naturales sean susceptibles de ser inundadas periódicamente por los ríos de origen aluvial, generalmente anchos y con un caudal de estiaje permanente. Esta susceptibilidad natural ha ido aumentando por los procesos de alteración en el uso del suelo, y de deforestación de las cuencas altas, con el consecuente aporte de sedimentos que, al depositarse en los cauces, modifican los patrones naturales de flujo. Si bien, los daños ocasionados por las inundaciones se han incrementado, en buena medida estos son consecuencia del desconocimiento sistemático acerca de que las riberas de los ríos, o sea las planicies de inundación, pertenecen, por naturaleza, a los niveles altos de los ríos, asociados a

períodos de lluvias abundantes, los cuales también forman parte del régimen hidrológico de los mismos.

En los valles aluviales se siente la actividad generada en la alta y media montaña. La descarga en las áreas planas es, normalmente, confinada al lecho menor del canal, pero, ocasionalmente, este canal es incapaz de contener dicha descarga; por lo tanto, el agua y los sedimentos son vertidos en superficies adyacentes llamadas planicies aluviales o de inundación, las cuales han sido creadas por el propio sistema aluvial, específicamente para acomodar los más grandes y menos frecuentes caudales máximos. Por lo tanto, se debe entender que un río no es solamente agua fluyendo por un canal natural, sino que es un sistema fluvial compuesto, básicamente, por un lecho menor, por donde drenan las aguas de estiaje; un lecho mayor, mucho más ancho, que es capaz de recibir periódicamente las aguas altas; y una planicie de inundación (con o sin ciénagas) que amortigua las grandes crecidas y que, generalmente, posee doble sentido de circulación de las aguas. Con las características así descritas, es comprensible una planicie de inundación como un sistema natural de amortiguación de las grandes crecidas, desarrollado por el mismo río, y que el hombre ha invadido.

Otro evento amenazante, y que ocasiona más tragedias, son las avalanchas en los piedemontes, generadas por los ríos y quebradas torrenciales. En Colombia, debido a su relieve joven, los ríos y quebradas están en proceso de entallamiento, por lo que, rápidamente, remueven materiales de las vertientes y los depositan en los piedemontes de las cordilleras, con efectos generalmente catastróficos.

En la región Andina y en la llanura del Caribe existe una ocupación humana de los márgenes de los ríos, donde se han asentado comunidades para desarrollar diversas actividades productivas, con lo cual las inundaciones ocasionan, anualmente, efectos negativos sobre la población, con la consecuente pérdida de vidas humanas, y de bienes materiales y económicos. Existe un consenso general, en relación a la

necesidad de emprender un control adecuado para disminuir los daños, y recuperar extensas áreas a la actividad nacional.

En términos generales, el área total susceptible de inundaciones en Colombia supera los 102.000 kilómetros cuadrados. De esta área, si bien la cuenca del Magdalena-Cauca representa menos del 25% del total, es de gran importancia, porque allí se concentra el mayor componente poblacional del país (IDEAM, 1998).

El tema del control de inundaciones adquiere particular relevancia, al relacionarlo directamente con el incremento de los desastres en América Latina y el Caribe. Aspectos como la organización de la prevención y mitigación de las pérdidas, debidas a las inundaciones, o la reglamentación del uso de la tierra, como instrumento para la prevención de los daños por inundaciones, requieren de un necesario análisis, a la luz del impacto que acciones en estos temas tienen sobre el manejo de los ríos.

En las labores de control de inundaciones se debe tener en cuenta que las crecidas que se presentan en los valles intermontañosos (ríos torrenciales y torrentes), son diferentes a las que ocurren en las grandes llanuras. Las primeras, tienen efectos locales, y las segundas cubren grandes extensiones; las diferencias se manifiestan en las causas, formación, control e importancia de los daños. Los eventos de régimen torrencial se presentan en ríos y quebradas de alta montaña, cuya cuenca aportante es, generalmente, reducida, y su caudal de estiaje pequeño, con secciones transversales estrechas y pendientes abruptas, y se caracterizan porque originan crecientes súbitas y de corta duración, cuando la cuenca responde a la acción de tormentas fuertes y localizadas, el pico del hidrograma es muy pronunciado, y tiene una rápida recesión, usualmente de horas; la carga de sedimentos es muy elevada, particularmente del lecho; pueden generar represamientos y avalanchas; y los daños son producto de la socavación y transporte de material sólido. En las crecidas de llanura, que se presentan en los grandes ríos de régimen aluvial, el hidrograma es menos pronunciado, alcanza los niveles máximos después de algunos días o

semanas de lluvias, el arrastre de sólidos es mayormente en suspensión, y los daños están asociados con el desbordamiento del caudal líquido.

Las grandes crecidas son el resultado de eventos climáticos mayores, y siempre se han producido, independientemente de la presencia o no del bosque. Estas crecidas son fenómenos naturales de los ríos y no se puede pretender su eliminación. La frecuencia de las crecidas de montaña ha aumentado debido a la deforestación, y a las actividades de uso agrícola y pecuario inadecuados en las vertientes. El papel que ejerce la vegetación en el control de las inundaciones se ve disminuido en la medida que aumentan el área y la magnitud de las tormentas. Evidencias científicas han demostrado que los controles en las cuencas de llanura y en las de montaña son complementarios.

Para las zonas de alta montaña, cuyas características topográficas determinan la presencia de crecidas naturales en forma repentina y torrencial, la predicción de las mismas se hace basados en los pronósticos de lluvias y otros elementos del clima. Para los ríos de régimen aluvial se debe contar con una red de estaciones automáticas que transmitan, en tiempo real, el estado de los niveles de los principales ríos y, poder así, detectar con antelación la posible formación de eventos extremos, y dar aviso oportunamente a la población.

5.6.3 Cuencas para el abastecimiento de agua a las ciudades. El agua constituye un elemento vital y articulador de la naturaleza. Por lo tanto, el manejo de las cuencas hidrográficas que abastecen los acueductos municipales y veredales, es tema central para la gestión ambiental y el ordenamiento territorial, ya que afecta e interacciona los recursos naturales, el medio ambiente y la actividad humana

Teniendo en cuenta que los servicios urbanos de abastecimiento de agua potable, bien sea para el consumo humano o industrial, son uno de los usos de agua más exigentes, tanto por regularidad como por el grado de calidad que requieren, suelen tener gran importancia dentro del sistema hídrico de una cuenca. De estos servicios

depende la subsistencia de la población, y las pérdidas, derivadas de su disfunción, pueden ser muy grandes, en términos financieros, sociales y políticos.

No se puede olvidar que la prestación de estos servicios, especialmente la recolección y disposición de aguas servidas, afecta la calidad de los recursos hídricos disponibles para los usuarios aguas abajo en la misma cuenca. Por todo ello, los servicios de abastecimiento de agua potable y saneamiento son una herramienta esencial de la gestión del agua, y la entidad encargada de su gestión debe jugar un papel fundamental en los procesos de manejo de los recursos naturales de la cuenca, en especial del agua.

Si se considera que la gestión de cuencas tiene, entre sus objetivos, un manejo más eficiente del agua para mejorar la calidad de vida de los habitantes, y promover su bienestar, se podría afirmar que la interacción entre los gobiernos locales y la entidad responsable de la gestión de cuencas, debiera ser fluida, y orientada a propósitos comunes; infortunadamente esto no es así. En la mayoría del territorio nacional, los gobiernos locales cumplen, tradicionalmente, funciones relacionadas con el abastecimiento de agua potable y saneamiento hídrico, en tanto que las corporaciones autónomas regionales son las responsables de adelantar la gestión de cuencas.

Cuando se van a manejar cuencas para abastecer de agua a las ciudades se deben buscar dos objetivos centrales: la regularización del régimen y la producción de agua de buena calidad. El papel que desempeña la cobertura vegetal para el logro de estos objetivos es de reconocida importancia, ya que interesa reducir los costos de tratamiento del agua, y aumentar las cantidades disponibles para la distribución y consumo.

En el manejo de una cuenca que debe producir agua se deben cumplir tres tipos de responsabilidades: la primera, producir agua de alta calidad; la segunda, proteger y surtir productos forestales, sin perjudicar o limitar la primera responsabilidad; y la

tercera, incrementar la producción de agua a través de prácticas forestales (Lull,H.W., 1968).

La calidad del agua está definida por su composición química y por sus características físicas, adquiridas a través de los diferentes procesos naturales y antropogénicos. La calidad del agua, y su variación en el tiempo y en el espacio, se modifica por el influjo de múltiples actividades sociales y económicas, estando determinada la intensidad y extensión de este cambio, por las características propias de estas dinámicas.

El agua que proviene de cuencas boscosas no perturbadas es, generalmente, de la máxima calidad. A medida que la vegetación se degrada, o se incrementa el uso agropecuario, la calidad se desmejora y, en consecuencia, los costos de tratamiento se aumentan. Este deterioro puede estar relacionado con el aumento de la carga de sedimentos en suspensión (calidad física del agua), así como también el empeoramiento de la calidad bacteriológica y biológica.

Usualmente, las cuencas para el abastecimiento de agua a las ciudades, por su cercanía a estas últimas, se ven expuestas a presiones ejercidas por el uso recreacional y urbano. Sin embargo, muchos de los objetivos que se plantean en el manejo de cuencas, como: el control de la erosión y sedimentación, y resolver conflictos de uso en las vertientes, ayudan a mejorar la calidad del agua.

La manera más efectiva para asegurar la protección, a largo plazo, de las fuentes de abastecimiento de agua potable, es proteger las zonas de captación del recurso, tanto superficiales como subterráneas. Sin embargo, son muy pocas las empresas de abastecimiento de agua potable que son dueñas o controlan la mayoría o toda la tierra que se encuentra dentro de las cuencas que las proveen de agua.

Un programa de monitoreo de calidad del agua en ríos y embalses es esencial para asegurar un abastecimiento de agua potable, adecuado y seguro. Los programas de

monitoreo efectivo involucran, generalmente, una red de estaciones localizadas en los afluentes más importantes, y mediciones asociadas a fuentes de contaminación o sistemas de tratamiento en lugares específicos. Los sistemas convencionales de monitoreo de la calidad del agua se pueden complementar con el empleo de los sistemas de información geográfica (SIG), y técnicas de percepción remota. Así por ejemplo, los SIG pueden utilizarse para predecir la erosión de los suelos, los procesos de sedimentación, y los ingresos de nutrientes en los embalses, lo que, a su vez, permite establecer áreas prioritarias para los estudios sanitarios.

Robbins y otros (1991), en CEPAL (1999), recomiendan a los administradores de las empresas de abastecimiento de agua potable, seguir el siguiente procedimiento dentro del proceso de desarrollar y fortalecer programas de protección de cuencas de abastecimiento: 1) inventariar y caracterizar las cuencas en términos de habitantes, tenencia de la tierra y del agua, características biofísicas, uso de la tierra, y calidad del agua; 2) identificar los contaminantes que son motivo de preocupación, y sus fuentes, tanto naturales como las relacionadas con las actividades humanas en la cuenca; 3) establecer metas u objetivos de los actores, y del programa de manejo y protección de cuencas; 4) seleccionar las medidas apropiadas de control para proteger la calidad del agua; 5) implementar el programa, mediante acuerdos legales, entre los actores responsables; y 6) monitorear y evaluar la efectividad del programa. Este último procedimiento es de gran importancia en todo el proceso, en razón de que suministra información a los administradores del sistema, que les permite tomar decisiones sobre si se requiere modificar los objetivos del programa, su implementación, y las medidas de manejo de la cuenca.

Por su parte, el Ministerio del Medio Ambiente (1998), establece los elementos a tener en cuenta para lograr un manejo sostenible del recurso agua, los cuales deben contemplar las acciones, medidas y reglamentaciones necesarias para:

- Determinar el inventario del recurso hídrico superficial, y el balance hídrico, como herramientas para fijar las prioridades que permitan orientar

eficientemente los recursos disponibles, así como la promoción del uso eficiente y sostenible de estas aguas.

- Ordenar las actividades y los usos del suelo en las cuencas.
- Definir y declarar las cuencas que suministran el agua potable para la población como reservas forestales protectoras, y establecer sus respectivos planes de manejo. Conjuntamente con las empresas municipales de acueductos, los municipios deberán restaurar, recuperar y reforestar, según el estado actual de estas cuencas.
- Prevenir la erosión, y controlar y disminuir los daños causados por ella.
- Promover acciones conjuntas con otros municipios y con las comunidades, que busquen la conservación de cuencas hidrográficas.
- Establecer acciones para la protección de acuíferos, humedales y otros reservorios importantes de agua, en coordinación con la respectiva corporación autónoma regional.
- Proteger y recuperar las zonas de nacimiento de agua, así como los páramos, los subpáramos, las estrellas hidrográficas, y las zonas de recarga de acuíferos.

5.6.4 Desarrollo social y económico. Los tres aspectos del manejo de cuencas enunciados anteriormente, ejercen una influencia social y económica de importancia; cualquier tratamiento que se formule, debe reflejarse en la mejora de las condiciones sociales y económicas. Desafortunadamente, en nuestro medio la implementación y ejecución de las medidas técnicas tropiezan con problemas, debido a que dominan los intereses personales de unas pocas personas sobre los de la comunidad.

Las partes altas de nuestras cuencas, en la mayoría de los casos, no presentan condiciones que garanticen un adecuado uso de los recursos naturales; se ha eliminado el bosque natural para sustituirlo por explotaciones agrícolas y pecuarias, olvidando la importancia que el recurso agua puede tener para los habitantes de la parte baja. La contaminación de las corrientes de agua por la adición de los desechos de las fábricas, es un ejemplo más de cómo los intereses de unos pocos consiguen imponerse, ante la mirada complaciente de las autoridades. La contaminación del río Bogotá es uno de los problemas que afecta a la capital de la república, y al país en general, y que espera solución para evitar problemas ambientales más graves.

CAPÍTULO 6

JERARQUIZACIÓN DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS ¹

6.1 IMPORTANCIA DEL PROCESO DE JERARQUIZACIÓN

La selección de las cuencas que deben ser incluidas en los planes de manejo depende de la importancia de cada una, de su estado de deterioro, y el nivel de información básica que se posea sobre ellas; por lo que se requiere efectuar un proceso de jerarquización de las cuencas hidrográficas, que permita determinar las cuencas donde se deben concentrar los mayores esfuerzos, para lograr el saneamiento y recuperación de las mismas.

El producto final del proceso de jerarquización es una lista ordenada de las cuencas, donde se señala de mayor a menor, la jerarquía de acción sobre cada una, y que justifica la ejecución de los planes de manejo, y proyectos específicos.

El proceso de jerarquización, aplicado a las cuencas hidrográficas, es de gran importancia, puesto que permite ordenar las cuencas, subcuencas o microcuencas, de acuerdo con su importancia relativa, basados en unos criterios previamente establecidos, según los objetivos que se persigan con el manejo de dichas áreas.

Con la ejecución del proceso de jerarquización, y la interpretación de la matriz de decisión, se puede lograr:

- Justificar los órdenes de importancia de los elementos jerarquizados con respecto a posibles acciones.

¹ Este Capítulo se basa en CVC (1995)

- Establecer diferencias entre varios elementos respecto a criterios comunes, lo cual es muy útil en el proceso de evaluación, y en la toma de decisiones.
- La agregación de factores con medidas diferentes, facilitando establecer relaciones numéricas entre variables disímiles.
- Tomar decisiones para concentrar esfuerzos y recursos en áreas clave, de alto impacto dentro del conjunto o sistema analizado. Permite orientar la inversión hacia aquellas áreas donde se obtenga, con mayor rapidez, resultados de amplio impacto en el sistema cuenca hidrográfica.
- Distribuir recursos escasos entre varias opciones de acción. Debido a limitaciones por escasez de recursos económicos, las instituciones encargadas del manejo de las cuencas hidrográficas no pueden actuar, en todas las áreas, con igual intensidad y eficiencia.
- Los planificadores pueden seleccionar áreas para elaborar planes viables, y de ejecución inmediata, acordes con la disponibilidad de recursos.

Antes de entrar a tratar los elementos que se deben tener en cuenta en un proceso de jerarquización, es conveniente hacer claridad sobre dos términos que son utilizados, con frecuencia, como sinónimos. Estos términos son “jerarquización y prioridad”.

Según Keldall (1948), citado por la CVC (1995), jerarquización es un “arreglo ordenado de un conjunto de individuos o elementos, con base en algunas cualidades que todos ellos poseen en grado variable”. Esta metodología se usa, frecuentemente, en evaluaciones con propósitos múltiples, o sea, para relacionar, en forma integral, factores medidos en unidades diferentes.

Prioridad es una condición de precedencia en el tiempo o en el orden de una cosa sobre otra (Grijalbo, 1995).

Para realizar la jerarquización se recomienda seguir los siguientes pasos: 1) selección y delimitación de las áreas a jerarquizar, 2) definición de criterios, 3) determinación del número de criterios, 4) ponderación de criterios, 5) medición de criterios, 6) calificación de criterios, y 7) elaboración y análisis de la matriz de decisiones.

6.2 SELECCIÓN Y DELIMITACIÓN DE LAS ÁREAS A JERARQUIZAR

Una vez seleccionadas y delimitadas, sobre un plano topográfico, las unidades hidrográficas que se van a jerarquizar, es conveniente identificar cada una de ellas con su nombre correspondiente, y asignarles un código. Para asignar el código se recomienda hacerlo en forma ascendente, en el sentido de las manecillas del reloj, partiendo de la unidad hidrográfica ubicada en la parte más baja de la cuenca.

Para ilustrar este capítulo se seleccionaron seis microcuencas, afluentes directos del río Chipalo, localizadas en el municipio de Ibagué, Departamento del Tolima, las cuales revisten gran importancia, por ser fuentes de abastecimiento de agua para los acueductos rurales y urbanos, que surten a la población asentada en ellas. Las microcuencas seleccionadas son: El Pañuelo (M1), Ancón (M2), Calambeo (M3), San Antonio (M4), Ambalá (M5) y La Tusa (M6).

6.3 DEFINICIÓN DE CRITERIOS

Criterio es un parámetro o caracterización de una situación que, solo o combinado con otros, permite tomar una decisión. Son los principios o normas de discernimiento o decisión, que se deben seguir respecto a cada una de las unidades hidrográficas, y poder determinar, de esta manera, si cumple o no con determinada situación.

Para la selección de los criterios, utilizados en la jerarquización, se deben tener en cuenta las siguientes características:

- Deben estar relacionados con los objetivos y las funciones de la organización.
- Deben ser fácilmente diferenciables, es decir, que no haya relación entre dos o más criterios.
- Deben estar asociados a una o más características específicas de las unidades a jerarquizar, tales como: áreas en sobreesuelo, producción agropecuaria, área con bosques, producción de agua, calidad del agua, etc.
- Deben estar asociados a características poseídas, en un grado más o menos variable, por todas las unidades a jerarquizar.
- No deben estar asociados a problemas generales o específicos de las unidades a jerarquizar; su enunciado debe ser genérico, es decir, sin calificativos.
- Deben ser concretos, factibles de operar, y de fácil medición, bien sea en forma cualitativa o cuantitativa.
- Cuando los criterios se relacionan con comunidades, deben contemplar aspectos sociales, económicos y culturales.

6.4 NÚMERO DE CRITERIOS

No existe un número ideal de criterios, ni una norma especial para determinarlo; sin embargo, deben elegirse aquellos criterios que se relacionen directamente con el contexto de la organización, y sus objetivos.

Para determinar los criterios se recomienda formular una lista más o menos amplia de criterios, tratando de que se ajusten a las características enunciadas anteriormente; luego se analizan los criterios en forma individual y en conjunto, para evitar que alguno de ellos esté contenido en otro, o que pueda contener otro de los enunciados. Estos criterios se van cribando hasta lograr un número entre 7 y 10, de tal manera que se facilite el trabajo.

Teniendo en cuenta la importancia de las microcuencas seleccionadas, como fuentes para el abastecimiento de agua; además, de la amenaza torrencial que representan para los habitantes de las mismas, se seleccionaron los siguientes criterios: caudal medio anual (C1), zona urbana (C2), cobertura forestal (C3), área en sobreuso de los suelos (C4), torrencialidad (C5), y riesgo de la población, por crecidas torrenciales (C6).

6.5 PONDERACIÓN DE CRITERIOS

La ponderación consiste en asignar un peso o valor relativo a un conjunto de elementos, en este caso, a los criterios.

Para definir el nivel de relación entre los diversos criterios escogidos, es necesario asignar una ponderación que refleje la mayor o menor importancia de cada uno de ellos, con respecto al estado general del área. Para lograrlo, se escogen grupos multidisciplinarios de personas conocedoras de los aspectos bióticos, físicos, sociales, y económicos, manejados en las áreas a jerarquizar, los cuales asignarán un valor relativo a cada criterio. Generalmente, se recomienda que el valor asignado esté entre cien puntos, y que la suma de los promedios de puntos asignados a todos los criterios, sea igual a cien.

Para evitar marginalidades extremas, entre los valores de ponderación asignados a los criterios, se debe considerar que tales valores se encuentren en el intervalo definido por un máximo, igual al promedio de la ponderación (\bar{X}), más la mitad de

dicho promedio; y un mínimo, igual al promedio de la ponderación (X), menos la mitad del mismo; con esta norma se busca evitar que un criterio posea una ponderación muy alta, por encima del máximo, al tiempo que otro posea un valor por debajo del mínimo. El promedio de la ponderación (X) se obtiene dividiendo el total de puntos asignados a todos los criterios, por ejemplo 100, entre el número de criterios.

$$X = \frac{\text{Total de puntos de la ponderación}}{\text{Número de Criterios}} = \frac{100}{6} = 16,66$$

$$V_{\text{máx}} = X + \frac{X}{2} \quad \Rightarrow \quad V_{\text{máx}} = 16,66 + \frac{16,66}{2} = 24,99 \cong 25$$

$$V_{\text{mín}} = X - \frac{X}{2} \quad \Rightarrow \quad V_{\text{mín}} = 16,66 - \frac{16,66}{2} = 8,33 \cong 8$$

En la tabla 6 se muestra la ponderación de los criterios, realizada por cada uno de los grupos de actores seleccionados, así como el valor medio de ponderación.

Tabla 6. Ponderación de criterios

Criterio	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 4	Grupo 5	Grupo 6	Grupo 7	Promedio
C1	15	15	20	15	14	10	13	14
C2	10	15	19	12	13	13	11	13
C3	20	17	18	11	12	15	17	16
C4	15	18	10	20	18	16	15	16
C5	15	19	18	24	25	25	20	21
C6	25	16	15	18	18	21	24	20
Total	100	100	100	100	100	100	100	100

6.6 MEDICIÓN DE CRITERIOS

Una vez ponderados los criterios, se identifican mecanismos que permitan su medición en unidades y sistemas de medida, acordes con la naturaleza de cada criterio, y con la disponibilidad de información.

Las unidades de medida seleccionadas deberán ser acordes con la naturaleza del criterio, y cuando no existan datos cuantitativos se recomienda medir directamente el criterio, basados en una serie de calificaciones cualitativas, tales como: muy alto, alto, medio, bajo y muy bajo. Cuadro 3.

Cuadro 3. Medición de los criterios

Microcuenca	C1: Caudal medio anual (lts/seg)	C2: Zona urbana (%)	C3: Cobertura forestal (%)	C4: Sobre uso del suelo (%)	C5: Torrencialidad (Cualitativa)	C6: Población en riesgo (Cualitativa)
El Pañuelo	29	22,9	34,4	13	Muy alta	Muy alta
Ancón	66	26,1	14,5	18,8	Muy alta	Muy alta
Calambeo	132	26,6	36,4	17,3	Alta	Alta
San Antonio	57	26	21,6	26	Media	Muy alta
Ambalá	296	12,6	51	13	Alta	Muy alta
La Tusa	63	9,1	48	13	Alta	Muy alta

Fuente: información tomada de trabajos de grado y académico, realizados por estudiantes de la Facultad de Ingeniería Forestal de la Universidad del Tolima.

6.7 CALIFICACIÓN DE LOS CRITERIOS

Con la calificación se pretende valorar cada criterio, mediante su ubicación en una escala de puntuación común y preestablecida, que permita comparar las diferentes medidas de cada criterio entre sí, y que se preste para realizar posteriores cálculos matriciales.

Para asignar la calificación a los criterios se procede de la siguiente manera: 1) se selecciona una escala de calificación, por ejemplo de 1 a 5 puntos, o de 1 a 10 puntos; 2) se calcula la amplitud del intervalo, teniendo en cuenta que esta es la relación existente entre el rango de una medición y el número de categorías en que se ha dividido la escala de calificación; 3) se definen las categorías de clase, las cuales se obtienen con base en los extremos del rango del conjunto de medida, y la amplitud del intervalo, así, al valor menor del conjunto se le suma la amplitud del intervalo y se obtendrá la categoría uno; la categoría uno más la amplitud del intervalo, dará la categoría dos, y así sucesivamente, hasta involucrar todos los datos contenidos en el conjunto medido; 4) se asigna la puntuación de la calificación, para lo cual a cada categoría o intervalo de clase se le asigna un valor contenido en la escala de calificación, fijando el puntaje más bajo (uno) a la categoría inferior, y distribuyendo, en orden ascendente, los restantes puntos hasta la categoría superior, a la cual le corresponderá cinco puntos. Para asignar puntuación a criterios que hayan sido medidos cualitativamente, se califica directamente, distribuyendo la escala de calificación entre la gama de calificaciones cualitativas, asignando la mayor calificación a la medición muy alta, continuando en orden descendente hasta la medición muy baja, a la cual se le asignará un punto. Tabla 7.

Para ilustrar la construcción de la tabla 7, se tomó como ejemplo el criterio uno (caudal medio anual):

Mayor caudal medio anual = 296 lts/seg, en la quebrada Ambalá.

Menor caudal medio anual = 29 lts/seg, en la quebrada El Pañuelo.

Rango de la medición = Mayor valor medido – Menor valor medido

Rango de la medición = 296 – 29 = 267 lts/seg.

$$\text{Amplitud del intervalo} = \frac{\text{Rango}}{\text{Número de categorías de la escala de calificación}}$$

$$\text{Amplitud del intervalo} = \frac{267 \text{ lts/seg}}{5} = 53,4 \text{ lts/seg}$$

Este último valor se debe sumar al valor menor del caudal medio anual, para obtener la categoría de clase uno (29 lts/seg – 82,4 lts/seg); el límite superior de la categoría de clase uno, más la amplitud del intervalo, dará la categoría dos (82,4 lts/seg – 135,8 lts/seg), y así sucesivamente.

Tabla 7. Calificaciones para cada una de las categorías de clase establecidas para cada criterio

Categorías de clase					Calificación
C1 (lts/seg)	C2 (%)	C3 (%)	C4 (%)	C5 y C6 (Cualitativa)	
29 - 82,4	9,1 - 12,6	14,5 - 21,8	13 - 15,6	Muy baja	1
82,4 - 135,8	12,6 - 16,1	21,8 - 29,1	15,6 - 18,2	Baja	2
135,8 - 189,2	16,1 - 19,6	29,1 - 36,4	18,2 - 20,8	Media	3
189,2 - 242,6	19,6 - 23,1	36,4 - 43,7	20,8 - 23,4	Alta	4
242,6 – 296	23,1 - 26,6	43,7 - 51,0	23,4 - 26,0	Muy alta	5

6.8 MATRIZ DE DECISIÓN

La matriz de decisión es un arreglo que permite relacionar variables que han sido medidas en diversas unidades. Para la jerarquización de unidades hidrográficas, la matriz proporciona, mediante un resultado numérico, la relación existente entre los criterios biofísicos, económicos y sociales, los cuales han sido ponderados y medidos en unidades diferentes. Tabla 8.

Tabla 8. Matriz de decisión

Orden de jerarquía	Microcuencas	Criterio	C1	C2	C3	C4	C5	C6	Total
		Ponderación	14	13	16	16	21	20	
		Código	Calificación ponderada						
1	Ambalá	M5	70	13	80	16	84	100	363
2	Ancón	M2	14	65	16	48	105	100	348
3	San Antonio	M4	14	65	16	80	63	100	338
4	Calambeo	M3	28	65	48	32	84	80	337
5	El Pañuelo	M1	14	52	48	16	105	100	335
6	La Tusa	M6	14	13	80	16	84	100	307
Promedio			25,7	45,5	48	34,7	87,5	96,7	

Para diligenciar cada casilla de la matriz de decisión, se coloca el producto obtenido de multiplicar la calificación de cada criterio, por su respectivo valor de ponderación.

En la matriz se puede observar que la microcuenca Ambalá ocupa el primer lugar en cuanto a importancia, en razón de que tiene el mayor puntaje total ponderado (363). En consecuencia, se le debe formular y ejecutar el plan de manejo integral.

Para el resto de microcuencas, se deben proponer acciones o formular proyectos, en aquellas situaciones que se consideren como importantes. La situación se considera importante, cuando su calificación ponderada es igual o mayor que el promedio general para el respectivo criterio (valores en rojo). Así por ejemplo, se podrían proponer acciones o formular proyectos operativos para disminuir el sobreuso de los suelos, en las microcuencas Ancón (M2) 48 puntos, y San Antonio (M4) 80 puntos; control torrencial en las microcuencas Ancón (M2) y El Pañuelo (M1), cada una con 105 puntos ponderados.

También, se podría formular, para una microcuenca determinada, proyectos operativos en forma integral, basados en las situaciones importantes. Por ejemplo, en la microcuenca El Pañuelo (M1), se formularían proyectos encaminados a controlar la expansión urbana (52 puntos), mantener y mejorar la cobertura forestal (48 puntos), controlar la torrencialidad (105 puntos), y reubicar a la población asentada en zonas de riesgo (100 puntos).

CAPÍTULO 7

CARACTERÍSTICAS MORFOMÉTRICAS Y FISIOGRÁFICAS DE LAS CUENCAS HIDROGRÁFICAS

En los diagnósticos de cuencas hidrográficas, especialmente cuando se trata de analizar el comportamiento torrencial de pequeñas cuencas, es de interés analizar algunas características propias de las formas de la superficie terrestre, con el fin de relacionarlas con la susceptibilidad que puedan tener dichas cuencas a un mayor o menor peligro torrencial.

El análisis de los rasgos de la superficie terrestre se puede realizar, de forma más sencilla y objetiva, si se recurre a la geomorfometría o simplemente morfometría, ciencia que aplicada a la geomorfología, permite la cuantificación de diferentes rasgos de la superficie terrestre, y la comparación, en forma exacta, de una parte de la superficie terrestre con otra.

La cuantificación de estos parámetros permite interpretar y predecir, ciertos comportamientos hidrológicos y de torrencialidad en las cuencas hidrográficas. Sin embargo, los valores correspondientes para un área, tomados aisladamente del conjunto, no definen muy bien el comportamiento de la misma, en razón de que el régimen hidrológico es una función compleja de numerosos factores, entre los que predominan el clima y la configuración del territorio, en el cual se desarrolla el fenómeno.

Los índices morfométricos expresan en términos de simples valores medios las características de paisajes complejos. Por esta razón, se debe tener mucha precaución al incluir en un mismo índice paisajes de naturaleza diferente, como montañas y llanuras, porque el valor resultante podría tener poco sentido.

Como las formas de la superficie terrestre se alteran sólo en el curso de lapsos geológicos, se puede considerar en la práctica, y con sólo algunas excepciones, que las magnitudes morfométricas son valores fijos y permanentes.

Se han concebido muchos índices morfométricos, algunos de ellos de interpretación similar. En el presente capítulo se presenta una extensa compilación de los conceptos y métodos pertinentes, para determinar la mayoría de índices propuestos.

7.1 ASPECTOS LINEALES DE LOS SISTEMAS DE CAUCES

Las características lineales de los sistemas de drenaje se fundamentan, como su nombre lo indica, en la red de cauces o drenajes que posee una cuenca hidrográfica, y su análisis permite clasificar las cuencas hidrográficas. Esta clasificación, además de facilitar el agrupamiento de unidades hidrográficas, da una idea del tamaño de las cuencas, de la magnitud de los caudales y de la longitud de su red hidrográfica. De otra parte, el análisis de los sistemas de cauces permite obtener una serie de parámetros, tales como la razón de longitud y la razón de bifurcación, los cuales, aplicados a ciertas leyes propuestas por Horton, permiten hacer estimativos sobre el número de cauces, y la longitud total y media de cauces.

7.1.1 Número de orden de los cauces. Este grado de organización, detectado por Horton en el año de 1945, y estudiado después por Strahler, en 1964, permite desarrollar un método de clasificación basado en la numeración y conteo de las corrientes de agua, de un determinado orden, existentes en una cuenca.

Para la clasificación de los cauces, Horton sugirió el número de orden de un río, como una medida de la ramificación del cauce principal en una cuenca hidrográfica. Un cauce de primer orden es aquel que no tiene ningún tributario. Un cauce de segundo orden es uno que posee únicamente ramificaciones de primer orden, es decir, que es la resultante de la confluencia de dos corrientes de orden uno. Un cauce de tercer orden es el que posee solamente ramificaciones de primero y

segundo orden, y es originado por la unión de dos cauces de orden dos. El orden mayor de una cuenca hidrográfica está dado por el número de orden del cauce principal. La diferencia entre los sistemas de Horton y Strahler es: que en Horton existe una segunda fase, en la que se considera que toda corriente ha de tener el mismo orden, desde su comienzo hasta el final. Strahler, por el contrario, admite un aumento de orden, en función del aumento del número de tributarios. Figura 13.

En general, dos corrientes del mismo orden (u), dan lugar a una corriente de orden inmediatamente superior ($u+1$). En el caso de que una o varias corrientes de orden inferior, desemboquen a otra de orden superior, esta conservará el orden mayor.

El número de orden es extremadamente sensitivo a la escala del mapa utilizado. Un estudio cuidadoso en fotografías aéreas demuestra, generalmente, la existencia de un buen número de cauces de orden inferior (en general cárcavas, zanjas y otros canales intermitentes), muy superior a los que aparecen en un mapa estándar a escala 1:25.000. Los mapas a esta escala, por otra parte, muestran dos o tres órdenes más que la escala siguiente, de 1:50.000

Shreve (1966), concibió un nuevo sistema de ordenación de los cauces. En él, todos los primeros tributarios se consideran de primer orden, y en cada unión la corriente resultante toma como orden el número de tributarios que llegan a ella. Con este sistema se consigue que los distintos cursos adquieran órdenes superiores en función del número de tributarios que poseen. Figura 14.

El número de orden, como ya se mencionó, es un parámetro que es extremadamente sensible a la escala del mapa utilizado. De esta manera, cuando se va a utilizar este parámetro con propósitos comparativos, es necesario definirlo en términos de una sola escala.

El número de orden es directamente proporcional al tamaño de la cuenca contribuyente, a las dimensiones de los cauces y a la descarga de esorrentía.

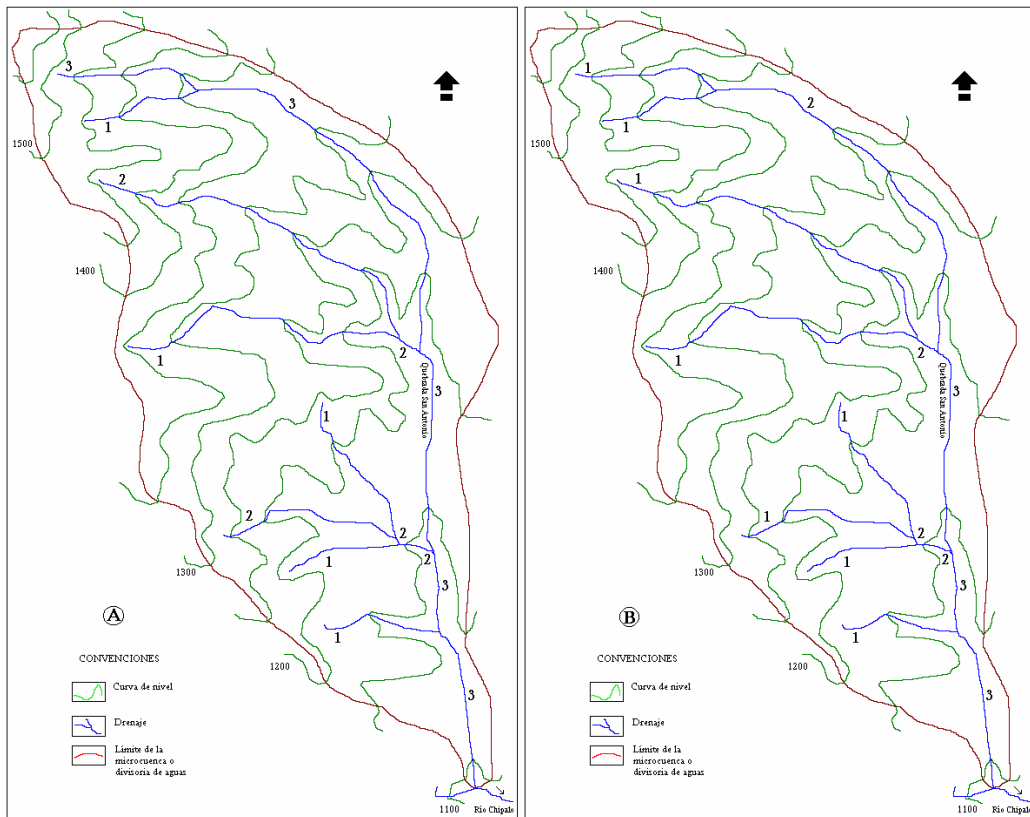


Figura 13. Determinación del orden de la microcuenca de la quebrada San Antonio subcuenca del río Chipalo por los métodos de Horton (A) y Strahler (B)

7.1.2 Razón de bifurcación. Teniendo en cuenta que el número de cauces de un orden dado es menor que para el orden inmediatamente inferior, pero mayor que los del orden inmediatamente superior, Horton introdujo la razón de bifurcación (Rb), para definir la relación existente entre el número de cauces de un orden dado (N_u), al número de cauces de orden inmediatamente superior (N_{u+1}).

$$Rb = \frac{N_u}{N_{u+1}}$$

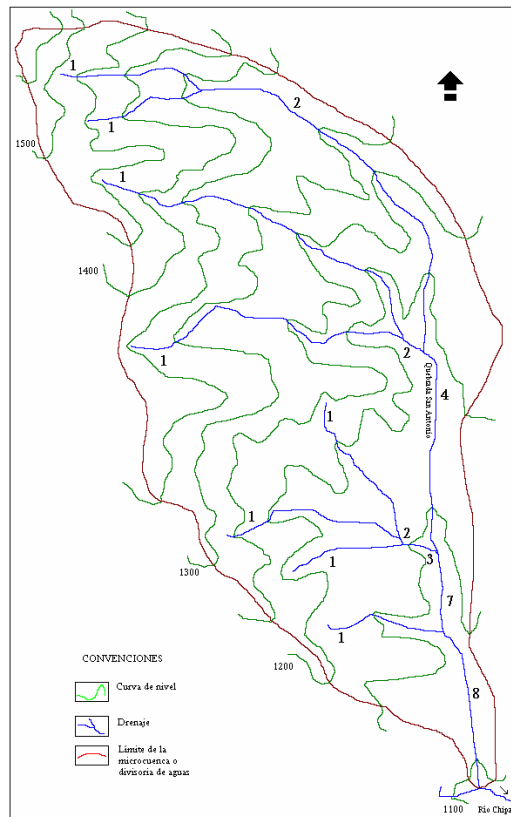


Figura 14. Determinación del orden de la microcuenca de la quebrada San Antonio subcuenca del río Chipaló por el método de Shreve

El cálculo del valor promedio de la razón de bifurcación, para un sistema de drenaje, puede ser hecho mediante la determinación de la pendiente de la línea de regresión obtenida, al graficar el logaritmo del número de cauces en la ordenada, contra el número de orden, en escala aritmética, en la abscisa. Otro procedimiento para determinar este promedio se basa en el cálculo de la media aritmética de las razones de bifurcación existentes de un orden al siguiente.

Dentro de una cuenca hidrográfica las razones de bifurcación varían de un orden al siguiente, pero tienden a ser de la misma magnitud. Generalmente, toma valores entre dos y cuatro. Esta observación condujo a la postulación de la ley del número de orden de los cauces, la cual establece que: el número de cauces de cada orden forma una serie geométrica inversa con el número de orden.

$$N_u = Rb^{K-u}$$

N_u = Número de cauces de orden u .

Rb = Razón de bifurcación promedio.

K = Número de orden del cauce principal.

u = Orden para el cual se va a estimar el número de cauces.

Cuando los valores de la razón de bifurcación son bajos, existen picos fuertes en el hidrograma; y cuando son altos, el hidrograma es más uniforme. También, como norma general, valores muy altos de la razón de bifurcación permiten esperar cuencas alargadas, con multitud de tributarios de primer orden, vertiendo a una sola corriente principal.

Horton propone que el número de cauces de todos los órdenes se puede calcular, si la razón de bifurcación promedio y el número de orden del cauce principal son conocidos. La ecuación propuesta para tal fin, es la siguiente:

$$\sum_{u=1}^K N_u = \frac{Rb^K - 1}{Rb - 1}$$

$\sum_{u=1}^K N_u$ = Número total de cauces de todos los órdenes.

Rb = Razón de bifurcación promedio.

K = Número de orden del cauce principal.

7.1.3 Longitud de los cauces. Generalmente, los caudales medios, máximos y mínimos, crecen con la longitud de los cauces. Esto se debe a la normal relación que existe entre las longitudes de los cauces y las áreas de las cuencas hidrográficas

correspondientes. De tal manera, el área crece con la longitud, y creciendo la superficie de captación, crece el caudal.

Igualmente, los tiempos promedios de subida y las duraciones promedias totales de las avenidas tendrán siempre una evidente relación con la longitud de los cauces. Una longitud mayor supone mayores tiempos de desplazamiento de las avenidas y, como consecuencia de esto, mayor atenuación de las crecidas, por lo que los tiempos de subida, y las duraciones totales de estas serán evidentemente mayores.

El desarrollo longitudinal de los cauces se mide directamente de los mapas topográficos, con el curvímeter o con el compás de puntas secas.

La longitud media de un segmento de cauce, de orden u , es una propiedad dimensional que revela el tamaño característico de los componentes de un sistema de drenaje y de su cuenca contribuyente. Para obtener la longitud media de los cauces de orden u (\bar{L}_u), se divide la longitud total de los cauces de un orden dado (L_u), entre el número de cauces de ese orden (N_u).

$$\bar{L}_u = \frac{L_u}{N_u}$$

Miller estudió la distribución de frecuencias para las longitudes de cauces, en cada uno de los órdenes; encontrando, al analizar la distribución de la frecuencia de los cauces de primer orden, que esta se desviaba hacia la derecha. Schum realizó un estudio similar al de Miller, pero expresó los valores correspondientes en logaritmos, y logró establecer una curva de distribución simétrica.

7.1.4 Razón de longitud. Para una cuenca hidrográfica la longitud media de los cauces aumenta a medida que aumenta el orden. Esta relación permite establecer la razón de longitud (RI), definida como la relación entre la longitud media de los

cauces de un orden dado (\bar{L}_u), a la longitud de los cauces de orden inmediatamente inferior (\bar{L}_{u-1}).

$$Rl = \frac{\bar{L}_u}{\bar{L}_{u-1}}$$

Las razones de longitud no son las mismas de un orden al siguiente, y su valor promedio es igual a la pendiente de la línea de regresión ajustada al graficar el logaritmo de la longitud media de los cauces en las ordenadas, contra el número de orden en la abscisa. Este valor puede obtenerse, también, calculando la media aritmética de las razones de longitud determinadas entre los diferentes órdenes.

Horton estableció la ley de las longitudes de los cauces, la cual expresa que las longitudes de los segmentos de cauce de cada orden tienden a ser, aproximadamente, una secuencia geométrica directa.

$$\bar{L}_u = \bar{L}_1 \times Rl^{u-1}$$

\bar{L}_u = Longitud media de los cauces de orden u.

\bar{L}_1 = Longitud media de los cauces de orden uno.

Rl = Razón de longitud promedia.

u = Orden para el cual se va a estimar la longitud media de los cauces.

Una ecuación equivalente puede aplicarse también al área (A) de las cuencas de orden u.

$$\bar{A}_u = \bar{A}_1 \bar{R}a^{u-1}$$

\bar{A}_u = Área media de las cuencas de orden u.

\bar{A}_1 = Área media de las cuencas de orden 1

\bar{Ra} = Razón de área promedia.

u = Orden para el que se desea estimar el área media de la cuenca.

Existe cierta relación entre la razón de longitud y la razón de bifurcación, que permite estimar la longitud total de los cauces de un orden dado, y la longitud total de los cauces de todos los órdenes, mediante las siguientes ecuaciones matemáticas:

$$\sum_{i=1}^n Lu_i = \bar{L}_1 \times Rb^{K-u} \times Rl^{u-1}$$

$$\sum_{u=1}^K \sum_{i=1}^n Lu_i = \bar{L}_1 \times Rb^{K-1} \times \frac{Rlb^K - 1}{Rlb - 1}$$

$\sum_{i=1}^n Lu_i$ = Longitud total de los cauces de un orden dado.

\bar{L}_1 = Longitud media de los cauces de orden uno.

Rb = Razón de bifurcación promedia.

Rl = Razón de longitud promedia.

K = Número de orden del cauce principal.

u = Orden para el que se va a estimar la longitud total de cauces.

$\sum_{u=1}^K \sum_{i=1}^n Lu_i$ = Longitud total de los cauces de todos los órdenes.

Rlb = Relación entre la razón de longitud y la razón de bifurcación promedias (Rl/Rb).

7.1.5 Sinuosidad de las corrientes de agua (S). Es la relación entre la longitud del río principal (L), medida a lo largo de su cauce, y la longitud del valle del río principal (Lt), medida en línea curva o recta. Figura 15.

$$S = \frac{L}{Lt}$$

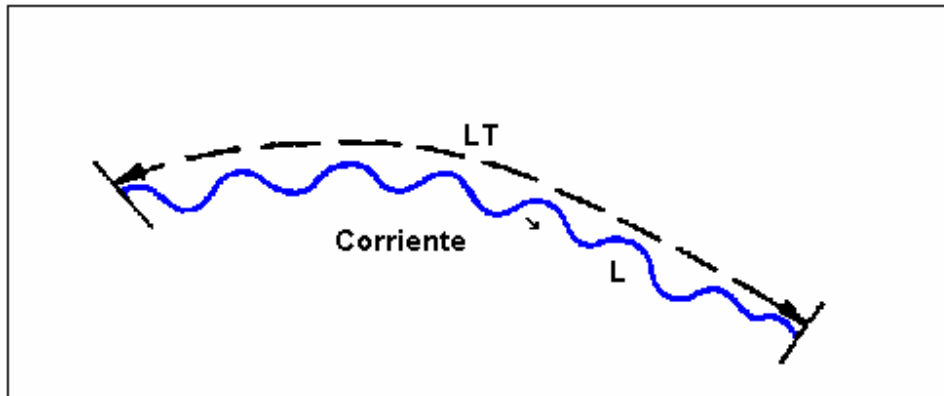


Figura 15. Sinuosidad de las corrientes de agua

Este parámetro da una medida de la velocidad de la escorrentía del agua a lo largo de la corriente.

Un valor de S menor o igual a 1,25 indica una baja sinuosidad. Se define, entonces, como un cauce con alineamiento recto (Monsalve, G., 1995).

7.2 ASPECTOS DEL ÁREA DE LAS CUENCAS DE DRENAJE

La determinación de los parámetros de área tiene como finalidad establecer, mediante índices promedios, la forma de la cuenca, parámetro este que está estrechamente relacionado con la torrencialidad de la misma; determinar la distribución de los cauces por unidad de superficie, valor que facilitan comprender con qué rapidez se concentran las aguas en el cauce principal, y qué tan rápido se produce el proceso de evacuación de las mismas y, además, refleja algunas características de la geología, topografía, suelos, cobertura vegetal y régimen de lluvias, presentes en la cuenca.

7.2.1 Área de la cuenca. El área de una cuenca hidrográfica se define como el total de la superficie proyectada sobre un plano horizontal, que contribuye con el flujo superficial a un segmento de cauce de orden dado, incluyendo todos los tributarios de orden menor.

La medición del área de una cuenca, en una sección considerada, se hace utilizando el planímetro, o la malla de puntos.

7.2.1.1 Importancia del área El área de la cuenca tiene gran importancia, por constituir el criterio de la magnitud del caudal. En condiciones normales, los caudales promedios, promedios mínimos y máximos instantáneos, crecen a medida que crece el área de la cuenca. Figura 16.

Sin embargo, el crecimiento del caudal promedio con el área no es constante, y tampoco igual en cualquier región. Los gradientes de este crecimiento en una sola zona hidrológica dependen de la variación territorial de las precipitaciones, y de otras condiciones fisiográficas determinantes del régimen hidrológico. Generalmente, en la zona montañosa de Colombia, como función de las precipitaciones, e indirectamente de la altura, los gradientes de crecimiento del caudal, en relación con el crecimiento del área de la cuenca, se presentan como se muestra en la figura 17.

A las áreas reducidas corresponden gradientes relativamente reducidos. Esto se debe a que las cabeceras de los ríos se encuentran en la parte alta de las montañas, en alturas mayores de 3.000 metros, superiores al plafón promedio de las nubes que producen precipitaciones, y de la condensación de los vapores de agua, por lo cual, reciben menos precipitaciones que las zonas más bajas. A continuación, a medida que crece el área de la cuenca, los ríos penetran en las vertientes montañosas situadas debajo del plafón de las nubes, en donde reciben precipitaciones abundantes, y los gradientes de crecimiento del caudal, en relación con el crecimiento del área, adquieren valores mayores. Al bajar de las montañas, las

cantidades de precipitación disminuyen y, por esta razón, disminuyen también los gradientes de crecimiento del caudal.

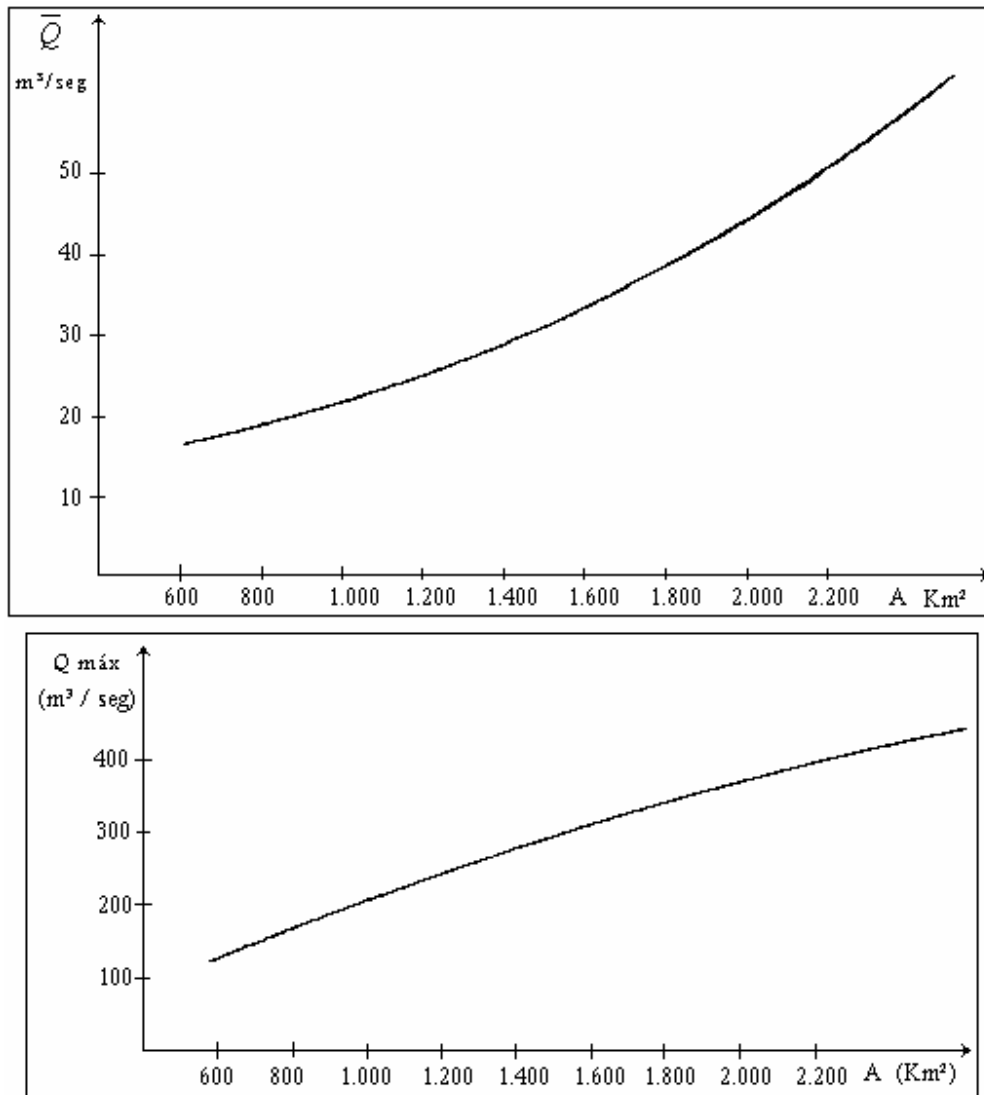


Figura 16. Variación de los caudales promedios anuales y máximos instantáneos en relación con el crecimiento del área de la cuenca

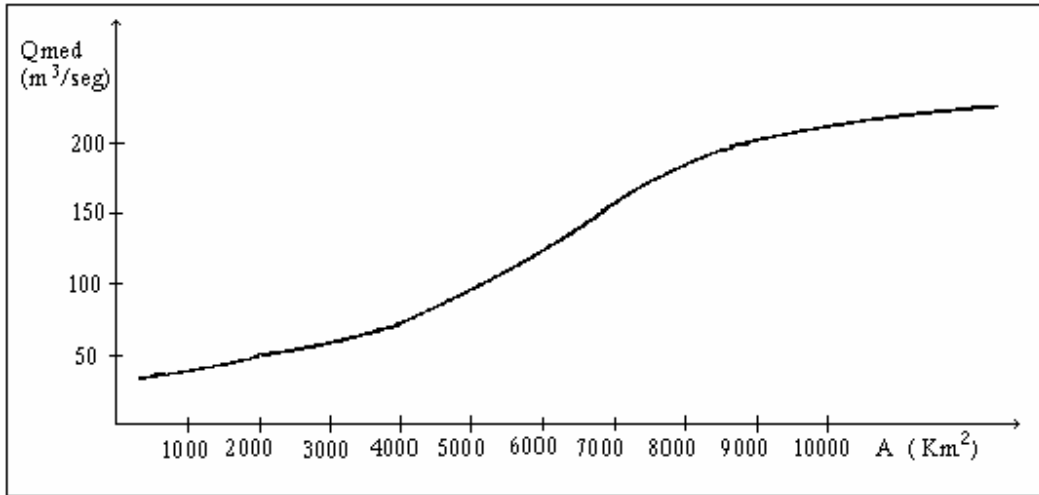


Figura 17. Crecimiento del caudal promedio de una cuenca hidrográfica con cabeceras en las montañas, en función del crecimiento del área

El área de la cuenca influye también en la variación de los gradientes de crecimiento de los caudales máximos instantáneos, actuando como un medio de atenuación de las avenidas. Así, por ejemplo, en las cabeceras de los ríos, los gradientes de crecimiento del caudal máximo con el área son grandes y, a medida que aumenta el área, van disminuyendo. Figura 18.

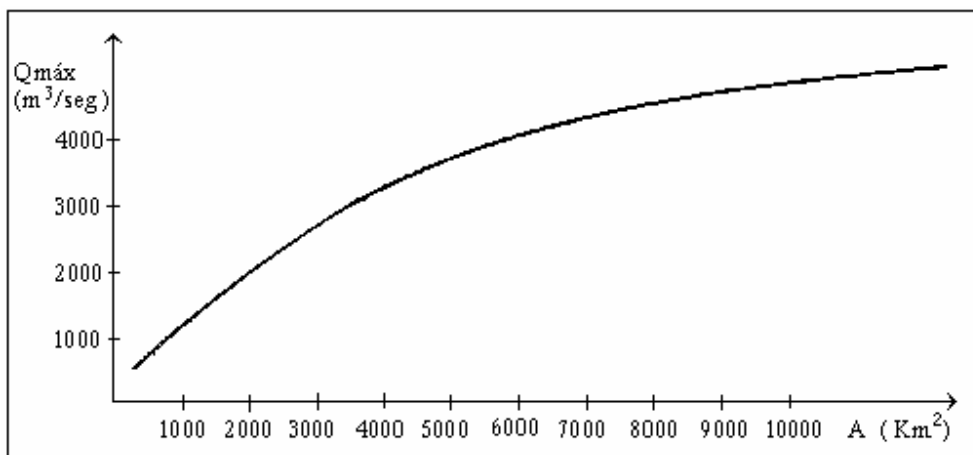


Figura 18. Crecimiento de los caudales máximos en una cuenca hidrográfica, en función del crecimiento del área

Si los valores de los caudales de un sistema hidrográfico no crecen, a medida que aumenta el área de la cuenca, la excepción se debe explicar a través de las condiciones específicas locales. En régimen natural, los caudales promedios y mínimos pueden bajar, al penetrar los ríos en una zona de litología muy permeable, debido a la infiltración en las orillas y en el lecho del río, al alimentar las capas freáticas. Figura 19.

Los caudales máximos instantáneos, a veces, tampoco crecen con el aumento del área de la cuenca, debido a que en los cursos inferiores de los grandes ríos, generalmente, los cauces son muy extensos y las avenidas se atenúan por verterse las aguas en anchas zonas inundables. Figura 20.

En otros aspectos, la temperatura del agua, la concentración de sedimentos o las características físico-químicas y biológicas de las aguas varían, territorialmente, mucho menos en ríos de cuencas grandes, que en ríos de cuencas reducidas.

7.2.1.2 Relación del área a la descarga. Ecuaciones empíricas relacionan la descarga al área de la cuenca, obteniéndose una relación de la forma:

$$Q = jA^m$$

donde Q es una medida de la descarga en $m^3/seg.$, tal como la crecida media anual; A es el área de la cuenca; y los parámetros j y m son derivados, ajustando una línea de regresión a los datos disponibles. El exponente m varía, generalmente, de 0,4 a 1,0. (Chow, V. T., 1964).

Bermudez y Londoño (1993), realizaron la relación caudal medio mensual-área para la cuenca alta del río Cauca, utilizando para ello los registros correspondientes a 19 estaciones hidrológicas, con un período de observación de 20 años cada una, y

encontraron que el exponente m osciló entre 0,855, en el mes de octubre y 0,949, en el mes de enero.

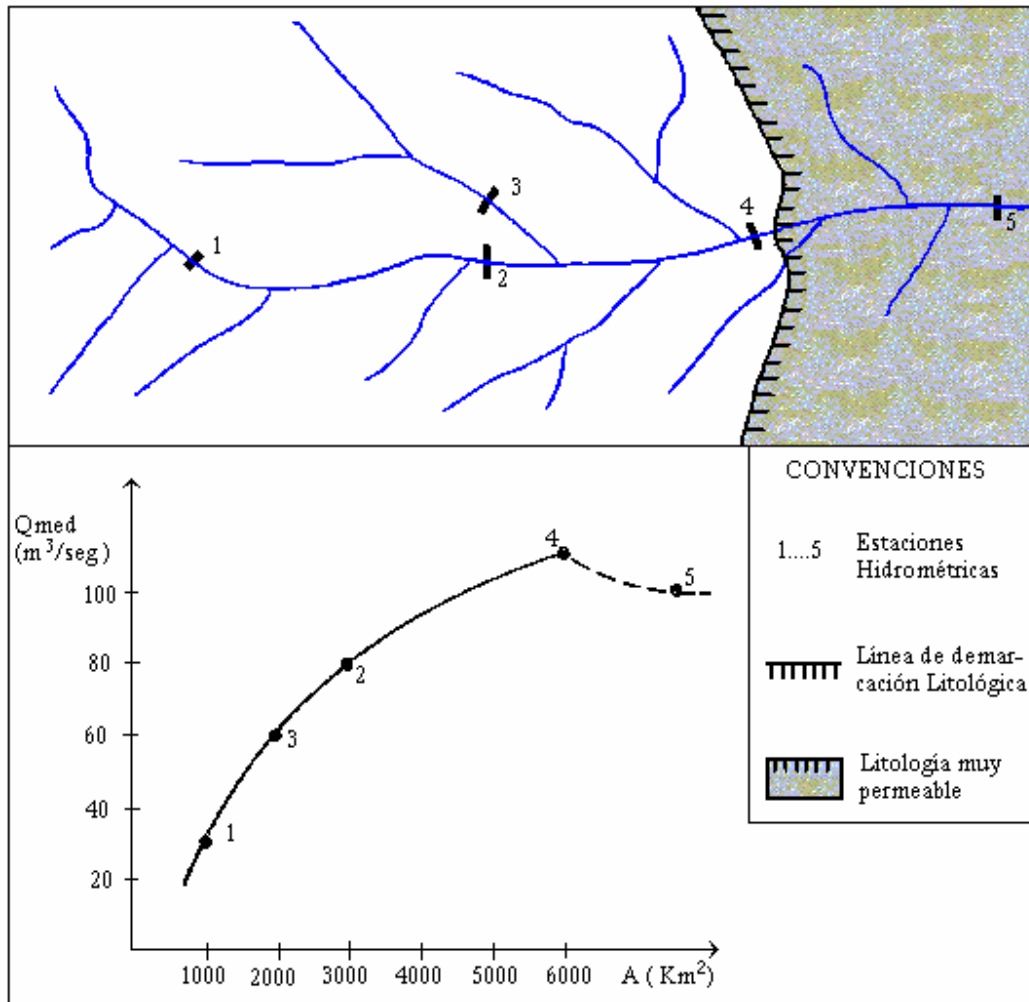


Figura 19. Disminución de los caudales promedios y mínimos de un río, a medida que crece el área de la cuenca, cuando el río penetra en una zona de litología muy permeable

7.2.1.3 Relación entre el área y la longitud de los cauces principales. Al graficar el logaritmo de la longitud de los cauces principales de cada orden contra el logaritmo del área de las cuencas respectivas, se encuentra una línea de ajuste o línea de regresión, que se ajusta a una ecuación de la forma:

$$L = aA^n$$

donde L es la longitud del cauce principal, en Km; A es el área de drenaje, en Km²; y los parámetros a y n se derivan de la línea de regresión ajustada. El exponente n varía, generalmente, entre 0,6 y 0,7 (Linsley, R. et al, 1977), y sugiere que, a medida que las cuencas se hacen más extensas, tienden a ser, también, más alargadas.

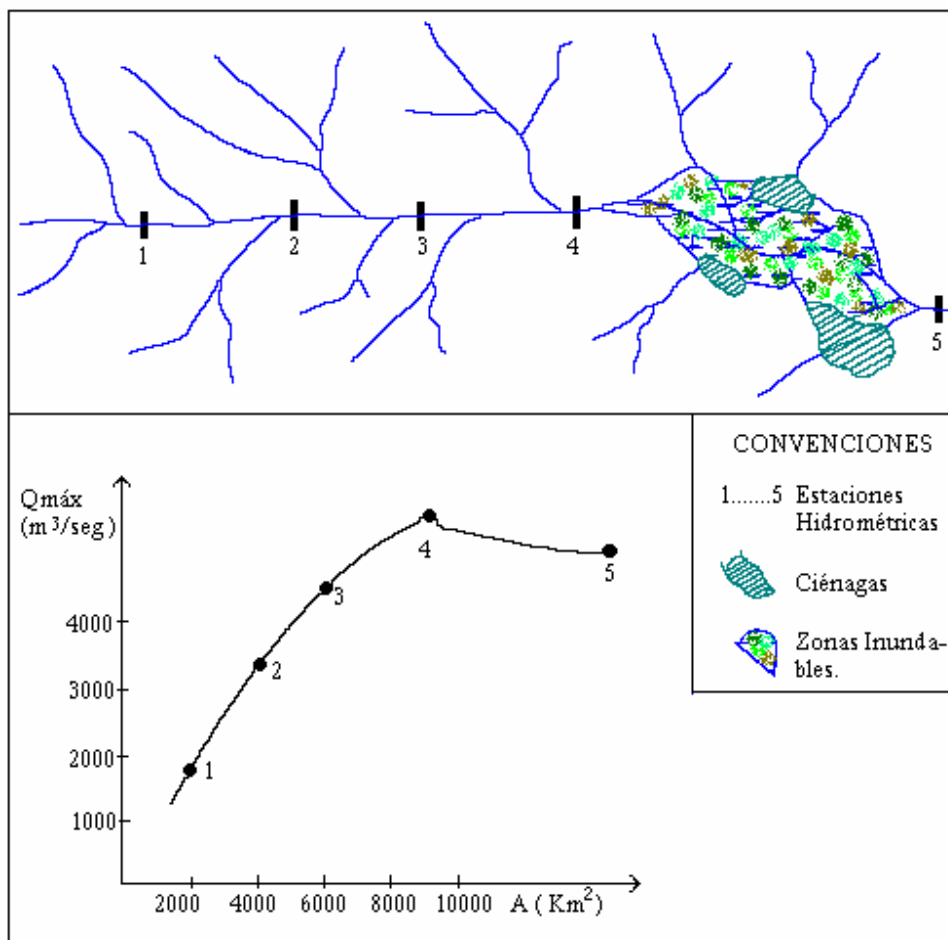


Figura 20. Disminución de los caudales máximos de un río, a medida que crece el área de la cuenca, cuando el río penetra en una zona de ciénagas o zonas inundables

Las observaciones en un buen número de cauces alrededor del mundo (Leopold, L.B., et al, 1964, en Linsley, R. et al, 1977), parecen comprobar la existencia de una relación de la forma:

$$L = 1,27 A^{0,6}$$

Para la cuenca del río Combeima se estableció esta relación tomando 40 unidades hidrográficas de orden dos, 14 de orden tres y 8 de orden cuatro; encontrándose que el exponente n osciló entre 0,532 y 0,601, para las unidades de orden tres y dos, respectivamente. En cuanto al coeficiente a , este varió entre 1,59 y 1,64, para las unidades de orden dos y tres, respectivamente (Universidad del Tolima, 1987).

7.2.2 Forma de la cuenca. Los factores geológicos, principalmente, son los encargados de moldear la fisiografía de una región y, particularmente, la forma que tienen las cuencas hidrográficas.

La forma de la cuenca afecta los hidrogramas de escorrentía y las tasas de flujo máximo. Para una misma superficie, con características físicas y bióticas similares, y para un mismo aguacero, el hidrograma en la salida de una cuenca amplia y bien ramificada, o sea semejante a un círculo, será muy diferente al de una cuenca estrecha y alargada, presentando la cuenca circular un cierto riesgo de avenida e inundación en el cauce principal, debido a que todos los puntos de la cuenca son equidistantes del canal principal. Esta situación implica que las gotas de agua caídas, en todos los puntos de la cuenca, tendrán oportunidad de alcanzar el cauce principal al mismo tiempo (similar tiempo de concentración).

Otra es la situación en cuencas de forma alargada, donde los tiempos de concentración son bien diferentes para casi todos los puntos de la cuenca, por lo que las aguas fluirán gradualmente hacia el cauce principal. De esta manera, el cauce principal tendrá mayor oportunidad de desaguar parte de su volumen, antes de recibir las aguas llovidas en los puntos más distantes y, por lo tanto, las variaciones

del caudal serán menos amplias y rápidas, disminuyéndose el riesgo de desbordamiento e inundación en las zonas de deposición de la cuenca hidrográfica.

Se han hecho numerosos esfuerzos para tratar de descubrir el efecto de la forma por medio de un solo valor numérico. La mayoría de las cuencas tiende a tener la forma de una pera; sin embargo, los controles geológicos conducen a numerosas desviaciones a partir de esta forma. La evaluación de la forma de una cuenca considera el grado de similitud de su contorno o divisoria, al de una figura geométrica regular conocida. Para su cuantificación se han establecido diferentes factores de forma, los cuales se describen a continuación:

7.2.2.1 Factor de forma de Horton (R_f). El factor de forma de Horton expresa la relación existente entre el área de la cuenca (A), y el cuadrado de la longitud máxima o longitud axial de la misma (L_b).

$$R_f = \frac{A}{L_b^2}$$

La longitud axial se mide siguiendo el desarrollo longitudinal del cauce principal, hasta llegar a la divisoria de la cuenca en el punto más alejado.

El escurrimiento resultante de una lluvia sobre una cuenca de forma alargada, no se concentra tan rápidamente, como en una cuenca de forma redonda; además, una cuenca con un factor de forma bajo (forma alargada) es menos propensa a tener una lluvia intensa simultáneamente sobre toda su superficie, que un área de igual tamaño con un factor de forma mayor. Figura 21.

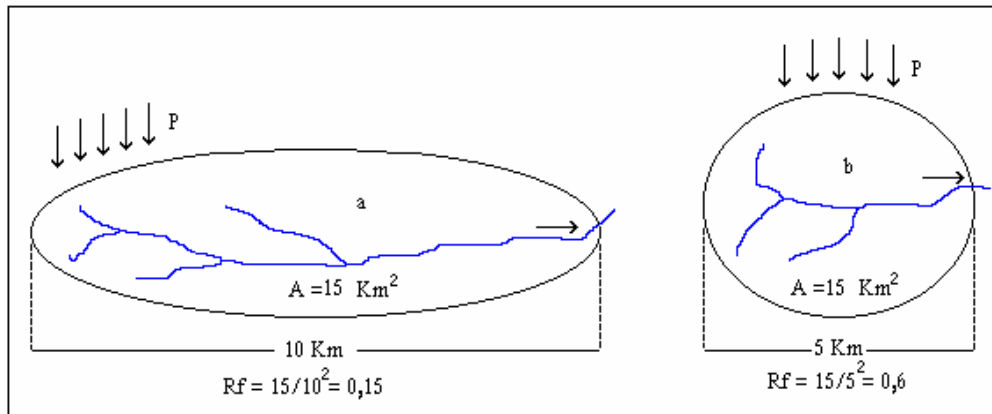


Figura 21. Factor de forma

El valor máximo que se puede obtener del factor de forma es 0,7854 para una cuenca completamente circular y, a medida que la cuenca se hace más alargada, el valor tiende a cero.

7.2.2.2 Factor de forma de Gravelius (Ff). Este factor expresa la relación entre el ancho promedio de la cuenca (\bar{a}) y la longitud axial de la misma (Lb).

$$Ff = \frac{\bar{a}}{Lb}$$

El ancho promedio se obtiene dividiendo el área de la cuenca (A) entre su longitud axial (Lb).

$$\bar{a} = \frac{A}{Lb}$$

Remplazando el ancho promedio, en la relación del factor de forma de Gravelius, se obtiene una ecuación idéntica a la del factor de forma propuesto por Horton.

$$Ff = \frac{A/Lb}{Lb} = \frac{A}{Lb^2}$$

7.2.2.3 Razón circular de Miller (R_c). Miller usó una razón circular adimensional, definida como la razón del área de la cuenca (A), al área de un círculo (A_c) que tiene el mismo perímetro de la cuenca (P).

$$R_c = \frac{A}{A_c} \Rightarrow R_c = 12,566 \frac{A}{P^2}$$

Esta razón es menor o igual a uno; los valores disminuyen a medida que la cuenca es más alargada o rectangular, y tienden a la unidad para cuencas redondas.

7.2.2.4 Razón de elongación de Schum (R_e). La razón de elongación se define como la razón del diámetro de un círculo (D_c) que tiene la misma área que la cuenca (A), a la longitud máxima de la cuenca (L_b).

$$R_e = \frac{D_c}{L_b} \Rightarrow R_e = 1,1284 \frac{\sqrt{A}}{L_b}$$

El valor máximo que se puede obtener de esta razón es uno, para cuencas perfectamente redondas, y tiende a cero, a medida que la cuenca es alargada y estrecha.

7.2.2.5 Coeficiente de compacidad de Gravelius (K_c). El coeficiente de compacidad se obtiene al relacionar el perímetro de la cuenca (P), con el perímetro de un círculo (P_c), que tiene la misma área de la cuenca (A).

$$K_c = \frac{P}{P_c} \Rightarrow K_c = 0,2821 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

A medida que el coeficiente de compacidad tiende a la unidad, aumenta la torrencialidad de la cuenca, debido a que las distancias relativas de los puntos de la divisoria, con respecto a uno central, no presentan diferencias mayores, y el tiempo

de concentración se hace menor; por lo tanto, mayor será la posibilidad de que las ondas de crecida sean continuas. Nunca los valores de este coeficiente serán inferiores a uno.

Con base en la cuantificación de la forma propuesta por Gravelius, se han determinado las siguientes categorías para su clasificación:

Valores de Kc	Forma	Características
1,00 – 1,25	Compacta o redonda a oval redonda.	Cuenca torrencial peligrosa.
1,25 – 1,50	Oval redonda a oval oblonga.	Presenta peligros torrenciales, pero no iguales a la anterior.
1,50 – 1,75	Oval oblonga a rectangular oblonga.	Son las cuencas que tienen menos torrencialidad.

7.2.2.6 Índice de alargamiento (I_a). Este índice, propuesto por Horton, relaciona la longitud máxima de la cuenca (L_b), con su ancho máximo (a), medido perpendicularmente a la dimensión anterior.

$$I_a = \frac{L_b}{a}$$

Para un índice de alargamiento pequeño, cercano a uno, la cuenca es poco alargada y su red de drenaje se presenta en forma de abanico, donde las confluencias pueden estar cerca una de otra y el cauce principal es corto. Si el índice toma valores muy por encima de la unidad, la cuenca tiende a buscar una forma rectangular.

7.2.2.7 Índice de homogeneidad (I_h). Inicialmente P. Pinchemel sugirió un índice de homogeneidad igual a la relación del área de la cuenca (A), a la de un ovoide que tiene por eje mayor una longitud igual a la longitud máxima de la cuenca. Posteriormente F. Terns, modificó este índice, reemplazando el área del ovoide por el

área de un rectángulo (A_r), cuyas dimensiones son iguales a la longitud máxima (L_b), y ancho máximo (a) de la cuenca.

$$I_h = \frac{A}{A_r}$$

Este índice complementa el resultado del análisis que se deduce por el índice de alargamiento.

7.2.3 Índice asimétrico (I_a). Este índice, propuesto por F. Terns, resulta del cociente de dividir el área de las vertientes mayor ($A_{(+)}$) y menor ($A_{(-)}$), las cuales son separadas por el cauce principal.

$$I_a = \frac{A_{(+)}}{A_{(-)}}$$

El índice asimétrico evalúa la homogeneidad, en la distribución de la red de drenaje.

7.2.4 Densidad de drenaje (D). La longitud total de los cauces dentro de una cuenca hidrográfica (L), dividida por el área total de drenaje (A), define la densidad de drenaje o longitud de cauces por unidad de área. Este parámetro se expresa en Km/Km².

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

Este es un índice importante, puesto que refleja la influencia de la geología, topografía, suelos y vegetación, en la cuenca hidrográfica, y está relacionado con el tiempo de salida del escurrimiento superficial de la cuenca.

Una densidad de drenaje alta, refleja una cuenca muy bien drenada que debería responder, relativamente rápido, al influjo de la precipitación. Una cuenca con baja densidad de drenaje refleja un área pobremente drenada, con respuesta hidrológica muy lenta.

En sitios donde los materiales del suelo son resistentes a la erosión o muy permeables, y donde el relieve es suave, se presentan densidades de drenaje bajas. Los valores altos de la densidad de drenaje reflejan, generalmente, áreas con suelos fácilmente erosionables o relativamente impermeables, con pendientes fuertes, y escasa cobertura vegetal.

La densidad de drenaje está, generalmente, relacionada con la cantidad de precipitaciones, y la pendiente de la superficie del suelo. Por esta razón, los valores grandes de la densidad de drenaje indican mayor abundancia de escurrimiento y valores importantes de erosión.

Un aspecto específico se nota en la relación de la densidad de drenaje con los caudales máximos y las avenidas. A grandes valores de densidad de la red hidrográfica, corresponden velocidades mayores de desplazamiento de las aguas y un mejor drenaje, lo que se refleja en valores mayores de caudales máximos, subidas rápidas y duraciones totales de las avenidas, generalmente más reducidas.

En cuanto a la esorrentía mínima, la influencia de la densidad de drenaje tiene un carácter particular. En condiciones de pendiente grande, unos valores elevados de la densidad de drenaje indican torrencialidad, caudales mínimos muy reducidos y, posiblemente, falta temporal de escurrimiento superficial. En condiciones de pendiente reducida, unos valores elevados de la densidad de drenaje indican un buen drenaje de las capas de agua freáticas, más estabilidad del régimen de caudales, y una buena alimentación subterránea, en los períodos de estiaje.

Para la determinación de la densidad de drenaje tiene suma importancia la utilización de mapas de igual escala para toda el área considerada, o de lo contrario, se obtienen valores muy discontinuos territorialmente, los cuales no pueden ser comparados.

Para determinar este elemento fisiográfico se necesitan mapas de escala grande, en razón de que, si se utilizan escalas pequeñas, la red hidrográfica está insuficientemente presentada. Por este motivo, los cálculos efectuados con base en mapas de escalas pequeñas, suelen conducir a errores grandes y, generalmente, al error de creer que en la zona montañosa, de pendientes mayores, la densidad de la red hidrográfica presenta valores más reducidos, que en la zona de piedemonte y llanos.

Para la densidad de drenaje se han encontrado en los Estados Unidos, valores que varían desde tres, en algunas regiones de los Apalaches, hasta 400 o más en el Monumento Nacional de Badlands, en Dakota del Sur (Linsley, R. y otros, 1977).

Según Monsalve, G. (1995), la densidad de drenaje usualmente toma valores entre 0,5 Km/Km², para cuencas con drenaje pobre, hasta 3,5 Km/Km², para cuencas excepcionalmente bien drenadas.

En cuanto a la densidad de drenaje, las cuencas pueden ser clasificadas, según Strhaler, (1957); en Lima, W., (1986), en: baja densidad de drenaje, menor de 5 Km/Km²; media densidad de drenaje, de 5 a 13,7 Km/Km²; alta densidad de drenaje, de 13,7 a 155,3 Km/Km²; y muy alta densidad de drenaje, mayor de 155,3 Km/Km².

Para nuestro medio, y tomando como referencia los trabajos académicos realizados a escala 1:25.000, en los cursos de diagnóstico y planificación de cuencas hidrográficas que se dictan en la Universidad del Tolima, se ha establecido la siguiente escala de valores para la calificación de la densidad de drenaje: valores menores de 1,5 Km/Km², son representativos de zonas con sistemas de drenaje

deficientes; valores entre 1,5 y 3,0 Km/Km², son representativos de condiciones medias de la densidad de la red de drenajes; y valores mayores de 3 Km/Km², son indicativos de zonas que tienen una alta densidad de drenajes.

Con base en el análisis de 1283 unidades hidrográficas, de órdenes cuatro al ocho, localizadas en el departamento del Tolima, (Andrade, E. 1986; Miranda, L. 1986; y Penagos, G. 1986), se establecieron los valores máximos y mínimos de la densidad de drenajes, para cada una de las escalas en que se ha dividido esta. Tabla 9.

Tabla 9. Valores mínimos y máximos de la densidad de drenaje para 1283 cuencas hidrográficas estudiadas en el departamento del Tolima - Colombia

Densidad Km/Km ²	Nº de cuencas	Densidad mínima Km/Km ²	Densidad máxima Km/Km ²
< 1,5	42	0,51	1,48
1,5 – 3,0	457	1,5	3,00
> 3,0	784	3,01	8,95
Total	1283		

7.2.5 Constante de mantenimiento de cauces (C). La constante de mantenimiento de cauces es el inverso de la densidad de drenaje (D), e indica el área necesaria para mantener un kilómetro de cauce. Esta constante se expresa en Km²/Km.

$$C = 1/D$$

7.2.6 Textura de drenaje. La textura de drenaje se califica tomando sobre el mapa, al azar, muestras de un kilómetro cuadrado, y según la cantidad de drenajes que se observe dentro de cada muestra, se puede calificar como textura gruesa, media o

fina, según haya una cantidad baja, media o alta de drenajes por unidad de área, respectivamente.

Teniendo en cuenta la estrecha relación existente entre la textura y la densidad de drenaje, y con el fin de eliminar la subjetividad que se puede presentar al calificar la textura, se ha optado por relacionar las calificaciones de textura de drenaje con la escala de valores asignada a la densidad de drenaje, de tal forma que a una densidad de cauces menor a 1,5 Km/Km², corresponde una textura de drenaje gruesa; entre 1,5 y 3,0 Km/Km², se tiene una textura media, y mayor de 3,0 Km/Km², la textura es fina. Esta clasificación es válida cuando se trabaja con planchas cartográficas a escala 1:25.000.

Según la clasificación de Way (1978), citado por el Ministerio del Medio Ambiente de España (1998), la textura de drenaje se puede determinar por fointerpretación, utilizando fotografías aéreas a escala 1:20.000. Textura fina es aquella en la que el espaciamiento medio entre tributarios y corrientes de primer orden es menor de 0,60 cm., en la fotografía aérea. Cuencas con esta textura de drenaje reflejan elevados niveles de escorrentía superficial, roca madre impermeable y suelos de baja permeabilidad. La textura media se presenta cuando el espaciamiento medio entre corrientes de primer orden oscila entre 0,60 y 5 cm. La escorrentía es media, la textura y la permeabilidad de los suelos son intermedias. Cuando la separación entre corrientes de primer orden es superior a 5 cm., se tiene una cuenca con textura de drenaje gruesa. En este caso, la escorrentía superficial es menor, la roca es más resistente, aunque más permeable, y los suelos tienen elevada permeabilidad. Figura 22.

7.2.7 Frecuencia de cauces (F). Otro parámetro similar a la densidad de drenaje, es la frecuencia de cauces, que se define como el cociente entre el número cauces existentes en la cuenca (NC) y la superficie de la misma (A). Se expresa en número de cauces por kilómetro cuadrado.

$$F = \frac{NC}{A}$$

La utilización conjunta de la densidad de drenaje y la frecuencia de cauces, facilita, en gran medida, la clasificación de cuencas, ya que, en muchas ocasiones, existen cuencas muy diferentes con la misma frecuencia de cauces, que pueden distinguirse calculando su densidad de drenaje, o a la inversa.

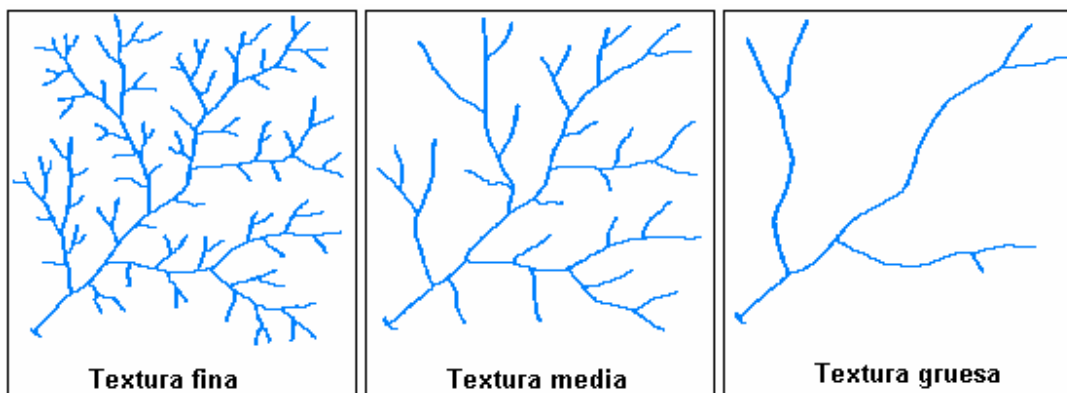


Figura 22. Texturas de drenaje

7.2.8 Extensión media de la esorrentía superficial (E). Se define como la distancia media en que el agua de lluvia tendría que escurrir sobre los terrenos de una cuenca, en caso de que la esorrentía se diese en línea recta, desde donde la lluvia cayó, hasta el punto más próximo al lecho de una corriente cualquiera de la cuenca. Considerando que una cuenca de área A pueda ser representada por un área de drenaje rectangular, y teniendo un curso de longitud L , igual a la longitud total de las corrientes de agua dentro de ella, que pasa por su centro, como se muestra en la figura 23, la extensión media E , de la esorrentía superficial será:

$$A = 4LL \quad \Rightarrow \quad l = \frac{A}{4L}$$

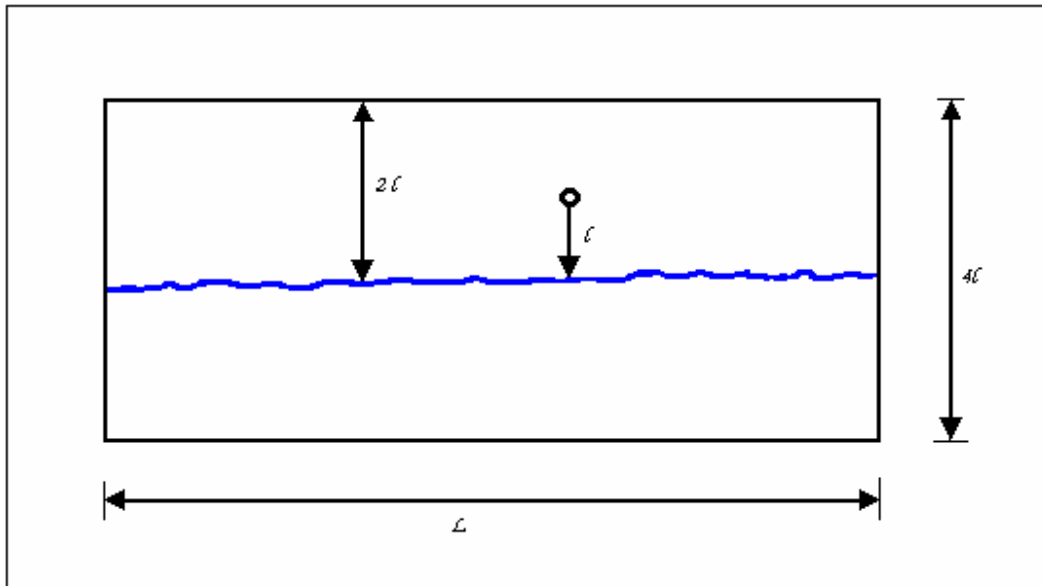


Figura 23. Extensión media de la escorrentía superficial

7.3 ASPECTOS DEL RELIEVE SUPERFICIAL Y DE LOS SISTEMAS DE CAUCES

El estudio del relieve superficial de una cuenca hidrográfica se debe hacer por separado del relieve de los cauces, pero su análisis e interpretación están estrechamente relacionados, en razón de que estos dos parámetros son factores determinantes de la torrencialidad de las cuencas. De otra parte, la determinación del relieve superficial, no como un índice promedio sino como una distribución sobre un plano horizontal, es un elemento fundamental en el proceso de planificación de una cuenca hidrográfica y, en general, de cualquier territorio.

7.3.1 Gradientes del cauce. Para realizar el análisis de los gradientes del cauce es necesario disponer de un plano topográfico con curvas de nivel, donde se muestre, además, el desarrollo longitudinal del cauce principal y sus tributarios más importantes.

7.3.1.1 Perfil longitudinal del cauce. El perfil longitudinal de un cauce se puede mostrar, gráficamente, mediante la representación de la altura en las ordenadas, como una función de la distancia horizontal en las abscisas. La altura, comúnmente, se da en metros, por encima de un nivel de referencia, y la distancia en metros o en kilómetros, medida desde la desembocadura hasta el punto más alto o cualquier otro punto de referencia. Para cauces de alta descarga y orden, se usa un factor grande de exageración vertical, en tanto que en cuencas de orden bajo y regiones de gran relieve, no se requiere. Figura 24.

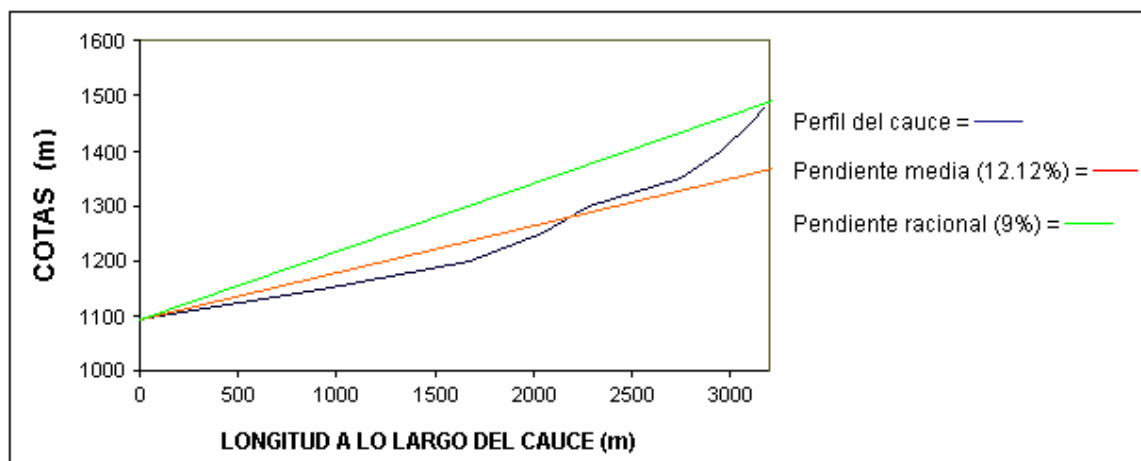


Figura 24. Perfil longitudinal del cauce principal de la quebrada San Antonio subcuenca río Chipalo

El perfil del cauce tiene un desarrollo continuo, a pesar de la unión de tributarios de igual o menor número de orden.

Cuando los perfiles se toman de mapas topográficos, la elevación de los cauces se estima de las curvas de nivel. En cauces de bajo orden, la distinción entre el fondo y la superficie, es indeterminada o trivial.

La longitud del perfil del cauce puede ser ajustada por una ecuación que exprese la regresión estadística de la elevación, como la variable dependiente, en función de la

distancia horizontal, como la variable independiente. Para establecer este ajuste se pueden considerar ecuaciones de regresión simple.

7.3.1.2 Pendiente media del cauce. La influencia de la pendiente media total de la corriente se nota, principalmente, en la velocidad de flujo, y en la duración de subida o en la duración total de las avenidas y, por consiguiente, juega un papel importante en la forma del hidrograma. Su influencia se acopla a la de la longitud de la corriente.

La pendiente media total de las corrientes de agua, indica, también, el aspecto de la variación de algunas características físicas, químicas y biológicas de las aguas. En este sentido, por ejemplo, una corriente de pendientes pronunciadas tendrá siempre aguas mejor oxigenadas y mineralizadas, debido a la mayor turbulencia y la mayor capacidad de erosión y transporte. En conexión con el contenido de oxígeno y la mineralización, las condiciones biológicas serán, a su vez, más favorables.

La pendiente media del cauce se puede calcular por los siguientes métodos: método de los valores extremos, método de la compensación de áreas o pendiente racional, y el método propuesto por Taylor y Schwarz.

7.3.1.2.1 Método de los valores extremos. Para establecer el valor promedio de la pendiente del cauce (P_m) por este método, es necesario conocer la diferencia de nivel entre la cabecera del cauce y su desembocadura (Δh), o cualquier otro punto o sección considerado, y la longitud de la corriente (L), hasta la desembocadura o sección. El método consiste en determinar el desnivel entre los puntos más elevado y más bajo del cauce y, luego, dividir este valor entre la longitud del mismo.

$$P_m = \frac{\Delta h}{L} * 100$$

Esta pendiente equivale a calcular la pendiente de la línea que une el punto más bajo con el más alto, del perfil longitudinal del cauce. Figura 24.

Este método puede ser utilizado en cauces de poca longitud, o de muy poca variación altitudinal, en donde el perfil del cauce casi que coincide con la recta que une los puntos extremos.

7.3.1.2.2 Método de compensación de áreas o pendiente racional. Este método consiste en determinar la pendiente de la línea que, dibujada desde el punto más bajo, corta el perfil, de tal modo, que el área por encima de la línea, y limitada por el perfil, sea igual al área por debajo de la línea e igualmente delimitada por el perfil longitudinal del cauce. Con este método lo que se busca es compensar los tramos de mayor pendiente con los de menor pendiente. Figura 24.

Para calcular la pendiente racional se sigue el siguiente procedimiento:

- Se mide el área bajo el perfil longitudinal del cauce.
- El área bajo el perfil se asimila al área de un triángulo rectángulo, de base conocida.
- A partir de la fórmula del área del triángulo rectángulo, se calcula la altura del triángulo que tiene una base igual a la longitud del cauce, y un área igual al área determinada bajo el perfil longitudinal del mismo. Esta altura, sumada a la cota más baja del cauce, determina la cota hasta la cual debe llegar la línea que, dibujada desde el punto más bajo, corta el perfil, de tal modo, que compensa las áreas de mayor pendiente, con las de menor pendiente.
- La pendiente de la línea trazada equivale a la pendiente racional del cauce.

7.3.1.2.3 Método de Taylor y Schwarz. Para el cálculo de la pendiente media del cauce (P_m), Taylor y Schwarz utilizaron la pendiente de un canal uniforme de la misma longitud y distribución de flujo que el cauce principal. Puesto que la velocidad

del flujo es proporcional a la raíz cuadrada de la pendiente, este proceso equivale a ponderar segmentos del cauce de acuerdo con la raíz cuadrada de sus pendientes (P_i), lo cual da, relativamente, menor peso a las partes más pendientes de la zona alta del cauce. De acuerdo con lo anterior, si el canal estuviese dividido en n partes iguales, un índice simple de la pendiente media del cauce sería:

$$Pm = \left(\frac{\sum_{i=1}^n \sqrt{P_i}}{n} \right)^2$$

7.3.1.3 Concavidad o convexidad de los cauces (c). Los perfiles típicos de los cauces naturales son cóncavos; sin embargo, puede presentarse el caso de perfiles de cauces que presentan forma convexa, especialmente cuando se tienen cauces cortos, jóvenes o que se encuentran en zonas resistentes a la erosión.

La concavidad o convexidad se puede cuantificar, relacionando la distancia vertical entre el arco (perfil) y la cuerda del perfil (línea que une los puntos extremos del perfil), (a), respecto a la elevación de la cuerda (A), en el punto correspondiente a la longitud media del cauce. Figura 25.

$$c = \frac{a}{A}$$

7.3.2 Gradientes de la superficie. La pendiente del terreno es un factor importante en el proceso de flujo de superficie, y es, por lo tanto, un parámetro que tiene influencia en el régimen hidrológico, particularmente en cuencas pequeñas, donde el proceso de flujo de superficie puede ser el factor dominante en la determinación de la forma del hidrograma.

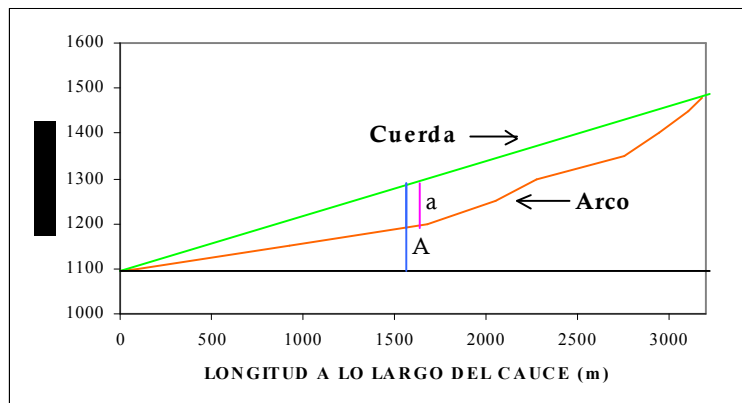


Figura 25. Determinación de la concavidad del cauce principal de la quebrada San Antonio subcuenca río Chipalo

La pendiente de la cuenca es una característica que controla, en buena parte, la velocidad con que se da la escorrentía superficial, y afecta, por lo tanto, el tiempo que requiere el agua de la lluvia para concentrarse en los lechos fluviales, que constituyen la red de drenaje de las cuencas.

En relación con el crecimiento de la pendiente media de la cuenca, crece la velocidad media de la escorrentía superficial y, en función de esta, disminuye la infiltración, pueden crecer los picos de las avenidas, aumenta la capacidad de erosión y, en condiciones de homogeneidad litológica, pueden crecer la turbidez del agua o la concentración de sedimentos, y los caudales de aluviones.

Dada la variación considerable de la pendiente del terreno, de una cuenca típica, es necesario definir un índice promedio que la represente. Para el caso se han establecido diferentes procedimientos para el cálculo de la pendiente media superficial, los cuales se describen a continuación.

7.3.2.1 Método de isotangentes. Las condiciones de pendiente sobre una cuenca hidrográfica pueden ser mostradas por el mapa de isotangentes o mapa de pendientes superficiales, el cual indica el grado de inclinación de la superficie del terreno. Figura 26.

Un procedimiento para la elaboración del mapa de pendientes es el siguiente:

- Sobre un mapa topográfico se determina la pendiente en tramos cortos, trazando líneas perpendiculares a los contornos de las curvas de nivel; en esta forma se obtienen muchos puntos de pendiente sobre el mapa. Estos puntos se enumeran de acuerdo con las categorías de pendiente utilizadas, y a cada una de ellas se le asigna un color especial. Para ello se utilizan las diferentes gamas de amarillo, iniciando con el amarillo hueso, para la categoría de pendiente más baja, hasta llegar al naranja, y continuar, luego, con las diferentes gamas de café, para las categorías de pendiente más fuertes.
- Luego, al agrupar los colores, se puede producir un mapa preliminar; se deben realizar comprobaciones en el terreno, antes de elaborar el mapa final de las categorías de pendiente.
- Con el planímetro se miden las áreas correspondientes a cada clase o categoría de pendientes. Con estos resultados se consigue una distribución porcentual de la frecuencia de las pendientes, con la que puede calcularse la pendiente media, la varianza, la desviación estándar y el coeficiente de variación, y construirse el histograma de distribución de frecuencias de pendientes.

7.3.2.2 Método de coordenadas al azar. En una tabla de números aleatorios o utilizando un programa de computador que genere números aleatorios, se determinan los pares de coordenadas que se van a tomar como muestra. Una vez seleccionadas las coordenadas, de la muestra, se localizan en el mapa, y en el punto de corte de cada una de ellas se determina la pendiente. Con los valores de las pendientes calculadas, en cada corte de coordenadas, se elabora una tabla de

distribución de frecuencias, a partir de la cual se calcula la pendiente media, y los parámetros de variabilidad.

7.3.2.3 Método de la red cuadrada. Este método consiste en demarcar un cuadrado sobre el área de la cuenca, y proceder a cuadricular el cuadrado en 100 cuadrículas. Una vez elaborada la cuadrícula se calcula la pendiente en el centro de cada cuadrícula, y con los valores obtenidos se construye la tabla y el histograma de frecuencias, y se calcula la pendiente media, la varianza, la desviación estándar y el coeficiente de variación.

7.3.2.4 Método de Horton. Para aplicar este método se traza una cuadrícula sobre el plano del área de la cuenca a analizar, de tal forma que contenga, como mínimo, cuatro cuadros por cada lado, cuando se trata de cuencas de menos de 250 Km², y se aumentará el número de cuadros en la medida que aumente el área de la cuenca. Para el trazado de la malla el plano se orientará con base en la dirección predominante del cauce principal. A partir de la cuadrícula se toma la medida de la longitud de cada línea de la malla, tanto en el eje de las X como de las Y, y comprendidas dentro de los límites de la cuenca; luego se procede a contabilizar el número de cortes y tangencias de cada línea, con las curvas de nivel. Se debe tener en cuenta que el plano topográfico contenga las curvas de nivel con igual equidistancia. Para calcular la pendiente media de la cuenca, Horton propuso la siguiente expresión:

$$Pm = \frac{Ed \times \text{Sec } \alpha (N_x + N_y)}{L_x + L_y}$$

Pm = Pendiente media, en por mil.

Ed = Equidistancia entre curvas de nivel, en metros.

$\text{Sec } \alpha$ = Secante del ángulo formado por las líneas de la malla, y las curvas de nivel.

N_x = Número total de cortes y tangencias de la malla, en la dirección X, con las curvas de nivel.

N_Y = Número total de cortes y tangencias de la malla, en la dirección Y, con las curvas de nivel.

L_X = Longitud total de las líneas de la cuadrícula, en la dirección X, medidas dentro de los límites de la cuenca, en kilómetros.

L_Y = Longitud total de las líneas de la cuadrícula, en la dirección Y, medidas dentro de los límites de la cuenca, en kilómetros.

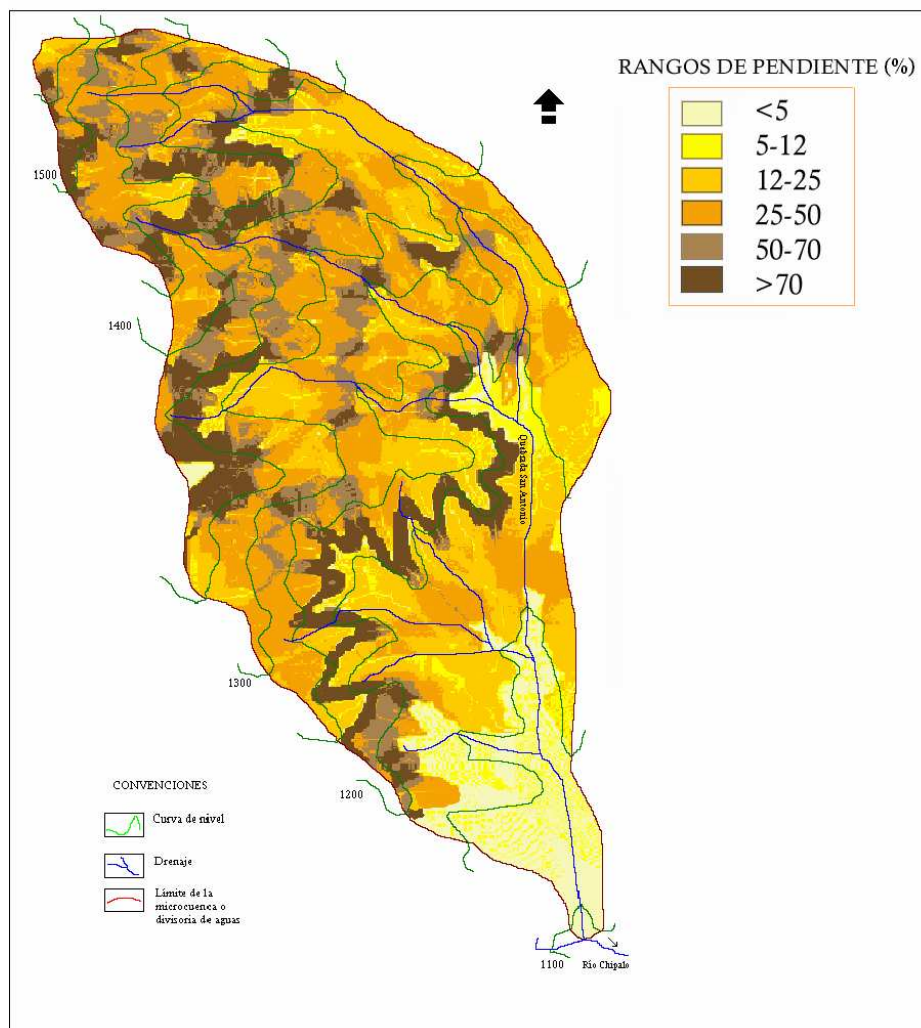


Figura 26. Mapa de pendientes superficiales microcuenca San Antonio – subcuenca río Chipalo. Fuente: Aranda, N., et. al 1999

Debido a lo dispendioso que resulta medir los ángulos que forman las líneas de la malla con las curvas de nivel, Horton sugiere usar un valor promedio de 1,57, para reemplazar la $Sec\alpha$.

7.3.2.5 Índice de pendiente. Este método consiste en determinar la pendiente media de la superficie de una cuenca hidrográfica, como un promedio ponderado de las pendientes que se encuentran en el interior de los límites de dicha cuenca.

El cálculo de este valor morfométrico es muy similar al de la elevación media de la cuenca; sin embargo, para facilidades de cálculo, en la práctica se suele utilizar la siguiente ecuación:

$$Pm = \frac{Ed \times \sum_{i=1}^n L_i}{A}$$

Pm = Pendiente media, en por mil.

Ed = Equidistancia entre las curvas de nivel, en metros.

$\sum_{i=1}^n L_i$ = Longitud total de curvas de nivel encerradas por los límites de la cuenca considerada, en Km.

A = Área de la cuenca, en Km².

La fórmula indicada, anteriormente, introduce una cierta aproximación, por no tener en cuenta las diferencias de altura entre las curvas de nivel marginales, y las divisorias de aguas, las cuales, generalmente, son menores en su equidistancia, pero esto no tiene relevancia, por no arrojar errores significativos.

De los diferentes métodos propuestos para determinar la pendiente media superficial, se puede decir que todos son funcionales, es decir, arrojan índices promedios similares. Sin embargo, el procedimiento más recomendable es el método de isotangentes, en razón de que, mediante este procedimiento, se obtiene un plano

que muestra la distribución de las pendientes superficiales en la cuenca, elemento este de gran utilidad en el proceso de planificación del uso del suelo.

7.4 ASPECTOS ALTITUDINALES DE LAS CUENCAS

El análisis hipsográfico permite determinar ciertos parámetros relacionados con la distribución de las alturas en la cuenca, los cuales ayudan a comprender cómo es el devenir de los caudales en la misma, y a determinar, mediante curvas y figuras geométricas, el cubrimiento, en superficie, de los diferentes rangos altitudinales.

7.4.1 Importancia de la elevación de la cuenca. La variación altitudinal de una cuenca hidrográfica tiene mucha importancia por constituir, en zonas montañosas, el criterio de variación territorial del rendimiento, escurrimiento, escorrentía o caudal específico de las corrientes de agua.

En condiciones de régimen hidrológico natural, los rendimientos medios de una cuenca crecen con la elevación media de la cuenca, hasta ciertos valores correspondientes al plafón promedio de las nubes que producen precipitaciones, arriba de los cuales empiezan a disminuir. Figura 27.

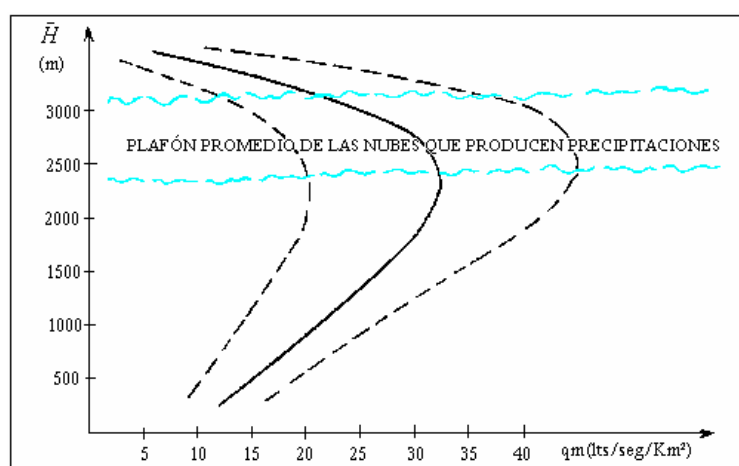


Figura 27. Relación entre rendimientos promedios multianuales y elevaciones medias de las cuencas hidrográficas

Lo anterior, se debe a la variación de las precipitaciones con la altura, siendo el escurrimiento una función directa de la cantidad de precipitaciones. Esta variación, desde luego, no es la misma en cualquier región, sino que para cada zona, con condiciones climáticas específicas, se encuentra un tipo distinto de relación.

Los gradientes de variación de la esorrentía media con la altura están en estrecha relación con la variación de los gradientes de las precipitaciones medias, en función de la altura. Generalmente, los gradientes de crecimiento de la esorrentía son reducidos en las regiones bajas, que circundan las montañas, van creciendo con la altura sobre las vertientes, disminuyen alrededor de la altura del plafón promedio de las nubes, y se vuelven negativos más arriba.

En cuanto a la variación territorial de otros elementos del régimen hidrológico, la altura de la cuenca también tiene notable importancia. Generalmente, esto es bastante evidente con relación a la temperatura del agua, que está directamente relacionada con las temperaturas del aire, dentro del área de captación de la cuenca hidrográfica. La concentración de sedimentos también puede variar con la elevación media de la cuenca, por constituir, esta última, el criterio de variación de la esorrentía. A su vez, la concentración de sedimentos, en condiciones de homogeneidad litológica, crece en función del escurrimiento superficial, lo que indica una mayor capacidad de erosión y de arrastre. En este aspecto, desde luego, se encuentran, frecuentemente, excepciones, determinadas por las condiciones litológicas de la capa superficial del suelo.

En cuanto a las características físicas, químicas y biológicas de las aguas, estas también varían en función de la altura media de la cuenca, debido, principalmente, a la relación que existe entre la temperatura del agua y la altura, y a la importante interdependencia que hay entre la temperatura, y las principales características físico-químicas y biológicas del agua.

7.4.2 Curva hipsométrica. Cuando uno o más factores de interés en la cuenca hidrográfica dependen de la elevación, es útil saber cómo es la distribución altitudinal de su territorio. Esta distribución se puede mostrar por medio del histograma de las áreas comprendidas en los distintos rangos de altura. Sin embargo, como el devenir de los caudales en una sección fluvial depende, en forma acumulativa, de todo lo que ocurre aguas arriba de ella, se prefiere representar la distribución altitudinal mediante una curva de área-elevación o curva hipsométrica, la cual permite establecer, para cada altura, el área comprendida en la cuenca, y situada a una altura mayor que la que es dada.

La curva hipsométrica, o curva hipsográfica, es la representación gráfica del relieve de una cuenca. Representa el estudio de la variación de la elevación de los varios terrenos de la cuenca, con referencia al nivel medio del mar. Esta variación puede ser indicada por medio de un gráfico que muestre el porcentaje de área de drenaje que existe por encima, o por debajo de varias elevaciones.

Para construir la curva hipsométrica, se debe medir el área comprendida entre los límites de la cuenca y bajo cada isohipsa, y ordenar esta información según se muestra en la tabla 10. Para trazar la curva hipsométrica, se representan, en un sistema de coordenadas, las alturas en la ordenada, en función del área acumulada, por encima o por debajo de una cierta elevación, en la abscisa. Es conveniente utilizar las áreas acumuladas en porcentaje, en lugar de su valor absoluto, particularmente cuando se desea realizar comparaciones entre varias cuencas hidrográficas. Figura 28.

Tabla 10. Modelo de tabla para ordenar la información necesaria para la construcción de la curva hipsométrica (quebrada San Antonio - Subcuenca Río Chipalo)

Cota (m)	Área (Ha)		Área (%)	
	Sobre cota	Bajo cota	Sobre cota	Bajo cota
1095	196,8	0	100	0
1100	196,2	0,6	99,7	0,3
1150	180,6	16,2	91,8	8,2
1200	141,2	55,6	71,7	28,3
1250	105,6	91,2	53,7	46,3
1300	75,0	121,8	38,1	61,9
1350	45,0	151,8	22,9	77,1
1400	28,1	168,7	14,3	85,7
1450	13,1	183,7	6,7	93,3
1500	3,7	193,1	1,9	98,1
1550	0,6	196,2	0,3	99,7
1565	0,0	196,8	0	100

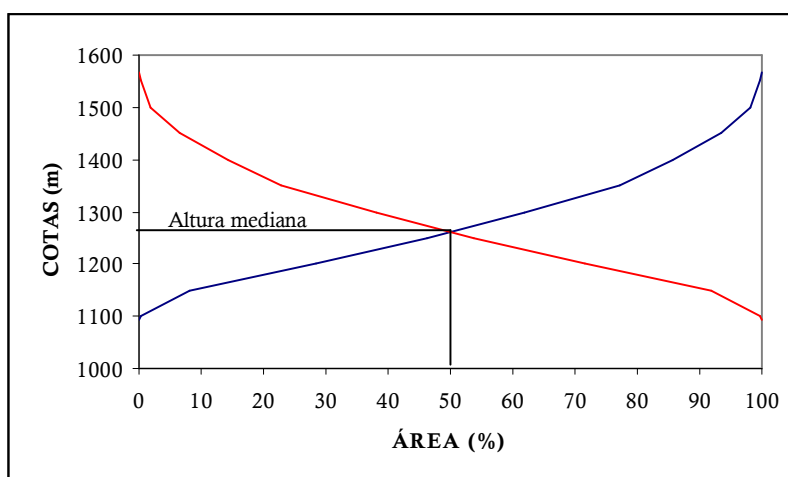


Figura 28. Curva hipsométrica de la microcuenca de la quebrada San Antonio subcuenca río Chipalo

Esta representación gráfica permite conocer, fácilmente, los porcentajes de área por encima o por debajo de una determinada altura. Utilizando una escala porcentual de áreas se puede obtener, directamente de la curva hipsométrica, la altura correspondiente al 50% del área total o altura mediana, que es la que separa la cuenca en mitades, de altitud mayor y altitud menor que la mediana.

La curva hipsométrica permite caracterizar el relieve. Una pendiente fuerte en el origen hacia cotas inferiores indica llanuras o penillanuras (relieve poco diferenciado, con una llanura suavemente ondulada); si la pendiente es muy fuerte hay peligro de inundación. Una pendiente muy débil en esa parte, revela un valle encajonado. Una pendiente fuerte hacia la parte media indica una meseta.

7.4.3 Altura media. La altitud y la elevación media de una cuenca son importantes, por la influencia que ejercen sobre la precipitación, sobre las pérdidas de agua por evaporación y transpiración y, consecuentemente, sobre el caudal medio.

Su determinación se hace a partir de un plano topográfico, empleando uno de los métodos que se describen a continuación.

7.4.3.1 Método área-elevación. La elevación media de la cuenca hidrográfica se determina como el promedio ponderado de las alturas que se encuentran dentro de la cuenca considerada.

La elevación media, por este método, viene dada por la siguiente ecuación:

$$\bar{H} = \frac{\frac{H_1 + 2H_2}{3} \times A_1 + \frac{H_2 + H_3}{2} \times A_2 + \dots + \frac{2H_{n-1} + H_n}{3} \times A_n}{A_1 + A_2 + A_3 + \dots + A_{n-1} + A_n}$$

\bar{H} = Elevación media de la cuenca, en metros.

$H_1, H_2, H_3, \dots, H_n$ = Altura indicada por las curvas de nivel, desde el punto más bajo hasta la divisoria más alta, en metros.

$A_1, A_2, A_3, \dots, A_n$ = Área comprendida entre las curvas de nivel y la divisoria de aguas, en Km².

Observando la fórmula para el cálculo de la altura media, a cada superficie parcial, comprendida entre dos curvas de nivel, se le asigna la altura resultante de la semisuma de los valores de las curvas de nivel consideradas. Solamente, para las superficies marginales, comprendidas entre una curva de nivel y la divisoria de aguas, se consideran elevaciones medias diferentes del valor de la semisuma de alturas circundantes, elevaciones que son más cercanas a los valores de las curvas de nivel, razón por la cual a la curva de nivel se le da un peso mayor (se pondera por 2).

7.4.3.2 Método a partir de la curva hipsométrica. La altura media de una cuenca se puede determinar como la ordenada media de la curva hipsométrica, midiendo el área comprendida bajo la curva, hasta el plano horizontal de base que pasa por el punto de menor altura de la cuenca. Esta área, en realidad, corresponde a un volumen que, dividido entre el área de la cuenca, permite calcular un incremento en altura que, sumado a la cota más baja de la cuenca, determina la altura media de la misma.

7.4.3.3 Método de las cuadrículas. La aplicación de este método se basa en la elaboración de una malla, en cuadrículas de un tamaño tal, que permita un número adecuado de intersecciones. Para hacer un buen estimativo de la altura media de la cuenca, se recomienda elaborar una malla con un mínimo de 100 intersecciones.

En cada intersección del plano topográfico se determina la elevación, y la altura media de la cuenca será el promedio aritmético de las elevaciones de todas las intersecciones encerradas dentro de la divisoria de la cuenca.

7.4.4 Coeficiente de masividad (C_m). El coeficiente de masividad expresa la relación entre la altura media de la cuenca (\bar{H}) y su superficie proyectada (A). Se expresa en m/Km².

$$C_m = \frac{\bar{H}}{A}$$

El coeficiente de masividad crece a medida que aumenta la altura media de la cuenca, y disminuye su superficie. Por consiguiente, toma valores grandes para cuencas muy pequeñas y montañosas (que presentan grandes desniveles), y disminuye para cuencas extensas de relieve poco acentuado.

Este coeficiente permite diferenciar, netamente, cuencas de igual altura media, y relieve distinto, aun cuando no es suficiente para caracterizar la susceptibilidad a la erosión de una cuenca, pues puede dar valores iguales, en el caso de cuencas en que la altura media y la superficie, aumentan proporcionalmente.

7.4.5 Rectángulo equivalente. Este índice fue introducido por los hidrólogos franceses como un intento de comparar la influencia de las características de las cuencas sobre la escorrentía.

Para facilitar la comparación geométrica de cuencas hidrográficas, estas se pueden reducir a figuras simples, cumpliendo determinadas condiciones de analogía. Uno de los modelos más utilizados es el rectángulo equivalente, propuesto por Roche, que se define como un rectángulo que tiene la misma área de la cuenca, e igual índice de compacidad de Gravelius. La característica más importante de este rectángulo es que tiene igual distribución de alturas, que la curva hipsométrica de la cuenca. Figura 29.

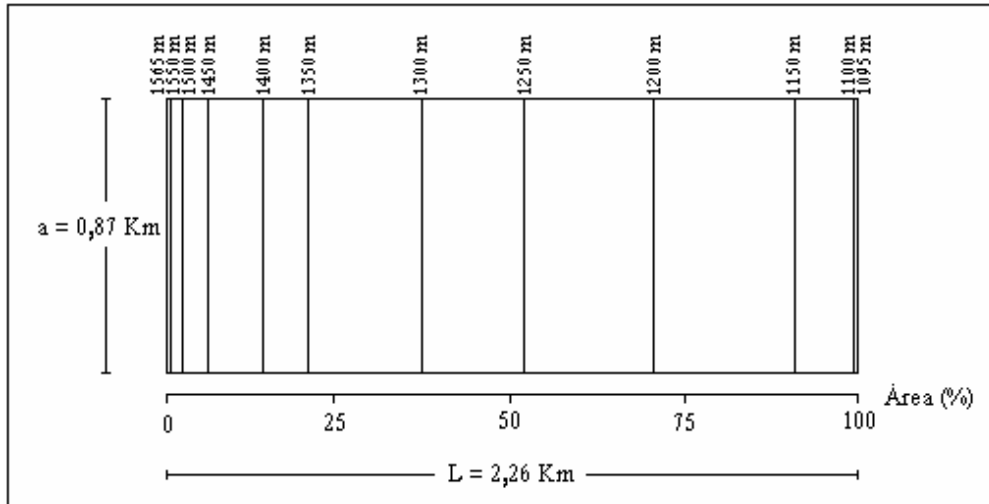


Figura 29. Rectángulo equivalente de la microcuenca de la quebrada San Antonio subcuenca del río Chipalo

El rectángulo equivalente, además de facilitar la comparación geométrica de las cuencas, permite ver la influencia de sus características sobre la escorrentía. Se supone que el escurrimiento sobre una cuenca es, aproximadamente, el mismo en condiciones climatológicas iguales, que sobre un rectángulo de la misma superficie, teniendo el mismo coeficiente de compacidad, y la misma repartición hipsométrica.

Las fórmulas para dimensionar el rectángulo son :

$$L = \frac{\sqrt{\pi}}{2} \times Kc \sqrt{A} \left[1 + \sqrt{1 - \left(\frac{2}{\sqrt{\pi}} \times \frac{1}{Kc} \right)^2} \right]$$

$$a = \frac{\sqrt{\pi}}{2} \times Kc \sqrt{A} \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{2}{\sqrt{\pi}} \times \frac{1}{Kc} \right)^2} \right]$$

L = Largo del rectángulo.

a = Ancho del rectángulo.

Kc = Coeficiente de compacidad.

A = Área de la cuenca.

Una vez dimensionado el rectángulo, se construye un rectángulo equivalente de área igual a la de la cuenca, tal que el lado menor sea a , y el lado mayor L . Las curvas de nivel se representan por rectas paralelas al lado más pequeño del rectángulo, y las distancias entre las curvas de nivel se establecen de acuerdo con los porcentajes de área por encima de las diferentes curvas de nivel.

CAPÍTULO 8

CARACTERIZACIÓN DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA

En la actualidad, el ser humano ha adquirido tal cantidad de conocimientos científicos y tecnológicos, que puede llegar a intervenir en el desarrollo de los procesos de los ecosistemas existentes en la Tierra. Por esta razón, el hombre actual requiere un mínimo conocimiento que le permita abarcar la complejidad del universo en que habita, y en el que se desenvuelve, para poder resolver los problemas que encuentra en su relación con el mismo. Esta comprensión ayuda, especialmente, a no crear mayores dificultades en el largo plazo, por un manejo irreflexivo, ignorante e irresponsable de los recursos naturales, en el corto y mediano plazos.

En una cuenca hidrográfica interactúan una serie de ecosistemas naturales, cuyo grado de complejidad aumenta en relación directa con el tamaño de la cuenca. Estos ecosistemas tienen elementos como el aire, el clima, el suelo, el subsuelo, el agua, la vegetación, la fauna, el paisaje, entre otros, los cuales, en conjunto, conforman lo que se denomina la oferta de bienes y servicios ambientales, o base natural de sustentación; oferta que es necesario conocer, para lograr una utilización sostenible de la misma.

También se presentan formas de aprovechamiento de esa oferta ambiental, que se conoce como la demanda social de bienes y servicios ambientales, expresada en las diferentes actividades que el hombre desarrolla sobre la cuenca, transformándola y estructurándola, a lo largo de toda su evolución cultural, social, económica y tecnológica.

La cuenca y sus ecosistemas se encuentran en constante interacción, afectándose mutuamente. La diversidad de ecosistemas de una cuenca, las actividades humanas,

y los recursos naturales que allí se desarrollan están estrechamente relacionados, por lo que su conocimiento y análisis se debe abordar de manera paralela, para identificar sus conflictos y potencialidades. Este análisis se constituye en la base para orientar y regular, de manera planificada, los usos de los recursos naturales renovables, en armonía con el medio ambiente, y en función de sus objetivos y metas de desarrollo económico, social, ambiental y cultural.

Todos los estudios del medio físico tienen que cubrir una serie de etapas fundamentales para llegar a clasificar la cuenca hidrográfica, objeto de estudio. Para esto, se plantean diferentes tipos de estudios del medio, en función de su relación directa con los objetivos que persigue el trabajo, y el ámbito territorial que abarca la cuenca; estas diferencias quedan patentes en la fase de inventarios, donde se presenta la necesidad de que se realicen determinados tipos de inventarios y a determinados niveles. El inventario hace referencia a la recolección de información relativa a los elementos del medio, dentro de un área determinada, que puede ser una cuenca, y debe ser un proceso encauzado y orientado, que constituye la etapa inicial sobre la que se sustentan todas las demás etapas de un estudio del medio físico.

Es así, como siempre que se quiere administrar un recurso natural o un conjunto de recursos en forma integrada, como es el caso del manejo de cuencas hidrográficas, es necesario obtener información, tanto en calidad como en cantidad. En este sentido, la información que se recolecte debe ser exacta, es decir, correcta y representativa de la realidad que se está describiendo. La recolección de la información es, con frecuencia, una de las fases más costosas y laboriosas en los estudios del medio y, en cualquier caso, constituye una fase de crucial importancia, pues condiciona la bondad de los resultados obtenidos.

La calidad de la información, en cuanto a que sea lo más exacta posible, es una de las características más importantes que tienen que cumplir las variables seleccionadas; para ello, se precisa que su definición sea clara, sencilla e

independiente, de forma que al no haber ambigüedades en su definición, cualquier actor participante en el proceso las pueda definir del mismo modo, sin cometer errores. Estos errores de especificación se diferencian de otro tipo de errores, los de medición, que son más difíciles de contrastar y, por tanto, pueden pasar fácilmente desapercibidos.

En la realización del inventario tiene que existir consistencia y homogeneidad de los datos. Por ello, es importante que el equipo que lleva a cabo el inventario tenga una visión conjunta del territorio, y de todos los elementos que se vayan a inventariar. También, es recomendable que el equipo que participa en la fase del inventario sea el que más tarde participe en el tratamiento y ordenación de los datos.

Dada la complejidad de los problemas que se pueden presentar en las cuencas, y considerando que la formulación de programas, y la ejecución de múltiples proyectos de gestión de cuencas requiere de un sistema confiable y permanente de apoyo, es necesario disponer de un buen sistema de información; un equipo de profesionales capaces de dirigir trabajos interdisciplinarios, e interactuar con la población y actores locales; y un adecuado período de permanencia del equipo de profesionales en el área de estudio.

8.1 RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN

Un aspecto especial y fundamental en la planificación de cuencas es el referente a la recolección de información. Sobre esta actividad hay aspectos importantes que considerar: 1) existe una tendencia general, en planificación, a recolectar más información de la necesaria en ciertas áreas y menos en otras; en este sentido, basados en los objetivos de la planificación, se debe hacer una selección de las variables del medio que hay que estudiar, y la definición del nivel de detalle en que se debe realizar el estudio de dichas variables. Es por esto, que en la etapa preliminar del plan se debe contemplar, con precisión, los requerimientos exactos de información, cómo y dónde obtener los datos. Las fuentes de información las

constituyen: datos primarios, que corresponden a la información que se recoge directamente mediante reconocimientos de campo, consultas personales y encuestas, información obtenida por el procesamiento y análisis de datos en la oficina; y datos secundarios, que es la información que se obtiene de la revisión bibliográfica y cartográfica publicada en estudios anteriores, estadísticas e informes, que puedan ser de utilidad. Los formatos y tablas para la colección de datos deben ser claros, concisos, prácticos y bien diseñados. Las técnicas generales utilizadas para la recolección de la información de campo incluyen estadísticas y muestreos, interpretación de fotografías aéreas, imágenes de satélite, elaboración de mapas temáticos, y diseño y diligenciamiento de formularios. 2) Generalmente, se requiere de la siguiente información: descripción general del área de la cuenca, características biofísicas, características sociales, características económicas, infraestructura existente en la cuenca, presencia institucional, e información cultural. 3) La información debe organizarse de forma sistemática, de manera que su almacenamiento, tratamiento, actualización y recuperación sean lo más sencillo y ágil posibles. El establecimiento de una base de datos permitirá utilizar la información recolectada en estudios futuros, con los cuales se pueda proveer una visión clara de los cambios que hayan podido ocurrir en los diferentes elementos de la cuenca; como por ejemplo: levantamientos periódicos sobre el uso de la tierra, datos de erosión y sedimentación, tamaño de los predios, los cuales pueden proveer una visión clara de los cambios que hayan podido ocurrir.

La colección y análisis de la información requieren de equipos interdisciplinarios de profesionales y técnicos. La naturaleza integral de nuestro ambiente exige el uso de equipos interdisciplinarios de planificación. En el pasado, la mayor parte de la planificación de cuencas hidrográficas era llevada a cabo por ingenieros, economistas e hidrólogos, para propósitos sectoriales bastante restringidos. Sin embargo, a medida que los objetivos de la planificación de cuencas hidrográficas se expanden para rodear otros intereses que los de las obras de construcción o de control de los ríos, hay, también, necesidad de incluir otras disciplinas en un papel que es más que el de la simple consulta. Las ramificaciones del desarrollo de

cuencas hidrográficas son demasiado amplias, y las posibilidades de error muy grandes, para que su planificación sea dejada en manos de un grupo más o menos homogéneo.

En este sentido, lo que puede ser intangible para un ingeniero o un economista, puede ser bien comprendido por un sociólogo, un antropólogo o un ecólogo. Debido a que lo opuesto también es cierto, los equipos interdisciplinarios de planificación se hacen necesarios. Esto significa un equipo que trabaje hacia un objetivo específico, sea de ingeniería, social o ambiental.

8.1.1 Descripción general del área de la cuenca. Se debe indicar el tamaño y ubicación de la cuenca, referenciando las coordenadas en sus puntos extremos, tanto planas como geográficas; las cuencas con las cuales limita y un breve análisis de las mismas, con el fin de detectar posibles relaciones físicas, sociales, económicas y medioambientales, que puedan ser de interés; la ubicación cartográfica con relación al país y al departamento; la jurisdicción de la corporación autónoma regional a la que pertenece; y la unidad hidrográfica mayor a la que tributa sus aguas.

8.1.2 Características biofísicas de la cuenca. Las variables de estudio del medio biofísico se pueden agrupar en cuatro grandes grupos: variables relacionadas con la tierra, variables relacionadas con la atmósfera, variables relacionadas con el agua y variables biológicas.

- **Fisiografía.** Con esta información se pretende conocer algunas características propias del relieve de la cuenca, que se puedan asociar con las características hidrológicas y de torrencialidad de la misma. En este sentido, es necesario realizar la sectorización hidrográfica de la cuenca; conocer la distribución altitudinal, la topografía, y la distribución de las pendientes superficiales. Esta caracterización se debe acompañar de los mapas de sectorización hidrográfica y distribución de las pendientes superficiales.

- **Geología, geomorfología y suelos.** El conocimiento de la geología de la cuenca reviste gran importancia, como elemento que tiene profunda influencia en los resultados de las actividades humanas, especialmente en la construcción de obras de infraestructura, tales como: carreteras, puentes, represas, edificaciones, etc. Este conocimiento conlleva el estudio litológico de la cuenca, que comprende conocer la naturaleza, composición, textura y propiedades de las rocas. En la identificación y descripción de las diferentes unidades geológicas se debe hacer énfasis en los grados de estabilidad geológica de las mismas.

El estudio de la geomorfología de la cuenca puede ayudar a la definición del potencial, y de las limitaciones que se derivan de las formas del terreno. En este sentido, se deben identificar los diferentes paisajes presentes en la cuenca, y localizar y describir los procesos geomorfológicos que se están dando en la misma.

Las geoformas son todas aquellas figuras sólidas terrestres (marina, submarina y continental), originadas y moldeadas sobre la corteza terrestre por agentes endógenos (tectonismo, magmatismo) o exógenos (agua, viento). El término “geoformas” encierra, entonces, toda la variedad del relieve existente sobre la Tierra, como: montañas, volcanes, valles, terrazas aluviales, ciénagas, glaciares, playas, dunas, entre otras.

Algunas intervenciones humanas sobre las geoformas llegan a alterarlas; en Colombia, por ejemplo, la actividad generalizada de la ganadería extensiva en la ladera, logra generar microrrelieves, denominados caminos de ganado o erosión pata de vaca, que modifican la superficie de las montañas, y degradan los suelos.

Respecto de las geoformas, este concepto debe ir mucho más allá de la simple configuración física del relieve, y explicar el conjunto de procesos que actúan en un espacio determinado. Los procesos son aquellos que modifican constantemente las geoformas, especialmente por la dinámica externa. Deslizamientos, derrumbes, escurrimientos hídricos superficiales y flujos de lodo, son procesos morfogénicos

cuya acción está condicionada por la geología del lugar, condiciones climáticas, pendiente del terreno, clase de suelos y formas de ocupación humana.

En el caso del relieve y los procesos geomorfológicos, su análisis se realiza para establecer las relaciones que condicionan el desarrollo de las actividades humanas, y la ocupación de los diversos paisajes de la cuenca: valles, llanuras, depresiones y costas, cuya representación cartográfica es clave en la planificación del uso de los suelos. Este análisis específicamente debe permitir: 1) establecer relaciones entre el modelado de la superficie terrestre, y sus formas y procesos, con los patrones de asentamiento de la población, actividades económicas, formas de organización del espacio, y localización de obras de infraestructura; y 2) identificar y cartografiar las limitaciones del relieve, con especial énfasis en la detección de riesgos naturales para la localización de asentamientos humanos y actividades económicas (Massiris, 1991).

En cuanto a los suelos, el contenido, la composición química, la textura, la pedregosidad y la riqueza nutritiva, y demás aspectos de los mismos, determinan sus relaciones con todas las formas de vida vegetal, y establecen ciertos límites a las distintas actividades del hombre. Respecto a este tema, se debe elaborar la cartografía de los suelos, indicando sus características físicas y químicas.

El estudio de suelos se debe orientar, esencialmente, a establecer su clasificación y espacialización en función de la capacidad productiva, de manera que se puedan indicar los usos posibles para la agricultura, la ganadería, plantaciones forestales, conservación, protección, recreación, urbanización, etc., o sea, por los servicios que estos puedan brindar a la naturaleza y a la sociedad. Desde esta perspectiva, los suelos no pueden abordarse exclusivamente desde el punto de vista de sus características físicas y químicas, sino que, además, se deben tener en cuenta, de manera esencial, los ecosistemas en que están inscritos.

- **Clima.** El clima es el conjunto de condiciones atmosféricas que se presentan típicamente en una región a lo largo de los años. El clima es un factor importante del ambiente global, que interviene en todos los procesos del mismo y, a la vez, es afectado por la variedad de interacciones entre las diversas esferas del ecosistema planetario.

Toda propiedad o condición de la atmósfera, cuyo conjunto define el estado físico del clima de un lugar dado, para un período de tiempo determinado, es conocida con el nombre de “elemento climático”. Los principales elementos del clima son: la precipitación, la temperatura, la presión atmosférica, la humedad, la velocidad y dirección del viento, el brillo solar y la nubosidad.

El estudio de las características del clima debe estar enfocado a conocer las condiciones climáticas generales del territorio, y localizar zonas concretas, cuyas características climatológicas particulares difieran del resto del territorio.

Para determinar las diferentes zonas climáticas de una cuenca existen numerosos sistemas de clasificación, entre los que cabe mencionar el de Koppen, Thornthwaite, Lang-Caldas y Holdridge, entre otros. En nuestro medio, el sistema propuesto por Holdridge ha tenido una amplia acogida, hasta el punto de que la mayoría de los estudios de regionalización agroecológica, de bosques, de uso del suelo, de estudios de cuencas hidrográficas, entre otros, tiene su soporte climático en este sistema.

Para la determinación del clima general de la cuenca, se deben inventariar aquellas características que describan el tiempo atmosférico del área, generalmente, a través de las variaciones mensuales y anuales de temperatura y precipitación, y aquellas otras, cuyos valores extremos puedan influir en las relaciones de los elementos físicos y biológicos, y en el desarrollo de las actividades humanas.

En climatología se utilizan los valores promedio para definir y comparar el clima. La norma climática es una medida utilizada con este propósito, y representa el valor

promedio de una serie continua de observaciones sobre una variable climatológica durante un período, por lo menos, de 30 años. Los valores estadísticos de estos parámetros se pueden obtener de mediciones realizadas en estaciones meteorológicas situadas dentro del área de estudio, o mediante estimaciones, a partir de información proveniente de estaciones cercanas al área de estudio, con características similares.

En cuanto a las condiciones hidroclimáticas, la importancia de su estudio se deriva de su papel condicionante de la evolución de los ecosistemas, en sus aspectos biofísicos, y su influencia en la localización de actividades productivas. El indicador más importante, y sobre el cual debe recaer el mayor peso del análisis, lo constituye el balance hídrico, el cual permite establecer los déficit o excesos de agua presentes en la cuenca, información esencial para definir el plan de ordenamiento de la misma.

A continuación se enumeran algunas características del clima, que se recomienda analizar:

Temperatura:

- Máximas y mínimas absolutas anuales.
- Medias del mes más cálido y del más frío.
- Media anual.
- Intervalo anual de temperaturas.
- Períodos libres de heladas.
- Frecuencia de heladas.
- Número de días con heladas (media anual o mensual).

Precipitación:

- Media anual.

- Media mensual de cada mes.
- Media mensual general.
- Número medio anual y mensual de lluvias.

Evapotranspiración:

- Balance hídrico de la cuenca.
- Coeficiente de escurrimiento.
- Evapotranspiración potencial.
- Balance hídrico puntual.

Insolación:

- Medias mensuales y anuales.
- Porcentaje de duración del día.

Humedad atmosférica:

- Humedad relativa.
- Frecuencia de rocío: número de días con rocío (medición anual y mensual).
- Frecuencia de niebla: número de días con niebla (medición anual y mensual).

Viento:

- Frecuencia de las direcciones.
- Frecuencia de las velocidades.
- Viento dominante.
- Velocidad máxima y frecuencia.

- **Hidrografía e hidrología.** Respecto a la hidrografía, se debe resaltar la red hidrográfica y los patrones de drenaje, y ubicar en ella las obras de acueducto u otras relevantes.

En el análisis del medio natural, el agua se debe considerar en un doble aspecto: de disponibilidad y calidad. El estudio de las fuentes de agua, de la cantidad y calidad, de sus formas superficiales, y de la localización de las fuentes de contaminación, debe ser considerado para conocer la capacidad potencial de este recurso, y para efectos negativos de determinadas actuaciones humanas, a corto o largo plazos, que limiten la disponibilidad futura de agua, con un cierto grado de regularidad y calidad.

La descripción de las características hidrológicas de una cuenca (cómo se distribuye el agua, tipos de fuentes, calidad y cantidad del agua, red de drenaje, etc.), proporciona la información necesaria para su clasificación, de acuerdo con criterios de disponibilidad de agua.

El conocimiento de agua disponible en cada punto del territorio de la cuenca tiene interés, no sólo en cuanto es un factor decisivo en la planificación de las actividades a desarrollar en cada sitio de la cuenca, sino, también, para la asignación de usos complementarios de esta. Por ejemplo, la existencia de masas de agua (lagos, lagunas, embalses) en un área, favorecerá su utilización para la recreación, la pesca, el riego, etc.

El análisis de los recursos hídricos, por su parte, aporta datos sobre la ocurrencia, distribución y disponibilidad de aguas superficiales y subterráneas, de donde se obtienen indicadores que facilitan la propuesta de acciones de regadío o control de inundaciones. Así mismo, se analiza la calidad del agua, los procesos de sedimentación y de degradación de cuencas, y las áreas de potencial hidroenergético.

A continuación se enumeran algunos de los principales aspectos a considerar en los estudios del agua.

Aguas superficiales:

- Inventario y cartografía de todas las formas de agua presentes.
- Distancia a las fuentes de agua: zonificación del mapa hidrológico en función de un criterio de distancia al agua.
- Temporalidad (caudales permanentes, estacionales, esporádicos).
- Cantidad y calidad del agua.
- Comportamiento de los caudales diarios, mensuales y anuales.
- Cálculo de la crecida máxima para diferentes períodos de retorno.

Aguas subterráneas:

- Cálculo del nivel freático: profundidad, variaciones de altura, zonas y tipos de recarga, capacidad del acuífero.
- Calidad del agua subterránea.

La base para el inventario de los aspectos considerados son: mapas topográficos y fotografías aéreas, ambos a escala suficientemente grande; registros de caudales diarios, mensuales y anuales; y registros de las crecidas máximas, todo esto apoyado con el trabajo de campo. En cuanto al comportamiento de los caudales mensuales y anuales, se debe hacer el análisis de los registros disponibles, en caso de existir; si no se dispone de esta información, este análisis debe realizarse a partir de la información que arrojen los balances hídricos para la cuenca; de igual manera, el cálculo de la crecida máxima, para diferentes períodos de retorno, si no se tienen registros de crecidas máximas, se debe realizar recurriendo a la utilización de fórmulas empíricas.

Como síntesis, se puede decir que es importante precisar las restricciones y problemas que presenta el aprovechamiento del recurso agua, determinar las cualidades que lo hacen aprovechable para diferentes usos, y los elementos que afectan su calidad y cantidad.

- **Zonas de amenazas y riesgos naturales.** Como ya se anotó en el Capítulo 4, el riesgo puede calificarse como alto, medio o bajo, a través de su respectiva zonificación, que debe plasmarse en un mapa, en donde se puedan visualizar las áreas de riesgo y aquellas que no presentan problemas, identificando las que pueden ser recuperadas y las que revisten mayor potencial de amenaza.

Según el Ministerio del Medio Ambiente (1998), los elementos a tener en cuenta para la evaluación de amenazas son:

- El tipo de amenaza: erupciones volcánicas, sismos, maremotos, deslizamientos, incendios, explosiones, huracanes e inundaciones.
- Localización de la amenaza y área de influencia de la misma.
- Frecuencia e intensidad del fenómeno.
- Acopio de información técnica sobre geología, cobertura vegetal, clima, pendientes, erosión, entre otra.
- Información de la comunidad para determinar eventos ocurridos en tiempos anteriores, lo cual se convierte en elemento básico para la identificación y evaluación de la amenaza.
- Conjuntamente con la determinación de variables, se debe determinar la vulnerabilidad de la población, o las actividades productivas frente a la

amenaza, lo cual puede responder a las preguntas: ¿qué puede ser afectado?, ¿cómo se evita o mitiga?

- **Uso actual de los suelos y tipos de vegetación.** El uso actual constituye la utilización efectiva de la cuenca que se diagnostica, y la manera como se han aprovechado los recursos naturales como: suelo, agua, vegetación, minerales y energía (Méndez, 1990).

El ordenamiento del uso de los suelos de la cuenca es de vital importancia para reducir los riesgos de inundaciones que afecten a la población asentada en la cuenca, y para reducir los peligros de contaminación y de erosión. Para realizar un buen programa de manejo de cuencas se deben conocer los usos actuales de los suelos, en razón de que cada uso requiere de un tratamiento distinto. El uso urbano, el forestal, el agrícola u otro, presenta desafíos y actores diferentes. En este sentido, cuanto más se sistematicen las diferentes opciones de solución, incluyendo un análisis de costos y beneficios de cada tratamiento, más fácil es llegar a acuerdos entre actores.

La práctica de actividades, tanto agrícolas como pecuarias inadecuadas, sumado a la utilización de tecnologías inapropiadas, ocasiona graves procesos de deterioro ambiental, además de la consecuente reducción de la productividad y competitividad de estas actividades. Desde este punto de vista, es importante que el análisis de los usos del suelo incorpore las relaciones existentes entre los diversos tipos de sistemas productivos, a fin de conocer las ventajas comparativas existentes en la cuenca, e identificar las alternativas de uso más competitivas, tanto para los productores como para la región.

El uso actual del suelo tiene implícitas consideraciones de tipo agroecológico, social, económico y cultural. En este aspecto, es necesario confrontar los dos tipos de uso: el actual y el potencial.

En cuanto a los usos actuales de los suelos, se deben cartografiar, describir y explicar, los diversos usos que se dan en la cuenca, como: cultivos, pastos, praderas, forestales, agroforestal, vida silvestre, aprovechamientos mineros, áreas de recreación, áreas urbanas, etc.

Respecto a los tipos de vegetación, esta constituye el mosaico de plantas que cubre el suelo en un territorio dado, y se considera una variable clave en el inventario para el diagnóstico de una cuenca, por las siguientes razones: 1) es uno de los elementos del medio más visible, y cualquier cambio en él puede afectar la clasificación que se tenga del territorio de la cuenca; 2) es un buen indicador indirecto de las condiciones ambientales de la cuenca, pues sintetiza la interacción de numerosos componentes del medio biofísico, en el tiempo y en el espacio; 3) las comunidades vegetales son representativas del ecosistema de que forman parte y, así, es posible reconocer los diferentes ecosistemas de un área por delimitación de las comunidades vegetales allí presentes; 4) sirve como indicador de restricciones ambientales. Por ejemplo, la existencia de especies endémicas o en peligro de desaparecer, puede orientar la dedicación de estas hacia objetivos de conservación, o desestimular ciertas técnicas que podrían suponer la eliminación de estas especies; 5) no sólo desempeña un papel muy importante como asimilador básico de la energía solar, constituyéndose en productor primario de todos los ecosistemas, sino que, además, tiene importantes relaciones con el resto de componentes bióticos y abióticos del medio: la vegetación es estabilizadora de pendientes, retarda la erosión, influye en la cantidad y calidad del agua, mantiene microclimas locales, filtra la atmósfera, atenúa el ruido, es el hábitat de las especies animales, etc. y 6) es un componente fundamental del paisaje, ya que algunas de sus características definen elementos básicos de este, como el contraste y los colores.

El objetivo esencial del análisis de la vegetación se orienta a clasificar y delimitar unidades de vegetación relacionadas con condiciones ecológicas determinadas: vegetación productora, vegetación protectora, o vegetación con fines de recreación.

Es importante, también, establecer los conflictos de uso generados por la intervención de la vegetación primaria, y la implantación de actividades productivas.

El inventario deberá incluir todos los aspectos que ayuden a la definición de tipos homogéneos de vegetación. La caracterización de estos tipos se hará en función de sus características estructurales, florísticas y ecológicas que permitan conocer su aptitud y, poder así, determinar sus funciones y su vulnerabilidad frente a estas.

Algunos de los aspectos de la vegetación que hay que inventariar son: 1) composición florística. La composición florística permite juzgar acerca de la riqueza vegetal de un sitio y compararlo con otros. A partir de este análisis se llega a la localización concreta de taxones (género, familia, especie, etc.) raros, endémicos, o en vías de extinción, y a conocer el área de distribución de las diferentes especies. 2) Diversidad. 3) Grado de cubierta general y por estratos. 4) Número y características fisonómicas de las especies dominantes. 5) Altura del estrato superior. 6) Nivel de degradación.

Uno de los propósitos fundamentales del estudio de la vegetación consiste en determinar la función de cada cobertura vegetal, lo cual permite manejar y aplicar, adecuadamente, la vegetación de acuerdo con los objetivos de ordenación de la cuenca; en otras palabras, se puede así describir las áreas más frágiles que deban ser preservadas o restauradas.

El resultado esperado del análisis del uso actual de las tierras y coberturas vegetales es un mapa que contenga los usos agrícolas y pecuarios; tierras boscosas; usos combinados; tierras de conservación y preservación; áreas críticas de erosión; áreas protegidas; cuerpos de agua; áreas urbanas y de expansión; áreas de colonización; áreas de explotación minera; infraestructura y otros usos. En la memoria explicativa de este mapa, además de describir y explicar los diversos usos de las tierras, y explicar sistemáticamente la composición florística de la cuenca, se deben plantear

los problemas que estos presentan, de modo que, posteriormente, faciliten la evaluación de los conflictos de uso.

- **Fauna.** Al estudiar la vegetación es importante, además, tener en cuenta la fauna silvestre existente, pues, como ya se anotó, la vegetación constituye un indicador de las condiciones ambientales del territorio y, por ende, de la existencia o no de determinadas especies de fauna. El conocimiento adecuado de este recurso permite establecer sitios de riqueza faunística, y derivar acciones hacia propuestas de áreas de protección: reservas, santuarios y refugios.

En este caso, se requiere la realización de un catálogo faunístico, el cual debe incluir todos los animales vertebrados presentes en el territorio, y aquellos invertebrados que se consideren de interés, por tratarse de especies en peligro; insectos que se consideren plagas, indicadores de la calidad del agua, u otras circunstancias. Es necesario referirse, en el catálogo, a una serie de características y cualidades de las especies, que hagan posible su integración en el conjunto del estudio del medio. Algunos de los aspectos a tener en cuenta son los siguientes: abundancia, rareza, representatividad, singularidad, repercusiones turísticas y recreativas, interés científico, y áreas de distribución de las especies. Del mismo modo, es necesario señalar los elementos que afectan la presencia, estabilidad y permanencia en el espacio, de este recurso.

- **Uso potencial de los suelos.** El uso potencial de los suelos es el mejor uso que se puede dar a los suelos para obtener una mayor producción, una mejor distribución de las actividades productivas, y unos patrones de uso acordes con el concepto de capacidad y uso sostenido, en función de las condiciones naturales, características sociales y económicas, valores culturales, niveles tecnológicos y tendencias del mercado (Méndez, 1990).

La importancia del uso potencial está dada por el establecimiento de aquellos usos que se consideren más apropiados a las condiciones físicas, naturales, sociales,

económicas, y a la dinámica espacial de la cuenca. Entre los usos potenciales más importantes se pueden enumerar los siguientes: agrícola, pecuario, agroforestal, forestal, de protección, etc.

El estudio del uso potencial debe conducir a clasificar y espacializar las tierras de acuerdo con su aptitud o vocación, definida en función de los criterios de capacidad de uso, adecuación de uso, viabilidad de uso y uso sostenido. La capacidad de uso es la expresión del potencial productivo en condiciones óptimas de aprovechamiento (ausencia de limitaciones). La adecuación de uso se refiere al grado de esfuerzo para llevar una unidad de suelo desde su estado actual al nivel estimado de explotación y, en consecuencia, exige un proceso de evaluación técnica y económica. La viabilidad de uso se refiere a las conveniencias y aceptación para desarrollar una unidad, dadas ciertas condiciones sociales, políticas y económicas existentes. El uso sostenido implica el aprovechamiento de los recursos naturales, tomando en consideración su capacidad de renovación y calidad, de modo que su aprovechamiento no implique su desaparición, agotamiento o degradación (Méndez 1990).

La zonificación del uso potencial debe conducir a la delimitación de áreas físicamente homogéneas, que puedan responder a un uso determinado, con prácticas de manejo similares.

Para realizar un trabajo de esta naturaleza, en cualquier región, es necesario contar con una información básica relacionada con cubrimientos aerofotográficos y cartográficos, estudios básicos, y resultados de experimentación e investigación. El grado de perfeccionamiento de un trabajo de zonificación depende de la calidad y cantidad de información básica con que se cuente. Estas razones permiten recomendar que, en la consecución del material, se seleccione aquel que ofrezca las mayores garantías en cuanto a escala, actualización y detalle de los estudios.

Para la determinación de los usos potenciales del suelo se deben contemplar tres etapas fundamentales:

Primera etapa: definición de parámetros. Todos los parámetros relacionados con las características internas y externas de una zona son importantes en la delimitación de áreas homogéneas existentes en ella.

En conjunto, los parámetros son de tres clases: unos que se pueden observar y medir con relativa facilidad, como la pendiente, la profundidad de los suelos, etc.; otros que requieren de un análisis de resultados para poder determinarlos y clasificarlos, como las características químicas de los suelos; y otros cuya determinación es de carácter subjetivo, y su clasificación depende del criterio de quien lo identifica, como las condiciones políticas de la cuenca.

Para la zonificación de los usos potenciales se utilizan, únicamente, aquellos parámetros que puedan identificarse y medirse con facilidad, teniendo en cuenta, además, que sean estables, puesto que la inestabilidad de un parámetro marca cambios frecuentes y significativos, en la mayoría de los casos.

Segunda etapa: definición de factores limitantes de uso. Se denomina factor limitante al agente que interfiere el pleno uso y manejo de los suelos de una región. Los agentes limitantes pueden ser de carácter físico, social, económico y político.

Para el caso de la zonificación sólo se tienen en cuenta los agentes limitantes de carácter físico, o sea los de fácil detección y medición, en razón de que la detección y clasificación de los agentes sociales, económicos y políticos, es de carácter subjetiva y apreciativa y, además, son agentes que pueden presentar cierta inestabilidad.

Según la CVC (1980), de acuerdo con la facilidad o dificultad que ofrezca una zona para el uso y manejo de sus suelos, se pueden establecer los siguientes grados de limitación:

- Sin limitaciones. Cuando admite universalidad de usos y no requiere prácticas especiales de manejo.
- Limitación ligera. Cuando admite universalidad de usos, y requiere prácticas de manejo sencillas, pero necesarias, generalmente de muy bajo costo.
- Limitación moderada. Cuando su aprovechamiento exige selección de cultivos y prácticas de manejo obligatorias y factibles, con inversiones costosas.
- Limitación severa. Cuando exige estricta selección de usos y prácticas de manejo factibles, pero muy costosas.
- Limitación muy severa. Cuando está restringida para cualquier uso productivo, puesto que sus limitaciones son imposibles de corregir.

Tercera etapa: clasificación aplicada de los factores limitantes. De acuerdo con la naturaleza de cada uno de los agentes físicos seleccionados, para la zonificación, se determinan las características de las limitaciones de cada uno de ellos; así por ejemplo, si un agente físico seleccionado es la temperatura, se podría decir que una zona con baja temperatura y baja luminosidad, presenta una limitación muy severa; en tanto que una zona que tiene exceso o déficit de lluvias, presenta limitación moderada a severa.

El estudio del uso potencial de la tierra debe producir un mapa que señale las tierras óptimas para uso agrícola intensivo, cultivos permanentes, pastos, uso forestal, conservación y protección ambiental, recuperación, usos turísticos-recreacionales, mineros, urbanos, de infraestructura, etc.

- **Conflictos de uso de los suelos.** Cuando el uso actual del suelo no corresponde al uso potencial de las tierras, es decir, que las exigencias de la cobertura vegetal

establecida son diferentes a las posibilidades ofrecidas por la tierra en forma natural, se identifica el área como en conflicto de uso.

Para determinar estos conflictos, los mapas de uso actual y potencial de los suelos se deben superponer, con el fin de ubicar las áreas en conflicto de uso de los suelos, que deben ser las áreas potenciales a intervenir por el planificador y el administrador de cuencas hidrográficas. Esta información se puede presentar en un mapa síntesis que ilustre la distribución de los usos actuales y potenciales, lo mismo que los tipos de conflicto.

La confrontación entre el uso actual y el potencial de los suelos, permite observar los conflictos de uso derivados de una sobre-utilización o sub-utilización de las distintas unidades de suelos, y los sistemas productivos asociados a ellas. Esta observación es esencial para proponer, posteriormente, medidas correctivas (alternativas de uso o usos recomendables).

El uso inadecuado de los suelos se da cuando la actividad actual, dada por una cobertura vegetal que se desarrolla en un suelo, presenta exigencias mayores que las condiciones de oferta ambiental; por ejemplo: cuando un cultivo limpio (CL), como el maíz, se ubica en un área que es de vocación netamente forestal (B). La representación de este conflicto en el mapa se puede hacer así: $CL \Rightarrow B$.

Cuando la actividad actual o cobertura vegetal que se desarrolla en un suelo presenta una exigencia menor que las condiciones de oferta ambiental, se dice que el conflicto es por subutilización. Ejemplo: cuando un rastrojo (R) se encuentra en un área de potencialidad para cultivos limpios (CL). Su representación cartográfica puede hacerse de la siguiente manera: $R \Leftarrow CL$

El uso adecuado del suelo se presenta cuando la actividad actual o cobertura vegetal existente en un suelo, presenta una exigencia igual a las condiciones de oferta

ambiental de ese suelo. Ejemplo: el uso actual es cultivo denso (CD), y la potencialidad del área indica también cultivo denso; su representación cartográfica es: CD = CD.

Se podría pensar, dado el déficit de cobertura forestal y de rastrojo que presenta la mayoría de las cuencas del país, en considerar como áreas en equilibrio (uso adecuado), aquellas que presenten conflicto de uso por subutilización.

Los grados de conflicto de uso se definen como la magnitud de la diferencia existente entre las exigencias de la cobertura vegetal actual, y las ofertas del uso potencial; las equivalencias entre las exigencias y las ofertas definen el equilibrio; a mayor diferencia, se tiene un mayor grado de conflicto, y a menor diferencia, un menor grado de conflicto.

Para identificar las áreas en conflicto y los respectivos grados del mismo, existentes en un área determinada, es necesario hacer una comparación detallada de la información de uso actual con la de uso potencial; esta comparación se hace cartográficamente, mediante la superposición de los respectivos mapas, y apoyados en una matriz, cuadro 4, donde se cruzan los dos usos (actual y potencial), para definir el tipo de conflicto. El resultado es un mapa que se denomina “mapa de conflictos de uso del suelo”, y la simbología que se usa en este mapa resulta de la combinación de los símbolos de los usos actual y potencial, separados por un símbolo que determina el tipo y el grado del conflicto.

Según el grado del conflicto de uso del suelo, se puede hablar de los siguientes conflictos:

Muy inadecuado (MI), símbolo en el mapa: ⇒

Inadecuado (I), símbolo en el mapa: →

Muy subutilizado (MS), símbolo en el mapa: ⇐

Subutilizado (S), símbolo en el mapa: ←

Uso adecuado (A), símbolo en el mapa: =

Cuadro 4. Matriz para establecer los conflictos de uso del suelo

Uso potencial	CL	SL	CD	SA	ASP	SP	BC	BPP	BP	PA
Uso actual										
Cultivo Limpio (CL)	A	I	I	I	I	MI	MI	MI	MI	MI
Cultivo Semilimpio (SL)	S	A	I	I	I	I	MI	MI	MI	MI
Cultivo Denso (CD)	S	S	A	I	I	I	MI	MI	MI	MI
Silvo Agrícola (SA)	S	S	S	A	I	I	I	MI	MI	MI
Agrosilvopastoril (ASP)	S	S	S	S	A	I	I	MI	MI	MI
Silvopastoril (SP)	S	S	S	S	S	A	I	MI	MI	MI
Bosque Productor (BC)	MS	MS	MS	S	S	S	A	I	I	MI
Bosque Productor-Protector (BPP)	MS	MS	MS	MS	S	S	S	A	I	MI
Bosque Protector (BP)	MS	MS	MS	MS	MS	MS	S	S	A	A
Protección Absoluta (PA)	MS	MS	MS	MS	MS	MS	MS	MS	A	A

La matriz que se presenta en el cuadro 4 no es válida para todas las cuencas, ya que, su definición y aplicación depende de las circunstancias que se presenten en cada cuenca en particular. Algo que hay que tener en cuenta, tanto para la comparación de los mapas de uso actual y uso potencial, así como para la construcción de la matriz, es que los términos utilizados para clasificar los diferentes tipos de uso, tanto actuales como potenciales, deben ser iguales, y en el caso de que no lo sean, se debe proceder a su homologación, dejando una sola clasificación.

En la eliminación de los conflictos de uso del suelo, especialmente desde el punto de vista conservacionista, los componentes arbóreo y arbustivo juegan un papel fundamental. Se persigue que las categorías de uso agropecuario o forestal, y los sistemas de clasificación y uso del suelo que se promuevan en la cuenca, incorporen propuestas alternativas de uso, entre las que se encuentran: el forestal (protector,

protector-productor y productor), agroforestal, silvopastoril, rastrojos, o formas de sucesión de la cobertura vegetal natural, y áreas de restauración ecológica; con el propósito de controlar y revertir procesos que generan la degradación de la cobertura vegetal, del agua, el suelo y el paisaje, en general.

8.1.3 Características sociales. Un elemento de gran importancia dentro del diagnóstico de la cuenca lo constituye el análisis de los servicios sociales básicos: educación, salud y vivienda, los cuales indican el nivel de bienestar de la población. Conviene, en este sentido, examinar la localización y cobertura territoriales, a partir de cuyo resultado, el plan de ordenamiento debe dar respuesta a los conflictos identificados.

- **Población.** El análisis demográfico incluye el examen de las características y cualidades de la población, relacionadas con su distribución espacial, edad, ocupación, crecimiento natural, movilidad espacial y esperanza de vida, entre otras. Rasgos que permiten potenciar las políticas de ordenamiento en cuanto a la solución de problemas de empleo, excesivo crecimiento de la población, malas condiciones de salud, evolución probable del crecimiento demográfico, etc.

Los indicadores más importantes del estudio de la estructura demográfica son: número de familias y personas que habitan en la cuenca, distribución porcentual de la población urbana y rural, densidad de la población, estructura por edad y sexo, tasa de crecimiento, grupos étnicos, procedencias o migraciones, y otros aspectos relevantes, como por ejemplo, el número de personas que abastece el acueducto de la cuenca.

- **Vivienda.** Sobre este aspecto se debe tener en cuenta el número de viviendas, distribución, tipo de construcción, materiales predominantes, estado, servicios asociados a la vivienda, tales como: tipo de abastecimiento de agua, saneamiento básico (excretas, manejo de basuras), sistemas de energía utilizados (eléctrica, gas, leña, carbón), otras características.

- **Salud.** Algunos problemas relacionados con la salud o el bienestar humano, son también consideraciones que hay que tener en cuenta en la planificación de cuencas hidrográficas. En cuanto a la salud humana, debe hacerse una evaluación del estado de la salud en general, y de las enfermedades específicas, así como de los problemas de la salud de la población. Los estudios deben evaluar la susceptibilidad de la población a enfermedades específicas, su proximidad a condiciones insalubres, y la incidencia de contacto con vectores patógenos o con ciertas condiciones asociadas con la transmisión de enfermedades, o con problemas de salud. Dentro de este aspecto se deben analizar, además, situaciones relacionadas con: nutrición (tipo de alimentos, calidad de los mismos), infraestructura existente (centros de salud, servicios, calidad y personal), saneamiento ambiental, morbilidad y mortalidad.

- **Educación.** Se debe considerar el tipo de educación: formal e informal; infraestructura y estructura existente; número de centros y aulas; número de alumnos y docentes; servicios o programas; grado de escolaridad, analfabetismo, deserción escolar y causas de la misma.

- **Organización comunitaria.** El análisis de la estructura organizacional de la comunidad incluye el examen de los actores y organizaciones sociales, y los valores culturales de la población. Este análisis es clave para lograr una decidida participación de las comunidades, y de las distintas fuerzas sociales en el proceso planificador. Los planes de ordenación de cuencas, y su instrumentación, deben resultar de la concertación y el consenso con dichas fuerzas.

Los actores sociales se definen como quienes representan o lideran a las comunidades, y corresponden a: grupos laborales, gremiales y empresariales; partidos políticos, organizaciones comunales, económicas, cívicas y educativas; la iglesia, y las instituciones del sector público con responsabilidad de gestión en la cuenca. El diagnóstico de la situación de los actores sociales permite observar las debilidades y potencialidades de estos, frente a la participación en el proceso

planificador. La consulta a los mismos es clave para prever la viabilidad de los planes (Massiris, A., 1991).

Los indicadores más importantes a tener en cuenta son los siguientes: organizaciones existentes; número y tipo de personas que las conforman, actividades a las que se dedican, capacidad y/o solidez; experiencias de trabajos comunitarios en el área; participación de los distintos grupos en estas organizaciones, ancianos, mujeres, niños, jóvenes, adultos.

8.1.4 Características económicas. El análisis de los sistemas de producción es un soporte esencial del diagnóstico con fines de planificación de la cuenca hidrográfica. El ambiente económico consiste en cosas tales como: valores monetarios, bienes y servicios; y también en procesos como: mercadeo, ahorros, inversiones, industrialización y construcción. Hay dos aspectos que deben ser analizados por su impacto en la calidad ambiental, los cuales no han sido suficientemente discutidos en la evaluación de proyectos de desarrollo de cuencas hidrográficas. Estos son: consumo de combustibles fósiles y generación de residuos.

- **Tamaño de los predios.** Sobre este tema, es necesario caracterizar y agrupar por categorías de tamaño los predios existentes en la cuenca; definir la participación de cada categoría en el área total de la cuenca; definir el número de predios por categoría, y la participación de cada categoría en el total de predios de la cuenca.

- **Tenencia de la tierra.** Se deben definir los tipos de tenencia de la tierra: propiedad, con título o sin título; aparcería, arrendatarios, etc. Además, se debe establecer si los propietarios y/o productores viven en las fincas o fuera de ellas.

- **Actividades productivas.** Al analizar las actividades productivas en la cuenca se deben definir tres grandes agrupaciones:

El sector primario, que comprende básicamente las actividades que extraen recursos de la naturaleza. En algunos casos, estas actividades conllevan algunos procesos de administración o de transformación. En esta agrupación existen tres subsectores principales: el agropecuario, el minero-energético, y el de silvicultura, caza y pesca.

El sector secundario comprende todos los procesos de transformación a través de los cuales, mediante el uso de energía, se transforman los materiales y los recursos primarios para producir bienes que satisfagan necesidades humanas.

El sector terciario incluye una amplia gama de actividades no comprendidas en las dos anteriores, pero sí complementarias de aquellas. Contiene varios subsectores como: transporte, servicios públicos, comunicaciones, sistemas educativos, actividades financieras, investigación, turismo, comercio, y servicios del gobierno.

En cada una de estas tres agrupaciones se generan problemas e impactos ecológicos y ambientales de diversa índole. Es evidente, en el ordenamiento implícito de esta clasificación, que el sector primario determina procesos masivos y amplios de intervención y transformación de los elementos y de los procesos naturales. El sector secundario, a través de sus emisiones, vertimientos y producción de residuos, genera un impacto, en muchas ocasiones, más nocivo, debido a que aparecen nuevos componentes peligrosos para el ambiente o la salud humana. Finalmente, buena parte del sector terciario, a excepción del transporte, produce impactos moderados.

En cuanto a las actividades productivas, es de gran importancia caracterizar y agrupar las diferentes actividades económicas, discriminando la participación de la población en cada una de estas, y los principales sistemas productivos de la cuenca: agrícola, pecuario, piscícola, forestal, artesanal, extracción de recursos naturales, actividad turística, etc.

El estudio de las actividades productivas agrarias (agricultura, ganadería, silvicultura y pesca) se debe orientar, según Méndez (1990), a:

- Sistematizar y evaluar la estructura agraria y los sistemas productivos. Incluye el análisis de los sistemas agrícolas y cultivos principales, en cuanto a su distribución, características, volúmenes de producción, mano de obra, maquinarias, productividad y rendimiento económico; análisis de los modos de producción, y las relaciones de producción asociadas; tecnología utilizada.
 - Análisis del mercado, en cuanto a las tendencias de la oferta y a la demanda.
 - Servicios para la producción: comercialización, crédito, capacitación y asistencia técnica.
 - Servicios sociales e infraestructuras físicas ligadas al proceso productivo: riego, drenaje, electrificación rural y accesibilidad.
 - Organización de los productores.
 - Impactos ambientales derivados de la actividad agraria.
- **Disponibilidad de mano de obra.** Se debe investigar cuál es la disponibilidad de mano de obra en la cuenca, y caracterizar esta mano de obra por edad y sexo; indicar el número de asalariados existentes, y definir en qué actividad se desempeñan; caracterizar los ingresos familiares promedios según la actividad productiva.

8.1.5 Infraestructura existente en la cuenca. Hace referencia al conjunto de bienes y servicios básicos para el desarrollo de la actividad económica y el bienestar en una sociedad, generalmente gestionados y financiados por el sector público

- **Acueducto.** Enumerar, definir y caracterizar las distintas formas de abastecimiento de agua de la comunidad que vive en la cuenca; la población beneficiada con este servicio y la que carece del mismo.
- **Energía.** Explicar si hay o no interconexión eléctrica, y qué otras fuentes de energía se utilizan en la cuenca.
- **Vías.** Un componente de la cuenca muy asociado con la estructura urbana regional es la red vial y los sistemas de transporte, los cuales son fundamentales para lograr el intercambio de bienes y servicios. Por ello, el análisis de las condiciones de la red vial es básico, especialmente en lo pertinente al estado actual de las carreteras, carreteables y caminos; su distribución, cobertura y distancias; y los medios de transporte que utilizan los habitantes de la cuenca, a partir de cuyos resultados se podrán proponer acciones ordenadoras.
- **Otra infraestructura existente.** Se debe identificar y caracterizar otra infraestructura existente, tal como: salones comunales, distritos de riego, sitios de acopio, telefonía, infraestructura recreacional, etc.

8.1.6 Presencia institucional. Es necesario indicar qué instituciones estatales, privadas u organizaciones no gubernamentales, hacen presencia en la cuenca, y describir las actividades o proyectos adelantados o en curso.

8.1.7 Caracterización cultural. La identidad y valores culturales de la población constituyen un elemento importante en el proceso planificador. El papel de la organización social, cultural e historia de los pueblos, en lo referente a su propio bienestar, es algo que los planificadores no tienen en cuenta, o simplemente lo dejan de lado. El contenido de este análisis se orienta a conocer las expectativas de los grupos sociales, y sus valores artísticos y tecnológicos, a partir del cual se puedan identificar los limitantes que condicionan las posibilidades y oportunidades que tienen estos grupos para ser agentes activos del proceso planificador que se proponga.

Los aspectos de la cultura, que son particularmente pertinentes, incluyen conceptos religiosos y éticos, estructura familiar, costumbres y modalidades, tabúes y preferencias; también incluyen las actividades diarias que durante cientos de años han probado ser exitosas. Como consecuencia pueden aprenderse muchas cosas de una cultura que guarda equilibrio con todo lo que la rodea y, a menudo, estas cosas pueden adaptarse para fines de desarrollo. Debido a esto, el impacto de desarrollo en las culturas existentes de un área necesita también ser evaluado, en razón de que un pueblo, su cultura, historia, religión y tradiciones han tenido una evolución dentro de un ecosistema, y forman parte del mismo. Cualquier cambio rápido, incluyendo los esfuerzos para el desarrollo, puede producir impactos negativos. Por lo tanto, es una consideración ambiental ayudar a la preservación de esos elementos durante el proceso de planificación.

CAPÍTULO 9

EL PROCESO DE PLANIFICACIÓN APLICADO A LA FORMULACIÓN DE PLANES DE MANEJO DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS

Existen diferentes formas y vías para evitar que los recursos naturales sigan siendo destruidos por la acción del hombre. Estas formas y vías son de carácter regional o local, según criterios de los especialistas en materia de desarrollo planificado. Una de las vías más acertadas se refiere al desarrollo integral de unidades geográficas naturales. Estas unidades geográficas pueden ser diversas, entre las más conocidas están las distintas categorías y niveles de regiones físico-geográficas y de paisajes, y aun recientemente se ha desarrollado mucho el criterio de “planificación y desarrollo integral de cuencas hidrográficas”, entendiéndose por ello, el estudio y análisis, a nivel de cuenca hidrográfica, de todos los factores que se deben tener en cuenta para lograr un aprovechamiento racional de los recursos naturales renovables, y proteger el medio ambiente; en beneficio del ser humano, a corto, mediano y largo plazos.

Las características biogeofísicas de una cuenca tienden a formar sistemas hidrológicos y ecológicos relativamente coherentes y, por lo tanto, las cuencas se utilizan, a menudo, como unidades para la planificación del desarrollo. Sin embargo, el hecho de que la planificación de cuencas hidrográficas como concepto haya estado evolucionando, y lo esté todavía, puede tener muchos significados para la gente. A pesar de numerosas connotaciones, los recursos hídricos han sido, generalmente, la consideración más importante. En las etapas iniciales, la planificación de cuencas hidrográficas, o la planificación de recursos hídricos tenían que ver, por lo general, con un problema específico, como por ejemplo: el control de inundaciones, el riego, la navegación o el abastecimiento de agua para consumo humano e industrial. Más tarde, se puso de moda el enfoque de la planificación de

propósito múltiple, para lograr el desarrollo de los recursos hídricos. Debido a que los distintos usos del agua son, a menudo, competitivos, surgen conflictos que hacen que el enfoque de propósitos múltiples parezca cuestionable. En cierto grado, la planificación integrada de cuencas hidrográficas fue una respuesta a este problema, ya que trató de coordinar y desarrollar armónicamente los usos del agua de una cuenca mientras se tomaban en cuenta otros procesos de desarrollo, tanto dentro de la cuenca como fuera de ella. La idea de la planificación integrada de una cuenca hidrográfica es una extensión de la planificación integrada, y va más allá del recurso hídrico, para incluir la mayor parte de los otros recursos, así como muchos aspectos de la planificación socioeconómica o regional.

La particularidad e importancia de la cuenca hidrográfica, como unidad de planificación y desarrollo, radica, principalmente, en que la cuenca reúne condiciones de unidad geográfica natural, muy específicas y propias, que sólo ella posee. Entre estas características están: su carácter de independencia relativa, por sus límites naturales bien definidos; y su dinámica funcional integrada, dada, fundamentalmente, por los intercambios de sustancias y energías, que tienen en la dinámica de los componentes del clima y del agua, su principal fuente.

Basados en lo anterior, la cuenca cumple, entre otras, tres funciones esenciales: como fuente de recursos, soporte de actividades y receptora de residuos (Instituto Tecnológico Geominero, 1994 y Márquez G., 1997; en Ministerio del Medio Ambiente, 1998).

En cuanto a recursos, es fuente de materias primas y, como tal, es utilizada y transformada por las actividades humanas en su propio beneficio. Este aprovechamiento requiere conocer cuáles son tales recursos, dónde se localizan, grado de acceso, estado y manera como se han venido utilizando, para hacerlo compatible con los objetivos de desarrollo propuestos, y garantizar así su uso sostenible.

Como soporte de actividades, debe ser utilizada de acuerdo con su capacidad de acogida; esta se deduce de la interacción actividades-medio, en una doble dirección: la primera, en la medida en que el medio cumple los requisitos para la localización de una actividad; y la segunda, el impacto de la actividad sobre el medio.

Como receptora de desechos o productos no deseados, ha de ser utilizada de acuerdo con su capacidad de asimilación; esta se entiende como la capacidad de autodepuración, para el caso de los recursos agua y suelo, y se refiere a la medida en que son capaces de procesar en sus circuitos biológicos los elementos (desechos) que se le incorporen.

El plan de ordenación de la cuenca, teniendo en cuenta estas funciones, y atendiendo a unos requerimientos de carácter ambiental, económico, social, tecnológico y cultural, deberá establecer las medidas para que los recursos naturales renovables sean utilizados por debajo de su capacidad de renovación; que las actividades se distribuyan en el territorio de acuerdo con su capacidad de acogida, y que la práctica de tales actividades se realice, de tal manera, que la emisión de contaminantes sea inferior a la capacidad de asimilación del medio natural de la cuenca.

La planificación de cuencas no sólo tiene que ver con la protección de los recursos hídricos, sino también con la capacidad y sustentabilidad de los recursos del suelo y vegetación a ser manejados para la producción de bienes y servicios. Las cuencas están identificadas como unidades prácticas y lógicas para el análisis, planificación y manejo de recursos múltiples.

Cabe destacar un aspecto fundamental, ningún usuario de un determinado recurso, por ejemplo del recurso agua, como tampoco ningún sector, puede considerarse independiente de los demás. Tarde o temprano, sus intereses entrarán en conflicto si no planifican sus actividades en forma integral y en conjunto. De allí, la importancia

de una planificación participativa del uso múltiple de los recursos naturales de una cuenca.

Es así, como se puede decir, que existe una relación hídrica indiscutible entre las partes altas y bajas de las cuencas; esta relación, que se puede establecer claramente en términos físicos, no es comprendida, tan fácilmente, en términos económicos. Así se tiene, por ejemplo, que muchos usuarios no saben cómo valorar el efecto que produce una buena protección de las cuencas de captación en el abastecimiento de agua, tanto en calidad como en cantidad, para los habitantes asentados en las partes bajas de la cuenca. En este sentido, generalmente, se asignan muy pocos recursos o nada para el manejo de las partes altas de las cuencas, en relación con los recursos asignados para la construcción de grandes proyectos hidráulicos como: hidroeléctricas, distritos de riego, acueductos, etc., sin medir la vulnerabilidad que puedan tener estos proyectos, de por sí bien costosos, a posibles efectos de un manejo inadecuado de las partes altas de la cuenca. Por lo anterior, los beneficiarios, aguas abajo, de las acciones realizadas en las partes altas de la cuenca deben contribuir a su protección, a sabiendas de los beneficios que perciben por hacerlo.

Infortunadamente, en nuestro medio la planificación de cuencas sólo cobra actualidad cuando ocurren grandes catástrofes o tragedias, ocasionadas por la ocurrencia de fenómenos naturales extremos como: inundaciones, sequías, erupciones volcánicas o deslizamientos, con pérdidas de vidas humanas y económicas; sobre todo, cuando afectan concentraciones urbanas importantes. Estos efectos pueden ser amplificados por la falta de control sobre las acciones que realizan los seres humanos en las cuencas. Por esto, si se trata de recuperar y mejorar situaciones sociales y económicas de una región, así como mejorar la vulnerabilidad al impacto de fenómenos naturales extremos, las cuencas deben ser utilizadas como unidades de planeamiento, para orientar las decisiones políticas y de inversión. Las decisiones en la inversión de recursos para el manejo de las partes altas de las cuencas deben considerar, fundamentalmente, los servicios ambientales

que dichas cuencas proveen a los beneficiarios que se encuentran aguas abajo. Una planificación de cuencas integrada, que combina en forma equilibrada la creación de zonas de protección, tales como parques naturales, áreas de reforestación, ordenamiento de bosques y prácticas agrícolas de conservación, es crucial para proteger las comunidades aguas abajo, las tierras agrícolas y, en general, la infraestructura económica, como puentes, carreteras, hidroeléctricas, viviendas y sistemas de riego, entre otras.

Si existe la conciencia de que una buena planificación y, por consiguiente, de que un buen manejo de cuencas son esenciales para mitigar el efecto de los fenómenos naturales, ¿por qué no se aplican sus principios en forma amplia? A este interrogante se podría responder que los mayores obstáculos no son de carácter técnico, sino, principalmente, los de carácter político, económico y social. Estos incluyen: 1) la falta de coordinación y concertación entre los gobiernos, locales o regionales, para el manejo de cuencas, cuando no coinciden los límites del territorio de dichos gobiernos, con los límites físicos de las cuencas; 2) la falta de legislación, legislación inadecuada o simplemente la nula preocupación por aplicar las leyes existentes; 3) la desordenada ocupación del territorio; 4) la falta de incentivos para el manejo de las cuencas, tales como subsidios dirigidos a la conservación del agua, los suelos y la vegetación; 5) la valoración inadecuada que se tiene de los servicios ambientales, y 6) la falta de atención a los problemas sociales y económicos, que fomentan el círculo vicioso de la pobreza, el medio ambiente degradado y la vulnerabilidad a los desastres naturales.

La planificación es un proceso bien definido, con etapas y procedimientos importantes a seguir. La planificación debe partir de un buen conocimiento de la situación preexistente, prever su evolución, y efectuar correcciones a la misma, a través de la asignación de recursos prioritarios en sectores o lugares determinados, en función de decisiones políticas.

Dourojeanni (1994) y CEPAL (1994 b), en CEPAL (1999), presenta como etapas necesarias en un proceso de gestión de cuencas, las siguientes: la etapa previa, la cual comprende estudios, formulación de planes y proyectos; la etapa intermedia, es la etapa de inversión para la habilitación de la cuenca, con fines de aprovechamiento y manejo de sus recursos naturales, y de desarrollo económico y social; y la etapa permanente, o de operación y mantenimiento de las obras construidas, y manejo y conservación de los recursos y elementos naturales de la cuenca.

En cuanto a la gestión en cuencas hidrográficas, no existe, prácticamente, ninguna actividad de gestión que nazca y se desarrolle de igual forma, ya que ello depende del contexto institucional en que nacen, se establecen y se ejecutan, dependiendo de cada país o región. Lo que si hay, son ciertos patrones comunes que se ligan al éxito de la gestión, tales como: liderazgo personal o institucional, continuidad de acciones, fuentes de financiamiento, participación de la población, coordinación entre instituciones participantes, metas claras y base legal.

La gestión integrada de cuencas se sustenta, especialmente, en la capacidad de una entidad de cuencas para tomar decisiones y diseñar estrategias para alcanzar objetivos predeterminados, por y para un grupo relativamente grande de actores, que dependen y comparten los mismos recursos y territorio. Las decisiones del grupo de gestión, materializadas en estrategias de acción, se presentan, usualmente, bajo la forma de planes y marcos reguladores. Estas dos herramientas constituyen los instrumentos básicos para materializar estrategias en un proceso de gestión de esta naturaleza. Los planes son estrategias escritas que deben proyectar metas y opciones para alcanzarlas. Los marcos reguladores fijan las pautas dentro de las cuales un variado grupo de actores puede alcanzar dichas metas.

Los planes de ordenamiento de cuencas se deben formular teniendo en cuenta los marcos normativos superiores, como por ejemplo: con relación a los objetivos de las políticas nacionales vigentes en materia de desarrollo social y económico, y de conservación de los recursos naturales; con relación a la definición de objetivos

nacionales para la ordenación y manejo de cuencas hidrográficas; y con relación a la definición de aspectos legales, políticos e institucionales. Sin embargo, los planes, a su vez, deben generar marcos reguladores o normativos específicos, que permitan su aplicación.

Los planes deben ser considerados como instrumentos de gestión al servicio de los actores involucrados en el mismo. Deben ser conciliatorios en términos económicos, sociales, culturales y ambientales; complementarios a los objetivos de cada actor, así como del conjunto de actores; y flexibles para que puedan ajustarse cada vez que se tengan nuevas situaciones o información que hagan variar las decisiones inicialmente tomadas.

Los planes de manejo de cuencas deben ser específicos a las características, y ubicación del lugar. La aplicación indiscriminada de un programa que fue exitoso en una cuenca puede no ser apropiado para otra, dado que las cuencas son extremadamente diferentes en términos de las características ambientales y naturales, usos del territorio, sistemas institucionales, sociales, económicos y culturales. En este sentido, los instrumentos modernos de gestión, como son los modelos de cuencas y los sistemas de información geográfica (SIG), van a jugar un papel importante en los esfuerzos futuros de planificación y manejo de cuencas.

Un equipo de planificación de las Naciones Unidas da la siguiente definición (ONU, 1972, en FAO, 1997): “La planificación se orienta a un uso opcional de los recursos disponibles. La planificación para el desarrollo de los recursos hídricos incluye la evaluación de necesidades a corto y largo plazos, y de los caminos para satisfacerlas. Involucra la evaluación comparativa de alternativas de solución con respecto a sus méritos técnicos, económicos y sociales. Planificar significa mirar hacia el futuro, desde un amplio espectro de disciplinas”.

9.1 METODOLOGÍAS DE PLANIFICACIÓN

Existen múltiples metodologías o enfoques de planificación de posible aplicación al proceso de ordenamiento de cuencas hidrográficas. Estos métodos pueden ser aplicados por las autoridades locales, según sean las condiciones y los momentos específicos de cada región. Entre estas metodologías vale mencionar las siguientes: prospectiva, planificación estratégica, planificación estratégica situacional, planificación acción participativa, evaluación ecológica rápida, y diagnóstico rural rápido. A continuación se presenta una breve descripción de cada una de estas metodologías, con el fin de que el lector se forme una idea general sobre cada una de ellas.

9.1.1 Prospectiva. Es un método de planificación que permite la identificación de un futuro probable y de un futuro deseable, a partir de la acción presente. Su campo de acción permite el diseño colectivo de los futuros deseados por una sociedad, para lo cual se apoya en herramientas como el ábaco de Reignier, y el juego de actores. La participación de actores se da a todos los niveles, ya que intervienen el poder, el saber, la producción y la comunidad.

La importancia de la aplicación del ábaco de Reignier, es que permite medir las actitudes de un grupo frente a un tema determinado; es decir, el ábaco permite detectar la actitud favorable o desfavorable del grupo, frente a una situación dada.

9.1.2 Planificación estratégica. Si bien es una metodología que está diseñada para ser aplicada, principalmente, a empresas, su campo de aplicación se puede extender a la planificación de cuencas hidrográficas. Con su aplicación se busca diseñar el crecimiento de la empresa en el largo plazo, mediante el análisis de las amenazas, debilidades, oportunidades y fortalezas. En su aplicación intervienen los niveles directivos y operativos de la empresa, pero, en el caso de planificación de cuencas hidrográficas, se pueden incluir todos los actores presentes en ella.

9.1.3 Planificación estratégica situacional. Esta metodología de planificación está diseñada para orientar al dirigente o al líder, en la toma de decisiones para programas o proyectos altamente conflictivos, originados, igualmente, para solucionar situaciones altamente conflictivas, ocasionadas por intereses diversos de los actores. La participación de actores se reduce al actor principal (gobernante), quien toma las iniciativas y decisiones, apoyado en las siguientes herramientas: análisis situacional, construcción de escenarios, análisis estratégico, acción.

9.1.4 Planificación acción participativa. La planificación acción participativa tiene como objetivo, involucrar a los grupos en la generación de su propio conocimiento, mediante la aplicación de varias etapas de participación comunitaria, con la participación de la sociedad civil en su conjunto. Esta metodología de planificación se puede aplicar a cualquier problema que afecte a una comunidad.

9.1.5 Evaluación ecológica rápida. La evaluación ecológica rápida está encaminada a obtener y analizar, en forma ágil, información biótica, física, social y cultural, para la toma de decisiones de planeación y gestión ambiental, utilizando, para ello, la evaluación general que se haga del área, con base en imágenes y mapas, y la participación de técnicos, especialistas y actores sociales. El campo de aplicación de esta metodología de planificación se da para determinar, en forma rápida, las características de paisajes de alta importancia ecológica.

9.1.6 Evaluación rural rápida. La evaluación rural rápida tiene como objetivo el levantamiento y procesamiento práctico de información del sector rural, con el fin de aplicarla a la planeación y gestión del desarrollo rural. Consiste en un conjunto de métodos de investigación social, que busca obtener información relevante sobre la población rural, su sistema agropecuario y todo el contexto relevante, en el sentido físico, económico y social, en el menor tiempo posible, para ser aplicada a la planeación y gestión del desarrollo rural. Esta metodología de planificación se desarrolla con la participación de la población rural, la cual, a través de talleres

participativos, suministra la información necesaria para el logro del objetivo de planificación

La finalidad principal de esta metodología es facilitar al agente de desarrollo una herramienta útil y práctica en su trabajo con las comunidades, para obtener, de una manera participativa, la información y los datos sobre: la geografía de la comunidad, los sistemas de producción, y el grado y la capacidad de auto-organización.

Así, se espera proveer una metodología que, además de generar información valiosa y estructurada, permita a los agentes de desarrollo rural seleccionar, con sentido lógico, las comunidades con las cuales es factible trabajar, y la forma más apropiada que se debe dar al proceso de desarrollo rural participativo con estas.

9.2 PROCESO DE PLANIFICACIÓN PARA EL MANEJO DE CUENCAS

La planificación, para el aprovechamiento racional de la base natural de recursos que nos brinda una cuenca hidrográfica, no es una actividad simple. En ella intervienen variables relativas a la cobertura espacial de los recursos, al alcance sectorial, a los horizontes de planificación, a pronósticos de demanda y oferta, a intereses institucionales, a agentes ejecutores y usuarios, a niveles de tecnología y de financiamiento disponibles, a la cultura local, y a los sistemas de control. Todos estos factores son los que permiten o dificultan la aplicación de planes adecuados, para el ordenamiento del uso de los recursos naturales en una cuenca.

Los problemas en las cuencas crecen a lo largo del tiempo con el incremento de la población, por lo que la planificación tiene que ser considerada como un proceso continuo, iterativo, donde las soluciones no son definitivas sino situacionales. Además, un programa de manejo de cuencas, cuidadosamente planificado y bien evaluado, no tiene mucho valor si no es llevado adelante correctamente. El manejo adecuado de cuencas debe, necesariamente, incluir un compromiso de los encargados de gestión para proveer los recursos financieros necesarios, el personal

adecuado, acuerdos institucionales, y educación pública, para una implementación exitosa del programa.

En el proceso de formulación de planes para el manejo de cuencas se identifican tres tipos de intereses: de los pobladores y usuarios de la cuenca, de los técnicos, y del gobierno. La conciliación de estos intereses es un proceso que no siempre se logra fácilmente, caso en el cual puede ser de utilidad recordar los objetivos básicos predefinidos del manejo de la cuenca, y la disponibilidad de recursos y de personal capacitado en todas las especialidades y tareas.

Es fundamental que en el proceso de planificación y manejo de una cuenca se considere la participación de la población de la cuenca, desde el primer momento en que se manifieste la intencionalidad de iniciar actividades hacia el ordenamiento y manejo de la misma, a través de las organizaciones de base locales (organizaciones políticas, organizaciones comunitarias, grupos económicos o gremiales, productores residentes o no dentro de la cuenca, usuarios, etc.), con el fin de lograr la mayor coordinación con ellos, despertar su interés en el manejo de dicha cuenca y, por ende, lograr su real participación y cooperación.

Los gestores de planes de manejo de cuencas deberán trabajar, tarde o temprano, con todos los grupos de interés de la cuenca a planificar. Para asegurar un amplio apoyo es preferible convocarlos a todos a la mesa de negociaciones, y estimularlos a que sean parte de las soluciones, desde el inicio del trabajo. La población, y las instituciones públicas y privadas que actúan en la cuenca deben estar involucradas, desde el inicio, con el proceso de planificación. La población debe tener la oportunidad de entender y participar en el proceso de planificación que la afecta; el apoyo de la población es importante para el efecto positivo, a largo plazo, del plan de manejo. Las instituciones, porque en su labor rutinaria puede existir competencia, y aún conflicto entre ellas, en la ejecución de acciones similares y complementarias; en este caso, es imprescindible la coordinación y concertación.

El equipo técnico encargado de desarrollar el plan de manejo debe tener las características básicas de ser interinstitucional e interdisciplinario. La primera característica se refiere tanto a las instituciones gubernamentales nacionales, regionales y locales, como a las no gubernamentales, y a las que representen a los usuarios y beneficiarios de la cuenca. La segunda, responde a las necesidades de cubrir las disciplinas que los componentes, recursos y actividades principales de la cuenca técnicamente demanden, en los campos de las ciencias agrícolas, sociales, ingeniería, economía, informática, ciencias de la comunicación, etc. El número de miembros del equipo técnico planificador estará determinado por sus objetivos, las características de la cuenca y los recursos económicos disponibles. Sin embargo, existen especialistas, equipos y sistemas que no pueden ser ignorados en la gestión de cuencas: los profesionales de las ciencias naturales, ciencias sociales, la informática, los sistemas de información geográfica (SIG) y la teledetección.

Sobre la planificación de cuencas, la CEPAL (1999), propone algunos requisitos mínimos que se deben tener en cuenta para que una entidad de cuencas pueda utilizar mejor los planes como un instrumento de gestión:

- Establecer, antes que todo, un sistema de gestión o gerencia, a nivel de cuenca, capaz de orientar procesos de elaboración y aplicación de los planes, conjugando sólo aquellos factibles de mejorarse con un trabajo compartido.
- Recordar que la planificación y los marcos normativos son complementarios, y que ambos deben estar al servicio, y responder a las demandas de un sistema de gestión.
- Tener en cuenta que antes de formular un plan se debe construir un sistema de información dinámico para la gerencia. Es decir, que los sistemas de información deben preceder a los de la formulación de un plan, en razón de

que los planes no reemplazan los sistemas de información, sino que se sustentan en los mismos.

- Sólo se debe planificar aquello que lo amerite y se pueda ejecutar. La decisión sobre esto sólo puede hacerse si cada miembro del grupo de gestión de la cuenca sabe lo que quiere, en forma individual y en forma colectiva.
- Como estrategia de trabajo, en materia de tratamiento de las variables ambientales, es más fácil partir por planificar en forma sucesiva primero la utilización y manejo del agua, luego los otros recursos naturales asociados al agua, y finalmente todo el ecosistema de la cuenca, en lugar de tratar de abarcar todos los elementos de la naturaleza desde un inicio. Con relación al agua, se debe buscar mantener el equilibrio entre la oferta y la demanda del recurso en función de regular ambas variables, y no sólo una.
- Hay que separar la planificación de las inversiones en construcción de obras, de la planificación de la operación de los sistemas construidos, así como de la planificación del manejo y conservación de los ecosistemas. No es lo mismo planificar la construcción de obras que la operación y mantenimiento de las mismas, o el manejo y conservación de los recursos naturales.
- Crear sistemas de participación real de la población, en el proceso de toma de decisiones, para lo cual se le debe solicitar sus aportes de solución, pero también debe suministrársele opciones sobre las cuales puedan opinar. Cuanto más participen los actores en la toma de decisiones, menores serán las necesidades de aplicar instrumentos coactivos o de incentivos, para poner en práctica el plan.
- Es esencial darle a los planes un carácter de figura jurídica, respaldados por normas y marcos legales que permitan su ejecución, sobre todo, en materia

ambiental. Esto es evidente, debido a la gran variedad de actores que deben participar y que se ven exigidos para la aplicación de un plan a nivel de cuenca.

- Un plan, para que tenga validez, debe formularse dentro del contexto de un marco legalmente establecido, y en concordancia con los marcos normativos, y otros planes existentes de nivel regional y nacional, sobre todo con relación a las políticas sociales y económicas, así como a la participación de los usuarios.

La planificación para el manejo de cuencas incluye la organización, análisis e integración de objetivos, restricciones y técnicas, en forma tal, que la toma de decisiones y la implementación sean más eficientes y efectivas.

Con la finalidad de considerar los factores indicados, es preciso aplicar un sistema de razonamiento lógico, capaz de detectar, analizar y priorizar cada uno de los elementos que intervienen en los procesos de decisión de aprovechamiento racional de los recursos de una cuenca. Esto se puede hacer siguiendo el enfoque de análisis de sistemas, cuya secuencia es la siguiente:

- Identificar los actores que participan en la gestión de la cuenca y sus criterios.
- Definir los objetivos del uso de la cuenca.
- Identificar y describir los medios biofísico, social y económico de la cuenca.
- Identificar y describir situaciones.
- Determinar las restricciones para alcanzar los objetivos deseados.
- Elaborar y seleccionar soluciones para superar las restricciones.
- Seleccionar la alternativa deseada.
- Priorizar las alternativas seleccionadas.
- Plantear estrategias y programas de acción para ejecutar las soluciones.
- Definir programas y proyectos.

- Organización para la ejecución del plan.
- Monitorear los resultados obtenidos.

9.2.1 Diagnóstico. Diagnóstico es una palabra que proviene del griego “dia”, que significa separación (a través, entre), y “gnóstico”, de conocer. Por ende, hacer un diagnóstico de cuencas hidrográficas significa determinar el carácter de un sistema mediante un examen, a fin de adquirir el conocimiento deseado sobre él.

Un diagnóstico es un juicio que permite comprender a qué se deben las diferencias observadas entre la situación existente y la deseada, es decir, es una evaluación que permite establecer la diferencia existente entre lo que se desea lograr (modelo, situación deseada) y la situación real. Por tanto, para hacer un diagnóstico se debe realizar, previamente, una evaluación, y para ello se necesita un patrón de referencia, puesto que este permite interpretar la situación existente.

El diagnóstico permite definir y describir, correctamente, las situaciones objeto de trabajo, hasta lograr el planteamiento de las soluciones más coherentes con las situaciones descritas.

Antes de iniciar un diagnóstico, hay que precisar cuáles son las metas y seleccionar un medio (método, instrumento) que haga posible el proceso. Muchas veces se confunde diagnóstico con inventario o caracterización de una cuenca. El inventario obedece a un enfoque puramente analítico, mientras que el diagnóstico exige un enfoque sistemático, con sus niveles analíticos pertinentes.

En el enfoque sistemático, no sólo se trata de descubrir las interrelaciones existentes entre los diferentes elementos que constituyen la cuenca, sino las estructuras sobre las que se basan dichas interrelaciones, a fin de analizar y poder actuar sobre los obstáculos o restricciones que impiden el logro de los objetivos propuestos.

9.2.1.1 Identificación de actores. La primera etapa del diagnóstico consiste en identificar los actores cuyas actividades tienen o pueden tener efectos negativos o positivos para el entorno y para otros usuarios de la cuenca. En esa selección, debe recordarse que hay que incluir a todos los actores, independientemente de su grado de instrucción y nivel económico. También hay que considerar a quienes no habitan en el área, pero influyen en ella, como las empresas de generación de energía hidroeléctrica, que exportan energía fuera de la cuenca, o las empresas que abastecen de agua a las ciudades.

9.2.1.2 Definición de los objetivos de uso de la cuenca. El objetivo general, expresado normalmente por los actores vinculados al aprovechamiento de los recursos naturales en una cuenca, es compatibilizar la oferta y la demanda de los diferentes recursos que brinda la cuenca, en función de los intereses sociales, económicos y ambientales, a fin de alcanzar los niveles de desarrollo deseado para una determinada cuenca hidrográfica. La armonía entre la oferta y la demanda de los recursos naturales, significa equilibrar la oferta y la demanda de recursos en cantidad, calidad, tiempo y lugar. Los objetivos se establecen sobre la base del análisis de situaciones problemas u oportunidades o potencialidades, que puedan existir en la cuenca. Sin embargo, en esta etapa de la planificación se debe partir de una comprensión precisa de los objetivos planteados en las políticas nacionales de desarrollo social, económico, y la conservación de los recursos naturales; la definición de los objetivos nacionales para la ordenación y manejo de las cuencas hidrográficas; y la definición de aspectos legales, políticos e institucionales.

9.2.1.3 Identificación y descripción del medio El medio biofísico, el social, el económico y el cultural constituyen el espacio geográfico delimitado por agentes físicos, dentro del cual es factible hacer un balance entre la oferta y la demanda de bienes y servicios. El medio así descrito constituye la dimensión ambiental en la cual se puede realizar una planificación, y determina, igualmente, los espacios social y económico de gestión. Los aspectos que debe contemplar la identificación y descripción del medio se detallan en el Capítulo Octavo.

Respecto a la información base para el diagnóstico, esta debe ser: 1) significativa, es decir, que tenga relación con los objetivos perseguidos, y con la amplitud e intensidad del estudio, sin ser redundante ni deficitaria cuantitativamente; 2) operativa, es decir, adaptada a los medios dispuestos para la planificación, como la cartografía automática u otros sistemas manuales para ordenar la información; 3) suficiente y necesaria, se debe evitar el exceso de datos, muchos de ellos inútiles; y 4) precisa, de manera que los errores cuantitativos sean mínimos.

9.2.1.4 Identificación y descripción de situaciones. Antes de entrar a desarrollar este tema, es conveniente definir qué es una situación; según la CVC (1995), una situación se podría definir como la interpretación o explicación de un fenómeno.

Otro concepto de situación es: cualquier asunto o problema que requiere de una acción, y sobre la cual se tiene alguna responsabilidad total o parcial. En síntesis, es la desviación entre lo que está ocurriendo y lo que debe ocurrir (Kepner y Tregoe, 1983, en Sánchez, S. F., 1995).

Al explicar una situación, se debe tener en cuenta la explicación que de ella haga cada uno de los actores involucrados en el proceso de planificación; de ahí, que una situación puede tener varias connotaciones, así: 1) puede ser causa de otras situaciones, y producir daños o efectos que constituyen situaciones susceptibles de ser interpretadas por otros actores; 2) puede ser una oportunidad o ventaja para algunos actores, quienes tratarán de aprovecharla para inducir transformaciones de la realidad; 3) puede constituir un problema, entendido como aquella situación apreciada como insatisfactoria por un actor o conjunto de actores dados; y 4) puede ser un simple fenómeno natural que no constituye causa de un problema, o que no incide favorable o desfavorablemente en otra situación o fenómeno (CVC, 1995).

Generalmente, los actores involucrados en el proceso de planificación tienen la tendencia, natural, a identificar situaciones que son un problema, y pocas veces se

tienen en cuenta aquellas que son ventajas u oportunidades para el desarrollo de la cuenca.

Para la identificación de las situaciones (problemas o potencialidades), existentes en la cuenca, se requiere de un trabajo de campo, apoyado en la fotointerpretación de fotografías aéreas, el uso de imágenes satelitales, monitoreo y evaluación de las actividades pasadas, consultas personales, y encuestas sociales, económicas y culturales.

A partir del conocimiento de los diferentes componentes del sistema de la cuenca (agua, suelo, vegetación, fauna, población, producción, organización, etc.), e interrelacionando cada uno de los componentes entre sí con los restantes, se obtiene una gama de situaciones, las cuales deben ser descritas en términos cualitativos, cuantitativos, espaciales, temporales y de tendencia (CVC, 1995).

Para describir la situación en forma cualitativa se debe hacer la distinción de las causas que originan la situación, los efectos que ella genera, los fenómenos descriptores y sus consecuencias más generales, además de los actores involucrados en dicha situación, o sea, quién o quiénes son las personas que causan o contribuyen a agravar el problema.

Realizado el análisis en forma cualitativa, se debe mencionar la magnitud de la situación, en cuanto sea posible, obteniéndose su caracterización cuantitativa. La cuantificación permite completar el análisis en forma comparativa de la situación actual con un patrón. Dicho patrón puede ser la media de la muestra estudiada, o un valor obtenido en zonas que se consideren desarrolladas. Esta evaluación, así realizada, permite emitir un juicio con relación a cuánto se desvía lo observado de lo que se considera normal (patrón de comparación).

Se debe considerar lo concerniente al espacio o lugar donde ocurre la situación identificada, este espacio puede ser una vereda o conjunto de veredas, una microcuenca, lugar específico, etc.

En términos temporales, indicar desde cuando ocurre la situación, en qué época del año ocurre y cuál es la tendencia que presenta el problema, o sea, si es estacionaria, decreciente o creciente.

9.2.1.5 Determinación de restricciones. Después de realizado el análisis de las situaciones, se deben identificar las facilidades o restricciones que se tienen para alcanzar los objetivos relacionados con cada una de las situaciones identificadas. Las restricciones hacen referencia a los impedimentos u obstáculos que se presentan para alcanzar los objetivos.

Al procurar una armonía entre la oferta y la demanda de los diferentes recursos naturales de una cuenca, suelen encontrarse restricciones de dos tipos: 1) las impuestas por el medio físico o la propia naturaleza; y 2) las impuestas por los medios social y económico, o el ser humano.

En cuanto a las restricciones físicas, en las cuencas en que hay asentamientos humanos importantes y en expansión, se fomenta un marcado desequilibrio entre la oferta y la demanda de recursos naturales. Entre las restricciones físicas se tienen: el clima, las condiciones del suelo, la topografía, etc.

Las restricciones de tipo social y económico pueden dividirse en: económico-financieras, político-legales, socio-culturales, institucionales y administrativas. Estas restricciones suelen ser, en la práctica, tanto o más difíciles de identificar, cuantificar y superar que las restricciones físicas. Es común observar que es en los procesos de gestión, y no en la falta de tecnologías adecuadas, donde se concentran los mayores problemas para utilizar eficientemente los recursos naturales. Las dificultades más comunes se vinculan a la falta de convencimiento político, a la promulgación de

normas inadecuadas o al incumplimiento de las existentes, a la superposición de funciones y/o conflictos entre instituciones, a la falta de capacitación y organización de los usuarios, y a la escasa o deficiente formulación de proyectos, por parte de las comunidades directamente afectadas.

Para la identificación de restricciones, lo primero que se debe hacer es definir cuáles son los objetivos relacionados con cada situación detectada, según los actores involucrados en ella. De esta manera, se puede elaborar una lista de objetivos basados en las situaciones identificadas, y relacionar tales situaciones y objetivos con los respectivos actores.

Una vez definidos los objetivos implícitos a cada situación, se hace un análisis del ámbito en el cual se inscribe determinada situación, con el fin de determinar los recursos disponibles (económicos, conocimientos, organización institucional, liderazgo, participación comunitaria, capacidad de manejo político y de negociación, etc.) y la funcionalidad de los mismos, para ser aplicados en la búsqueda de los objetivos planteados.

9.2.1.6 Identificación de soluciones. Una vez precisadas las restricciones, y establecido un orden de prioridad para las mismas, se deberán plantear las alternativas posibles de solución que servirán para superar los obstáculos o restricciones, y alcanzar así los objetivos relacionados con cada una de las situaciones, los cuales permitirán lograr el objetivo general.

Las soluciones, para superar tanto las restricciones físicas o naturales, como las restricciones sociales y económicas, pueden agruparse en: 1) soluciones de manejo vegetal, 2) soluciones estructuradas de ingeniería, y 3) soluciones gerenciales, también denominadas administrativas.

9.2.2 Formulación del plan. Luego de la etapa de diagnóstico, donde además de identificar las situaciones, problemas u oportunidades, se han identificado los

diferentes actores involucrados, se procede, de una manera concertada, a formular el plan de manejo para la cuenca, sobre la base de las soluciones alternativas definidas en el diagnóstico.

La planificación es un proceso que busca soluciones a problemas y necesidades, o que fomenta acciones que satisfacen metas y objetivos. En la planificación de cuencas hidrográficas el objetivo es proporcionar alternativas al encargado de tomar decisiones para el uso de los recursos de agua, suelo, flora y fauna de la cuenca.

Los planes son estrategias escritas, y las estrategias se presentan en forma de programas de trabajo, o proyectos debidamente sustentados y financiados. El planeamiento, como proceso, no termina nunca, una vez que se ha iniciado. De ahí que el planeamiento deba verse como la construcción de un sistema de información, que facilite la toma de decisiones, con la participación múltiple de actores. En este sentido, se podría decir que para una entidad de cuencas es mucho más importante disponer de la información necesaria para tomar decisiones, que del plan mismo. Lo anterior se sustenta en que los planes pueden y deben cambiar con las situaciones que se van encontrando, y es así como la única posibilidad de saber cuándo y cómo hacer cambios en un plan es disponiendo de un sistema de información dinámico (base de datos). El plan es algo relativamente transitorio que sirve para definir acciones de corto, mediano o largo plazos, pero que se vuelve obsoleto, relativamente rápido, frente a los cambios que puedan ocurrir en la cuenca. En cambio, el sistema de información, para los administradores de cuencas y los usuarios de una cuenca, debe ser algo permanente, para poder ajustar sus estrategias, respondiendo a dichos cambios.

Las etapas de identificación de actores, sus criterios, problemas y objetivos, la construcción de escenarios compartidos por los actores, la evaluación de la situación existente, los diagnósticos, y la identificación de obstáculos y restricciones, suministran los elementos para calcular costos y beneficios, así como para diseñar estrategias y elaborar un plan. El plan es un elemento que sirve para comunicar la

intención de ejecución de acciones, y coordinar aquellas que así lo requieran, incluyendo la sustentación económica y financiera de cada proyecto.

9.2.2.1 Objetivos del plan. Los objetivos especifican los resultados esperados de los programas y proyectos de desarrollo, y señalan qué se tiene que hacer en definitiva, a qué debe darse prioridad y qué tiene que lograrse mediante la red de estrategias, políticas, procedimientos, reglas, presupuestos y programas. En otras palabras, es lo que se persigue alcanzar con la ejecución del plan, para satisfacer necesidades y solucionar problemas dentro de un límite de tiempo, bajo situaciones específicas, y con características propias.

El gran objetivo del plan u objetivo general, sobre la base del cual se pueden definir objetivos específicos y metas a corto, mediano y largo plazos, deberá estar determinado al logro de un bienestar físico, social y económico, de la población que habita en la cuenca, y en su zona de influencia. Este objetivo debe definirse en concordancia con los objetivos de política nacional.

Teniendo en cuenta el objetivo general y las alternativas de desarrollo de las situaciones, se definen los objetivos específicos o inmediatos, los cuales determinan la realización de acciones concretas, las cuales van encaminadas a solucionar cada una de las situaciones identificadas en el diagnóstico y, en conjunto, al logro del objetivo general común y, por lo tanto, al fin que el plan (programas y proyectos), con sus recursos y actividades, se propone realizar dentro de su tiempo de ejecución. A nivel del plan, los objetivos específicos van orientados hacia los programas.

Drucker, P. F. (1974), citado por Pérez, C. E. (1981), considera que cualquier sistema debe trasladar sus propósitos y misión en objetivos específicos, ya que, de otra forma, permanecerán como buenas intenciones que nunca se transformarán en logros. Para ello propone proceder de acuerdo con los siguientes criterios:

- Los objetivos se deben derivar a partir de la definición de: lo que es, lo que será, y lo que debiera ser el objeto del sistema.
- Los objetivos deben ser operacionales.
- Los objetivos deben hacer posible la concentración de recursos y esfuerzos en áreas específicas.
- Los objetivos deben ser múltiples y no únicos.
- Se deben definir objetivos en todas las áreas de las cuales depende la supervivencia del sistema.

Para la ejecución del plan de manejo de una cuenca, los objetivos y metas deben estar claramente definidos en el documento del plan, ya que si la principal responsabilidad del administrador de un plan es que se cumplan los objetivos y metas, resulta obvio que estos estén precisados desde el inicio del plan. Esta precisión se refiere a la necesidad de que, tanto las metas inmediatas como los objetivos a largo plazo, sean evaluados cuantitativamente, y que por medio de indicadores o patrones de comparación apropiados, pueda efectuarse el seguimiento, y las futuras evaluaciones.

Las metas u objetivos finales de las actividades de manejo de cuencas son proporcionar algún tipo de beneficio al hombre; por lo tanto, las actividades para reducir la erosión no son un objetivo final, ya que más bien se desarrollan para evitar la pérdida de algo que es de valor directo para el hombre, es decir, la reducción de la producción de alimentos o de la capacidad de los embalses o de la navegabilidad o de la conducción de los canales para riego.

9.2.2.2 Selección de la alternativa deseada. La selección de la alternativa deseada corresponde al ¿qué hacer?, y debe determinar el proceso de gestión.

Sobre la base de la apreciación y evaluación del impacto de las alternativas, incluyendo los efectos ambientales, sociales y económicos, así como sobre la base de la evaluación del nivel de seguridad asociado con los resultados, se selecciona la alternativa más conveniente, para el logro de los objetivos planteados.

La comparación de alternativas en los estudios de planificación se efectúa mediante el análisis de factibilidad de cada alternativa, utilizando algún índice económico. Sin embargo, la viabilidad económica no es el único criterio para la toma de decisiones, ya que los proyectos de manejo de cuencas, a diferencia de los proyectos de ingeniería, poseen beneficios sociales especiales, que no pueden ser fácilmente evaluados en términos monetarios. Estos beneficios sociales pueden ser: el incremento de la tasa de ocupación, distribución equitativa de los ingresos económicos, mejoramiento del medio ambiente y del bienestar de los habitantes, mejoramiento de la infraestructura, etc. (FAO, 1997).

9.2.2.3 Priorización de alternativas. En esta etapa se deben proveer tantas alternativas como sean posibles en el ¿cómo hacerlo?, con el fin de identificar la solución que cubra el más amplio rango de necesidades.

Teniendo en cuenta, fundamentalmente, los pocos recursos económicos con que se cuenta para la ejecución del plan de manejo, se debe realizar un proceso de ordenamiento para la ejecución de las diferentes alternativas seleccionadas, sobre la base de un proceso de priorización.

En el proceso de priorización se deben contemplar los siguientes criterios o indicadores: 1) económicos (potencial de afectación de la infraestructura por fenómenos naturales, inversión en rehabilitación de la infraestructura existente en la cuenca, e importancia de la agricultura en la economía regional y nacional); 2)

ambientales (potencial natural de la cuenca, pérdida de cobertura vegetal por actividades extractivas, tendencia de deterioro de los suelos por actividades agrícolas, y afectación de la calidad del agua por actividades humanas contaminantes); 3) sociales (vivienda, educación, salud, producción, aspectos demográficos); y 4) institucionales (organizaciones, instituciones y participación ciudadana).

9.2.2.4 Estrategias y programas de acción. Durante la etapa de planificación se deben explorar muchas alternativas, usando estrategias para lograr las metas. Deben seleccionarse las estrategias que permitan una extensión efectiva, una fluidez en las operaciones, un adecuado control de costos, una motivación para la participación de la comunidad en la implementación y mantenimiento del proyecto, etc.

Para poder plantear las estrategias y programas de acción para ejecutar las soluciones, se requiere evaluar y seleccionar la mejor alternativa de solución dentro de las factible social, técnica, ambiental y económicamente, y diseñar estrategias para ejecutarla, así como estimar los costos y beneficios que implica hacerlo.

Según la FAO (1997), las estrategias a seguir dependerán de la consideración de aspectos tales como:

- Tecnológicos: requerimiento o no de nueva tecnología, efectos de la transferencia de tecnologías foráneas.
- Disponibilidad de recursos: humanos, materiales y monetarios, y fuentes de cada uno.
- Habilidad institucional: requerimientos de entrenamiento del personal técnico.

- Nivel de aceptación del usuario: si bien depende del esfuerzo continuo en educación y extensión, se debe prestar especial atención en aquellas prácticas de manejo que puedan chocar con las tradiciones culturales de los habitantes de la cuenca.
- Resultados esperados: en la etapa de planificación el equipo planificador debe aplicar la agudeza administrativa, con el fin de confrontar las restricciones y las situaciones de contingencia, con los resultados esperados.

9.2.2.5 Definición de programas y proyectos. Para desarrollar las situaciones identificadas, y dar cumplimiento a los objetivos específicos del plan y, por ende, al objetivo general del mismo, es necesaria la identificación y formulación de las acciones concretas (proyectos), las cuales se derivan de las alternativas de solución identificadas, y que se pueden agrupar en programas, cuando se hace referencia a un conjunto de proyectos relacionados o coordinados entre si, tendientes a solucionar situaciones pertenecientes a un mismo sector (producción, salud, educación, saneamiento ambiental, etc.), todo ello como parte de las acciones a realizar para alcanzar la metas y objetivos del plan, dentro de un período determinado.

Los programas, de acuerdo con las características específicas de la cuenca motivo de la formulación del plan, pueden ser de: desarrollo social, producción, mercadeo, saneamiento ambiental, rehabilitación de áreas degradadas, conservación, control y vigilancia de los recursos naturales renovables, entre otros.

Para la elaboración de un proyecto se pueden considerar cuatro etapas: de preinversión, de inversión, de operación y de evaluación posterior.

La etapa de preinversión está constituida por cuatro fases: 1) Idea, que consiste en la búsqueda de la solución a un problema o necesidad insatisfecha, y su objetivo es

generar alternativas de solución. 2) Perfil, consiste en la evaluación técnica de las alternativas propuestas, que permite descartar algunas de ellas. En esta fase se debe incorporar la identificación de beneficios y costos de cada alternativa, y se debe decidir sobre la utilización de recursos para la elaboración de estudios dirigidos a perfeccionar alternativas. 3) Prefactibilidad, esta fase tiene como finalidad descartar las soluciones menos viables, según criterios técnicos, económicos, institucionales y sociales, haciendo un análisis más detallado de la información preparada en la fase anterior. Igualmente, se deben incorporar los costos y beneficios asociados al proyecto. Esta fase se basa en diseños preliminares. 4) Factibilidad, con esta fase se busca reducir al máximo el grado de incertidumbre asociado a la ejecución de un proyecto. Para ello se requiere de información más precisa, que permita definir los aspectos técnicos, y demás elementos relacionados con la naturaleza del proyecto, tales como: momento para su ejecución, tamaño, programa de desembolsos, estudios financieros, análisis de riesgo, y calendario de ejecución. En esta fase se procede a la elaboración definitiva del proyecto.

Las etapas de inversión, operación y evaluación posterior, tienen, respectivamente, una fase: de ejecución del proyecto, de operación y de evaluación.

9.2.2.6 Organización para la ejecución del plan. En el plan de manejo se deben precisar los procedimientos y mecanismos necesarios que permitan la implementación y ejecución del plan. Para ello se requiere tener en cuenta los siguientes aspectos, (FAO,1997):

- Programación: es el ordenamiento en el tiempo y en el espacio de las actividades, y la asignación de los recursos en forma óptima.
- Infraestructura: especifica la dotación de los recursos físicos, humanos y financieros, necesarios para la ejecución del plan.

- Procedimientos administrativos: consisten en definir el sistema operacional para la ejecución del plan.
- Compromisos institucionales y comunitarios: definen y especifican, en forma clara, los compromisos institucionales y comunitarios en la ejecución de cada uno de los proyectos contemplados en el plan de manejo.

En cuanto a la organización para el manejo de cuencas, se requiere que las instituciones encargadas del manejo de estas áreas sean las que inicien el trabajo, siendo su principal responsabilidad la dirección de los proyectos. Se debe organizar un comité coordinador constituido por los representantes de las instituciones involucradas, y de las comunidades locales, el cual dirigirá los procesos de diseño, investigaciones de campo, análisis y evaluación de la información y el informe final. Los equipos de trabajo, que dependen directamente de este comité, deberán reunirse periódicamente, y reportar al comité coordinador sobre los logros y problemas.

Siempre es deseable que se adopte una gerencia operativa para la ejecución del plan, definida en el diseño del plan de manejo, para que coordine la participación de los diferentes actores y exija el cumplimiento de sus responsabilidades, administre los recursos, contrate e intervenga obras y, en general, lidere todos los procesos para establecer la ordenación y el manejo, tal como fueron concebidos.

Normalmente, una iniciativa de gestión de cuencas requerirá de múltiples fuentes de financiamiento y, en este sentido, se hace necesario tener en cuenta los recursos no monetarios (conocimiento disponible, organización institucional, niveles de liderazgo y participación comunitaria, capacidad de manejo político y de negociación, etc.), ya que estos también pueden servir como instrumentos para implementar exitosamente una iniciativa de recuperación.

Uno de los aspectos claves que debe incluir el planificador y administrador de manejo de cuencas en sus estrategias administrativas es la coordinación. La coordinación entre varias instituciones depende del grado de integración del programa de manejo. Debido a su naturaleza, las cuencas no pueden ser planificadas y manejadas en su totalidad por una sola institución, por lo que la coordinación es una necesidad. La responsabilidad usualmente recae en una organización, la que se constituye en la organización líder, y en el caso de Colombia, son las Corporaciones Autónomas Regionales.

Otra estrategia administrativa la constituye, como ya se mencionó, la inclusión de la comunidad local en todo el proceso de planificación y ejecución del plan. Esta estrategia constituye una tarea difícil, debido, no sólo al nivel de instrucción de la comunidad, sino también, a los múltiples intereses que se pueden presentar a nivel del gobierno local, grupos privados, asociaciones, etc. Se recomienda incluir en el proceso de planificación a los representantes de esos grupos, e incluir, igualmente, a los campesinos, mediante encuestas especialmente diseñadas, reuniones informativas y diálogos, con el fin de lograr su participación.

9.2.2.7 Monitoreo y evaluación. Finalmente, el plan deberá definir las acciones y mecanismos necesarios para el seguimiento y evaluación de su ejecución, con miras a lograr los objetivos y metas propuestas en las condiciones y tiempos establecidos.

El plan debe contemplar un sistema de monitoreo y evaluación, estableciendo una base de datos y describiendo un conjunto de metodologías de muestreo, análisis y procesamiento de datos, tales como: muestreos de sedimentos, escorrentía, producción agrícola, ingresos de los agricultores, etc.

Monitorear los resultados obtenidos implica ejecutar, revisar y volver a suministrar información actualizada, para asegurarse que el objetivo original se está cumpliendo con la ejecución de la estrategia.

Ejecutada la implementación de los proyectos, se debe realizar un control de retroalimentación, el cual se debe centrar en la evaluación de los resultados, es decir, valorar el grado de efectividad de las medidas, en referencia a los objetivos planteados. Esta evaluación permite retroalimentar el plan de manejo, pues este es un proceso continuo, mediante el cual se aprende de la experiencia pasada, aplicando los conocimientos adquiridos en cada proyecto, en la planificación de nuevos proyectos.

La evaluación no sólo debe referirse al impacto de los proyectos, sino también a la gestión; es decir, realizar una evaluación al proceso y a los resultados, que debe estar de acuerdo con los objetivos.

9.2.2.8 Características esenciales del contenido del plan. El resultado final de un trabajo de planificación de cuencas hidrográficas, que le corresponde al equipo humano de formulación, es un documento ilustrado que contiene el diagnóstico y todas las propuestas hechas sobre la ordenación, el manejo y la evaluación. A partir de allí, la responsabilidad de la ejecución le corresponde a los entes que fueron identificados para tal propósito, que normalmente suelen ser las autoridades ambientales (corporaciones autónomas regionales), los entes territoriales, las instituciones del Estado, el sector industrial y la comunidad, cada quien en la proporción y tareas que le sean propias.

En lo referente al contenido del documento final del plan de manejo, se recomienda que éste debe ser conciso, realista, claro y flexible; generalmente, los planificadores, quienes no siempre son los ejecutores de los proyectos, tienden a dar recomendaciones teóricas excelentes, pero cuestionables en la práctica. Los planes tienen que formularse de tal modo que convencan a los gobiernos o agencias internacionales de ayuda para su financiación. Por lo tanto, los proyectos deben ser relevantes, responsables y realistas (FAO, 1997).

Un aspecto básico en la formulación de los planes lo constituye el contenido del informe del plan, el cual varía de un plan a otro, pero, según la FAO (1997), debe cubrir los siguientes requisitos mínimos:

- El plan debe ser tan consistente como sea posible, y el informe debe contener dos partes: un resumen ejecutivo, donde se presenten los indicadores de autoevaluación y seguimiento continuos en sus metas de corto, mediano y largo plazos, y las recomendaciones y aspectos más relevantes de la información contenida en el plan; y el informe en sí, con los detalles descriptivos, metodologías técnicas y económicas, fuentes de financiación para los diferentes proyectos, y la información general, orientada a los ejecutores del mismo.

- El plan debe ser tan práctico como sea posible. Deberá incluir una descripción de la legislación nacional, regional o local, de la que se derivan las acciones que se realizan en materia de gestión de cuencas hidrográficas, así como detalles de su aplicación. Debe contener, además, un análisis detallado de los problemas, metas, objetivos económicos, ambientales y sociales buscados con el plan; cronogramas de trabajo claramente definidos; las responsabilidades de cada una de las instituciones y de las comunidades involucradas, y fuentes presupuestarias; estimación de costos, beneficios y viabilidades financieras; y estrategias bien descritas. El plan debe incluir las alternativas, y ser flexible en caso de ajustes. Los planes de manejo deben ser lo suficientemente flexibles para intervenir en situaciones geográficas variadas. Colombia, y en general América Latina, presenta una variada gama de diversidades geográficas y étnicas. Las soluciones a los problemas deben ser pensadas y diseñadas teniendo en cuenta las oportunidades y restricciones locales. Las personas involucradas en el proceso de planificación deben encontrar soluciones que estén hechas a la medida del medio ambiente social y ecológico local. No debe partirse de la premisa de que lo que funcionó en otros lugares es la mejor solución para el área que se está planificando.

- El plan debe ser tan ilustrativo como sea posible; debe incluir planos, mapas, diagramas, cuadros, tablas, gráficos y fotografías, entre otros elementos.

CAPÍTULO 10

LA ADMINISTRACIÓN APLICADA AL MANEJO DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS

Los directores de planes de manejo de cuencas hidrográficas deben disponer de ciertas herramientas de administración y, por esto, en este capítulo se dan algunos conceptos fundamentales de los principios administrativos, necesarios para lograr una dirección efectiva. En él, se hace una síntesis del proceso administrativo, de tal forma que el administrador del plan de manejo de una cuenca y el usuario, en general, comprendan y apliquen los principios administrativos para la planeación, organización, integración de personal, dirección y control, en el desarrollo de una actividad específica, un proyecto o un programa.

“La administración es el proceso de diseñar y mantener un ambiente en el cual las personas, trabajando juntas en grupos, alcanzan con eficiencia metas seleccionadas” (Koontz, H. y Weihrich, H, 1995).

En el proceso de creación de un ente administrador de planes de manejo de cuencas, la sociedad debe percatarse de la importancia que reviste su creación. Un proceso de creación de entidades de cuencas debe contar con una base de alianzas, negociaciones, y campañas de divulgación. En otras palabras, debe ser creada como una necesidad sentida de la sociedad y de los usuarios de la cuenca, con el fin de resolver problemas que son socialmente considerados como relevantes.

Todas las etapas del proceso de planificación y manejo de cuencas hidrográficas sólo pueden realizarse sobre la base de la existencia de un adecuado sistema de administración.

El administrador es una persona que proporciona dirección a su organización, proveyendo liderazgo, y decidiendo la forma de utilizar los recursos para lograr las metas de la organización (Drucker, 1974, en FAO 1997). Es decir, lo que hacen los administradores es lograr que las personas realicen sus actividades con los recursos asignados, y la provisión de dirección y liderazgo. Es evidente que los administradores o gerentes no pueden realizar bien sus tareas, a menos que comprendan y sean sensibles a los distintos elementos del entorno que afectan sus áreas de operación, tales como: factores económicos, tecnológicos, sociales, políticos, étnicos y culturales.

De acuerdo con lo anotado, se puede definir, también, la administración, como el logro de las metas de un modo efectivo y eficiente, a través de la aplicación de las cinco funciones administrativas básicas: planeación, organización, integración de personal, dirección, y control de los recursos de la organización.

Robert L. Katz, citado por Koontz, H. y Weihrich, H. (1995), identifica tres clases de habilidades que deben tener los administradores: técnica, humana y conceptual; a las cuales se les puede agregar una cuarta, la capacidad de diseñar soluciones.

La habilidad técnica es el conocimiento y la pericia en actividades que incluyen métodos, procesos y procedimientos. Por lo tanto, representa trabajar con herramientas específicas.

La habilidad humana es la capacidad de trabajar con personas; es esfuerzo cooperativo, es trabajo en equipo, es la creación de un medio, en el cual las personas se sientan seguras y libres de expresar sus opiniones.

La habilidad conceptual es la capacidad de reconocer los elementos importantes de una situación, y comprender las relaciones entre los elementos.

La habilidad de diseño es la capacidad de solucionar problemas, en forma tal, que beneficie a la empresa. Si los administradores tan sólo ven el problema, y se convierten en observadores del problema, fracasarán; necesitan tener la valiosa habilidad de estar en posibilidad de diseñar una solución factible para el problema, de acuerdo con las realidades a que se enfrentan.

10.1 EL PROCESO ADMINISTRATIVO

El proceso administrativo se define como el conjunto de funciones o etapas en que se lleva a cabo la administración de una organización. En general, se han adoptado las siguientes funciones para el proceso administrativo: planeación, organización, integración de personal, dirección y control (Koontz, H. y Weihrich, H, 1995).

El proceso administrativo de utilizar recursos para alcanzar las metas se puede considerar como un sistema, en el que los recursos asignados constituyen el flujo de entrada, y las metas obtenidas el flujo de salida; entre ambos flujos existe una función de transferencia que transforma la entrada en salida, haciendo uso de las cinco funciones administrativas básicas ya mencionadas. Figura 30.

10.1.1 Planeación. Al diseñar un ambiente para el desempeño efectivo de las personas que trabajan juntas en grupos, la tarea fundamental de un gerente es ver que todos comprendan los objetivos y propósitos del grupo, y sus métodos para lograrlo. Para que el esfuerzo del grupo sea efectivo, las personas tienen que conocer lo que se espera que ellas cumplan; esta es la función de planeación.

La primera y más importante de las funciones administrativas es la planeación. A través de ella es posible determinar hacia dónde se quiere llegar, y la manera de hacerlo. Esto involucra todo el conjunto de la organización en sus distintas partes y distintos campos de acción. Toda institución, sea cual fuere su naturaleza de trabajo o su tamaño, debe decidir, de antemano, sus objetivos y la forma de lograrlos, o sea, los planes para alcanzarlos. La planeación, en sus términos más elementales, es

decidir, con anticipación, qué hacer, cómo hacerlo, cuándo hacerlo, y quiénes deberán realizarlo (Galeano, J., 1979). Se trata, entonces, de proyectar el futuro y los medios efectivos para lograrlo.

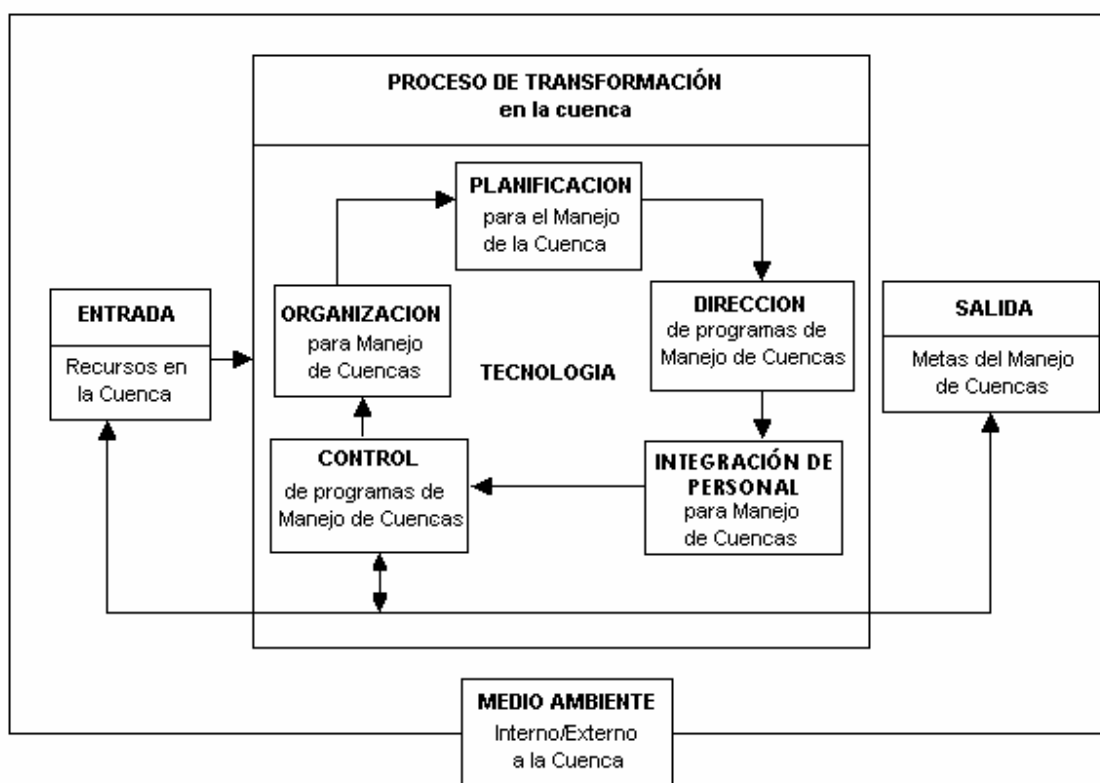


Figura 30. El proceso administrativo como un sistema aplicado al manejo de cuencas hidrográficas. Adaptado de FAO (1997).

La planeación es el proceso intelectual que precede a la ejecución, y se desarrolla enmarcada en tres momentos: el presente, cuando se elabora un plan para llegar al objetivo, ubicado en el futuro, sobre la base de información del pasado, haciendo uso de los recursos disponibles, dentro de un ambiente con restricciones (FAO, 1997).

La planeación permite disminuir los riesgos y aprovechar mejor las oportunidades, disminuyendo la incertidumbre. La intuición y la experiencia solas no garantizan el

éxito de una empresa; es necesario utilizar, correctamente, las funciones administrativas y, entre ellas, la planeación ocupa lugar prioritario.

La planeación define lo que se quiere hacer de la cuenca en el futuro, y la forma de lograrlo. La planeación incluye la selección de metas, y las acciones para lograrlas; se requiere de toma de decisiones, es decir, seleccionar cursos de acción futuros entre varias alternativas. Tiene que ver, entonces, con la definición de metas y con la toma de decisiones sobre las actividades y la distribución de los recursos para lograr dichas metas.

La planeación de cuencas hidrográficas significa llevar a cabo todas las actividades necesarias para el manejo eficiente de los recursos de la cuenca; es decir, decidir sobre lo que se debe hacer en una situación dada; en este sentido, es importante tener en cuenta que sólo se debe planificar aquello que lo amerite y se pueda ejecutar. La planeación sirve de herramienta coordinadora para los directores, asegurando que las diferentes partes de la organización trabajen eficientemente en la consecución de las metas.

En los conceptos de planeación se resaltan los términos de “misión”, de “metas” y de “toma de decisiones”, como aspectos fundamentales de esta actividad, por lo que, a continuación, se hace una breve presentación de estos tres aspectos, que pueden servir como elementos de planificación, para ayudar al administrador a lograr los objetivos en los planes de manejo de cuencas.

La misión identifica la función o tarea básica de una empresa o agencia, o de cualquier parte de ella. Cualquier clase de operación organizada tiene, o al menos debe tener, para que conlleve algún significado, misiones.

Las metas u objetivos son los fines hacia los que se dirige la actividad, son los resultados a lograr. Representan, no sólo el punto final de la planeación, sino, también, el fin hacia el que se encaminan la organización, la integración de personal,

la dirección y el control. Las metas son un estado futuro deseado que la organización intenta lograr; en tanto que el plan es la especificación escrita de la asignación de recursos, acciones, estrategias, cronogramas, etc., que ayudan a cumplir con las metas. Por lo tanto, el proceso que establece las metas y los medios para lograrlas, se llama planeación.

Para que las metas y planes sean efectivos, deben cumplir con ciertos criterios, durante el proceso de establecimiento. Las metas deben tener las siguientes características (FAO, 1997):

- Deben ser específicas y mensurables y, cuando sea posible, deben expresarse en términos cuantitativos.
- Deben cubrir sólo las áreas claves que van a dar cuenta por los resultados, es decir aquellas que contribuyan al logro de la mayor parte de los objetivos.
- Deben constituir un reto sin dejar de ser realistas. Deben formularse para ser realizadas con los recursos disponibles, y no deben exigir esfuerzos más allá de las disponibilidades o asignaciones financieras, recursos humanos y de equipos, y tiempo.
- Deben establecerse para ser realizadas en un período específico de tiempo, el cual servirá como patrón de comparación del desempeño de las unidades operativas.
- El cumplimiento de las metas debe estar asociado con algún esquema de incentivos para los funcionarios.

Una vez que se han establecido las metas, se debe seleccionar el procedimiento de planificación más apropiado, teniendo en cuenta dos aspectos críticos para el éxito

de la planificación, como son: la flexibilidad y la adaptabilidad, especialmente cuando el ambiente es cambiante.

La decisión es una elección que se hace dentro de varias alternativas disponibles, y toma de decisiones es el proceso de identificar problemas y oportunidades, y resolverlos; es la médula de la planeación. La adecuada toma de decisiones es vital para una gerencia efectiva, debido a que las decisiones determinan la forma cómo la organización resuelve sus problemas, cómo distribuye sus recursos, y cómo logra sus objetivos.

En un ambiente ideal o de certeza el administrador debería disponer de toda la información necesaria para la toma de decisiones; en la práctica no es así, especialmente en lo que se refiere a la planificación y el manejo de cuencas hidrográficas, en estos casos la información es, normalmente, escasa, de pobre calidad o inexistente, de tal forma que el gerente se ve obligado a tomar decisiones en ambientes de riesgo, incertidumbre o ambigüedad (FAO, 1997). Prácticamente todas las decisiones se toman en un ambiente en que existe, por lo menos, alguna incertidumbre.

Para el manejo de cuencas hidrográficas se ha buscado integrar los modelos hidrológico-ambientales tradicionales, con los sistemas de información geográfica (SIG), para obtener herramientas de soporte a la toma de decisiones que asistan al planificador, en el manejo de la escorrentía, la erosión, la sedimentación, el movimiento de contaminantes, entre otros. El uso de los sistemas de información geográfica permite una identificación y un análisis más rápidos de los problemas, y la selección, a través de simulación, de las medidas más apropiadas para la conservación y rehabilitación de las cuencas.

La planeación es una toma de decisiones anticipada. Si se quiere emprender una determinada acción, es necesario, antes, haber tomado la decisión de lo que se va hacer y cómo se va hacer. Cualesquiera que sean el tipo de decisión y el modelo a

adoptar, para que el proceso sea efectivo, el proceso de toma de decisiones se debe desarrollar en seis etapas secuenciales, que se describen a continuación, (FAO, 1997):

- Reconocimiento del problema. La identificación de situaciones problemas y de oportunidades o potencialidades es la primera etapa en el proceso de toma de decisiones. En esta etapa juegan un papel importante la información disponible, los reportes, las entrevistas con la comunidad, y la intuición de los miembros del equipo planificador.

- Diagnóstico y análisis de causas. El diagnóstico es la fase en la cual se analizan los factores causales de la situación identificada, bien sea un problema o una potencialidad. Es la fase de los interrogantes; las preguntas típicas son: ¿qué es lo que está afectando al sistema?, ¿cuándo ocurrió el problema?, ¿dónde ocurrió?, ¿cómo ocurrió?, ¿a quién le ocurrió?, ¿cuál es la urgencia del problema?, ¿cuál es la interconexión de eventos?, ¿qué resultados se obtuvieron en cada actividad?

- Desarrollo de alternativas. Una vez reconocidos los problemas o las oportunidades, el equipo planificador está listo para tomar acciones. La etapa siguiente consiste en generar posibles alternativas de solución, que respondan a las necesidades de la situación creada, y corrijan las causas que la originaron. El establecimiento de alternativas puede considerarse como una herramienta que reduce la diferencia entre la situación actual y la deseada.

- Selección de la alternativa deseada. Una vez que se han encontrado las alternativas apropiadas, el siguiente paso, en la planeación, es evaluarlas y seleccionar aquellas que contribuirán mejor al logro de las metas. El criterio general que debe seguirse en la selección es disminuir, al mínimo, el riesgo y la incertidumbre. El riesgo se puede disminuir evaluando diferentes niveles de éxito; en situaciones de incertidumbre, el equipo planificador se debe guiar por la experiencia e intuición.

Al seleccionar entre alternativas, los administradores pueden usar tres enfoques básicos: 1) experiencia, 2) experimentación y 3) investigación y análisis.

Hasta un cierto grado, la experiencia es la mejor maestra. Sin embargo, el apoyarse sólo en la experiencia como una guía para la acción futura puede ser peligroso, porque no siempre los conocimientos adquiridos de una experiencia, son totalmente aplicables a nuevos problemas.

Una forma obvia de decidir entre las alternativas es probar con una de ellas, y ver qué ocurre. La experimentación se usa, a menudo, en la investigación científica. La técnica experimental es muy costosa, en especial si el programa requiere de grandes gastos en capital y personal, y los resultados, como sucede en la mayoría de los casos de manejo de cuencas, se obtienen a largo plazo. Por lo tanto, esta técnica sólo se debe usar después de tomar en cuenta otras alternativas.

Una de las técnicas más efectivas para seleccionar entre las alternativas, cuando se trata de decisiones importantes, es la investigación y el análisis. Este enfoque significa solucionar un problema comprendiéndolo primero. Por lo tanto, incluye la búsqueda de relaciones entre las variables y limitantes más críticas que se relacionan con la meta buscada. Un paso importante en el enfoque de investigación y análisis, es desarrollar un modelo que simule el problema.

- Implementación de la alternativa seleccionada. Esta fase consiste en convertir la alternativa seleccionada en acción. Para que la implementación tenga éxito, se requiere del apoyo de las personas que son afectadas con la decisión, lo cual se obtiene, fundamentalmente, con la participación durante todo el proceso, de la comunidad afectada.

- Evaluación y retroalimentación. Es la última fase del proceso de toma de decisiones, y consiste en la recolección y evaluación de información sobre el desempeño logrado en la implementación de la alternativa seleccionada, en relación

con la consecución del objetivo establecido. La retroalimentación indica si la implementación ha tenido éxito o no, y es un elemento muy importante, porque el proceso de toma de decisiones es continuo, y porque provee al administrador de información que desencadena un nuevo ciclo en dicho proceso.

Los planes deben estar asociados con horizontes de planificación específicos, y la organización de una unidad de planificación. La planificación puede ser a largo, mediano y corto plazos. La planificación a largo plazo puede extenderse a cinco años; la planificación a mediano plazo cubre de uno a dos años; la planificación a corto plazo se realiza para un período igual o menor que un año.

Hay que tener en cuenta que un plan, por sí solo, no es sinónimo de desarrollo y efectividad. El plan debe ir acompañado de una ejecución exitosa. Esto último, nos hace afirmar lo que los teóricos de la administración han coincidido en llamar “los hermanos gemelos de la administración”: la planeación y el control. No se puede controlar lo que no se ha planeado, y una planeación sin control no tendría sentido (Galeano, J., 1979).

10.1.2 Organización. Fundamentalmente, la organización, como función administrativa, es el proceso que trata de la estructura de la empresa y de la asignación de todas las actividades y tareas que, de acuerdo con los planes preestablecidos, deben ser ejecutadas (Arellano, H. 1979).

La organización es aquella parte de la administración que establece una estructura intencional de funciones que deben cumplir las personas en una empresa. Es intencional, en el sentido de asegurarse de que se asignen todas las tareas necesarias para alcanzar las metas, y que, se confía, sean asignadas a las personas más idóneas.

El propósito de una estructura organizacional es ayudar a crear un ambiente para el desempeño humano. Por lo tanto, es una herramienta de la administración y no un

fin en sí misma. Aunque la estructura tiene que definir las tareas a realizar, los papeles establecidos, en esta forma, se tienen que diseñar, también, de acuerdo con las capacidades y motivaciones de las personas disponibles.

Para que exista un rol organizacional y tenga significado para las personas, se deben tener en cuenta varios aspectos fundamentales: 1) objetivos verificables, porque de ellos se derivan las actividades y, además, son una parte importante de la planeación; 2) una idea clara de los principales deberes o actividades incluidos; y 3) un área de autoridad, concebida en forma tal, que la persona que cumple el papel conozca lo que puede hacer para alcanzar las metas (Koontz, H. y Wehrich, H, 1995).

La organización, como función gerencial, es el proceso de ordenar las funciones y relaciones jerárquicas de la empresa, adoptando un criterio racional en la ejecución de las tareas necesarias para el logro del objetivo deseado. Considera un grupo de personas que trabaja, tratando de lograr un objetivo común dentro del marco de la estructura administrativa de la organización, compuesta de elementos que se relacionan y que cumplen, cada uno de ellos, una misión específica en función del objetivo general de la empresa.

La organización es la función administrativa responsable en la asignación de recursos institucionales a los diferentes niveles o unidades de la institución, para lograr los objetivos. Se refleja en la división de actividades, tareas específicas, líneas formales de autoridad y mecanismos para coordinar las diferentes tareas. Su importancia radica en que se deriva de la planificación estratégica. La estrategia define el ¿qué hacer?, la organización define el ¿cómo hacerlo?

El proceso de organización conduce a la creación de una estructura vertical, que define la forma cómo se dividen las actividades, y cómo se asignan los recursos. La representación gráfica de la estructura organizativa viene a ser el organigrama de la

institución, el cual puede ser, también, aplicable a un programa de planificación de cuencas, o a la ejecución de un plan de manejo de cuencas.

El diseño de la estructura organizacional es la base para lograr las metas estratégicas y, frecuentemente, el éxito de la estrategia está determinado por la forma como esta se acopla a la estructura de la organización. Existen dos principios básicos adicionales de la organización, que pueden ayudar mucho en la planificación estratégica, y en la toma de decisiones, estos son la coordinación, y la innovación o cambio (FAO, 1997).

La coordinación se define como la calidad de colaboración entre dependencias o instituciones, y se requiere, cualquiera que sea el modelo de diseño organizacional que se tenga, ya que la institución requiere de sistemas para procesar información y permitir la comunicación entre funcionarios a todos los niveles. Se considera a la coordinación como la esencia de la administración, para alcanzar la armonía entre los esfuerzos individuales encaminados al cumplimiento de las metas del grupo. Cada una de las funciones administrativas es un ejercicio que contribuye a la coordinación.

La innovación es reconocida como un problema crítico en la mayoría de las instituciones. Para poder afrontar con éxito el cambio, se requiere adoptar una nueva actitud frente a la situación de cambio. Existen dos factores que inducen al cambio organizacional: factores internos y factores externos. Los factores internos se refieren a las actitudes y decisiones internas asumidas en busca de un cambio; involucran el uso de nuevas tecnologías, y la creación de nuevas unidades. Los factores externos incluyen la tecnología, recursos humanos especializados, situación económica, demandas de la población, etc.

Según Koontz, H. y Weihrich, H. (1995), existe una lógica fundamental en la organización. Este proceso consta de seis pasos, aunque en realidad los pasos uno y dos hacen parte de la planeación:

- Establecer los objetivos de la empresa.
- Formular objetivos, políticas y planes de respaldo.
- Identificar y clasificar las actividades necesarias para cumplirlos.
- Agrupar estas actividades de acuerdo con los recursos humanos y materiales disponibles, y la mejor forma de usarlos, de acuerdo con las circunstancias.
- Delegar en el jefe de cada grupo la autoridad necesaria para llevar a cabo las actividades.
- Vincular los grupos en formas horizontal y vertical, mediante relaciones de autoridad y flujos de información.

10.1.3 Integración de personal. La función administrativa de integración de personal, o administración de los recursos humanos, se define como cubrir y mantener cubiertos los puestos en la estructura de la organización (Koontz, H. y Weihrich, H, 1995). Esto incluye identificar los requisitos de la fuerza laboral; realizar un inventario de las personas disponibles; y contratar, seleccionar, ubicar, ascender, evaluar, planear las carreras, remunerar y capacitar o, de alguna otra forma, desarrollar tanto, a los candidatos como a los que desempeñan en la actualidad los trabajos, para cumplir las tareas con efectividad y eficiencia.

El propósito de la integración de personal es colocar a las personas en puestos que les permitan utilizar sus fortalezas personales y, quizá, superar sus debilidades, obteniendo experiencia o capacitación en aquellas habilidades en que necesitan mejorar.

La integración de personal afecta a la dirección y al control. Por ejemplo, los gerentes bien capacitados crean un ambiente en el cual las personas, trabajando en grupos, pueden lograr los objetivos de la empresa, y, al mismo tiempo, alcanzar sus metas personales. Es decir, que la adecuada integración del personal facilita la dirección. En forma similar, el seleccionar gerentes de calidad afecta el control, por ejemplo, cuando el gerente evita que muchas desviaciones indeseables se conviertan en problemas importantes.

10.1.4 Dirección. Al revisar las teorías sobre este tema, se observa que la dirección está en el manejo del recurso humano: en la motivación, en la comunicación, en la toma de decisiones, en la capacitación, en la promoción, en la innovación, en los principios de la autoridad, en el desarrollo del individuo, y en todo aquello que hace radicar el éxito en el hombre, más que en la tecnología.

Realizar una planeación cuidadosa, establecer una estructura organizacional que ayudará a las personas a lograr los planes, cubrir la estructura de la organización con personas tan competentes como sea posible, y realizar la medición y corrección de las actividades de las personas, mediante medidas de control, son funciones gerenciales con las cuales se va a lograr poco, si los administradores no saben cómo dirigir a la gente, y comprender el factor humano en sus operaciones, en forma tal, que produzcan los resultados deseados.

La dirección se define como el proceso de influir sobre las personas para que contribuyan a las metas de la organización y del grupo (Koontz, H. y Wehrich, H. 1995). Precisando esta definición, se puede decir que la dirección hace referencia al aspecto interpersonal del director, por medio del cual los subalternos pueden comprender y contribuir, con eficiencia y efectividad, al logro de los objetivos de la empresa. Esta definición implica aspectos como: liderazgo, motivación del personal, y mantener un buen sistema de comunicaciones y coordinación de todos los miembros de la organización.

El liderazgo es un concepto que circula alrededor de tres aspectos: personas, influencia y metas. Ocurre entre personas, involucra el uso de influencias, y se utiliza para lograr metas (Yulk, 1989; en FAO, 1997). Luego, se puede definir el liderazgo como el arte o el proceso de influir sobre las personas para lograr que se esfuercen de buen grado y con entusiasmo hacia el logro de las metas del grupo y de la organización. La esencia del liderazgo es el acompañamiento. En otras palabras, lo que convierte a una persona en un líder es la disposición de las personas a seguirlo. En este sentido, las personas tienden a seguir a quienes consideran que les proporcionan un medio de lograr sus propios anhelos, deseos y necesidades; es comprensible que la dirección incluya motivación, estilo y enfoque de liderazgo, y comunicación.

La habilidad en el arte del liderazgo debe estar compuesta, por lo menos, por cuatro componentes importantes: 1) la capacidad de usar el poder con efectividad y de un modo responsable; 2) la capacidad de comprender que los seres humanos tienen diferentes fuerzas que los motivan en diferentes momentos y en diferentes situaciones; 3) la capacidad de inspirar a los subalternos para que apliquen todas sus habilidades a un proyecto; 4) la capacidad de actuar en una forma que desarrollará un clima favorable para responder a las motivaciones y fomentarlas (Koontz, H. y Weihrich, H. 1995).

La motivación es un término general que se aplica a toda clase de impulsos, anhelos, necesidades, deseos y fuerzas similares. La motivación es la fuerza, dirección y persistencia de un determinado comportamiento. Para entender la motivación el gerente debe conocer aquellas cosas que confía van a satisfacer esos impulsos y deseos de sus subordinados, y los inducirán a que actúen en una forma deseada; es decir, se deben tener en cuenta aquellos aspectos que influyen en el individuo para que emprenda una acción y persista en ella.

Aunque la comunicación se aplica a todas las fases de la administración, es particularmente importante en la función de dirección. La comunicación es el

traspaso de información de un emisor a un receptor, y su comprensión por este último. En otras palabras, la comunicación es el proceso mediante el cual se efectúa un intercambio de información entre dos o más personas, normalmente con el objetivo de motivar o influir en el comportamiento; es un proceso complejo, debido a las múltiples formas de distorsión de los mensajes. El mensaje puede ser verbal o escrito, y se puede transmitir mediante memorandos, cartas, boletines, reuniones, correo electrónico, fax, telefónicamente, o un video. Es a través de la comunicación como cualquier organización se convierte en un sistema abierto que se interrelaciona con su ambiente.

La comunicación es esencial para el funcionamiento interno de las empresas, porque integra las funciones gerenciales. Especialmente se necesita la comunicación para: 1) establecer y difundir las metas de una empresa; 2) desarrollar planes para su logro; 3) organizar los recursos humanos y de otros tipos, en la forma más efectiva y eficiente; 4) seleccionar, desarrollar y evaluar a los miembros de la organización; 5) dirigir, orientar, motivar y crear un clima, en el cual las personas quieran contribuir; y 6) controlar el desempeño (Garzón, A. 1979).

Para comprobar la efectividad de la comunicación, la persona necesita tener retroalimentación. Nunca se puede tener la seguridad de que un mensaje se ha codificado, transmitido, descifrado y comprendido, de un modo efectivo, a menos que se confirme mediante la retroalimentación. En forma similar, la retroalimentación señala si se ha llevado a cabo el cambio individual u organizacional como resultado de la comunicación.

En resumen, el modelo de comunicación proporciona una visión general del proceso de comunicación, identifica las variables críticas, y muestra sus relaciones. A su vez, ayuda a los administradores a identificar los problemas de comunicación, y tomar las medidas necesarias para solucionarlos, o incluso, evitarlos.

10.1.5 Control. El control es la función administrativa que se usa para medir, evaluar y corregir el desempeño de las actividades de los subordinados, y de esta manera asegurar que se cumplan los objetivos de la empresa y los planes creados para alcanzarlos (FAO, 1997). Mide el desempeño contra metas y planes, muestra cuando existen desviaciones negativas y, al poner en marcha acciones para corregir las desviaciones, ayuda a asegurar el cumplimiento de los planes. Aunque la planeación tiene que preceder al control, los planes no se logran por sí solos. Los planes guían a los administradores en el uso de los recursos para cumplir con metas específicas; después se comprueban las actividades, para determinar si están de acuerdo con los planes. Sin objetivos ni planes no es posible el control, porque el desempeño se tiene que comparar con algunos criterios establecidos.

En el proceso de control se compara la situación real con la situación deseada o planificada, y la diferencia es lo que se denomina desviación. La desviación se mide sobre la base de una norma preestablecida y se corrige, ya sea tomando medidas correctivas para lograr la misma meta, o mediante medidas correctivas modificando la meta prevista. Los aspectos que se controlan son: cantidad, calidad y tiempo.

Aunque el alcance del control varía entre los administradores, estos, en todos los niveles, tienen la responsabilidad de llevar a cabo los planes y, por consiguiente, el control es una función administrativa esencial en cada nivel.

Para realizar el control es necesario que el administrador de cuencas disponga de un sistema de información dinámico (base de datos), el cual se debe construir antes de formular un plan. Los sistemas de información deben preceder a los de formulación de un plan, en razón de que los planes no reemplazan los sistemas de información sino que se sustentan en los mismos.

El proceso básico de control incluye cinco pasos: 1) el conocimiento de un objetivo o meta, que está dado por la planeación; 2) el conocimiento de los resultados realmente obtenidos; 3) la evaluación, que consiste en comparar las realizaciones

con los objetivos, para determinar sus diferencias; 4) el análisis de las causas que motivaron las diferencias; y 5) implementación de las acciones correctivas, a manera de retroalimentación al sistema (Avendaño, L. 1979).

Koontz, H. y Weihrich, H, (1995), simplifican el anterior proceso en tres pasos: 1) establecer los estándares o criterios de desempeño, estos pueden ser las metas y objetivos comprobables; 2) medir el desempeño con dichos estándares y 3) corregir las variaciones de los estándares y los planes.

Debido a que los planes varían en cuanto a detalle y complejidad, y a que los administradores, normalmente, no pueden vigilar todo, se establecen estándares especiales, los cuales son, simplemente, criterios de desempeño. Son los puntos seleccionados en un programa completo de planeación en el cual se toman medidas de desempeño, en forma tal, que los administradores puedan recibir señales de cómo van las cosas y, por consiguiente, no tengan que vigilar cada paso en la ejecución de los planes. Hay muchos tipos de estándares. Entre los mejores, se encuentran las metas y objetivos comprobables.

La medición del desempeño contra estándares se debe hacer, idealmente, sobre una base anticipada, con el fin de que se puedan detectar las desviaciones antes de que ocurran, y evitarlas mediante acciones apropiadas. Si se diseñan correctamente los estándares, y si se dispone de medios para determinar con exactitud lo que están haciendo los subordinados, la evaluación del desempeño real o esperado será bastante fácil.

La corrección de las desviaciones consiste en introducir los cambios necesarios para devolver el proceso bajo control, es decir, hacerlo concordante con los estándares. Es el punto en el cual se puede contemplar el control como una parte de todo el sistema de administración, y se puede relacionar con las otras funciones gerenciales. El control efectivo requiere, entonces, de atención a aquellos factores críticos para evaluar el desempeño con los planes. Los gerentes pueden corregir las desviaciones

redactando de nuevo sus planes o modificando sus metas, ejerciendo su función de organización mediante la reasignación o aclaración de las tareas, capacitando a los subordinados, o mediante una mejor dirección.

Existen tres tipos de controles: anterior, concurrente y de retroalimentación (Avendaño, L. 1979).

El control anterior hace énfasis en los recursos humanos, materiales y financieros que fluyen en la organización, y que permiten el desempeño normal. También se denomina control preliminar o preventivo, y su propósito es asegurar que la calidad y cantidad de insumos sea suficiente para prevenir problemas en el proceso. Trata de identificar y prevenir las desviaciones antes de que ocurran.

El control concurrente consiste en el monitoreo de las actividades en marcha, para asegurar que las actividades estén produciendo los resultados deseados.

El control de retroalimentación se centra en los resultados de la organización, es decir, evalúa la calidad del producto final.

CAPÍTULO 11

LEGISLACIÓN, FUENTES DE FINANCIACIÓN E INSTITUCIONES INVOLUCRADAS EN LA PLANIFICACIÓN Y EL MANEJO DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS

11.1 LEGISLACIÓN

11.1.1 Constitución Política de la República de Colombia. La Constitución política de la república de Colombia, de 1991, establece en sus artículos 7 y 8, las bases fundamentales para la conservación y preservación de la biodiversidad y de la diversidad étnica y cultural del país. Estos artículos rezan, respectivamente, así: “El Estado reconoce y protege la diversidad étnica y cultural de la Nación colombiana”, y “Es obligación del Estado y de las personas proteger las riquezas culturales y naturales de la Nación”. El artículo 8 se complementa con el artículo 95, donde se establecen los deberes de la persona y del ciudadano, siendo uno de esos deberes “Proteger los recursos culturales y naturales del país y velar por la conservación de un ambiente sano”.

Teniendo en cuenta el derecho fundamental de las personas a gozar de un ambiente sano (artículo 79), el Estado debe proteger la integridad del medio ambiente, en acción conjunta con la comunidad. En este sentido, es función del Estado planificar el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales, para garantizar su desarrollo sostenible, su conservación, restauración o sustitución (artículo 80) y, para este fin, debe garantizar la participación activa de la comunidad en las decisiones que puedan afectarlo, por medio de mecanismos como: las audiencias públicas, juntas de acción comunal, y demás organismos comunitarios que pretendan dicho principio.

La Constitución de 1991 garantiza el pleno ejercicio de los pueblos indígenas, y establece las condiciones para que sean partícipes de la vida económica, social,

política y cultural de la sociedad nacional. La importancia de estos valores se pone de presente, de manera directa, en el artículo 7 que reconoce y protege la diversidad étnica y cultural de la Nación colombiana; en el artículo 8 sobre la obligación del Estado de proteger la riqueza cultural de la Nación; en el artículo 9 sobre el respeto a la autodeterminación de los pueblos; en el artículo 68, inciso quinto, sobre el derecho al respeto de la identidad en materia educativa; en el artículo 70, relacionado con la cultura como fundamento de la nacionalidad colombiana, y el reconocimiento, por parte del Estado, de la igualdad y dignidad de todas las culturas que conviven en el país, así como la promoción de la investigación, de la ciencia, del desarrollo, y de la difusión de todos los valores culturales de la Nación; y en el artículo 72, sobre protección del patrimonio arqueológico de la Nación. Con los artículos 246 y 330 de la Constitución se busca, primordialmente, respetar las costumbres y cultura de las comunidades indígenas, acoplando sus decisiones a la Constitución y leyes de la República.

La Constitución, acorde con su espíritu de descentralización política y administrativa, confiere a las entidades territoriales atribuciones de especial significación. Corresponde a las Asambleas Departamentales, por medio de ordenanzas, expedir las disposiciones relacionadas con la planeación, el desarrollo económico y social,...el ambiente,... (artículo 300, ordinal 2). A los Concejos Municipales les corresponde reglamentar los usos del suelo..., y dictar las normas necesarias para el control, la preservación y defensa del patrimonio ecológico y cultural del municipio (artículo 313, ordinales 7 y 9).

A los gobiernos locales les corresponde administrar, fomentar y proteger los intereses de su jurisdicción, promover el desarrollo de su circunscripción territorial, preservar el medio ambiente, mejorar la calidad de vida de su población, promover adecuadamente la prestación de los servicios públicos locales, entre muchas otras responsabilidades. De esta caracterización se destacan, desde el punto de vista de la gestión de cuencas y del agua, las siguientes atribuciones: participación ciudadana, preservación del medio ambiente, mejoramiento de la calidad de vida, y

promoción del desarrollo. Considerando estos factores, la participación de los gobiernos locales y de la comunidad cobra especial importancia en la gestión de cuencas hidrográficas.

A pesar de la descentralización de la administración pública, aún sigue existiendo una centralización de hecho, que dificulta la aplicación práctica de las reformas descentralizadoras. Un punto crucial, en tal fenómeno, es la precariedad de los recursos económicos de la gran mayoría de los municipios del país, y su consecuente dependencia de fondos fiscales transferidos de las rentas nacionales. A ello hay que agregar, que muchos gobiernos locales presentan serias limitaciones en cuanto al manejo eficiente de los recursos públicos, en comparación con el sector privado.

A pesar de estas limitaciones, la participación municipal, así como de grupos de usuarios organizados, es un factor relevante para mejorar el manejo de las cuencas de captación del agua para consumo humano e industrial, así como para el manejo de las mismas, en áreas urbanas. La evolución y los logros alcanzados por algunos municipios, como por ejemplo el de Medellín y su área metropolitana, son el resultado de la aplicación del contexto normativo, la asistencia técnica obtenida, el apoyo institucional, los fondos obtenidos, y la decisión política de querer hacer las cosas bien.

En el marco de la tendencia actual de la descentralización de responsabilidades a los gobiernos locales, la participación municipal resulta cada vez más indispensable para asegurar un funcionamiento apropiado, y la continuidad de las acciones orientadas a la gestión coordinada de las cuencas, y del agua en especial.

La Constitución reconoció la importancia del manejo integral de cuencas hidrográficas, cuando creó, mediante el artículo 331, la Corporación Autónoma Regional del Río Grande de la Magdalena (CORMAGDALENA).

11.1.2 Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente - Decreto ley 2811 de 1974. Desde cuando se creó, en 1968, el hoy desaparecido, Instituto de Desarrollo de los Recursos Naturales Renovables, INDERENA, y conforme este Instituto fue organizándose y tomando experiencia en el manejo de las aguas, los suelos, la flora y la fauna, se fue viendo la necesidad de establecer las normas jurídicas sobre las cuales iba a fundamentar sus acciones. Esta necesidad se argumentó en que las leyes, decretos, acuerdos y resoluciones, en que se tenían que apoyar los administradores de los recursos, no constituían garantía para desarrollar, de forma correcta, su complicada y urgente tarea.

Cuando se creyó necesario estructurar un Código de Recursos Naturales, la primera pregunta que surgió se refirió a los fines y a las políticas que deberían enmarcar un estatuto de este alcance. Luego de analizar este interrogante, se llegó a la definición de una estructura metodológica del futuro Código. Dicha estructura debía tener dos características fundamentales: continuidad y universalidad. La continuidad era necesaria para asegurar un Código integral, que pudiera manejar, acertadamente, las interrelaciones existentes entre los ecosistemas; y la universalidad era indispensable para que las normas técnicas reglamentarias pudieran adaptarse, posteriormente, a las características de cada ecosistema.

Mediante el Decreto número 2811 del 8 de diciembre de 1974, el presidente de la República de Colombia, en ejercicio de las facultades extraordinarias conferidas por la ley 23 de 1973, y previa consulta con las comisiones designadas por las Cámaras Legislativas y el Consejo de Estado, respectivamente, expidió el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente, el cual fue convertido en Ley el 19 de diciembre de 1975.

Este Código reúne todas las normas esenciales sobre el manejo de la atmósfera y el espacio aéreo nacional, las aguas, los suelos, la flora, la fauna, las fuentes primarias de energía no agotables, las pendientes topográficas con potencial energético, los recursos geotérmicos, los recursos biológicos de las aguas y el suelo y subsuelo del

mar territorial, los recursos del paisaje, los residuos y basuras, el ruido y los asentamientos humanos en general, en cuanto se trate acerca de la calidad de su ambiente.

El Código está dividido en tres partes principales: el Título Preliminar; el Libro Primero, que trata del ambiente; y el Libro Segundo, que contiene lo referente al manejo de los recursos naturales renovables.

El Título Preliminar contempla, entre otros aspectos, los objetivos del Código, qué aspectos regula el Código, dónde rige el Código, y quién tendrá la responsabilidad de la ejecución de la política ambiental del Código.

El Libro Primero, que trata del ambiente, reúne todos los conceptos aplicables al conjunto formado por los componentes del sistema ecológico, y por los posibles elementos que influyen en él. Está dividido en cuatro partes, las cuales, a su vez, se subdividen en títulos, en donde se plantean las normas generales de la política ambiental, los asuntos ambientales de influencia internacional, los medios de desarrollo de la política ambiental, y las normas de preservación ambiental, relativas a elementos ajenos a los recursos naturales.

El Libro Segundo, o de los recursos naturales renovables, trata temas más concretos sobre el manejo de parte del sistema, o sea, la fauna y flora silvestre, las aguas y los suelos. Este libro lo conforman 13 partes, las cuales se subdividen en títulos, y estos, a su vez, en capítulos. En este Libro se contemplan normas comunes sobre el dominio de los recursos naturales renovables; la actividad administrativa relacionada con los recursos naturales renovables; la conservación y manejo de la atmósfera y del espacio aéreo; las aguas no marítimas; del mar y su fondo; de los recursos energéticos primarios (energía solar, eólica, las pendientes, los recursos geotérmicos, la energía contenida en el mar); de la tierra y los suelos; de la flora terrestre; de la fauna terrestre; de los recursos hidrobiológicos; de la protección

sanitaria de la flora y de la fauna; de los recursos del paisaje y su protección; y de los modos de manejo de los recursos naturales renovables.

Todos los artículos del Decreto ley 2811 de 1974 están relacionados, en mayor o en menor grado, con la planeación y el manejo de cuencas hidrográficas. Sin embargo, es en el Libro Segundo, que trata de la propiedad, uso e influencia ambiental de los recursos naturales renovables; Parte XIII, que trata de los modos de manejo de los recursos naturales renovables; y Título II, de las áreas de manejo especial, donde se encuentra el Capítulo III, que trata específicamente de las cuencas hidrográficas (artículos 312 a 323), este capítulo se encuentra dividido en cuatro secciones: la primera, trata de las definiciones y facultades de la administración; la segunda, de las cuencas hidrográficas en ordenación; la tercera, de la financiación de planes de ordenación; y la cuarta, de la cooperación de los usuarios.

En la primera sección, se plantea el concepto de cuenca hidrográfica, el cual corresponde a una descripción desde el punto de vista hidrográfico, sin considerar las relaciones sociales, económicas y ambientales que se dan en una cuenca. Se presenta, además, una relación de las responsabilidades que debe cumplir la administración pública, frente a las actividades de conservación y protección de las cuencas hidrográficas.

La segunda sección, como su nombre lo indica, corresponde a aspectos relacionados con la ordenación de una cuenca hidrográfica. Es de resaltar la diferencia que se establece entre ordenación y manejo de cuencas; la ordenación, consiste en la planeación del uso coordinado del suelo, de la flora y la fauna; y el manejo de la cuenca, en la ejecución de obras y tratamientos. En esta sección se enfatiza, también, sobre la participación que deben tener los usuarios de los recursos de la cuenca en el proceso de estructuración de un plan de ordenación y manejo.

En la sección tercera se establece que la financiación de los planes de ordenación corresponde a los propietarios de predios que se benefician, directa o

indirectamente, con obras o trabajos que se realicen en la cuenca, quienes están obligados a pagar tasa proporcional, al beneficio recibido.

La cuarta sección trata sobre la cooperación que deben brindar los organismos públicos y privados, que se benefician con el recurso hídrico de la cuenca, en el suministro de información que facilite la elaboración de los planes de ordenación y manejo.

11.1.3 Decreto número 2857 de 1981. El Decreto número 2857 del 13 de octubre de 1981, reglamenta la parte XIII, Título segundo, Capítulo III, del Decreto ley 2811 de 1974, sobre cuencas hidrográficas, y se dictan otras disposiciones.

El Decreto consta de ocho capítulos y 44 artículos. El capítulo primero trata de las disposiciones generales, y de la concepción de cuenca que, como ya se mencionó, es una definición desde el punto de vista hidrográfico. También se decreta que el aprovechamiento de los recursos naturales, y demás elementos ambientales, se debe realizar conforme a los principios generales establecidos por el Decreto ley 2811 de 1974 y, de manera especial, a los criterios y previsiones del artículo noveno del mismo Decreto.

El capítulo segundo establece que la ordenación de una cuenca tiene por objeto la planeación del uso y manejo de los recursos naturales, buscando compatibilizar las relaciones de producción con los desarrollos social y ambiental de la cuenca.

El capítulo tercero trata sobre el plan de ordenación. Establece, entre otras normas, que las entidades administradoras de los recursos naturales renovables están obligadas a planear la ordenación de las cuencas, cuando se presente una de las siguientes situaciones: 1) cuando se requiera proteger o construir obras de infraestructura destinadas al control, defensa o aprovechamiento de los recursos hídricos u otras de especial significado económico o social; 2) cuando del aprovechamiento de sus recursos naturales se puedan derivar desequilibrios físicos

o químicos, y ecológicos del medio natural; 3) cuando se presente un desequilibrio generalizado del medio ecológico, en tal forma, que ocurra o pueda ocurrir la degradación de las aguas o de los suelos, en su calidad y cantidad; 4) cuando para la ejecución de planes o programas, oficialmente adoptados, sea necesario el aprovechamiento de las aguas.

En el capítulo tercero se establece que todo plan de ordenación y manejo deberá comprender las siguientes fases: 1) diagnóstico, 2) formulación, 3) instrumentación de la ejecución y 4) control. En los artículos 14 al 24 se reglamenta cada una de estas fases.

El capítulo cuarto establece que la entidad administradora de los recursos naturales renovables, hoy las corporaciones autónomas regionales según la Ley 99 de 1993, será la responsable de la ejecución del plan de ordenación de una cuenca, pero en un momento dado, y de acuerdo con circunstancias de interés en la zona, de idoneidad técnica y administrativa, y disponibilidad económica, esta responsabilidad podrá delegarse en otra entidad oficial. En este caso, la entidad administradora de los recursos naturales renovables deberá diseñar y establecer los medios técnicos y administrativos que le permitan realizar el seguimiento y la evaluación de las actividades que adelante la institución delegada, para ejecutar el plan de ordenación.

El capítulo quinto trata de la administración de las cuencas, función que hoy le corresponde a las corporaciones autónomas regionales, pero de conformidad con arreglo a la ley, tales organismos podrán delegar la administración de las cuencas en otras instituciones oficiales, o en asociaciones de usuarios. Estas últimas sólo podrán administrar un área determinada de la cuenca en donde tengan un especial interés, y siempre que este coincida con el objeto social previsto en sus estatutos. En esta labor están obligados a colaborar todos los organismos públicos o privados que, en forma directa o indirecta, aprovechen los recursos de una cuenca.

En el capítulo sexto se establece que la financiación de los planes de ordenación se hará con las siguientes fuentes: a) con el producto de las tasas retributivas de los servicios de eliminación o control de sustancias nocivas que sean el resultado de actividades lucrativas (Decreto ley 2811 de 1974, artículo 18); b) las tasas que se fijen para compensar los gastos de mantenimiento de la protección y renovación de los recursos naturales renovables (Decreto ley 2811 de 1974, artículos 18 y 159); c) con el producto de las contribuciones por valorización, que se establecen en los artículos 46, 128, 152 y 322 del Decreto ley 2811 de 1974; d) con los recursos del presupuesto nacional y los propios de las entidades administradoras; e) con el producto de los empréstitos internos o externos; f) con el producto de los aportes que realicen las entidades oficiales usuarias de la cuenca; g) con las donaciones y auxilios que hagan personas naturales o jurídicas, nacionales o extranjeras; h) con el producto de las multas impuestas a los usuarios de la cuenca, por contravenir las prohibiciones previstas en el Decreto 2857 de 1981. Es de aclarar, que el artículo 18 del Decreto legislativo 2811 de 1974 fue subrogado por el artículo 42 de la Ley 99 de 1993.

El capítulo séptimo reglamenta lo referente a las expropiaciones y servidumbres, conforme con lo dispuesto en los artículos 69 y 70 del Decreto ley 2811 de 1974.

Por último, el capítulo octavo establece las prohibiciones y las sanciones que, la violación de las prohibiciones, acarreará a los infractores.

11.1.4 Ley número 99 de 1993. La Ley 99 del 22 de diciembre 1993, “Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector público encargado de la Gestión y Conservación del Medio Ambiente y los Recursos Naturales Renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA, y se dictan otras disposiciones”, establece un Sistema Nacional Ambiental, SINA, cuyos componentes y su interrelación definen los mecanismos de actuación del Estado y la Sociedad Civil; en otras palabras, es el conjunto de orientaciones, normas, actividades, recursos, programas e instituciones, que permiten la puesta en marcha de los

principios generales ambientales contenidos en la Ley 99. Para todos los efectos, la jerarquía en el SINA seguirá el siguiente orden descendente: Ministerio del Medio Ambiente, Corporaciones Autónomas Regionales, Departamentos, y Distritos o Municipios. El Ministerio de Medio Ambiente tiene la responsabilidad de coordinar el SINA, para asegurar la adopción y ejecución de las políticas y de los planes, programas y proyectos respectivos, en orden a garantizar el cumplimiento de los deberes y derechos del Estado y de los particulares, en relación con el medio ambiente y el patrimonio natural de la Nación.

Entre las múltiples funciones que tiene el Ministerio del Medio Ambiente, le corresponde expedir y actualizar el estatuto de zonificación del uso adecuado del territorio, para su apropiado ordenamiento, y las regulaciones nacionales sobre uso del suelo en lo concerniente a sus aspectos ambientales, y fijar las pautas generales para el ordenamiento y manejo de cuencas hidrográficas, y demás áreas de manejo especial (artículo 5, ordinal 12).

Sobre el esquema jerárquico del SINA, cabe resaltar la importancia que se asigna al papel de las Corporaciones Autónomas Regionales. La Ley 99 las instituye como entes corporativos de carácter público, integradas por las entidades territoriales que, por sus características, constituyen geográficamente un mismo ecosistema o configuran una unidad geopolítica, biogeográfica o hidrogeográfica, dotada de autonomía administrativa y financiera, patrimonio propio y personería jurídica, encargada por la ley de administrar, dentro del área de su jurisdicción, el medio ambiente y los recursos naturales renovables, y propender por su desarrollo sostenible.

En virtud de la Ley 99, siete corporaciones autónomas regionales conservaron su denominación, sedes y jurisdicción territorial; ocho modificaron su jurisdicción o su denominación; se crearon once corporaciones nuevas; y, en las regiones con régimen especial, se crearon ocho corporaciones para el desarrollo sostenible de las respectivas regiones, las cuales se organizaron como Corporaciones Autónomas

Regionales; para un total de 34 corporaciones. Se estableció además, que las corporaciones autónomas regionales en cuya jurisdicción se encuentren municipios ribereños del río Magdalena, deben ejercer sus funciones en coordinación con la Corporación Autónoma Regional del Río Grande de la Magdalena (CORMAGDALENA), y son delegatarias suyas para garantizar el adecuado aprovechamiento y preservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables en esta cuenca. Igualmente, se establecieron disposiciones para el manejo de ecosistemas comunes a varias corporaciones.

Se estableció, además, que los municipios, distritos o áreas metropolitanas cuya población urbana fuere igual o superior a un millón de habitantes ejercerán, dentro del perímetro urbano, las mismas funciones atribuidas a las Corporaciones Autónomas Regionales, en lo que fuere aplicable al medio ambiente urbano (Ley 99 de 1993, artículo 66).

La Ley 99 establece que las corporaciones autónomas regionales tendrán tres órganos principales de dirección y administración, a saber: la Asamblea Corporativa, el Consejo Directivo, y el Director General. La Asamblea Corporativa es el principal órgano de dirección de la corporación, y está integrada por todos los representantes legales de las entidades territoriales de su jurisdicción. El Consejo Directivo es el órgano de administración de la corporación, y está conformado por el gobernador o los gobernadores de los departamentos sobre cuyo territorio ejerza jurisdicción la corporación, o su delegado o delegados, un representante del presidente de la República, un representante del Ministerio del Medio Ambiente, hasta cuatro alcaldes de los municipios comprendidos dentro del territorio de la jurisdicción de la corporación, dos representantes del sector privado, un representante de las comunidades indígenas o etnias tradicionalmente asentadas en el territorio de jurisdicción de la corporación, y dos representantes de las entidades sin ánimo de lucro, que tengan su domicilio en el área de jurisdicción de la corporación, y cuyo objeto principal sea la protección del medio ambiente y los recursos naturales

renovables. El Director General es el representante legal de la corporación y su primera autoridad ejecutiva, y es elegido por el Consejo Directivo.

Las corporaciones autónomas regionales son las máximas autoridades ambientales en su área de jurisdicción, y sus funciones, entre otras, incluyen: 1) ejecutar las políticas, planes y programas nacionales en materia ambiental; 2) promover la participación de las comunidades en actividades y programas de protección ambiental y desarrollo sostenible; 3) coordinar el proceso de preparación de los planes, programas y proyectos de desarrollo ambiental que deban formular los diferentes organismos y entidades integrantes del SINA, en el área de su jurisdicción; 4) otorgar concesiones, permisos, autorizaciones y licencias ambientales para el uso de los recursos naturales renovables o para el desarrollo de actividades que puedan afectar al medio ambiente; 5) fijar, en el área de su jurisdicción, los límites permisibles de emisión, descarga, transporte o depósito de sustancias que puedan afectar al medio ambiente; 6) ejercer las funciones de evaluación, control y seguimiento ambientales de los usos del agua, el suelo, el aire y los demás recursos naturales renovables; 7) fijar el monto, y recaudar las contribuciones, tasas, derechos, tarifas y multas por concepto del uso de los recursos naturales renovables; 8) ordenar y establecer las normas y directrices para el manejo de las cuencas hidrográficas ubicadas dentro del área de su jurisdicción, conforme a las disposiciones superiores y a las políticas vigentes.

Sin perjuicio de las atribuciones de los municipios y distritos, en relación con la zonificación y el uso del suelo, de conformidad con lo establecido en el artículo 313, numeral séptimo de la Constitución Nacional, las Corporaciones Autónomas Regionales establecerán las normas generales y las densidades máximas a las que se sujetarán los propietarios de vivienda en áreas suburbanas y en cerros y montañas, de manera que se protejan el medio ambiente y los recursos naturales. No menos del 70% del área a desarrollar, en dichos proyectos, se destinará a la conservación de la vegetación nativa existente (Ley 99 de 1993, artículo 31, ordinal 31).

La Ley 99 dota a las corporaciones autónomas regionales de independencia administrativa y financiera, patrimonio propio y personería jurídica. Sus fuentes de financiación son, entre otras: 1) las tasas retributivas y compensatorias por la utilización directa o indirecta de la atmósfera, del agua y del suelo, para introducir o arrojar desechos o desperdicios nocivos, que sean resultado de actividades antrópicas; 2) las tasas por la utilización de aguas; 3) un porcentaje ambiental sobre los gravámenes a la propiedad inmueble; 4) las transferencias de las entidades territoriales, del Fondo Nacional de Regalías y del sector eléctrico.

Según la Ley 99 son motivos de utilidad pública o de interés social para la adquisición, por enajenación voluntaria o mediante expropiación, de los bienes inmuebles rurales o urbanos, además de los determinados en otras leyes, los siguientes: 1) la ejecución de obras públicas destinadas a la protección y manejo del medio ambiente y los recursos naturales renovables, 2) la declaración y alindamiento de áreas que integren el Sistema de Parques Nacionales Naturales, y 3) la ordenación de cuencas hidrográficas con el fin de obtener un adecuado manejo de los recursos naturales renovables y su conservación.

11.1.5 Ley número 161 de 1994. La Corporación Autónoma Regional del Río Grande de la Magdalena (CORMAGDALENA), creada según el artículo 331 de la Constitución Nacional de 1991, es un ente corporativo especial del orden nacional, con autonomía administrativa, presupuestal y financiera, dotado de personería jurídica propia, el cual funciona como una Empresa Industrial y Comercial del Estado, sometida a las reglas de las sociedades anónimas. Esta Corporación se exceptúa del régimen jurídico aplicable, por la Ley 99 de 1993, a las demás corporaciones autónomas regionales, y se rige por la Ley 161 del 3 de agosto de 1994, “Por la cual se organiza la Corporación Autónoma regional del Río Grande de la Magdalena, se determinan sus fuentes de financiación y se dictan otras disposiciones”.

La Corporación tendrá como objeto la recuperación de la navegación y de la actividad portuaria, la adecuación y conservación de tierras, la generación y

distribución de energía, y el aprovechamiento sostenible y la preservación del medio ambiente, los recursos ictiológicos y demás recursos naturales renovables.

CORMAGDALENA tendrá jurisdicción en el territorio de los municipios ribereños del río Magdalena, desde su nacimiento en el Macizo Colombiano, en la colindancia de los Departamentos del Huila y Cauca, jurisdicción de los municipios de San Agustín y San Sebastián respectivamente, hasta su desembocadura en Barranquilla y Cartagena. Así mismo, su jurisdicción, incluirá los municipios ribereños del Canal del Dique, y comprenderá, además, los municipios de Victoria, en el departamento de Caldas, Majagual, Guaranda y Sucre, en el departamento de Sucre, y Achí, en el departamento de Bolívar.

La sede principal y domicilio legal de CORMAGDALENA es la ciudad de Barrancabermeja, en el departamento de Santander, y cuenta con oficinas seccionales en las ciudades ribereñas de Neiva, Honda, Magangué y Barranquilla. Para los efectos de planificación y operación de las actividades de la Corporación, el área de jurisdicción se sectorizó así: 1) alto Magdalena, desde el nacimiento del río, en el Macizo Colombiano, hasta el salto de Honda; 2) Magdalena medio, desde el salto de Honda hasta el municipio de Río Viejo, en el Departamento de Bolívar; y 3) bajo Magdalena, desde el municipio de Río Viejo hasta Barranquilla, siguiendo el cauce principal del río, y hasta Cartagena, siguiendo el cauce del canal del Dique.

La dirección y administración de la Corporación está a cargo de una Asamblea Corporativa, una Junta Directiva y un Director Ejecutivo, quien es su representante legal.

El patrimonio y las rentas de la Corporación están conformados por: 1) las sumas que, por diferentes conceptos, se apropien a su favor en los presupuestos de la Nación, de las entidades territoriales o de cualquier entidad pública; 2) los recursos provenientes del Fondo Nacional de Regalías; 3) los recursos que le sean transferidos de los fondos de inversión para el desarrollo regional; 4) los recursos

provenientes del crédito interno o externo, o de la cooperación técnica nacional o internacional; 5) la venta de servicios; 6) las contribuciones o peajes por la utilización comercial del río Magdalena y sus vías fluviales complementarias; 7) los bienes muebles e inmuebles que adquiera; 8) el rendimiento de su patrimonio; 9) los auxilios o donaciones; 10) los recaudos por contribución de valorización; 11) las partidas que el gobierno nacional incluya en el presupuesto de gastos e inversión de la Nación, para el funcionamiento de la Dirección General de Navegación y Puertos del Ministerio de Transporte, y cuyas funciones asumió la Corporación.

La Corporación es la entidad investida, por la ley, para conceder permisos, autorizaciones o concesiones para el uso de las márgenes del río Magdalena, y sus conexiones fluviales navegables, en lo que respecta a la construcción y uso de instalaciones portuarias, bodegas para almacenamiento de carga, muelles y patios, muelles pesqueros e instalaciones turísticas, obras de protección o defensa de orillas y, en general, todo aquello que condicione la disponibilidad de tales márgenes.

11.1.6 Ley número 70 de 1993. La Ley número 70 de 1993, “Por la cual se desarrolla el artículo transitorio 55 de la Constitución Política”, artículo transitorio que ordena al Congreso de la República la expedición de una Ley que reconozca los derechos de las comunidades negras que han venido ocupando tierras baldías en las zonas rurales ribereñas de los ríos de la cuenca del Pacífico, tiene por objeto, además de reconocer a estas comunidades, de acuerdo con sus prácticas tradicionales de producción, el derecho a la propiedad colectiva, establecer mecanismos para la protección de la identidad cultural y de los derechos de las comunidades negras de Colombia como grupo étnico, y el fomento de su desarrollo económico y social, con el fin de garantizar que estas comunidades obtengan condiciones reales de igualdad de oportunidades frente al resto de la sociedad colombiana.

De acuerdo con lo previsto en el párrafo primero del artículo transitorio 55 de la Constitución Política, la Ley 70 se aplica también en las zonas baldías, rurales y

ribereñas que han venido siendo ocupadas por comunidades negras que tengan prácticas tradicionales de producción en otras zonas del país, y que cumplan con los requisitos establecidos en esta Ley.

Para poder recibir en propiedad colectiva las tierras adjudicables, cada comunidad debe conformar un consejo comunitario como forma de administración interna. Salvo los suelos y los bosques, las adjudicaciones colectivas, que se hagan conforme a esta Ley, no comprenden: 1) el dominio sobre los bienes de uso público; 2) las áreas urbanas de los municipios; 3) los recursos naturales renovables y no renovables; 4) las tierras de resguardos indígenas legalmente constituidos; 5) el subsuelo y los predios rurales en los cuales se acredite propiedad particular, conforme a la ley 200 de 1936; 6) las áreas reservadas para la seguridad y defensa nacional; y 7) áreas del sistema de parques nacionales.

Con respecto a los suelos y los bosques, incluidos en la titulación colectiva, la propiedad se ejercerá en función social, y le es inherente una función ecológica. En consecuencia, para el uso de estos recursos se tendrá en cuenta lo siguiente: 1) tanto el uso de los bosques, como los aprovechamientos forestales con fines comerciales, deberán garantizar la persistencia del recurso. Para adelantar estos últimos, se requiere autorización de la entidad competente para el manejo del recurso forestal. 2) El uso de los suelos se hará teniendo en cuenta la fragilidad ecológica de la cuenca del Pacífico. En consecuencia, los adjudicatarios deben desarrollar prácticas de conservación y manejo compatibles con las condiciones ecológicas de la región.

Conforme lo dispone el artículo 58 de la Constitución Política, la propiedad colectiva sobre las áreas, a que se refiere la Ley 70, debe ser ejercida de conformidad con la función social y ecológica que le es inherente. En consecuencia, los titulares deberán cumplir las obligaciones de protección del ambiente y de los recursos naturales renovables, y contribuir con las autoridades en la defensa de ese patrimonio. En el acto administrativo, mediante el cual se adjudica la propiedad colectiva de la tierra,

se debe consignar la obligación de observar las normas sobre conservación, protección y utilización racional de los recursos naturales renovables y el ambiente.

En cuanto a la explotación de los recursos naturales, debe hacerse sin desmedro de la integridad cultural, social y económica de las comunidades indígenas y de las negras tradicionales, de acuerdo con la Ley 99 de 1993, y el artículo 330 de la Constitución Nacional; y las decisiones sobre la materia se tomarán, previa consulta a los representantes de tales comunidades (Ley 99 de 1993, artículo 76).

La Ley 70 establece que el Gobierno Nacional debe diseñar mecanismos especiales, financieros y crediticios, que permitan a las comunidades negras la creación de formas asociativas y solidarias de producción para el aprovechamiento sostenible de sus recursos, y para que participen en condiciones de equidad en las asociaciones empresariales que, con particulares, puedan conformar dichas comunidades.

En cuanto a las áreas de amortiguación del sistema de parques nacionales ubicadas en las zonas objeto de esta Ley, se desarrollará, conjuntamente con las comunidades negras, modelos apropiados de producción, estableciendo estímulos económicos y condiciones especiales para acceder al crédito y capacitación.

El artículo 59 de la Ley 70 establece, que las cuencas hidrográficas en que se asienten las comunidades negras beneficiarias de la titulación colectiva se constituirán en unidades, para efectos de la planificación del uso y aprovechamiento de los recursos naturales, conforme a la reglamentación que expida el Gobierno Nacional.

Las Corporaciones Autónomas Regionales deben adelantar, en coordinación con las comunidades indígenas y con las autoridades de las tierras habitadas tradicionalmente por comunidades negras, a que se refiere la Ley 70, programas y proyectos de desarrollo sostenible y de manejo, aprovechamiento, uso y

conservación de los recursos naturales renovables y del medio ambiente (Ley 99 de 1993, artículo 31, ordinal 21).

11.1.7 Otros aspectos de la normatividad. Mediante el Decreto 1363 de 2000, se modificó la estructura del Departamento Nacional de Planeación, con sujeción al artículo 54 de la ley 489 de 1998. Con esta modificación se suprimió la División Ambiental, y se creó la Dirección de Política Ambiental, con dos subdirecciones: de Planificación y Regulación Ambiental, SPRA, y de Estudios Ambientales, SEA.

En el artículo 35 del Decreto 1363 de 2000, se establecen las funciones de la Dirección de Política Ambiental, entre las cuales cabe destacar: 1) adelantar las acciones requeridas para el cumplimiento de las funciones del Departamento Nacional de Planeación en el ámbito del sector ambiental, en coordinación con los organismos y entidades pertinentes; 2) orientar, participar y promover la formulación de políticas, planes, programas, estudios y proyectos de inversión en los sectores de su competencia, conjuntamente con los organismos y entidades pertinentes; 3) prestar apoyo a las autoridades ambientales en el diseño de instrumentos y acciones para el control y mitigación del deterioro ambiental generado por los sectores productivos, y en el manejo sostenible del medio ambiente, y de los recursos naturales renovables; 4) asesorar a la autoridad ambiental competente, y a las instituciones integrantes del SINA, en la conformación y puesta en marcha del Sistema de Información Ambiental para Colombia; 5) asesorar a la autoridad ambiental competente y a las entidades integrantes del SINA, en la negociación, formulación, seguimiento y evaluación de planes y programas financiados con recursos de crédito externo y cooperación técnica y financiera internacional para la gestión ambiental...

Algunas de las funciones de la Subdirección de Planificación y Regulación Ambiental son: 1) asesorar y orientar la formulación y el seguimiento de procesos de ordenamiento ambiental y territorial, la prevención de amenazas, riesgos y desastres naturales y el manejo integral de recursos naturales renovables; 2) fomentar el

desarrollo de información ambiental para la planificación y seguimiento ambiental a través de la aplicación del sistema de indicadores ambientales; 3) realizar y promover estudios de interés nacional hacia la sostenibilidad ambiental del desarrollo... (Decreto 1363 de 2000, artículo 36).

En el artículo 37, del Decreto 1363 de 2000, se asigna a la Subdirección de Estudios Ambientales, entre otras, las siguientes funciones: 1) aplicar el análisis económico en la formulación, seguimiento y evaluación de la política ambiental; 2) diseñar, aplicar y evaluar los instrumentos económicos y financieros de la política ambiental; 3) definir los criterios para la asignación de la inversión ambiental; 4) promover el desarrollo de la información ambiental para la planificación, seguimiento y evaluación ambiental, a través de la aplicación del sistema de indicadores ambientales; 5) realizar estudios de valoración económica del patrimonio natural del país...

La Ley 388 de 1997 busca armonizar y actualizar las disposiciones contenidas en la Ley 9 de 1989, con las normas establecidas en la Constitución Política, la ley Orgánica del Plan de Desarrollo, la Ley Orgánica de Áreas Metropolitanas y la Ley por la cual se crea el Sistema Nacional Ambiental (SINA). Para ello, provee a los municipios, distritos y áreas metropolitanas, de mecanismos para que realicen el ordenamiento de su territorio, en procura de buscar un uso equitativo y racional del suelo, la preservación, uso y manejo del medio ambiente y de los recursos naturales renovables, la defensa del patrimonio ecológico, histórico, cultural y arquitectónico, la conservación y recuperación paisajística, y la prevención de desastres en asentamientos de alto riesgo, así como la ejecución de acciones urbanísticas eficientes.

Los gobiernos locales tienen a su cargo la responsabilidad de elaborar, aprobar y fiscalizar los instrumentos relacionados con los planes de ordenamiento territorial (Ley 388 de 1997, artículo 7, ordinal 4). Estos planes tienen que ver con la regulación del uso del suelo, la zonificación, la reglamentación de la construcción, la ubicación de zonas industriales, los planes y sistemas de transporte, la delimitación de áreas

de expansión urbana e industrial, y de preservación ecológica o ambiental. Teniendo en cuenta que el agua interrelaciona los recursos naturales, el medio ambiente y las actividades humanas, el manejo de las cuencas debe ser considerado como tema central para el ordenamiento territorial, ya que, deben existir correlación, coherencia y consistencia entre dichos instrumentos y la planificación hídrica.

Los gobiernos locales que comparten una misma cuenca pueden asociarse, como una alternativa atractiva, para potenciar la acción municipal en diversos ámbitos. La provisión de agua potable, por ejemplo, depende altamente del estado de las cuencas abastecedoras, las cuales se pueden encontrar en jurisdicción de más de un municipio, por lo cual, las acciones que se realicen en uno pueden afectar profundamente la capacidad de la cuenca para abastecer de agua a otros municipios. En las “Bases Ambientales para el Ordenamiento Territorial Municipal en el marco de la Ley 388 de 1997”, del Ministerio del Medio Ambiente, se hace énfasis en la necesidad de que el plan de ordenamiento territorial debe prever las acciones necesarias y los mecanismos de concertación con los municipios vecinos, para que haya armonía en las actividades que se desarrollen sobre la cuenca, a fin de que el abastecimiento de agua, en términos de calidad y cantidad, no se vea afectado.

De allí, el papel fundamental que cumplen los departamentos y las corporaciones autónomas regionales como instancias coordinadoras, responsables de la armonización de los planes de ordenamiento de los municipios de su jurisdicción, conforme a criterios regionales; y la Nación, como instancia responsable de trazar directrices nacionales sobre el particular.

El Decreto 1449 de 1977, establece que se deberán mantener áreas forestales protectoras en los nacimientos de fuentes de agua en una extensión de 100 metros a la redonda, medidos a partir de su periferia; así como una faja no inferior a 30 metros de ancho, paralela a las líneas de crecidas máximas, a cada lado de los cauces de los ríos, quebradas y arroyos, sean permanentes o no, alrededor de los lagos o depósitos de agua; y de los terrenos con pendientes superiores a 100% (45°).

11.2 INSTRUMENTOS DE FINANCIACIÓN

Colombia es uno de los países de América Latina que más ha avanzado en la formulación de instrumentos económicos y financieros para la protección de cuencas de captación. El Decreto ley 2811 de 1974, el Decreto 2857 de 1981, y la Ley 99 de 1993, y sus posteriores desarrollos legales, establecen una serie de instrumentos que, de ser aplicados estrictamente, facilitarían el cumplimiento del objetivo de lograr un manejo sostenible de los recursos hídricos. Sin embargo, es difícil financiar por tarifas las actividades que realizan las corporaciones en las cuencas. En este caso, los ingresos generales del gobierno, sean estos provenientes de impuestos o de créditos, se convierten en el medio más viable para financiar las actividades de cuencas.

La principal debilidad del anterior sistema de financiamiento es que es difícil asegurar un financiamiento sustentable a largo plazo, y que sea acorde con las necesidades de las entidades financiadas.

Las tasas retributivas y compensatorias se originan por los efectos nocivos que se producen por la utilización directa o indirecta de la atmósfera, del agua y del suelo, para introducir o arrojar desechos o desperdicios de cualquier origen. También pueden fijarse tasas para compensar los gastos de mantenimiento de la renovabilidad de los recursos naturales renovables (Ley 99 de 1993, artículo 42). El Decreto número 901 de 1997 reglamenta el cobro de la tasa retributiva por la utilización directa o indirecta del agua como receptor de los vertimientos puntuales. La Resolución número 273 del mismo año establece las tarifas para el cobro de la tasa.

Las Corporaciones Autónomas Regionales y de Desarrollo Sostenible, y las autoridades ambientales de los grandes centros urbanos están autorizadas a cobrar la tasa. El resultado final esperado de la aplicación de esta tasa será un

comportamiento más racional de la comunidad, como consecuencia del costo que le representa contaminar el recurso.

Las tasas por utilización de aguas se originan, precisamente, por la utilización de aguas por personas naturales o jurídicas, públicas o privadas. La tasa es fijada por el Gobierno Nacional, y lo que se recaude, por dicho concepto, debe destinarse al pago de los gastos de protección y renovación de los recursos hídricos, para los fines establecidos en el Decreto ley 2811 de 1974, artículo 159, y la Ley 99 de 1993, artículo 43.

En el mismo artículo 43, párrafo, de la Ley 99 de 1993, se establece, además, que todo proyecto que involucre en su ejecución el uso del agua, tomada directamente de fuentes naturales, debe destinarse no menos del 1% del total de la inversión para la recuperación, preservación y vigilancia de la cuenca hidrográfica que alimenta la respectiva fuente hídrica. El propietario del proyecto debe invertir este 1% en las obras y acciones de recuperación, preservación y conservación de la cuenca, que se determinen en la licencia ambiental del proyecto.

El artículo 44, de la Ley 99 de 1993, en desarrollo de lo dispuesto en el artículo 317 de la Constitución Nacional, establece, con destino a la protección del medio ambiente y los recursos naturales renovables, un porcentaje sobre el total de recaudo por concepto de impuesto predial, que no podrá ser inferior al 15% ni superior al 25,9%; o una sobretasa que no podrá ser inferior al 1,5 por mil, ni superior al 2,5 por mil sobre el avalúo de los bienes que sirven de base para liquidar el impuesto predial.

Las empresas hidroeléctricas con potencia instalada superior a los 10.000 Kw, deben transferir el 6% del valor bruto de las ventas de energía por generación propia. De este 6%, el 3% debe ser destinado para las corporaciones autónomas regionales que tengan jurisdicción en el área donde se encuentra localizada la cuenca y el embalse, y debe ser destinado a la protección del medio ambiente y a la defensa de la cuenca

y del área de influencia del proyecto; el restante 3%, debe ser transferido para los municipios y distritos localizados en la cuenca hidrográfica, y se distribuirán así: a) 1,5% para municipios y distritos de la cuenca hidrográfica que surte el embalse, distintos a los que trata el literal siguiente; b) 1,5% para municipios y distritos donde se encuentre el embalse. Cuando los municipios sean a la vez cuenca y embalse, participarán proporcionalmente. Estos recursos sólo pueden ser utilizados por los municipios en obras previstas en el plan de desarrollo municipal, con prioridad, para proyectos de saneamiento básico y mejoramiento ambiental.

Cuando se trate de centrales térmicas, la transferencia debe ser equivalente al 4% del valor bruto de las ventas de energía; de los cuales, el 2,5% corresponde para la corporación autónoma regional, y se debe destinar para la protección del medio ambiente del área donde está ubicada la planta; y el 1,5% restante, para el municipio donde está situada la planta generadora, y sólo se podrá invertir en obras previstas en el plan de desarrollo municipal, con prioridad para proyectos de saneamiento básico y mejoramiento ambiental (Ley 99 de 1993, artículo 45), entendiéndose por estos, la ejecución de obras de acueductos urbanos y rurales, alcantarillados, tratamiento de aguas, y manejo y disposición de desechos líquidos y sólidos.

En lo que se refiere a la protección de cuencas de captación y fuentes de abastecimiento, es importante destacar que en virtud de la Ley 99 de 1993, artículo 111, se declaran de interés público las áreas de importancia estratégica para la conservación de recursos hídricos que surten los acueductos municipales y distritales, y establece, además, que los municipios y departamentos deben dedicar, durante 15 años, un porcentaje no inferior al 1% de sus ingresos, de tal forma que antes de concluido este período se hayan adquirido estas áreas. La administración de estas zonas corresponde al respectivo distrito o municipio, en forma conjunta con la respectiva corporación autónoma regional, y con la opcional participación de la sociedad civil. De igual manera, los proyectos de construcción de distritos de riego deben dedicar un porcentaje no inferior al 3% del valor de la obra, para la adquisición

de áreas estratégicas para la conservación de los recursos hídricos que los surten de agua.

Adicionalmente, la Ley 373 de 1997, “Por la cual se establece el programa para el uso eficiente y ahorro del agua”, en su artículo 16 establece, para proteger las zonas de manejo especial, que en la elaboración y presentación del programa se debe precisar que las zonas de páramo, bosques de niebla y áreas de influencia de nacimientos de acuíferos y de estrellas fluviales, deberán ser adquiridos con carácter prioritario por las entidades ambientales de la jurisdicción correspondiente, las cuales realizarán los estudios necesarios para establecer su verdadera capacidad de oferta de bienes y servicios ambientales, para iniciar un proceso de recuperación, protección y conservación. En el párrafo, del artículo 16, se establece que los recursos provenientes de la aplicación del artículo 43 de la ley 99 de 1993, se destinarán, con carácter exclusivo, al logro de los objetivos propuestos en la presente ley.

El Fondo Nacional Ambiental, FONAM, creado por la Ley 99, artículo 87, es un instrumento financiero de apoyo a la ejecución de las políticas ambientales y de manejo de los recursos naturales renovables. Para el efecto podrá financiar o cofinanciar, según el caso, a entidades públicas o privadas en la realización de proyectos, dentro de los lineamientos de la Ley 99 de 1993. El FONAM financiará la ejecución de actividades, estudios, investigaciones, planes, programas y proyectos, de utilidad pública e interés social, encaminados al fortalecimiento de la gestión ambiental, a la preservación, conservación, protección, mejoramiento y recuperación del medio ambiente, y al manejo adecuado de los recursos naturales renovables de desarrollo sostenible.

Según la ley número 344 de 1996, artículo 3, del total de los recursos propios del Fondo Nacional de Regalías, incluyendo los excedentes financieros y los reaforos que se produzcan, se destinará, como mínimo, el 20% para la preservación del medio ambiente.

De los recursos destinados por el Fondo Nacional de Regalías al medio ambiente, no menos del 20% deben destinarse a la recuperación y conservación de las cuencas hidrográficas en todo el país. No menos del 15% deben canalizarse hacia la financiación del saneamiento ambiental en la amazonía y el Chocó, y el desarrollo sustentable de tierras de resguardos indígenas. No menos del 4% se transferirá a los municipios que tengan jurisdicción en el Macizo Colombiano, para la preservación, la reconstrucción y la protección ambiental de sus recursos naturales renovables. El 61% restante se asignará a la financiación de proyectos ambientales que adelanten entidades territoriales, con la asesoría obligatoria de las respectivas corporaciones autónomas regionales (Ley 99 1993, artículo 91).

El Fondo Nacional de Regalías podrá financiar los gastos operativos de los proyectos de inversión de protección del medio ambiente ejecutados por las Corporaciones Autónomas Regionales y de Desarrollo Sostenible (ley 344 de 1996, artículo 26).

La ley 344 de 1996, artículo 24, crea el Fondo de Compensación Ambiental como una cuenta de la Nación, sin personería jurídica, adscrito al Ministerio del Medio Ambiente. Serán ingresos del Fondo, el veinte por ciento de los recursos percibidos por las Corporaciones Autónomas Regionales, con excepción de las de Desarrollo Sostenible, por concepto de transferencias del sector eléctrico y el diez por ciento de las restantes rentas propias, con excepción del porcentaje ambiental de los gravámenes a la propiedad inmueble percibidos por ellas y de aquéllas que tengan como origen relaciones contractuales interadministrativas. Los recursos de este fondo se destinarán a la financiación del presupuesto de funcionamiento, inversión y servicio de la deuda de las Corporaciones Autónomas Regionales y de Desarrollo Sostenible, y serán distribuidos anualmente por el Gobierno Nacional en el decreto de liquidación del presupuesto General de la Nación.

Otros instrumentos de financiación son: 1) crédito externo, canalizado a través del Ministerio del Medio Ambiente - Unidad Coordinadora – maneja las operaciones que incluyen un componente especial para cuencas y microcuencas; 2) cooperación

técnica internacional, canalizada a través de la Agencia Colombiana de Cooperación Técnica Internacional, ACCI, adscrita a la Cancillería; 3) los fondos nacionales no contemplados en la Ley 99 de 1993, que son, el Fondo de Compensación Ambiental (Ley 344 de 1996), y el Fondo Nacional de Regalías (Ley 141 de 1994); y 4) los fondos con recursos provenientes de donaciones externas o “canje de deuda nacional por naturaleza”, que están siendo canalizados y/o promocionados a través de ECOFONDO.

11.3 ORGANISMOS QUE INTERVIENEN EN LA GESTIÓN DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS

11.3.1 Ministerio del Medio Ambiente. El Ministerio del Medio Ambiente, creado por la Ley 99 de 1993, es el organismo rector de la gestión del medio ambiente y de los recursos naturales renovables, encargado de impulsar una relación de respeto y armonía del hombre con la naturaleza, y de definir las políticas y regulaciones a las que se sujetarán la recuperación, conservación, protección, ordenamiento, manejo, uso y aprovechamiento de los recursos naturales renovables y el medio ambiente de la nación, a fin de asegurar el desarrollo sostenible.

11.3.2 Planeación Nacional. En lo concerniente a la formulación de políticas, planes, programas, estudios y proyectos de inversión en el sector ambiental, es una responsabilidad que corresponde a la Dirección de Política Ambiental del Departamento Nacional de Planeación, creada mediante el Decreto número 1363 de 2000.

11.3.3 Corporaciones Autónomas Regionales. La Ley 99 de 1993 encargó a las Corporaciones Autónomas Regionales de administrar, dentro del área de su jurisdicción, el medio ambiente y los recursos naturales renovables, y propender por su desarrollo sostenible de conformidad con las disposiciones legales y las políticas del Ministerio del Medio Ambiente. Las Corporaciones son las responsables de la ejecución de las políticas, planes, programas y proyectos sobre el medio ambiente y

los recursos naturales renovables, así como dar cumplida y oportuna aplicación a las disposiciones legales vigentes sobre su disposición, administración, manejo y aprovechamiento. Entre otras funciones, tienen la de ordenar y establecer las normas y directrices para el manejo de las cuencas hidrográficas ubicadas dentro del área de su jurisdicción. En el cuadro 5 se presenta una relación de las 33 corporaciones autónomas regionales existentes en el País. Inicialmente eran 34 corporaciones, pero mediante la Ley 344 de 1996, artículo 42, se suprimió la Corporación para el Desarrollo Sostenible de la Sierra Nevada de Santa Marta (CSN), cuyas competencias fueron asumidas por las Corporaciones Autónomas Regionales del Cesar, La Guajira y del Magdalena, de acuerdo con las jurisdicciones sobre la Sierra Nevada de Santa Marta que corresponda a los municipios que hacen parte de las respectivas corporaciones.

Como mecanismo de coordinación institucional del Plan de Desarrollo Sostenible de la Sierra Nevada de Santa Marta, se crearon el Consejo Ambiental Regional de la Sierra Nevada de Santa Marta y el Fondo Ambiental para el Desarrollo Sostenible para la Sierra Nevada de Santa Marta.

11.3.4 Departamentos. La Ley 99 de 1993 le atribuye funciones especiales a los Departamentos, en materia ambiental. Entre otras están: 1) promover y ejecutar programas y políticas nacionales, regionales y sectoriales en relación con el medio ambiente y los recursos naturales renovables; 2) expedir disposiciones departamentales relacionadas con el medio ambiente; 3) apoyar presupuestal, técnica, financiera y administrativamente a las corporaciones autónomas regionales, a los municipios y demás entidades territoriales, en la ejecución de programas y proyectos ambientales; 4) ejercer funciones de control y vigilancia del medio ambiente, y los recursos naturales renovables; 5) desarrollar programas de cooperación e integración con los entes equivalentes del país vecino, dirigidos a la preservación del medio ambiente; 6) promover, cofinanciar o ejecutar, en coordinación con los entes responsables, obras para el adecuado manejo y aprovechamiento de las cuencas hidrográficas; 7) coordinar y dirigir, con la asesoría

de las corporaciones, las actividades de control y vigilancia ambientales intermunicipales, en relación con la movilización, procesamiento, uso, aprovechamiento y comercialización de los recursos naturales renovables.

11.3.5 Municipios. La Ley 99 le atribuye, también, a los municipios y distritos funciones especiales en materia ambiental, similares a las asignadas a los departamentos. Como funciones adicionales, a las asignadas a los departamentos, se destacan: 1) elaborar los planes, programas y proyectos ambientales municipales, articulados a los planes, programas y proyectos regionales, departamentales y nacionales; 2) adoptar los planes, programas y proyectos de desarrollo ambiental y de los recursos naturales renovables, que hayan sido aprobados a nivel regional; 3) participar en la elaboración de planes, programas y proyectos de desarrollo ambiental y de los recursos naturales renovables a nivel departamental; 4) dictar, dentro de los límites establecidos por la ley, las normas de ordenamiento territorial del municipio y las regulaciones sobre usos del suelo; y 5) ejecutar obras de descontaminación de corrientes o depósitos de agua afectados por vertimientos del municipio, así como programas de disposición, eliminación y reciclaje de residuos líquidos y sólidos, y de control a las emisiones contaminantes del aire.

11.3.6 Unidades Ambientales Urbanas. Las Unidades Ambientales Urbanas creadas en los municipios, distritos, o áreas metropolitanas cuya población urbana sea igual o superior a un millón de habitantes, ejercen dentro del perímetro urbano las mismas funciones atribuidas a las Corporaciones Autónomas Regionales, en lo que sea aplicable al medio ambiente urbano.

En el país existen cuatro Unidades Ambientales Urbanas: 1) el Departamento Administrativo del Medio Ambiente (DAMA), en la ciudad de Bogotá, con una población de 6.712.247 habitantes; 2) Área Metropolitana del Valle de Aburrá, en Medellín, con 1.932.504 habitantes; 3) Departamento Administrativo para la Gestión del Medio Ambiente (DAGMA), en Cali, con 2.234.218 habitantes; y 4) Departamento

Administrativo Distrital del Medio Ambiente (DADIMA), en Barranquilla, con una población de 1.302.415 habitantes.

11.3.7 Unidades Municipales de Asistencia Técnica Agropecuaria a Pequeños Productores – UMATAS. Las UMATAS deben prestar el servicio de asistencia técnica y hacer transferencia de tecnología en lo relacionado con la defensa del medio ambiente y la protección de los recursos naturales renovables (Ley 99 de 1993, artículo 65, párrafo).

11.3.8 Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM. Creado por la Ley 99 de 1993 artículo 17, el IDEAM es el organismo encargado del levantamiento y manejo de la información científica y técnica sobre los ecosistemas que forman parte del patrimonio ambiental del país, así como de establecer las bases técnicas para clasificar y zonificar el uso del territorio nacional para los fines de la planificación y el ordenamiento del territorio. El IDEAM debe obtener, analizar, procesar y divulgar la información básica sobre hidrología, hidrogeología, meteorología, geografía básica sobre aspectos biofísicos, geomorfología, suelos y cobertura vegetal; y tiene a su cargo el establecimiento y funcionamiento de infraestructuras meteorológicas e hidrológicas. Igualmente, le corresponde a este Instituto efectuar el seguimiento de los recursos biofísicos, especialmente en lo referente a su contaminación y degradación.

11.3.9 Instituto Geográfico Agustín Codazzi – IGAC. El IGAC presta al Ministerio del Medio Ambiente y al IDEAM el apoyo necesario en todo lo relacionado con la información básica en cartografía, agrología, catastro y geografía, mediante la producción, análisis y divulgación de información catastral y ambiental georreferenciada, con el fin de apoyar los procesos de planificación y ordenamiento territorial.

Cuadro 5. Información general sobre las Corporaciones Autónomas Regionales

ENTIDAD SINA	SIGLA	SEDE	ÁREA (Km²)	DENSIDAD POBLACIÓN (Hbtes/Km²)	POBLACIÓN TOTAL	POBLACIÓN CABECERA	POBLACIÓN RESTO	NÚMERO DE MUNICIPIOS
C.A.R de las cuencas de los ríos Bogotá, Ubaté y Suárez	CAR*	Bogotá	19.343	111	2.138.510	1.283.669	854.841	106
C.A.R. del Valle del Cauca	CVC*	Cali	22.140	94	2.083.973	1.481.019	602.954	43
C.A.R. de los Valles del Sinú y San Jorge	CVS	Montería	25.020	54	1.352.279	668.398	683.881	28
C.A.R. del Quindío	CRQ	Armenia	1.845	316	582.966	493.566	89.400	12
C. para el Desarrollo Sostenible de Urabá	CORPOURABA	Apartadó	18.989	32	612.082	286.449	325.633	19
C.A.R. de Caldas	CORPOCALDAS	Manizales	7.888	144	1.133.791	725.653	408.138	25
C.A.R. para el Desarrollo Sostenible del Chocó	CODECHOCO	Quibdó	46.530	9	410.116	161.201	248.915	22
C.A.R. de Defensa de la Meseta de Bucaramanga	CDMB	Bucaramanga	4.756	234	1.114.354	987.162	127.192	13
C.A.R. del Tolima	CORTOLIMA	Ibagué	23.562	55	1.304.950	821.972	482.978	47
C.A.R. de Risaralda	CARDER	Pereira	4.140	236	976.964	739.406	237.558	14
C.A.R. de Nariño	CORPONARIÑO	Pasto	33.268	51	1.690.354	752.441	937.913	62
C.A.R. de la Frontera Nororiental	CORPONOR	Cúcuta	21.658	65	1.405.297	1.046.847	358.450	40
C.A.R. de la Guajira	CORPOGUAJIRA	Riohacha	20.848	24	500.029	336.610	163.419	13
C.A.R. del Cesar	CORPOCESAR	Valledupar	22.905	44	997.577	628.634	368.943	24
C.A.R. de las Cuencas de los Ríos Negro y Nare	CORNARE	Abejorral	8.089	79	637.742	278.277	359.465	26
C.A.R. del Cauca	CRC	Popayán	29.308	44	1.299.256	483.367	815.889	39
C.A.R. del Magdalena	CORPAMAG	Santa Marta	23.188	57	1.332.516	839.968	492.548	23

Cuadro 5. Información general sobre las Corporaciones Autónomas Regionales

ENTIDAD SINA	SIGLA	SEDE	ÁREA (Km²)	DENSIDAD POBLACIÓN (Hbtes/Km²)	POBLACIÓN TOTAL	POBLACIÓN CABECERA	POBLACIÓN RESTO	NÚMERO DE MUNICIPIOS
C. para el Desarrollo Sostenible del Sur de la Amazonía	CORPOAMAZONIA	Mocoa	223.515	4	861.968	350.383	511.585	31
C. para el Desarrollo Sostenible del Norte y el oriente Amazónico	CDA	Puerto Inírida	179.833	1	194.371	44.092	150.270	7
C. para el Desarrollo Sostenible del Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina	CORALINA	San Andrés	44	1.760	77.446	55.817	21.629	2
C. para el Desarrollo Sostenible de la Macarena	CORMACARENA	Villavicencio	34.450	6	211.206	78.720	132.486	15**
C. para el Desarrollo Sostenible de la Mojana y el San Jorge	CORPOMOJANA	San Marcos (Dpto.de Sucre)	5.780	31	176.316	96.666	79.650	7
C.A.R. de la Orinoquía	CORPORINOQUIA	Yopal	225.502	6	1.276.235	720.677	555.558	66
C.A.R. de Sucre	CARSUCRE	Sincelejo	5.137	126	648.352	468.807	179.545	17
C.A.R. del Alto Magdalena	CAM	Neiva	19.890	48	953.426	588.343	365.083	37
C.A.R. del Centro de Antioquia	CORANTIOQUIA*	Medellín	36.861	64	2.349.565	1.533.152	816.413	80
C.A.R. del Atlántico	CRA*	Barranquilla	3.388	272	920.814	777.454	143.360	23
C.A.R. de Santander	CAS	San Gil	25.781	35	900.236	431.574	468.662	74
C.A.R. de Boyacá	CORPOBOYACA	Tunja	19.450	55	1.076.892	514.586	562.306	87
C.A.R. de Chivor	CORPOCHIVOR	Garagoa	3.085	62	191.263	50.935	140.328	25
C.A.R. del Guavio	CORPOGUAVIO	Gachalá	3.709	25	93.287	19.845	73.442	9

Cuadro 5. Información general sobre las Corporaciones Autónomas Regionales

ENTIDAD SINA	SIGLA	SEDE	ÁREA (Km ²)	DENSIDAD POBLACIÓN (Hbtes/Km ²)	POBLACIÓN TOTAL	POBLACIÓN CABECERA	POBLACIÓN RESTO	NÚMERO DE MUNICIPIOS
C.A.R. del Canal del Dique	CARDIQUE	Cartagena	6.737	217	1.459.204	1.186.269	272.935	18
C.A.R. del Sur de Bolívar	CSB	Magangué	19.708	32	631.118	248.500	382.618	26
TOTAL			1.146.347	28	31.594.455	19.180.459	12.413.996	1.074

Fuentes: Ministerio del Medio Ambiente y Departamento Nacional de Estadísticas – DANE - Proyecciones de población por área 2002.

* La jurisdicción de la CAR no comprende el perímetro urbano del Distrito Capital.

* La jurisdicción de la CVC no comprende el perímetro urbano de la ciudad de Cali.

* La jurisdicción de la CRA no comprende el perímetro urbano de la ciudad de Barranquilla.

* La jurisdicción de CORANTIOQUIA no comprende el perímetro urbano de la ciudad de Medellín.

** Comparte cinco municipios con CORPORINOQUIA

11.3.10 Instituto de Investigaciones en Geociencia, Minería y Química - INGEOMINAS. Este Instituto debe complementar y apoyar la labor del IDEAM, en las investigaciones y estudios del medio ambiente físico que tengan por objeto conocer la Tierra, su evolución, su dinámica, sus componentes y recursos, el agua subterránea, la exploración y aprovechamiento de los recursos del subsuelo, y la evaluación de los riesgos e impactos geológicos, y de obras de infraestructura; fundamentado en una completa y actualizada base de datos nacional, que sirva como soporte para el desarrollo y la toma de decisiones en los sectores minero, energético, ambiental, de prevención de desastres y de ordenamiento territorial.

11.3.11 Cuerpo especializado de la Policía Ambiental y de los Recursos Naturales. La Policía Nacional dispone de un cuerpo especializado de Policía Ambiental y de los Recursos Naturales, encargado de prestar apoyo a las autoridades ambientales, a los entes territoriales y a la comunidad, en la defensa y protección del medio ambiente y los recursos naturales renovables, y en las funciones de control y vigilancia previstas por la ley (Ley 99 de 1993, artículo 101).

11.3.12 Servicio Ambiental. Un 20% de los bachilleres seleccionados para prestar el servicio militar obligatorio, prestarán servicio ambiental. Este servicio tiene por objeto apoyar a las entidades territoriales y a la comunidad en la protección y en la defensa del medio ambiente y los recursos naturales renovables. Las funciones son: 1) educación ambiental, 2) organización comunitaria para la gestión ambiental, y 3) prevención, control y vigilancia sobre el uso del medio ambiente y los recursos naturales renovables (Ley 99 de 1993, artículo 102).

11.3.13 Organizaciones Ambientales no Gubernamentales – ONGs. Las organizaciones ambientales no gubernamentales son entidades sin ánimo de lucro, que tienen por objeto la defensa y protección del medio ambiente y los recursos naturales renovables.

11.3.14 Asociaciones de Usuarios. En muchos casos, las organizaciones municipales a nivel de cuencas han surgido a fin de enfrentar situaciones extremas, tales como: sequías, contaminación, inundaciones, aluviones, deslizamientos, o el deterioro generalizado de la cuenca. En estas circunstancias, se han formado comités y comisiones de diversa índole, los cuales han tenido, normalmente, una duración limitada por la falta de recursos disponibles. De estas organizaciones, las que más han perdurado, en el tiempo, son las llamadas asociaciones de usuarios de la cuenca, que se organizan con el fin de usufructuar el recurso hídrico para ser utilizado, generalmente, en riego en la zona plana, sin, prácticamente, retribuirle ningún beneficio a la cuenca abastecedora de agua.

BIBLIOGRAFÍA

ANDRADE, E. y LOZANO, P. M. Sectorización hidrográfica del Departamento del Tolima, sector norte. Escala 1:25.000. Trabajo de grado. Universidad del Tolima, Facultad de Ingeniería Forestal. Ibagué, 1986. 53p.

ARANDA, N. y otros. Diagnóstico y plan de manejo para la microcuenca de la quebrada San Antonio, subcuenca del río Chipalo. Trabajo académico realizado en los cursos de Diagnóstico de cuencas hidrográficas y Planificación de cuencas hidrográficas, dictados durante los semestres A y B de 1999, a los estudiantes de 8° y 9° nivel de Ingeniería Forestal de la Universidad del Tolima. Ibagué, 2000. 164 p.

ARELLANO, H. La organización a su alcance. Serie de conocimientos prácticos. Bogotá – Colombia, 1979. 64 p.

AVENDAÑO, L. El control a su alcance. Serie de conocimientos prácticos. Bogotá – Colombia, 1979. 63 p.

BERMÚDEZ, J. C. y LONDOÑO, C. H. Relación área caudal medio para la cuenca del alto Cauca. Trabajo de promoción. Universidad del Tolima, Facultad de Ingeniería Forestal. Ibagué, 1983. 49 p.

BOTERO, L. S. La cuenca hidrográfica y el desarrollo regional. División de recursos forestales. Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y la alimentación. En Primer Congreso Nacional de Cuencas Hidrográficas. Medellín, Colombia. 1982. p. irr.

BOTERO, P. J. Interpretación de imágenes para estudios de suelos. Notas de clase. CIAF. Bogotá, 1978. 292 p.

CÁRDENAS, H.; LONDOÑO, C. H. y SALGADO, F. La cuenca hidrográfica: una estrategia para la planificación del manejo integral del ambiente y la base natural de recursos. Universidad del Tolima, Facultad de Ingeniería Forestal. EXPOCIENCIA. Santa Fe de Bogotá, 1993. 16 p.

CENTRO DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LOS ASENTAMIENTOS HUMANOS – HABITAT. El pueblo, los asentamientos, el medio ambiente y el desarrollo. Nairobi, Kenia. 1994

COMISIÓN ECONÓMICA PARA AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE. - CEPAL. Gestión de cuencas y ríos vinculados con centros urbanos. Documento elaborado por Dourojeanni Axel y Jouravlev Andrei. 1999. 176 p.

COOPER, Ch. Manejo de ecosistemas en manejo hidrológico forestal de cuencas. Traducción del inglés. s.f.

CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL VALLE DEL CAUCA - CVC. Procedimientos metodológicos de planificación en cuencas hidrográficas. Tomo 1. Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca, Subdirección de Recursos Naturales, División de Cuencas Hidrográficas, Grupo de Proyectos. Santiago de Cali, 1995. 43 p.

------. Tomo 3. Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca, Subdirección de Recursos Naturales, División de Cuencas Hidrográficas, Grupo de Proyectos. Santiago de Cali, 1995. 31 p.

------. Tomo 4. Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca, Subdirección de Recursos Naturales, División de Cuencas Hidrográficas, Grupo de Proyectos. Santiago de Cali, 1995. 24 p.

----- Zonificación de áreas para uso y manejo de suelos. Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca. Subdirección de Desarrollo, División de Asistencia Técnica, Sección suelos. Informe CVC N°80-3. Santiago de Cali, 1980. 79 p.

CURRIE, L. El manejo de cuencas en Colombia, estudio sobre el uso de las tierras. Ediciones Tercer Mundo. Bogotá, 1965. 132 p.

CHOW, V. T. Handbook of applied hidrology: a compendiun of water resources technology. Mc. Graw-Hill Book Company. New York, 1964. p. irr.

DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO NACIONAL DE ESTADÍSTICA- DANE. Estudios censales. Proyecciones municipales de población por área, 1995- 2005. Colombia, 1998. 131 p.

EL TIEMPO. Nueva realidad ambiental colombiana. Lo social se vuelve imprescindible. Por Guhl, E. El Tiempo, Lecturas Dominicales. Santa Fe de Bogotá, Julio 31 de 1994. 16 p.

----- Atlas universal mundo de hoy. Casa Editorial El Tiempo Santa Fe de Bogotá, D. C. Colombia, 1993. 284 p.

FEDEROVISKY, S. Influencias de la urbanización en un desastre: el caso del área metropolitana de la ciudad de Buenos Aires. Medio Ambiente y urbanización, N° 30, marzo, 1990.

GRIJALBO. Diccionario Enciclopédico. Barcelona – España, 1995. 2080 p.

GALEANO, J. La planeación a su alcance. Serie de conocimientos prácticos. Bogotá - Colombia, 1979. 64 p.

GARZÓN, A. La dirección a su alcance. Serie de conocimientos prácticos. Bogotá – Colombia, 1979. 64 p.

HENAO, J. A. Introducción al manejo de cuencas hidrográficas. Universidad Santo Tomás. Centro de enseñanza descolarizada. Bogotá, 1988. 336 p.

INSTITUTO DE DESARROLLO DE LOS RECURSOS NATURALES RENOVABLES – INDERENA. Proyecto plan de regulación fluvial y defensa contra las inundaciones en la cuenca Magdalena - Cauca. Bogotá, 1972.

INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES - IDEAM. El medio ambiente en Colombia. Instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales. Ministerio del Medio Ambiente. República de Colombia, 1998. 495 p.

INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI - IGAC. Guía metodológica para la formulación del plan de ordenamiento territorial municipal. República de Colombia. Ministerio de Hacienda y Crédito Público. Instituto Geográfico Agustín Codazzi, Subdirección de Geografía. Santa Fe de Bogotá, 1997. 186 p.

INSTITUTO DE PROMOCIÓN PARA LA GESTIÓN DEL AGUA - IPROGA. Metodología para la elaboración de planes maestros de cuencas. Instituto de promoción para la gestión del agua. Lima – Perú, 1996. 78 p.

JIMÉNEZ, H. Hidrología básica I. Universidad del Valle, Facultad de Ingeniería. Segunda edición. Santiago de Cali, 1986. 235 p.

KOONTZ, H. y WEHRICH H. Elementos de administración. Quinta edición (cuarta edición en español) McGraw-Hill. México, 1995. 565 p.

LIMA, W. Principios de hidrología florestal. Para o manejo de bacías hidrográficas. Departamento de Silvicultura. Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". Universidad de Sao Paulo. Piracicaba, Estado de Sao Paulo, Janeiro de 1986. 242 p.

LINSLEY, R.; KOHLER, M. y PAULUS, J. Hidrología para ingenieros. Segunda edición. Editorial Mc. Graw Hill Latinoamericana, S.A. Bogotá, 1977. 386 p.

LONDOÑO A., C. H. La cuenca hidrográfica y su evolución hacia el concepto de desarrollo integrado. Universidad del Tolima, Facultad de Ingeniería Forestal. Ibagué, 1994. 34 p.

LONDOÑO A., C. H. La geomorfometría aplicada a las cuencas hidrográficas. Universidad del Tolima, Facultad de Ingeniería Forestal. Ibagué, 1995. 71 p.

LÓPEZ, J. M. y HERNÁNDEZ, E. Manejo integral de cuencas hidrográficas (aspectos hidrológicos - forestales). Universidad de los Andes, Facultad de Ciencias Forestales. Mérida – Venezuela, 1972. 36p.

LULL, H.; WATERLUND, D. y TRIPP, N. Manejo y producción de agua en cuencas hidrográficas municipales. Extracto de la traducción sobre el resultado de las investigaciones realizadas en el manejo de hoyas hidrográficas, en estaciones experimentales de los Estados Unidos de Norte América. Empresa de acueducto y alcantarillado de Bogotá. 1968.

MARÍN, R. Estadística sobre el recurso agua en Colombia. Ministerio de Agricultura. Instituto colombiano de hidrología, meteorología, adecuación de tierras. Segunda edición. Bogotá, 1992. 412 p.

MASSIRIS, A. Bases teórico-metodológicas para estudios de ordenamiento territorial. En: Misión Local, Revista del Instituto de Desarrollo del Distrito Capital y la

participación ciudadana y comunitaria, IDP. Universidad Distrital, año 2, N°2, Enero-Marzo. Santa Fe de Bogotá, 1993. pp. 43-87.

MAZUERA, O. Cuencas hidrográficas en Colombia. Criterios generales de planeación y desarrollo. En: Seminario nacional sobre la preservación y aprovechamiento del bosque como recurso natural renovable en Colombia. Bogotá, 1980. p. irr.

MÉNDEZ, E. Gestión ambiental y ordenación territorial. Universidad de los Andes. Mérida - Venezuela, 1990. 185 p.

MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE. Bases ambientales para el ordenamiento territorial municipal en el marco de la ley 388 de 1997. Ministerio del Medio Ambiente. Oficina asesora de ordenamiento ambiental. Santa Fe de Bogotá, 1998. 35 p.

----- Lineamientos de política para el manejo integral del agua. República de Colombia, Ministerio del Medio Ambiente. Santa Fe de Bogotá, 1996. 46 p.

MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE. Guía para la elaboración de estudios del medio físico. Contenido y metodología. Ministerio del Medio Ambiente. Secretaría General del Medio Ambiente. Madrid-España, 1998. 809 p.

MIRANDA, L. y RAMOS, J. Sectorización hidrográfica del Departamento del Tolima, sector suroccidental. Tomo 2, anexos. Tesis de grado. Universidad del Tolima, Facultad de Ingeniería Forestal. Ibagué, 1986. 56 p.

MOJICA, F. La prospectiva. Técnicas para visualizar el futuro. Fondo Editorial LEGIS. Bogotá, 1991. 144 p.

NEGRET, E. Un modelo de manejo integrado para cuencas hidrográficas. República de Colombia, Ministerio de Minas y Energía. En: Primer congreso nacional de cuencas hidrográficas. Medellín – Colombia, 1982. p. irr.

ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN – FAO. Manejo integrado de cuencas. Documento de referencia para los países de América Latina. Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe. Santiago – Chile, 1997. 542 p.

----- Manejo integrado de cuencas hidrográficas en América Latina. Santiago - Chile. s.f. 36 p.

PENAGOS, G. y TOLEDO O. Sectorización hidrográfica del suroriente del Tolima. Volumen 2. Tesis de grado. Universidad del Tolima, Facultad de Ingeniería Forestal. Ibagué, 1986.

PÉREZ, C. La teoría general de sistemas y la solución de problemas de decisión. Universidad del Valle. División de Ingeniería. Santiago de Cali, 1981. 25 p.

PRIETO, R. La cuenca hidrográfica en Colombia. Políticas y acciones. Curso especial sobre Planificación y Manejo de Cuencas Hidrográficas. Fundación Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano - Instituto Nacional de los Recursos Naturales Renovables y del Ambiente - INDERENA. Bogotá, 1984. 21 p.

----- Cuenca alto Magdalena. Un proyecto piloto nacional de ordenación y manejo. En: Primer Congreso Nacional de Cuencas Hidrográficas. Instituto Nacional de los Recursos Naturales y del Medio Ambiente – INDERENA. Medellín, 1982. p. irr.

RANGEL, O., Colombia diversidad biótica. Convenio INDERENA-Universidad Nacional de Colombia. Editorial Guadalupe Ltda. Volumen II. Bogotá D.C., Colombia, 1995. 442p.

REPÚBLICA DE COLOMBIA. Decreto número 1363 de 2000. Por el cual se modifica la estructura del Departamento Nacional de Planeación. Bogotá, 2000. pp. 31-33.

----- Ley 388 de 1997. Por la cual se modifica la Ley 9ª de 1989, y la Ley 3ª de 1991 y se dictan otras disposiciones. Santa Fe de Bogotá, 1997. 152 p.

----- Ley 373 de 1997. Por la cual se establece el programa para el uso eficiente y ahorro del agua. Santa Fe de Bogotá, 1997.

REPÚBLICA DE COLOMBIA. Ley 344 de 1996. Por la cual se dictan normas tendientes a la racionalización del gasto público, se conceden unas facultades extraordinarias y se expiden otras disposiciones. Santa Fe de Bogotá, 1996.

----- Ley 161 de 1994. Por la cual se organiza la Corporación Autónoma Regional del río Grande de la Magdalena, se determinan sus fuentes de financiación y se dictan otras disposiciones. Santa Fe de Bogotá, 1994. pp. 932-947

----- Ley 99 de 1993. Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el sector público encargado de la Gestión y Conservación del Medio Ambiente y los Recursos Naturales Renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA y se dictan otras disposiciones. Santa Fe de Bogotá, 1993. 76 p.

----- Ley 70 de 1993. Por la cual se desarrolla el artículo transitorio 55 de la Constitución Política. Santa Fe de Bogotá, 1993. pp. 570- 579.

----- Constitución Política de la República de Colombia. Santa Fe de Bogotá. 1991. 112 p.

----- Decreto número 2857 de 1981. Por el cual se reglamenta la parte XIII, Título 2º, Capítulo III del Decreto-ley 2811 de 1974, sobre cuencas hidrográficas y se dictan otras disposiciones. Bogotá, 1981. 14 p.

----- Decreto número 1449 de 1977. Por el cual se reglamentan parcialmente el inciso 1 del numeral 5 del artículo 56 de la Ley 135 de 1961 y el Decreto-ley número 2811 de 1974. Bogotá, 1977.

----- Decreto-ley número 2811 de 1974. Por el cual se dicta el Código de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente. Bogotá, 1974. 158 p.

SÁENZ, G. Hidrología en la ingeniería. Editorial Escuela Colombiana de ingeniería. Santa Fe de Bogotá, Colombia, 1995. 358p.

SÁNCHEZ, S. F. Una aproximación al proceso de planificación de cuencas hidrográficas. Universidad del Tolima. Facultad de Ingeniería Agronómica. Ibagué. 1995. 94 p.

STANESCU, S. Notas técnicas sobre características morfométricas y fisiográficas de cuencas hidrográficas y determinación de parámetros hidrológicos. Servicio colombiano de meteorología e hidrología. Publicación aperiódica 12. Bogotá, 1970. 82 p.

STRAHLER, A. Geografía física. Cuarta edición. Editorial Omega. Barcelona, 1979. 767 p.

UNIVERSIDAD DEL TOLIMA. Diagnóstico y plan de manejo para la cuenca del río Combeima. Trabajo académico realizado en el curso de Planificación de cuencas hidrográficas dictado durante el semestre B de 1987, a los estudiantes del 10° nivel de Ingeniería Forestal de la Universidad del Tolima. Ibagué, 1987.

VAN MONTFORT, J. El diagnóstico rural rápido. Una herramienta para el desarrollo rural participativo. Proyecto FAO/Holanda. Desarrollo forestal participativo en los Andes. SENA – FAO. Santa Fe de Bogotá D.C., 1992. 44p.

VARGAS, E. Fotointerpretación en el manejo de cuencas hidrográficas. Centro Interamericano de fotointerpretación, CIAF. Bogotá, 1988.

VIDAL, R. Clasificación de cuencas torrenciales. Universidad de los Andes, Facultad de Ciencias Forestales. Mérida, Venezuela, 1988. s.p.