



UNIVERSIDAD  
DE PIURA

REPOSITORIO INSTITUCIONAL  
PIRHUA

# SIG DE LA CUENCA DEL RÍO PUYANGO TUMBES PARA LA GESTIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS

Edgar Antonio Lazarte Araoz

Piura, 18 de Diciembre de 2002

FACULTAD DE INGENIERÍA

Departamento de Ingeniería Civil

Diciembre 2002



Esta obra está bajo una [licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivadas 2.5 Perú](#)

Repositorio institucional PIRHUA – Universidad de Piura

**UNIVERSIDAD DE PIURA**  
**FACULTAD DE INGENIERIA**



“SIG de la cuenca del río Puyango – Tumbes  
para la gestión de los recursos hídricos”

Tesis para optar el Título de  
Ingeniero Civil

Edgar Antonio Lazarte Araoz

Asesora:  
Clara Marina Farias de Reyes

Piura, Agosto 2002

## Prologo

La presente tesis “SIG de la cuenca del río Puyango – Tumbes para la gestión de los recursos hídricos” estudia las características principales de la cuenca empleando como herramienta los sistemas de información geográfica.

Los Sistemas de Información geográfica se han convertido hoy en día en herramientas muy efectivas de la ingeniería en sus diferentes ramas y esto se debe al desarrollo del mundo de la informática que ha permitido la creación de numerosos programas con aplicaciones específicas; esta herramienta esta siendo empleada con mucha frecuencia en la actualidad pero no tiene mucha difusión en nuestro medio debido principalmente a la falta de equipamiento o conocimiento en el tema.

Entre las razones que motivaron el uso de los Sistemas de Información Geográfica como herramienta está básicamente el volumen de información acumulada así como de otra información por generar que hacen necesario el uso de Sistemas Informáticos para lograr una gestión apropiada y oportuna; y dentro de los sistemas de información existente el más adecuado para el manejo de datos relaciones con cuencas hidrológicas son los sistemas de información geográficos.

Además, el manejo digital de la información favorece la aplicación de muchos procesos de manipulación fundamentalmente cartográfica, así como la relación de múltiples análisis y modelaciones espaciales.

Finalmente, deseo agradecer a cada uno de las personas que de alguna u otra manera han ayudado en la elaboración de la tesis.

## Resumen

El objetivo del presente trabajo es estudiar las características principales de la cuenca del río Puyango - Tumbes; haciendo uso de una herramienta, muy empleada en la actualidad, pero poco difundida en nuestro medio como son los Sistemas de Información Geográfica y para lo cual se analizó toda la información disponible tanto en el Instituto de Hidráulica, Hidrología e Ingeniería Sanitaria así como en otras entidades.

El trabajo se realizó de la siguiente manera: en primer lugar toda la información disponible se convirtió a formato digital, paso siguiente fue delimitar la cuenca y subcuencas, las cartas nacionales que se emplearon se encuentran a escala 1:100,000.

Asimismo se procedió a la caracterización de la cuenca, en lo que se refiere a la topografía, geomorfología, suelos, climatología de la parte peruana, cuya información se tiene disponible, además de los parámetros geomorfológicos de toda la cuenca.

Con la información procesada de precipitaciones se procedió a elaborar los mapas de isoyetas, asimismo con los datos de caudales se calcularon los caudales de diseño para la ciudad de Tumbes. Posteriormente se procedió a elaborar la base de datos y finalmente con la ayuda del ArcView, software SIG, se tendrá como resultado un producto que permitirá manejar la información disponible de una manera mucho más práctica y sencilla, que nos permitirá tener presentaciones de modo gráfico, con la posibilidad de añadir datos a futuro.

## Índice General

<b>Prologo.....</b>	<b>i</b>
<b>Resumen .....</b>	<b>iii</b>
<b>Índice General.....</b>	<b>v</b>
<b>Lista de Tablas.....</b>	<b>ix</b>
<b>Lista de Figuras .....</b>	<b>xi</b>
<b>Lista de Gráficos.....</b>	<b>xiii</b>
<b>Introducción.....</b>	<b>1</b>
<b>1 Introducción a los Sistemas de Información Geográfica.....</b>	<b>3</b>
1.1 Generalidades .....	3
1.2 Concepto de Sistemas de Información Geográfica.....	3
1.3 Reseña histórica.....	6
1.3.1 Los Sistemas de Información Geográfica en el Mundo .....	6
1.3.2 Los Sistemas de Información Geográfica en el Perú.....	7
1.4 Aplicaciones de los Sistemas de Información Geográfica .....	7
1.4.1 Aplicaciones al medio ambiente.....	8
1.4.1.1 Usos del suelo.....	9
1.4.1.2 Gestión de recursos naturales .....	10
1.4.1.3 Gestión de recursos hídricos.....	10
1.4.2 Aplicaciones de administración y gestión .....	13
1.4.2.1 Catastros .....	13
1.4.2.2 Planificación y gestión de servicios públicos.....	14
1.4.2.3 Urbanismo .....	14
1.4.2.4 Cartografía.....	15
1.4.2.5 Seguridad y defensa territorial.....	15
1.4.3 Aplicaciones socioeconómicas.....	16
1.4.3.1 Aplicaciones demográficas.....	16
1.5 Software SIG .....	17
1.6 Los SIG frente a otros sistemas afines.....	19
1.6.1 SIG versus CAD .....	19
1.6.2 SIG versus Cartografía Automática.....	19
1.6.3 SIG versus los Sistemas Gestores de Bases de Datos (SGBD).....	20
1.6.4 SIG versus Teledetección .....	20
1.7 Tendencias futuras de los SIG.....	20
<b>2 Estructura y Funciones de los Sistemas de Información Geográfica .....</b>	<b>23</b>
2.1 Clasificación de los SIG .....	23
2.1.1 Formato raster.....	23
2.1.2 Formato vectorial.....	24
2.1.2.1 Topología.....	24
2.2 Funciones de un SIG .....	25
2.2.1 Entrada de datos .....	25
2.2.2 Almacenamiento y organización de la base de datos .....	25
2.2.3 Análisis y transformaciones .....	26
2.2.4 Representación visual.....	26
<b>3 La Cuenca del Río Puyango - Tumbes .....</b>	<b>29</b>
3.1 Ubicación de la Cuenca .....	29

3.2	Descripción del río Puyango-Tumbes .....	29
3.3	Caracterización de la Cuenca .....	30
3.3.1	Topografía .....	30
3.3.2	Geomorfología .....	30
3.3.3	Sismicidad .....	31
3.3.4	Suelos .....	31
3.3.5	Geología .....	32
3.3.6	Hidrogeología.....	33
3.3.7	Climatología.....	33
3.4	División en unidades hidrológicas .....	35
3.4.1	Subcuenca Tumbes:.....	35
3.4.2	Subcuenca EL Tigre .....	35
3.4.3	Subcuenca Puyango.....	36
3.4.4	Subcuenca Marcabeli: .....	36
3.5	Parámetros Geomorfológicos de la Cuenca y sus Subcuencas .....	36
3.5.1	Superficie .....	36
3.5.2	Forma .....	37
3.5.2.1	Índice de compacidad.....	37
3.5.2.2	Factor de forma .....	38
3.5.3	Sistema de drenaje.....	38
3.5.3.1	Grado de ramificación.....	38
3.5.3.2	Densidad de drenaje .....	39
3.5.3.3	Extensión media del escurrimiento superficial .....	39
3.5.3.4	Pendiente media .....	39
3.5.3.5	Curva hipsométrica .....	40
3.6	Precipitaciones .....	42
3.6.1	Ubicaciones de estaciones hidrométricas.....	42
3.6.2	Mapas de isoyetas.....	44
3.6.2.1	Isoyetas años normales: anuales y mensuales .....	44
3.6.2.2	Isoyetas anuales durante Fenómenos “El Niño” .....	44
3.7	Caudales de diseño para la ciudad de Tumbes.....	45
3.7.1	Registro de datos .....	45
3.7.2	Análisis estadísticos .....	46
3.7.2.1	Distribución Gumbel .....	46
3.7.2.2	Distribución Gamma de 2 parámetros.....	47
3.7.2.3	Distribución Log Pearson tipo III.....	48
3.7.2.4	Distribución Log Normal .....	49
3.7.3	Resultados .....	51
<b>4</b>	<b>El Software Empleado: ArcView .....</b>	<b>53</b>
4.1	Descripción del ArcView .....	53
4.2	Principales funciones.....	54
4.2.1	Vistas .....	54
4.2.2	Tablas .....	55
4.2.3	Chart .....	56
4.2.4	Layout.....	57
4.2.5	Script .....	58
4.3	Ventajas y desventajas frente a otros software SIG .....	59
4.3.1	Aplicaciones del ArcView: .....	59
4.3.2	Aplicaciones de otros software SIG:.....	60
4.3.2.1	ArcInfo .....	60

4.3.2.2	GRASS .....	60
4.3.2.3	ERDAS .....	60
<b>5</b>	<b>Desarrollo del SIG .....</b>	<b>61</b>
5.1	Procedimientos empleados .....	61
5.2	Base de datos generada.....	63
<b>6</b>	<b>Resultados .....</b>	<b>65</b>
6.1	Alcances del producto .....	65
6.2	Consulta del SIG.....	68
6.2.1	Mapa mundial.....	69
6.2.2	Perú - Ecuador .....	72
6.2.3	Zona de Estudio .....	72
6.2.4	Cuenca del río Puyango - Tumbes.....	75
6.2.5	Hidrología.....	76
6.2.6	Variación del cauce en el tiempo.....	80
6.3	Actualización del sistema .....	81
	<b>Conclusiones.....</b>	<b>85</b>
	<b>Recomendaciones.....</b>	<b>87</b>
	<b>Bibliografía.....</b>	<b>89</b>
<b>Apéndice A:</b>	<b>Cálculo de precipitación media mensual y anual .....</b>	<b>91</b>
<b>Apéndice B:</b>	<b>Análisis Estadístico .....</b>	<b>101</b>
<b>Apéndice C:</b>	<b>Tablas Generadas en Arc View .....</b>	<b>125</b>
<b>Apéndice D:</b>	<b>Listado de Programas en Avenue .....</b>	<b>149</b>
<b>Apéndice E:</b>	<b>Mapas.....</b>	<b>153</b>

## Lista de Tablas

Tabla 1.1:	Comparación entre los diferentes software SIG .....	17
Tabla 2.1:	Ventajas y desventajas de los formatos raster y vectorial .....	26
Tabla 3.1:	Estaciones de la Subcuenca Tumbes .....	35
Tabla 3.2:	Estaciones de la Subcuenca El Tigre .....	35
Tabla 3.3:	Estaciones de la Subcuenca Puyango .....	36
Tabla 3.4:	Estaciones de la Subcuenca Marcabeli .....	36
Tabla 3.5:	Areas correspondientes a cada subcuenca .....	37
Tabla 3.6:	Areas correspondientes a cada país .....	37
Tabla 3.7:	Indice de compacidad .....	37
Tabla 3.8:	Factor de forma .....	38
Tabla 3.9:	Grado de ramificación de la cuenca .....	38
Tabla 3.10:	Densidad de drenaje .....	39
Tabla 3.11:	Extensión media .....	39
Tabla 3.12:	Pendiente media .....	40
Tabla 3.13:	Elevación de terrenos en la cuenca .....	40
Tabla 3.14:	Altura de carga hipotética .....	41
Tabla 3.15:	Estaciones hidrometeorológicas - Caudales .....	43
Tabla 3.16:	Estaciones hidrometeorológicas - Precipitación .....	43
Tabla 3.17:	Estaciones hidrometeorológicas - Temperatura .....	43
Tabla 3.18:	Caudales registrados entre los años 1965-1999 .....	45
Tabla 3.19:	Caudales de diseño - Gumbel .....	46
Tabla 3.20:	Caudales de diseño – Gamma 2 Parámetros .....	47
Tabla 3.21:	Caudales de diseño – Log Pearson Tipo III .....	48
Tabla 3.22:	Caudales de diseño – Log Normal de 2 parámetros .....	49
Tabla 3.23:	Caudales de diseño – Log Normal de 3 parámetros .....	50
Tabla 3.24:	Valores estadísticos de la serie hidrológica .....	51
Tabla 3.25:	Comparación de los diferentes modelos probabilísticos .....	51
Tabla 3.26:	Caudales de diseño típico .....	52
Tabla 5.1:	Componentes físicos y lógicos del SIG de la cuenca Puyango - Tumbes ...	61
Apéndice A:		
Tabla A.1:	Mes de Enero .....	93
Tabla A.2:	Mes de Febrero .....	93
Tabla A.3:	Mes de Marzo .....	94
Tabla A.4:	Mes de Abril .....	94
Tabla A.5:	Mes de Mayo .....	95
Tabla A.6:	Mes de Junio .....	95
Tabla A.7:	Mes de Julio .....	96
Tabla A.8:	Mes de Agosto .....	96
Tabla A.9:	Mes de Septiembre .....	97
Tabla A.10:	Mes de Octubre .....	97
Tabla A.11:	Mes de Noviembre .....	98
Tabla A.12:	Mes de Diciembre .....	98
Tabla A.13:	Promedio anual sin niño 1983 .....	99
Tabla A.14:	Promedio anual con niño 1983 .....	99
Apéndice B:		
Tabla B.1:	Parámetros Gumbel .....	104
Tabla B.2:	Cálculos distribución Gumbel .....	106

Tabla B.3:	Cálculos distribución Gumbel.....	107
Tabla B.4:	Cálculos distribución Gamma de 2 parámetros.....	109
Tabla B.5:	Cálculos distribución Log Pearson tipo III .....	111
Tabla B.6:	Cálculos distribución Log Normal de 2 parámetros.....	113
Tabla B.7:	Cálculos distribución Log Normal de 3 parámetros.....	115
Tabla B.8:	Valores críticos $\Delta_0$ para diferentes niveles de significación $\alpha$ .....	118
Tabla B.9:	Smirnov – Kolmogororov / Distribución Gumbel .....	119
Tabla B.10:	Smirnov – Kolmogororov / Distribución Gamma 2 parámetros.....	120
Tabla B.11:	Smirnov – Kolmogororov / Distribución Log Pearson III .....	121
Tabla B.12:	Smirnov – Kolmogororov / Log Normal 2 parámetros.....	122
Tabla B.13:	Smirnov – Kolmogororov / Log Normal 3 parámetros.....	123
Apéndice C:		
Tabla C.1:	Base de datos países A-B .....	127
Tabla C.2:	Base de datos países B-C .....	128
Tabla C.3:	Base de datos países C-F.....	129
Tabla C.4:	Base de datos países F-I .....	130
Tabla C.5:	Base de datos países I-L.....	131
Tabla C.6:	Base de datos países L-M.....	132
Tabla C.7:	Base de datos países M-P.....	133
Tabla C.8:	Base de datos países P-S .....	134
Tabla C.9:	Base de datos países S-U.....	135
Tabla C.10:	Base de datos países U-Z .....	136
Tabla C.11:	Base de datos ríos del Mundo .....	137
Tabla C.12:	Base de datos lagos .....	138
Tabla C.13:	Base de datos Perú-Ecuador.....	139
Tabla C.14:	Base de datos sistema vial.....	140
Tabla C. 15:	Base de datos centros urbanos 01.....	141
Tabla C. 16:	Base de datos centros urbanos 01.....	142
Tabla C. 17:	Base de datos límite distrital .....	143
Tabla C. 18:	Base de datos límite provincial .....	143
Tabla C.19:	Base de datos zona de especialización.....	143
Tabla C.20:	Base de datos mapa climatológico .....	144
Tabla C.21:	Base de datos mapa de suelos .....	144
Tabla C.22:	Base de datos mapa geomorfológico.....	144
Tabla C. 23:	Base de datos ríos 01 .....	145
Tabla C. 24:	Base de datos ríos 02.....	146
Tabla C. 25:	Base de datos ríos 03.....	147
Tabla C. 26:	Base de datos ríos 04.....	148

## Lista de Figuras

Figura 1.1:	Relación de capas para diferentes datos en un SIG .....	3
Figura 1.2:	Componentes de un SIG .....	4
Figura 1.3:	Funciones de los componentes de un SIG .....	4
Figura 1.4:	Relación de los elementos en un SIG .....	5
Figura 1.5:	Estudios ambientales. Parque Nacional Mammoth Cave (Kentucky/USA) .	8
Figura 1.6:	Diferentes tipos de cultivos en África. ....	9
Figura 1.7:	Estudio del potencial petrolífero en el mar de Venezuela. ....	10
Figura 1.8:	MDE que muestra la delineación de una cuenca. ....	11
Figura 1.9:	Modelación de afluentes contaminantes en ArcView .....	12
Figura 1.10:	Zonificación de una ciudad. California .....	13
Figura 1.11:	Información cartográfica generada en un SIG.....	15
Figura 1.12:	Planificación y gestión de recursos públicos.....	16
Figura 1.13:	Elaboración de un SIG empleando el ArcView.....	18
Figura 1.14:	Modelo digital de elevaciones elaborado con el Idrisi. ....	18
Figura 1.15:	Sistema GPS (Sistema de Posicionamiento Global).....	22
Figura 2.1:	Tipos de formatos SIG.....	23
Figura 2.2:	Representación visual de un SIG.....	27
Figura 3.1:	Sismos ocurridos cerca de la cuenca Puyango - Tumbes .....	32
Figura 3.2:	Zona de convergencia Intertropical .....	34
Figura 3.3:	Mecanismos para la formación de precipitaciones.....	42
Figura 4.1:	Ejemplo de un proyecto realizado en ArcView.....	53
Figura 4.2:	Elementos que conforman un proyecto .....	54
Figura 4.3:	Mapa topográfico del Perú .....	55
Figura 4.4:	Información contenida en una tabla.....	56
Figura 4.5:	Gráfico elaborado en ArcView .....	56
Figura 4.6:	Layout con todos los componentes deseados .....	57
Figura 4.7:	Script Watersheds .....	58
Figura 5.1:	Metodología para el diseño e implementación del SIG.....	62
Figura 6.1:	Mapa de la Cuenca del río Puyango – Tumbes .....	65
Figura 6.2:	Vista que muestra los diferentes temas para la zona de estudio.....	66
Figura 6.3:	Estaciones pluviométricas en la cuenca.....	67
Figura 6.4:	Geomorfología del río Tumbes (Curva el Piojo - Ciudad de Tumbes) .....	67
Figura 6.5:	Información de ríos y quebradas en la cuenca.....	68
Figura 6.6:	Menú principal de la cuenca Puyango - Tumbes.....	69
Figura 6.7:	Mapa Mundial .....	70
Figura 6.8:	Propiedades de la Vista Mapa Mundial .....	70
Figura 6.9:	Base de datos desplegada .....	71
Figura 6.10:	Base de datos para el tema países .....	71
Figura 6.11:	Vista Perú - Ecuador.....	72
Figura 6.12:	Base de datos para la vista Perú - Ecuador.....	73
Figura 6.13:	Vista Zona de estudio .....	73
Figura 6.14:	Base de datos en la vista Zona de estudio .....	74
Figura 6.15:	Ubicación de poblaciones a lo largo del río Tumbes.....	74
Figura 6.16:	Vista Cuenca del río Puyango - Tumbes .....	75
Figura 6.17:	Base de datos que posee la cuenca del río Puyango – Tumbes .....	76
Figura 6.18:	Vista hidrología de la cuenca.....	76
Figura 6.19:	Base de datos de la vista hidrología de la cuenca.....	77

Figura 6.20:	Perfil longitudinal en la Vista hidrología de la cuenca .....	78
Figura 6.21:	Gráficas de precipitaciones .....	78
Figura 6.22:	Caudales de diseño en la vista Hidrología de la cuenca.....	79
Figura 6.23:	Curva hipsométrica en la vista Hidrología de la cuenca .....	79
Figura 6.24:	Variación del cauce en el tiempo .....	80
Figura 6.25:	Base de datos para el tema estaciones pluviométricas .....	81
Figura 6.26:	Abriendo una base de datos desde la función Tablas.....	82
Figura 6.27:	Base de datos desplegada y lista para modificar .....	82
Figura 6.28:	Añadiendo una tema o theme a la vista Zona de Estudio.....	83

## Lista de Gráficos

Gráfico 3.1:	Polígonos de frecuencias .....	41
Gráfico 3.2:	Precipitación media mensual sin El Niño 1983.....	44
Gráfico 3.3:	Precipitación media anual.....	44
Gráfico 3.4:	Distribución de Gumbel .....	46
Gráfico 3.5:	Distribución Gamma 2 parámetros.....	47
Gráfico 3.6:	Distribución Log Pearson Tipo III .....	48
Gráfico 3.7:	Distribución Log Normal de 2 Parámetros.....	49
Gráfico 3.8:	Distribución Log Normal de 3 parámetros .....	50
Gráfico 3.9:	Comparación de caudales .....	52
Apéndice B:		
Gráfico B.1:	Relación número de datos con parámetro $Y_n$ .....	105
Gráfico B.2:	Relación número de datos con parámetro $\sigma_n$ .....	105

*Lista de Mapas*

1. Mapa de ubicación de la Cuenca en Sudamérica.
2. Mapa general de la Cuenca.
3. Perfil longitudinal del río Puyango – Tumbes.
4. Mapa topográfico de la Cuenca.
5. Mapa geomorfológico de la Cuenca.
6. Mapa de suelos de la Cuenca.
7. Mapa climatológico de la Cuenca.
8. Mapa general de la Cuenca – Subcuenca.
9. Curva hipsométrica del río Puyango – Tumbes.
10. Mapa de ubicación de las estaciones en la Cuenca.
11. Isoyetas media mensual enero (1971-1986), sin niño 1983.
12. Isoyetas media mensual febrero (1971-1986), sin niño 1983.
13. Isoyetas media mensual marzo (1971-1986), sin niño 1983.
14. Isoyetas media mensual abril (1971-1986), sin niño 1983.
15. Isoyetas media mensual mayo (1971-1986), sin niño 1983.
16. Isoyetas media mensual junio (1971-1986), sin niño 1983.
17. Isoyetas media mensual julio (1971-1986), sin niño 1983.
18. Isoyetas media mensual agosto (1971-1986), sin niño 1983.
19. Isoyetas media mensual septiembre (1971-1986), sin niño 1983.
20. Isoyetas media mensual octubre (1971-1986), sin niño 1983.
21. Isoyetas media mensual noviembre (1971-1986), sin niño 1983.
22. Isoyetas media mensual diciembre (1971-1986), sin niño 1983.
23. Isoyetas media anual (1971-1986) sin niño 1983.
24. Isoyetas media anual el niño 1983.

## **Introducción**

El presente trabajo de tesis estudia las características principales de la cuenca del río Puyango – Tumbes, haciendo uso de una herramienta que esta poco difundida en nuestro medio, los Sistemas de Información Geográfica.

El trabajo realizado se ha dividido en seis capítulos, en los cuales se tratan los diferentes aspectos de la cuenca en estudio.

El capítulo I trata básicamente lo que son los Sistemas de Información Geográfica, la aplicación de ellos en los diferentes campos y la comparación con otros sistemas; además, cual será la tendencia de los Sistemas de Información Geográfico en el futuro.

El capítulo II hace referencia a la estructura, la clasificación de acuerdo a su formato, así como las principales funciones de los SIG, como son la entrada de datos, el almacenamiento y organización de la base de datos, análisis y transformaciones y finalmente la representación visual.

El capítulo III es la parte medular del trabajo, los datos obtenidos aquí serán aquellos que se ingresarán a la base de datos de nuestro SIG, y trata sobre la ubicación, descripción y caracterización de la cuenca, las subcuencas, los parámetros geomorfológicos y las precipitaciones que se producen, además de los caudales de diseño para la ciudad de Tumbes.

El capítulo IV introduce a lo que es el software a emplear en el presente trabajo, el ArcView, la descripción y las principales funciones, así como las ventajas y desventajas de este software.

El capítulo V muestra como ha sido el desarrollo del SIG, qué procedimientos se han empleado, así como también cuál ha sido la base de datos generada.

En el capítulo VI se presentan los resultados del SIG desarrollado en el presente trabajo, cuál es el alcance del producto, la consulta del SIG y la actualización del sistema. Finalmente se presentan las conclusiones y recomendaciones acerca del estudio.

# 1 Introducción a los Sistemas de Información Geográfica

## 1.1 Generalidades

Los sistemas de información se han convertido en herramientas muy efectivas de la ingeniería y de las ciencias básicas. El desarrollo vertiginoso del mundo de la informática ha permitido la creación de numerosos programas con aplicación específica y en los cuales se ve contenido todo el conocimiento y el estado del arte en las diferentes áreas del saber y los Sistemas de Información Geográfica son una prueba de este progreso.

El tratamiento de datos georeferenciados y la computarización de la información se aplica de forma práctica a la resolución de problemas complejos. El gran interés de estos sistemas reside en su capacidad para simplificar datos y análisis de difícil lectura mediante imágenes gráficas que agilizan la comprensión de la información. Los Sistemas de Información Geográfica traen consigo una nueva filosofía que contribuye al análisis, planificación y gestión del territorio.

## 1.2 Concepto de Sistemas de Información Geográfica

Un Sistema de Información Geográfica (SIG o GIS por las siglas inglesas de Geographic Information Systems) es un sistema computarizado, consistente en la colección organizada de equipos, programas, datos georeferenciados y personal. Todos estos trabajan en conjunto para el almacenamiento, análisis y despliegue de información espacial asociada a una base de datos de atributos [Chuvieco, 1996], ver Figura 1.1.

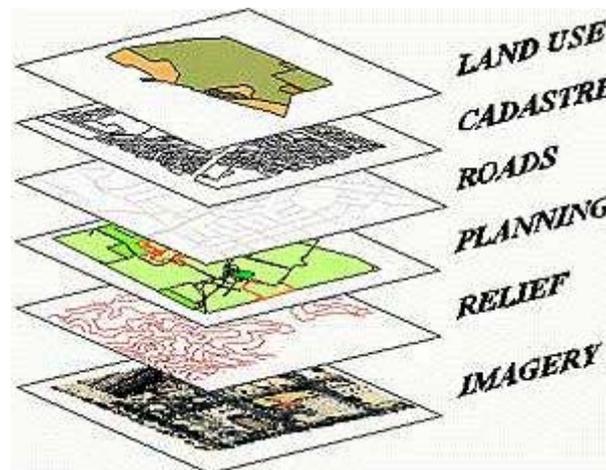


Figura 1.1: Relación de capas para diferentes datos en un SIG

Si empleáramos una ecuación para resumir los elementos que constituyen el sistema, ver Figura 1.2, sería como sigue:

$$\text{GIS} = \text{SW} * \text{HW} * \text{DB} * \text{HR} * \text{P}$$

Donde:

SW : Son los programas del computador.

HW : Son los equipos de computación y periféricos.

DB : Es la base de datos con toda la información pertinente.

HR : Es el recurso humano capacitado

P : Son los procedimientos y procesos que se llevan a cabo.



Figura 1.2: Componentes de un SIG

Todos relacionados mediante el producto algebraico de tal manera que no pueda despreciarse ninguno de ellos, ver Figura 1.3.

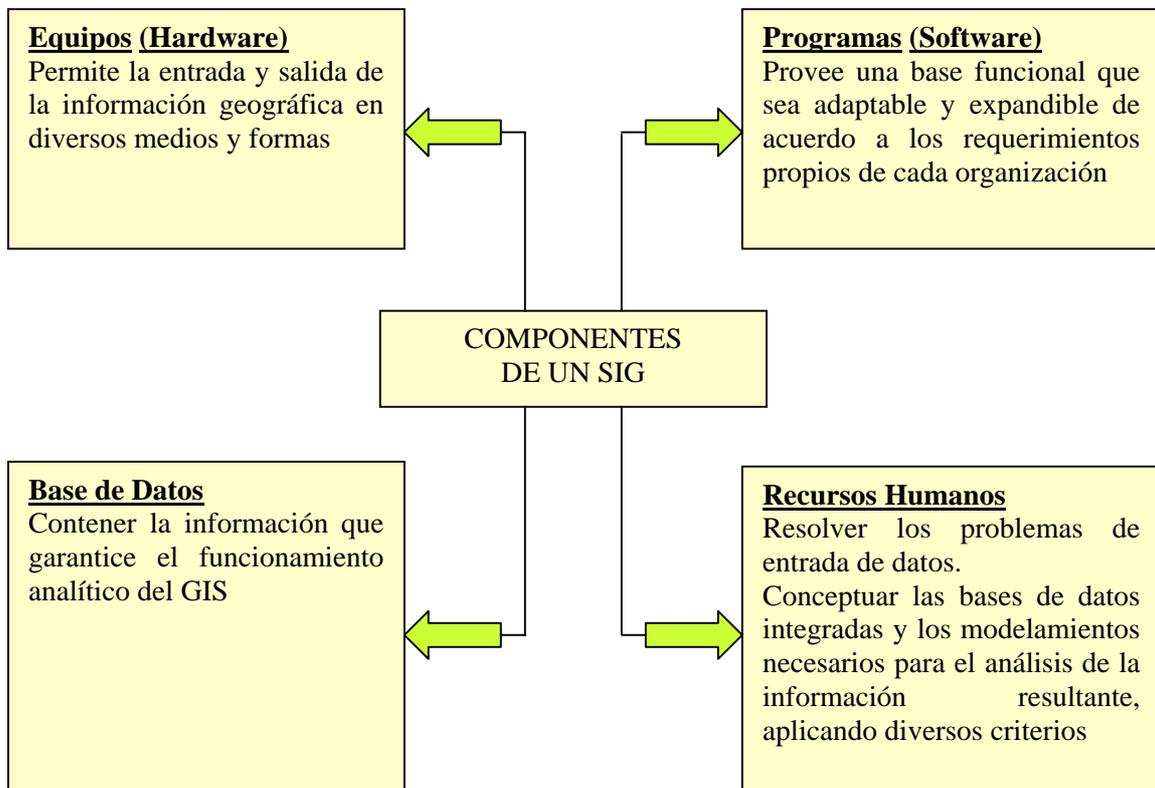


Figura 1.3: Funciones de los componentes de un SIG

Ahora bien, si se usan siempre datos con ubicaciones o coordenadas conocidas, a estos los llamamos "datos espaciales georeferenciados". Se trabaja mucho con mapas en formato digital, no croquis o esquemas sin escalas ni coordenadas, ni tampoco sólo con dibujos de computadoras, típicos de los programas de diseños (CAD). En estos mapas la información puede ser analizada, modificada, presentada de diversas formas, etc. con una facilidad única de los procesos computarizados. Además de la información cartográfica (el mapa), el SIG maneja una base de datos donde se tienen las diferentes características de los objetos mapeados y a esto se le denomina "base de datos de atributos". De modo que tenemos dos tipos de datos estrechamente integrados: datos geográficos y datos de atributos.

A cada objeto contenido en una categoría se le asigna un único número identificador. Cada objeto está caracterizado por una localización única (atributos gráficos con relación a unas coordenadas geográficas) y por un conjunto de descripciones (atributos no gráficos). El modelo de datos permite relacionar y ligar atributos gráficos y no gráficos. Las relaciones se establecen tanto desde el punto de vista posicional como topológico, ver Figura 1.4.

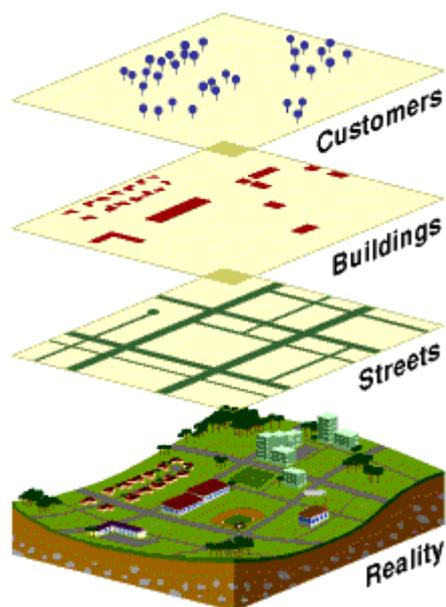


Figura 1.4: Relación de los elementos en un SIG

Los datos posicionales dicen dónde está el elemento y los datos topológicos informan sobre la ubicación del elemento con relación a los otros elementos. Los atributos no gráficos dicen qué es, y cómo es el objeto. El número identificador que es único para cada objeto de la categoría es almacenado tanto en el archivo o mapa de objetos como en la tabla de atributos, lo cual garantiza una correspondencia estricta entre los atributos gráficos y no gráficos.

Un SIG suficientemente sofisticado puede responder a cinco preguntas genéricas:

- **Localización:** ¿Qué hay en...? La primera de las preguntas se refiere a identificar qué es lo que se encuentra en una localización determinada. La localización puede describirse de varias formas, por ejemplo, por su topónimo, por su código postal o por referencias geográficas como latitud y longitud.

- **Condición:** ¿Dónde se encuentra? Esta pregunta es la inversa de la primera y requiere un análisis espacial. En lugar de identificar lo que se encuentra en un punto lo que se busca es un lugar que reúna ciertas condiciones que se especifican (por ejemplo, un terreno sin bosque, con un área mayor de 2.000 m<sup>2</sup>, a menos de 100 metros de una carretera y...).
- **Tendencia:** ¿Qué ha cambiado desde...? Esta pregunta involucra a las dos anteriores y su respuesta establece qué diferencias ocurren en un área determinada a través del tiempo.
- **Distribución:** ¿Qué patrones de distribución espacial existen? Esta pregunta es más compleja. Se plantea al querer determinar, por ejemplo, si el cáncer es una causa importante de mortalidad entre las personas que residen en las proximidades de una central nuclear.
- **Modelización:** ¿Qué sucede si...? Cuestión que se plantea al intentar conocer que pasa en un sistema cuando ocurre un hecho determinado, por ejemplo, que le sucede a un sistema vial si construimos una carretera, o que sucedería si se produjera un vertido tóxico en la red de suministro de agua potable de una ciudad.

Los Sistemas de Información Geográfica son una herramienta esencial para el análisis y toma de decisiones en muchas áreas vitales para el desarrollo nacional.

### 1.3 Reseña histórica

#### 1.3.1 Los Sistemas de Información Geográfica en el Mundo

Los primeros SIG se desarrollaron en los años sesenta, como respuesta a las crecientes necesidades de información sobre el territorio. Canadá resultó pionero en el nacimiento de estos programas, si bien se extendieron rápidamente a su vecino del Sur y otros países anglosajones, a finales de esa década ya existían varios SIG operativos como DIME (U.S. Bureau of Census) o el GRDSR (Statistic Canada).

El creciente interés por la planificación medio ambiental permite que los SIG se consoliden en la década de los años setenta, paralelamente al vertiginoso desarrollo de los equipos informáticos. En estos años aparecen los primeros planes de estudios universitarios sobre esta técnica, así como algunas empresas privadas dedicadas a su desarrollo y explotación.

En los años ochenta, se conjugó la versatilidad lograda en el manejo gráfico de los mapas con las capacidades de las bases de datos, de tal forma que se podían consultar los datos adheridos a un lugar o hacer una búsqueda de los que cumplían alguna condición “queries”; o también, efectuar la superposición de mapas y cálculos iterativos de distancias, permitiendo el ahorro de esfuerzo y tiempo.

Los siguientes desarrollos se hicieron en el aspecto de la entrada de información, utilizando imágenes de satélites, tableros digitalizadores y scanners; dando inicio además a la teoría del “análisis espacial”.

En la actualidad, el mejoramiento de los SIG se han enfocado hacia las operaciones analíticas estadísticas y modelación espacial, centrándose el interés y la inversión de un amplio abanico de profesionales.

### **1.3.2 Los Sistemas de Información Geográfica en el Perú**

La planificación de un país para el desarrollo socioeconómico y social requiere de mucha información. Cuanto mejor y más fácil es el acceso y la manipulación de los datos, se tendrá mayor posibilidad de producir planes integrales para el desarrollo del país, en sus diversos aspectos.

Así pues, la necesidad de interpretación del espacio geográfico y el aumento de las necesidades de información, tales como la acción del hombre sobre la naturaleza, generó en los últimos años el surgimiento de los Sistemas de Información Geográfica, significando una contribución efectiva en los diferentes niveles del ordenamiento espacial y apareciendo además, el uso de los sensores remotos que han permitido respuestas inmediatas en materia de evaluación y monitoreo del medio ambiente.

En nuestro país, los primeros antecedentes de esta tecnología se remontan a finales de la década de los ochenta, en el ámbito de la Facultad de Ingeniería Agrícola de la Universidad Nacional Agraria de La Molina, a través del curso de Planeamiento Rural, con la enseñanza de la técnica de las áreas homogéneas. Entre 1980 y 1981 se extiende su aplicación en el Sector Público en estudios específicos realizados por el Proyecto Especial Plan Selva, el Proyecto Especial Pichis - Palcazú y el Proyecto Especial Madre de Dios. En todos los casos el proceso fue manual, sin la asistencia de la informática.

A partir de 1985, la Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales (ONERN) puso en operación el primer SIG con equipamiento, consolidación y asistencia técnica, con fondos de donación de la Agencia Internacional para el Desarrollo (AID). El SIG de la ONERN utilizaba el formato de búsqueda de salida y entrada de datos, orientado a la producción cartográfica tipo celular o malla cuadrada. En 1988 el Proyecto Especial de Apoyo a las Políticas de Desarrollo de la Selva Alta (APODESA) del INADE, inicia la implementación del SIG ARC-INFO para el manejo de las cuencas hidrográficas y el desarrollo de proyectos de la selva alta, constituyéndose en una de las instituciones con mayor experiencia en el desarrollo de proyectos SIG.

En la actualidad, el uso y aplicación de los SIG se viene extendiendo a universidades, instituciones públicas, empresas privadas, Municipalidades y las Fuerzas Armadas.

### **1.4 Aplicaciones de los Sistemas de Información Geográfica**

Como ya es conocido la mayor parte de las actividades que lleva a cabo el hombre tienen una clara componente geográfica. Cada vez con mayor frecuencia se tiende a estudiar detalladamente esa componente espacial de los fenómenos que ocurren a nuestro alrededor y la forma en que las personas se ven involucradas en ellos. Por este motivo, la presencia constante de información geográfica requiere para su manejo herramientas como las que proporcionan los Sistemas de Información Geográfica para su adecuado tratamiento [Comas y Ruiz, 1993].

De este modo, el uso y, por lo tanto, los métodos y las técnicas de estos sistemas, como herramientas idóneas para tratar esa información, se extienden en multitud de ámbitos, especialmente entre los profesionales y científicos. A consecuencia de esto, como si se tratase de un efecto de retroalimentación, se generan multitud de nuevas posibilidades de utilización de dichas herramientas aplicadas al tratamiento de la información geográfica.

#### 1.4.1 Aplicaciones al medio ambiente

Las aplicaciones al medio ambiente representan el conjunto de casos donde el uso de los SIG es más frecuente y se encuentra más extendido. Intentar reconocer cuál es el motivo de la gran proliferación del uso de los SIG en este grupo suele ser complicado ya que es habitual encontrar más de una circunstancia que lleva a esa aplicación de los sistemas. Un primer intento por delimitar esos motivos nos hace reflexionar acerca del hecho evidente que no existe nada tan “geográfico” como el propio territorio y los elementos físicos que en él se localizan. Es habitual que las relaciones entre los elementos del medio físico alcancen niveles de complejidad muy elevados, por lo que es necesario disponer de herramientas capaces de reflejar y recoger toda esa diversidad. Unido a esto, y como factor realmente clave, encontramos que en la actualidad existe una gran preocupación por todo nuestro entorno, por su estado, por su nivel de conservación y por los recursos que tenemos a nuestra disposición [Comas y Ruiz, 1993], ver Figura 1.5.



Figura 1.5: Estudios ambientales. Parque Nacional Mammoth Cave (Kentucky/USA)

Ante la diversidad de estos hechos sólo podemos reconocer que los SIG ofrecen grandes garantías para afrontar el estudio integrado de tantas variables y factores como tienen lugar en el territorio. Con estas premisas establecidas, podemos identificar los casos fundamentales que conformarían las aplicaciones dentro de este grupo [Comas y Ruiz, 1993].

### 1.4.1.1 Usos del suelo

Dentro de los usos del suelo, los agrícolas adquieren gran importancia en todos los niveles territoriales, desde una escala local hasta un escala global. La información acerca de la situación agrícola que se da en un determinado territorio constituye una información totalmente imprescindible en nuestros días. Es seguramente por este motivo que, por regla general, siempre se ha procurado disponer de datos fiables y actualizados acerca del uso agrícola de un determinado territorio [Aranoff, 1989], ver Figura 1.6.

Ha sido habitual durante muchos años que todos esos datos estuviesen limitados a una mera y a veces incluso escueta recopilación de datos estadísticos, debido por lo general a la falta de herramientas adecuadas para tratar convenientemente la información disponible. La consecuencia de este enfoque suponía disponer de sólo una visión parcial y no integradora de la realidad.

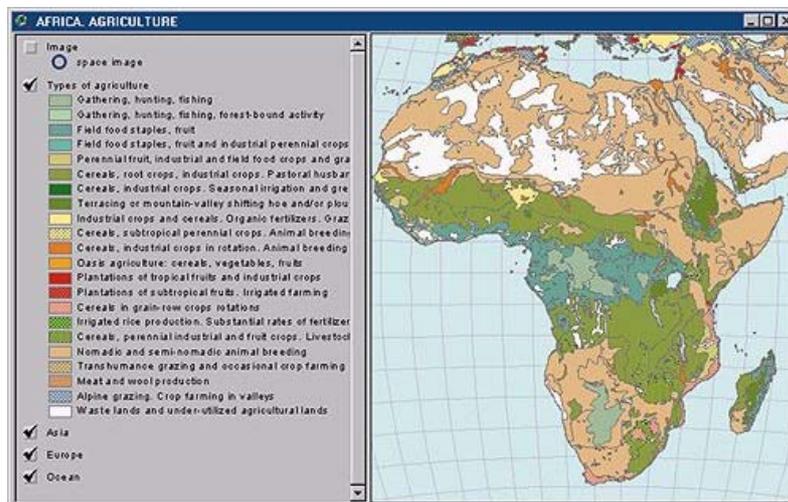


Figura 1.6: Diferentes tipos de cultivos en África.

Con la aparición de nuevos sistemas y mecanismos para el tratamiento de la información geográfica el panorama ha sufrido un cambio ciertamente radical. Las técnicas de teledetección y los sistemas para el análisis de imágenes de satélite constituyeron un primer gran paso en el estudio del uso del suelo y de las condiciones de la agricultura. El segundo gran cambio fue la entrada en escena de los SIG, que permitieron superar la tarea principal de recoger datos estadísticos sobre el territorio, proporcionando mayores posibilidades de gestión y análisis de dichos datos geográficos. Así, por ejemplo, con las herramientas que proporcionan es posible integrar los datos procedentes de los satélites con datos de tipo meteorológico para realizar previsiones acerca del estado en que se encontrarán las cosechas en el momento de la recolección. También es factible decidir qué tipo de explotación agrícola es la más adecuada en cada situación teniendo en cuenta aspectos tales como el tipo de suelo existente, el nivel de erosión del mismo, la existencia de acuíferos subterráneos en condiciones de ser utilizados para el regadío, etc. En este tipo de aplicaciones, los SIG deben ser vistos como herramientas de uso muy adecuado que, integrando informaciones de diversa procedencia, permiten tomar decisiones, con una gran flexibilidad y rapidez, acerca de cómo planificar la agricultura y los otros usos del suelo [Comas y Ruiz, 1993].

### 1.4.1.2 Gestión de recursos naturales

El conjunto de casos englobados bajo el epígrafe de gestión de recursos naturales hace referencia a todas aquellas aplicaciones cuyo objetivo principal es tratar la información espacial que describe el tipo y la distribución de dichos recursos en la superficie de nuestro planeta, como, por ejemplo, los recursos minerales, la localización de zonas ricas en agua o las zonas con suelos adecuados para la formación de bolsas petrolíferas. Suelen contemplar también otros datos, como los indicadores del tamaño de una población, de manera que sea posible establecer el potencial de impacto ambiental de las actividades humanas sobre el medio, los datos reflejan cambios en aspectos medioambientales producidos por la acción antrópica del hombre o incluso datos catastrales con el fin de conocer quién posee cierto territorio y, por tanto, también los recursos que en él se encuentran [Siderelis, 1991].

Contar con este gran volumen de datos, a menudo variables en un corto periodo de tiempo, supone disponer de una información privilegiada. Las herramientas de análisis espacial que proporciona los SIG (superposición topológica de capas de información, análisis de proximidad, etc.) toman un papel clave para poder llevar a buen término estos objetivos, brindado a los especialistas en el estudio de los recursos naturales la posibilidad de tener a su alcance la manera de hacer más efectivos sus estudios [Comas y Ruiz, 1993], ver Figura 1.7.

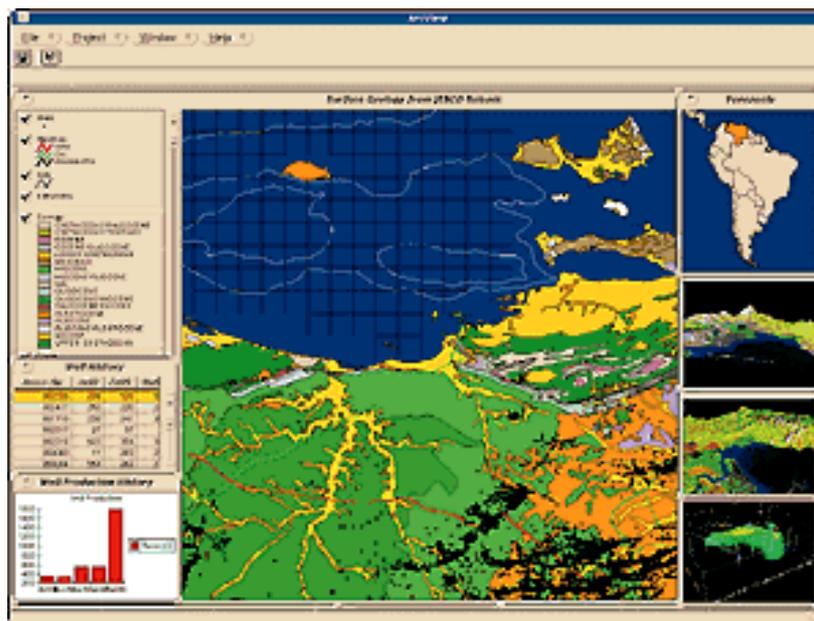
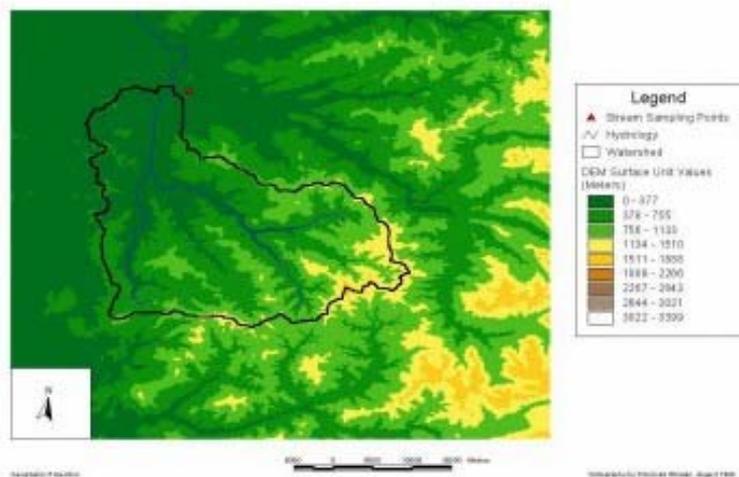


Figura 1.7: Estudio del potencial petrolífero en el mar de Venezuela.

### 1.4.1.3 Gestión de recursos hídricos

Una de las tantas aplicaciones de los SIG es la gestión de recursos hídricos, donde se emplean con frecuencia para describir y estimar el estado en que se encuentra el medio natural y los recursos que éste posee, así como para desarrollar un inventario estandarizado con la información necesaria para la toma de decisiones estratégicas orientadas a la gestión y mejor conocimiento de los recursos disponibles; así mismo, para la realización de predicciones, y el desarrollo de modelos.

Un SIG permite automatizar el proceso de delineación de cauces y cuencas hídricas, partiendo de un Modelo digital de elevaciones (MDE<sup>1</sup>), que a su vez permite extraer información de tipo hidrogeométrico<sup>2</sup>, auxiliándose además de métodos suplementarios como referencias a mapas topográficos, información acerca de los usos del suelo y la cobertura, unidades hidrológicas, delineación de líneas de flujo, y digitalización, además de servir de soporte en el estudio de las relaciones existentes entre las cuencas hídricas y la morfología de los cauces, para analizar, entre otras cosas, la contribución de cada cuenca hidrológica a la escorrentía [Miller, Guertin y Goodrich, 1996] [Hank Hahm, Young Park y Sun Yun, 1996], ver Figura 1.8.



**Figura 1.8: MDE que muestra la delineación de una cuenca.**

Otra empleo importante de los SIG, en la gestión de los recursos hídricos, son los modelos de simulación distribuida donde el almacenamiento, tratamiento y producción de datos sirven de entrada para esos modelos y que por las características mismas de los SIG resulta de gran utilidad para llevar a cabo la tarea de calibración y verificación, un ejemplo de ello es el empleo simultaneo del ArcView y MODFLOW<sup>3</sup> para modelar y analizar el comportamiento de las aguas subterráneas [Tsanins y Boyle, 1997].

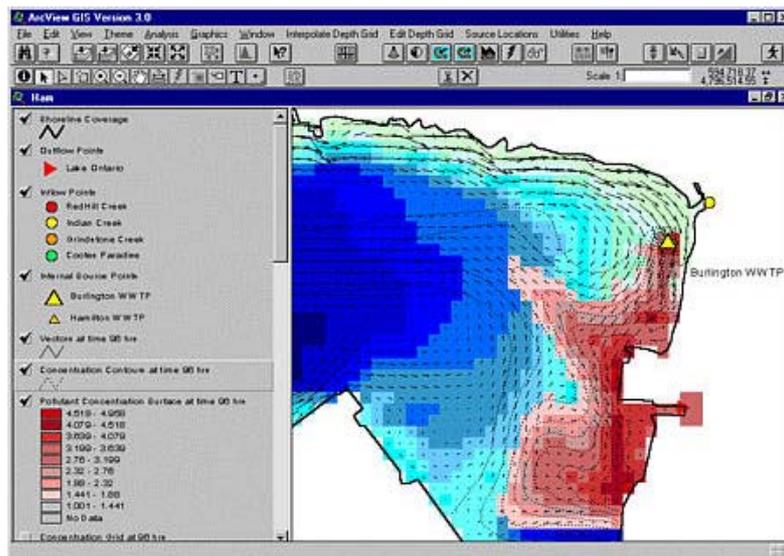
Los SIG son considerados como un sistema de apoyo realista y eficiente para el monitoreo de la calidad de las aguas, principales herramientas para conocer el estado de salud de los recursos hídricos, la medición y control de la toxicidad de los efluentes, el estudio de la dispersión espacial de focos contaminantes, o la estimación del impacto que dicha contaminación tiene sobre los distintos ecosistemas, ver Figura 1.9.

<sup>1</sup> Un Modelo digital de elevaciones representa los intervalos de altitud de una determinada área y por lo general se genera a partir de la topografía convencional o de información de satélite. A partir de un MDE se puede obtener información relevante de la cuenca, y se conjuga con otras coberturas de especial interés (hidrología, hidráulica, vegetación, usos del suelos, etc.).

<sup>2</sup> Hidrogeométrico: información sobre los límites de la cuenca hídrica, direcciones de flujo, redes de drenaje, etc.

<sup>3</sup> MODFLOW es una herramienta excelente para la simulación y predicción de los flujos dentro de complejos sistemas de aguas subterráneas.

Los SIG también pueden ser empleados para la identificación y evaluación de procesos de erosión y de contaminación de origen difuso. Este tipo de contaminación procede de diversas fuentes, difíciles de identificar y en consecuencia muy complejas de estimar. Los SIG proporcionan no obstante una aproximación de gran alcance para la evaluación de los usos del suelo así como de otras peculiaridades del medio para explicar la distribución espacial de esta contaminación. Por ejemplo, pueden describirse los procesos de precipitación y escorrentía en relación con cuestiones de calidad de las aguas. Zonas donde las precipitaciones son intensas y el suelo se encuentra desprovisto de una cubierta protectora son más susceptibles de actuar como fuente difusa de contaminación de las aguas, debido a la mayor intensidad de la erosión [Scarborough, 1999].



**Figura 1.9: Modelación de afluentes contaminantes en ArcView**

En cualquier programa de control de riesgos el factor primordial es la identificación del elemento de riesgo en sí mismo y cuando se trata del control de inundaciones los estudios convencionales de detalle resultan demasiado costosos, tanto en tiempo como en dinero, por lo que recurrir a la automatización mediante los SIG del proceso de identificación de áreas inundables resulta especialmente interesante [Lear, Zheng y Dunningan, 2000].

Una vez que se ha parametrizado y determinado cuál es el funcionamiento del sistema hídrico es posible llevar a cabo la simulación de escenarios: el planteamiento de situaciones hipotéticas con el fin de determinar sus posibles repercusiones y poderse anticipar. Estas simulaciones permiten identificar y establecer las estrategias de gestión más adecuadas para asegurar la viabilidad del sistema.

Los SIG, con la capacidad para realizar evaluaciones multicriterio, desempeñan un papel importante como soporte en los estudios relativos a la cantidad y calidad de los recursos hídricos. Permiten representar una ingente cantidad de información de manera sencilla y vistosa, proporcionando una visión de conjunto de enorme importancia para la gestión de los recursos hídricos.

## 1.4.2 Aplicaciones de administración y gestión

El conjunto de aplicaciones incluidas en este epígrafe es quizá, después del grupo de las aplicaciones de los SIG al Medio Ambiente, el más frecuente hoy en día. Con este nombre agrupamos, entre otras, aquellas de aplicaciones relacionadas en mayor o menor grado con las actividades de las administraciones públicas, las instituciones estatales y las empresas de gestión de servicios. Podemos identificar una serie de casos ciertamente significativos:

### 1.4.2.1 Catastros

Las aplicaciones catastrales son las que habitualmente se conocen con el nombre genérico de Sistemas de Información Territorial (SIT) o Land Information Systems (LIS). Existe a menudo controversia acerca de lo que es realmente un SIT y cuáles son los aspectos que trata. Algunos especialistas los diferencian de los SIG mientras que otros argumentan que se trata tan sólo de un tipo de aplicación concreta de un SIG. Es por este motivo que en 1981 una comisión especial de la Federation Internationale des Géometres, FIG, propuso la siguiente: *"Un Sistema de Información Territorial es una herramienta legal, administrativa y económica para la toma de decisiones y la ayuda en el planeamiento y el desarrollo que se compone, por un lado, de una base de datos conteniendo datos del territorio referenciados espacialmente para áreas definidas y, por otro lado, de los procedimientos y las técnicas para recoger, actualizar, procesar y distribuir sistemáticamente esos datos. La base de un Sistema de Información Territorial es un sistema uniforme de referencia espacial para los datos en el sistema, lo cual facilita la unión de los datos del sistema con otros datos relacionados con el territorio."* [Larsson, 1991].

Ante esta definición, podemos argumentar que la diferencia principal entre un SIG y SIT estriba en el uso que se hace de cada sistema, más que en la esencia de ellos; mientras que un SIG tiene como objetivo primordial la realización de análisis espaciales complejos, un SIT está enfocado de cara a la gestión diaria, por tanto inmediata y repetitiva de datos geográficos [Comas y Ruiz, 1993], ver Figura 1.10.

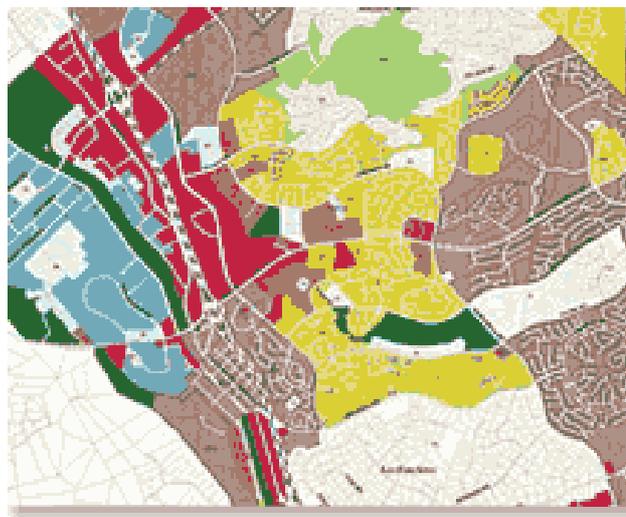


Figura 1.10: Zonificación de una ciudad. California

### **1.4.2.2 Planificación y gestión de servicios públicos**

La planificación y la gestión de servicios públicos constituye otra de las aplicaciones por excelencia de los SIG, aunque no única y exclusiva de ellos.

Frecuentemente, en estos casos suele darse la circunstancia de que los SIG convivan con otro tipo de sistemas o aplicaciones informáticas, como pueden ser los sistemas de cartografía asistida por computador, los sistemas de diseño asistidos por computador (CAD) o los sistemas de gestión de las bases de datos, SGBD. Este tipo de sistemas aplicados a la planificación y la gestión de servicios públicos reciben generalmente el nombre de aplicaciones AM/FM (Automated Mapping/Facilities Management)[Comas y Ruiz, 1993].

Los usuarios por excelencia de los SIG, con estas aplicaciones, suelen ser las empresas prestatarias de servicios relacionados con la planificación y gestión de recursos y servicios públicos: Compañías de agua, electricidad, telefonía, teledifusión, etc. En general, aunque una variedad de usos muy grandes, el objetivo principal de todas estas compañías al utilizar un SIG u otro tipo de sistema como los AM/FM, es la creación de un sistema de gestión de sus redes de distribución o transmisión con el fin de proporcionar al consumidor un servicio adecuado a su costo [Mahoney, 1991].

El gran atractivo de los SIG, es su capacidad de unir los datos geográficos con información alfanumérica de la red, de manera que proporcionan un gran número de capacidades analíticas. Los SIG toman en estas aplicaciones el papel de herramientas encargadas de proporcionar información actualizada a los niveles operacional y de planeamiento de manera que ambos niveles puedan realizar las actividades asignadas de forma rápida y eficaz. Los beneficios que supone disponer de toda esa información sobre las redes son, sin duda, muy importantes.

Este tipo de información, por ejemplo, permite hacer una previsión de la demanda futura para poder diseñar una próxima expansión, facilita la realización de propuestas sobre la posible localización de una nueva planta de producción o un centro de distribución o transmisión, ayuda en el mantenimiento general de la red e incluso posibilita el control y la coordinación de actuaciones sobre el terreno de las diferentes compañías de servicios con el fin de evitar las frecuentes duplicidades de trabajos en una misma zona, particularmente complicadas en las grandes y densamente pobladas zonas urbanas [Comas y Ruiz, 1993].

### **1.4.2.3 Urbanismo**

La característica común a todas las aplicaciones de carácter urbano es el hecho de que éstas suelen integrar un amplio espectro de distintos tipos de información geográfica, procedente igualmente de un gran número de fuentes y concernientes a diferentes niveles de responsabilidad en la organización. Es habitual que una Municipalidad trate temas como la gestión del catastro, la gestión de servicios públicos, el control medioambiental, la planificación urbanística, etc. Todos ellos tienen la entidad suficiente para ser considerados separadamente como aplicadores de estas técnicas, ya que, se pueden integrar en el contexto urbano, en el espacio urbano, donde aparecen integrados funcionando



podemos incluir todos aquellos casos cuyo objetivo principal es la prevención, el control y la actuación de las fuerzas de orden público ante diferentes situaciones de crisis o grandes acontecimientos. Los usuarios potenciales de los SIG en estas circunstancias suelen ser, como se ha mencionado, las fuerzas de seguridad, los cuerpos de bomberos o las unidades de protección civil [Comas y Ruiz, 1993].

### 1.4.3 Aplicaciones socioeconómicas

Este grupo es, con toda seguridad, uno de los conjuntos de aplicaciones que han experimentado un avance más espectacular. Hoy en día el uso de los SIG en estos campos está en franca expansión.

#### 1.4.3.1 Aplicaciones demográficas

Los censos de población constituyen una fuente de información de primer orden para muchos más aspectos de los que podemos imaginar en un primer momento. Tener los datos acerca de la población, sobre los cambios estructurales que ésta sufre, tiene una importancia primordial, tanto a escala global como a escala local. La información geográfica es vital en aspectos tales como el planeamiento general, por ejemplo, de nuevas escuelas en zonas con una población en edad escolar o de nuevas vías de comunicación en un área metropolitana densamente poblada. El componente espacial de esta información es claro y evidente, la dimensión geográfica está presente en la mayoría de métodos empleados en los censos de población [Comas y Ruiz, 1993], ver Figura 1.12.

El uso de los SIG en aplicaciones de tipo censal ha aumentado considerablemente en muchos países en los últimos años, aunque los departamentos oficiales encargados de estas tareas no describen los procesos que llevan a cabo con estas herramientas, sí tenemos conocimiento de su creciente interés por aplicarlos en muchos sentidos. De todos modos, todavía no se ha llegado a la difusión de los sistemas a nivel más global en aplicaciones censales. Los métodos empleados continúan siendo tradicionales, generalmente, aunque la tendencia actual indica que cada vez es mayor el número de ocasiones en las que los SIG van introduciéndose en el campo demográfico [Comas y Ruiz, 1993].

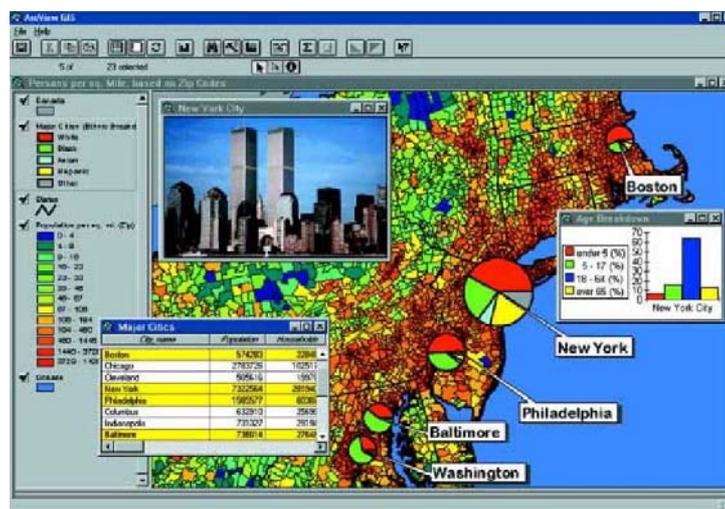


Figura 1.12: Planificación y gestión de recursos públicos

## 1.5 Software SIG

Existe en la actualidad una gran cantidad de programas que permiten emplearse como software SIG. En la Tabla 1.1 se pueden mostrar los diferentes software SIG disponibles en el mercado con sus requerimientos, estructura de datos y generación de datos.

**Tabla 1.1: Comparación entre los diferentes software SIG**

Nombre del Software	Fabricante	Hardware		Funciones					Ambiente			Estructura de datos gráficos		Generación de datos					
		PC	WORKSTATION	SIG	CAD	AM/FM	SENSOR REMOTO	DIGITALIZACION	WINDOWS	UNIX	WINDOWS NT	RASTER	VECTORIAL	SOL	ORACLE	ACCESS	dBASE	ORIENTADO A OBJETO	DB2
ArcView	ESRI	✓		✓				✓	✓	✓		✓		✓	✓	✓	✓	✓	
Arc/Info	ESRI	✓	✓	✓		✓		✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Atlas SIG	ESRI	✓		✓				✓				✓		✓	✓	✓	✓		✓
AutoCAD Map	Autodesk Inc	✓		✓	✓	✓		✓		✓		✓		✓	✓	✓	✓		
Easi/Pace	PCI Inc	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓		✓	✓						
Erdas Imagine	ERDAS, Inc	✓	✓	✓			✓	✓	✓	✓		✓	✓						
Genamap/Genius	Genasys	✓		✓	✓	✓		✓	✓	✓		✓	✓						
Idrisi	Clark University	✓		✓		✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓				
Image Analysis	ERDAS	✓		✓			✓	✓		✓		✓	✓	✓	✓	✓			
MapInfo	Map Info Corp	✓	✓	✓			✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓			✓
MapSheets	ERDAS	✓		✓			✓	✓	✓	✓		✓	✓						
Spans	TYDAC / PCI Inc	✓	✓	✓				✓	✓	✓		✓	✓		✓	✓			✓
Spring	INPE	✓	✓	✓			✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓		
TNT Mips	MicroImages	✓		✓	✓		✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Vision	Autodesk Inc	✓	✓	✓		✓		✓	✓			✓	✓	✓	✓				

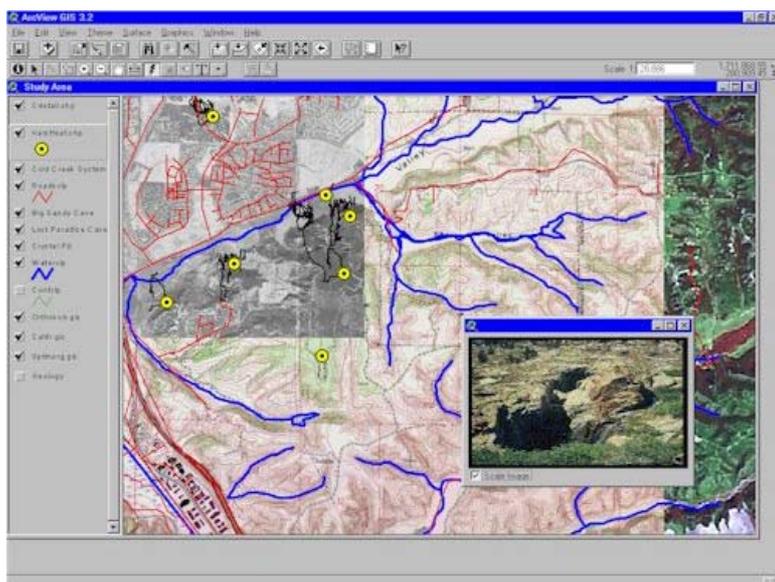
El ArcView es un software producido por la firma norteamericana ESRI (Environmental System Research Institute), éste es uno de los programas de este tipo más versátiles disponibles en el mercado dado que la aplicación se organiza en documentos, entre los que se puede navegar mediante los interfaces gráficos de ventanas (Barras de botones, herramientas, menús) y el uso del ratón, propio de aplicaciones de entornos Windows, por lo que facilita su uso.

ArcView proporciona soluciones para crear, visualizar y analizar la información de una manera apropiada. Ofrece cientos de opciones de análisis espacial y tratamiento de datos geográficos. Con ArcView, podemos representar datos por georreferenciación sobre una cartografía, analizar las características y patrones de distribución de esos datos, y generar informes finales con los resultados de una sesión de trabajo o análisis, ver Figura 1.13.

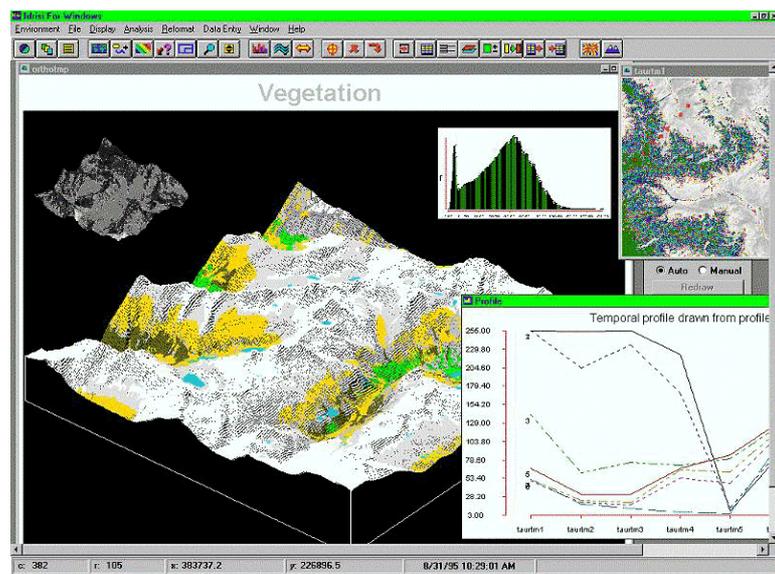
Otro software SIG de mucha difusión es el IDRISI. El IDRISI es un SIG de estructura raster, el cual está compuesto por una serie de módulos que permite las más variadas operaciones para el análisis espacial; es necesario resaltar que una de las grandes ventajas de este SIG es la facilidad para programar nuevos módulos por parte del usuario y asociarlos al sistema, ver Figura 1.14.

Desde su inicio en 1987, IDRISI ha evolucionado constantemente para convertirse en uno de los SIG más utilizados a nivel mundial y con altas capacidades de análisis tanto para mapas, como imágenes de satélite, todo ello a nivel de microcomputadoras. Este SIG puede ser ubicado en más de 120 países alrededor del mundo y sus aplicaciones son de las más variadas, entre ellas: planificación regional y local, manejo y conservación de los recursos naturales, etc.

Entre las ventajas que posee el IDRISI está el permitir el tratamiento de imágenes de satélite, lo cual, unido a su capacidad como SIG, lo convierte en una herramienta de altas capacidades que se proyecta de muy buena forma hacia el futuro



**Figura 1.13: Elaboración de un SIG empleando el ArcView.**



**Figura 1.14: Modelo digital de elevaciones elaborado con el Idrisi.**

## 1.6 Los SIG frente a otros sistemas afines

Existe una cierta dificultad para fijar los límites de los Sistemas de Información Geográfica con respecto a otras herramientas informáticas, como el CAD, la cartografía automática, los sistemas de gestión de bases de datos y los sistemas de tratamiento de imágenes de satélite. Todos ellos son anteriores en el tiempo a los Sistemas de Información Geográfica. Dado que los Sistemas de Información Geográfica han evolucionado a partir de esos sistemas, poseen muchos rasgos en común con ellos, pero también ciertos aspectos diferenciales.

### 1.6.1 SIG versus CAD

Los sistemas CAD (*Computer-Aided Design*, Diseño Asistido por Computador), nacieron para diseñar y dibujar objetos. Son herramientas muy utilizadas por diseñadores, delineantes, arquitectos e ingenieros.

El acento se pone en las funcionalidades gráficas. Por ello, pronto fueron utilizados para dibujar mapas, que se estructuraban en capas temáticas, mejorando el proceso de producción tanto en calidad como en rapidez y costo. Para Burrough (1986) la mayor diferencia entre los sistemas SIG y CAD estriba en el volumen y diversidad de datos mucho mayor que maneja el SIG y en los métodos de análisis que utiliza (es decir, la base de datos y el análisis espacial).

Lo que distingue al SIG del CAD es la capacidad de aquel para integrar datos georreferenciados y para realizar ciertas operaciones de análisis, como la búsqueda espacial (que incluye el análisis de proximidad o *buffer*) y las superposiciones de mapas.

### 1.6.2 SIG versus Cartografía Automática

Los sistemas de cartografía automática ofrecen grandes ventajas a la hora de realizar cartografía de alta calidad. El punto de interés se sitúa en el dibujo de los mapas, pero no en el análisis. La principal diferencia con respecto a los SIG estriba en que los sistemas de cartografía automática no generan topología, lo que limita extraordinariamente sus capacidades de análisis: los mapas son simplemente dibujos y el sistema es meramente de tipo visual. Estos mapas digitales son asimilables a transparencias que se pueden superponer. Se puede ver dónde se produce un cruce de carreteras general y otra secundaria, pero el sistema no tiene conocimiento de ello. La geometría está presente, pero la topología y la conectividad de la red están ausentes. Por otra parte, aunque estos sistemas puedan conectarse a las bases de datos, éstas no constituyen una parte esencial de ellos. El concepto de base de datos es básico y constituye para algunos la principal diferencia entre un SIG y un sistema de confección de mapas informatizados, el cual sólo puede producir mapas de calidad.

### 1.6.3 SIG versus los Sistemas Gestores de Bases de Datos (SGBD)

Los SGBD son sistemas desarrollados para almacenar y tratar información alfanumérica. Pueden tratar grandes volúmenes de información, pero apenas poseen funcionalidades gráficas. Evidentemente constituyen un componente esencial de los SIG, pero sólo cuando están especialmente diseñados para trabajar con información espacial.

### 1.6.4 SIG versus Teledetección

Los sistemas para el tratamiento de imágenes satélite constituyen un campo cada vez más próximo al de los SIG, de manera que hoy la teledetección se considera como una fuente para alimentar a los SIG. Estos sistemas están diseñados para tratar la información obtenida a partir de sensores remotos, que son capaces de captar la radiación que emite la superficie terrestre. Ponen un especial énfasis en las operaciones de clasificación de esos datos, pero sus capacidades de análisis suelen ser reducidas. Algunos de estos sistemas pueden conectarse a un SIG para la realización de posteriores análisis o incluso ambos sistemas pueden estar plenamente integrados en un mismo producto. Es importante la complementariedad de ambas tecnologías aunque se desarrollaran separadamente desde un principio.

## 1.7 Tendencias futuras de los SIG

En los acápites anteriores se ha hablado de los Sistemas de Información Geográfica, su estructuración, historia y aplicaciones, pero ahora nos ocuparemos de discutir acerca del futuro de los SIG.

Mirando a los Sistemas de Información Geográfica en el nuevo milenio, se tiene la firme expectativa que la adopción de los SIG a lo largo del mundo es inevitable dando una gran ventaja a los usuarios de las mismas. También se asume que la tecnología avanzará notablemente en lo concerniente a la capacidad y costo de las computadoras así como también de sus componentes, incluyendo además, los sistemas operativos y la comunicación de banda ancha para el acceso al Internet. Teniendo en mente esas supuestas, los factores que tendrán mas impacto en el desarrollo de los SIG en el presente milenio son la funcionalidad, la comunicación y la administración. [Tomlinson, 2001]

- **Funcionalidad:** Debe estar basada en la demanda de análisis que requiere una capacidad de análisis que abarca desde un espectro simple hasta la más complejo y donde los actuales programas SIG se encuentran en el espectro intermedio. El futuro desarrollo de los SIG hará mayor impacto en ese rango final para la visualización de sistemas mucho más complejos.
- **Comunicación:** Tal vez el mayor desarrollo en este milenio será la habilidad de comunicación mucho más rápida. El acceso físico no será confundido con el acceso administrativo.
- **Administración:** Este milenio verá grandemente mejorado las herramientas de manejo de los Sistemas de Información Geográfica proveyendo la habilidad de analizar flujo de trabajo reconocer los nuevos productos de información requeridos en la organización

para modelar el SIG e implementar el sistema que sea integrado completamente cumpliendo los objetivos de la organización.

Si nos referimos a la vertiente tecnológica, podemos hacer dos distinciones principales: la de los avances generales y la de los avances particulares. Entre los avances generales se puede mencionar todos aquellos aspectos que no son particulares de los SIG, como por ejemplo el avance tecnológico en los últimos años ha permitido un gran desarrollo de las computadoras y periféricos de forma casi exponencial, pudiéndose encontrar en el mercado computadoras mucho más potentes, veloces y baratas, dándoles a los SIG la habilidad de lograr análisis mucho más sofisticados y en tiempo menor tiempo.

Entre otros avances que se pueden mencionar se incluyen [Davis, 2001]:

- La realidad virtual, es la tecnología más excitante y con mucho potencial para los Sistemas de Información Geográfica, que podría abrir mundos anteriormente inalcanzables o tal vez inimaginables.
- Los escáners, que vendrán a ser más inteligentes para la digitalización de mapas, hasta tal vez de una entrada automática de datos.

En cuanto a los avances particulares, éstos pueden ser definidos sobre la base de varios aspectos fundamentales como por ejemplo la integración:

- La integración de datos de diversas procedencias como imágenes de satélite, diseño o dibujo asistido por el computador, datos demográficos, datos estadísticos, etc. que permiten la posibilidad de analizarlos todo en conjunto, encontrando nuevas interrelaciones.
- La integración de tecnologías que permitan el tratamiento de cada uno de estos datos, las cuales hasta ahora habían funcionado por separado, a través de la incorporación en los SIG. Actualmente se han desarrollado sistemas que son capaces de integrar imágenes de satélite, datos documentales, datos territoriales y multimedia.
- La integración de las fuentes de captura de datos, por ejemplo, los GPS<sup>4</sup>, lo que permite obtener no sólo modelos pasivos del mundo real, sino modelos activos, y aún más, modelos en tiempo real, ver Figura 1.15.

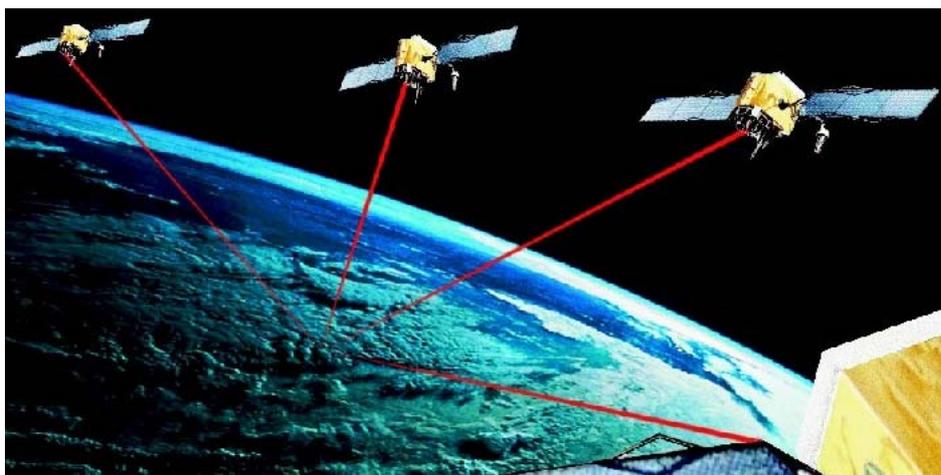
---

<sup>4</sup> GPS: Es la abreviatura de NAVSTAR GPS. Este es el acrónimo en Inglés de NAVigation System with Time And Ranging Global Positioning System, (Sistema de Posicionamiento Global con Sistema de Navegación por Tiempo y Distancia).

El sistema GPS comprende tres segmentos diferentes:

- El segmento Espacial: Consiste de 24 satélites que giran en órbitas ubicadas aproximadamente a 20,200km cada 12 horas, para brindar al usuario una posición precisa. El segmento espacial está diseñado de tal forma que se pueda contar con un mínimo de 4 satélites visibles por encima de un ángulo de elevación de 15° en cualquier punto de la superficie terrestre, durante las 24 horas del día. Para la mayoría de las aplicaciones, el número mínimo de satélites visibles deberá ser de cuatro.
- El segmento de Control: Consiste de una estación de control maestro, 5 estaciones de observación y 4 antenas de tierra distribuidas entre 5 puntos muy cercanos al ecuador terrestre. El segmento de Control rastrea los satélites GPS, actualiza su posición orbital y calibra y sincroniza sus relojes. Otra función importante consiste en determinar la órbita de cada satélite y predecir su trayectoria para las siguientes 24 horas. Esta información es cargada a cada satélite y posteriormente transmitida desde allí. Esto permite al receptor GPS conocer la ubicación de cada satélite. Las señales de los satélites son leídas desde las estaciones: Ascensión, Diego García y Kwajalein. Estas mediciones son entonces enviadas a la

Finalmente uno de los desarrollos más importante en los '90 es el Internet, que empezó como una red de enlace local o regional para un intercambio restringido de la información entre instituciones, convirtiéndose en la actualidad un medio de intercomunicación global, desarrollo que ha sido beneficioso para los Sistemas de Información Geográfica. La adquisición de datos y el envío de proyectos son las dos aplicaciones primarias del Internet en los SIG, que a su vez provee la conexión entre profesionales de todo el mundo, proveyendo asistencia instantánea y profesional que realza la productividad de los Sistemas de Información Geográfica. Las ventajas del Internet en futuro, vendrán ligado a la facilidad de los usuarios de obtener información, sin que estos tengan que tener comprar y mantener sistemas muy caros [Davis, 2001].



**Figura 1.15: Sistema GPS (Sistema de Posicionamiento Global)**

Todo este conjunto de avances tecnológicos derivará en la creación de una nueva infraestructura global de la información geográfica, transformando la accesibilidad a dicha información y llevándola a multitud de actividades, no sólo al nivel de la alta especialización, que es el predominante en la actualidad. Esta vía de futuro descrita es sin duda ciertamente llamativa, aunque sólo constituye una parte secundaria o auxiliar de lo que se cree será el avance más importante. Nos referimos a la consolidación de la especialidad de la información geográfica [Comas y Ruiz, 1993].

---

Estación de Control Maestro en Colorado Springs, donde son procesadas para determinar cualquier error en cada satélite. La información es enviada posteriormente a las cuatro estaciones de observación equipadas con antenas de tierra y de allí cargada a los satélites.

- El segmento de Usuarios: Comprende a cualquiera que reciba las señales GPS con un receptor, determinando su posición y/o la hora. Algunas aplicaciones típicas dentro del segmento Usuarios son: la navegación en tierra para excursionistas, ubicación de vehículos, topografía, navegación marítima y aérea, control de maquinaria, etc

## 2 Estructura y Funciones de los Sistemas de Información Geográfica

### 2.1 Clasificación de los SIG

Los SIG se encuentran clasificados básicamente en dos clases principales, los de formato raster y los de formato vectorial, cada uno de las cuales reúne condiciones interesantes para determinado tipo de estudio y análisis. Es importante remarcar que en la actualidad existen softwares SIG que trabajan con los dos tipos de formato, tal como se puede apreciar en la Tabla 1.1

#### 2.1.1 Formato raster

Es aquel en el que la base de datos gráfica está conformada por mapas en formato de celdas, en los cuales cada elemento o píxel corresponde a un área o superficie del terreno. Estos sistemas presentan una estructura bastante sencilla y fácil de manejar, cada elemento de la superficie o píxel presenta básicamente tres valores, conformados por las coordenadas centrales de la superficie y el correspondiente valor o atributo de dicha superficie, la cual puede estar asociada a una base de datos temática, a través de un código o identificador, ver Figura 2.1.

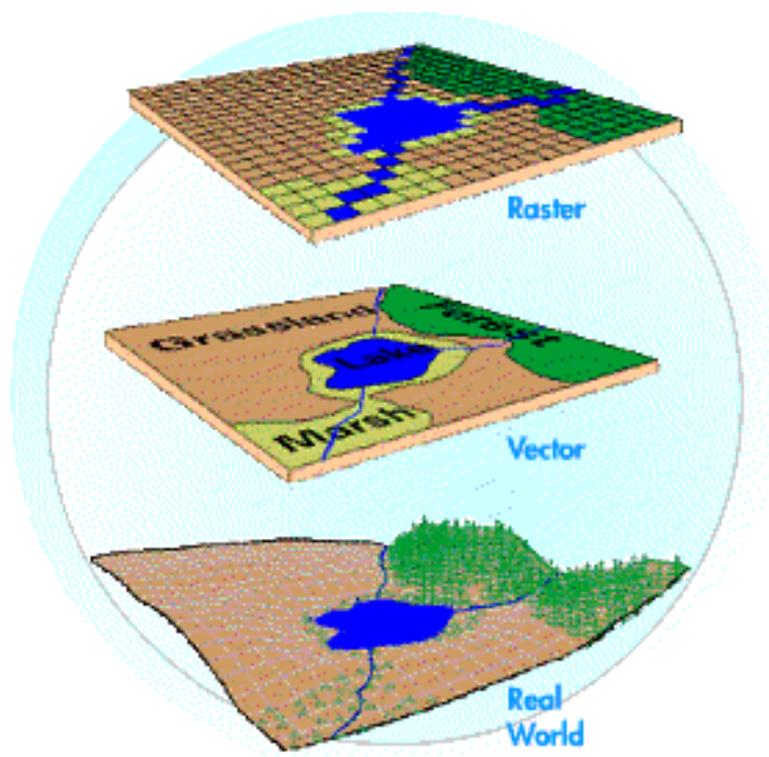


Figura 2.1: Tipos de formatos SIG

Por la estructura que tiene, no permite obtener una gran precisión espacial y resulta muy complicado establecer relaciones topológicas, pero es excelente para el cruce con información generada a partir de imágenes satelitales, las cuales también se encuentran en formato raster. Las operaciones de cruce, análisis y superposición son bastante sencillas, y las imágenes pueden ser fácilmente exportadas a formatos como TIF, GIF, PCX y BMP, muy empleados en diseño gráfico. Entre los programas donde la estructura de datos es de tipo raster podemos mencionar el ArcInfo, Easi/Pase, Erdas Image, Genamap/Genius, Idrisi, Image Analysis, Map Sheets, Spans, Spring, TNT Mips y Vision.

### **2.1.2 Formato vectorial**

Es el formato de los sistemas en los cuales la base de datos gráfica está conformada por puntos, líneas y polígonos, los cuales permiten establecer relaciones topológicas muy interesantes y en algunos casos muy complejas que permite alcanzar una gran precisión espacial, así como establecer una relación e interconexión con una base de datos muy temática, a través de un código o identificador, a nivel de punto, nodo, línea arco o polígono, ver Figura 2.1.

Ofrece el inconveniente de no poder ser cruzada con información obtenida directamente del procesamiento digital de imágenes de satélites, debido a que ésta es de formato raster, sólo es posible la superposición, más no, la realización de operaciones espaciales, los formatos más empleados son el DXF y SHP. Entre los programas donde la estructura de datos es de tipo vectorial podemos mencionar el ArcView, ArcInfo, Atlas SIG, Autocad Map, Map Info, Easi/Pase, Erdas Image, Genamap/Genius, Idrisi, Image Analysis, Map Sheets, Spans, Spring, TNT Mips, Vision.

#### **2.1.2.1 Topología**

Se conoce como topología, a la estructura espacial de los objetos que conforman un SIG, bajo el formato vectorial. La topología establece la interrelación entre los elementos que conforman una base de datos gráfica, permite jerarquizar y a la vez establecer un ordenamiento entre los diferentes elementos como puntos, líneas y polígonos, a través de elementos como nodos, arcos y relaciones entre polígonos adyacentes.

Este sistema de estructuración, permite establecer relaciones de interconectividad entre los elementos en las áreas de intersección, asimismo establece un ordenamiento entre el conjunto de líneas que conforman un polígono y finalmente establece relaciones entre los diferentes polígonos y las áreas de adyacencia.

## **2.2 Funciones de un SIG**

Un SIG proporciona un almacenamiento coherente de la información espacial, que puede ser actualizada o manipulada con el mínimo esfuerzo, permitiendo obtener modelos cartográficos, a partir de la transformación o combinación de diversas variables tales como: señalar corredores de un determinado ancho paralelos a un río o carretera; calcular pendientes, exposiciones o medidas de textura; superponer dos o más mapas de información, etc. Asimismo, facilita la presentación gráfica de los resultados, al permitir el acceso a diversos periféricos controlados por la computadora.

### **2.2.1 Entrada de datos**

Para que pueda realizarse un análisis integrado entre variables es preciso que todas ellas sean plenamente compatibles, es decir, que se alojen en el mismo soporte digital, con el mismo formato y sujetas a un sistema de referencia común. La información que se almacena en un SIG puede proceder de fuentes muy variadas: teledetección, cartografía a diferentes escalas y/o proyecciones, datos demográficos o climáticos, modelos digitales de terreno, etc. Por eso, es preciso que dicha información sea convertida a formato digital, compatible con una computadora que soporte el SIG.

Para información alfanumérica, como datos demográficos o climáticos, resulta necesario acudir al teclado, mientras para mapas convencionales el medio más idóneo es un tablero digitalizador, que facilita la obtención automatizada de coordenadas. Pero, si se contara con fotografías aéreas o copias en papel de imágenes analógicas, resulta útil acudir a un rastreador de barrido (scanner), que permite traducir niveles de gris en valores numéricos.

Una vez convertidas a formato digital, se requiere que las distintas variables tengan un sistema de referencia común, para ello los SIG incluyen una serie de rutinas para transformar coordenadas en distintas proyecciones, y de distintas escalas a la elegida como referencia. En caso de conversión entre distintas proyecciones, basta aplicar una ecuación matemática ya establecida. Si se desea aplicar correcciones más severas a esas variables, el proceso requerido es similar a las correcciones geométricas de la imagen.

### **2.2.2 Almacenamiento y organización de la base de datos**

Una vez convertida a formato digital se precisa que la información que se disponga en forma coherente, existiendo dos tipos de estructuras de almacenamiento: El formato Vectorial y el formato Raster. Para una estructura vectorial las unidades se definen por sus fronteras, indicando implícitamente su contenido y para una estructura Raster los contenidos están explícitamente definidos y las fronteras sólo de modo implícito.

Ambas estructuras ofrecen ventajas e inconvenientes para el almacenamiento y la posterior manipulación de variables, tales diferencias se describen en la Tabla 2.1.

**Tabla 2.1: Ventajas y desventajas de los formatos raster y vectorial**

FORMATO VECTORIAL	FORMATO RASTER
Es más conveniente para el almacenamiento, puesto que cada unidad se define por sus límites y no por todas las cuadrículas que engloba	Hay tantos números como variables "X" celdas, independientemente si existen pocas o muchas fronteras en el área de estudio.
Es más ventajoso en lo que se refiere a la precisión, por cuanto cada unidad se define por sus límites reales	El espacio se divide en unidades discretas (celdas) y las fronteras entre clases se deben adoptar a ese trazo regular.
Para realizar análisis espaciales es un poco más complejo, deben formarse nuevos polígonos y se hace más compleja la tarea de intersección de polígonos formados en la supresión de sus límites.	Para realizar análisis espaciales este formato es más conveniente: proximidad, rutas óptimas, superposiciones de mapas, etc.; puesto que cada unidad espacial está definida explícitamente, es decir, para encontrar un área situada a una determinada distancia, basta encontrar todas las celdas vecinas a las que definen dicha área.
Los programas que manejan información vectorial son más caros y exigen mayor volumen de cálculo, que los de formato raster.	Los programas exigen menos volumen de cálculo que los programas que manejan información vectorial.

### 2.2.3 Análisis y transformaciones

Incluye cualquier operación que transforme las variables originales para un objetivo determinado. Las posibilidades son muy amplias: señalar corredores en torno a un polígono o línea; trazar la ruta óptima entre varios puntos; generar modelos digitales de terreno; calcular distancias, áreas y perímetros; superponer de forma diversa dos o más mapas, etc.

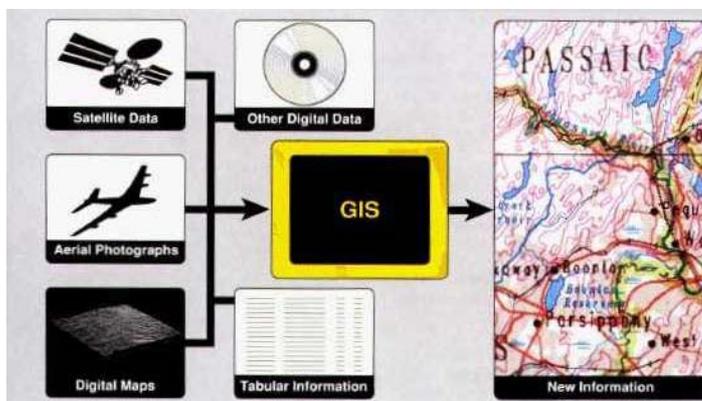
Cada uno de estas funciones, además, pueden ser origen de otras aplicaciones; el análisis topográfico pasa por generar un modelo digital de elevaciones, etc. Toda esta vasta gama de posibilidades constituye una de las principales herramientas analíticas más sofisticadas que ofrece el SIG, para un determinado estudio del espacio geográfico.

### 2.2.4 Representación visual

Un SIG permite aprovechar los numerosos periféricos de representación gráfica accesibles a una computadora, facilitando la obtención de resultados en un formato de considerable calidad.

En un sistema de almacenamiento vectorial, el empleo de trazadores gráficos (plotters), es el más idóneos para la cartografía digital. Estos equipos están formados por un elemento móvil transversal y un rodillo, de giro perpendicular al primero, que consigue dirigir una plumilla en la dirección deseada por el programa de dibujo.

Si la estructura de almacenamiento elegida es teselar o raster, será preciso acudir a otros medios de representación gráfica, como impresoras de distinto tipo, plotters electrostáticos<sup>5</sup> y filmadoras láser<sup>6</sup>. Para ambos tipos de almacenamientos, los monitores gráficos son el soporte más habitual de visualización, ver Figura 2.2.



**Figura 2.2: Representación visual de un SIG**

<sup>5</sup> Plotters electrostáticos: Son dispositivos híbridos en los que primero se construye la imagen con plumas y con datos de caracteres o píxeles y luego la información resultante es transferida por la técnica del láser al papel.

<sup>6</sup> Filmadoras láser: Son dispositivos que permiten filmar, con alta resolución, en película o papel las imágenes que han sido procesadas en formato raster, obteniendo una calidad superior que los plotters de inyección de tinta.

### **3 La Cuenca del Río Puyango - Tumbes**

En 1998 las provincias del norte del Perú sufrieron grandes daños debido al Fenómeno del Niño. Este fenómeno se caracteriza por las grandes precipitaciones en cortos periodos de tiempo, provocando inundaciones debido, entre otros, al desborde de los ríos, causando grandes pérdidas económicas, no sin antes mencionar las pérdidas de vidas humanas.

El Instituto de Hidráulica, Hidrología e Ingeniería Sanitaria de la Universidad de Piura fue contratado por el gobierno central para llevar a cabo un estudio definitivo de las defensas ribereñas de la zona urbana de la ciudad de Tumbes.

Como parte del equipo de trabajo del estudio del río Tumbes, cuyo trabajo consistió en la recopilación, generación y análisis de información para dicho proyecto, nació mi inquietud en elaborar la presente Tesis haciendo uso de los Sistemas de Información Geográficos.

Debido al volumen de información acumulada, así como también al volumen de información por generar, fue necesario el uso de un sistema informático que sea capaz de manejar toda esa información de manera apropiada y oportuna; y dentro de los sistemas de información existente el más adecuado para el manejo de datos relaciones con cuencas hidrológicas son los sistemas de información geográficos.

#### **3.1 Ubicación de la Cuenca**

La cuenca del río Puyango – Tumbes es binacional ocupando territorio peruano así como ecuatoriano y sus aguas discurren hacia el Océano Pacífico.

La cuenca se ubica en el departamento de Tumbes (Perú) y las provincias de El Oro y Loja (Ecuador) y está limitada al suroeste con la cuenca del río Catamayo – Chira, también binacional, al oeste con la cuenca de la quebrada Bocapán, al este con la cuenca del río Jubones, al norte con la cuenca del río Zarumilla y el Océano Pacífico, ver plano 01. El área de la cuenca está comprendida entre los paralelos 3°30' y 4°15' Sur y los meridianos 79°23' y 80°40' oeste, ver plano 02.

#### **3.2 Descripción del río Puyango-Tumbes**

El departamento de Tumbes tiene características climáticas marcadamente diferentes al resto de la costa peruana y esto se debe en parte a la poca altura de la cordillera de los Andes y a la influencia del fenómeno de “El Niño”.

El río Puyango – Tumbes mide aproximadamente 239 Km de longitud y su área de drenaje es de 5802.03 Km<sup>2</sup> en su desembocadura correspondiendo un 34% al territorio peruano y el 66% restante al territorio ecuatoriano.

El río nace en la cordillera del Chilla a 3600 m.s.n.m., en suelo ecuatoriano. Su origen está constituido por los ríos Calera, Amarillo, Luis y Amburgas en la zona de Zaruma en la provincia de El Oro, que luego se unen a los ríos Pindo, Yaguacha y Piñas; en su curso medio toma el nombre de río Puyango, cerca de la localidad de Balsas, siguiendo la

dirección general este a oeste por unos 100 Km pasando por el hito Trapazola a 692 m.s.n.m. en el lugar denominado Linda Chara, a partir del cual forma parte de la frontera internacional entre los países de Perú y Ecuador, hasta llegar al hito Cazaderos a 476 m.s.n.m., donde confluye con el río Cazaderos y cambia su dirección de sur a norte, ingresando a territorio peruano y adoptando el nombre de río Tumbes. En el Perú recorre unos 80 Km hasta su desembocadura en el Océano Pacífico, cerca de la ciudad de Tumbes.

La cuenca alta del Puyango – Tumbes (Río Pindo) está rodeada por terrenos montañosos con altitudes de 3600m. Cuatro tributarios principalmente el río Calera, río Amarillo, río Luis y el río Amburgas dan origen y forman el río Pindo, este río así como sus tributarios tienen una pendiente de cerca de 7‰ (régimen torrencial). La mayor parte del río Puyango tiene una pendiente moderada de 3‰, formando valles de cierta amplitud donde se hallan asentados los principales centros poblados de Loja. Bajando hacia el mar, forma la llanura del río Tumbes, en donde la pendiente del cauce es inferior al 1‰, situándose la ciudad de Tumbes en la margen derecha del río. La cuenca no ha desarrollado todas sus potencialidades debido a un mal manejo de sus recursos naturales, principalmente a la tala indiscriminada de sus bosques que ha afectado a la parte baja de la cuenca.

Las descargas máximas del río Puyango - Tumbes se presentan generalmente en el primer trimestre de cada año y en algunos casos en la primera quincena del mes de abril.

En el período de registros de la Estación El Tigre (1963-1999) la descarga máxima instantánea alcanzó los 3713 m<sup>3</sup>/s con un nivel hidrométrico de 7.30 m (05 de febrero de 1983; año excepcionalmente húmedo) y el menor valor fue de 325 m<sup>3</sup>/s correspondiente al mes de marzo de 1968. La descarga media anual del río es de 106 m<sup>3</sup>/s.

### **3.3 Caracterización de la Cuenca**

#### **3.3.1 Topografía**

La cuenca presenta un aspecto muy accidentado en su parte alta, los ríos corren por las faldas de los Andes en régimen torrencial. Hacia abajo las pendientes son menos pronunciadas, ver perfil longitudinal en plano 03. Los ríos forman valles o terrazas de cierta amplitud donde se hallan asentados los principales centros poblados de las provincias de Loja y El Oro en el Ecuador. Cerca de la costa, en el departamento de Tumbes (Perú), las cuencas están constituidas por extensas llanuras poco accidentadas con escasa vegetación y con características desérticas.

La cuenca del río Puyango – Tumbes presenta una superficie heterogénea, con variación de altitudes que van desde los 0 m.s.n.m. hasta altitudes aproximadas de 3600 m.s.n.m, ver plano 04.

#### **3.3.2 Geomorfología**

La región es divisible en dos unidades geomórficas principales:

- La planicie costera.
- Las montañas y colinas, que varían desde cerca de 50 metros hasta cerca de 3600 metros de elevación para formar las cordilleras Tahuín, Célica y Chilla.

Algunas superficies han sido suavizadas por la meteorización profunda de las rocas infrayacentes, mientras que otras superficies rugosas e irregulares se han desarrollado en formaciones de rocas resistentes.

Los drenajes superiores de las cuencas de los ríos más importantes están caracterizados por gradientes fuertes y altos declives. En esta época, la región está cerca de su relieve topográfico máximo, el cual probablemente apareció hace cuarenta mil años, durante la glaciación máxima, cuando el nivel oceánico estaba entre los 100 y 200 metros bajo el actual.

La planicie costera incluye suaves superficies aluviales, superficies ligeramente erosionadas y áreas de manglares. También, partes de la actual planicie costera consiste de altiplanicies, las cuales son remanentes erosionables de planicies más antiguas. El área entre Tumbes y Máncora está más erosionada y disectada para formar topográficamente extensas "Tierras Malas"; además, esta forma puede estar relacionada a un levantamiento más rápido de la línea costera en esta zona de marcada sismicidad.

Los valles Puyango – Tumbes fueron cortados durante la época del nivel oceánico más bajo, cuando la línea costera estaba más hacia el oeste. Con el deshielo de los glaciares y el levantamiento del nivel oceánico, los valles mencionados han sido aliviados a la superficie costera actual, ver plano 05.

### **3.3.3 Sismicidad**

La región ha sido sísmicamente activa durante todo el periodo histórico, lo que se detecta en los registros que comenzaron en la época colonial. Los movimientos sísmicos en la región han sido anotados desde la magnitud 7.8 (escala de Richter), habiendo alcanzado los epicentros una profundidad de 200 Km.

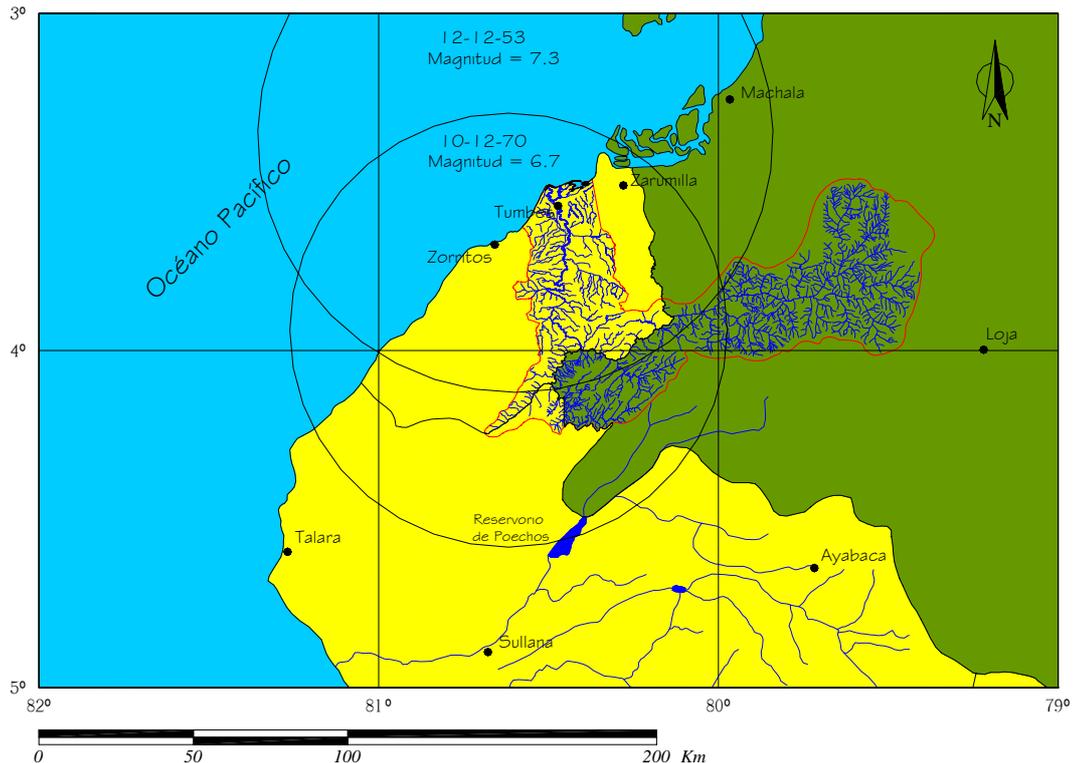
Al suroeste de Tumbes y costa adentro, una cantidad significativa de terremotos someros han sido identificados en un área de cerca de 5000 Km<sup>2</sup>. La mayor actividad sísmica de la región está relacionada a la subducción de la placa de Nazca, la cual es una parte del fondo del Océano Pacífico debajo de la placa continental Sudamericana. El vulcanismo en la región, así como la ocurrencia sísmica, está relacionada al mismo proceso de subducción, ver Figura 3.1.

### **3.3.4 Suelos**

Se ha clasificado los suelos del país en grandes grupos; a continuación se describirá los tipos de suelo que se encuentran en la cuenca.

- Js: Fluviosoles éntricos y sálicos, en las proximidades del lecho del río, en la zona baja de las cuencas. Son suelos de material aluvial reciente, de morfología estratificada, con capas de textura y espesor variables. Los suelos sálicos presentan concentraciones salinas.

- V: Vertisoles pélicos y crómicos en las bajas planicies interiores. Son suelos arcillosos profundos, de naturaleza expandible y que se agrietan cuando se secan. Los pélicos son de coloración oscura a negra, mientras los crómicos son de pardo oscuro a claros.
- YVc: Yermosoles y vertisoles crómicos, además de las características propias de los vertisoles, estos suelos presentan horizonte A-ócrico, delgado y muy poco desarrollado, bajo regimen arídico, presenta horizontales cálcicos en los 125 cm superiores.
- Lv: Litosoles y vertisoles crómicos; además de las características de los vertisoles, estos suelos son superficiales cuya profundidad está limitada por masas de estratos de roca dura y coherente a partir de los 10 cm, ver plano 06.



**Figura 3.1: Sismos ocurridos cerca de la cuenca Puyango - Tumbes**

### 3.3.5 Geología

La región de la cuenca del río Puyango – Tumbes está situada en el lado norte de la deflexión del Huancabamba en la unión de las cordilleras Norandina y Surandina. La tendencia estructural de la cordillera Norandina es noreste. En su unión, el bloque Huancabamba tiene una tendencia estructural aproximada Este – Noreste a Este – Oeste. Este bloque está compuesto de rocas sedimentarias, metasedimentarias, metamórficas e ígneas, las cuales son de las edades terciarias, cretácica, paleozoica y precámbrica.

El bloque constituye el extremo más occidental de la placa continental sudamericana sobre la placa de Nazca, subductante del fondo del pacífico. Esta zona de subducción está marcada por la trinchera Perú-Chile que ocupa justamente el oeste del bloque Huancabamba inmediatamente al norte, la falla Dolores tiene rumbo noreste cruzando el golfo de Guayaquil y la cuenca del río Guayas a través del frente occidental de la cordillera Norandina.

### 3.3.6 Hidrogeología

Los casos regionales de agua subterránea están divididos en dos categorías:

- Rocas sedimentarias de la planicie costera y aluvión de los valles principales.
- Roca base fracturada y aluvión intramontano.

En partes de la planicie costera el nivel freático está solamente a uno o dos metros de profundidad, pero en las otras partes puede estar a más de 70 metros bajo la superficie. En las montañas, el nivel freático emerge como manantial en algunos taludes, pero en los demás sitios no hay profundidades medidas.

El agua subterránea en roca fracturada y aluvión intramontano usualmente es adecuada para necesidades domésticas y para ganadería. Sin embargo, el promedio de pozos es relativamente pequeño y las cantidades totales disponibles no son muy grandes.

En la planicie costera, el agua subterránea se encuentra en varios niveles, y algunos acuíferos están capacitados para un desarrollo a gran escala, tanto para la irrigación como para el uso doméstico. Algunas áreas sin embargo, tienen fuentes de agua bastante limitada y los promedios de pozos son relativamente pequeños cerca de la costa, algunos acuíferos han sido intrusados por agua salina.

### 3.3.7 Climatología

El clima de la cuenca del Puyango – Tumbes puede categorizarse como seco en toda la franja de la costa, tropical de sabana en las zonas bajas y planicies interiores, tropical de Monzón en la parte media, en las cuencas de los ríos y en las estribaciones de la cordillera en la parte alta mesotérmica semihúmedo de páramo. Generalmente el clima de la región está grandemente influenciado por la zona de convergencia intertropical (CIT), la corriente de Humboldt y la Corriente de El Niño.

La temperatura es de carácter tropical, sin manifestaciones extremas durante el año; el promedio anual en las llanuras es de 24.5°C y de 22°C en la zona montañosa. En los períodos de años normales la temperatura promedio en verano es de 26°C y en invierno de 23°C; sin embargo, cuando se presenta el fenómeno de El Niño la temperatura sobrepasa valores máximos diarios de 35°C y 30°C. para las llanuras y la zona montañosa respectivamente

La precipitación pluvial y la temperatura son los elementos meteorológicos más importantes, considerándose la lluvia netamente veraniega. La precipitación anual a lo largo de la cuenca varía entre 200 y 2600 mm siendo la precipitación media anual de la cuenca superior a los 1000 mm.

La humedad relativa presenta un valor superior al 80%, aumentando en los meses de invierno de 2 a 3% por encima del promedio anual; sin embargo, los extremos varían entre 75 y 90%. Los vientos más significativos son registrados al medio día, con una dirección dominante NO; la velocidad fluctúa entre 15 y 22 Km/h.

La evaporación presenta una relación directa con la temperatura y la precipitación pluvial, por ello la evaporación es mayor durante el verano. La evaporación promedio total anual en el valle es relativamente alta, del orden de 880 mm. La evaporación en la cuenca varía con la altitud, en el período 1964-1979 varió entre 829 y 1651 mm.

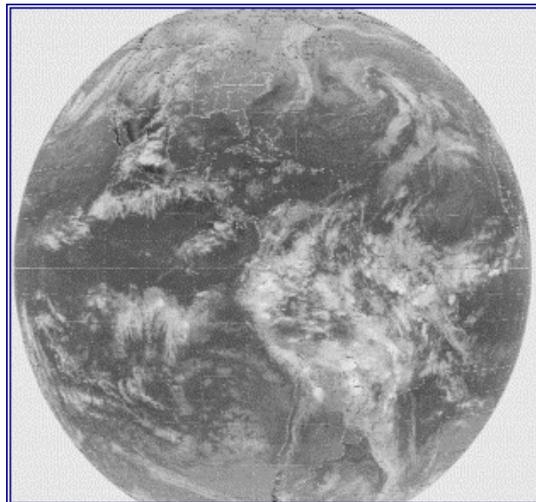
Las horas del sol durante el año fluctúan entre 4.5 y 6.5 horas, según los datos diarios de la estación meteorológica Los Cedros. La nubosidad varía muy poco durante el año siendo su promedio mensual de 6/8. El género de nubes predominantes es el de nubes bajas.

El año se divide en dos estaciones, los cuales son afectadas por el movimiento de la zona de convergencia intertropical (ZCIT). La estación húmeda comprende los meses de Diciembre a Mayo, mientras que la estación seca abarca los meses de Junio a Noviembre

La ZCIT es una franja de bajas presiones ubicada en la zona ecuatorial, en ella confluyen los vientos alisios del sureste y del noreste, que debido a las altas temperaturas las masas de aire son forzadas a ascender originando abundante nubosidad y fuertes precipitaciones algunas acompañadas de descargas eléctricas.

Durante los meses de enero a marzo (verano hemisferio sur), la ZCIT se mueve más al sur, entre 2°S y 4°S, estableciéndose una zona de baja presión en el Océano Pacífico y recibiendo fuertes precipitaciones. Durante un fenómeno de El Niño esta zona se mueve oscilatoriamente más al sur entre 2°S y 5°S ocasionando; conjuntamente con el calentamiento marítimo, el aumento de la temperatura atmosférica y el incremento de la evaporación; precipitaciones fuera de lo normal, ver Figura 3.2.

Durante el mes de julio a septiembre (verano en el hemisferio norte) la ZCIT se mueve hacia el norte, cerca de América Central entre 8°N y 10°N, la cuenca está fuertemente influenciada por el cinturón meridional de alta presión ocasionando un clima más seco.



**Figura 3.2: Zona de convergencia Intertropical**

Los tipos de clima, según la división climática de Koppen en la cuenca del Puyango Tumbes son los siguientes, ver plano 07:

- **Bsw:** Clima de estepa, con lluvias escasas en el verano, localizado en la parte baja de la cuenca.
- **Af:** Clima de selva tropical, en las planicies bajas interiores pasando por la frontera con el Ecuador, se caracteriza por estar permanentemente húmedo.
- **Cw:** Clima templado moderado lluvioso, invierno seco, la cantidad de las lluvias del mes más lluvioso es 10 veces mayor que el mes seco.

### 3.4 División en unidades hidrológicas

La cuenca del río Puyango – Tumbes se ha dividido en cuatro subcuencas, siendo el punto de partida de esta división la información disponible en las estaciones distribuidas a lo largo de la cuenca; el nombre escogido se debe al río principal o estación meteorológica presente en cada subcuenca. El área total de la cuenca es aproximadamente 5802.03 Km<sup>2</sup>, ver plano 08.

#### 3.4.1 Subcuenca Tumbes:

Comprende un área de drenaje de 812.56 Km<sup>2</sup>; ésta se encuentra en la parte baja de la cuenca y por ella discurre principalmente el río Tumbes y las quebradas Angostura, La Peña, Vaquería, La Jardina, Urcos, Colorado. En la Tabla 3.1, se muestra los controles hidrológicos y meteorológicos de esta subcuenca.

**Tabla 3.1: Estaciones de la Subcuenca Tumbes**

Control hidrológico	Control Meteorológico
No existe estación fluviométrica en la desembocadura del río Tumbes en el Océano Pacífico.	Estación Los Cedros

#### 3.4.2 Subcuenca EL Tigre

Comprende un área de drenaje de 2111.37 Km<sup>2</sup>; ésta se encuentra en la parte media-baja de la cuenca y por ella discurren los ríos Cazaderos y Tumbes, asimismo una gran cantidad de quebradas y entre las principales se encuentra las quebradas Murciélago, Cuzco, Guanábano, Rica Playa, Higuierón y Narajanal. En la Tabla 3.2, se muestra los controles hidrológicos y meteorológicos de esta subcuenca.

**Tabla 3.2: Estaciones de la Subcuenca El Tigre**

Control hidrológico	Control Meteorológico
Estación fluviométrica El Tigre	Estación Murciélago Estación Limo Estación Chaguaguayco Estación El Tigre Estación Rica Playa Estación Huasimo

### 3.4.3 Subcuenca Puyango

Comprende un área de drenaje de 668.39 Km<sup>2</sup>; ésta se encuentra en la parte media-alta de la cuenca y por ella discurren los ríos Olonga, Chirimoyo y Puyango. En la Tabla 3.3, se muestra los controles hidrológicos y meteorológicos de esta subcuenca.

**Tabla 3.3: Estaciones de la Subcuenca Puyango**

Control hidrológico	Control Meteorológico
Estación fluviométrica Puyango	Estación Marcabeli Estación Ciano Estación Puyango

### 3.4.4 Subcuenca Marcabeli:

Comprende un área de drenaje de 2209.71 Km<sup>2</sup>; ésta se encuentra en la parte alta de la cuenca y por ella discurren los ríos Pindo, Calera, Amarillo, Yaguacha, Moro Moro, Las Juntas y Puyango. En la Tabla 3.4, se muestra los controles hidrológicos y meteorológicos de esta subcuenca.

**Tabla 3.4: Estaciones de la Subcuenca Marcabeli**

Control hidrológico	Control Meteorológico
Estación fluviométrica Calera	Estación Ayapamba
Estación fluviométrica Amarillo A.J.	Estación Huertas
Estación fluviométrica Pindo	Estación Salati
Estación fluviométrica Marcabeli	Estación Cisne
	Estación Zaruma
	Estación Portovelo
	Estación Pindo
	Estación Moro Moro
	Estación Guayacán
	Estación Balsas.

## 3.5 Parámetros Geomorfológicos de la Cuenca y sus Subcuencas

Una cuenca es toda área de terreno cuyas precipitaciones son evacuadas por un sistema común de cauces de agua, y comprende desde el punto donde se inicia ésta evacuación hasta su desembocadura. Su compleja función hidrológica depende de sus características físicas y climáticas que ejercen efectos determinantes en su comportamiento.

### 3.5.1 Superficie

El área de la cuenca delimitada por la divisoria topográfica, corresponde a la superficie de la misma proyectada en un plano horizontal; y su tamaño influye en forma directa sobre las características de los escurrimientos fluviales y sobre la amplitud de las fluctuaciones.

El área de la cuenca Puyango – Tumbes se ha delimitado en la carta nacional a escala 1:100000, del Instituto Geográfico del Perú. El área correspondiente a ésta cuenca es de 5802.03 Km<sup>2</sup>, ver Tabla 3.5.

**Tabla 3.5: Áreas correspondientes a cada subcuenca**

Subcuenca	Área (Km <sup>2</sup> )	Porcentaje (%)
Marcabeli	2209.71	38.09
Puyango	668.39	11.52
El Tigre	2111.37	36.39
Tumbes	812.56	14.00
<b>Área Total de la Cuenca</b>	<b>5802.03</b>	<b>100.00</b>

La distribución de áreas de la cuenca que corresponde a territorio ecuatoriano y territorio peruano se muestra en la Tabla 3.6.

**Tabla 3.6: Áreas correspondientes a cada país**

Cuenca Puyango – Tumbes	Área (Km <sup>2</sup> )	Porcentaje (%)
Territorio peruano	1955.94	33.71
Territorio ecuatoriano	3846.08	66.29
<b>Área Total</b>	<b>5612.40</b>	<b>100.00</b>

### 3.5.2 Forma

Es una característica que determina la distribución del escurrimiento a lo largo de los cursos de aguas principales, y es en gran parte responsable del comportamiento de las crecientes que se presentan en la cuenca, la cual es expresada por parámetros tales como el coeficiente de compacidad y el factor de forma.

#### 3.5.2.1 Índice de compacidad

Es la relación entre el perímetro de la cuenca y el perímetro de un círculo cuya área es igual al de la cuenca en estudio, ver tabla 3.7, el coeficiente está expresado de la siguiente manera:

$$I_c = 0.28 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

Donde:

I<sub>c</sub>: Índice de compacidad

P: Perímetro de la cuenca (Km)

A: Área de la cuenca (km<sup>2</sup>)

**Tabla 3.7: Índice de compacidad**

Perímetro (P) Km	Área (A) Km <sup>2</sup>	Índice de compacidad (I <sub>c</sub> )
564.37	5802.03	2.075

Si el índice de compacidad es más cercano a la unidad, quiere decir que la cuenca se aproxima más a la forma circular; y por otro lado, si el  $I_c$  alcanza valores superiores a la unidad quiere, nos da a entender que estamos frente a una cuenca alargada. Para el caso de la cuenca del río Puyango – Tumbes el  $I_c$  es igual a 2.075 y tal como podemos apreciar en el plano 02, la cuenca presenta una forma alargada.

### 3.5.2.2 Factor de forma

Es otro índice numérico con el que puede ser expresada la forma, y la mayor o menor tendencia a crecientes de una cuenca; está representada por la relación entre la longitud del curso de agua más largo y el ancho medio de la cuenca, ver Tabla 3.8.

$$F_f = \frac{A_m}{L_p} \qquad A_m = \frac{A}{L}$$

Donde:

$F_f$ : Factor de forma.

$A_m$ : Ancho medio, en Km.

$L$  : Longitud de los ríos de la cuenca.

$L_p$ : Longitud del curso de agua más largo, en Km.

**Tabla 3.8: Factor de forma**

A (Km <sup>2</sup> )	L (Km)	L <sub>p</sub> (Km)	A <sub>m</sub> (Km)	F <sub>f</sub>
5802.030	209.39	239.47	27.72	0.116

### 3.5.3 Sistema de drenaje

El sistema de drenaje de una cuenca está constituido por un curso de agua principal y sus tributarios; de un modo general, cuanto más largo sea el curso principal de agua, más llena de bifurcaciones será la red de drenaje. Para determinar las características del sistema de drenaje se han utilizado los siguientes índices:

#### 3.5.3.1 Grado de ramificación

Para determinar el grado de ramificación de un curso de agua principal, se han considerado el número de bifurcaciones que tienen sus tributarios, asignándoles un orden a cada uno de ellos en forma creciente desde el curso principal del río hasta llegar a la divisoria, de manera que el mayor orden de curso de agua dará en forma directa el grado de ramificación del sistema de drenaje. Para el caso de la Cuenca del río Puyango – Tumbes el grado de ramificación es de 4° orden, ver Tabla 3.9.

**Tabla 3.9: Grado de ramificación de la cuenca**

Subcuencas	Marcabeli	Puyango	Tigre	Tumbes	Total - Km
<b>1er Orden</b>	41.14	24.82	103.73	39.64	<b>209.32</b>
<b>2do Orden</b>	271.34	102.91	452.90	174.58	<b>1001.73</b>
<b>3er Orden</b>	434.13	113.68	492.03	163.66	<b>1203.50</b>
<b>4to Orden</b>	417.21	145.63	277.71	72.49	<b>913.04</b>
<b>Subtotal</b>	<b>1163.82</b>	<b>387.04</b>	<b>1326.37</b>	<b>450.36</b>	<b>3327.59</b>

### 3.5.3.2 Densidad de drenaje

Representa la longitud media de la red hidrográfica existente por kilómetro cuadrado de la cuenca; si una cuenca posee una red de drenaje bien desarrollada, la extensión media de los terrenos a través de las cuales se produce un escurrimiento superficial es corto y el tiempo en alcanzar los cursos de agua también será corto; por lo tanto la intensidad de precipitaciones influirá de inmediato sobre el volumen de las descargas de los ríos, ver Tabla 3.10. Su valor está dado por la relación entre  $L_i$  y el área total de la misma  $A$ .

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

Donde:

$L_i$ : Longitud total de los cursos de agua efímeros, intermitentes y perennes de una cuenca.

$A$ : Área total de la Cuenca, en  $\text{Km}^2$ .

**Tabla 3.10: Densidad de drenaje**

Área (A) $\text{Km}^2$	Longitud ( $L_i$ ) Km	Densidad de drenaje ( $D_d$ ) $\text{Km}/\text{Km}^2$
5802.03	3327.59	0.574

### 3.5.3.3 Extensión media del escurrimiento superficial

Es la distancia media en línea recta, que el agua de lluvia tendría que escurrir sobre los terrenos de una cuenca para llegar al lecho de un curso de agua, ver Tabla 3.11, su valor esta dado por:

$$E_m = \frac{A}{4L_i}$$

Donde

$E_m$ : Extensión media del escurrimiento superficial

$A$ : Área de la cuenca,  $\text{Km}^2$

$L_i$ : Longitud total de los cursos de agua, Km

**Tabla 3.11: Extensión media**

Área (A) $\text{Km}^2$	Longitud ( $L_i$ ) Km	Extensión media ( $E_m$ ) Km
5802.03	3327.59	0.436

### 3.5.3.4 Pendiente media

El agua superficial concentrada en los lechos fluviales, escurre con una velocidad que depende directamente de la pendiente o declividad del lecho del río, así a mayor pendiente mayor será la velocidad de escurrimiento.

La pendiente de un curso de agua entre dos puntos generalmente es obtenida dividiendo la diferencia total de elevación del lecho por la longitud horizontal del curso de agua entre los dos puntos. Ver Tabla 3.12.

$$I_r = \frac{H_{m\acute{a}x} - H_{m\acute{i}n}}{L_p}$$

Donde:

$I_r$ : Pendiente media del río (m/km)

$H_{max}$ : Altura máxima, msnm

$H_{min}$ : Altura mínima, msnm

$L_p$ : Longitud del río principal, km

**Tabla 3.12: Pendiente media**

$H_{max}$ (m.s.n.m.)	$H_{min}$ (m.s.n.m.)	$L_p$ (Km)	$I_r$ (%)
3600.00	0.00	239.47	1.50

### 3.5.3.5 Curva hipsométrica

Una forma de representar la declividad de una cuenca es mediante un estudio de la variación de elevación de los terrenos con referencia al nivel medio del mar. Esta variación puede ser representada mediante una curva hipsométrica que indica el porcentaje del área de la cuenca que se encuentra por encima o debajo de una altura considerada.

Para la cuenca en estudio se ha trazado la curva hipsométrica, ver plano 09, distribuyendo el área de acuerdo a su altitud, los valores correspondientes se pueden apreciar en la Tabla 3.13, donde señalan las áreas por debajo y por encima de una determinada altitud.

**Tabla 3.13: Elevación de terrenos en la cuenca**

Cota m.s.n.m.	Area Sobre Cota Km <sup>2</sup>	Area Entre Cotas Km <sup>2</sup>	Area Acumulada Km <sup>2</sup>	% de Areas entre cotas %
0	5802.03	0.00	0.00	0.00
200	5034.85	767.18	767.18	13.22
400	4441.75	593.10	1360.28	10.22
600	3560.30	881.45	2241.73	15.19
800	2698.45	861.84	3103.58	14.85
1000	2111.09	587.37	3690.94	10.12
1200	1581.14	529.95	4220.89	9.13
1400	1386.79	194.35	4415.24	3.35
1600	1160.15	226.64	4641.88	3.91
1800	975.78	184.37	4826.25	3.18
2000	792.69	183.09	5009.34	3.16
2200	528.26	264.43	5273.77	4.56
2400	357.28	170.98	5444.75	2.95
2600	258.97	98.32	5543.06	1.69
2800	210.60	48.37	5591.43	0.83
3000	167.09	43.51	5634.94	0.75
3200	115.46	51.64	5686.57	0.89
3400	63.35	52.11	5738.68	0.90
3600	8.03	55.31	5794.00	0.95
3800	0.00	8.03	5802.03	0.14
<b>TOTALES</b>		5802.03		100.00

En esa curva se puede determinar las elevaciones medias de la cuenca; conocido este valor se puede calcular la altura hipotética potencial  $H_c$ , a la que están sujetos los volúmenes de exceso de lluvia, considerados como si estuviesen distribuidos uniformemente sobre la

cuenca. Como tal, esa altura constituye un factor que afecta el tiempo que tarda las aguas de lluvia en llegar a cada estación de aforo.

Teniendo en cuenta los porcentajes de área entre dos altitudes, con respecto al total, se han graficado los polígonos de frecuencia de altitudes, ver Gráfico 3.1.

El valor de la carga hipotética viene dado por:

$$H_c = H_m - H$$

Donde:

H<sub>c</sub>: Altura de carga hipotética, ver Tabla 3.14.

H<sub>m</sub>: Elevación media de la cuenca. H<sub>m</sub>= 752.99m., ver plano 09.

H: Elevación de estación de aforo.

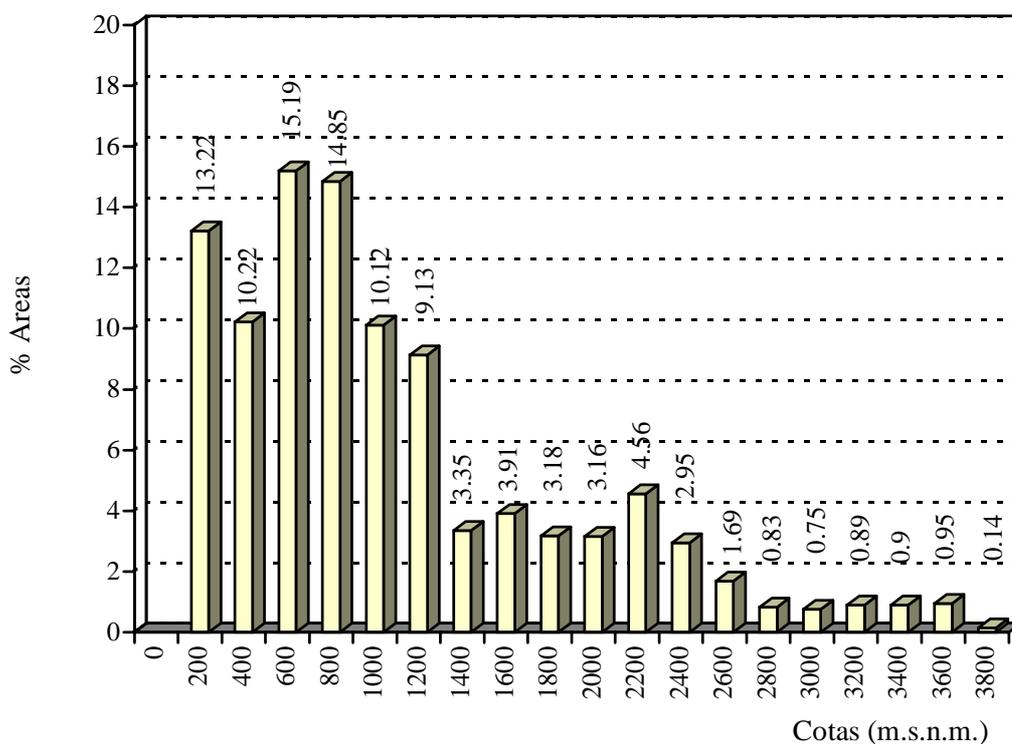


Gráfico 3.1: Polígonos de frecuencias

Tabla 3.14: Altura de carga hipotética

Estación de Aforo	H	H <sub>m</sub>	H <sub>c</sub>
Calera	680	752.99	72.99
Amarillo	660	752.99	92.99
Pindo	520	752.99	232.99
Marcabeli	360	752.99	392.99
Pte Carretera	300	752.99	425.99
EL Tigre	40	752.99	712.99

### 3.6 Precipitaciones

Se denomina precipitación al agua que proviene de la humedad atmosférica y cae a la superficie terrestre, principalmente en estado líquido (llovizna y lluvia) o en estado sólido (escarcha, nieve, bolitas de nieve, granizo, bolas de nieve).

La formación de precipitación requiere la elevación de una masa de agua en la atmósfera de tal manera que se enfríe y parte de su humedad se condense. Los tres mecanismos principales para la elevación de masas de aire son la elevación frontal, donde el aire caliente es elevado sobre aire frío por un pasaje frontal; la elevación orográfica mediante la cual una masa de aire se eleva para pasar por encima de una cadena montañosa; y la elevación convectiva, donde el aire se arrastra hacia arriba por acción convectiva, como ocurre en el centro de una tormenta eléctrica, ver Figura 3.3.

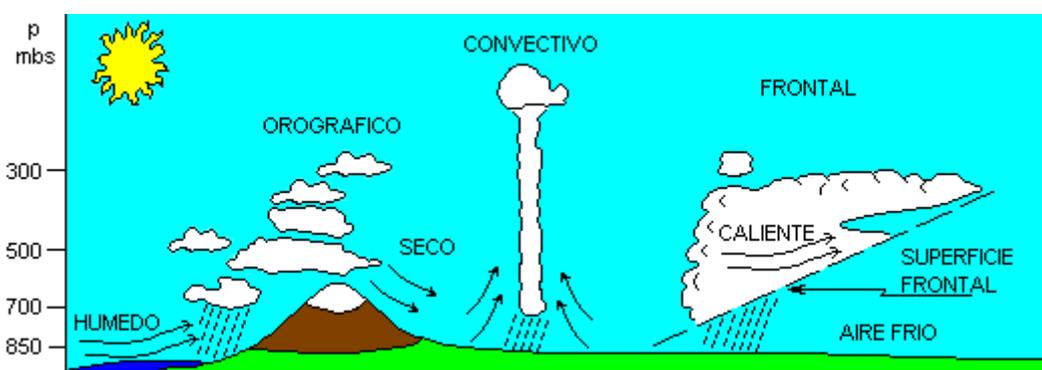


Figura 3.3: Mecanismos para la formación de precipitaciones

#### 3.6.1 Ubicaciones de estaciones hidrométricas

Dentro del marco hidrológico existen varios aspectos de singular importancia individual ligada a una dificultad natural de su evaluación. Uno de estos aspectos es la medición de las precipitaciones para saber con qué cantidad de agua se cuenta en una determinada cuenca después de haber realizado el balance correspondiente.

Estas mediciones se efectúan en las llamadas estaciones pluviométricas, las mismas que pueden ser de dos tipos:

- Pluviométricas propiamente dichas, que registran la cantidad de agua caída en un lapso de tiempo (día, semana, mes, etc).
- Pluviográficas, cuando se hacen registros en el tiempo de las precipitaciones caídas en la zona de ubicación de las estaciones.

Para calcular la cantidad de agua caída sobre una cuenca es necesario tener estaciones pluviométricas repartidas convenientemente en toda la cuenca principalmente si una cuenca abarca muchos  $\text{Km}^2$  y se tiene terrenos con altitudes muy diversas, diferentes tipos de vegetación, diferente temperatura, etc., siendo lo ideal tener un pluviómetro por cada  $20 \text{ km}^2$  lo que nos daría un radio de acción de 5 Km.

La cuenca del río Puyango – Tumbes cuenta con las estaciones hidrometeorológicas que se muestra en la Tabla 3.15, Tabla 3.16, Tabla 3.17 y plano 10.

**Tabla 3.15: Estaciones hidrometeorológicas - Caudales**

Estación	País	Categoría	Ubicación (UTM)		Altitud (msnm)	Registro (Años)
			Este	Norte		
Calera AJ Amarillo	Ecuador	EH1	651833	9596167	680	64-82
Pindo AJ Amarillo	Ecuador	EH1	651833	9585210	520	64-82
Amarillo AJ Portovelo	Ecuador	EH1	652570	9588833	660	64-82
Puyango AJ Marcabel	Ecuador	EH1	619890	9580078	360	64-82
Puyango puente carretera	Ecuador	EH1	601134	9573904	290	64-82
El Tigre	Perú	EH3	562221	9586125	40	64-87

**Tabla 3.16: Estaciones hidrometeorológicas - Precipitación**

Estación	País	Categoría	Ubicación (UTM)		Altitud (msnm)	Registro (Años)
			Este	Norte		
Ayapamba	Ecuador	PPG	646333	9603500	1300	64-86
Balsas	Ecuador	PPG	631667	9587000	700	71-86
Bocana Murciélagos	Perú	PPG	591266	9566350	246	64-82
Cañaverl	Perú	PPG	545500	9566830	145	71-86
Chaguarguayco	Ecuador	PPG	574833	9556197	400	71-86
Ciano	Ecuador	PPG	613333	9568663	700	71-86
El Cisne	Ecuador	PPG	672000	9575997	2340	71-86
El Limo	Ecuador	PPG	596833	9561330	650	72-86
El Tigre	Perú	PPG	562221	9586125	40	64-91
Guayacan	Ecuador	PPG	644500	9583333	600	75-86
Huásimo	Perú	PPG	554537	9559500	500	64-82
Huertas	Ecuador	PPG	651833	9603500	1350	71-86
Lauro Guerrero	Ecuador	PPG	637167	9563163	1750	71-86
Los Cedros	Perú	CO	552833	9601667	5	64-84
Marcabeli	Ecuador	CO	633500	9583333	680	64-86
Mercadillo	Ecuador	PPG	615167	9557663	1420	75-86
Moro Moro	Ecuador	PPG	639000	9592500	980	71-86
Pindo	Ecuador	PPG	651833	9585210	520	64-91
Portovelo	Ecuador	PPG	650000	9588833	920	00-85
Puyango	Ecuador	PPG	601134	9573904	290	71-86
Rica Playa	Perú	CO	554667	9579882	70	64-91
Salati	Ecuador	PPG	662833	9585252	1650	75-86
Zaruma	Ecuador	CO	653957	9594333	1150	64-85

**Tabla 3.17: Estaciones hidrometeorológicas - Temperatura**

Estación	País	Categoría	Ubicación (UTM)		Altitud (msnm)	Registro (Años)
			Este	Norte		
Cañaverl	Perú	CO	545500	9566830	145	75-76
Corpac	Perú	CO	569333	9609000	25	74-75
Los Cedros	Perú	CO	552833	9601667	5	64-75
Marcabeli	Ecuador	CO	633500	9583333	680	64-75
Rica Playa	Perú	CO	554667	9579882	70	65-75
Zaruma	Ecuador	CO	653957	9594333	1150	64-75

CO : Climatología ordinaria

EH1 : Estación hidrometeorológica de 1er orden

EH3 : Estación hidrometeorológica de 3er orden

PPG : Puesto pluviográfico

### 3.6.2 Mapas de isoyetas

Las curvas isoyetas son curvas de igual precipitación, a partir de las cuales se puede calcular la media anual de precipitaciones y se define como el volumen comprendido entre la superficie isoyeta y el plano correspondiente a la precipitación cero, y delimitada por la proyección de la línea límite de la cuenca sobre este plano.

Se obtiene este volumen multiplicando la superficie comprendida entre dos isoyetas en el interior de la cuenca, por el promedio de las precipitaciones correspondientes a las dos isoyetas y haciendo la suma de estos productos.

#### 3.6.2.1 Isoyetas años normales: anuales y mensuales

Se han elaborado las isoyetas mensuales y anuales para años normales comprendida entre 1971-1986, sin considerar los fenómenos de El Niño, ver planos 11 – 24 y anexo A. En el Gráfico 3.2 se muestra la precipitación media mensual sin considerar El Niño de 1983.

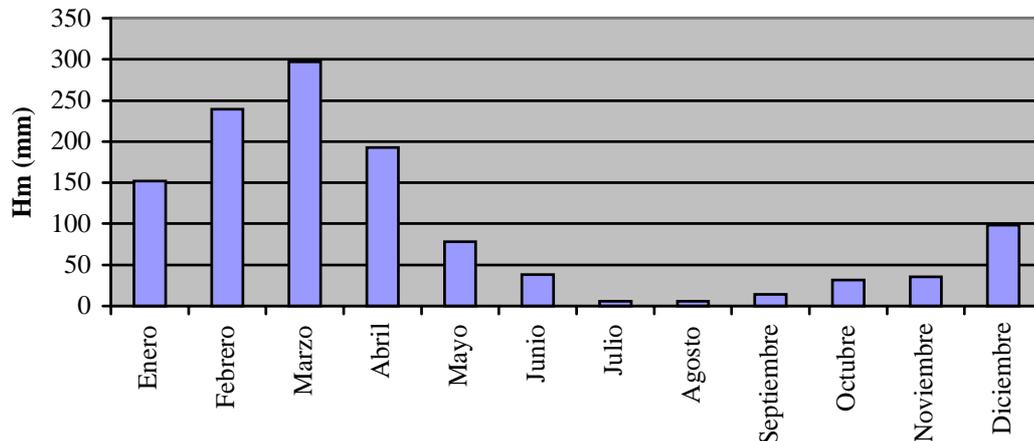


Gráfico 3.2: Precipitación media mensual sin El Niño 1983.

#### 3.6.2.2 Isoyetas anuales durante Fenómenos “El Niño”

Se han elaborado la isoyetas anuales para el fenómeno de El Niño 1983, ver plano 25 y anexo A. En el Gráfico 3.3 se muestra la comparación de precipitación media anual para años normales y años con El Niño.

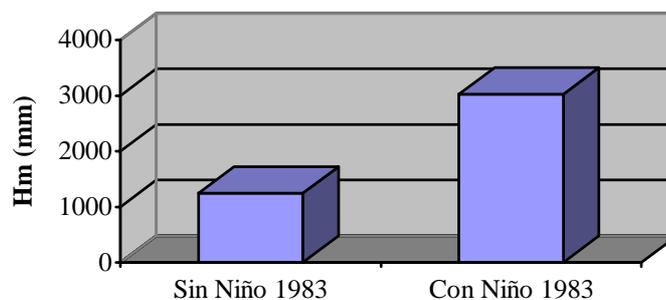


Gráfico 3.3: Precipitación media anual

### 3.7 Caudales de diseño para la ciudad de Tumbes

Los sistemas hidrológicos son afectados algunas veces por eventos extremos, tales como tormentas severas, crecientes y sequías. La magnitud de un evento extremo está inversamente relacionada con su frecuencia de ocurrencia, es decir, eventos muy severos ocurren con menos frecuencia que eventos más moderados [Chow y otros, 1994].

El objetivo del análisis de frecuencia de información hidrológica es relacionar la magnitud de los eventos extremos con su frecuencia de ocurrencia mediante el uso de distribuciones de probabilidad. Se supone que la información hidrológica que la produce (por ejemplo un sistema de tormentas) se considera estocástica independiente del espacio y del tiempo.

Los resultados del análisis de frecuencia de flujo de crecientes pueden utilizarse para muchos propósitos en ingeniería: para el diseño de presas, puentes, alcantarillas y estructuras de control de creciente, para determinar el beneficio económico de proyectos de control de creciente; y para delinear planicies de inundación y determinar el efecto de invasiones o construcciones en éstas.

#### 3.7.1 Registro de datos

Para el cálculo de caudales de diseño se han usado los datos de descarga del río Tumbes para el periodo 1965-1999 registrados en la estación El Tigre (Latitud Sur: 03°46'; Latitud Oeste: 80°27') ubicada a unos 25 kilómetros aguas arriba de la ciudad de Tumbes, que controla una cuenca de 4811.44 Km<sup>2</sup> aproximadamente.

Las descargas máximas en la cuenca del río Puyango - Tumbes, se presentan generalmente en el primer trimestre del año y en algunos casos en la primera quincena del mes de abril. En el periodo de registro de la Estación El Tigre (1965-1999) la descarga máxima instantánea alcanzó los 3712.50 m<sup>3</sup>/s con un nivel hidrométrico de 7.30m (5 de febrero de 1983; año excepcionalmente húmedo).

En la Tabla 3.18 se muestran los datos de caudales máximos anuales medidos en la Estación El Tigre que han sido utilizados en el análisis estadístico.

**Tabla 3.18: Caudales registrados entre los años 1965-1999**

Año	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	Año	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	Año	Caudal (m <sup>3</sup> /s)
1965	965.00	1977	723.00	1989	1828.80
1966	534.00	1978	519.00	1990	513.40
1967	695.00	1979	689.70	1991	584.50
1968	325.00	1980	628.30	1992	2489.60
1969	1100.00	1981	1578.60	1993	1918.20
1970	469.00	1982	1429.00	1994	891.30
1971	1722.00	1983	3712.50	1995	534.40
1972	1929.00	1984	1627.50	1996	690.30
1973	1449.00	1985	397.80	1997	1583.30
1974	455.00	1986	1397.40	1998	2569.90
1975	2074.00	1987	2098.50	1999	2506.20
1976	772.00	1988	651.90		

### 3.7.2 Análisis estadísticos

Para el análisis estadístico del caudal de diseño del Río Tumbes en la ciudad de Tumbes se ha empleado los siguientes modelos, la descripción de cada modelo se muestra en el anexo 04.

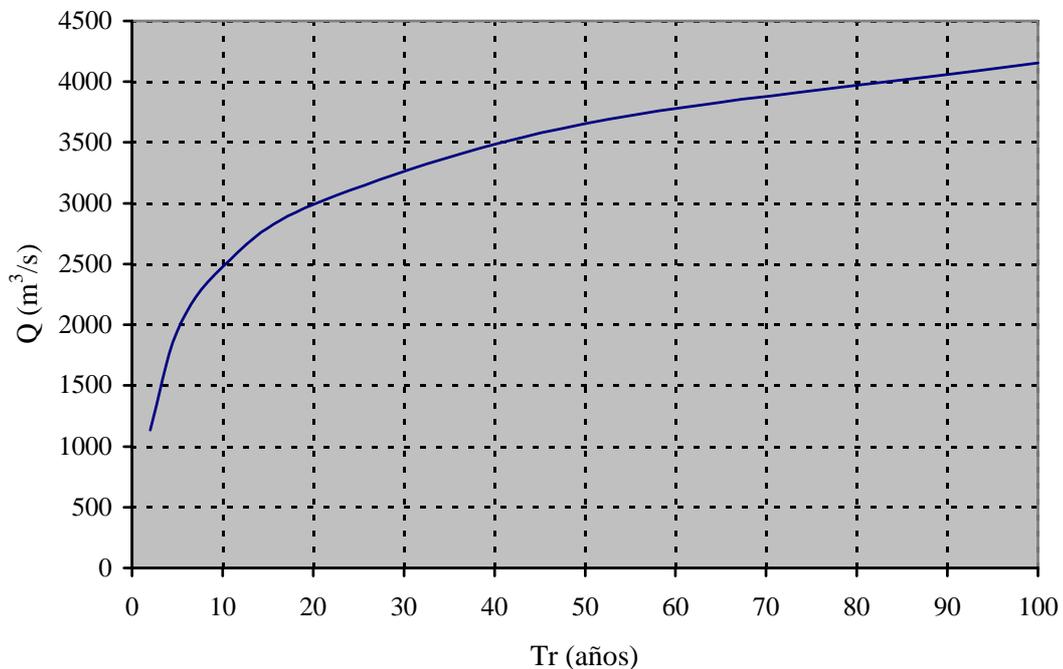
#### 3.7.2.1 Distribución Gumbel

La explicación teórica para la distribución Gumbel se muestra en el Anexo B; en la Tabla 3.19 se muestra los caudales de diseño para diferentes periodos de retorno.

**Tabla 3.19: Caudales de diseño - Gumbel**

Tr (años)	Caudales Máximos	
	Y	Q
2.00	0.367	1134.76
5.00	1.500	1943.11
10.00	2.250	2478.30
20.00	2.970	2991.68
50.00	3.902	3656.19
100.00	4.600	4154.14

En el Gráfico 3.4 se puede apreciar la curva de caudales versus periodo de retorno para la distribución Gumbel.



**Gráfico 3.4: Distribución de Gumbel**

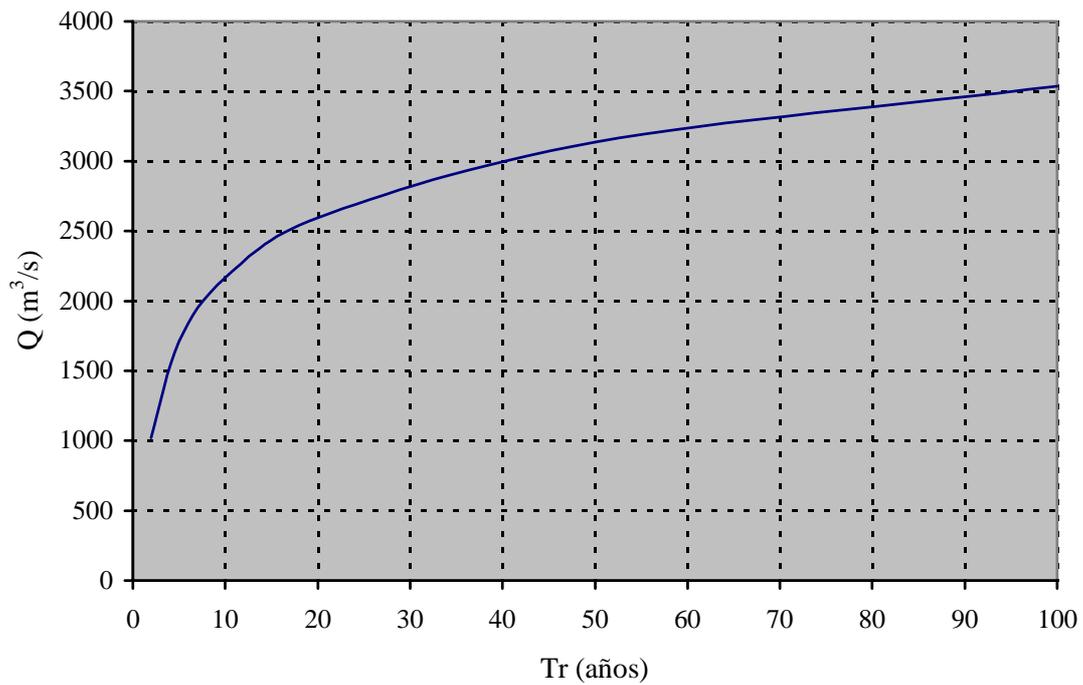
### 3.7.2.2 Distribución Gamma de 2 parámetros

La explicación teórica para la distribución gamma de 2 parámetros se muestra en el Anexo B; en la Tabla 3.20 se muestra los caudales de diseño para diferentes periodos de retorno.

**Tabla 3.20: Caudales de diseño – Gamma 2 Parámetros**

$T_r$ (años)	Caudales Máximos	
	$P_{exc}$	Q
2.00	50.00%	1019.59
5.00	20.00%	1707.94
10.00	10.00%	2164.16
20.00	5.00%	2593.92
50.00	2.00%	3136.99
100.00	1.00%	3534.86

En el Gráfico 3.5 se puede apreciar la curva de caudales versus periodo de retorno para la distribución Gamma de 2 parámetros.



**Gráfico 3.5: Distribución Gamma 2 parámetros**

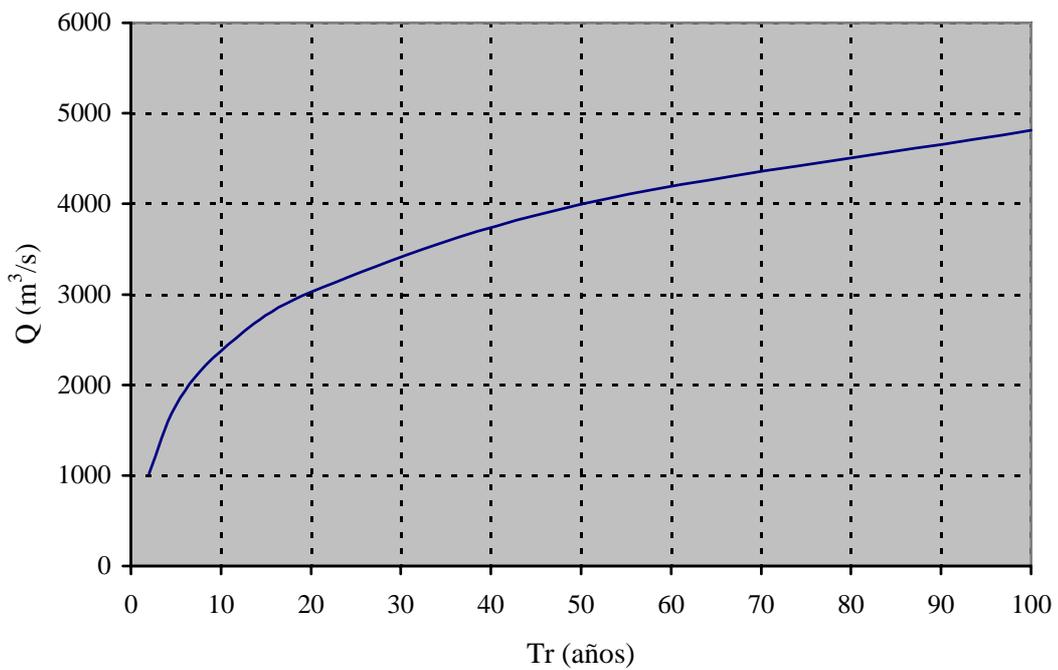
### 3.7.2.3 Distribución Log Pearson tipo III

La explicación teórica para la distribución Log Pearson tipo III se muestra en el Anexo B; en la Tabla 3.21 se muestra los caudales de diseño para diferentes periodos de retorno.

**Tabla 3.21: Caudales de diseño – Log Pearson Tipo III**

$T_r$ (años)	$P_{exc}$	$w$	$z$	$K_T$	$Q$ (m <sup>3</sup> /s)
2.00	50.00%	1.18	0.00	-0.01	1024.06
5.00	20.00%	1.79	0.84	0.84	1772.54
10.00	10.00%	2.15	1.28	1.29	2373.68
20.00	5.00%	2.45	1.65	1.67	3028.68
50.00	2.00%	2.80	2.05	2.10	3995.33
100.00	1.00%	3.03	2.33	2.39	4813.47

En el Gráfico 3.6 se puede apreciar la curva de caudales versus periodo de retorno para la distribución Log Pearson tipo III.



**Gráfico 3.6: Distribución Log Pearson Tipo III**

### 3.7.2.4 Distribución Log Normal

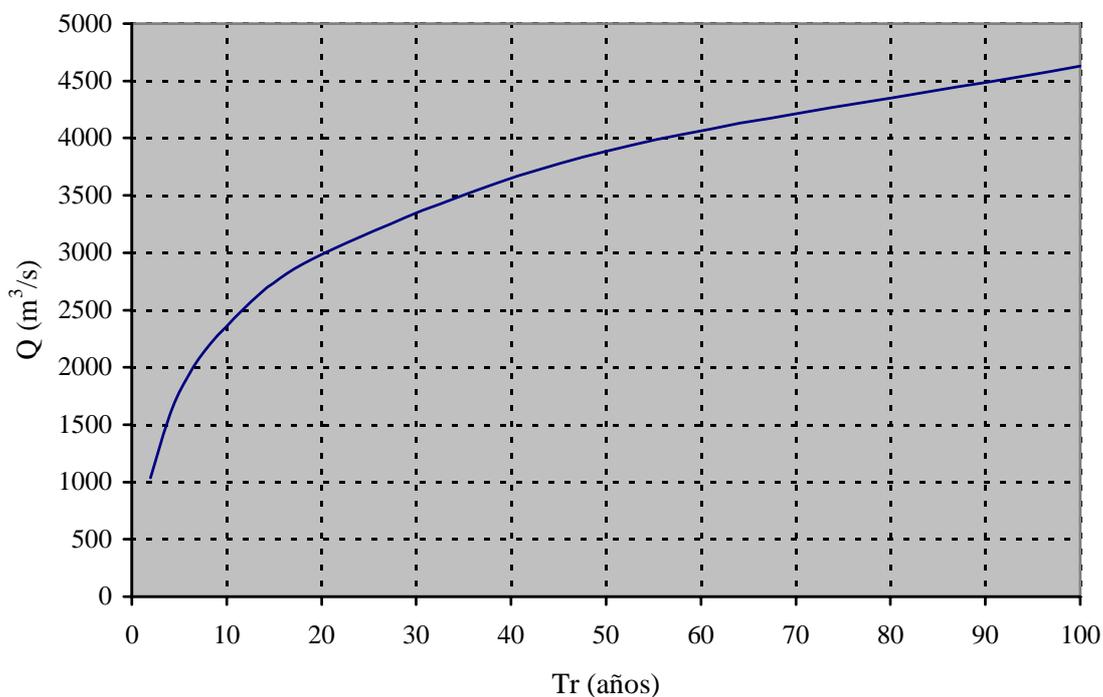
#### 3.7.2.4.1 Distribución Log Normal de 2 parámetros

La explicación teórica para la distribución Log Normal de 2 parámetros se muestra en el Anexo B; en la Tabla 3.22 se muestra los caudales de diseño para diferentes periodos de retorno

**Tabla 3.22: Caudales de diseño – Log Normal de 2 parámetros**

Tr (años)	Pexc	Q (m <sup>3</sup> /s)
2.00	50.00%	1033.03
5.00	20.00%	1777.56
10.00	10.00%	2360.67
20.00	5.00%	2983.90
50.00	2.00%	3884.22
100.00	1.00%	4630.72

En el Gráfico 3.7 se puede apreciar la curva de caudales versus periodo de retorno para la distribución Log Normal de 2 parámetros.



**Gráfico 3.7: Distribución Log Normal de 2 Parámetros**

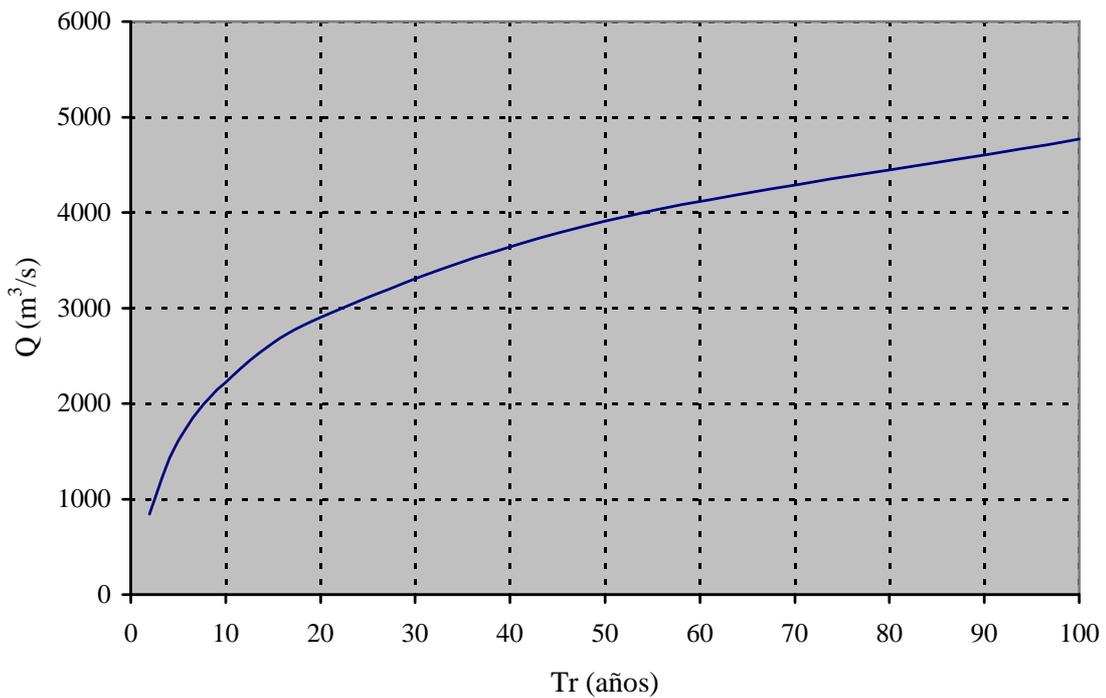
### 3.7.2.4.2 Distribución Log Normal de 3 parámetros

La explicación teórica para la distribución Log Normal de 3 parámetros se muestra en el Anexo B; en la Tabla 3.23 se muestra los caudales de diseño para diferentes periodos de retorno.

**Tabla 3.23: Caudales de diseño – Log Normal de 3 parámetros**

$T_r$ (años)	$P_{exc}$	$Q$ ( $m^3/s$ )
2.00	50.00%	842.48
5.00	20.00%	1602.82
10.00	10.00%	2223.00
20.00	5.00%	2903.61
50.00	2.00%	3912.47
100.00	1.00%	4767.81

En el Gráfico 3.8 se puede apreciar la curva de caudales versus periodo de retorno para la distribución Log Normal de 3 parámetros.



**Gráfico 3.8: Distribución Log Normal de 3 parámetros**

### 3.7.3 Resultados

El análisis se realizó sobre la base de los caudales máximos registrados en el río Tumbes, en la estación El Tigre, en el periodo comprendido entre los años 1965-1999, los cuales se muestran en la tabla 3.18.

De los valores registrados se observa que el máximo valor es de 3713 m<sup>3</sup>/s correspondiente al mes de Febrero de 1983 y el menor valor es de 325 m<sup>3</sup>/s correspondiente al mes de marzo de 1968.

El análisis de avenidas se ha realizado para los modelos Gumbel, Gamma de 2 parámetros, Log Pearson III, Log Nomal 2 parámetros, Log Normal 3 parámetros. En la Tabla 3.24 se muestran los valores estadísticos de la serie hidrológica del río Tumbes (1965-1999).

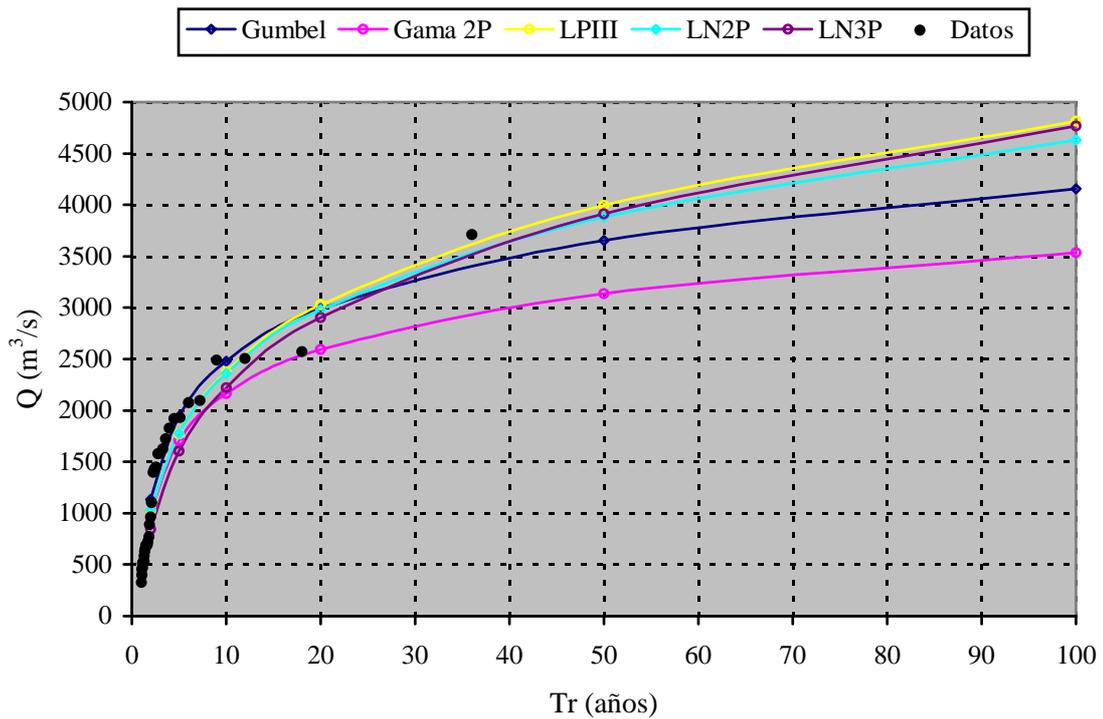
**Tabla 3.24: Valores estadísticos de la serie hidrológica**

Parámetro	Q (m <sup>3</sup> /s)
Media	1258.63
Mediana	965.00
Desviación estándar	804.83
Varianza	647757.84
Coficiente de asimetría	1.03
Mínimo	325.00
Máxima	3712.50

En la Tabla 3.25 y el Gráfico 3.9 se presenta una comparación de los resultados usando los diferentes métodos probabilísticos.

**Tabla 3.25: Comparación de los diferentes modelos probabilísticos**

T <sub>r</sub> (años)	Caudales (m <sup>3</sup> /s)				
	Gumbel	Gamma 2P	LPIII	LN2P	LN3P
2.00	1134.76	1019.59	1024.06	1033.03	842.48
5.00	1943.11	1707.94	1772.54	1777.56	1602.82
10.00	2478.30	2164.16	2373.68	2360.67	2223.00
20.00	2991.68	2593.92	3028.68	2983.90	2903.61
50.00	3656.19	3136.99	3995.33	3884.22	3912.47
100.00	4154.14	3534.86	4813.47	4630.72	4767.81



**Gráfico 3.9: Comparación de caudales**

El análisis de máximas avenidas realizado con los datos mencionados, serie hidrológica 1965-1999, para los diferentes métodos probabilísticos da como resultado que el registro histórico se acomoda mejor al método Gumbel.

Los caudales de diseño típico para el río Tumbes, para diferentes periodo de retorno, se presentan en la Tabla 3.26.

**Tabla 3.26: Caudales de diseño típico**

Tr (años)	Caudales Máximos	
	Y	Q
2.00	0.367	1134.76
5.00	1.500	1943.11
10.00	2.250	2478.30
20.00	2.970	2991.68
50.00	3.902	3656.19
100.00	4.600	4154.14

## 4 El Software Empleado: ArcView

### 4.1 Descripción del ArcView

El Arcview es un software SIG producido por la firma norteamericana ESRI (Environmental Systems Research Institute), es una herramienta de altas prestaciones, fácil de manejar y disponible en entorno Windows. La estructura de datos gráficos con la cual trabaja el Arcview es de tipo vectorial, sin embargo también puede manejar estructuras raster.

El Arcview proporciona soluciones para crear, visualizar y analizar la información de una manera apropiada; asimismo, ofrece cientos de opciones de análisis espacial y tratamiento de datos geográficos. Se puede, también representar datos por georreferenciación sobre una cartografía, analizar las características y patrones de distribución de esos datos y generar informes finales con los resultados de una sección de trabajo o análisis.

El Arcview permite integrar los datos de un mapa de vectores (coordenadas x, y), imágenes raster tales como fotografía, documentos escaneados o imágenes de satélite, dibujos CAD, datos de video y sonido, entre otros, ver Figura 4.1.

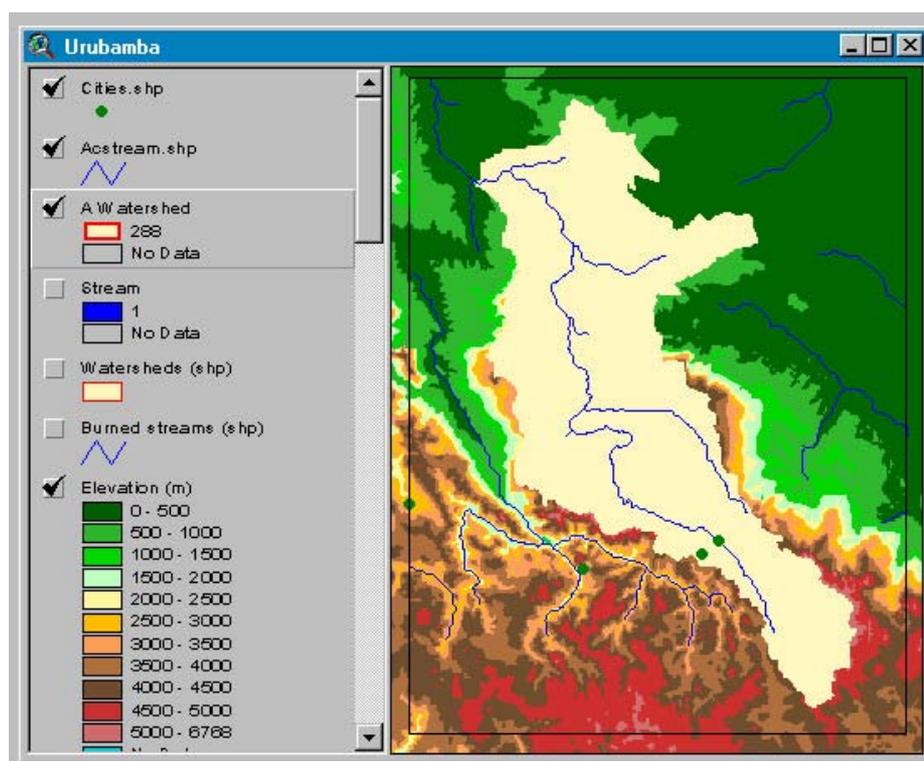


Figura 4.1: Ejemplo de un proyecto realizado en ArcView

El proyecto en el Arcview, contiene toda la información generada y se divide en vistas, tablas, gráficos, layouts y scripts, teniendo cada uno de ellos una finalidad específica sobre nuestros datos.

## 4.2 Principales funciones

Como se mencionó anteriormente el documento principal en el Arcview se denomina proyecto y tiene como extensión “apr”.

Un proyecto típicamente contiene las vistas, tablas, gráficos, layouts y script que se usan en una aplicación particular del Arcview. Por ejemplo si se está usando el Arcview para buscar ubicaciones adecuadas de nuevos edificios de oficinas, se podrá mantener todas las vistas, tablas, gráficos, layouts y scripts para esa aplicación dentro de un proyecto; de esta manera el trabajo es almacenado en un lugar conveniente y la próxima vez que se necesite ese archivo simplemente se abre el proyecto y todos los componentes estarán disponibles para ser usados, ver Figura 4.2.

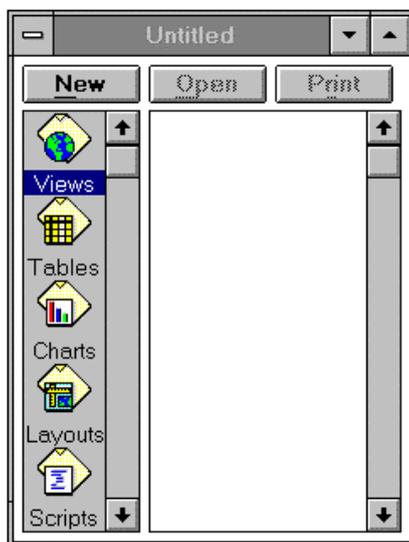


Figura 4.2: Elementos que conforman un proyecto

### 4.2.1 Vistas

Una vista es un mapa interactivo que nos permite desplegar, explorar, consultar y analizar datos geográficos en el Arcview. Las vistas se graban en el proyecto con el cual se viene trabajando.

Una vista define los datos geográficos que se usarán y cómo estos serán desplegados. No contiene la información de los datos geográficos; sin embargo, una vista referencia los archivos que contienen los datos de origen.

Esto significa que las vistas son dinámicas porque refleja el estado actual de los datos de origen. Si los datos de origen cambian, una vista que emplea esos datos reflejará los cambios automáticamente la próxima vez que ésta sea dibujada. Esto también significa que los mismos datos pueden ser desplegados en más de una vista. Por ejemplo podemos tener una vista en un proyecto que despliegue los datos censales clasificados por población y otra vista que muestran simplemente los contornos de esos censos.

Cada vista contiene su propia tabla de contenido y muestra las diferentes capas o temas que se han desplegado en esa vista, es como la tabla de contenido de un libro. Además una tabla de contenido se usa para controlar la forma como será dibujada la vista, ver Figura 4.3.

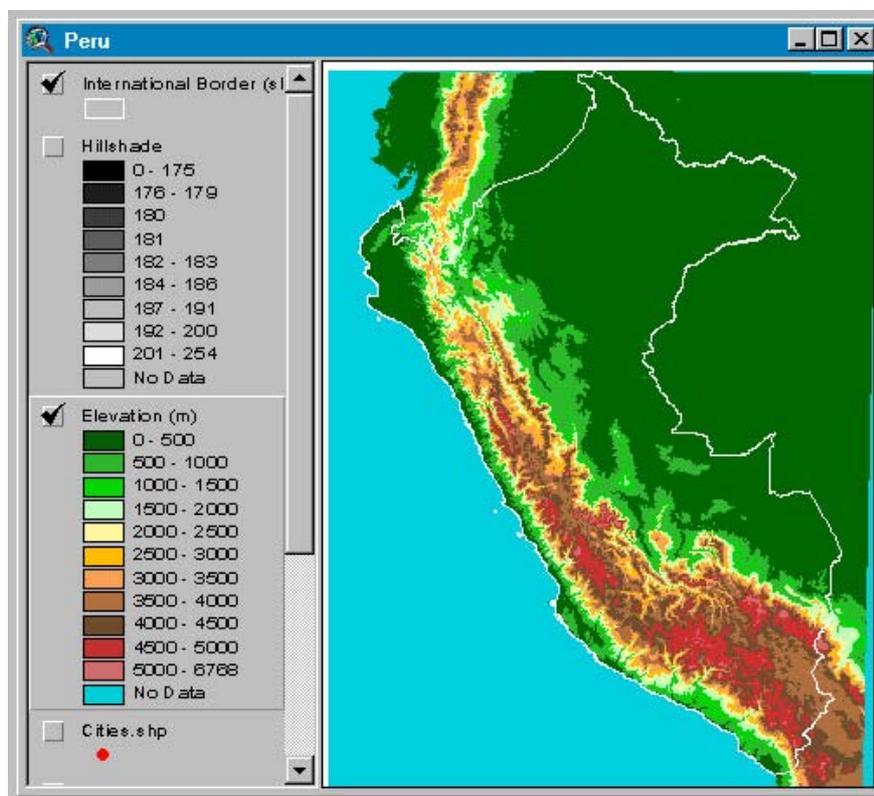


Figura 4.3: Mapa topográfico del Perú

#### 4.2.2 Tablas

Una tabla nos permite trabajar con los datos registrados directamente desde el Arcview, así como también importar datos tabulados de casi cualquier fuente de datos externa y trabajar con esos datos como tablas en el Arcview. Posteriormente se pueden añadir los datos de esas tablas a los mapas lo que nos permitirá simbolizar, consultar y analizar esos datos geográficamente.

Las tablas en el Arcview son dinámicas porque ellos reflejan el estado actual de los datos en el cual se basan. Es decir, si los datos iniciales cambian, las tablas basados en esos datos cambiarán automáticamente y los cambios se reflejarán la próxima vez que se abra la tabla proyecto. Todos los datos que se agreguen en el Arcview se grabarán en un archivo dentro del proyecto en el cual se está trabajando.

También se pueden crear tablas en el Arcview directamente ingresando los datos a través de el, así como corregir algunos datos de las tablas. Se puede además, agregar datos de dBase como también archivos delimitados con comas o tabulación y agregar esos datos a nuestro proyecto. Desde el Arcview se puede integrar información con base de datos externas como Oracle o Sybase y ejecutar una consulta en SQL para extraer información desde ellos como tablas, ver Figura 4.4.

Attributes of Evap.shp							
<i>Stat_name</i>	<i>Stat_civ</i>	<i>Datum</i>	<i>Req_mth</i>	<i>Req_year</i>	<i>End_mth</i>	<i>End_year</i>	
CHILDRESS 13 NW	CHILDRESS	1710.00	2	1975	6	1978	
IOWA PARK EXP STAT	WICHITA	980.00	9	1947	2	1964	
DENISON DAM	GRAYSON	610.00	1	1948	5	1992	
LAKE KEMP	BAYLOR	1170.00	9	1974	5	1992	
LUBBOCK 9 N	LUBBOCK	3250.00	1	1952	2	1956	
LAKE KICKAPOO	ARCHER	1060.00	2	1948	2	1964	
SPUR	DICKENS	2310.00	8	1947	3	1964	
WRIGHT PATMAN D & I	CASS	280.00	1	1981	5	1992	
TEXARKANA DAM	CASS	280.00	3	1956	2	1956	

Figura 4.4: Información contenida en una tabla

### 4.2.3 Chart

Un gráfico es una representación visual de los datos de una tabla, especialmente características geográficas, que puede transportar rápidamente información que de otra manera tomaría mucho tiempo resumir y entender

Se puede utilizar un gráfico para mostrar, comparar y consultar los datos geográficos y tabularlos con efectividad. Los gráficos en Arcview son dinámicos porque están enlazados con los mapas del proyecto.

Un gráfico referencia datos de una tabla dentro de un proyecto y define como será mostrado, y al igual que las tablas, los gráficos son dinámicos porque refleja el estado actual de los datos en las tablas.

Un gráfico representa todos los registros en una tabla al menos que se haya seleccionado un subgrupo de registros; pero además, se pueden seleccionar registros de diferentes maneras, como por ejemplo, seleccionando una tabla, haciendo una consulta de atributos, o si la tabla que se está graficando es un atributo dentro de la tabla de contenidos seleccionando la característica en esa vista.

Hay seis diferentes galerías de gráficos tales como gráficos de barras, gráficos tipo circular y cada una posee variedad de estilos, ver Figura 4.5.

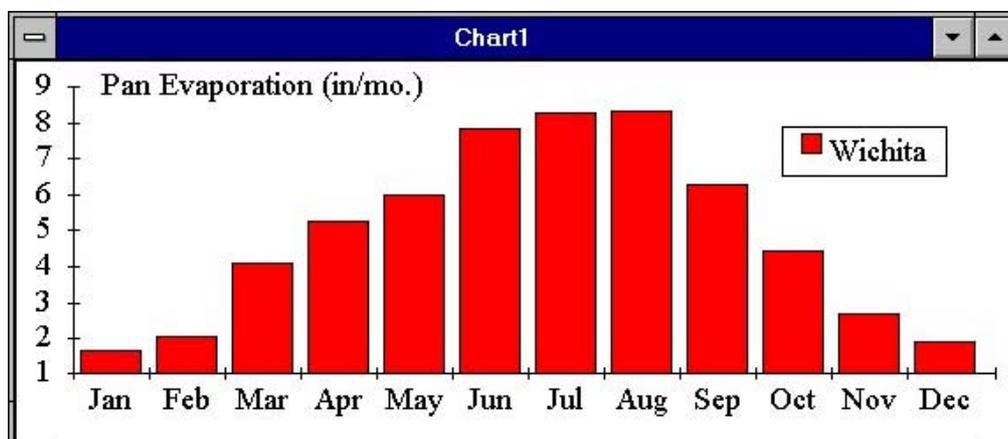


Figura 4.5: Gráfico elaborado en ArcView

#### 4.2.4 Layout

Un layout es un mapa que nos permite visualizar vistas, gráficos, tablas, gráficos importados y gráficos primitivos. El layout se usa para preparar los gráficos de salida desde el Arcview.

Un layout define qué datos serán usados a la salida y cómo serán visualizados; puede ser dinámico porque esto permite hacer gráficos vivos. Cuando un gráfico está vivo refleja el estado actual de los datos, es decir, si los datos en una vista cambian, el layout refleja el cambio automáticamente.

Los mismos datos pueden ser visualizados en diferentes layouts. Pensando que cada layout es una manera de presentar los datos. Por ejemplo, si se hace una presentación de mercado y si se presentan estos datos en una producción cartográfica pudiéndose hacer diferentes layout de los datos para cada aplicación que se necesite, ver Figura 4.6.

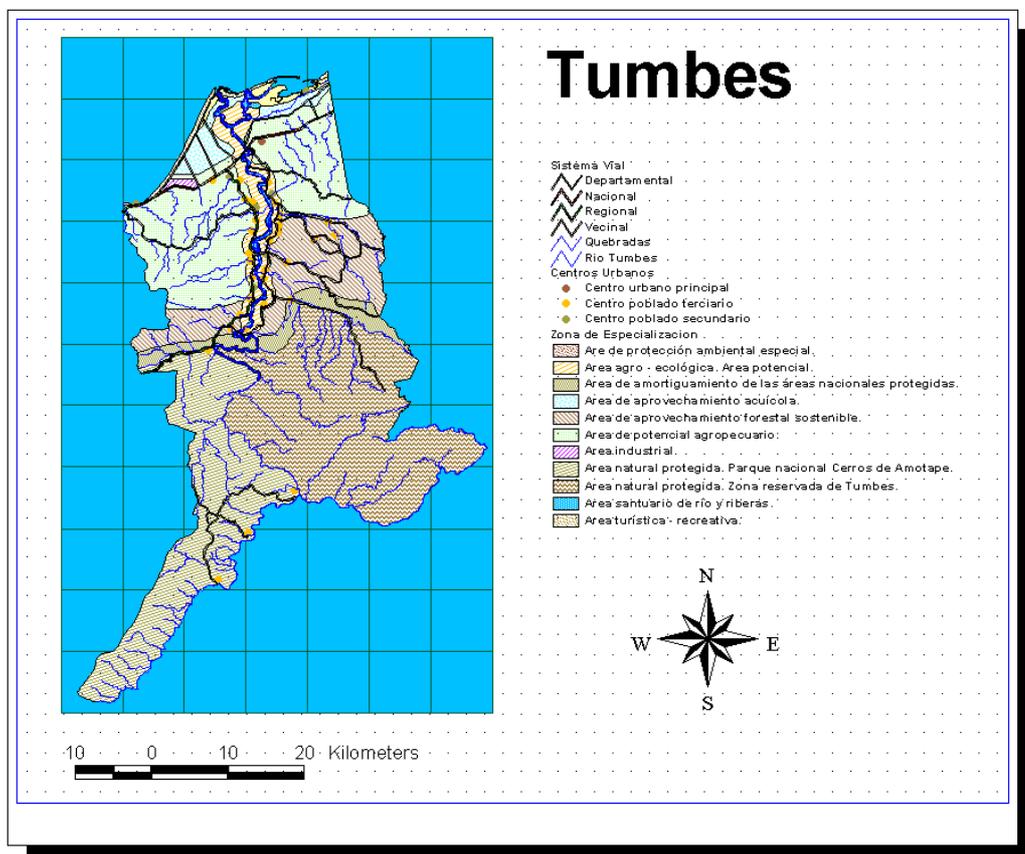
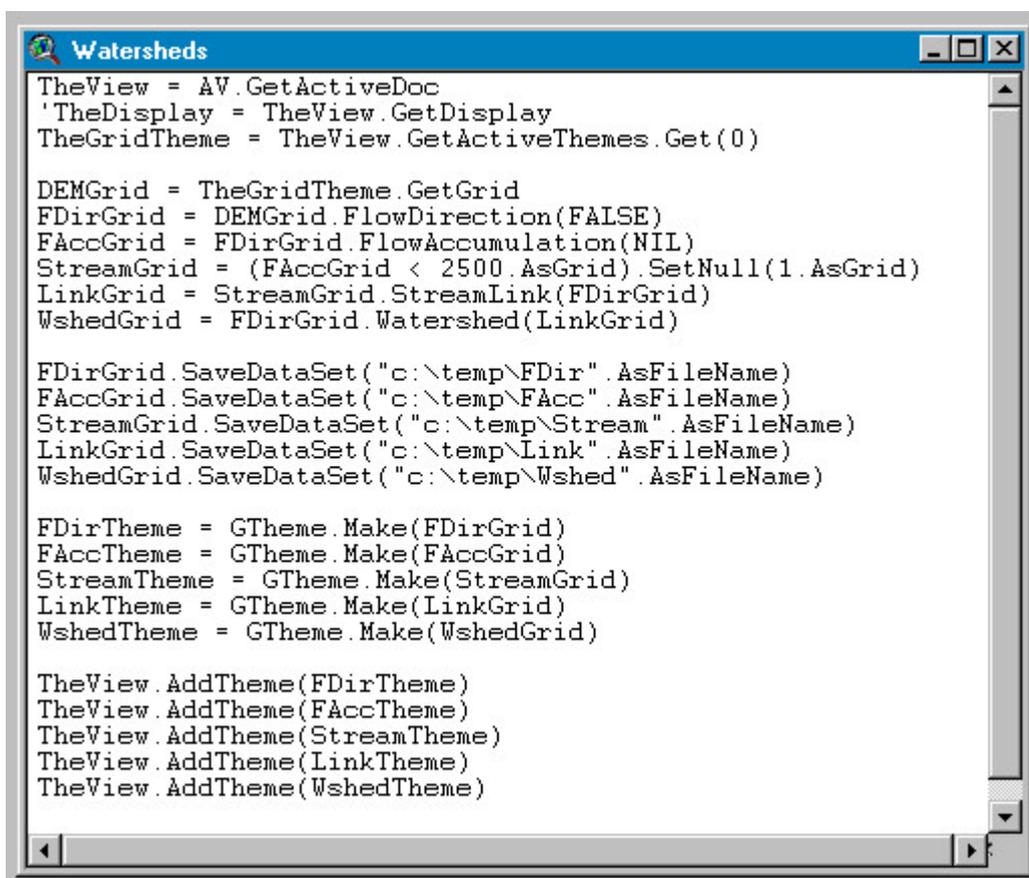


Figura 4.6: Layout con todos los componentes deseados

### 4.2.5 Script

Es un componente de un proyecto del Arcview que contiene macros e instrucciones en código de Avenue o escrituras en otros lenguajes de programación. El Arcview agrupa los scripts con el propósito de cumplir tres objetivos generales: automatizar tareas, añadir nuevas capacidades al Arcview y construir aplicaciones completas.

De alguna manera se puede pensar que todo el Arcview es como una colección de scripts, es una simplificación, pero cada control que se usa en Arcview tiene asociado un sistema de escritura; se puede ver el nombre de las escrituras asociadas a un control así como también examinar el contenido de un sistema de escritura en el cuadro de diálogo. Esto se puede realizar dependiendo de los resultados que se quieran obtener, ver Figura 4.7.



```
Watersheds
TheView = AV.GetActiveDoc
TheDisplay = TheView.GetDisplay
TheGridTheme = TheView.GetActiveThemes.Get(0)

DEMGrid = TheGridTheme.GetGrid
FDirGrid = DEMGrid.FlowDirection(FALSE)
FAccGrid = FDirGrid.FlowAccumulation(NIL)
StreamGrid = (FAccGrid < 2500.AsGrid).SetNull(1.AsGrid)
LinkGrid = StreamGrid.StreamLink(FDirGrid)
WshedGrid = FDirGrid.Watershed(LinkGrid)

FDirGrid.SaveDataSet("c:\temp\FDir".AsFileName)
FAccGrid.SaveDataSet("c:\temp\FAcc".AsFileName)
StreamGrid.SaveDataSet("c:\temp\Stream".AsFileName)
LinkGrid.SaveDataSet("c:\temp\Link".AsFileName)
WshedGrid.SaveDataSet("c:\temp\Wshed".AsFileName)

FDirTheme = GTheme.Make(FDirGrid)
FAccTheme = GTheme.Make(FAccGrid)
StreamTheme = GTheme.Make(StreamGrid)
LinkTheme = GTheme.Make(LinkGrid)
WshedTheme = GTheme.Make(WshedGrid)

TheView.AddTheme(FDirTheme)
TheView.AddTheme(FAccTheme)
TheView.AddTheme(StreamTheme)
TheView.AddTheme(LinkTheme)
TheView.AddTheme(WshedTheme)
```

Figura 4.7: Script Watersheds

### 4.3 Ventajas y desventajas frente a otros software SIG

La conveniencia del ArcView depende de la forma como se tomen los datos. Si tenemos datos vectoriales (puntos, líneas y polígonos), el ArcView es totalmente adecuado en términos de análisis y búsqueda, así como algunas extensiones del ArcView tal como el Spatial Analyst que permite la modelación de los datos.

Por otro lado, si los datos son o pueden ser obtenidos en formato raster, se sugiere emplear el IDRISI, un software diseñado por Clark Labs. Este software es un buen paquete de modelación que permite la integración de imágenes de detección remota.

Es decir, no podemos hablar específicamente de ventajas y desventajas de un software con respecto al otro, sino básicamente de qué utilidad tiene un software SIG para el análisis que se va a realizar, en la actualidad hay un sinnúmero de software SIG y cada uno de ellos tiene una aplicación específica, entre los cuales podemos nombrar los siguientes: Erdas, Arc View, Arc Info, Grass, etc.

#### 4.3.1 Aplicaciones del ArcView:

- Permite integrar los datos de un mapa de vectores.
- Permite integrar herramientas de análisis tradicional con información geográfica en mapas visuales.
- La geocodificación permite conocer automáticamente la situación de cada plano pudiendo detectar rápidamente los errores.
- Tiene un completo entorno de realización de mapas.
- Los mapas pueden ser instantáneamente actualizados gracias a su intuitivo interfase gráfico.
- Permite añadir imágenes, sonidos y videos a los mapas.
- Permite analizar la información de múltiples modos.
- Permite un avanzado análisis espacial con el cual se puede realizar múltiples estudios.
- Se pueden crear buffers basados en una distancia especificada o en un atributo, se puede unir información de un nivel a otro.
- Se puede seleccionar información interactivamente o explícitamente basado en el criterio del usuario, superponer niveles de información para crear una nueva información, etc.
- Proporciona una completa colección de tipos de letra y símbolos y además proporciona clasificaciones automáticas de información, gráficos de negocios.
- Permite actualizar planos antiguos o crear nuevos planos digitalizándolos o escaneándolos.
- Permite la lectura de los mapas de datos de múltiples formatos como los procedentes de ARC/INFO, AutoCAD (DXF y DWG) o Micro Station (DGN).
- Puede abrir imágenes con extensión TIFF, JPEG, EPS, BMP, GIF y muchas otras.
- Puede usar directamente las tablas de datos en formato ASCII, Oracle, dBASE, INFO, ACCESS, FoxBase, SQL Server, y otras muchas.

### **4.3.2 Aplicaciones de otros software SIG:**

#### **4.3.2.1 ArcInfo**

- Especializado en el manejo de la información geográfica.
- Diseñado para la captura, análisis, consulta y representación de datos espaciales.
- Sistema abierto y programable que constituye una gran ayuda para la gestión medioambiental y la planificación rural y urbana.
- Permite integrar los datos espaciales con bases de datos externas como ORACLE, Dbase, etc.
- Realiza un manejo ágil de los datos cartográficos pudiendo importar y exportar información desde formatos vectoriales como DXF y raster como GRASS o ERDAS.

#### **4.3.2.2 GRASS**

- Es un Sistema de Información Geográfica que trabaja con los formatos raster y vectorial.
- Su uso es ideal para aplicaciones en ingeniería y planeamiento.
- Permite la manipulación y procesamiento de imágenes.
- Permite al usuario añadir sus propios programas.
- Posee un entorno gráfico de gran utilidad.
- Es capaz de leer y escribir mapas e información del Arc Info e Idrisi.

#### **4.3.2.3 ERDAS**

- Paquete destinado al tratamiento de imágenes de satélite o fotografías aéreas.
- También puede ser utilizado como un Sistema de Información Geográfica de tipo raster, aunque no es su principal aplicación.
- Permite la visualización de simples o múltiples niveles de una imagen, así como diversas transformaciones sobre dicha imagen.
- Diversas herramientas para realizar contrastes, selección de colores y análisis de principales componentes.
- Operaciones diversas para realizar modelos y todo tipo de funciones algebraicas con imágenes.
- Interfase muy amigable con el usuario a través del lenguaje natural.
- Rectificación: mediante la localización interactiva de puntos de control, y a través de operaciones sobre una matriz de transformación, pudiendo utilizar hasta un polinomio de grado diez.
- Crea mosaicos de imágenes con texto, bordes, barras de escala y otras opciones.
- Permite salida a plotters e impresoras de colores.
- Import/Export Files: conversión de niveles hacia y desde formato ERDAS 7.5 (para versiones anteriores). También tiene la posibilidad de otros tipos de formatos: TIFF, SIG, ANT, GRID.

## 5 Desarrollo del SIG

### 5.1 Procedimientos empleados

La metodología estructurada que se ha seguido para la elaboración del SIG de la cuenca Puyango – Tumbes parte de un modelo conceptual que pone énfasis en el diseño e implantación del banco de datos para posibilitar y garantizar la realización de análisis y procesos de modelación.

El proceso empleado para la realización del banco de datos se basa en la síntesis de compilación de tareas para la construcción digital, su manipulación y su análisis en ambiente SIG.

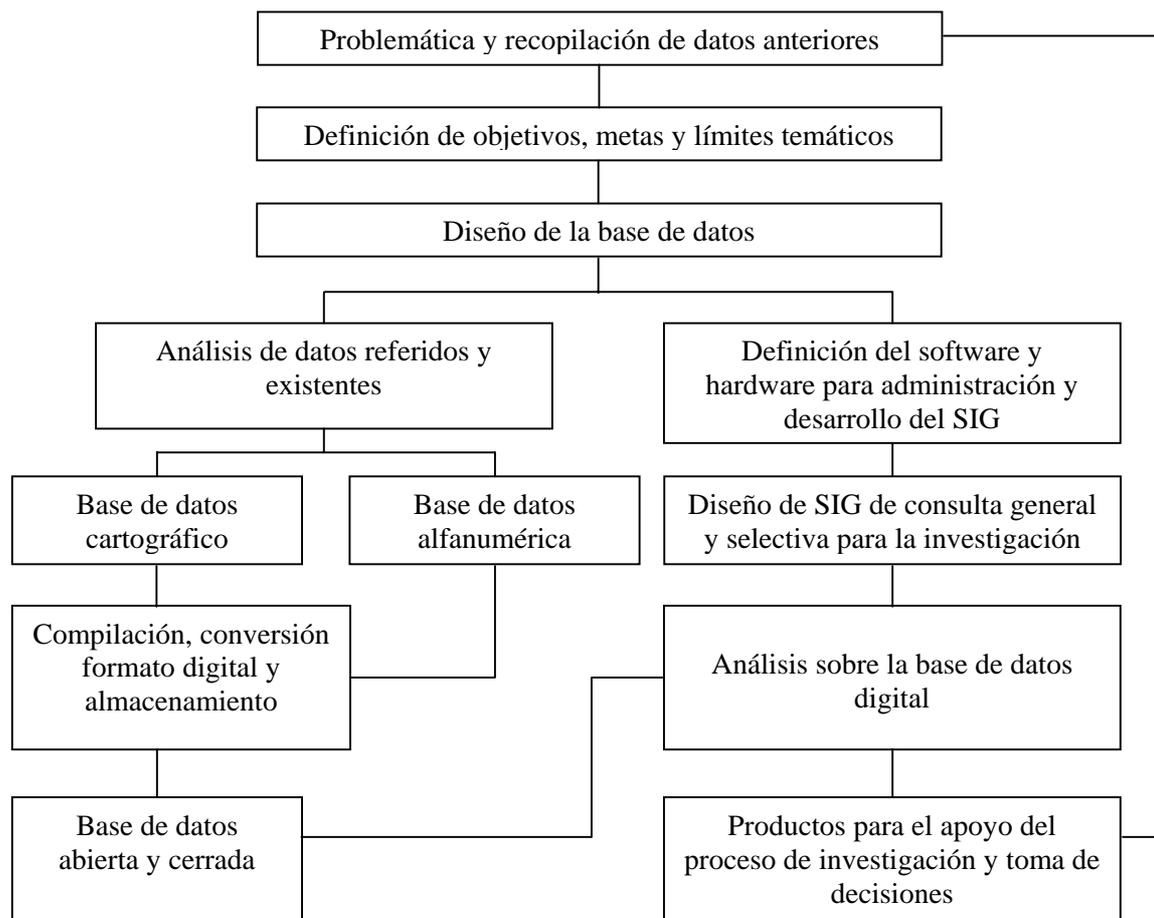
Gran parte de la información recopilada no se encuentra en formato digital, por lo que el proceso de conversión se ha constituido como una de las etapas más delicadas y laboriosas de la presente tesis. A grandes rasgos, la construcción de la base de datos se ha realizado en tres etapas: la revisión y clasificación de los datos, la transformación de los datos a formato digital compatible con el sistema computacional y la evaluación de la calidad de la información. Cabe recalcar que mucha información, sobre todo hidrológica ha sido muy escasa, y esto se debe básicamente al mal manejo de las estaciones hidrometeorológicas.

El esquema mostrado en la Figura 5.1, sintetiza los procesos a realizar en lo que respecta al diseño e implantación del SIG. El problema debe ser sintetizado en sus elementos constituyentes, sus causas y en los procesos que en él inciden. La consideración de trabajos anteriores similares es el punto de partida para esta tesis. Esto, permitirá definir con claridad los datos requeridos, el método a desarrollar, así como los medios necesarios.

El diseño de la base de datos, ha sido quizá la tarea más importante en el diseño del SIG de la cuenca Puyango-Tumbes, sin dejar de lado las otras etapas para la elaboración del SIG, y el éxito deberá reflejarse en la etapa de implantación y en los resultados obtenidos. El diseño de la base de datos contiene las formas de cómo la información está relacionada, la escala de trabajo, integridad, dependencia, temporalidad, cobertura geográfica y los procesos de análisis que se han llevado durante la elaboración del SIG. Esto ha permitido definir los componentes físicos del SIG (software y hardware), dado que el problema y la información a emplear deberá regular la infraestructura y no de forma contraria. En la Tabla 5.1 se muestra el software y hardware empleado en la elaboración del SIG de la cuenca Puyango - Tumbes:

**Tabla 5.1: Componentes físicos y lógicos del SIG de la cuenca Puyango - Tumbes**

Software	Hardware	Periféricos
Windows 98, Windows NT	PC-Pentium III - 450Mhz	Tablero digitalizador Summagrid V (36" x 48")
AutoCAD Land 14	Disco Duro 10GB	Unidad de CD lectura-escritura
AutoCAD Map	56 MB RAM	Plotter HP DesingJet 450 C
Excel 2000	Monitor SVGA 1024x768	Scanner HP
Surfer, Ski Pro	Floppy de 3 ½ - 1.44 Mb	
Arc View GIS 3.1 (y extensiones)		



**Figura 5.1: Metodología para el diseño e implementación del SIG**

Entre las funciones que se han desarrollado con estos equipos están desde la digitalización de los mapas y cartas nacionales hasta la depuración topológica, correcciones geométricas, cambios de proyecciones, cálculos hidrológicos, generación de productos cartográficos y reportes estadísticos.

Una vez que la base de datos está diseñada, el proceso de conversión a formato digital fue el siguiente paso. En este sentido, es importante la adecuada aplicación de los controles de calidad y tiempos de ejecución. La revisión global hasta este punto ha sido una tarea obligatoria.

A partir de la base de datos digital, adecuadamente y con las características definidas en el inicio del diseño, los procesos de análisis son relativamente sencillos y rápidos. Hay que señalar que alrededor del 70% del tiempo y de los recursos en general, es lo que conlleva la construcción de la base de datos.

Finalmente, y toda vez que la aplicación de análisis fue conforme a la adecuada aplicación de criterios y métodos, es de esperarse la obtención de resultados que apoyen un adecuado proceso de toma de decisiones.

## 5.2 Base de datos generada

Para la elaboración del SIG de la cuenca Puyango – Tumbes se ha generado la siguiente base de datos, habiéndose usado para su elaboración el Excel, exportado estos datos con extensión dbf y anexados al SIG; asimismo se ha recopilado información de diferentes fuentes entre los que se pueden citar son el Atlas del Perú, Cartas Nacionales en escala 1:100,000, estudios anteriores de la Cuenca del Río Puyango – Tumbes.

Toda la información existente en la base de datos se ha descrito detalladamente en el capítulo III, por lo que en esta sección del presente capítulo solo se mencionará los principales lineamientos que componen la base de datos. En el anexo C se muestran las tablas generadas en Arc View.

- Climatología: Sobre la base de la información climatológica disponible dentro de la cuenca o en su defecto de las zonas más cercanas a ella, se ha comprendido los siguientes aspectos:
  - Temperatura (máxima, mínima, promedio anual).
  - Precipitación (precipitación promedia mensual, precipitación promedia anual sin niño, precipitación promedia anual con niño).
  - Humedad relativa.
  - Tipos de clima, según la división climática de Koppen.
- Hidrogeología: La información se ha basado en el Atlas del Perú [IGN, 1989].
  - Mapa hidrogeológico.
- Geomorfología: Se muestra las características fisiográficas que se enmarcan en la cuenca, especialmente en la parte peruana, que es donde se tiene más información.
  - Topografía de la cuenca.
  - Superficie de la cuenca.
  - Área y forma de la cuenca:
    - Factor de forma.
    - Índice de compacidad.
  - Sistema de drenaje.
    - Grado de ramificación.
    - Densidad de la cuenca.
    - Elevación de la cuenca.
    - La pendiente de la cuenca.
    - Polígono de frecuencia.
    - La curva hipsométrica.
- Suelos: La información se ha basado en el Atlas del Perú [IGN,1989].
  - Mapa de suelos.
- Hidrología: análisis descriptivo y evaluativo de los siguientes aspectos fundamentales
  - Conformación de la red hidrológica.
  - División en unidades hidrológicas.
  - Mapas de isoyetas.
  - Análisis de caudales.

- Otros
  - Datos poblacionales.
  - Redes viales.
  - Fotografías de Tumbes.

## 6 Resultados

### 6.1 Alcances del producto

El SIG de la cuenca del río Puyango – Tumbes para la gestión de los recursos hídricos se ha desarrollado empleando el ArcView 3.1, extensiones del ArcView y el AutoCad Map para el desarrollo de las topologías.

El objetivo del SIG es estudiar las características principales de la cuenca del río Puyango - Tumbes, tales como topografía, climatología, geología, geomorfología, etc.; asimismo el cálculo de caudales de diseño para la ciudad de Tumbes, elaboración de mapas de isoyetas para años normales y años con fenómenos de “El Niño” almacenando la máxima información disponible en formato digital con su respectiva base de datos, lo que permitirá manejar toda esta información de una manera mucho más práctica y sencilla, con la posibilidad de añadir datos a futuro, ver Figura 6.1.

El SIG consta de diferentes vistas, cada una de las cuales tiene información específica, Se empieza el análisis con una visión general de la cuenca, es decir su ubicación dentro de Perú y Ecuador, el área que abarca en cada país, haciendo luego un estudio más detallado de la cuenca, sobre todo de la parte peruana, cuya información se encuentra disponible. En la figura 6.1 podemos darnos una idea de la superficie que abarca la cuenca en territorio ecuatoriano así como en la peruana; 3846.08 Km<sup>2</sup> y 1955.94 Km<sup>2</sup> respectivamente.

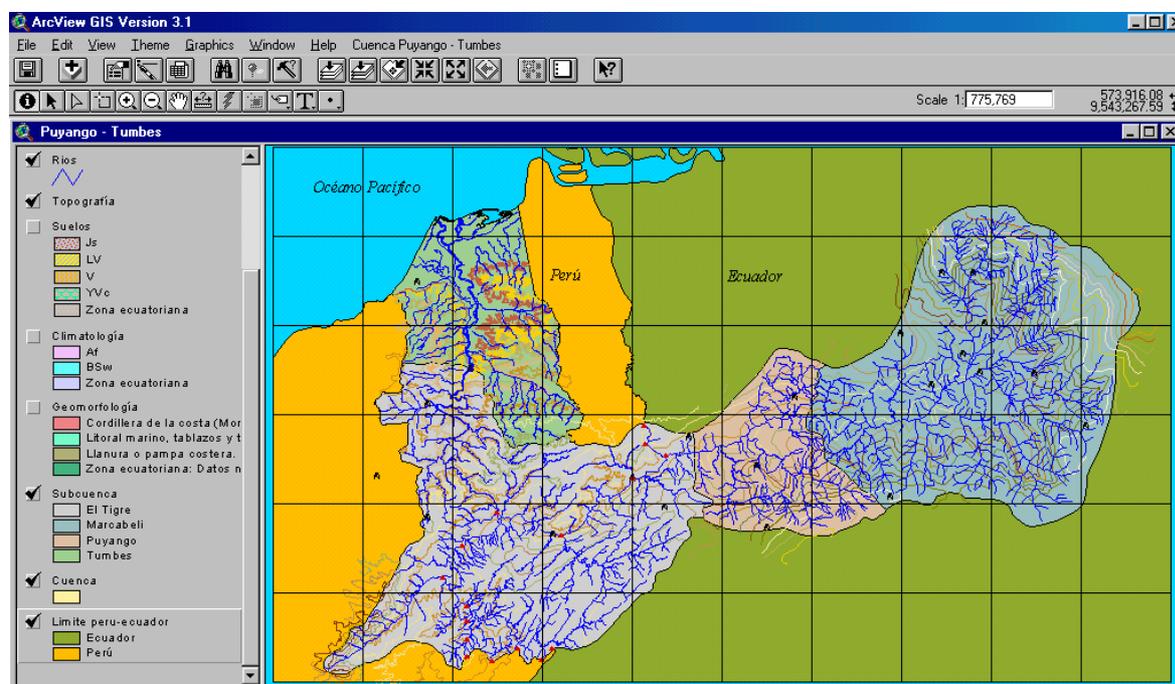
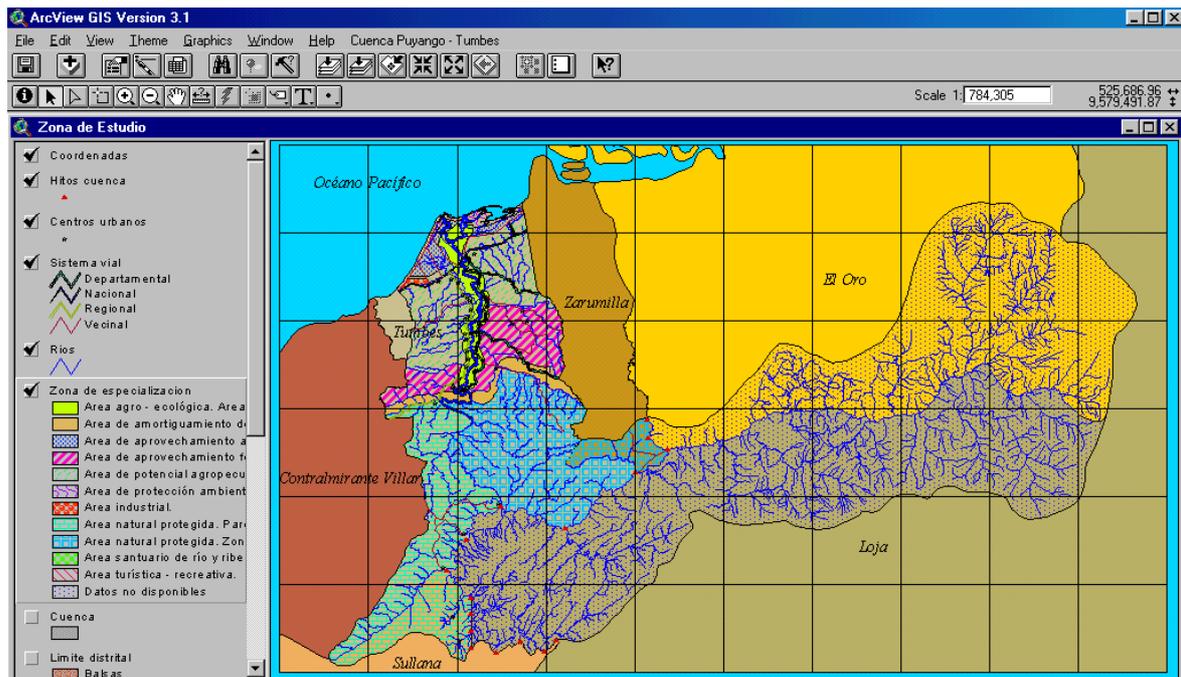


Figura 6.1: Mapa de la Cuenca del río Puyango – Tumbes

Luego se hace un análisis de la zona de estudio donde se puede ubicar las diferentes poblaciones asentadas a lo largo del río Tumbes, cuál ha sido su crecimiento poblacional, el sistema vial que une a los principales centros poblados y las distancias de separación entre cada uno de ellos, ver Figura 6.2.

Además se muestra las diferentes zonas de especialización para la zona de la cuenca en el Perú, los hitos fronterizos y los límites distritales y provinciales tal como se puede ver en la Figura 6.2.



**Figura 6.2:** Vista que muestra los diferentes temas para la zona de estudio

Por otro lado, se puede ubicar y visualizar las estaciones meteorológicas, tanto de precipitaciones como de caudales que han sido distribuidas a lo largo de la cuenca, cómo se comportan las precipitaciones y caudales en la cuenca en diferentes años, tal como se puede apreciar en la Figura 6.3, lo que da una idea de la poca cantidad de estaciones que posee esta cuenca y en muchos casos muy distanciadas una de la otra, motivo por el cual se tuvo que hacer uso de estaciones aledañas que pertenecen a otras cuencas.

Cabe mencionar que como resultado de diferentes factores tales como la influencia del fenómeno de El Niño, las características propias de la zona, la indiscriminada deforestación debido a la acción de animales y del hombre, así como otros factores, la geomorfología del río Tumbes se ha ido modificando a lo largo de los diferentes años, tal como se puede apreciar en la Figura 6.4, lo que ha conllevado a la pérdida de terrenos de cultivos, muchos de los cuales no se han podido recuperar.

Por otro lado, podemos obtener la información de los ríos y quebradas de la cuenca, cuál es la longitud promedio y a qué subcuenca pertenece, dando una idea más clara de cuán densa es la hidrografía en la cuenca, ver Figura 6.5.

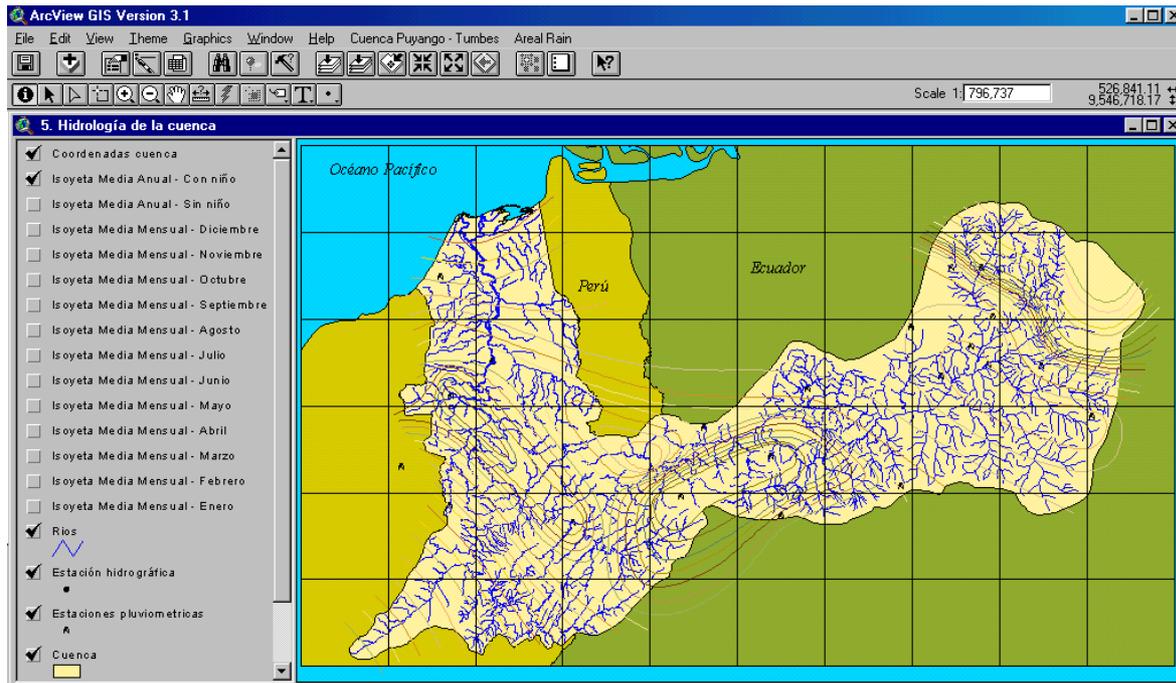


Figura 6.3: Estaciones pluviométricas en la cuenca

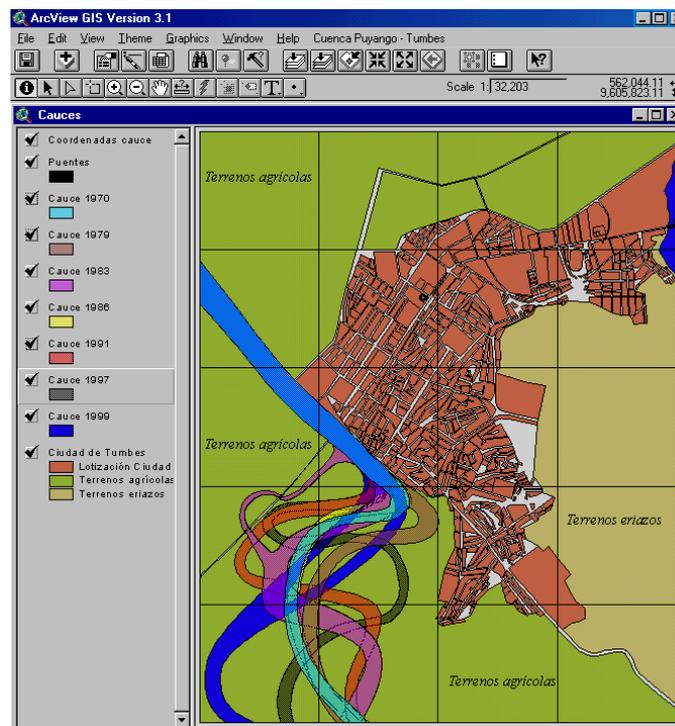


Figura 6.4: Geomorfología del río Tumbes (Curva el Piojo - Ciudad de Tumbes)

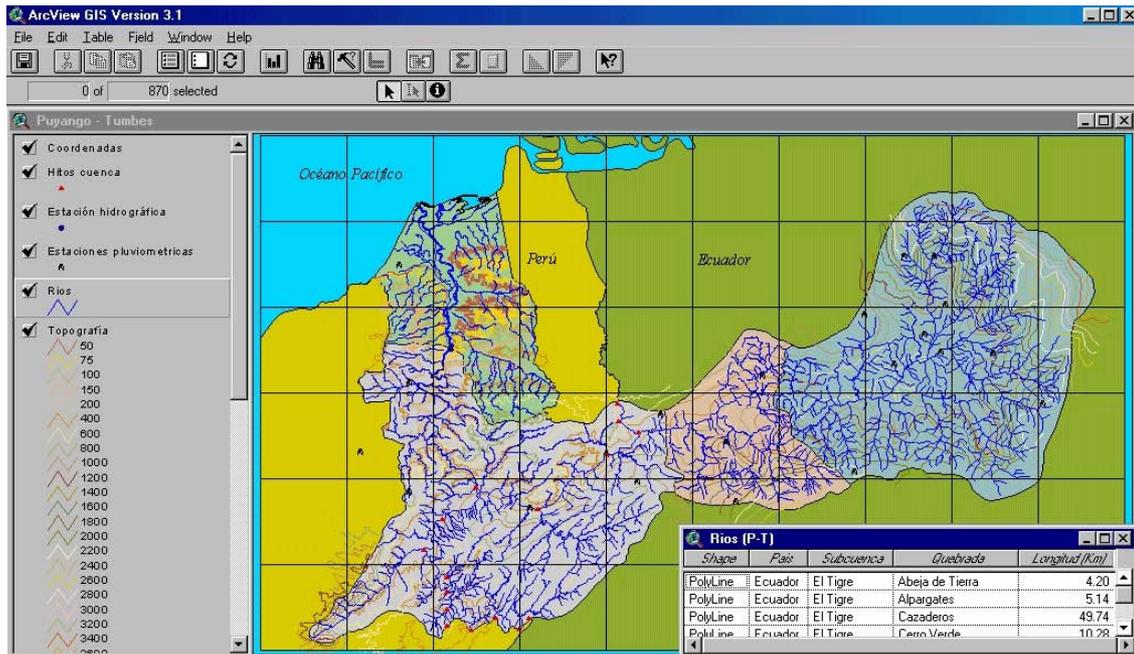


Figura 6.5: Información de ríos y quebradas en la cuenca

El SIG de la cuenca del río Puyango – Tumbes para la gestión de los recursos hídricos es una herramienta que va a permitir tomar decisiones a futuro desde varios puntos de vista y debido a las características del software, su uso es sencillo además de ser dinámico es decir los datos que se ingresen, se reflejarán automáticamente.

## 6.2 Consulta del SIG

Para poder hacer uso del SIG de la cuenca del río Puyango Tumbes para la gestión de los recursos hídricos se necesita tener instalado el ArcView, software que se ha descrito en el capítulo 4 de esta tesis. Para abrir el proyecto se debe emplear el archivo que se encuentra en la siguiente ruta: D:\Puyango – Tumbes.apr.

El proyecto del SIG de la cuenca del río Puyango Tumbes para la gestión de los recursos hídricos se ha dividido en 06 vistas, 62 tablas, 25 gráficos, 7 scripts y 01 dialogs, cada uno de los cuales posee información específica.

En el menú principal se ha creado una opción que se llama Cuenca Puyango-Tumbes que permite tener acceso directo a cada vista, para cada opción se ha escrito un pequeño programa haciendo uso del avenue, el listado de los programas se muestran en el apéndice D, ver Figura 6.6.

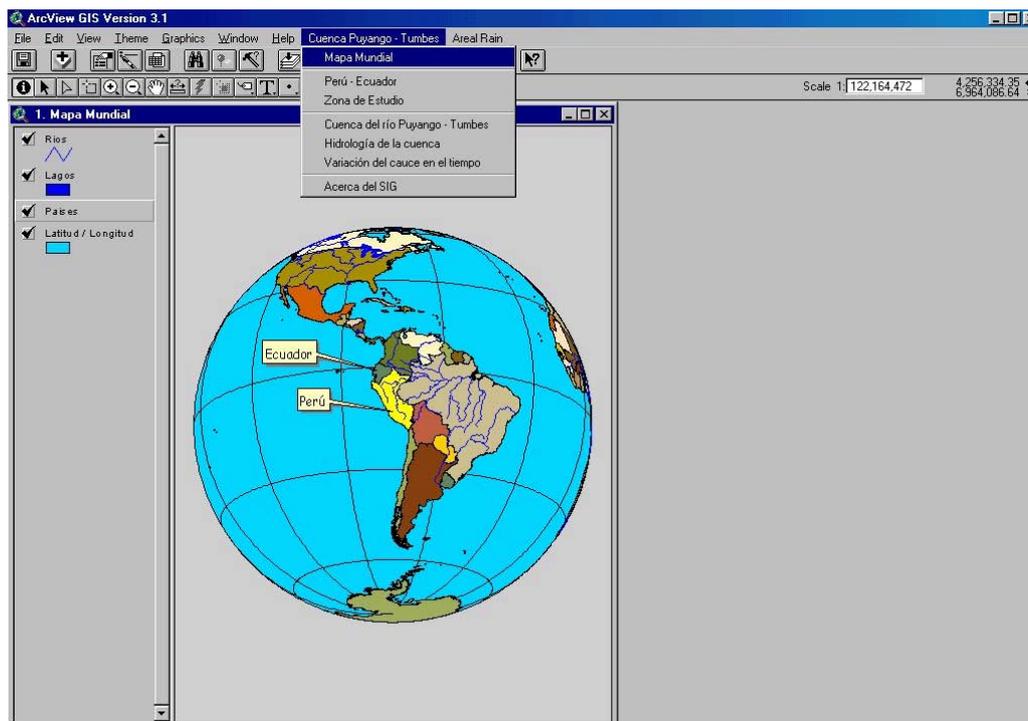


Figura 6.6: Menú principal de la cuenca Puyango - Tumbes

### 6.2.1 Mapa mundial

Esta vista se muestra automáticamente después de ingresar al Arc View, ver Figura 6.7. En esta vista se tiene 4 temas: Ríos, Lagos, Países y Latitud / longitud, cada una de las cuales posee información específica.

Las propiedades de esta vista se pueden apreciar en la opción View/Properties/Projection, ver Figura 6.8. Las características de esta vista son las siguientes:

- Proyección : Ortográfica - Esférica
- Meridiano Central : -75
- Latitud : -17

Para observar la información básica existente en cada país, ríos o lagos, en primer lugar se debe tener activado el tema cuya información se desea saber, enseguida se debe presionar el ícono  sobre el lago, país o río, según sea el caso y se desplegará automáticamente la información que se encuentra almacenada en la base de datos del SIG, ver Figura 6.9.

Para poder observar toda la base de datos que contiene cada tema se debe tener activado el tema específico, finalmente se presiona el icono  mostrándonos la base de datos para ese tema, ver Figura 6.10.

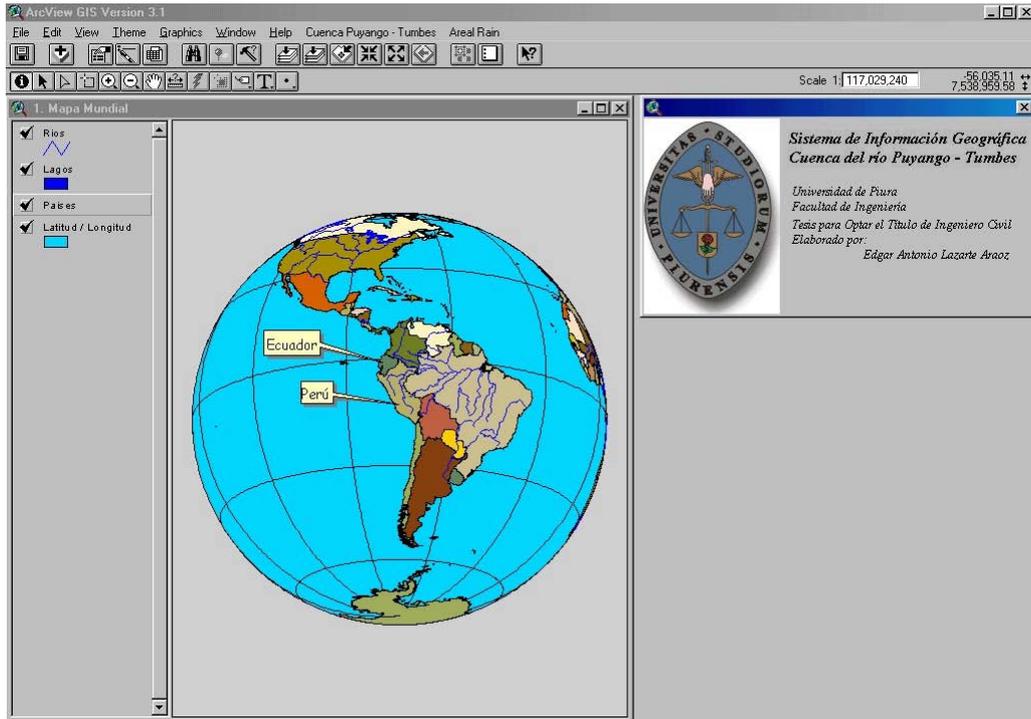


Figura 6.7: Mapa Mundial

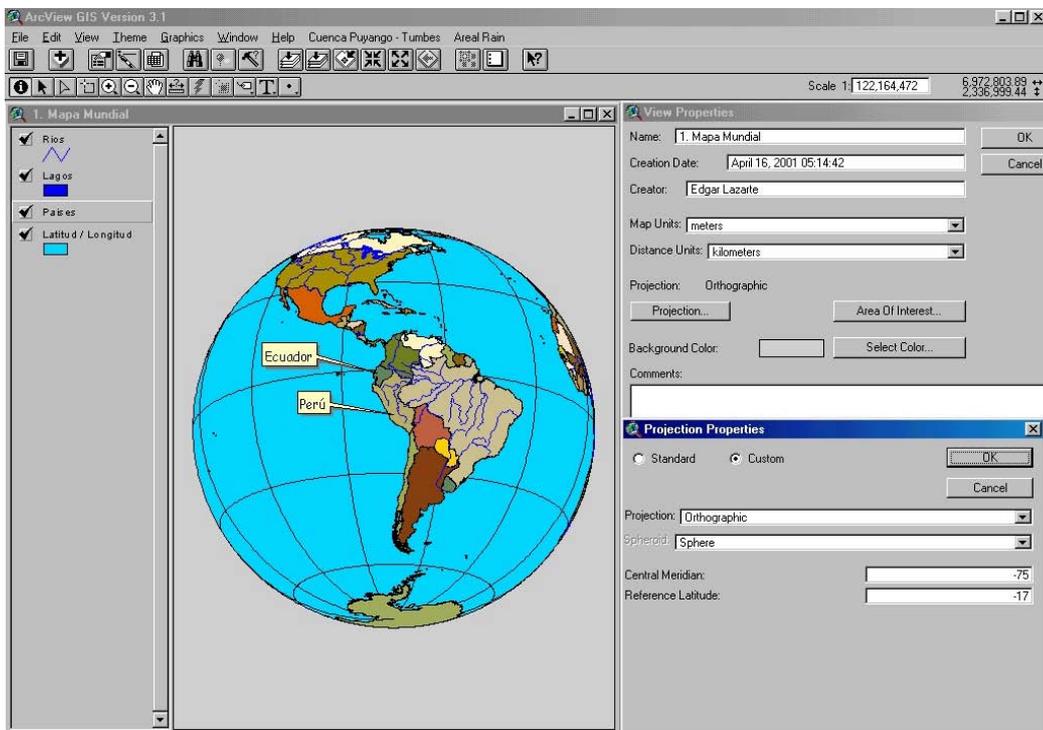


Figura 6.8: Propiedades de la Vista Mapa Mundial

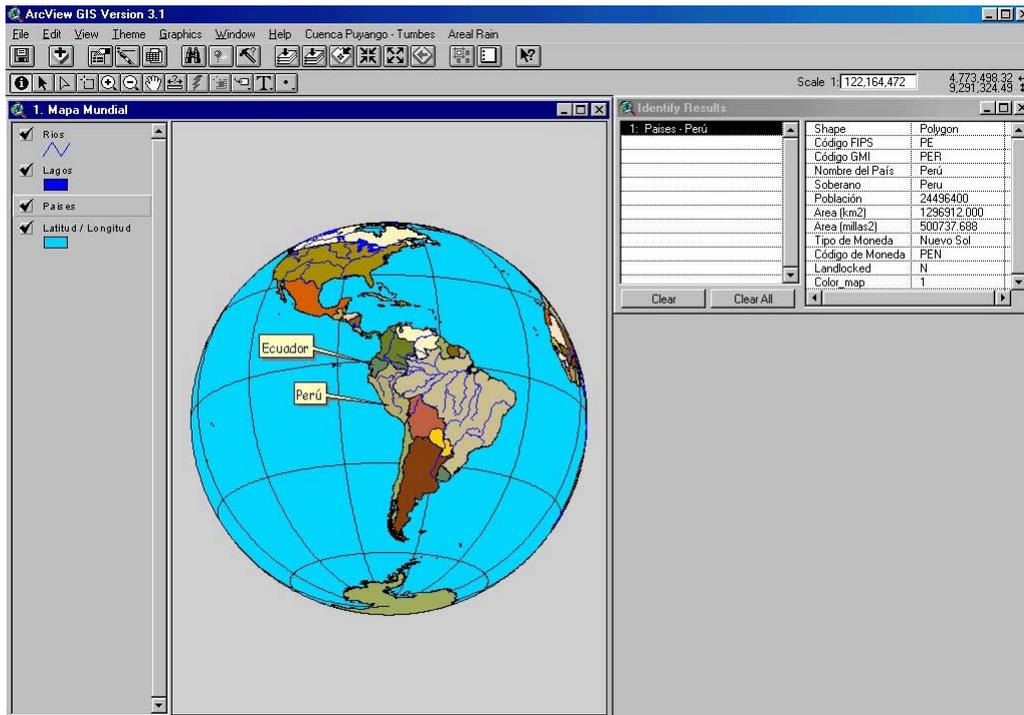


Figura 6.9: Base de datos desplegada

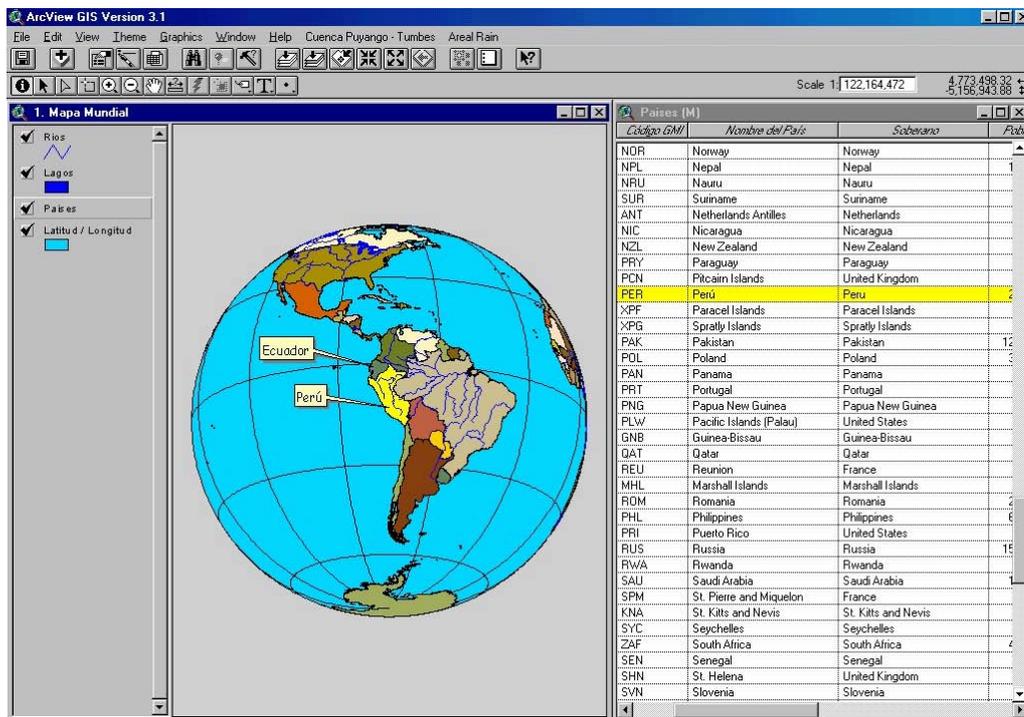


Figura 6.10: Base de datos para el tema países

## 6.2.2 Perú - Ecuador

Para poder tener acceso a esta vista se debe seleccionar la opción Perú – Ecuador del menú principal, ver Figura 6.11.

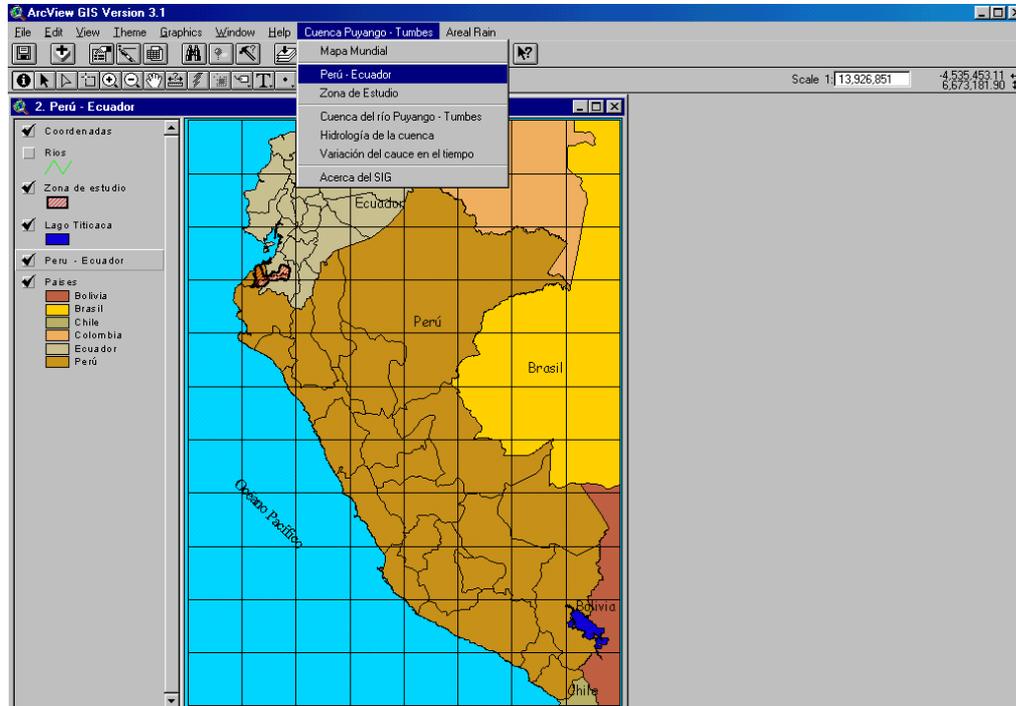


Figura 6.11: Vista Perú - Ecuador

En esta vista se aprecia tanto al Perú como al Ecuador, con información básica de cada provincia, además de los países fronterizos del Perú, la zona que abarca la cuenca del río Puyango Tumbes; así como también, los ríos y quebradas que pertenecen a esta cuenca.

Para tener acceso a la información existente en la base de datos se debe seguir el mismo procedimiento explicado anteriormente. Una manera es seleccionar el ícono  que desplegará la información específica para el elemento señalado del tema activado; pero si se quiere ver toda la información existente en la base de datos del tema activado se debe presionar el ícono , ver Figura 6.12.

## 6.2.3 Zona de Estudio

Para tener acceso a esta vista se debe ir al menú principal y seleccionar la opción Cuenca Puyango – Tumbes y enseguida Zona de estudio, ver Figura 6.13.

En esta vista se puede apreciar los hitos, centros urbanos, sistema vial, zonas de especialización, límite distrital y provincial que abarca la Cuenca del Río Puyango – Tumbes y tal como se ha explicado anteriormente se puede tener acceso a la información de esos temas, ver Figura 6.14.

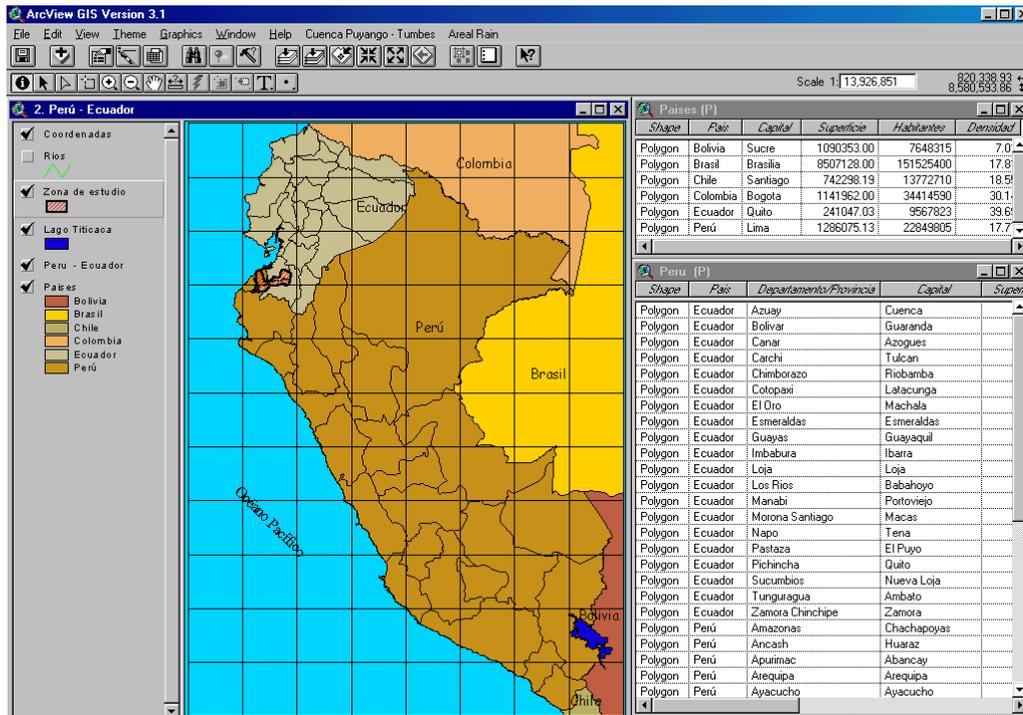


Figura 6.12: Base de datos para la vista Perú - Ecuador

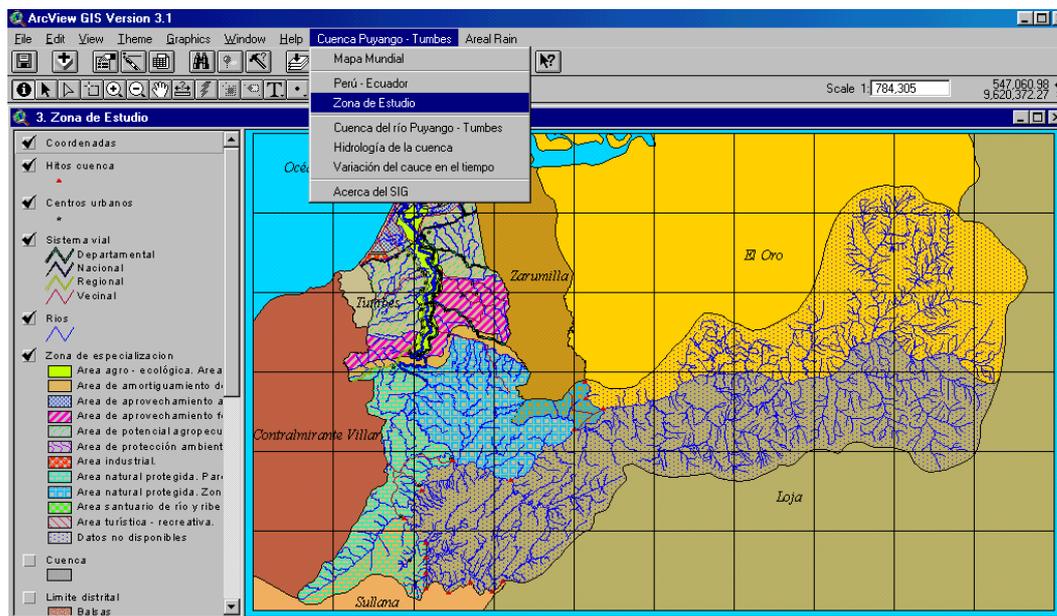


Figura 6.13: Vista Zona de estudio

Además se puede ver como es la densidad poblacional en la zona peruana de la cuenca, pudiéndose hacer una proyección a futuro y qué vías de comunicación se deben mejorar para tener acceso a esas poblaciones, muchas de las cuales están asentadas a lo largo del río Tumbes en la zona agro-ecológica, zona caracterizada por su alto potencial agrícola, pero a su vez con la desventaja de ser inundada por las crecidas del río Tumbes, ver Figura 6.15.

Para tener acceso a la información que cuenta esta vista se puede proceder de la misma manera como se ha explicado en los acápites anteriores.

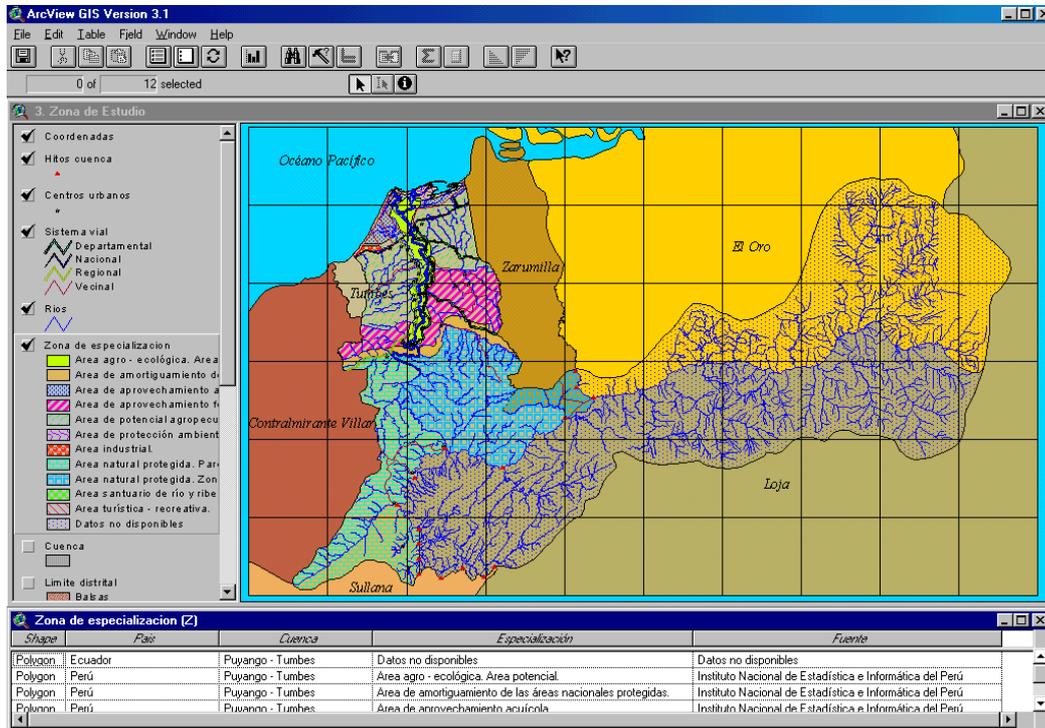


Figura 6.14: Base de datos en la vista Zona de estudio

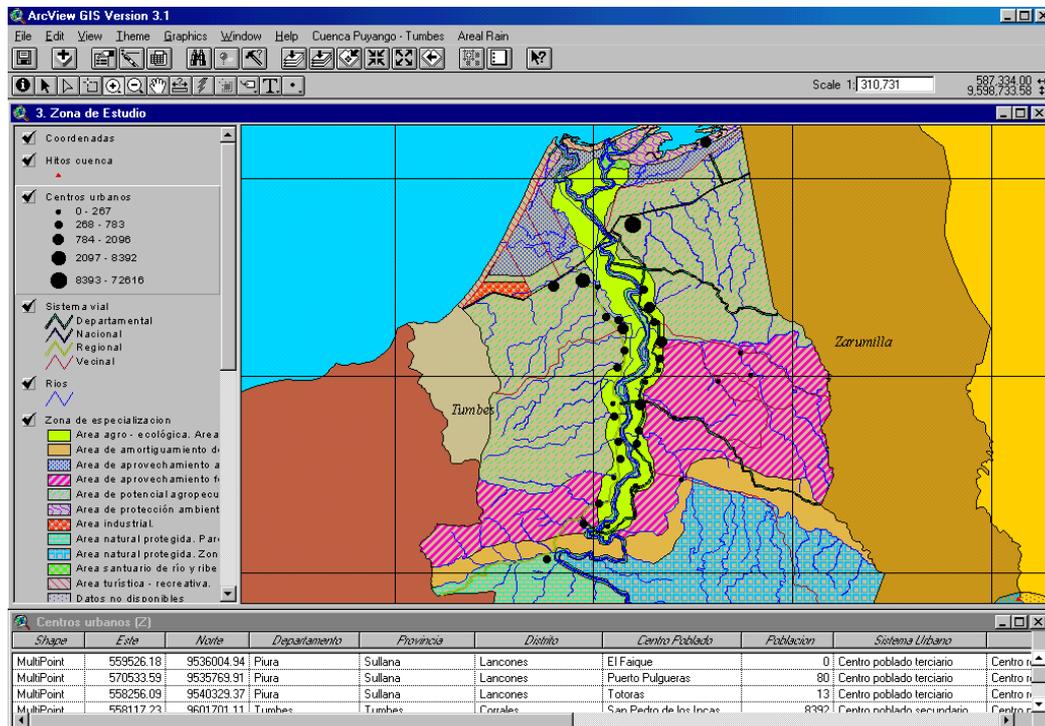


Figura 6.15: Ubicación de poblaciones a lo largo del río Tumbes

## 6.2.4 Cuenca del río Puyango - Tumbes

Para tener acceso a esta vista se debe ir al menú principal y seleccionar la opción “Cuenca del río Puyango – Tumbes” la cual nos direccionará inmediatamente a esa vista, ver Figura 6.16.

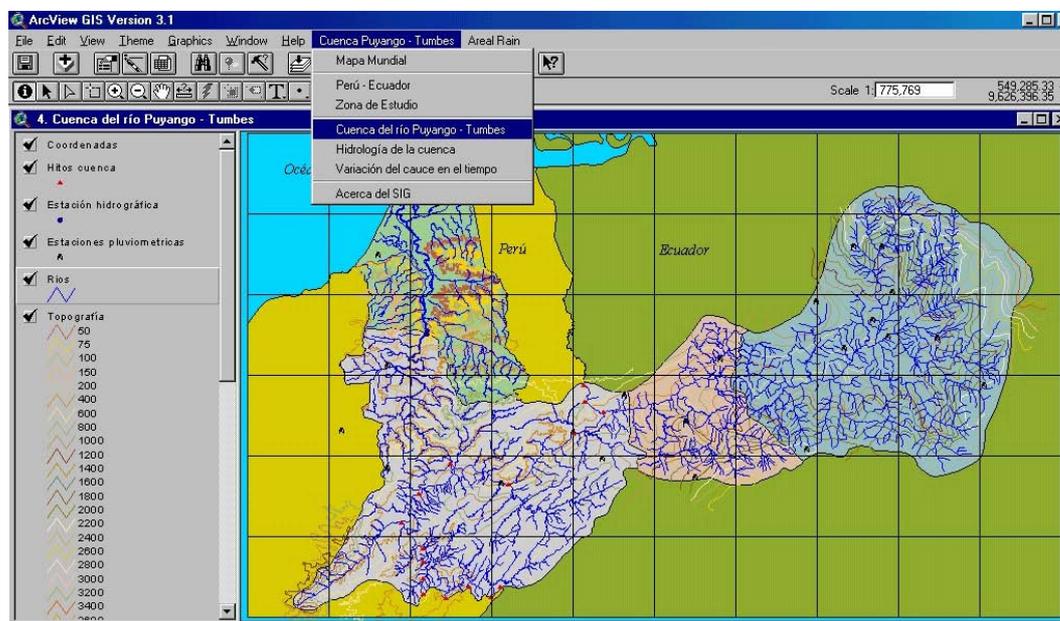


Figura 6.16: Vista Cuenca del río Puyango - Tumbes

En esta vista se tiene la información general de la cuenca tales como hitos, estaciones hidrográficas, estaciones pluviométricas, los ríos de la cuenca, topografía, suelos, climatología, geomorfología y las subcuencas, cada una de los cuales esta representada por temas con información específica, sobre todo de la parte peruana de la cuenca, ver Figura 6.17.

En esta vista se puede notar como es la variación topográfica en la cuenca, y tal como se explicó en el capítulo III la cuenca del río Tumbes la zona alta de la cuenca posee una pendiente de 7‰, la zona media de la cuenca posee una pendiente de 3‰ y la zona baja de la cuenca posee una pendiente de 1‰ tal como se puede apreciar en la Figura 6.17.

Para tener acceso a la información existente en la base de datos se debe seguir el mismo procedimiento explicado anteriormente. Una manera es seleccionar el ícono  que desplegará la información específica para el tema activado; pero si se quiere ver toda la información existente en la base de datos del tema activado se debe presionar el ícono .

Esta vista tiene dos vistas que esta entrelazadas, una es la vista hidrología y la otra es variación del cauce en el tiempo.

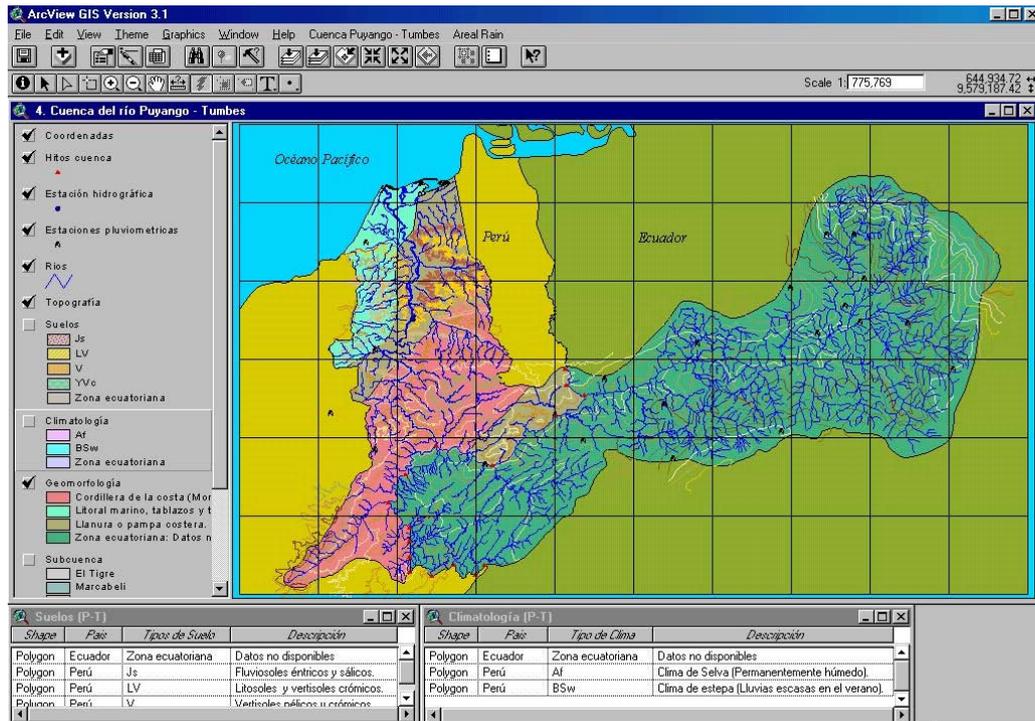


Figura 6.17: Base de datos que posee la cuenca del río Puyango – Tumbes

## 6.2.5 Hidrología

Para ingresar a esta vista se debe ir al menú principal y seleccionar la opción Hidrología de la cuenca, y de inmediato se abrirá esa vista, ver Figura 6.18.

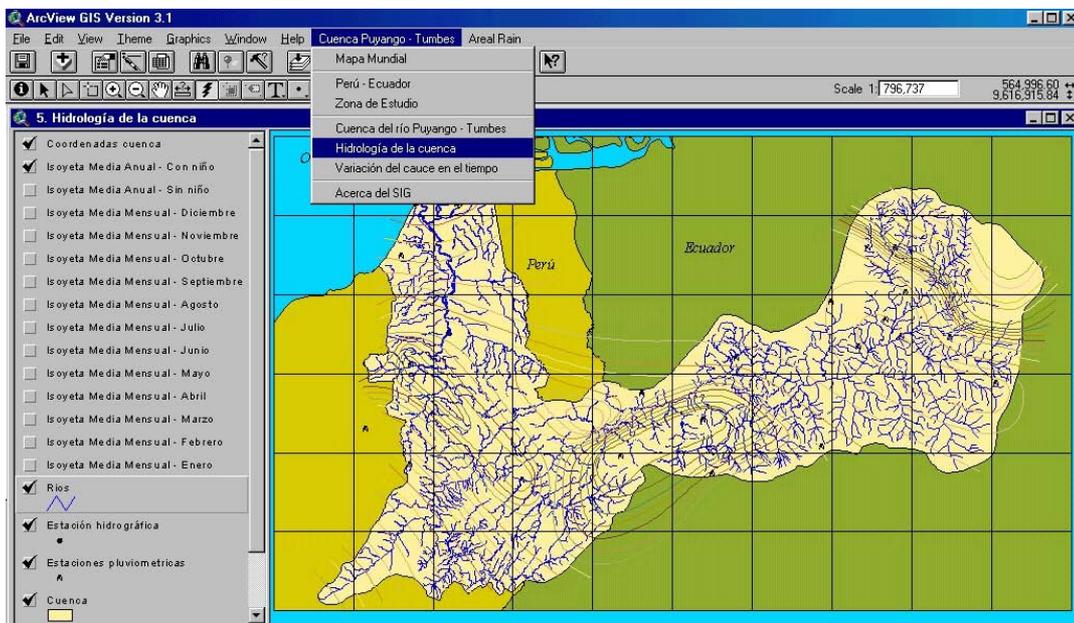


Figura 6.18: Vista hidrología de la cuenca

En la vista Hidrología podemos apreciar diferentes temas tales como curvas isoyetas de la cuenca para diferentes meses, los ríos de la cuenca, las estaciones pluviométricas de la cuenca, cada tema con su respectiva base de datos, ver Figura 6.19.

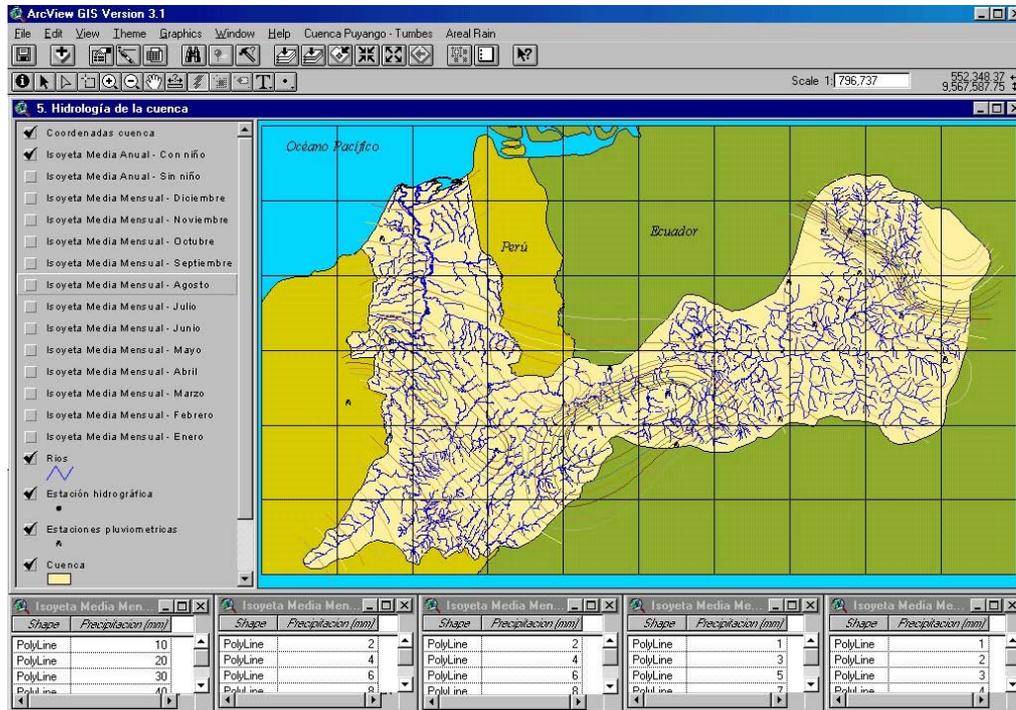


Figura 6.19: Base de datos de la vista hidrología de la cuenca

Además esta vista posee hotlinks o enlaces en los temas ríos, estaciones hidrográficas, estaciones pluviométricas y cuenca. Para observar esos enlaces se debe hacer uso del ícono , teniendo uno de los temas antes mencionados activados se presiona ese ícono en el mapa el cual nos llevará para el caso del tema ríos a la gráfica del perfil longitudinal del río Puyango–Tumbes tal como se puede observar en la Figura 6.20, para el caso del tema estaciones pluviométricas el enlace nos llevará a las gráficas de precipitaciones mensual de cada estación, para el periodo de lluvias analizado, ver Figura 6.21, para el caso del tema estaciones hidrográficas el enlace nos enviará a la gráfica de los caudales de diseño para el río Tumbes, ver Figura 6.22 y para el caso de la vista cuenca nos enviará a la grafica de la curva hipsométrica de la cuenca, ver Figura 6.23.

Para tener acceso a la información existente en la base de datos se debe seguir el mismo procedimiento explicado anteriormente. Una manera es seleccionar el ícono  que desplegará la información específica para el tema activado, pero si se quiere ver toda la información existente en la base de datos del tema activado se debe presionar el ícono .

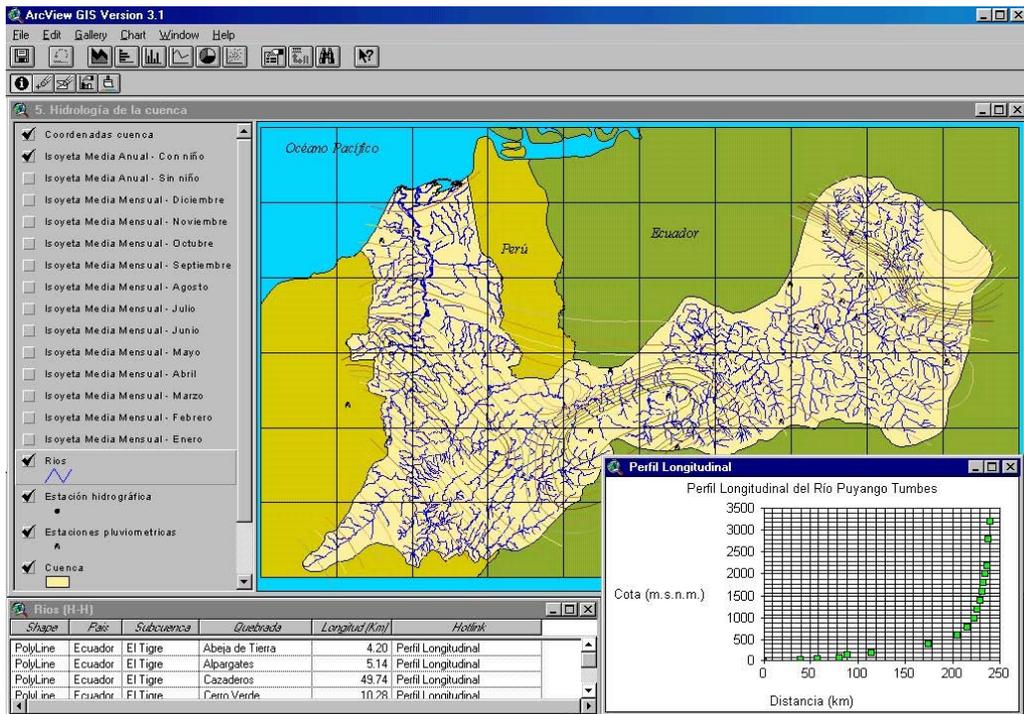


Figura 6.20: Perfil longitudinal en la Vista hidrología de la cuenca

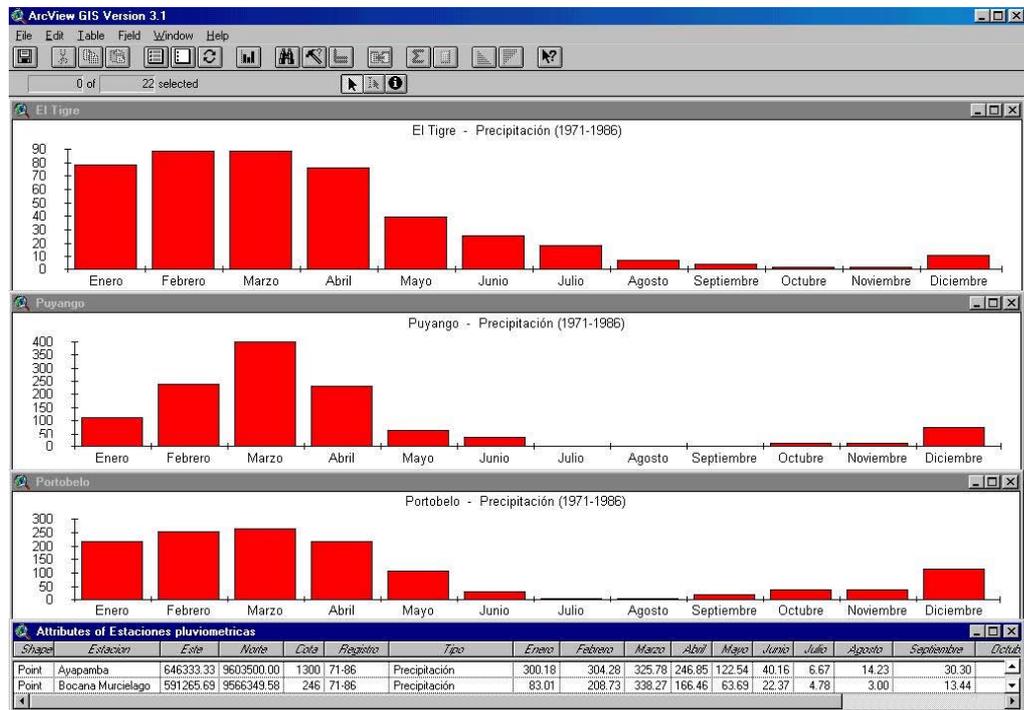


Figura 6.21: Gráficas de precipitaciones

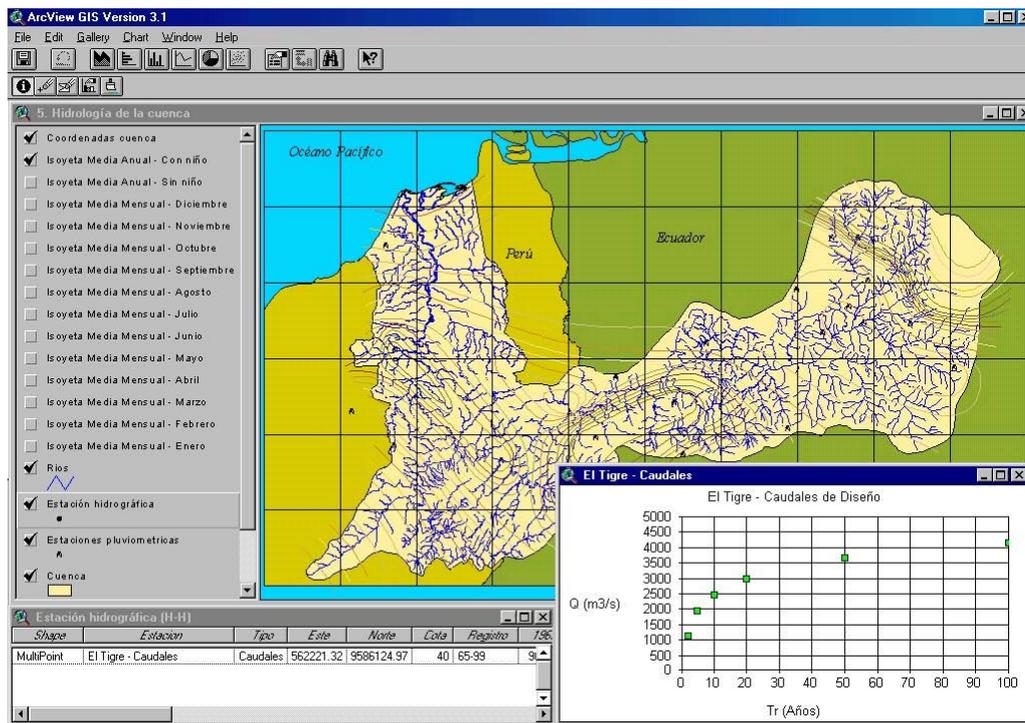


Figura 6.22: Caudales de diseño en la vista Hidrología de la cuenca

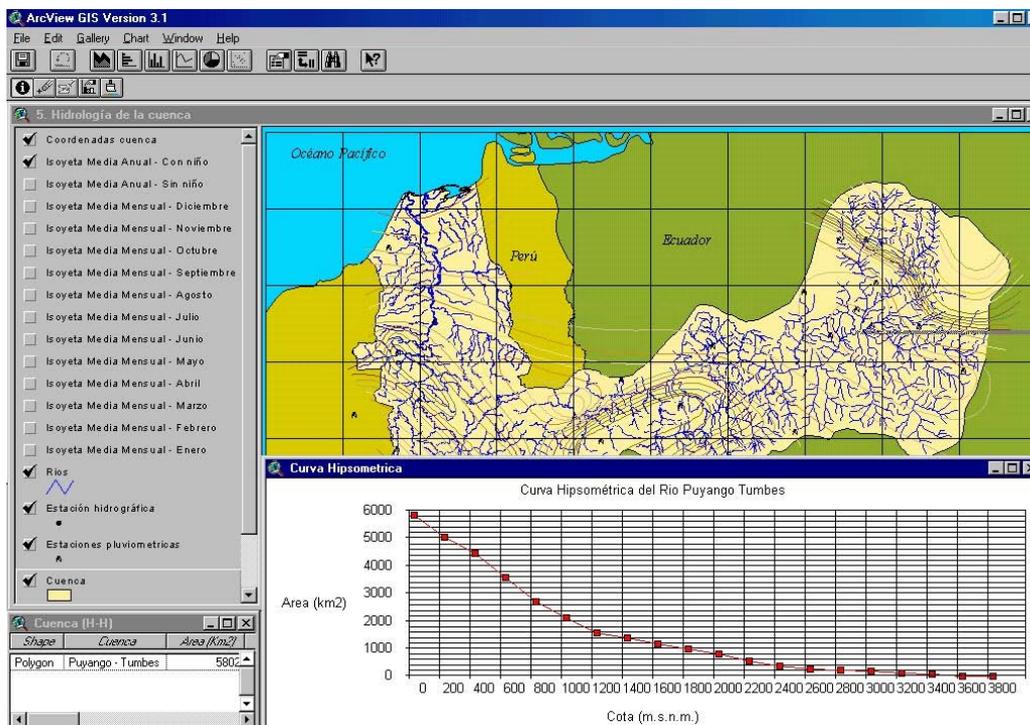
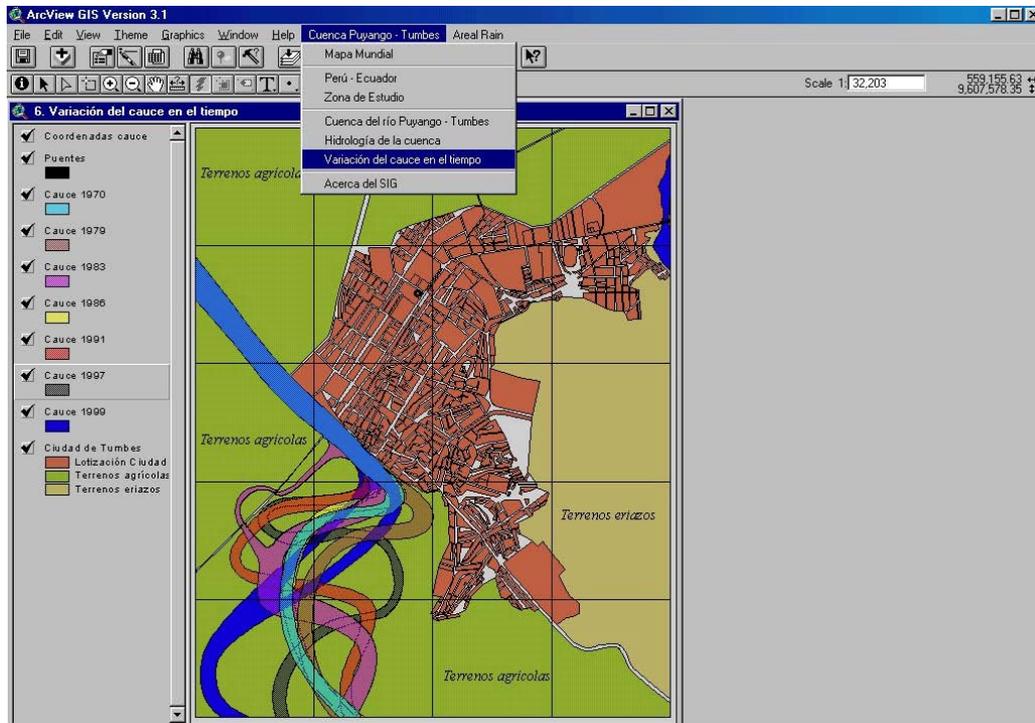


Figura 6.23: Curva hipsométrica en la vista Hidrología de la cuenca

## 6.2.6 Variación del cauce en el tiempo

Para tener acceso a esta vista se debe ir al menú principal y seleccionar la opción “Variación del Cauce en el Tiempo” ingresando inmediatamente a esta vista, ver Figura 6.24.



**Figura 6.24: Variación del cauce en el tiempo**

Lo que se presenta en esta vista es la variación del río Tumbes a la altura de la curva el Piojo durante los diferentes años, lo que ha significado en pérdida de tierras de cultivo. Cada tema posee su respectiva base de datos y si se desea tener acceso a la información existente se debe seguir el mismo procedimiento explicado anteriormente. Una forma es seleccionando el ícono  la cual desplegará la información específica para el tema activado, pero si se quiere ver toda la información existente en la base de datos del tema activado se debe presionar el ícono .

### 6.3 Actualización del sistema

El Sistema de Información Geográfica de la cuenca del río Puyango – Tumbes está dividido en dos áreas: la zona peruana, con información disponible y la zona ecuatoriana, de la cual no se tiene información.

La actualización del SIG es muy sencillo y los datos futuros que se ingresen, no sólo para completar información faltante sino también para ingresar la información más reciente se hará de la manera que se explica a continuación.

En primer lugar un tema en el ArcView posee tres archivos con las siguientes extensiones shp y shx, que son los archivos que almacenan la información gráfica, y la extensión dbf, que es la base de datos. Si queremos modificar la base de datos, ya sea actualizando o agregando información, debemos modificar el archivo con extensión dbf y una manera de modificarlo es empleando un programa que trabaje con base de datos tales como Excel o Access.

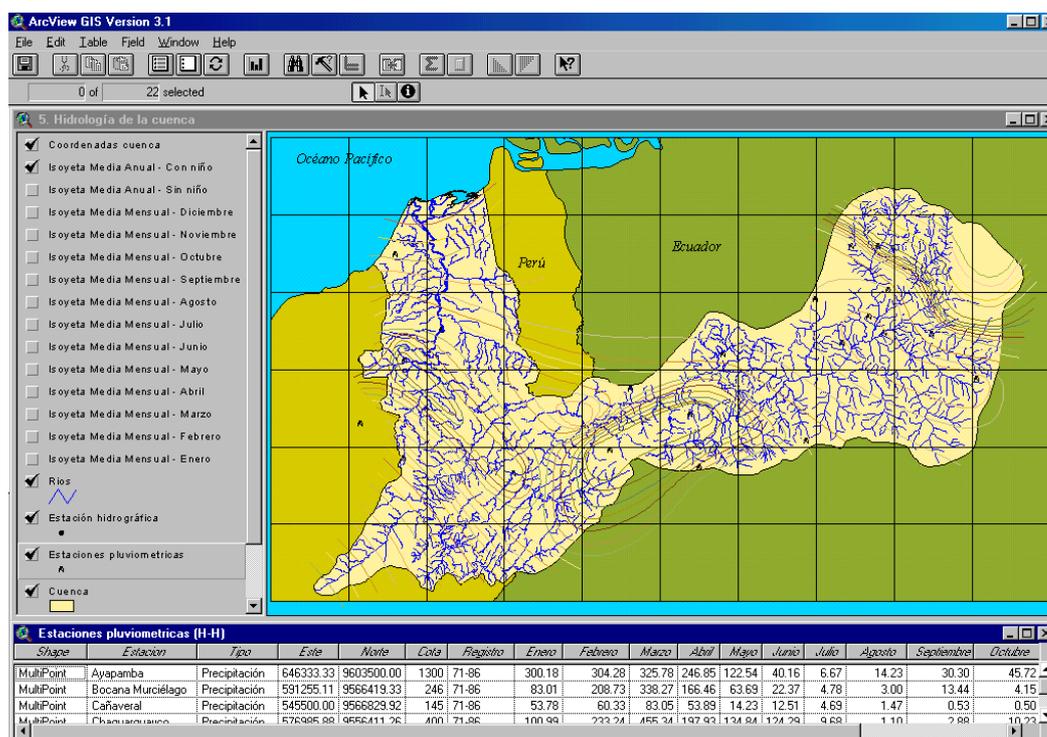


Figura 6.25: Base de datos para el tema estaciones pluviométricas

Pero también podemos trabajar directamente en el ArcView, primero debemos tener activada la vista y tema en la cual se encuentra la información que se desea editar, paso siguiente es presionar el ícono  que abrirá la base de datos del tema seleccionado, ver Figura 6.25. También se puede seleccionar el archivo con extensión dbf directamente desde la sección de tablas, en la pantalla del proyecto, abriendo el archivo que se desea modificar, ver Figura 6.26.

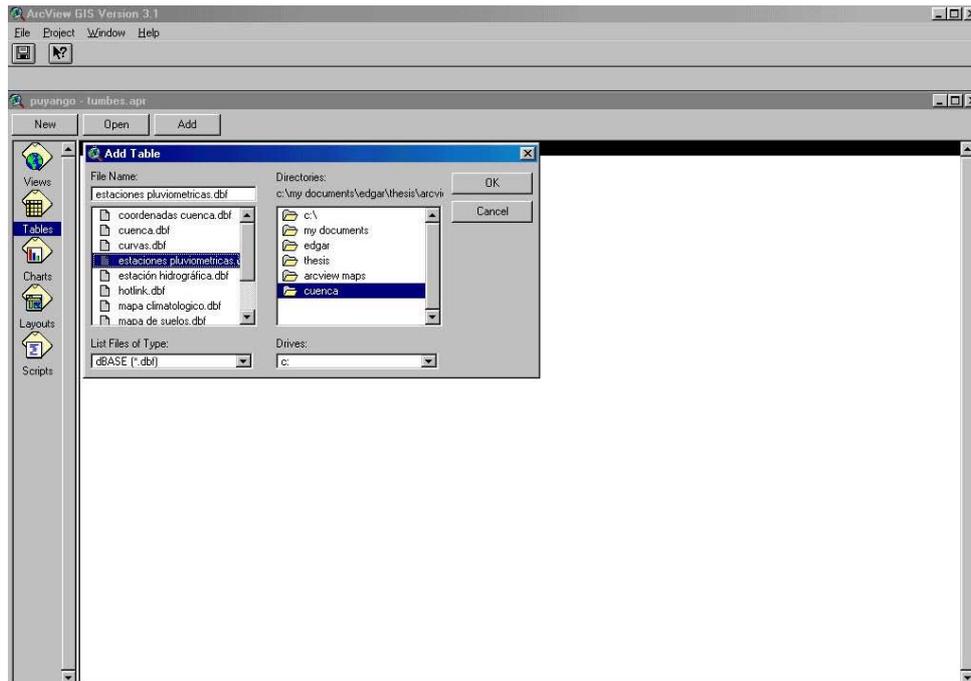


Figura 6.26: Abriendo una base de datos desde la función Tablas

Una vez estando en la tabla, para añadir más datos, primero se selecciona Table/Start Editing, paso siguiente es seleccionar Edit/Add File luego se presiona el ícono  y se posiciona el mouse en la fila donde se ingresará los datos, ver Figura 6.27.

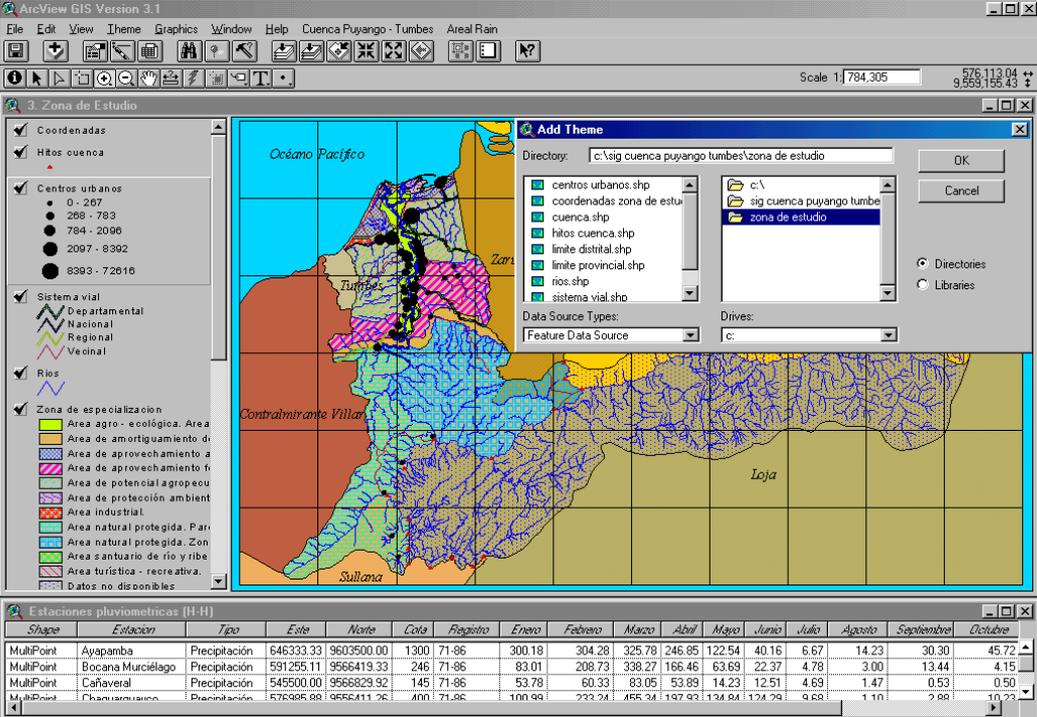
Estacion	Este	Norte	Cota	Registro	Tipo	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Nov
Ayapamba	646333.33	9603500.00	1300	71-86	Precipitación	300.18	304.28	325.78	246.85	122.54	40.16	6.67	14.23	30.30	45.72	
Bocana Murcielago	591265.69	9566349.58	246	71-86	Precipitación	83.01	208.73	338.27	166.46	63.69	22.37	4.78	3.00	13.44	4.15	
Cañaverall	545500.00	9566829.32	145	71-86	Precipitación	53.78	80.33	83.05	53.89	14.23	12.51	4.69	1.47	0.53	0.50	
Chaguarguayco	574833.33	9556196.64	400	71-86	Precipitación	100.99	233.24	455.34	197.93	134.84	124.29	9.68	1.10	2.88	10.23	
Ciano	613333.33	9568663.25	700	71-86	Precipitación	289.65	398.50	532.36	367.29	151.05	28.08	13.94	8.23	11.71	41.39	
El Cisne	672000.00	9575996.59	2340	71-86	Precipitación	166.99	239.45	235.66	143.11	51.51	15.16	11.72	14.98	17.94	75.46	
El Limo	596833.33	9561329.32	650	71-86	Precipitación	204.38	469.52	699.38	436.22	131.72	179.45	12.23	18.64	6.53	24.04	
El Tigre	562221.32	9586124.97	40	71-86	Precipitación	78.14	88.41	88.85	76.10	39.28	25.58	18.32	7.12	4.71	2.03	
Guayacan	644500.00	9583333.33	600	71-86	Precipitación	148.32	181.33	154.86	162.45	78.46	15.09	3.28	3.18	10.29	20.88	
Huasimo	554536.62	9599500.00	600	71-86	Precipitación	71.18	105.65	189.51	66.70	36.20	4.76	3.76	1.31	1.17	1.35	
Huertas	651833.33	9603500.00	1350	71-86	Precipitación	344.06	374.86	403.97	374.08	203.10	82.84	28.77	16.18	52.49	105.28	
Lauro Guerrero	637166.67	9563163.25	1750	71-86	Precipitación	255.99	387.14	460.13	298.37	69.49	40.11	3.44	11.09	15.70	29.86	
Los Cedros	552833.33	9601666.67	5	71-86	Precipitación	50.44	71.12	57.74	24.27	3.17	11.05	2.42	1.98	1.93	2.26	
Marcabelli	633500.00	9583333.33	680	71-86	Precipitación	182.44	304.16	295.97	246.74	108.03	34.99	8.09	7.45	16.36	22.78	
Mercadillo	615166.67	9557663.25	1420	71-86	Precipitación	148.87	293.45	345.49	291.20	98.93	24.84	8.40	3.71	8.62	19.35	
Moro Moro	639000.00	9592500.00	980	71-86	Precipitación	196.27	246.49	267.36	210.45	84.10	22.73	5.61	12.36	17.65	20.18	
Pindo	651833.33	9585210.15	520	71-86	Precipitación	185.62	238.25	236.96	191.21	96.98	26.97	3.84	6.53	23.83	34.49	
Portobelo	650000.00	9588833.33	920	71-86	Precipitación	215.43	253.85	262.43	215.34	106.82	32.06	5.94	8.03	22.03	39.20	
Puyango	601134.43	9573903.76	290	71-86	Precipitación	112.68	233.45	398.48	230.91	64.97	37.64	3.23	0.13	0.19	16.41	
Rica Playa	554666.67	9579882.45	70	71-86	Precipitación	101.71	120.75	132.60	109.76	95.41	21.35	4.83	4.78	2.65	0.39	
Salati	662833.33	9585252.36	1650	71-86	Precipitación	380.17	459.57	474.23	343.72	244.79	59.38	14.69	11.33	40.32	102.38	
Zaruma	653956.80	9594333.33	1150	71-86	Precipitación	207.84	218.44	289.82	203.18	111.38	22.98	8.52	9.47	41.37	26.74	

Figura 6.27: Base de datos desplegada y lista para modificar

Después de actualizar o modificar los datos se deberá grabar el archivo modificado reflejándose los cambios automáticamente en el ArcView.

Asimismo si se desea modificar o agregar algún tema es preferible hacerlo en autocad Map, y exportarlo como shp file, después de haber hecho la limpieza del dibujo, añadiendo la nueva capa o capa modificada en la vista respectiva, se selecciona el comando

View/Add Theme o el ícono  y se especifica la ruta del archivo que se va a añadir, ver Figura 6.28.



The screenshot shows the ArcView GIS interface. The main map area displays a study area with various thematic layers. The 'Add Theme' dialog box is open, showing a file list with 'zona de estudio' selected. The bottom panel shows a table of pluviometric stations.

Shape	Estación	Tipo	Este	Norte	Cota	Registro	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre
MultiPoint	Ayapamba	Precipitación	646333.33	9603500.00	1300	71-86	300.18	304.28	325.78	246.85	122.54	40.16	6.67	14.23	30.30	45.72
MultiPoint	Bocana Murciélago	Precipitación	591255.11	9566419.33	246	71-86	83.01	208.73	338.27	166.46	63.69	22.37	4.78	3.00	13.44	4.15
MultiPoint	Cañaveral	Precipitación	545500.00	9566829.92	145	71-86	53.78	60.33	83.05	53.89	14.23	12.51	4.69	1.47	0.53	0.50
MultiPoint	Chauquisuano	Precipitación	576905.88	9566411.26	400	71-86	100.99	232.24	465.24	197.93	124.84	124.29	9.68	1.10	2.88	10.22

Figura 6.28: Añadiendo una tema o theme a la vista Zona de Estudio

## Conclusiones

Una de las ventajas que ha demostrado el SIG es que permite manejar diferentes mapas a diferentes escalas, además de manejar la información contenida en su base de datos mucho más rápido y se evita un problema común que suele ocurrir con los mapas tradicionales como es la pérdida de archivos, confusión de mapas e información.

La información contenida en el SIG es compatible con los programas CAD.

Asimismo, el Arcview permite el ahorro eficientemente del tiempo para el cálculo de los diferentes parámetros de la cuenca, con la ayuda de extensiones, pudiendo el usuario crear sus propios programas.

El Arcview ha demostrado ser una herramienta efectiva para el desarrollo de este trabajo de tesis, además de haber demostrado ser una vía efectiva para actualizar, analizar y mostrar toda la información.

Por otro lado podemos decir que la cuenca en estudio sufre el mismo problema que sufren las demás cuencas en el Perú, que es la falta de suficientes estaciones meteorológicas, tal como se ha podido mostrar en los resultados.

Con respecto al río Puyango – Tumbes, sobre todo en la subcuenca del río Tumbes, en territorio peruano, los cambios climáticos debido a la recurrencia del fenómeno de “El Niño” y el mal manejo de la cuenca que deriva en deforestación de la zona baja de la cuenca han ocasionado problemas fluviales como el incremento de los caudales, modificación de la geomorfología, incremento de sedimentos, entre otros.

Además, podemos mencionar que la precipitación en la cuenca es típica en la zona, con grandes precipitaciones en los meses de verano, aumentándose considerablemente las lluvias en años con presencia de El Niño y pequeñas precipitaciones en el resto del año.

También podemos observar como es la variación demográfica en la zona peruana de la cuenca. Poblaciones generalmente asentados a lo largo del río Tumbes, muchas de las cuales están ubicadas en zonas inundables.

Asimismo, se puede observar que las redes viales que unen las diferentes localidades se encuentran mayormente concentradas en la zona baja de la cuenca, cruzando estas un número considerable de quebradas, las cuales quedan interrumpidas con el incremento de caudales dejando a las poblaciones muchas veces incomunicadas.

El estudio nos indica que la mayor área de drenaje se encuentra en la zona alta de la cuenca y que esta a su vez, recibe la mayor cantidad de precipitación anual, aportando un considerable caudal al río Puyango – Tumbes.

Finalmente esta Tesis ha ayudado a conocer de manera más profunda la Cuenca del río Puyango – Tumbes, sobre todo en territorio peruano, pudiendo decir que el manejo de esta cuenca no ha sido muy bien encaminado a lo largo de los años, no habiéndose aprovechado todo el potencial que posee esta región. Sin embargo lo más importante es educar a la población y autoridades para que en conjunto realicen un manejo racional de esta Cuenca.

## Recomendaciones

El SIG de la cuenca del río Puyango Tumbes para la gestión de los recursos hídricos es un modelo del mundo real; pero el mundo real está en un cambio constante, por lo tanto esos cambios deben ser reflejados en la base de datos del SIG, de lo contrario el sistema puede perder credibilidad.

Por otro lado, si se desea modificar o agregar alguna capa al SIG se recomienda preferiblemente hacerlo en Autocad Map, tanto la digitalización o modificación de algún mapa, debido al fácil empleo de este software.

Teniendo como base este estudio, se podrían hacer modelaciones de la cuenca sobre todo de la parte peruana. Entre las modelaciones que se pueden modelaciones hidrológicas usando softwares auxiliares que permitan modelar la cantidad de agua aportada por cada quebrada y como varían los niveles de agua en diferentes áreas a lo largo del río Tumbes, observando posibles áreas inundables, estudio que puede servir para un planeamiento futuro del departamento de tumbes.

Otro estudio que se sugiere, es la modelación de contaminantes en el río Tumbes, debido al arroyo desagües al río Tumbes al empleo de fertilizantes y plaguicidas para la agricultura, y cómo afecta esto al ecosistema.

Asimismo, se podría hacer una modelación de la geomorfología del río Tumbes, para lo cual se podría hacer uso de imágenes de satélites de diferentes años, analizando erosión y deposición del río Tumbes y como éste se ha ido comportando en los últimos años y pronosticar su comportamiento en el futuro. Este estudio nos daría una idea mucho más clara de puntos vulnerables a lo largo del río Tumbes.

Con la firma del tratado de Paz con el Ecuador se ha abierto una puerta para el intercambio de información, pudiendo ser tema de futuras investigaciones o temas de tesis completar la información de la cuenca en la zona ecuatoriana.

Aumentar el número de estaciones tanto pluviométricas como hidrográficas, a lo largo de la cuenca, así como también hacer un programa de capacitación a los operadores de las mismas de tal manera que los datos que se estén trabajando sean lo más confiable posibles.

Finalmente, puede decirse que como un futuro tema de investigación no sólo para la ciudad de Tumbes sino también para la ciudad de Piura y otras localidades es hacer un estudio de Modelo digital de elevaciones para ver zonas críticas, y zona de expansión de futuras poblaciones, haciendo uso del GPS diferencial que posee el Instituto de Hidráulica, que dará una idea mucho más real de las ciudades, pensándose en hacer un verdadero plan de desarrollo.

## Bibliografía

- Aranoff, S. (1989). *Geographic Information Systems: A management perspective*. Ottawa.
- Ball, D. y Babbage, R (1989). *Geographic Information Systems: Defense applications*, Pergamon Press. Australia.
- Bernhardsen, T. (1999). *Geographic Information Systems: An Introduction*. 2<sup>nd</sup> Edition. Norway.
- CGR (1974). *Estudio Hidrológico de la Cuenca Puyango – Tumbes. Proyecto Especial Puyango – Tumbes*.
- Chuvieco, E. (1996). *Fundamentos de Teledetección*. 1<sup>ra</sup> Edición. Madrid.
- Comas, D. y Ruiz, E. (1993). *Fundamentos de los Sistemas de Información Geográfica*. Barcelona.
- Davis, B. (2001). *GIS: A visual Approach*. 2<sup>nd</sup> Edition. Canada.
- Esri (1999). *Manual del Arc View*.
- Forrest, D. (1992). *Reflections on the future. Trends in Geographic Information Processing*. GIS World.
- Goodchild, M.F. (1991). *A spatial analytical perspective on Geographic Information Systems"*, *International Journal of Geographical Information Systems*.
- Gould, M. D. (1992). *El papel del geógrafo en el desarrollo de SIG*. Universidad de Zaragoza.
- Hank Hahm, C; Young Park, C & Sun Yun, J. (1996) *An extraction of the Hydrogeometric information by using Geographic Information Systems*. ESRI International User Conferences.
- Huxhold, W.E. (1991). *An Introduction to Urban Geographic Information Systems*, Oxford University Press, Oxford.
- IGN (1989). *Atlas del Perú*.
- IHHS (1994). *Balance Hídrico Superficial de la cuenca del Río Puyango – Tumbes*. Universidad de Piura.

- IHHS (2000). Estudio Integral de las defensas Ribereñas del Río Tumbes. Proyecto PNUD – Gobierno PER 97/031. CTAR – Tumbes.
- Larsson, G (1991). Land registration and cadastral systems, Longman Scientific and Technical, London.
- Lear, J; Zheng, S & Dunningan, B. (2000) Flood-prone area delineation using DEMs and DOQs. ESRI International User Conferences.
- Linsley Ray (1982). Hidrología para ingenieros.
- Mahoney, R.P. (1991). GIS and utilities. London.
- Miller, S; Guertin, P & Goodrich, D. (1996). Investigating stream channel morphology using a Geographic Information System. ESRI International User Conferences.
- Prom Perú (1998). Perú Et “El Niño”. Aprendiendo de la Naturaleza.
- Reyes, L. (1992). Hidrología básica, CONCYTEC, Lima.
- Scarborough, RW (1999) Can development be controlled with the help of GIS and watershed modelling? ESRI International User Conferences.
- Siderelis, K.C. (1991). Land Resource Information Systems. London.
- Tsanins, IK & Boyle, SJ. (1997) The development of fourth generation water resources/SIG applications. ESRI International User Conferences.
- Varas, E. y Bois P. (1998). Hidrología probabilística. Universidad Católica de Chile.
- Vélez, F. (1996). Introducción a los Sistemas de Información, Universidad de Antioquia. Medellín.

## **Apéndice A: Cálculo de precipitación media mensual y anual**

### A.1 Isoyetas años normales: anuales y mensuales

**Tabla A.1: Mes de Enero**

Precipitación de las isoyetas		Promedio entre isoyetas	Área entre isoyetas	Volumen precipitación entre isoyetas
(mm)	(mm)	(mm)	(Km <sup>2</sup> )	(km <sup>2</sup> *mm)
20	60	40	1483.28	59331.20
60	100	80	512.09	40967.20
100	140	120	895.90	107508.00
140	180	160	948.21	151713.60
180	220	200	702.86	140572.00
220	260	240	264.64	63513.60
260	300	280	140.49	39337.20
300	340	320	212.01	67843.20
340	380	360	115.41	41547.60
380	420	400	158.90	63560.00
420	460	440	178.61	78588.40
Total			5612.40	854482.00
Precipitación media de la cuenca (h <sub>m</sub> ):			152.25 mm	

**Tabla A.2: Mes de Febrero**

Precipitación de las isoyetas		Promedio entre isoyetas	Área entre isoyetas	Volumen precipitación entre isoyetas
(mm)	(mm)	(mm)	(Km <sup>2</sup> )	(km <sup>2</sup> *mm)
20	60	40	166.22	6648.70
60	100	80	643.34	51467.40
100	140	120	762.35	91482.00
140	180	160	576.69	92269.60
180	220	200	297.00	59400.00
220	260	240	734.50	176278.80
260	300	280	671.50	188020.00
300	340	320	607.39	194364.00
340	380	360	468.11	168519.60
380	420	400	200.00	80000.00
420	460	440	131.56	57884.20
460	500	480	210.35	100965.60
500	540	520	143.42	74575.80
Total			5612.40	1341875.70
Precipitación media de la cuenca (h <sub>m</sub> ):			239.09 mm	

**Tabla A.3: Mes de Marzo**

Precipitación de las isoyetas		Promedio entre isoyetas	Área entre isoyetas	Volumen precipitación entre isoyetas
(mm)	(mm)	(mm)	(Km <sup>2</sup> )	(km <sup>2</sup> *mm)
40	60	50	200.66	10033.13
60	100	80	500.49	40039.41
100	140	120	280.21	33625.52
140	180	160	338.32	54131.63
180	220	200	488.96	97792.53
220	260	240	633.37	152009.44
260	300	280	293.99	82317.95
300	340	320	746.17	238775.25
340	380	360	308.21	110956.56
380	420	400	601.88	240753.07
420	460	440	410.21	180493.57
460	500	480	244.87	117538.88
500	540	520	272.33	141612.99
540	580	560	186.58	104486.29
580	620	600	106.11	63667.60
Total			5612.40	1668233.83
Precipitación media de la cuenca (h <sub>m</sub> ):			297.24 mm	

**Tabla A.4: Mes de Abril**

Precipitación de las isoyetas		Promedio entre isoyetas	Área entre isoyetas	Volumen precipitación entre isoyetas
(mm)	(mm)	(mm)	(Km <sup>2</sup> )	(km <sup>2</sup> *mm)
20	60	40	696.90	27876.00
60	100	80	797.03	63762.40
100	140	120	556.25	66750.00
140	180	160	368.45	58952.00
180	220	200	993.17	198634.84
220	260	240	683.52	164043.79
260	300	280	515.78	144418.40
300	340	320	396.88	127001.60
340	380	360	269.15	96894.00
380	420	400	335.27	134108.00
Total			5612.40	1082441.03
Precipitación media de la cuenca (h <sub>m</sub> ):			192.87 mm	

**Tabla A.5: Mes de Mayo**

Precipitación de las isoyetas		Promedio entre isoyetas	Área entre isoyetas	Volumen precipitación entre isoyetas
(mm)	(mm)	(mm)	(Km <sup>2</sup> )	(km <sup>2</sup> *mm)
0	20	10	702.03	7020.30
20	40	30	495.57	14867.10
40	60	50	789.40	39470.00
60	80	70	1879.28	131549.60
80	100	90	726.20	65358.00
100	120	110	279.16	30707.60
120	140	130	67.68	8798.40
140	160	150	69.51	10426.50
160	180	170	104.40	17748.00
180	200	190	89.30	16967.00
200	220	210	88.39	18561.90
220	240	230	79.45	18273.50
240	260	250	242.03	60507.50
Total			5612.40	440255.40
Precipitación media de la cuenca (h <sub>m</sub> ):			78.44 mm	

**Tabla A.6: Mes de Junio**

Precipitación de las isoyetas		Promedio entre isoyetas	Área entre isoyetas	Volumen precipitación entre isoyetas
(mm)	(mm)	(mm)	(Km <sup>2</sup> )	(km <sup>2</sup> *mm)
0	10	5	1921.69	9608.45
10	20	15	705.62	10584.30
20	30	25	722.36	18059.00
30	40	35	438.87	15360.45
40	50	45	133.00	5985.00
50	60	55	165.26	9089.30
60	70	65	147.23	9569.95
70	80	75	174.42	13081.50
80	90	85	204.96	17421.60
90	100	95	464.49	44126.55
100	110	105	257.60	27048.00
110	120	115	147.01	16906.15
120	130	125	129.89	16236.25
Total			5612.40	213076.50
Precipitación media de la cuenca (h <sub>m</sub> ):			37.97 mm	

**Tabla A.7: Mes de Julio**

Precipitación de las isoyetas		Promedio entre isoyetas	Área entre isoyetas	Volumen precipitación entre isoyetas
(mm)	(mm)	(mm)	(Km <sup>2</sup> )	(km <sup>2</sup> *mm)
0	2	1	972.90	972.90
2	4	3	2013.41	6040.23
4	6	5	1040.00	5200.00
6	8	7	429.09	3003.63
8	10	9	162.53	1462.77
10	12	11	219.21	2411.31
12	14	13	133.30	1732.90
14	16	15	85.37	1280.55
16	18	17	83.18	1414.06
18	20	19	119.50	2270.50
20	22	21	125.65	2638.65
22	24	23	228.26	5249.98
Total			5612.40	33677.48
Precipitación media de la cuenca (h <sub>m</sub> ):			6.00 mm	

**Tabla A.8: Mes de Agosto**

Precipitación de las isoyetas		Promedio entre isoyetas	Área entre isoyetas	Volumen precipitación entre isoyetas
(mm)	(mm)	(mm)	(Km <sup>2</sup> )	(km <sup>2</sup> *mm)
0	2	1	2120.83	2120.83
2	4	3	839.79	2519.38
4	6	5	477.24	2386.21
6	8	7	473.06	3311.43
8	10	9	193.60	1742.41
10	12	11	400.19	4402.13
12	14	13	318.33	4138.31
14	16	15	141.75	2126.27
16	18	17	463.15	7873.57
18	20	19	184.44	3504.43
Total			5612.40	34124.97
Precipitación media de la cuenca (h <sub>m</sub> ):			6.08 mm	

**Tabla A.9: Mes de Septiembre**

Precipitación de las isoyetas		Promedio entre isoyetas	Área entre isoyetas	Volumen precipitación entre isoyetas
(mm)	(mm)	(mm)	(Km <sup>2</sup> )	(km <sup>2</sup> *mm)
0	5	2.50	2607.41	6518.53
5	10	7.50	797.50	5981.25
10	15	12.50	265.88	3323.50
15	20	17.50	871.27	15247.23
20	25	22.50	132.25	2975.63
25	30	27.50	113.03	3108.33
30	35	32.50	77.99	2534.68
35	40	37.50	79.58	2984.25
40	45	42.50	107.44	4566.20
45	50	47.50	85.83	4076.93
50	55	52.50	104.26	5473.65
55	60	57.50	106.64	6131.80
60	65	62.50	116.30	7268.75
65	70	67.50	99.65	6726.38
70	75	72.50	38.41	2784.73
75	80	77.50	8.96	694.40
Total			5612.40	80396.20
Precipitación media de la cuenca (h <sub>m</sub> ):			14.32 mm	

**Tabla A.10: Mes de Octubre**

Precipitación de las isoyetas		Promedio entre isoyetas	Área entre isoyetas	Volumen precipitación entre isoyetas
(mm)	(mm)	(mm)	(Km <sup>2</sup> )	(km <sup>2</sup> *mm)
0	10	5.00	2621.25	13106.25
10	20	15	767.16	11507.40
20	30	25	799.58	19989.50
30	40	35	114.24	3998.40
40	50	45	133.49	6007.05
50	60	55	153.57	8446.35
60	70	65	151.70	9860.50
70	80	75	100.98	7573.50
80	90	85	55.04	4678.40
90	100	95	59.68	5669.60
100	110	105	93.37	9803.85
110	120	115	89.42	10283.30
120	130	125	118.26	14782.50
130	140	135	119.57	16141.95
140	150	145	105.90	15355.50
150	160	155	98.59	15281.45
160	170	165	30.60	5049.00
Total			5612.40	177534.50
Precipitación media de la cuenca (h <sub>m</sub> ):			31.63 mm	

**Tabla A.11: Mes de Noviembre**

Precipitación de las isoyetas		Promedio entre isoyetas	Área entre isoyetas	Volumen precipitación entre isoyetas
(mm)	(mm)	(mm)	(Km <sup>2</sup> )	(km <sup>2</sup> *mm)
0	10	5.00	2314.87	11574.36
10	20	15.00	564.62	8469.30
20	30	25.00	573.90	14347.50
30	40	35.00	541.16	18940.60
40	50	45.00	429.14	19311.30
50	60	55.00	107.75	5926.25
60	70	65.00	179.47	11665.55
70	80	75.00	102.77	7707.56
80	90	85.00	67.06	5700.10
90	100	95.00	70.13	6662.11
100	110	105.00	83.08	8722.88
110	120	115.00	92.32	10616.23
120	130	125.00	106.44	13305.00
130	140	135.00	105.07	14184.45
140	150	145.00	82.74	11996.94
150	160	155.00	74.49	11546.34
160	170	165.00	62.20	10263.00
170	180	175.00	55.20	9660.44
Total			5612.40	200599.90
Precipitación media de la cuenca (h <sub>m</sub> ):			35.74 mm	

**Tabla A.12: Mes de Diciembre**

Precipitación de las isoyetas		Promedio entre isoyetas	Área entre isoyetas	Volumen precipitación entre isoyetas
(mm)	(mm)	(mm)	(Km <sup>2</sup> )	(km <sup>2</sup> *mm)
20	40	30.00	1754.63	52638.90
40	60	50.00	724.81	36240.50
60	80	70.00	123.77	8663.90
80	100	90.00	861.96	77576.40
100	120	110.00	640.86	70494.60
120	140	130.00	407.52	52977.60
140	160	150.00	179.07	26860.50
160	180	170.00	120.31	20452.70
180	200	190.00	82.23	15623.70
200	220	210.00	95.82	20122.20
220	240	230.00	112.78	25939.40
240	260	250.00	93.48	23370.00
260	280	270.00	108.24	29224.80
280	300	290.00	157.46	45663.40
300	320	310.00	149.46	46332.60
Total			5612.40	552181.20
Precipitación media de la cuenca (h <sub>m</sub> ):			98.39 mm	

**Tabla A.13: Promedio anual sin niño 1983**

Precipitación de las isoyetas		Promedio entre isoyetas	Área entre isoyetas	Volumen precipitación entre isoyetas
(mm)	(mm)	(mm)	(Km <sup>2</sup> )	(km <sup>2</sup> *mm)
0	200	100.00	81.54	8154.00
200	400	300.00	648.10	194430.00
400	600	500.00	659.32	329660.00
600	800	700.00	65.41	45787.00
800	1000	900.00	230.50	207450.00
1000	1200	1100.00	1328.08	1460888.00
1200	1400	1300.00	910.45	1183585.00
1400	1600	1500.00	332.81	499215.00
1600	1800	1700.00	472.26	802842.00
1800	2000	1900.00	143.74	273106.00
2000	2200	2100.00	96.39	202419.00
2200	2400	2300.00	108.63	249849.00
2400	2600	2500.00	133.99	334975.00
2600	2800	2700.00	118.57	320139.00
2800	3000	2900.00	113.32	328628.00
3000	3200	3100.00	94.34	292454.00
3200	3400	3300.00	74.95	247335.00
Total			5612.40	6980916.00
Precipitación media de la cuenca (h <sub>m</sub> ):			1243.84 mm	

**Tabla A.14: Promedio anual con niño 1983**

Precipitación de las isoyetas		Promedio entre isoyetas	Área entre isoyetas	Volumen precipitación entre isoyetas
(mm)	(mm)	(mm)	(Km <sup>2</sup> )	(km <sup>2</sup> *mm)
400	1200	800.00	480.90	384720.00
1200	2000	1600.00	1539.60	2463360.00
2000	2800	2400.00	1055.49	2533176.00
2800	3600	3200.00	805.00	2576000.00
3600	4400	4000.00	738.78	2955120.00
4400	5200	4800.00	222.94	1070112.00
5200	6000	5600.00	365.81	2048536.00
6000	6800	6400.00	128.47	822176.00
6800	7600	7200.00	124.44	895968.00
7600	8400	8000.00	107.90	863200.00
8400	9200	8800.00	43.0725	379038.00
Total			5612.40	16991406.00
Precipitación media de la cuenca (h <sub>m</sub> ):			3027.48 mm	

## **Apéndice B: Análisis Estadístico**

## B.1 Distribución Gumbel

La distribución Gumbel es una distribución de valor extremo tipo I. Este modelo representa la distribución límite del mayor valor de  $n$  valores  $x_i$ , independientes e idénticamente distribuidos con una distribución de tipo exponencial a medida que  $n$  crece indefinidamente.

La función de distribución acumulada de la distribución de Gumbel es:

$$F(x) = e^{-e^{-y}} \quad -\infty \leq x \leq \infty$$

La variable reducida Gumbel se define como:

$$Y = \frac{x - \mu}{\alpha}$$

La variable  $y$  se define por:

$$y = -\ln(-\ln(F(x)))$$

La función de distribución acumulada se puede expresar por:

$$F(x) = 1 - \frac{1}{T_r}$$

Los parámetros se estiman por:

$$\alpha = \frac{\sigma_n}{\sigma_x} \quad \mu = \bar{x} - \left( \frac{\bar{Y}_n}{\sigma_n} \right) \sigma_x$$

Donde:

- $\sigma$  : Desviación estándar
- $\mu$  : Moda de la distribución (punto de máxima densidad de probabilidad)
- $n$  : Número de datos
- $T_r$  : Periodo de Retorno
- $\bar{x}$  : Media
- $Y_n, \sigma_n$  : Son los parámetros de Gumbel, ver Tabla B.1.

Tabla B.1: Parámetros Gumbel

n	$Y_n$	$\sigma_n$	n	$Y_n$	$\sigma_n$
10	0.4952	0.9496	56	0.5508	1.1696
11	0.4996	0.9676	57	0.5511	1.1708
12	0.5035	0.9833	58	0.5515	1.1721
13	0.5070	0.9971	59	0.5518	1.1734
14	0.5100	1.0095	60	0.5521	1.1747
15	0.5128	1.0206	61	0.5524	1.1759
16	0.5157	1.0316	62	0.5527	1.1770
17	0.5181	1.0411	63	0.5530	1.1782
18	0.5202	1.0493	64	0.5533	1.1793
19	0.5220	1.0565	65	0.5535	1.1803
20	0.5230	1.0628	66	0.5538	1.1814
21	0.5252	1.0696	67	0.5540	1.1824
22	0.5268	1.0754	68	0.5543	1.1834
23	0.5283	1.0811	69	0.5545	1.1844
24	0.5296	1.0864	70	0.5548	1.1854
25	0.5309	1.0915	71	0.5550	1.1863
26	0.5320	1.0961	72	0.5552	1.1873
27	0.5332	1.1004	73	0.5555	1.1881
28	0.5343	1.1047	74	0.5557	1.1890
29	0.5353	1.1086	75	0.5559	1.1898
30	0.5362	1.1124	76	0.5561	1.1906
31	0.5371	1.1159	77	0.5563	1.1915
32	0.5380	1.1193	78	0.5565	1.1923
33	0.5388	1.1226	79	0.5567	1.1930
34	0.5396	1.1255	80	0.5569	1.1938
35	0.5402	1.1285	81	0.5570	1.1945
36	0.5410	1.1313	82	0.5572	1.1953
37	0.5418	1.1339	83	0.5574	1.1959
38	0.5424	1.1363	84	0.5576	1.1967
39	0.5430	1.1388	85	0.5578	1.1973
40	0.5436	1.1413	86	0.5580	1.1980
41	0.5442	1.1436	87	0.5581	1.1987
42	0.5448	1.1458	88	0.5583	1.1994
43	0.5453	1.1480	89	0.5585	1.2001
44	0.5458	1.1499	90	0.5586	1.2007
45	0.5463	1.1519	91	0.5587	1.2013
46	0.5468	1.1538	92	0.5589	1.2020
47	0.5473	1.1557	93	0.5591	1.2026
48	0.5477	1.1574	94	0.5592	1.2032
49	0.5481	1.1590	95	0.5593	1.2038
50	0.5485	1.1607	96	0.5595	1.2044
51	0.5489	1.1623	97	0.5596	1.2049
52	0.5493	1.1638	98	0.5598	1.2055
53	0.5497	1.1658	99	0.5599	1.2060
54	0.5501	1.1667	100	0.5600	1.2065
55	0.5504	1.1681			

En el Gráfico B.1 y Gráfico B.2 se muestra la relación entre el número de datos y los parámetros Gumbel.

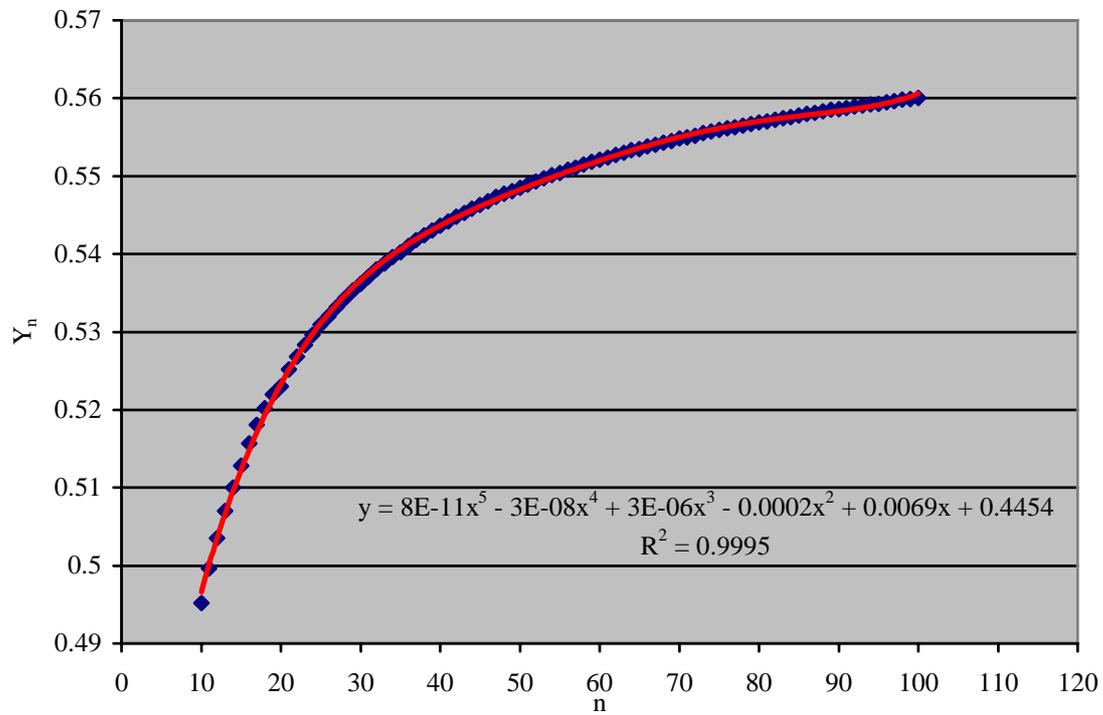


Gráfico B.1: Relación número de datos con parámetro  $Y_n$

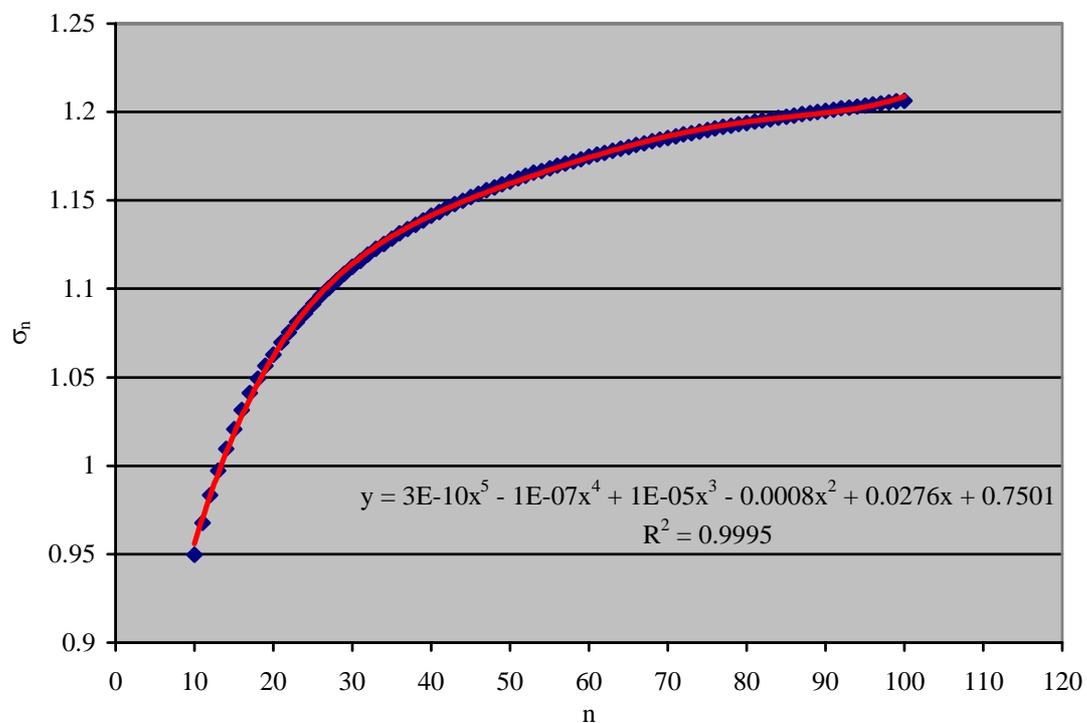


Gráfico B.2: Relación número de datos con parámetro  $\sigma_n$

En la Tabla B.2 se muestran los cálculos para la distribución Gumbel.

Promedio	:	1258.63
$\sigma_x$	:	804.83
Coefficiente de asimetría	:	1.03
$\bar{n}$	:	35
$\bar{Y}_n$	:	0.5402
$\sigma_n$	:	1.1285
$\alpha$	:	0.0014
$\mu$	:	873.37

**Tabla B.2: Cálculos distribución Gumbel**

Año	Q (m <sup>3</sup> /s)	Y	P <sub>exc</sub>	T <sub>r</sub>
1983	3712.50	3.981	1.85%	54.07
1998	2569.90	2.379	8.85%	11.30
1999	2506.20	2.289	9.64%	10.38
1992	2489.60	2.266	9.85%	10.15
1987	2098.50	1.718	16.43%	6.09
1975	2074.00	1.683	16.95%	5.90
1972	1929.00	1.480	20.36%	4.91
1993	1918.20	1.465	20.63%	4.85
1989	1828.80	1.340	23.04%	4.34
1971	1722.00	1.190	26.23%	3.81
1984	1627.50	1.057	29.34%	3.41
1997	1583.30	0.995	30.90%	3.24
1981	1578.60	0.989	31.07%	3.22
1973	1449.00	0.807	35.99%	2.78
1982	1429.00	0.779	36.80%	2.72
1986	1397.40	0.735	38.10%	2.62
1969	1100.00	0.318	51.70%	1.93
1965	965.00	0.128	58.50%	1.71
1994	891.30	0.025	62.29%	1.61
1976	772.00	-0.142	68.42%	1.46
1977	723.00	-0.211	70.91%	1.41
1967	695.00	-0.250	72.31%	1.38
1996	690.30	-0.257	72.55%	1.38
1979	689.70	-0.258	72.58%	1.38
1988	651.90	-0.311	74.44%	1.34
1980	628.30	-0.344	75.59%	1.32
1991	584.50	-0.405	77.67%	1.29
1995	534.40	-0.475	79.98%	1.25
1966	534.00	-0.476	80.00%	1.25
1978	519.00	-0.497	80.67%	1.24
1990	513.40	-0.505	80.92%	1.24
1970	469.00	-0.567	82.85%	1.21
1974	455.00	-0.587	83.44%	1.20
1985	397.80	-0.667	85.74%	1.17
1968	325.00	-0.769	88.44%	1.13

En la Tabla B.3 se muestran los cálculos para la distribución Gumbel.

Promedio	:	1258.63
$\sigma_x$	:	804.83
Coefficiente de asimetría	:	1.03
n	:	35
$\bar{Y}_n$	:	0.5402
$\sigma_n$	:	1.1285
$\alpha$	:	0.0014
$\mu$	:	873.37

**Tabla B.3: Cálculos distribución Gumbel**

Año	Q (m <sup>3</sup> /s)	Y	P <sub>exc</sub>	T <sub>r</sub>
1983	3712.50	3.981	1.85%	54.07
1998	2569.90	2.379	8.85%	11.30
1999	2506.20	2.289	9.64%	10.38
1992	2489.60	2.266	9.85%	10.15
1987	2098.50	1.718	16.43%	6.09
1975	2074.00	1.683	16.95%	5.90
1972	1929.00	1.480	20.36%	4.91
1993	1918.20	1.465	20.63%	4.85
1989	1828.80	1.340	23.04%	4.34
1971	1722.00	1.190	26.23%	3.81
1984	1627.50	1.057	29.34%	3.41
1997	1583.30	0.995	30.90%	3.24
1981	1578.60	0.989	31.07%	3.22
1973	1449.00	0.807	35.99%	2.78
1982	1429.00	0.779	36.80%	2.72
1986	1397.40	0.735	38.10%	2.62
1969	1100.00	0.318	51.70%	1.93
1965	965.00	0.128	58.50%	1.71
1994	891.30	0.025	62.29%	1.61
1976	772.00	-0.142	68.42%	1.46
1977	723.00	-0.211	70.91%	1.41
1967	695.00	-0.250	72.31%	1.38
1996	690.30	-0.257	72.55%	1.38
1979	689.70	-0.258	72.58%	1.38
1988	651.90	-0.311	74.44%	1.34
1980	628.30	-0.344	75.59%	1.32
1991	584.50	-0.405	77.67%	1.29
1995	534.40	-0.475	79.98%	1.25
1966	534.00	-0.476	80.00%	1.25
1978	519.00	-0.497	80.67%	1.24
1990	513.40	-0.505	80.92%	1.24
1970	469.00	-0.567	82.85%	1.21
1974	455.00	-0.587	83.44%	1.20
1985	397.80	-0.667	85.74%	1.17
1968	325.00	-0.769	88.44%	1.13

## B.2 Distribución Gamma de 2 parámetros

Esta distribución muy usada en la hidrología posee gran flexibilidad y diversidad de formas, dependiendo de los valores de sus parámetros. Esta función es asimétrica y esta definida para los valores positivos de la variable, lo que concuerda con las propiedades de la mayoría de los registros hidrológicos o variables físicas de interés en hidrología.

La función de probabilidad viene dado por:

$$f(x) = \frac{X^{\gamma-1} e^{-\frac{x}{\beta}}}{\beta \gamma \Gamma(\gamma)}$$

Para:

$$0 < x < \infty$$

$$0 < \gamma < \infty$$

$$0 < \beta < \infty$$

Siendo:

$\gamma$ : Parámetro de forma

$\beta$ : Parámetro de escala

$\Gamma(\gamma)$ : Función gamma completa

Los parámetros se estiman por:

Media:  $\bar{X} = \beta \gamma$

Varianza:  $S^2 = \beta^2 \gamma$

Sesgo:  $C_s = g = \frac{2}{\gamma^{\frac{1}{2}}}$

$$\gamma = \frac{\bar{X}^2}{S^2}$$

$$\beta = \frac{S^2}{\bar{X}}$$

La variable aleatoria reducida esta dado por:

$$Y = \frac{x}{\beta}$$

Grenwood y Durand (1960), presentaron las siguientes relaciones aproximadas de estimación de parámetros por el método de máxima verosimilitud:

Para:

$$0 \leq y \leq 0.5772 \quad \gamma = \frac{0.5000876 + 0.1648852 y - 0.0544274 y^2}{y}$$

$$0.5772 \leq y \leq 17.0 \quad \gamma = \frac{8.898919 + 9.05995 y + 0.9775373 y^2}{y(17.79728 + 11.968477 y + y^2)}$$

Donde:  $y = \ln \bar{X} - \overline{\ln X}$

En la Tabla B.4 se muestran los cálculos para la distribución Gamma de 2 parámetros.

Promedio	:	1258.63
$\sigma_x$	:	804.83
Coefficiente de asimetría	:	1.03
n	:	35
y	:	0.20
$\gamma$	:	2.69
$\beta$	:	468.62
$\nu$	:	5.37

**Tabla B.4: Cálculos distribución Gamma de 2 parámetros**

Año	Q (m <sup>3</sup> /s)	Ln Q	Chi2	P <sub>exc</sub>	T <sub>r</sub>
1983	3712.50	8.22	15.84	0.73%	136.94
1998	2569.90	7.85	10.97	5.20%	19.22
1999	2506.20	7.83	10.70	5.77%	17.32
1992	2489.60	7.82	10.63	5.93%	16.85
1987	2098.50	7.65	8.96	11.08%	9.02
1975	2074.00	7.64	8.85	11.51%	8.69
1972	1929.00	7.56	8.23	14.39%	6.95
1993	1918.20	7.56	8.19	14.62%	6.84
1989	1828.80	7.51	7.81	16.73%	5.98
1971	1722.00	7.45	7.35	19.59%	5.10
1984	1627.50	7.39	6.95	22.47%	4.45
1997	1583.30	7.37	6.76	23.93%	4.18
1981	1578.60	7.36	6.74	24.09%	4.15
1973	1449.00	7.28	6.18	28.87%	3.46
1982	1429.00	7.26	6.10	29.67%	3.37
1986	1397.40	7.24	5.96	30.97%	3.23
1969	1100.00	7.00	4.69	45.43%	2.20
1965	965.00	6.87	4.12	53.25%	1.88
1994	891.30	6.79	3.80	57.80%	1.73
1976	772.00	6.65	3.29	65.46%	1.53
1977	723.00	6.58	3.09	68.68%	1.46
1967	695.00	6.54	2.97	70.52%	1.42
1996	690.30	6.54	2.95	70.83%	1.41
1979	689.70	6.54	2.94	70.87%	1.41
1988	651.90	6.48	2.78	73.35%	1.36
1980	628.30	6.44	2.68	74.89%	1.34
1991	584.50	6.37	2.49	77.73%	1.29
1995	534.40	6.28	2.28	80.91%	1.24
1966	534.00	6.28	2.28	80.93%	1.24
1978	519.00	6.25	2.22	81.87%	1.22
1990	513.40	6.24	2.19	82.21%	1.22
1970	469.00	6.15	2.00	84.89%	1.18
1974	455.00	6.12	1.94	85.71%	1.17
1985	397.80	5.99	1.70	88.92%	1.12
1968	325.00	5.78	1.39	92.57%	1.08

### B.3 Distribución Log Pearson tipo III

Si  $\log x$  sigue una distribución Pearson tipo III, entonces se dice que  $x$  sigue una distribución Log Pearson tipo III.

Esta es la distribución estándar para análisis de frecuencia de crecientes máximas anuales en los Estados Unidos para esta distribución el primer paso es tomar los logaritmos de la información hidrológica,  $y = \log(x)$ .

Donde

$$K_T = z + (z^2 - 1)k + \frac{1}{3}(z^3 - 6z)k^2 - (z^2 - 1)k^3 + zk^4 + \frac{1}{3}k^5$$

$$K = \frac{C_s}{6}$$

Para:

$$x_0 < x < \infty$$

$$-\infty < x_0 < \infty$$

$$0 < \gamma < \infty$$

$$0 < \beta < \infty$$

Siendo:

$x$ : Variable aleatoria de 3 parámetros o Pearson tipo III

$x_0$ : Origen de la variable  $x$ , parámetro de posición

$\beta$ : Parámetro de escala

$\gamma$ : Parámetro de forma

$\Gamma(\gamma)$ : Función gamma completa

Los parámetros se estiman por:

Media:  $\bar{X} = x_0 + \beta \gamma$

Varianza:  $S^2 = \beta^2 \gamma$

Sesgo:  $C_s = g = \frac{2}{\sqrt{\gamma}}$

$$\gamma = \frac{4}{C_s^2}$$

$$x_0 = \bar{X} - \frac{2S}{C_s}$$

$$\beta = \frac{C_s S}{2}$$

La variable reducida esta dado por:

$$Y = \frac{x - x_0}{\beta}$$

En la Tabla B.5 se muestran los cálculos para la distribución Log Pearson tipo III.

Promedio	:	1258.63
$\sigma_x$	:	804.83
Coefficiente de asimetría	:	1.03
n	:	35
$C_s$	:	0.081
k	:	0.014

**Tabla B.5: Cálculos distribución Log Pearson tipo III**

Año	Q (m <sup>3</sup> /s)	Log Q	P <sub>exc</sub>	T <sub>r</sub>
1983	3712.50	3.57	2.36%	42.29
1998	2569.90	3.41	7.88%	12.69
1999	2506.20	3.40	8.47%	11.81
1992	2489.60	3.40	8.63%	11.59
1987	2098.50	3.32	13.59%	7.36
1975	2074.00	3.32	13.99%	7.15
1972	1929.00	3.29	16.64%	6.01
1993	1918.20	3.28	16.86%	5.93
1989	1828.80	3.26	18.79%	5.32
1971	1722.00	3.24	21.41%	4.67
1984	1627.50	3.21	24.04%	4.16
1997	1583.30	3.20	25.39%	3.94
1981	1578.60	3.20	25.54%	3.92
1973	1449.00	3.16	29.99%	3.33
1982	1429.00	3.16	30.74%	3.25
1986	1397.40	3.15	31.97%	3.13
1969	1100.00	3.04	46.12%	2.17
1965	965.00	2.98	54.21%	1.84
1994	891.30	2.95	59.05%	1.69
1976	772.00	2.89	67.42%	1.48
1977	723.00	2.86	71.00%	1.41
1967	695.00	2.84	73.06%	1.37
1996	690.30	2.84	73.41%	1.36
1979	689.70	2.84	73.45%	1.36
1988	651.90	2.81	76.23%	1.31
1980	628.30	2.80	77.97%	1.28
1991	584.50	2.77	81.14%	1.23
1995	534.40	2.73	84.66%	1.18
1966	534.00	2.73	84.69%	1.18
1978	519.00	2.72	85.71%	1.17
1990	513.40	2.71	86.09%	1.16
1970	469.00	2.67	88.96%	1.12
1974	455.00	2.66	89.82%	1.11
1985	397.80	2.60	93.05%	1.07
1968	325.00	2.51	96.35%	1.04

## B.4 Distribución Log Normal

Las variables físicas de interés en hidrología (precipitación, caudal, evaporación y otros). Son generalmente positivas, por lo cual es usual que presenten distribución de frecuencia asimétricas. Por ello, algunos investigadores han propuesto aplicar una transformación logarítmica a la variable de interés y luego utilizar el modelo de distribución normal para la variable transformada.

### B.4.1 Distribución Log Normal de 2 parámetros

La función de distribución de probabilidad de  $x$  es:

$$f(x) = \frac{1}{x\sigma_y\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left[\frac{\ln x_y - \mu_y}{\sigma_y}\right]^2}$$

Los parámetros se estiman por:

$$\text{Media: } \bar{X} = E(x) = e^{\left(\frac{\mu_y + \sigma_y^2}{2}\right)}$$

$$\text{Varianza: } S^2 = e^{(2\mu_y + \sigma_y^2)} \left[ e^{\sigma_y^2} - 1 \right]$$

$$\text{Desviación estándar: } S = e^{\left(\frac{\mu_y + \sigma_y^2}{2}\right)} \left[ e^{\sigma_y^2} - 1 \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$\text{Coeficiente de variación: } C_v = \frac{S}{\bar{X}} = \left( e^{\sigma_y^2} - 1 \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$\mu_y = \frac{1}{2} \ln \left( \frac{\bar{X}^2}{C_v^2 + 1} \right)$$

$$\text{Coeficiente de Sesgo: } C_s = g = \left( e^{\sigma_y^2} - 1 \right)^{\frac{1}{2}} \left( e^{\sigma_y^2} + 2 \right)$$

$$\text{Si } 0.1 < \sigma_y^2 < 0.6 \quad C_s = 0.52 + 4.85\sigma_y^2$$

En la Tabla B.6 se muestran los cálculos para la distribución Log Normal de 2 parámetros.

Promedio	:	1258.63
$\sigma_x$	:	804.83
Coefficiente de asimetría	:	1.03
n	:	35

**Tabla B.6: Cálculos distribución Log Normal de 2 parámetros**

Año	Q (m <sup>3</sup> /s)	ln Q	P <sub>exc</sub>	T <sub>r</sub>
1983	3712.50	8.22	2.36%	42.29
1998	2569.90	7.85	7.88%	12.69
1999	2506.20	7.83	8.47%	11.81
1992	2489.60	7.82	8.63%	11.59
1987	2098.50	7.65	13.59%	7.36
1975	2074.00	7.64	13.99%	7.15
1972	1929.00	7.56	16.64%	6.01
1993	1918.20	7.56	16.86%	5.93
1989	1828.80	7.51	18.79%	5.32
1971	1722.00	7.45	21.41%	4.67
1984	1627.50	7.39	24.04%	4.16
1997	1583.30	7.37	25.39%	3.94
1981	1578.60	7.36	25.54%	3.92
1973	1449.00	7.28	29.99%	3.33
1982	1429.00	7.26	30.74%	3.25
1986	1397.40	7.24	31.97%	3.13
1969	1100.00	7.00	46.12%	2.17
1965	965.00	6.87	54.21%	1.84
1994	891.30	6.79	59.05%	1.69
1976	772.00	6.65	67.42%	1.48
1977	723.00	6.58	71.00%	1.41
1967	695.00	6.54	73.06%	1.37
1996	690.30	6.54	73.41%	1.36
1979	689.70	6.54	73.45%	1.36
1988	651.90	6.48	76.23%	1.31
1980	628.30	6.44	77.97%	1.28
1991	584.50	6.37	81.14%	1.23
1995	534.40	6.28	84.66%	1.18
1966	534.00	6.28	84.69%	1.18
1978	519.00	6.25	85.71%	1.17
1990	513.40	6.24	86.09%	1.16
1970	469.00	6.15	88.96%	1.12
1974	455.00	6.12	89.82%	1.11
1985	397.80	5.99	93.05%	1.07
1968	325.00	5.78	96.35%	1.04

### B.4.2 Distribución Log Normal de 3 parámetros

La función de distribución de probabilidad de x es:

$$f(x) = \frac{1}{(x - x_0)\sigma_y \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2} \left[ \frac{\ln(x - x_0) - \mu_y}{\sigma_y} \right]^2}$$

Para  $x_0 \leq x < \infty$

$x_0$ : Parámetro de posición en el dominio x

$\mu_y$ : Parámetro de escala en el dominio x

$\sigma_y^2$ : Parámetro de forma en el dominio x

Los parámetros se estiman por:

$$\text{Media: } \bar{X} = E(x) = x_0 + e^{\left( \frac{\mu_y + \sigma_y^2}{2} \right)}$$

$$\text{Varianza: } S^2 = e^{(2\mu_y + \sigma_y^2)} \left[ e^{\sigma_y^2} - 1 \right]$$

$$\text{Coeficiente de Sesgo: } C_s = 0.52 + 4.85\sigma_y^2$$

Para datos muestrales el coeficiente de sesgo es:

$$C_s = g = \frac{N^2 M_3}{(N-1)(N-2)S^3}$$

$$M_3 = \frac{\sum (x_i - \bar{x})^3}{N}$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{N-1}}$$

$$\bar{X} = \frac{\sum x_i}{N}$$

$$\sigma_y = \sqrt{\frac{C_s - 0.52}{4.85}}$$

$$\mu_y = \frac{1}{2} \left[ \ln \left( \frac{S^2}{e^{\sigma_y^2} - 1} \right) - \sigma_y^2 \right]$$

$$x_0 = \bar{X} - e^{\frac{\mu_y + \sigma_y^2}{2}}$$

En la Tabla B.7 se muestran los cálculos para la distribución Log Normal de 3 parámetros.

Promedio	:	1258.63
$\sigma_x$	:	804.83
Coefficiente de asimetría	:	1.03
n	:	35
a	:	85.22

**Tabla B.7: Cálculos distribución Log Normal de 3 parámetros**

Año	Q (m <sup>3</sup> /s)	ln (Q-a)	P <sub>exc</sub>	T <sub>r</sub>
1983	3712.50	8.20	2.76%	36.21
1998	2569.90	7.82	8.30%	12.05
1999	2506.20	7.79	8.87%	11.27
1992	2489.60	7.79	9.03%	11.07
1987	2098.50	7.61	13.80%	7.25
1975	2074.00	7.60	14.18%	7.05
1972	1929.00	7.52	16.71%	5.98
1993	1918.20	7.51	16.92%	5.91
1989	1828.80	7.46	18.75%	5.33
1971	1722.00	7.40	21.24%	4.71
1984	1627.50	7.34	23.74%	4.21
1997	1583.30	7.31	25.02%	4.00
1981	1578.60	7.31	25.16%	3.97
1973	1449.00	7.22	29.40%	3.40
1982	1429.00	7.20	30.12%	3.32
1986	1397.40	7.18	31.30%	3.20
1969	1100.00	6.92	44.98%	2.22
1965	965.00	6.78	52.97%	1.89
1994	891.30	6.69	57.83%	1.73
1976	772.00	6.53	66.38%	1.51
1977	723.00	6.46	70.08%	1.43
1967	695.00	6.41	72.24%	1.38
1996	690.30	6.41	72.60%	1.38
1979	689.70	6.40	72.65%	1.38
1988	651.90	6.34	75.58%	1.32
1980	628.30	6.30	77.42%	1.29
1991	584.50	6.21	80.81%	1.24
1995	534.40	6.11	84.61%	1.18
1966	534.00	6.11	84.64%	1.18
1978	519.00	6.07	85.74%	1.17
1990	513.40	6.06	86.15%	1.16
1970	469.00	5.95	89.27%	1.12
1974	455.00	5.91	90.20%	1.11
1985	397.80	5.74	93.69%	1.07
1968	325.00	5.48	97.14%	1.03

**Nota:** El valor de a es aquel valor cuando el coeficiente de asimetría de ln(Q-a) es igual a cero.

## B.5 Prueba de bondad de ajuste

Las pruebas de bondad de ajuste consisten en comprobar si la frecuencia empírica de la serie analizada se ajusta a una determinada función de probabilidades teórica seleccionada a priori, con los parámetros estimados en base a los valores muestrales [Villón, 1993].

Las pruebas estadísticas, tienen por objeto medir la incertidumbre que se obtiene al hacer una hipótesis estadística sobre una población, es decir el hecho de suponer que una variable aleatoria se distribuya según una cierta función de probabilidades.

Las pruebas de bondad de ajuste más utilizados son los ajustes estadísticos: chi cuadrado y Smirnov-Kolmogorov

### B.5.1 Prueba Chi-Cuadrado ( $\chi^2$ )

Esta prueba es la más comúnmente usada para verificar la bondad de ajuste de la distribución empírica a una distribución teórica conocida.

La expresión está dada por:

$$\chi_c^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(\theta_i - e_i)^2}{e_i}$$

Asignando igual probabilidad de ocurrencia a cada intervalo de clase, se tiene:

$$\chi_c^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(N_i - NP_i)^2}{NP_i}$$

Donde:

$N_i$ : Número de observaciones que caen dentro de los límites de clases ajustadas del intervalo  $i$ .

$N$ : Tamaño original.

$P_i$ : Probabilidad igual para todos los intervalos de clase.

$$P_i = \frac{1}{k}$$

La fórmula desarrollada por Markovic es:

$$\chi_c^2 = \frac{k}{N} \sum_{i=1}^k N_i^2 - N$$

El valor  $\chi_c^2$  se compara con el  $\chi_t^2$  y su valor se determina con:

Nivel de significación	$\alpha = 0.05$ o $\alpha = 0.01$
Grados de libertad	g.l. = $k-1-h$

Donde:

h: Número de parámetros a estimarse

h = 2, para la distribución normal

h = 3, para la distribución log normal de 3 parámetros

El criterio de decisión se fundamenta en:

- Si el chi-cuadrado calculado es menor o igual que el valor tabular  $\chi_c^2 \leq \chi_t^2$ , entonces se acepta la hipótesis que el ajuste es bueno al nivel de significación seleccionado.
- Si el chi-cuadrado calculado es mayor que el valor tabular  $\chi_c^2 > \chi_t^2$ , entonces el ajuste es malo y se rechaza la hipótesis, siendo necesario probar con otra distribución teórica.

Entre las ventajas y las limitaciones podemos mencionar:

- Es aplicable solo para ajustes a la distribución normal, puesto que ha sido desarrollado en base a datos normales e independientes.
- Es realizada en la función densidad de datos agrupados en intervalos de clase.
- Requiere un conocimiento a priori de la función de distribución teórica utilizada en el ajuste.
- En la practica se usa para cualquier modelo de ajuste, pero estrictamente es valido solo para la normal.
- Es de fácil aplicación.
- Al utilizar esta prueba, se debe tener cuidado que en cada intervalo de clase, se tenga por lo menos 5 observaciones.

### B.5.2 Prueba Smirnov-Kolmogorov

Consiste en comparar las diferencias existentes entre la probabilidad empírica de los datos de la muestra y la probabilidad teórica, tomando el valor máximo del valor absoluto, de la diferencia entre el valor observado y el valor de la recta teórica del modelo:

$$\Delta_{\max} = \max |F(x) - P(x)|$$

Donde:

$\Delta$  : Estadístico de Smirnov-Kolmogorov

F(x): Probabilidad de la distribución de ajuste o teórica

P(x): Probabilidad experimental o empírica de los datos frecuencia acumulada.

Si  $\Delta_0$  es un valor critico para un nivel de significación  $\alpha$  se tiene:

$$P[\max |F(x) - P(x)| \geq \Delta_0] = \alpha$$

$$P(\Delta \geq \Delta_0) = \alpha$$

$$P(\Delta < \Delta_0) = 1 - \alpha$$

El procedimiento para el ajuste es:

- Calcular la probabilidad empírica o experimental, usando Weibull:

$$P(x) = \frac{m}{n+1}$$

- Calcular la probabilidad teórica  $F(x)$  usando la ecuación de la función acumulada.
- Calcular las diferencias  $P(x)-F(x)$  para todos los valores  $x$ .
- Seleccionar la máxima diferencia  $\Delta_{\max}$ .

$$\Delta_{\max} = \text{máx} |F(x) - P(x)|$$

- Calcular el valor crítico  $\Delta_0$  para un  $\alpha = 0.05$ , ver Tabla B.8

**Tabla B.8: Valores críticos  $\Delta_0$  para diferentes niveles de significación  $\alpha$**

Nivel de significación $\alpha$	0.150	0.100	0.050	0.025	0.010
Valor crítico $\Delta_0$	1.138	1.224	1.358	1.480	1.628

- Calcular el valor  $\Delta$ :

$$\Delta = \left( \sqrt{N} + 0.12 + \frac{0.11}{\sqrt{n}} \right) * \Delta_{\max}$$

- Comparar el valor del estadístico  $\Delta$ , con el valor  $\Delta_0$ :  
 Si  $\Delta < \Delta_0$  El ajuste es bueno, al nivel de significación seleccionado  
 $\Delta \geq \Delta_0$  El ajuste no es bueno, al nivel de significación seleccionado

Entre las ventajas y limitación tenemos:

- No requiere un conocimiento a priori de la función de distribución teórica.
- Es aplicable a distribución de datos no agrupados, es decir no se requiere hacer intervalos de clase.
- Es aplicable a cualquier distribución teórica.
- Se aplica en la función de distribución acumulada y no en la función densidad.
- Comparándola con la prueba chi-cuadrado, no hay condición de que cada clase de frecuencia deba contener un mínimo de 5 valores observados.
- No es una prueba exacta sino aproximada.

En la Tabla B.9, Tabla B.10, Tabla B.11, Tabla B.12 y Tabla B.13 se muestran las pruebas de bondad de ajuste – Smirnov Kolmogorov aplicado a los diferentes modelos usados en el análisis de caudales.

n : 35  
 a : 0.05  
 $\Delta_0$  : 1.358

**Tabla B.9: Smirnov – Kolmogorov / Distribución Gumbel**

Gumbel				
m	Q(m <sup>3</sup> /s)	P(x)	F(x)	
01	3712.50	0.02778	0.01850	0.00928
02	2569.90	0.05556	0.08850	0.03294
03	2506.20	0.08333	0.09636	0.01302
04	2489.60	0.11111	0.09851	0.01260
05	2098.50	0.13889	0.16428	0.02539
06	2074.00	0.16667	0.16950	0.00283
07	1929.00	0.19444	0.20356	0.00911
08	1918.20	0.22222	0.20632	0.01590
09	1828.80	0.25000	0.23044	0.01956
10	1722.00	0.27778	0.26232	0.01546
11	1627.50	0.30556	0.29345	0.01211
12	1583.30	0.33333	0.30896	0.02437
13	1578.60	0.36111	0.31065	0.05046
14	1449.00	0.38889	0.35990	0.02898
15	1429.00	0.41667	0.36798	0.04869
16	1397.40	0.44444	0.38098	0.06347
17	1100.00	0.47222	0.51701	0.04479
18	965.00	0.50000	0.58498	0.08498
19	891.30	0.52778	0.62287	0.09509
20	772.00	0.55556	0.68423	0.12867
21	723.00	0.58333	0.70908	0.12575
22	695.00	0.61111	0.72311	0.11200
23	690.30	0.63889	0.72546	0.08657
24	689.70	0.66667	0.72575	0.05909
25	651.90	0.69444	0.74440	0.04996
26	628.30	0.72222	0.75587	0.03365
27	584.50	0.75000	0.77673	0.02673
28	534.40	0.77778	0.79981	0.02203
29	534.00	0.80556	0.79999	0.00557
30	519.00	0.83333	0.80671	0.02662
31	513.40	0.86111	0.80920	0.05191
32	469.00	0.88889	0.82846	0.06043
33	455.00	0.91667	0.83435	0.08231
34	397.80	0.94444	0.85744	0.08700
35	325.00	0.97222	0.88437	0.08785
max				0.12867 0.77906
0				1.35800
Ajuste es bueno				SI

Tabla B.10: Smirnov – Kolmogororov / Distribución Gamma 2 parámetros

Gamma 2 Parámetros				
M	Q(m <sup>3</sup> /s)	P(x)	F(x)	$\Delta$
01	3712.50	0.02778	0.00730	0.02048
02	2569.90	0.05556	0.05202	0.00354
03	2506.20	0.08333	0.05775	0.02558
04	2489.60	0.11111	0.05934	0.05177
05	2098.50	0.13889	0.11083	0.02806
06	2074.00	0.16667	0.11513	0.05153
07	1929.00	0.19444	0.14387	0.05058
08	1918.20	0.22222	0.14625	0.07598
09	1828.80	0.25000	0.16731	0.08269
10	1722.00	0.27778	0.19593	0.08184
11	1627.50	0.30556	0.22469	0.08086
12	1583.30	0.33333	0.23932	0.09401
13	1578.60	0.36111	0.24093	0.12018
14	1449.00	0.38889	0.28871	0.10018
15	1429.00	0.41667	0.29673	0.11994
16	1397.40	0.44444	0.30975	0.13470
17	1100.00	0.47222	0.45427	0.01795
18	965.00	0.50000	0.53249	0.03249
19	891.30	0.52778	0.57797	0.05020
20	772.00	0.55556	0.65464	0.09908
21	723.00	0.58333	0.68678	0.10345
22	695.00	0.61111	0.70520	0.09409
23	690.30	0.63889	0.70829	0.06941
24	689.70	0.66667	0.70869	0.04202
25	651.90	0.69444	0.73352	0.03907
26	628.30	0.72222	0.74895	0.02672
27	584.50	0.75000	0.77731	0.02731
28	534.40	0.77778	0.80909	0.03131
29	534.00	0.80556	0.80934	0.00378
30	519.00	0.83333	0.81866	0.01467
31	513.40	0.86111	0.82212	0.03899
32	469.00	0.88889	0.84892	0.03997
33	455.00	0.91667	0.85713	0.05954
34	397.80	0.94444	0.88918	0.05526
35	325.00	0.97222	0.92572	0.04650
$\Delta_{\max}$				0.13470
$\Delta$				0.81555
$\Delta_0$				1.35800
Ajuste es bueno				SI

Tabla B.11: Smirnov – Kolmogorov / Distribución Log Pearson III

Log Pearson III				
m	Q(m <sup>3</sup> /s)	P(x)	F(x)	$\Delta$
01	3712.50	0.02778	0.02365	0.00413
02	2569.90	0.05556	0.07879	0.02324
03	2506.20	0.08333	0.08467	0.00134
04	2489.60	0.11111	0.08628	0.02483
05	2098.50	0.13889	0.13588	0.00301
06	2074.00	0.16667	0.13989	0.02677
07	1929.00	0.19444	0.16642	0.02802
08	1918.20	0.22222	0.16860	0.05362
09	1828.80	0.25000	0.18789	0.06211
10	1722.00	0.27778	0.21407	0.06371
11	1627.50	0.30556	0.24045	0.06511
12	1583.30	0.33333	0.25393	0.07940
13	1578.60	0.36111	0.25541	0.10570
14	1449.00	0.38889	0.29989	0.08900
15	1429.00	0.41667	0.30743	0.10924
16	1397.40	0.44444	0.31972	0.12473
17	1100.00	0.47222	0.46120	0.01102
18	965.00	0.50000	0.54206	0.04206
19	891.30	0.52778	0.59050	0.06272
20	772.00	0.55556	0.67424	0.11869
21	723.00	0.58333	0.70999	0.12665
22	695.00	0.61111	0.73059	0.11948
23	690.30	0.63889	0.73405	0.09516
24	689.70	0.66667	0.73449	0.06783
25	651.90	0.69444	0.76234	0.06790
26	628.30	0.72222	0.77966	0.05744
27	584.50	0.75000	0.81141	0.06141
28	534.40	0.77778	0.84662	0.06884
29	534.00	0.80556	0.84690	0.04134
30	519.00	0.83333	0.85710	0.02377
31	513.40	0.86111	0.86087	0.00024
32	469.00	0.88889	0.88961	0.00073
33	455.00	0.91667	0.89822	0.01845
34	397.80	0.94444	0.93054	0.01391
35	325.00	0.97222	0.96353	0.00869
$\Delta_{\max}$				0.12665
$\Delta$				0.76684
$\Delta_0$				1.35800
Ajuste es bueno				SI

Tabla B.12: Smirnov – Kolmogororov / Log Normal 2 parámetros

Log Normal 2 parámetros				
m	Q(m <sup>3</sup> /s)	P(x)	F(x)	$\Delta$
01	3712.50	0.02778	0.02365	0.00413
02	2569.90	0.05556	0.07879	0.02324
03	2506.20	0.08333	0.08467	0.00134
04	2489.60	0.11111	0.08628	0.02483
05	2098.50	0.13889	0.13588	0.00301
06	2074.00	0.16667	0.13989	0.02677
07	1929.00	0.19444	0.16642	0.02802
08	1918.20	0.22222	0.16860	0.05362
09	1828.80	0.25000	0.18789	0.06211
10	1722.00	0.27778	0.21407	0.06371
11	1627.50	0.30556	0.24045	0.06511
12	1583.30	0.33333	0.25393	0.07940
13	1578.60	0.36111	0.25541	0.10570
14	1449.00	0.38889	0.29989	0.08900
15	1429.00	0.41667	0.30743	0.10924
16	1397.40	0.44444	0.31972	0.12473
17	1100.00	0.47222	0.46120	0.01102
18	965.00	0.50000	0.54206	0.04206
19	891.30	0.52778	0.59050	0.06272
20	772.00	0.55556	0.67424	0.11869
21	723.00	0.58333	0.70999	0.12665
22	695.00	0.61111	0.73059	0.11948
23	690.30	0.63889	0.73405	0.09516
24	689.70	0.66667	0.73449	0.06783
25	651.90	0.69444	0.76234	0.06790
26	628.30	0.72222	0.77966	0.05744
27	584.50	0.75000	0.81141	0.06141
28	534.40	0.77778	0.84662	0.06884
29	534.00	0.80556	0.84690	0.04134
30	519.00	0.83333	0.85710	0.02377
31	513.40	0.86111	0.86087	0.00024
32	469.00	0.88889	0.88961	0.00073
33	455.00	0.91667	0.89822	0.01845
34	397.80	0.94444	0.93054	0.01391
35	325.00	0.97222	0.96353	0.00869
$\Delta_{\max}$				0.12665
$\Delta$				0.76684
$\Delta_0$				1.35800
Ajuste es bueno				SI

Tabla B.13: Smirnov – Kolmogororov / Log Normal 3 parámetros

Log Normal 3 Parámetros				
m	Q(m <sup>3</sup> /s)	P(x)	F(x)	Δ
01	3712.50	0.02778	0.02762	0.00016
02	2569.90	0.05556	0.08301	0.02745
03	2506.20	0.08333	0.08873	0.00540
04	2489.60	0.11111	0.09030	0.02081
05	2098.50	0.13889	0.13800	0.00089
06	2074.00	0.16667	0.14183	0.02484
07	1929.00	0.19444	0.16710	0.02735
08	1918.20	0.22222	0.16917	0.05305
09	1828.80	0.25000	0.18750	0.06250
10	1722.00	0.27778	0.21236	0.06542
11	1627.50	0.30556	0.23741	0.06814
12	1583.30	0.33333	0.25023	0.08311
13	1578.60	0.36111	0.25163	0.10948
14	1449.00	0.38889	0.29401	0.09488
15	1429.00	0.41667	0.30120	0.11547
16	1397.40	0.44444	0.31295	0.13149
17	1100.00	0.47222	0.44981	0.02241
18	965.00	0.50000	0.52972	0.02972
19	891.30	0.52778	0.57831	0.05053
20	772.00	0.55556	0.66376	0.10821
21	723.00	0.58333	0.70084	0.11751
22	695.00	0.61111	0.72239	0.11128
23	690.30	0.63889	0.72602	0.08713
24	689.70	0.66667	0.72649	0.05982
25	651.90	0.69444	0.75585	0.06140
26	628.30	0.72222	0.77422	0.05200
27	584.50	0.75000	0.80813	0.05813
28	534.40	0.77778	0.84607	0.06829
29	534.00	0.80556	0.84636	0.04081
30	519.00	0.83333	0.85741	0.02408
31	513.40	0.86111	0.86149	0.00038
32	469.00	0.88889	0.89269	0.00380
33	455.00	0.91667	0.90203	0.01464
34	397.80	0.94444	0.93692	0.00752
35	325.00	0.97222	0.97143	0.00079
$\Delta_{\max}$				0.13149
$\Delta$				0.79613
$\Delta_0$				1.35800
Ajuste es bueno				SI

## **Apéndice C: Tablas Generadas en Arc View**

Tabla C.1: Base de datos países A-B

Código		Nombre del País	Soberano	Población	Area (Km <sup>2</sup> )	Area (Mi <sup>2</sup> )	Moneda	
FIPS	GMI						Tipo	Código
AA	ABW	Aruba	Netherlands	67074	182.93	70.63	Florin	AWG
AC	ATG	Antigua and Barbuda	Antigua and Barbuda	65212	462.38	178.52	EC Dollar	XCD
AF	AFG	Afghanistan	Afghanistan	17250390	641869.19	247825.70	Afghani	AFA
AG	DZA	Algeria	Algeria	27459230	2320972.00	896127.31	Dinar	DZD
AJ	AZE	Azerbaijan	Azerbaijan	5487866	85808.20	33130.55	Manat	
AL	ALB	Albania	Albania	3416945	28754.50	11102.11	Lek	ALL
AM	ARM	Armenia	Armenia	3377228	29872.46	11533.76	Dram	
AN	AND	Andorra	Andorra	55335	452.49	174.70	Peseta	ADP
AO	AGO	Angola	Angola	11527260	1252421.00	483559.81	Kwanza	AOK
AQ	ASM	American Samoa	United States	53000	186.90	72.16	US Dollar	USD
AR	ARG	Argentina	Argentina	33796870	2781013.00	1073749.00	Peso	ARA
AS	AUS	Australia	Australia	17827520	7706142.00	2975342.00	Australia Dollar	AUD
AU	AUT	Austria	Austria	7755406	83738.85	32331.57	Schilling	ATS
AV	AIA	Anguilla	United Kingdom	9208	86.30	33.32	EC Dollar	XCD
AY	ATA	Antarctica	Antarctica	0	12302740.00	4750088.00		
BA	BHR	Bahrain	Bahrain	575814	657.27	253.77	Dinar	BHD
BB	BRB	Barbados	Barbados	260627	439.94	169.86	Dollar	BBD
BC	BWA	Botswana	Botswana	1446623	580011.19	223942.30	Pula	BWP
BD	BMU	Bermuda	United Kingdom	59973	39.41	15.22	Dollar	BMD
BE	BEL	Belgium	Belgium	10032460	30479.61	11768.18	Franc	BEF
BF	BHS	Bahamas, The	Bahamas, The	272209	12867.78	4968.25	Dollar	BSD
BG	BGD	Bangladesh	Bangladesh	120732200	138507.20	53477.63	Taka	BDT
BH	BLZ	Belize	Belize	207586	22174.82	8561.70	Dollar	BZD
BK	BIH	Bosnia and Herzegovina	Bosnia and Herzegovina	2656240	51403.38	19846.85		
BL	BOL	Bolivia	Bolivia	7648315	1090353.00	420985.31	Boliviano	BOB
BM	MMR	Myanmar (Burma)	Myanmar (Burma)	43099620	669820.88	258617.80	Kyat	BUK

GMI: Global Mapping International  
 FIPS: Federal Information Processing Standards

**Tabla C.2: Base de datos países B-C**

Código		Nombre del País	Soberano	Población	Area (Km <sup>2</sup> )	Area (Mi <sup>2</sup> )	Moneda	
FIPS	GMI						Tipo	Código
BN	BEN	Benin	Benin	5175394	116514.80	44986.36	CFA Franc	XOF
BO	BLR	Byelarus	Byelarus	10521400	206680.70	79799.42	Ruble	SUR
BP	SLB	Solomon Islands	Solomon Islands	366000	27739.72	10710.31	Dollar	SBD
BR	BRA	Brazil	Brazil	151525400	8507128.00	3284602.00	Cruzeiro Real	BRC
BT	BTN	Bhutan	Bhutan	1586631	39927.01	15415.82	Ngultrum	BTN
BU	BGR	Bulgaria	Bulgaria	8943258	110801.50	42780.46	Lev	BFL
BV	NOR	Bouvet Island	Norway	0	57.65	22.26	Norwegian Krone	
BX	BRN	Brunei	Brunei	281614	5769.54	2227.62	Dollar	BND
BY	BDI	Burundi	Burundi	6011039	27253.87	10522.72	Franc	BIF
CA	CAN	Canada	Canada	28402320	9904700.00	3824205.00	Dollar	CAD
CB	KHM	Cambodia	Cambodia	9129576	182612.30	70506.61	Riel	KHR
CD	TCD	Chad	Chad	6308708	1168002.00	450965.59	CFA Franc	XOF
CE	LKA	Sri Lanka	Sri Lanka	18321920	66580.24	25706.63	Rupee	LKR
CF	COG	Congo	Congo	2318276	345429.50	133370.30	CFA Franc	BEAC
CG	ZAR	Zaire	Zaire	41025920	2337027.00	902326.13	Zaire	ZRZ
CH	CHN	China	China	1281008318	9338902.00	3605750.00	Renminbi Yuan	CNY
CI	CHL	Chile	Chile	13772710	742298.19	286601.31	Peso	CLP
CJ	CYM	Cayman Islands	United Kingdom	31777	277.01	106.95	Dollar	KYD
CK	CCK	Cocos (Keeling) Islands	Australia	609	18.14	7.00		
CM	CMR	Cameroon	Cameroon	13218480	466306.69	180041.00	CFA Franc	XAF
CN	COM	Comoros	Comoros	634656	1659.72	640.82	Franc	KMF
CO	COL	Colombia	Colombia	34414590	1141962.00	440911.50	Peso	COP
CQ	MNP	Northern Mariana Islands	United States	60963	581.33	224.45	Dollar	USD
CS	CRI	Costa Rica	Costa Rica	3319438	51608.04	19925.86	Colon	CRC
CT	CAF	Central African Republic	Central African Republic	3149545	621499.38	239960.91	CFA Franc	XOF
CU	CUB	Cuba	Cuba	11102280	110443.00	42642.04	Peso	CUP

GMI: Global Mapping International  
 FIPS: Federal Information Processing Standards

**Tabla C.3: Base de datos países C-F**

Código		Nombre del País	Soberano	Población	Area (Km <sup>2</sup> )	Area (Mi <sup>2</sup> )	Moneda	
FIPS	GMI						Tipo	Código
CV	CPV	Cape Verde	Cape Verde	413573	3962.00	1529.73	Escudo	CVE
CW	COK	Cook Islands	New Zealand	17000	231.53	89.40		
CY	CYP	Cyprus	Cyprus	739027	9226.85	3562.49	Pound	CYP
DA	DNK	Denmark	Denmark	4667750	42670.71	16475.16	Danish Krone	DKK
DJ	DJI	Djibouti	Djibouti	450751	21637.64	8354.29	Djibouti Franc	DJF
DO	DMA	Dominica	Dominica	70671	732.00	282.62	EC Dollar	XCD
DQ	UMI	Jarvis Island	United States	0	9.32	3.60		
DR	DOM	Dominican Republic	Dominican Republic	7759957	48445.04	18704.63	Peso oro	DOP
EC	ECU	Ecuador	Ecuador	10541820	256932.00	99201.45	Sucre	ECS
EG	EGY	Egypt	Egypt	56133430	982910.38	379501.69	Pound	EGP
EI	IRL	Ireland	Ireland	5015975	69384.16	26789.22	Pound	IEP
EK	GNQ	Equatorial Guinea	Equatorial Guinea	386373	27085.30	10457.63	CFA Franc	XOF
EN	EST	Estonia	Estonia	1590808	45544.56	17584.75	Kroon	EKR
ER	ERI	Eritrea	Eritrea	3662271	121940.80	47081.34	Birr	ETB
ES	SLV	El Salvador	El Salvador	5752470	20696.51	7990.92	Colon	SVC
ET	ETH	Ethiopia	Ethiopia	53142970	1132328.00	437191.81	Birr	ETB
EZ	CZE	Czech Republic	Czech Republic	10321120	78495.16	30306.98	Koruna	CSK
FG	GUF	French Guiana	France	130219	83811.13	32359.48	Franc	FRF
FI	FIN	Finland	Finland	5031379	333796.91	128879.00	Markka	FIM
FJ	FJI	Fiji	Fiji	755000	19363.89	7476.40	Dollar	FJD
FK	FLK	Falkland Islands (Islas Malvinas)	United Kingdom	2136	11514.78	4445.86	Pound	FKP
FM	FSM	Federated States of Micronesia	Federated States of Micronesia	111607	701.36	270.79	Dollar	USD
FO	FRO	Faroe Islands	Denmark	47067	1412.09	545.21	Danish Krone	DKK
FP	PYF	French Polynesia	France	217000	3023.55	1167.39	CFP Franc	
FQ	UMI	Baker Island	United States	0	1.67	0.64		

GMI: Global Mapping International  
FIPS: Federal Information Processing Standards

**Tabla C.4: Base de datos países F-I**

Código		Nombre del País	Soberano	Población	Area (Km <sup>2</sup> )	Area (Mi <sup>2</sup> )	Moneda	
FIPS	GMI						Tipo	Código
FR	FRA	France	France	57757060	546728.88	211092.00	Franc	FRF
FS	ATF	French Southern & Antarctic Lands	France	0	7504.24	2897.39		
GA	GMB	Gambia, The	Gambia, The	936026	10677.60	4122.62	Dalasi	GMD
GB	GAB	Gabon	Gabon	1561195	261688.70	101038.00	CFA Franc	XOF
GG	GEO	Georgia	Georgia	5595552	69943.23	27005.08	Lari	
GH	GHA	Ghana	Ghana	16698090	239980.91	92656.63	Cedi	GHC
GI	GIB	Gibraltar	United Kingdom	28743	7.27	2.81	Pound	GIP
GJ	GRD	Grenada	Grenada	95608	366.85	141.64	EC Dollar	XCD
GK	XGK	Guernsey	United Kingdom	62920	77.82	30.05	Pound Sterling	GBP
GL	GRL	Greenland	Denmark	55413	2142661.00	827281.38	Danish Krone	DKK
GM	DEU	Germany	Germany	81436300	356108.81	137493.59	Mark	DEM
GO	REU	Glorioso Islands	France	0	6.93	2.68		
GP	GLP	Guadeloupe	France	410638	1743.32	673.09	Franc	FRF
GQ	GUM	Guam	United States	143173	572.34	220.98	US Dollar	USD
GR	GRC	Greece	Greece	10307460	131851.91	50908.02	Drachma	GRD
GT	GTM	Guatemala	Guatemala	10321270	109501.80	42278.64	Quetzal	GTQ
GV	GIN	Guinea	Guinea	62420070	246076.50	95010.13	Franc	GNF
GY	GUY	Guyana	Guyana	754931	211241.30	81560.27	Dollar	GYD
GZ	ISR	Gaza Strip	Gaza Strip	728583	373.53	144.22		
HQ	UMI	Howland Island	United States	0	3.27	1.26		
HR	HRV	Croatia	Croatia	5004112	56287.79	21732.71	Kuna	
HU	HUN	Hungary	Hungary	10310410	92782.20	35823.21	Forint	HUF
IC	ISL	Iceland	Iceland	267240	101805.30	39307.03	Krona	ISK
ID	IDN	Indonesia	Indonesia	189331200	1910842.00	737776.13	Rupiah	IDR
IM	XIM	Man, Isle of	United Kingdom	71296	576.24	222.49	Pound Sterling	GBP

GMI: Global Mapping International  
 FIPS: Federal Information Processing Standards

**Tabla C.5: Base de datos países I-L**

Código		Nombre del País	Soberano	Población	Area (Km <sup>2</sup> )	Area (Mi <sup>2</sup> )	Moneda	
FIPS	GMI						Tipo	Código
IN	IND	India	India	894608700	3089282.00	1192772.00	Rupee	INR
IO	IOT	British Indian Ocean Territory	United Kingdom	0	73.98	28.56		
IR	IRN	Iran	Iran	64193450	1624760.00	627319.81	Rial	IRR
IS	ISR	Israel	Israel	5694890	20773.82	8020.77	Shekel	ILS
IT	ITA	Italy	Italy	57908880	300979.50	116208.20	Lira	ITL
IV	CIV	Ivory Coast	Ivory Coast	13498860	322215.59	124407.40	CFA Franc	XOF
IZ	IRQ	Iraq	Iraq	20941720	436421.91	168502.50	Dinar	IQD
JA	JPN	Japan	Japan	125746300	373049.41	144034.41	Yen	JPY
JE	XJE	Jersey	United Kingdom	87848	120.48	46.52	Pound Sterling	GBP
JM	JAM	Jamaica	Jamaica	2407607	11043.86	4264.03	Dollar	JMD
JN	SJM	Jan Mayen	Norway	-99999	455.24	175.77		
JO	JOR	Jordan	Jordan	3950283	89274.59	34468.92	Dinar	JOD
JQ	UMI	Johnston Atoll	United States	0	3.09	1.20		
JU	REU	Juan De Nova Island	France	0	7.95	3.07		
KE	KEN	Kenya	Kenya	25835250	584428.69	225647.91	Schilling	KES
KG	KGZ	Kyrgyzstan	Kyrgyzstan	4478697	199340.00	76965.17		
KN	PRK	North Korea	North Korea	22034990	122472.60	47286.67	Won	KPW
KR	KIR	Kiribati	Kiribati	77000	1049.99	405.40	Australia Dollar	AUD
KS	KOR	South Korea	South Korea	43410900	98338.61	37968.54	Won	KRW
KT	CXR	Christmas Island	Australia	813	116.38	44.93		
KU	KWT	Kuwait	Kuwait	1639000	16983.97	6557.51	Dinar	KWD
KZ	KAZ	Kazakhstan	Kazakhstan	17117910	2715976.00	1048638.00	Tenge	
LA	LAO	Laos	Laos	4722773	230566.09	89021.57	Kip	LAK
LE	LBN	Lebanon	Lebanon	2942959	10239.88	3953.62	Pound	LBP
LG	LVA	Latvia	Latvia	2690291	64298.89	24825.80	Lat	LVL

GMI: Global Mapping International  
 FIPS: Federal Information Processing Standards

**Tabla C.6: Base de datos países L-M**

Código		Nombre del País	Soberano	Población	Area (Km <sup>2</sup> )	Area (Mi <sup>2</sup> )	Moneda	
FIPS	GMI						Tipo	Código
LH	LTU	Lithuania	Lithuania	3786560	64849.20	25038.28	Litas	
LI	LBR	Liberia	Liberia	2902441	96296.03	37179.90	US Dollar	LRD
LO	SVK	Slovakia	Slovakia	5374362	48648.31	18783.11	Koruna	
LS	LIE	Liechtenstein	Liechtenstein	29342	164.80	63.63	Franc	CHF
LT	LSO	Lesotho	Lesotho	1928269	30351.64	11718.77	Maloti	LSL
LU	LUX	Luxembourg	Luxembourg	387064	2594.12	1001.59	Luxembourg Franc	LUF
LY	LBY	Libya	Libya	5245515	1620515.00	625680.81	Dinar	LYD
MA	MDG	Madagascar	Madagascar	13046690	594856.38	229674.09	Franc	MGF
MB	MTQ	Martinique	France	374574	1100.63	424.96	Franc	FRF
MC	MAC	Macau	Portugal	388576	12.90	4.98	Pataca	MOP
MD	MDA	Moldova	Moldova	4473570	33566.98	12960.21	Leu	
MF	MYT	Mayotte	France	100838	393.38	151.88	Franc	FRF
MG	MNG	Mongolia	Mongolia	2228222	1559176.00	601997.88	Tughrik	MNT
MH	MSR	Montserrat	United Kingdom	12771	105.43	40.71	EC Dollar	XCD
MI	MWI	Malawi	Malawi	10660480	119027.90	45956.67	Kwacha	MWK
MK	MKD	Macedonia	Macedonia	2104035	25321.29	9776.55	Denar	
ML	MLI	Mali	Mali	9744733	1256747.00	485230.00	CFA Franc	XOF
MN	MCO	Monaco	Monaco	27409	11.99	4.63	Franc	FRF
MO	MAR	Morocco	Morocco	27767920	403859.81	155930.30	Dirham	MAD
MP	MUS	Mauritius	Mauritius	1097234	2035.20	785.79	Rupee	MUR
MQ	UMI	Midway Islands	United States	0	10.46	4.04	US Dollar	USD
MR	MRT	Mauritania	Mauritania	2204077	1041570.00	402150.19	Ouguiya	MRO
MT	MLT	Malta	Malta	366410	332.37	128.33	Lira	MTL
MU	OMN	Oman	Oman	2090308	309651.91	119556.60	Rial	OMR
MV	MDV	Maldives	Maldives	11511	165.33	63.83	Rufiyaa	MVR

GMI: Global Mapping International  
FIPS: Federal Information Processing Standards

**Tabla C.7: Base de datos países M-P**

Código		Nombre del País	Soberano	Población	Area (Km <sup>2</sup> )	Area (Mi <sup>2</sup> )	Moneda	
FIPS	GMI						Tipo	Código
MW	MON	Montenegro	Montenegro	635442	13743.05	5306.19		
MX	MEX	Mexico	Mexico	92380850	1962939.00	757890.81	Peso	MXP
MY	MYS	Malaysia	Malaysia	19626380	330269.59	127517.10	Ringgit	MYR
MZ	MOZ	Mozambique	Mozambique	16604660	788628.88	304489.59	Metical	MZM
NC	NCL	New Caledonia	France	178000	19140.61	7390.19	CFP Franc	
NE	NIU	Niue	New Zealand	2000	227.82	87.96	Dollar	NZD
NF	NFK	Norfolk Island	Australia	2209	41.62	16.07	Dollar	AUD
NG	NER	Niger	Niger	8797739	1186021.00	457922.69	CFA Franc	XOF
NH	VUT	Vanuatu	Vanuatu	165000	12534.90	4839.73	Vatu	VUV
NI	NGA	Nigeria	Nigeria	97228750	912038.63	352138.09	Naira	NGN
NL	NLD	Netherlands	Netherlands	15447470	35492.69	13703.73	Guilder	NLG
NO	NOR	Norway	Norway	4328519	316962.41	122379.20	Krone	NOK
NP	NPL	Nepal	Nepal	19927280	147292.59	56869.67	Rupee	NPR
NR	NRU	Nauru	Nauru	10000	28.49	11.00	Australia Dollar	AUD
NS	SUR	Suriname	Suriname	428026	145497.50	56176.59	Guilder	SRG
NT	ANT	Netherlands Antilles	Netherlands	191572	804.38	310.57	Guilder	ANG
NU	NIC	Nicaragua	Nicaragua	4275103	129047.40	49825.20	Cordoba	NIC
NZ	NZL	New Zealand	New Zealand	3528197	266820.19	103019.30	NZ Dollar	NZD
PA	PRY	Paraguay	Paraguay	4773464	400089.41	154474.50	Guarani	PYG
PC	PCN	Pitcairn Islands	United Kingdom	56	53.37	20.61	Dollar	NZD
PE	PER	Peru	Peru	24496400	1296912.00	500737.69	Nuevo Sol	PEN
PF	XPF	Paracel Islands	Paracel Islands	0	14.80	5.72		
PG	XPG	Spratly Islands	Spratly Islands	0	16.54	6.39		
PK	PAK	Pakistan	Pakistan	126693000	877753.38	338900.59	Rupee	PKR
PL	POL	Poland	Poland	37911870	310715.09	119967.10	Zloty	PLZ

GMI: Global Mapping International  
 FIPS: Federal Information Processing Standards

**Tabla C.8: Base de datos países P-S**

Código		Nombre del País	Soberano	Población	Area (Km <sup>2</sup> )	Area (Mi <sup>2</sup> )	Moneda	
FIPS	GMI						Tipo	Código
PM	PAN	Panama	Panama	2562045	74697.11	28840.55	Balboa	PAB
PO	PRT	Portugal	Portugal	9625516	92098.27	35559.14	Escudo	PTE
PP	PNG	Papua New Guinea	Papua New Guinea	4039033	466161.19	179984.80	Kina	PGK
PS	PLW	Pacific Islands (Palau)	United States	16411	482.69	186.37	Dollar	USD
PU	GNB	Guinea-Bissau	Guinea-Bissau	1085777	33635.39	12986.62	Peso	GWP
QA	QAT	Qatar	Qatar	478000	11098.88	4285.28	Riyal	QAR
RE	REU	Reunion	France	644000	2576.21	994.68	Franc	FRF
RM	MHL	Marshall Islands	Marshall Islands	53363	134.35	51.87	Dollar	USD
RO	ROM	Romania	Romania	23540550	236654.00	91372.11	Leu	ROL
RP	PHL	Philippines	Philippines	65981120	298133.81	115109.50	Peso	PHP
RQ	PRI	Puerto Rico	United States	3647931	9062.78	3499.14	Dollar	USD
RS	RUS	Russia	Russia	151827600	16851940.00	6506534.00	Ruble	SUR
RW	RWA	Rwanda	Rwanda	7934396	25228.23	9740.62	Franc	RWF
SA	SAU	Saudi Arabia	Saudi Arabia	18099990	1960175.00	756823.63	Riyal	SAR
SB	SPM	St. Pierre and Miquelon	France	6809	244.36	94.35	Franc	FRF
SC	KNA	St. Kitts and Nevis	St. Kitts and Nevis	42908	275.22	106.26	EC Dollar	XCD
SE	SYC	Seychelles	Seychelles	73000	488.83	188.74	Rupee	SCR
SF	ZAF	South Africa	South Africa	40658820	1223111.00	472243.19	Rand	ZAR
SG	SEN	Senegal	Senegal	8116554	196910.70	76027.22	CFA Franc	XOF
SH	SHN	St. Helena	United Kingdom	6782	391.18	151.04	Pound	SHP
SI	SVN	Slovenia	Slovenia	1951443	20245.69	7816.86	Tolar	SLT
SL	SLE	Sierra Leone	Sierra Leone	4551746	72531.43	28004.38	Leone	SLL
SM	SMR	San Marino	San Marino	23758	63.17	24.39	Lira	ITL
SN	SGP	Singapore	Singapore	2824024	526.04	203.11	Dollar	SGD
SO	SOM	Somalia	Somalia	9951515	639065.13	246743.00	Shilling	SOS

GMI: Global Mapping International  
 FIPS: Federal Information Processing Standards

**Tabla C.9: Base de datos países S-U**

Código		Nombre del País	Soberano	Población	Area (Km <sup>2</sup> )	Area (Mi <sup>2</sup> )	Moneda	
FIPS	GMI						Tipo	Código
SP	ESP	Spain	Spain	39267780	505674.41	195240.91	Peseta	ESP
SR	SRB	Serbia	Serbia	9979116	88201.76	34054.70		
ST	LCA	St. Lucia	St. Lucia	141743	605.38	233.74	EC Dollar	XCD
SU	SDN	Sudan	Sudan	27713420	2490409.00	961546.88	Pound	SDP
SV	SJM	Svalbard	Norway	3148	61936.76	23913.78	Kroner	NOK
SW	SWE	Sweden	Sweden	8728217	443799.69	171351.09	Krone	SEK
SX	SGS	South Georgia and the South Sandwich Is	United Kingdom	0	3917.94	1512.72		
SY	SYR	Syria	Syria	14045470	187937.00	72562.48	Pound	SYP
SZ	CHE	Switzerland	Switzerland	6713839	41178.40	15898.98	Franc	CHF
TC	ARE	United Arab Emirates	United Arab Emirates	2061800	71234.41	27503.61	Dirham	AED
TD	TTO	Trinidad and Tobago	Trinidad and Tobago	1292000	5151.65	1989.05	Dollar	TTD
TH	THA	Thailand	Thailand	57323780	515144.00	198897.09	Baht	THB
TI	TJK	Tajikistan	Tajikistan	5382232	142410.30	54984.62	Ruble	SUR
TK	TCA	Turks and Caicos Islands	United Kingdom	14512	490.70	189.46	Dollar	USD
TL	TKL	Tokelau	New Zealand	1600	20.13	7.77	Dollar	NZD
TN	TON	Tonga	Tonga	98000	696.53	268.93	Pa'anga	TOP
TO	TGO	Togo	Togo	4048365	57299.69	22123.41	CFA Franc	XOF
TP	STP	Sao Tome and Principe	Sao Tome and Principe	128603	1047.79	404.55	Dobra	STD
TS	TUN	Tunisia	Tunisia	8620181	155401.50	60000.52	Dinar	TND
TU	TUR	Turkey	Turkey	61300930	779986.19	301152.69	Lira	TRL
TV	TUV	Tuvalu	Tuvalu	13000	30.80	11.89	Dollar	
TW	TWN	Taiwan	Taiwan	21465881	36346.09	14033.23	Dollar	TWD
TX	TKM	Turkmenistan	Turkmenistan	3714642	471428.50	182018.50	Manat	
TZ	TZA	Tanzania, United Republic of	Tanzania, United Republic of	28386270	944976.88	364855.59	Schilling	TZS
UG	UGA	Uganda	Uganda	18144360	243049.91	93841.56	Schilling	UGX

GMI: Global Mapping International  
FIPS: Federal Information Processing Standards

**Tabla C.10: Base de datos países U-Z**

Código		Nombre del País	Soberano	Población	Area (Km <sup>2</sup> )	Area (Mi <sup>2</sup> )	Moneda	
FIPS	GMI						Tipo	Código
UK	GBR	United Kingdom	United Kingdom	56420180	243137.20	93875.27	Pound Sterling	GBP
UP	UKR	Ukraine	Ukraine	53164920	596040.88	230131.41	Hryvna	
US	USA	United States	United States	258833000	9450720.00	3648923.00	Dollar	USD
UV	BFA	Burkina Faso	Burkina Faso	10164690	273719.19	105683.00	CFA Franc	XOF
UY	URY	Uruguay	Uruguay	3084641	178140.80	68780.16	Peso	UYP
UZ	UZB	Uzbekistan	Uzbekistan	20841790	445711.31	172089.09	Som	
VC	VCT	St. Vincent and the Grenadines	St. Vincent and the Grenadines	110459	389.62	150.43	EC Dollar	XCD
VE	VEN	Venezuela	Venezuela	19857850	916560.50	353884.00	Bolivar	VEB
VM	VNM	Vietnam	Vietnam	71215210	327122.59	126302.00	Dong	VND
VQ	VIR	Virgin Islands	United States	101614	348.73	134.65	Dollar	USD
WA	NAM	Namibia	Namibia	1550917	825632.00	318776.50	Rand	
WE	ISR	West Bank	West Bank	1427741	5815.65	2245.42		
WF	WLF	Wallis and Futuna	France	14000	173.35	66.93	CFP Franc	
WI	ESH	Western Sahara	Western Sahara	222631	269601.59	104093.20		
WQ	UMI	Wake Island	United States	4000	11.72	4.52	Dollar	USD
WS	WSM	Western Samoa	Western Samoa	159000	2802.68	1082.11	Tala	WST
WZ	SWZ	Swaziland	Swaziland	842766	17164.11	6627.06	Lilangeni	SZL
YM	YEM	Yemen	Yemen	15351120	425520.91	164293.59	Riyal	YER
ZA	ZMB	Zambia	Zambia	8778681	754772.69	291417.81	Kwacha	ZMK
ZI	ZWE	Zimbabwe	Zimbabwe	11106690	390803.500	150889.203	Dollar	ZWD

GMI: Global Mapping International

FIPS: Federal Information Processing Standards

**Tabla C.11: Base de datos ríos del Mundo**

Nombre del Río	Sistema	Nombre del Río	Sistema
Aldan	Lena	Nile	Nile
Amazon	Amazon	Nipigon	
Amu Darya		Ob	Ob
Amur		Ohio	Mississippi
Angara		Orange	
Araguaia		Orinoco	
Arkansas	Mississippi	Paraguay	Parana
Benue		Parana	Parana
Blue Nile	Nile	Peace	Mackenzie
Brahmaputra		Pechora	
Chire		Purus	Amazon
Colorado		Putamayo	Amazon
Columbia		Rhine	
Congo	Congo	Río Branco	Amazon
Danube		Río Grande, North America	
Darling		Río Juruena	Amazon
Dauphin		Río Marañon	Amazon
Dnieper		Río Negro	Amazon
Don		Río Paranaíba	Parana
Euphrates	Tigris/Euphrates	Río Teles Pires	Amazon
Firat	Tigris/Euphrates	Salween	
Ganges		San Francisco	
Gota Alv		San Juan	
Great Bear	Mackenzie	Saskatchewan	
Guapore	Amazon	Shatt al Arab	Tigris/Euphrates
Huang He		Slave	Mackenzie
Irrawaddy		St. Clair	
Irtys	Ob	St. Lawrence	
Japura	Amazon	Suir	
Kama		Syr Darya	
Kolyma		Tapajos	Amazon
Koukdjuak		Tigris	Tigris/Euphrates
Lena	Lena	Tobol	Ob
Lualaba	Congo	Tocantins	
Lukaga	Congo	Ubangi	Congo
Mackenzie	Mackenzie	Ucayali	Amazon
Madeira	Amazon	Ural	
Madre de Dios	Amazon	Vilyuy	Lena
Magdalena		Volga	
Mekong		Waterhen	
Mississippi	Mississippi	White Nile	Nile
Missouri	Mississippi	Xi Jiang	
Murat	Tigris/Euphrates	Xingu	Amazon
Murray		Yangtze	
Niagara		Yukon	
Niger		Rio Grande, South America	Parana

**Tabla C.12: Base de datos lagos**

Nombre	Area	Elevación	Profundidad
Lake Onega	10019.80	32.92	120.09
Reindeer Lake	7048.89	337.11	219.46
Lake Baikal	32120.07	455.07	1620.93
Lake Balkhash	17862.36	339.85	26.52
Issyk Kul	5837.36	1609.04	701.95
Lake Chad	23063.56	239.88	7.32
Lake Tana	3062.17	1829.71	9.14
Lake Turkana	7415.16	374.90	219.46
Lake Victoria	70373.34	1133.86	84.43
Lake Tanganyika	32847.55	775.11	1463.04
Lake Ladoga	18040.71	3.96	230.12
Lake Vanern	5843.92	43.89	99.06
Great Salt Lake	5933.04	1280.16	14.63
Koko Nor	4538.08	3204.97	38.10
Lake Albert	5384.59	618.74	51.21
Lake Nyasa	25844.87	472.44	694.94
Lake Titicaca	7217.70	3810.00	301.75
Lake Urmia	3872.34	1274.06	14.94
Aral Sea	67579.71	53.04	67.06
Nettilling Lake	4834.47	28.96	-30.18
Great Slave Lake	29681.66	156.36	614.17
Lake Athabasca	7758.17	213.36	124.05
Lake Winnipeg	25198.31	217.32	28.04
Cedar Lake	4543.44	253.29	-30.18
Lake Winnipegosis	5700.19	252.98	11.89
Lake Manitoba	4698.24	247.80	28.04
Lake Nipigon	4442.29	320.04	164.90
Great Lakes	201570.44	175.87	392.89
Lake Ontario	19923.66	74.68	244.45
Lake Erie	26988.38	173.74	64.01
Lake Nicaragua	7303.43	31.09	70.10
Great Bear Lake	31315.72	156.06	413.31
Caspian Sea	409725.26	-28.04	979.93

**Tabla C.13: Base de datos Perú-Ecuador**

País	Provincia	Capital	Area (km <sup>2</sup> )	Habitantes	Densidad (hab/km <sup>2</sup> )
Perú	Amazonas	Chachapoyas	39250	369105	9.40
Perú	Ancash	Huaraz	35865	1014163	28.28
Perú	Apurímac	Abancay	20896	405734	19.42
Perú	Arequipa	Arequipa	63344	981206	15.49
Perú	Ayacucho	Ayacucho	43815	517633	11.81
Perú	Cajamarca	Cajamarca	33318	1327075	39.83
Perú	Cusco	Cusco	72105	1090382	15.12
Perú	Huancavelica	Huancavelica	22132	410225	18.54
Perú	Huanuco	Huanuco	32085	703401	21.92
Perú	Ica	Ica	21306	597503	28.04
Perú	Junín	Huancayo	44197	1119277	25.32
Perú	La Libertad	Trujillo	25495	1341613	52.62
Perú	Lambayeque	Chiclayo	14213	988233	69.53
Perú	Lima	Lima	34797	6797650	195.35
Perú	Loreto	Loreto	368852	778693	2.11
Perú	Madre de Dios	Puerto Maldonado	85183	71636	0.84
Perú	Moquegua	Moquegua	15734	135419	8.61
Perú	Pasco	Cerro de Pasco	25320	242878	9.59
Perú	Piura	Piura	35891	1448474	40.36
Perú	Puno	Puno	71999	1129938	15.69
Perú	San Martín	Moyobamba	51253	619083	12.08
Perú	Tacna	Tacna	16076	238653	14.85
Perú	Tumbes	Tumbes	4657	168764	36.24
Perú	Ucayali	Pucallpa	102411	353067	3.45
Ecuador	Azuay	Cuenca	8125	506090	62.29
Ecuador	Bolívar	Guaranda	3940	155088	39.36
Ecuador	Canar	Azogues	3122	189347	60.65
Ecuador	Carchi	Tulcan	3605	141482	39.25
Ecuador	Chimborazo	Riobamba	6569	364682	55.52
Ecuador	Cotopaxi	Latacunga	6072	276324	45.51
Ecuador	El Oro	Machala	5850	412572	70.53
Ecuador	Esmeraldas	Esmeraldas	15239	306628	20.12
Ecuador	Guayas	Guayaquil	20503	2515146	122.67
Ecuador	Imbabura	Ibarra	4559	265499	58.24
Ecuador	Loja	Loja	11026	384698	34.89
Ecuador	Los Ríos	Babahoyo	7175	527599	73.53
Ecuador	Manabí	Portoviejo	18879	1031927	54.66
Ecuador	Morona Santiago	Macas	33930	84216	2.48
Ecuador	Napo	Tena	25690	103387	4.02
Ecuador	Pastaza	El Puyo	29774	41811	1.40
Ecuador	Pichincha	Quito	12915	1756228	135.98
Ecuador	Sucumbios	Nueva Loja	18327	76952	4.20
Ecuador	Tungurahua	Ambato	3335	361980	108.54
Ecuador	Zamora Chinchipe	Zamora	23111	66167	2.86

**Tabla C.14: Base de datos sistema vial**

Código	Tipo de Vía	Descripción	Longitud (km)
101	Nacional	Carretera Panamericana	31871.20
102	Regional	Carretera Margen Izquierda. Tumbes - Corrales - San Jacinto - Cañaverall - Casitas - Quebrada Fernández - Barrancos - Mallares.	40394.26
201	Departamental	Carretera Margen Derecha. Tumbes - San Juan de la Virgen - Pampas de Hospital - El Naranjo.	34388.60
202	Departamental	Carretera Puerto Pizarro.	2710.78
203	Departamental	Carretera Tumbes - Cabeza de Toro - Papayal.	16262.16
204	Departamental	Carretera Pampas de Hospital - Belen - Caucha - Cotrina.	20724.75
301	Vecinal	Carretera Costanera. La Cruz - Playa Hermosa.	14527.23
302	Vecinal	Carretera Playa Hermosa.	4523.57
303	Vecinal	Carretera Tumbes - Puerto Pizarro.	15024.66
305	Vecinal	Carretera La Canela	7247.31
306	Vecinal	Carretera San Isidro - Litoral	6174.72
307	Vecinal	Carretera La Cruz - San Jacinto.	23107.79
308	Vecinal	Carretera Tacural - Bellavista - Cafeterías - Miraflores.	16184.43
309	Vecinal	Carretera Cerro Blanco - Bigotes - Miraflores.	9593.55
310	Vecinal	Carretera Cerro Blanco - Chacras - La Peña.	18686.21
311	Vecinal	Carretera Cabuyal - Zona Reservada de Tumbes.	22589.17
312	Vecinal	Carretera Huasimo - Cabo Inga.	19530.90
313	Vecinal	Carretera Huasimo - Teniente Astete.	11343.38
314	Vecinal	Carretera Huasimo - Capitan Hoyle.	7552.76

Tabla C. 15: Base de datos centros urbanos 01

Centro Poblado	Este	Norte	Departamento	Provincia	Distrito	1993	Sistema Urbano	Funciones	Fuente
El Faique	559526.18	9536004.94	Piura	Sullana	Lancones	0	Centro poblado terciario	D	INEI
Puerto Pulgueras	570533.59	9535769.91	Piura	Sullana	Lancones	80	Centro poblado terciario	D	INEI
Totoras	558256.09	9540329.37	Piura	Sullana	Lancones	13	Centro poblado terciario	D	INEI
Pedregal	559400.94	9601161.95	Tumbes	Tumbes	Corrales	100	Centro poblado terciario	D	INEI
San Isidro	555824.99	9601217.19	Tumbes	Tumbes	Corrales	1490	Centro poblado terciario	D	INEI
San Pedro de los Incas	558117.23	9601701.11	Tumbes	Tumbes	Corrales	8392	Centro poblado secundario	B - D	INEI
Angostura	566138.36	9585578.31	Tumbes	Tumbes	Pampas de Hospital	54	Centro poblado terciario	D - G	INEI
Belén	565551.78	9590572.24	Tumbes	Tumbes	Pampas de Hospital	51	Centro poblado terciario	D	INEI
Cabeza de Lagarto	564322.46	9594450.77	Tumbes	Tumbes	Pampas de Hospital	225	Centro poblado terciario	D	INEI
Cabuyal	562660.99	9589519.86	Tumbes	Tumbes	Pampas de Hospital	613	Centro poblado terciario	D - G	INEI
El Prado	562438.46	9585065.52	Tumbes	Tumbes	Pampas de Hospital	84	Centro poblado terciario	D	INEI
Limón	562483.53	9588483.87	Tumbes	Tumbes	Pampas de Hospital	360	Centro poblado terciario	D	INEI
Pampas de Hospital	562873.50	9591597.97	Tumbes	Tumbes	Pampas de Hospital	2096	Centro poblado secundario	B - D	INEI
Peña Blanca	569100.59	9593537.40	Tumbes	Tumbes	Pampas de Hospital	223	Centro poblado terciario	D	INEI
Santa María	563223.35	9593484.73	Tumbes	Tumbes	Pampas de Hospital	267	Centro poblado terciario	D	INEI
Cabo Inga	566569.71	9560840.73	Tumbes	Tumbes	San Jacinto	23	Centro poblado terciario	D - I	INEI
Capitán Hoyle	556613.66	9549210.41	Tumbes	Tumbes	San Jacinto	27	Centro poblado terciario	D - I	INEI
Capitana	558217.21	9581946.61	Tumbes	Tumbes	San Jacinto	393	Centro poblado terciario	D	INEI
Carretas	560679.43	9585768.49	Tumbes	Tumbes	San Jacinto	214	Centro poblado terciario	D	INEI
Casa Blanqueada	561176.02	9587226.34	Tumbes	Tumbes	San Jacinto	760	Centro poblado secundario	B - D	INEI
Cristales	561010.49	9598469.41	Tumbes	Tumbes	San Jacinto	366	Centro poblado terciario	D	INEI
El Naranjo	560173.74	9581825.65	Tumbes	Tumbes	San Jacinto	35	Centro poblado terciario	D	INEI
Francos	560648.62	9591746.76	Tumbes	Tumbes	San Jacinto	114	Centro poblado terciario	D	INEI
Higuerón	559455.86	9583601.29	Tumbes	Tumbes	San Jacinto	386	Centro poblado terciario	D	INEI

**Tabla C. 16: Base de datos centros urbanos 01**

Centro Poblado	Este	Norte	Departamento	Provincia	Distrito	1993	Sistema Urbano	Funciones	Fuente
La Peña	560917.83	9594635.20	Tumbes	Tumbes	San Jacinto	551	Centro poblado terciario	D	INEI
Oidor	561030.47	9588623.93	Tumbes	Tumbes	San Jacinto	615	Centro poblado terciario	D	INEI
Pichichal	560067.28	9598711.32	Tumbes	Tumbes	San Jacinto	552	Centro poblado terciario	D	INEI
Plateros	561496.39	9596031.87	Tumbes	Tumbes	San Jacinto	337	Centro poblado terciario	D	INEI
Rica Playa	555234.88	9579087.74	Tumbes	Tumbes	San Jacinto	547	Centro poblado terciario	D - G	INEI
San Jacinto	561396.26	9597708.11	Tumbes	Tumbes	San Jacinto	1998	Centro poblado secundario	B - D	INEI
Teniente Astete	560398.41	9555423.21	Tumbes	Tumbes	San Jacinto	29	Centro poblado terciario	D - I	INEI
Vaquería	560672.91	9590677.35	Tumbes	Tumbes	San Jacinto	660	Centro poblado terciario	D	INEI
Bigotes	571698.56	9594084.18	Tumbes	Tumbes	San Juan de la Virgen	29	Centro poblado terciario	D	INEI
Cafetería	570874.34	9595886.60	Tumbes	Tumbes	San Juan de la Virgen	27	Centro poblado terciario	D	INEI
Cerro Blanco	564564.14	9596710.95	Tumbes	Tumbes	San Juan de la Virgen	1187	Centro poblado terciario	D	INEI
Cruz Blanca	564379.81	9595348.40	Tumbes	Tumbes	San Juan de la Virgen	596	Centro poblado terciario	D	INEI
Garbanzal	563058.29	9600965.45	Tumbes	Tumbes	San Juan de la Virgen	783	Centro poblado terciario	D	INEI
San Juan de la Virgen	563566.09	9599485.20	Tumbes	Tumbes	San Juan de la Virgen	1145	Centro poblado secundario	B - D	INEI
Tacural	563902.03	9598316.58	Tumbes	Tumbes	San Juan de la Virgen	402	Centro poblado terciario	D	INEI
Ciudad de Tumbes	562186.19	9606243.24	Tumbes	Tumbes	Tumbes	72616	Centro urbano principal	A	INEI
Puerto Pizarro	568058.73	9612876.21	Tumbes	Tumbes	Tumbes	1419	Centro poblado secundario	C - E - F	INEI

A : Centro político, administrativo de nivel provincial y departamental, comercial, financiero, de servicios y cultural.

B : Centro político, administrativo de nivel distrital.

C : Centro político, administrativo de nivel subdistrital.

D : Centro residencial y de servicios a la actividad agrícola.

E : Centro residencial y de servicios a la actividad pesquera.

F : Centro turístico - residencial

G : Centro residencial y de apoyo al ecoturismo

H : Centro de turismo y camping

I : Puesto fronterizo

**Tabla C. 17: Base de datos límite distrital**

País	Provincia	Distrito	Población	Superficie	Densidad	Fuente
Ecuador	El Oro	Balsas	8685	60.18	144.32	INEC
Ecuador	El Oro	Las Lajas	5324	320.09	16.63	INEC
Ecuador	El Oro	Paccha	6740	313.63	21.49	INEC
Ecuador	El Oro	Piñas	40000	616.72	64.86	INEC
Ecuador	El Oro	Portobelo	13800	285.70	48.30	INEC
Ecuador	El Oro	Marcabeli	5390	156.28	34.49	INEC
Ecuador	El Oro	Zaruma	28830	771.83	37.35	INEC
Ecuador	Loja	Catamayo	24968	697.71	35.79	INEC
Ecuador	Loja	Chaguarpampa	9824	325.23	30.21	INEC
Ecuador	Loja	Paltas	29216	1181.93	24.72	INEC
Ecuador	Loja	Pindal	7980	227.80	35.03	INEC
Ecuador	Loja	Puyango	17332	667.12	25.98	INEC
Ecuador	Loja	Zapotillo	10639	1250.24	8.51	INEC
Perú	Sullana	Lancones	12197	2189.35	5.57	INEI
Perú	Tumbes	Corrales	21222	157.23	134.97	INEI
Perú	Tumbes	Pampas de Hospital	6322	692.11	9.13	INEI
Perú	Tumbes	San Jacinto	7932	586.12	13.53	INEI
Perú	Tumbes	San Juan de la Virgen	4016	126.19	31.83	INEI
Perú	Tumbes	Tumbes	93133	140.64	662.21	INEI
Perú	Zarumilla	Papayal	6752	193.53	34.89	INEI

**Tabla C. 18: Base de datos límite provincial**

País	Departamento	Provincia	Capital	Población	Superficie	Densidad	Fuente
Ecuador	El Oro	El Oro	Machala	412572	6029.35	68.43	INEC
Ecuador	Loja	Loja	Loja	384698	11519.63	33.39	INEC
Perú	Piura	Sullana	Sullana	265788	5426.61	48.98	INEI
Perú	Tumbes	Contralmirante Villar	Zorritos	17208	2123.23	8.10	INEI
Perú	Tumbes	Tumbes	Tumbes	147330	1800.85	81.81	INEI
Perú	Tumbes	Zarumilla	Zarumilla	37558	745.13	50.40	INEI

**Tabla C.19: Base de datos zona de especialización**

Provincia	Zona de Especialización
Tumbes	Area natural protegida. Zona reservada de Tumbes.
Tumbes	Area santuario de ríos y riberas.
Tumbes	Area natural protegida. Parque nacional Cerros de Amotape.
Tumbes	Area industrial.
Tumbes	Area de amortiguamiento de las áreas nacionales protegidas.
Tumbes	Area de aprovechamiento forestal sostenible.
Tumbes	Area de potencial agropecuario.
Tumbes	Area turística - recreativa.
Tumbes	Area de aprovechamiento acuícola.
Tumbes	Area agro - ecológica. Area potencial.
Tumbes	Area de protección ambiental especial.

**Tabla C.20: Base de datos mapa climatológico**

Cuenca	Tipo de Clima
Puyango - Tumbes	Clima de estepa (Lluvias escasas en el verano).
Puyango - Tumbes	Clima de Selva (Permanentemente húmedo).
Puyango - Tumbes	Zona ecuatoriana ( Datos No disponibles).

**Tabla C.21: Base de datos mapa de suelos**

Cuenca	Tipo de Suelos
Puyango - Tumbes	LV : Litosoles - Vertisoles Crómicos.
Puyango - Tumbes	Js : Fluviosoles éútricos - Fluviosles sálicos.
Puyango - Tumbes	YVc : Yermosol - Vertisol y crómicos.
Puyango - Tumbes	V : Vertisoles Pélicos y crómicos.
Puyango - Tumbes	Zona ecuatoriana (Datos No disponibles).

**Tabla C.22: Base de datos mapa geomorfológico**

Cuenca	Geomorfología
Puyango - Tumbes	Litoral marino, tablazos y terrazas adyacentes.
Puyango - Tumbes	Llanura o pampa costera.
Puyango - Tumbes	Cordillera de la costa (Montañas de Amotape).
Puyango - Tumbes	Zona ecuatoriana (Datos No disponibles).

Tabla C. 23: Base de datos ríos 01

País	Subcuenca	Quebrada	Longitud	País	Subcuenca	Quebrada	Longitud
Ecuador	El Tigre	Abeja de Tierra	4.20	Ecuador	El Tigre	Platanales	3.98
Ecuador	El Tigre	Alpargates	5.14	Ecuador	El Tigre	Romero	7.29
Ecuador	El Tigre	Cazaderos	49.74	Ecuador	El Tigre	Sahinos	4.22
Ecuador	El Tigre	Cerro Verde	10.28	Ecuador	El Tigre	Seca	3.06
Ecuador	El Tigre	Cerro Verde	19.36	Ecuador	El Tigre	Sisahuayco	9.44
Ecuador	El Tigre	Chahuarhuayco	16.90	Ecuador	El Tigre	Soledad	1.72
Ecuador	El Tigre	Chililique	6.56	Ecuador	El Tigre	Tablazon	2.95
Ecuador	El Tigre	Conventos	32.49	Ecuador	El Tigre	Tilacos	12.08
Ecuador	El Tigre	De Chorrillo	7.02	Ecuador	El Tigre	Trapazola	8.86
Ecuador	El Tigre	De La Muerte	13.33	Ecuador	El Tigre	Turinuma	3.68
Ecuador	El Tigre	De Las Cochass	4.14	Ecuador	El Tigre	Turinuna	5.89
Ecuador	El Tigre	De Los Sabalos	3.81	Ecuador	El Tigre	Yerbal Chico	7.50
Ecuador	El Tigre	De Pavas	4.76	Ecuador	El Tigre	Zapallos	13.64
Ecuador	El Tigre	De achiotess	9.22	Ecuador	Marcabeli	Agua Fria	12.26
Ecuador	El Tigre	De los Linderos	6.34	Ecuador	Marcabeli	Agua Fria	2.92
Ecuador	El Tigre	De los Pinos	5.83	Ecuador	Marcabeli	Alambre	3.59
Ecuador	El Tigre	Del Balsal	5.56	Ecuador	Marcabeli	Arezones	3.95
Ecuador	El Tigre	Del Ciruelo	3.37	Ecuador	Marcabeli	Balsa	4.96
Ecuador	El Tigre	Del Retiro	3.43	Ecuador	Marcabeli	Bella	3.30
Ecuador	El Tigre	Don Juan	12.63	Ecuador	Marcabeli	Chaguar	6.00
Ecuador	El Tigre	El Anis	2.98	Ecuador	Marcabeli	Chalanga	13.93
Ecuador	El Tigre	El Cabuyo	4.93	Ecuador	Marcabeli	Changuro	1.55
Ecuador	El Tigre	El Cebollal	7.52	Ecuador	Marcabeli	De Carrizal	9.05
Ecuador	El Tigre	El Chaquino	4.66	Ecuador	Marcabeli	De Chincha	4.11
Ecuador	El Tigre	El Chorro	15.42	Ecuador	Marcabeli	De Chonta	10.59
Ecuador	El Tigre	El Guabo	3.51	Ecuador	Marcabeli	De Daule	3.18
Ecuador	El Tigre	El Guabo	9.14	Ecuador	Marcabeli	De Guerras	10.08
Ecuador	El Tigre	El Hualtacal	3.83	Ecuador	Marcabeli	De Jorupe	5.49
Ecuador	El Tigre	El Inca	2.65	Ecuador	Marcabeli	De La Tingue	2.54
Ecuador	El Tigre	El Limo	6.98	Ecuador	Marcabeli	De Las Peñas	5.08
Ecuador	El Tigre	El Pindo	6.11	Ecuador	Marcabeli	De Las Zorras	3.24
Ecuador	El Tigre	El Pindo	5.30	Ecuador	Marcabeli	De Los Linares	4.84
Ecuador	El Tigre	El Sauce	7.04	Ecuador	Marcabeli	De Olmedo	6.29
Ecuador	El Tigre	El Toro	5.16	Ecuador	Marcabeli	De Ramos	4.45
Ecuador	El Tigre	El Totumo	3.20	Ecuador	Marcabeli	De las Guapalas	3.87
Ecuador	El Tigre	El Tuno	5.44	Ecuador	Marcabeli	Del Baden	5.01
Ecuador	El Tigre	Higuerones	4.09	Ecuador	Marcabeli	El Coco	4.66
Ecuador	El Tigre	Higuerones	2.52	Ecuador	Marcabeli	El Duende	4.99
Ecuador	El Tigre	Hualtacos	5.47	Ecuador	Marcabeli	El Guabo	7.39
Ecuador	El Tigre	Jipituco	6.34	Ecuador	Marcabeli	El Guineo	9.05
Ecuador	El Tigre	La Chorrera	8.01	Ecuador	Marcabeli	El Naranjo	5.23
Ecuador	El Tigre	La Leonera	8.77	Ecuador	Marcabeli	El Naranjo	3.27
Ecuador	El Tigre	La Tuna	2.66	Ecuador	Marcabeli	El Remaca	3.17
Ecuador	El Tigre	Manantial	11.10	Ecuador	Marcabeli	El Roble	3.21
Ecuador	El Tigre	Mangurquillo	11.54	Ecuador	Marcabeli	El Saco	4.13
Ecuador	El Tigre	Ojo de Agua	2.91	Ecuador	Marcabeli	El Uso	3.63
Ecuador	El Tigre	Paletillas	19.23	Ecuador	Marcabeli	Fatima	7.81

Tabla C. 24: Base de datos ríos 02

País	Subcuenca	Quebrada	Longitud	País	Subcuenca	Quebrada	Longitud
Ecuador	El Tigre	Palos	3.28	Ecuador	Marcabeli	Gramalote	2.07
Ecuador	El Tigre	Pasayo	2.50	Ecuador	Marcabeli	Grande	5.86
Ecuador	El Tigre	Paulinos	4.56	Ecuador	Marcabeli	Guallana	3.50
Ecuador	El Tigre	Pitayos	11.59	Ecuador	Marcabeli	Guaranuma	5.95
Ecuador	Marcabeli	Higuerrillas	1.97	Ecuador	Marcabeli	Rumipotrero	16.76
Ecuador	Marcabeli	Honda	2.67	Ecuador	Marcabeli	Saladillo	3.23
Ecuador	Marcabeli	Huapahuas	3.31	Ecuador	Marcabeli	San Antonio	4.05
Ecuador	Marcabeli	Huayquichuma	6.32	Ecuador	Marcabeli	San Antonio	2.89
Ecuador	Marcabeli	Ipanuma	6.47	Ecuador	Marcabeli	San Joaquin	4.57
Ecuador	Marcabeli	La Esperanza	8.18	Ecuador	Marcabeli	San Lorenzo	2.44
Ecuador	Marcabeli	La Isla	2.47	Ecuador	Marcabeli	Santa Ana	6.79
Ecuador	Marcabeli	La Lima	2.99	Ecuador	Marcabeli	Santa Barbara	1.41
Ecuador	Marcabeli	La Ramada	3.20	Ecuador	Marcabeli	Santa Lucia	5.95
Ecuador	Marcabeli	La Sidra	2.59	Ecuador	Marcabeli	Saraguayos	7.45
Ecuador	Marcabeli	La Sillada	2.18	Ecuador	Marcabeli	Shuguagura	4.47
Ecuador	Marcabeli	Lancones	3.01	Ecuador	Marcabeli	Susares	8.67
Ecuador	Marcabeli	Landapo	4.90	Ecuador	Marcabeli	Tabloncillo	6.33
Ecuador	Marcabeli	Langashio	5.85	Ecuador	Marcabeli	Tarapo	2.53
Ecuador	Marcabeli	Las Hadas	2.90	Ecuador	Marcabeli	Tunes	4.27
Ecuador	Marcabeli	Loma Grande	3.16	Ecuador	Marcabeli	Usulada	6.74
Ecuador	Marcabeli	Los Guabos	2.24	Ecuador	Marcabeli	Zamanga	1.66
Ecuador	Marcabeli	Los Tigres	6.04	Ecuador	Puyango	Alejandria	3.77
Ecuador	Marcabeli	Luzumbe	2.55	Ecuador	Puyango	Almendral	6.50
Ecuador	Marcabeli	Machala	4.60	Ecuador	Puyango	Alto de la Cruz	1.88
Ecuador	Marcabeli	Mishquillana	4.40	Ecuador	Puyango	Arenal	11.29
Ecuador	Marcabeli	Nalashapo	10.85	Ecuador	Puyango	Carranza	5.24
Ecuador	Marcabeli	Palto	2.99	Ecuador	Puyango	Chirimoyo	5.40
Ecuador	Marcabeli	Picolas	4.78	Ecuador	Puyango	Cochurco	15.27
Ecuador	Marcabeli	Picotilla	3.34	Ecuador	Puyango	Cumbrerillas	6.15
Ecuador	Marcabeli	Piedra Blanca	2.49	Ecuador	Puyango	De Las Nubes	5.89
Ecuador	Marcabeli	Piedra Brillante	3.81	Ecuador	Puyango	Del Corral	3.73
Ecuador	Marcabeli	Pilares	11.86	Ecuador	Puyango	El Gaucho	6.36
Ecuador	Marcabeli	Pueblo Viejo	9.56	Ecuador	Puyango	El Mango	6.55
Ecuador	Marcabeli	Rambram	4.08	Ecuador	Puyango	El Puyo	8.66
Ecuador	Marcabeli	Río Amarillo	25.30	Ecuador	Puyango	El Tigre	2.82
Ecuador	Marcabeli	Río Ambocas	24.56	Ecuador	Puyango	El Tundo	3.32
Ecuador	Marcabeli	Río Balsas	8.27	Ecuador	Puyango	El Tundo del Medio	2.15
Ecuador	Marcabeli	Río Calera	11.78	Ecuador	Puyango	Gramalote	4.10
Ecuador	Marcabeli	Río Chiguango	8.44	Ecuador	Puyango	La Chorrera	2.33
Ecuador	Marcabeli	Río Elvira	11.24	Ecuador	Puyango	La Esperanza	1.83
Ecuador	Marcabeli	Río Granadillo	11.76	Ecuador	Puyango	Las Palmas	3.65
Ecuador	Marcabeli	Río Luis	20.51	Ecuador	Puyango	Limon	6.47
Ecuador	Marcabeli	Río Mirmir	7.48	Ecuador	Puyango	Mangalillo	4.60
Ecuador	Marcabeli	Río Moro Moro	23.50	Ecuador	Puyango	Negra	7.66
Ecuador	Marcabeli	Río Negro Chorro	8.84	Ecuador	Puyango	Orianga	3.61
Ecuador	Marcabeli	Río Ortega	9.54	Ecuador	Puyango	Paltapamba	3.43
Ecuador	Marcabeli	Río Palto	7.61	Ecuador	Puyango	Pambalamaca	13.05

Tabla C. 25: Base de datos ríos 03

País	Subcuenca	Quebrada	Longitud	País	Subcuenca	Quebrada	Longitud
Ecuador	Marcabeli	Río Pindo	17.63	Ecuador	Puyango	Pindalillo	6.30
Ecuador	Marcabeli	Río Piñas	14.05	Ecuador	Puyango	Quemazones	5.47
Ecuador	Marcabeli	Río Puyango	97.85	Ecuador	Puyango	Rabija	11.79
Ecuador	Marcabeli	Río Salado	17.61	Ecuador	Puyango	Río Marcabeli	13.93
Ecuador	Marcabeli	Río San Jose	15.14	Ecuador	Puyango	Río del Oro	12.09
Ecuador	Marcabeli	Río Umbalas	9.85	Ecuador	Puyango	Shoa	23.27
Ecuador	Marcabeli	Río Yaguachi	23.97	Ecuador	Puyango	Toro Muerto	3.72
Ecuador	Marcabeli	Romerillas	6.41	Ecuador	Puyango	Tunima	15.10
Perú	El Tigre	Almendral	2.88	Perú	El Tigre	Romón	4.79
Perú	El Tigre	Almendras	2.81	Perú	El Tigre	Sapotes	2.97
Perú	El Tigre	Capital	8.12	Perú	El Tigre	Sauco	2.26
Perú	El Tigre	Carretas	4.84	Perú	El Tigre	Seca	6.61
Perú	El Tigre	Carrillos	5.40	Perú	El Tigre	Seca	7.08
Perú	El Tigre	Carrizales	4.99	Perú	El Tigre	Totoras	10.62
Perú	El Tigre	Cayana	11.52	Perú	El Tigre	Ucumares	5.71
Perú	El Tigre	Ceybo Mocho	3.94	Perú	El Tigre	Zapayalito	2.86
Perú	El Tigre	Chorrillos	10.62	Perú	Tumbes	Acequia	5.66
Perú	El Tigre	Chulucanas	3.85	Perú	Tumbes	Acequia	18.20
Perú	El Tigre	Cienego	3.04	Perú	Tumbes	Acequia	7.90
Perú	El Tigre	Corrales	3.48	Perú	Tumbes	Acequia	5.84
Perú	El Tigre	Culebras	4.72	Perú	Tumbes	Acequia	10.89
Perú	El Tigre	Cusco	24.41	Perú	Tumbes	Acequia	14.43
Perú	El Tigre	De la Piedra	2.77	Perú	Tumbes	Achotes	2.88
Perú	El Tigre	De la Vaca	2.56	Perú	Tumbes	Algarrobillo	9.61
Perú	El Tigre	De los Recios	11.29	Perú	Tumbes	Batán de Felipe	3.29
Perú	El Tigre	Del Burro	4.84	Perú	Tumbes	Cabeza de Toro	2.60
Perú	El Tigre	Del Castro	4.23	Perú	Tumbes	Ceibal	10.68
Perú	El Tigre	Del Tigre	4.67	Perú	Tumbes	Chacras	16.23
Perú	El Tigre	Del Tutumo	6.17	Perú	Tumbes	Colorado	13.30
Perú	El Tigre	Del valdivias	5.37	Perú	Tumbes	Cristales	2.89
Perú	El Tigre	Don Pablo (Honda)	27.47	Perú	Tumbes	De Bruno	19.16
Perú	El Tigre	El Cedro	5.03	Perú	Tumbes	De Oidor	4.28
Perú	El Tigre	El Huásimo	12.98	Perú	Tumbes	De Urcos	4.87
Perú	El Tigre	Garzas	12.35	Perú	Tumbes	De la Angostura	28.72
Perú	El Tigre	Guabal	3.19	Perú	Tumbes	De la Peña	4.70
Perú	El Tigre	Guabo	4.83	Perú	Tumbes	De las Anonas	8.36
Perú	El Tigre	Guanabano	23.55	Perú	Tumbes	Del Alambique	16.55
Perú	El Tigre	Guineal	4.82	Perú	Tumbes	El Mancoreño	6.55
Perú	El Tigre	Higuerón	13.58	Perú	Tumbes	El Padre	16.63
Perú	El Tigre	Huacayán	2.63	Perú	Tumbes	El Papayo	5.67
Perú	El Tigre	Hualtaca	5.20	Perú	Tumbes	El Tigre	4.90
Perú	El Tigre	Jardin	13.89	Perú	Tumbes	Estero Puerto Rico	9.96
Perú	El Tigre	Jorupe	10.09	Perú	Tumbes	Huapalas	6.24
Perú	El Tigre	La Lemo	2.87	Perú	Tumbes	Huarapal	14.19
Perú	El Tigre	León Muerto	4.55	Perú	Tumbes	Huasimito	9.05
Perú	El Tigre	Llescas	7.60	Perú	Tumbes	La Garita	5.65
Perú	El Tigre	Mal Paso	5.18	Perú	Tumbes	La Jardina	18.67

**Tabla C. 26: Base de datos ríos 04**

País	Subcuenca	Quebrada	Longitud	País	Subcuenca	Quebrada	Longitud
Perú	El Tigre	Marcos	4.36	Perú	Tumbes	Las Peñas	20.10
Perú	El Tigre	Meridiano	4.80	Perú	Tumbes	Las Vacas	2.61
Perú	El Tigre	Miraderos	5.71	Perú	Tumbes	Luey	10.51
Perú	El Tigre	Modroño	5.71	Perú	Tumbes	Medrales	9.54
Perú	El Tigre	Murciélago	17.35	Perú	Tumbes	Negrito	5.83
Perú	El Tigre	Pampa del Rey	4.10	Perú	Tumbes	Oberazal	5.40
Perú	El Tigre	Pan de Azucar	3.09	Perú	Tumbes	Pedregal	6.94
Perú	El Tigre	Payasito	4.01	Perú	Tumbes	Peña Blanca	6.59
Perú	El Tigre	Pellejitos	2.23	Perú	Tumbes	Pozo de Peña	4.03
Perú	El Tigre	Peñitas	8.63	Perú	Tumbes	Río Tumbes	93.84
Perú	El Tigre	Ramonales	5.87	Perú	Tumbes	San Juan	4.06
Perú	El Tigre	Rica Playa	10.54	Perú	Tumbes	Vaquería	11.07

## **Apéndice D: Listado de Programas en Avenue**

**D.1. Acerca**

' Description: Opens the Acercade dialog.

```
av.FindDialog("Acercade").Open
```

**D.2. CPT01**

```
theDoc = av.GetActiveDoc  
theDoc.GetWin.Close  
theVal = "1. Mapa Mundial"  
if (not (theVal.IsNull)) then  
  theDoc = av.GetProject.FindDoc(theVal)  
  if (nil <> theDoc) then  
    theDoc.GetWin.Open  
  end  
end
```

**D.3. CPT02**

```
theDoc = av.GetActiveDoc  
theDoc.GetWin.Close  
theVal = "2. Perú - Ecuador"  
if (not (theVal.IsNull)) then  
  theDoc = av.GetProject.FindDoc(theVal)  
  if (nil <> theDoc) then  
    theDoc.GetWin.Open  
  end  
end
```

**D.4. CPT03**

```
theDoc = av.GetActiveDoc  
theDoc.GetWin.Close  
theVal = "3. Zona de estudio"  
if (not (theVal.IsNull)) then  
  theDoc = av.GetProject.FindDoc(theVal)  
  if (nil <> theDoc) then  
    theDoc.GetWin.Open  
  end  
end
```

**D.5. CPT04**

```
theDoc = av.GetActiveDoc
theDoc.GetWin.Close
theVal = "4. Cuenca del río Puyango - Tumbes"
if (not (theVal.IsNull)) then
  theDoc = av.GetProject.FindDoc(theVal)
  if (nil <> theDoc) then
    theDoc.GetWin.Open
  end
end
```

**D.6. CPT05**

```
theDoc = av.GetActiveDoc
theDoc.GetWin.Close
theVal = "5. Hidrología de la cuenca"
if (not (theVal.IsNull)) then
  theDoc = av.GetProject.FindDoc(theVal)
  if (nil <> theDoc) then
    theDoc.GetWin.Open
  end
end
```

**D.7. CPT06**

```
theDoc = av.GetActiveDoc
theDoc.GetWin.Close
theVal = "6. Variación del cauce en el tiempo"
if (not (theVal.IsNull)) then
  theDoc = av.GetProject.FindDoc(theVal)
  if (nil <> theDoc) then
    theDoc.GetWin.Open
  end
end
```