

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO



FACULTAD DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA Y DEL MEDIO AMBIENTE

PROYECTO DE TESIS DE GRADO

"ELABORACIÓN Y APLICACIÓN DE UNA GUÍA METODOLÓGICA
PARA EL MANEJO INTEGRAL DE LOS RECURSOS NATURALES EN LA
CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO SANTIAGUILLO"

ROSA GABRIELA REGALADO LEÓN

PAÚL EDUARDO PEÑAFIEL LOZADA

SANGOLQUÍ, 2005

CERTIFICADO

Por medio del presente documento, certificamos que la señorita Rosa Gabriela Regalado León y el señor Paúl Eduardo Peñafiel Lozada, desarrollaron el presente Proyecto de Tesis de Grado titulado "ELABORACIÓN Y APLICACIÓN DE UNA GUÍA METODOLÓGICA PARA EL MANEJO INTEGRAL DE LOS RECURSOS NATURALES EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO SANTIAGUILLO", como requisito previo a la obtención del título de Ingenieros Geógrafos y del Medio Ambiente, en esta Institución.

Ing. Guillermo Beltrán
DIRECTOR

Ing. Ricardo Lara
CODIRECTOR

Sangolquí, 2005

La presente Tesis de Grado y las actividades que la respaldaron fueron posibles gracias al soporte del Proyecto Conservación Comunitaria, financiado por la John D. & Catherine T. MacArthur Foundation (Project 77226) de los Estados Unidos de América y ejecutada por la Corporación Grupo Randi-Randi.

AGRADECIMIENTOS

Un agradecimiento muy especial al Ingeniero Guillermo Beltrán, por su valiosa y entregada colaboración y guía, que fueron clave en la elaboración de este proyecto, sus enseñanzas nos acompañarán siempre en nuestra vida profesional.

Al Ingeniero Ricardo Lara, por sus acertadas observaciones y consejos, que permitieron obtener un producto digno de la facultad y de la institución que nos formó.

A la Corporación Grupo Randi-Randi, por el apoyo técnico y económico brindado, especialmente a la Ingeniera Carla Gavilanes, quien siempre estuvo pendiente del avance de este proyecto y colaboró con nosotros de forma desinteresada y entusiasta.

A los alumnos de la cátedra de Manejo de Cuencas Hidrográficas del Ing. Ricardo Lara, por su interesante colaboración en uno de los aspectos medulares de este proyecto.

A la Ingeniera Blanca Simbaña, por su ayuda al proporcionarnos información vital para concretar la presente tesis.

A todos nuestros maestros, por compartir sus invaluables conocimientos, base de nuestra formación académica, quienes también han sabido ser nuestros amigos.

A la Sra. Adrianita Chiriboga, secretaria de la facultad, quien con su diligente y afable colaboración, nos ha visto cursar y culminar nuestra carrera, para ella nuestro aprecio y consideración.

DEDICATORIAS

A mis padres, Fabián y Rosa Elena, a quienes debo la realización de este primer sueño, y cuyo amor y apoyo incondicional han sido el pilar fundamental en mi vida. Gracias por su paciencia, abnegación y tesón, por enseñarme a volar con mis propias alas y a confiar en mí misma para poder alcanzar mis metas, ustedes son la razón por la que hoy escribo esta dedicatoria.

A mi hermana, Dani, mi pequeña luchadora, para quien espero ser un ejemplo digno de seguir, tú me has enseñado que la fuerza y la valentía para salir adelante se encuentran en nuestro interior y son infalibles.

A mi Tía-Mamá, Marianita, por compartir todos los momentos importantes de mi vida y ser parte de ellos, aunque a la distancia, su amor siempre está conmigo.

A Paúl, por caminar conmigo de la mano y ser mi complemento durante estos cinco años, compartiendo mis sueños, animándome a seguir adelante y ser mejor, gracias por el amor, confianza y respeto que me ha dado.

A Sue, por estar siempre a mi lado y enseñarme que la amistad y el cariño sincero pueden atravesar las barreras del tiempo y la distancia.

A mis queridos compañeros, mis amigos, quienes hicieron de mi paso por la universidad una gran experiencia, su cariño y amistad dejaron un recuerdo inolvidable y feliz en mi memoria; a mis amigas Becky y Gaby, por su apoyo y la confianza depositada en mí, a Maggy, Mary, Brillí, Fer y Clau, quienes siempre tendrán un lugar especial en mi corazón.

Rosí

A mi madre, su paciencia me ha dado la seguridad de siempre seguir adelante.

A Rosita, fuente interminable de voluntad y coraje, gracias a ti aprendí a tratar de llegar cada vez más lejos, y caminar mientras las fuerzas me abandonaban.

A Rosa Elena y Fabián, que me abrieron las puertas de su hogar para hacerme sentir respaldado en los momentos más difíciles por los que tuve que atravesar.

A todos y cada uno de mis profesores, tengan por seguro que todas sus enseñanzas y esfuerzo no han sido en vano.

A los "Geografitos", que siempre fueron exigentes, llegué a quererlos, respetarlos y a saber que siempre alguno de ustedes estaría a mi lado.

Gracias

Paúl

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Antecedentes	2
1.2 Objetivo General.....	3
1.3 Objetivos Específicos.....	3
1.4 Metas Del Proyecto.....	4
1.5 Justificación.....	4

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO.....	5
2.1 Cuenca Hidrográfica	6
2.1.2 Componentes de las cuencas hidrográficas	8
2.1.3.2 Bióticos.....	10
2.1.3.3 Componentes Socio-económicos culturales.....	12
2.2 Manejo de cuencas hidrográficas.....	13
2.3 El Análisis Foda.....	14
2.4 Aplicación de Herramientas SIG para el manejo de Cuencas Hidrográficas.....	15
2.5 Modelamiento cartográfico	18
2.5.1 Modelo cartográfico.....	18
2.5.2 Obtención del modelo cartográfico y análisis multivariable	19
2.5.2.1 Análisis de regresión múltiple	19
2.5.3 Validación estadística de un modelo cartográfico	25
2.5.3.1 Cálculo del error estándar de la estimación	25
2.5.3.2 Análisis de correlación	25
2.5.3.3 Inferencias sobre parámetros de población. Pruebas de hipótesis	27

CAPÍTULO III

3. ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS ESTUDIOS	29
3.1 Comparación de los estudios.....	30
3.2 Jerarquización de los parámetros mediante el Proceso Analítico Jerárquico (The	

Analytic Hierarchy Process AHP)	32
--	-----------

CAPÍTULO IV

4. GUÍA PARA EL MANEJO DE CUENCAS	54
--	-----------

4.1 Propósito De La Guía	55
---------------------------------------	-----------

4.2 Diagnóstico General De Una Cuenca	56
--	-----------

4.2.1 Identificación Del Área De Estudio	56
--	----

4.2.1.1 Reconocimiento del área.....	56
--------------------------------------	----

4.2.1.2 Delimitación de la cuenca.....	57
--	----

4.2.1.3 Digitalización	59
------------------------------	----

4.2.2 Recopilación de información.....	65
--	----

4.2.3 Parámetros morfométricos	67
--------------------------------------	----

4.2.4 Componentes abióticos.....	80
----------------------------------	----

4.2.4.1 Agua	80
--------------------	----

4.2.4.2 Suelos	95
----------------------	----

4.2.4.3 Geología	106
------------------------	-----

4.2.4.4 Geomorfología	112
-----------------------------	-----

4.2.4.5 Clima.....	117
--------------------	-----

4.2.5 Componentes bióticos	118
----------------------------------	-----

4.2.5.1 Flora.....	118
--------------------	-----

4.2.5.2 Fauna	119
---------------------	-----

4.2.5.3 Ecosistemas	120
---------------------------	-----

4.2.5.4 Áreas protegidas.....	121
-------------------------------	-----

4.2.6 Componente Socio-Económico Cultural.....	122
--	-----

4.3 Determinación De Problemas	126
---	------------

4.3.1 Problemas físicos	126
-------------------------------	-----

4.3.2 Problemas de uso de los recursos	126
--	-----

4.3.3 Problemas socio económicos	127
--	-----

4.4 Planificación	127
--------------------------------	------------

4.4.1 Componentes de un plan de manejo de cuencas	129
---	-----

4.4.2 Formulación del Plan.....	130
4.4.3 Beneficios y beneficiarios del plan.....	131

CAPÍTULO V

5. APLICACIÓN DE LA GUÍA EN LA SUBCUENCA DEL RÍO SANTIAGUILLO.....132

5.1 Aspectos generales de la subcuenca.....	133
5.1.1 Ubicación.....	133
5.1.2 Rango de elevación.....	133
5.1.3 Parámetros morfométricos.....	134

5.2 Componentes abióticos135

5.2.1 Agua.....	135
5.2.1.1 Agua para riego.-.....	136
5.2.1.2 Agua para consumo humano.....	136
5.2.1.3 Otros usos del agua.....	136
5.2.1.4 Caudales.....	136
5.2.1.5 Calidad del agua.....	137
5.2.2 Suelo.....	138
5.2.2.1 Descripción de los tipos de suelos.....	139
5.2.2.2 Análisis de suelos.....	143
5.2.2.3 Uso actual de suelo.....	143
5.2.2.4 Uso potencial de suelo.....	144
5.2.3 Geología.....	146
5.2.4 Geomorfología.....	147
5.2.5 Clima.....	149
5.2.5.1 Estaciones.....	149

5.3 Componentes bióticos150

5.3.1 Biodiversidad.....	150
5.3.1 Flora.....	154
5.3.2 Fauna.....	154
5.3.3 Ecosistemas.....	155

5.4 Componentes socioeconómicos - culturales	158
5.4.1 Población.....	158
5.4.2 Salud.....	159
5.4.3 Educación	159
5.4.4 Infraestructura	159
5.4.4.1 Red vial	159
5.4.4.2 Hospitales y centros de salud	160
5.4.4.3 Mercados y comercio.....	160
5.4.4.4 Centros educativos.....	160
5.4.5 Empleo	161
5.4.6 Vivienda	162
5.4.7 Pobreza	163
5.4.7.1 Migración	163
5.4.7.2 Subsistencia	163
5.4.8 Capital social.....	164
5.4.8.1 Grupos organizados.....	164
5.4.8.2 Gobiernos locales.....	164
5.4.9 Tenencia de la tierra	164
5.4.9.1 Estado legal.....	164
5.4.10 Acción social.....	164
5.4.11 Actividades económicas	165
5.4.11.1 Agricultura y ganadería	165
5.4.12 Grupos étnicos.....	165
5.4.13 Paisaje.....	165
5.5 Propuesta de manejo de la subcuenca del Río Santiaguillo.....	166
5.5.1 Prioridades.....	166
5.5.2 Problemas.....	167
5.5.2.1 Problemas físicos	167
5.5.2.2 Problemas de uso de los recursos	168

5.5.2.3 Problemas socio económicos	168
--	-----

5.5.3 Propuesta de manejo de la subcuenca del Río Santiaguillo.....	169
---	-----

CAPÍTULO VI

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	174
--	------------

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1.- Componentes del FODA.....	15
Tabla 3.1.- Escala de Saaty	34
Tabla 3.2.- Comparación de los criterios	34
Tabla 3.3.- Cálculo del autovector	35
Tabla 3.4.- Cálculo de los pesos parciales y el autovector total	35
Tabla 3.5.- Normalización del autovector	35
Tabla 3.5.- Cálculo del vector λ	36
Tabla 3.6.- Índice de Consistencia Aleatoria	36
Tabla 3.7.- Cálculo de la Relación de Consistencia.....	37
Tabla 3.8.- Índice de consistencia obtenidos para los parámetros abióticos.....	38
Tabla 3.9.- Índice de consistencia obtenidos para los parámetros bióticos.....	39
Tabla 3.10.- Índice de consistencia obtenidos para los parámetros socio-económico culturales ..	40
Tabla 3.11.- Elementos jerarquizados.....	41
Tabla 3.12.- Calificación de estudios.....	52
Tabla 4.1.- Escalas de acuerdo a la unidad hidrográfica	56
Tabla 4.2.- Índices de compacidad	71
Tabla 4.3.- Rangos de pendientes	74
Tabla 4.4.- Criterio de Calidad Ecológica ETP.....	93
Tabla 4.5.- Índice de calidad de Agua.....	94
Tabla 4.6.- Ordenes de Suelos	97
Tabla 4.6.- Características de los órdenes	99
Tabla 4. 7.- Rocas Sedimentarias	109
Tabla 4.8.- Índice litológico de la FAO	110
Tabla 4.8.- Susceptibilidad a la erosión	110
Tabla 4.9.- Geoformas de acuerdo al tipo de roca	113
Tabla 5.1.- Coordenadas de la subcuenca	133
Tabla 5.1.- Parámetros morfométricos.....	134
Tabla 5.2.- Quebradas del Río Santiaguillo	135

Tabla 5.3.- Puntos de muestra de caudales	137
Tabla 5.4.- Calidad de agua.....	137
Tabla 5.5.- Contenido de coliformes fecales en el agua.....	138
Tabla 5.6 – Tipos de suelo presentes en la cuenca	138
Tabla 5.6.- Puntos de muestreo	143
Tabla 5.7.- Resultado del análisis de suelo	143
Tabla 5.8.- Uso actual del suelo	144
Tabla 5.9.- Susceptibilidad a la erosión	147
Tabla 5.10.- Especies de los diferentes niveles de la Pirámide Ecológica	152
Tabla 5.11.- Formaciones vegetales de la Subcuenca	154
Tabla 5.12.- Fauna de la subcuenca	155
Tabla 5.13.- Variables biofísicas.....	155
Tabla 5.14.- Variables biofísicas.....	156
Tabla 5.15.- Variables biofísicas.....	156
Tabla 5.16.- Variables biofísicas.....	157
Tabla 5.17.- Variables biofísicas.....	157
Tabla 5.18.- Población por parroquia.....	158
Tabla 5.19.- Mortalidad infantil por parroquia.....	159
Tabla 5.20.- Centros educativos de la subcuenca	161
Tabla 5.21.- Principales actividades.....	162
Tabla 5.22.- Principales materiales.....	162
Tabla 5.23.- Grupos étnicos de la subcuenca.....	165
Tabla 5.24.- Proyectos para el manejo de la cuenca.....	169

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 2.1.- Partes de una cuenca	7
Fig. 2.2.- Componentes de una cuenca hidrográfica.....	8
Fig. 2.3.- Clasificación de zonas de vida	11
Fig. 2.4.- Componentes de un SIG.....	16
Fig. 2.5.- Modelo Digital de Terreno de la microcuenca de El Ángel	17

Fig. 2.6.- a) Relación lineal fuerte b) Relación lineal débil.....	20
Fig. 2.7.- Correlación lineal a) positiva b) negativa.....	26
Fig. 2.8.- Variables sin correlación	26
Fig. 2.9.- Distribución normal.....	28
Fig. 3.1.- Modelo jerárquico para la toma de decisiones	33
Fig. 4.1.- Posible delimitación de la cuenca.....	58
Fig. 4.2.- Divisoria de aguas.....	58
Fig. 4.3.- Corte de la divisoria de aguas.....	59
Fig. 4.4.- Posible delimitación de la cuenca.....	59
Fig 4.5.- Localización de puntos para georreferenciación.....	60
Fig 4.6.- Cuadro de diálogo.....	61
Fig 4.7.- Cuadro de diálogo.....	61
Fig 4.8.- Imagen para gerreferenciación.....	62
Fig 4.9.- Localización de la imagen	62
Fig 4.10.- Cuadro de diálogo raster manager	63
Fig 4.11.- Georreferenciación de la imagen.....	63
Fig 4.12.- Error de la georreferenciación	64
Fig 4.13.- Digitalización.....	65
Fig 4.14.- Área de la cuenca	67
Fig 4.15.- Perímetro de la cuenca.....	69
Fig 4.17.- Mediana de altitud	72
Fig 4.18.- Pendiente de la cuenca	73
Fig 4.20.- Coeficiente de masividad	75
Fig 4.20.- Clasificación de drenajes según schumm	77
Fig 4.21.- Clasificación de drenajes según horton.....	78
Fig 4.22.- Diferenciación de drenajes según horton	78
Fig 4.23.- Ciclo hidrológico (fase 1)	81
Fig 4.24.- Ciclo hidrológico (fase 2)	81
Fig 4.27.- Aforo con flotador.....	85

Fig 4.28.- Sección transversal de un cauce	86
Fig 4.29.- Molinete	87
Fig 4.30.- Usos y fuentes de agua	95
Fig. 4.31.- Elaboración del mapa de uso potencial de suelo	104
Fig. 4.32.- Elaboración de mapa de conflictos de uso de suelo.....	105
Fig. 4.33.- Elaboración del mapa geológico.....	106
Fig. 4.34.- Clasificación de las rocas ígneas	107
Fig 4.35.- Ambientes sedimentarios.....	108
Fig 4.36.- Relación de factores endogeneticos y exogenéticos en una ladera	113
Fig. 4.37.- TIN	115
Fig. 4.38.- Barra de herramientas 3d analyst.....	115
Fig. 4.39.- Cuadro de diálogo slope	116
Fig. 4.40.- Mapa de pendientes.....	116
Fig. 4.41.- SNAP.....	121
Fig. 5.1.- Ubicación Geográfica de la sub cuenca del Río Santiaguillo	133
Fig. 5.2.- Patrones de drenaje.....	135
Fig. 5.3.- Mapa de Suelos de la Subcuenca del Río Santiaguillo	139
Fig. 5.4.- Uso actual de suelo.....	144
Fig 5.5.- Uso potencial de suelo y zonificación.....	146
Fig. 5.6.- Unidades geológicas de la subcuenca	147
Fig. 5.7.- Unidades geomorfológicas	148
Fig. 5.8.- Mapa de pendientes.....	149
Fig. 5.9.- Estaciones de la subcuenca del Río Santiaguillo	150
Fig. 5.10.- Áreas protegidas en la subcuenca	151
Fig. 5.11.- Pirámide Ecológica	152



CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN



1.1 ANTECEDENTES

Todos los aspectos de la conservación de los recursos naturales enfocan hacia una concepción global denominada manejo integral de cuencas que reconozca los aspectos físicos que caracterizan a los recursos; los problemas de degradación y sus orígenes y las técnicas para evitar o disminuir los impactos que crean dichos usos.

El manejo de cuencas constituye un tema muy importante en la actualidad, lo que ha coadyuvado a la presentación de este proyecto, como una solución a la imperante necesidad de conservar y mejorar los recursos naturales de los que disponemos en nuestro país, considerando la preocupante escasez de métodos y guías para el manejo integral de los recursos abióticos (aire, agua suelo, geología, geomorfología), bióticos (flora, fauna, ecosistemas) y socio – económicos (salud, educación, actividades económicas, población, etnias, paisaje, religión, entre otros) existentes en una cuenca hidrográfica.

Los problemas en el aprovechamiento de una cuenca comienzan precisamente cuando se inicia la utilización de los recursos, es por esto que es necesario el conocimiento básico de los diferentes usos y problemas derivados de los mismos, como la deforestación, el agotamiento de los suelos, el uso incorrecto del agua, etc. es fundamental para la planificación y manejo de dichos recursos naturales con miras a un uso sustentable de la cuenca.

A pesar de la importancia de las cuencas hidrográficas en el desarrollo de una región, en nuestro país aún no se han establecido estándares que permitan unificar los estudios que se llevan a cabo para alcanzar un manejo correcto y que permita un aprovechamiento sustentable de los recursos a través del tiempo, a diferencia de otros países en desarrollo, que partiendo de dicha importancia están dedicando especial atención al manejo de las cuencas hidrográficas.



1.2 OBJETIVO GENERAL

- Elaborar una guía metodológica para el manejo integral de los recursos naturales de cuencas hidrográficas con base en la comparación de los parámetros indicadores de cada componente de las microcuencas: El Ángel, Apaquí, La Chimba y Pitzambiche, mediante la aplicación de Herramientas Geoinformáticas, y su aplicación en la cuenca del río Santiaguillo.



1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Recopilar, tabular y depurar la información necesaria para el análisis.
- Revisar, estructurar y organizar la información existente de las microcuencas: El Ángel, Apaquí, La Chimba Y Pitzambiche.
- Recopilar la información de indicadores abióticos, bióticos y socio económico-culturales.
- Analizar y describir los componentes de los recursos abióticos (aire, agua suelo), bióticos (flora, fauna, ecosistemas) y socio – económicos (salud, educación, actividades económicas, población, etnias, paisaje, religión) de las cuencas en estudio.
- Establecer las variables necesarias de estudio para el manejo integral de los recursos existentes en las cuencas hidrográficas.
- Diseñar y generar una base de datos alfanumérica de los recursos de las Cuencas hidrográficas usadas para la comparación.
- Realizar el análisis multicriterio de los recursos naturales, con el fin de priorizar el uso de la cuenca.
- Elaborar la guía metodológica para el manejo de cuencas hidrográficas.
- Levantar y recopilar (si fuera necesario) la información cartográfica, y de los recursos abióticos (agua, suelo, geología, geomorfología), bióticos (flora, fauna, ecosistemas) y socio – económicos (salud, educación, actividades económicas, población, etnias, paisaje, religión) de la cuenca del río Santiaguillo
- Aplicar la guía metodológica a la cuenca del Río Santiaguillo.



1.4 METAS DEL PROYECTO

- Presentar las matrices de los componentes abióticos, bióticos y socio – económicos culturales de las cuencas.
- Presentar y tabular los parámetros necesarios.
- Elaborar el mapa base de la zona en estudio escala 1:25000.
- Presentar una Guía metodológica para el manejo integral de los recursos en las cuencas hidrográficas.
- Implementar una herramienta SIG que respalde la guía.
- Plantear recomendaciones para una futura evaluación de cuencas hidrográficas en nuestro país.
- Proponer el manejo adecuado de los recursos de la cuenca del río Santiaguillo.



1.5 JUSTIFICACIÓN

El uso inadecuado de los recursos naturales de una cuenca, provoca serios problemas ambientales y de agotamiento de los recursos de la misma; las actividades humanas ocasionan efectos inevitables sobre los ecosistemas de la cuenca que pueden afectar seriamente el desarrollo de las sociedades en el presente y en el futuro sino se toma en cuenta su conservación y buen manejo.

Problemas como la degradación de los suelos por el uso inadecuado de las tierras, la destrucción de la vegetación sin reemplazo y el cambio del estado natural de la fisiografía de las cuencas, crean problemas severos de erosión de los suelos y de transporte de sedimentos, lo que ocasiona la pérdida de fertilidad de las tierras y una disminución de la capacidad de transporte de los cauces.

Muchos de los problemas de erosión y sedimentación, pueden evitarse o reducirse, notablemente aplicando medidas de prevención a través de una buena planificación para el uso de las tierras y muchos de los problemas de agotamiento de los recursos, pueden mitigarse con políticas de conservación adecuadas. El objetivo del presente proyecto, es precisamente, el diseño de una guía metodológica que podrá ser usada como una herramienta útil en el establecimiento de planes adecuados, para la conservación y

mejoramiento de las cuencas hidrográficas, con base en el estudio de diferentes parámetros que se analizan, no solamente a nivel local sino también a nivel regional.

Podrá ser usado además, como material didáctico en la formación de ingenieros interesados en la problemática ambiental de la facultad, para la aplicación de lo aprendido en las clases, y otros profesionales tanto a nivel junior como senior, facilitando el proceso de enseñanza aprendizaje, así como también la gestión integral de los recursos.



CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO



2.1 CUENCA HIDROGRÁFICA

2.1.1 DEFINICIÓN

Una cuenca hidrográfica es el área natural o unidad de territorio, delimitada por una divisoria topográfica (Divortium Aquarium). En la cual el agua drena a través de numerosas corrientes recogidas por un colector común, denominado *río principal*, que es el eje de la zona.

Sin embargo, es necesario anotar, que esta definición está limitada únicamente al aspecto hidrológico de la cuenca, por lo tanto es necesario incluir una visión más integral de la misma, dando como resultado, que una cuenca hidrográfica es también el sistema que interrelaciona factores bióticos, abióticos, sociales, económicos, políticos e institucionales, que son variables en el tiempo, como puede verse, existen otras definiciones que se han ido complementando cada día.

Una cuenca consta de tres partes (Fig. 2.1):

- **Cuenca de recepción (Parte Alta).**- Es la parte más alta de la cuenca, según Vásquez Villanueva¹, comprende alturas superiores a los 3000 msnm, con precipitaciones de 1000-2000 mm/año. Según Henao (1988) esta zona es la de mayor producción de agua, los lagos y lagunas con abundante actividad biológica son comunes y por lo tanto es la requiere mayor atención.

En esta zona la precipitación es abundante, y la formación de nevados es común, su topografía es accidentada y escarpada, por lo que su potencial erosivo es alto, lo que provoca excavaciones que pueden llegar a ocasionar deslaves, produciendo un incremento en la amplitud y profundidad de la cuenca de recepción. La mayoría de los materiales arrastrados por el río provienen de esta zona.

- **Garganta o canal de desagüe (Parte Media).**- Según Vásquez Villanueva, esta parte se encuentra comprendida entre los 800 y 3000 msnm, con precipitaciones de 100-1000 mm/año. Es aquí donde se encuentran los valles interandinos, con un clima benigno y variado.

El canal de desagüe es el encajonamiento formado entre las dos vertientes, en cuyo fondo son conducidas las aguas y los materiales que provienen de la cuenca de recepción, su principal función es de escurrir el agua, es común ver aquí, ciudades y asentamientos que desarrollan actividades económicas que no

¹ Vasquez Villanueva, Absalón, *Manejo de Cuencas Altoandinas*, Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú, s/a.

tienen una planificación ambiental adecuada al ordenamiento territorial de la cuenca.

En esta zona se producen diversos procesos de erosión y acumulación, predominando el transporte de material, el mismo que se deposita en las secciones planas.

- **Lecho o cono de deyección (Parte Baja).**- Según el mismo autor, esta parte va desde el nivel del mar hasta los 800 msnm, con una escasa precipitación anual menor a 100 mm, y con pendiente baja. Allí se encuentran los valles costeros, con una intensa actividad agropecuaria y ciudades que demandan grandes cantidades de recursos y servicios ambientales que ofrecen las cuencas hidrográficas. El potencial de aguas subterráneas es alto.

Según Henao, el cono de deyección es el depósito aluvial formado cuando la corriente alcanza una superficie plana, con poca pendiente, los materiales depositados adoptan progresivamente una forma de delta o abanico convexo.

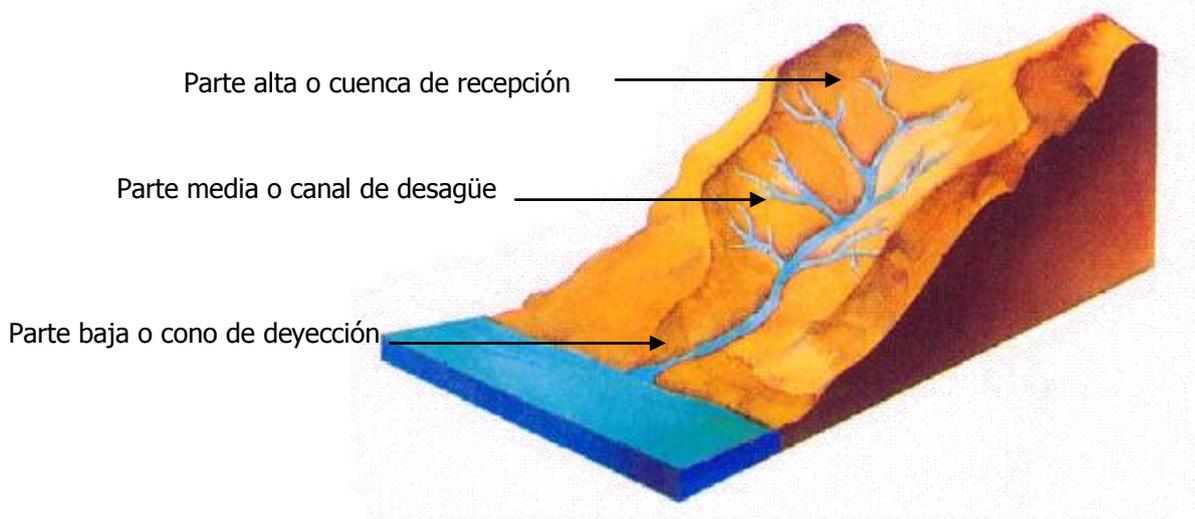


Fig. 2.1.- Partes de una cuenca

Fuente.- Instituto Geológico y Minero de España, s/a

Según Vásquez Villanueva, a pesar de que los conceptos de cuenca, subcuenca y microcuenca se encuentran en constante discusión, se puede definir, para fines prácticos de manejo de cuencas, rangos de área para cada unidad, en función del grado de ramificación de los cursos de agua, se tiene entonces:

Microcuenca	1ro, 2do y 3er orden
Subcuenca	4to y 5to orden
Cuenca	6to orden en adelante

Como referencia también se puede tener rangos de área para cada unidad hidrográfica:

Cuenca	50 000 – 800 000 ha
--------	---------------------

Subcuenca 5 000 – 50 000 ha

Microcuenca < 5 000

2.1.2 COMPONENTES DE LAS CUENCAS HIDROGRÁFICAS

Los elementos que componen una cuenca son todos los recursos naturales, el hombre y el ambiente, dichos componentes se encuentran constantemente relacionados entre sí, como se puede apreciar en la figura 2.2, por lo tanto es necesario que los estudios tengan un carácter integral, es decir que se debe tomar en cuenta que todos los elementos son interdependientes y deben ser considerados de manera conjunta.

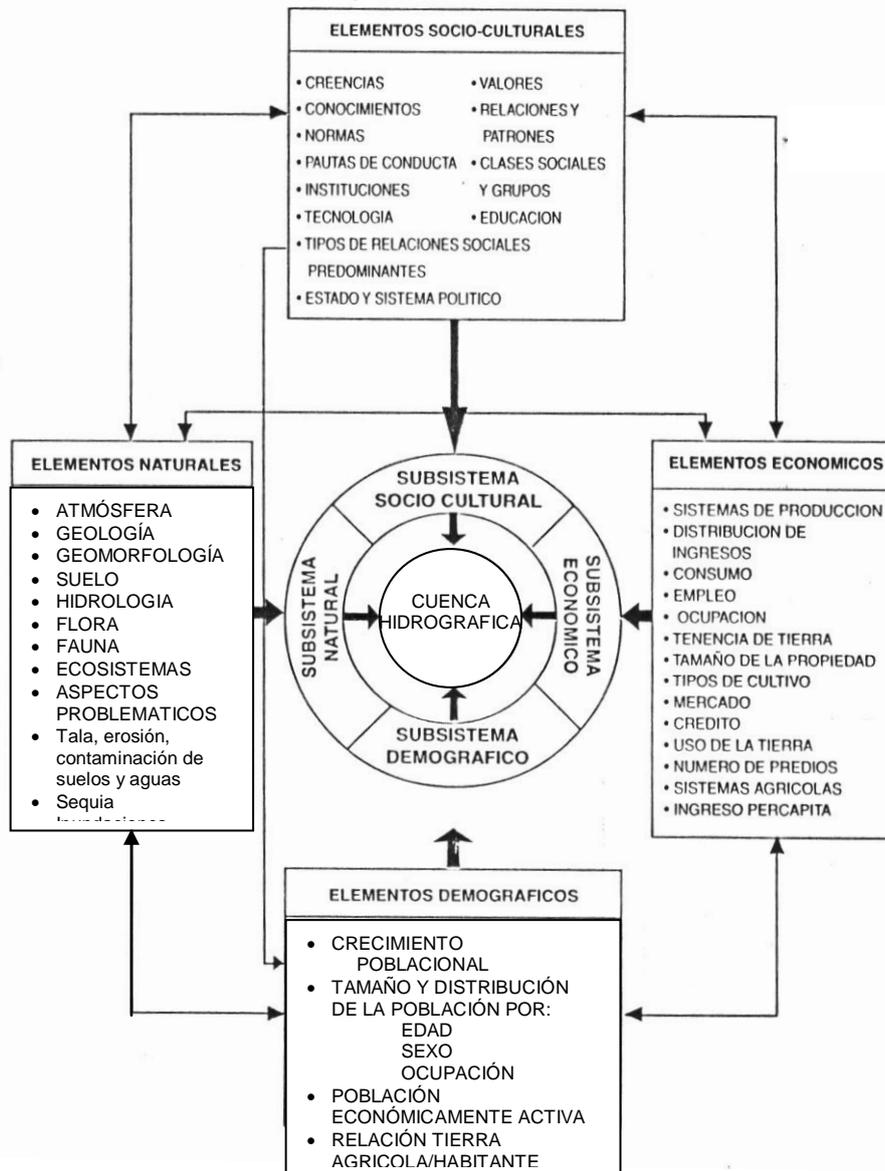


Fig. 2.2.- Componentes de una cuenca hidrográfica

Fuente.- Henao, 1988

Siguiendo con el mismo autor, cuando se habla del *manejo integral de cuencas hidrográficas*, se trata de la administración racional de todos sus recursos naturales, por lo tanto se contemplan planes para manejo de los bosques, ordenación de cultivos, manejo de suelos, de aguas, entre otras, pero concebidos en un plano integral, lo que incluye la regulación de la actividad humana, en zonas muy deterioradas, será necesario considerar la reubicación de grupos humanos en zonas donde no provoquen daños; siempre tendiendo a producir el mayor beneficio con el menor deterioro posible.

Los componentes de las cuencas hidrográficas han sido agrupados en las siguientes categorías para facilitar su estudio:

- Componentes abióticos
- Componentes bióticos
- Componentes socioeconómico-culturales

2.1.3.1 COMPONENTES ABIÓTICOS

- **Agua.-** Es el principal elemento de estudio de una cuenca, ya que está directamente relacionada con la capacidad productiva del suelo. Es imprescindible un correcto manejo de la misma, ya que de esto depende la satisfacción de las necesidades de la población, por ejemplo su uso para riego, pesca, industria, agua potable, etc.
- **Suelo.-** Es otro elemento muy importante de la cuenca, ya que su correcta relación con el agua puede favorecer el crecimiento de la vida humana, animal y vegetal. Es necesario estudiar todas sus características, como pendiente, erosión, fertilidad y su uso actual y potencial.
- **Geología.-** Determina el tipo de roca y suelo predominantes en una región, lo cual define red hidrográfica de la misma. Es primordial conocer el material de origen de los suelos para establecer medidas de conservación y restauración.

Las rocas que forman la corteza terrestre se clasifican de acuerdo a su origen en *ígneas* formadas por la consolidación del magma, *sedimentarias* formadas por transporte y sedimentación de materiales y *metamórficas* que pueden ser rocas ígneas o sedimentarias que han sufrido cambios significativos en su forma y estructura.

- **Geomorfología.-** Trata la forma de la corteza terrestre, está estrechamente relacionada con factores como el clima, relieve, tiempo de formación del suelo, material parental, etc. Es importante por que proporciona datos sobre las condiciones de drenaje, erosión, deslaves, y las geoformas que definen la topografía de los paisajes.

- **Clima.-** Es un factor muy importante en el manejo de cuencas, ya que el clima condiciona los usos que se puede dar al suelo, y además es uno de los agentes que provoca la erosión. Está determinado por la temperatura, precipitación, nubosidad, vientos y humedad relativa.

2.1.3.2 Bióticos

- **Flora.-** Es un elemento importante dentro del ciclo hidrológico de una cuenca por la evapotranspiración que produce y también por el papel que juega en el amortiguamiento del impacto del agua sobre el suelo. Este componente incluye los bosques naturales, artificiales, cultivos, pastos, vegetación de páramo, etc.
- **Fauna.-** Es importante no solamente por que constituye un elemento útil para el hombre, sino también porque es parte primordial de los ecosistemas, manteniendo el equilibrio ecológico de la cuenca, mediante su participación activa en el ciclo de formación de nutrientes y las cadenas tróficas. Es un indicador también, de el estudio de equilibrio natural en que se encuentra la cuenca.
- **Ecosistema.-** En el manejo de cuencas es muy importante tener un punto de vista ecológico, no solamente en áreas que se encuentran en su estado natural, sino también en áreas intervenidas. La unidad de estudio para relacionar a los organismos y el medio que los rodea es el ecosistema.

Para su estudio se pueden utilizar varios métodos, entre ellos la clasificación por zonas de vida, regiones zoogeográficas, fragmentación del territorio, entre otros; estos métodos apuntan a la determinación de zonas con características naturales similares, en las que se hallan una misma clase de formas biológicas y condiciones de vida.

Según Holdridge, una zona de vida es un grupo de asociaciones vegetales dentro de una división natural del clima, las que, tomando en cuenta las condiciones edáficas y las etapas de sucesión, tienen una fisonomía similar en cualquier parte del mundo y constituyen una unidad bioclimática.

Esta clasificación fue particularizada para el Ecuador por Cañadas Cruz² en 1983, en esta clasificación se enumeran todos los tipos de formaciones que aparecen en nuestro país, agrupadas en 25 zonas de vida.

El triángulo de Holdridge se puede apreciar en la figura 2.3:

² Cañadas Cruz, Luis, *El mapa bioclimático y ecológico del Ecuador*, MAG-PRONAREG, Quito, Ecuador, 1983.

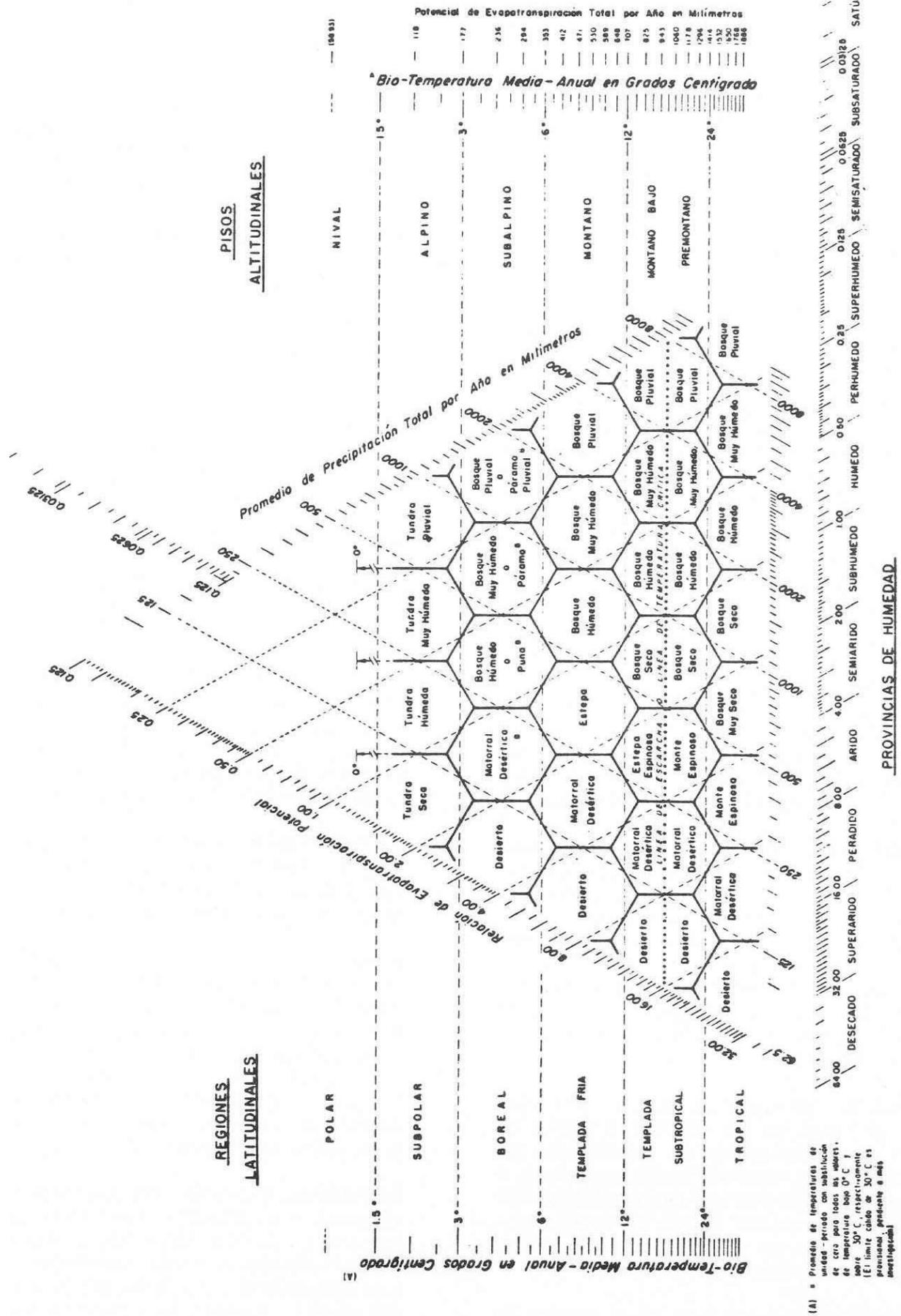
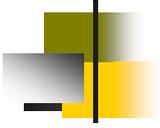


Fig. 2.3.- Clasificación de zonas de vida
Fuente.- Henao, 1988

2.1.3.3 COMPONENTES SOCIO-ECONÓMICOS CULTURALES

El hombre es el elemento de mayor importancia en una cuenca, porque es quien determina si se hace un buen uso de los recursos naturales y de los servicios ambientales que ofrece la misma; haciendo un uso adecuado o inadecuado, es también el que planifica la administración de los recursos existentes en ella, siendo él, el principal beneficiario de dicha planificación; por ello el estudio de las condiciones de las comunidades involucradas constituye un paso esencial en el manejo de cuencas.

- **Salud.-** Es importante conocer el estado general de salud de las comunidades, basándose en índices como la mortalidad y morbilidad, cuales son las enfermedades más comunes y frecuentes, principales problemas de salud, y la estructura de saneamiento básico con que cuenta la población, como letrinas, pozos sépticos o rellenos sanitarios.
- **Educación.-** Para la difusión y publicación de programas comunitarios se debe conocer el grado de alfabetismo de la comunidad, el número y tipo de instituciones educativas de la zona, y además el grado de conocimiento ecológico de la población.
- **Actividades económicas.-** Un aspecto muy importante es también conocer cual es la principal actividad económica de la población, para de esta manera poder desarrollar programas comunitarios orientados al apoyo y promoción de dicha actividad.
- **Población.-** En el manejo de cuencas es necesario conocer las principales características de la población involucrada, se pueden usar estadísticas como la densidad poblacional, la tasa de crecimiento, tamaño de las familias, desplazamiento poblacional o migración interna.
- **Etnias.-** Componente esencial en el aspecto cultural de una cuenca, se debe conocer las etnias conforman conforman las comunidades asentadas en la cuenca, para de esta manera desarrollar proyectos conjuntos, que no afecten las costumbres o cultura de las mismas.
- **Paisaje.-** Constituye un elemento clave en el desarrollo económico de la cuenca, ya que si se aprovecha de manera adecuada puede constituirse en un atractivo turístico, generando empleo y actividad económica.



2.2 MANEJO DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS

Tanto la teoría como la práctica del manejo de cuencas ha evolucionado desde un concepto unidisciplinario, donde cada variable o componente se estudiaba independientemente, de acuerdo con el propósito de aprovechamiento, actualmente el concepto para el manejo de una cuenca hidrográfica, es visto como el desarrollo integral de los recursos, a partir del "conjunto de acciones que se llevan a cabo para lograr un buen uso de los recursos naturales existentes en un ámbito geográfico, con la finalidad de darle sostenibilidad en el tiempo, contribuyendo de este modo al bienestar del hombre"³

Por lo tanto es necesario tomar acciones a partir de la planificación realizada conjuntamente con los habitantes de las cuencas, para de esta manera asegurar su participación en la toma de decisiones. Dichas acciones deben orientarse en base a medidas que conduzcan a:

- Evitar la contaminación de suelos.
- Promover la formación y toma de conciencia de carácter conservacionista por toda la sociedad para alcanzar un aprovechamiento racional de los recursos y de esta manera lograr la sustentabilidad.
- Captar o retener la cantidad de agua necesaria para cubrir la demanda de los usuarios (agricultores, ganaderos, usos energéticos, turismo), mediante obras de almacenamiento como presas, reservorios, zanjas y obras de protección y conservación en general.
- Lograr un correcto uso del agua disponible, ya sea humano, turístico y minero.
- Distribuir el agua en las zonas de mayor utilización de la cuenca para un correcto aprovechamiento.
- Evitar la contaminación del agua, para mantener su calidad y una actividad económica sostenida.
- Evitar y disminuir la erosión.
- Evitar la deforestación y el sobre pastoreo en la cuenca
- Impulsar el desarrollo de acciones para reforestación y manejo de pastos.

³ Vásquez Villanueva, Absalón, *Manejo de Cuencas Altoandinas*, Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú, s/a, Pág. 18.

Según Moya (1992) la dotación natural de las cuencas se relaciona directamente con la calidad y cantidad de agua disponible para las actividades productivas y recreativas, sin embargo, la mayoría de veces es el mismo hombre quien causa su degradación. Por esta razón es de suma importancia que cualquier intento de desarrollo y manejo cuente con la participación de la comunidad, la cual es la beneficiaria directa de un correcto manejo de los recursos existentes en la cuenca, y son sus habitantes quienes ponen en marcha los correctivos necesarios para alcanzar un manejo óptimo de la cuenca. El objetivo, a largo plazo, es crear una formación ambiental de adopción de nuevas actitudes y comportamientos frente al uso de los recursos naturales renovables.

Es importante conocer las causas y orígenes del problema y, con base en estos, encontrar las soluciones mediante técnicas y estrategias apropiadas, poder plantear un proceso de planeación participativa orientada por la comunidad y promovida por sus propias organizaciones (comités cívicos, grupos ecológicos, cooperativas, grupos comunitarios, entre otros).

“Una cuenca hidrográfica es válida como una unidad básica de planificación regional, donde sus componentes tienen identidad espacial, intereses socioeconómicos y culturales”⁴, en una planificación municipal el manejo de cuencas debe estar orientado a generar procesos de integración entre las instituciones a diferente nivel: ONGs, instituciones nacionales, sectoriales, comunitarias, etc.

2.3 EL ANÁLISIS FODA (FORTALEZAS, OPORTUNIDADES, DEBILIDADES Y AMENAZAS)

El análisis FODA o SWOT en inglés por Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats, es una herramienta analítica que permite trabajar con toda la información disponible del área de estudio y de esta manera generar un cuadro de la situación actual de la misma, permitiendo la obtención de un diagnóstico bastante preciso que permita, en función de este, tomar decisiones que vayan de acuerdo a los objetivos y políticas planteadas, además, permite examinar las interacciones tanto internas como externas de la zona. El aspecto interno está relacionado con las *fortalezas* y las *debilidades* sobre las cuales se tiene control y pueden ser trabajadas, mientras que el aspecto externo está relacionado con las *oportunidades* y las *amenazas* que son difíciles de modificar, esto puede ser resumido en la siguiente tabla:

Tabla 2.1.- Componentes del FODA

	Positivas	Negativas
Exterior	Oportunidades	Amenazas
Interior	Fortalezas	Debilidades

⁴ De Moya, Nazly, *El agua en el manejo de cuencas, Ecoguías para el Municipio Colombiano*, El Colegio Verde de Villa de Leyva, Santafé de Bogotá, Colombia, 1992, pág. 7

Fuente.- Autores

Las **Fortalezas** son las capacidades especiales de la zona, que le otorgan ciertos privilegios sobre sus vecinos, por ejemplo los recursos que se manejan, capacidades y habilidades que posee, actividades que se desarrollan de manera positiva.

Las **Debilidades** son los factores que provocan una posición desfavorable frente a otras áreas, por ejemplo recursos de los que se carece, habilidades que no se poseen, actividades que influyen de manera negativa en la cuenca.

Las **Oportunidades** son los factores favorables que pueden ser explotados a favor del desarrollo de la cuenca, y que deben ser descubiertos en el entorno en que esta se desarrolla y que permiten obtener ventajas.

Las **Amenazas** son las situaciones que provienen del entorno en que se desarrolla la cuenca y son externas a ella, estas situaciones ponen en riesgo su desarrollo, por lo que es necesario diseñar estrategias adecuadas para poder sortearlas.



2.4 APLICACIÓN DE HERRAMIENTAS SIG PARA EL MANEJO DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) han sido definidos como sistemas de hardware, software, recurso humano y procedimientos, especialmente diseñados para soportar la captura, manipulación, análisis, modelado y despliegue de datos georreferenciados, permiten también la ubicación espacial de los datos y al mismo tiempo mantener toda la información organizada en capas, integrada y actualizada.

Los Sistemas de Información Geográfica constituyen en la actualidad una potente herramienta, con numerosas aplicaciones, especialmente para aquellos sectores que requieren el manejo de información espacial de manera rápida y eficaz.

La utilidad principal de un SIG reside en la capacidad que éste tiene para construir modelos o representaciones del mundo real a partir de las bases de datos digitales y utilizar estos modelos en la simulación de efectos producidos por procesos naturales o antrópicos en un área determinada y de esta manera evaluar las consecuencias que tendrán las decisiones sobre el área de estudio.

El campo de aplicación de un SIG es sumamente variado, de manera que cualquier información que contiene referencias espaciales puede ser analizada a través de un SIG, en el campo de los recursos naturales, esta información abarca todos los componentes del medio, como vegetación, suelos, topografía, hidrografía, entre otros. En un Sistema de Información

Geográfica, cada uno de estos elementos está representado por una capa con información gráfica a la que se encuentra asociada una tabla de datos que contiene la información alfanumérica de este componente.

El conjunto de estas capas y tablas constituye la base de datos del SIG, dicha base puede ser manipulada y analizada de diferentes formas para cumplir un objetivo específico. La figura 2.4 es un ejemplo de los componentes de un SIG.

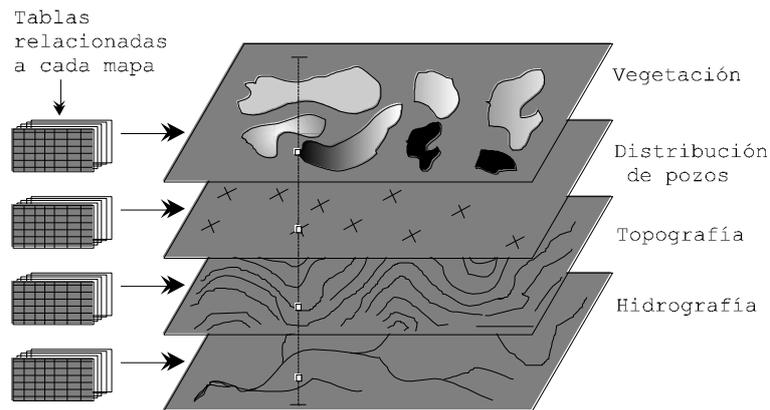


Fig. 2.4.- Componentes de un SIG

Fuente.- Domínguez, Miguel Ángel, s/a

<http://selper.uabc.mx/Publicacio/Cong11/extens30.doc>

Las herramientas de análisis contenidas en un SIG pueden, entre otras aplicaciones, ser usadas para:

- evaluación de los patrones de cambio de una variable en el transcurso del tiempo (p.e. uso del suelo)
- re-clasificación de datos (p.e. histogramas de especies forestales)
- evaluación de los efectos potenciales de un factor ambiental (p.e. riesgos de erosión hídrica)
- determinación de atributos topográficos (p.e. pendientes y orientación del terreno)
- predicción de la respuesta de una cuenca ante un evento hidrológico (p.e. cálculo del hidrograma unitario).⁵

⁵ Domínguez, Miguel Ángel, y otros, *Los Sistemas De Información Geográfica Y Su Utilización En La Modelación Hidrológica*, Universidad Autónoma de Querétaro, s/a, Pág. 2, <http://selper.uabc.mx/Publicacio/Cong11/extens30.doc>

Sin embargo, una de las funciones más importantes de un SIG, en el campo de las aplicaciones hidrológicas, es la descripción de la topografía de una cuenca, la base para este análisis es el llamado Modelo Digital del Terreno (DTM), el mismo que puede ser definido como una representación simplificada de la topografía de un terreno, presentado en formato raster, en el que el terreno está representado en una malla de rectángulos iguales (píxeles), en cada uno de ellos un número codifica el valor de la altura del terreno.

La figura 2.5 es un DTM de la subcuenca del Río Santiaguillo, generado a partir de curvas de nivel, en el programa ArcGis 8.3.

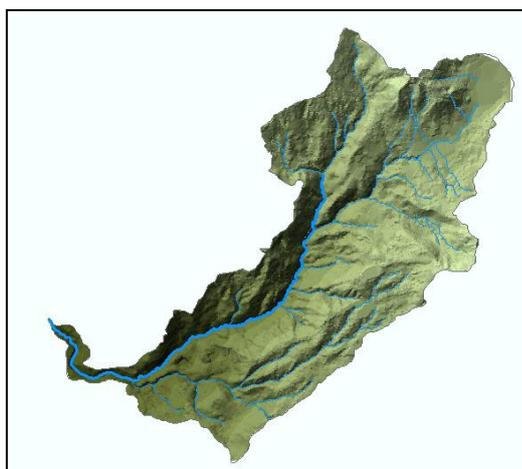


Fig 2.5.- Modelo Digital de Terreno de la microcuenca de El Ángel
Fuente: Autores

Las aplicaciones de un SIG permiten también obtener modelos de variables importantes para el estudio de cuencas hidrográficas, como por ejemplo mapas de pendientes, la red de drenaje superficial, además permiten analizar y predecir los procesos naturales y antrópicos ayudando de esta manera a la toma de decisiones sobre proyectos y medidas de prevención, corrección y mitigación, se debe tomar en cuenta también, que actualmente la generación y recopilación de información espacial es la base para la generación y aplicación de dichos proyectos.

Es importante también mencionar, que el componente humano es uno de los principales en una cuenca hidrográfica, debe ser tomado en cuenta en la planificación y gestión de la misma. Mediante un SIG es posible relacionar la información socio-económica y cultural con la del medio físico, lo cual constiuye una ventaja para la realización del diagnóstico y solución de los problemas que afectan a la cuenca sin dejar de lado la satisfacción de las necesidades de los habitantes de la misma.

Finalmente, si se considera que la tendencia actual del manejo de cuencas está enfocado hacia la cuenca como una unidad de gestión, en la que interreactúan todos sus componentes de forma integral, los Sistemas de Información Geográfica son la herramienta

clave para alcanzar un desarrollo sustentable, ya que permiten tener una visión holística de las variables que integran a la cuenca.



2.5 MODELAMIENTO CARTOGRÁFICO

2.5.1 MODELO CARTOGRÁFICO

Un modelo cartográfico es un conjunto de operaciones ordenadas e interrelacionadas de mapas que actúan en datos crudos, así como en datos intermedios o derivados, para estimular un proceso de toma de decisión.

Tiene las siguientes características:

- Es una secuencia lógica de operaciones analíticas expresadas en forma de diagramas de flujo.
- Generalmente codificada en macros (lenguaje de comandos)
- Los procesos mostrados son cíclicos⁶

Tomlin (1.990) define a un Modelo Cartográfico como una colección de información para un área determinada, en la que cada criterio, característica o tipo de elemento está definido por un mapa digital o cobertura independiente. Es decir, los elementos del área son separados y no aparecen juntos como en un mapa analógico. En este caso cada uno de los criterios está definido por una cobertura. Desde el punto de vista analítico, cada una de estas coberturas debe ser conceptualizadas como una variable.

Los procedimientos del modelado cartográfico se basan en datos de dos o más mapas o capas de información iniciales y generan un nuevo mapa o una capa de información que es añadida a la base de datos.

Para que un modelo sea útil debe permitir la predicción correcta y consistente del comportamiento del fenómeno en estudio, por lo tanto su calidad está limitada por la organización de los datos.

El modelamiento requiere una evaluación la cual está constituida por dos acciones:

- *Verificación.*- grado de fidelidad o de concordancia entre el modelo y el fenómeno que se pretende representar, y

⁶ Curso: Modelamiento en Sistemas de Información Geográfica para Estudios Ambientales y de Conservación, Escuela Politécnica del Ejército, Facultad de Ingeniería Geográfica y del Medio Ambiente, Sangolquí, Ecuador, 2003

- *Validación.*- grado de aproximación, o la precisión de la concordancia, es una consideración técnica que se logra a través del análisis de la sensibilidad.

Los modelos cartográficos pueden ser de tres tipos:

- *Descriptivos.*- Descripciones simples con base en mapas de un espacio y sus características, ilustra condiciones existentes de fenómenos de manera que el usuario pueda identificar elementos en locaciones específicas y como están asociados, en este tipo de modelos no existe predicción, por ejemplo, un mapa de suelos.
- *Predictivos o prescriptivos.*- Generalmente se basan en la combinación de distintos tipos de información. Están aplicados por una teoría para predecir o deducir un resultado, permiten al usuario determinar los factores importantes para el funcionamiento del área de estudio, y cómo se encuentran asociados espacialmente, un ejemplo de este tipo es un modelo de erosión del suelo.
- *De decisión.*- Proporcionan la mejor alternativa de solución a un problema, por lo que pueden ser considerados como recomendaciones en conjunto con los modelos anteriores.

2.5.2 OBTENCIÓN DEL MODELO CARTOGRÁFICO Y ANÁLISIS MULTIVARIABLE

2.5.2.1 ANÁLISIS DE REGRESIÓN MÚLTIPLE

El método estadístico es uno de los más usados para la modelación cartográfica, dado que es uno de los más precisos, pues ayuda a inferir lo que sucede en la población a través de muestras.

Cuando se posee información acerca de dos o más variables relacionadas es necesario buscar una forma de expresar esta relación así como también su consistencia, es decir, que se busca no solamente una función matemática que represente la relación de las variables, sino también la precisión de la predicción del valor de la variable dependiente conociendo los valores de las variables asociadas. El *análisis de regresión* se usa para determinar "la mejor relación funcional entre las variables"⁷

⁷ Ostle, Bernardo, *Estadística Aplicada*, Editorial LIMUSA, México DF., México, 1990, pág185

Las relaciones funcionales pueden representarse de manera general mediante la siguiente ecuación:

$$Y = \phi(X_1, \dots, X_p) \quad \text{Ec. 2.1}$$

Donde:

Y = la variable dependiente

X = la variable independiente

Φ = la forma supuesta de la función.

Se considera que existe relación entre dos variables (x, y) cuando los valores de una de ellas, y , por ejemplo, varía sistemáticamente con los valores de x , es decir, que si los valores de esta última aumentan, también lo harán los valores de y .

Por lo general la manera más fácil de apreciar la relación entre las variables es con un diagrama de dispersión como el de la figura 2.6a y 2.6b en la que se disponen las variables en ejes coordenados y los puntos representan las observaciones.

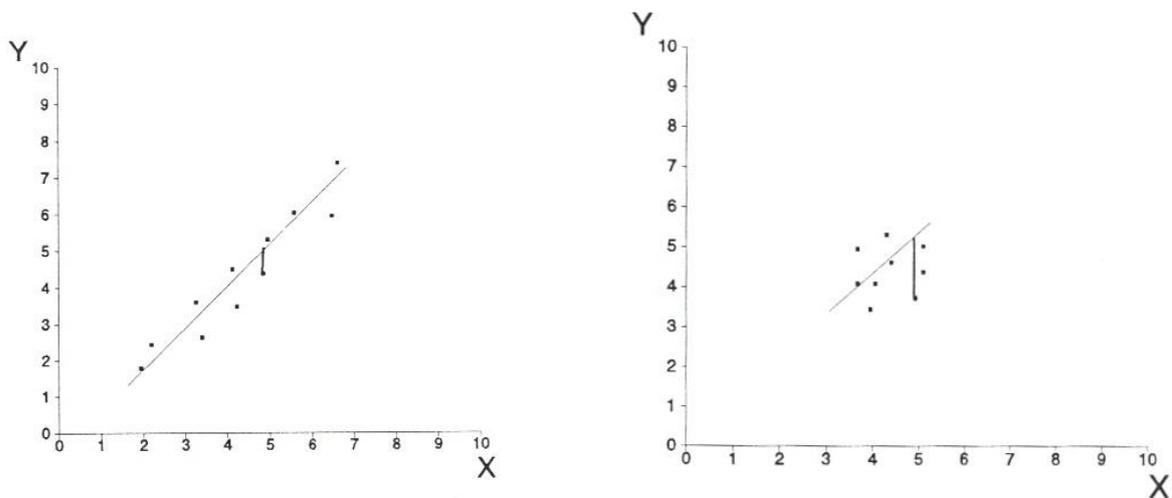


Fig 2.6.- a)Relación lineal fuerte b) Relación lineal débil
Fuente: Spiegel y Stephens, 2004

El concepto de relación entre las variables puede visualizarse mediante una línea, como las que se aprecia en las figuras 2.6a y 2.6b, que esquematiza y sintetiza las características de la nube de puntos, el grado en el que esta línea representa la relación entre las variables es conocido como la fuerza de la línea de ajuste, en el caso de la figura 2.6a la relación es fuerte, lo que implica que los residuos (la diferencia entre el valor real y el calculado) son pequeños,

por el contrario, la figura 2.6b representa una relación débil, en la que la línea recta no es representativa de los puntos, por lo tanto los residuos son grandes.

En muchos casos prácticos, una variable puede depender no solamente de una variable independiente sino de varias, si dichas variables cambian al azar, es posible usar el análisis de regresión simple, a pesar de que eso represente una cierta pérdida de precisión, sin embargo si las variables independientes tienden a presentar variaciones de acuerdo con un patrón o norma, la regresión simple puede dar lugar a confusiones y es necesario aplicar un *análisis de regresión múltiple*. Según Kennedy (1982) la diferencia principal entre ambos métodos es que la regresión múltiple establece el efecto de una variable independiente, y las otras se mantienen constantes, mientras que la regresión simple no controla las demás variables.

Un ejemplo bastante simple es la influencia del clima y del tipo de suelo en el grado de erosión, el cual puede ser alto o bajo dependiendo de las condiciones climáticas y que tan susceptible es el material del suelo a la acción de éste, "y una sola correlación no puede eliminar el efecto de una variable cuando se mide el efecto de la otra; la correlación múltiple es la que logra esto."⁸

El análisis de regresión múltiple determina la relación entre variables, y por lo tanto es posible relacionar lo conocido con lo futuro, para de esta manera ayudar en el proceso de toma de decisiones.

Ecuación de regresión

Considerando el caso general de una relación lineal entre el valor medio de la variable dependiente Y y las variables independientes X_1, X_2, \dots, X_k , la ecuación para representarla sería:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_kx_k \quad \text{Ec. 2.2}$$

Donde b_0 es constante y b_1, b_2, b_k , son los coeficientes parciales de regresión, la ecuación 2.2, representa un plano en $(k+1)$ dimensiones, el mismo que pasa por el centroide de todos los valores observados, es decir que la ecuación 2.2 se satisface con $(\bar{y}, \bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_k)$, de ahí que:

$$\bar{y} = b_0 + b_1\bar{x}_1 + b_2\bar{x}_2 + \dots + b_k\bar{x}_k \quad \text{o,}$$

$$\bar{y} = b_0 - b_1\bar{x}_1 - b_2\bar{x}_2 - \dots - b_k\bar{x}_k$$

Y sustituyendo esto en la ecuación 2.2 se obtiene:

$$y - \bar{y} = b_1(x_1 - \bar{x}_1) + b_2(x_2 - \bar{x}_2) + \dots + b_k(x_k - \bar{x}_k) \quad \text{Ec. 2.3}$$

⁸ Kennedy, John B. y Neville, Adam M, Editorial HARLA, 1982, Pág. 289.

Los coeficientes se determinan mediante el método de los mínimos cuadrados, para un caso de dos variables independientes se tiene:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2$$

Con n conjuntos de observaciones. En cada caso el residuo es:

$$\varepsilon = y - (b_0 + b_1x_1 + b_2x_2)$$

Y la suma de los cuadrados de los residuos en n conjuntos es:

$$\sum \varepsilon^2 = \sum [y - (b_0 + b_1x_1 + b_2x_2)]^2$$

Al usar el principio de los mínimos cuadrados se minimiza $\sum \varepsilon^2$, es decir que se satisface la condición de que todas las derivadas parciales de $\sum \varepsilon^2$ con respecto a b_0, b_1, b_2 sean iguales a cero:

$$\frac{\partial(\sum \varepsilon^2)}{\partial b_0} = -2\sum [y - (b_0 + b_1x_1 + b_2x_2)] = 0$$

$$\frac{\partial(\sum \varepsilon^2)}{\partial b_1} = -2\sum [y - (b_0 + b_1x_1 + b_2x_2)] = 0$$

$$\frac{\partial(\sum \varepsilon^2)}{\partial b_2} = -2\sum [y - (b_0 + b_1x_1 + b_2x_2)] = 0$$

Por lo tanto las ecuaciones normales se pueden formular de la siguiente manera:

$$\left. \begin{aligned} \sum y &= nb_0 + b_1 \sum x_1 + b_2 \sum x_2 \\ \sum x_1 y &= b_0 \sum x_1 + b_1 \sum x_1^2 + b_2 \sum x_1 x_2 \\ \sum x_2 y &= b_0 \sum x_2 + b_1 \sum x_1 x_2 + b_2 \sum x_2^2 \end{aligned} \right\} \text{Ec. 2.4}$$

La solución de este sistema de ecuaciones da como resultado los valores de b_0, b_1, b_2 .

Utilización de matrices

La regresión múltiple da lugar a una serie de ecuaciones que deben ser resueltas de manera simultánea, estas ecuaciones se pueden representar de manera matricial compacta así:

$$AX = B$$

Donde A y B son matrices obtenidas con datos experimentales y X es el vector desconocido (los coeficientes a ser determinados). Suponiendo que se tienen los coeficientes b_1 y b_2 , se tiene:

$$A = \begin{bmatrix} \sum X_1^2 & \sum X_1 X_2 \\ \sum X_1 X_2 & \sum X_2^2 \end{bmatrix}$$

$$X = \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \end{bmatrix}$$

$$B = \begin{bmatrix} \sum X_1 Y \\ \sum X_2 Y \end{bmatrix} \quad \text{Ec. 2.5}$$

Formulando la ecuación matricial completa se tiene:

$$\begin{aligned} b_1 \sum X_1^2 + b_2 \sum X_1 X_2 &= \sum X_1 Y \\ b_1 \sum X_1 X_2 + b_2 \sum X_2^2 &= \sum X_2 Y \end{aligned} \quad \text{Ec. 2.6}$$

Tanto la matriz A como la B se formulan de la misma manera para el caso de dos o más incógnitas. En muchos casos es necesario conocer la inversa de la matriz A , denotada por A^{-1} . El inverso de una matriz está definido por:

$$A^{-1}A = \text{matriz unitaria}$$

Expresándolo de manera completa y si:

$$A^{-1} = \begin{bmatrix} e_{11} & e_{12} \\ e_{21} & e_{22} \end{bmatrix} \quad \text{Ec. 2.7}$$

Entonces se tiene que:

$$\begin{bmatrix} e_{11} & e_{12} \\ e_{21} & e_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \sum X_1^2 & \sum X_1 X_2 \\ \sum X_1 X_2 & \sum X_2^2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad \text{Ec 2.8}$$

Las ecuaciones simultáneas obtenidas serían:

$$\begin{cases} e_{11} \sum X_1^2 + e_{12} \sum X_1 X_2 = 1 \\ e_{11} \sum X_1 X_2 + e_{12} \sum X_2^2 = 0 \\ e_{21} \sum X_1^2 + e_{22} \sum X_1 X_2 = 0 \\ e_{21} \sum X_1 X_2 + e_{22} \sum X_2^2 = 1 \end{cases} \quad \text{Ec 2.9}$$

La solución de 2.9 sería:

$$\begin{aligned} e_{11} &= \frac{\sum X_2^2}{\sum X_1^2 \sum X_2^2 - (\sum X_1 X_2)^2} \\ e_{22} &= \frac{\sum X_1^2}{\sum X_1^2 \sum X_2^2 - (\sum X_1 X_2)^2} \\ e_{12} = e_{21} &= \frac{-\sum X_1 X_2}{\sum X_1^2 \sum X_2^2 - (\sum X_1 X_2)^2} \end{aligned} \quad \text{Ec 2.10}$$

El calcular la matriz inversa de A tiene dos usos, primero, si se desea verificar si existe asociación entre las variables independientes que se utilizaron antes y una nueva variable dependiente, si es así la matriz A permanece inalterada al igual que su inversa A^{-1} , de manera que el vector X es fácilmente calculable multiplicando ambos lados de $AX=B$ por A^{-1} de la siguiente manera:

$$A^{-1}AX=A^{-1}B$$

Ya que $A^{-1}A$ es igual a la matriz unitaria se tiene:

$$X=A^{-1}B$$

Por lo tanto

$$\begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} e_{11} & e_{12} \\ e_{21} & e_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \sum X_1 Y \\ \sum X_2 Y \end{bmatrix} \quad \text{Ec. 2.11}$$

O

$$\begin{aligned} b_1 &= e_{11} \sum X_1 Y + e_{12} \sum X_2 Y \\ b_2 &= e_{21} \sum X_1 Y + e_{22} \sum X_2 Y \end{aligned} \quad \text{Ec. 2.12}$$

El segundo uso de la matriz inversa A^{-1} es en el cálculo del error estándar de los coeficientes de regresión parcial, y por lo tanto los intervalos de confianza de dichos coeficientes.

2.5.3 VALIDACIÓN ESTADÍSTICA DE UN MODELO CARTOGRÁFICO

2.5.3.1 CÁLCULO DEL ERROR ESTÁNDAR DE LA ESTIMACIÓN

El error estándar de la estimación (S_{yx}) se utiliza para medir la confiabilidad de la ecuación de estimación, y es una medida de la dispersión entre los valores observados y la media estimada.

El error estándar está dado por:

$$S_{yx}^2 = \frac{\sum \varepsilon_i^2}{n - (k + 1)} \quad \text{Ec. 2.13}$$

Donde:

ε_i = desviación del valor observado de y a partir del valor dado por el plano de regresión, es decir:

$$\varepsilon_i = y - \hat{y}$$

Donde \hat{y} es la estimación de y proveniente del plano de regresión,

n = número de observaciones de y y

k = número de variables independientes

2.5.3.2 ANÁLISIS DE CORRELACIÓN

El análisis de Correlación es la herramienta estadística que permite determinar el grado de relación entre variables, es decir que intenta determinar que tan bien una ecuación describe la relación entre las variables.

Si los valores de las variables satisfacen la ecuación de forma exacta, entonces se dice que las mismas están *perfectamente correlacionadas* o que hay una *perfecta correlación* entre ellas.

Por ejemplo, se utiliza un diagrama de dispersión para dos variables, X y Y, que represente la localización de los puntos en un sistema de coordenadas rectangulares, si todos los puntos en este diagrama parecen formar una recta la correlación se denomina *lineal*, como se ve en la figura 2.7.

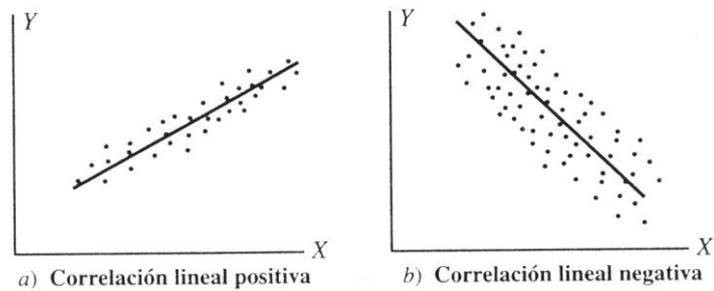


Fig. 2.7.- Correlación lineal a) positiva b) negativa
Fuente. - Spiegel y Stephens, 2004

Si todos los puntos parecen formar una curva, entonces la correlación se conoce como *no lineal*, y una ecuación no lineal es adecuada para la regresión, si no existe relación entre las variables, como en la figura 2.8, entonces se dice que no están correlacionadas

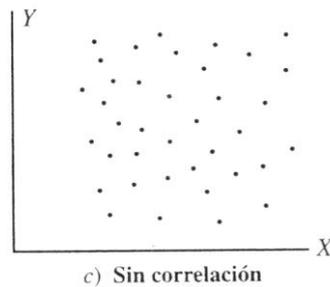


Fig. 2.8.- Variables sin correlación
Fuente.- Spiegel y Stephens, 2004

Coefficiente de correlación múltiple

El cuadrado del coeficiente de correlación múltiple de la población se puede definir como "la porción de la variancia total de y que es producida por su regresión sobre las variables x_1, x_2, \dots ", dicho coeficiente puede calcularse a partir de:

$$r = \sqrt{1 - \frac{S_{yx}^2}{S_y^2}} \tag{Ec. 2.14}$$

Donde

⁹ Kennedy, John B. y Neville, Adam M, Editorial HARLA, 1982, Pág. 297.

r = es el coeficiente de correlación múltiple

S_{yx}^2 = es el error estándar de la estimación

S_y^2 = desviación estándar de la variable dependiente Y

A menos que se especifique lo contrario, siempre que se hable de correlación múltiple implica correlación múltiple lineal.

Un coeficiente de correlación múltiple tiene valores entre 0 y 1, un valor de cero no produce correlación entre y y las variables x_1, x_2 , mientras que el valor 1 significa que todos los puntos de la muestra quedan exactamente en el plano de regresión, es decir que la relación lineal entre las variables es mejor, a pesar de que el coeficiente de correlación sea 0 (no hay correlación entre las variables) es posible que exista una *relación no lineal*.

2.5.3.3 INFERENCIAS SOBRE PARÁMETROS DE POBLACIÓN. PRUEBAS DE HIPÓTESIS

En la práctica por lo general se debe tomar decisiones sobre poblaciones con base en información de muestras, dichas decisiones se denominan *decisiones estadísticas*.

Para tomar decisiones resulta útil hacer suposiciones acerca de las poblaciones implicadas, estas suposiciones se conocen como hipótesis estadísticas, generalmente son afirmaciones sobre las distribuciones de la probabilidad de las poblaciones.

Una hipótesis nula se elabora con el propósito de rechazarla y se denota por H_0 , por ejemplo $p=0.5$, donde p es la probabilidad de obtener cara en el lanzamiento de una moneda, por otro lado la hipótesis alternativa, es simplemente la opuesta a la nula, para el ejemplo de $p=0.5$ para la hipótesis nula, las hipótesis alternativas pueden ser $p=0.7, p \neq 0.5$, etc., la hipótesis alternativa se denomina H_1 .

Un error de *tipo I* se da cuando se rechaza una hipótesis que se debía aceptar, y si por el contrario se acepta una hipótesis que se debía rechazar se tiene un error de *tipo II*, para que una prueba de hipótesis sea eficiente debe ser diseñada de forma que permita minimizar los errores en la decisión.

El *nivel de significancia de la prueba* es la probabilidad máxima con la que se puede cometer un error de tipo I, y se denota generalmente por α , el nivel de significancia se especifica antes de seleccionar la muestra para que los resultados no influyan en la toma de decisiones, por ejemplo en el caso de que se utilice un nivel de significancia de 0,05 o 5%, existen 5 posibilidades en 100 de que una hipótesis que debe ser aceptada se rechace, es decir que se trabaja con un 95% de *nivel de confianza*.

Pruebas que consideran distribuciones normales

Supóngase que se tiene un muestreo S , cuya distribución es normal, su media μ_s y su desviación estándar σ_s , entonces la distribución de la variable estandarizada dada por

$$z = \frac{(S - \mu_s)}{\sigma_s}$$

Es la distribución normal estandarizada:

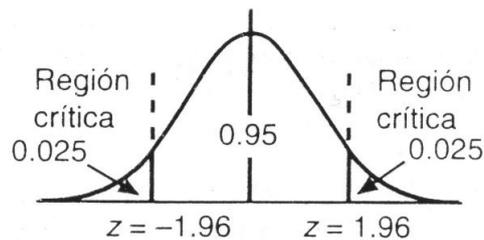


Fig. 2.9.- Distribución normal
Fuente.- Spiegel y Stephens, 2004

Como se puede ver en la figura 2.9 se tiene una confianza del 95%, en la que de ser verdadera la hipótesis nula entonces la medición de z estará entre los valores de -1.96 y 1.96 , y si por el contrario el valor de z está fuera de ese rango, se concluiría que la hipótesis tendría una probabilidad de ocurrencia del 5%, por lo que debería ser rechazada.

El conjunto de mediciones de z fuera del rango antes mencionado se denomina *región crítica de la hipótesis*, *región de rechazo de la hipótesis* o *región de significancia* y el conjunto de mediciones de z dentro del rango se denomina *región de aceptación de la hipótesis* o *región de no significancia*.

Pruebas unilaterales y bilaterales

En la prueba de hipótesis anterior se pone interés en los valores extremos de S ó de la medición z a ambos lados de la media, o en ambas colas de la distribución, es por esto que se denomina *prueba bilateral* o *de dos colas*.

Sin embargo, muchas veces existe un interés únicamente en una de las colas de distribución, como por ejemplo, cuando se quiere probar la hipótesis de que un proceso es mejor que otro, en este caso las pruebas se denominan *pruebas unilaterales* o *de una cola*, y la región crítica es la que está a un lado de la distribución, con área igual al nivel de significancia.



CAPÍTULO III: ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS ESTUDIOS



3.1 COMPARACIÓN DE LOS ESTUDIOS

El presente capítulo consiste en la comparación de los estudios usados como base para la realización de la guía. Con este fin se utilizó una matriz que contiene todos los parámetros que deben constar en el estudio de una cuenca; dicha matriz se generó en colaboración con el Grupo Corporación Randi-Randi, el Ing. Guillermo Beltrán y los autores.

Los estudios analizados son los siguientes:

Microcuenca del Río El Ángel:

- *Propuesta de Plan de Ordenamiento Territorial y Ambiental de la Microcuenca del Río El Ángel.* (Tesis de grado)

Elaborado por: Ing. Paulina Guerrón e Ing. Tatiana Landín

Escuela Politécnica del Ejército, Facultad de Ingeniería Geográfica y del Medio Ambiente, Sangolquí, Ecuador, 2004

- *Identificación de Unidades de Paisajes en la Estación Científica de Ecosistemas Altoandinos y Agua Los Encinos.* (Tesis de grado)

Elaborado por: Ing. César Cisneros

Escuela Politécnica del Ejército, Facultad de Ingeniería Geográfica y del Medio Ambiente, Sangolquí, Ecuador, 2005

- *Manejo integrado de la Cuenca del Río El Ángel.*

Proyecto Carchi-Condesan, Mesa de concertación, Quito, 1996.

- *Estudio de la cuenca del Río El Ángel, primera fase de la investigación, Información descriptiva.*

Proyecto CARCHIPOP, FLACSO/UNIVERSIDAD de PITTSBURGH/ECOCIENCIA, Proyecto MANRECUR Fundagro/CIID, 1998.

Microcuenca del Río Pitzambiche:

- *Plan De Manejo Ambiental Participativo De La Microcuenca Del Río Pitzambiche, Cantón Cotacachi.* (Tesis de grado)

Elaborado por: Ing. Ernesto Pasquel Gómez.

Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador, 2004

Microcuenca del Río La Chimba:

- *Análisis Socio Organizativo. Político y Económico de la Cuenca del Río La Chimba.*

Elaborado por: Grupo Corporación Randi-Randi

Grupo Corporación Randi-Randi, 2004

- *Ordenamiento Territorial en la cuenca de la quebrada La Chimba, Provincia del Carchi, diagnósticos y perfiles de proyecto,*

CEPEIGE-Ecuador, 1996

Microcuenca del Río Apaquí:

- *Aplicación De Un Modelo De Simulación Hidrológica En La Cuenca Del Río Apaquí Como Instrumento De Apoyo A Las Decisiones Sobre Gestión Del Recurso Hídrico. (Tesis de grado)*

Elaborado por: MSc. Oscar Rosales

Universidad Técnica del Norte, Instituto de Postgrado, Ibarra, Ecuador, 2004

- *Influencia del componente biótico en el plan de manejo integral del río Rumichaca o Apaquí. (Tesis de grado)*

Elaborado por: Msc. Nelson Gallo

Universidad Técnica del Norte, Instituto de Postgrado, Ibarra, Ecuador, 2004

- *Análisis Del Subsistema Socio-Económico Y Cultural De La Cuenca Del Río Apaquí. (Tesis de Grado)*

Elaborado por: Ing. Consuelo Ruiz

Universidad Técnica del Norte, Instituto de Postgrado, Ibarra, Ecuador, 2004

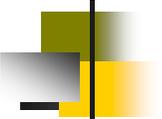
- *Influencia del uso de los recursos geológicos, geomorfológicos y el paisaje en el manejo de la cuenca del Río Rumichaca o Apaquí. (Tesis de Grado)*

Elaborado por: Ing. Guillermo Beltrán

Universidad Técnica del Norte, Instituto de Postgrado, Ibarra, Ecuador, 2004

La matriz contiene tres niveles de información: el 1er nivel, o nivel general en el que se encuentran los parámetros globales de descripción o caracterización de la cuenca como por ejemplo agua, suelo, geología, geomorfología; el 2do nivel, en el que se encuentran los elementos necesarios para definir los parámetros del nivel anterior, por ejemplo uso potencial de suelo, calidad de agua, etc., y el 3er nivel, que es información complementaria para los parámetros de nivel anterior.

La matriz que contiene una pequeña descripción de cómo está determinado cada parámetro en los diferentes estudios, así como también el número de parámetros que cumple cada uno de ellos, se encuentra en el anexo B1.



3.2 JERARQUIZACIÓN DE LOS PARÁMETROS MEDIANTE EL PROCESO ANALÍTICO JERÁRQUICO (THE ANALYTIC HIERARCHY PROCESS AHP)

El objetivo del análisis comparativo de los estudios, es determinar cuál de ellos está mejor elaborado y más completo, con el fin de estandarizar las metodologías aplicadas en dicho estudio y utilizarlas como base para la Guía Metodológica de Manejo de Cuencas.

Se hizo necesario, por lo tanto, jerarquizar los parámetros de la matriz para calificar los estudios de manera cuantitativa pero minimizando la subjetividad que esto conlleva; tomando en cuenta estas consideraciones, se utilizó el Proceso Analítico Jerárquico como método para la jerarquización de los parámetros, dado que además de ser bastante sencillo en su principio de aplicación, puede ajustarse a una amplia gama de necesidades.

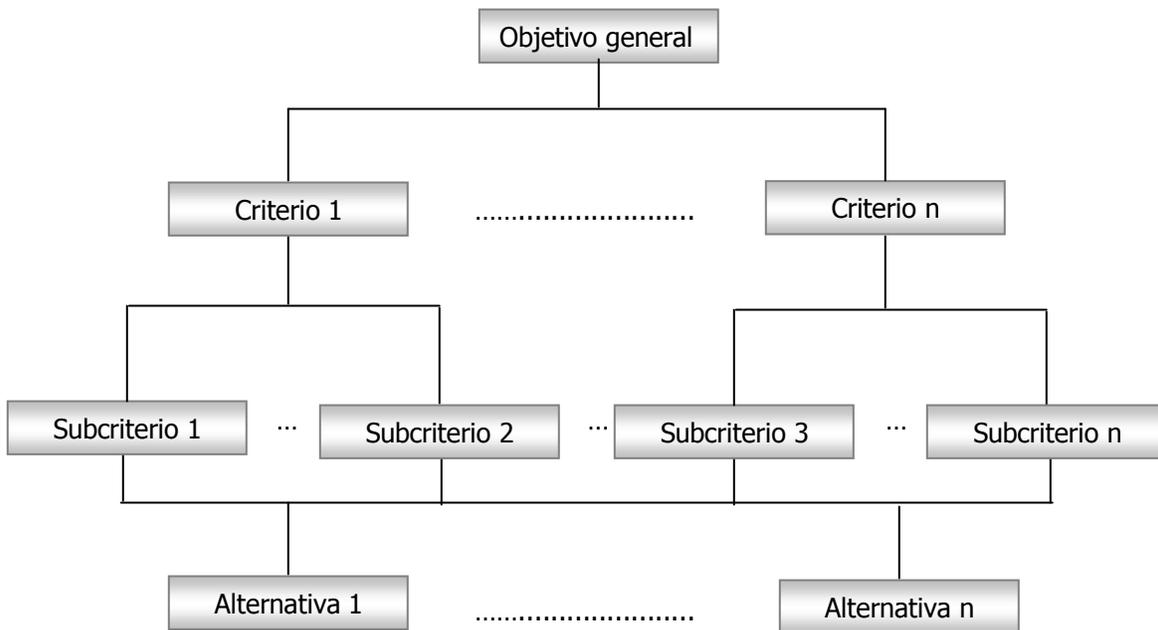
El Dr. Thomas L. Saaty, en el año de 1980, propuso el método conocido como *El Proceso Analítico Jerárquico* (AHP por sus siglas en inglés), que permite sistematizar y ordenar varios criterios, estructurando de manera jerárquica los atributos de una variable, lo que facilita la toma de decisiones.

Este método se basa en la utilización de pares ordenados de prioridades de importancia, preferencia o probabilidad de un elemento con respecto a otro, en función a un criterio o atributo común representado en la jerarquía de decisión. Hace posible la toma de decisiones grupales mediante el agregado de opiniones, y luego toma su promedio geométrico; cuando el grupo está conformado por expertos, cada uno elabora su propia jerarquía y el método permite combinar los resultados por medio del promedio geométrico.

Para que el modelo sea realista debe incluir todos los factores importantes, cuantitativos (tangibles) o cualitativos (intangibles), de esta forma el método se concentra en identificar con que peso los factores individuales de un nivel bajo dentro de la jerarquía, influyen en el nivel máximo u objetivo general.

Es importante estructurar los niveles jerárquicos del problema, desglosándolo en sus componentes principales, la jerarquía básica está conformada por: objetivo general, criterios, sub criterios, y alternativas. Figura 3.1

Fig. 3.1.- Modelo Jerárquico para la toma de decisiones



Fuente.- Chiriboga y Vinocuna, 2005.

El método AHP mide los juicios sobre las variables mediante una tabla de valores numéricos, empleando una escala de medida de secuencia matemática creada por Saaty con el fin de sintetizar los juicios y llegar a un resultado. Tabla 3.1

Tabla 3.1.- Escala de Saaty

ESCALA NUMÉRICA	ESCALA VERBAL	EXPLICACIÓN
1	Ambos elementos son de igual importancia	Ambos elementos contribuyen con la propiedad en igual forma
3	Moderada importancia de un elemento sobre otro	La experiencia y el juicio favorece a un elemento por sobre el otro
5	Fuerte importancia de un elemento sobre otro	Un elemento es fuertemente favorecido
7	Muy fuerte importancia de un elemento sobre otro	Un elemento es muy fuertemente dominante
9	Extrema importancia de un elemento sobre otro	Un elemento es favorecido, por lo menos con un orden de magnitud de diferencia
2, 4, 6, 8	Valores intermedios entre dos juicios adyacentes	Usados como valores de consenso entre dos juicios
1/2, 1/3, 1/4, 1/5, 1/6, 1/7, 1/8 y 1/9	Valores intermedios en la graduación más fina de 0.1	Usados para graduaciones mas finas de los juicios

Fuente.- Chiriboga y Vinocuna, 2005.

Con base en esta escala cada persona expresa su criterio y le asigna un valor numérico, donde los juicios se guían por información científica, técnica y la experiencia del grupo decisor.

La evaluación se hace por medio de la comparación de pares frente a un tercer elemento, permitiendo de esta manera medir las preferencias de los miembros del grupo respecto a los componentes del modelo, de la siguiente manera: tabla 3.2

Tabla 3.2.- Comparación de los criterios

Criterios	C1	C2	Cn
C1	1	C1/C2	C1/Cn
C2	C2/C1	1	C2/Cn
Cn	Cn/C1	Cn/C2	1

Fuente.- Chiriboga y Vinocuna, 2005.

En la que C1, C2....Cn, son los criterios identificados y son ubicados en la primera fila y primera columna de la matriz generada para hacer las comparaciones, las demás celdas son para la comparación de los criterios, así: las celdas de la segunda columna bajo la diagonal principal, corresponden a la comparación de los criterios C2...Cn, con respecto a C1, la celda de la tercera columna bajo la diagonal principal es la comparación de Cn, con respecto a C2, y así sucesivamente.

Los valores de las celdas que están sobre la diagonal principal son los valores inversos de las celdas bajo dicha diagonal, como se ve en la Tabla 3.2, y los valores de la diagonal principal son 1 ya que es el resultado de la comparación del criterio consigo mismo.

Una vez que se ha obtenido la matriz de comparación, se calcula el autovector W_i , que da la prioridad a los criterios, y es el producto de los valores obtenidos de la comparación de criterios por fila, elevado al inverso del número de criterios que participan en la evaluación. Tabla 3.3

Tabla 3.3.- Cálculo del autovector

	C1	C2	Cn	Wi
C1	1	C1/C2	C1/Cn	$W1=(1*C1/C2*C1/Cn)^{1/n}$
C2	C2/C1	1	C2/Cn	$W2=(C2/C1*1*C2/Cn)^{1/n}$
Cn	Cn/C1	Cn/C2	1	$Wn=(Cn/C1*Cn/C2*1)^{1/n}$

Fuente.- Chiriboga y Vinocuna, 2005.

El W_i total es la suma de todos los autovectores calculados, además se calcula también los pesos parciales (w), que son la suma de los valores obtenidos de la comparación de los criterios.

Tabla 3.4

Tabla 3.4.- Cálculo de los pesos parciales y el autovector total

	C1	C2	Cn	Wi
C1	1	C1/C2	C1/Cn	$W1=(1*C1/C2*C1/Cn)^{1/n}$
C2	C2/C1	1	C2/Cn	$W2=(C2/C1*1*C2/Cn)^{1/n}$
Cn	Cn/C1	Cn/C2	1	$Wn=(Cn/C1*Cn/C2*1)^{1/n}$
	$w1=$ $1+C2/C1+Cn/C1$	$W2=$ $1+C2/C1+Cn/C1$	$wn=$ $1+C2/C1+Cn/C1$	$Wi=$ $W1+W2+Wn$

Fuente.- Chiriboga y Vinocuna, 2005.

Es importante que el autovector sea normalizado de forma que la suma de los autovectores de cada criterio sea igual a uno, para lo cual se dividen los valores w_1, w_2, \dots, w_n , para el W_i , este autovector normalizado se representa con una T , y es el valor que será usado para cuantificar y ponderar la importancia de los criterios en cuestión. Tabla 3.5

Tabla 3.5.- Normalización del autovector

	C1	C2	Cn	Wi	T
C1	1	C1/C2	C1/Cn	$W1=(1*C1/C2*C1/Cn)^{1/n}$	$T1= w1/Wi$
C2	C2/C1	1	C2/Cn	$W2=(C2/C1*1*C2/Cn)^{1/n}$	$T2= w2/Wi$
Cn	Cn/C1	Cn/C2	1	$W3=(Cn/C1*Cn/C2*1)^{1/n}$	$T3= w3/Wi$
	$w1=$ $1+C2/C1+Cn/C1$	$W2=$ $1+C2/C1+Cn/C1$	$wn=$ $1+C2/C1+Cn/C1$	$Wi=$ $W1+W2+Wn$	$T=T1+T2+Tn=1$

Fuente.- Chiriboga y Vinocuna, 2005.

Con esto se concluye la obtención de los pesos con los que participarán los criterios, sin embargo, además se debe evaluar la consistencia de la matriz de pesos, la cual permite determinar que tan bien equilibrado está el peso de un criterio con respecto a los demás; con este fin se

calcula el vector lambda (λ), que se obtiene mediante la multiplicación de los autovectores normalizados por los pesos parciales de cada criterio, productos que al sumarse dan el valor del vector lambda máximo (λ_{\max}), si la matriz es consistente, esta suma debe ser igual al valor del número de criterios que intervinieron en la evaluación ($\lambda_{\max}=n$). Tabla 3.5

Tabla 3.5.- Cálculo del vector λ

	C1	C2	Cn	Wi	T	λ
C1	1	C1/C2	C1/Cn	W1	T1	$\lambda_1=T1*w1$
C2	C2/C1	1	C2/Cn	W2	T2	$\lambda_2=T2*w2$
Cn	Cn/C1	Cn/C2	1	Wn	Tn	$\lambda_n=Tn*wn$
	w1	W2	wn	Wi	T=1	$\lambda_{\max}=\lambda_1+\lambda_2+\lambda_n=n$

Fuente.- Chiriboga y Vinocuna, 2005.

Cambios pequeños en la valoración de los criterios implican cambios de igual magnitud en λ_{\max} , la desviación de este vector con respecto al número de criterios evaluados es una desviación de consistencia y se representa por: $(\lambda_{\max}-n)/(n-1)$, y recibe el nombre de *Índice de Consistencia* (CI), esta consistencia se compara con un *Índice de Consistencia Aleatoria* (RCI), el que se obtuvo, de acuerdo a los estudios realizados por Saaty, mediante el promedio de una muestra de 500 matrices positivas, para un número de hasta 16 criterios. Tabla 3.6

Tabla 3.6.- Índice de Consistencia Aleatoria

n	RCI	n	RCI	n	RCI	n	RCI
1	0	5	1.12	9	1.45	13	1.54
2	0	6	1.24	10	1.49	14	1.58
3	0.58	7	1.32	11	1.51	15	1.59
4	0.90	8	1.41	12	1.55	16	1.61

Fuente.- Chiriboga y Vinocuna, 2005.

Con base en estos dos índices se calcula la Relación de Consistencia (CR), para lo cual se divide el Índice de Consistencia para el Índice de Consistencia Aleatorio. Una Relación de Consistencia de 0.10 o menos es evidencia positiva para un juicio equitativo, en caso de que la relación de consistencia sea mayor a 0.10 se la debe mejorar mediante la obtención de información adicional, y la aplicación de criterios o juicios homogéneos que vayan acorde al objetivo que se persigue en el estudio. Tabla 3.7

Tabla 3.7.- Cálculo de la Relación de Consistencia

	C1	C2	Cn	Wi	T	λ	CI	CR
C1	1	C1/C2	C1/Cn	W1	T1	λ_1	$\frac{(\lambda_{max} - n)}{(n - 1)}$	$\frac{CI}{RCI}$
C2	C2/C1	1	C2/Cn	W2	T2	λ_2		
Cn	Cn/C1	Cn/C2	1	Wn	Tn	λ_n		
	w1	W2	wn	Wi	T=1	$\Lambda_{max}=n$		

Fuente.- Chiriboga y Vinocuna, 2005.

En el caso de la presente tesis, se aplicó la metodología de Saaty únicamente en el segundo nivel de información, ya que en el primero se encuentran los componentes generales de una cuenca, y por lo tanto son de igual importancia en su conceptualización, a dichos componentes se les asignó el valor de uno, mientras que a los parámetros del tercer nivel se los calificó tomando como criterio de evaluación su origen (natural o antrópico).

Para la jerarquización de las matrices se contó con la participación de dos Ingenieros Agrónomos, uno de ellos Master en Recursos Naturales, dos Ingenieros en Recursos Naturales Renovables, un Geólogo y un Economista.

Se consideró interesante para este proceso la participación de los estudiantes de Ingeniería Geográfica y del Medio Ambiente de la Facultad, quienes colaboraron también en el análisis de las matrices.

Los índices de consistencia obtenidos después del análisis de los expertos fueron los siguientes:

Parámetros abióticos

Tabla 3.8.- Índice de consistencia obtenidos para los parámetros abióticos

Índice de consistencia	Agua	Suelos	Geología	Geomorfología	Clima	Zonas de vida
Experto						
Ing. Geógrafo y del Medio Ambiente	0,08	0,21	-----	0,16	0,13	0
Ing. Agrónomo	0,74	0,98	1,33	0	0,33	0
Economista	0,05	0,29	1,02	0,05	0,05	0
Ing. En Recursos Naturales Renovables Msc. En Recursos Naturales	0,05	0,03	1,27	0	0,03	0,14
Ing. Agrónomo Msc. En Recursos Naturales	0	0,48	0,31	0	0,13	0
Geólogo	0,37	0,33	0	1,09	1,84	0,31
Ing. En Recursos Naturales Renovables Msc. En Recursos Naturales	0,29	0,17	-----	-----	0,22	0,38
Estudiantes de Ing. Geográfica y del Medio Ambiente	0,16	0,22	0,31	0,12	0,16	0
Estudiantes de Ing. Geográfica y del Medio Ambiente	0,12	0,11	0	0,25	0,13	0,12
Estudiantes de Ing. Geográfica y del Medio Ambiente	0,1	0,13	0	0,25	0,06	0
Estudiantes de Ing. Geográfica y del Medio Ambiente	0,1	0,19	0	0,12	0,05	0,12

Fuente.- Autores

Parámetros Bióticos

Tabla 3.9.- Índice de consistencia obtenidos para los parámetros bióticos

Experto	Índice de consistencia	Flora	Fauna
Ing. Geógrafo y del Medio Ambiente	0,20	0	
Ing. Agrónomo	0,45	0	
Economista	0	0	
Ing. En Recursos Naturales Renovables Msc. En Recursos Naturales	0,07	0	
Ing. Agrónomo Msc. En Recursos Naturales	0	0	
Geólogo	0,27	0	
Ing. En Recursos Naturales Renovables Msc. En Recursos Naturales	0.05	0	
Estudiantes de Ing. Geográfica y del Medio Ambiente	0,11	0	
Estudiantes de Ing. Geográfica y del Medio Ambiente	0,31	0	
Estudiantes de Ing. Geográfica y del Medio Ambiente	0,03	0	
Estudiantes de Ing. Geográfica y del Medio Ambiente	0,15	0	

Fuente.- Autores

Parámetros Socio Económicos-Culturales

Tabla 3.10.- Índice de consistencia obtenidos para los parámetros socio-económico culturales

Experto	Índice de consistencia								
	Salud	Educación	Nivel de desarrollo económico	Empleo	Pobreza	Infraestructura	Capital Social	Tenencia de la tierra	Etnias
Ing. Geógrafo y del Medio Ambiente	0,29	0	0,06	0	0,36	0,37	0	0	0
Ing. Agrónomo	0,35	0	0,23	0,28	0,47	0,62	0,31	0	0,31
Economista	0,04	0	0,06	0	0,04	0,07	0,04	0	0
Ing. En Recursos Naturales Renovables	0,01	0	0,06	0	0,02	0,02	0	0	0,03
Msc. En Recursos Naturales									
Ing. Agrónomo	0	0	0	0	0,02	0	0	0	0
Msc. En Recursos Naturales									
Geólogo	0.13	0	0,27	0,11	0,17	0.18	0.08	0	0,02
Ing. En Recursos Naturales Renovables	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
Msc. En Recursos Naturales									
Estudiantes de Ing. Geográfica y del Medio Ambiente	0,14	0	0,11	0,06	0,08	0,08	0,08	0	0
Estudiantes de Ing. Geográfica y del Medio Ambiente	0,43	0,62	0,08	0,24	-----	0,37	0,13	0	0
Estudiantes de Ing. Geográfica y del Medio Ambiente	0,8	0,68	0,13	0	0,46	0,75	0	0	0,08
Estudiantes de Ing. Geográfica y del Medio Ambiente	0,32	0,68	0,18	0,13	0,3	0,75	0	0	0

Fuente.- Autores

Las matrices con el menor índice de consistencia fueron las escogidas para jerarquizar los parámetros de cada componente, obteniendo los siguientes pesos:

Tabla 3.11.- Elementos jerarquizados

MATRIZ ESTUDIOS COMPARATIVOS

5	MATERIALES		
1	Cartografía	0.67	E 1:25000
		0.33	E 1:50000
1	Fotografía aérea		
1	Imágenes Satelitales		
1	Puntos de control en campo		
21	PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS		
1	Área		
1	Perímetro		
1	Longitud axial		
1	Ancho promedio		
		1	Coefficiente de compacidad
1	Forma de la cuenca	1	Factor forma
1	Profundidad de la cuenca	1	Altitud media
1	Pendiente de la cuenca		
1	Orientación de la cuenca		
1	Delimitación de la cuenca		
1	Orden de cauce		
1	Densidad de drenaje		
1	DTM		

1	Índice Asimétrico
1	Longitud del río
1	Coefficiente de torrencialidad
1	Rectángulo de Roche
1	Perfil longitudinal
1	Tiempo de concentración

3	UBICACIÓN
1	Geográfica
1	Según división político ambiental
1	Según división cuencas del Ecuador

3	SUBCLASIFICACIÓN
1	Microcuencas
1	Cuencas unitarias
1	Interfluvios

33.77	RECURSOS ABIÓTICOS						
1	Geológicos	0.5	Tipos de rocas				
		0.5	Estabilidad del terreno				
1	Suelos	0.09	Clasificación				
		0.12	Superficie del área total por tipo				
		0.14	Erodabilidad				
		0.15	Uso actual de suelo	0.09	Agricultura		
				0.09	Ganadería		
				0.09	Bosques		
				0.09	Arbustales		
				0.09	Pastizales		
				0.09	Tierras en descenso		
				0.09	Lagos y humedales		
				0.09	Páramo		
				0.09	Tierras erosionadas naturalmente		
				0.09	Tierras erosionadas antrópicamente		
		0.09	Áreas urbanas				
0.25	Uso potencial de suelo	0.25	Agrícola				
		0.25	Ganadero				
		0.25	Áreas protegidas				
		0.25	Urbano				
0.12	Características del suelo	0.33	Físicas: Profundidad, porosidad, textura, estructura, pedregosidad, características hídricas				
		0.33	Químicas: Materia orgánica, pH, Contenido de CaCO ₃ , Disponibilidad de elementos nutritivos, contenido de sales solubles, % de saturación				
		0.33	Biológicas: Microflora, microfauna				

1	Agua	1	Aguas superficiales	0.33	Ríos
---	-------------	---	---------------------	------	------

		0.12	Cualidades del suelo	0.33	Físicas: Permeabilidad, capacidad de laboreo, plasticidad, drenaje interno
				0.33	Fertilidad del suelo
				0.33	Productividad
1	Clima	0.64	Estaciones meteorológicas		
		0.27	Temperatura		
		0.37	Precipitación (época seca y lluviosa e intensidad de lluvias)		
		0.06	Humedad relativa		
		0.67	Análisis de datos	0.00	Promedios
				0.50	Polígonos de Thiessen
				0.50	Isoyetas
		0.38	Heladas		
		0.12	Evaporación y evapotranspiración		
		0.07	Insolación		
		0.04	Nubosidad		
0.09	Viento				
1	Geomorfología	0.13	Ambientes		
		0.17	Procesos formadores		
		0.21	Geoformas		
		0.66	Pendientes		
1	Zonas de vida	0.33	Precipitación media anual		
		0.33	Temperatura media anual		
		0.33	Límites altitudinales		

		0.33	Cascadas		
		0.33	Vertientes		
	1	0.50	Artesianas		
		0.50	Confinados		
	0.19	0.50	Medidas directas		
		0.50	Balance hídrico		
	0.33	0.20	Contaminación		
		0.20	Parámetros significativos		
		0.20	Criterios y estándares		
		0.20	Capacidad de autodepuración		
		0.20	Caudales ecológicos		
	0.19	0.08	Propagación de vida acuática		
		0.08	Recreación		
		0.08	Navegación		
		0.08	Generación de energía		
		0.08	Enfriamiento		
		0.08	Riego	0.33	Fuentes
				0.33	Tierra irrigada
				0.33	% de agricultores que irrigan la tierra
	0.19	0.08	Cría de animales		
		0.08	Industria		
		0.08	Abastecimiento de poblaciones	0.33	población con agua potable
				0.33	Fuentes
				0.33	Distancia a las fuentes
		0.08	Transporte, dilución y dispersión de desechos.		
		0.08	Industria		
	0.14		Escasez de agua		

		0.15	Distribución de agua		
--	--	------	----------------------	--	--

14.50		RECURSOS BIÓTICOS			
1	Flora	0.11	Criterios fisonómicos		
		0.5	Criterios ambientales	0.50	Climáticos
				0.50	Hídricos
		0.11	Criterios bióticos	0.50	Florísticos
				0.50	Fenológicos
		0.21	Criterios topográficos	0.50	Topológicos
				0.50	Pisos florísticos o altitudinal
		0.57	Tipos de vegetación	0.25	Cultivos y pastizales
				0.25	Bosque secundario
				0.25	Bosque maduro
0.25	Vegetación de ríos pequeños				
1	Fauna	1	Invertebrados	0.25	Insectos
				0.25	Anélidos
				0.25	Crustáceos
				0.25	Macrobentos
		1	Vertebrados	0.20	Aves
				0.20	Mamíferos
				0.20	Anfibios
				0.20	Reptiles
				0.20	Peces
				0.20	
1	Ecosistemas				
1	Áreas protegidas	1	SNAP		

41.67		RECURSOS SOCIO-ECONÓMICOS CULTURALES			
1	Salud	0.23	Mortalidad infantil		
		0.17	Morbilidad		
		0.2	Esperanza de vida		
		0.2	Principales problemas de salud		
		0.2	Saneamiento básico (letrinas, pozos sépticos, rellenos sanitarios)		
		0.2	Grado de contaminación de la región		
1	Infraestructura	0.14	Red vial		
		0.2	Hospitales y centro de salud		
		0.11	Mercados		
		0.08	Complejos deportivos y turísticos		
		0.12	Transporte de combustibles		
		0.14	Transporte de energía		
1	Educación	0.5	Alfabetismo		
		0.2	Instituciones educativas	0.25	Primaria
				0.25	Secundaria
				0.25	Superior
				0.25	Cuarto nivel
0.3	Conocimientos ecológicos				
1	Género	1	División de labores		
1	Empleo	0.25	Privado		
		0.25	Público		
		0.25	Independientes		
		0.25	Desempleado		
1	Vivienda	1	Tipos de vivienda (materiales de construcción)		
1	Pobreza	0.33	Ingresos		
		0.07	Ingresos fuera del área de vivienda		

		0.12	Subsistencia		
		0.13	Suficiencia de alimentos		
		0.13	Trabajo Infantil		
		0.21	Emigración e inmigración		
1	Capital social	0.33	Grupos de mujeres		
		0.33	Gobiernos locales		
		0.33	Grupos organizados		
1	Tenencia de la tierra	0.5	Tipo de tenencia	0.50	Minifundios
				0.50	Latifundios
		0.5	Tenencia de la tierra	1.00	Título de propiedad
		0.5	Manejo comunal		
1	Acción social	1	ONGs		

1	Actividades económicas	0.23	Productividad (Relación entre producción y unidad de producción)				
		0.12	Producción (Sistemas, unidades)				
		0.17	Agricultura	0.14	Intensidad de cultivo		
				0.14	Rotación de cultivos		
				0.14	Cambios en la producción en los últimos 5 años		
				0.14	Uso de estiércol como abono		
				0.14	Uso de fertilizante		
				0.14	Uso de pesticidas		
				0.14	Cultivos dominantes		
		0.17	Ganadería	0.07	Pastoreo vs. alimentación en establo		
				0.07	Escasez de alimento		
				0.07	Ganado vacuno		
				0.07	Ganado ovino		
				0.07	Cabras		
				0.07	Ganado porcino		
				0.07	Cuyes		
				0.07	Conejos		
				0.07	Pollos		
				0.07	Pavos		
				0.07	Patos		
				0.07	Caballos		
				0.07	Gallos de pelea		
		0.07	Cambios en el número de animales en los últimos 5 años				
0.17	Producción de leche	0.33	Destino				
		0.33	Cantidad				

1	Actividades económicas			0.33	Ingresos	
		0.17	Producción de carne		0.33	Destino
					0.33	Cantidad
					0.33	Ingresos
					0.33	Destino
		0.17	Producción de lana		0.33	Cantidad
					0.33	Ingresos
					0.33	Destino
		0.17	Forestal		0.25	Área de bosques
					0.25	Cambios en el bosque
					0.25	Usos del bosque
					0.25	Especies
		0.17	Extractivos			
		0.12	Acceso a mercados		0.50	Producción comercial
					0.50	Mercadeo
		0.14	Comercio		1.00	Venta de productos agrícolas
		0.11	Industria			
0.12	Agroindustria					
0.05	Modelos y estilos de desarrollo					
0.11	Acceso a tecnología					

1	Población	1	Datos estadísticos	0.14	Población total
				0.14	Demografía
				0.14	Densidad poblacional
				0.14	Tasas de crecimiento
				0.14	Tamaño de la familia
				0.14	Pirámide poblacional
				0.14	Calidad de vida
1	Etnias	0.66	Grupos étnicos		
		0.19	Valoración e identificación cultural		
		0.16	Relación con los recursos naturales		
1	Paisaje	1	Identificación de lugares paisajísticos de la zona		

1	PLAN DE MANEJO
----------	-----------------------

1	RIESGOS NATURALES
----------	--------------------------

1	PRIORIZACIÓN
----------	---------------------

1	ZONIFICACIÓN
----------	---------------------

1	RIESGOS ANTRÓPICOS
----------	---------------------------

Fuente.- Autores

Con base en la matriz jerarquizada se calificaron los estudios, y los resultados* obtenidos de dicha calificación fueron los siguientes:

Tabla 3.12.- Calificación de estudios

PARÁMETRO	CUENCA			
	El Ángel	Pitzambiche	La Chimba	Apaquí
MATERIALES (5)				
Total Materiales	4,67	4	1,33	1,33
PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS (21)				
Total Parámetros Morfométricos	9	14	1	18
UBICACIÓN (3)				
Total Ubicación	2	2	3	2
SUBCLASIFICACIÓN (3)				
Total Subclasificación	1	1	1	1
RECURSOS ABIÓTICOS (31,77)				
Total Recursos Geológicos	1,5	1,5	1,5	1,5
Total Recurso Suelos	2,64	4,35	3,62	2,48
Total Clima	3,79	2,28	2,43	1,64
Total Geomorfología	2,17	0,00	1,87	2,17
Total Zonas De Vida	1,66	1,66	1,99	1,66
Total Recurso Agua	5,09	6,40	5,84	5,61
TOTAL RECURSOS ABIÓTICOS	16,85	16,19	17,25	15,06
RECURSOS BIÓTICOS (14,5)				
Total Flora	4,25	2,07	3,07	4,75
Total Fauna	0,00	4,25	3,85	3,85
Total Ecosistemas Y Áreas Protegidas	2,00	1,00	1,00	2,00
TOTAL RECURSOS BIÓTICOS	6,25	7,32	7,92	10,60
RECURSOS SOCIO-ECONÓMICOS CULTURALES (41,67)				
Total Salud	1,20	1,83	1,63	1,77
Total Infraestructura	1,53	1,14	0,00	1,34
Total Educación	2,45	2,20	2,20	2,45
Total Género	2,00	2,00	2,00	2,00
Total Empleo	0,00	0,00	2,00	1,50
Total Vivienda	2,00	0,00	0,00	2,00
Total Pobreza	1,45	1,79	1,99	1,21
Total Capital Social	0,00	1,99	1,99	1,66
Total Tenencia De La Tierra	2,50	3,00	4,00	0,00
Total Acción Social	0,00	2,00	2,00	2,00
Total Actividades Económicas	3,67	4,23	6,80	4,65
Total Población	2,71	2,57	2,57	2,57
Total Etnias	1,66	1,85	1,19	1,85
Total Paisaje	2,00	1,00	1,00	2,00

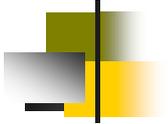
* El detalle de la calificación por parámetro se encuentra en el Anexo B1

TOTAL RECURSOS	23,17	25,60	29,37	27
SOCIO-ECONÓMICOS CULTURALES				
Plan De Manejo (1)	1,00	1,00	0,00	1,00
Riesgos Naturales (1)	0,00	0,00	0,00	1,00
Priorización (1)	1,00	1,00	0,00	1,00
Zonificación (1)	1,00	1,00	0,00	1,00
Riesgos Antrópicos (1)	0,00	0,00	0,00	0,00
Determinación De Problemas (1)	0,00	1,00	0,00	1,00

Fuente.- Autores



CAPÍTULO IV: GUÍA PARA EL MANEJO DE CUENCAS



4.1 PROPÓSITO DE LA GUÍA

El propósito de la presente guía es orientar a ONGs, organizaciones del sector público, profesionales y personas en general, interesadas en la planificación del uso y manejo sustentable de los recursos naturales de las cuencas hidrográficas hacia la consecución de un adecuado equilibrio ambiental entre el aprovechamiento social y económico de dichos recursos y su conservación.

Esta guía se creó para cubrir la necesidad de una metodología estandarizada y adaptada al medio nacional, es importante anotar que hasta el momento en nuestro país no se había desarrollado ningún lineamiento básico, a diferencia de otros países latinoamericanos, para elaborar planes de manejo.

Se espera que los usuarios de esta guía la encuentren útil para:

- Demostrar que el ordenamiento de una cuenca no solo abarca fines geográficos, sino también impulsa el desarrollo de las comunidades dentro de su área de influencia.
- Promover una participación multidisciplinaria a nivel técnico y social, en el desarrollo de planes de manejo, con el fin de generar una visión global de las cuencas hidrográficas.
- Generar planes que se ajusten a la realidad y necesidades de la población tanto a nivel nacional como local.
- Alcanzar un desarrollo sustentable de los recursos de la cuenca, en base a la conservación, protección y prevención del mal uso de los mismos.
- Evitar los posibles problemas por el aprovechamiento del agua que tiene que ver con las divisorias de las cuencas hidrográficas.
- Tratar de establecer una escala de trabajo que permita realizar los estudios con el detalle necesario para cada caso.

Cabe anotar que la presente guía es susceptible de mejora a través de sugerencias o criterios que permitan realizar un proceso de retroalimentación de la misma, es decir que constituye un documento de apoyo, de carácter flexible, y de ninguna manera constituye un proceso a seguir estrictamente.



4.2 DIAGNÓSTICO GENERAL DE UNA CUENCA

En esta etapa se identifican las características generales del estado de la cuenca, es decir, es una descripción de los componentes que integran el ambiente de la misma, con el fin de realizar, con base en esta identificación, la determinación de los principales problemas que afectan a la cuenca y de esta manera proponer proyectos que resulten en el mejoramiento de la misma.

4.2.1 IDENTIFICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El primer paso para el manejo integral de los recursos existentes dentro de la microcuenca a estudiar es la identificación de la zona, realizando una ubicación espacial preliminar de la zona de estudio por medio de referencias preestablecidas, como lo son la o las provincias y catones dentro de las cuales se deberá tomar en cuenta los poblados aledaños y si el área de interés pertenece a una cuenca conocida o de mayor superficie, todo esto con la finalidad de ubicar de una manera rápida y eficaz el sitio requerido.

4.2.1.1 RECONOCIMIENTO DEL ÁREA

Consideración de escala

La escala es un factor importante en el análisis de los componentes de las cuencas hidrográficas, es por lo tanto recomendable utilizar la cartografía y mapas existentes de acuerdo a la extensión de la cuenca en estudio, puede tomarse como referencia la siguiente tabla:

Tabla 4.1.- Escalas de acuerdo a la unidad hidrográfica

Unidad hidrográfica	Extensión (ha)	Orden	Escala ideal	Escala aplicable
Cuenca	50 000 – 800 000	6to en adelante	25000-50000	100000-250000
Subcuenca	5 000 – 50 000	4to y 5to	10000-25000	50000
Microcuenca	< 5 000	1ro, 2do y 3er	5000-10000	25000

Elaboración.- Autores

Para obtener el resultado esperado en el estudio es recomendable que toda la cartografía temática se encuentre en la misma escala, sin embargo, en nuestro país es muy poca o casi inexistente la información en escalas grandes, los mapas geológicos, por ejemplo, se encuentran en escala 100 000.

Cabe destacar que la generación de mapas especializados resulta costosa y de procesos que requieren la inversión de una buena cantidad de tiempo, sin embargo si se cuenta con los recursos suficientes y las variables que intervienen deben estar muy bien definidas es recomendable llevarlo a cabo.

Disponibilidad de cartografía

Cuando se verifica la existencia de la cartografía necesaria para la elaboración de los mapas, mismos que servirán de apoyo para establecer un manejo adecuado de los recursos naturales existentes, es posible que dicha cartografía no se encuentre disponible o no sea de la escala requerida. Si este es el caso, se debe adquirir la fotografía aérea de la zona para realizar una restitución fotogramétrica de la misma, para llevar a cabo este proceso es necesario aplicar todas las nociones básicas y correcciones necesarias para obtener un buen producto.

En el caso de que la cartografía necesaria para el proyecto se encuentre disponible, se puede adquirir en dos formatos: en digital o papel.

El formato en papel es mucho menos costoso que el digital, y si se dispone de herramientas como Micro Station o una tabla digitalizadora, el proceso de digitalización de la cartografía es bastante sencillo, aunque un poco tedioso, sin embargo, la cartografía digital presenta muchas ventajas sobre la de papel, ya que con los SIG se la puede aprovechar de mejor manera y obtener mejores resultados. Es importante mencionar que la precisión con que se realiza la edición de la cartografía digital es determinante en la precisión de los mapas obtenidos posteriormente, por lo tanto es importante hacerlo de manera cuidadosa y procurando mantener los errores al mínimo.

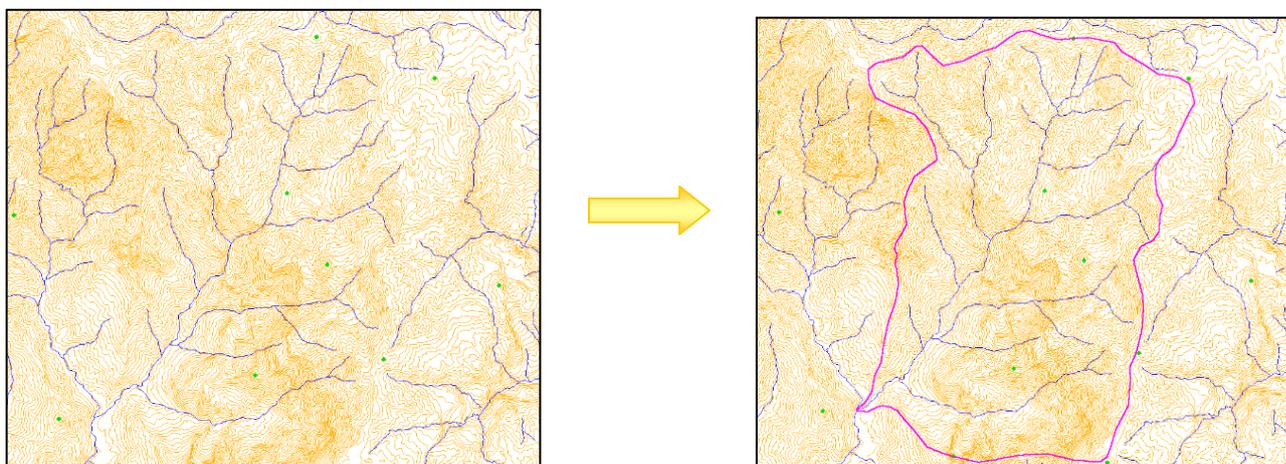
4.2.1.2 DELIMITACIÓN DE LA CUENCA

El método de delimitación es válido tanto para la delimitación de cuencas de forma digital como en papel, sin embargo es recomendable hacerlo primero en papel y luego escanear la zona de la cuenca ya delimitada para su digitalización.

Para la delimitación se deben seguir estos pasos:

- a. Identificar la red de drenaje o corrientes superficiales y esbozar la posible delimitación . Fig 4.1

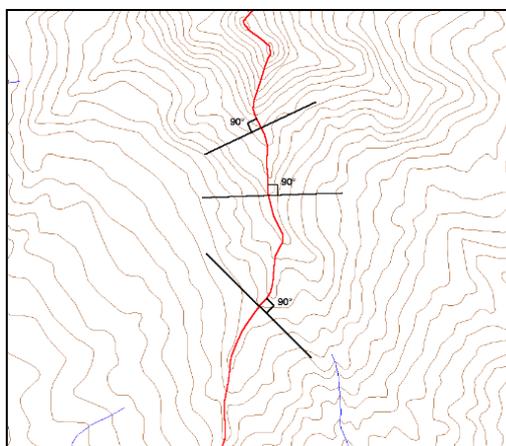
Fig. 4.1.- Posible delimitación de la cuenca



Fuente.- Núñez, et al, s/a

- b. De forma invariable la divisoria corta perpendicularmente a las curvas de nivel y pasa, de la manera más estrictamente posible, por los puntos de mayor nivel topográfico. Fig 4.2

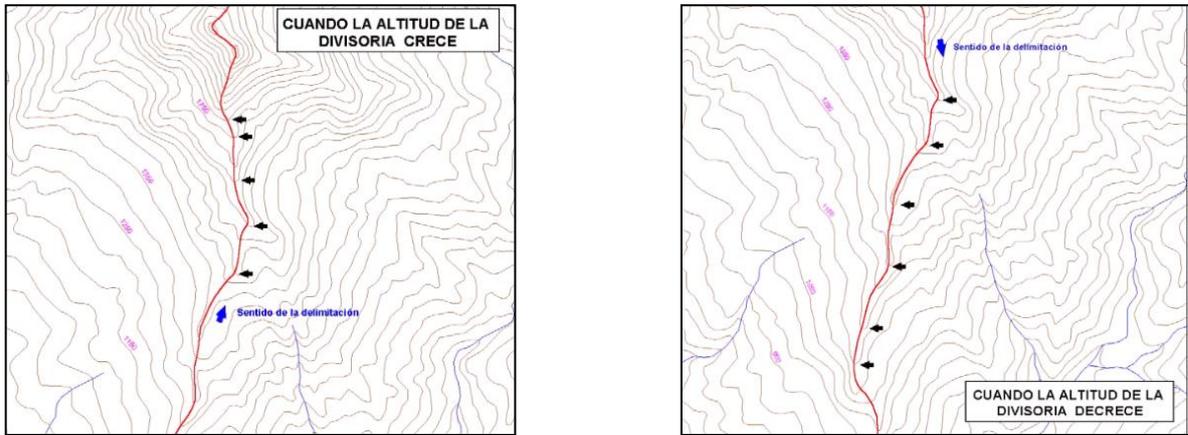
Fig. 4.2.- Divisoria de aguas



Fuente.- Núñez, et al, s/a

- c. Cuando la divisoria va aumentando su altitud, corta a las curvas de nivel por su parte convexa, y cuando decrece, corta a las curvas de nivel por la parte cóncava. Fig 4.3

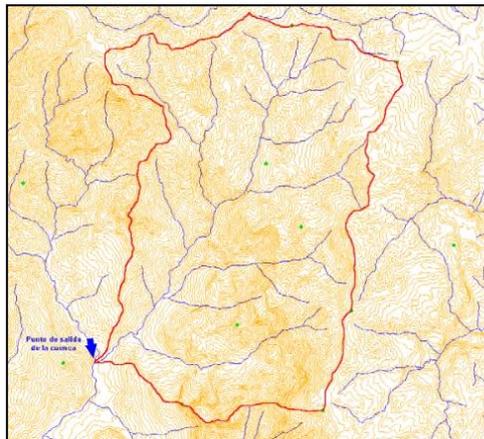
Fig. 4.3.- Corte de la divisoria de aguas



Fuente.- Núñez, et al, s/a

- d. A manera de comprobación, la divisoria nunca corta una quebrada o río, excepto en el punto de salida o desembocadura de la cuenca.

Fig. 4.4.- Posible delimitación de la cuenca



Fuente.- Núñez, et al, s/a

4.2.1.3 DIGITALIZACIÓN

Para poder realizar la digitalización de una imagen, en este caso de cartas topográficas, se tiene dos posibilidades:

- Digitalización por medio de una mesa digitalizadora
- Digitalización por medio de pantalla.

Para el caso se optó por la segunda opción ya que es mucho más barata y práctica debido a que permite un manejo mucho más fluido de la información dentro de este proceso.

Georreferenciación

Como primer paso se debe realizar la georreferenciación de la imagen que debe estar previamente escaneada con una resolución adecuada, esto es, tomando en cuenta la relación costo-beneficio que nos proveerá el tamaño del píxel, este detalle implica que a menor tamaño de píxel, mayor costo del escaneo y mayor tamaño del archivo de imagen lo cual exige un computador mucho más potente que el estándar.

Hay varios programas en los que este proceso se puede llevar a cabo, como Arc View, Descartes para Micro Station, Micro Station, entre otros, la georreferenciación en este último programa es bastante simple y por lo tanto recomendable.

Para realizar la georreferenciación de una imagen escaneada en Micro Station se deben seguir los siguientes pasos:

- Establecer cuales son los puntos de referencia a utilizarse, considerando que el error al utilizar 4 puntos es prácticamente el mismo que el error al utilizar 8 puntos (la variación se ve en el 2 o 3 decimal), resulta de utilidad colocar 4 puntos en las esquinas exteriores de la imagen y 4 más en el interior de la imagen Para colocar los puntos de

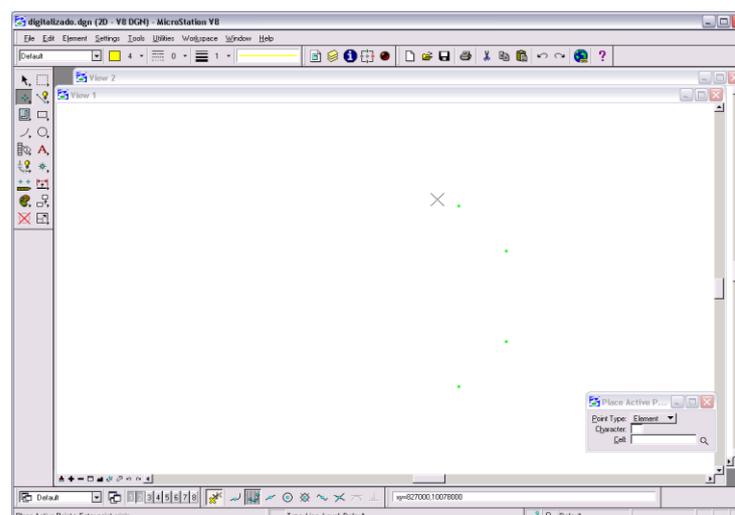
referencia en Micro Station se utiliza el botón *Place Active Point* , y el comando $xy=X,Y$, en la barra de comandos



siendo X las

coordenadas Este y las Y las coordenadas Norte, así (Fig 4.5):

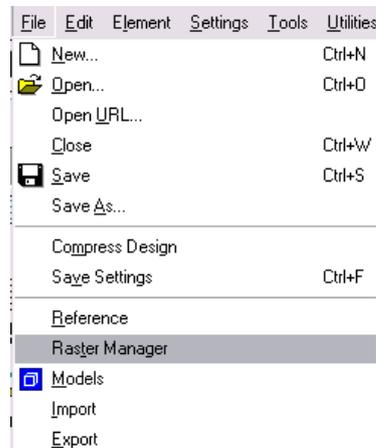
Fig 4.5.- Localización de puntos para georreferenciación



Fuente.- Los Autores

- Una vez puestos los puntos se abre la imagen, mediante el cuadro de diálogo File opción Raster Manager en el menú principal. Fig 4.6

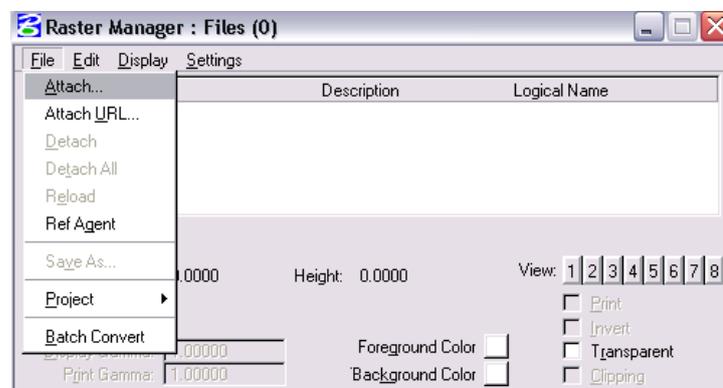
Fig 4.6.- Cuadro de diálogo



Fuente.- Los Autores

- En el cuadro de diálogo que se despliega se escoge la opción File, opción Attach. Fig 4.7 :

Fig 4.7.- Cuadro de diálogo

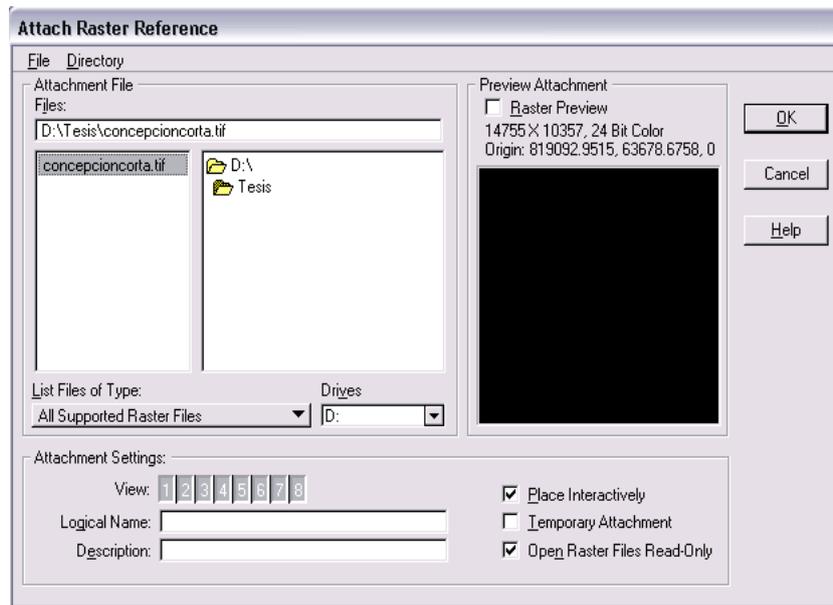


Fuente.-

Los Autores

- Se escoge la imagen a ser georreferenciada, es importante que la opción Place Interactively, se encuentre seleccionada, pues esto permite abrir la imagen en cualquier posición, ya que aún no ha sido georreferenciada. Fig 4.8:

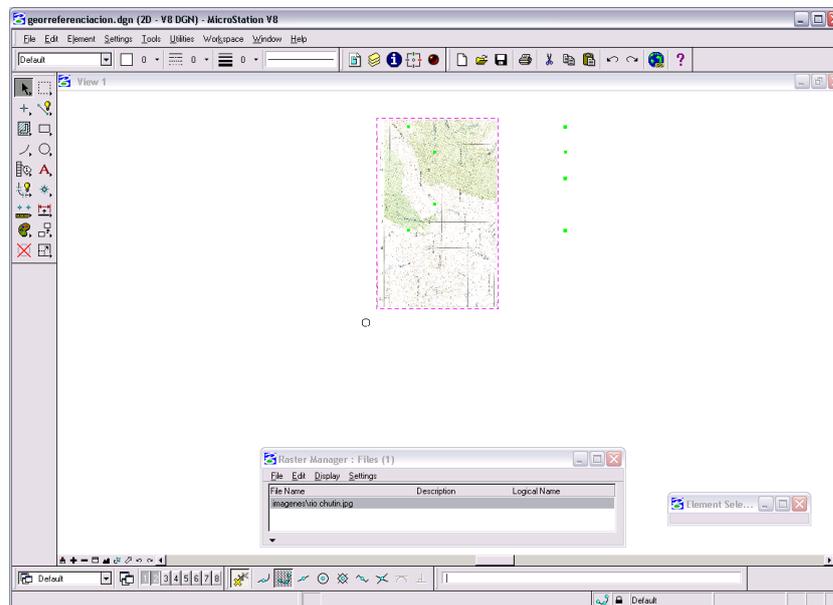
Fig 4.8.- Imagen para gerreferenciación



Fuente.- Los Autores

- Es recomendable colocar la imagen lo más cerca posible de los puntos de referencia, para facilitar el proceso y asegurar que sea más preciso. Fig 4.9:

Fig 4.9.- Localización de la imagen

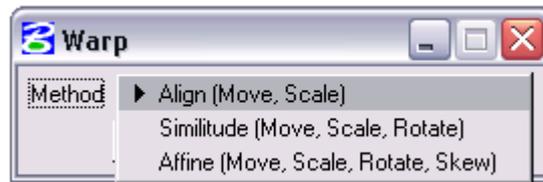


Fuente.- Los Autores

- En el cuadro de diálogo *Raster Manager* se selecciona la opción *Edit*, *Warp* y aparece un pequeño cuadro de diálogo, que permite escoger el método para georreferenciar la imagen. Fig 4.10

Fig 4.10.- Cuadro de Manager

diálogo Raster

**Fuente.-** Los Autores

- El método afín es el más apropiado para la transformación, ya que mueve, re escala, rota y distorsiona la imagen, ajustándola de manera más precisa a los puntos de referencia.

La transformación afín utiliza el siguiente conjunto de ecuaciones normales para aproximar x',y' (coordenadas de destino), dadas x e y (coordenada de origen):

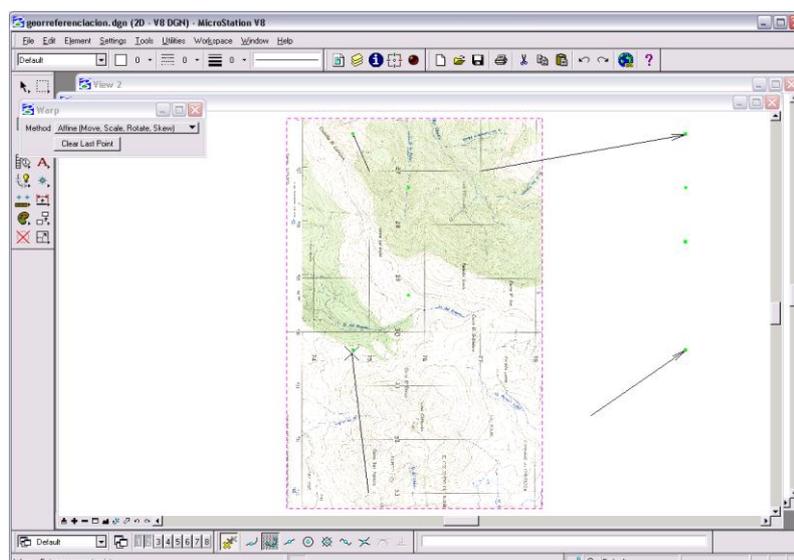
$$A(x,y) = x' = c1 * x + c2 * y + c3$$

$$A(x,y) = y' = c4 * x + c5 * y + c6$$

Los seis coeficientes se calculan resolviendo un sistema de seis ecuaciones lineales de las derivadas parciales y utilizando los puntos de control para sustituir x,y y x',y' .

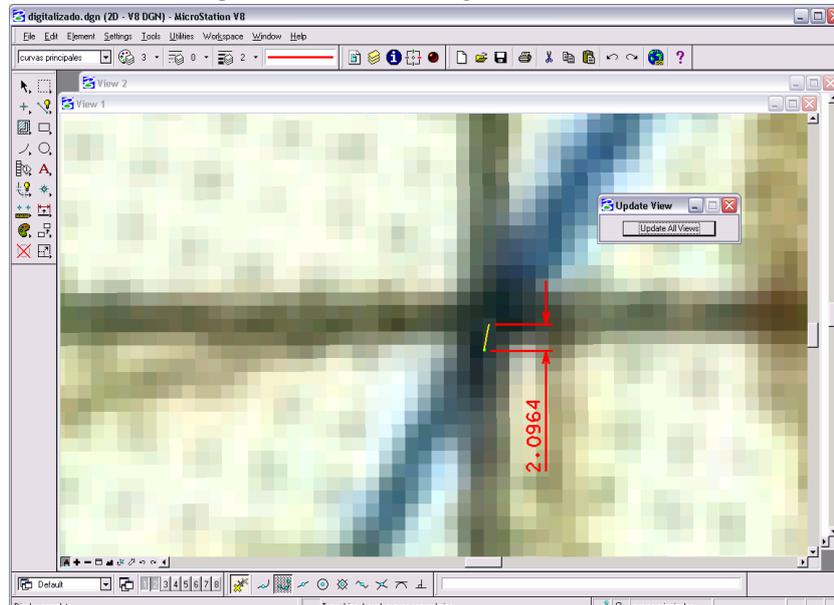
La transformación afín funciona mejor si se minimiza la distancia en x y la distancia en y .

- Una vez escogido el método se debe identificar los puntos de referencia en la imagen y relacionarlos con los que se dibujaron previamente. Fig 4.11

Fig 4.11.- Georreferenciación de la imagen**Fuente.-** Los Autores

- Es importante comprobar con qué error se realizó este proceso, el error tolerable depende de la escala de trabajo, si el error de la georreferenciación se encuentra por encima del error tolerable es necesario repetir el proceso. Fig 4.12

Fig 4.12.- Error de la georreferenciación



Fuente.-

Los Autores

Digitalización

La digitalización en pantalla es un proceso bastante simple, aunque un poco tedioso y que requiere paciencia y precisión.

El Instituto Geográfico Militar (IGM) ha determinado ciertas características para unificar los atributos de la cartografía digital, y de esta manera estandarizarla. (Ver Anexo A1)

Es recomendable tener una sola imagen escaneada que abarque toda el área de la cuenca, ya que si se escanean las cartas topográficas por separado y luego se georreferencian se corre el riesgo de aumentar el error.

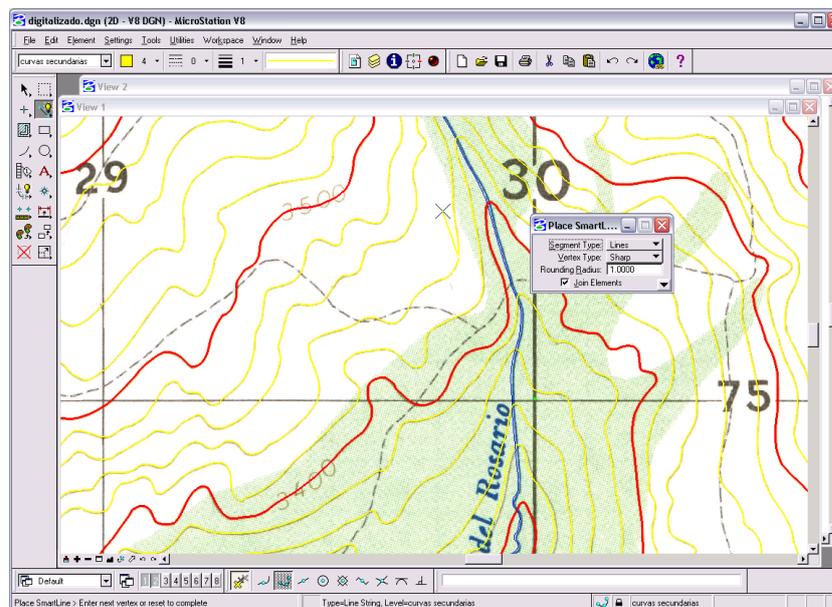
Es importante también tener en cuenta la resolución del escaneo, ya que este factor también influye en la precisión de la digitalización.

Para digitalizar las cartas topográficas en MicroStation es recomendable utilizar el botón



Place Smart Line, es mejor usar este, ya que permite crear polilíneas y no líneas simples, lo cual resulta útil para dibujar curvas de nivel, y basta con seguir los elementos de la carta, cambiando los atributos según el elemento a dibujar. Fig 4.13

Fig 4.13.-Digitalización



Fuente.- Los Autores

4.2.2 RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN

Para realizar el estudio de cualquier subcuenca o microcuenca, la escala más recomendable de trabajo es de 1:25000, ya que proporciona el detalle suficiente, sin embargo es importante recalcar que de ser necesario hacer estudios puntuales o específicos, se requerirá del proceso de restitución fotogramétrica, ya que en el país no hay información disponible en escalas más grandes.

Esta etapa comprende la recopilación o recolección de información de los distintos trabajos realizados a nivel de cuencas (si existen), a escalas menores, por ejemplo escalas 1:100000, 1:50000 y 1: 250000, que es la escala más común en nuestro país.

También se puede utilizar como base de información el Almanaque Electrónico Ecuatoriano, que es un conjunto de mapas temáticos con información sobre aspectos de clima, tipos de suelos, densidad de población, infraestructura (caminos, ríos navegables) elevación, uso del suelo y una colección extensa de información social, económica, agrícola y pecuaria, a escala 250000.

Las temáticas clasificadas según el tipo de recurso son:

Recursos abióticos

- Geología (E 1:100000, cobertura de geología y fallas), que se puede adquirir en el edificio del Ministerio de Obras Públicas (MOP), ubicado en la avenida Orellana y Juan León Mera, esquina.
- Suelos (E 1:250000, calidad del suelo, conflictos de uso, uso actual, taxonomía, textura y pendientes, sin embargo es importante anotar que los mapas de pendientes

existentes no son confiables ya que carecen de fundamento matemático como el que aplica un Sistema de Información Geográfica; se conoce que existen estudios de suelos E 1:50000, de una parte del Callejón Interandino, desde el Carchi hasta Riobamba, sin embargo no está disponible al público en general), que al igual que el anterior, se adquieren en el MOP.

- Clima (Déficit hídrico, estaciones meteorológicas, intensidad de lluvia cada 30 min, isotermas, isoyetas, meses secos, tipos de clima), los datos meteorológicos de cada estación se pueden conseguir en el INAMHI.
- Geomorfología (E 1:250000, con una clasificación general de geoformas, erosión y susceptibilidad a la erosión). AEE, sin embargo es importante realizar estudios de acuerdo a los distintos enfoques (morfología, morfometría, morfodinámica, morfogenética)
- Ecológico o zonas de vida (E1:250000, con una clasificación de 25 zonas de vida según Cañadas, también existen otros mapas a E 1:200000). AEE, Mapa de vegetación Andina (EcoCiencia).
- Agua o hidrológico (Mapa hidrogeológico E 1:1000000, también existe información del CNRH, donde se hace una clasificación de vertiente, sistema, cuenca, subcuenca, microcuenca, sin embargo no se encuentra disponible al público en general).

Recursos bióticos:

- Flora (Mapa Forestal E 1:1000000, Mapa de Sistemas Nacionales de Áreas Protegidas del Ecuador E 1:1000000, Bosques Protectores y Vegetación de Sierra, Vegetación original y remanentes E 1:250000, Inventario de Flora E 1:2000000). AEE, Mapa de vegetación Andina (EcoCiencia).
- Fauna (Inventarios completos e incompletos de aves, mamíferos, reptiles y anfibios). Estudios previos.

Recursos socio-económicos culturales:

- En las áreas de salud, educación, empleo, vivienda, desigualdad y pobreza, acción social, actividades económicas, población y etnias se cuenta con bases de datos de los diferentes censos, sin embargo en algunos aspectos los datos son demasiado generales y en otros más detallados. (Sistema Integrado de Indicadores Sociales del Ecuador, SIISE).
- Con respecto al recurso paisaje no existen estudios o son mínimos, ya que no se le ha dado importancia a los aspectos escénicos.

4.2.3 PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS

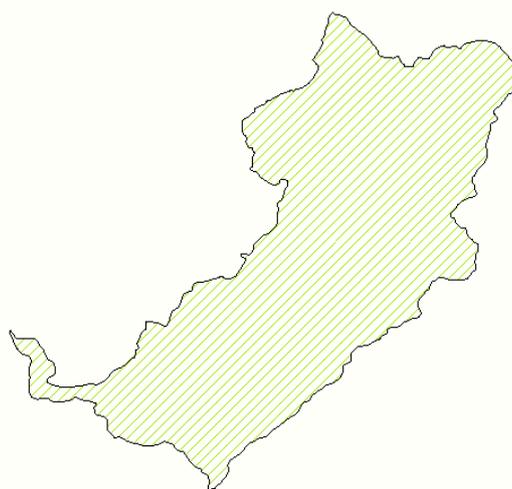
Las características de una cuenca y de sus drenajes pueden ser representadas cuantitativamente mediante el cálculo de índices o parámetros morfométricos, muchos de los cuales son razones matemáticas por lo que son aplicables en cuencas de diversos tamaños.

El cálculo de los parámetros morfométricos de la cuenca permite tener nociones básicas sobre las necesidades de manejo de la misma, y generar el marco para el establecimiento de planes que permitan conservar, proteger o restaurar los componentes de la cuenca.

Parámetros de forma

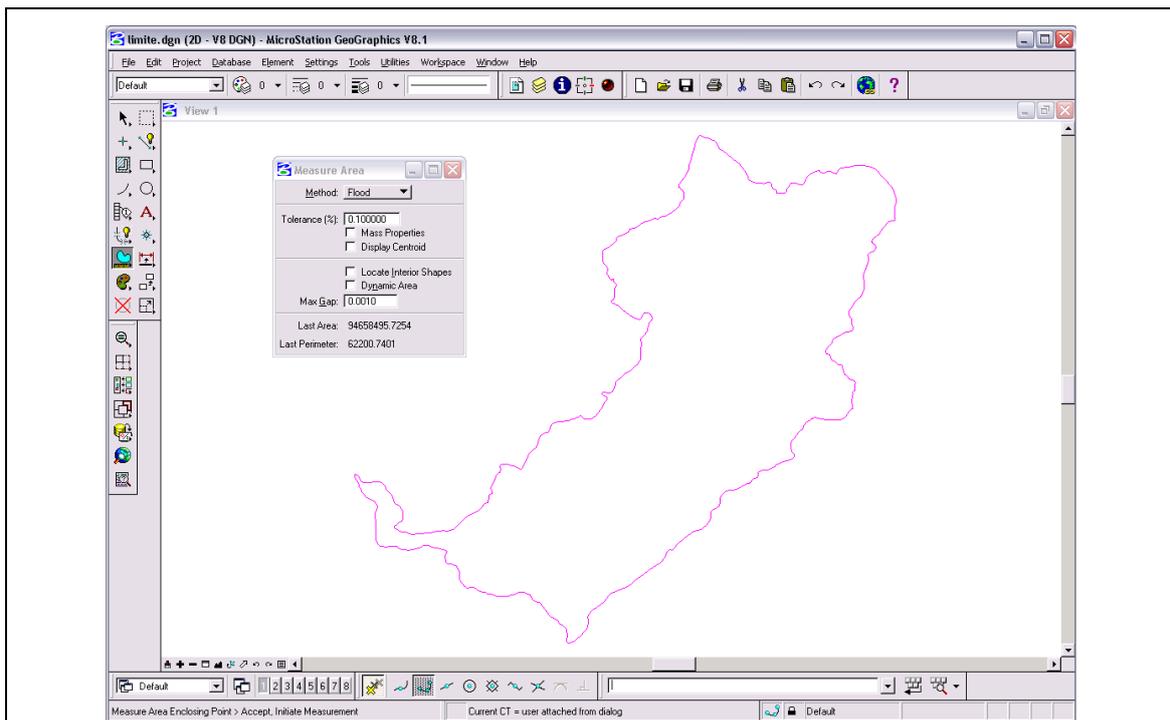
- **Área.-** Es la medida de la superficie de la cuenca, este dato puede ser calculado mediante la herramienta XTools Pro en ArcGis (Xtools en ArcView), o mediante la herramienta Measure Area en Microstation, este parámetro es muy importante ya que se usará en cálculos posteriores. Fig 4.14

Fig 4.14.-Área de la cuenca



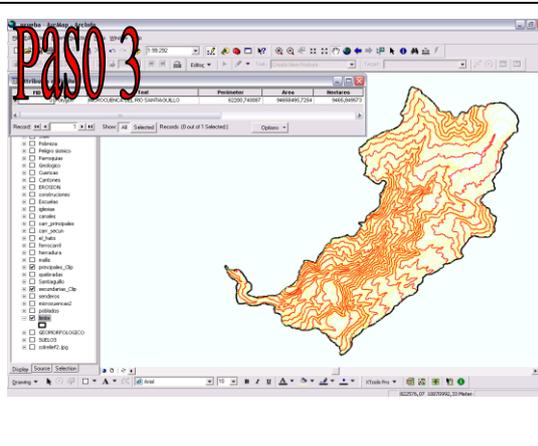
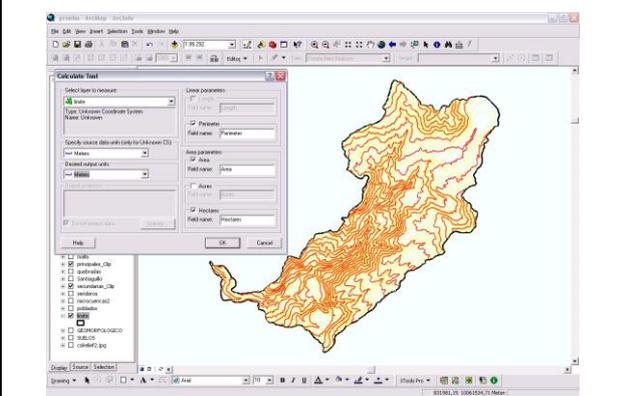
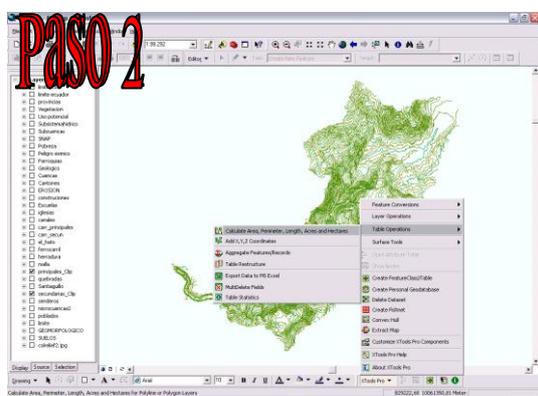
Fuente.- Los Autores

En Microstation



El área y el perímetro pueden calcularse automáticamente mediante el uso de la herramienta *Measure Area* .

En ArcInfo



Para el cálculo del área y perímetro de la cuenca se puede usar la extensión XTools Pro (para ArcGis 8.3 y 9) que se puede conseguir (<http://vc.dataeast.ru/Shop/download.asp?mFile=XToolsPro>), opción *Table Operations, Calculate Area, Perimeter, Length, Acres and Hectares*, la cual arroja de manera automática estos parámetros, los cuales se añaden a la tabla perteneciente a la cobertura del polígono

	que delimita la cuenca.
--	-------------------------

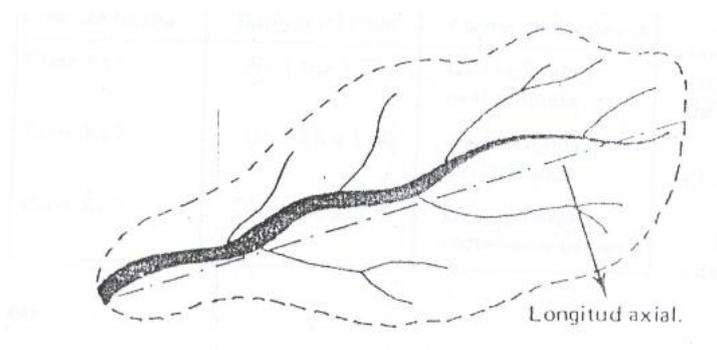
- **Perímetro.-** Es la medida de la línea de delimita el área de la cuenca, al igual que el área, este parámetro se usa en cálculos posteriores.

Fig 4.15.-Perímetro de la cuenca



Fuente.- Los Autores

- **Longitud axial.-** Es la distancia que existe entre la desembocadura y el punto más lejano de la cuenca. Es el eje de la cuenca.



Una de

las formas de

las que se puede obtener este parámetro es la siguiente:

- ◆ Transformar el polígono de la cuenca a puntos (XTools – *Feature conversions, Convert Features to points*)
 - ◆ Asignar valores x,y a estos puntos (XTools – *Table Operations, Add X,Y,Z Coordinates*)
 - ◆ Identificar el punto de desembocadura del río
 - ◆ Crear un nuevo campo con nombre acorde al parámetro, de tipo doble, longitud 19, precisión 11, y escala 11, que son las características por default.
 - ◆ Dar click derecho en el campo creado, escoger la opción *Calculate Values*, escribir la siguiente ecuación: $\text{Sqr} (((\text{"xdesembocadura"} - [x]) * (\text{" xdesembocadura"} - [x])) + ((\text{"ydesembocadura"} - [y]) * (\text{" ydesembocadura " } - [y])))$, donde el valor entre comillas es la coordenada del punto de desembocadura del río, y los decimales separados por comas.
 - ◆ Se identifica la mayor distancia, siendo esta la longitud axial.
- **Ancho promedio.**- Se encuentra dividiendo el área de la cuenca por su longitud axial, así:

$$\text{Ancho promedio} = \frac{\text{Área}}{\text{Longitud axial}} \quad \text{Ec 4.1}$$

- **Forma de la cuenca.**- Este parámetro es importante ya que permite relacionar el movimiento del agua y la respuesta de la cuenca al movimiento, permite también comparar las cuencas de tamaño, localización y características geológicas similares. La forma de la cuenca determina la velocidad con que el agua llega al cauce principal, desde el origen a la desembocadura. Este punto es difícil de expresar por medio de índices numéricos, sin embargo, se han propuesto varios coeficientes que permiten reconocer la organización del drenaje dentro de la cuenca y otros factores que afectan la hidrología de la corriente.

Algunos de los índices son:

- ◆ **Factor forma.**- Expresa la relación entre el ancho promedio y la longitud axial de la cuenca:

$$Ff = \frac{\text{Ancho promedio}}{\text{Longitud axial}} \quad \text{Ec 4.2}$$

Este índice permite tener una idea de la tendencia de la cuenca hacia las crecidas, por ejemplo una cuenca con factor forma bajo, es menos propensa a tener lluvias intensas y simultáneas sobre su superficie, que un área de igual tamaño con un factor de forma mayor.

- ◆ **Coefficiente de compacidad.**- Es el valor resultante de dividir el perímetro de la cuenca por el perímetro de un círculo de igual área que la cuenca, se obtiene mediante la siguiente fórmula:

$$Kc = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}} \quad \text{Ec 4.3}$$

Donde:

Kc= coeficiente de compacidad

P = Perímetro de la cuenca

A = Área de la cuenca.

Este coeficiente se encuentra relacionado con el tiempo de concentración, que es el tiempo que tarda una gota de lluvia en viajar desde la parte más lejana de la cuenca hasta el desagüe, que es cuando ocurre la máxima concentración de agua en el cauce, ya que llegan gotas de lluvia desde todos los puntos de la cuenca.

Dentro de este índice se tienen tres clases:

Tabla 4.2.- Índices de compacidad

Clase de forma	Rangos de clase	Forma de la cuenca
Kc1	1.0 a 1.25	Casi redonda a oval redonda
Kc2	1.25 a 1.5	Oval redonda a oval oblonga
Kc3	1.5 a 1.75	Ova oblonga a rectangular oblonga

Fuente.- Introducción al manejo de cuencas, Henao, 1988

La clase Kc1 es la más peligrosa, ya que las distancias relativas de los puntos de la divisoria con respecto a uno central, no presentan mayores diferencias y por lo tanto el tiempo de concentración disminuye, aumentando la posibilidad de que las ondas de crecida sean continuas.

- **Altitud de la cuenca.**- El estudio de la distribución de las elevaciones facilita el análisis del movimiento del agua en la cuenca. Las altitudes están directamente relacionadas con la precipitación y la temperatura, siendo esta última la que ejerce mayor influencia en la evaporación, pues aumenta o disminuye la pérdida de agua.

Existen dos métodos establecidos con este fin:

- **Altitud media.-** Puede obtenerse determinando el área entre curvas de nivel sucesivas y con la siguiente fórmula:

$$E = \frac{\sum a \times e}{A} \quad \text{Ec 4.4}$$

Donde

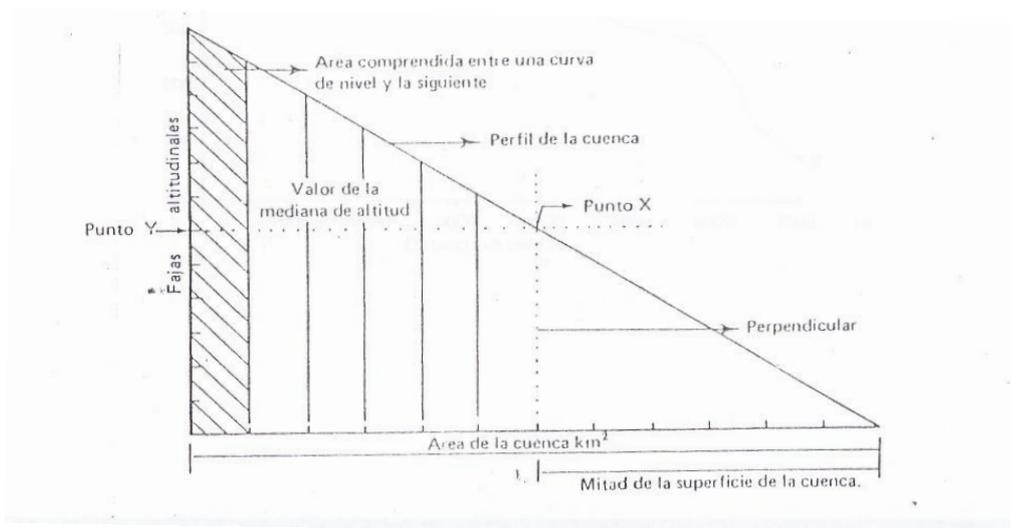
a = área entre un par de curvas de nivel dado

e = altitud media (rango entre curvas de nivel)

A = Área de la cuenca

- **Mediana de altitud.-** Para determinar este parámetro se utiliza una curva hipsométrica, la cual se obtiene de la siguiente manera: en un sistema de coordenadas, se coloca en el eje de las abscisas el porcentaje de área acumulada en cada curva de nivel y en las ordenadas la altitud de cada una de las curvas. En la mitad del eje de las abscisas se levanta una perpendicular que corta la línea de perfil de la cuenca en un punto X, a partir del cual se traza una paralela al eje de las abscisas, que corta al eje de las ordenadas en un punto Y, que viene a ser el valor de la *Mediana de altitud*. Este parámetro es mayor que el anterior, pero con muy poca diferencia.

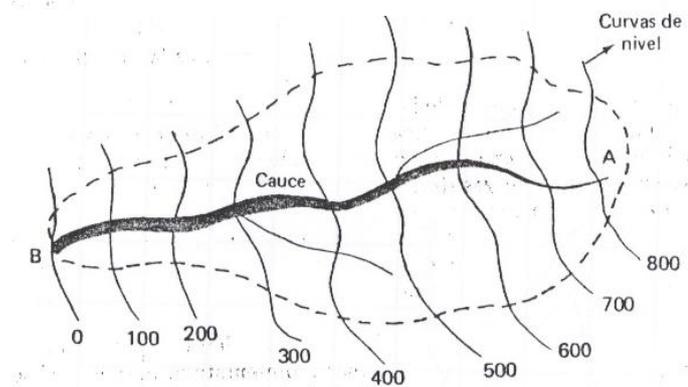
Fig 4.17.-Mediana de altitud



Fuente.- Henao, 1988

- **Pendiente de la cuenca.-** Se obtiene relacionando las diferentes alturas por donde pasa el río (curvas de nivel) con las distancias recorridas en metros, siguiendo la longitud del cauce principal. Fig 4.18

Fig 4.18.-Pendiente de la cuenca



Fuente.- Introducción al manejo de cuencas, Henao, 1988

Para términos prácticos de estudio se utiliza la *pendiente media*, este parámetro es importante, ya que el caudal máximo y el proceso de degradación de la cuenca están influidos por la configuración topográfica de la cuenca, ya que al aumentar la pendiente, aumenta la velocidad del agua, con lo que crece la capacidad de erosión y la cantidad y el tamaño de los materiales arrastrados. Las pérdidas de tierra también aumentan con de manera directamente proporcional a la pendiente, ejerciendo una compleja relación con la infiltración, el escurrimiento superficial, la humedad del suelo y el agua freática que llega al río.

Uno de los métodos para determinar el valor de la pendiente media es la siguiente expresión:

$$P_m = \frac{(P_1S_1) + (P_2S_2) + \dots + (P_nS_n)}{S_1 + S_2 + \dots + S_n} \quad \text{Ec 4.5}$$

Donde

P_m = pendiente media

P_1, P_2, \dots = Pendientes medias que caracterizan a las superficies S_1, S_2, \dots , comprendidas entre curvas de nivel contiguas.

S_1, S_2, \dots = Superficie entre curvas de nivel.

También puede calcularse de la siguiente manera:

$$Ir = \frac{HM - Hm}{1000 \times L} \times 100(\%) \quad \text{Ec 4.6}$$

Donde:

Ir= Pendiente media de un río (%)

HM= Altura máxima al nacimiento de un río (msnm)

Hm = Altura mínima del río a la salida de la cuenca.

L = Longitud del río o cauce principal (Km)

El siguiente cuadro es la clasificación en términos descriptivos de la pendiente media:

Tabla 4.3.-Rangos de pendientes

Pendiente media %	Relieve
0-3	Plano
3-7	Suave
7-12	Mediano
12-20	Accidentado
20-35	Fuerte
35-50	Muy fuerte
50-75	Escarpado
Mayor de 75	Muy Escarpado

Fuente.- Introducción al manejo de cuencas, Henao, 1988

La pendiente media es un parámetro que caracteriza el relieve de forma parcial, ya que, por ejemplo, el valor sería el mismo para una cuenca, que tenga una parte superior montañosa que se prolongue por un plano aluvial extenso, y otra, localizada en una meseta, donde su mayor extensión presenta pendientes suaves en el sector superior de la cuenca pero en la parte baja tiene un relieve quebrado, suponiendo que las dos cuencas tengan la misma área y presentan la misma proporción de superficie que tiene la misma pendiente media; entonces en estas condiciones los valores de pendiente media son los mismos, pero sus relieves son distintos y lógicamente influyen de diferente manera sobre los desplazamientos de tierra.

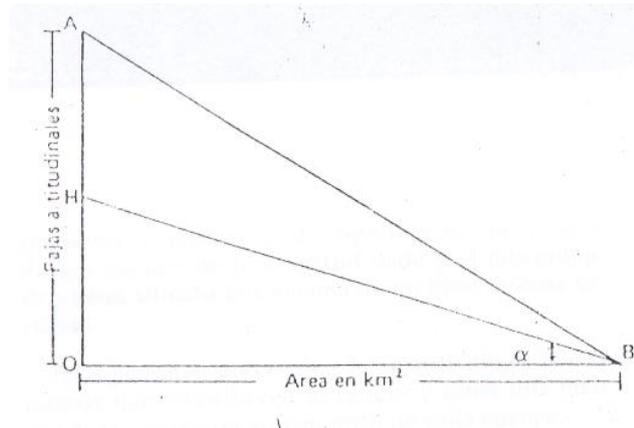
Por lo tanto, la pendiente media no es, por sí sola, suficiente para caracterizar el relieve, lo que hace necesario incluir coeficientes que reflejen más fielmente la influencia del relieve en la degradación de la cuenca, como el coeficiente orográfico.

Parámetros de relieve

Para definir este aspecto de la cuenca se utilizan tres índices:

- **Coefficiente de masividad de De Martonne.**- Es el resultado de dividir la altura media del relieve para la superficie, y es igual a la tangente del ángulo α , opuesto al lado OH del triángulo que representa la altura media de la cuenca.

Fig 4.20.-Coeficiente de Masividad



Fuente.- Henao, 1988

Este coeficiente aumenta, según aumenta la altura media del relieve y la superficie de la cuenca disminuye. Por lo tanto los valores altos, son para cuencas pequeñas y montañosas, y disminuye para cuencas extensas con poco relieve acentuado.

- **Coefficiente orográfico.**- Es la combinación entre la altura media y el coeficiente de masividad. De la siguiente forma:

$$Co = H \times tg \alpha \quad \text{Ec 4.7}$$

Donde:

Co = coeficiente orográfico

H = altura media

$tg \alpha$ = coeficiente de masividad

Este parámetro combina las dos variables esenciales del relieve: la altura y la pendiente, además caracteriza de un modo más completo el relieve.

Si dos cuencas tienen el mismo coeficiente orográfico, debido en un caso, a la altura media del relieve; y en el otro al coeficiente de masividad, es posible

suponer que el relieve ejerce la misma intensidad en las dos cuencas, en cuanto al grado de erosión se refiere.

- **Índice de masividad.-** Strhaler estableció un tipo especial de curvas hipsográficas relacionando en ellas el porcentaje de superficie de curva situado por encima de una altitud dada y el porcentaje de altitud situado por encima de un nivel base escogido. Estas curvas permiten determinar la repartición de masas rocosas del relieve y tener una imagen de la topografía en conjunto de cada cuenca. Por lo general hay dos tipos de estas curvas, que casi siempre tienen forma de S: aquellas que tienen un porcentaje considerable de su superficie por encima de la mediana de altitud corresponde a los sectores de altiplanicies, y aquellas cuya concavidad es más acentuada, corresponde a las vertientes cóncavo-convexas.
- **Orientación de la cuenca.-** Este parámetro es importante para conocer la cantidad de sol que recibe durante el día y el ángulo de los rayos solares. Las cuencas que tienen una orientación Norte-Sur, es decir, que su cauce principal corre hacia el norte o hacia el sur, no reciben insolación uniforme en las dos vertientes durante el día, en cambio, aquellas cuencas con orientación Este-Oeste, reciben insolación en las dos vertientes durante el día, esto influye en la evaporación, transpiración, etc.

Análisis morfométrico de la red de drenaje

- **Forma.-** Corresponde a la distribución de los tributarios que integran la red hidrográfica. El clima y el relieve del suelo son factores que influyen en el patrón de drenaje, pero la geología de la zona es el factor más relevante. Los patrones de drenaje tienen diversas formas, las principales son: (Ver Anexo A2)
 - Patrones de drenaje erosionales
 - Dendríticos
 - Subdendríticos
 - Paralelos
 - Subparalelo
 - Radiales
 - Anulares
 - Enrejado, trellis o rastrillado
 - Rectangular o anular
 - Patrones de drenaje deposicionales

- Meándricos
 - Trenzados
 - Rectos
 - Dicotómicos o tributarios
 - Multibasinal
- **Morfometría hidrográfica.-** Es el estudio de la disposición de los cauces, de las corrientes fluviales, y redes de drenaje, mediante índices numéricos.
- ◆ **Sistemas de drenaje.-** Es la distribución de los ríos, quebradas o arroyos.
 - **Clasificación según Schumm.-** Schumm da el número 1 a los escurrimientos menores, es decir, al que no pasa de ser tributario o talweg elemental, el río de segundo orden se forma de la unión de dos afluentes de primer orden, la confluencia de dos cursos de segundo orden da origen a uno de tercer orden, que puede a su vez tener otros afluentes de segundo y tercer orden, etc. El orden más elevado es el del cauce principal.

Fig 4.20.-Clasificación de drenajes según Schumm

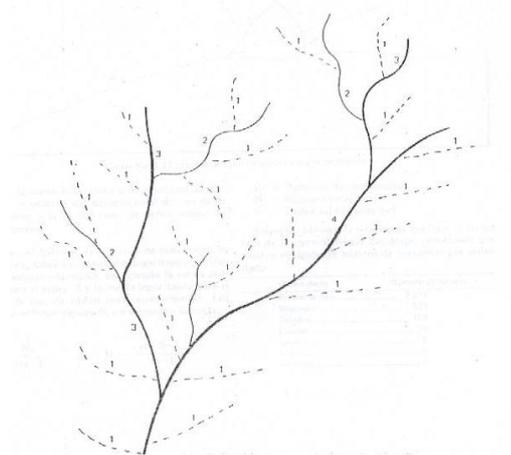


Fuente.- Henao, 1988

- **Clasificación según Horton.-** De acuerdo a Horton, los escurrimientos de primer orden son aquellos que carecen de tributarios, el segundo orden corresponde a aquellos que reciben por lo menos uno o varios tributarios del primer orden. El tercer orden, son los cursos de agua a los que les confluyen uno o varios

afluentes de segundo orden, pero el puede recibir directamente afluentes de primer orden y así de manera sucesiva, hasta la corriente principal de la cuenca considerada que posee el orden más elevado.

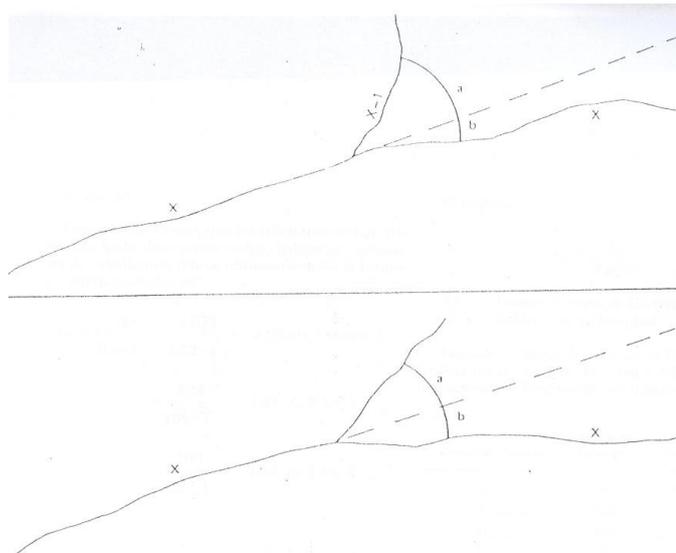
Fig 4.21.-Clasificación de drenajes según Horton



Fuente.- Henao, 1988

Para evitar el problema de distinguir entre un prolongamiento del brazo principal y un tributario, se siguen las siguientes normas: El brazo tributario es aquel que forma el ángulo más grande con la dirección general del río principal de la confluencia. El ángulo a es superior al ángulo b, el río que forma el ángulo con la dirección del río principal es de orden 1, el otro es de orden 2 como el río principal.

Fig 4.22.-Diferenciación de drenajes según Horton



Fuente.- Henao, 1988

En caso de que los dos afluentes formen el mismo ángulo se escoge como tributario al brazo más corto.

- **Ley de longitudes medias de los ríos.-** En una determinada cuenca las longitudes medias de los ríos de cada orden forman una serie geométrica directa cuyo primer término es la longitud media de los talwegs elementales de la cuenca y la razón es la relación de longitud rL , es decir la existente entre la longitud media de los ríos de un orden dado y la de los ríos del orden inmediato inferior. Se puede expresar mediante:

$$rL = \frac{L_x}{L_{x-1}} \quad \text{Ec 4.8}$$

Donde:

L_x = longitud media de los ríos de orden x

rL = relación de su longitud

- **Cálculo de la densidad de drenaje.-** Según Horton, la noción de densidad de drenaje para caracterizar cuantitativamente la red hidrógrafa de la cuenca aclara el grado de relación entre el tipo de red de drenaje y la clase de escurrimiento dominante.

La densidad de drenaje (Dd), es la relación de la longitud de todos los ríos de una cuenca con su superficie. El total de cursos de agua está dado por la suma de las longitudes de los talweg de cada orden encontrado en la cuenca, así se tiene la fórmula siguiente:

$$L_x = L_1 + L_2 + L_3 + L_n \quad \text{Ec 4.9}$$

En una cuenca en la que el orden del río principal es n ,

$$Dd = \frac{L_x}{A} \quad \text{Ec 4.10}$$

Donde:

Dd = densidad de drenaje de la cuenca

A = área de la cuenca

- **Coefficiente de Torrencialidad.-** Se utiliza principalmente para estudios de máximas crecidas ya que da una idea de las características físicas y morfológicas de un río.

$$\frac{N^\circ \text{ de cursos de agua de primer orden}}{\text{Área de la cuenca}}$$

$$I_t = Dd x$$

Ec 4.11

4.2.4 COMPONENTES ABIÓTICOS

4.2.4.1 AGUA

El agua es un componente esencial en una cuenca hidrográfica, por lo tanto la comprensión de su interacción del agua con los demás componentes es esencial para un correcto manejo de la misma. Los aspectos de estudio hidrológico en una cuenca son la cantidad (balance hídrico) y calidad del agua, sus usos actuales en la microcuenca y niveles de escasez, así como también conocer la existencia de acuíferos o reservorios en la zona.

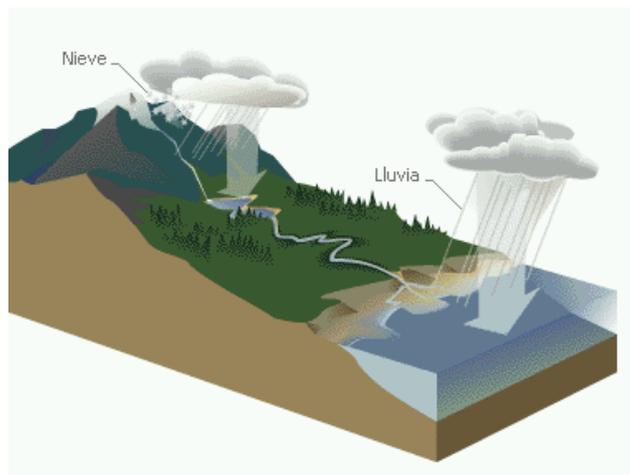
4.2.4.1.1 Aguas superficiales.- Es importante conocer las fuentes de agua superficial (ríos, lagos, quebradas, arroyos, etc.) en la cuenca en estudio, ya que muchos planes de manejo estarán orientados a resolver problemas con dichas fuentes, por ejemplo si estas se encuentran contaminadas o poluidas, si la cantidad de agua disponible no es la suficiente para cubrir los requerimientos de la población en determinada época, etc.

Conocer la mecánica del ciclo hidrológico es importante para comprender como se mueve el agua en la cuenca y que procesos afectan dicho movimiento y almacenamiento, este ciclo no es un sistema cerrado, pero es factible cuantificar ciertas entradas y salidas, que pueden ser estimadas mediante el cálculo del balance hídrico, que se analizará más adelante en este capítulo, y que resulta útil para comprender la hidrología de la cuenca. Es importante también no solo describir o cuantificar el ciclo hidrológico de la cuenca sino tener en cuenta como este ha sido afectado por las actividades antrópicas.

El ciclo hidrológico

Se puede empezar a describir el ciclo por el agua que se encuentra en la atmósfera en forma de vapor como resultado de la evaporación y que se precipita en forma de lluvia, nieve o granizo una vez que se ha condensado en las nubes. Fig. 4.23

Fig 4.23.-Ciclo hidrológico (fase 1)



Fuente.- Enciclopedia Encarta 2004

No toda el agua cae directamente al suelo, una parte es retenida por la vegetación, este proceso se conoce como *intercepción*. Una vez en la superficie terrestre el agua puede infiltrarse en el suelo, acumularse en pequeñas depresiones o fluir pendiente abajo hacia los ríos que la llevarán al océano, proceso que se conoce como escorrentía superficial, dependiendo de las características del suelo, como porosidad, permeabilidad, grosor y humedad. Fig. 4.24

Fig 4.24.-Ciclo hidrológico (fase 2)



Fuente.- Enciclopedia Encarta 2004

Fig 4.25.-Ciclo hidrológico (fase 3)



Fuente.- Enciclopedia Encarta 2004

La escorrentía depende, además de la tasa de evaporación, de la pendiente del terreno, de la naturaleza de las rocas y de la presencia o ausencia de manto vegetal, cuando las precipitaciones superan a la pérdida debida a la evaporación y transpiración, el excedente de agua sigue su curso en el sistema de drenaje y corre sobre la superficie del terreno. Sin embargo, su avance no es uniforme; es posible que las aguas se acumulen en lagos, suelos o como parte de las aguas subterráneas durante largos

periodos antes de fluir finalmente como escorrentía hasta alcanzar el canal de la cuenca.

Una parte del agua infiltrada en el suelo constituye su humedad y puede evaporarse directamente o penetrar en las raíces de las plantas, las cuales la devolverán a la atmósfera mediante la transpiración de sus hojas, la tasa de evaporación depende de variables como la intensidad de la luz del sol, la temperatura, la velocidad del viento, la existencia de vegetación, y la humedad del suelo, la otra parte seguirá hacia abajo hasta alcanzar la zona de saturación y formar parte de las aguas subterráneas, en lo que se conoce como percolación.

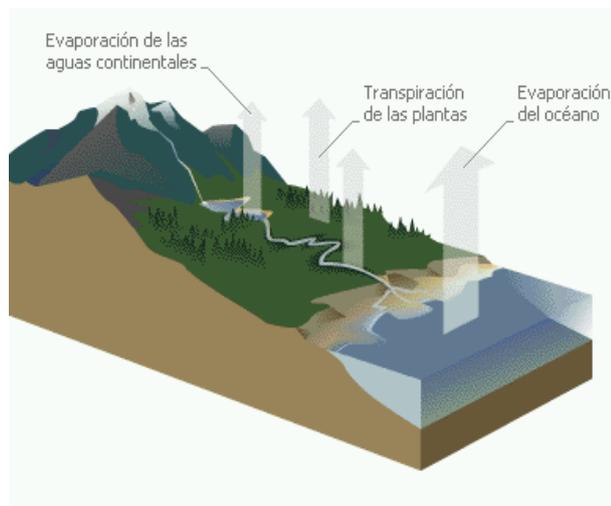


Fig 4.26.-Ciclo hidrológico (fase 4)
Fuente.- Enciclopedia Encarta 2004

Metodología

La determinación de fuentes de aguas superficiales es bastante sencilla, ya que puede hacerse directamente a partir de las cartas topográficas y de las fotografías aéreas que comprenden la zona en estudio; sin embargo es importante comprobar esta información en campo, para asegurar que la información que se posee es correcta, además si la determinación

de las fuentes se basa únicamente en cartas topográficas, es posible que, de acuerdo a la escala, ciertos drenajes no aparezcan en dichas cartas.

4.2.4.1.2 Aguas subterráneas.- De forma general el término *agua subterránea* se refiere al agua que se encuentra en la zona de saturación, en la que esta llena los poros del suelo, y desarrolla un papel importante dentro del ciclo hidrológico.

Es importante conocer la existencia de agua subterránea en la cuenca dada su importancia para la población que la habita, puesto que el agua subterránea es una fuente importante de agua para su consumo, en tiempos de sequía permite mantener el flujo de agua superficial, y además suele estar menos contaminada que el agua superficial.

El tipo de roca dominante de la cuenca determina la movilidad del agua subterránea, las capas permeables que tienen la capacidad de aportar un suministro útil de agua se conocen con el nombre de *acuíferos*, generalmente están formados por arenas, gravas, calizas o basaltos, por el contrario materiales como las arcillas, pizarras, morrenas glaciares y limos tienden a reducir el flujo del agua subterránea.

Los acuíferos se denominan libres, cuando el nivel de agua puede subir y bajar libremente, consisten en una zona impermeable que es la base de una capa permeable saturada de agua, sobre la cual hay una capa permeable sin saturar. El agua en este tipo de acuíferos fluye desde las áreas más altas hacia las bajas.

Cuando el estrato está cubierto por una capa impermeable, el acuífero se denomina confinado, y tiene poca o nula permeabilidad, y si está envuelto por estratos impermeables adyacentes y subyacentes, impiden al agua moverse más allá de la región confinada, dando lugar a las *cuencas artesianas*, en las cuales el agua está sometida a altas presiones, por lo que en los pozos abiertos en estas cuencas (pozos artesianos), el agua sube a la superficie sin necesidad de bombeo

El nivel freático oscila de acuerdo a la cantidad de agua existente en el acuífero, y eventualmente puede llegar al nivel superficial dando lugar a lagunas o aguas corrientes, los ríos se alimentan de aguas superficiales, sin embargo una importante proporción de su agua es subterránea. La recarga de las aguas subterráneas puede disminuir con una limitada infiltración, si se disminuye la permeabilidad del suelo, o con la canalización de los drenajes.

Las aguas subterráneas, a pesar de estar menos contaminadas que las superficiales, pueden contaminarse especialmente por actividades agrícolas, ya que por infiltración, muchos de los compuestos químicos que se usan como fertilizantes o plaguicidas pueden llegar al nivel freático.

Metodología

Una opción para determinar la existencia de aguas subterráneas en la cuenca en estudio es la utilización del Mapa Hidrogeológico del Ecuador, E 1:100000, que se puede conseguir en el edificio del MOP, que ya se mencionó antes, y que proporcionará la información suficiente de manera general para describir este recurso en la cuenca.

Sin embargo, para determinar la localización exacta de acuíferos en el caso de estudios especializados o puntuales, como en la determinación de volúmenes/flujo para un potencial abastecimiento de agua, determinación de la calidad del agua subterránea o de su grado de contaminación, etc será necesario hacer ensayos basados en métodos específicos, como los ensayos de resistividad, que consisten en hacer pasar corriente eléctrica a través de la geología y midiendo la caída de tensión, esta medida varía de acuerdo a la composición de la geología y al contenido de agua, las arcillas por ejemplo, tienen menos resistividad que las gravas y las arenas gruesas. Otro método es el de ensayos sísmicos, que consiste en enviar ondas de sonido a través de los estratos geológicos, y dependiendo del tiempo de regreso de las ondas se determina el estrato, es un método aproximado. El más preciso es la utilización de pozos y sondeos y de esta manera registrar el tipo de roca presente, este método se complementa con ensayos de bombeo.

4.2.4.1.3 Cantidad de agua.- La cantidad de agua disponible en una cuenca constituye uno de los parámetros más importantes en el manejo de los recursos, ya que de acuerdo a los resultados obtenidos de este análisis se estructurarán los planes más adecuados para la conservación de este recurso.

Medición de caudales

Es necesario conocer los datos de caudal máximo o de inundación, el caudal mínimo y el total anual y su variación con el fin de orientar diversos proyectos en la cuenca.

En este caso se pueden tener dos escenarios distintos:

- Que existan estaciones de aforo dentro de la cuenca, o datos sobre los caudales de la misma, en cuyo caso únicamente se procedería a la recopilación y tabulación de la información.
- Que no existan estaciones de aforo ni dentro de la cuenca ni en sus alrededores, en cuyo caso es necesario el trabajo de campo. Existen varias formas de medir el caudal de un drenaje, los métodos empleados más frecuentemente son:
 - ◆ *Aforos volumétricos.-* Que consisten únicamente en recibir agua en un recipiente de volumen conocido y tomar el tiempo en que este recipiente se llena, el caudal obtenido se calcula de la siguiente manera:

$$Q = \frac{V}{T} \quad \text{Ec 4.12}$$

Donde

Q= Caudal

V= Volumen del recipiente

T= Tiempo de llenado

- ◆ *Aforos con flotador.*- Que permite conocer el caudal mediante la determinación de la velocidad y el área transversal de un tramo dado del drenaje.

Para determinar la velocidad, se marca una distancia sobre una de las orillas entre dos puntos de referencia A y B, se suelta un flotador (pedazo de madera, corcho, etc) en el punto A, procurando que llegue a la mitad de la corriente, y se mide el tiempo que se demora en llegar hasta el punto B. Fig 4.27. La velocidad se calcula con la siguiente fórmula:

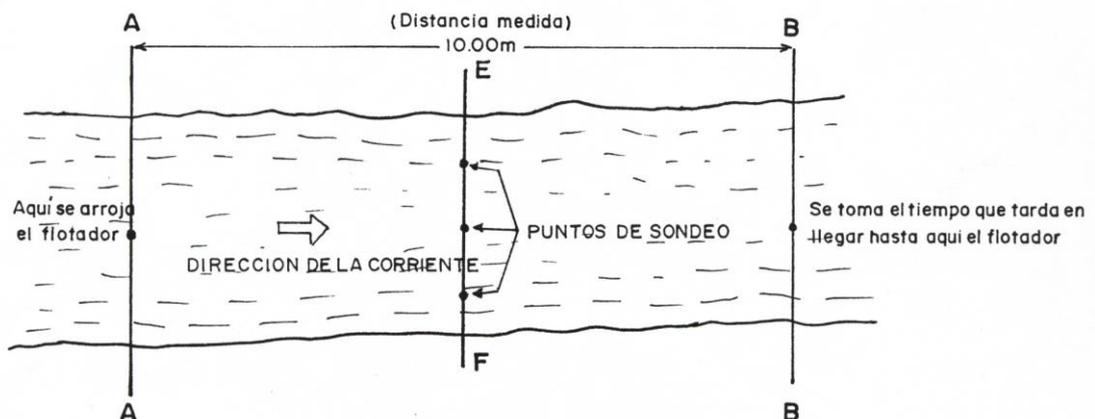
$$V = D/T$$

Donde

D= distancia recorrida por le flotador

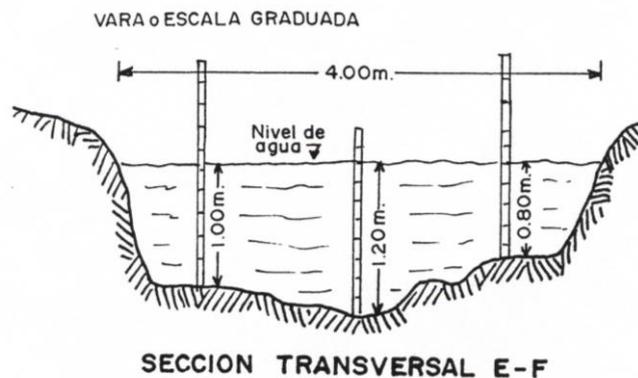
T= Tiempo en el que el flotador recorre la distancia D

Fig 4.27.-Aforo con flotador



Fuente.- Fundación Natura, 1990.
Para determinar la sección transversal del drenaje, en drenajes regulares, tanto en ancho como en profundidad se escoge una sección E-F entre los puntos A y B, se mide el ancho del drenaje en esa sección, y mediante el uso preferiblemente de escalas graduadas (que pueden ser reemplazadas por varas) se hace un sondeo de la profundidad. Fig 4.28

Fig 4.28.-Sección transversal de un cauce



Fuente.- Fundación Natura, 1990.

La profundidad media será el promedio aritmético de los valores obtenidos, y el área o sección transversal será:

$$A_m = P_m \times D \quad \text{Ec 4.13}$$

Donde

A_m = Área transversal media

P_m = Profundidad media

D = Ancho del drenaje

Una vez obtenidos estos datos se puede calcular el caudal mediante la siguiente fórmula:

$$Q = AmV$$

Ec 4.14

Donde:

Q= caudal en volumen

Am= Area transversal media

V= Velocidad del cauce

- ◆ *Aforos con molinete* .- El molinete es un dispositivo que tiene una hélice susceptible de rotación con el movimiento del agua , un escandallo o lastre para estabilizarlo y un contador que registra el número de vueltas de la hélice en un determinado tiempo; a mayor tiempo, mayor precisión. Fig 4.29

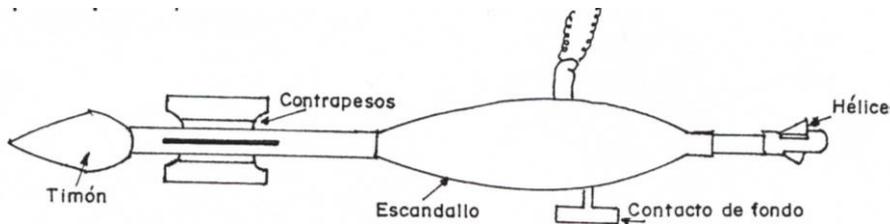


Fig 4.29.-Molinete

Balance hídrico

Como ya se mencionó, el conocimiento del ciclo hidrológico es muy importante en el manejo de una cuenca, ya que representa las pérdidas y ganancias de agua de la misma. Dichas pérdidas y ganancias pueden representarse mediante el balance hídrico, que es la contabilidad cuantitativa de agua de la cuenca, con la siguiente relación:

$$\text{Ganancias} = \text{Pérdidas} \pm \text{Cambio en el almacenamiento} \quad \text{Ec 4.15}$$

Donde:

Las Ganancias están constituidas de manera general únicamente por la precipitación (en todas sus formas), aunque a veces es posible que existan importes de agua de otras cuencas mediante canales.

Las Pérdidas incluyen la evapotranspiración, el flujo subterráneo y la salida de agua a otras cuencas mediante canales.

El Cambio en Almacenamiento incluye la humedad del suelo, aguas subterráneas profundas, lagos, lagunas, etc. Este cambio es importante en períodos de tiempo cortos (semanas, meses), pero resulta insignificante en períodos anuales o más largos.

Especificando lo mencionado anteriormente la ecuación para el balance hídrico de la cuenca se tiene:

$$Q = P - D \pm \Delta R \quad \text{Ec 4.16}$$

Donde

Q= escurrimiento en el período considerado

P= precipitación

D= pérdidas de agua que no son escurrimiento, como la Interceptación (I), Evaporación (E) y Transpiración de las plantas (T), siendo entonces:

$$D = I + E + T \quad \text{Ec 4.17}$$

ΔR =cambio en la cantidad de agua almacenada en la cuenca en el período, y que puede darse en el almacenamiento de la superficie (lagos, represas, nieve), en la retención del suelo (humedad) y en el agua subterránea.

La ecuación de balance sería entonces:

$$Q = P - (I + E + T) \pm \Delta R \quad \text{Ec 4.18}$$

Otro método para el cálculo del balance hídrico es el planteado por Thornwaite, y se basa en la conservación de masa de un sistema hidrológico promedio, suponiendo que no hay flujo entre cuencas:

$$P = R + E \pm \Delta S \pm \Delta G \quad \text{Ec 4.19}$$

Donde

P= precipitación

R= escorrentía

E=evaporación

ΔS = cambio en la humedad del suelo

ΔG = cambio en el nivel de agua subterránea

Si la ecuación 4.17 se promedia para todo el ciclo hidrológico, es posible reducir ΔS y ΔG a cero, la ecuación sería por lo tanto:

$$P = R + E \quad \text{Ec 4.20}$$

Y por lo tanto

$$E = P - R \quad \text{Ec 4.21}$$

Esta última ecuación puede usarse para determinar la evaporación a partir del balance hídrico en sistemas cerrados.

El balance hídrico es un elemento muy útil para la determinación del manejo de una cuenca, ya que permite analizar la interacción de los componentes del ciclo hidrológico y sus tendencias, así por ejemplo, si se propone un cambio de uso en el suelo de una cuenca, de pastos a bosque, la evaporación aumentaría, debido a que la tasa de transpiración de un bosque es mayor que la de un pastizal, reduciendo el agua de escorrentía y afectando los usos de la misma.

4.2.4.1.4 Calidad del agua.- La calidad del agua depende de la hidrología, las características físicas y químicas y la biología del curso de agua en estudio, las condiciones hidrológicas por ejemplo determinan el origen, la cantidad de agua y el tiempo de permanencia, factores que influyen en que tipo de sales contendrá el agua.

La calidad del agua es un parámetro importante en el manejo de este recurso, ya que permite determinar cuales son los usos más apropiados de acuerdo a sus características, protegerla o mejorarla a menudo puede incluir protección y restauración de las cuencas, si un agua está contaminada es necesario conocer que procesos están alterando su calidad, para de esta manera poder mejorarlos o eliminarlos.

El número de muestras necesarias para la determinación de la calidad del agua está en función de los recursos económicos, de personal y de tiempo, de cualquier manera es necesario que los puntos de toma de muestra sean representativos de la situación de toda la cuenca. Es recomendable realizar el muestreo en una época de caudal escaso y temperatura elevada. Para localizar los puntos de muestreo es necesario tomar en cuenta la posición de las descargas de contaminantes, las características del cauce y las condiciones de autopurificación de la corriente.

Los parámetros más utilizados para determinar la calidad de las aguas son:

- *Oxígeno disuelto.-* Este parámetro es un factor importante en los procesos metabólicos de la vida acuática, y es un factor determinante en la capacidad de autopurificación del agua. Su concentración está en función de la temperatura del agua y de la presión atmosférica. Es recomendable realizar este análisis en campo, ya que la muestra puede variar por acción de la actividad microbiológica, si no es posible entonces se debe fijarlo después de recoger la muestra.
- *pH.-* Se usa para determinar la acidez o alcalinidad del agua, e influye en el desarrollo de la vida acuática. Este parámetro depende en parte de las concentraciones relativas de compuestos, y pueden ser por lo tanto afectados por procesos tanto naturales como humanos.

- *Temperatura.*- Este parámetro es muy importante ya que influye en el valor de saturación de la concentración de oxígeno disuelto y el metabolismo de la biota acuática. Debe ser medido en campo.
- *Conductividad.*- Determina la habilidad del agua para conducir una corriente eléctrica que varía con la concentración y tipo de los iones presentes en el agua.
- *Contenido de sólidos.*- Los sólidos contenidos en el agua se clasifican en:
 - ◆ *Sólidos totales.*- Es la suma de los sólidos disueltos y los sólidos en suspensión.
 - ◆ *Sólidos en suspensión.*- Son principalmente sólidos coloidales.
 - ◆ *Sólidos disueltos.*- Están formados por sales que se han disuelto en el agua.
 - ◆ *Sólidos decantables.*- Son los sólidos susceptibles de sedimentación.
- *DBO.*- Es la cantidad necesaria para la degradación u oxidación biológica de la materia orgánica presente en el agua, por lo tanto permite establecer el contenido de la misma.
- *Compuestos de nitrógeno y fósforo.*- Estos elementos son esenciales en el crecimiento de plantas y bacterias acuáticas, por lo que se conocen con el nombre de nutrientes. Los compuestos de nitrógeno que intervienen en la determinación de la calidad del agua son los nitritos y nitratos, y los compuestos de fósforo son los fosfatos. Estos pueden verse alterados por cambios en la vegetación, suelo, caudal, etc. Las actividades humanas pueden incrementar la concentración de nutrientes en el agua produciendo un crecimiento exagerado de plantas, que puede conllevar a la eutrofización del agua.
- *Bacterias patógenas.*- Los microorganismos más utilizados en la determinación de la calidad del agua son los coniformes fecales, que por lo general surgen como el resultado de la descarga de aguas residuales en un cauce, o también por fuentes naturales como la congregación de animales en determinado punto de la cuenca. La especie *Escherichia coli* es de especial cuidado ya que puede causar enfermedades gastrointestinales.
- Es *importante* indicar que dependiendo del uso que se le esté dando al agua, serán necesarios también otros análisis, como la medición de TPH (Hidrocarburos Totales de Petróleo), metales pesados (Plomo, Arsénico, Mercurio, Zinc, etc), sobre todo en aguas de uso industrial.

Otra forma de determinar la calidad del agua, es la utilización de bioindicadores o indicadores biológicos.

Los bioindicadores son colonias de organismos existentes en la naturaleza cuyo comportamiento se encuentra estrechamente ligado a situaciones específicas del entorno, por este motivo pueden ser utilizadas como verdaderos índices de éste, puesto que por su naturaleza reaccionan mucho más rápido que el ser humano a modificaciones externas del medio ambiente; por lo tanto la metodología de los bioindicadores nos permite obtener información acerca del estado de conservación de flora, fauna y agua a través del análisis de ciertos grupos de organismos que cumplen con determinadas características, además tienen la capacidad de distinguir entre cambios naturales y cambios provocados por la actividad del ser humano.

Bioindicadores de la calidad del agua

- **Macroinvertebrados acuáticos.-** Como su nombre lo indica son organismos que carecen de vértebras y viven en sistemas acuáticos, generalmente viven adosados al fondo, sobre entre o bajo el sustrato mejor conocidos como **bentos**, como una forma de clasificarlos se los considera macroinvertebrados cuando miden más de 0.2 mm, lo que los hace visibles al ojo del humano sin ayuda de aparatos de aumento, tomando como referencia las tramas de las redes usadas durante el estudio.

Entre los grupos de representantes más comunes de macroinvertebrados se encuentran las larvas de insectos principalmente además de pequeños moluscos, crustáceos, sanguijuelas, etc.

Desde el punto de vista de la contaminación los macroinvertebrados se clasifican en tres categorías generales:

- ◆ **CLASE 1:** Son indicadores de **agua limpia**, muy sensibles a los cambios que se producen en el entorno, dentro de esta clase tenemos los órdenes: *Ephemeroptera*, *Plecoptera* y *Trichoptera*.
 - **Ephemeroptera.-** Insectos de aspecto blando, grandes ojos y antenas muy pequeñas, generalmente habitan en aguas de corrientes limpias y bien oxigenadas, salvo algunas especies que parece se adaptan a algún grado de contaminación; en estado de larva su desarrollo es lento (hasta de 3 años), se las conoce como ninfas acuáticas pues tienen una vida muy corta en estado adulto (aladas), de horas, hasta 3 o 5 días en el aire, en estado ninfal generalmente se las encuentra adheridas a rocas, troncos, hojas o vegetación sumergida; las ninfas se alimentan de algas y tejidos de plantas acuáticas y estas a su vez sirven de alimento a los peces.

- **Plecoptera.-** Insectos de tamaño mediano cuerpo blando, antenas filiformes, poseen alas membranosas que mantienen plegadas en plano sobre el abdomen cuando están en reposo, de ahí su nombre, son malos voladores, ninfas acuáticas con branquias filamentosas en penachos; las larvas viven en el agua debajo de las piedras, son excelentes bioindicadores del estado de contaminación del agua, puesto que hay especies que casi no la resisten. Las larvas suelen alimentarse de detritos o ser filtradoras e incluso depredadoras o al igual que las ninfas ser fitófagas.
- **Trichoptera.-** insectos con 2 pares de alas cubiertas de pelos que mantienen plegadas cuando están en reposo. Las larvas acuáticas construyen estuches con piedrecillas, tallos, etc, se alimentan material vegetal y algas son malos voladores nocturnos. La mayoría viven en aguas corrientes y limpias, debajo de las piedras, troncos y material vegetal, algunas especies viven en aguas quietas de remansos de quebradas y ríos.
- ◆ **CLASE 2.-** Son indicadores de agua medianamente limpia, generalmente son tolerantes a la contaminación orgánica. En este grupo tenemos algunos Trichoptera, Odonata, aunque los más representativos son algunos Diptera.
 - **Odonata.-** *Son insectos depredadores poseen grandes ojos y antenas muy pequeñas, de alas rígidas, ágiles y rápidos voladores; el desarrollo de su ciclo vital está bien definido en dos fases: larvas e insectos voladores, un ejemplo de éstos son los caballos del diablo y las libélulas. Su habitat comprende pantanos, pozos, márgenes de lagos corrientes lentas y poco profundas, generalmente rodeadas de mucha vegetación acuática.*
 - **Diptera.-** Insectos con un solo par de alas hábiles y un segundo par de alas atrofiadas usadas para balancear su cuerpo cuando vuelan, se las encuentra en ríos, arroyos, lagos, a todas las profundidades, en depósitos de agua, orificios de troncos.

- **Trichoptera.-** Insectos con dos pares de alas cubiertas de pelo, son malos voladores, nocturnos y sus larvas suelen construir canutos portátiles.
- ◆ **CLASE 3.-** Se encuentra en medios contaminados por materia orgánica, en este orden se encuentra la familia Annelida y Chiromidae.

Índices

- **Índice BMWP.-** El Índice BMWP (Biológica Monitoring Working Party modificado) se basa en la identificación de una comunidad de macroinvertebrados que actúa como sensor ambiental. Se computa sumando las puntuaciones asignadas a los distintos taxones encontrados en las muestras de macroinvertebrados. La mayor o menor puntuación asignada a un taxón está en función de su mayor o menor sensibilidad a la contaminación orgánica. (Departamento de Ordenación del Territorio y Medio Ambiente. 2003).
- **Análisis EPT** (Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera).- El análisis EPT se hace mediante el uso de tres grupos de macroinvertebrados que son bioindicadores de la buena calidad del agua porque son más sensibles a los contaminantes. Estos grupos son: Ephemeroptera, Plecoptera, y Trichoptera.

Una vez identificados los diferentes grupos de macroinvertebrados, se suma todos los individuos (abundancia total); luego se registran los individuos ETP presentes, este resultado se divide para la abundancia total de individuos y este valor se multiplica por cien para sacar el porcentaje, luego se compara con el cuadro de calificaciones. Tabla 4.4. (Carrera, C y Fierro.K. 2001).

Tabla 4.4.- Criterio de Calidad Ecológica ETP

Criterio ETP	
75-100	Muy Buena
50-74	Buena
25-49	Regular
0-24	Mala

Índices de calidad de agua

En el caso de la legislación ecuatoriana el Texto Unificado de la Legislación Secundaria (TULAS), en el Libro VI Anexo I, describe la calidad requerida del agua para cada uso, en base a la cual se puede hacer una estimación de la calidad del agua de la cuenca en estudio, sin embargo no presenta ningún índice de calidad de agua que permita hacer un cálculo directo.

Una alternativa que puede ser usada en este caso es el Índice de Calidad de Agua (WQI, Water Quality Index), que fue desarrollado en los años 70, y se basa en los siguientes parámetros:

- DBO
- Oxígeno Disuelto*
- Coliformes fecales
- Nitratos
- pH
- Cambio de temperatura
- Sólidos disueltos
- Fosfatos
- Turbidez

Una vez medidos estos parámetros se obtiene un valor "Q" del gráfico correspondiente a cada parámetro (Ver Anexo A3.1), el cual se multiplica por un peso que indica la importancia relativa de cada uno (Ver Anexo A3.2), y finalmente se suman estos valores obteniendo un total entre 0 y 100, que indica la calidad del agua de acuerdo a la siguiente tabla:

Tabla 4.5.- Índice de calidad de Agua

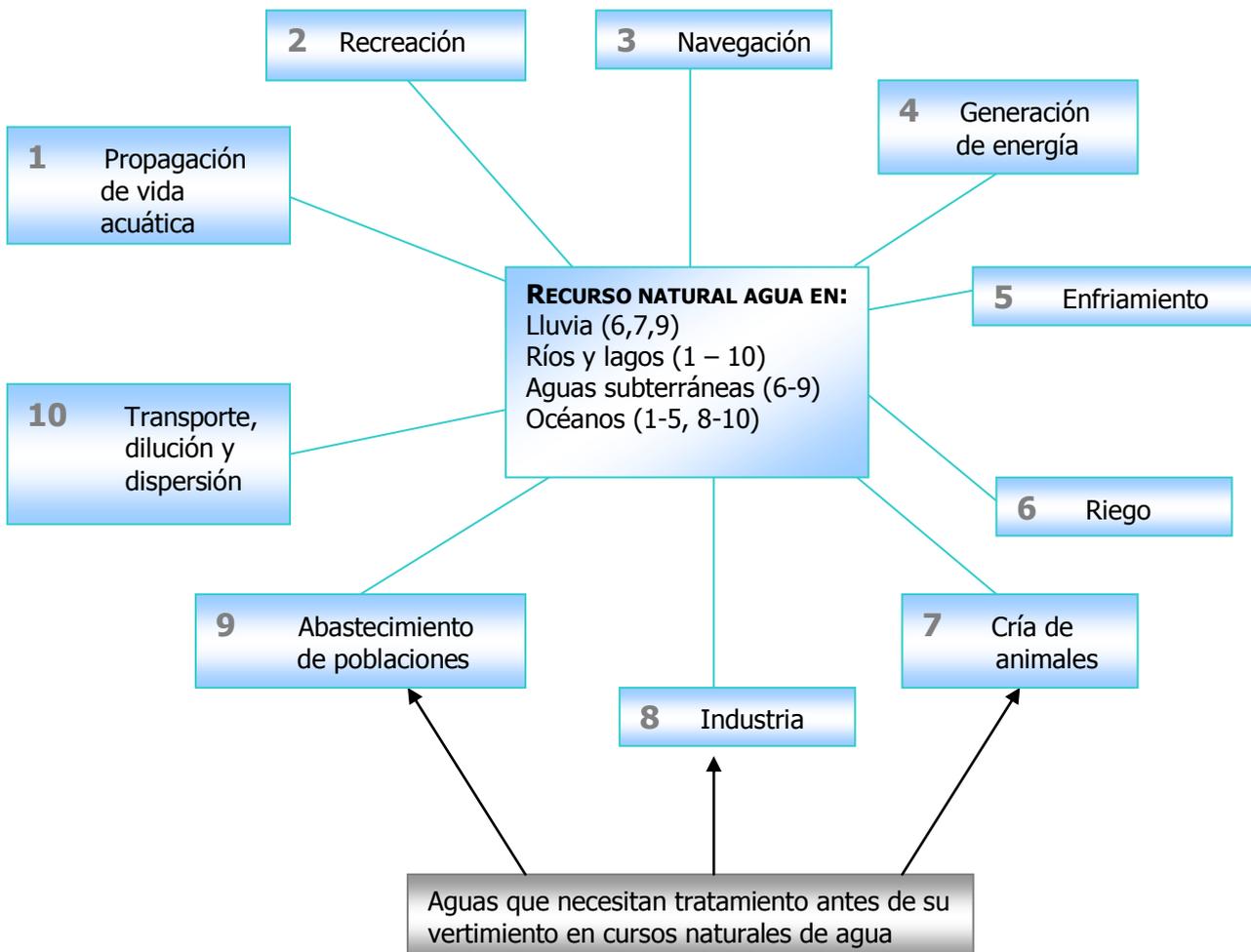
Índice de Calidad de Agua	
91-100	Excelente
71-90	Buena
51-70	Mediana
26-50	Regular
0-25	Mala

Fuente.- http://www.nsf.org/consumer/just_for_kids/wqi

4.2.4.1.5 Usos del agua.- Un uso incorrecto del agua puede alterar sus características y el ciclo hidrológico, muy pocas veces el agua en estado natural satisface todas las necesidades de la población, por lo que siempre se hace necesario construir obras de ingeniería como canales, represas, tuberías, etc., que permitan cumplir los requerimientos de agua, alterando así sus condiciones naturales.

El agua ha representado desde la antigüedad un recurso de suma importancia para el ser humano, ya que es vital para su desarrollo, y se le ha dado una gran variedad de usos, el siguiente cuadro constituye un resumen de ellos:

* Para el cálculo del WQI es necesario tener la concentración de OD en porcentaje de saturación. La tabla de transformación de mg/lit a porcentaje de saturación de oxígeno disuelto se encuentra en el Anexo A3.3

**Fig 4.30.- Usos y fuentes de agua**

Fuente.- Apuntes de la cátedra de Manejo de Cuencas Hidrográficas

El uso de agua en la cuenca se puede determinar haciendo visitas a las poblaciones que aprovechan este recurso, mediante encuestas o talleres participativos con la comunidad, y con visitas de campo en general.

4.2.4.2 SUELOS

El suelo es el resultado de la interacción de procesos físicos, químicos y biológicos. Es un componente muy importante en una cuenca ya que es el sustento de la vegetación. Tanto su composición química como su estructura física varían están en función del material geológico que lo originó, la cubierta vegetal de la zona, la meteorización, la topografía y la influencia de la actividad antrópica, ya que actividades como la agricultura privan al suelo de su cobertura vegetal natural, haciéndolo susceptible a la erosión, además la mala práctica hace que el suelo pierda sus nutrientes volviéndolo inútil en un determinado tiempo.

Conocer la textura y composición del suelo es primordial en el manejo de cuencas, ya que este análisis permitirá establecer el correcto uso del mismo, tratando de disminuir al máximo las actividades que perjudiquen la calidad de este recurso, por ejemplo, muchas de las actividades antrópicas aceleran el proceso de erosión, o compactan el suelo reduciendo su permeabilidad.

4.2.4.2.1 Clasificación.- Para determinar la clasificación del suelo en la cuenca se puede recurrir a los mapas de suelos existentes en el país, se encuentran disponibles a escalas 250000 y 50000 (de ciertas zonas), sin embargo la escala puede constituir un problema sobre todo en microcuencas, en las que escalas muy grandes no aportan el detalle necesario, en estos casos será necesaria la comprobación de campo, haciendo análisis de suelos y luego comparando los resultados con el mapa, otra opción viable es la comparación con fotografía aérea de la cuenca, el límite entre unidades de suelo puede aproximarse de acuerdo a los cambios en el tipo de vegetación que pueden apreciarse, después de hacer estos análisis es bastante probable que se deba hacer ajustes en los límites de las unidades de suelo. Es importante tomar en cuenta que la precisión con la que se haga el mapa de suelos dependerá de la información base que se utilizó con este fin.

Los suelos pueden clasificarse de acuerdo a varios criterios, una de las clasificaciones más sencillas es aquella que se hace de acuerdo al perfil, que permite conocer el origen y evolución del suelo.

Clasificación de acuerdo al perfil

Suelos con perfil A-C

Este tipo de suelo se caracteriza porque el horizonte A, que contiene materia orgánica, se halla directamente sobre las rocas en proceso de desintegración.

Son suelos poco evolucionados como litosoles, vertisoles y andosoles. Son suelos pobres y únicamente sustentan vegetación herbácea o arbustiva, en zonas frías sólo crecen musgos y líquenes. Sobre los vertisoles también puede crecer vegetación xerofítica. Los andosoles son una excepción en este grupo, ya que por haberse originado sobre rocas ricas en calcio, fósforo y potasio, y por lo tanto es un suelo fértil.

Suelos con perfil A-B-C

De acuerdo al horizonte B se dividen en tres grupos:

- a) Suelos en los que el horizonte B es arcilloso, con mezcla de humus.
- b) Suelos en los que el horizonte b es acumulación de arcilla cristalina, debido al lavado que ejerce el agua; son suelos lixiviados.

- c) Suelos en los que el horizonte B tiene acumulación de humus, óxidos de aluminio, hierro, fósforo en proceso de transformación. Estos suelos se llaman podosoles, que se forman especialmente en zonas húmedas, con lluvia abundante y vegetación exuberante. Son los suelos que con mayor frecuencia se hallan.

Soil taxonomy

En el año de 1972, después de varias aproximaciones se llegó a la séptima aproximación de clasificación de suelos, en la que se llegaron a definir unidades de suelos medibles y observables, y los agruparon en 10 órdenes de suelos.

A pesar de ser esta una clasificación bastante complicada, es la que se utiliza en los mapas de suelos existentes en el país; la Soil Taxonomy está estructurada en niveles jerárquicos que son de mayor a menor:

- Orden,
- Suborden,
- Gran Grupo y
- Subgrupo,

luego van los rangos inferiores como

- familia,
- serie y
- Fases de series.

Cada uno de los rangos superiores tiene asociado elementos formativos, que pueden combinarse de distintas formas para nombrar los suelos.

Los 10 órdenes de suelos son:

Tabla 4.6.- Ordenes de Suelos

NOMBRE	ELEMENTO FORMATIVO	CONCEPTO
Alfisol	alf	Mas evolucionado
Aridisol	id	Árido
Entisol	ent	Reciente
Histosol	ist	Histico (materia orgánica)
Inceptisol	ept	Desarrollo incipiente

Mollisol	oll	Negro (con materia orgánica)
Oxisol	ox	Óxidos
Spodosol	od	Cenizas orgánicas
Ultisol	ult	Ultimo
Vertisol	ert	Invertido

Elaboración.- Autores

En los subordenes hay dos sílabas, la primera generalmente representa las propiedades diagnosticadas en el suelo, la segunda representa el elemento formativo del orden, por ejemplo Aquents (agua), fluents (río).

En los gran grupos, se añade un prefijo al suborden que determina a veces propiedades diagnosticadas en los suelos, tiene tres o cuatro sílabas, por ejemplo criofluent (de frío) o torrifluent (de caliente y seco).

En los subgrupos se antepone un prefijo que sirve para clasificar mejor la característica del gran grupo como Tepic (el más representativo) o Lithic (con menos de 50 cm de profundidad)

Las familias se identifican por:

- Clases texturales
- Clases mineralógicas
- Clases de temperatura
- Clases de humedad
- Clases de pendiente

Las series son identificadas por un nombre característico del sitio donde es representativo el suelo.

Finalmente puede haber fases de series en las que se presenta alguna característica especial del suelo como presencia de piedras.

Las características más representativas de cada orden son:

Tabla 4.6.- Características de los órdenes

ORDEN	CARACTERÍSTICAS	FERTILIDAD
Entisoles (Suelos recientes)	■ Son suelos jóvenes de reciente desarrollo, no tienen horizontes diagnósticos, sólo un horizonte	Buena

	<p>orgánico hecho por el hombre.</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Se localizan indistintamente en cualquier parte de nuestro país. ■ Su principal uso es para bosques o pastos, son propensos a la erosión. 	
<p>Vertisoles (Suelos que se expanden y contraen, forman grietas)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ■ No tienen horizontes diagnóstico, son oscuro arcillosos (arcilla montmorillonita). ■ Se expanden durante la época lluviosa y se contraen durante la época seca, formando grietas por donde se introduce el suelo superficial. ■ Se distribuyen en zonas con marcados períodos secos y lluviosos, en el caso de nuestro país en gran parte de la costa ecuatoriana. ■ Su mejor uso es para pastos y con cultivos cuando disponen de riego. 	Buena
<p>Inceptisoles (Suelos en desarrollo)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ■ Sólo tiene un horizonte. ■ Se localizan en lugares en los que hay materiales recientes, en nuestro país se ubican en zonas volcánicas y áreas aluviales 	Variable
<p>Aridisoles (Suelos de regiones áridas)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ■ Erroneamente se cree que son suelos arenosos, rocosos, sin vegetación. ■ La mayoría se localiza en las zona intertropical y templada, en el caso del Ecuador, se encuentran en las provincias de Manabí y del Guayas. 	Buena con riego
<p>Mollisoles (Suelos desarrollados profundos oscuros)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ■ Son suelos fértiles, ricos en materia orgánica. ■ Su mayor distribución está en América y Europa. En nuestro país están en parte de la Sierra y Costa. ■ Pueden usarse para cultivos de alto rendimiento. 	Excelente
<p>Spodosoles (Suelos con subsuelo de acumulación de humus)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ■ Son suelos bien desarrollados, ácidos, poco fértiles, con horizonte de acumulación de humus. ■ Se localizan en regiones intertropicales y templadas, no han sido identificados en nuestro país. 	Buena
<p>Alfisoles (Suelos de planicies antiguas)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ■ Se localizan principalmente en las zonas tropicales e intertropicales, en el Ecuador se encuentran en la antigua llanura de inundación del sector de arenillas y en la 	Deficiente Requiere fertilizantes

Península de Santa Elena.		
Ultisoles (Suelos antiguos, lavados)	<ul style="list-style-type: none"> ■ Se distribuyen en las zonas tropicales y templadas, en el país se encuentran en áreas antiguas en las provincias de Azuay y Loja. ■ 	Deficiente Requiere fertilizantes
Oxisoles (Suelos ricos en arcilla kaolinítica)	<ul style="list-style-type: none"> ■ Suelos bien desarrollados, de color amarillo rojizo, ricos en óxidos de hierro y aluminio con predominio de arcilla kaolinítica. ■ Se localizan en áreas tropicales e intertropicales, en el país se encuentran en áreas antiguas de las provincias de Loja y El Oro. ■ Se usan para cultivos tropicales. ■ 	Deficiente Requiere fertilizantes
Histosoles (Suelos orgánicos)	<ul style="list-style-type: none"> ■ De áreas escasamente drenadas, son suelos ácidos. ■ Se localizan en las zonas con drenaje restringido, en el país se encuentran en los páramos. ■ Se usan para pastizales, para su cultivo es necesario hacer obras de drenaje y manejar la materia orgánica. 	Variable

Elaboración.- Autores

4.2.4.2.2 Características del suelo.- Las características del suelo varían en una amplia gama de acuerdo a los materiales de origen, las principales son:

Color

El color, por ejemplo, es uno de los aspectos más visibles, los suelos oscuros, que deben su coloración a la materia orgánica presente, serán obviamente más fértiles que aquellos de color claro, un suelo de color rojizo, puede ser el resultado de los óxido de hierro que no han sido sometidos a humedad excesiva, por lo tanto son suelos bien drenados, adecuadamente húmedos y fértiles, los suelos de color amarillento por otro lado, indican óxidos de hierro que han reaccionado con agua y por lo tanto no están bien drenados, los suelos de color grisáceo pueden tener deficiencias de hierro u oxígeno, o un exceso de sales alcalinas, como por ejemplo el carbonato de calcio.

Textura

La textura del suelo depende de la proporción en la que se encuentran las partículas de distintos tamaños, dichas partículas pueden ser arenas con un tamaño comprendido entre 2 y

1/6mm; limos con un tamaño de 1/16 a 1/256mm y la arcilla con un tamaño inferior de 1/256mm. En el caso de nuestro país, la mayor variación de texturas que se ha encontrado es en la provincia del Guayas, en la zona aluvial, con un total de 6.

La textura de los suelos, de acuerdo al contenido de las partículas, puede ser:

- *Arenosos.*- Son aquellos cuyo contenido de arena es de aproximadamente el 10%, siendo el resto de los componentes, limo y arcilla. Son suelos muy permeables, no tienen capacidad de retención de agua por lo que son secos, y pierden fácilmente minerales por lixiviación. La vegetación que crece en este tipo de suelo es escasa, sin embargo son fáciles de trabajar, y con un riego apropiado se puede obtener cultivos como alfalfa, ajo, cebolla, yuca, camote y chochos.
- *Franco.*- Son aquellos que tienen las mayores variaciones en sus componentes, y por lo tanto los más difíciles de estudiar, se consideran suelos con proporciones similares de arena, limo y arcilla, en el caso del predominio de alguno de los componentes será un suelo franco arenoso, franco arcillosos, respectivamente. Estos suelos se consideran ideales para la agricultura, ya que tienen un buen drenaje, aireación, estructura, etc.
- *Arcillosos.*- Son suelos con predominio de arcilla, alrededor del 40%. Si el material que le sigue en cantidad es la arena, por ejemplo, se tendría un suelo arcillo arenoso. Con agua se torna pantanoso, pero una vez seco se agrieta, es pesado para trabajar ya que se adhiere a las herramientas, pero es adecuado para pastos y cereales.

De acuerdo a las distintas combinaciones de los materiales los suelos pueden ser la arcilla arenosa, la arcilla limosa, el limo arcilloso, el limo arcilloso arenoso, el fango arcilloso, el fango, el limo arenoso y la arena limosa, etc.

Para determinar la textura del suelo se puede recurrir al método de campo, que consiste en tomar una pequeña muestra y frotarla entre los dedos con el pulgar como base, lo que permite determinar el contenido de arena, ya que esta es rugosa al tacto, y se complementa mojándolo para determinar la plasticidad, lo que permite determinar el contenido de arcilla, las partículas de limo tienen una contextura parecida a la harina, sin embargo este método es bastante impreciso y necesariamente debe ser complementado con un análisis de laboratorio. En nuestro país existen numerosos laboratorios que prestan este servicio.

Estructura

Es otra característica fundamental del suelo, y describe la disposición de los sólidos en el suelo. La mejor manera de observarla es en el perfil del suelo, en el cual también se puede

observar los cambios que sufre el suelo en los diferentes horizontes, la aireación, la densidad y la porosidad.

Tipos de estructura

Se han podido definir siete tipos diferentes de estructura:

- *Laminar.*- las partículas del suelo se hallan dispuestas en láminas horizontales, es el caso de suelos vírgenes que no han sido labrados o erosionados por agua o hielo.
- *Columnar.*- En este tipo de estructura las partículas del suelo se orientan verticalmente formando pilares, se observa en suelos en desarrollo, principalmente en el horizonte B.
- *Prismática.*- Como en el caso anterior las partículas del suelo forman prismas, es el caso de suelos con un horizonte B bien desarrollado.
- *En bloques.*- Las partículas del suelo se agregan formando bloques de caras irregulares con tres dimensiones más o menos iguales.
- *Nuez.*- Cuando las partículas se agregan formando bloques con las aristas romas
- *Granular.*- Las partículas forman agregados redondeados menores a 1 cm.
- *Migajas.*- Es una estructura similar a la anterior pero muy porosa, es una característica típica de los suelos con alto contenido de materia orgánica.

De manera general, el tamaño de las distintas estructuras varía desde los 15 cm en la prismática y columnar, hasta menos de 1 cm en en la granular y de migaja. En regiones húmedas, cálidas y templadas como nuestro país, las estructuras granulares o en bloques son comunes en los horizontes superficiales.

4.2.4.2.3 Uso Actual y cobertura vegetal.- El uso actual del suelo en la cuenca es uno de los parámetros primordiales en la determinación de los planes de manejo, ya que a partir de esta información es posible establecer cuales son los principales problemas en el uso del suelo y de esta manera definir medidas correctivas que promuevan su adecuado aprovechamiento, además, el mapa de uso actual de suelo es uno de los insumos básicos que intervienen en la generación del mapa de uso potencial.

El uso actual de suelo se puede determinar a partir de las fotografías aéreas de la zona, mediante la delimitación en gabinete de las distintas unidades observables en las mismas, para realizar este proceso es recomendable contar con estereoscopio para analizar pares de fotos, lo que permite ver el relieve de la zona en 3 dimensiones, facilitando la delimitación. Para complementar este análisis se hace necesaria una visita de campo, para definir con exactitud el uso que se le da al suelo en las unidades que se hayan podido delimitar. Además, debido a que por lo general es dificultoso conseguir fotografías del año en curso, no solamente por la

disponibilidad sino también por el costo, es posible que los límites entre unidades hayan variado desde la fecha de toma de la fotografía.

También existen mapas de Uso actual de suelo y Cobertura Vegetal, pero que únicamente pueden ser utilizados como referencia debido a la escala, ya que únicamente están disponibles en escalas pequeñas (1:10000), y al igual que otros mapas no proporciona el detalle suficiente en el caso de microcuencas.

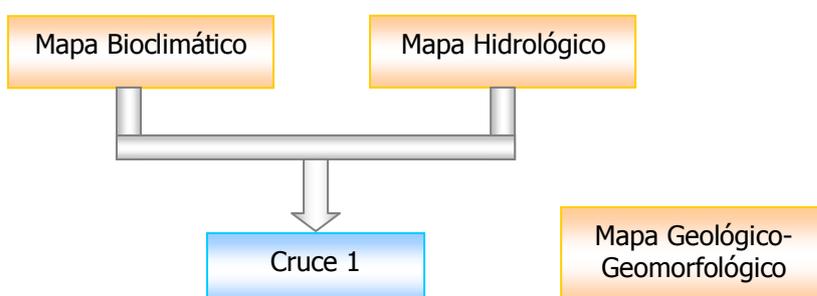
4.2.4.2.4 Uso potencial del suelo.- La determinación del uso potencial del suelo es un factor de suma importancia en el desarrollo de los planes de manejo en las cuencas, ya que permite definir la verdadera aptitud del suelo en función de variables que son determinantes para la caracterización de sus capacidades, y por ende la determinación de zonas con un uso sostenible adecuado a su naturaleza.

De manera general, las variables a tomarse en cuenta para definir el uso potencial del suelo son:

- **Clima.-** Es un factor determinante en el caso de uso agrícola, ya que permite determinar el tipo de cultivo que puede realizarse de acuerdo a la cantidad de lluvias, vientos, tendencia a las heladas, etc.
- **Geología.-** Permite determinar de acuerdo al tipo de roca, los posibles riesgos en la cuenca, como por ejemplo, erosión, deslizamientos, y zonas de conservación.
- **Geomorfología.-** Al igual que la geología permite determinar zonas de posibles riesgos de acuerdo a las geoformas existentes, como zonas de inundación por ejemplo.
- **Pendientes.-** Las pendientes de la cuenca determinan las posibles zonas de aprovechamiento y conservación, en zonas con pendientes muy fuertes, por ejemplo, no será posible realizar actividades agrícolas.
- **Suelos.-** Permiten conocer, al igual que el clima en el uso agrícola, los tipos de cultivo que pueden realizarse de acuerdo a las características propias del suelo, como textura, fertilidad, etc.

El mapa de uso potencial de suelos es el resultado del cruce de los mapas que comprenden las variables antes mencionadas de la siguiente manera. Fig 4.31:

Fig. 4.31.- Elaboración del Mapa de uso potencial de suelo



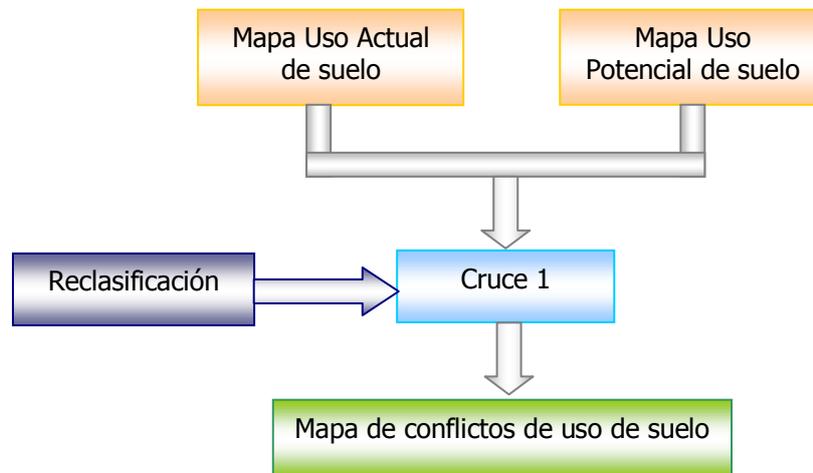
Fuente.- Autores

Este mapa permite obtener la información necesaria para conocer las características necesarias para el correcto aprovechamiento del territorio de la cuenca y las zonas en las que se puede realizar determinadas actividades, como alternativas para las actividades productivas y recuperación de zonas degradadas.

4.2.4.2.5 Determinación de problemas.- Uno de los problemas más comunes que afectan al componente suelo de una cuenca es su utilización incorrecta, la determinación de los conflictos de uso del suelo puede realizarse mediante la generación de un mapa a partir del cruce de los mapas de uso actual y uso potencial; el mapa de conflictos de uso de suelo permitirá definir en que áreas hay sobre utilización, sub utilización del suelo o si se está haciendo un uso correcto del mismo.

El mapa se genera de acuerdo al siguiente diagrama:

Fig. 4.32.- Elaboración de mapa de conflictos de uso de suelo



Fuente.- Autores

Los suelos sobre utilizados son aquellos que no poseen las características adecuadas para el uso que se le está dando, lo cual puede conducir a la degradación o erosión de los mismos, pérdida de cobertura vegetal, etc. Los suelos subutilizados son aquellos que tienen la capacidad para ser utilizados en actividades más productivas que las actuales, y los suelos con uso adecuado son aquellos a los que se les ha dado un adecuado uso de acuerdo a sus capacidades y características, y por lo tanto las actividades que se llevan a cabo en estas zonas producen una degradación mínima.

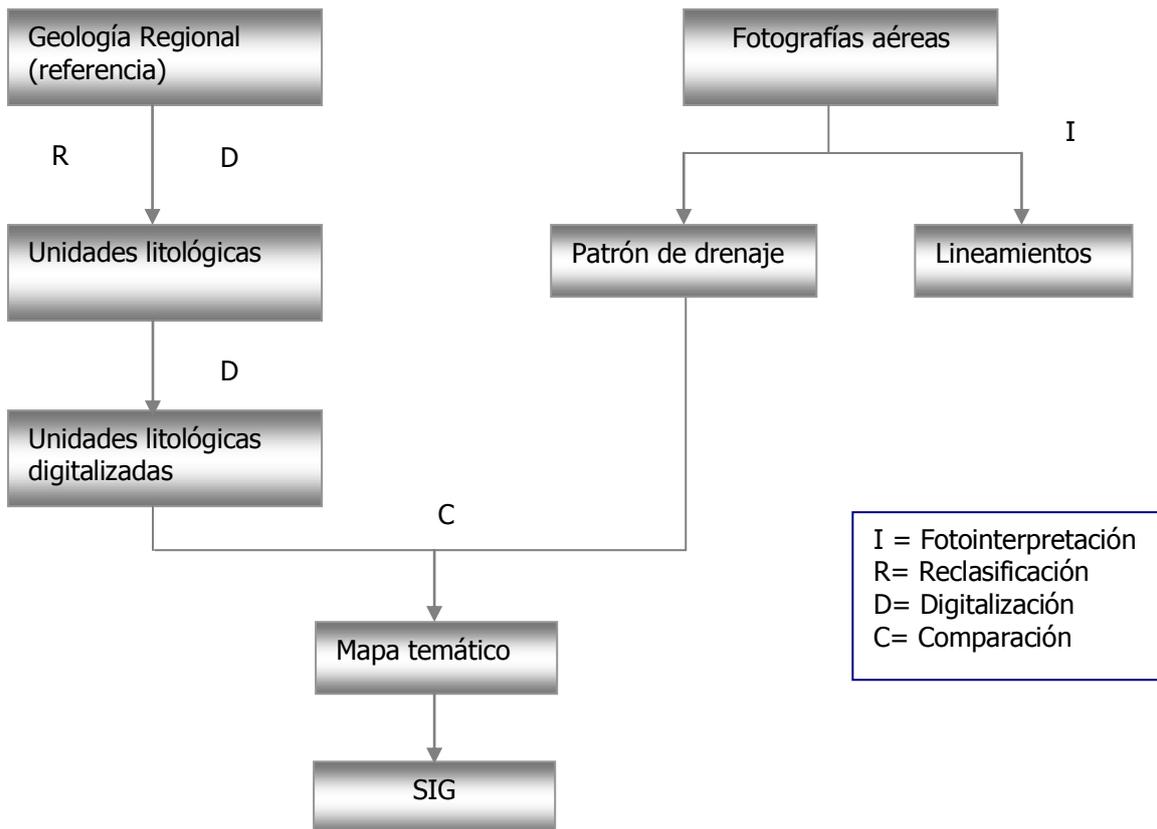
4.2.4.3 GEOLOGÍA

Las características físicas de la cuenca están determinadas por los procesos que actúan sobre las rocas a lo largo del tiempo. El tipo de roca presente influye en la estabilidad de las pendientes, el grado de erosión y la cantidad de sedimentos que llegan al río, así, una unidad con rocas resistentes a la erosión presenta menor cantidad de sedimentos en el río que una con rocas susceptibles.

La geología de una cuenca puede determinarse mediante fotointerpretación, en este proceso se delimitan las unidades litológicas de acuerdo a los distintos tonos y texturas que se pueden observar en las fotografías, y luego con una visita de campo se define el tipo de roca al que pertenecen dichas unidades, como es obvio, en este caso es necesaria la participación de un profesional como un Geólogo o alguien con experiencia en este campo, que pueda llevar a cabo esta tarea.

De manera general la metodología a seguirse para generar el mapa temático es la siguiente:

Fig. 4.33.- Elaboración del mapa geológico



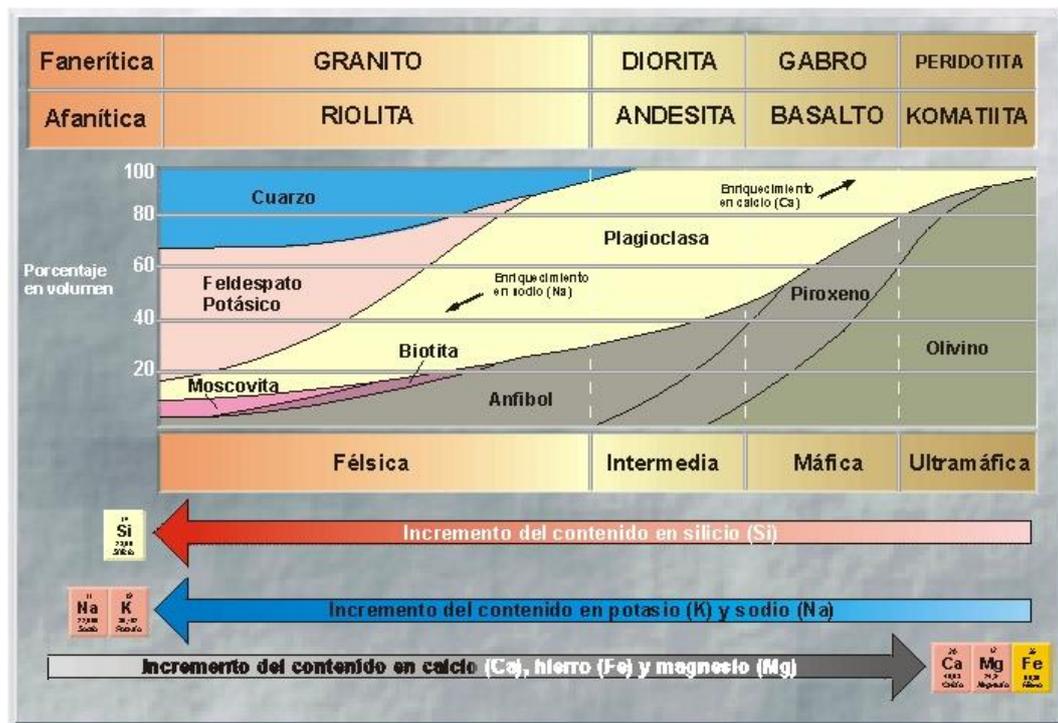
Fuente.- Ing. Guillermo Beltrán

4.2.4.3.1 Tipos de rocas.- De acuerdo a su origen las rocas pueden ser:

- **Rocas ígneas.-** Son el resultado del enfriamiento y solidificación del magma. De acuerdo al lugar en el que se forman pueden ser:
 - ◆ *Intrusivas.-* o plutónicas, son las rocas que se forman bajo la superficie de la tierra, cuando el magma penetra en una recámara subterránea, y se enfría lentamente, formando cristales grandes.
 - ◆ *Extrusivas.-* Son aquellas que se forman sobre la superficie a partir del enfriamiento relativamente rápido de la lava, formando cristales pequeños.

Las rocas ígneas pueden clasificarse de acuerdo a la textura y a su composición química como lo indica la siguiente figura:

Fig. 4.34.- Clasificación de las rocas ígneas

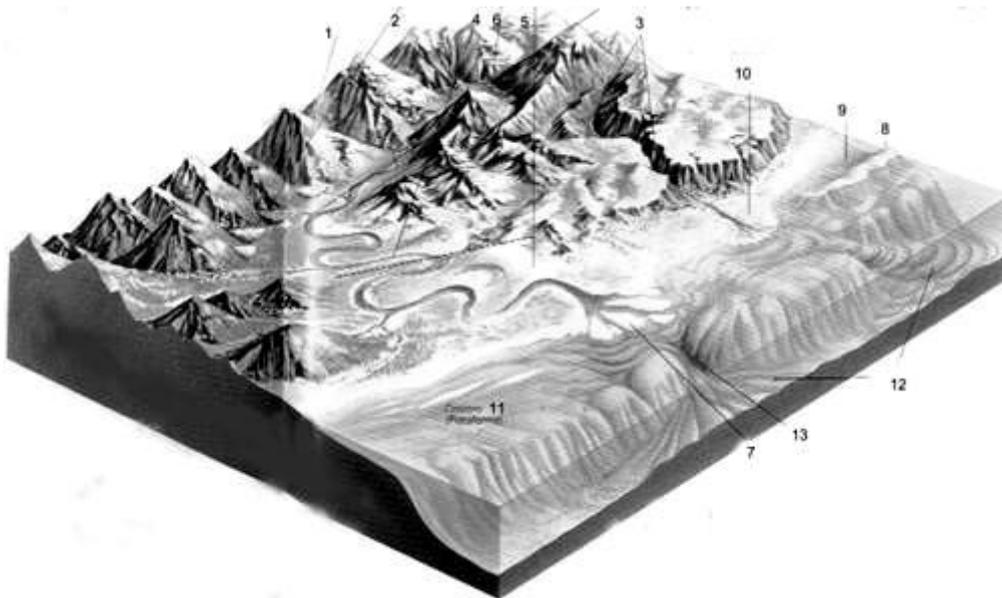


Fuente.- http://www.windows.ucar.edu/tour/link=/earth/geology/ig_intro.sp.htm

- * Rocas faneríticas son aquellas en las que se pueden reconocer los cristales a simple vista.
- * Rocas afaníticas son aquellas en las que es necesario utilizar lupa o microscopio para reconocer los cristales.

- **Rocas sedimentarias.-** Son rocas originadas a partir de la consolidación de fragmentos de otras rocas, restos de plantas y animales o precipitados químicos, es común encontrarlas en superficies de ambientes tales como playas, ríos y océanos, como se puede ver en la siguiente figura:

Fig 4.35.- Ambientes sedimentarios: torrente (1), torrencial (cono aluvial) (2), canal (3), fluvial (canal) (4), llanura de inundación (5), lacustre (6), costero (delta fluvial) (7), isla barrera (8), laguna (9), delta torrencial (10) plataforma (11). Marino (12), cañón submarino (13)



Fuente.- <http://www.geocities.com/manualgeo>

De acuerdo a su composición las rocas sedimentarias pueden ser:

- ◆ *Detríticas.-* Son aquellas formadas a partir de la sedimentación de trozos de otras rocas después de haber sido transportadas, estas rocas se clasifican de acuerdo al tamaño de los granos que las conforman.
- ◆ *Químicas.-* Formadas a partir de la precipitación de determinados compuestos químicos en soluciones acuosas, las principales clases de estas rocas son las *evaporíticas*, como el yeso, y las *carbonatadas*, compuestas mayormente por carbonatos, ya sea calcita (Calizas) o dolomita (Dolomías).
- ◆ *Orgánicas.-* Formadas por la acumulación de materiales de origen orgánico, como conchas, restos vegetales, etc. En este grupo se encuentran los **carbones (turba, lignito, hulla y antracita)**, algunas rocas carbonatadas (tobas, lumaquelas, calizas coralinas) y *silíceas* (espongiolitas, diatomitas).

Tabla 4. 7.- Rocas Sedimentarias

AGENTE	TAMAÑO	DEPOSITO	ROCA
Agua	≥ 2 mm	Canto rodado	Conglomerados
		Guijarro	Brechas, aglomerados
	2 mm $> 0 \geq 1/16$ mm	Arena	Areniscas
	$1/16$ mm $> 0 \geq 1/256$ mm	Limo	Limolitas, lodolitas
	$0 < 1/256$ mm	Arcilla	Arcillolitas, lutitas
Viento	2 mm $> 0 \geq 1/16$ mm	Dunas	Areniscas
	$1/16$ mm $> 0 \geq 1/256$ mm	Loess (limo)	Limolitas
Hielo	≥ 2 mm	Till (peñascos en una matriz fina)	Morrenas

Fuente.- <http://www.geocities.com/manualgeo>

- **Rocas Metamórficas.-** Son rocas que fueron sometidas a intensas presiones y temperaturas, y que sin llegar a fundirse sufrieron cambios en su composición. Estas rocas se caracterizan por un aplastamiento de sus minerales lo que los hace ver alineados, estructura denominada foliación, de acuerdo a esta característica pueden ser:
 - ◆ *Foliadas.-* Como las *pizarras*, con foliación muy recta y paralela, frecuentemente contienen fósiles (bajo metamorfismo), los *esquistos*, con foliación algo deformada y sin fósiles porque han desaparecido durante el proceso (metamorfismo medio), y el gneis, cuyos principales minerales son el cuarzo, los feldespatos y las micas, que se presentan en bandas claras y oscuras (alto metamorfismo)
 - ◆ *Sin foliación.-* Como el *mármol* que está compuesto de rocas carbonatadas metamorfozadas, y la *cuarcita* que son areniscas rocas en cuarzo y que han sido sometidas a un proceso metamórfico.

4.2.4.3.2 Determinación de problemas.- El conocimiento de la geología general de la cuenca permitirá determinar la susceptibilidad a la erosión que esta presenta de acuerdo a las unidades litológicas predominantes en la misma, el índice litológico de la FAO es uno de los que pueden utilizarse para determinar dicha susceptibilidad:

Tabla 4.8.- Índice litológico de la FAO

TIPOS DE ROCA	ÍNDICE DE RESISTENCIA A LA EROSIÓN
---------------	------------------------------------

Rocas duras	Rocas básicas	0.9 – 0.8
	Rocas ácidas	0.9 – 0.5
	Rocas metamórficas	0.8 – 0.6
	Areniscas consolidadas	0.5 – 0.5
Rocas blandas	Calizas friables	0.7 – 0.6
	Dolomitas	0.7 – 0.5
	Esquistos blandos	0.3 – 0.2
	Terrenos plásticos	0.4 – 0.3
	Margas y arcillas	0.2 – 0.1
	Yesos	0.2 – 0.1
Depósitos antiguos	Depósitos fluviales, glaciares, etc. consolidados	0.6 - 0.2
Depósitos recientes	Morrenas Glaciares Coluviales no estabilizados Torrenciales no consolidados	0.3 – 0.1

Fuente.- Apuntes de la cátedra de Manejo de Cuencas Hidrográficas

El siguiente cuadro presenta de manera más amplia la susceptibilidad a la erosión de las distintas unidades litológicas de acuerdo al tipo de roca y estructura del suelo, dicha susceptibilidad está en función de la meteorización y el fisuramiento.

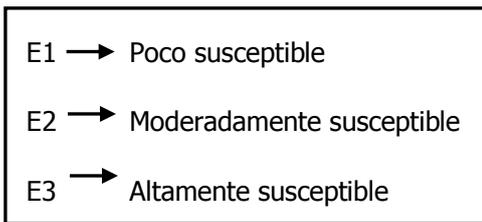
Tabla 4.8.- Susceptibilidad a la erosión

Roca	Textura del suelo	Susceptibilidad a la erosión		
		E1	E2	E3
Granito	Areno-Arcilloso	X		
Sienita	Areno-Arcilloso	X		
Diorita	Arenoso	X		
Munsonita	Arenoso	X		
Pecmatita	Arenoso	X		
Granodiorita	Arenoso	X		X

Traquita	Arenoso-Arcilloso	X		
Fonolita	Arenoso-Arcilloso	X		
Andesita	Arenoso	X		X
Gabro	Arena media a fina			X
Basalto	Arcilloso	X		
Aplita	Arcilloso	X		
Riolita	Limoso-Arcilloso		X	
Dacita	Arenoso	X		
Felicita	Arenoso			X
Ceniza Volcánica	Arcilloso-Arenoso			X
Piedra pómez	Arenoso			X
Peridotitas	Arena media a fina	X		
Brechas	Arcilloso	X		X
Areniscas	Arenoso	X		X
Caliza	Arenoso	X		
Lodolitas	Arcilloso			X
Turbas	Limo-arcilloso		X	
Diatomitas	Arcilloso			X
Fosforitas	Arcilloso			X
Tobas	Arcilloso			X
Arcosa	Grava residual	X	X	
Lutitas	Arcilloso			X
Siderita (Carbonato Férrico)	Arenoso		X	
Conglomerados	Arenoso	X		X
Gneis	Arenoso	X		
Pizarras	Arcilloso		X	X
Grafito	Limoso-arcilloso		X	X

Cuarcita	Arenoso	X	
Serpentina	Arcilloso	X	X
Esquistos	Arcilloso	X	X
Fluta	Arcilloso		X
Limolitas	Limoso	X	X

Fuente.- Apuntes de la cátedra de Manejo de Cuencas Hidrográficas

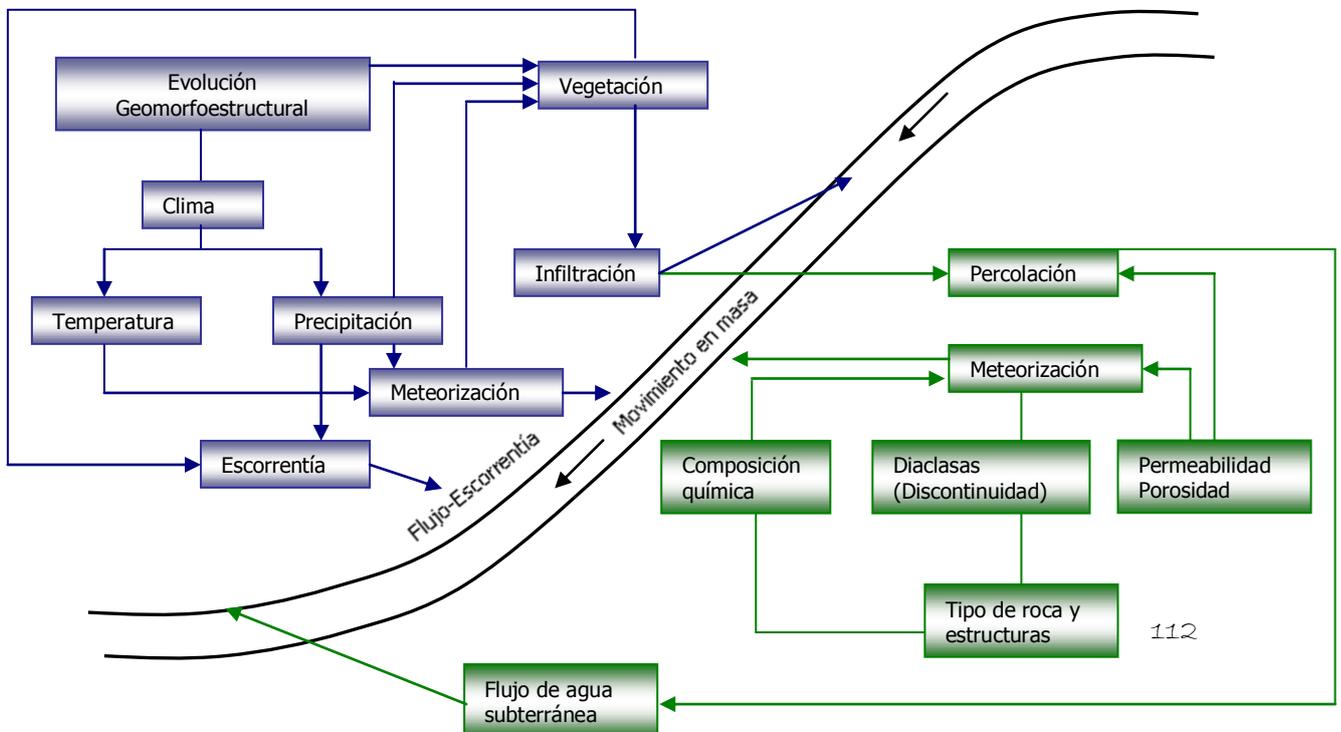


4.2.4.4 GEOMORFOLOGÍA

El análisis de la geomorfología de la cuenca permite determinar las geofomas que caracterizan el paisaje. En este componente se analizan los factores exógenos (hidro climáticos) y endógenos (tectovolcánicos), fig 4.36; los agentes morfogenéticos como la tectónica, vulcanismo, gravedad, agua, hielo, viento; los diferentes enfoques como los morfológicos, morfométricos, morfoestructurales, morfodinámicos, morfo cronológicos y morfogenéticos; y las distintas geofomas que se han generado de acuerdo al ambiente (morfoestructural, volcánico, denudativo, fluvial, glacial, eólico).

Fig 4.36.- Relación de factores endogeneticos y exogenéticos en una ladera

FACTORES EXOGENÉTICOS



FACTORES ENDOGENÉTICOS

Fuente.- Ing. Guillermo Beltrán

En la geomorfología de una cuenca juega un papel importante el estudio de la *meteorización* (química, biológica y física), que es un agente geomorfológico natural, así como también la influencia del hombre, que es el factor geomorfológico más destructivo ya que cambia su ambiente a través de las distintas obras de desarrollo, sin tomar en cuenta las medidas preventivas necesarias.

Las geoformas más representativas de acuerdo al tipo de roca o material y al ambiente son las siguientes (Way, 1973):

Tabla 4.9.- Geoformas de acuerdo al tipo de roca

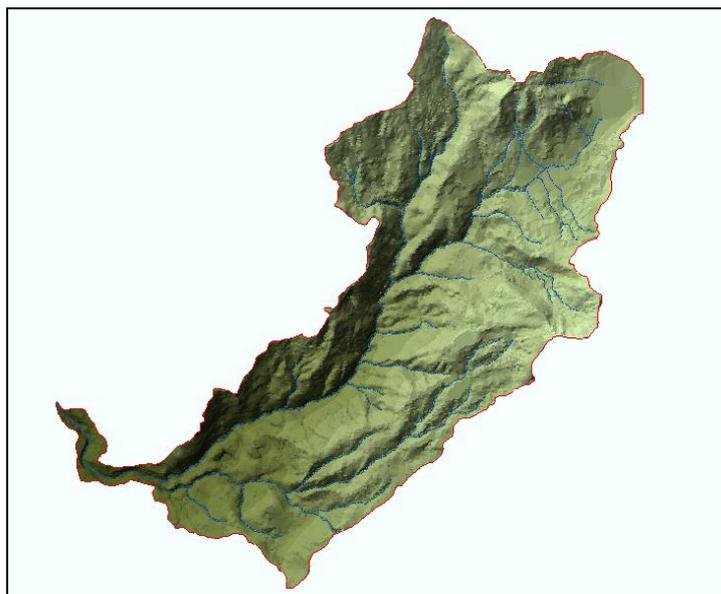
Tipo de roca o material	Clima	Topografía a que da lugar
Ígneas intrusivas		
Formas graníticas en macizos	Húmedo	Cerros redondeados (domos)
	Árido	Laderas con fuertes pendientes sin aspecto de colinas
Formas graníticas lineales o en diques	Húmedo o árido	Colinas estrechas
Ígneas extrusivas		
Formas volcánicas jóvenes	Húmedo o árido	Cono de cenizas
Flujos basálticos	Húmedo o árido	Llanuras o mesas si ha habido erosión posterior
Depósitos de fragmentos de tobas	Húmedo o árido	Cerros con fuertes pendientes
Capas intercaladas de basalto	Húmedo o árido	Colinas aterrazadas
Sedimentarias		
Areniscas	Húmedo	Macizos y fuertes pendientes
	Árido	Mesas llanas
Pizarras sedimentarias	Húmedo	Colinas suaves
	Árido	Laderas de gran pendiente
Calizas	Húmedo	Karst
	Árido	Mesas
Metamórficas		
Pizarras	Húmedo o árido	Colinas de laderas pendientes, topografía escarpada
Esquistos	Húmedo	Crestas redondeadas y pendientes fuertes

	Árido	En capas
Gneis	Húmedo o árido	Colinas paralelas de fuertes pendientes
Formas glaciares		
Morrenas glaciares	Húmedo o árido	Ondulada y escarpada
Eskers	Húmedo o árido	Colinas serpenteantes
Depósitos fluviales		
Llanuras de inundación	Húmedo o árido	Llana
Deltas	Húmedo o árido	Deltas
Aluviones continentales	Húmedo o árido	Amplias llanuras de depósito, con pequeñas depresiones
Lechos de lagos	Húmedo o árido	Muy llana, fondos de cuencas de gran amplitud
Depósitos en la línea de costa	Húmedo o árido	Colinas costeras paralelas.
Aluviones	Húmedo	Aluviones en forma de abanico
	Árido	Aluviones rellenando fondos de valle
Formaciones costeras		
Sedimentos jóvenes no consolidados de origen fluvial o marino	Húmedo o árido	Llana o suavemente ondulada
Sedimentos antiguos no consolidados de origen fluvial o marino	Húmedo o árido	Crestas en las zonas más consolidadas, pendiente moderadas en materiales más incoherentes
Depósitos eólicos		
Dunas (depósitos formados por la acumulación de partículas arenosas)	Húmedo o árido	Dunas
Loes (depósitos formados por la acumulación de limo y arcilla)	Húmedo o árido	Colinas suaves o ásperas dependiendo de la consolidación del material, que se repiten regularmente
Depósitos orgánicos		
Depósitos orgánicos	Húmedo o árido	Depresiones planas

4.2.4.4.1 Pendientes.- La pendiente, junto con otros factores, juega un factor clave en la estabilidad del terreno de una cuenca, pendientes muy fuertes harán el terreno más susceptible a los deslizamientos, además el análisis del tipo de pendientes permite determinar que zonas son aptas para ser utilizadas y en cuales se debe hacer conservación.

Gracias a los software actuales, la generación de los mapas de pendientes resulta bastante sencilla; en Arc Gis 8.3 se necesitan como insumo las curvas de nivel acotadas, para con estas generar el TIN (Fig 4.37) o grid y a partir de estos crear el mapa de pendientes.

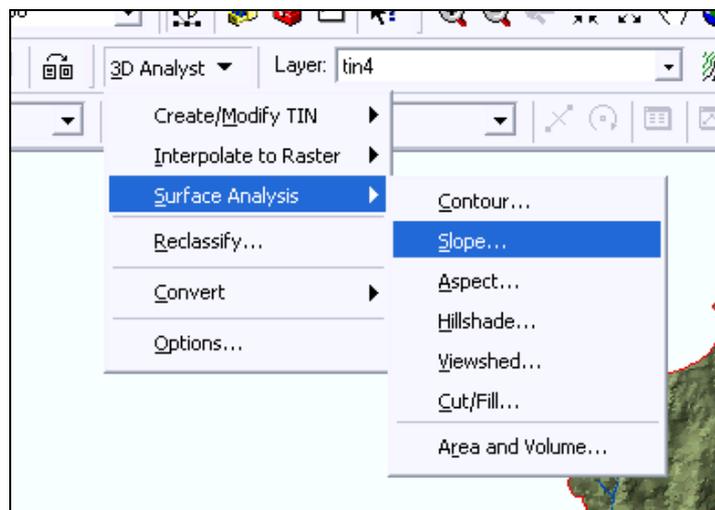
Fig. 4.37.- TIN



Fuente.- Autores

Una vez generado el TIN, en la barra de herramientas *3d Analyst* se escoge la opción *Surface Analysis, Slope* (Fig 4.38)

Fig. 4.38.- Barra de herrmientas 3D Analyst



Fuente.- Autores

Aparecerá un cuadro de diálogo, que permite escoger las unidades en las que se obtendrá el mapa (grados o porcentaje), el tamaño de celda (que depende de la escala de trabajo) y el archivo tipo raster en el que se almacenará. Fig 4.39

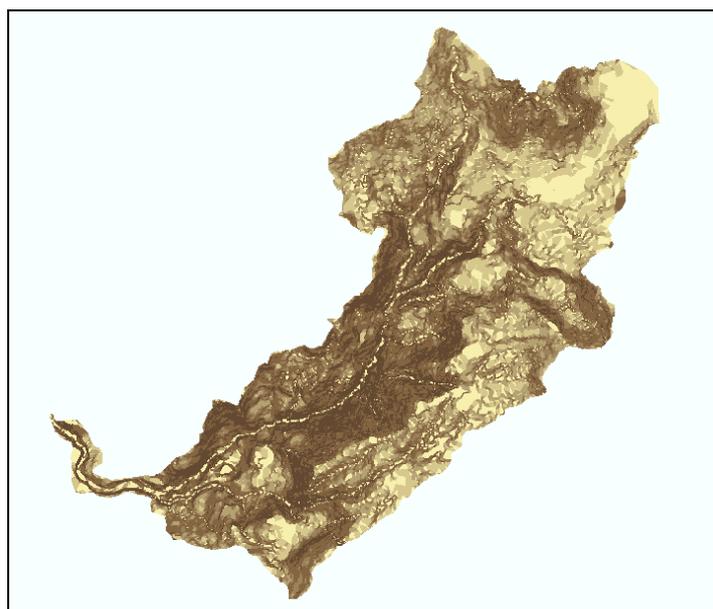
Fig. 4.39.- Cuadro de diálogo Slope



Fuente.- Autores

Y se obtiene un mapa tipo raster que contiene las pendientes de la cuenca, en las unidades escogidas, fig 4.40

Fig. 4.40.- Mapa de pendientes



Fuente.- Autores

4.2.4.5 CLIMA

El clima es un factor determinante en la hidrología de una cuenca, ya que define las entradas de agua y energía (entendida como la cantidad de luz solar) de la misma; la precipitación provee el agua que entra a la cuenca, y forma parte de los drenajes, de los acuíferos, o del agua que vuelve a la atmósfera mediante la evapotranspiración, la luz solar también juega un papel importante en este último aspecto, ya que es necesaria para evaporar

el agua. Los parámetros que se toman en consideración para el diagnóstico del clima en la cuenca son la precipitación media anual o mensual, la temperatura media, la radiación solar, humedad relativa y la dirección y velocidad del viento, estos datos se pueden conseguir en el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), según las estaciones meteorológicas a tomar en cuenta que se encuentren dentro de la cuenca o en sus alrededores.

La precipitación media de la cuenca se puede calcular a través de isoyetas, que son curvas con igual valor de precipitación, y se basa en la determinación del área comprendida entre dos de estas curvas (sucesivas), y asumiendo que en dicha área el valor de precipitación es la media de las dos isoyetas que la delimitan. Este método es adecuado para zonas que cuentan con un gran número de estaciones, debido a la disponibilidad de la información, otro método para el cálculo de la precipitación media es el uso de los polígonos de Thiessen.

El análisis de los valores de temperatura máxima y mínima permite determinar la ocurrencia de heladas, factor muy importante en la agricultura. Los datos de temperatura media y humedad relativa permiten realizar el cálculo de la *Evapotranspiración potencial*, y de los balances hídricos de la cuenca, para conocer los requerimientos de agua de la misma.

La evapotranspiración potencial puede definirse como la pérdida de agua de un terreno con cobertura total, mediante evaporación del suelo y transpiración de las plantas, sin que exista limitación de agua. Este valor puede calcularse mediante la multiplicación de la temperatura media anual por la constante 58.93, definida por Holdridge, de la siguiente manera:

$$ETP = T^{bio} \times 58.93 \quad \text{Ec 4.21}$$

Donde:

ETP = Evapotranspiración potencial

T^{bio} = Temperatura media anual

La humedad relativa define el grado de saturación de la atmósfera, y para su cálculo puede utilizarse el método propuesto por Thornthwaite, que se basa en la precipitación y en la evapotranspiración potencial, de la siguiente manera:

$$Hr = \frac{P - ETP}{ETP} \times 100 \quad \text{Ec 4.22}$$

Donde:

Hr = Humedad relativa

P = Precipitación media anual

ETP = Evapotranspiración potencial

4.2.5 COMPONENTES BIÓTICOS

El Ecuador, a pesar de su pequeño tamaño, es uno de los países con mayor diversidad biológica que existen, la cual se debe principalmente a las variaciones climáticas y geográficas que presenta, dando lugar a una gran variedad de ecosistemas, como bosques húmedos, selvas, montañas, islas, valles, desiertos y nieves perpetuas.

4.2.5.1 FLORA

El Ecuador alberga a aproximadamente el 10% de las especies de plantas del mundo, la mayoría de las cuales se desarrollan en la Amazonía, donde se encuentran cerca de 10000 especies, seguida por la variedad de los Andes, que cuenta con aproximadamente 8200 especies de plantas y vegetales, adicionalmente se han podido identificar 2725 especies de orquídeas, de manera general se han podido identificar 16000 tipos de plantas y árboles registrados científicamente, cifra que aún no ha podido ser completamente conformada, ya que no se ha terminado la exploración del territorio. El 20% de la flora del Ecuador es de carácter endémico, es decir que no se encuentra en ningún otro lado.

Al norte de la costa ecuatoriana, en el sector de Esmeraldas y Manabí, existen selvas tropicales, favorecidas por las copiosas lluvias, en las que se pueden encontrar árboles de madera fina, caucho, ceibo, tagua, entre otros. Los manglares en la costa del Pacífico también son característicos de esta zona y son destruidos para construir camaroneras, por lo que actualmente se conservan solo unos pocos en Esmeraldas y Guayaquil. En las planicies de inundación del Guayas se puede apreciar una intensa actividad ganadera y agrícola, especialmente en cultivo de arroz, algodón, banano y cacao. Hacia la península de Sta. Elena la escasez de lluvia da lugar a bosques caducifolios, con sabanas de yerbas duras.

En las cordilleras de los Andes son característicos los páramos y pajonales, con vientos muy fuertes y drásticos descensos de temperatura; más abajo, a partir de los 2500 m.s.n.m aproximadamente se encuentran terrenos aptos para la producción lechera y para cultivos de papa, maíz, fréjol, habas y algunas plantas frutales, esta zona presenta un alto grado de erosión debido al uso inadecuado de las tierras. Entre los 700 y 2500 metros se encuentran selvas tropicales, pobladas por orquídeas, musgos y líquenes.

En el Oriente se encuentran las selvas tropicales con abundantes lluvias y una gran variedad de especies con diferentes aplicaciones (medicinales, industriales), en esta zona la vegetación no es completamente uniforme, ya que existen ciertos parajes secos y terrenos de inundación, en los que se pueden encontrar zonas pantanosas.

La flora se encuentra estrechamente relacionada con el clima de la cuenca, por lo tanto viene a ser un indicador del mismo, y dado que es la base de la cadena trófica, determina también el tipo de fauna que posiblemente se encontrará en la zona.

Se pueden encontrar varias referencias útiles en lo que a vegetación se refiere, una de ellas es el Mapa de Vegetación Andina, elaborado por Ecociencia en colaboración con otras ONGs y varias universidades, también se puede usar el mapa de vegetación del Almanaque Electrónico Ecuatoriano; es importante recordar, sin embargo, que estas referencias se encuentran a escala 1:250000, y por lo tanto pueden ser utilizadas para una descripción general de este recurso en la cuenca, siendo necesarios análisis más específicos en el caso de estudios puntuales.

Además de los mapas ya existentes, la flora de la cuenca puede ser complementada también (de manera general) con encuestas a la población que la habita, ya que por lo general, ellos tienen conocimiento de la vegetación más común del área. Para estudios más específicos se pueden hacer inventarios generales mediante la recolección de plantas en estado fértil a lo largo de senderos en la zona.

4.2.5.2 FAUNA

El Ecuador, gracias a la variedad de climas y ambientes, es el hogar de aproximadamente el 8% de las especies animales y del 18% de especies de aves del mundo; se han identificado alrededor de 369 especies de mamíferos, de las cuales, 30 son endémicas; en cuanto a los anfibios se han identificado 411 especies, de las cuales entre el 50 y 70% son endémicas, existen alrededor de 1616 especies de aves, lo cual coloca al Ecuador en el cuarto lugar con relación a otros países. Hasta la actualidad se han registrado casi medio millón de especies de invertebrados, pero solo el 45% ha sido identificado.

A pesar de que el objetivo general del manejo de una cuenca no será la descripción de cada una de las especies que habitan en ella, la fauna de la cuenca juega un papel muy importante ya que puede ser considerada como un indicador general del estado de la vegetación y de los procesos ecológicos que se llevan a cabo en la misma.

Al igual que la flora, la fauna de la cuenca puede determinarse de manera general mediante diálogos con habitantes de la cuenca, observaciones directas y mediante la aplicación de metodologías específicas para cada grupo (mamíferos, reptiles, aves, peces, invertebrados). Como se puede notar, es importante la intervención de un profesional adecuado para este último caso, como un Biólogo, que tenga el conocimiento necesario para aplicar la metodología correcta y posteriormente elaborar los inventarios de fauna de la cuenca con base en la información recolectada.

También es factible acudir a las organizaciones que trabajen en la cuenca o cerca de ella, para recopilar información ya existente sobre la fauna de la misma.

4.2.5.3 ECOSISTEMAS

El Ecuador posee 46 tipos de ecosistemas, los cuales están conformados por páramos, bosques, valles y el Océano Pacífico, y están situados en diferentes pisos climáticos.

Los páramos se encuentran entre los 3500 y 4000 m.s.n.m, con una temperatura ambiente que en el día puede alcanzar hasta los 25° C y en la noche descender a los 0°, la vegetación característica de este ecosistema es robusta y pequeña y por lo general se encuentra cubierta de vello, lo que le permite mantener el calor.

El bosque Andino se encuentra ubicada en los flancos de la Cordillera de los Andes y comprende la vegetación boscosa desde los 1800 hasta los 3500 m.s.n.m, la vegetación típica de este ecosistema son las orquídeas, helechos, musgos y bromelias.

Entre las Cordilleras Oriental y Occidental se encuentran los valles secos, típicamente cubiertos por pencos, acacias, algarrobos y cactus, con fértiles llanuras cerca de los cauces de los ríos.

El ecosistema con mayor biodiversidad, y el menos conocido son los bosques húmedos tropicales, con una rica vegetación de ceibos, matapalos, una gran variedad de plantas con flores y frutos, y numerosas especies de mamíferos, invertebrados, aves, reptiles, peces y anfibios.

Los bosques secos de la Costa se caracterizan por los árboles de ceibo, moyuyo y los cactus. Los bosques de manglares, lagos, lagunas y otras zonas inundadas conforman los humedales, en el país existen seis de las cincuenta especies de mangle del mundo.

El ecosistema de Galápagos por su riqueza en flora y fauna, tanto marina como terrestre, constituye un importante atractivo turístico y científico.

Los ecosistemas en la cuenca pueden determinarse mediante el triángulo de Holdridge, citado en el Capítulo II, para lo cual es necesario contar con datos de temperatura, precipitación y evapotranspiración potencial; o también se puede usar la clasificación hecha por Cañadas, la cual es más recomendable, ya que es específica para el Ecuador. Otra referencia que puede usarse son los mapas de vegetación mencionados en el numeral 4.2.3.1, ya que la misma se encuentra clasificada por ecosistemas.

4.2.5.4 ÁREAS PROTEGIDAS

El Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SNAP), de acuerdo a lo establecido por el Ministerio del Ambiente hasta julio de 1999, está conformado por 10 parques nacionales, 14

reservas naturales, un refugio de vida silvestre y un área de recreación, que abarcan un área de 4 669 871 Ha de superficie terrestre u 14 110 000 Ha de superficie marina, distribuidas en todo el país.

Es importante determinar si la cuenca o parte de ella está dentro de una de estas áreas protegidas, ya que cuentan con planes específicos de manejo que deben ser respetados, y por lo tanto en estas zonas no se elaborarán proyectos distintos, a menos que sea un caso específico.

La información sobre las áreas protegidas del Ecuador puede encontrarse fácilmente en el Internet, en Fundación Natura, en el Almanaque Electrónico Ecuatoriano, entre otros. Fig 4.41

Fig. 4.41.- SNAP



Fuente.- Enciclopedia del Ecuador, 1999

4.2.6 COMPONENTE SOCIO-ECONÓMICO CULTURAL

A pesar de que muchos de los planes de manejo de cuencas no están orientados directamente a las comunidades o poblaciones que habitan en ellas, el componente humano es también uno de los principales beneficiarios del correcto manejo de los recursos, y por lo tanto un aspecto muy importante en el estudio de cuencas.

Un estudio socio económico abarca el conjunto de condiciones sociales y económicas de la cuenca, como los habitantes de la cuenca obtienen sus ingresos, cual es el ingreso promedio,

datos sobre edad, educación, salud, infraestructura, entre otros, por lo general estos estudios requieren de una buena cantidad de tiempo, por lo que no es posible realizarlos de manera detallada, sin embargo la recopilación de información básica puede ser suficiente para el análisis, y si es necesario se puede planificar su profundización a largo plazo, además se pueden realizar estudios periódicos para conocer el desarrollo de los planes y como reacciona la población a los mismos, dichos estudios muchas veces serán necesarios, dependiendo del alcance y enfoque del proyecto.

El aspecto más difícil de cuantificar es que tan comprometida está la población con el correcto manejo de los recursos, y que tan dispuestos se hallan a colaborar en el desarrollo de los planes que requieran su participación, esto se logrará conocer solo una vez que se haya empezado a dialogar con los líderes de la zona.

Una buena fuente de información socio económica básica nacional es el Sistema Integrado de Indicadores Sociales del Ecuador (SIISE, www.siise.gov.ec), basado en el último censo (2001), que cuenta con indicadores nacionales sobre población, educación, salud, empleo, vivienda, pobreza, entre otros, y constituye una herramienta bastante útil en zonas en las que no se han hecho estudios previos.

La información recopilada puede ser complementada realizando encuestas a la población de la cuenca, un ejemplo de cuestionario se encuentra en el Anexo A4, es importante que los cuestionarios estén estructurados de manera lógica y con preguntas claras, sencillas y que no den lugar a respuestas ambiguas, en el caso de ser posible se pueden realizar también entrevistas a los líderes comunitarios, alcaldes, etc.

El tamaño de la muestra a ser encuestada puede ser calculada mediante la fórmula:

$$n = \frac{z^2_{\alpha/2} \sigma^2 N}{\tau^2 (N - 1) + z^2 \sigma^2} \quad \text{Ec 4.23}$$

Donde

N = Población

τ = error permitido

σ = estimador a partir de una muestra piloto

De acuerdo al análisis realizado, los datos necesarios para describir el componente social, económico y cultural en una cuenca son:

Población

- **Población total.-** El tamaño de la población que habita la cuenca, este dato se puede obtener de manera aproximada, ya que existen datos parroquiales del último censo, si es posible se puede detallar el tamaño y constitución de la familia.
- **Densidad poblacional.-** La cantidad de individuos existentes en relación a la superficie de la cuenca, este dato únicamente puede aproximarse con base en la información de los censos, ya que esta se halla clasificada por parroquias que no coinciden con los límites naturales de la cuenca.
- **Tasa de crecimiento poblacional.-** Medida estadística que mide el porcentaje de crecimiento de la población en un determinado tiempo.

Salud

- **Mortalidad infantil.-** Probabilidad que tiene un niño/a de morir durante su primer año de vida. Se mide como el número de defunciones de niños/as menores de un año en un determinado año, expresado con relación a cada 1.000 nacidos vivos durante el mismo año.
- **Principales problemas de salud.-** Cuales son las afectaciones más comunes en los habitantes de la cuenca (enfermedades, desnutrición,)
- **Nutrición.-** En qué consiste la dieta básica de los pobladores y la calidad de su alimentación.
- **Esperanza de vida.-** Promedio de años de vida que una persona puede vivir, es al igual que la mortalidad infantil, un indicador del grado de desarrollo de una población y de la calidad de vida de la misma.

Educación

- **Alfabetismo.-** Indicador de que porcentaje de la población está capacitado para leer y escribir, este dato es importante, ya que permite determinar que tipo de participación y comunicación del plan será necesaria.

Infraestructura

- **Red vial.-** Tipos de vías (primero, segundo, tercer orden, senderos, caminos de herradura, vías de tren, etc) y el estado de las mismas.
- **Hospitales y centros de salud.-** Con cuantos centros de salud y hospitales cuenta la población de la cuenca y que tan bien equipados se hallan para atender las necesidades de la población.
- **Mercados.-** Cuántas zonas tiene la cuenca para compra y venta de productos, o hacia dónde se dirigen los pobladores para realizar esta actividad.

- **Centros educativos.-** Con cuántos centros educativos y de que nivel cuenta la población de la cuenca.

Empleo

- **Tipo de empleo.-** A qué sector pertenecen los habitantes de la cuenca (privado, público o independiente)
- **Desempleo.-** Qué porcentaje de la población se encuentra sin empleo.

Vivienda

- **Tipo de vivienda.-** Cuáles son los principales materiales usados para la construcción en la cuenca, incluyendo pisos, techos, paredes, armazones.

Pobreza

- **Ingresos.-** Cual es el ingreso promedio de los habitantes, ya sea este diario, semanal, quincenal, mensual o semestral.
- **Migración.-** Qué porcentaje de la población sale o entra a la cuenca, o se mueven dentro de la misma y las causas que motivan la migración tanto interna como externa.
- **Subsistencia.-** Cuál es la producción que destina la población para su subsistencia.

Capital social

- **Grupos organizados.-** Que tipo de organizaciones y asociaciones han formado los habitantes de la cuenca.
- **Grupos de mujeres.-** Que tipo de organizaciones y asociaciones han formado las mujeres de la cuenca.
- **Gobiernos locales.-** Cuales son la autoridades encargadas de la administración de las diferentes áreas dentro de la cuenca.

Tenencia de la tierra

- **Estado legal.-** Qué porcentaje de la población posee escrituras o títulos de propiedad de sus tierras.

Acción social

Actividades económicas

- **Tipo de actividad.-** A qué se dedican los pobladores de la cuenca, las actividades más comunes pueden enmarcarse dentro de las siguientes categorías:

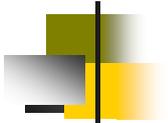
- ◆ **Agricultura.-** Esta actividad se puede describir de manera general contemplando características como los cultivos dominantes, producción, uso de pesticidas y fertilizantes.
- ◆ **Ganadería.-** Se pueden describir los tipos principales de ganado presentes y el número promedio de animales que posee cada persona.
- ◆ **Industria.-** A que tipo de industria se dedican los habitantes (textil, alimenticia, metalúrgica, etc.).
- ◆ **Minería.-** Se puede hacer una descripción de los materiales extraídos y de los métodos utilizados con este fin.
- ◆ **Comercio.-** Esta actividad puede describirse mediante el tipo de negocios a los que se dedican los habitantes.
- ◆ **Forestal.-** Qué especies se explotan, el destino de la materia prima, y si es que existen programas de reforestación.
- **Producción.-**Cuál es la producción promedio estimada, en los casos que sea aplicable, y descripción de métodos y tecnologías utilizados.

Etnias

- **Grupos étnicos.-** Cuales son los grupos étnicos dominantes en la cuenca, de manera general en el Ecuador se pueden encontrar grupos de mestizos, indígenas, negros.

Paisaje

Descripción de las principales unidades paisajísticas en la zona.



4.3 DETERMINACIÓN DE PROBLEMAS

Una vez realizado el diagnóstico básico de la cuenca, es posible determinar cuales son los principales problemas que la afectan debido al uso cotidiano de los recursos y a las condiciones propias de la misma, y cuales serían sus posibles usos con el fin de planificar proyectos que permitan alcanzar un pleno desarrollo sustentable.

4.3.1 PROBLEMAS FÍSICOS

Problemas como pendientes demasiado fuertes, terrenos propensos a deslizamientos, unidades geológicas frágiles o de poca utilidad, entre otros, no son difíciles de detectar, pueden ser analizados mediante fotos aéreas de la zona, la cartografía o con visitas de campo. Temporadas de sequía o por el contrario lluvias excesivas, vientos muy fuertes y otros aspectos similares serán determinados a partir de los datos proporcionados por las estaciones meteorológicas.

4.3.2 PROBLEMAS BIÓTICOS

El uso más común de la tierra es para la agricultura y ganadería, en zonas de poco desarrollo, la falta de tecnología y conocimiento provocan el mal uso de los suelos, por ejemplo, los agricultores que no practican el cultivo rotativo agotan los nutrientes del suelo y por lo tanto disminuyen su rendimiento y su capacidad para cultivo, o no se aplican técnicas de cultivo adecuadas a las características propias del suelo. Una agricultura intensiva puede ser la causante de contaminación de los cauces de agua por escorrentía, o erosión excesiva por tala de bosques naturales o la quema, prácticas agrícolas comunes, además puede darse también un uso no controlado de pesticidas altamente tóxicos que afecten directamente a la salud de los pobladores.

Un pastoreo demasiado intenso también es causa de erosión de los suelos, cambios en su estructura, incremento de la escorrentía superficial y de la sedimentación en los cauces de agua, disminución de la infiltración, entre otros efectos.

Una tala indiscriminada de árboles reduce la evapotranspiración y la intercepción de lluvia, lo cual incrementa la escorrentía superficial y a su vez afecta el caudal de los cauces de agua, y en caso de que se traten de grandes superficies deforestadas, es factible que se den cambios en el clima, disminuyendo la cantidad de agua que ingresa a la cuenca, un claro

ejemplo de este caso son los desiertos de Loja, que han ido avanzando debido a la tala de árboles.

El avance desordenado y descontrolado de las zonas urbanas o industriales provoca también la pérdida del suelo y la alteración de la topografía de la cuenca, además de la contaminación que se produce por falta de tratamiento de aguas residuales, la disposición de desechos sólidos y la emisión de contaminantes a la atmósfera.

La explotación minera también altera las condiciones ambientales de la cuenca, produciendo cambios en la topografía, suelos y vegetación, además de la contaminación de los cauces de agua y los suelos.

Es posible que existan también otros problemas relacionados con el abastecimiento de agua para la población, muchas veces la cantidad de agua no es suficiente para cubrir la demanda de agua de los habitantes, ya sea para uso urbano, industrial o agrícola.

4.3.3 PROBLEMAS SOCIO ECONÓMICOS

Los problemas socio económicos son un fuerte obstáculo en el desarrollo de planes y proyectos en la cuenca, y es importante determinarlos a priori para tomar las medidas correctivas necesarias conjuntamente con la aplicación de los proyectos, los problemas más comunes de este tipo pueden incluir analfabetismo, pobreza, tenencia ilegal de la tierra, escasez de mano de obra, entre otros.



4.4 PLANIFICACIÓN

Una vez determinados los principales problemas existentes en la cuenca, se puede determinar los principales objetivos y prioridades de solución, los objetivos por lo general tenderán a la recuperación, restauración y conservación de la cuenca, así como también a su correcto ordenamiento mediante una zonificación apropiada a sus características, y el desarrollo de los sectores más pobres, es importante tomar en cuenta, en el momento de establecer los proyectos y planes, los recursos con los que se cuenta, ya sea estos humanos, tecnológicos o económicos. Otro aspecto a considerar es también el orden en el que se aplicarán los proyectos, para lo cual es necesario definir las prioridades de la cuenca, los aspectos que requieran solución inmediata serán, obviamente, los primeros en ser considerados.

“Un plan de manejo de una cuenca consiste en una serie de acciones propuestas que buscan el mejoramiento de las condiciones que hayan sido consideradas perjudiciales o degradadas en el diagnóstico”¹⁰

De manera general, un plan de manejo de una cuenca contendrá una visión general o un conjunto de metas y objetivos, los pasos necesarios para cumplirlos y como hacerlo, además de un plan de monitoreo sobre los resultados del plan, algunas de las actividades que se pueden incluir de manera general en un plan de manejo son:

- Programas de educación a la comunidad
- Mecanismos de coordinación institucional
- Propuestas para el cambio en el uso de la tierra.
- Recuperación de hábitats
- Propuestas de manejo de residuos
- Mecanismos para disminuir la pérdida de suelo

Las acciones propuestas deben contener información sobre alternativas, costos, responsables, beneficiarios, cronogramas de actividades, financiamiento, participación ciudadana, entre otros.

Es de especial interés para quienes llevan a cabo el plan de manejo de una cuenca, que éste pueda ser implementado con la participación de los actores sociales de la cuenca, por lo que es de suma importancia que las autoridades locales y las organizaciones involucradas sean integradas desde el principio y durante todas las etapas del plan; este proceso requerirá mucha atención y coordinación al inicio, pero a mediano o largo plazo será posible que las comunidades y organizaciones de la cuenca alcancen un grado de autogestión que permita disminuir su intervención, los actores sociales se verán más interesados en participar si es que existe para ellos alguna motivación, reflejada en beneficios o ventajas directas; es importante también respetar la equidad de género de la comunidad, aspecto fundamental en la participación comunitaria. El representante debe estar comprometido y presentar los resultados de manera objetiva y adecuada a las organizaciones responsables.

Un aspecto de suma importancia en el manejo de cuencas es la concertación de los intereses y necesidades de los distintos actores sociales, organizaciones y autoridades, en una mesa de concertación todas las partes exponen sus situaciones y requerimientos, y se trata de encontrar, mediante el diálogo una solución que satisfaga a todos, muchas veces este proceso requiere de un apoyo técnico o legal, con el fin de respaldar las decisiones tomadas, una buena

¹⁰ Traducido de *The California Watershed Assessment Manual, Volume I*

medida para asegurar el compromiso de las partes es la concienciación y sensibilización sobre los programas propuestos.

4.4.1 COMPONENTES DE UN PLAN DE MANEJO DE CUENCAS

El objetivo de un plan de manejo de una cuenca consiste en la definición específica de una solución, mediante mecanismos consistentes con el funcionamiento de la cuenca, en él se establecen los problemas a enfrentar, cómo hacerlo y cuáles son los indicadores de éxito del plan. La clave del éxito de un plan de manejo consiste en saber interrelacionar los factores clave de la cuenca, los cuales son:

- *Los recursos estratégicos de la cuenca y las actividades que dependen de ella, productividad y área de influencia.-* El agua puede ser considerado el recurso estratégico por excelencia, ya que resulta de vital importancia tanto en la actualidad como en el futuro, en el que se generarán serios problemas sociales si no se toman las medidas necesarias. De manera general todos los recursos de la cuenca resultan importantes, sin embargo, siempre existirá uno de ellos que sea el que define la capacidad de uso de la cuenca, por ejemplo, una cuenca puede distinguirse por su producción maderera, minera o ganadera, por su aporte de agua, etc
- *Los sistemas de producción y conservación.-* Para diseñar un plan de manejo de una cuenca es de suma importancia conocer su funcionamiento básico y cuales son los componentes que permiten el desarrollo de las actividades, resulta útil distinguir entre sistemas de producción y conservación.
- *Los principales problemas, potenciales y necesidades de la población que habita la cuenca.-* La satisfacción de las necesidades de la población de la cuenca es una de las bases para el diseño del plan, es importante enfocar las soluciones de manera sencilla y efectiva, tomando en cuenta mecanismos participativos y la promoción de alternativas, definiendo claramente quienes son los responsables y cuales son las funciones que deben cumplir.
- *El estado actual de la cuenca, su capacidad y limitantes.-* El diagnóstico realizado sobre los componentes de la cuenca debe ser lo suficientemente claro como para definir cual es el estado de la cuenca y de esta manera conocer hacia donde se puede dirigir el plan de manejo, y dado que la cuenca es parte de un sistema más grande, es también importante conocer como se relaciona con su entorno.
- *Aspectos de interés para los actores sociales.-* Conocer los aspectos de interés para los actores sociales permite establecer el tipo de estrategias a aplicarse para contar con los recursos necesarios, se deben definir los beneficiarios y responsables.

- *Nivel de organización y efectividad de la participación.*- Es importante conocer de que manera están organizados los organismos representativos de la cuenca, y con que experiencia cuentan, para poder prever de una forma aproximada cual será su respuesta a los programas, y cuales son las áreas en las que se requiere fortalecimiento, capacitación y apoyo técnico, a partir de este análisis es factible definir quien será el ejecutor del proyecto.

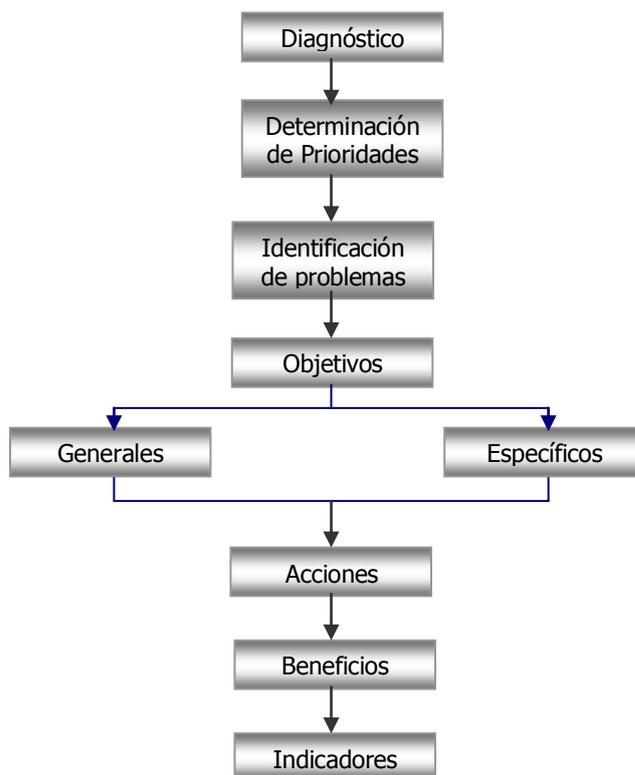
4.4.2 FORMULACIÓN DEL PLAN

La formulación del plan requiere el planteamiento de un objetivo claro de que es lo que se espera lograr en el desarrollo de la cuenca, es decir cómo pasar del estado actual a un escenario de desarrollo sustentable y bien integrado, como base se puede usar la comparación entre la demanda de los recursos y la capacidad de la cuenca, indicadores de la degradación de los recursos, la determinación de áreas que requieren atención inmediata y las necesidades de la población, con base en esta información es factible determinar si el carácter del plan será de protección, conservación, recuperación o rehabilitación.

Un aspecto clave a considerar es la vocación de la cuenca, es decir las posibles aplicaciones o usos de los recursos presentes en ella, procurando generar estrategias de carácter integral, con alternativas eficientes que permitan optimizar los proyectos. El punto más importante es que las actividades realmente resuelvan los problemas identificados en el diagnóstico, alternativas de solución comunes son:

- Transferencia de tecnología para uso adecuado de la tierra y mejoramiento de la producción agrícola.
- Reforestación
- Manejo de recursos hídrico y riesgos
- Conservación de suelos
- Conservación de aguas
- Conservación de zonas ecológicamente importantes
- Educación ambiental
- Estudios complementarios
- Fortalecimiento institucional.

Fig 4.42.- Cuadro resumen del proceso de planificación



Fuente.- Autores

4.4.3 BENEFICIOS Y BENEFICIARIOS DEL PLAN

El plan debe indicar cuales serán los beneficios a corto, mediano y largo plazo, las personas que habitan la cuenca, como los agricultores, por ejemplo, por lo general esperarán beneficios a corto plazo, por lo cual es necesario definir claramente cuando se podrán ver resultados y cuál será su magnitud e importancia, así como también quienes serán los principales beneficiarios y cuál será su participación en el proceso.

La participación comunitario debe asegurarse tanto durante el proceso de elaboración del plan, como en su ejecución, con el fin de justificar el manejo de la cuenca, además que permitirá integrar a los distintos actores sociales involucrados.



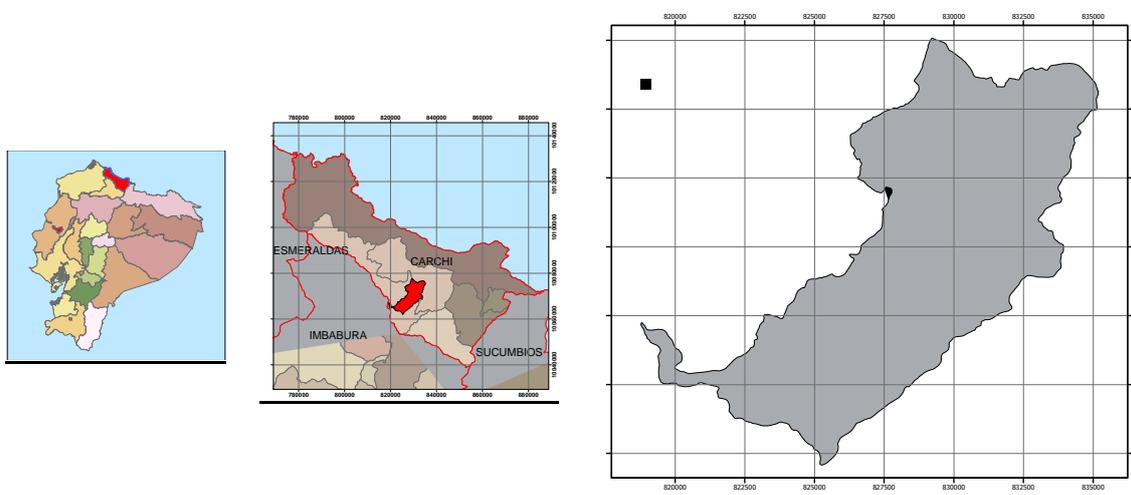
CAPÍTULO V:
APLICACIÓN DE LA GUÍA EN LA
SUBCUENCA DEL RÍO SANTIAGUILLO

5.1 ASPECTOS GENERALES DE LA SUBCUENCA

5.1.1 UBICACIÓN

El área de estudio está ubicada al norte del Ecuador, en la provincia del Carchi, al oeste de la subcuenca del río El Ángel, se encuentra influenciando a los cantones: Espejo y Mira. La subcuenca del Río Santiaguillo es parte de la cuenca del Río Mira, ubicada también en la provincia del Carchi. Figura 5.1

Fig. 5.1.- Ubicación Geográfica de la sub cuenca del Río Santiaguillo



Fuente.- Autores

La subcuenca se encuentra enmarcada en las siguientes coordenadas:

Tabla 5.1.- Coordenadas de la subcuenca

Extremo	E (m)	N (m)
Superior izquierdo	817500	10077500
Superior derecho	835000	10077500
Inferior izquierdo	817500	10062500
Inferior derecho	835000	10062500

Fuente.- Autores

5.1.2 RANGO DE ELEVACIÓN

La subcuenca se extiende desde su cota mínima de elevación a los 1240 m.s.n.m, en su desembocadura en el Río Mira, hasta los 3960 m.s.n.m, en su cota máxima, en el cerro Chiltazón, al norte de la subcuenca.

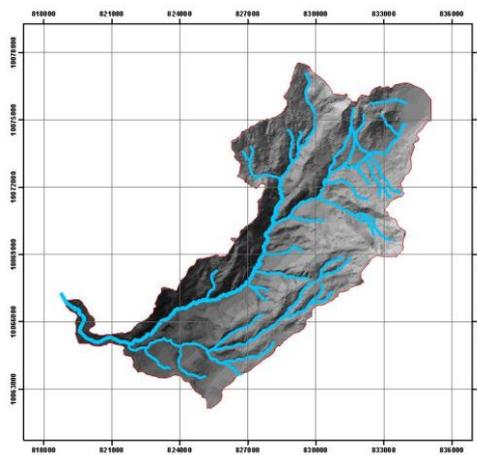
5.1.3 PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS

Se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 5.1.- Parámetros morfométricos

Parámetro	Fórmula	Resultado	Observaciones
Área	Software (ArcGis)	9465.85 Has	-----
Perímetro	Software (ArcGis)	62.2 Km	-----
Longitud axial	Software (ArcGis)	18.46 Km	-----
Ancho promedio	$\frac{\text{Área}}{\text{Longitud axial}}$	5.13 Km	-----
Factor forma	$\frac{\text{Ancho promedio}}{\text{Longitud axial}}$	0.28	La subcuenca tiene una baja tendencia a lluvias intensas
Coefficiente de compacidad	$Kc = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}}$	1.803	La subcuenca se ubica en la categoría Kc3, con forma Oval oblonga, tiempo de concentración alto y baja tendencia a crecidas
Pendiente media	$Ir = \frac{HM - Hm}{1000 \times L} \times 100(\%)$	16.03	Este valor indica un relieve accidentado, el cual coincide con la realidad de la subcuenca.
Orientación de la cuenca	-----	Norte-Sur	No recibe sol de manera uniforme durante todo el día, lo que disminuye su productividad.
Sistemas de drenaje	Según Schumm	-----	La subcuenca tiene 33 drenajes de orden 1, 9 drenajes de orden 2, y 3 drenajes de orden 3. El orden de cauce es 4
Densidad de drenaje	$Dd = \frac{Lx}{A}$	1.03 km/km ²	Este valor indica una baja densidad de drenaje, por lo que se requiere un alto grado de protección de los cauces.
Patrón de drenaje	-----	Paralelo y dendrítico	En la subcuenca se encuentran estos patrones por zonas, de acuerdo a las condiciones del relieve que presentan. Fig 5.2

Fuente.- Autores

Fig. 5.2.- Patrones de drenaje**Fuente.-** Autores

5.2 COMPONENTES ABIÓTICOS

5.2.1 AGUA

La subcuenca del Río Santiaguillo está conformada por 37 quebradas, las principales son:

Tabla 5.2.- Quebradas del Río Santiaguillo

Quebrada	Margen	Dimensión (m)
Del Rosario	Derecha	5631,11
Arrayán	Izquierda	2627,95
Chial	Izquierda	1894,70
Coto	Izquierda	2791,27
Curiquingues	Izquierda	2165,56
De Buitres	Izquierda	2531,95
El Alumbral	Izquierda	1595,94
El Charco	Izquierda	1664,21
El Colorado	Izquierda	4264,59
El Rincón	Izquierda	4077,18
Juan Montalvo	Izquierda	4124,20
La Agraria	Izquierda	2392,72
Narchin	Izquierda	4203,30
Pandalita	Izquierda	7245,83
Pucara	Izquierda	2290,80

Fuente.- Autores

Como puede apreciarse la mayor parte de los drenajes de la cuenca se encuentra en la margen izquierda del río Santiaguillo, ya que en la margen derecha se encuentra únicamente la Quebrada del Rosario y cinco quebradas sin nombre.

El ingreso de agua a la cuenca está dado principalmente por las precipitaciones que tienen lugar en la zona, que corresponde al páramo ubicado en los cerros Iguán y Chiltazón, ya que aquí la mayor parte del tiempo existe una capa de niebla, la cual constituye precipitación horizontal, que se filtra por las fisuras de las rocas, dadas sus características geológicas, luego de lo cual afloran en forma de vertientes en las partes más bajas, siendo estas las fuentes usadas para satisfacer las necesidades básicas de agua.

Cabe destacar que la única población que posee una planificación en cuanto al manejo del agua es Piquer, esta comunidad posee varios reservorios (Anexo B2, foto 12) alimentados por las acequias existentes en el sector y por las escasas precipitaciones que se dan en el lugar, estos reservorios son usados con fines de riego durante las épocas de escasez.

La parte media y baja del cantón Mira es atravesada por cinco sistemas de acequias; los mismos que son alimentados en la parte alta del Río Mal Paso, que se encuentra fuera de la cuenca.

5.2.1.1 AGUA PARA RIEGO.- Se pudo evidenciar que la distribución del agua a lo largo de la cuenca no es equitativa ni cubre las demandas de los habitantes, en Chulte por ejemplo, el agua de las acequias es utilizada para el ganado, ya que no es suficiente para regar los cultivos. En más del 70% de la cuenca la población depende de las precipitaciones para regar sus cultivos, lo que conlleva a que gran parte de las tierras están destinadas a pastizales para alimentación del ganado.

5.2.1.2 AGUA PARA CONSUMO HUMANO.- El agua del que dispone la población de la cuenca es únicamente agua entubada proveniente de tanques reservorios en los cuales se le da un tratamiento básico que consiste únicamente en la cloración, por lo que la calidad del agua es deficiente e incluso inferior al agua de las vertientes, esto evidencia que el mantenimiento de los reservorios no es adecuado. (Anexo B2, foto 22)

Un aspecto derivado de la antes mencionado es que la totalidad de las personas encuestadas dijeron sufrir de dolores estomacales y diarreas constantes, por lo cual en ciertos lugares como Chulte han optado por consumir el agua de vertiente, con lo cual han eliminado este malestar.

5.2.1.3 OTROS USOS DEL AGUA.- Dado que el caudal de las acequias es insuficiente para el riego de los cultivos, los pobladores han optado por utilizar estas fuentes para la cría y mantenimiento de ganado.

Por otra parte, a lo largo de la cuenca, especialmente en la Quebrada del Rosario (sector Chulte por la margen izquierda y Palo Blanco por la derecha) se practica la pesca deportiva de trucha, que según los pobladores es abundante en esta zona.

5.2.1.4 CAUDALES.- La medición de caudales se realizó en dos puntos de muestreo, uno de ellos en la parte alta y otro en la parte baja, debido a la poca factibilidad de ingreso al lecho

del río. En el primer punto se realizó un aforo volumétrico, y en el segundo un aforo con flotador y por el método de sección transversal. Los caudales obtenidos fueron: (Anexo B2, foto 27)

Tabla 5.3.- Puntos de muestra de caudales

punto	Localización	Coordenadas			Caudal (lt/s)
		E (m)	N (m)	Z (m)	
1	Chulte	828898	10070247	2929	0.68
2	Santa Ana	821529	10065117	1460	65

Fuente.- Autores

5.2.1.5 CALIDAD DEL AGUA.- Se realizaron análisis físico-químicos y bacteriológicos para determinar la calidad de agua en los dos puntos de muestra (Anexo B2, fotos 18, 19, 20 y 28). Adicionalmente se realizaron análisis bacteriológicos del agua entubada para consumo humano en las poblaciones de Chulte y Piquer.

Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

Tabla 5.4.- Calidad de agua

Parámetro	Unidades	Chulte	Santiagoullo	Límite máximo permisible para consumo humano que requiere tratamiento convencional (TULAS)	Límite máximo permisible para riego (TULAS)
DBO	mg/lt	0.3	1,65	2,0	----
Oxígeno Disuelto	mg/lt	7,45	7,5	> 80% del O ₂ de saturación > 6mg/l	----
DQO	mg/lt	< 50	< 50	----	----
Coliformes fecales	NPM/100ml	--	--	600	1 000
Nitratos	mg/lt	2,1	2,1	10,0	----
pH	Unidades de pH	7	7,2	6-9	6-9
Temperatura	°C	11	19	Aprox. 3° C	----
Sólidos disueltos	mg/lt	0,0086	0,0166	1 000	3 000,0
Sólidos totales	mg/lt	0,0085	0,0293	----	----
Sólidos suspendidos	mg/lt	0,0007	0,0107	----	----
Fosfatos	ppm	0,15	0,1	----	----
Turbidez	NTU	3,24	4,95	100	----
Dureza	mg(CaCO ₃)/lt	80	177	500	----
Alcalinidad	mg(CaCO ₃)/lt	54	179	----	----

Fuente: Autores

Laboratorio: CEEA

De acuerdo al Índice de Calidad de Agua (WQI), el agua de las muestras de Chulte y Santiaguillo tienen un valor de 81.92 y 79.15 respectivamente, lo que corresponde a una calidad Buena.

De acuerdo al Texto Unificado De la Legislación Ambiental Secundaria, Libro VI, Anexo 1, el agua cumple con los límites máximo permisibles tanto para consumo humano, como para riego, cabe resaltar que a pesar de que la temperatura está fuera de los límites, no es un factor determinante, ya que puede variar de acuerdo a la hora del día.

Los resultados del análisis bacteriológico para el agua entubada en las poblaciones de Chulte y Piquer fueron los siguientes:

Tabla 5.5.- Contenido de coliformes fecales en el agua

	Unidades	Chulte (Población)	Piquer (Población)
Coliformes fecales	NPM/100ml	3600	2500

Fuente: Autores

Laboratorio: DANEC

De acuerdo al Tulas, el contenido de coliformes fecales sobrepasa el máximo permitido para el consumo humano, lo cual demuestra claramente que esta es la razón de los constantes dolores de estómago y diarreas declarados por los habitantes.

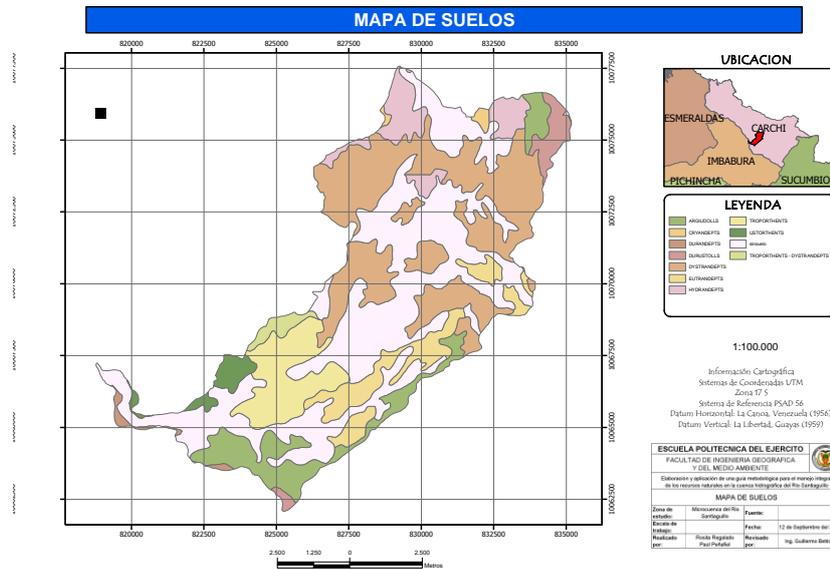
5.2.2 SUELO

La distribución de la superficie de los diferentes tipos de suelos de la subcuenca del Río Santiaguillo se presenta de la siguiente manera: (Figura 5.3, Anexo B5, Mapa de suelos)

Tabla 5.6 – Tipos de suelo presentes en la cuenca

ORDEN	SUBORDEN	GRAN GRUPO	Área (Ha)	%
1	Mollisoles	Udolls	Argiudolls	816,19 8,62
2	Inceptisoles	Andepts	Cryandepts	44,54 0,47
3	Inceptisoles	Andepts	Durandepts	55,34 0,58
4	Mollisoles	Ustolls	Durustolls	213,18 2,25
5	Inceptisoles	Andepts	Distrandepts	2584,40 27,30
6	Inceptisoles	Andepts	Eutrandepts	672,74 7,11
7	Inceptisoles	Andepts	Hydrandepts	508,36 5,37
8	Entisoles	Orthents	Troporthents	748,09 7,90
9	Entisoles Inceptisoles	Orthents Andepts	Troporthents Distrandepts	102,28 1,08
10	Entisoles	Orthents	Ustorthents	171,04 1,81
11	----	----	Pendientes > 70%	3549,69 37,50
Totales:			9465,85	100

Fuente.- Autores

Fig. 5.3.- Mapa de Suelos de la Subcuenca del Río Santiaguillo

Fuente: Autores

5.2.2.1 DESCRIPCIÓN DE LOS TIPOS DE SUELOS.- De acuerdo a la memoria explicativa de la Información de Suelos, (PRONAREG – ORSTOM, 2002). En el área de estudio existen 10 tipos de tipos de suelos, plenamente identificados, además de los suelos ubicados en terrenos con pendientes mayores al 70%, los cuales no pueden ser aprovechados de manera alguna más que como protección de quebradas (Fig 5.4).

■ **ORDEN MOLLISOLES**

Son en su mayoría aquellos suelos de color negro; ricos en bases de cambio y muy comunes en las planicies, que han dado lugar a la formación de un horizonte superior de gran espesor y oscuro con un gran contenido de materia orgánica y de consistencia y estructura favorables al desarrollo radicular, cabe destacar la acción de microorganismos y lombrices en este tipo de suelos.

A nivel de Suborden, son diferenciados de acuerdo a criterios referidos a las condiciones de humedad, siendo ellos:

◆ **Suborden Udolls**

Son los mollisoles más o menos bien drenados. En lo que se refiere a la temperatura, pueden desarrollarse bajo condiciones que van de frías a cálidas. La mayoría de estos suelos están cultivados. Siendo los cereales y el maíz los cultivos más importantes.

Los grandes Grupos en este suborden se especifican de acuerdo a la presencia de capas y horizontes diagnósticos y ellos son:

- **Argiudoll.** De texturas arcillosas o arcillo arenosas, pH ligeramente ácido y buena fertilidad natural, pudiendo encontrarse cangahua a más de un metro de profundidad. Son suelos muy aptos para la agricultura y ganadería.

◆ **Suborden Ustolls**

Son los Mollisoles más o menos bien drenados. La sequedad es frecuente en estos suelos por lo cual casi siempre se requiere de irrigación artificial para los cultivos.

Los Grandes Grupos están diferenciados por la presencia de ciertas capas u horizontes diagnósticos, y son:

- **Durustolls.** Ustolls de zonas secas y templadas en las cuales la cangahua está dentro de un metro de profundidad; de texturas arcillo arenosas, pH neutro a ligeramente alcalino y presencia de carbonato de calcio. Están desarrollados sobre proyecciones volcánicas de ceniza antigua, dura y cementada (cangahua) y se encuentran en pendientes variables de las vertientes. Aunque tiene utilización agropecuaria, comúnmente presentan limitantes para su uso por la falta de agua y por su poca profundidad.

■ **ORDEN INCEPTISOLES**

Suelos que evidencian un incipiente desarrollo, dando lugar a la formación de algunos horizontes alterados.

Los Inceptisoles se han originado a partir de diferentes materiales parentales (materiales resistentes o cenizas volcánicas); en posiciones de relieve extremo, fuertes pendientes o depresiones o superficies geomorfológicas jóvenes.

El uso de estos suelos es muy diverso y variado, las áreas de pendientes son más apropiadas para la reforestación mientras que los suelos de depresiones con drenaje artificial pueden ser cultivados intensamente.

Dentro de este Orden se identifican subórdenes caracterizados por la humedad, temperatura y mineralogía del suelo, entre los cuales:

◆ **Suborden Andepts**

Son los Inceptisoles originados de cenizas volcánicas y su ocurrencia está en o cerca de las montañas que tienen actividad volcánica.

Normalmente presentan un alto contenido de carbón orgánico, con excepción de los suelos de cenizas muy recientes. Característica principal de estos suelos es que debido a que pueden ser originados de diferentes aportes volcánicos, presentan muchas veces horizontes "enterrados" que corresponden a anteriores capas superficiales ricas en materia orgánica.

Los Grandes Grupos se definen en función de los criterios: saturación en bases y retención de humedad, y ellos son:

- **CRIANDEPTS Y DISTRANDEPTS**

Distrandepts. Son los Andepts que poseen una retención de humedad inferior al 100%, gran cantidad de carbón orgánico y materiales amorfos y un bajo contenido de bases. Los minerales normalmente han sido alterados, existiendo gran cantidad de vidrio volcánico dentro del primer metro de profundidad.

Poseen un alto poder de fijación del fósforo, lo cual limita su capacidad de uso. Son profundos de color muy negro.

Presentan texturas medias: franco a franco limoso, alto contenido de materia orgánica y potasio y pobres en nitrógeno y fósforo. Cuando la temperatura del suelo es inferior a 10°C se los denomina **Criandeps**. Se encuentran bajo cultivos de altura (cereales, papas y pastizales), así como también bajo bosques y vegetación natural.

Los factores limitantes para su uso agropecuario son las fuertes pendientes, la baja fertilidad y bajas temperaturas.

Eutrandepts. Son los Andepts con gran cantidad de materiales amorfos y carbón orgánico y alto contenido de bases. Son suelos profundos, de cenizas recientes suaves y permeables. Presentan texturas francas o limosas con arena muy fina; pH ligeramente ácido a neutro; son ricos en materia orgánica y buena fertilidad natural de coloración negro o parduzco. Se localizan sobre pendientes irregulares. Su utilización es muy amplia soportando toda clase de cultivos, pastizales y arboladas.

Hidrandepts. Estos suelos tienen siempre un contenido de humedad por debajo de la capacidad de campo. Tienen un alto contenido de agua y su capacidad de retención de humedad es superior al 100%. Presentan texturas finas limosas, son muy untosos al tacto, el pH es ligeramente ácido y su fertilidad natural baja. Se encuentran tanto en

las fuertes pendientes de las montañas, como en las ondulaciones suaves de los páramos. Son suelos cuya vegetación dominante es la paja de páramo y el matorral húmedo, pudiendo utilizarse con ciertas restricciones para pastizales de altura, teniendo como limitantes las heladas y el exceso de humedad.

■ **ORDEN ENTISOLES**

Son aquellos suelos que tienen muy poca o ninguna evidencia de formación o desarrollo. Hay muchas razones por las cuales no se han formado los horizontes; en muchos de los suelos el tiempo de desarrollo ha sido muy corto, otros se encuentran sobre fuertes pendientes sujetas a erosión y otros están sobre planicies de inundación, condiciones éstas que no permiten el desarrollo del suelo. Suelen ocurrir sobre pendientes fuertes en las cuales la pérdida de suelo es más rápida que su formación.

Las condiciones de poco espesor o desarrollo del suelo limitan su uso; los principales problemas para su aprovechamiento constituyen la erosión, rocosidad, excesivos materiales gruesos, susceptibilidad a la inundación, saturación permanente de agua. Los subórdenes dentro de los Entisoles se los define en función de su material de origen.

◆ **Suborden Orthents**

Son los entisoles primarios formados sobre superficies de erosión reciente. La erosión puede ser de origen geológico o producto de cultivo intenso u otros factores que han removido o truncado completamente los horizontes del suelo, dejando expuesto a la superficie material mineral primario grueso (arenas, gravas, piedras, etc.), o material cementado (cangahua). Cuando sostienen vegetación, ésta es muy escasa o efímera.

Dentro de este suborden y de acuerdo a las condiciones de humedad y temperatura, se identifican los siguientes Grandes Grupos.

- **Troportents.** Orthents de áreas templadas a cálidas y húmedas. Normalmente se encuentran sobre relieves de pendientes moderadas a fuertes como son las estribaciones y vertientes de la cordillera andina y costera.
- **TROPORTHENTS - DISTRANDEPTS**

Ustorthents. Son Orthents de zonas secas, frías, templadas o cálidas. Se distribuyen sobre relieves accidentados de las vertientes de la cordillera

andina o colinas costeras o también sobre relieves de pendientes suaves cerca de los volcanes.

5.2.2.2 ANÁLISIS DE SUELOS.- Con el fin de validar la información de suelos usada como referencia, se planificó tomar muestras en los diferentes tipos de suelo (Anexo B2, foto 29) de acuerdo al mapa (Fig. 5.6), a las cuales se realizó un análisis básico en los laboratorios del Servicio Ecuatoriano de Sanidad Agropecuaria (SESA) del MAG, los cuales arrojaron los siguientes resultados (Anexo B3).

Tabla 5.6.- Puntos de muestreo

Punto	E(m)	N(m)	Z(m)	T° (°C)	Observaciones
Muestra 1	833835	10072568	3440	16,5	Limoso, café negruzco con escasos clastos
Muestra 2	831158	10073627	3312	16	Café claro amarillento, duro y grueso
Muestra 3	829745	10073455	3348	18	Negro y grueso
Chulte	830463	10070686	3125	19	Duro, grueso y café claro
El Hato	828259	10065454	2900	17	Duro, grueso y café claro
Juan Montalvo	824600	10065182	1990	33	Duro, grueso y café claro
Santiaguillo	821472	10065166	1460	30	Pedregoso y de color amarillento

Fuente.- Autores

Tabla 5.7.- Resultado del análisis de suelo

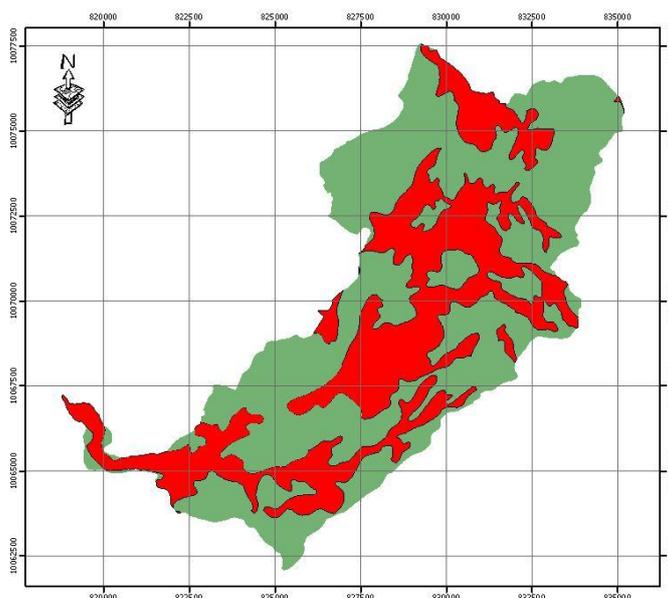
#de Laboratorio	# de Campo	PH	M. O. (%)	N Total (%)	P (ppm)	K (ppm)	Clase Textural
1016	Muestra 1	5.11	8.83	0.44	2.80	70	Franco
1017	M - 2	6.01	6.67	0.33	4.20	380	Franco
1018	M - 3	5.40	18.99 C%=11.01	0.95	1.20	60	Franco Arenoso
1019	Chulte	5.65	7.01	0.35	18.50	120	Franco Arcillo Limoso
1020	El Hato	5.84	4.39	0.22	8	220	Franco Arcilloso
1021	J. Montalvo	6.69	2.03	0.10	24	120	Franco Arenoso
1022	Santiaguillo	7.77	4.52	0.22	14	170	Franco Arenoso

Fuente: Laboratorios SESA

De acuerdo a los resultados obtenidos se pudo determinar que los suelos en la cuenca son adaptables a los cultivos típicos de la cuenca, ya que su contenido de nutrientes es aceptable y las pequeñas deficiencias pueden ser fácilmente corregidas por medio de fertilizantes, además tienen un buen contenido de materia orgánica en la mayoría de los casos.

5.2.2.3 USO ACTUAL DE SUELO.- El uso actual del suelo pudo ser definido gracias a la observación directa realizada en la salida de campo (Anexo B2, foto 4), y apoyada por la fotografía aérea, lo cual facilito la debida zonificación, la misma que se detalla a continuación (Fig 5.4, Anexo B5, Mapa de uso actual de suelo):

Fig. 5.4.- Uso actual de suelo



Fuente: Autores

Tabla 5.8.- Uso actual del suelo

Uso actual	Área (Ha)	%
Pendientes > 70%	3549,69	37,50
Zonas de cultivos	2129,82	22,5
Pastizales	2839,76	30,0
Pajonales	473,30	5,0
Remanentes de bosques	473,30	5,0
Totales:	9465,85	100

Fuente.- Autores

El uso principal de la cuenca es agrícola – ganadero, sin embargo esta es una actividad de subsistencia para los habitantes del sector, más no una actividad económica rentable.

5.2.2.4 USO POTENCIAL DE SUELO.- Se plantea un uso adecuado del suelo basado en el proceso planteado por Agustín Codazzi. Obteniendo como resultado las debidas recomendaciones para el uso, así como también la ratificación del uso en varias de las zonas. Se pudo determinar de acuerdo al tipo de suelo, pendientes y el nivel de precipitación los distintos usos para los que el

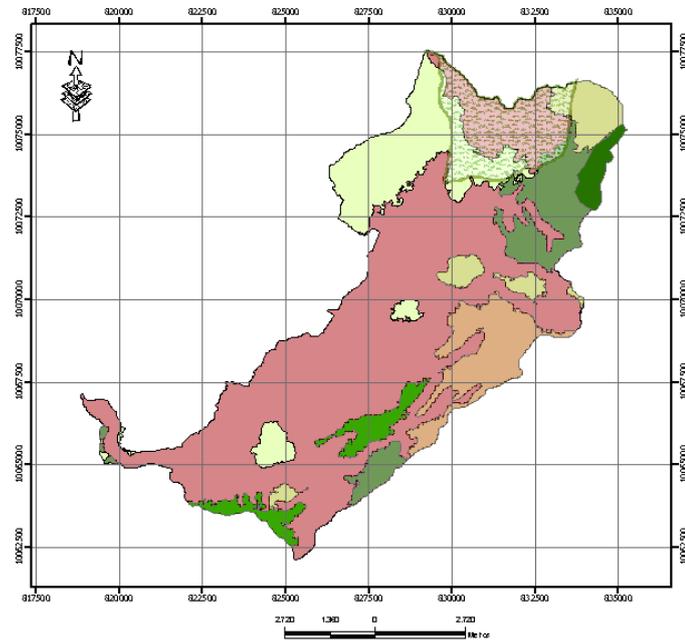
suelo es apto, y dado que la población de la subcuenca se dedica en su gran mayoría a la agricultura se tomo esta actividad como base para la zonificación.

Como resultado de este proceso se determinaron áreas de: (Fig 5.5, Anexo B5, Mapa de Uso Potencial de Suelo)

- **Conservación.-** Estas áreas estarían orientadas a la conservación y protección de las fuertes pendientes que ocupan un alto porcentaje del área total de la cuenca tratando de mantener su vegetación natural y evitando al máximo su intervención para evitar la desestabilización del terreno, fomentando programas de educación y concienciación en la población.
- **Áreas de uso forestal con fines de reforestación.-** Estas zonas estarían destinadas a la implementación de viveros de especies nativas con el fin de usar las plantas obtenidas en la reforestación de las zonas en las que el avance de la frontera agrícola ha disminuido la cobertura vegetal, mediante el desarrollo de proyectos con las comunidades de la subcuenca y ONGs.
- **Reforestación.-** Estas son zonas que han sido intervenidas y que dadas sus características pueden usarse para la recuperación de la cobertura vegetal, mediante el uso de las plantas producidas en los viveros implementados en las áreas de uso forestal con fines de reforestación, de igual manera se pueden desarrollar actividades con la participación comunitaria y ONGs.
- **Agricultura planificada con riego.-** De acuerdo a las características de los suelos de estas zonas es factible realizar una agricultura suave, con fertilización adecuada, para evitar el desgaste prematuro de los suelos y su abandono, mediante la implementación de técnicas apropiadas de cultivo que permitan a los agricultores sacar el máximo provecho de sus cosechas y mejorar su calidad de vida, en estas zonas es de suma importancia también la capacitación en tecnologías de riego, ya que la falta de agua es un factor determinante en la producción y uno de los principales problemas en la subcuenca.
- **Agricultura moderada con riego.-** Estas zonas toleran un tipo de cultivo más intenso que en las zonas anteriores, ya que los suelos son de buena calidad, con alto contenido de materia orgánica y por lo tanto no se requirieren grandes inversiones en fertilización, aspecto muy importante a tomar en cuenta ya que la capacidad de inversión de los agricultores es muy baja. En estas zonas también se deben desarrollar proyectos de capacitación en tecnologías de cultivo y riego para promover un manejo sustentable de los suelos.
- **Producción ganadera.-** Estas zonas tienen aptitud para la cría de ganado

vacuno especialmente, con miras a incrementar la producción de leche con proyectos que tiendan a mejorar la calidad y cantidad del pasto disponible en la zona, y evitando el sobrepastoreo para prevenir la erosión acelerada del suelo, estas zonas también tendrían como objetivo la disminución del avance de los pastizales hacia la zona de los pajonales.

Fig 5.5.- Uso potencial de suelo y zonificación



Fuente.- Autores

5.2.3 GEOLOGÍA

La geología de la sub cuenca del río santiaguillo es predominantemente volcánica con lavas y depósitos volcánicos del Iguán y del Chiltazón que según el mapa geológico del Ecuador pertenecen al grupo de volcánicos del Chuquiraguas (pleistoceno); caracterizados por una actividad joven de los volcanes y la abundancia de productos piroclásticos, en las quebradas de la parte media de la sub cuenca afloran lavas gris oscuras con feno cristales de plagioclasa. Las lavas son andesitas piroxénicas (Anexo B2, fotos 24, 25, 26).

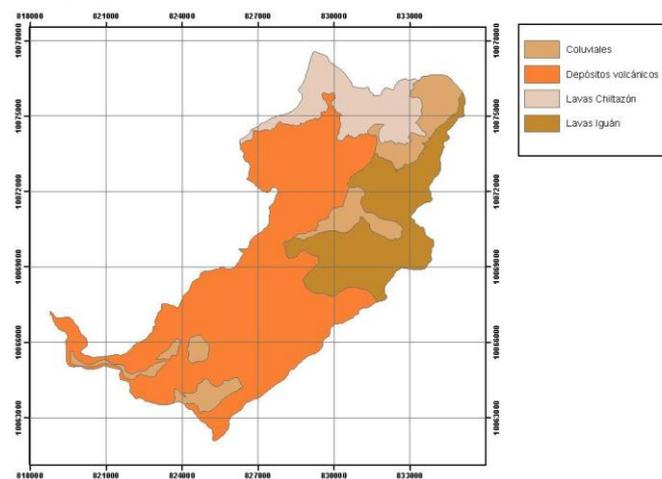
Los depósitos volcánicos son hetero litológicos y poseen abundantes clastos de rocas volcánicas variadas de varios metros de diámetro. Existen tres unidades litológicas, la inferior es una brecha volcánica que sobre pasa los 20 metros de espesor, la intermedia esta constituida por travertino y sedimentos tobáceos lagunales que alcanzan un espesor de

hasta 15 metros, la superior es una brecha volcánica cubierta por piroclastos y su espesor llega a veces hasta los 30 metros.

El origen de estos depósitos se relaciona a las últimas etapas de actividad glacial en el área andina, probablemente estos glaciares suministraron el agua que permitió el avance del material acumulado en los flancos de los volcanes, siguiendo el cauce de los ríos y bajando a rellenar los valles.

Se pueden distinguir también varios depósitos coluviales del holoceno a lo largo de toda la cuenca. (Fig 5.6, Anexo B5, Mapa Unidades Geológicas)

Fig. 5.6.- Unidades geológicas de la subcuenca



Fuente.- Autores

De acuerdo al tipo de roca predominante en toda la cuenca, se puede obtener la siguiente tabla:

Tabla 5.9.-Susceptibilidad a la erosión

Roca	Textura del suelo	Susceptibilidad a la erosión		
		E1	E2	E3
Andesita	Arenoso	X		X
Ceniza Volcánica	Arcilloso-Arenoso			X
Brechas	Arcilloso	X		X

E1 → Poco susceptible
 E2 → Moderadamente susceptible
 E3 → Altamente susceptible

Fuente.- Autores

Es decir que la mayor parte de la cuenca es altamente susceptible a la erosión, aspecto que se pudo comprobar en campo, mediante observación directa, las rocas están fisuradas y presentan signos de meteorización.

5.2.4 GEOMORFOLOGÍA

El ambiente predominante en la zona es el volcánico, por lo que se puede ver acumulación de lavas en los flancos del Chiltazón y del Iguán, sobre los 3500 metros se pueden observar formas aborregadas producto de la actividad glaciaria en la zona. Según la clasificación propuesta por Winckell (1990), ambos cerros pertenecen al grupo de volcanes bien conservados de segunda y tercera generación, los cuales no presentan actividad volcánica actual y que no sufrieron enhielamiento cuaternario.

A lo largo de toda la subcuenca existen grandes paleodeslizamientos ya estabilizados (Anexo B2, foto 6), que coinciden con las zonas de pendientes más fuertes, se pueden ver también asentamientos que coinciden con las pocas zonas planas de la subcuenca (Anexo B2, foto 6).

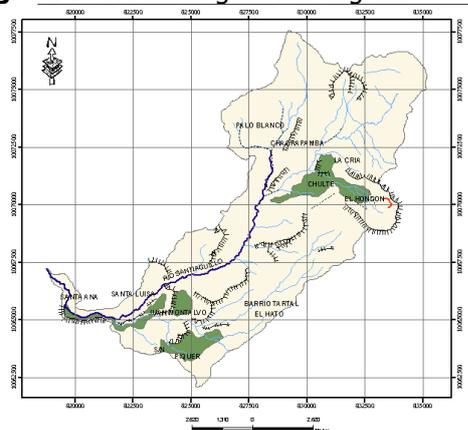
En la parte baja de la cuenca se pueden apreciar varias cuchillas formadas por procesos de meteorización.

A lo largo del río Santiaguillo se puede apreciar el efecto de las crecidas del río dando como resultado la socavación del cauce, dando lugar a un ambiente fluvial.

Se pudo observar también, mediante las fotografías aéreas la presencia de erosión regresiva en las laderas del Iguán, este fenómeno es relativamente reciente resultado de la deforestación de esta área.

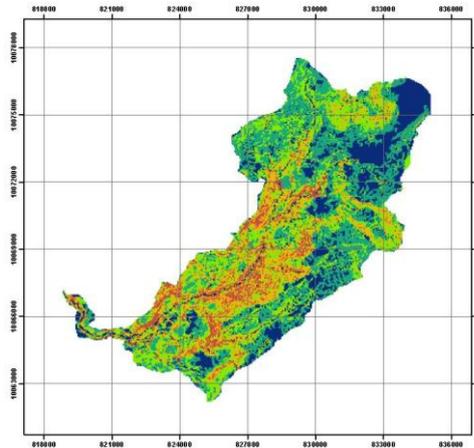
El mapa geomorfológico resultante es el que se muestra a continuación. Fig 5.7 (Anexo B5, Mapa de Unidades Geomorfológicas)

Fig. 5.7.- Unidades geomorfológicas



Fuente.- Autores

En cuanto a las pendientes, aproximadamente el 40% del área total de la subcuenca es abarcado por pendientes muy fuertes mayores al 70%, dando lugar a un relieve accidentado, con muy pocas zonas planas aprovechables. Fig 5.8 (Anexo B5, Mapa de Pendientes)

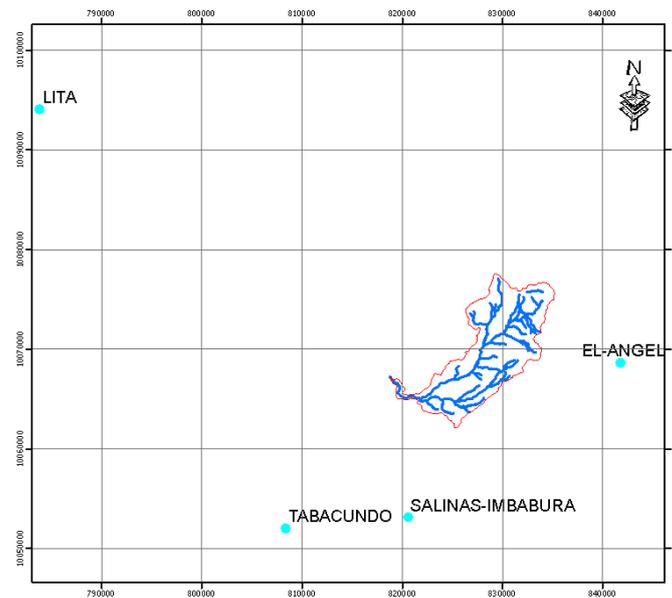
Fig. 5.8.- Pendientes**Fuente.- Autores**

5.2.5 CLIMA

En esta área el periodo de lluvias se presenta en el primer semestre de cada año, con una ligera variación en cuanto a su duración, sin embargo, en el resto de meses también existe una relativa humedad, casi imperceptible. El clima predominante en el área de la cuenca va de frío a templado con un promedio de 11.5°C, presentando temperaturas mínimas de hasta -3°C en las primeras horas de la mañana para las partes más altas de la cuenca (Parroquia "El Ángel"), hasta un máximo de 26°C en las partes más bajas (Parroquia "San Isidro").

5.2.5.1 ESTACIONES.- No existen datos climáticos actualizados. Las últimas mediciones corresponden al año 1993 cuando dejaron de funcionar las estaciones.

Cabe destacar que no existen estaciones meteorológicas ni pluviométricas dentro del área de la subcuenca que puedan proveer de información cierta, las estaciones fuera de la subcuenca no pudieron ser tomadas en cuenta debido a la lejanía al área de influencia, esto hace que los datos existentes no sean representativos para este estudio. Fig 5.9

Fig. 5.9.- Estaciones de la subcuenca del Río Santiaguillo

Tramo	Distancia (Km.)
Estación "El Ángel" - McRS	8
Estación "Salinas-Imbabura" - McRS	10
Estación "Tabacundo" - McRS	16
Estación "Lita" - McRS	44

Fuente.- Autores

5.3 COMPONENTES BIÓTICOS

5.3.1 BIODIVERSIDAD

En Ecuador al igual que en el resto de países en vías de desarrollo, se están utilizando en forma precaria los bosques naturales. El avance de la frontera agrícola por quemas, tala indiscriminada, sobrepastoreo y cambio del uso del suelo, han llevado a un acelerado proceso de destrucción de los bosques nativos y refugios de vida.

Es necesario reconocer que preservar la diversidad biológica de una región depende de la conservación de sus ecosistemas (Pearson 1994). Los bosques de montaña se encuentran en una zona con drásticos cambios topográficos, que llevan a la formación de un considerable número de microclimas (Sarmiento 1995). Estas características conllevan a que estos bosques

alberguen una notable biodiversidad (Luteyn 1999), que se encuentra en peligro de desaparecer.

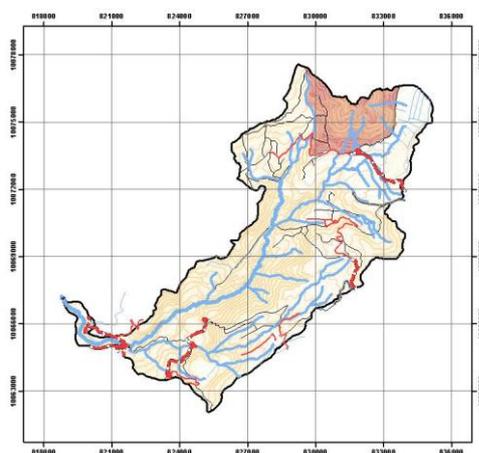
Los ecosistemas de la zona andina, históricamente han sido los más influenciados por la actividad humana (Sarmiento 1995). Inclusive muchos autores han sugerido que los asentamientos humanos han alterado en forma significativa al paisaje natural (Peñañiel 2001). La vegetación nativa ha sido remplazada por zonas agropecuarias, de las que dependen la economía de muchas familias locales y el sustento alimenticio del resto del país.”¹¹

La diversidad biológica encontrada en la subcuenca del Río Santiaguillo se debe básicamente a la influencia que ejerce la cercanía de la reserva ecológica el ángel tomando en cuenta que es una zona de páramos, estos cubren áreas mas extensas entre el bosque de niebla y la nieve perpetua, entre los 3500 – 4800 m.s.n.m. Generalmente el páramo se caracteriza por tener una vegetación herbácea dominada por gramíneas en forma de pajonal y por la ausencia de árboles, dicha biodiversidad está respaldada gracias a la vivencia diaria de los moradores de la zona y confirma la información de los estudios hechos en esta zona de vida.

Pirámide Ecológica

En la parte alta de la subcuenca hay un área de 932.48 Ha ocupada por la Reserva Ecológica El Ángel Fig 5.10 (Anexo B5, Área de la REEA en la subcuenca):

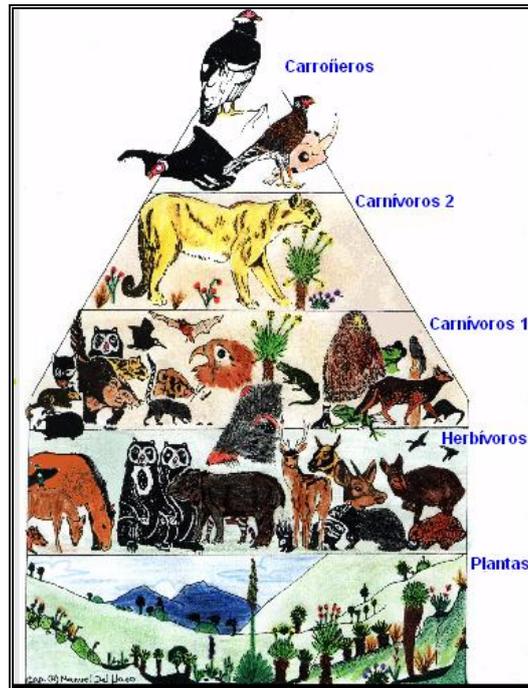
Fig. 5.10.- Áreas protegidas en la subcuenca



Fuente.- Autores

Gracias a la información recaudada durante varios años de investigación en esta reserva y a nivel de páramo, se ha podido determinar las diferentes especies, tanto de animales como de plantas; dando como resultado una generalización en cuanto a biodiversidad en el páramo andino ecuatoriano. Esta caracterización se encuentra representada a continuación en la figura 5.11, y detallada en la tabla 5.10.

¹¹ Grupo Corporación Randi Randi

Fig. 5.11.- Pirámide Ecológica

Fuente: Corporación Grupo Randi-Randi

Tabla 5.10.- Especies de los diferentes niveles de la Pirámide Ecológica

NIVEL	NOMBRE COMÚN	NOMBRE CIENTÍFICO
Carroñeros	Cóndor	<i>Vultur gryphus</i>
	Zumbador, gallinazo	<i>Coragyps attratus</i>
	Curiquingue	<i>Phalcoboenus carunculatus</i>
Carnívoros 2	Puma, león	<i>Puma concolor</i>
Carnívoros 1	Cuy	<i>Cavia porcellus</i>
	Jaguarundi	<i>Herpailurus gagaroundio</i>
	Raposa	<i>Didelphys marsupialis</i>
	Tigrillo	<i>Leopardos tigrinus</i>
	Oso de anteojos	<i>Tremarctos ornatus</i>
	Gli gli	<i>Vanellus resplandens</i>
	Cuchucho	<i>Nasua, nasua</i>
	Cusumbo	<i>Potos flavus</i>
Murciélago	<i>Varias especies</i>	

Carnívoros 1	Quilico	<i>Falco sparverius</i>
	Ratón	<i>Caenolestes especie</i>
	Guacsa	<i>Ophryoesoides guenterii</i>
	Gavilán	<i>Buteo poecilochrous</i>
	Chucuri	<i>Mustela frenata</i>
	Rana	<i>Varias especies</i>
	Lobo de páramo	<i>Pseudalopex culpaeus</i>
	Buho	<i>Buho virginianus</i>
	Musaraña	<i>Cryptotis equatoris</i>
	Herbívoros	Ratón y ratones de campo
Venada		<i>Odocoileus virginianus</i>
Colibri		<i>Varias especies</i>
Caballo cimarrón		<i>Equus caballus</i>
Oso de anteojos		<i>Tremarctos ornatus</i>
Danta		<i>Tapirus pinchanque</i>
Puerco espín		<i>Coendou quichua</i>
Venado		<i>Odocoileus virginianus</i>
Conejo		<i>Sylvilagus brasiliensis</i>
Guanta de monte		<i>Agouti taczanowskii</i>
Cervicabra		<i>Mazama americana</i>
Llama		<i>Lama glama</i>
Pacarana		<i>Dynomis branickii</i>
Pudu		<i>Pudu mephistophiles</i>
Pato		<i>Anas flavirostris</i>
Ratón		<i>Caenolestes especie</i>
Almohadilla		<i>Varias especies</i>
Paja	<i>Varias especies</i>	

Plantas	Frailejón	<i>Espeletia pycnophylla</i>
	Arbusto	<i>Varias especies</i>
	Piñuela	<i>Puya hamata</i>
	Ashpa chocho	<i>Lupinus especie</i>

Fuente: Corporación Grupo Randi Randi

5.3.1 FLORA

La flora en la subcuenca del río Santiaguillo esta definida claramente por la actividad humana y la topografía de la zona, esto es, remanentes de bosques montanos se tienen a lo largo del río Santiaguillo ya que es una zona con pendientes de mas del 70%, razón por la cual la flora en este sitio se encuentra casi intacta., aquí se puede establecer que existen varias especies tales como: Encino, Chilco, Juan, Moquillo, Charmuelan, Guabo, Arrayán, Cedro, Coca, Roble, Cascarilla/pitajaya, Aguacatillo, Cedrillo Blanco, Chilco, Higuerillo, Motilón, Canelo, Cordoncillo, Tarqui, Ortigo, Carbuquillo, Pumamaqui, Sauco, Tupial, Helecho, Chilguacan¹² (Anexo B2, fotos 14 y 17). De acuerdo a lo establecido en conversaciones con los pobladores se sabe también de la presencia de diferentes tipos de orquídeas en la zona alta.

En el resto del área se puede encontrar escasas unidades de estas especies ya que esta zona es ampliamente explotada en la agricultura y la ganadería, esto implica grandes zonas destruidas por la quema indiscriminada de la vegetación nativa con el fin de crear pastizales aprovechables en la ganadería.

De acuerdo al Mapa de Vegetación Andina se pueden encontrar en la subcuenca las siguientes formaciones vegetales:

Tabla 5.11.- Formaciones vegetales de la Subcuenca

FORMACIONES VEGETALES	COD	HA	PORCENTAJE
Bosque Siempreverde Montano Alto	Bsvma	1315,03	13,89
Bosque Siempreverde Montano Alto Intervenido	Bsvma/I	216,00	2,28
Matorral Humedo Montano	Mhm	340,98	3,60
Matorral Seco Montano	Msm	1019,25	10,77
Matorral Seco Montano Bajo	Msemb	18,65	0,20
Matorral Seco Montano Intervenido	Msm/I	295,88	3,13
Páramo De Frailejones	Pf	1131,21	11,95
Páramo De Frailejones Intervenido	Pf/I	165,19	1,75
Zonas Intervinidas	Zi	4963,67	52,44

Fuente: Mapa de vegetación de los Andes del Ecuador

5.3.2 FAUNA

¹² Grupo Corporación Randi Randi

La fauna andina dentro del área de interés mantiene aun las especies nativas y típicas de este tipo de pisos ecológicos. No obstante la única información, en este aspecto, que se maneja es la que provee la gente del sector. Por lo cual no se tienen datos exactos sobre la diversidad faunística ni sobre el estado de conservación de los animales de la subcuenca del Río Santiaguillo y su área de influencia, pero se puede asegurar que la expansión de la frontera agrícola ha alterado drásticamente los hábitats de un sinnúmero de animales como lobos, osos, venados, tigrillos, cóndores y ranas.

Como resultado de entrevistas y encuestas se obtuvo la siguiente información, siendo esta la más cercana a la realidad que se ha podido obtener:

Tabla 5.12.- Fauna de la subcuenca

ZONA ALTA	ZONA MEDIA	ZONA BAJA
Cóndor	gavilán	ratón
lobos de páramo	pavas de monte	raposa
conejo	zorrito	armadillo
venado	puerco espín	Gorrión
osos de anteojos	Conejo	Chiguaco
zorro	Zorro	
trucha	Torcaza	
pavas de monte	Ardilla	

Fuente: Autores

5.3.3 ECOSISTEMAS

De acuerdo a lo determinado en el Mapa de Vegetación de los Andes, se pueden encontrar los siguientes ecosistemas en la subcuenca:

- **Bosque Siempreverde Montano Alto (Bsvma).**- Este ecosistema incluye la vegetación de transición entre el bosque y páramo, y es similar al bosque nublado por la presencia de gran cantidad de musgo en el piso y plantas epífitas, además de la forma inclinada de los tallos de los árboles, esto se da debido a las fuertes pendientes en que se desarrolla. Las variables biofísicas que determinan este tipo de ecosistemas son las siguientes:

Tabla 5.13.- Variables biofísicas

Variable	Rango
Déficit Hídrico	0-5 mm
Altura media	2925 m.s.n.m
Pendiente	11°
Meses secos	4
Temperatura mínima anual	6° C
Temperatura máxima anual	17° C
Precipitación anual	922 mm
Potencial de Evapotranspiración	882 mm

Fuente: Memoria del Mapa de Vegetación de los Andes del Ecuador

- **Matorral Humedo Montano (Mhm).**- Se pueden encontrar matorrales asociados con bosque. Los remanentes de esta formación vegetal se encuentran ubicados en las quebradas con pendientes muy fuertes, donde es muy difícil cambiar el uso de suelo. En las zonas planas este tipo de vegetación ya no existe, pues ha sido reemplazado por cultivos y pastizales. Las variables biofísicas que determinan este tipo de ecosistemas son las siguientes:

Tabla 5.14.-Variables biofísicas

Variable	Rango
Déficit Hídrico	0-5 mm
Altura media	2848 m.s.n.m
Pendiente	2° en zonas planas y 70% en quebradas
Meses secos	6
Temperatura mínima anual	6.9° C
Temperatura máxima anual	19° C
Precipitación anual	969 mm
Potencial de Evapotranspiración	910 mm

Fuente: Memoria del Mapa de Vegetación de los Andes del Ecuador

- **Matorral Seco Montano (Msm).**- Es caracterizada por presentar arbustos de aproximadamente 2 m de altura, con frondosas copas, que tienen la finalidad de

retener la humedad, y en ciertos casos dotadas de espinas, y presencia de musgos. Esta vegetación se la encuentra verde solo en época de lluvias o cerca de los ríos. Las variables biofísicas que determinan este tipo de ecosistemas son las siguientes:

Tabla 5.15.-Variables biofísicas

Variable	Rango
Déficit Hídrico	5-25 mm
Altura media	2557 m.s.n.m
Pendiente	6°
Meses secos	8
Temperatura mínima anual	8° C
Temperatura máxima anual	20° C
Precipitación anual	568 mm
Potencial de Evapotranspiración	528 mm

Fuente: Memoria del Mapa de Vegetación de los Andes del Ecuador

- **Matorral Seco Montano Bajo (Msmb).**- Este tipo de formación es mucho más seca, y con frecuencia se cultiva el ovo y caña de azúcar. Las variables biofísicas que determinan este tipo de ecosistemas son las siguientes:

Tabla 5.16.-Variables biofísicas

Variable	Rango
Déficit Hídrico	5-25 mm
Altura media	1865 m.s.n.m
Pendiente	9°
Meses secos	8
Temperatura mínima anual	11° C
Temperatura máxima anual	23° C
Precipitación anual	896 mm
Potencial de Evapotranspiración	964 mm

Fuente: Memoria del Mapa de Vegetación de los Andes del Ecuador

- **Páramo De Frailejones (Pf).**- Este tipo de vegetación es más característica de los páramos de la provincia del Carchi, identificándose como especie indicadora a *Espeletia*

pycnophylla (frailejones), que es una especie nativa de los andes ecuatorianos. Las variables biofísicas que determinan este tipo de ecosistemas son las siguientes:

Tabla 5.17.-Variables biofísicas

Variable	Rango
Déficit Hídrico	0-5 mm
Altura media	3668 m.s.n.m
Pendiente	6°
Meses secos	2
Temperatura mínima anual	5° C
Temperatura máxima anual	13° C
Precipitación anual	983 mm
Potencial de Evapotranspiración	805 mm

Fuente: Memoria del Mapa de Vegetación de los Andes del Ecuador

- **Zonas Intervenidas (Zi).**- Estas son zonas en las que la actividad humana ha provocado el deterioro, en ciertos casos crítico, de los diferentes ecosistemas encontrados a lo largo de la subcuenca.

5.4 COMPONENTES SOCIOECONÓMICOS - CULTURALES

La información para la presente tesis fue obtenida del Sistema Integrado de Indicadores Sociales del Ecuador (SIISE), basado en el último censo del año 2001, y para complementar esta información se realizaron varias encuestas a los habitantes de la subcuenca, en las poblaciones de Chulte, El Hato, Juan Montalvo y Piquer, la información social de la población de Palo Blanco fue proporcionada por el Grupo Corporación Randi-Randi.

La información del SIISE está estructurada en parroquias, la subcuenca del Río Santiaguillo se encuentra en las parroquias de El Ángel y San Isidro, en el cantón Espejo, y las parroquias de Concepción, Mira (Chontahuasi) y Juan Montalvo en el cantón Mira.

5.4.1 POBLACIÓN

La población por parroquias de la subcuenca, según datos del SIISE es:

Tabla 5.18.-Población por parroquia

Parroquia	Población
Mira	5894

San Isidro	2843
El Ángel	6278
Juan Montalvo	1434
Concepción	3379

Fuente: SIISE

Los datos del Censo de Población y Vivienda del 2001 establecen que la tasa de crecimiento poblacional para la provincia del Carchi es del 0.7% anual, aunque los habitantes de la zona reconocen que existe un alto grado de migración interna, pues los moradores salen a las ciudades durante todo el año, y retornan cuando se celebran las festividades religiosas o políticas de cada una de las parroquias.

5.4.2 SALUD

Las encuestas realizadas establecen datos que revelan los problemas de salud de la población. Según los resultados se puede determinar que los habitantes de la cuenca tienen cuadros de gripe y dolores estomacales, asociados con la mala calidad de agua que consume la población. Además, se registran infecciones de garganta y también la anemia, relacionada con la mala calidad de alimentación.

Los altos niveles de migración se reflejan, también, en los bajos índices de mortalidad infantil están muy por debajo de la media provincial. Las estadísticas de las cinco parroquias, influenciadas por la cuenca hidrográfica son:

Tabla 5.19.-Mortalidad infantil por parroquia

Parroquia	Tasa de mortalidad infantil
Mira	7.58
San Isidro	12.5
El Ángel	6.13
Juan Montalvo	0
Concepción	0

Fuente: SIISE

5.4.3 EDUCACIÓN

De las 14 personas que participaron en la encuesta, el 92.3% indicaron haber recibido algún tipo de educación. El 61.5% reconocieron que llegaron solo hasta la primaria, la media señala que tan solo hasta tercer grado (cuarto año de Educación Básica). Mientras que el 23% logró alcanzar el nivel secundario. Y, tan solo el 7.7% de la población

encuestada llegó al nivel superior. A pesar de la falta de preparación y de que la instrucción académica es incipiente, el analfabetismo en la zona es relativamente bajo. Esto permite a los pobladores de la zona a participar en las actividades comunitarias, sin mayores problemas.

5.4.4 INFRAESTRUCTURA

5.4.4.1 RED VIAL.- En la subcuenca del Río Santiaguillo las vías constituyen uno de los servicios más deficientes del sector. Aunque existen carreteras de primer orden, pues 16.93 kilómetros están asfaltadas, 22.6 kilómetros de vías de segundo orden y los 74.86 kilómetros de senderos y caminos vecinales que unen las poblaciones están en mal estado, lo que significa la mayor parte de la red vial de la zona. Los moradores de este sector reconocen el mal estado de las vías, que se pudo comprobar desde la primera salida de campo. La movilización entre parroquias y hacia el resto de la provincia se dificulta por esta razón, lo que afecta el desarrollo de las poblaciones ubicadas en la subcuenca.

5.4.4.2 HOSPITALES Y CENTROS DE SALUD.- Otro de los problemas que enfrentan los habitantes de estas parroquias es la deficiente cobertura en salud. Las cinco parroquias cuentan con un dispensario médico al que pueden acceder en el sector de El Ángel, donde hay un subcentro de salud, en el que se atienden las emergencias, por parte de un médico rural y una enfermera. Aunque también hay otro dispensario en el sector de San Isidro, que si bien no pertenece al área de influencia de la subcuenca, queda a una hora de la parroquia Juan Montalvo, la más lejana a este sector. Por ejemplo, los habitantes de Juan Montalvo deben movilizarse por una hora en vehículo o tres horas de caminata, hasta llegar al dispensario médico. Los vecinos de la localidad cuentan con el Seguro Social Campesino, servicio por el cual pagan un dólar mensual, pero hasta el momento no han recibido ningún tipo de capacitación, por lo cual desconocen cómo utilizarlo o los beneficios que pueden recibir a través de la seguridad social.

5.4.4.3 MERCADOS Y COMERCIO.- Los intentos de los habitantes de estas parroquias por dar un impulso a la producción agrícola y ganadera no encuentran resultados, por lo cual resulta difícil y casi imposible establecer un mercado en el cual se puede vender sus productos y comprar otros. Los suelos erosionados y la falta de agua impiden que la agricultura y la ganadería tengan el desarrollo necesario, a pesar de ello en la zona de Piquer, en la parroquia Juan Montalvo, los moradores impulsan un sistema de riego por aspersión y goteo, para lo cual cuentan con cinco reservorios, alimentados por las lluvias y el sistema de acequias que atraviesa la zona. En este año uno de los reservorios se secó debido a la prolongada sequía, sin embargo los resultados que alcanzaron fueron alentadores. Cada agricultor sembró entre tres y cuatro quintales de semilla de fréjol y

recuperaron un promedio de 55 quintales, lo que les permite subsistir, mantener la producción y mejorar y mantener el sistema. En la zona existe, además, producción lechera, aunque los intermediarios de San Isidro compran el litro de leche en 20 centavos. Con esta base, en el sector de Palo Blanco se implementó una microempresa de quesos, en la cual participan todos los vecinos de esta población. La producción se vende en Mira, donde está el mercado más cercano y más grande de la zona, además, en esta parroquia se realiza la feria cada sábado, donde se puede efectuar el intercambio de productos.

5.4.4.4 CENTROS EDUCATIVOS.- En el área de influencia de la subcuenca del río Santiaguillo, en su mayoría los niños deben trasladarse hasta San Isidro para asistir a la escuela, pues hay poblaciones que no cuentan con una institución educativa. La falta de apoyo y la carencia de partidas docentes para que atiendan la demanda de esta zona obligó a cerrar la única escuela que se encontraba en Chulte, parroquia El Ángel, hace aproximadamente dos años. Según la información proporcionada por la gente de la zona la institución dejó de funcionar a la par que se incrementó la migración. Por esta razón, los niños y niñas que viven en la zona deben asistir a San Isidro para recibir clases. Los centros educativos por población son:

Tabla 5.20.- Centros educativos de la subcuenca

Centro de educación	C hulte	E I Hato	Juan Montalvo	P iquer
Primario	1 *	1	1	1
Secundario	0	0	1	0
Otros	0	0	0	0

*Fuera de funcionamiento

Fuente.- Autores

5.4.5 EMPLEO

La principal actividad de los habitantes de la subcuenca es la agricultura y la ganadería. Sin embargo, las circunstancias que rodean estas actividades no les significa una actividad rentable para ellos. La escasez de lluvias, la pobreza de los suelos y la falta de apoyo estatal y de los gobiernos locales impiden que se logre un desarrollo adecuado de estas áreas. Las iniciativas de los habitantes, que apenas cuentan dos, como ya se mencionó, impiden que se logre mejoras significativas en el sector agropecuario. Los vecinos de la localidad se quejan porque constantemente se preparan estudios de la zona, bajo el argumento de ayudar e impulsar planes y proyectos en la zona, pero hasta el momento no se concreta ninguna de estas

intenciones. Solo en Piquer los habitantes cuentan con reservorios y un sistema de riego especial, con esto han obtenido resultados, una familia logra un ingreso de 600 dólares mensuales, con la producción de ciclo corto. En la actualidad la gente de la zona quiere impulsar proyectos particulares para mejorar su producción

También existe una microempresa que involucra a los habitantes de la población de Palo Blanco, esto les ha permitido incorporarse a la población económicamente activa con empleo.

Ahora la población que migra de la zona y va a las grandes ciudades, en especial a Ibarra, se emplean en construcciones, en el agro o como empleadas domésticas.

A pesar de los esfuerzos de los agricultores, los ingresos de la mayor parte de la población son bajos. Unos cuantos intentan mejorar la economía familiar con negocios particulares como tiendas de abarrotes o bodegas, lo que significa un ingreso mínimo para estas familias. A pesar de ello, la encuesta realizada determinó que la mayor parte de la población tiene una sola actividad, la ganadería o la agricultura. Además, en el muestreo realizado se ubicó a las mujeres como personas que se dedican a los quehaceres domésticos, aunque esta actividad no es remunerada.

Tabla 5.21.-Principales actividades

Actividad	Porcentaje
Agricultura y ganadería	57.14
Quehaceres domésticos	35.7
Negocios privados	7.14

Fuente: Autores

5.4.6 VIVIENDA

En la zona, los moradores cuentan con casa propia, aunque los materiales de construcción son los tradicionales de la zona rural: paredes de adobe y techos de teja, por lo cual se encuentran muy deterioradas, pues el paso del tiempo, los cambios climáticos y el abandono en el que se encuentran han afectado su estado. Justamente por la falta de recursos no se han realizado cambios y mejoras en la infraestructura de la zona.

También existe un segmento de la población que vive en casas arrendadas o utilizan las viviendas a cambio de trabajo, una práctica muy común en el agro ecuatoriano.

En el campo, las viviendas están conformadas por una sola habitación, en uno de los rincones se tiene el fogón de madera y los cuyes, animales que ayudan a dar calor en las casas.

En cambio, en los poblados principales, como El Hato o Juan Montalvo, las construcciones que predominan son de uno o dos pisos, con materiales más elaborados como cemento, bloques, ladrillo y techos de eternit. Algunas viviendas incluso cuentan con una loza, pues tienen la proyección para construir otro piso más. Tabla 5.22

Tabla 5.22.-Principales materiales

Techo		Paredes		Piso		Armazón	
M	M	M	M	M	M	M	M
aterial	aterial	aterial	aterial	aterial	aterial	aterial	aterial
Eternit	.15	Adobe	2.8	Tierra	4.2	Madera	5.7
Paja	.15	Hormigón	.2	Cemento	5.7	Troncos	4.3
Tapa	5.7						

Fuente: Autores

5.4.7 POBREZA

Las familias de la zona subsisten con los recursos que se generan de las actividades agropecuarias (Anexo B2, foto 21). Como ya se mencionó hacen falta planes y proyectos para desarrollar estas áreas. En Chulte los vecinos se dedican a la comercialización de leche, cada familia entrega de 4 a 10 litros de leche diarios, lo que genera un ingreso de uno o dos dólares, con lo cual deben subsistir unas tres personas. En cambio, en Piquer la organización de la población, permitió mejorar sustancialmente los ingresos, alrededor de 600 dólares mensuales para atender las necesidades de cinco personas por familia.

En El Hato, una de las poblaciones más grandes de la zona, ha mejorado sus condiciones de vida, trabajan en el tendido de alcantarillado y el adoquinado de las calles. Además, existe un estadio y un coliseo deportivo. La mayor parte de su producción agrícola está dedicada al

consumo interno. Según sus pobladores el ingreso semestral de ellos varía entre 240 y 1.000 dólares.

En Juan Montalvo, una población afroecuatoriana, cuenta con infraestructura comunal y poco a poco ha mejorado la arquitectura de la zona, aunque no se pudo determinar los ingresos o su nivel de vida, pues los habitantes se negaron a proporcionar información, argumentando que los estudios de la zona se repiten constantemente, pero hasta el momento no se ven los resultados.

5.4.7.1 MIGRACIÓN.- En la subcuenca del río Santiaguillo existe una alta tasa de migración. Los pobladores aseguran que un 60% de sus habitantes ha abandonado sus tierras. Las familias de esta zona están conformadas por adultos mayores (más de 50 años) y niños en edades escolares, siempre menores de diez años, pues luego de esa edad migran para trabajar.

Un ejemplo, es que en la población de Chulte, en la que el número de habitantes registrados es de alrededor de 120 personas, sin embargo, cuando se visitó la población se encontró apenas 10 personas, quienes informaron que en la zona se mantienen nueve familias, el resto migró. La población sale a Ibarra, Cayambe, Quito o a la Amazonia. Según los habitantes que aún permanecen en la zona, la migración continuará pues los miembros más jóvenes de las familias solo esperan estar en edad para trabajar, para abandonar el lugar.

5.4.7.2 SUBSISTENCIA.- Los vecinos de estas poblaciones subsisten con la producción propia, la baja productividad de estas tierras les impide contar con mayores recursos para mejorar sus ingresos, su nivel de vida. La mayor parte de la pobre cosecha que tienen cada temporada se destina al consumo interno y solo el sobrante, que es mínimo, se destina a los mercados para su comercialización. Esto empeorará este año, pues la sequía que afecta a todo el país es mucho más preocupante en esta zona, donde el río apenas se ha convertido en un riachuelo insuficiente para atender toda la demanda de la población agropecuaria de la zona.

5.4.8 CAPITAL SOCIAL

5.4.8.1 GRUPOS ORGANIZADOS.- Básicamente existen dos grupos organizados en la subcuenca del río Santiaguillo. La microempresa de Palo Blanco, que acoge a los 70 habitantes de esta población, quienes se encargan de la elaboración de quesos, que luego los comercializan en el país. Es una iniciativa reconocida en el país, pues ya varios medios de comunicación han difundido el trabajo comunitario de esta población.

También en Piquer la población se organizó para mejorar sus sistemas de riego, con buenos resultados. Ellos impulsan su trabajo con mingas para instalar los sistemas de goteo y riego por aspersión, para lo cual cuentan con cinco reservorios. Pero igual que en Palo Blanco, esta iniciativa nació en la población y se ha logrado mantener por decisión de los habitantes.

5.4.8.2 GOBIERNOS LOCALES.- En la zona de estudio existen cinco juntas parroquiales: El Ángel, Juan Montalvo, La Concepción, San Isidro y Mira, las cuales deberían encargarse de impulsar y coordinar las obras de mejoramiento e instalación de servicios básicos en las poblaciones. Las parroquias están dentro de los cantones Espejo y Mira, cuyas autoridades: alcaldes y concejales, tienen la obligación de impulsar las obras que mejoren los niveles de vida, pero hasta el momento no existen trabajos de importancia que impulsen las municipalidades.

5.4.9 TENENCIA DE LA TIERRA

5.4.9.1 ESTADO LEGAL.- La mayor parte de la población encuestada, el 71.4%, es tenedora legal de las tierras que habitan, poseen títulos de propiedad o escrituras legalizadas, pues aseguraron haber comprado las tierras. Los moradores cuentan con uno o dos lotes, que suman entre una y cinco hectáreas de terreno, que adquirieron con el objetivo de hacerlas producir en la agricultura y la ganadería. Sin embargo enfrentan un problema, la falta de agua para riego y la falta de lluvias impide que el objetivo inicial se cumpla adecuadamente. El resto de la población se ha ido posesionando poco a poco de las tierras, asentándose en el lugar, hasta hacer de esos terrenos suyos, aunque no cuenten con un documento legal que garantice su ocupación.

5.4.10 ACCIÓN SOCIAL

Muy pocas organizaciones no gubernamentales o estatales han intervenido en la zona. Solo en Palo Blanco existe la presencia del Grupo Corporación Randi-Randi. Además, la Fundación Cristiana labora en la zona, a través de proyectos productivos, con los cuales la población logra obtener ganado vacuno y porcino para la cría. Tampoco dentro de la población se realizan actividades sociales, cada uno vigila su bienestar, pero no se involucra en las necesidades de los vecinos, ninguno de los habitantes considera una inversión la ayuda a los vecinos.

5.4.11 ACTIVIDADES ECONÓMICAS

5.4.11.1 AGRICULTURA Y GANADERÍA.- Debido a la cultura y poca facilidad en el acceso a la capacitación la gente que vive en esta área no ha impulsado nuevas formas para cultivar, mantienen los tradicionales como el sembrío por boleto, con lo cual se desperdicia gran parte de la semilla. Además, mantienen el arado con bueyes y el riego abundante, sin cambiar a otros sistemas más efectivos, con excepción de Piquer.

En la zona alta, los cultivos predominantes son las papas, el fréjol, las habas, el maíz o la cebada, sembradíos tradicionales del clima frío. En cambio en la zona baja se identificaron

cultivos de caña de azúcar, plátano, mandarinas, naranjas, uvas, mango, pimiento, paiteña, yuca y tunas, tradicionales de los climas cálidos.

Justamente, las tunas son utilizadas para la recuperación de las laderas erosionadas, aunque no se logró determinar cuál institución u organización labora en esta actividad.

A pesar de los problemas que enfrentan en la zona, un gran porcentaje del área en estudio tiene pastos, lo que permite mantener el ganado vacuno lechero. Pero los pastizales se han incrementado debido a la tradicional idea de los campesinos de que la quema de páramos atrae las lluvias, y luego de haber terminado con los pajonales aparecen los pastizales.

En la zona también hay campesinos que se dedican a la crianza de caballos, mulas y ganado vacuno. En cambio el ganado porcino es criado casualmente.

5.4.12 GRUPOS ÉTNICOS.- En la subcuenca del río Santiaguillo la mayoría de la población es mestiza (Anexo B2, foto 23). En la zona baja existe una pequeña parte población afroecuatoriana, aunque está en los límites de la cuenca. Según los datos del SIISE, las etnias por parroquias son las siguientes:

Tabla 5.23.- Grupos étnicos de la subcuenca

Etnia	Porcentaje
Población afroecuatoriana	24,02
Población indígena	37,8
Población mestiza	24,64
Población Blanca	23,38

Fuente: Autores

5.4.13 PAISAJE

De acuerdo a observaciones realizadas y fotografías tomadas en diferentes puntos, se pudo determinar que la belleza escénica de la subcuenca reside principalmente en las formaciones montañosas de la zona, que son el elemento dominante, además la impresión visual que da la distribución de los cultivos y la variedad de los colores, constituye un aspecto relevante. Dado que hay tan pocas poblaciones, los elementos urbanos son realmente escasos y por lo tanto poco representativos en este aspecto.

Se tomaron fotos para componer mosaicos en 11 puntos (Anexo B5, Cuencas visuales), los cuales están detallados en la siguiente tabla:

Tabla 5.23.- Puntos de cuencas visuales

Pto	E (m)	N (m)	Z (m)	Azimut inicial	Azimut final	Referencia (Anexo B2)
1	833835	10072568	3440	345	206	Foto No 1
2	831120	10073427	3337	154	220	Foto No 4
3	830349	10073596	3368	154	34	Foto No 2
4	829730	10073362	3379	323	245	Foto No 16
5	831300	10070516	3360	110	224	Foto No 8

6	828924	10070221	2912	255	152	Foto No 5
7	828923	10070259	2939	34	290	Foto No 6
8	830431	10070644	3125	100	243	Foto No 7
9	830463	10070686	3125	360	360	Foto No 8
10	826589	10063208	2750			Foto No 14
11	825437	10062193	2670			Foto No 12

Fuente.- Autores

Un ejemplo de los mosaicos generados es el que se puede ver a continuación, que corresponde al punto 6:



5.5 PROPUESTA DE MANEJO DE LA SUBCUENCA DEL RÍO SANTIAGUILLO

5.5.1 PRIORIDADES

Una vez efectuado el diagnóstico mediante el análisis de cada uno de los componentes, se pudo determinar que la subcuenca presenta áreas que requieren de atención inmediata, la notable carencia de los servicios básicos o un número muy reducido de los mismos, motiva a la población a abandonar su terruño aumentando las tasas de migración e incrementado la pobreza y fomentando el descuido de los gobiernos locales.

Dichas áreas prioritarias son:

- *Abastecimiento de agua.-* La escasez de agua tanto para riego como para consumo humano constituyen un aspecto crítico en la subcuenca, dado que el agua es un elemento clave para mantener el equilibrio en la subcuenca es necesario tomar acciones rápidas que permitan aumentar su cantidad.
- *Calidad del agua para consumo humano.-* El agua usado por los pobladores de la subcuenca recibe como único tratamiento la cloración, el cual no es suficiente para que esta cumpla con los estándares mínimos requeridos.

- *Sector de salud.*- Esta área se encuentra muy descuidada en la subcuenca, pues como ya se mencionó no existen centros de salud dentro de la misma, lo que obliga a los habitantes a una búsqueda de este servicio fuera de la zona en la que viven.
- *Sector de educación.*- De igual manera que en el sector salud, la educación sufre los mismos problemas, lo que implica un bajo nivel de escolaridad.
- *Zonas deforestadas por el avance de la frontera agrícola.*- el avance descontrolado de la frontera agrícola ha provocado la aparición de extensas áreas propensas a la erosión, lo cual disminuye la cobertura vegetal.

5.5.2 PROBLEMAS

5.5.2.1 PROBLEMAS FÍSICOS.- Los principales problemas en este aspecto son:

- **Pendientes.**- Las pendientes demasiado fuertes que ocupan gran parte del área de la subcuenca (sobre el 70%) y constituyen terreno improductivo con poca a casi nula aptitud de uso.
- **Geología.**- La roca que se encuentra en la zona de la subcuenca se encuentra fracturada, lo que aumenta el grado de susceptibilidad a la erosión ya de por sí alto, dado la propia naturaleza del elemento geológico en la zona.
- **Clima**
 - ◆ **Sequía.**- Este problema tiene una incidencia directa en el desarrollo económico de las comunidades. Debido al extenso periodo de sequía que se presenta en los últimos meses del año, extendiéndose a menudo a los primeros meses del siguiente, lo que no permite una actividad agropecuaria rentable.
 - ◆ **Vientos.**- En la época seca, principalmente, existen vientos muy fuertes, los cuales afectan en diferente grado a los cultivos, a los pobladores y a la fauna de la zona, debido a que las cortinas naturales han sido casi eliminadas por la actividad antrópica.

5.5.2.2 PROBLEMAS DE USO DE LOS RECURSOS.- El incorrecto uso de los recursos por parte de los habitantes de la subcuenca es el aspecto que mayor impacto genera en el área. Estos son:

- **Deforestación.**- La deforestación de los bosques naturales en las partes altas de la cuenca para el avance de la frontera agrícola provoca un deterioro en el sistema hídrico de la subcuenca, disminuyendo la cantidad de agua disponible (Anexo B2, foto 30), este aspecto se deriva de la falta de apoyo para la implementación de tecnología adecuada y capacitación en el uso de los diferentes recursos.

- **Uso incorrecto del suelo.-** La comunidad como respuesta inmediata obvia, al observar que el suelo no es funcional para la cría de ganado, lo usa para la agricultura y por falta de técnicas adecuadas este no rinde lo suficiente para satisfacer sus necesidades y por lo tanto lo abandona en mal estado, lo que conlleva la intervención en nuevas parcelas.
- **Problemática del agua.-** Como ya se mencionó, el agua para abastecimiento de las poblaciones no es suficiente para satisfacer su demanda, lo que genera malestar en los habitantes, aspecto al que se le suma la mala calidad de la misma, que al recibir únicamente tratamiento básico no cumple con los estándares para consumo humano. En el caso del agua para riego, el problema se ve incrementado debido al desvío clandestino del agua que es transportada por el sistema de acequias, problema derivado obviamente de la falta de este recurso.

5.5.2.3 PROBLEMAS SOCIO ECONÓMICOS

- **Pobreza.-** En este ámbito el principal problema que afecta a la subcuenca son los elevados niveles de pobreza que sufre la población, que percibe ingresos muy bajos, que no alcanzan para satisfacer sus necesidades básicas.
- **Educación.-** La falta de centros educativos es un problema de carácter relevante en la zona, lo cual no se encuentra reflejado en el índice de analfabetismo de este sector del país, sin embargo, el nivel de educación es bajo, ya que la mayoría solo alcanza hasta tercer grado de escuela, para luego dedicarse a las labores agropecuarias, este aspecto constituye un obstáculo en el desarrollo de proyectos.
- **Salud.-** La falta de centros médicos cercanos a los poblados que puedan atender a los habitantes, resultaría un aspecto prioritario si la migración no alcanzara niveles tan altos en la subcuenca, los habitantes se han acostumbrado a desplazarse grandes distancias con el fin de obtener servicios médicos, sin embargo es un punto a considerarse.
- **Migración.-** El alto índice de migración se deriva de los problemas antes mencionados, ya que la población no está satisfecha con su nivel de vida y sale en busca de mejores condiciones para su desarrollo.

5.5.3 PROPUESTA DE MANEJO DE LA SUBCUENCA DEL RÍO SANTIAGUILLO

Una vez determinados los principales problemas de la subcuenca fue posible establecer los siguientes proyectos como base para la conservación, protección, y recuperación de los recursos.

Los proyectos se encuentran resumidos en la siguiente tabla:

Tabla 5.24.-Proyectos para el manejo de la cuenca

PROBLEMA	TIPO DE ACCIÓN	PROYECTO	RESPONSABLE
Pendientes fuertes	Conservación	Conservación de la vegetación natural de las laderas	Comunidades de la subcuenca ONGs
		Reforestación de las laderas con tuna (parte baja)	Comunidades de la subcuenca ONGs
Rocas fracturadas	Protección	Reforestación de las laderas de las zonas con mayor fracturamiento	Comunidades de la subcuenca ONGs
Vientos muy fuertes	Recuperación	Reforestación intensiva de las barreras naturales procurando especies nativas	Comunidades de la subcuenca ONGs Gobiernos locales
Disminución de caudales	Protección	Protección de la vegetación de las orillas de los cauces	Comunidades de la subcuenca ONGs
		Protección de la vegetación remanente de la parte alta de la cuenca (cerros Chiltazón e Iguán)	Comunidades de la subcuenca ONGs
		Mejoramiento e incremento (donde sea posible) la captación de agua a través de sistemas de acequias.	Comunidades de la subcuenca Gobierno locales

Disminución de caudales	Protección	Implementación la mayor cantidad de reservorios para riego posibles	Comunidades de la subcuenca ONGs Gobiernos locales
		Construcción de tanques de reserva captando el agua de las pequeñas vertientes existentes en la parte alta para consumo humano	Comunidades de la subcuenca ONGs Gobiernos locales
		Capacitación para el manejo de tanques y reservorios	ONGs
		Capacitación en riego por goteo y aspersión para los pobladores	ONGs
		Establecimiento de programas de educación ambiental para la protección de los recursos	ONGs Gobiernos locales
		Establecimiento de una ordenanza para frenar el avance de la frontera agrícola	Gobiernos locales
Disminución de caudales	Recuperación	Reforestación de la parte alta de los cerros Chiltazón e Iguán con especies nativas	Comunidades de la subcuenca ONGs Gobiernos locales

Uso incorrecto del suelo	Protección	Capacitación técnica para el manejo de suelos	ONGs
		Mejoramiento de las técnicas de agricultura, propiciando la rotación de cultivos y el uso correcto de fertilizantes	ONGs Gobiernos locales
	Conservación	Profundización del estudio de las aptitudes del suelo de la zona	ONGs Gobiernos locales
Deforestación	Recuperación	Promoción de programas de viveros para la obtención de especies nativas	Comunidades de la subcuenca ONGs
		Promoción de la reforestación de la zona alta de la subcuenca con especies nativas	Comunidades de la subcuenca ONGs Gobiernos locales
	Protección	Protección de los remanentes de bosque en la parte alta de la subcuenca	Comunidades de la subcuenca ONGs
		Promoción de la creación de guardaparques para el control de incendios	Comunidades de la subcuenca

Pobreza	Capacitación en riego por goteo y aspersión para los pobladores	ONGs
	Capacitación en nuevas tecnologías agropecuarias	ONGs
	Promoción de grupos organizados para elaboración de productos lácteos	Comunidades de la subcuenca ONGs
Bajo nivel de educación	Promoción de programas que impulsen la asistencia de los niños a la escuela	ONGs

Fuente: Autores



CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

Sobre la Guía

- Después del análisis realizado en los diferentes estudios se ha podido determinar que aquellos que presentaban menos deficiencia eran precisamente los que habían contado con la participación de profesionales en diferentes campos.
- La microcuenca del Río El Ángel ha sido ampliamente estudiada, y la información existente es suficiente para poner proyectos en marcha, sin embargo, sigue en análisis, incrementando el tiempo invertido en este proceso y generando así información innecesaria o redundante.
- El estudio realizado sobre la microcuenca del Río Apaquí, al haber sido realizado por especialistas en cada área, cuenta con información completa y de buena calidad, además de que el tiempo invertido en la investigación ha sido mucho más corto comparado con la microcuenca del Río El Ángel, haciéndolo mucho más eficiente y práctico. Sin embargo se debería profundizar en el estudio del componente suelo, ya que su análisis es un poco pobre.
- En nuestro país la generación de información temática es insuficiente o de baja calidad, lo cual es evidente dadas las escalas de los mapas disponibles para el uso del público en general, específicamente en el caso de los mapas de suelos, geología, geomorfología y cobertura vegetal. La mayoría de la información se encuentra en escalas grandes (100000 o 250000), lo que muchas veces resulta un obstáculo económico en el estudio de microcuencas especialmente.
- La información generada con respecto al punto anterior no es publicada y se encuentra únicamente disponible para las organizaciones e instituciones autoras de la misma, lo que provoca sesgos en la información.
- El mal uso del agua es la principal causa de la pobreza en esta área, cabe resaltar que este no es un problema aislado de este sector, ya que gracias a experiencias de terceros se concluyó que el problema es general a nivel de toda la región sierra donde no se promueven planes de manejo de dicho recurso
- El problema con el uso de suelos es derivado del anterior, ya que los campesinos al ver comprometida su inversión en los cultivos por falta de agua, deciden usar este recurso en la cría del ganado que de igual manera no da buenos resultados y deciden abandonar esta tierra, de esta manera promueven la erosión del suelo.

- Se pueden presentar diversos proyectos de uso adecuado de suelos mediante cultivos planificados realizando un análisis básico de sus características, ya que esto permite conocer su aptitud.
- El estudio del componente clima se dificulta debido a que la falta de apoyo del gobierno al INAMHI hace que las estaciones meteorológicas y pluviométricas, que hasta hace una década funcionaban de manera regular hayan sido cerradas, con lo cual la información meteorológica presenta una grave ausencia para todo tipo de estudio donde se vea involucrada.
- Los componentes geológico y geomorfológico no forman una parte relevante en los estudios utilizados como base, esto implica una falta de proyectos y programas basados en dichos componentes.
- Debido a la falta de conciencia ambiental en la mayoría de la población, el componente biótico es descuidado y muchas veces maltratado, generando problemas a un nivel que se encuentra fuera de su conocimiento y percepción.

Sobre la Subcuenca del Río Santiaguillo

- La subcuenca del Río Santiaguillo extiende su zona de influencia a cinco parroquias: Mira, Concepción, Juan Montalvo, San Isidro y El Ángel, lo cual haría pensar que es una zona con un alto nivel de atención por parte de los gobiernos locales, ya que su extensión es relativamente pequeña, sin embargo, esta idea dista mucho de la realidad, pues una zona olvidada y con grandes deficiencias.
- La subcuenca cuenta con 114.39 km de vía, de estos 16.93 km son de carreteras de primer orden, 22.60 de segundo y 74.86 son senderos, el mal estado de las vías de la subcuenca impide un transporte fluido tanto dentro como fuera de la misma.
- Los principales productos de la agricultura son: papas, habas, fréjol, maíz (en poca cantidad), cebada, paiteña, caña de azúcar, plátano, mandarinas, naranjas, uvillas, mango, pimiento, yuca y tunas. Los productos de la ganadería son básicamente la leche y los quesos.
- Las actividades antrópicas supuestamente encaminadas al desarrollo económico de la población son las causantes directas del deterioro de los recursos.
- Los escasos remanentes de bosques nativos evidencian una falta de conocimiento de los habitantes de la zona, que les ha llevado a deforestar casi la totalidad del área, alterando el ciclo hidrológico de la misma con graves consecuencias ambientales.

- La falta de los servicios básicos o su mala calidad en las poblaciones de la subcuenca genera malestar en sus habitantes y estanca su desarrollo, a la vez que impide una mejora en la calidad de vida.
- El índice de crecimiento poblacional en estas comunidades es muy bajo, esto se debe a la acentuada migración por parte de hombres y mujeres, jóvenes en su mayoría hacia otros sitios del país en busca de trabajo y de mejores condiciones de vida.
- La pobreza de los pobladores de la subcuenca es el resultado de la falta de atención de los organismos estatales, quienes no se han preocupado del bienestar de sus habitantes y desoyen sus peticiones.
- Otro factor relevante en el alto nivel de pobreza en la subcuenca es el mal uso que los pobladores hacen de los recursos disponibles, en la mayoría de los casos por ignorancia o falta de conocimiento.
- No se evidencia apoyo técnico a la población de la subcuenca, la pobreza y falta de desarrollo de sus habitantes y sus malas condiciones de vida indican que el trabajo que se realiza no es suficiente.

RECOMENDACIONES

Sobre la Guía

- Establecer la participación de un grupo multidisciplinario de profesionales especializados para realizar la correcta planificación de cuencas hidrográficas.
- Realizar estudios de cuencas hidrográficas dirigidos por profesionales que tengan una visión y experiencia global en los componentes de las cuencas.
- Generar y editar información cartográfica, a todo nivel, por ser este un insumo crítico en el desarrollo de la planificación.
- Utilizar como herramientas de apoyo los Sistemas de Información Geográfica, ya que constituyen una manera eficaz y sencilla de manejar la información.
- Utilizar ortofotos representa una gran ventaja en el proceso de diagnóstico.
- Disponer de suficiente información básica en la cuenca, hace posible desarrollar estudios de valoración económica de la misma.
- Promover la intervención tanto de ONG's como de los gobiernos locales para realizar un constante capacitación del uso y mantenimiento adecuado del recurso agua.
- Promover programas de capacitación sobre el uso adecuado de suelos, mediante la participación conjunta de ONGs y autoridades de las cuencas.

- Profundizar en el estudio de los componentes geológico y geomorfológico, dándoles un enfoque más real o social.

Sobre la subcuenca del Río Santiaguillo

- Promover la cooperación entre los gobiernos locales y la comunidad para satisfacer sus necesidades.
- Generar una conciencia ambiental mediante la capacitación continua, para así corregir el uso de los recursos.
- Desarrollar proyectos para mejorar la calidad de los servicios básicos con los que cuenta la población de la subcuenca.
- Demandar a las autoridades pertinentes la implementación de sistemas de tratamiento de potabilización del agua.
- Promover la cooperación de entidades tanto públicas como privadas y la comunidad en proyectos destinados a impulsar el desarrollo económico, basados en las actividades agropecuarias de los pobladores de la zona.
- Incrementar programas de apoyo técnico para la población, con el fin de mejorar el manejo de los recursos naturales y los ingresos de los pobladores.
- Profundizar en el análisis de los distintos componentes de la subcuenca, para mejorar y complementar los proyectos propuestos.
- Promover la reactivación de campañas que promuevan la educación comunitaria, mediante sistemas de compensación.
- Desarrollar proyectos de reforestación con especies fácilmente adaptables al medio.



BIBLIOGRAFÍA

- Bosque Sendra, Joaquín, *Sistemas de Información Geográfica*, Ediciones RIALP, Madrid, España, 1997
- Cañadas Cruz, Luis, *El mapa bioclimático y ecológico del Ecuador*, MAG-PRONAREG, Quito, Ecuador, 1983.
- Corbitt, Robert A, *Manual de referencia de la Ingeniería Medioambiental*, Mc Graw Hill, Madrid, España, 1999.
- Curso: Modelamiento en Sistemas de Información Geográfica para Estudios Ambientales y de Conservación, Escuela Politécnica del Ejército, Facultad de Ingeniería Geográfica y del Medio Ambiente, Sangolquí, Ecuador, 2003
- De Moya, Nazly, *El agua en el manejo de cuencas, Ecoquíes para el Municipio Colombiano*, El Colegio Verde de Villa de Leyva, Santafé de Bogotá, Colombia, 1992
- *Enciclopedia Del Ecuador*, Editorial Océano, Barcelona, España, 1999.
- Henao, Jesús Eugenio, *Introducción al manejo de cuencas*, Universidad Santo Tomás, Centro de enseñanza desescolarizado, Bogotá, 1988
- Kennedy, John B. y Neville, Adam M, Editorial HARLA, 1982.
- *Las Áreas Protegidas En El Contexto Mundial Y Nacional*, Fundación Natura, 1999
- *Manual para medir las características físicas de los ríos pequeños*, Fundación Natura, 1990.
- Ostle, Bernardo, *Estadística Aplicada*, Editorial LIMUSA, México DF., México, 1990.
- *Parques Nacionales y Reservas Ecológicas del Ecuador*, Editores Nacionales S.A, Biblioteca Vistazo, s/a.
- Spiegel, Murray R. y Stephens, Larry J., *Estadística*, Editorial Mc. Graw Hill, México, México, 2004.
- Vásquez Villanueva, Absalón, *Manejo de Cuencas Altoandinas*, Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú, s/a.
- Chiriboga, Gabriela, y Vinocuna Ivonne, *Generación de una herramienta SIG para la administración de peligros por inundaciones de los cantones Baba y Vinces, y propuesta de medidas de prevención y mitigación*, Escuela Politécnica del Ejército, 2005.
- Yazán Montenegro, Pablo Damián, *Diagnóstico Ambiental y propuesta de manejo de la microcuenca Igüan-Payacas con fines de conservación de las fuentes de agua para San Isidro, Provincia del Carchi*, Universidad Técnica de Ibarra, Ibarra, 2005.

- Apuntes de la cátedra de Contaminación Ambiental dictada por la Ingeniera Oliva Ateaga
- Apuntes de la cátedra de Manejo de Cuencas Hidrográficas dictada por el Ingeniero Guillermo Beltrán
- Apuntes de la cátedra de Hidrología dictada por el Ingeniero Guillermo Beltrán
- Apuntes de la cátedra de Edafología dictada por el Ingeniero Eduardo Espinoza
- Apuntes de la cátedra de Geología dictada por el Ingeniero Mario Cruz.
- Enciclopedia Encarta 2004.

WEB bliografía

- Domínguez, Miguel Angel, y otros, *Los Sistemas De Informacion Geográfica Y Su Utilización En La Modelación Hidrológica*, Universidad Autónoma de Querétaro, <http://selper.uabc.mx/Publicacio/Cong11/extens30.doc>
- Nuñez, Mario y otros, *Manual De Procedimientos Para La Delimitación Y Codificación De Cuencas Hidrográficas Del Perú*, <http://10.10.0.10/website/sanfrancisco/viewer.htm>
- Shilling, Fraser, y otros, *The California Watershed Assessment Manual, Volume I*, Prepared for the California Resources Agency and the California Bay-Delta Authority (<http://cwam.ucdavis.edu>).
- Manual de campo para la ordenación de cuencas hidrográficas, FAO, <http://www.fao.org/DOCREP/006/T0165S/T0165S00.HTM>
- Manual para manejo de cuencas hidrográficas, Visión Mundial, www.visionmundial.org
- Guía Técnico Científica Para La Ordenación Y Manejo De Cuencas Hidrográficas En Colombia, Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, República de Colombia, <http://sig.cas.gov.co/filestore2/download/33/Guia%20de%20cuencas%20def.pdf>
- http://www.inrena.gob.pe/dgas/manuales/man_proc/manual_de_procedimientos.pdf
- http://www.windows.ucar.edu/tour/link=/earth/geology/ig_intro.sp.html
- <http://www.geocities.com/manualgeo.htm>
- <http://www.global-reporter.net/spanisch/ecuador/fauna.html>
- <http://www.global-reporter.net/spanisch/ecuador/flora.html>
- <http://www.ecuaworld.com/visitecuador/home/fyf.htm>

- http://www.fao.org/documents/show_cdr.asp?url_file=/DOCREP/006/T0165S/T0165S00.HTM
- http://www.nsf.org/consumer/just_for_kids/wqi.asp#calculating
- <http://www.k12science.org/curriculum/dipproj2/es/fieldbook/sat.shtml>
- <http://www.k12science.org/curriculum/dipproj2/es/fieldbook/oxigeno.shtml>