



**Universidad Autónoma del  
Estado de México**



---

**Facultad de Geografía  
Licenciatura en Ciencias Geoinformáticas**

---

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO HIDROGEOMÁTICO  
PARA LA ESTIMACIÓN DE PARÁMETROS  
FISIOGRÁFICOS DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS**

**TESIS**

**PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
LICENCIADO EN CIENCIAS GEOINFORMÁTICAS**

*Presentan:*

**RODRÍGUEZ FERNÁNDEZ Guillermo**

**SANTOS CRUZ Víctor Alfonso**

*Director de Tesis*

**M.C.A. Roberto FRANCO PLATA**

Abril de 2007

## *Dedicatorias:*

*A mis queridos padres Guillermo Rodríguez Cerecero y Ana María Fernández Sánchez. Éste trabajo representa para mí el fruto de su incondicional apoyo y cariño.... ¡Gracias!*

*A mi hermano Hugo Rodríguez Fernández...gracias hermano por contar con tu apoyo y compañía durante estos años de lucha y trabajo*

*A la memoria de mis hermanos Edith y Alberto... siempre llevaré presente su recuerdo y nunca los olvidaré*

*Guillermo*

## **Reconocimientos:**

*Me permito hacer un especial reconocimiento a todos mis profesores que participaron en mi formación... en particular a aquellos que me enseñaron el verdadero valor y sentido del estudio, la amistad y el trabajo:*

- *A mi maestro y amigo M.C.A. Roberto Franco Plata. Su trabajo me representa el modelo y el referente a seguir en mis próximas metas.*
- *Lic. Armando Herrera Reyes*
- *Lic. Inocencia Cadena Rivera*
- *Ing. Sandra L. Hernández Zetina*
- *Lic. Tonatiuh Suárez Meaney*
- *Dr. José Isabel Juan Pérez*
- *Dra. Marivel Hernández Téllez*
- *M. Jesús Gastón Gutiérrez Cedillo*
- *Ing. Eduardo Murillo Olvera*
- *Ing. Hugo L. Munguía Ortiz*
- *Lic. Martín Soto Romero*
- *Ing. Leonardo Alfonso Ramos Corona*
- *Ing. José Gallardo Leyva*
- *Dr. Sergio Franco Maass*
- *M. Rafael Candéau Dufat*
- *Lic. Miguel Contreras Castrejón*
- *Dr. Delfino Madrigal Uribe*
- *Lic. Francisco Reyna Sáenz*

**Guillermo**

## *Agradecimientos:*

*Por medio de este trabajo, quiero agradecer el apoyo y amistad que me brindaron mis compañeros de la Primera Generación de Ciencias Geoinformáticas, en especial a Víctor Alfonso, David Núñez, Vicente, L'Baruch, Yecy Elizabeth, Ivonne, Emmanuel, Eduardo, Armando Rangel, Carlos, Julio, Roberto, Moisés, Jorge, José Antonio, Juan Manuel y Perla.*

*De igual manera, agradezco el apoyo que me manifestaron mis demás amigos con los que tengo la fortuna de compartir una fructuosa amistad: Víctor Alfonso, Julia, Marilú, Anaid, Dolores, Lucy, Maurice, Alex Pelayo, Norma, Itzel, Rosario, Lorena, Miriam, Carmen, Barry, Alonso, Adolfo, Mireya, Leonel, Robin, Carlos Alfredo, José Irepan, Alfredo y al Dr. José Isabel Pérez por su apoyo en la consolidación de este trabajo*

*Guillermo*



## ***Dedicatorias***

*A mi tío Daniel por todo su apoyo durante este tiempo de estudios y por ser ejemplo de hombre fuerte me ayudo a moldear algo substancial de mí*

*A mi tía Mary por sus atenciones conmigo que aun no siendo de su familia siempre me trató muy bien y por eso ya forma parte de las personas que mas quiero.*

*A mi madre por la esperanza en este su niño precioso y por su inmensa ternura.*

*A mi padre por su apoyo y por esos consejos de vida que nunca se olvidan.*

*A mi tío Guillermo porque el recuerdo de su gran cariño siempre hacen que llueva en mis ojos.*

*A mis hermanas Brisa, Marlene, Fabiola, Abigail, mis tíos Leticia, Alfonso, Raciél, mis abuelos Cristina y Alfonso.*

*A la memoria de mi abuelita Rosa Cruz.*

## ***Agradecimientos***

*Al maestro Franco Plata por ser un excelente asesor, por demostrarnos que sabia hacer cada una de las cosas que nos pedía en su momento, por sentarse con nosotros a considerar las situaciones.*

*A mi inseparable amigo Memo por compartir su talento y su conocimiento conmigo, amistad para siempre, ¡sabe que se le aprecia!*

*Al Dr. José Isabel por su apoyo y su amistad.*

***V. Alfonso***

# RESUMEN

El presente trabajo está enfocado a explicar la justificación y metodología participante en el diseño, implementación y funcionalidad de un módulo de trabajo orientado al cálculo de los parámetros fisiográficos morfológicos, del drenaje y el río principal de la cuenca. El módulo fue concebido para trabajar en el entorno de trabajo del software *ArcView* en sus versiones 3.1 y 3.2, por ello, para la consecución de resultados es necesario contar con una base de geodatos: polígono de la cuenca<sup>1</sup>, red de drenaje y el modelo numérico de altitud (MNA) del terreno.

Dentro de la metodología se precisó el uso de diversas ecuaciones para caracterizar cada parámetro y por tanto la concepción de un diseño conceptual y un diseño lógico (fase de análisis). Posteriormente se desarrollaron las fases propias del diseño físico del módulo enmarcadas por los procesos de implementación, prueba y depuración.

El módulo fue concebido para trabajar geodatos reales llegando a la conclusión de su alta efectividad y repercusión en el ahorro de tiempo y recursos. La inversión de tiempo puede oscilar en el término de minutos o algunas horas (en cuencas y redes de drenaje muy grandes), sin embargo, comparado con el tiempo requerido para llevar a cabo este proceso con métodos manuales es poco significativo.

**Palabras clave:** Geomática, Módulo, Parámetros Fisiográficos, Cuenca, Hidrogeomática, Sistema de Información Geográfica, Diseño, Implementación.

---

<sup>1</sup> NOTA IMPORTANTE: Para este trabajo, el término **cuenca** indica una referencia generalizada que se asocia al espacio geográfico y no a un espacio concreto de estudio o caso de uso. El lector no debe confundir cuando en ciertas referencias de este trabajo se use el juego de palabras “**la cuenca**”, esperando que se mencione algún nombre distintivo de un espacio de estudio concreto; de hecho, lo que se documenta en este trabajo, es la documentación de un módulo hidrogeomático que encargará de calcular las características fisiográficas de cualquier cuenca.

# CONTENIDO

CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES.....	1
1.1 Introducción.....	1
1.2. Planteamiento del Problema .....	3
1.3. ¿Porqué deben ser considerados los parámetros mencionados anteriormente?.....	4
1.4. Justificación.....	7
1.5. Antecedentes .....	9
1.5.1. Desarrollo de las plataformas de modelación hidrológica.....	9
1.5.2. Desarrollo y evolución de los Sistemas de Información Geográfica.....	10
1.5.3. Desarrollo y evolución de las plataformas de modelación hidrológica auxiliadas de los Sistemas de Información Geográfica.....	12
1.6. Objetivos .....	14
1.6.1. Objetivo General.....	14
1.6.2. Objetivos específicos.....	14
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO .....	16
2.1. Conceptos básicos.....	16
2.1.1. Hidrología.....	16
2.1.2. Cuenca hidrográfica.....	16
2.1.3. Geomática.....	17
2.1.4. Hidrogeomática.....	20
2.2. Los SIG y su utilización en la estimación en los parámetros de cuencas .....	20
2.2.1. Estructuración informática de un SIG.....	21
2.2.2. Los tipos de análisis de un SIG.....	23
2.2.3. Clasificación de los SIG.....	24
2.2.4. Las estructuras de datos y representación en un SIG.....	25
2.2.5. El Modelo Numérico de altitud (MNA).....	27
2.3. Los parámetros fisiográficos de la cuenca .....	28
2.3.1. Parámetros morfométricos de una cuenca.....	29
2.3.1.1. Área y superficie real.....	29
2.3.1.2. Perímetro.....	30
2.3.1.3. Coeficientes de forma.....	31
2.3.1.3.1. Coeficiente de compacidad.....	31
2.3.1.3.2. Relación de circularidad.....	31
2.3.1.3.3. Relación de elongación.....	32
2.3.1.3.4. Factor de forma (Rf).....	32
2.3.1.4. Curva y relación hipsométrica.....	33
2.3.1.5. Rectángulo equivalente.....	35
2.3.1.6. Pendiente media.....	35
2.3.1.7. Elevación media de la cuenca.....	36
2.3.2 Parámetros concernientes a las características del drenaje.....	37
2.3.2.1. Orden de corrientes de acuerdo a Strahler.....	37
2.3.2.2. Densidad de drenaje y densidad de corrientes.....	39
2.3.3. Características del río principal de la cuenca.....	40
2.3.3.1. Longitud de la corriente principal.....	40
2.3.3.2. Corriente de mayor orden en función de la clasificación de Strahler.....	42
2.3.3.3. Longitud axial de la corriente principal.....	42
2.3.3.4. Suma de la longitud de todas las corrientes.....	43
2.3.3.5. Orden Máximo de Corriente de Strahler.....	43
2.3.3.6. Relación Media de Confluencia de las Corrientes de la Cuenca.....	43
2.3.3.7. Tiempo de concentración.....	44
2.4. El proceso de consolidación del módulo informático para la adquisición de las características cuantitativas de una cuenca en un software de ambiente SIG.....	47
2.4.1. Conceptos básicos.....	47
2.4.1.1. Módulo, programa y software.....	47

2.4.1.2. Programación: concepto y tipos. ....	49
2.4.1.3. Lenguaje de programación. ....	49
2.4.1.4. La Programación orientada a objetos. ....	50
2.4.2. El programa <i>ArcView GIS 3x</i> y su lenguaje de programación <i>Avenue</i> . ....	51
2.4.3. <i>Avenue</i> como lenguaje de Programación orientado a objetos. ....	55
2.4.3.1. Objetos. ....	55
2.4.3.2. Clases. ....	56
CAPÍTULO III METODOLOGÍA Y RESULTADOS DE LA IMPLEMENTACIÓN .....	58
3.1. Recopilación de información y reunión de fuentes bibliográficas .....	58
3.2. Definición de marco conceptual referente a la estimación de parámetros fisiográficos de cuenca de forma manual y mediante SIG .....	58
3.3. Definición de los requerimientos para el desarrollo del módulo hidrogeomático y elección de la plataforma de desarrollo e implementación. ....	58
3.3.1. Elección del software y la plataforma de implementación y desarrollo. ....	59
3.4. Estructuración del módulo Hidrogeomático .....	60
3.4.1. Importancia de la planeación del submódulo Preprocesamiento. ....	60
3.4.2. Importancia de la planeación del submódulo Obtención de los parámetros de una cuenca. ....	61
3.5. Diseño conceptual .....	61
3.5.1. Esquematación empleada para el diseño conceptual del módulo hidrogeomático. ....	62
3.5.2. Diseño conceptual del submódulo Preprocesamiento. ....	63
3.5.2.1. Diseño general conceptual del submódulo Preprocesamiento. ....	63
3.5.2.2. Esquema conceptual del proceso 1 correspondiente al diagrama general: Identificación manual de la exutoria y conexión automática. ....	64
3.5.2.3. Esquema conceptual del proceso 2 correspondiente al diagrama general: Procesos automáticos de identificación de la exutoria y conexión. ....	65
3.5.3. Diseño conceptual del submódulo "Obtención de parámetros de la cuenca". ....	66
3.5.3.1. Diagrama general del diseño conceptual del submódulo "Obtención de parámetros de la cuenca". ....	66
3.5.3.2. Modelo conceptual general para la obtención de la curva hipsométrica. ....	68
3.5.3.2.1. Modelo conceptual específico del algoritmo para la obtención de la relación hipsométrica (paso 12.1 del esquema anterior). ....	69
3.5.3.3. Modelo conceptual general para la obtención del rectángulo equivalente. ....	70
3.5.3.3.1. Modelo conceptual específico para la obtención del rectángulo equivalente. ....	71
3.6. Diseño lógico-geomático .....	72
3.6.1. Esquematación empleada para el diseño lógico del módulo hidrogeomático. ....	72
3.6.2. Diseño lógico-geomático del submódulo Preprocesamiento. ....	76
3.6.2.1. Diseño lógico general del Preprocesamiento. ....	76
3.6.2.1.1. Diseño lógico del proceso 1 correspondiente al diagrama lógico general del Preprocesamiento: Proceso manual de identificación de la exutoria y conexión automática. ....	77
3.6.2.1.2. Diseño lógico del proceso 2 correspondiente al diagrama lógico general del Preprocesamiento: Procesos automáticos de identificación de la exutoria y conexión. ....	78
3.6.3. Diseño lógico del módulo "Obtención de los parámetros fisiográficos de la cuenca". ....	80
3.6.3.1. Diseño lógico de la macrofunción A: "Cálculo de parámetros fisiográficos obligatorios". ....	81
3.6.3.2. Diseño lógico de la macrofunción B: "Cálculo de parámetros fisiográficos opcionales". ....	84
3.6.3.2.1. Modelo geomático del algoritmo para la obtención de la curva hipsométrica. ....	84
3.6.3.2.2. Modelo geomático del algoritmo para la obtención del rectángulo equivalente. ....	85
3.7. Proceso de implementación .....	86
3.8. Proceso de prueba y depuración de los <i>scripts</i> . ....	89
3.9. Estructura física del módulo hidrogeomático .....	90
3.9.1. Estructura del submódulo Preprocesamiento. ....	90
3.9.2. Estructura del submódulo Obtención de parámetros fisiográficos de la cuenca. ....	94
3.10. Proceso de prueba del módulo hidrogeomático con datos reales .....	96
3.10.1. Características generales de la subcuenca "Amacuzac" .....	96
3.10.1.1. Ubicación .....	96
3.10.1.2. División política. ....	97
3.10.1.3. Fisiografía .....	98
3.10.1.4. Hidrología superficial. ....	98

CAPÍTULO IV PRUEBA DEL MÓDULO HIDROGEOMÁTICO .....	100
4.1. Proceso de prueba y evaluación del submódulo Preprocesamiento .....	103
4.1.2. Análisis del método “Selección manual de la exutoria” .....	103
4.1.3. Análisis del método “Selección a partir de la red de drenaje y el MNA” .....	108
4.1.4. Diferencias entre los archivos originales de la red de drenaje y de salida .....	110
4.2. Evaluación del submódulo Obtención de parámetros fisiográficos de la cuenca .....	111
4.3. El Sistema de ayuda del módulo hidrogeomático .....	120
4.3.1. Submódulo de ayuda para el Preprocesamiento: .....	121
4.3.2. Submódulo de ayuda para el de cálculo de los parámetros fisiográficos de la cuenca .....	124
4.3.3. Submódulo de ayuda para el significado de los campos generados. ....	127
4.3.4. Submódulo de ayuda para la presentación de créditos del módulo .....	128
CONCLUSIONES .....	131
RECOMENDACIONES .....	133
BIBLIOGRAFÍA .....	135

# ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Principales modelos hidrológicos precedentes al desarrollo de las aplicaciones auxiliadas de los Sistemas de Información Geográfica.....	9
Tabla 2. Algunos proyectos orientados a parámetros fisiográficos de cuencas.....	13
Tabla 3. Coeficiente de circularidad de acuerdo al valor del tipo de forma que puede describir una cuenca. (Llamas, 1993).....	32
Tabla 4. Tipo de forma de una cuenca de acuerdo al valor de su coeficiente de elongación (Llamas, 1989). .....	32
Tabla 5 Datos empleados en la construcción de la Curva Hipsométrica. ....	33
Tabla 6. Tabla que muestra las Clases de orden de acuerdo al máximo derivado de la jerarquización de Strahler. (INEA, 2004). ....	39
Tabla 7. Simbolización empleada para el diseño conceptual del módulo hidrogeomático.....	62
Tabla 8. Explicación del Esquema del diseño conceptual del Preprocesamiento .....	64
Tabla 9. Explicación del diseño conceptual del método de los Procesos automáticos de identificación de la exutoria y conexión.....	65
Tabla 10. Explicación del diseño conceptual de: "Obtención de parámetros de la cuenca".....	67
Tabla 11. Explicación del esquema del diseño conceptual para la obtención de la relación hipsométrica.....	69
Tabla 12. Explicación del diseño conceptual específico para la obtención del rectángulo equivalente. ....	71
Tabla 13. Simbología correspondiente al diseño lógico-geomático. ....	73
Tabla 14. Explicación del diseño lógico-geomático general del Proceso manual de identificación de la exutoria y conexión automática.....	77
Tabla 15. Explicación del diseño lógico-geomático general del método Procesos automáticos de identificación de la exutoria y conexión. ....	79
Tabla 16. Explicación del diseño lógico-geomático general del método Procesos automáticos de identificación de la exutoria y conexión. ....	82
Tabla 17. Explicación del diseño lógico-geomático para la obtención de la curva hipsométrica .....	84
Tabla 18. Explicación del diseño lógico-geomático para la obtención del rectángulo equivalente. ....	85
Tabla 19. Explicación equivalente la estructura física del Preprocesamiento.....	91
Tabla 20. Explicación equivalente la estructura física del submódulo para la obtención de los parámetros .....	94
Tabla 21. Coordenadas extremas de la subcuenca Amacuzac .....	97
Tabla 22. Superficie ocupada de la cuenca Amacuzac. ....	98

# ÍNDICE DE FIGURAS E ILUSTRACIONES

Figura 1. Vista panorámica de una cuenca.....	17
Figura 2. Elementos que constituyen a la base de datos grafica.....	22
Figura 3. Elementos que constituyen a la base de datos descriptiva.....	22
Figura 4. Elementos que constituyen a la base de datos geográfica.....	23
Figura 6. Estructura de datos y representación raster.....	26
Figura 7. MNA de la región “Centro” del Estado de México.....	28
Figura 8. Grafico que muestra la Curva hipsométrica generada a partir de los valores de la tabla 3.....	34
Figura 9. Esquemización del proceso de obtención de la pendiente a partir de <i>ArcView</i> 3.1.....	36
Figura 10. Esquema de las órdenes de corrientes según Strahler.....	39
Figura 11. Esquema que muestra la identificación y longitud del río principal.....	42
Figura 12. Esquema que muestra la forma de determinación de la longitud axial.....	43
Figura 13. Esquema de la cuenca, el río principal y los elementos que intervienen en el cálculo del tiempo de concentración.....	45
Figura 13a. Esquema de los elementos que intervienen en el cálculo de los tiempos de concentración proyectados en un triángulo rectángulo.....	46
Figura 14. Jerarquía existente entre programas, módulos y algoritmos.....	48
Figura 15. Estructura de trabajo del software <i>ArcView</i> GIS.....	52
Figura 16. Estructura de desarrollo de macros ( <i>scripts</i> ) dentro del software <i>ArcView</i> GIS.....	52
Figura 17. Requerimientos del módulo hidrogeomático.....	59
Figura 18. Esquema del diseño conceptual del Preprocesamiento.....	63
Figura 19. Esquema del diseño conceptual del Preprocesamiento.....	64
Figura 20. Esquema del diseño conceptual del método de los Procesos automáticos de identificación de la exutoria y conexión.....	65
Figura 21. Esquema del diseño conceptual de: “Obtención de parámetros de la cuenca”.....	66
Figura 22. Esquema del diseño conceptual para la obtención de la curva hipsométrica.....	68
Figura 23. Esquema del diseño conceptual para la obtención de la relación hipsométrica.....	69
Figura 24. Esquema del diseño conceptual para la obtención del rectángulo equivalente.....	70
Figura 25. Esquema del diseño conceptual específico para la obtención del rectángulo equivalente.....	71
Figura 26. Esquema del diseño general lógico-geomático del Preprocesamiento.....	76
Figura 27. Esquema del diseño lógico-geomático general del Proceso manual de identificación de la exutoria y conexión automática.....	77
Figura 28. Esquema del diseño lógico-geomático general del método Procesos automáticos de identificación de la exutoria y conexión.....	79
Figura 29. Esquema del diseño lógico-geomático general del submódulo “Obtención de los parámetros fisiográficos de la cuenca”.....	81
Figura 30. Esquema del diseño lógico-geomático de la macrofunción A: “Cálculo de parámetros fisiográficos obligatorios”.....	82
Figura 31. Esquema del diseño lógico-geomático para la obtención de la curva hipsométrica.....	84

Figura 32. Esquema del diseño lógico-geomático para la obtención del rectángulo equivalente. ....	85
Figura 33. Gráfico que muestra la distribución de <i>scripts</i> desarrollados para cada submódulo. ....	87
Figura 34. Estructura física del Preprocesamiento. ....	91
Figura 35. Estructura física del submódulo para la obtención de los parámetros.....	94
Figura 36. Ubicación geográfica de la cuenca Amacuzac .....	97
Figura 37. Apariencia del programa de instalación del módulo hidrogeomático. ....	101
Figura 38. Activación de la extensión en <i>ArcView</i> . ....	102
Figura 39. Activación del módulo hidrogeomático en <i>ArcView</i> . ....	102
Figura 40. Estructura del módulo hidrogeomático dentro del menú de opciones. ....	102
Figura 41. Apariencia física del submódulo Preprocesamiento posterior a su activación.....	103
Figura 42. Selección y adición del tema lineal de la red de drenaje. ....	104
Figura 43. Selección del vector que contiene a la exutoria. ....	105
Figura 44. Vector exutorio escogido por el usuario que está resaltado respecto a los demás vectores de la red de drenaje.....	105
Figura 45. Ejecución del proceso de conexión. ....	106
Figura 46. Finalización del proceso. ....	106
Figura 47. Secuencia ocurrida durante la puesta en marcha del método1 del submódulo Preprocesamiento.....	107
Figura 48. Selección de los temas de trabajo: MNA y red de drenaje. ....	108
Figura 49. Procesamiento de los temas de trabajo y presentación del informe de resultados. ....	109
Figura 50. Secuencia ocurrida durante la puesta en marcha del método 2 del submódulo Preprocesamiento....	110
Figura 51. Diferencia entre una red conectada y una invertida.....	111
Figura 52. Apariencia del submódulo de cálculo de parámetros fisiográficos.....	112
Figura 53. Introducción del tema de la cuenca al ambiente de trabajo.....	112
Figura 54. Introducción del tema del MNA al ambiente de trabajo .....	113
Figura 55. Introducción del tema de la red de drenaje al ambiente de trabajo. ....	113
Figura 56. Procesos de ejecución del submódulo.....	114
Figura 57. Tema desplegado después de la ejecución del submódulo.....	115
Figura 57a. Tabla asociada *.dbf del tema procesado de la cuenca. Nótese que contiene múltiples campos, producto del cálculo de los parámetros correspondientes. ....	115
Figura 58. Red de drenaje clasificada o jerarquizada de acuerdo a Strahler.....	116
Figura 59. Nuevo tema lineal correspondiente a la corriente o río principal de red de drenaje. ....	116
Figura 60. Nuevo tema puntual ubicado en cada nodo inicial y final de cada corriente.....	117
Figura 61. Tema <i>grid</i> correspondiente al producto algebraico-matricial del MNA y la Cuenca.....	117
Figura 62. Tema del rectángulo equivalente para la cuenca evaluada. ....	118
Figura 62a. Tabla asociada *.dbf del Tema del rectángulo equivalente.....	118
Figura 63. Curva hipsométrica resultante. ....	119
Figura 64. Ubicación del botón ayuda, que se encarga de desplegar el formulario correspondiente. ....	121
Figura 65. Interfaz principal del submódulo Preprocesamiento .....	121
Figura 66. Estructura de la interfaz de ayuda del Preprocesamiento.....	122
Figura 67. Estructura del control A de la interfaz de ayuda del Preprocesamiento.....	122



Figura 68. Estructura del control B de la interfaz de ayuda del Preprocesamiento.....	123
Figura 69. Estructura del control C de la interfaz de ayuda del Preprocesamiento.....	123
Figura 70. Estructura del Preprocesamiento.....	123
Figura 71. Estructura del control E de la interfaz de ayuda del Preprocesamiento.....	124
Figura 72. Ubicación del botón ayuda en el interior del submódulo de Obtención de parámetros fisiográficos....	124
Figura 73. Estructura del formulario de ayuda del submódulo de obtención de parámetros fisiográficos.....	125
Figura 74. Estructura del control A de la interfaz de ayuda del módulo de obtención de parámetros fisiográficos. ....	125
Figura 75. Estructura del control B de la interfaz de ayuda del módulo de obtención de parámetros fisiográficos. ....	126
Figura 76: Estructura del control C de la interfaz de ayuda del módulo de obtención de parámetros fisiográficos. ....	126
Figura 77. Estructura del control D de la interfaz de ayuda del módulo de obtención de parámetros fisiográficos. ....	126
Figura 78. Estructura del control E de la interfaz de ayuda del módulo de obtención de parámetros fisiográficos ....	127
Figura 79. Ubicación de la opción de selección del formulario de ayuda para la descripción de campos. ....	127
Figura 80. Interfaz de ayuda del submódulo para la descripción de campos. ....	128
Figura 81. Interfaz de ayuda del para el significado del campo "Dd" .....	128
Figura 82. Ejecución del submódulo de presentación de créditos. ....	129
Figura 83. Interfaz de ayuda para la presentación de créditos del módulo.....	129
Figura 84. Interfaz de ayuda para la presentación de créditos del módulo: Desarrolladores.....	130

# **CAPÍTULO I**

## **INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES**

### **1.1 INTRODUCCIÓN**

El agua es un recurso indispensable para todo ecosistema del planeta, por ello, su manejo y gestión representan un papel sumamente importante para el bienestar del hombre. El conocimiento de la dinámica de este recurso y la búsqueda de métodos más eficientes para su sustentable explotación, han derivado toda una teoría en torno a este asunto y por ende se han aportado conocimientos específicos de distintas disciplinas tales como la hidrología, química, ingeniería hidráulica, hidráulica fluvial, entre otras.

La Hidrología, definida como la ciencia encargada del estudio de la hidrosfera, se encuentra constituida por una serie de disciplinas: hidrología fluvial, hidrología subterránea, e hidrología superficial (Silvia, 2005). Pese a los notorios avances de las ciencias orientadas al estudio del espacio geográfico, se incorpora una nueva disciplina: la hidrogeomática, la cual hace germinar nuevos métodos orientados a la gestión del agua a partir del análisis geográfico auxiliado por los Sistemas de Información Geográfica (SIG), por lo tanto, el rol de los SIG respecto al quehacer de la hidrogeomática resulta trascendente porque facilita la realización de modelaciones, almacenamiento y obtención distintos tipos de cartografía digital.

En forma paralela a los notables avances de la ciencia hidrológica, con el auxilio de los SIG se han venido desarrollando diversas herramientas encargadas de realizar procedimientos automatizados específicos de cada área de la hidrología a partir de un enfoque informático.

La herramienta cuya propuesta de desarrollo se establece en el presente documento, tiene como objetivo proponer un módulo de trabajo que labore dentro de un software empleado en tareas que requieren el uso de un SIG y que permita calcular los parámetros concernientes a las características fisiográficas de una cuenca hidrográfica, definida ésta, como un espacio

geográfico integrado por una red de corrientes hidrológicas a partir de las cuales los aportes hídricos son transportados hacia un punto espacial único llamado exutoria (Díaz *et al.*, 1998).

Las características fisiográficas de la cuenca<sup>2</sup> que serán objeto de estudio a lo largo de la presente investigación, son las morfométricas como la superficie, perímetro, coeficiente de compacidad, relación de circularidad, relación de elongación, curva hipsométrica, elevación media, relación hipsométrica, rectángulo equivalente y pendiente media de la cuenca; características del río principal tales como la longitud, tiempos de concentración, altura máxima y mínima de la corriente principal y diferencia de altitud de los nodos extremos de la corriente principal; así también las concernientes a la red de drenaje implícita en la cuenca entre los que destacan el orden de corrientes, densidad de drenaje, densidad o frecuencia hidrográfica, número estimado de corrientes y relación de bifurcación media de confluencia.

Cabe mencionar que todos los parámetros pueden ser calculados de forma manual pero esto implica la inversión de considerables recursos (tiempo, dinero y mano de obra principalmente), así como una alta incertidumbre en la calidad de los resultados. Con el continuo desarrollo informático han aparecido plataformas y programas que se encargan de calcular algunos de estos parámetros, pero esto implica muchas veces, una forma de trabajo separada que desprende problemas de compatibilidad y comunicación entre estos distintos módulos y plataformas. El desarrollo de una herramienta integral que se encargue de la gestión de los cálculos que envuelven a estos parámetros en una sola plataforma específica, contribuirá a agilizar los procesos de estudio de la dinámica de la cuenca ya que no se tendría que recurrir a múltiples módulos o interfaces de trabajo, permitiendo a instituciones, personas o gobiernos tener una rápida y confiable caracterización de sus cuencas de estudio.

Para abordar un estudio o aplicación de corte hidrogeomático se deben tener bases conceptuales de dos disciplinas: hidrología y geomática, lo cual implica un universo de conceptos, sin embargo el concepto fundamental en el que está basado este trabajo de tesis es la cuenca hidrográfica a razón de que en este espacio geográfico se generan la mayoría

---

<sup>2</sup> NOTA IMPORTANTE: Para este trabajo, el término **cuenca** indica una referencia generalizada que se asocia al espacio geográfico y no a un espacio concreto de estudio o caso de uso. El lector no debe confundir cuando en ciertas referencias de este trabajo se use el juego de palabras “**la cuenca**”, esperando que se mencione algún nombre distintivo de un espacio de estudio concreto; de hecho, lo que se presenta en este trabajo, es la documentación de un módulo hidrogeomático que encargará de calcular las características fisiográficas de cualquier cuenca.

de las interacciones y dinámica del agua entre los componentes territoriales (suelo, vegetación, relieve y clima).

Respecto a la estructura de ésta tesis, se encuentra conformada por 4 capítulos:

El capítulo I: "Introducción y antecedentes", refiere los antecedentes, justificación, objetivos y planteamiento del problema que es tratado a lo largo de este trabajo.

El capítulo II: "Marco teórico", enuncia el marco conceptual que respalda el trabajo.

El capítulo III: "Metodología y resultados de la implementación"; especifica el proceso de desarrollo del módulo hidrogeomático y los resultados del proceso de programación seguida.

El capítulo IV: "Prueba del módulo hidrogeomático"; indica la forma de usar el módulo hidrogeomático y los resultados que el usuario puede esperar. Para validar el módulo, se emplearon geodatos reales de la cuenca "Amacuzac".

## **1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

La tarea de obtener el valor de los parámetros fisiográficos de una cuenca hidrológica puede realizarse de manera analógica mediante el análisis de cartografía y resolución manual de ecuaciones (Bosque, 1997) pero esto resulta laborioso, costoso, tardado y los resultados arrojan un alto grado de incertidumbre.

Alternativamente se han aplicado los SIG en conjunto con modelos hidrológicos para la obtención de dichos parámetros, pero esto resulta costoso y complejo ya que sólo la combinación en el uso de diversos programas puede acarrear buenos resultados. Por lo tanto, es necesario facilitar esta tarea en una interfaz única, con objeto de alcanzar una fase de evolución que facilite los estudios en torno a la caracterización y/o diagnosis de cuencas que genere un ahorro de tiempo y dinero.

Dado que no existe una herramienta capaz de calcular los parámetros fisiográficos de una cuenca (morfométricos, concernientes al drenaje y río principal), se plantea la siguiente cuestión:

¿Cómo podemos diseñar y construir una interfaz dentro del ambiente SIG, que calcule los parámetros fisiográficos (del tipo morfométricos como la superficie, perímetro, superficie real,

coeficiente de compacidad, relación de circularidad, relación de elongación, factor de forma, curva hipsométrica, relación hipsométrica, elevación media, rectángulo equivalente y pendiente; características del río principal tales como la longitud del río principal, tiempos de concentración, altura máxima, mínima y diferencial del río principal; así como los parámetros concernientes a la red de drenaje implícita en la cuenca entre los que destacan el orden de corrientes, densidad de drenaje, frecuencia hidrográfica y relación media de confluencia) de una cuenca hidrográfica de manera automatizada?

### **1.3. ¿PORQUÉ DEBEN SER CONSIDERADOS LOS PARÁMETROS MENCIONADOS ANTERIORMENTE?**

Un parámetro fisiográfico puede definirse como una cuantificación de las características del espacio geográfico llamado cuenca hidrográfica (Campos, 1992), con relación a la interacción de los tres elementos básicos que la definen y describen: relieve, red de drenaje y río principal.

Existen infinidad de autores que han abordado el estudio de la cuenca como espacio geográfico y cada uno considera diferentes patrones, parámetros o elementos de cálculo fisiográfico puesto que algunos explican mejor el comportamiento de este espacio en función de la temática de estudio que abordan en sus obras. Ante esta situación, se citaron tres de las obras más representativas, listando los parámetros fisiográficos que conciben sus autores para la caracterización de la cuenca:

En su obra, Campos (1992), considera los siguientes parámetros:

- Área.
- Coeficiente de compacidad.
- Relación de elongación.
- Curva hipsométrica.
- Rectángulo equivalente.
- Elevación media de la cuenca.
- Pendiente de la cuenca.
- Orden de corrientes y colector principal.
- Relación de bifurcación.
- Densidad de drenaje.

- Frecuencia de corrientes.
- Longitud del cause principal.
- Perfil del cause principal.
- Pendiente del cause principal.
- Pendiente de la recta equivalente.

Llamas (1989), por su parte, establece que es necesario el cálculo de las siguientes cuantificaciones para lograr la caracterización de la cuenca:

- Superficie.
- Perímetro.
- Orden de corrientes.
- Relación de confluencia o relación de bifurcación.
- Coeficiente de compacidad.
- Factor de forma.
- Coeficiente de forma.
- Radio de elongación.
- Radio de circularidad.
- Curva hipsométrica.
- Pendiente.
- Rectángulo equivalente.
- Orientación.
- Densidad de drenaje.
- Densidad hidrográfica.
- Centro de gravedad.
- Pendiente longitudinal de un río.
- Longitud del río principal.
- Coeficiente de sinuosidad topográfica.
- Coeficiente de sinuosidad hidráulica.
- Perfil longitudinal del río principal.
- Número de vectores de flujo de una corriente.

Sánchez (1987), en cambio, en su obra, considera que los siguientes son los parámetros más significativos:

- Superficie.
- Perímetro.
- Factor de forma.
- Coeficiente de forma.
- Radio de elongación.
- Radio de circularidad.
- Altitud media de la cuenca.
- Pendiente de la cuenca.
- Coeficiente de masividad.
- Coeficiente orográfico.
- Orden de corrientes de acuerdo a Strahler.
- Densidad de drenaje.
- Coeficiente de bifurcación.
- Longitud total de los tributarios.

Realizando un consenso entre los parámetros fisiográficos comunes a los tres autores y que tratan de explicar la conducta morfológica de la cuenca con relación a las características del río principal, el relieve y la red de drenaje que la componen, se estableció para este trabajo el estudio de los siguientes parámetros:

- Área.
- Perímetro.
- Altura media de la cuenca.
- Pendiente media de la cuenca.
- Superficie real de la cuenca.
- Coeficiente de compacidad de la cuenca.
- Factor de forma de la cuenca.
- Radio de elongación de la cuenca.
- Relación de circularidad de la cuenca.
- Número total de corrientes de la cuenca.
- Longitud total de las corrientes de la cuenca.
- Orden Máximo de corriente de Strahler.
- Densidad de corrientes de la cuenca.
- Densidad de drenaje de la cuenca.

- Relación media de confluencia de las corrientes de la cuenca.
- Número de corrientes estimado de la cuenca.
- Longitud máxima de la corriente principal en Km. de la cuenca.
- Longitud axial de la corriente principal en km. de la cuenca.
- Relación hipsométrica de la cuenca.
- Curva hipsométrica.
- Rectángulo equivalente.
- Tiempos de concentración.
- Altura máxima de la corriente principal.
- Altura mínima de la corriente principal.
- Diferencia de altitud de los nodos extremos de la corriente principal.

Los parámetros mencionados elegidos obedecen a un consenso realizado que dictaminó que éstos los más comunes para la caracterización de la cuenca. Otros parámetros citados por alguno de los autores mencionados y que no están considerados, es porque se detectó que suelen emplearse con poca frecuencia para trabajos genéricos de caracterización de la cuenca.

#### **1.4. JUSTIFICACIÓN**

Desde tiempos remotos, el hombre ha procurado la explotación y cuidado de los recursos hídricos. Conocer este recurso en términos de ubicación y caracterización es fundamental para actuar sobre su cuidado y gestión; en este sentido, concebir tal caracterización en una dimensión territorial tomando en cuenta un espacio geográfico como la cuenca es una labor complicada, más aún si nos remontamos a métodos de medición y ponderación manuales.

A lo largo de estas últimas décadas, la importancia que adquieren las ciencias y disciplinas cuyo objeto de estudio es el agua ha crecido por factores como el aumento de la población y la necesidad gestionar y cuidar el recurso hídrico más eficientemente.

En las últimas décadas, se vislumbra un gran proceso de evolución tecnológica y metodológica ante el notorio avance de la innovación informática incorporada a la ya madura ciencia hidrológica. Esto supone la concepción de la denominada hidrogeomática, la cual se define como la disciplina, rama de la hidrología, que se encarga del estudio de los recursos



hídricos mediante el uso de herramientas tales como los Sistemas de Información Geográfica.

De este modo, Morad *et al.*, (2001) mencionan que la geomática y la hidrología comparten numerosos intereses, por esta razón, cada vez más investigadores se ayudan de los SIG y otras herramientas como la Percepción Remota en apoyo a sus estudios hidrológicos, razón por la cual, se deben tomar en cuenta dos consideraciones que ayudaran a entender mejor el valor que los SIG están aportando a la hidrología: la primera de ellas es la aceptación generalizada de que son una herramienta muy productiva; el segundo argumento hace referencia a sus importantes aportaciones de cara a la aprehensión de los modelos hidrológicos. Estas dos circunstancias legitiman su utilización en investigaciones vinculadas a la hidrología, comprobando que esta es la herramienta más eficaz para este tipo de estudios.

Debido a que la hidrogeomática es una disciplina de reciente concepción, existe la necesidad de contar con especialistas que puedan tener la capacidad de representar la realidad hidrológica usando las nuevas tecnologías informáticas. En este sentido, lo que se propone es el desarrollo de un módulo de trabajo dispuesto en un software SIG, que acelere el cálculo de los parámetros fisiográficos de una cuenca (morfológicos, de drenaje y río principal). La concepción de este módulo traerá beneficios desde distintos enfoques:

- Dentro del punto de vista geomático o geoinformático, ampliará las funcionalidades del software SIG en cuestión sobre el que se implemente el módulo.
- Desde el punto de vista económico, por la facilidad con que podrá analizarse y generarse la información, reducirá esfuerzos y tiempo invertido en la generación de información geográfica, lo que significa una reducción de recursos económicos.
- Así mismo, investigadores, geógrafos, planificadores, ayuntamientos municipales e instituciones públicas podrían encontrar una herramienta de gestión y caracterización de la cuenca.

## 1.5. ANTECEDENTES

### 1.5.1. Desarrollo de las plataformas de modelación hidrológica.

Hasta mediados del siglo XX, el estudio del recurso hidrológico se enfocó más concretamente al conocimiento de sus cualidades físico-químicas, conocimiento de su ciclo natural y asociación de su importancia a los primordiales puntos clave de la creciente economía mundial (Olaya, 2004).

Desde la década de los 60, las aplicaciones de modelado hidrológico paralelas a las aplicaciones informáticas, representaron notorios avances aplicados a la gestión del agua pese a que los resultados no se representaban espacialmente. En la tabla 1 se realizó un resumen de los principales modelos y hidrológicos desarrollados precedentes al empleo formal de los SIG.

Tabla 1. Principales modelos hidrológicos precedentes al desarrollo de las aplicaciones auxiliadas de los Sistemas de Información Geográfica.

Nombre del modelo	Año de aparición	País(es) de origen	Nombre del autor que cita el modelo
<i>SWM Stanford Watershed Model.</i>	1966	USA	Crawford y Linsley, 1966
<i>SWMM Storm Water Management Model.</i>	1971	USA	Metcalf y Eddy, 1971
<i>NWS-RFS National Weather Service-River Forecast System.</i>	1973	USA	Burnash <i>et al.</i> , 1973
HSPF <i>Hydrologic Simulation Package-Fortran IV</i> el cual es la versión mejorada del SWM para el modelado de cuencas Módulos ARM ( <i>Agricultural Runo Modelling</i> ) y NPS ( <i>Nonpoint Source Pollutant Loading Model</i> ) Ambos fueron modelos elaborados por la Agencia de Protección Medioambiental (EPA) de los Estados Unidos (PSF).	1975	USA	Olaya, 2004
<i>TOPMODEL Physically Based Runoff Production Model.</i>	1979	USA	Beven y Kirkby, 1979
<i>SSARR Streamflow Synthesis and Reservoir Regulation.</i>	1982	USA	Rockwood, 1982
<i>SHE Système Hydrologique Européen.</i>	1986	Diversos países de Europa	Abbott <i>et al.</i> , 1986a,b
<i>Hidrological CEQUEAU Model.</i>	1995	Canada	Morin <i>et al.</i> , 1995, 1998
<i>Hydrologic Simulation Package-Fortran IV.</i>	1995	USA	Bathurst <i>et al.</i> , 1995

A pesar de que estos primeros programas representaban grandes adelantos en cuanto a modelos automatizados se refiere, contenían una interfaz poco intuitiva y difícil de laborar.

No obstante, desde la década de los 80, factores tales como la continua reducción de las dimensiones físicas del hardware, el abaratamiento de los equipos y el surgimiento del nuevo paradigma de la programación orientada a objetos, hacen germinar las primeras plataformas altamente funcionales (Korte, 2001). Estos avances siguen promoviendo hasta ahora con mayor intensidad, el continuo desarrollo de los Sistemas de Información Geográfica.

### **1.5.2. Desarrollo y evolución de los Sistemas de Información Geográfica.**

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) comenzaron su desarrollo en la década de los 60 cuando en Canadá se desarrolla el *Canadian Geographic Information System* (C.G.I.S.) utilizado para la gestión forestal; este sistema combinaba cartografía y datos auxiliándose de estructuras *raster* y vector. En esa misma década, Ian McHarg escribe la obra "*Design with nature*", pionera de los conceptos teóricos de análisis por sobreposición de capas de información y el análisis de capacidad y susceptibilidad; esta obra se considera el primer antecedente teórico de los métodos de análisis espacial actuales (Domínguez, 2000).

A finales de los años 60 y comienzos de los 70, diversas universidades como *Harvard* y *Yale* desarrollan sistemas pioneros en el uso de la estructuras *raster* y vector tales como el SYMAP, GRID y el *Map Analysis Package* (MAP); no obstante, éstos no contaban con mecanismos para el manejo de atributos. La Universidad de *Harvard* desarrolla a finales de esa misma década el sistema DIME, que es el primero en contar con un sistema de asignación de topología completa y luego el ODYSSEY, que fue un SIG vectorial con superposición de polígonos mediante geometría coordenada (Domínguez, 2000).

En la década siguiente, instituciones de la iniciativa privada como el *Environmental System Research Institute* (ESRI) inician esfuerzos pioneros en el desarrollo de programas informáticos dirigidos al análisis de las componentes del territorio (suelo, agua, vegetación) a partir de una perspectiva basada en la localización geográfica (UAEM, 2001) y el uso de herramientas de programación basadas en el paradigma de la orientación a objetos (Domínguez, 2000).

Aunado a la iniciativa de ESRI y otras instituciones, participaron a la par diversos factores que hicieron posible la consolidación de los primeros modelos hidrológicos (y de otras ramas tales como la geología, geomorfología, climatología, etc.) en un ambiente de Sistemas de Información Geográfica. Los factores más representativos fueron:

- Perfeccionamiento y consolidación de las estructuras de datos y representación cartográfica raster y vector.
- Perfeccionamiento de las técnicas de adquisición de datos con el uso de la fotografía aérea y la teledetección.
- Reducción en los costos y dimensiones del hardware.
- Mejoría de los procesos de compilación y programación tanto de eventos como de objetos.
- Uso y generalización de los modelos de datos.

Es a partir de la década pasada cuando surge una nueva generación de plataformas emanadas de la disyuntiva de integrar algoritmos de análisis espacial moderno (propio de los modelos surgidos desde hace 3 décadas) a la necesidad de referirles una representación geográfica (concepto de integración). Una de las plataformas emprendedoras del concepto de integración es *ArcView GIS* del consorcio ESRI (*Environmental Systems Research Institute*), desarrollada en principio para satisfacer necesidades muy específicas de análisis espacial en cuestiones ambientales, *ArcView* fue propuesto como “*Sistema SIG de escritorio*”, ya que a pesar de contar con una buena interfaz de integración de datos gráfico-tabulares, asentía la incorporación de nuevas rutinas a partir de un sistema de macros (*scripts*). Adjunto a todo ello a su relativo bajo costo y facilidad de uso, *ArcView GIS* se convirtió en uno de los programas más populares de cartografía y análisis complejo al cual continuamente se le fueron adicionando sistemas de macros (extensiones) que incrementaron su potencialidad y funcionalidad hacia proyectos o funciones específicas de cada usuario. Algunos de los módulos más importantes de este sistema correlacionan en un ambiente intuitivo las estructuras vectorial y raster en las extensiones denominadas *Spatial Analyst*, *Image Analyst* y *3D Analyst* desarrolladas en 1997, situación que incrementó aún más la funcionalidad de este software (Domínguez, 2000). Con ello, estas nuevas plataformas revolucionarían el paradigma en el uso del software de SIG, puesto que lograban dimensionar el trabajo de las más diversas ciencias naturales y sociales a un plano cartográfico a partir del cual se podían generar modelos (mapas) y análisis de una forma fácil, sencilla e intuitiva.

Además de *ArcView GIS*, durante la década pasada se consolidó el empleo de otras plataformas, tanto de tendencia de trabajo hacia el formato vectorial (*Map Info*, *Autocad Map*, *AutoDesk Map*), como de tendencia de trabajo en el ambiente raster (*Idrisi*, *ER-Mapper*, *Grass*), no obstante, aún las plataformas de trabajo sumamente sofisticadas como *ArcInfo*,

*ArcGis* o *Idrisi Kilimanjaro*, no contienen todas las funcionalidades que requiere un proyecto específico, o simplemente, las menos costosas y complejas no contienen las funcionalidades propias de las interfaces más caras y sofisticadas. Por tanto, se busca en la mayoría de los casos incorporar nuevos algoritmos a las primeras para dotarlas de mayor funcionalidad.

### **1.5.3. Desarrollo y evolución de las plataformas de modelación hidrológica auxiliadas de los Sistemas de Información Geográfica.**

Partiendo de las primeras aproximaciones en el desarrollo de los Sistemas de Información Geográfica en 1962 con la implementación del primer Sistema de Información Geográfica en Canadá, numerosas corporaciones han utilizado estas recientes herramientas para asociar los modelos matemáticos de gestión hídrica con la capacidad de poder representar espacialmente el resultado.

De este modo, en 1974, en Estados Unidos se consolida el primer sistema informático con base cartográfica para la gestión de recursos hidrológicos. Sin embargo según menciona Olaya, no se trataba en absoluto de una herramienta de modelización, y mucho menos aún, de una herramienta basada en Modelos Digitales del Terreno, no obstante, representó una plataforma pionera que integraba al SIG con los modelos hidrológicos hasta entonces desarrollados (Olaya, 2004).

En los siguientes años, corporaciones precursoras del desarrollo del software para SIG tales como ESRI, ponen a disposición de los usuarios una serie de módulos para el análisis espacial, análisis de redes y modelado en tercera dimensión. Estos módulos integrados al popular paquete *ArcView GIS*, proporcionaron al especialista de diversas disciplinas (incluyendo al experto en hidrología) una gama de herramientas de modelación que permitió una oportuna modelización del espacio. En este sentido, Franco R. *et al.*, (2003) indican que la extensión *Spatial Analyst* del popular software *ArcView GIS*, incluye algoritmos para el análisis espacial y una interfaz para la salida de datos; permite además calcular propiedades físicas, geométricas así como información sobre redes de escurrimiento de la cuenca.

Otros módulos tales como *3D Analyst* permiten obtener datos acerca de las características hipsométricas de una cuenca, su pendiente y otros parámetros relacionados a la dirección del flujo de las aguas del río principal. Recientemente se desarrolló un algoritmo de cálculo de las órdenes de corriente de un río a partir de la metodología de Strahler el cual puede integrarse a la interfaz propia del software.

Aunque las plataformas de análisis SIG cobran auge en la década pasada, la hidrología busca que se aprovechen las ventajas del poder analítico de las plataformas de SIG. En este sentido, Franco-Plata (2005), menciona que la hidrología por encontrarse dentro del contexto de aplicación de los SIG, refuerza la necesidad de ampliar, mejorar e innovar las herramientas de análisis hidrológico y por ello se creó un estrecho vínculo entre la hidrología y la informática, dando origen a una nueva disciplina: la hidrogeomática, que tiene como objeto de estudio la información hidrológica digital geográficamente referenciada.

A continuación se presenta en la tabla 2, un resumen de los trabajos, módulos y programas de Sistemas de Información Geográfica más importantes empleados para el conocimiento de diversos parámetros fisiográficos de la cuenca.

Tabla 2. Algunos proyectos orientados a parámetros fisiográficos de cuencas

Autor(es)	Año	Temática	País
Al-Smadi, 1998	1998	Incorporación de la variación espacial y temporal de respuesta de cuencas en un SIG basado en un modelo hidrológico.	EUA
Cochrane, 1999	1999	Metodología para modelación de cuencas hidrológicas con SIG.	EUA
Díaz <i>et al.</i> 1999	1999	Estimación de las características fisiográficas de una cuenca con la ayuda de SIG y MEDT: caso del curso alto del río Lerma, Estado de México.	México
Melancon <i>et al.</i> , 1999	1999	Un SIG basado en un sistema de análisis de cuencas hidrológicas para <i>Tillamook Bay, Oregon</i> .	EUA
Kimberley, 2000	2000	Modelación orientada a objetos de ríos y cuencas hidrológicas con SIG.	EUA
Mason y Maidment, 2000	2000	Análisis de una metodología para la generación de parámetros de cuencas hidrológicas usando SIG.	EUA
Figurski y Maidment, 2001	2001	Algoritmos de SIG para grandes cuencas hidrológicas con áreas de gran influencia.	EUA
Ogden <i>et al.</i> 2001	2001	SIG y modelos de cuencas hidrológicas distribuidos: módulos, interfaces y modelos.	EUA
Whiteaker, 2001	2001	Arqueés Hidno un prototipo de herramientas para modelar datos hidrológicos.	EUA
Awasthi <i>et al.</i> , 2002	2002	Cambios de uso del suelo en dos cuencas hidrológicas en Nepalés: análisis geomorfológico y SIG.	Noruega
Bottcher y Hiscock, 2002	2002	Una aproximación con SIG para un modelo de valoración de cuencas.	EUA
Maidment, 2002	2002	<i>ArcHydro</i> : SIG para recursos del agua.	EUA

Durante el año 2004 se desarrolló en la India, Asia, una aplicación dentro del entorno de *ArcGIS* denominada *Watershed Morphology Estimation Tool* (WMET) que tiene la capacidad de estimar los parámetros morfológicos de escurrimiento. Ésta fue implementada en el

compilador *Visual Basic for Applications* (BVA). La interfaz genera todos los parámetros morfológicos básicos y algunos otros como la densidad de drenaje, integración hipsométrica y diversos cálculos hipsométricos teniendo de base un modelo digital de elevación (Sarandi, 2004). Acerca de la interfaz discutida anteriormente, debe señalarse que a pesar de realizar el cálculo de los parámetros fisiográficos más importantes de una cuenca, no los considera todos. Por otro lado, el entorno de programación se obtuvo en la plataforma Visual Basic para ArcGIS, lo cual implicó el uso y licenciamiento de una plataforma de alto costo (Sarandi, 2004).

Como se puede advertir, se han desarrollado múltiples plataformas para el análisis hidrológico, especialmente orientadas al análisis morfológico de cuencas, sin embargo su uso se apunta a la obtención de algunos parámetros fisiográficos.

## **1.6. OBJETIVOS**

### **1.6.1. Objetivo General.**

Hacer uso de un lenguaje de programación de un software SIG para diseñar e implementar un módulo de trabajo que calcule de manera automatizada los parámetros fisiográficos (morfométricos, drenaje y río principal) de una cuenca hidrográfica.

### **1.6.2. Objetivos específicos.**

1. Establecer un modelo teórico conceptual que reúna la información, requerimientos necesarios y el método para calcular de manera tradicional los parámetros fisiográficos correspondientes a una cuenca, su red de drenaje y río principal.
2. Con base al modelo teórico, definir un diseño conceptual del módulo hidrogeomático cuya esquematización simbolice la estructura del módulo con una absoluta independencia de cualquier software o lenguaje de programación específico.
3. Establecer un diseño lógico en torno a un software y un lenguaje de programación específico.
4. Implementar en el lenguaje de programación elegido, cada uno de los cálculos y procedimientos necesarios para establecer los valores de los parámetros de la cuenca.

5. Depurar los macros (rutinas de programación) generados e identificar los errores sintácticos a fin de probar consecutivamente el módulo con datos reales con la finalidad de probar la confiabilidad del módulo o en su caso, identificar errores y corregirlos.
6. Probar el módulo generado con datos reales de una cuenca de estudio a fin de probar la efectividad del mismo.



# CAPÍTULO II

## MARCO TEÓRICO

Dado que el objetivo de este trabajo consiste en realizar un módulo informático que calcule los parámetros fisiográficos de una cuenca, la caracterización conceptual correspondiente contiene las referencias y conceptos implícitos en tres apartados principales: el primero, contiene todos los conceptos inherentes a la cuenca y los parámetros fisiográficos que la describen; el segundo contiene aspectos relacionados a los Sistemas de Información Geográfica y su empleo en el cálculo de éstos, en tanto que el tercero contiene nociones referentes a la programación en ambiente SIG.

### 2.1. CONCEPTOS BÁSICOS

#### 2.1.1. Hidrología.

Según Silvia (2005) la ciencia hidrológica estudia la distribución, cuantificación y utilización de los recursos hídricos que se encuentran distribuidos en el globo terrestre, específicamente en la superficie terrestre y las capas del suelo, auxiliada de los métodos de recolección de información hidrológica. Tal y como apunta este mismo autor, “...*en la actualidad la hidrología tiene un papel muy importante en el planeamiento del uso de los recursos hidráulicos y ha llegado a convertirse en parte fundamental de los proyectos de ingeniería que tienen que ver con suministro de agua, disposición, drenaje, protección contra la acción de ríos y recreación...*” (Silvia, 2005).

#### 2.1.2. Cuenca hidrográfica.

La cuenca es aquel espacio geográfico cuyos aportes hídricos naturales son alimentados exclusivamente por la precipitación y donde los excedentes de agua convergen en un punto espacial único llamado exutoria (Díaz *et al.*, 1998). Otra definición indica que es un área surcada por un sistema de corrientes formadas por los escurrimientos producto de la precipitación que fluyen hacia un cauce común, obedeciendo a las variaciones topográficas

del terreno (Sánchez, 1987). De acuerdo al Instituto Nacional de Ecología la importancia de la cuenca es que actúa como un colector natural, encargado de evacuar parte de las aguas de lluvia en forma de escurrimiento (INE, 2004).

Retomando las definiciones anteriores, se puede argumentar que una cuenca es un espacio geográfico integrado por una red de corrientes hidrológicas en la cual los aportes hídricos provienen del fenómeno de precipitación. Parte de esos aportes son evaporados, absorbidos por el suelo o drenados de acuerdo a las características físicas del suelo y subsuelo de la cuenca y transportados a partir de la red hídrica hacia un punto espacial único llamado exutorio que además cumple la función de recibir los excedentes de agua. En la Figura 1 se pueden observar los límites y componentes de una cuenca. Se aprecia al río principal que es alimentado por las diversas corrientes que descienden de las partes altas de la montaña hasta el valle.

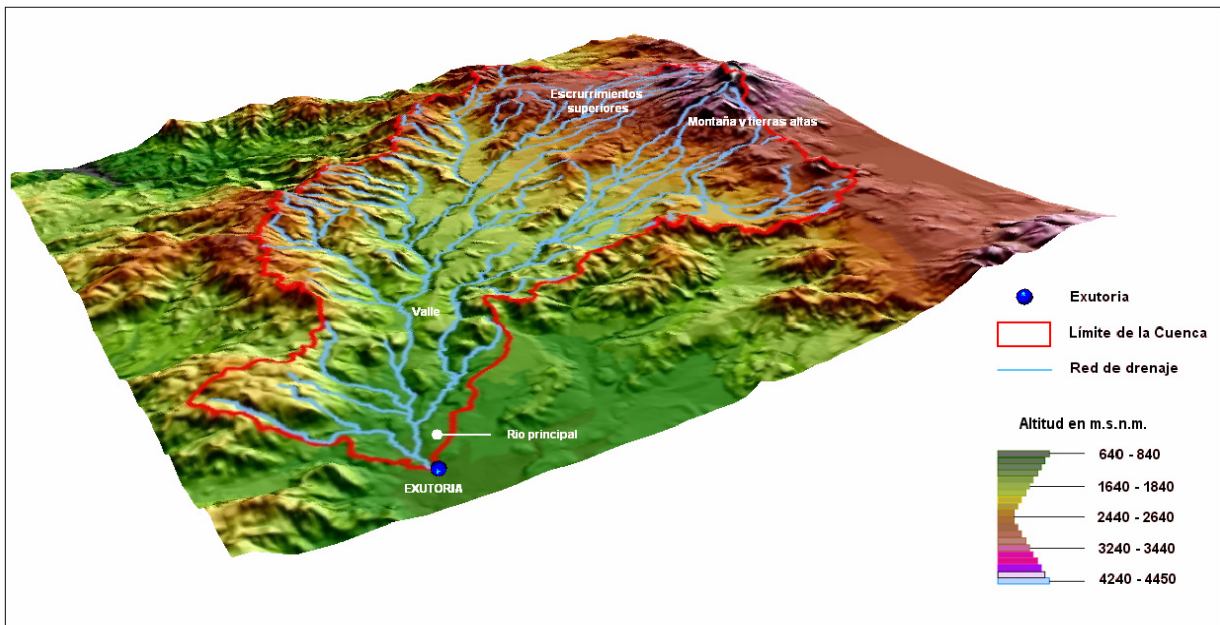


Figura 1. Vista panorámica de una cuenca.

### 2.1.3. Geomática.

Existen diversas definiciones en torno a geomática enunciadas primordialmente en países donde se ha forjado su expansión. Algunas de las más importantes son las siguientes:

La *University of New Brunswick* (2005) señala que es la ciencia, ingeniería y arte empleado en la colecta y manejo de información geográficamente referenciada.

El *Canadian the Institute of Geomatics (2005)* menciona que es el campo de actividades en las cuales se integran los medios para adquirir y manejar datos espaciales definidos en el proceso de producción y manejo de información espacial.

Por su parte, Pérez (2002) establece que la geomática es un término científico moderno que se refiere a la aproximación integrada de la medición, análisis, gestión, almacenamiento y visualización de datos terrestres, con frecuencia denominados datos geográficos o georeferenciados. Este autor enfatiza que dichos datos provienen de diversas fuentes, incluidas las localizadas en plataformas satelitales, aéreas e instrumentos terrestres y que además, los datos se procesan y se tratan bajo técnicas y metodologías apoyadas en tecnologías de la información utilizando elementos informáticos. Las tecnologías de la información utilizadas corresponden a Sistemas de Información Geográfica (SIG), la Percepción remota, cartografía asistida por computador (CAD), bases de datos (BD) y sistemas de posicionamiento global.

Existe una gran variedad de definiciones de la geomática y por tanto podemos sintetizar lo siguiente acorde a todas ellas.

a. Su objeto de estudio es la caracterización del dato geográfico, es decir, aquella unidad de representación mínima de la realidad que contiene establecida una referencia espacial denotada por un sistema de coordenadas, una proyección y diversos parámetros métricos y geodésicos. En este sentido, las definiciones mencionadas refieren que la geomática debe orientar sus técnicas al logro de la calidad del dato geográfico. La calidad se distingue por las siguientes propiedades:

1. Correcta ubicación del fenómeno u objeto acorde a un sistema de referencia establecido.
2. Correcta representación acorde al fenómeno y escala que se representa; por ejemplo, si se maneja información topográfica a escala 1:250000 o menor, probablemente algunos rasgos como pozos, localidades o algunos otros deban ser simbolizados con métodos de representación cartográfica puntuales. A este respecto, el especialista en geomática debe decidir el tipo de estructura de representación adecuada al objeto (raster o vector) y el grado de generalización necesario.
3. Propiedades informáticas capaces de integrarse sistemáticamente entre los programas o software que el usuario emplee. Por ejemplo, cuando se trabaja con el software

*MapInfo* y se crea un archivo puntual, desde el punto de vista informático, esta estructura representa una colección de objetos llamada *multipoint* la cual puede integrarse a otros software de SIG pero restringe la posibilidad de manejarla completamente en la plataforma huésped. En este sentido, el especialista en geomática debe ser capaz de adaptar esa propiedad informática de su dato geográfico a la plataforma huésped utilizando para ello rutinas informáticas específicas.

4. Capacidad para representar lo más fielmente la realidad. Un dato geográfico es la abstracción de un objeto de la realidad. Todas las representaciones conllevan a un modelo y por ello la veracidad del dato geográfico en torno a su información temática es un punto clave para derivar información confiable.

b. Su empleo se orienta a la obtención de nueva información geográfica. A partir de un enfoque sistémico, la geomática enuncia el uso de plataformas informáticas y nuevas tecnologías para procesar y analizar el dato geográfico a fin de poder conseguir nueva información geográfica. La información geográfica por tanto, es el conjunto sistematizado de datos geográficos analizados que en esencia representa un nuevo conjunto de datos geográficos, previo proceso de análisis de los datos de entrada. Es obvio mencionar que la calidad de la información geográfica está en función de la calidad de los datos de entrada y de los procesos que se utilicen.

c. Podemos argumentar que el fin último de la geomática es establecer modelos geográficos confiables de la realidad cuya complejidad depende de la cantidad y calidad de la información, así como de los procesos utilizados. Un modelo de la realidad en una representación abstracta, generalizada y simplificada del acontecer del territorio que va a servir para caracterizarlo, diagnosticarlo y prospectarlo a fin de tomar decisiones respecto a él. Establecer modelos correctos de la realidad permite generar nuevo conocimiento.

Con todo el análisis conceptual anterior, podemos definir a la Geomática o Geoinformática como el conjunto de técnicas orientadas a la caracterización de modelos del territorio, producto del procesamiento de información geográfica cuya fuente de origen se rige por la calidad del dato geográfico. Se define como una técnica – y no como una ciencia – por que consideramos que su objeto material está bien definido: el dato geográfico, el modelo y información geográfica; no obstante su objeto formal o conjunto de procesos, técnicas y metodologías que le sirven para la caracterización de su objeto material son comunes (y no

únicas) a ciencias verdaderamente reconocidas tales como la Geografía, la Informática e incluso otras técnicas como la Fotogrametría o la Percepción Remota.

#### **2.1.4. Hidrogeomática.**

La hidrogeomática es un conjunto de técnicas y conocimientos informáticos e hidrológicos que en base a modelos de simulación y la tecnología de la información, se emplea para resolver problemas de hidráulica, hidrología e ingeniería ambiental con el fin de obtener un mejor manejo de los sistemas basados en recursos hídricos, como administración de cuencas, estudio de inundaciones y sistemas hídricos urbanos y costeros (IHE, 2005). Obviamente, dentro de esta definición se establece que la hidrogeomática hace uso de técnicas tales como la simulación y el modelado informático con la ayuda de los SIG, lo que a su vez implica la adquisición, gestión, extracción, análisis y visualización de datos para hacer frente a temas tales como la gestión de recursos acuíferos, catástrofes naturales, evacuaciones de emergencia, zonas de ocio relacionadas con el agua, gestión costera problemas de calidad del agua, entre muchos otros (Wei, 2005).

## **2.2. LOS SIG Y SU UTILIZACIÓN EN LA ESTIMACIÓN EN LOS PARÁMETROS DE CUENCAS**

A causa de que el presente trabajo fundamenta su objetivo en la automatización de procesos para la obtención de las características fisiográficas de una cuenca mediante la implementación de una interfaz asentada sobre un software SIG, resulta imprescindible esclarecer numerosos conceptos referentes a dichos sistemas, así como la parte relacionada al proceso de desarrollo de módulos informáticos. De esta forma, se empieza por precisar el concepto de Sistema de Información Geográfica.

Un SIG se define según Bosque (1997), como un complejo sistema de hardware y software que tiene como objeto la comprensión y análisis de datos espaciales georeferenciados. Este mismo autor indica que es un instrumento nuevo de percepción y comprensión del territorio.

Para Bernhardsen (1999), un SIG incluye hardware, software, una estructura de datos y un grupo de expertos a fin de lograr la óptima gestión y análisis del dato geográfico. Menciona además que el sistema debe procesar información georeferenciada y proveer respuestas referentes a la localización de un objeto, distribución de un fenómeno, cambios ocurridos desde un previo análisis, el impacto específico de un evento o las relaciones y sistemas patrones de un territorio.

DeMers, (2002) establece por su parte que un Sistema de Información Geográfica puede ser concebido como una caja de herramientas que incluye variados recursos y diferentes técnicas diseñadas para responder a un amplio rango de simples y complejas preguntas orientadas al conocimiento del territorio; puntualiza además que el reto en el uso del SIG consiste en elegir la mejor opción o herramienta antes de iniciar un trabajo.

Antes de especificar una definición propia, es necesario ejercer un análisis de la terminología Sistemas de Información Geográfica, de esta manera tenemos lo siguiente:

- Un Sistema es un conjunto de elementos independientes que cumplen una función específica y cuyo conjunto global de dichas funciones permite la realización de un trabajo más complejo. Un SIG por ende, se compone de diversos componentes que van desde el hardware, el software, los administradores del sistema, los usuarios y la fuente de trabajo de todos ellos: los datos geográficos (Domínguez *et al.*, 1998).
- Deriva información geográfica, es decir, un conjunto de datos procesados, combinados y representados en un modelo o mapa. Las operaciones antes realizadas se derivan de datos geográficos de entrada; un dato geográfico, es la unidad mínima de información que contiene atributos de localización espacial (Bernhardsen, 1999).

Con estas especificaciones podemos abordar una definición de SIG como un conjunto de componentes físicos (hardware, software y personal) que laboran sobre datos geográficos con la ayuda de métodos y procesos definidos con el fin de obtener nuevos datos, producto del análisis y síntesis de los iniciales. Todo el trabajo se engloba bajo un enfoque sistémico que indica que todos los componentes son indispensables y totalmente correlacionados al buen funcionamiento del sistema.

### **2.2.1. Estructuración informática de un SIG.**

Candean (2005), propone que un SIG se compone de tres elementos informáticos primordiales: Base de datos Gráfica, Base de datos Descriptiva y Base de datos Geográfica.

Base de datos gráfica. Corresponde al dibujo electrónico de las entidades u objetos del territorio. Se obtiene mediante los procesos de digitalización, escaneo, vectorización, clasificación y otros que permitan transformar una entidad territorial en un dibujo. Tiene por insumos: imágenes satelitales, ortofotos, mapas analógico-digitales, puntos tomados en campo, poligonales topográficas, etc. (Figura 2).



Figura 2. Elementos que constituyen a la base de datos grafica

Base de datos descriptiva o alfanumérica. Contiene todos los atributos o características que definan a los objetos de la base de datos gráfica. Dichos datos se almacenan en un manejador de Bases de datos que generalmente tiene una estructura relacional (Figura 3).

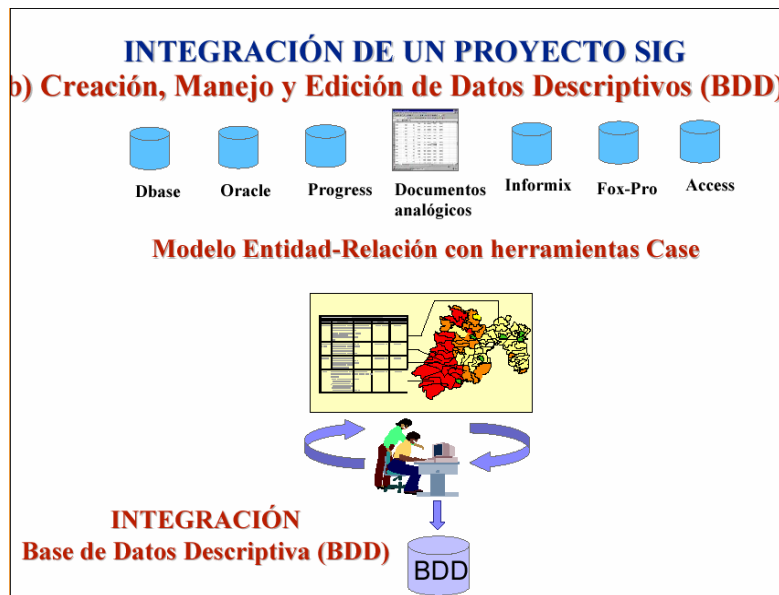


Figura 3. Elementos que constituyen a la base de datos descriptiva

Base de datos geográfica. Es la fusión de la base de datos gráfica y la base de datos descriptiva mediante un modelo de datos geo-relacional o geodatabase. Esta base de datos tiene la característica primordial de integrar datos descriptivos y datos objeto mediante una liga que permite realizar consultas y todo tipo de análisis. Obviamente, la base de datos geográfica tiene que tener definidos consistentemente los parámetros geodésicos (dátum,

esferoide, coordenadas) y matemáticos (escala, proyección y sistema coordenado) que caracterizan a una representación cartográfica de tipo digital (Figura 4).

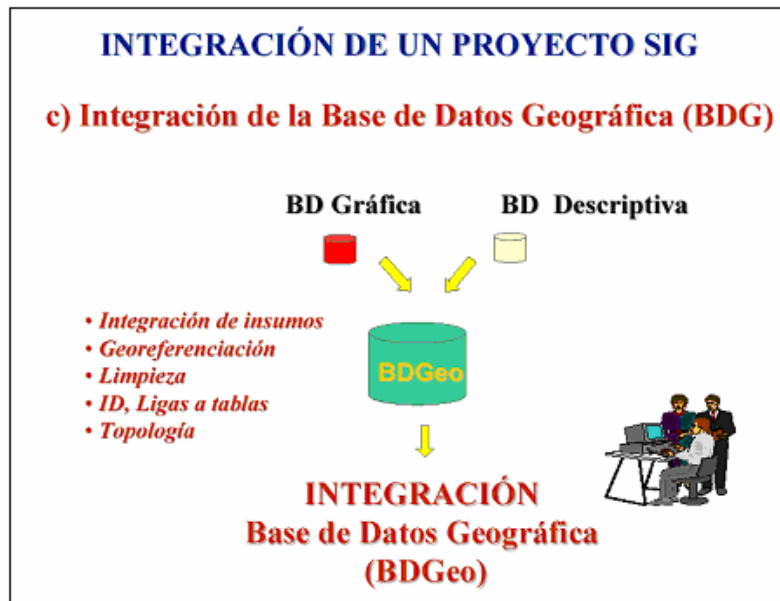


Figura 4. Elementos que constituyen a la base de datos geográfica

### 2.2.2. Los tipos de análisis de un SIG.

La característica fundamental de un SIG, es que permite ejercer mediante el análisis geográfico, una caracterización de las condiciones de la realidad. El análisis geográfico en suma se puntualiza como el conjunto de operaciones encargadas de la manipulación de datos geográficos, a fin de emanar información característica de la compleja realidad del territorio. Domínguez (2000) establece que las cuatro operaciones fundamentales de análisis geográfico de un SIG son las siguientes:

- Análisis de redes.
- Análisis de vecindad, proximidad y distancia.
- Análisis de contexto y modelación raster.
- Análisis orientado a la manipulación de la base de datos geográfica.

De los cuatro tipos de análisis del SIG, los que interesan principalmente para efectos de éste estudio son los últimos dos, puesto que la obtención de las características fisiográficas de la cuenca está centrada en la adquisición de parámetros relacionados a las bases de datos que componen al polígono de la cuenca y la red de drenaje. En este aspecto, los módulos (que



serán desarrollados o modificados en caso de que ya existan) correspondientes al análisis de contexto y modelación raster se emplearán primordialmente para concretar las cualidades del drenaje y la pendiente mientras que los módulos implícitos en los algoritmos de manipulación de la base de datos geográfica se designarán a la concreción de las cualidades cuantitativas de la cuenca y el río principal (Franco-Plata, 2005).

### 2.2.3. Clasificación de los SIG.

Los Sistemas de Información Geográfica mantienen una clasificación, producto del enfoque en su forma de manipular los datos y la forma de trabajo que sustentan. De esta forma se apunta la siguiente clasificación:

a) Por la estructura de trabajo o forma de representación de los elementos del territorio.

- **SIG Raster.** Emplea unidades mínimas de información digital (píxeles) para la representación de los componentes del territorio, por ello, el espacio geográfico es dividido en celdas cuadrangulares o en otros casos en celdas rectangulares, hexagonales o de cualquier otra forma.
- **SIG Vectorial.** Es aquel que emplea objetos geométricos puntuales, lineales y poligonales ligados a una base de datos en la cual cada registro corresponde a un objeto cartográfico y cada campo a un atributo.

b) Por el tipo de usuario.

- **SIG corporativo.** Es aquel cuyos usuarios, consultores o compradores de información, pertenecen a grandes corporativos industriales, gubernamentales, militares o de investigación, los cuales generalmente implementan sistemas a la medida de sus enormes necesidades de información y dirigidos a satisfacer o conocer múltiples características o problemáticas del territorio (Franco-Maass, 2004).
- **SIG Local o regional.** Estos sistemas se constituyen por instituciones escolares, Universidades, pequeñas consultorías y gobiernos a fin de satisfacer necesidades de información orientadas a dar respuesta a problemas individuales del territorio (Franco-Maass, 2004).

c) Por la forma de distribución de la información.

- **SIG distribuido.** En este tipo de sistemas, la información es montada en un medio de consulta disponible a los usuarios. Comúnmente se emplea el Internet o servidores geográficos (Franco-Maass, 2004).
- **SIG no distribuido.** Es aquel en el cual la información generada por el sistema está centralizada en una estructura de hardware a la cual pueden acceder sólo los administradores del sistema (Franco-Maass, 2004).

d) Por la forma de concebirlo.

- **El SIG como una base de datos compleja delineada por un modelo de datos.** Diversos autores consideran que el SIG es una base de datos en la cual, los objetos son representaciones abstractas de la realidad y que adquieren esencia mediante una asociación a una base de datos (Franco-Maass, 2004).
- **El SIG como caja de herramientas.** Otros autores opinan que el SIG debe considerarse como un conjunto de herramientas (programas e información) que deben trabajar sistemáticamente para ser capaces de emanar información orientada a la solución de problemas (DeMers, 2002).

#### **2.2.4. Las estructuras de datos y representación en un SIG.**

Para establecer una representación consistente de los datos del territorio, los programas de SIG emplean estructuras de trabajo o representación. Las dos estructuras de trabajo básicas son:

- Estructura vectorial: Es aquella en la cual los elementos del territorio se representan y trabajan mediante 3 métodos de representación: Punto, línea y polígono (Figura 5).

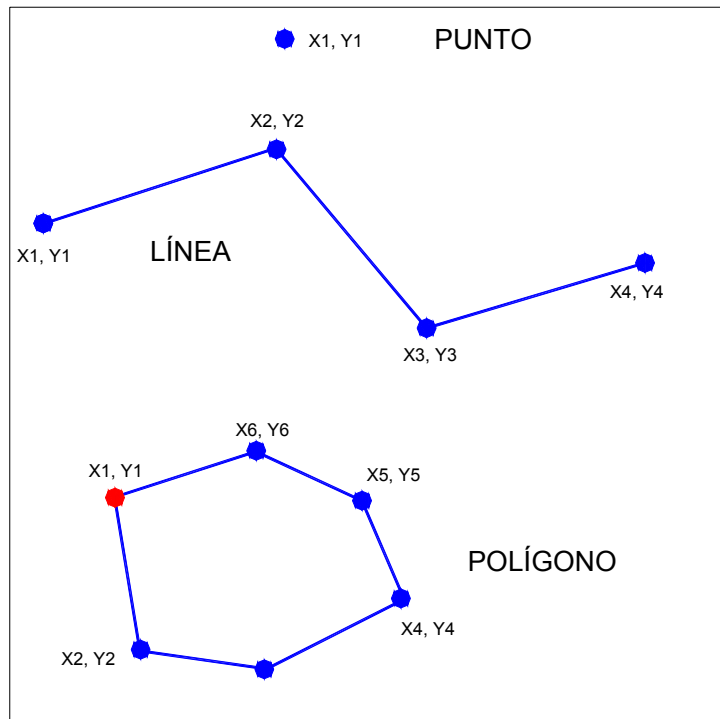


Figura 5. Estructura de datos y representación vectorial

- Estructura raster. Se basa en estructuras de tipo arreglo o celdas las cuales son utilizadas para representar atributos, que pueden tomar un valor, o muchos valores (Figura 6).

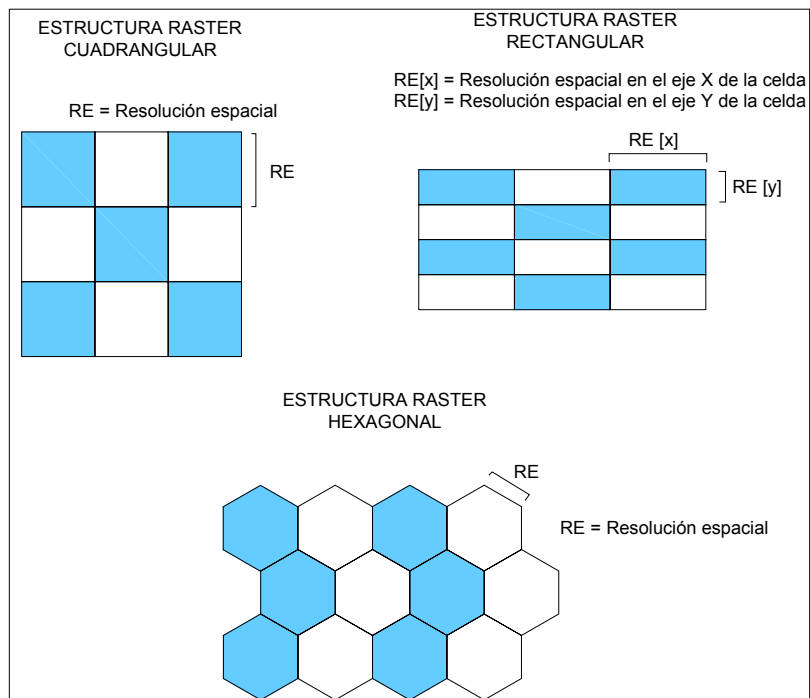


Figura 6. Estructura de datos y representación raster

### 2.2.5. El Modelo Numérico de altitud (MNA).

Conocido típicamente como Modelo Digital de Elevación, (en inglés *Digital Elevation Model* o DEM) resulta un insumo primordial para el cálculo de la mayoría de los parámetros fisiográficos. Felicísimo (2002) considera que un DEM es una estructura numérica de datos, que representa la distribución espacial de una variable cuantitativa y continua. Otro concepto es el propuesto por Domínguez *et al.*, (1998) quienes señalan que el DEM es una continuidad en los valores de altitud de una determinada área. La característica fundamental de un DEM, es que caracteriza espacialmente a una variable continua: el relieve; una variable continua es aquella incógnita capaz de adquirir valores que representan una permanente estancia.

La forma de modelar un fenómeno continuo es a partir de datos discretos. Para el caso de los MNA o DEM, dichos datos discretos corresponden a entidades lineales (curvas de nivel) o puntos de control (obtenidos de la medición directa en campo o derivados de las cartas topográficas) que contienen como característica esencial la adopción de un atributo de altitud sobre el terreno, además de sus coordenadas longitudinales y latitudinales ( $x, y$ ) definidas en un plano bidimensional. A partir de esos datos discretos, los programas de SIG recurren a un proceso de interpolación, es decir, a la obtención de valores no conocidos a partir de los valores  $x, y, z$  conocidos. Con la ayuda del DEM, numerosos especialistas en el campo de la hidrología han obtenido parámetros relacionados a la dirección de flujo, pendientes, orientación de laderas, entre otros parámetros de la cuenca. Con relación al presente trabajo, es importante señalar que la mayor parte de los algoritmos de modelación a partir de un DEM ya se encuentran disponibles. En el caso de la plataforma *ArcView GIS*, estos módulos se encuentran contenidos en la extensión *3D Analyst*.

En la figura 7 se puede apreciar un MNA iluminado con 4 variantes de representación: perfil longitudinal 3D (esquina superior izquierda); representación 3D en perspectiva (esquina inferior izquierda); perspectiva ortogonal 3D (esquina superior derecha) y perspectiva ortogonal 2D (esquina inferior derecha). El área que representa pertenece a la región centro del Estado de México, incluido el volcán Xinantecatl. Fue generado con los software *ArcView 3x*, extensión *3D Analyst.avx*, *Golden Surfer* y *JAVA LandSerf for Windows* a partir de las curvas de nivel. Elaboración propia.

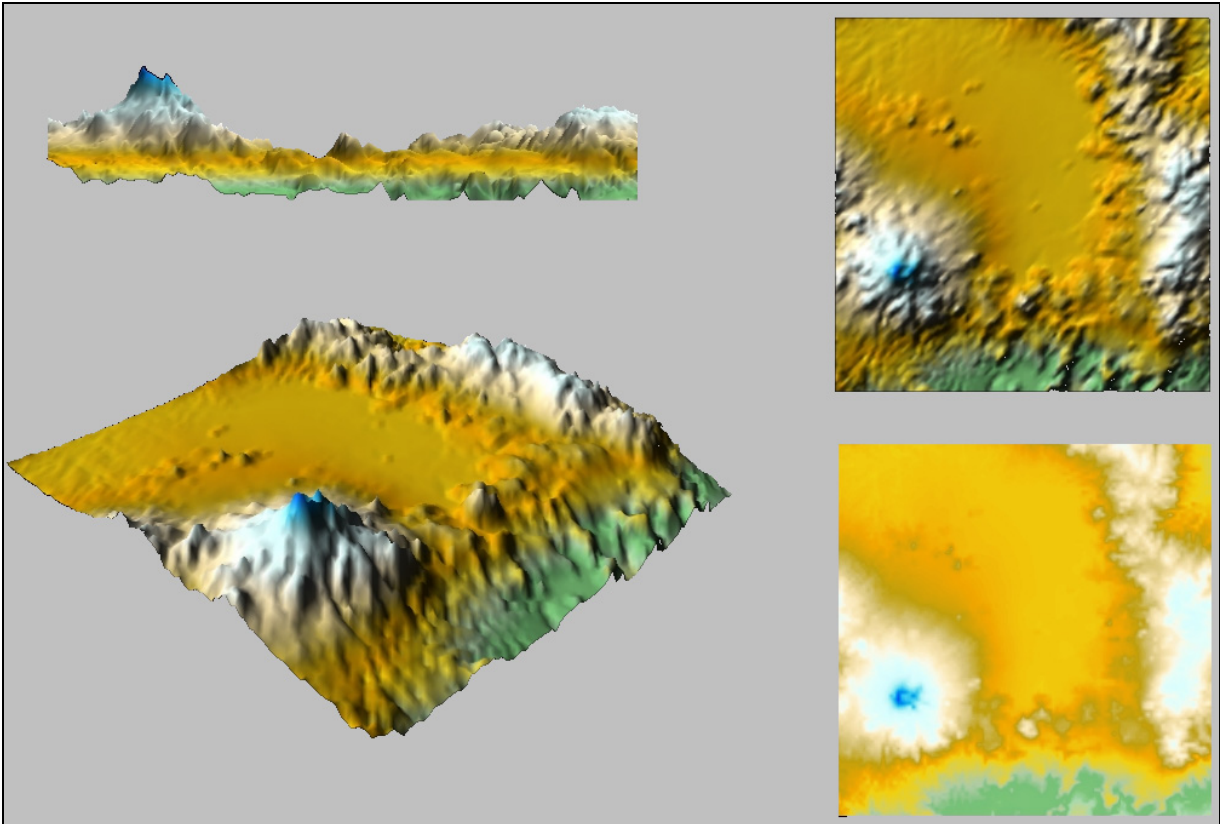
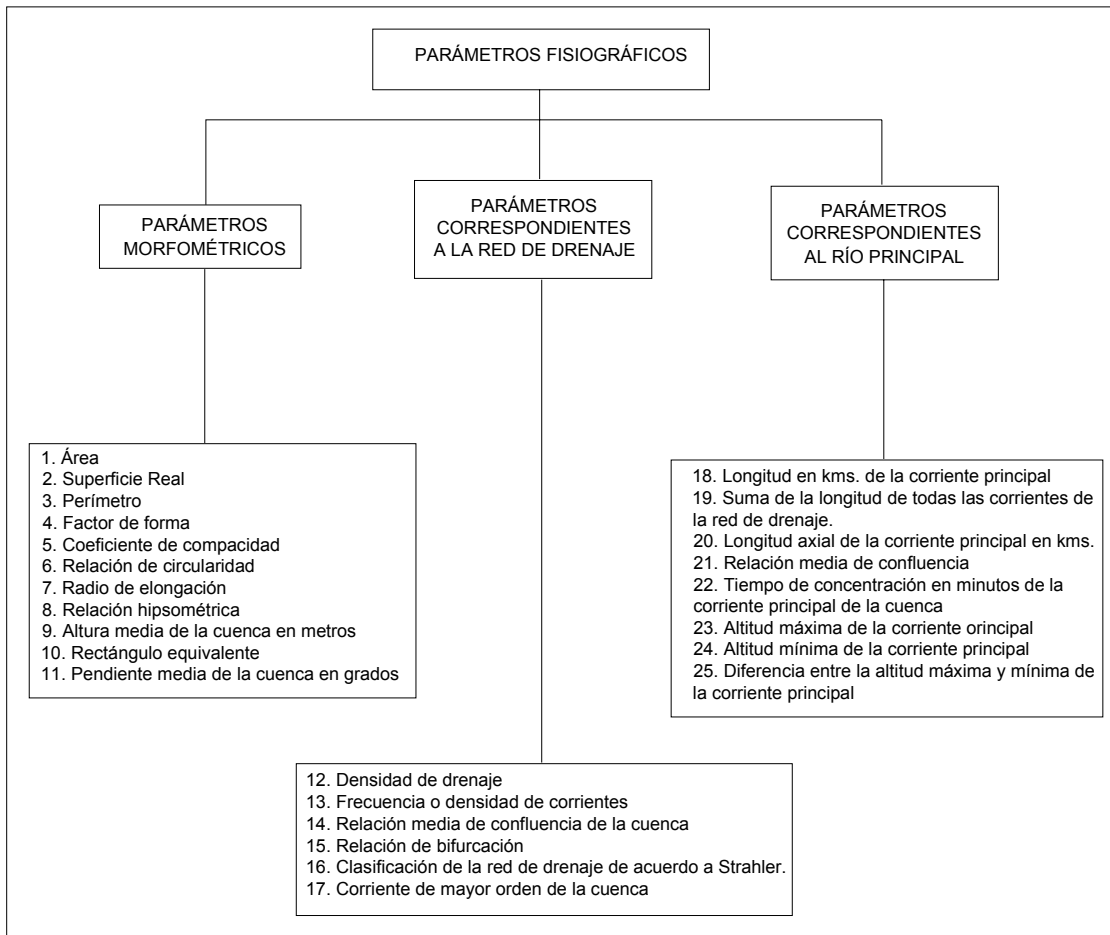


Figura 7. MNA de la región "Centro" del Estado de México.

### 2.3. LOS PARÁMETROS FISIAGRÁFICOS DE LA CUENCA

Se puede entender por parámetro fisiográfico a aquella cuantificación determinada por datos iniciales, que implica el manejo de modelos del relieve y la red hidrológica que derivan características cuantificables de una cuenca (Franco-Plata, 2005). Dentro del estudio de las cuencas, se puede obtener una considerable cantidad de mediciones tanto del orden fisiográfico, hídrico, geológico o geomorfológico, sin embargo el concepto central que envuelve a este documento corresponde a la caracterización fisiográfica, es decir a aquel conjunto de conceptos y establecimientos matemáticos capaces de caracterizar cuantitativamente una cuenca respecto a su morfología, características de su red de drenaje y cualidades cualitativas y cuantitativas de su río principal. Los parámetros fisiográficos considerados para ser analizados e implementados en la interfaz informática de cálculo son los siguientes:



A continuación se define cada parámetro, su formula matemática para determinarlo y una noción de su cálculo a partir de la utilización de software propio de los Sistemas de Información Geográfica.

### 2.3.1. Parámetros morfométricos de una cuenca.

#### 2.3.1.1. Área y superficie real.

La superficie es el valor concerniente al espacio utilizado por la cuenca en unidades cuadráticas. Díaz *et al.*, (1999), sugieren que es el parámetro más importante en relación a la categoría de los parámetros morfométricos.

El área de una cuenca está definida a partir de su parteaguas y éste es una línea imaginaria que pasa por los puntos de mayor nivel topográfico y que separa la cuenca de estudio de otras cuencas vecinas. Esta línea no es en general el contorno real de la cuenca, ya que la influencia de la geología puede hacer que el contorno de aportación de aguas subterráneas y sub-superficiales sea distinto del superficial (Nanía, 2003).

Para calcular el área de la cuenca se puede recurrir a métodos de medición directa en campo que implican el uso del tránsito y la plancheta o métodos indirectos que emplean planímetros, transectos ó mallas de puntos (Sánchez, 1987). En la actualidad suele recurrirse a programas especializados de computadora generalmente empleados para funciones de SIG.

La superficie real por su parte es el resultante de dividir el área normal entre el coseno de la pendiente media en grados. El resultado de este parámetro difiere del obtenido por el área normal a razón de que la superficie real considera la curvatura terrestre y condiciones del terreno. En cuencas pequeñas la diferencia es mínima (Díaz *et al.*, 1999) pero el cambio es notorio en cuencas donde abundan condiciones abruptas del terreno. Por tanto, la fórmula para obtener la superficie real es:

$$A_s = \frac{A}{\cos i}$$

Donde:

As= Superficie o área real

i = Pendiente media de la cuenca en grados

### **2.3.1.2. Perímetro.**

El perímetro es sencillamente la longitud del contorno de la cuenca. Este parámetro junto con el de superficie, representan los valores más importantes para la obtención de los coeficientes de forma. Se puede obtener de forma manual sobre una carta topográfica en formato analógico con la ayuda de un planímetro y consiste en seguir el contorno generado del polígono de la cuenca y hacer las conversiones de medida en función de la escala de la carta (Sánchez, 1987). En relación al uso de los SIG, existen módulos integrados a la mayoría de los programas más populares para su cálculo en diversas unidades de medida.

### 2.3.1.3. Coeficientes de forma.

La forma es uno de los parámetros más importantes en el estudio de cuencas. Según Llamas (1989), la forma interviene en las características del hidrograma de descarga de un río; complementa Sánchez (1987) afirmando que la forma controla la velocidad con que el agua llega al cauce desde su origen hasta su desembocadura. Cuanto más se acerca la cuenca a la forma circular, más rápidamente correrá el agua de su río y por ello, los escurrimientos serán mayores. Resultan ser 4 los coeficientes más importantes que definen la forma de una cuenca: coeficiente de compacidad, relación de circularidad, factor de forma y relación de elongación.

#### 2.3.1.3.1. Coeficiente de compacidad.

Díaz *et al.*, (1999) lo establecen como el cociente entre el perímetro y la superficie de un círculo que tenga la misma superficie de la cuenca. Para términos prácticos, se establece como el producto del cociente entre el perímetro y la raíz cuadrada de la superficie planimétrica, multiplicado todo ello por la constante 0.282:

$$k_c = 0.282 \left[ \frac{P}{\sqrt{A}} \right]$$

Donde:

Kc = Coeficiente de compacidad

A = Área real de la cuenca.

P = Perímetro de la cuenca

#### 2.3.1.3.2. Relación de circularidad.

Es el coeficiente entre el área de la cuenca y la de un círculo cuya circunferencia es igual al perímetro de la misma (Díaz *et al.*, 1999). De igual forma existe una ecuación para calcularlo que se menciona a continuación:

$$R_{ci} = \frac{4\pi A}{P^2}$$

Donde:

Rci = Relación de circularidad.

A = área de la cuenca

P = Perímetro de la cuenca

Según Llamas (1993), dependiendo del resultado que arroje el coeficiente de circularidad se pueden fundamentar la siguiente clasificación (Tabla 3):



Tabla 3. Coeficiente de circularidad de acuerdo al valor del tipo de forma que puede describir una cuenca. (Llamas, 1993)

Valor	Interpretación
Rci = 1.00	Cuenca circular
Rci >= 0.785	Cuenca cuadrada

### 2.3.1.3.3. Relación de elongación.

Es la relación entre el diámetro de un círculo que tenga la misma superficie que la cuenca y la longitud máxima de la cuenca. La longitud máxima de la cuenca es la distancia de la exutoria al fluvio de primer orden más alejado (Llamas, 1989). Para calcularlo de manera eficaz se emplea la siguiente ecuación:

$$Re = 1.128 \left( \frac{\sqrt{A}}{Lm} \right)$$

Donde:

Re = Relación de elongación

Kc = Coeficiente de compacidad.

Lm = Longitud máxima.

A = Área de la cuenca

Dependiendo del resultado que arroje este coeficiente, podemos caracterizar la cuenca de acuerdo a lo establecido en la tabla 4:

Tabla 4. Tipo de forma de una cuenca de acuerdo al valor de su coeficiente de elongación (Llamas, 1989).

Valor del coeficiente	Interpretación
Re = 1.00	Cuenca plana.
Re >= 0.6 y Re < 0.8	Cuenca con relieve pronunciado

### 2.3.1.3.4. Factor de forma (Rf).

Se define como el cociente entre la superficie de la cuenca y el cuadrado de la longitud máxima. La longitud máxima es definida como la medida de la corriente principal de la cuenca (Franco-Plata, 2005).

$$Rf = \frac{A}{(Lmc - km)^2}$$

Donde:

Rf = Factor de forma

A = Área real de la cuenca

Lmc\_km: Es la distancia existente entre la exutoria y el punto más alejado de la cuenca. Equivale a la longitud del río principal en kilómetros.

### 2.3.1.4. Curva y relación hipsométrica.

Es la representación gráfica del relieve de una cuenca. Representa la variación de la elevación del terreno de la cuenca con referencia al nivel medio del mar. Dicha variación puede ser indicada por medio de un gráfico que muestre el porcentaje de área de drenaje que existe por encima o por debajo de varias elevaciones (Ramírez, 2005).

Para la obtención de la curva hipsométrica, se construye una tabla que toma en cuenta los siguientes indicadores:

- Intervalo de curvas de nivel
- Marca de clase del intervalo
- Área entre cada intervalo
- Área de cada intervalo entre la sumatoria del área entre curvas
- Porcentaje sobre el límite inferior

Por ejemplo, en la tabla 5 se establecen los datos necesarios para graficar la curva hipsométrica.

Tabla 5 Datos empleados en la construcción de la curva hipsométrica.

Num	Intervalo de curvas de nivel	Marca de clase del intervalo	Área entre cada intervalo	Área de cada intervalo entre la sumatoria del área entre curvas	Porcentaje sobre el límite inferior
1	0-200	100	594.79	28.08	100.00
2	200-400	300	668.16	31.55	71.92
3	400-600	500	318.89	15.06	40.37
4	600-800	700	236.85	11.18	25.32
5	800-1000	900	147.76	6.98	14.14
6	1000-1200	1100	92.76	4.38	7.16
7	1200-1400	1300	42.76	2.02	2.78
8	1400-1600	1500	9.66	0.46	0.76
9	1600-1800	1700	4.85	0.23	0.31
10	1800-2000	1900	1.47	0.07	0.08
11	2000-2200	2100	0.16	0.01	0.01
SUMATORIA			2118.11	100.00	

De acuerdo a los datos de la tabla 5 se muestra la gráfica resultante de la curva hipsométrica en la figura 8:

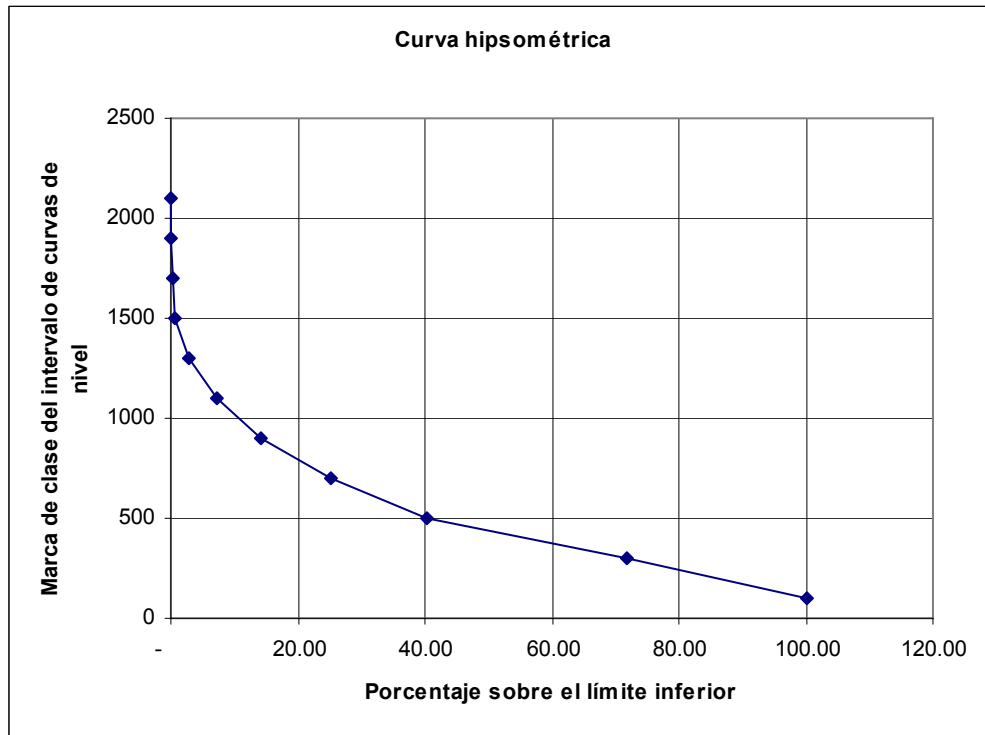


Figura 8. Gráfico que muestra la Curva hipsométrica generada a partir de los valores de la tabla 3.

Dependiendo de la forma de la curva hipsométrica, se derivan algunas conclusiones respecto al estado de los procesos geomorfológicos de la cuenca y de esta forma se pueden presentar tres casos: estado de vejez, equilibrio y juventud.

En el ejemplo definido anteriormente la cuenca evaluada por la curva hipsométrica está en proceso de vejez, lo que según Díaz *et al.*, (1999), implica que la cuenca está erosionada, sedimentada y clasificada como valle. Cabe señalar que el proceso de generación de la curva hipsométrica puede derivar otros parámetros tales como la altitud máxima y mínima de la cuenca (Llamas, 1993).

Es importante precisar que la curva hipsométrica establecida anteriormente surgió de datos irreales y se realizó con el fin de que el lector tuviese una idea de su proceso de construcción y representación. En éste sentido, para casos reales de aplicación, se han ampliado numerosos métodos para caracterizar la curva hipsométrica. Estos métodos abordan desde los procesos manuales que implica hacer los cálculos a mano, hasta los procesos auxiliados

de hojas de cálculo, así como de algunos módulos de graficación incluidos en algunos software de SIG.

Tocante a la relación hipsométrica este parámetro resulta de dividir el valor del área sobre la curva hipsométrica, entre el valor del área bajo la curva de la curva.

$$Rh = \frac{As}{Ab}$$

Donde:

Rh = Relación hipsométrica

As = Área sobre la curva

Ab = Área bajo la curva

### 2.3.1.5. Rectángulo equivalente.

Es una figura rectangular que tiene la misma superficie y perímetro que la cuenca en cuestión y sirve como indicador preliminar del comportamiento de una cuenca (Díaz *et al.*, 1999). Para obtenerlo las curvas de nivel que constituyen a la cuenca se transforman en líneas paralelas verticales. La longitud de los lados se define por las fórmulas siguientes:

$$Lado\_menor = \frac{Kc(\sqrt{A})}{1.128} \left( 1 - \sqrt{1 - \left( \frac{1.128}{Kc} \right)^2} \right)$$

$$Lado\_mayor = \frac{Kc(\sqrt{A})}{1.128} \left( 1 + \sqrt{1 - \left( \frac{1.128}{Kc} \right)^2} \right)$$

Donde:

Kc = Coeficiente de compacidad

A = área de la cuenca.

### 2.3.1.6. Pendiente media.

La pendiente de un terreno es un parámetro sumamente importante en la caracterización de la cuenca respecto a las características del relieve que lo definen (Nanía, 2003). Según Sánchez (1987), la pendiente de un terreno condiciona la velocidad del escurrimiento superficial subterráneo y en un momento dado, ayuda a predecir la erosión en función del uso del suelo actual de la unidad territorial en estudio.

La pendiente media se define entonces el promedio de las diferencias de altura entre regiones acotadas por isolíneas contiguas de altitudes diferentes. Para calcular este

parámetro se puede recurrir a métodos manuales y automatizados; los primeros básicamente consisten en trazar una malla de cuadros la cual se orienta sobre la corriente principal de modo tal que se cubra toda la cuenca y posteriormente, se construyen reglas de ponderación de las diversas pendientes que se van ajustando a las distintas áreas de intersección de los cuadros de la malla con las curvas de nivel y se va coloreando el grado de inclinación del relieve (Díaz *et al.*, 1999); los métodos automatizados implican el uso de plataformas de Sistemas de Información Geográfica los cuales emplean generalmente un Modelo Numérico de Altitud (MNA). El proceso consiste en calcular e identificar los cambios de altitud en una distancia horizontal específica, por lo general de las cuatro inmediatas celdas adyacentes a cada celda de evaluación. Su unidad de medida de la pendiente puede expresarse en grados o en porcentajes (Díaz *et al.*, 1999).

En la figura 9 se muestra la forma para la obtención de la pendiente por la mayoría de los algoritmos implícitos en los software de SIG. Considérese que la celda o píxel de evaluación es el rojo, el software calcula el promedio ponderado de la tangente del ángulo de inclinación de las 4 celdas más próximas.

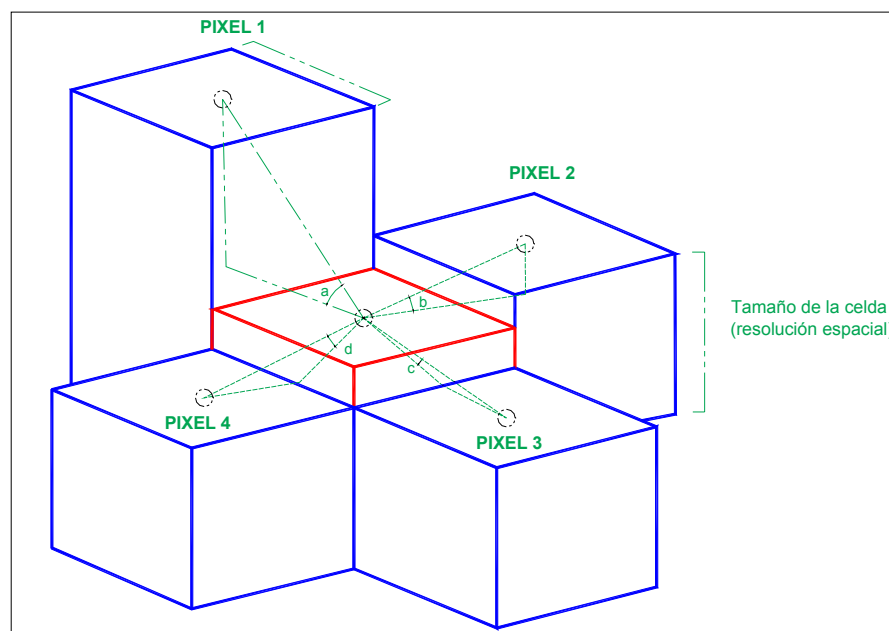


Figura 9. Esquematización del proceso de obtención de la pendiente a partir de ArcView 3.1.

### 2.3.1.7. Elevación media de la cuenca.

La elevación media es el promedio de altitud de la cuenca considerando las curvas de nivel que la componen. Para obtener este parámetro es necesario contar con un Modelo numérico

de Altitud (MNA) a partir del cual se calcula el promedio del valor de altitud de todas sus celdas respecto al polígono de la cuenca. Este proceso también puede llevarse a cabo por métodos manuales, no obstante esto resulta laborioso y difícil.

La elevación altitudinal de una cuenca hidrográfica incide directamente sobre su distribución térmica y por lo tanto en la existencia de microclimas muy característicos de acuerdo a las condiciones locales predominantes. Además, constituye un criterio de la variación territorial del escurrimiento resultante de una región que brinda una noción para caracterizar zonas climatológicas y ecológicas (INE, 2004).

### **2.3.2 Parámetros concernientes a las características del drenaje.**

El drenaje se define como la extracción del agua superficial o subterránea de una región específica. El drenaje implica la eliminación del exceso de agua mediante redes superficiales y subterráneas que fluyen desde las partes altas por los efectos de la gravedad y con la ayuda de la pendiente (Encarta, 2004).

La ciencia hidrológica ha encontrado la manera de estudiar las formas de drenaje de una cuenca mediante los siguientes parámetros:

- Orden de las corrientes de acuerdo a Strahler.
- Densidad de drenaje y frecuencia hidrográfica.

#### **2.3.2.1. Orden de corrientes de acuerdo a Strahler.**

Una corriente es un cuerpo de agua que fluye desde tierras altas hasta tierras bajas desembocando su cauce en otra corriente, un lago o el mar (Sánchez, 1987). Un proceso necesario dentro del trabajo de caracterización de una cuenca es la ordenación de las corrientes, para ello, Horton introdujo un concepto de clasificación de corrientes que permite asignar valores enteros a arroyos en redes hidrológicas que determinan su importancia relativa en una jerarquía de tributarios mayores y menores. Una versión mejorada de este concepto fue introducida más tarde por Strahler en el año 1957. La metodología de clasificación establecida por Strahler es la más empleada aunque en la mayoría de los proyectos se efectúan ambas (Sánchez, 1987).

El método de clasificación de Strahler consiste en lo siguiente:

- Se asigna el valor de 1 a la corriente de cuyo flujo no proviene de otra.
- Se asigna el valor de 2 a la corriente cuyo inicio proviene de la intersección de 2 o más corrientes de orden 1.
- Se asigna el valor de 3 a la corriente cuyo inicio proviene de la intersección de 2 o más corrientes de orden 2 y se continúa este proceso hasta definir la corriente de mayor orden.
- La corriente principal será aquella en la que su flujo no alimenta a ninguna otra corriente. En este sentido, el punto o nodo final de esta corriente principal corresponde a la exutoria.

El método de jerarquización de corrientes de Strahler ha sido empleado para conocer la densidad del drenaje e indica al hidrólogo el tipo de drenaje, la bifurcación y la cobertura de las corrientes en la cuenca (Sánchez, 1987). Este método no está exento de ser implementado por métodos manuales que implican marcar o resaltar sobre una cuenca las corrientes para luego construir una tabla que identifique el orden de cada una de ellas; este proceso resulta sumamente tardado por que el número de vectores de la red de drenaje que podemos encontrar representados en una carta topográfica puede ser muy grande, más aún si se trata de cuencas donde resalta el relieve segmentado por múltiples nacimientos fluviales.

Para evitar dichas pérdidas de tiempo, se pueden emplean programas informáticos que derivan el orden de corriente. En *ArcView GIS* por ejemplo, existe un módulo denominado “*Generate Strahler order stream.avx*”, el cual acelera este cálculo a partir de un tema lineal topológicamente coherente que contenga 2 campos relacionados a los nodos de inicio y fin de cada corriente. En la figura 10 se muestra un gráfico de la jerarquización de la red de drenaje en función del sistema de clasificación propuesto por Horton y adecuado por Strahler.

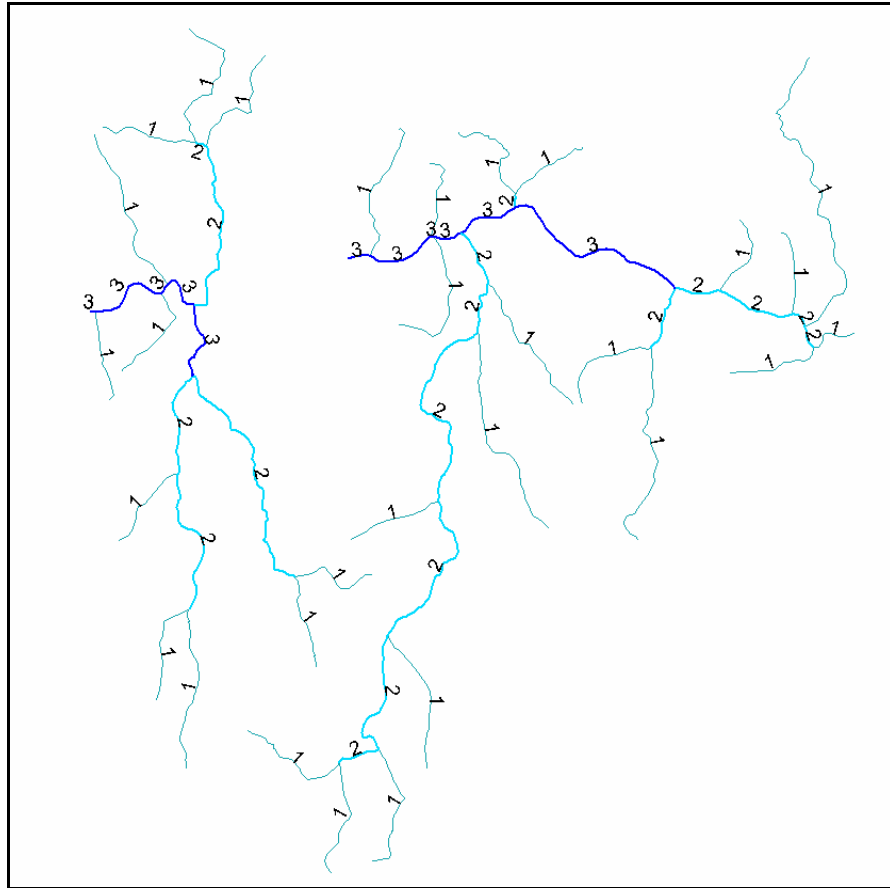


Figura 10. Esquema de las órdenes de corrientes según Strahler.

El INEA (2004) establece que en función del número máximo de orden es posible caracterizar la clase de orden respecto a la red de drenaje en términos de bajo, medio ó alto. En la tabla 6 se presenta el criterio de esta jerarquización.

Tabla 6. Tabla que muestra las Clases de orden de acuerdo al máximo derivado de la jerarquización de Strahler. (INEA, 2004).

Rangos de ordenes	Clases de orden
1 a 2	Bajo
3 a 4	Medio
> 5	Alto

### 2.3.2.2. Densidad de drenaje y densidad de corrientes.

Llamamos densidad de drenaje a la relación entre la longitud total de todos los cauces de agua y la superficie total de la cuenca. Se obtiene por la expresión siguiente:

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

Donde:



D = Densidad de drenaje  
L = Longitud total de todos los cauces de agua en Km.  
A = Superficie real de la cuenca en km<sup>2</sup> (Llamas, 1993).

Según Díaz *et al.*, (1999), la densidad de drenaje es el parámetro que refleja la dinámica de la cuenca, la estabilidad de la red hidrográfica, el tipo de escorrentía de la superficie y la relación que existe entre la longitud de los canales de flujo y la superficie de la cuenca. El INE (2004) por su parte, apunta que este índice permite tener un mejor conocimiento de la complejidad y desarrollo del sistema de drenaje de la cuenca, así como también de sus condiciones geológico-estructurales. En general, una mayor densidad de escurrimientos indica mayor estructuración de la red fluvial, o bien existe mayor potencial de erosión.

Por su parte, la densidad de corrientes, también llamada frecuencia de corrientes o densidad hidrográfica, se refiere a la cantidad de segmentos de la red de drenaje que son necesarios por unidad de superficie para mantener las características y condiciones de drenaje de la cuenca. Para obtener este parámetro, se emplea la siguiente ecuación:

$$D_s = \frac{\text{Num\_Corr}}{A}$$

Donde:

Ds = densidad de Corrientes

Num\_corr = Numero total de corrientes de la cuenca.

A = Superficie real de la cuenca en kms<sup>2</sup>

### **2.3.3. Características del río principal de la cuenca.**

Llamamos río principal a aquella corriente cuyo nodo de descarga corresponde a la exutoria de la cuenca y el nodo inicial corresponde a una corriente de primer orden en la cual se establece el nacimiento del río (Llamas, 1989). Una vez identificado el río principal y caracterizado el orden de corrientes de cada afluente se dispone a obtener los aspectos relacionados a la longitud del río principal, longitud axial, suma de la longitud de todas las corrientes, corriente de mayor orden (en función de la clasificación de Strahler) y tiempos de concentración.

#### **2.3.3.1. Longitud de la corriente principal.**

Se define como la distancia que existe entre el nacimiento y la desembocadura del mismo. (Díaz *et al.*, 1999). Para identificar a la corriente principal debemos considerar a la de mayor orden así como a las corrientes de menor jerarquía cuya suma de longitud adicionada a la longitud de la corriente de mayor orden resulte en la mayor distancia.

En otras palabras, para obtener la longitud de la corriente principal se procede a hacer lo siguiente.

- Se identifica la corriente de mayor orden de acuerdo al sistema de clasificación de Strahler.
- Se verifican las corrientes de un orden inferior cuyo nodo final esté conectado con la corriente de mayor orden.
- Para cada corriente conectada de orden  $n-1$  respecto a la corriente de mayor orden, se suman y acumulan las longitudes de las corrientes conectadas.
- Se ponderan todos los casos y combinaciones posibles hasta encontrar las corrientes de orden  $n-1$ ,  $n-2$  y  $n-...n$  que resulten en la mayor distancia.

El desarrollo del proceso descrito anteriormente implica un proceso muy complicado y laborioso que por métodos manuales involucra una cantidad considerable de tiempo. Con la ayuda de los paquetes SIG, este proceso puede llegar a reducirse muy poco porque aún no existen módulos que hagan el proceso automáticamente dado que la forma de identificación de la corriente principal es a partir de múltiples consultas espaciales y tabulares sucesivas.

En el esquema 11 se muestra el criterio empleando para calcular la longitud de la corriente principal. En este caso, el río principal tiene una longitud de 145 Km. La obtención del río principal por métodos automatizados implica la obtención de las longitudes de todos los afluentes y posteriormente se acumula la distancia desde la corriente de mayor orden (aquella en la que su nodo final es la exutoria) hacia la corriente de menor orden combinando todos los casos posibles y ponderando para todos los casos la combinación de corrientes que tengan la máxima distancia. En el caso del esquema de la figura 11, por ejemplo, el río principal está definido por la línea roja.

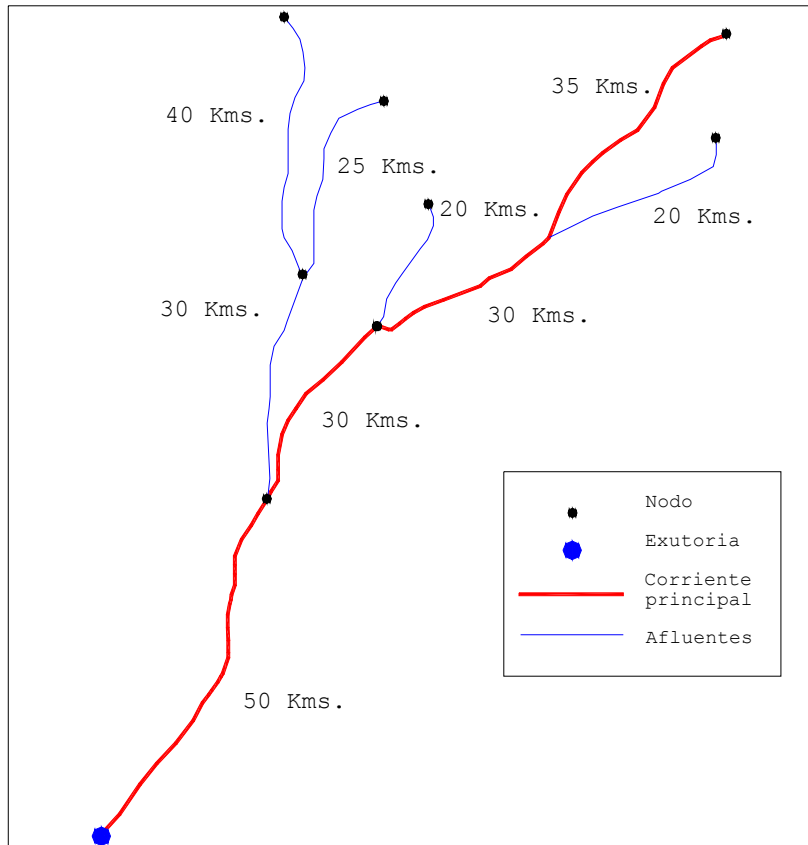


Figura 11. Esquema que muestra la identificación y longitud del río principal.

### 2.3.3.2. Corriente de mayor orden en función de la clasificación de Strahler.

Una vez que se ha caracterizado la red de drenaje de acuerdo al sistema de jerarquización propuesto por Strahler, es importante identificar al segmento o corriente de dicha red que aguarda el mayor orden de acuerdo a dicha clasificación. Conocer este dato es importante, ya que nos permite establecer el vector exutorio, es decir, aquel cuyo nodo final es la exutoria y que contiene el aporte hídrico de todas las corrientes de la red de drenaje de la cuenca.

### 2.3.3.3. Longitud axial de la corriente principal.

Es la distancia que existe desde la exutoria hasta el punto más alejado de la corriente principal pero de forma lineal, es decir, no se toman en cuenta los demás segmentos participantes en la red de drenaje. En la figura 12 se indica la referencia para la obtención de la corriente axial del río principal.

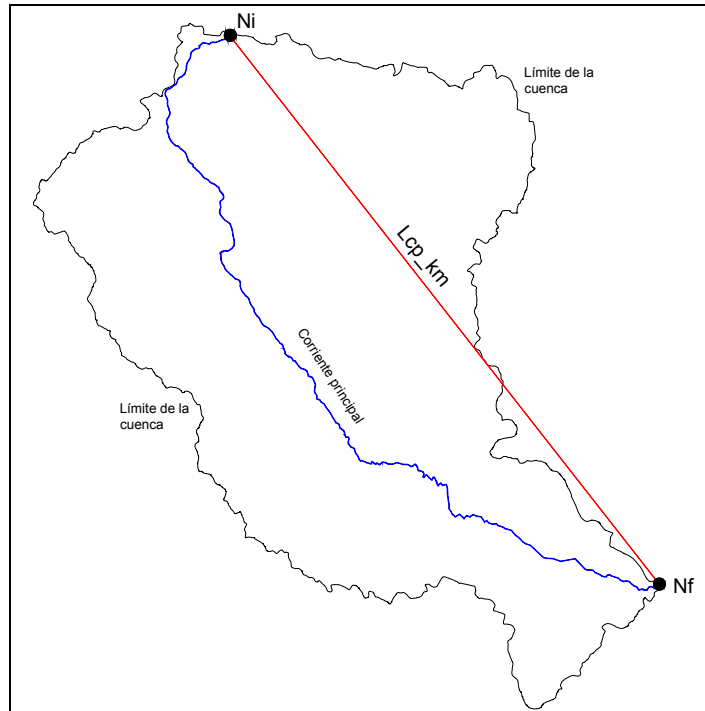


Figura 12. Esquema de una cuenca en la cual se muestra el río principal (línea azul) y la forma de determinación de la longitud axial de ésta. La línea roja representa la longitud axial, definida como la distancia lineal entre el nodo inicial (Ni) y nodo final (Nf) del río principal.

#### **2.3.3.4. Suma de la longitud de todas las corrientes.**

Es la sumatoria de la longitud de todas y cada una de las corrientes que contiene la red de drenaje de la cuenca. Para obtener este parámetro basta sumar la longitud de todos los segmentos que la componen (Franco-Plata, 2005).

#### **2.3.3.5. Orden Máximo de Corriente de Strahler.**

Es un escalar que establece el orden máximo de Strahler de las corrientes que forman la red de drenaje. Este parámetro está correlacionado con la corriente de mayor orden de acuerdo al sistema de clasificación de Strahler y su importancia radica en poder establecer el grado de complejidad de la cuenca. Un escalar superior a 5 establece que se trata de una cuenca con un aporte hídrico importante (INE, 2004).

#### **2.3.3.6. Relación Media de Confluencia de las Corrientes de la Cuenca.**

Conocido también como coeficiente de bifurcación, es una expresión matemática que se establece como el cociente del número de vectores de un orden entre el número de vectores de orden superior (Franco-Plata, 2005). Esta constante suele emplearse para medir la

distorsión del modelo del drenaje en función de las estructuras geológicas (Díaz *et al.*, 1999).

Para obtener este parámetro se emplea la siguiente ecuación:

$$Rmc = \frac{Nc(Ox)}{Nc(Ox + 1) \cdot Omax}$$

Donde:

Rmc = Relación media de confluencia

Nc (Ox)= Número de corrientes de un orden x

Nc (Ox+1)= Número de corrientes de un orden x + 1

Omax = Escalar del mayor orden de acuerdo a la clasificación de Strahler

### 2.3.3.7. Tiempo de concentración.

Es el tiempo requerido por la escorrentía superficial para recorrer la distancia comprendida desde el punto más alto y alejado de la cuenca hasta aquel en donde se realiza la estimación (Gonzaga *et al.*, 1997). En este caso, el punto donde se realiza la estimación correspondería a la exutoria y el punto más alejado de la cuenca recaería en el nodo inicial de la corriente principal.

Para calcular el tiempo de concentración existen diversos métodos; algunos consideran factores como el uso del suelo actual y el régimen de lluvia pero la mayoría coinciden en tomar en cuenta la pendiente como parámetro base para estimar el tiempo de concentración de la escorrentía superficial.

El método propuesto por Kirpich en el año 1942 y citado por el CEPREDENAC (2000) señala una fórmula para obtener el tiempo de concentración en cuencas y microcuencas y en donde no se consideran factores como el uso actual del suelo. La ecuación es la siguiente:

$$Tc = 0.0078(L^{0.77})(S^{-0.385})$$

La fórmula anterior se puede desglosar de la siguiente manera:

$$Tc = \frac{0.0078(L^{0.77})}{S^{0.385}}$$

Donde:

Tc = Tiempo de concentración en minutos.

L = Longitud de la corriente principal en km.

S= Pendiente geométrica (m/m) entre la exutoria y el nodo inicial de la corriente principal.

Otra fórmula establecida por el INE es la siguiente:

$$T_c = \frac{(0.30)L^{0.333}}{\sqrt{P}}$$

Donde:

T<sub>c</sub> = Tiempo de concentración en minutos

L = Longitud de la corriente principal en Km.

P =Pendiente geométrica (m/m) de la corriente principal.

La ecuación anterior es una modificación del método original de cálculo establecido por Kirpich, especialmente adaptado a cuencas y microcuencas de México (INE, 2004). Dado que la pendiente es el parámetro fundamental para obtener el tiempo de concentración, se dedujo un método para calcularla de forma geométrica:

Sea *cn* una cuenca hidrográfica, *ex* el punto exutorio, *Fnode* el nodo inicial de la corriente principal *CorP*, la Pendiente *P* se calcula estableciendo una traslación transversal de la corriente principal, de tal forma que se crea un triángulo rectángulo en el cual, el valor de la hipotenusa (*C*), está dado por la distancia entre *Fnode* y *ex*; dicha distancia corresponde a la longitud la corriente principal (Figura 13 ).

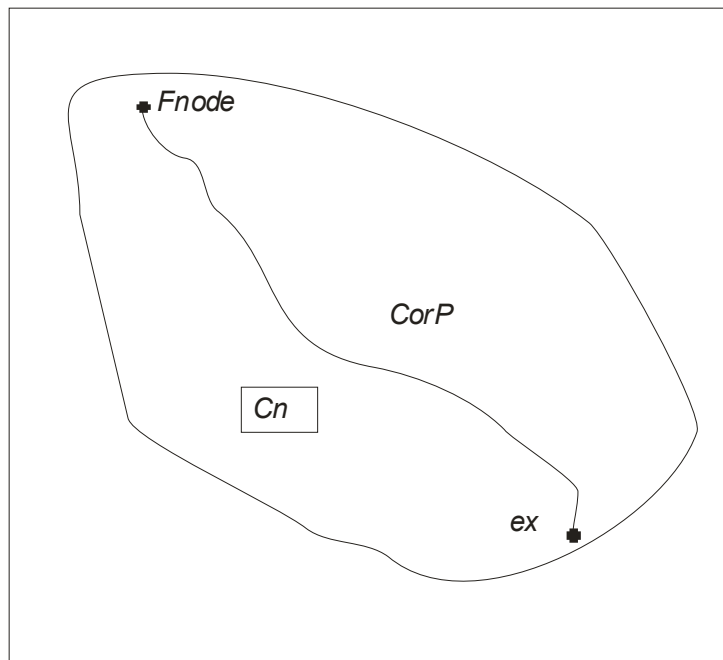


Figura 13. Esquema de la cuenca, el río principal y los elementos que intervienen en el cálculo del tiempo de concentración.

El cateto opuesto ( $B$ ) del triángulo formado esta definido por la diferencia de altura en metros existente entre  $Fnode$  y  $ex$  (Figura 13a):

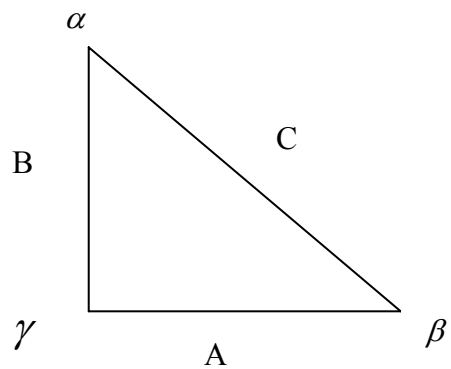


Figura 13a. Esquema de los elementos que intervienen en el cálculo de los tiempos de concentración proyectados en un triángulo rectángulo.

Lo que interesa en este caso es conocer valor del ángulo  $\beta$ . Tomando en consideración que se conoce el valor de los valores  $B$ ,  $\gamma = 90^\circ$  y  $C$ , para determinar  $\beta$  empleamos la siguiente ecuación:

$$P = \frac{L}{H}$$

Donde:

P = Pendiente m./m.

L = Longitud de la corriente principal

H = Diferencia de altitud entre la exutoria y el punto más alto y alejado de la cuenca (nodo inicial de la corriente principal)

La ecuación anterior es equivalente a la obtención de la tangente del ángulo Beta establecido:

$$P = tg(\beta)$$

## **2.4. EL PROCESO DE CONSOLIDACIÓN DEL MÓDULO INFORMÁTICO PARA LA ADQUISICIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS CUANTITATIVAS DE UNA CUENCA EN UN SOFTWARE DE AMBIENTE SIG.**

A raíz de la expansión generalizada del empleo de los SIG a partir de década de los 60, numerosos investigadores y usuarios asintieron con el tiempo necesidades específicas propias de su quehacer profesional que los software de SIG existentes no resolvían en su totalidad o requerían de múltiples rutinas o del empleo de una gran cantidad de programas. Este factor ha resuelto el compromiso de una gran cantidad de programadores y especialistas participantes en el diseño de nuevos algoritmos cuyas funciones han venido robusteciendo las plataformas, no obstante, aún pesan necesidades específicas que las plataformas actuales más caras o sofisticadas no pueden resolver o que en su caso ofrecen en una solución intermedia.

Existen plataformas que combinadas, nos ayudan a obtener los resultados deseados, pero el reto que se impone la consolidación de este trabajo es ensamblar y divulgar un módulo que trabaje en un software de SIG y permita automatizar el cálculo de las cualidades fisiográficas de una cuenca en una interfaz única sobre la cual, el usuario pueda laborar sin tener la necesidad de emigrar sus datos a diversos programas para ejercer cálculos específicos.

### **2.4.1. Conceptos básicos.**

#### **2.4.1.1. Módulo, programa y software.**

Somerville (2002), menciona que de modo estricto, el software puede representar tan sólo un conjunto de rutinas o algoritmos escritos en un lenguaje de programación que permiten interactuar con el usuario a fin realizan tareas específicas. No obstante, el mismo autor sugiere que el alcance, grado de complejidad y número de tareas realizadas permiten clasificar al software en programas, módulos y algoritmos. Esta clasificación puede diferir de diversos autores pero parece adecuada su fundamentación en este trabajo.

Un programa en un conjunto de módulos, es decir, rutinas que realizan una función específica pero que en suma, están comunicadas entre sí para ofrecer al usuario una funcionalidad compleja. Un módulo por tanto, requiere del respaldo de un programa y tiene como objetivo aumentar la funcionalidad de este último (Joyanes, 1996). Un algoritmo por su



parte, es un conjunto finito de instrucciones escritas en un lenguaje de programación que sirven para indicarle a la máquina la realización de alguna acción. En base a esta definición, se precisa que un módulo puede contener implícita la escritura y comunicación de varios algoritmos (Joyanes, 1996). Tomando en consideración las definiciones anteriores se propone en la figura 14, un gráfico que puede ayudar a esclarecer la jerarquía presentada por Somerville (2002).

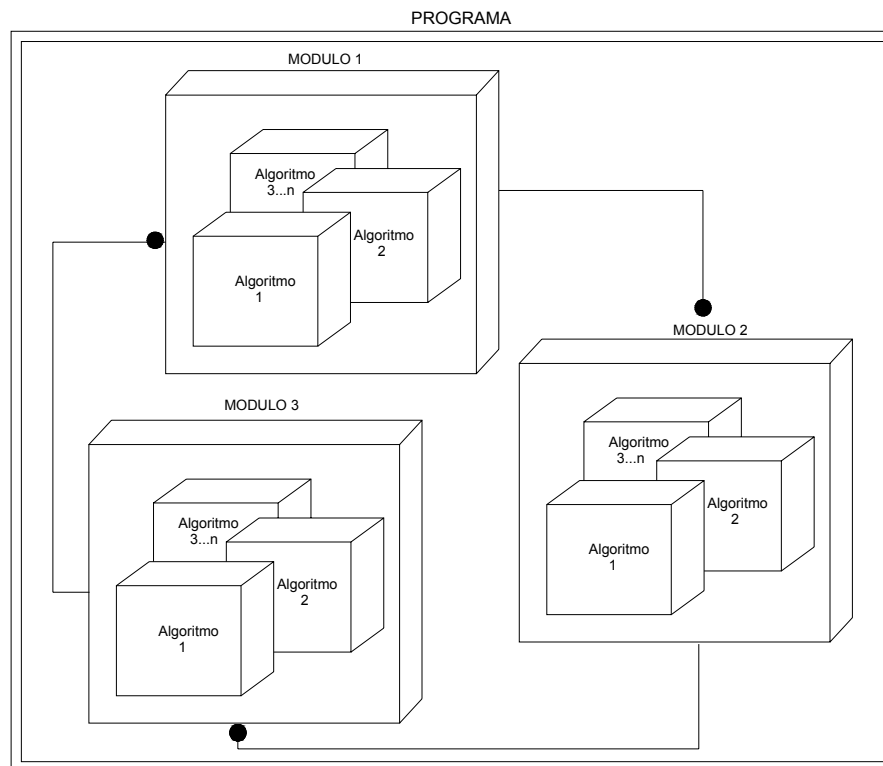


Figura 14. Jerarquía existente entre programas, módulos y algoritmos.

En la figura se aprecia que un programa está compuesto por subprogramas o módulos; éstos a su vez, se constituyen de uno o varios algoritmos y estos últimos son un conjunto de instrucciones inteligibles para la máquina. Las flechas indican que debe existir comunicación entre los módulos de un programa.

Por tanto, respecto a la diferencia entre módulo y programa, encontramos que un programa es un conjunto de módulos, es decir, rutinas que realizan una función específica pero que en suma, están comunicadas entre sí para ofrecer al usuario una funcionalidad compleja (Somerville, 2002). Lo que se propone en esta tesis es implementar un módulo que tenga su propia interfaz (estructura de requerimientos y salidas) la cual deberá estar respaldada por un programa o software de SIG.

#### **2.4.1.2. Programación: concepto y tipos.**

Programar o implementar consiste en escribir en un lenguaje de programación, instrucciones inteligibles para una computadora a fin de obtener algún resultado o resolver problemas (Joyanes, 1996). Desde la consolidación y evolución de los lenguajes de programación a partir de la segunda mitad del siglo XX, los diferentes estilos de programación y los cambios en el paradigma de su estructura de trabajo, han establecido una clasificación que enuncia la existencia de tres modalidades (Drault, 2005):

- Programación secuencial: Basada en la escritura de sentencias que se ejecutan en el orden en que la máquina las lee o de modo cronológico. La ruptura de dicha secuencialidad suele estar dada por la partícula “*go to*” que permite procesar líneas de código alternas. El mismo autor menciona que los lenguajes que utilizan este esquema son: *Basic, Fortran y Cobol*.
- Programación estructurada modular: se basa en el concepto de simplificación de un gran problema en varios menores y por ello consta de pequeños módulos capaces de realizar tareas muy específicas y que al combinarse resuelven problemas de índole mayor. Lenguajes que utilizan este esquema: *C y Pascal*.
- Programación Orientada a objetos. Parte del principio de que cada ente participante en el problema a resolver es un objeto que debe ser tratado de forma independiente pero correlativa al comportamiento de los demás en la resolución de un problema complejo (Joyanes, 1996).

Drault (2005) menciona también que en esta categoría se inscriben lenguajes modernos de programación como *C++, Java, Delphi, Smalltalk, lenguajes .NET y ActionScript*, sin embargo también se puede mencionar *Avenue*.

#### **2.4.1.3. Lenguaje de programación.**

Un lenguaje de programación es un conjunto de símbolos, reglas sintácticas y vocabulario, utilizados para controlar las operaciones de una computadora. La clasificación clásica de los lenguajes de programación, indica que existe el lenguaje máquina, lenguajes de bajo y alto nivel. El lenguaje máquina es aquel formado por instrucciones binarias capaces de ser interpretadas directamente por la máquina; los lenguajes de bajo nivel tienen la característica de que cada instrucción simbólica tiene su equivalente en lenguaje máquina, mientras que

en los lenguajes de alto nivel, el compilador permite generar código máquina a partir de instrucciones formadas de palabras parecidas a los lenguajes humanos (Joyanes, 1996).

Dentro de los múltiples programas de SIG, la mayoría de éstos contienen implícito un lenguaje de programación en los cuales fueron programados, de modo tal que dicho lenguaje está disponible de usar en la interfaz del programa a fin de que el usuario pueda manipular la estructura de la implementación original, así como generar nuevos algoritmos. La estructura que mantienen estos lenguajes está dada en su mayoría por los estatutos de la programación orientada a objetos en forma modular y por ende corresponden a lenguajes de alto nivel.

#### **2.4.1.4. La Programación orientada a objetos.**

De acuerdo a Drault (2005), el uso de la programación estructurada secuencial anteponía problemas en la concepción de nuevas aplicaciones debido a una falta de las siguientes condiciones:

- Escalabilidad: nuevas aplicaciones debían ser prácticamente rescritas cuando el programador intentaba agregarle nuevas funcionalidades no planificadas en el momento de su iniciación.
- Dificultad de comprensión del código: las aplicaciones terminaban formadas por miles y miles de funciones que impedían una ágil y sencilla lectura del código fuente.
- Disgregación: falta de una lógica explícita que vinculara el accionar de los diferentes módulos o funciones entre sí.
- Implementación: toda modificación en el código fuente requería, casi sin excepción, la contratación de programadores expertos capaces de entender toda la mecánica proporcionada por el código.
- Actualización: ésta demandaba mucho tiempo porque era necesario un entendimiento completo del código fuente.
- Reutilización y transportabilidad: el código escrito para una aplicación, rara vez servía para ser aplicado en una segunda.

Dadas estas problemáticas surge un nuevo paradigma en la programación: la programación orientada a objetos (OOP, siglas de *Object Oriented Programming*), cuyo modelo de trabajo

se basa en el siguiente principio: “...el universo se encuentra repleto de objetos independientes que interactúan entre sí y cada cual posee características propias y puede comportarse de tal o cual manera según sus condiciones físicas se lo permitan...” (Drault, 2005).

#### **2.4.2. El programa ArcView GIS 3x y su lenguaje de programación Avenue.**

*ArcView GIS 3x* es un software empleado en proyectos de SIG y es capaz de manejar y combinar fuentes de datos raster y vectoriales. Ideal para proyectos con volumen superior de datos, *ArcView GIS* cuenta con su propio lenguaje de programación: *Avenue* (Franco-Plata, 2005). La estructura del programa consiste en un administrador de tareas para el proyecto activo que controla (dependiendo de las extensiones de macros habilitadas) los módulos de trabajo: vistas (*views*), tablas (*tables*), gráficas (*graphics*), salidas cartográficas (*layouts*), macros (*scripts*), entre otras. Cada módulo de trabajo cuenta básicamente con una barra de menús, barra de botones, herramientas y barra de estado y menús emergentes (*popups*). La interfaz gráfica incluye además, una caja de personalización que admite adecuar los botones, herramientas y elementos gráficos a las necesidades del usuario (figura 15).

El lenguaje de programación propio: *Avenue*, es un lenguaje de programación que trabaja bajo el paradigma de la orientación a objetos. Cuenta con una interfaz gráfica que permite la elaboración de macros capaces de manipular estructuras de representación vectoriales y raster, lo que lo convierte en un lenguaje ideal para el trabajo geomático.

Franco-Plata (2005) menciona que el programador tiene la posibilidad de asociar los macros desarrollados, a controles (botones, menús, etc.) y eventos (clic, doble clic, actualización) de éstos para facilitar la interacción con el usuario. La escritura, compilación, ejecución y depuración del *script* se realiza desde el *editor de scripts* y una vez que se tienen listos, éstos pueden asociarse con la ayuda del diálogo de personalización (*Customize*). En la figura 16 se muestra la estructura de desarrollo de macros en *ArcView 3.1*.

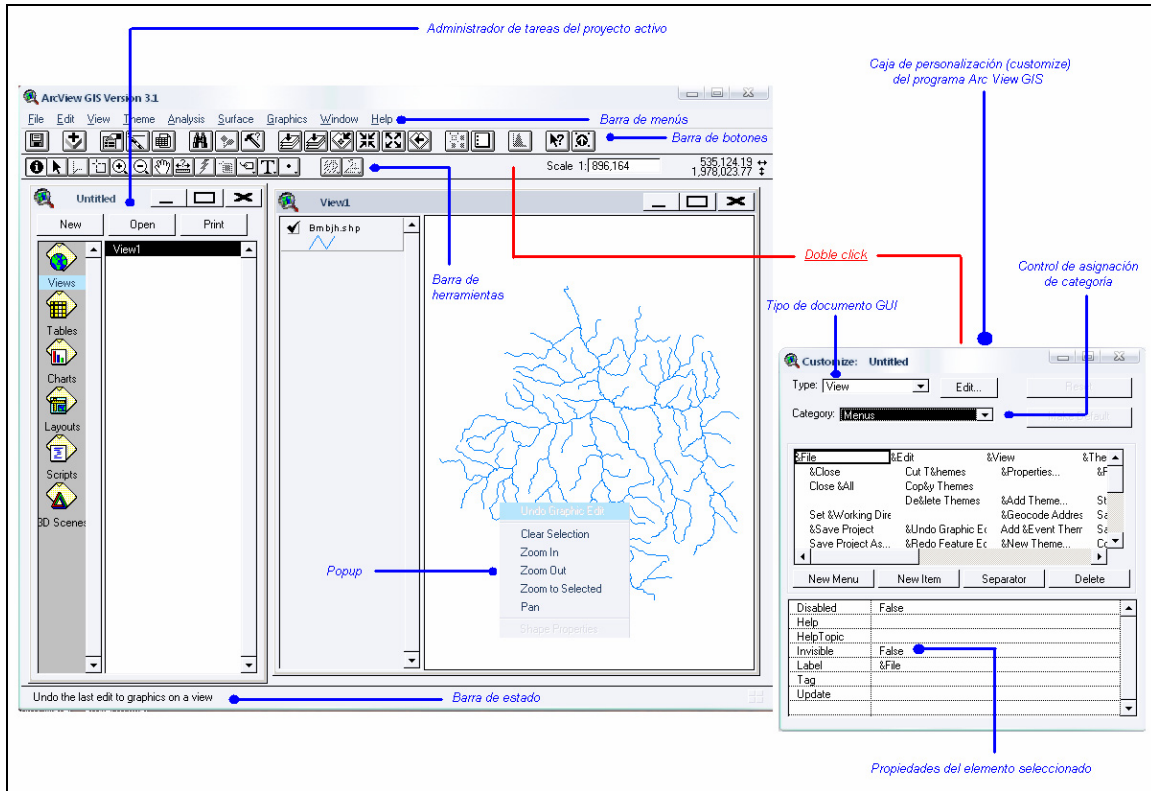


Figura 15. Estructura de trabajo del software ArcView GIS.

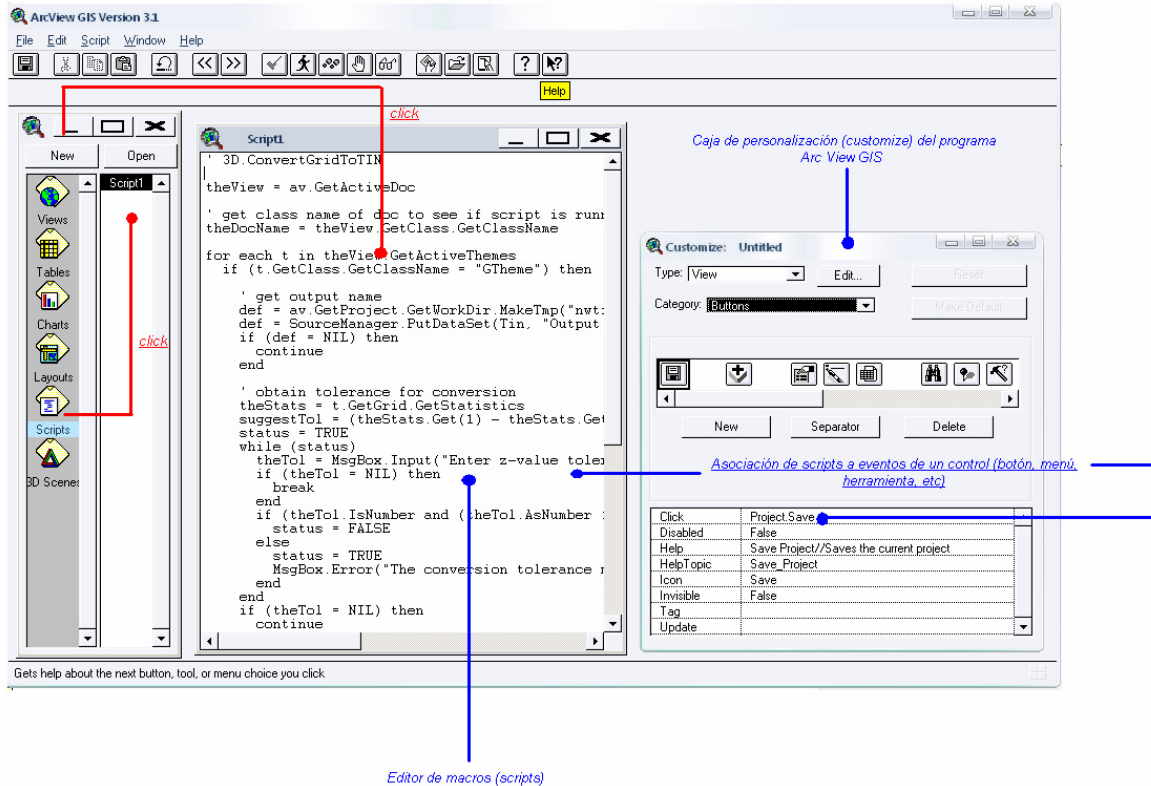


Figura 16. Estructura de desarrollo de macros (scripts) dentro del software ArcView GIS.

Las características del lenguaje de programación *Avenue* son las siguientes:

- a) Es capaz de trabajar y manipular sobre los objetos del modelo de trabajo de su plataforma huésped *ArcView GIS 3x*.
- b) Labora bajo el paradigma de la orientación a objetos específica de los objetos que maneja *ArcView*; es restringido en cuanto a la creación de librerías y controles externos (*ocx*), no obstante, se pueden declarar y usar algunas librerías dinámicas *\*.dll* para ligar resultados de *ArcView GIS* a lenguajes de programación genéricos (puros o híbridos) orientados a objetos como *C++* y *JAVA* (ESRI, 1994).
- c) Contiene instrucciones con las cuales se pueden ejecutar la mayoría de los programas de la computadora huésped.
- d) Utiliza como principio fundamental la interrelación e interacción entre *clase* y *objetos* (ESRI, 1994).
- e) No tiene la capacidad de crear clases de objetos externas ó modificar las existentes y predefinidas en *ArcView* (ESRI, 1995).
- f) Es un lenguaje de programación compilado (ESRI, 1995).
- g) Soporta la creación de objetos de control gráfico tales como botones (*button*), etiquetas (*labels*), cajas de texto (*text box*), etc. Los controles derivados de su respectiva clase heredan eventos sobre los cuales se pueden asociar *scripts*.
- h) Soporta estructuras dinámicas de datos tales como colecciones, pilas (*stacks*) y diccionarios de datos a partir de una gestión adecuada de memoria (ESRI, 1994)
- i) No establece límite en relación al número de registros de las tablas *\*.dbf* que se pueden emplear en temas o de forma independiente (ESRI, 1994).
- j) No es estricto en cuanto a la utilización de letras mayúsculas y minúsculas (Lenguaje no sensitivo) en las diversas instrucciones (ESRI, 1995).
- k) No es necesario declarar previamente el tipo de dato u objeto al cual pertenece una variable antes de emplearla (ESRI, 1994).
- l) No soporta métodos de programación recursivos (ESRI, 1995).

- m) El código generado en *Avenue* no puede ser empleado en los editores de otros compiladores (ESRI, 1995).
- n) Permite el desarrollo de complejas operaciones espaciales, tabulares ó gráficas dado que posee funciones destinadas a objetos específicos y generales.
- o) El programa *ArcView* contiene incluida una amplia variedad de código reutilizable al se que puede acceder y manipular libremente desde el editor de código.
- p) El código se puede escribir en el editor de macros o *scripts* de *ArcView* ó en cualquier programa de escritura como el bloc de notas de Windows. Si se opta por este último proceso, el texto debe guardarse con la extensión \*.ave y cargarse al editor de *scripts* para poder procesarse.
- q) Las expresiones escritas en *Avenue* son evaluadas de izquierda a derecha existiendo entre ambos sentidos un operador (ESRI, 1994)
- r) Incluye el uso de los siguientes elementos:
- Números.
  - Cadenas.
  - Operadores aritméticos.
  - Cadenas predefinidas (tab, cn, nl).
  - Valores enumerados (#FILE\_PERM\_READ(..)).
  - Listas de objetos ( { 1, cadena, myView, Guillermo Rodríguez} ).
  - Diccionarios de datos.
  - Estructuras booleanas de selección de objetos espaciales y tabulares (*bitmap*).
  - Estructuras de ejecución (*execute(...)*).
  - Aplicación de *ArcView* (objeto *av*).
  - Objeto vacío *nil*.
  - Comentarios.
  - Variables globales y locales.
  - Estructuras de control (*If...Else...Then; For each...end; While...end; exit, return, continue, break*).

### **2.4.3. Avenue como lenguaje de Programación orientado a objetos.**

*Avenue* es un Lenguaje que utiliza el paradigma de la programación orientada a objetos para su estructura de trabajo, no obstante, es conveniente referir que a diferencia de otros lenguajes de programación como *Java*, *C#* o *C++*, en *Avenue* no es posible crear nuevas clases de objetos ó modificarlas tal y como ocurre en estos lenguajes de programación mencionados. En este sentido, *Avenue* utiliza el modelo de trabajo de orientación a objetos de las clase que posee *ArcView* y la razón fundamental del porqué no es posible modificarlas es debido a que es un lenguaje componente de la plataforma *ArcView* y no un lenguaje de programación genérico sin limitantes de creación de nuevas clases o moldes de objetos destinados al desarrollo aplicaciones igualmente genéricas.

#### **2.4.3.1. Objetos.**

En el apartado 2.4 se menciona que *Avenue* emplea como principio fundamental la interrelación e interacción entre *clase* y *objetos*, por tanto, es conveniente definir estos conceptos.

Un objeto es una entidad provista de propiedades (datos y atributos) y comportamiento (funcionalidad y métodos) que hace referencia a un ente real. Drault (2006) afirma que un objeto, desde el punto de vista informático es una representación en memoria de un elemento abstracto como una ventana, botón ó cualquier elemento que permita resolver un problema en particular.

Por ejemplo, un automóvil es un objeto que tiene propiedades tales como el color, peso o modelo y comportamientos tales como arrancar, frenar, correr, etc. Para el caso de *ArcView*, consideremos al objeto vista (*View*); éste goza de propiedades tales como el nombre (*Name*), *Map Display*, proyección (*Projection*), lista de gráficos (*GraphicList*), área de interés (*Area Of Interest*), lista de temas (*Themes List*), TOC, etc.; a su vez, el mismo objeto también posee métodos a partir de los cuales se pueden modificar y cambiar sus propiedades (*AddTheme ( )*, *Get ( )*, *Set ( )* ó que sirven para establecer comunicación con otros objetos como las tablas ó layouts (*Import ( )*, *EditTable ( )*, por ejemplo).

Un buen lenguaje de programación orientado a objetos tiene como característica fundamental que puede hacer uso de una buena cantidad de objetos para resolver problemas complejos. Estos objetos son guiados por eventos (Drault, 2006). *Avenue* no es la



excepción ya que posee una gran cantidad de objetos predefinidos para la resolución de complejos problemas espaciales.

Una particularidad muy específica de los lenguajes que manejan objetos, es que contienen una clara sintaxis de referenciación denominada sintaxis de puntos (Drault, 2005). El nombre lo recibe ya que un punto (.) separa la referencia del objeto (instancia) de aquello que desea hacerse con él (manipular sus propiedades o métodos).

Por ejemplo consideremos línea de código siguiente de *Avenue*:

```
Cadena = Av.FindDialog("Procesol").FindByName("TxtTextol").SetText ("Hola mundo").
```

A la variable "Cadena" se le está almacenando el contenido "Hola mundo" que posteriormente está asignado a una caja de texto llamada ("TxtTextol") la cual se encuentra en el interior del formulario "Procesol" que forma parte del objeto aplicación de *ArcView* (av).

Como se puede observar, los puntos separan la acción del objeto, pero la forma en que se hace referencia a éstos se encuentra definido por una "jerarquía de objetos" denominada comúnmente anidación. La línea de código anterior puede verse de la siguiente forma.

```
Dialogo = Av.FindDialog ("Procesol")  
CajaTexto = Dialogo.FindByName ("TxtTextol")  
ContenidoEstablecimiento = CajaTexto).SetText ("Hola mundo")
```

Como se puede observar, para establecer un texto a una caja de texto, tienen que referirse una serie de objetos cuyo alcance es mayor. En este caso se tuvo que hacer referencia primero a la aplicación, luego al formulario ó dialogo y posteriormente a la caja de texto para luego establecerle un contenido.

#### **2.4.3.2. Clases.**

Una clase se puede definir como un molde de objetos, es decir, es un tipo de datos predefinido o definido por el usuario, que especifica un conjunto de objetos que comparten las mismas características; es una colección de objetos similares (Drault, 2005). Drault (2006) también define a la clase como una convención de características similares a objetos particulares siendo dichos objetos las instancias de la clase.

*Avenue* tiene la limitante de no proporcionar al usuario la posibilidad de crear nuevas clases ó modificar las existentes, no obstante, cumple con los demás requerimientos necesarios para ser considerado un lenguaje que labora mediante el paradigma de la orientación a objetos: A continuación se nombran las cualidades esenciales que un lenguaje de programación debe tener para considerar que labora bajo tal modalidad de acuerdo a Drault (2005).

a. Herencia. La herencia entre objetos es un concepto que hace referencia a la capacidad de un lenguaje de programación de definir un nuevo objeto a partir de las cualidades de su clase. A este respecto, mediante la instrucción `Make`, *Avenue* permite crear un nuevo objeto que guarda las propiedades de su clase, por ejemplo:

```
MiVista = View.Make
```

La variable `MiVista`, es una variable objeto a la cual se le atribuyen las propiedades y métodos que caracterizan a la clase Vista (`View`), de modo tal que para referir a las propiedades *Name*, *Map Display*, *Projection*, *GraphicList*, *Area Of Interest*, *Themes List* y *TOC* se debe hacer referencia a la variable `MiVista` puesto que ésta heredó las propiedades definidas por la clase *View*.

b. Polimorfismo. Es una característica de este paradigma de programación por la cual podemos definir un mismo método que funcione para varios objetos, pero cada uno de ellos con distintos comportamientos (Drault, 2005). Por ejemplo, el método `Get ( )` sirve no sólo para leer los valores de un control de texto, sino que también se suele emplear para obtener información de otros controles tales como los *comboBox*, *Label*, *TextBox* e incluso para leer los valores de una estructura de datos booleana *bitmap* en una tabla. Caso similar existe con el método `Set ( )`, que funciona para establecer valor a los controles de interacción con el usuario.

c. Anidación. La anidación de objetos consta de establecer relaciones jerárquicas entre ellos. Según su posición dentro del esquema, sus acciones repercutirán en mayor o menor grado sobre el resto.

# **CAPÍTULO III**

## **METODOLOGÍA Y RESULTADOS DE LA IMPLEMENTACIÓN**

Para la consumación del trabajo planteado fue necesario seguir una metodología que implicó el cumplimiento de pasos relacionados en orden secuencial. A continuación se presenta la forma en que se procedió para lograr los objetivos fijados:

### **3.1. RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN Y REUNIÓN DE FUENTES BIBLIOGRÁFICAS**

Elaboración de una investigación conceptual con la ayuda de bibliografía especializada con relación a los siguientes aspectos: La cuenca, los Sistemas de Información Geográfica y los conceptos inherentes a la programación.

### **3.2. DEFINICIÓN DE MARCO CONCEPTUAL REFERENTE A LA ESTIMACIÓN DE PARÁMETROS FISIAGRÁFICOS DE CUENCA DE FORMA MANUAL Y MEDIANTE SIG**

Se constituyó un marco conceptual referente al método de estimación manual de los parámetros fisiográficos a fin de comprenderlo y facilitar su implementación mediante la programación (Capítulo 2).

### **3.3. DEFINICIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS PARA EL DESARROLLO DEL MÓDULO HIDROGEOMÁTICO Y ELECCIÓN DE LA PLATAFORMA DE DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN**

Independientemente de la plataforma elegida para el desarrollo del módulo, se concibieron tres fuentes necesarias de información base (requerimientos).

- Polígono definido de la cuenca.
- Red de drenaje coherentemente conectada.
- Modelo Numérico de altitud (MNA) definido por las curvas de nivel o puntos de control.

### 3.3.1. Elección del software y la plataforma de implementación y desarrollo.

A partir de estos tres requerimientos se estableció la necesidad de elegir un programa y un lenguaje de programación capaz de procesar las tres fuentes de datos de manera eficaz y con un enfoque analítico-geográfico propio de los Sistemas de Información Geográfica. De esta manera se eligió el programa *ArcView GIS* puesto que ofrece una plataforma capaz de procesar fuentes de datos vectoriales y raster. Por tanto, en función de la plataforma de implementación elegida, los requerimientos para el desarrollo del módulo son los siguientes:

- Archivo en formato SHAPE del límite de la(s) cuenca(s) de tipo polígono.
- Archivo vectorial en formato SHAPE de la red de drenaje de la cuenca, de tipo *poylínea*.
- Modelo Numérico de Altitud (MNA) en formato *GRID DECIMAL* cuyo valor de celda corresponde a la altitud del terreno.

En la figura 17 se ilustran los requerimientos necesarios para el funcionamiento del módulo hidrogeomático dentro del contexto de manejo del software *ArcView GIS 3x*.

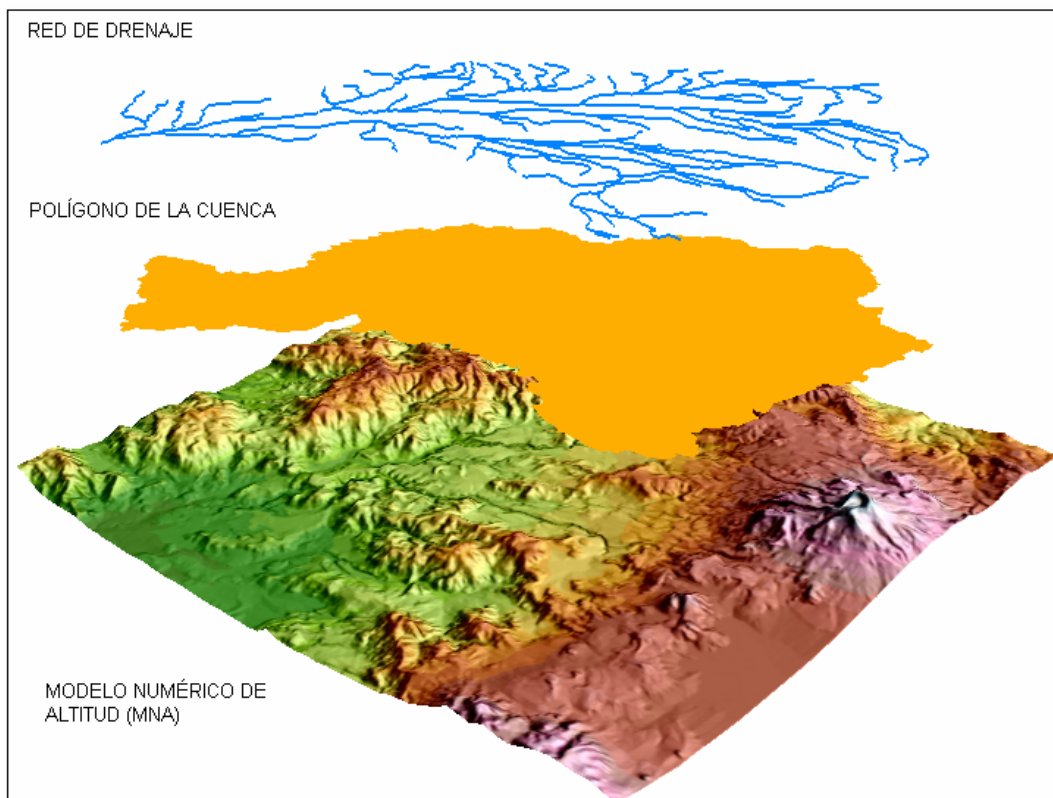


Figura 17. Requerimientos del módulo hidrogeomático.

### **3.4. ESTRUCTURACIÓN DEL MÓDULO HIDROGEOMÁTICO**

El módulo hidrogeomático requirió la proyección y planificación de estructuras de programación que cumplieren con los siguientes objetivos:

- a) Búsqueda y localización de la exutoria de la red de drenaje.
- b) Definir una red de drenaje consistente y libre de todo error de dirección de sus vectores respecto a la exutoria ya localizada.
- c) Empleo de modelos y formulas matemáticas para el cálculo de los parámetros fisiográficos de la cuenca, incluidos además tiempos de concentración y gráficos pertenecientes a la curva hipsométrica y rectángulo equivalente.

Una vez que se identificaron de forma general las tareas respectivas a la estructura general del módulo, se decidió concebir y planear dos submódulos denominados “Preprocesamiento” y “Obtención de los parámetros de una cuenca” respectivamente.

Al primero -Preprocesamiento- se le proyectó la tarea de encontrar el vector exutorio y la exutoria (nodo final del segmento exutorio) y después validar la conectividad de las corrientes de la red de drenaje con respecto al exutorio de la red hidrográfica (incisos a y b). El segundo -Obtención de los parámetros de una cuenca- sería ideado para cálculo automatizado de los parámetros fisiográficos de una cuenca (inciso c).

#### **3.4.1. Importancia de la planeación del submódulo Preprocesamiento.**

El proceso de implementación de un módulo que calcule de forma eficaz los parámetros fisiográficos de una cuenca, requiere como insumo primordial contar con una red de drenaje consistente que cumpla con los siguientes requisitos:

1. Conocimiento de ubicación la exutoria, es decir, del punto donde converge el agua proveniente de toda la red de drenaje de la cuenca.
2. La dirección de cada vector de la red de drenaje debe « apuntar » hacia la exutoria. Este principio es fundamental puesto que en el medio natural el agua contenida en cada fluvio desciende en dirección a este punto.

Puntualizado lo anterior, el proceso de implementación exigió el diseño planeación de un submódulo que cumpliera estos objetivos; es decir, proveer de una red de drenaje consistente en el que la dirección de cada vector señale a la exutoria. Esto resulta de gran importancia puesto que una red de drenaje inconsistente sugiere resultados erróneos en la obtención de la clasificación de la red hidrográfica según Strahler, así como en el momento de obtener los resultados en los parámetros (Franco-Plata, 2005).

#### **3.4.2. Importancia de la planeación del submódulo Obtención de los parámetros de una cuenca.**

La proyección de este submódulo consiste en el diseño de una interfaz capaz de obtener los parámetros de las características físicas de una cuenca hidrográfica una vez que se dispone de una red de drenaje consistente. A partir de la información base, la esencia de este submódulo consiste en obtener los siguientes parámetros: área en km<sup>2</sup>, perímetro en Km., superficie real de la cuenca en km<sup>2</sup> altura media de la cuenca en metros, pendiente media de la cuenca en grados y la clasificación de la red hidrográfica de acuerdo a Strahler, índice o coeficiente de compacidad, radio de circularidad, densidad de corrientes, densidad de drenaje, orden máximo de la corriente, número total de segmentos de corrientes, longitud total de corrientes, curva hipsométrica, rectángulo equivalente, relación hipsométrica, tiempos de concentración, altitud máxima, mínima y diferencial de la corriente principal, así como los concernientes al número de corrientes por orden y su longitud. Todos estos parámetros se deben de obtener para más de una cuenca.

### **3.5. DISEÑO CONCEPTUAL**

El diseño conceptual es básicamente la representación o esquematización de una serie de etapas que deben seguirse para organizar de forma adecuada la consumación de un proyecto. La importancia de efectuar un correcto diseño conceptual radica en que proporciona un esquema conciso de la forma en que se organizará la aplicación propuesta, por tanto, el diseño conceptual del módulo consiste en construir esquemas que dictaminen las fases a seguir.

La cualidad esencial del diseño conceptual es que enmarca fases cuya operación debe quedar explícitamente ajena a las funciones de cualquier plataforma de SIG o lenguaje de programación específico.




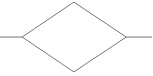
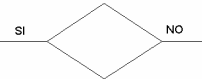
### 3.5.1. Esquematización empleada para el diseño conceptual del módulo hidrogeomático.



Antes de profundizar en la explicación del diseño conceptual de los submódulos que componen al módulo hidrogeomático, se hace notar la importancia de una esquematización que haga más fácil la comprensión del proceso de implementación seguido a lo largo de su diseño.

Existen actualmente (marzo de 2006) formas de representar el análisis y planeación proyectos de desarrollo informático. Estas metodologías de representación se auxilian de esquemas gráficos que ayudan al usuario y al programador a establecer una serie de fases que deben ser consumadas para el óptimo desarrollo de sistemas. Algunas de estas herramientas son los diagramas de flujo, los diagramas TOP-DFD, los diagramas de Nassi-Schneiderman y la modelación UML.

De las 4 herramientas de representación, pareció conveniente el uso de diagramas de flujo para el diseño conceptual debido a su uso generalizado en informática y otras ciencias; respecto a la forma de representación de la fase de análisis y diseño correspondiente al diseño lógico, se optó por emplear una simbología propuesta alterna a las mencionadas. Los símbolos referentes al diseño conceptual se exponen en la tabla 7:

Tabla 7. Simbolización empleada para el diseño conceptual del módulo hidrogeomático. Tomado de Joyanes (1996), adecuado por Guillermo Rodríguez Fernández

Símbolo	Nombre	Función
	Datos o estructuras de entrada y salida	Establece aquellas fuentes de datos que se requieren para un determinado proceso. Indica además, los resultados que se obtienen de la aplicación de cierto proceso.
	Proceso	Definir las operaciones y procedimientos aplicables a los datos o estructuras de entrada.
	Inicio / fin	Símbolo para establecer el principio o final de un algoritmo o esquema de procesos.
	Decisión condicionada no	Representa dos o más opciones por las que un usuario se puede decidir.
	Decisión condicionada	Representa sólo dos opciones por las que el usuario se puede decidir. Estas opciones están condicionadas a partir de una afirmación o negación de la misma condición.

Símbolo	Nombre	Función
	Comentario	Simboliza una aclaración acerca del funcionamiento de un proceso.
	Flujo	Simboliza el sentido en la secuencia de los procesos.

### 3.5.2. Diseño conceptual del submódulo Preprocesamiento.

A continuación se muestran los diagramas conceptuales del módulo hidrogeomático. En primera instancia se expone el diseño conceptual del submódulo “Preprocesamiento”, enseguida el diseño del submódulo “Obtención de los parámetros de una cuenca.

#### 3.5.2.1. Diseño general conceptual del submódulo Preprocesamiento.

En la figura 18 se despliega el diagrama del diseño conceptual correspondiente al Preprocesamiento y posteriormente se apunta una explicación del mismo:

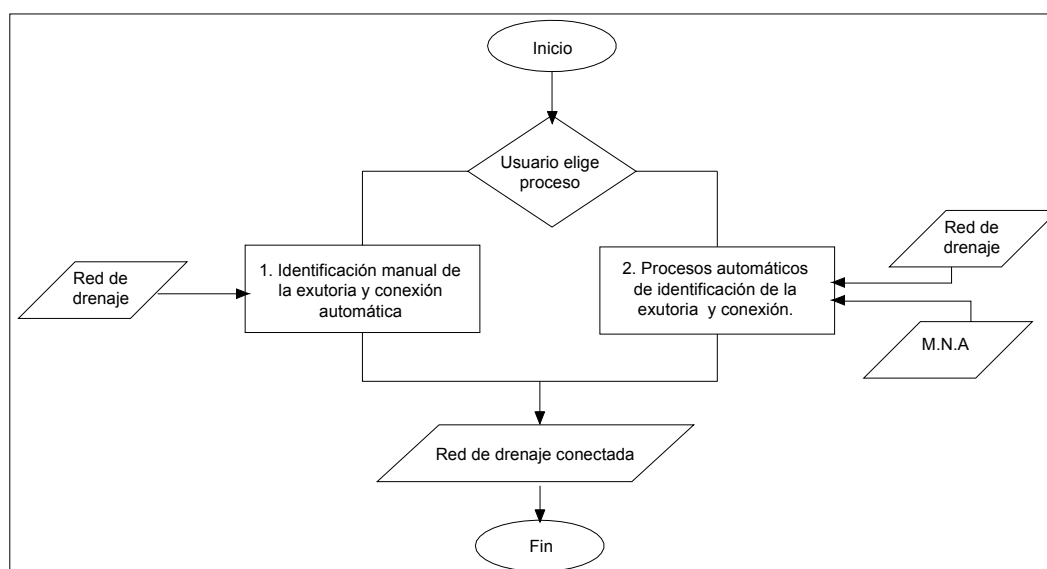


Figura 18. Esquema del diseño conceptual del Preprocesamiento.

El diseño anterior muestra de forma general el funcionamiento del Preprocesamiento. El esquema supone que el usuario elige algún proceso de identificación de la exutoria y conexión de los vectores a ésta. Bajo esta premisa, los requerimientos en ambos procesos difieren sólo del MNA para el proceso automático. En los esquemas siguientes se puntualizan los diseños conceptuales de los procesos 1 y 2.



**3.5.2.2. Esquema conceptual del proceso 1 correspondiente al diagrama general: Identificación manual de la exutoria y conexión automática.**

En la figura 19 se expone el diagrama del diseño conceptual correspondiente al diagrama general: Identificación manual de la exutoria y conexión automática. Posteriormente, en la tabla 8 se expone la explicación de dicho esquema:

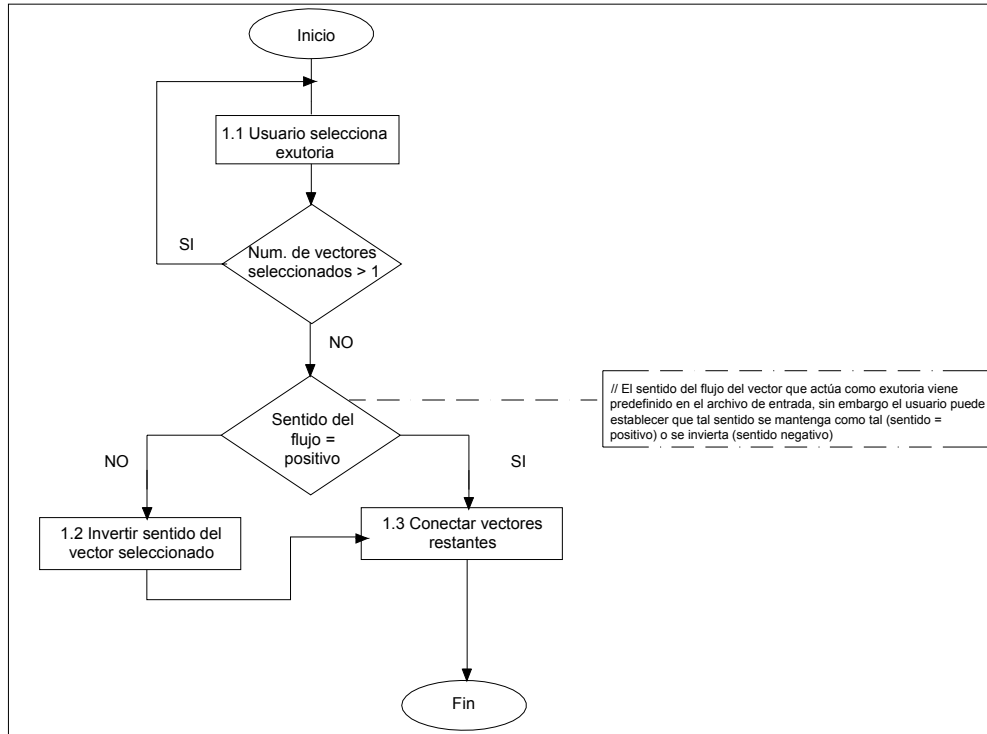


Figura 19. Esquema del diseño conceptual del Preprocesamiento.

Tabla 8. Explicación del Esquema del diseño conceptual del Preprocesamiento .

Proceso	Explicación de su funcionamiento
1.1	Este proceso supone que en la interfaz de trabajo del software empleado, el usuario selecciona el vector que contiene a la exutoria. El símbolo de decisión condicionada que aparece después, sirve para referenciar una validación que establezca obligatoriamente la selección de un solo vector.
1.2	Si el número de vectores es igual a uno, el usuario debe decidir si el sentido del flujo del exutorio es positivo o negativo (invertido). Este aspecto él lo debe conocer puesto que sí eligió esta opción del proceso general, es por que conoce la dirección de su flujo exutorio. Sí elige que se trata de un vector con dirección positiva transcurre el siguiente proceso; en caso contrario se invierte la dirección del segmento seleccionado.
1.3	Este proceso conecta los segmentos restantes en la misma dirección del segmento escogido.

### 3.5.2.3. Esquema conceptual del proceso 2 correspondiente al diagrama general: Procesos automáticos de identificación de la exutoria y conexión.

A continuación se muestra el diagrama que hace referencia al diseño conceptual del proceso 2 de selección e identificación de la exutoria (Figura 20). Posteriormente, en la tabla 9 se advierte la explicación de su estructura:

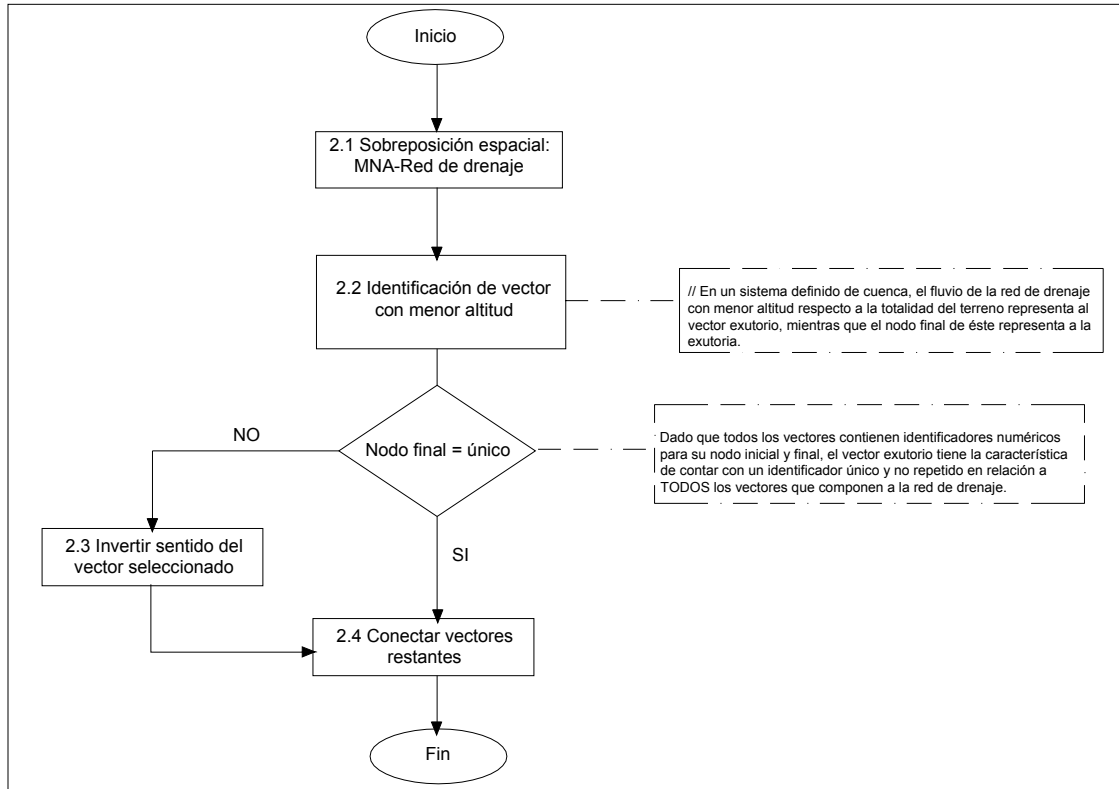


Figura 20. Esquema del diseño conceptual del método de los procesos automáticos de identificación de la exutoria y conexión.

Tabla 9. Explicación del diseño conceptual del método de los procesos automáticos de identificación de la exutoria y conexión.

Proceso	Explicación de su funcionamiento
2.1	Este paso establece una sobreposición espacial del MNA respecto a la red de drenaje. La justificación de realizar este proceso es por que en un sistema definido de cuenca, el segmento de la red de drenaje sobre el que recae la menor altitud se considera el segmento exutorio. Este paso por tanto, implica sobreponer ambas fuentes de datos de modo tal que cada vector de la red de drenaje obtenga una altitud.
2.3	El nodo final del vector con menor altitud debe contener un valor numérico único respecto a los demás nodos iniciales y finales del resto de los segmentos de la red de drenaje, por ello, la condición antecedente a este procedimiento es validar esta circunstancia. En caso de que el valor único del nodo final no sea único se establece este proceso, que consiste en cambiar la dirección del flujo considerado como exutorio.
2.4	En caso de que el nodo final sea único, tan sólo se conectan los segmentos restantes a la dirección del vector exutorio. En caso contrario, después de la condición, prosigue el paso 2.3 y luego el actual.

### 3.5.3. Diseño conceptual del submódulo “Obtención de parámetros de la cuenca”.

Una vez que se han mostrado, explicado y discutido las estructura del submódulo Preprocesamiento, se procede a exponer la estructura del submódulo “Cálculo de los parámetros de la cuenca”

#### 3.5.3.1. Diagrama general del diseño conceptual del submódulo “Obtención de parámetros de la cuenca”.

En la figura 21 se denota un esquema que muestra el diagrama general del diseño conceptual del submódulo “Obtención de parámetros de la cuenca”. En la tabla posterior (tabla 10) se especifica la explicación.

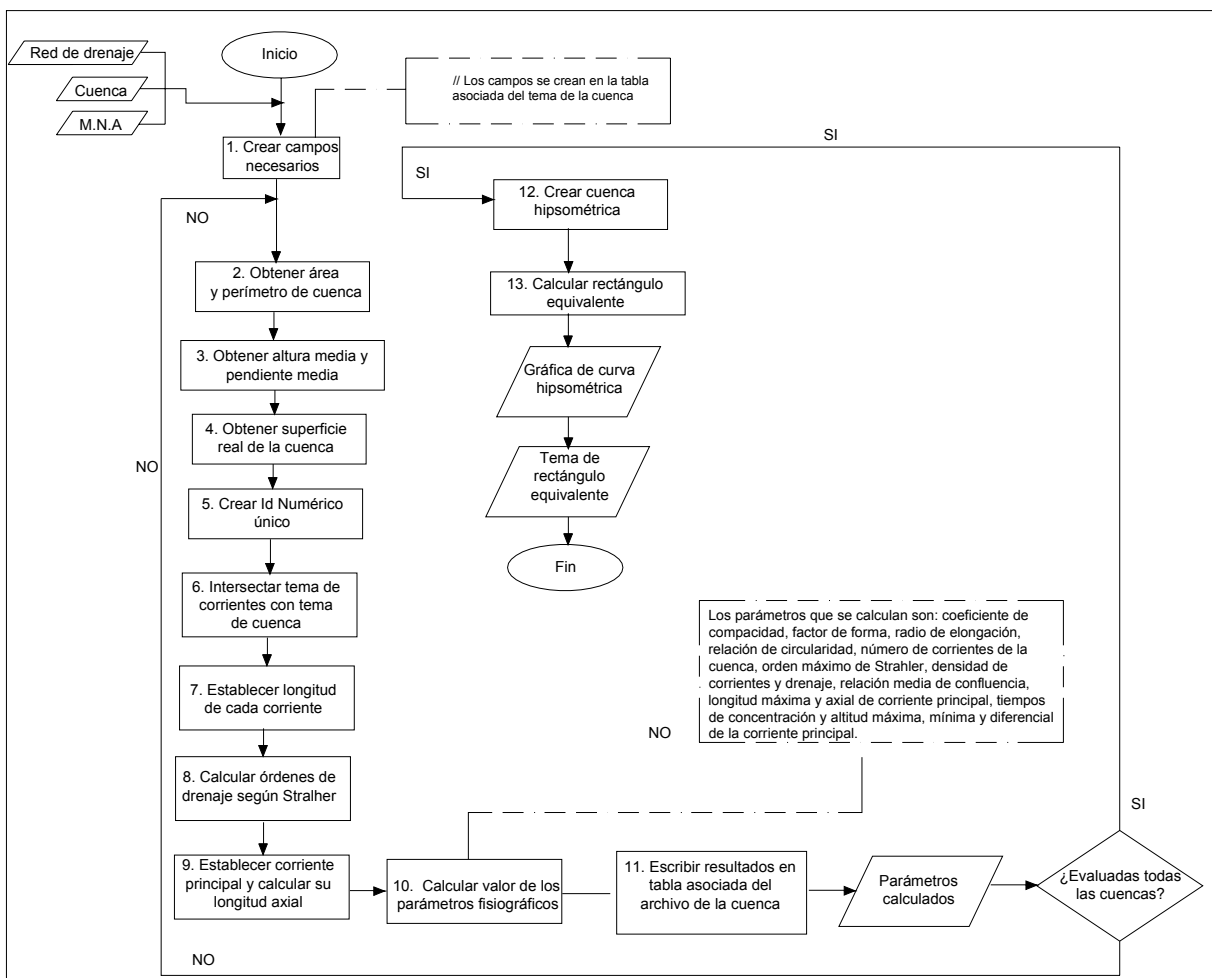


Figura 21. Esquema del diseño conceptual de: “Obtención de parámetros de la cuenca”

Tabla 10. Explicación del diseño conceptual de: Obtención de parámetros de la cuenca\*.

Proceso	Explicación de su funcionamiento
1	<p>Este paso expone la necesidad de crear los campos necesarios para la escritura del valor de los parámetros fisiográficos, producto de los procesos siguientes. Se establece que los campos que se crean son para los siguientes parámetros:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Área, Perímetro y Altura media de la cuenca.</li> <li>• Pendiente media de la cuenca.</li> <li>• Superficie o área real de la cuenca.</li> <li>• Coeficiente de Compacidad de la Cuenca (Kc).</li> <li>• Factor de Forma de la Cuenca (Rf) .</li> <li>• Radio de Elongación de la Cuenca (Re).</li> <li>• Relación de Circularidad de la Cuenca (RCi).</li> <li>• Número Total de Corrientes de la Cuenca (Num_Corr).</li> <li>• Longitud Total de las Corrientes de la Cuenca (Long_Corr).</li> <li>• Orden Máximo de Corriente de Strahler (Oc_Max).</li> <li>• Densidad de Corrientes de la Cuenca (Ds)</li> <li>• Densidad de drenaje de la Cuenca (Dd).</li> <li>• Relación Media de Confluencia de las Corrientes de la Cuenca (Rb_RMC).</li> <li>• Número de Corrientes Estimado de la Cuenca (Rb_NCE).</li> <li>• Longitud Máxima de la Corriente Principal en Km de la Cuenca (Lmc_Km).</li> <li>• Longitud Axial de la Corriente Principal en Km de la Cuenca (Lcp_Km).</li> <li>• Relación hipsométrica de la cuenca (Rh).</li> </ul>
2	Se obtiene el perímetro y la superficie de la cuenca mediante el uso de funciones especializadas.
3	Se obtienen tales parámetros a partir de la superposición espacial del MNA con la cuenca. Mediante tal superposición es posible derivar estadísticas espaciales dentro de las cuales se encuentran estos parámetros.
4	Se obtiene la superficie real de la cuenca. Para ello, basta dividir el área entre el coseno de la pendiente media.
5	Se escribe un identificador numérico único que haga referencia a cada cuenca. Si ya existe sólo se reemplaza el valor en cada registro.
6	Se yuxtapone espacialmente el tema de la cuenca con la red de drenaje a fin de que se puedan obtener los parámetros fisiográficos para cada subcuenca.
7	Se obtiene calculando la distancia que existe entre los puntos que forman cada segmento respecto al nodo inicial de éste. Esta operación se hace para todos los vectores de la red de drenaje.
8	Se clasifica la red de drenaje de acuerdo al sistema de jerarquización propuesto por Strahler.
9	Una vez concluida la jerarquización de corrientes se procede a identificar la corriente de mayor longitud (corriente principal) comenzando desde la exutoria hasta el nodo inicial del vector mas alejado.
10	<p>Calculamos el valor de los parámetros fisiográficos restantes a partir de la formula matemática que los define:</p> <p>(Ds) se calcula dividiendo el número de canales de flujo por unidad de superficie.</p> <p>(Dd): es el resultado de la relación entre la longitud de los canales de flujo y la superficie de la cuenca.</p> <p>(Rb_RMC) obtiene del cociente del número de vectores de un orden entre el número de vectores de orden inferior.</p> <p>(Rb_NCE): se obtiene sumando el número de vectores por subcuenca.</p> <p>(Kc): se obtiene de la relación entre el perímetro de la cuenca y la circunferencia del círculo que tenga la misma superficie que la cuenca.</p> <p>(Rf): es el cociente entre la superficie de la cuenca entre el cuadrado de su longitud máxima.</p> <p>(Re): es resultante del cociente del diámetro del círculo que tenga la misma superficie que la cuenca y la longitud máxima de la cuenca.</p>

Proceso	Explicación de su funcionamiento
10	(RCi): es el cociente del área de la cuenca y la del círculo cuya circunferencia es el perímetro de la cuenca, (Lmc_Km): resulta de la distancia entre el punto más alejado de la cuenca respecto a la exutoria, (Lcp_Km): Establece la distancia en línea recta entre el punto más alejado de la cuenca respecto a la exutoria, (Oc_Max): Representa la corriente con mayor orden de acuerdo a Strahler y por tanto se define como el flujo o río principal. (Kirpich1): Representa el tiempo de concentración en minutos empleando el método propuesto por Kirpich, (Kirpich2): Representa el tiempo de concentración en minutos empleando el método propuesto por el Instituto Nacional de Ecología (INE, 2004). (ZMax): Establece la altitud máxima en metros de la corriente principal. (ZMin): Establece la altitud mínima en metros de la corriente principal. (DifZ): Representa la diferencia entre las altitudes máxima y mínima de la corriente principal.
11	Una vez calculados los parámetros, se escribe el resultado en la tabla asociada del tema de la cuenca y posteriormente una validación que condiciona si todas las subcuencas del tema principal tengan calculados sus parámetros. Cuando esto ha ocurrido, se realiza al procedimiento siguiente.
12	Una vez calculados los parámetros todos los parámetros fisiográficos, el usuario puede optar por graficar la(s) curva(s) hipsométrica(s) de la(s) cuenca(s).
13	También puede optar por visualizar el rectángulo equivalente de la(s) cuenca(s).

### 3.5.3.2. Modelo conceptual general para la obtención de la curva hipsométrica.

Una vez que se han referido las funciones de cálculo de los parámetros fisiográficos ordinales, se procede a esquematizar conceptualmente los correspondientes a la derivación de gráficos: rectángulo equivalente y curva hipsométrica. A continuación se muestra en la figura 22 el diagrama que hace referencia conceptual al proceso de obtención de la curva hipsométrica:

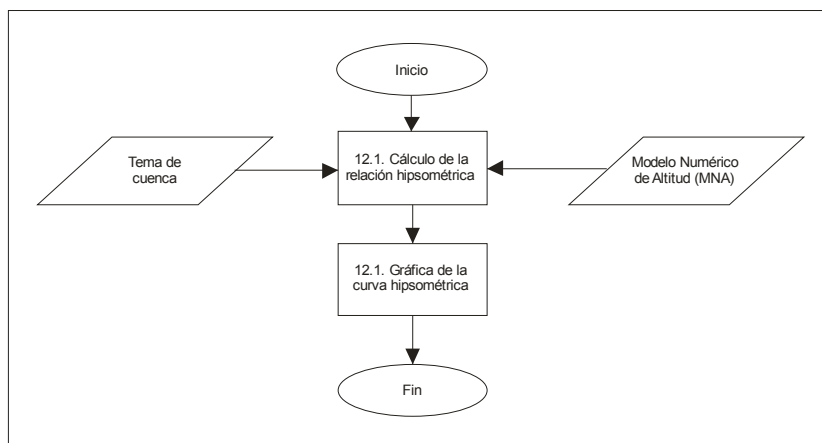


Figura 22. Esquema del diseño conceptual para la obtención de la curva hipsométrica.

Este modelo conceptual indica de forma muy general el modo de obtener la curva hipsométrica. El esquema apunta que el primer paso es la obtención de la relación hipsométrica para lo cual deben ser introducidos los temas de cuenca y el MNA (12.1). Una

vez calculada dicha relación se procede a la representación gráfica de la curva (12.2) y se da fin el proceso.

### 3.5.3.2.1. Modelo conceptual específico del algoritmo para la obtención de la relación hipsométrica (paso 12.1 del esquema anterior).

En la figura 23 se hace referencia al funcionamiento conceptual del conjunto de algoritmos dirigidos a la obtención de la relación hipsométrica. Recuérdese que la relación hipsométrica es el cociente del área sobre la curva respecto al área bajo la curva dentro del gráfico de la curva hipsométrica.

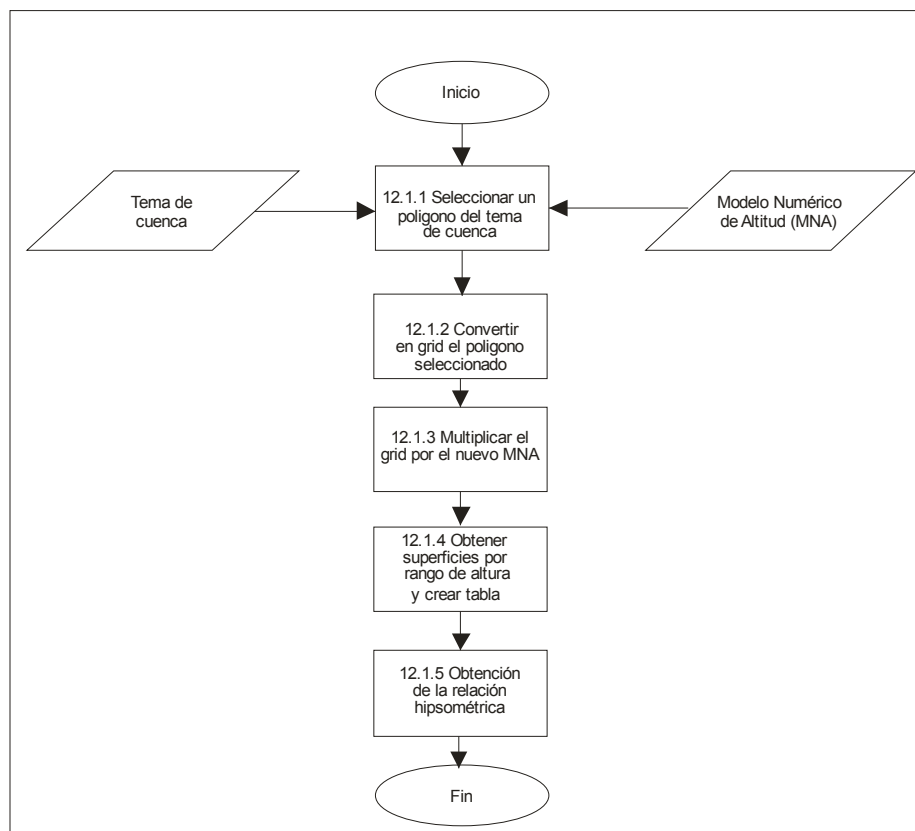


Figura 23. Esquema del diseño conceptual para la obtención de la relación hipsométrica.

Tabla 11. Explicación del esquema del diseño conceptual para la obtención de la relación hipsométrica.

Proceso	Explicación de su funcionamiento
12.1.1	Se establece un bucle que permite la selección de un polígono (cuenca).
12.1.2	Al polígono seleccionado se le aplica un proceso de conversión a <i>grid</i> , para esa área únicamente.
12.1.3	Se hace un recorte del área que le pertenece a cada cuenca.

Proceso	Explicación de su funcionamiento
12.1.4	Se extraen las superficies por rangos de altura usando la tabla asociada del MNA de la cuenca, procediendo a una sumatoria de los valores del campo que contiene a la altura de cada celda; esta sumarización se hace por rangos. Esta operación se realiza con uno o múltiples rangos según la cuenca de estudio que se trate; en todo caso, se procede a hacer la suma de todos los que existan.
12.1.5	Se calcula la relación hipsométrica dividiendo el área sobre la curva entre el área bajo la curva. Primero se calcula la longitud del eje X y Y, a continuación se calculan la ubicación de cada punto que conforma la curva (coordenadas X y Y) y se obtiene el área por medio del <i>método de coordenadas</i> ; de esta forma se obtiene el área bajo la curva y el área sobre la curva y una vez teniendo las dos áreas se procede a la división para obtener tal parámetro (relación hipsométrica).
12.1.6	Se crea la gráfica usando los campos <i>Marca_de_clase</i> (eje Y) y el de <i>Superficie_acumulada</i> (eje X) para visualizar la forma de la curva en una gráfica.

### 3.5.3.3. Modelo conceptual general para la obtención del rectángulo equivalente.

A continuación, en la figura 24 se expone la lógica conceptual general que fue seguida para la consumación del rectángulo equivalente. Posteriormente se asigna una breve explicación de tal funcionamiento:

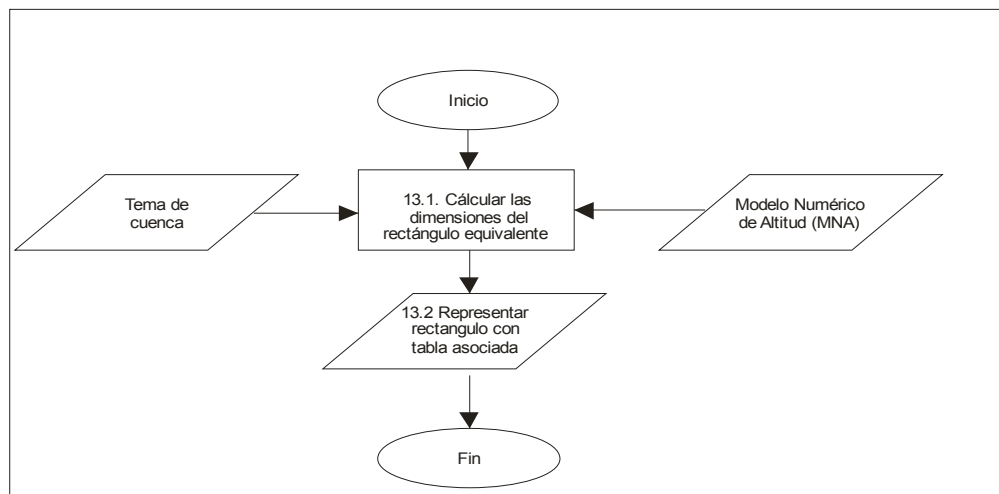


Figura 24. Esquema del diseño conceptual para la obtención del rectángulo equivalente

Este modelo conceptual muestra el modo de obtener el rectángulo equivalente de la cuenca. El esquema muestra primero el inicio, para luego pasar a la realización del dibujo del rectángulo (13.2.1) donde deben ser introducidos los temas de cuenca y el MNA; posteriormente se crea un tema nuevo únicamente para el rectángulo y se crea una tabla de atributos (13.2.2).

### 3.5.3.3.1. Modelo conceptual específico para la obtención del rectángulo equivalente.

En el esquema siguiente, referido por la figura 25, se muestra más detalladamente el modo de obtención del gráfico del rectángulo equivalente. El esquema está acompañado de una explicación detallada descrita en la tabla número 12.

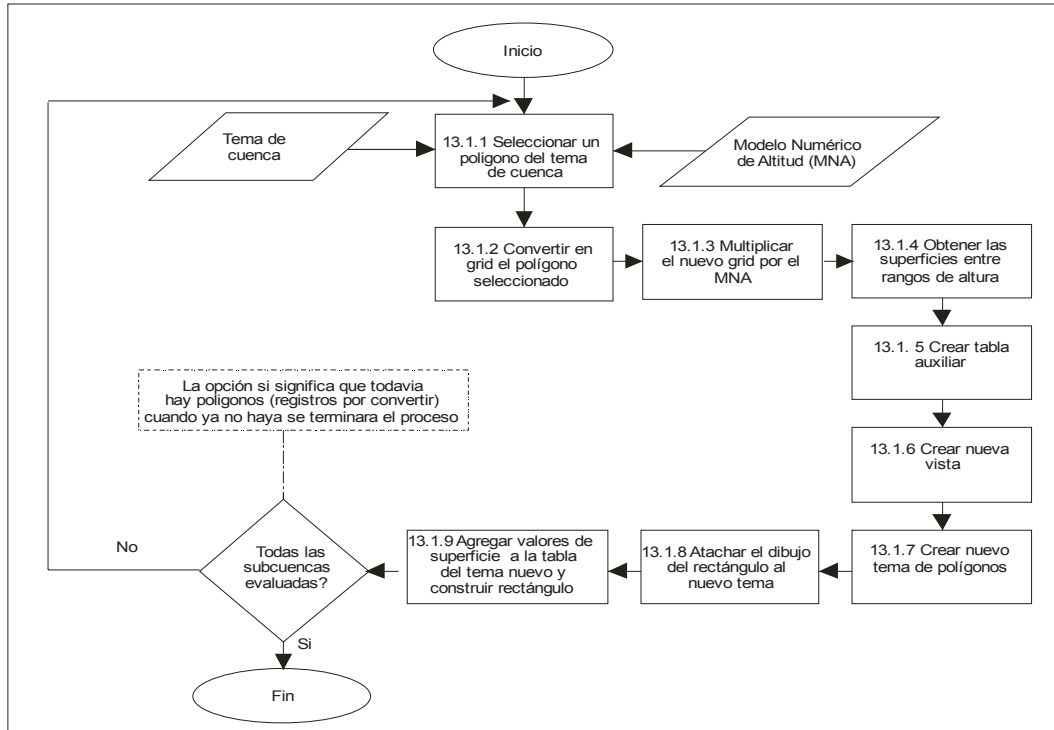


Figura 25. Esquema del diseño conceptual específico para la obtención del rectángulo equivalente.

Tabla 12. Explicación del diseño conceptual específico para la obtención del rectángulo equivalente.

Proceso	Explicación de su funcionamiento
13.11	Se establece un bucle que permite la selección de un polígono (cuenca ).
13.12	Al polígono seleccionado se le aplica un proceso de conversión a <i>grid</i> , para esa área únicamente.
13.13	Se hace un recorte del área que le pertenece a cada cuenca, es decir dentro del área del MNA se extrae únicamente el área de la cuenca.
13.14	Se obtiene el valor de la superficie entre rangos de altura.
13.15	Se crea una tabla auxiliar que sirve para calcular todas las superficies.
13.16	Se obtiene una nueva vista únicamente para el rectángulo.
13.17	Se crea un nuevo tema de polígonos.
13.18	El nuevo tema se agrega a la vista creada.
13.19	Se agregan todos los valores de superficie a la tabla de atributos del nuevo tema.
	Finalmente se despliega la vista con su tema y su tabla de superficies asociada. Si existe más de una cuenca, el proceso se efectuará sobre todos los polígonos que existan sobre el tema de cuenca.



### **3.6. DISEÑO LÓGICO-GEOMÁTICO**

El diseño lógico es la representación resultante de un diseño conceptual que desde luego, ayuda a esquematizar y comprender las etapas participantes en la resolución de un problema o consumación de un proyecto. A diferencia del diseño conceptual, el diseño lógico enmarca fases a seguir pero aprovechando las oportunidades que brinda algún software o lenguaje de programación. En el caso que ocupa este trabajo de tesis, el diseño lógico está ajustado al modelo de trabajo del software *ArcView GIS 3x* y su lenguaje de programación *Avenue*.

Al igual que el diseño conceptual, esbozar procesos del diseño lógico sería muy difícil si no se cuenta con una forma de simbología.

#### **3.6.1. Esquematización empleada para el diseño lógico del módulo hidrogeomático.**









Para el diseño conceptual se emplearon diagramas de flujo para representar su delineación, mientras que para el diseño lógico se empleó una metodología alterna diferente de UML. Las razones que obligaron a tomar esta decisión fueron las siguientes:

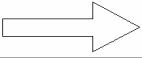


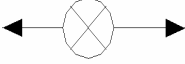
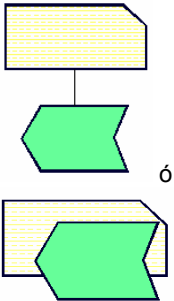
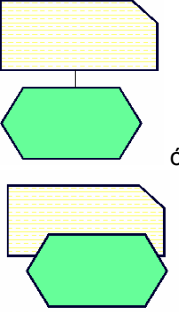
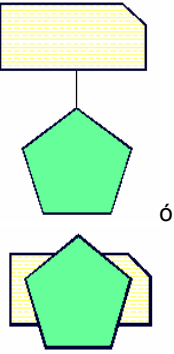
Como mencionan Gerardi *et al.*, (2006), el lenguaje de modelado unificado (UML) es una simbología creada para unificar la forma en que se comunican y entienden los creadores de software y clientes, permitiendo establecer resultados cercanos a los que éstos últimos esperan. Bajo esta perspectiva se tiene que hacer hincapié en que la construcción del módulo hidrogeomático no obedece a ninguna futura transacción económica y por tanto, no existen clientes que puedan exigir la documentación del diseño con esta técnica de modelado.






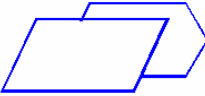

Otra razón es que el usuario final a quien va dirigido el módulo corresponde a usuarios del software *ArcView*, quienes siendo o no especialistas en la rama hidrológica tienden a buscar una forma de simbología que explique los procesos generales dentro del entorno de trabajo de la plataforma huésped *ArcView*, de modo tal que no se considera obligatorio documentar el análisis y diseño en UML. Por otra parte, Gerardi *et al.* (2006) también argumentan que lo realmente importante y trascendente en el momento de diseñar una aplicación es el entendimiento claro del problema, ya que a partir de ahí se pueden diseñar soluciones, independientemente del método que se emplee para graficar dicho análisis.

Por tanto, con el objetivo de esclarecer la interpretación convencional de la gama de procesos informáticos implementados, se acordó y estableció una simbología especial para un diseño lógico coherente a los requerimientos de la aplicación hidrogeomática. La simbología propuesta a continuación se ajusta al modelo de trabajo y datos de la plataforma de desarrollo *ArcView GIS* y *Avenue* y se manifiesta representada en el contenido de la tabla 13:

Tabla 13. Simbología correspondiente al diseño lógico-geomático. Tomado de Franco-Plata, (2006), con adecuaciones elaboradas por Guillermo Rodríguez Fernández y Alfonso Santos Cruz.

Símbolo	Nombre	Función
	Proceso obligatorio.	Simboliza el cálculo de los parámetros fisiográficos de la cuenca tales como el área, perímetro, coeficiente de compacidad, circularidad,... etc.
	Procesos opcionales.	Simboliza el cálculo de los parámetros fisiográficos relación hipsométrica, curva hipsométrica y rectángulo equivalente exclusivamente.
	Requerimiento(s) de un proceso n.	Esquematar los requerimientos en cuanto a entidades (puntuales, lineales, poligonales o <i>grid</i> ) requeridos para el proceso en cuestión.
	Vista.	Simboliza el uso de una vista o la creación de una nueva que es agregada al proyecto en cuestión.
	Elección del usuario de una alternativa de proceso.	Esquematar un proceso dotado de dos o más alternativas (métodos ó subprocesos), dando la posibilidad al usuario de elegir sólo una. Por ejemplo, para un determinado proceso a punto de realizarse, tal vez la interfaz requiera que el usuario escoja entre 2 o más funciones o métodos para realizar tal proceso. La forma de comunicación con el usuario es a través de un mensaje u otro mecanismo.
	Proceso escogido por el usuario.	Esquematar la elección que hace el usuario respecto al uso de determinada función ó proceso. Este símbolo va precedido del icono "Elección del usuario de una alternativa de proceso."
	Selección de tema vectorial/raster (puntos, multipuntos, líneas o polígonos) o raster ( <i>grid</i> ).	Simbolizar una petición que se realiza al usuario para que él seleccione el tema requerido para los procesos posteriores.
	Continuidad.	Establece el orden en que se va presentando cada proceso.

Símbolo	Nombre	Función
	Resultado de un proceso.	Representa la salida o producto de un proceso aplicado.
	Antecedente de una selección de tema.	Este símbolo precede al anterior pero es posterior al símbolo "Proceso escogido por el usuario". Hace referencia a una selección de temas por parte del usuario una vez que ha elegido una alternativa respecto al uso de determinada función.
	Procedente de un tema seleccionado.	Se deriva del símbolo "Selección de tema vectorial/raster" y sirve de enlace para establecer que se tiene como tema de trabajo algún <i>layer</i> activo de puntos, líneas, polígono, multipunto o <i>grid</i> .
	Multiplicación de temas raster <i>grid</i> .	Representa una operación de producto algebraico de 2 o más modelos raster ( <i>grids</i> o modelos numéricos de altitud).
	Entidad vectorial de tipo puntual y/o multipuntual.	Representar archivos <i>shapefile</i> (*. <i>shp</i> ) puntuales y multipuntuales con sus archivos adicionales: tabla en formato *. <i>dbf</i> y archivos *. <i>sbn</i> y *. <i>sbx</i> . La característica primordial de la tabla asociada es mantener una conexión con el <i>shapefile</i> mediante un campo llave denominado "entity". Si el símbolo inferior tiene un color anaranjado en lugar de verde, significa que es un tema que temporal que va a ser borrado en procedimientos posteriores.
	Entidad vectorial de tipo lineal.	Esquematizar un archivo <i>shapefile</i> (*. <i>shp</i> ) de tipo lineal con sus archivos adicionales: tabla en formato *. <i>dbf</i> y archivos *. <i>sbn</i> y *. <i>sbx</i> . La característica primordial de la tabla asociada es mantener una conexión con el <i>shapefile</i> mediante un campo llave denominado "entity". Si el símbolo inferior tiene un color anaranjado en lugar de verde, significa que es un tema que temporal que va a ser borrado en procedimientos posteriores.
	Entidad vectorial de tipo poligonal.	Simbolizar un archivo <i>shapefile</i> (*. <i>shp</i> ) de tipo poligonal con sus archivos adicionales: tabla en formato *. <i>dbf</i> y archivos *. <i>sbn</i> y *. <i>sbx</i> . La característica primordial de la tabla asociada es mantener una conexión con el <i>shapefile</i> mediante un campo llave denominado "entity". Si el símbolo inferior tiene un color anaranjado en lugar de verde, significa que es un tema que temporal que va a ser borrado en procedimientos posteriores.

Símbolo	Nombre	Función
	Entidad raster con valor entero ( <i>grid</i> ).	Establecer el símbolo de un archivo raster <i>grid</i> compuesto de diversos archivos auxiliares destinados en una carpeta clave denominada << <i>info</i> >>. La característica de esta entidad es que contiene asociado una tabla en formato *. <i>dbf</i> y en cada celda el valor entero absoluto, producto de la interpolación de algún valor definido por el usuario. La tabla por su parte, mantiene una conexión con el <i>grid</i> mediante un campo llave denominado "value". El <i>grid</i> además contiene valores enteros en su atributo z.
	Entidad raster con valor punto flotante ( <i>grid</i> ).	Establecer la simbología de un archivo raster <i>grid</i> compuesto de diversos archivos auxiliares destinados en una carpeta clave denominada << <i>info</i> >>. La característica de esta entidad es que contiene en cada celda el valor real, producto de la interpolación de algún valor definido por el usuario; no contiene asociada tabla alguna a su valor de celda.
	Proceso aplicado sobre la tabla *. <i>dbf</i> del <i>shapefile</i> en cuestión.	Simbolizar un proceso aplicado directamente a la tabla de un <i>shapefile</i> en cuestión. Las operaciones implicadas sobre la tabla pueden ser: consultas SQL, ordenación, mezcla, búsqueda de registros, activación de la tabla, eliminación (campos y/o registros), activación de campos, lectura y escritura de valores, etc.
	Proceso aplicado sobre una tabla *. <i>dbf</i> asociada a un <i>grid</i> .	Representar operaciones a la tabla asociada a un <i>grid</i> con valor entero.
	Proceso aplicado sobre el <i>shapefile</i> en cuestión.	Definir un proceso aplicado sobre el *. <i>shp</i> de modo que se alteren sus atributos geométricos y espaciales tales como, forma, orientación, relación con otras entidades, etc.
	Proceso aplicado sobre un <i>shapefile</i> y su tabla asociada.	Representar un proceso en el que se alteren tanto los atributos geométrico-espaciales como los atributos de la tabla del tema *. <i>shp</i> activo.
	Gráfica	Es la representación de una gráfica, producto de la recuperación de valores de campo de una tabla *. <i>dbf</i> .

### 3.6.2. Diseño lógico-geomático del submódulo Preprocesamiento.

Una vez que se han definido la simbología se procede a describir el diseño lógico del Módulo Preprocesamiento.

#### 3.6.2.1. Diseño lógico general del Preprocesamiento.

Con la ayuda de la esquematización mostrada en la tabla 13, se muestra el diseño lógico general del Preprocesamiento a partir del esquema reseñado en la figura 26 y el cual además, viene acompañado de una descripción:

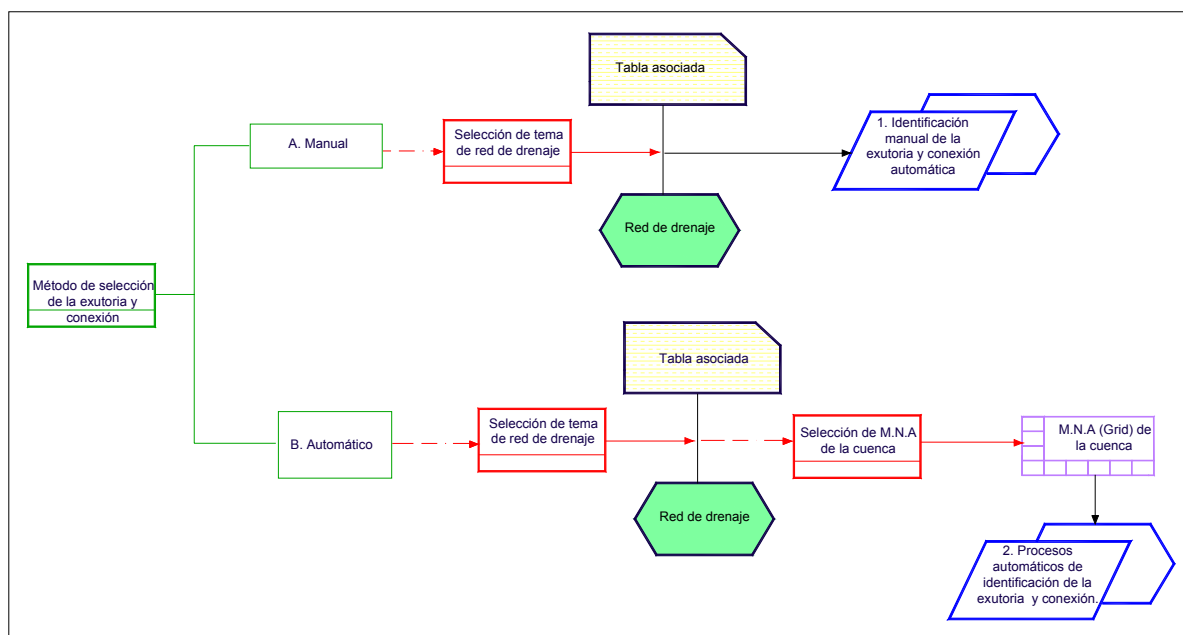


Figura 26. Esquema del diseño general lógico-geomático del Preprocesamiento.

Interpretación del diagrama lógico anterior: El diagrama lógico anterior es equivalente al diagrama conceptual general del Preprocesamiento a excepción que en el primero, se sustituyen los conceptos generales de desarrollo por conceptos específicos que se maniobran en el entorno del programa *ArcView GIS 3x*. Puede notarse que el usuario del submódulo Preprocesamiento puede escoger entre los métodos A ó B de selección de la exutoria y conexión; si escoge el método Manual (A), el módulo hace una petición de temas de entrada que para este caso es la red de drenaje en estructura de representación lineal, vectorial y formato \*.shp. Posteriormente, cuando el usuario introduce su tema de entrada con su tabla asociada, prosigue el proceso 1. En caso de que se opte por el método Automático (B), se establece la petición del tema de la red de drenaje y posteriormente la concerniente al MNA de la cuenca. Ya consumados estos dos requisitos el siguiente proceso

es 2. A continuación se muestran los diagramas lógicos de los procesos generales 1 y 2 respectivos al Diagrama del diseño lógico general del Preprocesamiento.

**3.6.2.1.1. Diseño lógico del proceso 1 correspondiente al diagrama lógico general del Preprocesamiento: Proceso manual de identificación de la exutoria y conexión automática.**

Después de mostrar el diagrama del funcionamiento general del Preprocesamiento se hace referencia al funcionamiento específico de la opción de selección manual de la exutoria y conexión automática de la red de drenaje. Tal referencia se encuentra en la figura 27 y la explicación de su estructura está denotada en la tabla 14:

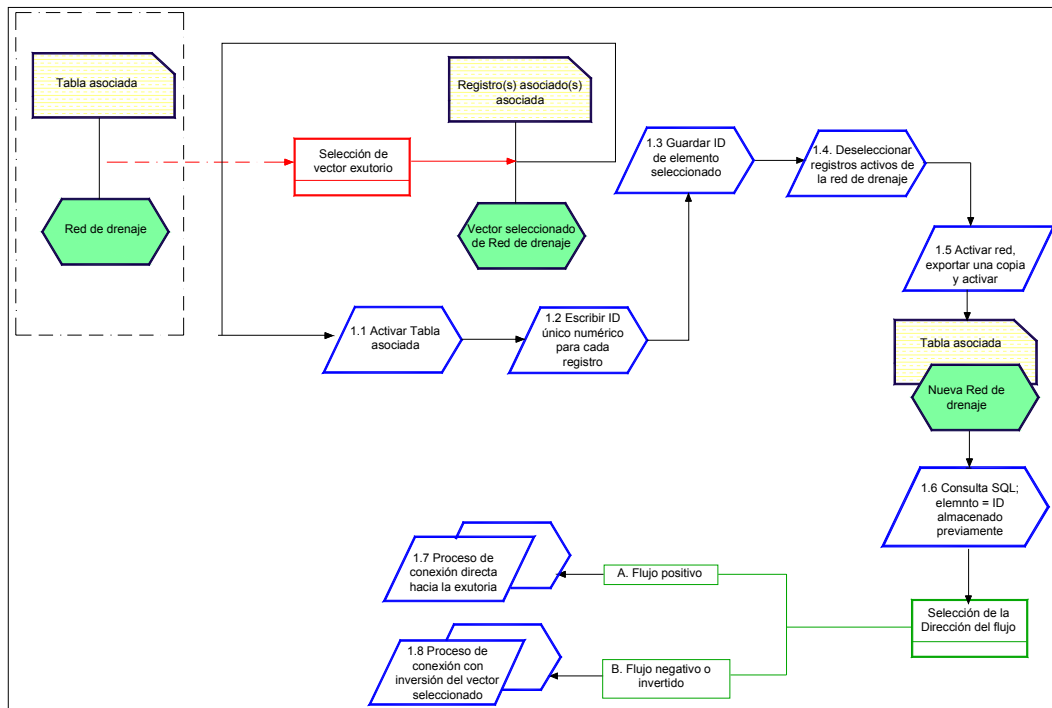


Figura 27. Esquema del diseño lógico-geomático general del Proceso manual de identificación de la exutoria y conexión automática.

Tabla 14. Explicación del diseño lógico-geomático general del Proceso manual de identificación de la exutoria y conexión automática.

Número de proceso	Explicación de su funcionamiento
1.1 y 1.2	Se establece como requerimiento de entrada el tema lineal de la red drenaje. El módulo debe ser capaz de activar la tabla original de la red de drenaje, escribir sobre ésta un nuevo campo que haga referencia a un identificador autonumérico único y escribir o actualizar los valores de ese campo en caso de que ya existan, todo ello al tiempo que le solicita al usuario seleccionar el vector que contendrá a la exutoria. Estos procesos y la petición, definen un vector seleccionado al cual se le asocia un registro de la tabla asociada de la red de drenaje.

Número de proceso	Explicación de su funcionamiento
1.3	En este paso, se lee el identificador (del campo creado en el paso 1.2) del vector seleccionado y se almacena en una variable para ser recuperado posteriormente.
1.4	En este procedimiento, la red de drenaje original provista por el usuario se deselecciona, es decir, no contiene registros o vectores seleccionados que se puedan manipular.
1.5	Una vez deseleccionada la tabla de la red de drenaje, se procede a elaborar un respaldo del tema original. Por supuesto el nombre de salida del archivo de respaldo es sugerido por el usuario y una vez finalizada la operación, el tema se agrega para su modificación. Todo este procedimiento brinda como resultado una Nueva red de drenaje asociada a una tabla.
1.6	La tabla de la nueva red de drenaje es consultada a partir del ID leído (ver paso 1.3). Esto nos arroja como resultado el vector seleccionado por el usuario originalmente. Aunque pudiera parecer redundante elaborar estos pasos considerando que de cierto modo el usuario selecciona el vector que considera como exutoria, el módulo desde un principio se concibió para ejercer procesos sin modificar en absoluto las propiedades geométrico-espaciales de los temas vectoriales de entrada.
1.7	Posteriormente el usuario elige este proceso que consiste en conectar la dirección de los vectores hacia la exutoria si su respuesta a la petición es positiva.
1.8	Si la respuesta a la petición es negativa, se invierte la dirección del flujo exutorio y se conectan los vectores restantes.

### **3.6.2.1.2. Diseño lógico del proceso 2 correspondiente al diagrama lógico general del Preprocesamiento: Procesos automáticos de identificación de la exutoria y conexión.**

En función de que el Preprocesamiento contiene implícitos diversos algoritmos de selección de la exutoria y conexión automática, en el esquema de la figura 28 se expone el funcionamiento de este complejo conjunto de algoritmos y posteriormente, en la tabla 15, se asocia la explicación del esquema.

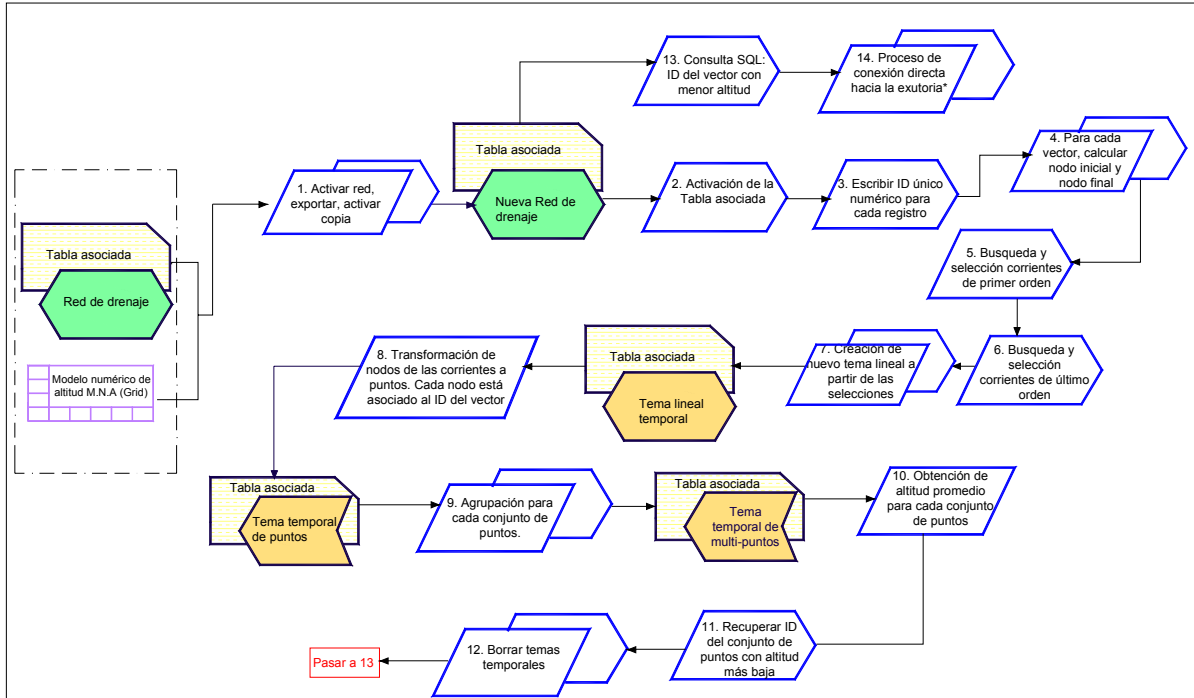


Figura 28. Esquema del diseño lógico-geomático general del método Procesos automáticos de identificación de la exutoria y conexión.

Tabla 15. Explicación del diseño lógico-geomático general del método Procesos automáticos de identificación de la exutoria y conexión.

Proceso	Explicación de su funcionamiento
	Se puede observar que los requerimientos que permiten encontrar la exutoria y realizar la conexión de forma automática son 2 fuentes de datos: la red de drenaje y el modelo numérico de altitud.
1	El esquema supone que una vez el usuario introduce sus temas correspondientes como petición a la interfaz, la tabla asociada del <i>shapefile</i> vectorial correspondiente a la red de drenaje se activa, es decir, su estructura informática se pone a disposición del programa para ser procesada. La activación del tema debe permitir realizar una nueva copia de éste que servirá de respaldo ante la premisa de no modificar los archivos originales que introduce el usuario. La nueva copia ó respaldo derivan una nueva red de drenaje.
2	La tabla asociada <i>*.dbf</i> de la nueva red de drenaje se activa para poder ser manipulada.
3	En este paso se realizan las siguientes operaciones con la tabla: Se crean un nuevo campo en la tabla que servirá para contener un identificador único numérico Si el campo autonumérico ya existe tan sólo se actualizan sus valores en función del número de vectores de la red de drenaje.
4.	Se calculan el nodo inicial ( <i>Fnode</i> ) y nodo final ( <i>Tnode</i> ) para cada vector de la red de drenaje. Este proceso por tanto, supone la modificación de la tabla dado que se deben agregar dos nuevos campos y/o actualizar sus valores. La estructura geométrica del <i>shapefile</i> no se altera, tan sólo se lee y almacenan las coordenadas de los puntos que componen cada vector.
5.	Selección de las corrientes de primer orden de acuerdo al sistema de clasificación de Strahler. Desde la perspectiva informática, una corriente o vector de primer orden es aquel cuyo nodo inicial es único aún entre los nodos iniciales de los demás segmentos.
6.	Selección la corriente de último orden. Ésta tiene la característica de contar con un nodo final único. La razón de identificar corrientes de primer orden y último orden, es porque el vector exutorio auténtico puede estar invertido en su dirección; si no se identificaran corrientes de primer orden, probablemente la exutoria no se encontraría por su condición de vector invertido y no lo consideraría como candidato a ser evaluado como exutorio.



Proceso	Explicación de su funcionamiento
7	Una vez realizadas las selecciones, éstas destacan del tema de respaldo de la red de drenaje en función de una estructura booleana denominada <i>bitmap</i> . El siguiente paso es convertir esas selecciones en un nuevo tema temporal de tipo lineal. Este nuevo tema será temporal, es decir, sólo servirá para efectuar procesos y luego tendrá que eliminarse del entorno de trabajo.
8	Para cada vector del tema temporal de corrientes se les extraen sus nodos que definen su forma. En otras palabras, las <i>polylineas</i> se convierten a puntos, pero cada uno de ellos contiene asociado el identificador de la corriente a la que pertenece.
9	Mediante un proceso denominado <i>Summarize</i> , se agrupa cada conglomerado de puntos en un tema de multi-puntos. Este paso es fundamental para sobreponer espacialmente el MNA. Como se puede advertir, esta operación deriva un tema temporal de multipuntos que se agrega al entorno de trabajo.
10	Se sobrepone o yuxtapone espacialmente el MNA con el tema multitemporal de puntos. Esto con el fin de que cada conglomerado de puntos adquiera un valor promedio de altitud.
11	Se identifica el conglomerado <i>multipuntual</i> con altura más baja y se lee su identificador.
12	Se borran del entorno de trabajo los temas temporales: tema de red de drenaje, puntos y multipuntos.
13	Se crea una consulta sobre el tema de respaldo de la red de drenaje donde el vector seleccionado es aquel que contiene el ID del identificador anteriormente leído. El vector resultante de esta selección es la exutoria.
14	Se conectan todos los vectores a la exutoria (vector seleccionado). Por tanto, la dirección de los vectores resultantes apunta al vector seleccionado.

### 3.6.3. Diseño lógico del módulo “Obtención de los parámetros fisiográficos de la cuenca”.

El submódulo en cuestión, fue diseñado para obtener de forma automatizada los parámetros fisiográficos de una cuenca, pero por las características del lenguaje de programación, resulta más fácil y comprensible que el usuario elija entre aquellos parámetros que implican una salida numérica en una tabla respecto de aquellos que establecen una salida en forma de gráfica y de tema. Ante esta situación, se concibió un diseño flexible en el cual se puedan obtener de forma no obligatoria y por decisión del usuario parámetros tales como la curva hipsométrica y el rectángulo equivalente, dejando como imperativos los demás parámetros. La figura 29 muestra la estructura de requerimientos y uso de dichas macrofunciones:

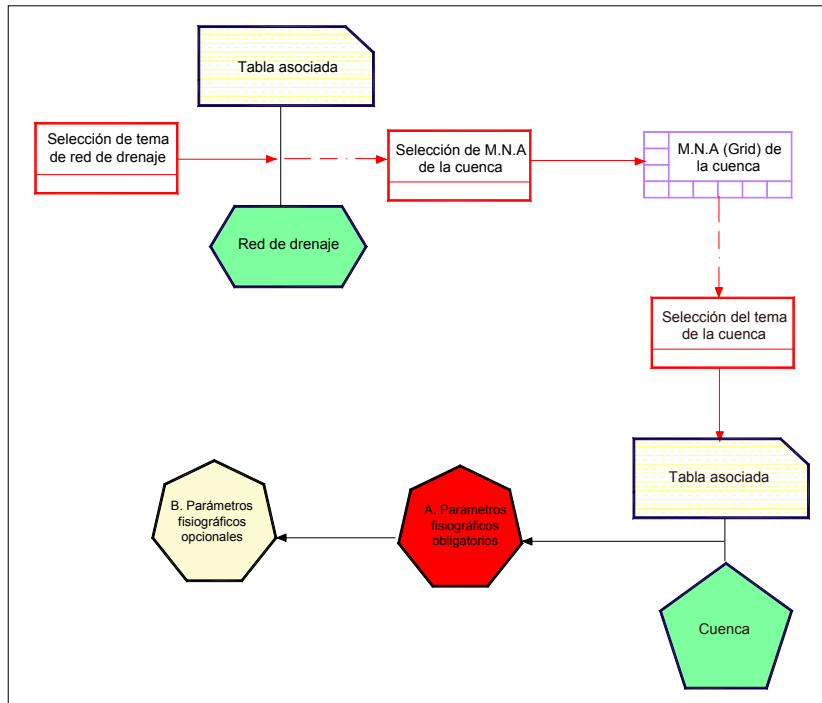


Figura 29. Esquema del diseño lógico-geomático general del submódulo “Obtención de los parámetros fisiográficos de la cuenca”.

En este caso, el submódulo integra una macrofunción para el cálculo parámetros obligatorios (identificada con la letra A) tales como área, perímetro, altura media de la cuenca, pendiente media de la cuenca... etc.; así como una macrofunción para parámetros no obligatorios u opcionales (Se identifica esta macrofunción con la letra B) tales como la curva hipsométrica, la relación hipsométrica y el rectángulo equivalente únicamente.

### 3.6.3.1. Diseño lógico de la macrofunción A: “Cálculo de parámetros fisiográficos obligatorios”.

Después de exponer el funcionamiento general del submódulo de obtención de parámetros fisiográficos a partir de una estructura de macrofunciones, se procede a mostrar la arquitectura lógica empleada para caracterizar cada macrofunción. En la figura número 30 se exhibe el proceso empleado por la macrofunción A y en la tabla 16 se apunta su explicación y desglose:

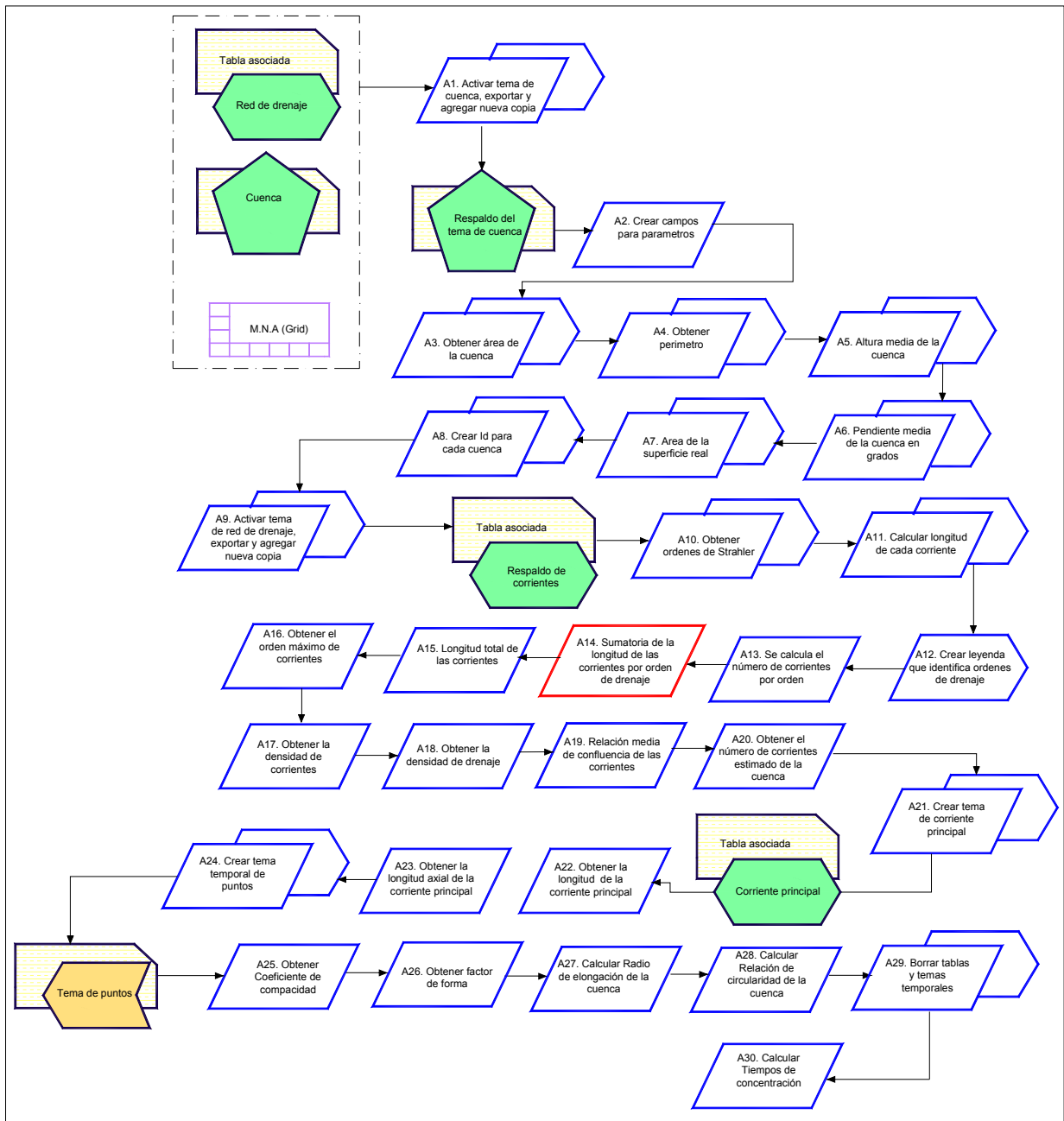


Figura 30. Esquema del diseño lógico-geomático de la macrofunción A: "Cálculo de parámetros fisiográficos obligatorios".

Tabla 16. Explicación del diseño lógico-geomático general del método Procesos automáticos de identificación de la exutoria y conexión.

Proceso	Explicación de su funcionamiento
A1.	Se crea una copia del tema de cuenca para que su tabla asociada contenga todos los parámetros a calcular.
A2.	Se agregan los campos correspondientes a los parámetros.
A3.	Se calcula la superficie total de la cuenca.
A4.	Se obtiene el perímetro de la cuenca.
A5.	Se calcula la altura media de la cuenca en metros.

Proceso	Explicación de su funcionamiento
A6.	Se obtiene la pendiente media de la cuenca en grados.
A7.	Se calcula el área de la superficie real.
A8.	Se asigna un identificador numérico para cada cuenca. Si el tema de cuenca tiene varias subcuencas al interior se crean múltiples identificadores.
A9.	Se activa el tema de la red de drenaje proveído por el usuario y se crea una nueva copia de respaldo la cual servirá para obtener las órdenes de Strahler.
A10.	Se obtiene la clasificación de la red de drenaje de acuerdo a la jerarquización de Strahler. Dado que desde este paso hasta A27, estos procesos se ciclan para calcular todos los parámetros para todas las subcuencas del tema original, se procede a intersectar el tema de la cuenca con la red de drenaje.
A11.	Se procede a obtener la longitud de cada corriente sobre la tabla del tema de corrientes que fue clonado. Para ello, se obtienen las coordenadas de los puntos que constituyen a cada vector y se aplica la fórmula de la distancia entre dos puntos de forma tal que desde el nodo inicial, dicha distancia se va acumulando hasta el nodo final y de esta forma se obtiene tal longitud para cada segmento.
A12.	Se crea la leyenda de la ordenes de drenaje asignando un color diferente a cada segmento dependiendo al orden que pertenezca.
A13.	Se calcula el número de corrientes por orden, es decir, se establece en una tabla temporal el número de corrientes para cada orden de Strahler y para toda la red de drenaje.
A14.	Se realiza una sumatoria de las longitudes de las corrientes por orden, esto se hace sobre una tabla temporal independiente.
A15.	Sobre una tabla temporal, se calcula la longitud total de las corrientes resultante de la sumatoria de las longitudes de todos los segmentos de la red de drenaje.
A16.	Sobre la tabla del tema de corrientes que fue clonada se hace una búsqueda del orden máximo de Strahler. Se supone que en un sistema de cuenca, la corriente que contiene el máximo orden de Strahler, es la corriente que capta el flujo de las demás y cuyo nodo final corresponde a la exutoria, por tanto, tal segmento es el vector exutorio.
A17.	Se Obtiene la densidad de las corrientes la cual se calcula dividiendo el numero de canales de flujo por unidad de superficie.
A18.	Se obtiene la densidad de drenaje que es el resultado de la relación entre la longitud de los canales de flujo y la superficie de la cuenca.
A19.	Se calcula la relación media de confluencia que se obtiene del cociente del numero de vectores de un orden entre el numero de vectores de orden inferior.
A20.	Obtener el numero de corrientes estimado de la cuenca.
A21.	Se crea un tema de <i>polylineas</i> el cual contendrá al tema de corriente principal.
A22.	Se calcula la Longitud de la corriente principal a partir de una función denominada <code>GetLength()</code> .
A23.	Se obtiene la Longitud axial de la corriente principal, es decir, la distancia que existe en línea recta desde la exutoria hasta la parte más alejada de la cuenca.
A24.	Se crea un tema de puntos; tales puntos son ubicados en el nodo inicial de cada corriente y se calcula la longitud existente desde cada uno de ellos hacia la corriente exutoria.
A25.	Cálculo del coeficiente de compacidad que se obtiene de dividir el perímetro de la cuenca y la circunferencia del círculo que tenga la misma superficie de la cuenca.
A26.	Obtención del factor de forma que resulta del cociente entre la superficie de la cuenca y el cuadrado de su longitud máxima.
A27.	Obtención del radio de elongación de la cuenca que es resultante del cociente del diámetro del círculo que tenga la misma superficie que la cuenca y la longitud máxima de la cuenca.
A28.	Cálculo del radio de circularidad resultante del cociente del área de la cuenca y la del círculo cuya circunferencia, es el perímetro de la cuenca.
A29.	Se deben eliminar todos los temas temporales que se hayan creado y se finaliza todo el proceso.

Proceso	Explicación de su funcionamiento
A30	Se obtienen los tiempos de concentración. Se crean en total 4 campos para depositar la siguiente información: Tiempo de concentración en minutos de acuerdo al método original de Kirpich; tiempo de concentración en minutos de acuerdo al método modificado de Kirpich por el INE (2004); valor en metros del punto más alto de la corriente principal en cuestión; valor del punto más bajo de la corriente principal y diferencia entre punto más alto y más bajo.

### 3.6.3.2. Diseño lógico de la macrofunción B: “Cálculo de parámetros fisiográficos opcionales”.

En seguida se muestran los esquemas correspondientes a los diseños lógicos de los procesos de cálculo de la macrofunción B: Curva hipsométrica y rectángulo equivalente.

#### 3.6.3.2.1. Modelo geomático del algoritmo para la obtención de la curva hipsométrica.

Dado que la estructura de la macrofunción B incluye el cálculo de los parámetros de estructura gráfica tales como la curva hipsométrica y rectángulo equivalente, se explica el seguimiento lógico empleado para cada uno de ellos. En la figura 31 se exhibe el esquema correspondiente a la relación hipsométrica y en la tabla 17 la explicación de éste:

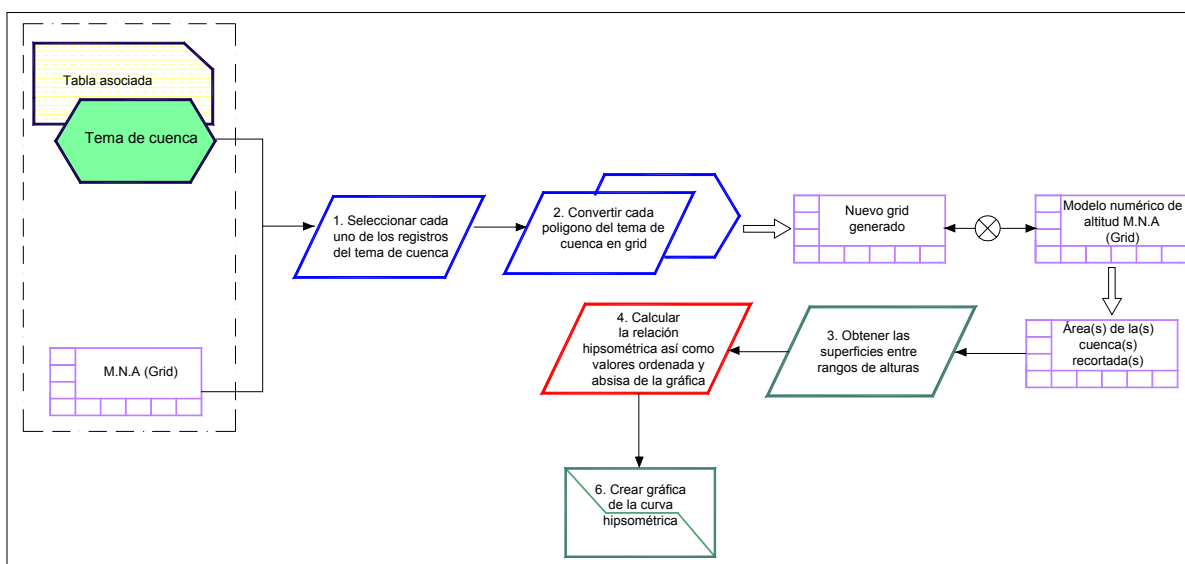


Figura 31. Esquema del diseño lógico-geomático para la obtención de la curva hipsométrica.

Tabla 17. Explicación del diseño lógico-geomático para la obtención de la curva hipsométrica

Número de proceso	Explicación de su funcionamiento
	Se puede observar que los requerimientos para la creación de la curva hipsométrica son: tema de cuenca y el modelo numérico de altitud.

Número de proceso	Explicación de su funcionamiento
B1.1	Se procede a seleccionar cada registro de la tabla del tema de cuenca en forma cíclica:
B1.2	El registro seleccionado (en la tabla) del paso anterior permite que en el tema de cuenca se seleccione el polígono correspondiente a tal registro. Una vez seleccionado es posible aplicarle cualquier procedimiento como si el polígono seleccionado se tratará de un tema <i>shapefile</i> . Se le aplicó aquí una conversión del tema vectorial a un tema raster ( <i>grid</i> ).
	Ya que se creó un nuevo <i>grid</i> se realiza una operación algebraica de éstos, es decir una multiplicación del nuevo con el Modelo Numérico de Altitud (MNA) original para poder recortar únicamente el área de la cuenca que está inmersa en el área del MNA. De estos procesos se obtiene como producto un MNA recortado al área de la cuenca.
B1.3	Se realizan operaciones sobre la tabla del <i>grid</i> (el que se usó como requerimiento inicial) para poder determinar el área que ocupa cada rango de altura.
B1.4	Se crea una tabla independiente que es usada para calcular la relación hipsométrica de la cuenca.
B1.5	Se crea una gráfica ( <i>chart</i> ) que representa el dibujo de la curva hipsométrica.

### 3.6.3.2.2. Modelo geomático del algoritmo para la obtención del rectángulo equivalente.

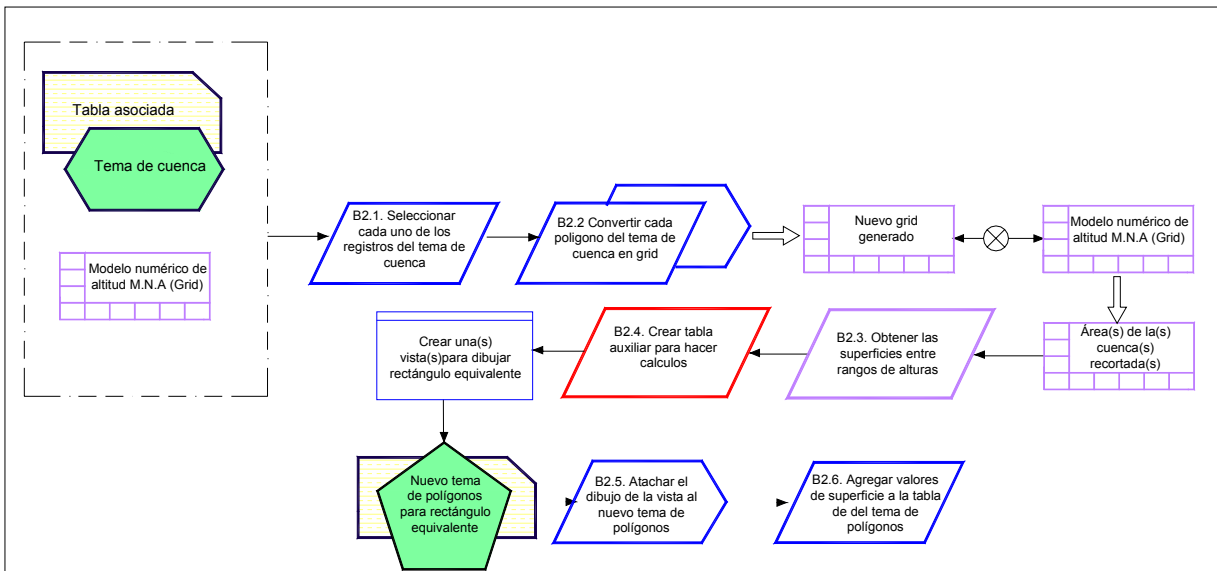


Figura 32. Esquema del diseño lógico-geomático para la obtención del rectángulo equivalente.

Tabla 18. Explicación del diseño lógico-geomático para la obtención del rectángulo equivalente.

Número de proceso	Explicación de su funcionamiento
	Se puede observar que los requerimientos para la creación de la curva son: tema de cuenca y el modelo numérico de altitud.

Número de proceso	Explicación de su funcionamiento
B2.1	Se procede a seleccionar cada registro de la tabla del tema de cuenca de forma cíclica.
B2.2	El registro seleccionado (en la tabla) en el paso anterior permite que en el tema de cuenca se seleccione el polígono correspondiente a tal registro y aplique una conversión del tema vectorial a un tema raster ( <i>grid</i> ).
	Ya que se creó un nuevo <i>grid</i> , se realiza una operación algebraica multiplicación de éste con el Modelo Numérico de Altitud (MNA).
B2.3	Se realizan operaciones sobre la tabla del <i>grid</i> (el que se usó como requerimiento inicial) para poder determinar el área que ocupa cada rango de altura.
B2.4	Se crea una tabla independiente para hacer los cálculos de superficie y también para mantener los valores de superficie que al final se agregaran a la tabla del tema del rectángulo equivalente (tema nuevo).
	Se crea una vista nueva o varias si es necesario para poder dibujar sobre éstas los rectángulos equivalentes derivados.
	Se crea un nuevo tema de polígonos el cual contendrá al dibujo del rectángulo. Cada vista creada anteriormente contendrá un tema de polígono, es decir para cada tema habrá una vista y un tema.
B2.5	Primero se crea el dibujo en la vista y después se asocia el dibujo al tema.
B2.6	Finalmente se agregan valores de área al tema del rectángulo para que la información del tema sea más completa –paso B.2.5-).

### 3.7. PROCESO DE IMPLEMENTACIÓN

Ya que se establecieron los diseños físico y conceptual del módulo propuesto se procedió a programar un módulo hidrogeomático compuesto por los submódulos Preprocesamiento y Obtención de parámetros fisiográficos y un Sistema de ayuda. El módulo hidrogeomático fue implementado en *Avenue*, mientras que el segundo se programó en Visual Basic 6.0.

El proceso de implementación del módulo hidrogeomático conllevó al desarrollo de 125 *scripts* distribuidos de la siguiente forma: 45 para el submódulo Preprocesamiento, 63 para el submódulo de obtención de parámetros y 16 para la interfaz de selección de directorios de trabajo (Figura 33):

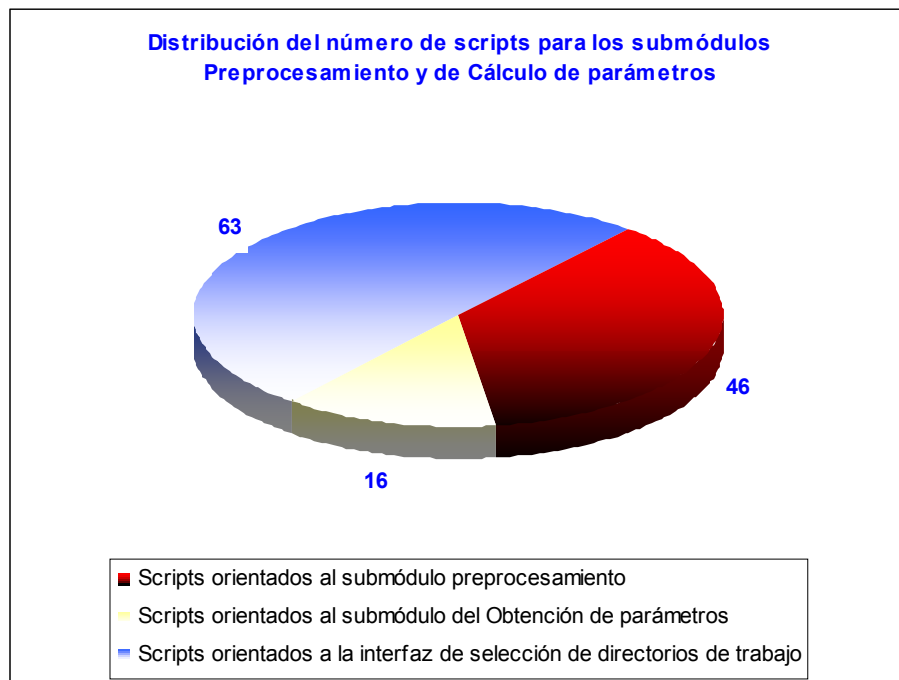


Figura 33. Gráfico que muestra la distribución de *scripts* desarrollados para cada submódulo.

A continuación se muestra la lista de los *scripts* desarrollados reunidos en categorías:

**Scripts destinados al submódulo Preprocesamiento:**

1. CFC\_PreP\_DeseleccionarTodos
2. CFC\_PreP\_Dialogo.CClose
3. CFC\_PreP\_Dialogo.Open
4. CFC\_PreP\_Dialogo.UPDATE
5. CFC\_PreP\_InicioRuta
6. CFC\_PreP\_InvisiblesTodos
7. CFC\_PreP\_LimpiarTodos
8. CFC\_PreP\_NuevoTema\_deProceso
9. CFC\_PreP\_Opcion1\_BtnCambiar
10. CFC\_PreP\_Opcion1\_BtnSeleccionar
11. CFC\_PreP\_Opcion1\_CambioFLIP\_CorSeleccionada
12. CFC\_PreP\_Opcion1\_Convertir\_Shape
13. CFC\_PreP\_Opcion1\_Corrección
14. CFC\_PreP\_Opcion1\_DialSel\_BtnEval
15. CFC\_PreP\_Opcion1\_DialSel\_Upstream
16. CFC\_PreP\_Opcion1\_NuevoTema
17. CFC\_PreP\_Opcion1\_Preprocesamiento
18. CFC\_PreP\_Opcion1\_SeleccionManual
19. CFC\_PreP\_Opcion1\_VerificacionTN
20. CFC\_PreP\_Opcion1\_ZoomSel
21. CFC\_PreP\_Opcion3\_Borrar\_Temas\_Tempo
22. CFC\_PreP\_Opcion3\_btnMNA
23. CFC\_PreP\_Opcion3\_combo\_MNA\_Update
24. CFC\_PreP\_Opcion3\_FNODE\_UNICO
25. CFC\_PreP\_Opcion3\_TNODE\_UNICO
26. CFC\_PreP\_Opcion3\_ValCor\_Preprocesamiento
27. CFC\_PreP\_Opcion3\_ValCorrientes\_Autonum
28. CFC\_PreP\_Opciones\_BtnCan-cerrar-
29. CFC\_PreP\_Opciones\_BtnEval



- 30. CFC\_PreP\_RespaldoRed
- 31. CFC\_PreP\_SetWork
- 32. CFC\_PreP\_SetWorkC
- 33. CFC\_PreP\_ValCor\_BtnCambio\_Dir
- 34. CFC\_PreP\_ValCor\_F-TNode
- 35. CFC\_PreP\_ValCor\_Geop\_dissolve
- 36. CFC\_PreP\_ValCor\_OverlayMNA\_MPoint
- 37. CFC\_PreP\_ValCor\_Poly\_a\_Pts
- 38. CFC\_PreP\_ValCorrientes.btnCor.Click
- 39. CFC\_PreP\_ValCorrientes.cbxCor.Update
- 40. CFC\_PreP\_ValCorrientes.Update
- 41. CFC\_PreP\_ValCorrientes\_Autonum
- 42. CFC\_PreP\_ValCorrientes\_PROCESO
- 43. CFC\_PreP\_VerificacionFLIP
- 44. CFC\_PreP\_VerificacionTNODE
- 45. CFC\_Prep\_ZoomExtend
- 46. CFC\_PreP\_AYUDA

**Scripts destinados la interfaz de selección de directorios de trabajo**

- 47. CFC\_Util.DialogCenter
- 48. CFC\_Util.GetLabels
- 49. CFC\_Util.MakeDir
- 50. CFC\_Util.ReturnDrives
- 51. CFC\_WaitDiaolog\_Open
- 52. CFC\_GetDir.btn\_MakeDir.Click
- 53. CFC\_GetDir.btn\_Prev.Click
- 54. CFC\_GetDir.btn\_Prev.Update
- 55. CFC\_GetDir.cbxC\_Drives.Select
- 56. CFC\_GetDir.cpa\_One.Update
- 57. CFC\_GetDir.lbt\_Cancel.Click
- 58. CFC\_GetDir.lbt\_OK.Click
- 59. CFC\_GetDir.lbx\_Dirs.Apply
- 60. CFC\_GetDir.lbx\_Dirs.Select
- 61. CFC\_GetDir.lbx\_Dirs.Update
- 62. CFC\_GetDir.Open

**Scripts destinados al submódulo para la obtención de parámetros fisiográficos de la cuenca:**

- 63. CFC.btnAyu.Click
- 64. CFC.btnCan.Click
- 65. CFC.CalPar.BorraTemasyTablas
- 66. CFC.CalPar.btnCnc.Click
- 67. CFC.CalPar.btnCor.Click
- 68. CFC.CalPar.btnMna.Click
- 69. CFC.CalPar.btnPro.Click
- 70. CFC.CalPar.cbxCnc.Update
- 71. CFC.CalPar.cbxCor.Update
- 72. CFC.CalPar.cbxMna.Update
- 73. CFC.CalPar.CorrPrin\_CrearID\_Odr
- 74. CFC.CalPar.CorrPrin\_Obtener
- 75. CFC.CalPar.CorrPrin\_Obtener\_Lcp
- 76. CFC.CalPar.CorrPrin\_SeleccionarCorriConectada
- 77. CFC.CalPar.CorrPrin\_UnirSegmentos
- 78. CFC.CalPar.Cuenca\_CrearArchivo
- 79. CFC.CalPar.Cuenca\_CrearCampos
- 80. CFC.CalPar.Cuenca\_CrearID
- 81. CFC.CalPar.Cuenca\_Intersecta\_CorriCuenca
- 82. CFC.CalPar.Cuenca\_Metadatos
- 83. CFC.CalPar.Cuenca\_ObtenerParametros1
- 84. CFC.CalPar.Cuenca\_ParametrosForma

85. CFC.CalPar.FinProceso
86. CFC.CalPar.GenNom.LostFocus
87. CFC.CalPar.Hidro\_BorrarCampos
88. CFC.CalPar.Hidro\_CrearArchivosXCuenca
89. CFC.CalPar.Hidro\_Nodos\_LongExu
90. CFC.CalPar.Hidro\_ObtenerParametros1\_enCuenca
91. CFC.CalPar.Hidro\_ParametrosBifurcacion
92. CFC.CalPar.Hidro\_Strahler\_Leyenda
93. CFC.CalPar.Hidro\_Strahler\_ObtenerLength
94. CFC.CalPar.Hidro\_Strahler\_ObtenerOrdenes
95. CFC.CalPar.Hidro\_Strahler\_OrdenMaxyLength
96. CFC.CalPar.Hidro\_Strahler\_RenuNodo
97. CFC.CalPar.Hidro\_Strahler\_TotalCorriXOrden
98. CFC.CalPar.InicializarDialogo
99. CFC.CalPar.Open
100. CFC.CalPar.Update
101. CFC\_Ayuda\_AcercaDe...
102. CFC\_Ayuda\_Descripcion\_de\_campos
103. CFC\_CalPar\_Borrarcampos
104. CFC\_CalPar\_CH\_AgregarCamposDifer
105. CFC\_CalPar\_CH\_Convertagrid
106. CFC\_CalPar\_CH\_Creargrafica
107. CFC\_CalPar\_CH\_CrearTabCoord
108. CFC\_CalPar\_CH\_CrearTabsBase
109. CFC\_CalPar\_CH\_CrearTabSuperficies
110. CFC\_CalPar\_CH\_ExtraerGrdZonaCnc
111. CFC\_CalPar\_CH\_LlenarTabCoord
112. CFC\_CalPar\_CH\_Selectpoly
113. CFC\_CalPar\_RE\_ConvertaGrid
114. CFC\_CalPar\_RE\_Creartabrecta
115. CFC\_CalPar\_RE\_Dibujarecta
116. CFC\_CalPar\_RE\_ExtraerGrdZonaCnc
117. CFC\_CalPar\_RE\_Selectpoly
118. CFC\_CalPar\_T\_BorrarNODOS
119. CFC\_CalPar\_T\_Calcular
120. CFC\_CalPar\_T\_ConvertirCorri-NODOS
121. CFC\_CalPar\_T\_EscribirValores
122. CFC\_CalPar\_T\_OverlayNODOS\_GRID
123. CFC\_CalPar\_TxtCve\_Changed
124. CFC\_OBT\_PARAMETROS\_AYUDA
125. CFC\_CalPar\_0\_BorrarTablas

Tocante al sistema de ayuda, fueron generadas 4 aplicaciones \*.exe y 22 series \*.swf compatibles con las aplicaciones y el módulo hidrogeomático. El nombre de las aplicaciones se cita a continuación:

1. Final\_Acerca\_de.exe
2. Descripción de campos.exe
3. OBT\_PARÁMETROS.exe
4. PREPROCESAMIENTO.exe

### **3.8. PROCESO DE PRUEBA Y DEPURACIÓN DE LOS SCRIPTS.**

Dentro de las ventajas que se tienen al programar en el editor de *scripts* de *ArcView GIS 3x* se mencionan la capacidad de escribir, compilar, depurar errores y corregirlos dentro mismo

espacio de trabajo. El sistema de verificación de errores del editor de *scripts* tiene la capacidad de encontrar fallas de sintaxis en tiempo de ejecución pero no en tiempo de diseño, no obstante, la capacidad que tiene de posicionar errores sintácticos ó de omisión de variables u objetos es muy buena.

El proceso de prueba que se siguió a lo largo de la implementación estuvo estrechamente relacionado con el desarrollo mismo de los *scripts* de tal forma que el procedimiento empleado fue el siguiente:

1. Desarrollo de un *script*
2. Compilación.
3. Si existieron errores sintácticos, se corrigieron.
4. Ejecución del macro y evaluación de sus resultados.

Si los resultados que arrojó el *script* evaluado fueron los esperados y deseables se prosiguió al desarrollo del siguiente; en caso contrario se verificaron errores lógicos en la planeación de desarrollo del *script* y se regresa de nuevo al desarrollo (paso 1). El proceso preliminar se llevó a cabo para cada *script* individual, pero cuando se desarrollaron macros que ligan la funcionalidad de otros se verificó que los *scripts* participantes cumplieran su función de forma conjunta y correcta.

### **3.9. ESTRUCTURA FÍSICA DEL MÓDULO HIDROGEOMÁTICO**

A continuación se cita la organización física de los dos primeros submódulos comenzando con el Preprocesamiento y continuando con el submódulo de cálculo de parámetros fisiográficos. La estructura del submódulo de ayuda es tratada en el siguiente capítulo.

#### **3.9.1. Estructura del submódulo Preprocesamiento.**

A continuación se muestra la estructura del submódulo y la explicación del funcionamiento general de cada control (se nombra “control” a los elementos gráficos con los que el usuario interacciona tales como botones, cajas de texto, imágenes, botones de opción, etc. (Figura 34).

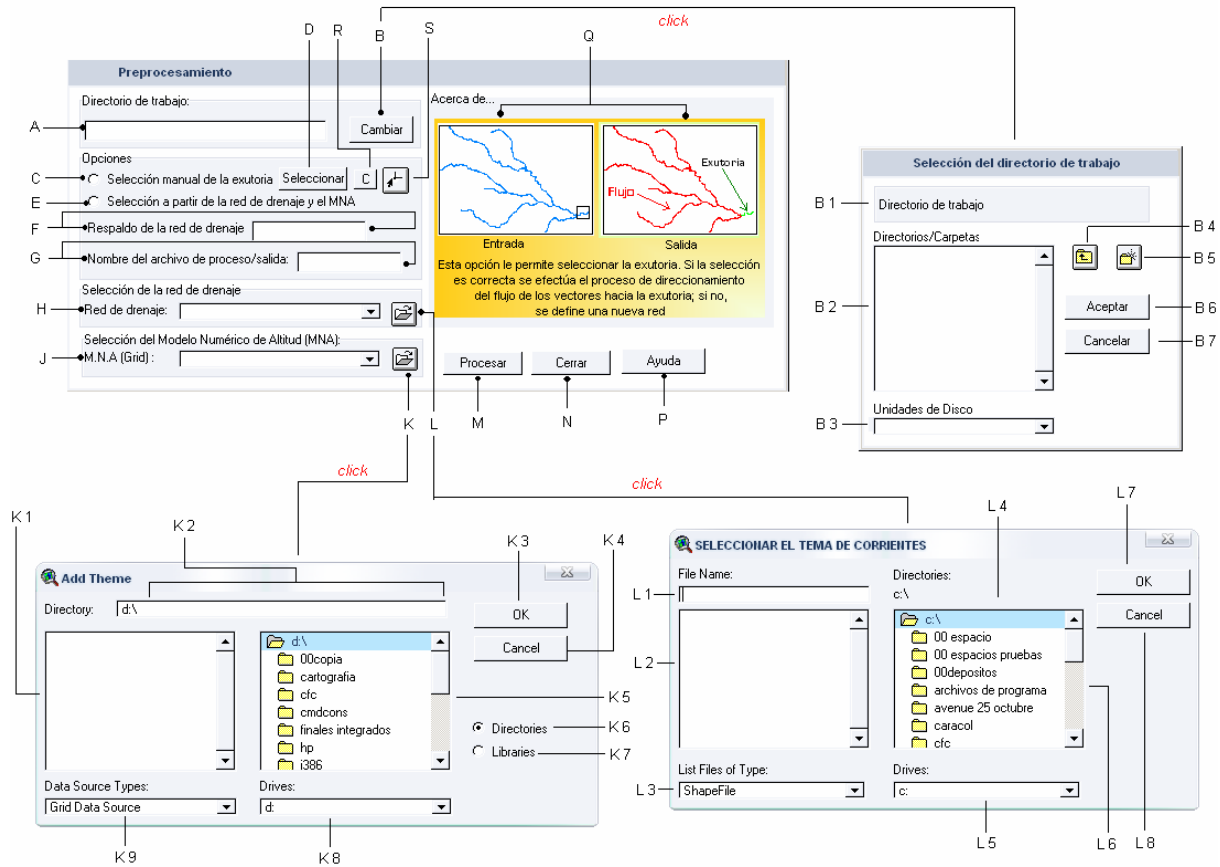


Figura 34. Estructura física del Preprocesamiento.

Tabla 19. Explicación equivalente la estructura física del Preprocesamiento.

Letra	Tipo de control	Función
A	Caja de texto ( <i>TextBox</i> )	Muestra el nombre del directorio de trabajo donde serán depositados los archivos de salida resultantes de los procesos realizados en el Preprocesamiento.
B	Botón ( <i>Button</i> )	Le permite al usuario escoger el directorio de trabajo para sus archivos de salida resultantes. Una vez que el usuario presiona el botón aparece la ventana "Selección del directorio de trabajo". Si el usuario no define una carpeta de trabajo, el módulo está programado para depositar los archivos en el directorio raíz C:\.
B1	Etiqueta ( <i>Label</i> )	Muestra la ruta definida por el usuario para su carpeta de trabajo.
B2	Caja de texto múltiple ( <i>List Box</i> )	Muestra los directorios disponibles por unidad de disco y carpeta
B3	Caja de texto con opciones predefinidas ( <i>Combo box</i> )	Muestra las unidades de disco establecidas en la computadora tanto discos duros como unidades extraíbles.
B4	Botón ( <i>Button</i> )	Permite retroceder un nivel en el orden de los directorios disponibles.
B5	Botón ( <i>Button</i> )	Le permite al usuario crear una nueva carpeta.
B6	Botón ( <i>Button</i> )	Al presionar el botón se define la ruta mostrada por el control B1.
B7	Botón ( <i>Button</i> )	Cancela la definición de un directorio.

Letra	Tipo de control	Función
C	Botón de opciones ( <i>Radio Button</i> )	Realiza la petición al procedimiento de selección manual de la exutoria por parte del usuario así como la conexión automática de todos los vectores a la exutoria. Cuando está habilitado este botón, el control Q muestra una referencia acerca del proceso, se habilitan los controles H y L y el botón "Seleccionar" (control D).
D	Botón ( <i>Button</i> )	Despliega los controles R y S que tienen como finalidad que el usuario pueda escoger el vector exutorio que considera óptimo para su cuenca. El control R permite cambiar de red de drenaje si el proceso ya está en marcha.
E	Botón de opciones ( <i>Radio Button</i> )	Realiza la petición al procedimiento de selección automática, así como la conexión de todos los vectores a la exutoria. Cuando está habilitado este botón, el control Q muestra una referencia acerca del proceso, además se habilitan los controles J y K.
F	Caja de texto ( <i>TextBox</i> )	Control empleado cuando el control C está activo. Permite escribir un nombre al archivo de salida procesado. El archivo de la red de drenaje original del usuario no se modifica, lo hace el respaldo con el nombre establecido en este control.
G	Caja de texto ( <i>TextBox</i> )	Control empleado cuando el control C o D están activos. Permite escribir un nombre al archivo final de salida. El archivo de la red de drenaje original del usuario no se modifica, lo hace el respaldo con el nombre establecido en este control.
K	Botón ( <i>Button</i> )	Despliega el cuadro de diálogo "Add Theme" el cual brinda la posibilidad al usuario de seleccionar el archivo de su MNA. Este control se habilita cuando está seleccionado Botón de selección E.
K1	Caja de texto múltiple ( <i>List Box</i> )	Muestra los directorios disponibles por unidad de disco y carpeta.
K2	Caja de texto con opciones predefinidas ( <i>Combo box</i> )	Muestra los archivos <i>Grid</i> disponibles en el directorio actual.
K3	Botón ( <i>Button</i> )	Permite aceptar el <i>Grid</i> Seleccionado.
K4	Botón ( <i>Button</i> )	Cancela las acciones y cierra la ventana.
K5	Caja de texto múltiple ( <i>List Box</i> )	Muestra los directorios disponibles por unidad de disco y carpeta.
K6	Botón de opciones ( <i>Radio Button</i> )	Especifica si se quieren emplear archivos de los directorios del disco.
K7	Botón de opciones ( <i>Radio Button</i> )	Especifica si se quieren emplear archivos de una librería externa.
K8	Caja de texto con opciones predefinidas (combo box)	Muestra las unidades de disco establecidas en la computadora tanto discos duros como unidades extraíbles.
K9	Caja de texto con opciones predefinidas (combo box)	Define un filtro para introducir sólo archivos <i>Grid</i> .
L	Botón ( <i>Button</i> )	Despliega el cuadro de diálogo "Seleccionar el tema de corrientes" con el cual se elige el tema vectorial de la red de drenaje. Este control se habilita cuando está seleccionado Botón de selección C.
L1	Caja de texto ( <i>TextBox</i> )	Muestra el nombre del archivo elegido.
L2	Caja de texto múltiple ( <i>List Box</i> )	Muestra los directorios disponibles por unidad de disco y carpeta.

<b>Letra</b>	<b>Tipo de control</b>	<b>Función</b>
L3	Caja de texto con opciones predefinidas ( <i>combo box</i> )	Define un filtro para introducir sólo archivos *.shp lineales.
L4	Etiqueta ( <i>Label</i> )	Muestra la ruta definida por el usuario para su carpeta de trabajo.
L5	Caja de texto con opciones predefinidas ( <i>combo box</i> )	Muestra las unidades de disco establecidas en la computadora tanto discos duros como unidades extraíbles.
L6	Caja de texto múltiple ( <i>List Box</i> )	Muestra los directorios disponibles por unidad de disco y carpeta.
L7	Botón ( <i>Button</i> )	Permite aceptar el *.shp Seleccionado.
L8	Botón ( <i>Button</i> )	Cancela las acciones y cierra la ventana.
M	Botón ( <i>Button</i> )	Procesa los algoritmos necesarios en función de la opción seleccionada (Controles C ó E).
N	Botón ( <i>Button</i> )	Cancela las acciones y cierra la ventana.
P	Botón ( <i>Button</i> )	Muestra la documentación general del módulo.
Q	Imagen ( <i>Image Control</i> )	Visualiza una referencia de ayuda del procedimiento general de la opción empleada (Controles C ó E).
R	Botón ( <i>Button</i> )	Una vez habilitado en control C, el control H ya no puede manipularse. Al presionar este botón se puede cambiar de elección respecto a la red de drenaje empleada.
S	Botón ( <i>Button</i> )	Accede a poder elegir el vector que el usuario considera, es aquel cuyo nodo final es la exutoria. La selección se realiza con el archivo de la red de drenaje que él elige.

### 3.9.2. Estructura del submódulo Obtención de parámetros fisiográficos de la cuenca.

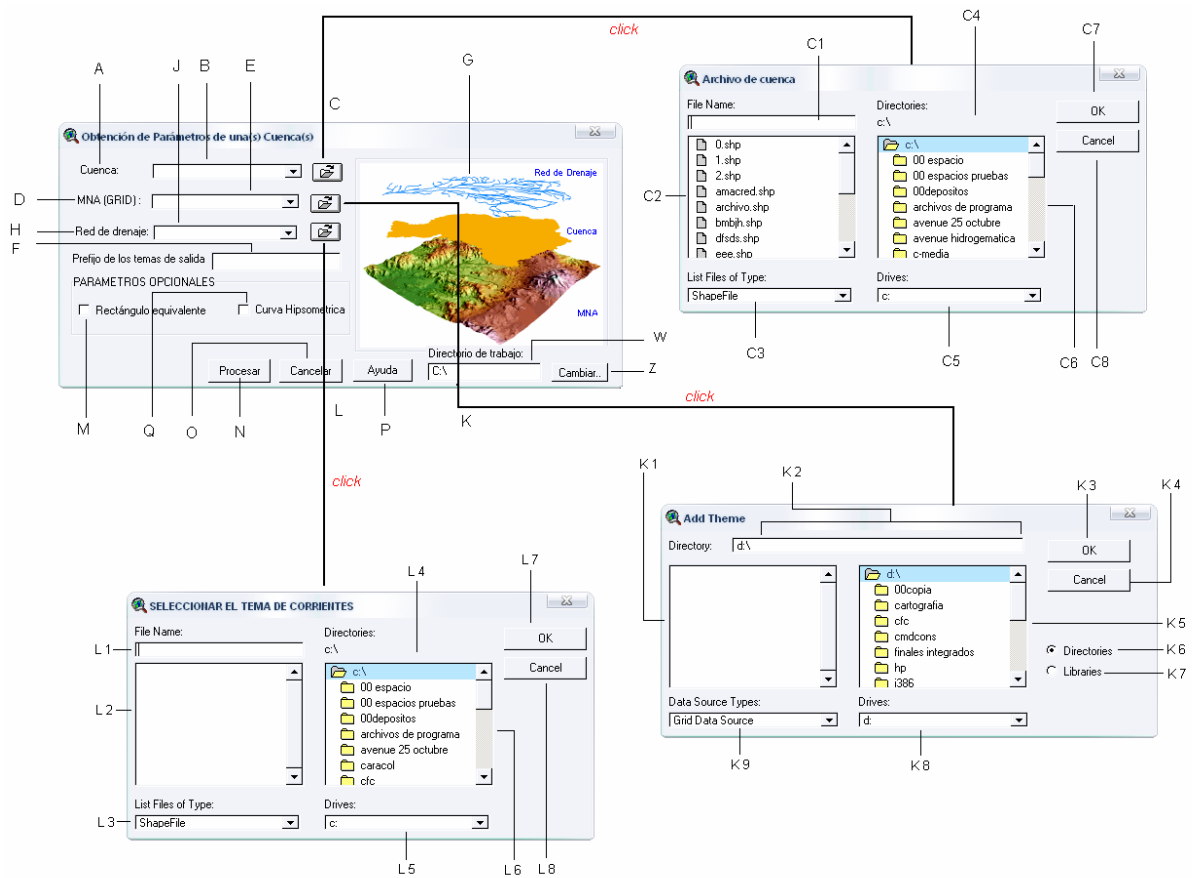


Figura 35. Estructura física del submódulo para la obtención de los parámetros

Tabla 20. Explicación equivalente la estructura física del submódulo para la obtención de los parámetros

Letra	Tipo de control	Función
A	Etiqueta ( <i>Label</i> )	Simple etiqueta que muestra que debe ser introducido el tema de cuenca.
B	Caja de texto con opciones predefinidas ( <i>combo box</i> )	Define un filtro para introducir sólo archivos *.shp de polígonos.
C	Botón ( <i>Button</i> )	Despliega el cuadro de diálogo "Add Theme" el cual brinda la posibilidad al usuario de seleccionar el archivo de cuenca.
C1	Caja de texto ( <i>TextBox</i> )	Muestra el nombre del archivo elegido.
C2	Caja de texto múltiple ( <i>List Box</i> )	Muestra los directorios disponibles por unidad de disco y carpeta.
C3	Caja de texto con opciones predefinidas ( <i>combo box</i> )	Define un filtro para introducir sólo archivos *.shp poligonales.
C4	Etiqueta ( <i>Label</i> )	Muestra la ruta definida por el usuario para su carpeta de trabajo.
C5	Caja de texto con opciones predefinidas ( <i>combo box</i> )	Muestra las unidades de disco establecidas en la computadora tanto discos duros como unidades extraíbles.

Letra	Tipo de control	Función
C6	Caja de texto múltiple ( <i>List Box</i> )	Muestra los directorios disponibles por unidad de disco y carpeta.
C7	Botón ( <i>Button</i> )	Permite aceptar el *.shp Seleccionado.
C8	Botón ( <i>Button</i> )	Cancela las acciones y cierra la ventana.
D	Etiqueta ( <i>Label</i> )	Simple etiqueta que muestra que debe ser introducido el Modelo Numérico de Altitud.
E	Caja de texto con opciones predefinidas ( <i>combo box</i> )	Define un filtro para introducir sólo archivos <i>grid</i> .
F	Caja de texto ( <i>TextBox</i> )	Permite al usuario introducir un prefijo que identifica a todos los temas de salida.
G	Icono ( <i>IconBox</i> )	Despliega una imagen alusiva a los temas que deben ser introducidos.
H	Etiqueta ( <i>Label</i> )	Muestra que debe ser introducido el tema de corrientes.
J	Caja de texto con opciones predefinidas ( <i>combo box</i> )	Define un filtro para introducir sólo archivos *.shp lineales.
K	Botón ( <i>Button</i> )	Despliega el cuadro de diálogo "Add Theme" el cual brinda la posibilidad al usuario de seleccionar el archivo de su MNA.
K1	Caja de texto múltiple ( <i>List Box</i> )	Muestra los directorios disponibles por unidad de disco y carpeta.
K2	Caja de texto con opciones predefinidas ( <i>Combo box</i> )	Muestra los archivos <i>Grid</i> disponibles en el directorio actual.
K3	Botón ( <i>Button</i> )	Permite aceptar el <i>Grid</i> Seleccionado.
K4	Botón ( <i>Button</i> )	Cancela las acciones y cierra la ventana.
K5	Caja de texto múltiple ( <i>List Box</i> )	Muestra los directorios disponibles por unidad de disco y carpeta.
K6	Botón de opciones ( <i>Radio Button</i> )	Especifica sí se quieren emplear archivos de los directorios del disco.
K7	Botón de opciones ( <i>Radio Button</i> )	Especifica sí se quieren emplear archivos de una librería externa.
K8	Caja de texto con opciones predefinidas ( <i>combo box</i> )	Muestra las unidades de disco establecidas en la computadora tanto discos duros como unidades extraíbles.
K9	Caja de texto con opciones predefinidas ( <i>combo box</i> )	Define un filtro para introducir sólo archivos <i>Grid</i> .
L	Botón ( <i>Button</i> )	Despliega el cuadro de diálogo "Seleccionar el tema de corrientes" con el cual se elige el tema vectorial de la red de drenaje. Este control se habilita cuando está seleccionado el botón de selección C.
L1	Caja de texto ( <i>TextBox</i> )	Muestra el nombre del archivo elegido.
L2	Caja de texto múltiple ( <i>List Box</i> )	Muestra los directorios disponibles por unidad de disco y carpeta.
L3	Caja de texto con opciones predefinidas ( <i>combo box</i> )	Define un filtro para introducir sólo archivos *.shp lineales.
L4	Etiqueta ( <i>Label</i> )	Muestra la ruta definida por el usuario para su carpeta de trabajo.
L5	Caja de texto con opciones predefinidas ( <i>combo box</i> )	Muestra las unidades de disco establecidas en la computadora tanto discos duros como unidades extraíbles.
L6	Caja de texto múltiple ( <i>List Box</i> )	Muestra los directorios disponibles por unidad de disco y carpeta.
L7	Botón ( <i>Button</i> )	Permite aceptar el *.shp seleccionado.



Letra	Tipo de control	Función
L8	Botón ( <i>Button</i> )	Cancela las acciones y cierra la ventana.
M	Opción ( <i>CheckBox</i> )	Permite seleccionar la opción para obtener el rectángulo equivalente.
N	Botón ( <i>Button</i> )	Permite correr todo el proceso para la obtención de los parámetros a calcular.
O	Botón ( <i>Button</i> )	Permite cancelar el procesamiento antes de que haya sido oprimido el botón de procesar.
P	Botón ( <i>Button</i> )	Muestra una caja de texto de ayuda que indica al usuario que todos los temas deben ser agregados a la vista.
Q	Opción ( <i>CheckBox</i> )	Permite seleccionar la opción para obtener la curva hipsométrica.

Concluida la implementación, el proceso de identificación de errores, depuración y ensamble de la extensión de trabajo se procedió a evaluar el módulo hidrogeomático a partir de datos reales tomando el caso de uso de la cuenca Amacuzac. Recuérdese que los datos o elementos de entrada para el funcionamiento del módulo son el archivo vectorial poligonal de la cuenca, el archivo vectorial lineal de la red de drenaje y el modelo numérico de altitud con valor de celda del tipo entero (*integer*).

### **3.10. PROCESO DE PRUEBA DEL MÓDULO HIDROGEOMÁTICO CON DATOS REALES**

Para llevar a cabo esta operación, se hizo uso de archivos digitales correspondientes a la red de drenaje, la cuenca y el MNA (Modelo Numérico de Altitud) correspondientes a la región hidrológica de la cuenca “Amacuzac”.

#### **3.10.1. Características generales de la subcuenca “Amacuzac”**

En los apartados siguientes se presentan las características generales concernientes a la ubicación, cualidades hipsométricas e hidrología superficial de la cuenca Amacuzac. Tal referencia sirve para referir el caso de uso de evaluación del módulo hidrogeomático. Los resultados de la evaluación están descritos en el próximo capítulo.

##### **3.10.1.1. Ubicación**

La cuenca forma parte de los estados de México, Guerrero y Morelos y a su vez pertenece a la cuenca del río Balsas la cual se ubica a su vez en región hidrológica número 18, según el catálogo de las regiones hidrológicas de la República Mexicana, establecida por la Secretaria de Recursos Hidráulicos (Franco-Plata, 2006).

Las coordenadas geográficas extremas de la cuenca “Amacuzac” son las siguientes:

Tabla 21. Coordenadas extremas de la subcuenca Amacuzac

Dirección	Valor
Norte	19° 07' 1.2"
Sur	18° 28' 4.8"
Este	-99° 22' 4.8"
Oeste	-99° 59' 2.4"

La cuenca esta limitada por las siguientes subcuencas hidrológicas: al norte con la subcuenca Lerma-Toluca, al oeste y noroeste colinda con la cuenca Cutzamala, al este y noreste mantiene colindancia con la subcuenca del río Atoyac, al sur y sureste con la cuenca subBalsas-Mezcala y al suroeste con la subcuenca Balsas-Zirándaro. La cuenca Amacuzac tiene una superficie planimétrica de 2240 Km<sup>2</sup>, sus aguas nacen en las faldas del Nevado de Toluca y recoge el caudal de las diversas corrientes pertenecientes a los estados de Morelos, Guerrero y México. Es importante mencionar que su exutoria se localiza en las inmediaciones de la localidad Amacuzac, Morelos, y ésta cuenta con los aportes finales de los ríos Calcáceo y Zempoala en los límites con el Estado de México.

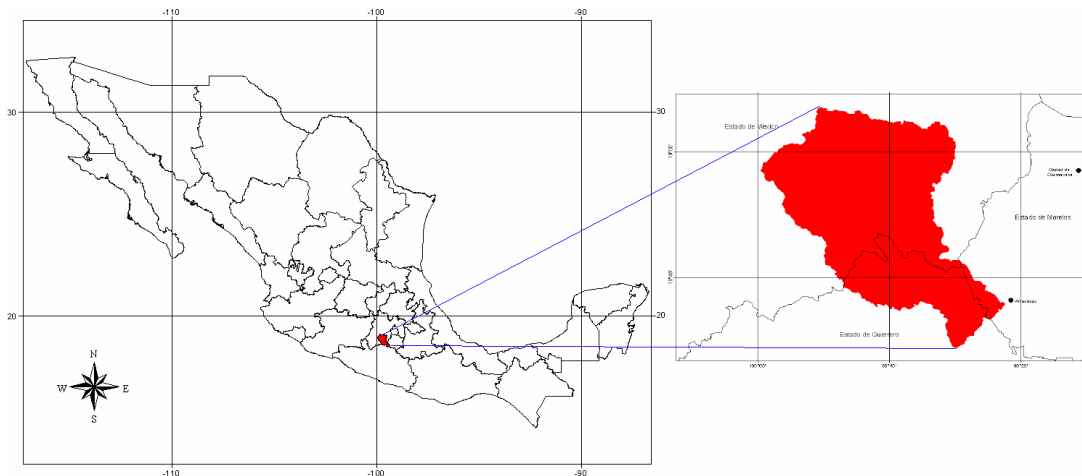


Figura 36. Ubicación geográfica de la cuenca Amacuzac

### 3.10.1.2. División política.

La subcuenca “Amacuzac” es un sistema hidrológico perteneciente a la cuenca del Balsas y resulta de gran importancia para la población de los estados que comprende: México, Guerrero y Morelos, a razón de la disponibilidad de agua que alberga para las diversas actividades económicas que se desarrollan. A continuación se la tabla 22 que contiene la superficie en kms<sup>2</sup> que alberga la cuenca respecto a los estados mencionados.

Tabla 22. Superficie ocupada de la cuenca Amacuzac.

Clave del Estado	Nombre	Superficie en Km <sup>2</sup> que abarca la cuenca en el Estado	Porcentaje del Total en la Cuenca
12	Guerrero	520	23%
15	Estado de México	1630	73%
17	Morelos	90	4%
		2240	100%

### 3.10.1.3. Fisiografía

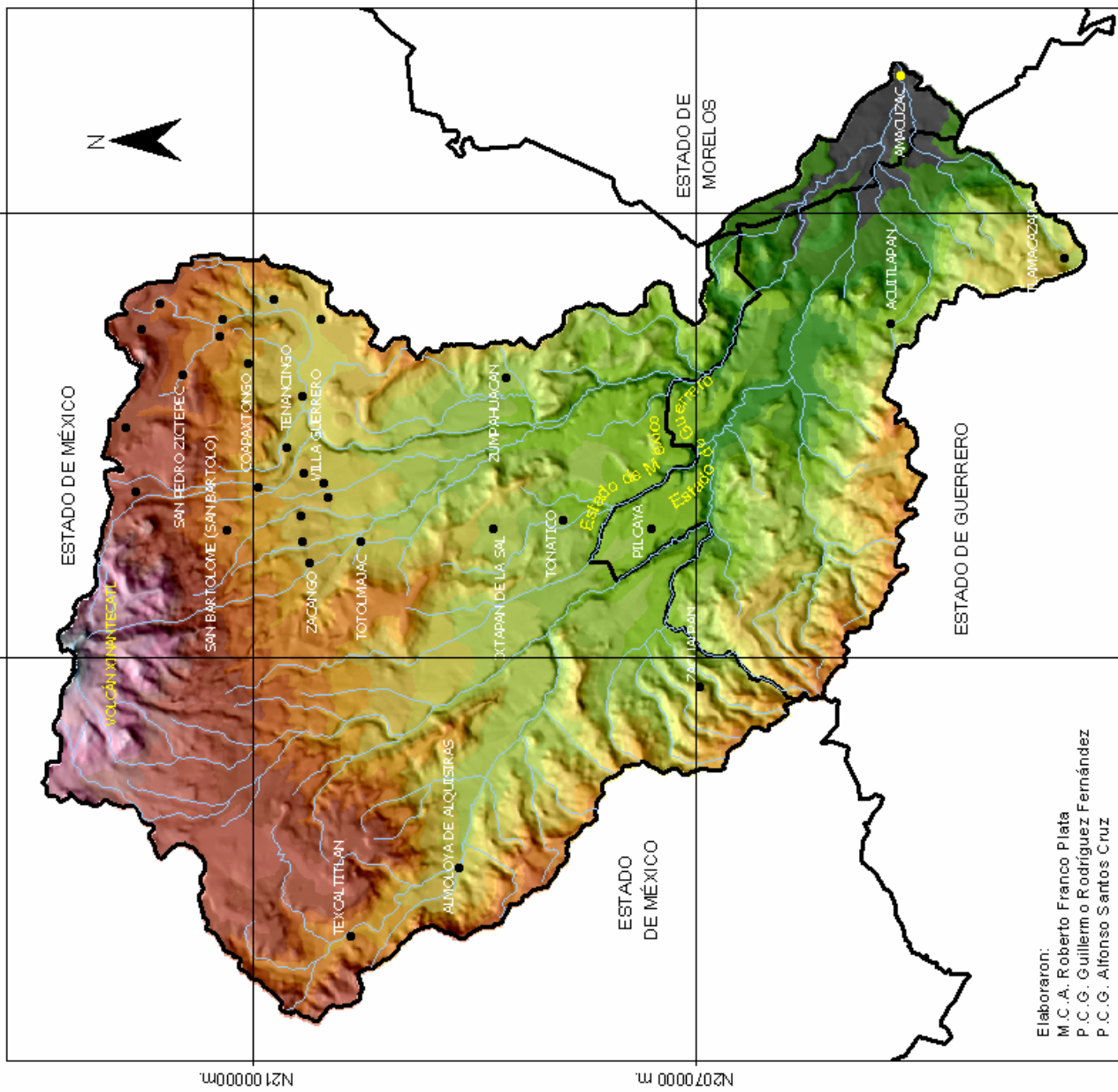
El nacimiento de la cuenca se encuentra en las faldas del volcán Xinantecatl, el cual pertenece a la región fisiográfica denominada “Subprovincia Lagos y Volcanes de Anahuac”. La subcuenca se extiende desde esta región fisiográfica hasta la subprovincia “Sierras y Valles Guerrerenses” que se extiende desde el municipio de Ixtapan de la Sal, Estado de México y abarca la parte norte del estado de Guerrero y la sección poniente del estado de Morelos. Dicha subprovincia se caracteriza por un complejo relieve conformado primordialmente por amplias depresiones y valles profundos que se extienden hasta la localidad de Amacuzac en donde la cuenca descarga sus aguas. El rango de altitud de la cuenca oscila de los 640 m.s.n.m. hasta los 4656 m.s.n.m.

### 3.10.1.4. Hidrología superficial.

La subcuenca está conformada por una red de drenaje dendrítica de tributarios perennes e intermitentes que nacen y descienden desde las faldas del volcán Xinantecatl y los remanentes formados por la subcuenca Cutzamala. Las principales corrientes hídricas superficiales están representadas por los ríos Meyuca, Chalma y Almoloya que aportan un flujo perenne que nace en el Estado de México. Estas corrientes continúan su recorrido hasta el estado de Guerrero y Morelos donde los tributarios Calcáceo y Zempoala convergen y riegan sus aguas hasta el punto exutorio. En la página siguiente se muestra un mapa de ubicación de la cuenca Amacuzac.

Es importante resaltar que la presentación de los resultados, producto de la aplicación del módulo hidrogeomático sobre la cuenca Amacuzac son expuestos en el Capítulo IV.

# MAPA HIPSOMÉTRICO CON DIVISIÓN POLÍTICA DE LA CUENCA AMACUZAC



Elaboraron:  
 M.C.A. Roberto Franco Plata  
 P.C.G. Guillermo Rodríguez Fernández  
 P.C.G. Alfonso Santos Cruz

**Universidad Autónoma del Estado de México**  
 Facultad de Geografía  
 Licenciatura en Ciencias Geoinformáticas

## Simbología

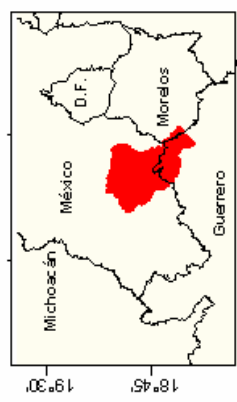
**Rasgos Naturales y División política.**

- Localidades con población > 30000 habts.
- Límites estatales
- Corrientes de la red de drenaje

**Hipsometría:**

- 640 - 730 m.
- 1645 - 1690 m.
- 2462 - 2600 m.
- 3880 - 3910 m.
- 4260 - 4460 m.

## Referencia espacial:



Proyección: UTM, Zona 14 (INEGI)  
 Datum: Meade's Ranch  
 Esferoide: Clarke, 1866  
 Factor de Exageración vertical: 1.5  
 Método de modelación: TIN

# CAPÍTULO IV

## PRUEBA DEL MÓDULO

### HIDROGEOMÁTICO

Los resultados finales obtenidos se resumen en la creación del módulo hidrogeomático y su sistema asociado de ayuda para el cálculo de los parámetros fisiográficos de cualquier cuenca. El módulo hidrogeomático está integrado por los siguientes submódulos:

1. Submódulo Preprocesamiento. Fue concebido para garantizar la adquisición de una red de drenaje conectada y direccionada en todos sus vectores respecto al vector exutorio. El proceso de direccionamiento y dirección se realiza en función de dos métodos: proceso manual, en el cual el usuario escoge el vector que considera, contiene la exutoria; proceso automático en el cual se yuxtapone espacialmente el Modelo Numérico de altitud (MNA) de la cuenca evaluada y la red de drenaje y a partir de una implementación *brute force*, se encuentra el vector exutorio, redireccionarlo en su sentido correcto, conectando y direccionando los vectores restantes de la red de drenaje

2. Submódulo Obtención de parámetros fisiográficos: Concebido para el cálculo formal de los parámetros fisiográficos de la cuenca, una vez que se cuenta con una red de drenaje coherente con dirección de los vectores hacia la exutoria, un tema poligonal de cuenca y un MNA.

El sistema de ayuda por su parte, fue creado para asistir al usuario en el entendimiento del diseño y funcionamiento general de cada submódulo que se ejecuta desde la misma ventana de los submódulos restantes.

Con relación a las plataformas de implementación y creación de los submódulos se tiene lo siguiente:

- Los submódulos “Preprocesamiento” y “Obtención de parámetros fisiográficos” se implementaron en el lenguaje de programación *Avenue* y se empleó el software *ArcView* 3.1 para validar su estructura.
- El sistema de ayuda de ayuda se programó con la ayuda del lenguaje de programación *Microsoft Visual Basic 6.0* pero también se usaron recursos provenientes de los software *JAVA LandSerf*, *Terragen V.901* y *Macromedia Flash MX 2004*.

Tanto el módulo como el sistema de ayuda están contenidos en una biblioteca de datos que el usuario puede instalar a partir de un *setup* de instalación (incluido en el disco compacto que acompaña ésta tesis). Éste descomprime los archivos necesarios y los coloca en el directorio de trabajo que aloja los archivos \*.avx de la máquina huésped del usuario.

Cuando se acciona el *setup*, el usuario tan sólo debe especificarle al programa, el directorio que contiene las extensiones, en caso de que su instalación de *ArcView* no resida en la ubicación clásica que manejan la mayoría de los usuarios (C:\ESRI...). En la figura 37 se muestra la interfaz de la pantalla para la instalación del módulo hidrogeomático:

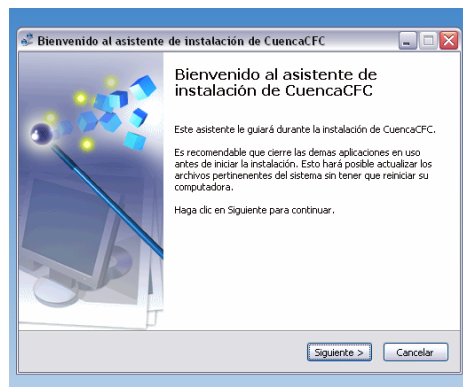


Figura 37. Apariencia del programa de instalación del módulo hidrogeomático.

Una vez concluido el proceso de instalación, se instala un archivo \*.avx en el directorio que contiene las extensiones. Este archivo se denomina 000Cuenca.avx y corresponde a la extensión de trabajo de los primeros dos submódulos.

Además de la extensión, se instala una carpeta denominada CFC\_Ayuda que contiene al sistema de ayuda y sus archivos auxiliares.

Cuando se reinicia el programa *ArcView*, el usuario debe activar la extensión previamente instalada desde el menú **FILE**, opción **EXTENSIONS**. Cuando aparece el cuadro de selección de extensiones debe escogerse **CuencaCFC** (figura 38).

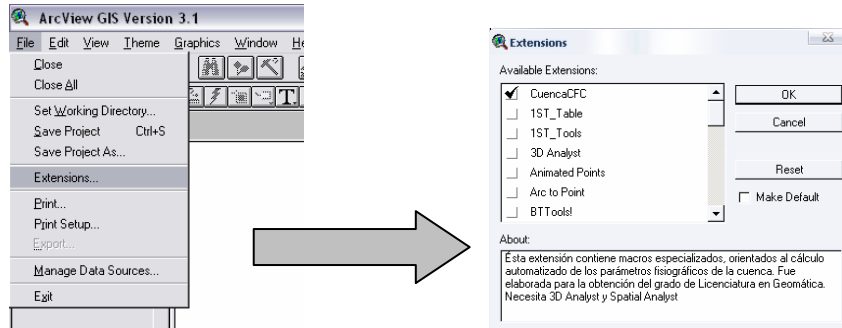


Figura 38. Activación de la extensión en *ArcView*.

Posteriormente se crea en la barra de tareas un menú llamado “*Cuenca*” y éste contiene los dos submódulos y el sistema de ayuda (Figura 39).



Figura 39. Activación del módulo hidrogeomático con la aparición del menú CUENCA en la barra de menús de *ArcView*.

Las opciones del menú contienen *scripts* orientados a la ejecución de los submódulos. En la figura 40 se muestra la función de cada opción una vez que se ejecuta el menú:

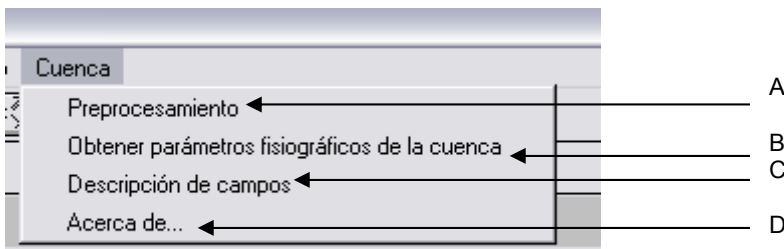


Figura 40. Estructura del módulo hidrogeomático dentro del menú de opciones.

La función de cada opción se lista a continuación

- A: Activa el Submódulo “Preprocesamiento”.
- B: Activa el Submódulo “Obtención de parámetros fisiográficos”.
- C: Ejecuta el Submódulo de ayuda para el significado de los campos generados una vez que se ejecuta el Submódulo “Obtención de parámetros fisiográficos”.
- D: Ejecuta el formulario de vista de créditos del trabajo.

## 4.1. PROCESO DE PRUEBA Y EVALUACIÓN DEL SUBMÓDULO PREPROCESAMIENTO

Para la prueba del módulo Preprocesamiento, se emplearon 2 archivos de red de drenaje cuyo segmento que contenía a la exutoria auténtica estaba invertido. Aunque para esta prueba se conocía previamente la dirección correcta de tal segmento, el módulo puede trabajar aún sin conocer este dato detectando cuando el flujo correcto está invertido. Para ejecutar el submódulo Preprocesamiento, se acudió al menú Cuenca y posteriormente a la opción Preprocesamiento. Con esto apareció un cuadro de diálogo similar al de la figura 41:

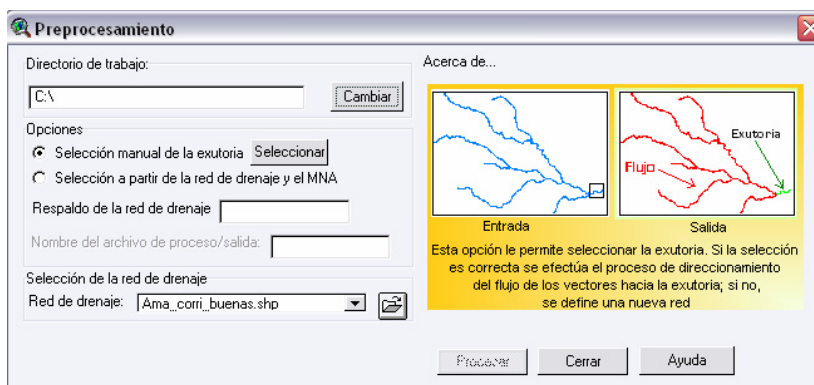


Figura 41. Apariencia física del submódulo Preprocesamiento posterior a su activación.

El diálogo solicitó los siguientes aspectos:

1. Elección del Directorio de trabajo. El directorio predefinido es la unidad raíz C:\, pero se puede elegir otro al presionar el botón “Cambiar”.
2. Elección de uno de los 2 métodos para la búsqueda de la exutoria. El primero, definido como “Selección manual de la exutoria” y el segundo llamado “Selección a partir de la red de drenaje y el MNA”.


En función de la elección del usuario se despliegan diversos elementos tales como la referencia del proceso y los nombres de salida de los archivos de proceso.

### 4.1.2. Análisis del método “Selección manual de la exutoria”.

A continuación se muestra el diagrama de procesos que se realizan a partir de la selección del método “Selección manual de la exutoria”. Para este ejercicio se empleó una red de drenaje llamada “*AmaRed.shp*”.

PASO 1: Selección del tema de la red de drenaje.



Una vez que se introdujo el tema con la ayuda del botón  y éste se muestra en el control A (combo box), se dió clic en el botón “Seleccionar”. Al hacer esto, aparecen 2 botones (Controles B y C). El control B permite reiniciar la operación de selección de la red de drenaje, en tanto C acepta la operación y permite seleccionar el vector exutorio (Figura 42).

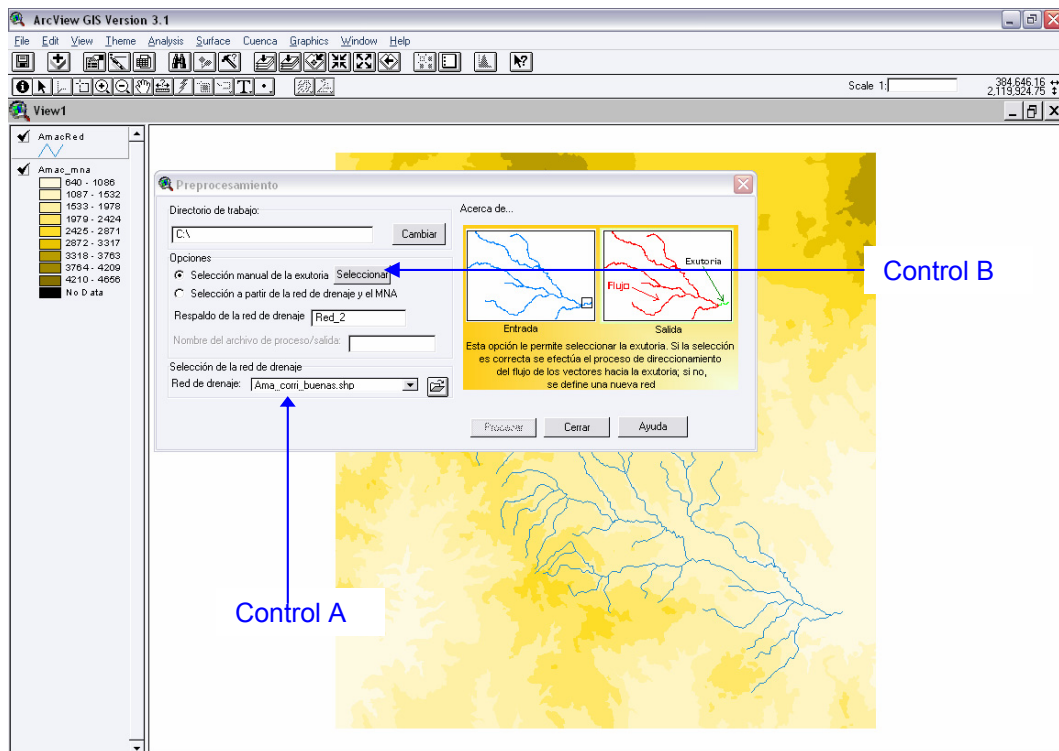


Figura 42. Selección y adición del tema lineal de la red de drenaje.

PASO 2: Selección del vector exutorio (segmento de la red de drenaje que contiene a la exutoria en su nodo final).

Al presionar el control B (botón “Seleccionar”), se seleccionó sobre la vista el segmento que contiene a la exutoria; en este proceso se puede hacer uso de las herramientas de zoom proveídas por la aplicación. Una vez seleccionado el vector exutorio, se escribió en el control C (caja de texto) el nombre del respaldo la red de drenaje original (Figura 43):

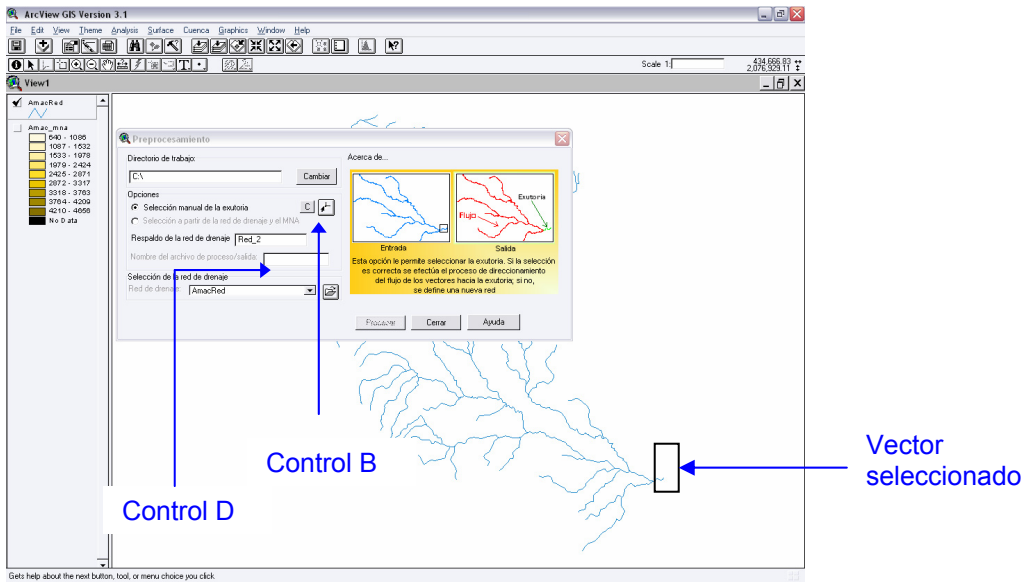


Figura 43. Selección del vector que contiene a la exutoria.

Al seleccionar sólo un segmento, el submódulo creó un nuevo respaldo de la red de drenaje original y realizó un acercamiento al vector seleccionado. En este momento, se escribió un nombre de salida para la nueva de drenaje en el control E (*Text Box*) (Figura 44).

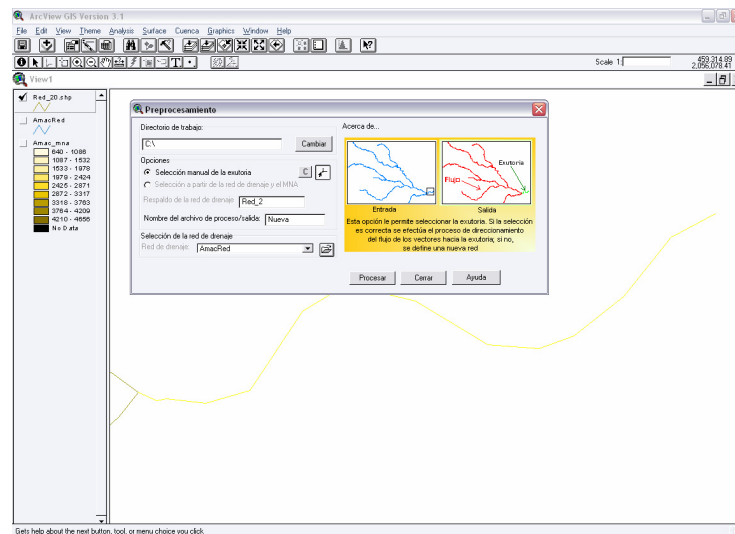


Figura 44. Vector exutorio escogido por el usuario que está resaltado respecto a los demás vectores de la red de drenaje.

#### PASO 4: Ejecución del proceso.

Una vez que escribió el nombre de salida de la nueva red de drenaje, se presionó el botón “Procesar” para evaluar las operaciones necesarias a realizar. Por ello, aparece un mensaje que pregunta si el flujo es correcto, es decir, si se debe conectar el resto de la red de drenaje

al vector que seleccionó (si la respuesta = Yes) ó debe primero invertir el vector que seleccionó y luego conectar los vectores restantes (sí la respuesta = No) (Figura 45).

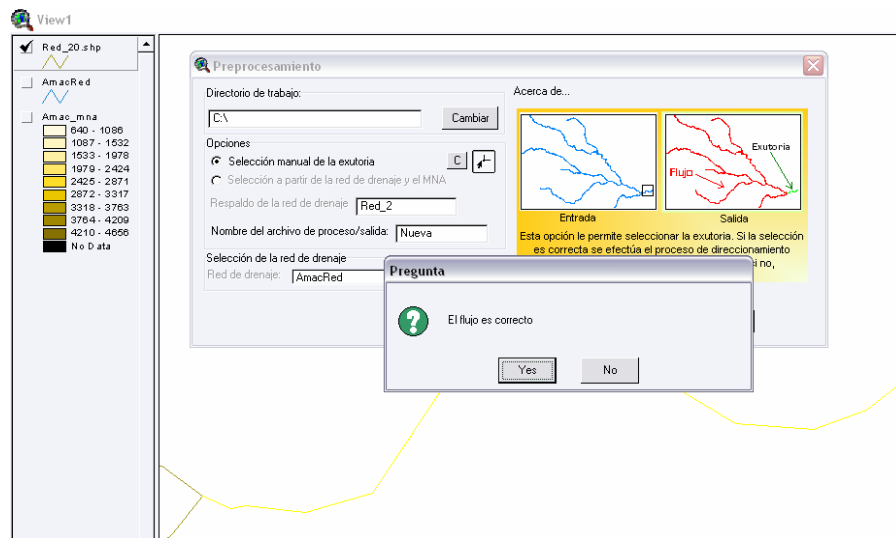


Figura 45. Ejecución del proceso de conexión.

#### PASO 5: Finalización del Proceso.

A partir de algoritmos complejos, el submódulo realizó las operaciones especificadas por el mensaje (Paso 4) y por último pregunta a partir de un mensaje, si se desea que se calculen los parámetros de la cuenca pero con la red de drenaje coherente y conectada (Figura 46).

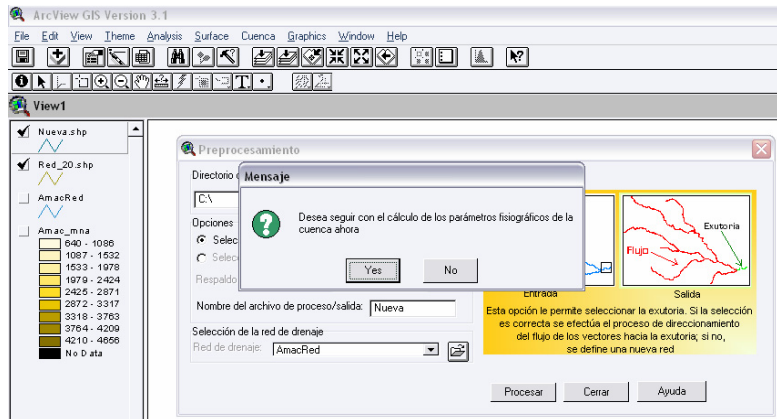


Figura 46. Finalización del proceso.

En la figura 47 se expone el esquema de resumen de los procesos seguidos para el análisis del método “Selección manual de la exutoria”.

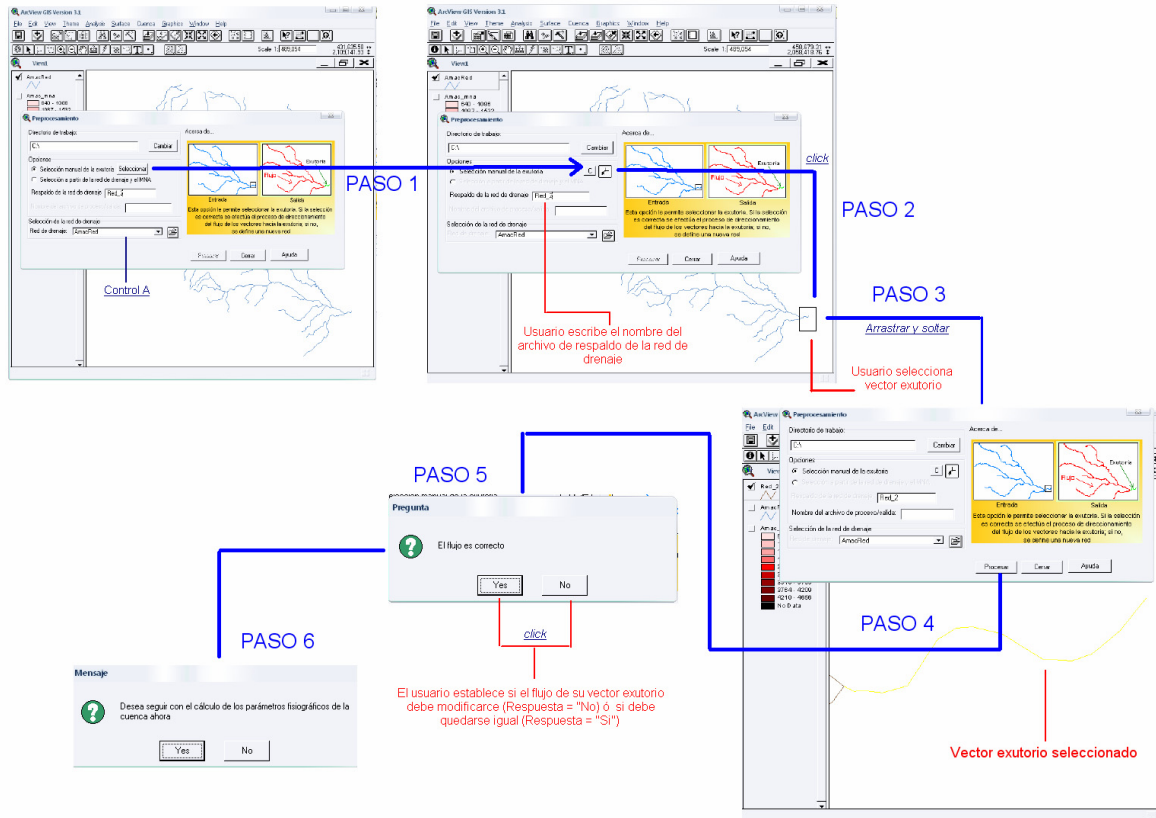


Figura 47. Secuencia ocurrida durante la puesta en marcha del método1 del submódulo Preprocesamiento.

Como resultado de esta operación, se obtuvieron dos nuevos archivos: uno de respaldo llamado *Red\_2.shp* y un archivo denominado "*Nueva.shp*" que representa una red perfectamente bien conectada respecto a la exutoria. Esto se puede observar si habilitamos una leyenda de flujos.

Es significativo mencionar que el submódulo tiene la capacidad de dar al usuario la libertad de escoger un vector que aún no siendo el exutorio verdadero se puede instaurar como tal. Para ello, se programó un novedoso y complejo algoritmo capaz de conectar la red de drenaje a dicho segmento y asignarle la propiedad a nivel de tabla (no desde el punto de vista espacial) como exutorio. Un vector que contiene a la exutoria es aquel cuyo valor numérico de su nodo final es único, incluso entre los demás nodos iniciales y finales del resto de vectores de la red de drenaje.

Cuando se emplea esta opción, siempre se obtienen como salida dos archivos: un respaldo de la red original y una red nueva conectada y coherente.

### 4.1.3. Análisis del método “Selección a partir de la red de drenaje y el MNA”.

Cuando el usuario favorece a esta opción, se le pide especificar la Red de drenaje que desea usar. A continuación se muestra el diagrama de procesos que se realizan a partir de la selección de este método. Para este ejercicio se empleó una red de drenaje llamada “AmacRed2.shp”.

PASO 1: Selección de temas de trabajo.

En este paso, se introdujo el tema de la red de drenaje que se muestra en el control A (combo box) y el tema raster del MNA que aparece en el control B (combo box). También se escribió el nombre del tema de salida referido en el control D (Text box) y posteriormente se accionó el botón “Procesar” (Control C) con un clic.

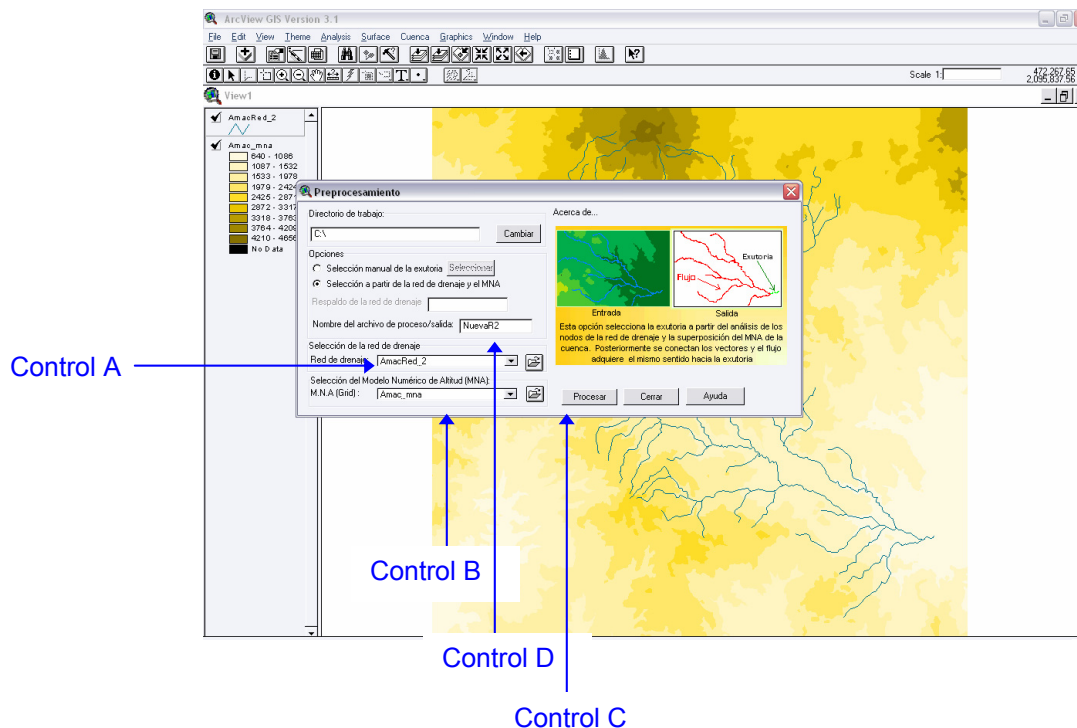


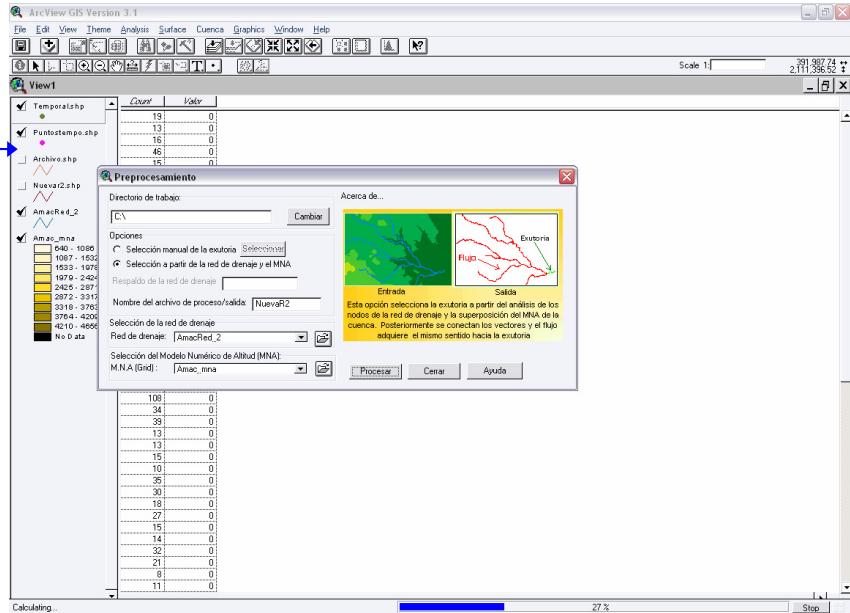
Figura 48. Selección de los temas de trabajo: MNA y red de drenaje.

PASO 2: Ejecución del proceso.

Después de presionar el control D, el módulo empieza a trabajar mediante diversos algoritmos que sobreponen espacialmente la red de drenaje con el MNA a fin de encontrar el segmento con menor altitud. Estas operaciones requieren el uso de archivos temporales.

Una vez que finalizó la operación se muestra un informe del número de vectores conectados (figura 49).

Temas temporales generados



Informe de resultados

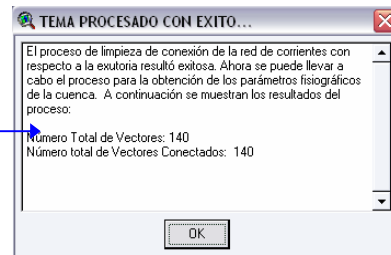


Figura 49. Procesamiento de los temas de trabajo y presentación del informe de resultados.

### PASO 3: Finalización del Proceso.

Por último se despliega un mensaje cuestionando si se desea que se calculen los parámetros de la cuenca pero con la red de drenaje coherente y conectada.

En la figura 50 se expone el esquema de resumen de los procesos seguidos para el análisis del método “Selección a partir de la red de drenaje y el MNA”.

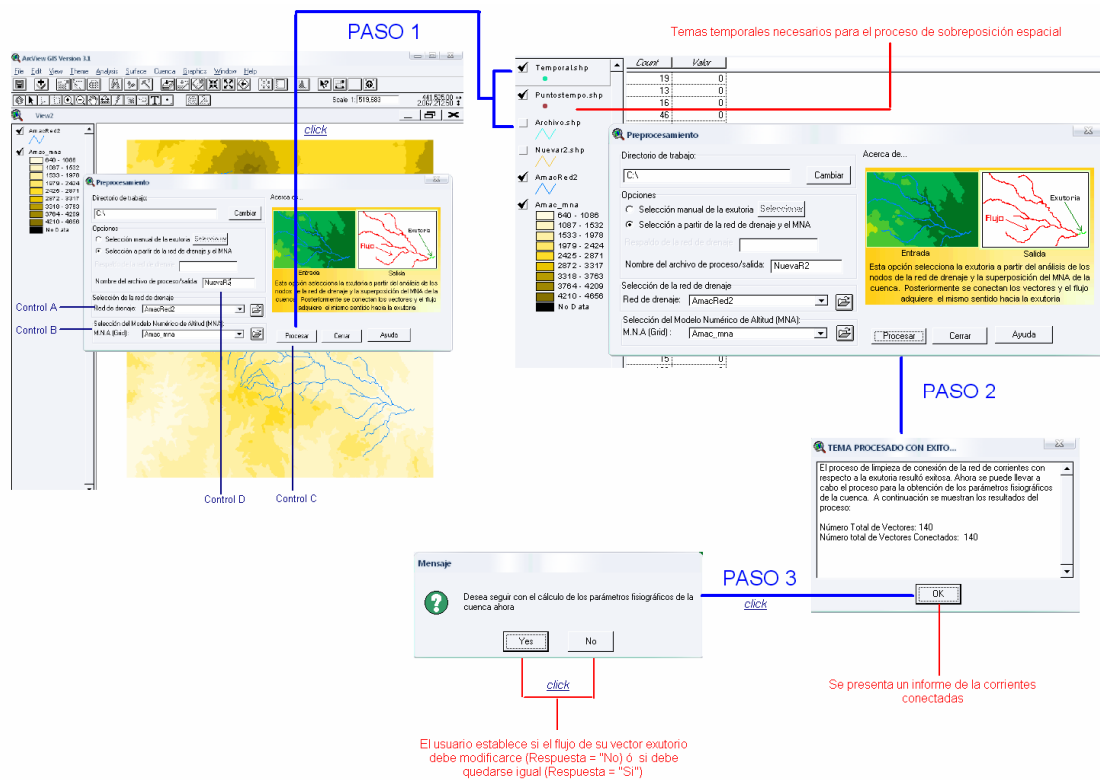


Figura 50. Secuencia ocurrida durante la puesta en marcha del método 2 del submódulo Preprocesamiento

Como resultado de esta operación, se obtuvo un nuevo archivo llamado *NuevaR2.shp*. Este archivo, al igual que el obtenido en el proceso anterior, representa una red coherente y conectada respecto a la exutoria.

#### 4.1.4. Diferencias entre los archivos originales de la red de drenaje y de salida.

Como se mencionó anteriormente, para la prueba del primer método se empleó un archivo *shapefile* lineal vectorial llamado "*AmacRed.shp*," entre tanto para el segundo, se usó un archivo similar denominado "*AmacRed2.shp*". Ambos archivos tuvieron como característica común que la dirección del flujo del vector exutorio tenía una dirección opuesta a la verdadera y los resultados arrojaron la obtención de dos nuevos archivos *\*.shp* de red de drenaje en donde la dirección de la exutoria corresponde a la existente en el medio natural (en dirección a la localidad Amacuzac, estado de Morelos).

Los archivos obtenidos se denominaron "*Nueva.shp*" para el primer método y "*NuevaR2.shp*" para el segundo. En la figura 51 se muestra la diferencia entre una red de drenaje coherente y un caso contrario.

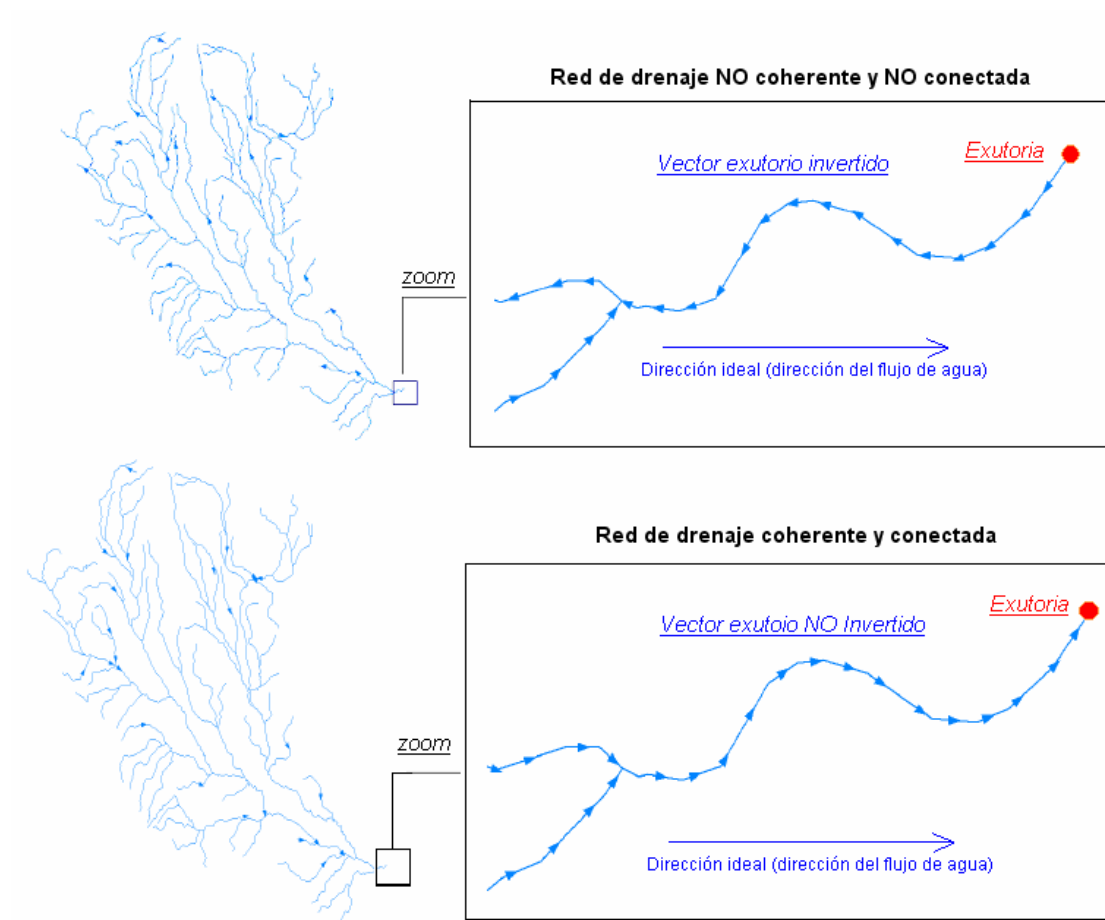


Figura 51. Diferencia entre una red conectada y una invertida.

En la figura anterior se muestra una red de drenaje con la dirección cambiada respecto a su exutoria (arriba) y una red de drenaje en que dicha dirección aparece correcta (abajo). Estos fueron los resultados comunes aplicados a los archivos originales respecto del empleo de los dos métodos mencionados anteriormente.

#### 4.2. EVALUACIÓN DEL SUBMÓDULO OBTENCIÓN DE PARÁMETROS FISIográficos DE LA CUENCA

Para la prueba del módulo Preprocesamiento, se emplearon 3 archivos: red de drenaje conectada, tema de cuenca "Amacuzac" y MNA. Para ejecutar el submódulo, se acude al menú "Cuenca", opción "Obtención de parámetros fisiográficos de la cuenca" del menú en cuestión. Con esto aparece un cuadro de diálogo similar al referido en la figura 52:



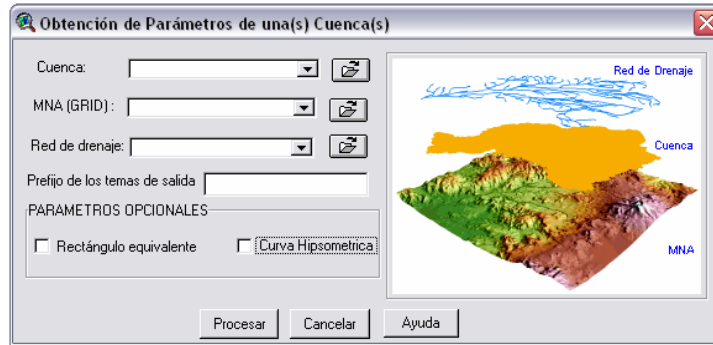



Figura 52. Apariencia del submódulo de cálculo de parámetros fisiográficos.

En las siguientes figuras se muestran los pasos para lograr la ejecución del proceso.

PASOS 1, 2 Y 3: Agregación de temas a la interfaz.

PASO 1: Se comenzó por agregar los temas necesarios. En este sentido, al dar clic en el botón , que aparece al lado de la caja de texto de cuenca, se agregó el archivo correspondiente a la cuenca (*shapefile*) (Figura 53).

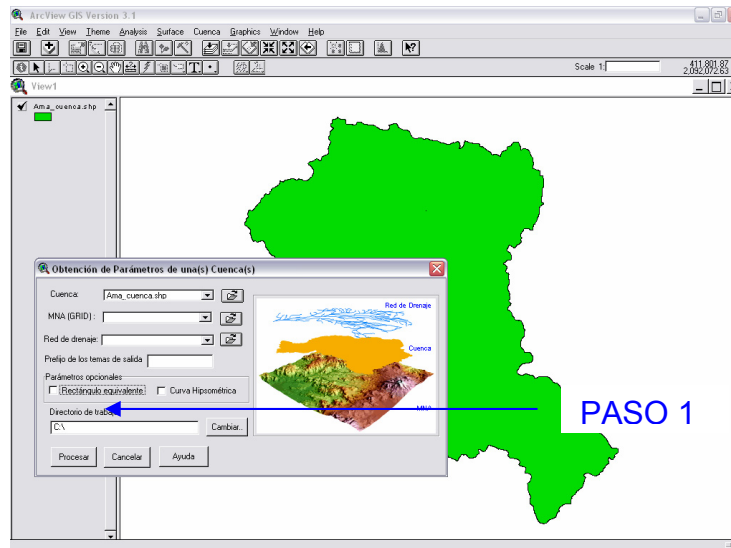



Figura 53. Introducción del tema de la cuenca al ambiente de trabajo

PASO 2: Se agregó el archivo correspondiente al MNA (Grid) a partir de presionar el botón , que aparece al lado de la caja de texto de MNA (Figura 54).

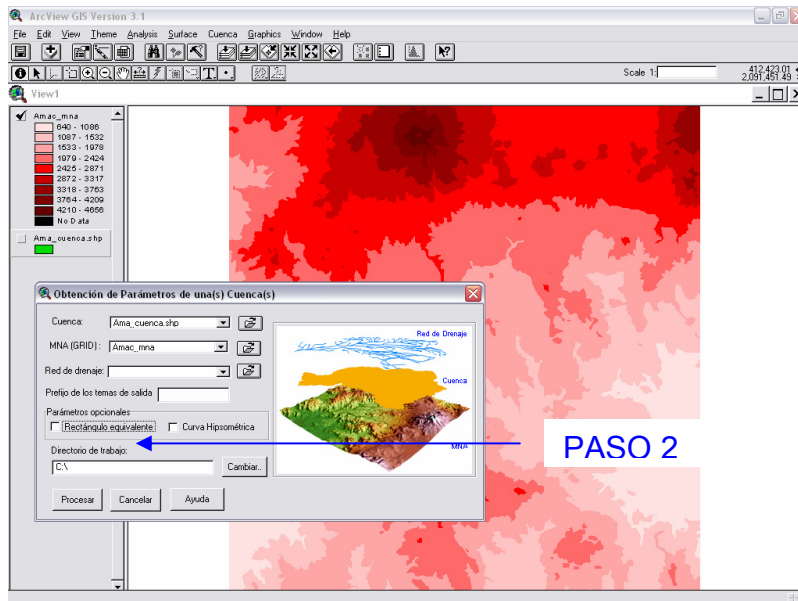



Figura 54. Introducción del tema del MNA al ambiente de trabajo

PASO 3: De igual forma, se agregó el archivo de la red de drenaje a partir de dar clic en el botón  que aparece al lado de la caja de texto de Red de drenaje (Figura 55).

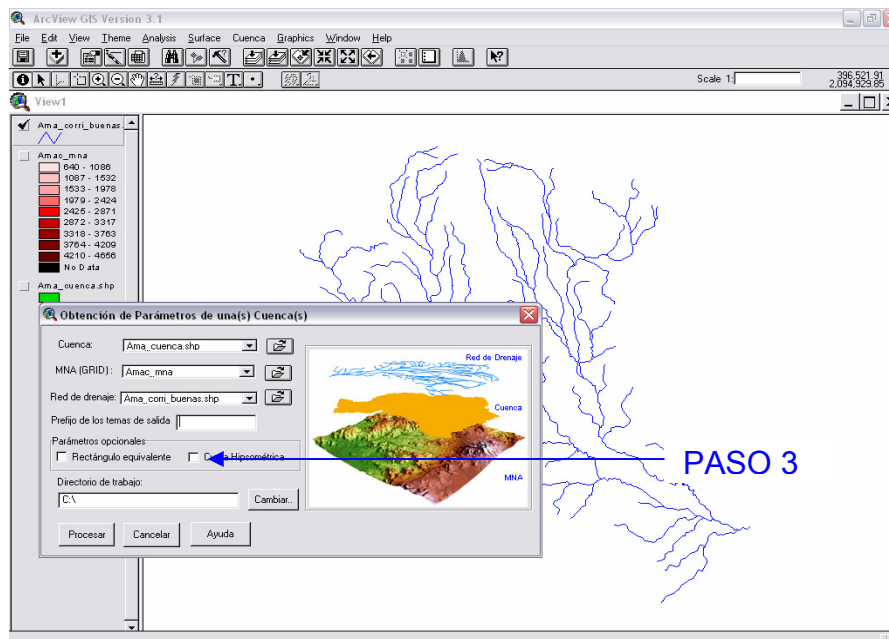


Figura 55. Introducción del tema de la red de drenaje al ambiente de trabajo.

PASOS 4, 5 y 6: Ejecución del módulo y verificación de resultados:

PASO 4: En la caja de texto “Prefijo de los temas de salida”, se escribió un prefijo con el que se pueden identificar a los temas de salida. Se eligieron los parámetros opcionales con los *checkbox* (curva hipsométrica y rectángulo equivalente) y se seleccionó la carpeta en la que

se salvaron los temas de salida. Finalmente se activó el botón “Procesar” para obtener los parámetros correspondientes a dicha cuenca (Figura 56).

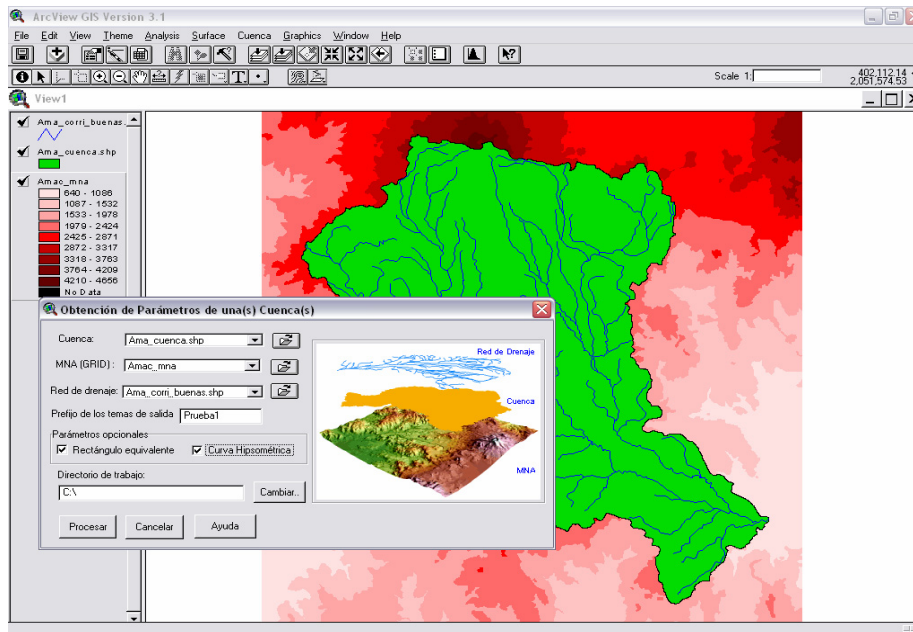


Figura 56. Procesos de ejecución del submódulo.

PASO 5: Una vez que finalizado el proceso, se procedió a revisar los resultados que se obtuvieron:

- Nuevo tema de la cuenca procesada, con una tabla asociada sobre la cual se escribió el valor de todos los parámetros calculados (Figuras 57 y 57a).
- Nuevo tema lineal correspondiente a la red de drenaje clasificada de acuerdo a Strahler (Figura 58).
- Nuevo tema lineal correspondiente al río principal de red de drenaje (Figura 59).
- Nuevo tema puntual ubicado en cada nodo inicial y final de cada corriente (Figura 60).
- Tema GRID correspondiente al producto algebraico-matricial del MNA y la cuenca (previo proceso de rasterización). Este tema surge en función del cálculo de los parámetros opcionales: rectángulo equivalente, relación hipsométrica y curva hipsométrica (Figura 61).
- Gráfica del rectángulo equivalente con una tabla asociada de cálculo (Figura 62 y 62a).
- Gráfica de la curva hipsométrica (Figura 63).

El tema desplegado es una copia del tema original de cuenca y su tabla contiene todos los parámetros numéricos que esta extensión es capaz de calcular (Figura 57).

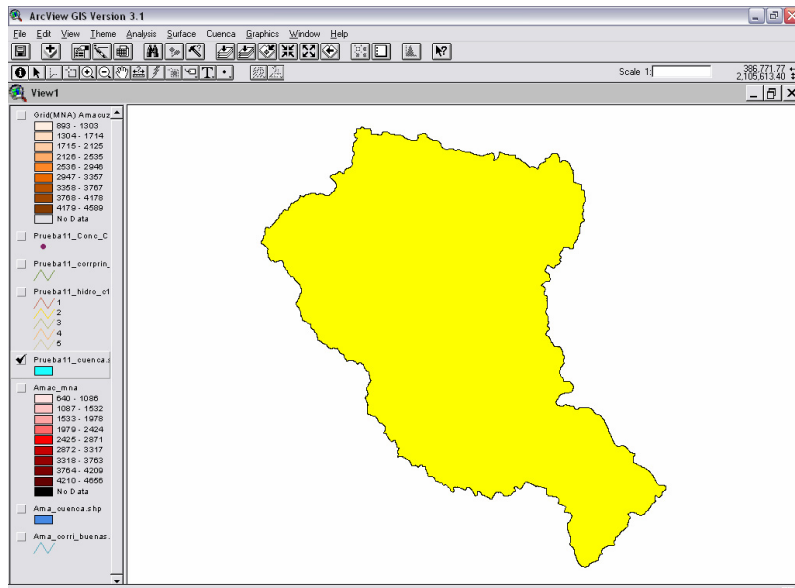


Figura 57. Tema desplegado después de la ejecución del submódulo. Éste es una copia del original y contiene asociada una tabla con los cálculos.

La figura 57a corresponde a la tabla asociada al tema que contiene todos los parámetros numéricos concernientes a la cuenca Amacuzac. Dividida en dos partes para su mejor visualización, la tabla describe los campos que muestran los resultados finales. Es importante reiterar que esta extensión puede procesar tanto una cuenca como varias incluidas en un solo tema.

Attributes of Prueba11_cuenca.shp															
Shape	Nombre	Area	Area_Sup_Real	Perimeter	AltMed_m	FenMed_G	Kc	Rf	Rie	RCl	Num_Corr	Long_Cor	Oc_Max	Dis	Dd
Polygon	Amacuzac	2241.83	2241.83	278.11	2103.4	9.6	1.645	0.230	0.541	0.364	140	906.841	5	0.06	0.40

Rfb_RMC	Rfb_VEN	Rfb_NCE	Lmc_Km	Lcp_Km	Kipich1	Kipich2	ZMax	Zmin	DtE	ID_Cuenca	Rh
2.309	2.499	123	98.668	71.491	216.01	184.32	3676.00	897.00	2779.00	1	2.0517

Figura 57a. Tabla asociada \*.dbf del tema procesado de la cuenca. Nótese que contiene múltiples campos, producto del cálculo de los parámetros correspondientes.

En la figura 58 se expone el nuevo tema lineal de la red de drenaje correspondiente a la red de drenaje clasificada de acuerdo a Strahler. El módulo asigna un color diferente a cada orden.

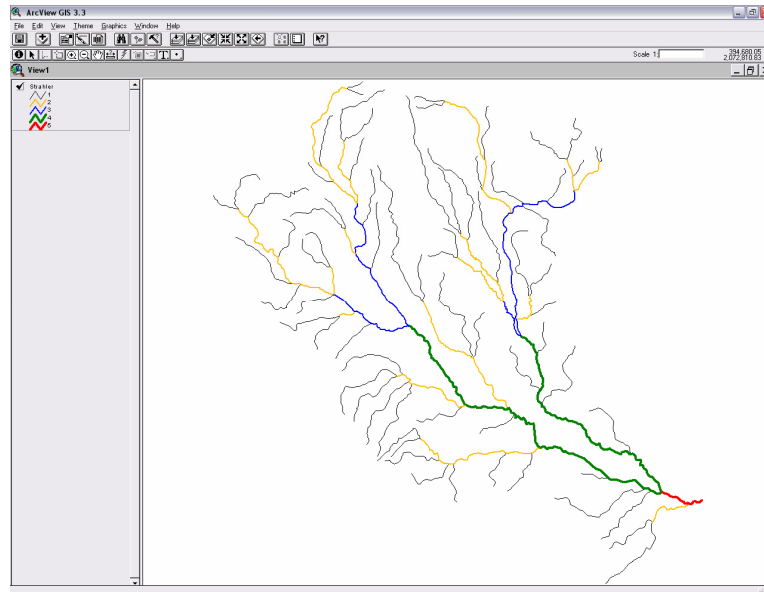


Figura 58. Red de drenaje clasificada o jerarquizada de acuerdo a Strahler.

La figura 59 visualiza el tema de corriente principal que fue obtenido en el proceso. Esta corriente va desde el punto más alto de la cuenca hasta la corriente exutoria. La obtención de la corriente principal resultó un proceso complicado a razón de la gran cantidad de comparaciones necesarias para conocer las corrientes que forman parte del río principal en función de la ubicación de la exutoria al mismo tiempo que se guardan los identificadores de cada línea.

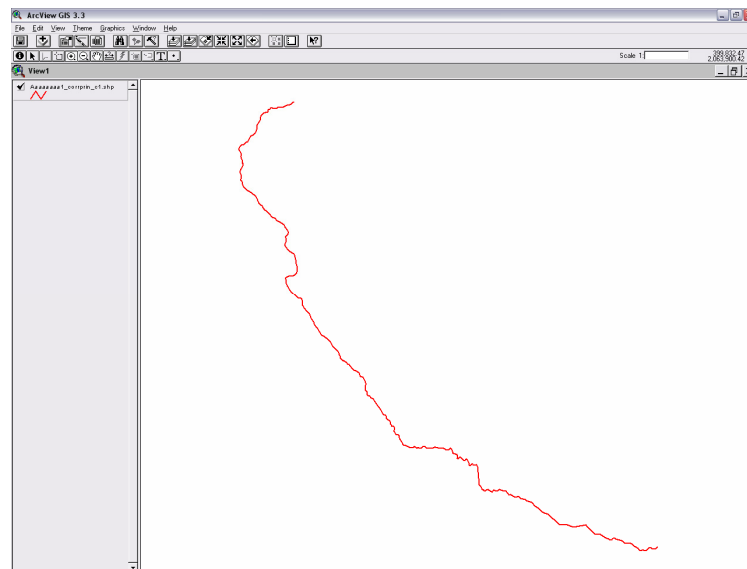


Figura 59. Nuevo tema lineal correspondiente a la corriente o río principal de red de drenaje.

Se obtuvo un tema de puntos que corresponde al vector inicial de cada corriente. Este tema se emplea para calcular la longitud existente entre estos puntos iniciales hacia el último

punto de la corriente exortoria y de esta manera calcular la longitud total de todas las corrientes (Figura 60). Los algoritmos empleados, analizan cada corriente y extraen sus nodos iniciales y finales a fin computar el valor de la longitud de cada corriente, guardar dicho valor y al final hacer una sumatoria de todos para conocer este parámetro.

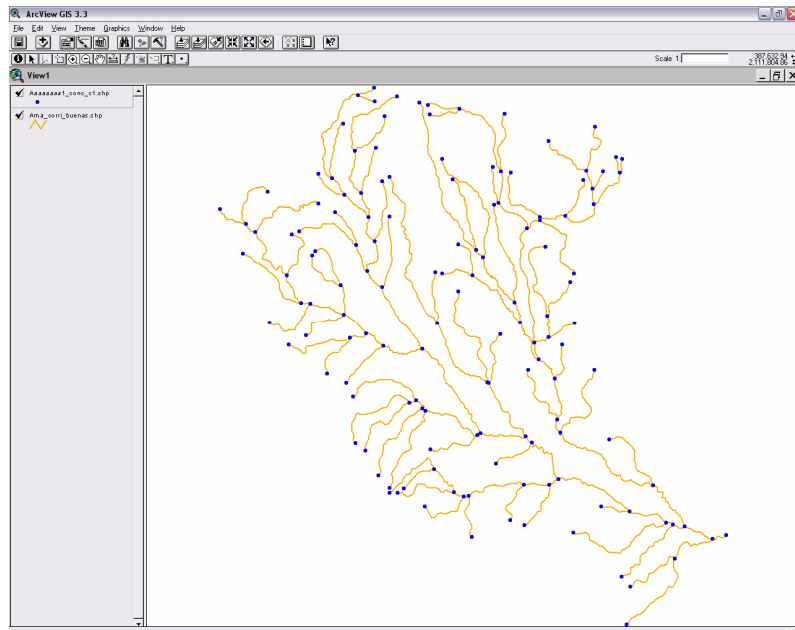


Figura 60. Nuevo tema puntual ubicado en cada nodo inicial y final de cada corriente.

En la figura 61 se visualiza el MNA recortado respecto al tema de la cuenca y el MNA original. A partir de tal recorte, se calculó la relación hipsométrica, se dibujó la gráfica y se obtuvo el rectángulo equivalente con su tabla asociada de superficies.

Antes: entrada del tema:

Después: salida del tema:

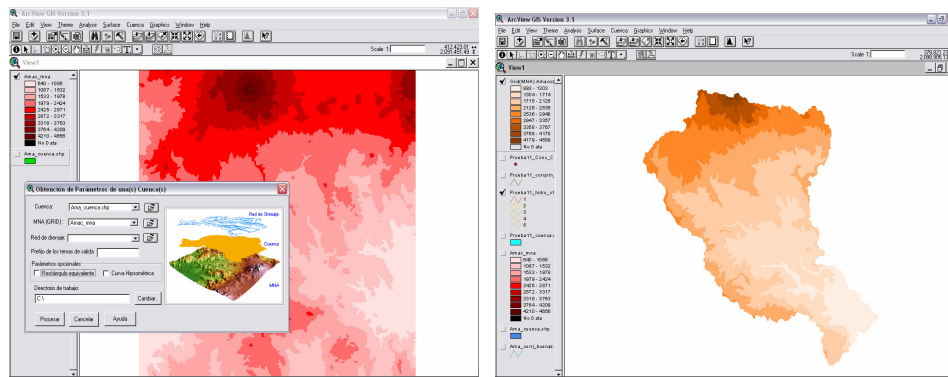


Figura 61. Tema *grid* correspondiente al producto algebraico-matricial del MNA y la Cuenca.

En las imágenes 62 y 62a se pueden visualizar el gráfico del rectángulo equivalente de la cuenca y su tabla de cálculo respectivamente. Los hidrólogos y especialistas suelen usar el

rectángulo equivalente para explicar el comportamiento morfométrico del terreno que contiene a la cuenca.

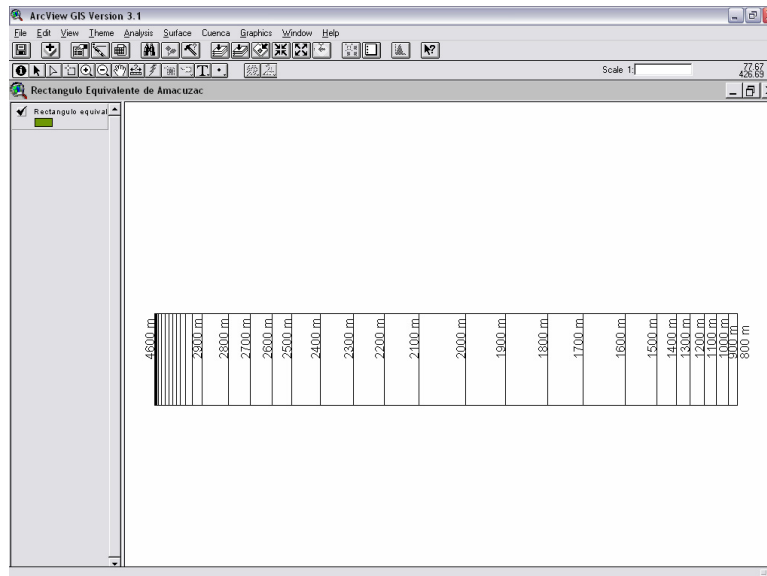


Figura 62. Tema del rectángulo equivalente para la cuenca evaluada.

Altimax	Altimin	Superficie
800.0000	800.0000	81.0000
900.0000	1000.0000	3.352.0000
1000.0000	1100.0000	4.957.0000
1100.0000	1200.0000	4.582.0000
1200.0000	1300.0000	5.612.0000
1300.0000	1400.0000	5.072.0000
1400.0000	1500.0000	7.500.0000
1500.0000	1600.0000	12.236.0000
1600.0000	1700.0000	16.104.0000
1700.0000	1800.0000	12.733.0000
1800.0000	1900.0000	16.144.0000
1900.0000	2000.0000	15.407.0000
2000.0000	2100.0000	17.905.0000
2100.0000	2200.0000	13.416.0000
2200.0000	2300.0000	11.859.0000
2300.0000	2400.0000	12.706.0000
2400.0000	2500.0000	10.923.0000
2500.0000	2600.0000	7.418.0000
2600.0000	2700.0000	6.614.0000
2700.0000	2800.0000	8.474.0000
2800.0000	2900.0000	16.001.0000
2900.0000	3000.0000	3.906.0000
3000.0000	3100.0000	2.473.0000
3100.0000	3200.0000	1.900.0000
3200.0000	3300.0000	1.563.0000
3300.0000	3400.0000	1.573.0000
3400.0000	3500.0000	1.452.0000
3500.0000	3600.0000	1.454.0000
3600.0000	3700.0000	1.441.0000
3700.0000	3800.0000	968.0000
3800.0000	3900.0000	601.0000
3900.0000	4000.0000	336.0000
4000.0000	4100.0000	192.0000
4100.0000	4200.0000	191.0000
4200.0000	4300.0000	208.0000
4300.0000	4400.0000	84.0000
4400.0000	4500.0000	14.0000

Figura 62a. Tabla asociada \*.dbf del Tema del rectángulo equivalente.

En la figura 63 se expone la gráfica resultante de la curva hipsométrica, con el eje X representando los valores porcentuales de las áreas que van desde cero hasta A y con el eje Y los valores de altitud sobre el nivel del mar. La importancia de la curva hipsométrica estriba en que representa el relieve del terreno en una gráfica y esto puede dar mayor explicación respecto a la respuesta hidrológica de la cuenca. La gráfica derivada de la curva

hipsométrica mostrada en la figura 63, hace referencia a una cuenca en etapa de equilibrio semi-erosionada de acuerdo a la clasificación propuesta por Campos (1992).

Cabe señalar que en el software *ArcView*, sólo se logró realizar la representación mediante un escategrama puntual, aunque lo más conveniente es que hubiese sido lineal. Por tanto, existió esta limitación del programa en este sentido.

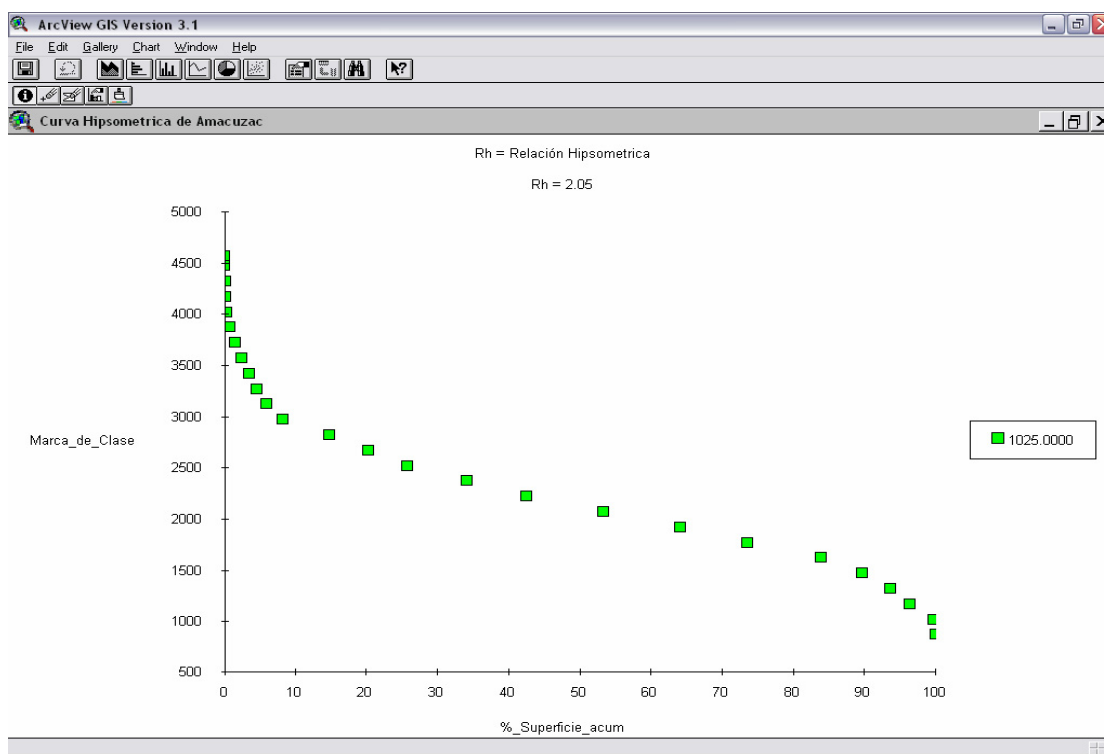


Figura 63. Curva hipsométrica resultante.

Con la aplicación del submódulo de cálculo de los parámetros fisiográficos se obtuvieron los siguientes resultados para la cuenca Amacuzac:

Campo	Descripción de los resultados
Area	Área de la cuenca Amacuzac en kilómetros cuadrados con un resultado de = 2241.832
Perimeter	Perímetro de la Cuenca en Km. con un resultado de = 278.111
Area_Sup_Real	Área de la Superficie Real de la Cuenca en Km2 con un resultado de = 2273.67
AltMed_m	Altura Media de la Cuenca en Metros con un resultado de = 2103.4
PenMed_G	Pendiente Media de la Cuenca en Grados con un resultado de = 9.6
Kc	Coefficiente de Compacidad de la Cuenca con un resultado de = 1.633
Rf	Factor de Forma de la Cuenca con un resultado de = 0.234
Re	Radio de Elongación de la Cuenca con un resultado de = 0.545
RCi	Relación de Circularidad de la Cuenca con un resultado de = 0.369
Num_Corr	Número Total de Corrientes de la Cuenca con un resultado de = 140



<b>Campo</b>	<b>Descripción de los resultados</b>
Long_Corr	Longitud Total de las Corrientes de la Cuenca en Km. con un resultado de = 906.841
Oc_Max	Orden Máximo de Corriente de Strahler de la Cuenca con un resultado de = 5
Ds	Densidad de Corrientes de la Cuenca con un resultado de = 0.06
Dd	Densidad de drenaje de la Cuenca con un resultado de = 0.40
Rb_RMC	Relación Media de Confluencia de las Corrientes de la Cuenca con un resultado de = 2.309
Rb_VEN	Valor Estimado de N: Máximo de las Corrientes de la Cuenca con un resultado de = 2.499
Rb_NCE	Número de Corrientes Estimado de la Cuenca con un resultado de = 123
Lmc_Km	Longitud Máxima de la Corriente Principal en Km. de la Cuenca con un resultado de = 98.668
Lcp_Km	Longitud Axial de la Corriente Principal en Km. de la Cuenca con un resultado de = 71.491
ID	Identificador de la cuenca = 1
Rh	Relación hipsométrica de la cuenca con un resultado de = 2.0517
Kirpich1	Representa el tiempo de concentración empleando el método propuesto por Kirpich. Resultado = 216.01 minutos.
Kirpich2	Representa el tiempo de concentración empleando el método propuesto por Kirpich pero modificado por el Instituto Nacional de Ecología (INE, 2004) Resultado = 184.32 minutos.
ZMax	Establece la altitud máxima en metros de la corriente principal. Resultado = 3676 metros.
ZMin	Establece la altitud mínima en metros de la corriente principal. Resultado = 897 m.
DifZ	Representa la diferencia entre las altitudes máxima y mínima de la corriente principal. Resultado = 2779 metros.

### **4.3. EL SISTEMA DE AYUDA DEL MÓDULO HIDROGEOMÁTICO**

El módulo hidrogeomático contiene un sistema de ayuda que auxilia al usuario en la comprensión del funcionamiento de los submódulos, así como en el significado de los campos escritos en la tabla asociada del tema de la cuenca una vez que se ha concluido el proceso. El sistema de ayuda fue implementado en el lenguaje de programación Visual Basic 6.0 y se emplearon recursos provenientes de los software *Terragen v9.01 for Windows*, *Macromedia Flash Player 8.0 ocx*, *Macromedia Flash MX 2004* y *JAVA LandSerf for Windows*.

Consta de tres submódulos: Ayuda para el Preprocesamiento, Ayuda para la Obtención de parámetros, Acerca de... y Descripción de campos

### 4.3.1. Submódulo de ayuda para el Preprocesamiento:

Al desplegarse el formulario del submódulo Preprocesamiento desde el menú Cuenca, opción Preprocesamiento, aparece una ventana parecida a la figura 64:

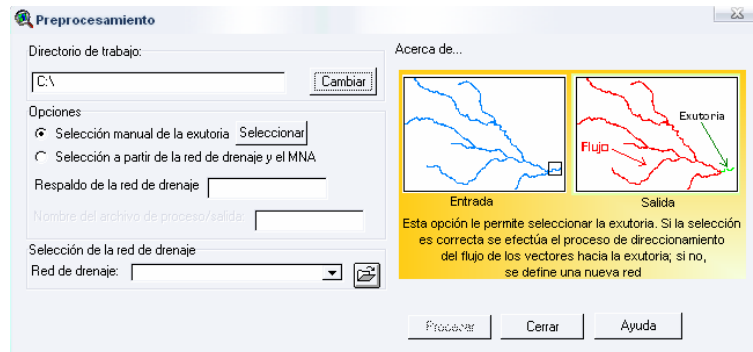


Figura 64. Ubicación del botón ayuda, que se encarga de desplegar el formulario correspondiente.

Al activarse el botón “Ayuda”, aparece el formulario de asistencia al usuario que tiene aspecto similar al presentado en la figura 65.



Figura 65. Interfaz principal del submódulo Preprocesamiento

A continuación se explica su estructura (Figura 66):



Figura 66. Estructura de la interfaz de ayuda del Preprocesamiento

CONTROL A: Cuando se activa este control, se despliega una ventana que muestra el concepto general del Preprocesamiento:



Figura 67. Estructura del control A de la interfaz de ayuda del Preprocesamiento

**CONTROL B:** Cuando se activa este control, se despliega una ventana que muestra la importancia del Preprocesamiento.

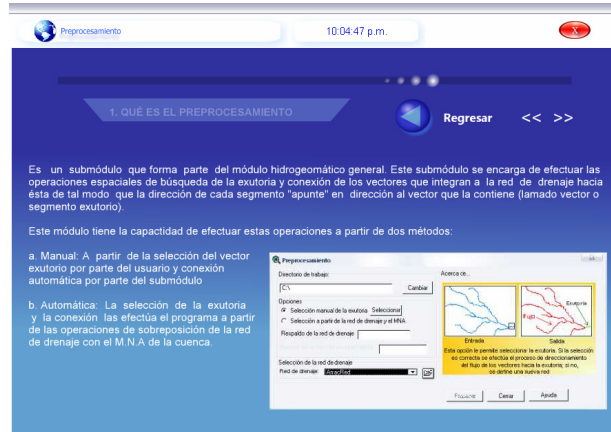


Figura 68. Estructura del control B de la interfaz de ayuda del Preprocesamiento.

**CONTROL C:** Apunta la lógica general que se siguió a lo largo de la programación del Preprocesamiento.



Figura 69. Estructura del control C de la interfaz de ayuda del Preprocesamiento.

**CONTROL D:** Despliega un formulario que explica la estructura física del submódulo.



Figura 70. Estructura del Preprocesamiento.

CONTROL D: Permite identificar los elementos necesarios para correr el submódulo: Red de drenaje y MNA:



Figura 71. Estructura del control E de la interfaz de ayuda del Preprocesamiento.

#### 4.3.2. Submódulo de ayuda para el de cálculo de los parámetros fisiográficos de la cuenca

Al desplegarse el formulario del submódulo de Obtención de parámetros desde el menú Cuenca, opción *Obtener parámetros fisiográficos de la cuenca*, aparece una ventana parecida a la siguiente:

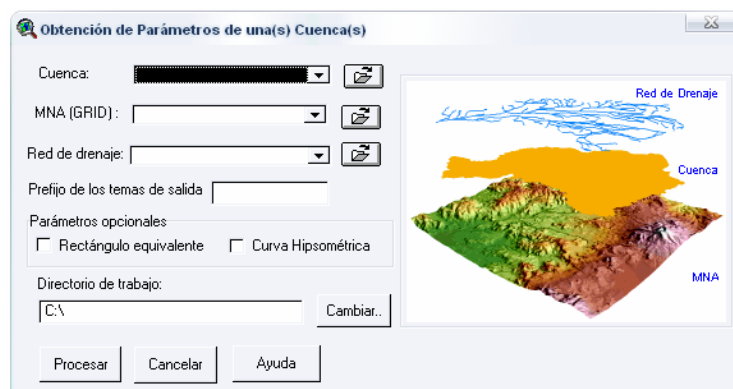


Figura 72. Ubicación del botón ayuda en el interior del submódulo de Obtención de parámetros fisiográficos

Ésta contiene un botón de llamado "Ayuda" que al activarse con un clic, despliega el formulario correspondiente. En la figura 73 se expone el aspecto que tiene el formulario principal de ayuda del submódulo:

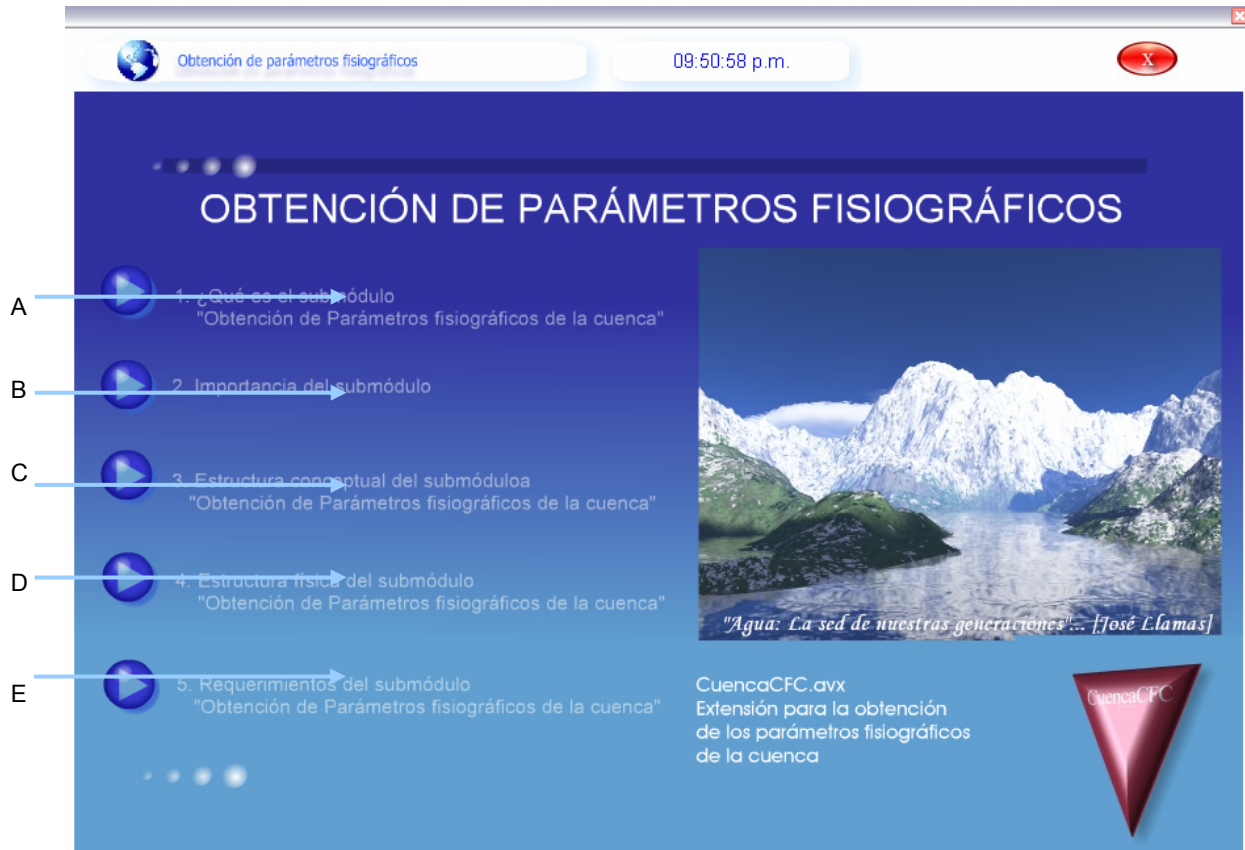


Figura 73. Estructura del formulario de ayuda del submódulo de obtención de parámetros fisiográficos.

CONTROL A: Cuando se activa este control, se despliega una ventana que muestra el concepto general del submódulo

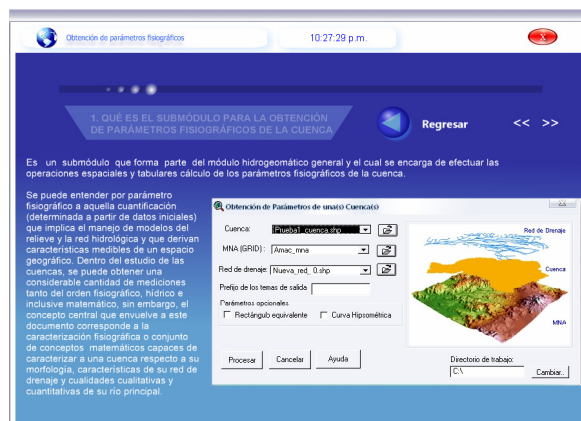


Figura 74. Estructura del control A de la interfaz de ayuda del módulo de obtención de parámetros fisiográficos.



CONTROL B: Muestra al usuario la importancia de contar con un submódulo que calcule los parámetros fisiográficos. Apunta también los parámetros que calcula el submódulo.



Figura 75. Estructura del control B de la interfaz de ayuda del módulo de obtención de parámetros fisiográficos.

CONTROL C: Establece el esquema conceptual del submódulo a fin de que el usuario comprenda la lógica de programación seguida durante la implementación:

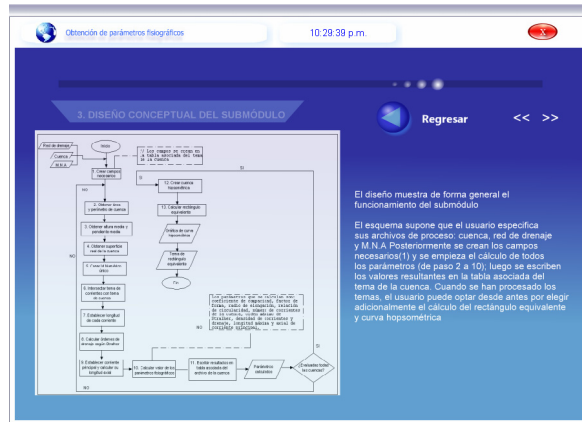


Figura 76. Estructura del control C de la interfaz de ayuda del módulo de obtención de parámetros fisiográficos.

CONTROL D: Establece la estructura física del submódulo con una breve descripción de la función de cada control:



Figura 77. Estructura del control D de la interfaz de ayuda del módulo de obtención de parámetros fisiográficos.

CONTROL E: Permite identificar los elementos necesarios para correr el submódulo: Cuenca, Red de drenaje y MNA:

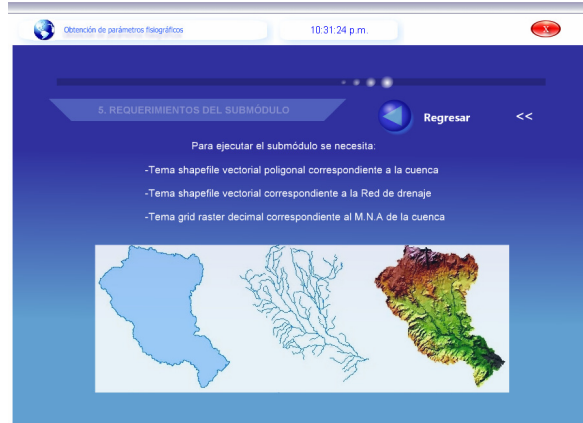


Figura 78. Estructura del control E de la interfaz de ayuda del módulo de obtención de parámetros fisiográficos

#### 4.3.3. Submódulo de ayuda para el significado de los campos generados.

Una vez que se ha ejecutado el submódulo de obtención de parámetros, los diversos macros o *scripts* que lo componen establecen la escritura de una serie de campos y valores. El nombre de los campos está sujeto al significado de los parámetros a los cuales hacen referencia, no obstante, el usuario puede desconocer tal significado.

Por ello eso implementó el sistema de ayuda para el significado de campos. Éste se compone de una interfaz interactiva a partir de la cual, el usuario elige el nombre del campo y el sistema despliega su significado y una breve descripción de lo que representa. Cabe mencionar que para acceder a este submódulo de ayuda, basta con dar clic en la opción “Descripción de campos” en el menú “Cuenca”:

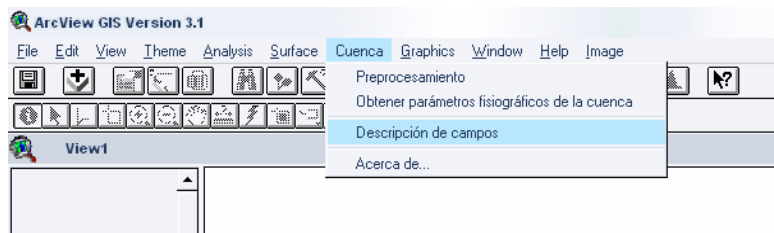


Figura 79. Ubicación de la opción de selección del formulario de ayuda para la descripción de campos.

Una vez activada la opción del menú se presenta un formulario como el siguiente (figura 80):



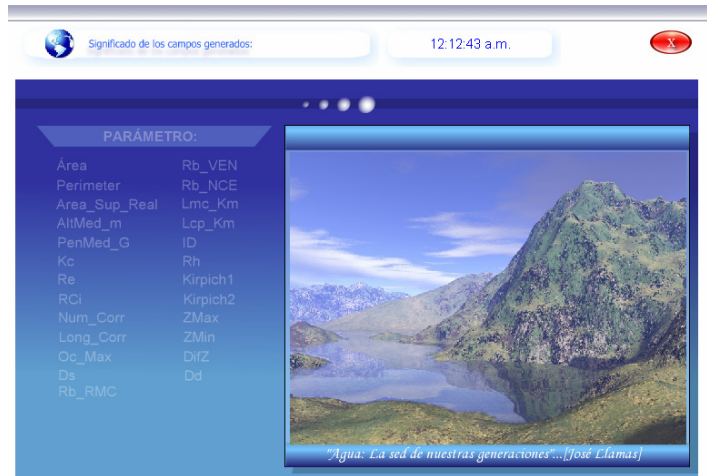


Figura 80. Interfaz de ayuda del submódulo para la descripción de campos.

En el lado izquierdo se presenta el nombre de los campos y al activarlos con un clic, se presenta su descripción y significado del lado derecho. En la figura 81 se muestra la interfaz que se despliega cuando el usuario da clic en el código de campo Dd (Densidad de drenaje).



Figura 81. Interfaz de ayuda del para el significado del campo "Dd"

#### 4.3.4. Submódulo de ayuda para la presentación de créditos del módulo

La mayoría de los sistemas modernos presentan formularios que muestran los créditos de las personas que lo diseñaron e implementaron. En este caso, el módulo hidrogeomático presenta un formulario de datos que se activa desde la opción "Acerca de..." desde el menú "Cuenca":

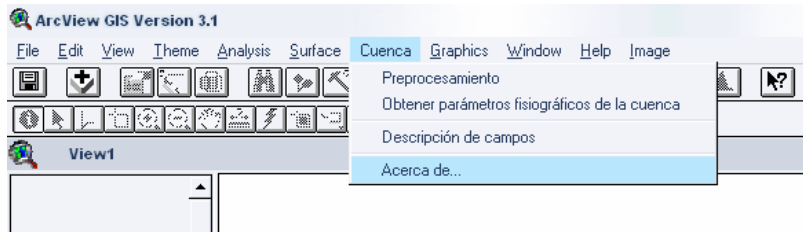


Figura 82. Ejecución del submódulo de presentación de créditos.

Al activarse la opción se despliega la siguiente ventana:

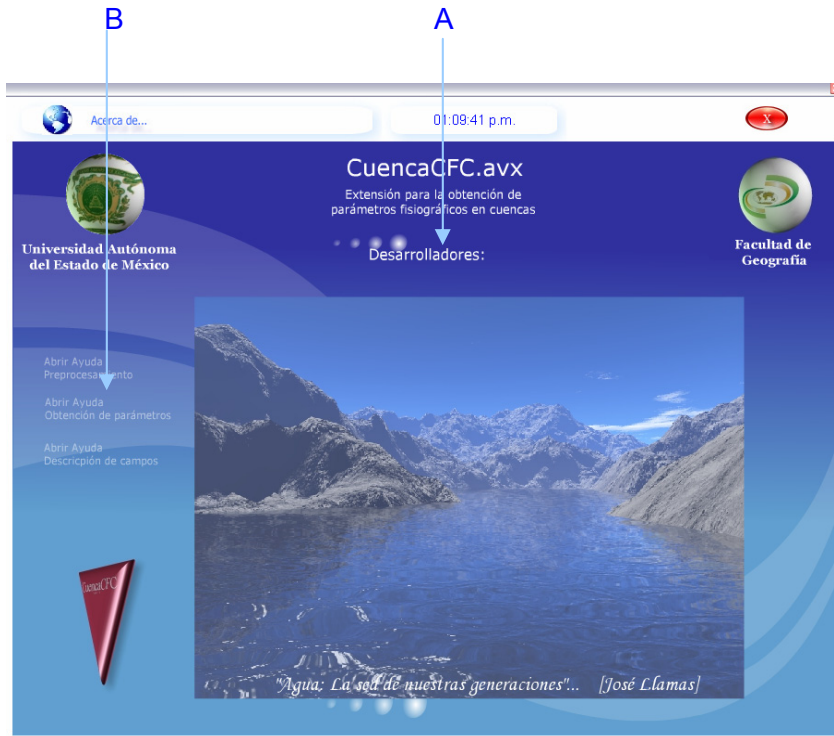


Figura 83. Interfaz de ayuda para la presentación de créditos del módulo.

Los botones de la sección B se comunican con los submódulos de ayuda mencionados anteriormente. Al dar clic sobre el control A denominado “Desarrolladores:”, se presenta una ventana que muestra los datos de los autores (tesistas y director de tesis):

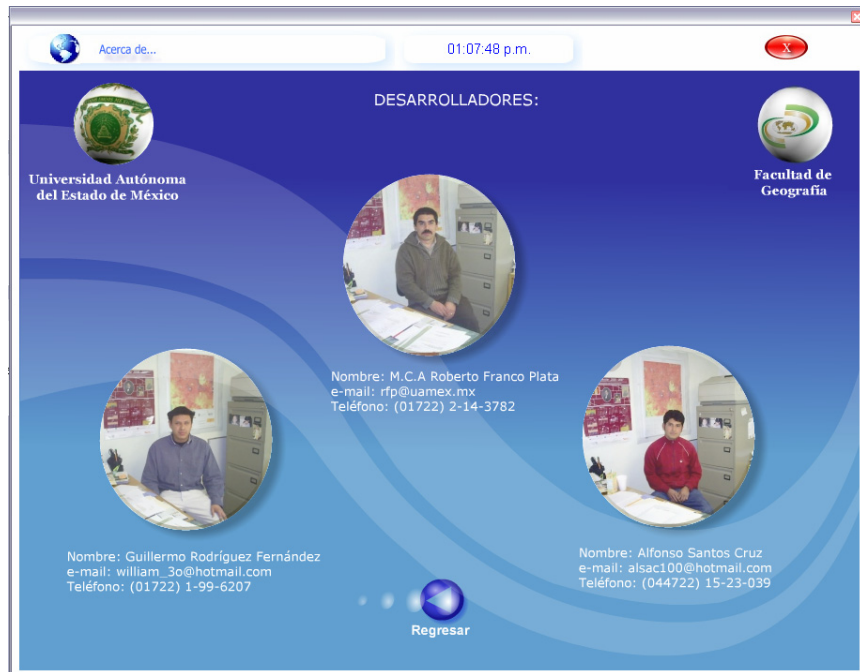


Figura 84. Interfaz de ayuda para la presentación de créditos del módulo: Desarrolladores.

*Agua: la sed de nuestras generaciones... José llamas.*

# CONCLUSIONES

Aunque el desarrollo de aplicaciones de corte geomático es aún incipiente y más aún las de tipo hidrogeomático, el presente trabajo representa un esfuerzo pionero en su consolidación en el ámbito académico de nuestra Universidad, más concretamente de nuestra Facultad. Importante es reflexionar que el objetivo general y los específicos enmarcados desde un principio, fueron los preceptores en el seguimiento y desarrollo del módulo hidrogeomático presentado en éste trabajo de tesis.

La Geoinformática o geomática, definida como una disciplina que integra en su campo de acción diversos conocimientos de ciencias y técnicas y cuya aportación es la contribución del dato geográfico de calidad, requiere que se comprendan adecuada y detalladamente los elementos de los componentes territoriales a fin de fijar un objeto de estudio sobre el cual recaer el empleo de la ciencia informática y las nuevas tecnologías de la información. Esta comprensión y posterior orientación de estas nuevas tecnologías que ofrece la informática, proveen a los nuevos usuarios la capacidad de hacer más eficiente el análisis del territorio aunado a una menor incertidumbre en la elección de opciones para la toma de decisiones.

A este respecto, es conveniente resaltar que el módulo hidrogeomático presentado, requirió de los autores una comprometida voluntad de estudio de los ámbitos relacionados con la hidrología superficial, la cuenca y la obtención de parámetros fisiográficos que de ésta se pueden calcular, a fin de instaurar técnicas de análisis concretas tales como el diseño conceptual y el diseño lógico. Una vez cimentados los procesos de análisis, se procedió a emplear la programación para implementar los algoritmos necesarios para la adquisición de soluciones eficientes en el cálculo de los parámetros de la cuenca. Es trascendente mencionar que aunque existen metodologías específicas para la simbolización del análisis (diseño conceptual y lógico) tales como UML que son empleadas en la actualidad por consultores y desarrolladores de software, se optó por ensamblar una colección de símbolos que le permiten al lector y usuario final del módulo, entender con relativa facilidad su estructura.

En cuanto a su funcionamiento referente al cálculo de los parámetros, existen diferencias en el método de cálculo en relación con el autor que los propone, sin embargo sería

recomendable prospectar que los trabajos sucesivos emplearan este módulo como base para versiones posteriores en las cuales se aplicasen formulas más complejas para hacer más completo y comparativo el cálculo todos los parámetros; caso especial es la adquisición de los parámetros relacionados con los tiempos de concentración debido a que las ecuaciones para calcular estos parámetros difieren significativamente entre cada autor. En este sentido, el presente trabajo establece el resultado de dos métodos: método de Kirpich original y el método de Kirpich modificado por el Instituto Nacional de Ecología, no obstante que ambos no consideran la variable fundamental uso actual del suelo. Este hecho nos obliga a recomendar para trabajos sucesivos, el empleo de ecuaciones y modelos matemáticos que empleen esta variable.

Con relación al cálculo del rectángulo equivalente y curva hipsométrica, el módulo deriva sus gráficos correspondientes, no obstante éstos adquieren una apariencia poco estética puesto que *ArcView* no está especializado en la construcción de elementos gráficos, razón que nos obliga a plantear la necesidad de elaborar rutinas más especializadas en un software externo.

Cabe destacar que aunque esta aplicación es sumamente efectiva, proyectamos que sería ideal su posterior construcción en una plataforma diferente de *ArcView* preferentemente genérica, por ejemplo, *Map Objects for Visual Basic*. Esto tendría una gran ventaja puesto que la aplicación funcionaría como un programa independiente y no como un módulo asociado a la plataforma huésped *ArcView*.

La solución de problemas del territorio se rige actualmente por una disyuntiva: lograr un análisis eficiente pero establecer una solución a éste de forma rápida y confiable. Ante esta premisa, formulamos que la manera de lograr la consumación de tal dilema es mediante la implementación de rutinas informáticas orientadas a la solución de problemas generales y concretos del territorio. En nuestro caso, el problema planteado fue la inexistencia de plataformas e interfaces en ambiente SIG que calculasen de forma eficiente los parámetros fisiográficos de la cuenca en una interfaz única y nuestra solución consistió en generar un módulo para cumplir esta tarea dentro del entorno de trabajo del software *ArcView GIS 3x*.

## RECOMENDACIONES

Para el uso del módulo hidrogeomático se recomienda que el usuario cubra los siguientes requisitos:

- Conocimiento de los conceptos generales de hidrología, incluidos los que fungen en el cálculo de los parámetros, su importancia e interpretación de sus resultados
- Manejo de un nivel medio-avanzado de la plataforma *ArcView GIS 3x* con el fin de que el usuario instale el módulo y pueda comprender la naturaleza de los resultados obtenidos.

Como requisitos de la aplicación y funcionamiento, el módulo necesita lo siguiente.

- Inexistencia de restricciones administrativas de uso en el equipo de cómputo.
- Instalación previa de las extensiones adicionales *3D Analyst* y *Spatial Analyst* porque el módulo maneja archivos raster tipo grid correspondiente al MNA de la cuenca.
- Dado que el módulo está validado para procesar la información de entrada, no se garantiza la correcta adquisición de parámetros si esta información no cubre los siguientes requerimientos:
  - a. El *Grid* correspondiente al MNA de la cuenca debe contener datos tabulares, es decir, debe tratarse de un *grid* decimal.
  - b. La red de drenaje no contiene limpieza y relación topológica
  - c. Se selecciona una red de drenaje de menos de 3 vectores.
  - d. Los archivos están en diferentes sistemas de referencia incluyendo proyección y escala.
  - e. El grid del MNA no cubre el total de la cuenca.
  - f. Se especifica como un requisito indispensable de manejo del módulo, que en el momento en que se vayan a procesar los datos, el archivo *grid* correspondiente al MNA se encuentre dentro de la carpeta raíz C: \ o en cualquier otro, siempre y

cuando el nombre de éste y de sus directorios antecesores no contengan espacios ni nombre con más de ocho caracteres.

# BIBLIOGRAFÍA

1. Abbott, M. B., Bathurst, J. C., Cunge, J. A., O'Connell, P. E., and Rasmussen, J. (1986a). "An introduction to the European Hydrologic System-Systeme Hydrologique Europeen", SHE, 1: History and philosophy of a physically-based, distributed modeling system. *Journal Hydrology*. 87: 45–59.
2. Abbott, M. B., Bathurst, J. C., Cunge, J. A., O'Connell, P. E., and Rasmussen, J. (1986b). "An introduction to the European Hydrologic System-Systeme Hydrologique Europeen, SHE", 2: Structure of a physically-based, distributed modeling system *Journal Hydrology*. 87: 61–77.
3. Al-Smadi, M. (1998). *Incorporating Spatial and Temporal Variation of Watershed response in a GIS-Based Hydrologic Model*. Master Thesis, Faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University. 173 p.
4. Awasthi, K. D., Sitaula, B. K., Singh, B. R. and Bajacharaya, R. M. (2002). *Land-use change in two nepalese watersheds: GIS and geomorphometric analysis*. *Land Degradation & Development*. (13): 495-513.
5. Bathurst, J. C., Wicks, J. M., and O'Connell, P. E. (1995). "Chapter 16: The SHE/SHESED basin scale water flow and sediment transport modeling system." *Computer models of watershed hydrology*, V. P. Singh, ed., Water Resources Publications, Littleton, Colo. 563–594.
6. Beven, K. J. and Kirkby, M. J. (1979). *A physically-based variable contributing area model of basin hydrology*. *Hydrol. Sci. Bull.*, 24(1): 43–69.
7. Bernhardsen T., (1999). *Geografic Information System, An Introduction*. Second Edition, Asplan Viak .Toronto. 372 pp.
8. Bosque, J. (1997). *Sistemas de información geográfica*. Ediciones Rialp S. A. Alcalá. España. 449 p.
9. Bottcher, D. and Hiscock, J. (2002). "A New GIS Approach to Watershed Assessment Modeling". Seventh Biennial Stormwater Research & Watershed Management Conference: 15-24.
10. Burnash, R. J. C., Ferral, R. L. and McGuire, R. A. (1973). "A generalized streamflow simulation system-conceptual modeling for digital computers". Rep., U.S. Dept. of Commerce, National Weather Service, Silver Springs, Md., and State of California, Dept. of Water Resources, Sacramento California.
11. Campos, A.D.F (1992). *Procesos del ciclo hidrológico*. Universidad de san Luis Potosí. Editorial Universitaria Potosina. Pag. 2-15.



12. Canadian the Institute of Geomatics (2005). "*An Introduction to Geomatic*". Pagina de internet citada el 21 de Julio de 2006 disponible en <http://www.cig-acsg.ca/page.asp>. Canada
13. Candeau, R. (2005). *Regionalización socioeconómica del Parque Nacional Nevado de Toluca y su relación con el deterioro ambiental*. Tesis de Maestría UAEM. Toluca, México. 101 pp.
14. Centro de Coordinación para la Prevención de Desastres Naturales en América Central (CEPREDENAC). *Estudio preliminar de amenazas naturales en la cuenca del río Turrialba*. Cantón Turrialba, Costa rica. 88 pp.
15. Cochrane, T. A. (1999). *Methodologies for watershed modeling with GIS and DEMs for the parameterization of the WEPP Model*. Thesis. Purdue University. 198 p.
16. Crawford, N. H. and Linsley, R. K. (1966). "*Digital simulation in hydrology: Stanford Watershed Model IV.*" Technical Report No. 39, Stanford University, Palo Alto, California.
17. DeMers M., (2002). *GIS Modelling In Raster*. New Mexico State University. USA. 203 pp.
18. Díaz, C., Bâ, K. M., Iturbe, A., Esteller, M. V. y Reyna, F. (1999). "*Estimación de las características de una cuenca con la ayuda de SIG y MEDT: caso del curso alto del río Lerma, Estado de México*". Revista Ciencia ergo sum. 6 (2): 124-134.
19. Domínguez, J. (2000). "*Breve Introducción a la Cartografía y a los Sistemas de Información Geográfica (SIG)*". Informes Técnicos Ciemat, nº 94, Ciemat (Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas). Ministerio de Ciencia y Tecnología. España. 33 pp.
20. Domínguez E. Iturbe, A. Y Reyna, F. (1998). *Sistema de información Geográfica para el inventario y Análisis para los Recursos bióticos del estado de México*. Tesis de Licenciatura en Geografía UAEM. Toluca, México. 210 pp.
21. Drault J. (2005). *Flash Master: 7 proyectos interactivos*. Users. Argentina. 416 pp.
22. Drault J. (2006). *Action Script: Programación en Flash 7*. Users. Argentina. 352 pp.
23. Enciclopedia multimedia ENCARTA 2004, Microsoft Corporation. USA
24. Environmental Systems Research Institute ESRI (1995). *Anenue: Customization and Application Development for Arc View GIS*. USA. 237 pp.
25. Environmental Systems Research Institute ESRI (1994). *Programming with Avenue: Three day Course notebook with excercises and training data*. USA. 439 pp.
26. Figurski and Maidment, D. R. (2001). "*GIS Algorithms for Large Watersheds with Non-contributing Areas*". Center for Research in Water Resources, CRWR Online Report 01-7. The University of Texas at Austin. 146 pp.

27. Franco-Maass, S. (2006). *Apuntes para la asignatura de Diseño y estructuración de los Sistemas de Información Geográfica*. Facultad de Geografía, Licenciatura en Ciencias Geoinformáticas, UAEM. Inédito
28. Franco-Plata, R. (2006). *Concepción de un módulo hidrogeomático para el análisis de la cuenca*. Tesis Doctorado UAEM. Toluca, México. Inédito
29. Franco-Plata, R. (2006). *Concepción e implementación de una metodología hidrogeomática como apoyo a la gestión integrada del agua*. Tesis Doctorado UAEM. Toluca, México. Inédito.
30. Franco-Plata, R. (2005). *Análisis Hidrológico de la Subcuenca el Caracol*. Tesis Doctorado UAEM. Toluca, México. Inédito.
31. Franco R., Quentin, E. and Díaz-Delgado, C. (2003). *Conception and implementation of an Hydrogeomatic module for watershed analysis*". Centro interamericano de Recursos del Agua, (CIRA), Universidad Autónoma del Estado de México (UAEM). Toluca, México. 5 pp.
32. Gerardi, A., Safonso, L., Wfon A, (2006). "Lógica de programación- Parte 1" en Geek Magazine
33. Gonzaga, L., Tulia, C. (1997). "*Crónica Forestal y del Medio Ambiente*". Estudio del balance hídrico de las microcuencas La Beta y la Cubero de Piedras Blancas, Antioquia. Universidad Nacional de Colombia. 12(1): 15 pp.
34. Hellweger F. And Maidment D. (1997) HEC PREPRO: "*A GIS Preprocessor for Lumped Parameter Hydrologic Modeling Programs*". Documento disponible vía Internet en <http://www.ce.utexas.edu/centers/cwrw/reports/online.html>, University of Texas at Austin, Texas, USA. 406 pp.
35. IHE (2005). "*Hydroinformatics Modeling and information systemesn for integrated water management*". Pagina de Internet consultada el 11 de Julio de 2005. Disponible en [http://www.ihe.nl/hi/Hydroinformatics\\_brochure\\_in\\_spanish.doc](http://www.ihe.nl/hi/Hydroinformatics_brochure_in_spanish.doc)
36. Instituto Nacional de Ecología (INE), Dirección General de Investigación de Ordenamiento Ecológico y Conservación de Ecosistemas. (2004). *Análisis morfométrico de cuencas: caso de estudio del parque nacional pico de Tancitaro*. México. 47 pp.
37. Joyanes, L. (1996). *Fundamentos de programación: Algoritmos y Estructuras de datos*. McGrawHill. España. 713 pp.
38. Kimberley, M. D. (2000). *Objet-Oriented Modeling of Rivers and Watersheds in Geographic Information System*. Thesis for the Degree of Master of Science in Engineering. Center for Research in Water Resources for The University of Texas at Austin. 123 pp.
39. Korte, G. (2001). *The GIS Book: How to implement, management and access the valueof Gepgraphic Information Systems*. ONWORD PRESS Thomson Learning. 388 pp.

40. Llamas, J. (1989). *Hidrología general: Principios y aplicaciones*. Universidad Autónoma del Estado de México. México. 627 pp.
41. Llamas, J. (1993). *Hidrología general: Principios y aplicaciones*. Servicio Editorial de la Universidad del País Vasco. Bilbao, España. 635 pp.
42. Maidment, D. R. (1996). "GIS and hydrological modelling an assessment of progress", Report in: Proceedings of 3rd International Conference on GIS and environmental modelling, New Mexico, USA. 406 pp.
43. Maidment D. R. (2002). *Arc Hydro: GIS for Water Resources*. ESRI Press. 218 p.
44. Mason, D. and Maidment, D. R. (2000). "An Analysis of a Methodology for Generating Watershed Parameters using GIS". Center for Research in Water Resources, CRWR Online Report 00-3. The University of Texas at Austin. 191 p.
45. Melancon, P. A., Maidment, D. R. and Barrett M. E. (1999). "A GIS Based Watershed Analysis System for Tillamook Bay, Oregon". Center for Research in Water Resources, CRWR Online Report 99-3. The University of Texas at Austin. 362 p.
46. Metcalf and Eddy (1971). "Storm water management model, Vol. 1 - Final report". EPA, Report No. 11024DOC07/71, Washington, D.C.
47. Morad, M, Treviño, A. (2001). "Sistemas de información geográfica y modelizaciones hidrológicas: una aproximación a las ventajas y dificultades de su aplicación". Boletín de la A.G.E. N° 31, Kingston University. Surrey, U.K. 24 pp.
48. Morin, G., Paquet, P. and Sochanski, W. (1995). "Le modèle de simulation de quantité de qualité CEQUEAU, Manuel de références". INRS Eau Rapport de Recherché No. 433. Sante-Foy, Que.
49. Morin, G., Paquet, P. and Sochanski, W. (1998). "Le modèle de simulation de quantité de qualité CEQUEAU-ONU, Manuel de références". INRS Eau Rapport de Recherché No. 519. Sante-Foy, Que.
50. Nanía L. (2003). *Hidrología superficial y subterránea: La cuenca y los procesos hidrológicos*. España. 62 pp.
51. Ogden, F. L., Garbrecht, J., DeBarry, P. A. and Johnson L. E. (2001). "GIS and Distributed Watershed Models. II: Modules, Interfaz and Models". Journal of Hidrologic Engineering. November/December: 515-523.
52. Olaya, V. (2004). "Hidrología Computacional y Modelos Digitales del Terreno". libro publicado en Internet disponible en [www.creativecommons.org](http://www.creativecommons.org). Edición 0.95. 391 pp.
53. Pérez, U.,(2002). *Estrategias para la Sostenibilidad de los Suelos Agrícolas. Aportes de la Geomática a la sostenibilidad de los suelos*. Ed. Sociedad Colombiana. 14 pp.
54. Ramírez J. (2005). "Hidrología general. La cuenca hidrográfica" .Publicado en Internet en [http://insting.mx/uabc.mx/~jorger/apuntes\\_cuencas.pdf](http://insting.mx/uabc.mx/~jorger/apuntes_cuencas.pdf). España. p. 128

55. Rockwood, D. M. (1982). "*Theory and practice of the SSARR model as related to analyzing and forecasting the response of hydrologic systems.*" en Applied modeling in catchment hydrology, V. P. Singh, ed. Water Resources Publications, Littleton. Colo. 87 pp.
56. Sánchez A. (1987). *Conceptos elementales de hidrología forestal: agua, cuenca y vegetación*. División de ciencias forestales. Universidad de Chapingo. México. 149 pp.
57. Sarandi, A., Madramootoo, C.A. and Enright, P. (2004). "*Development of User Interfaz in ArcGIS for Watershed Management*". Artículo publicado en Internet. Canada. 18 pp.
58. Silvia M. Gustavo A. (2005). "*Hidrología Básica*". Pagina de Internet disponible en <http://www.geocities.com/gsilvam/hidrobas.htm>. Bogota Colombia
59. Somerville I. (2002). *Software Engineering*. University of Utah. USA. 149 pp.
60. UAEM, Comité Curricular de la Licenciatura en Ciencias Geoinformáticas. *Antecedentes de la Geoinformática*. Facultad de Geografía UAEM,. Toluca, México. 82 pp.
61. University of New Brunswick (2005). "*Geodesy and Geomatics Engineering*". Pagina de internet consultada 10 de Julio de 2005. Disponible en <http://gge.unb.ca/HomePage.php3>. Canada
62. Wei C. Y. (2005). "*Gestión de los recursos de agua y de los problemas medioambientales con la hidroinformática*" Página de Internet consultada el 12 de Julio de 2005 disponible en: [http://64.233.187.104/search?q=cache:ShnAKJoSV3oJ:www.ibit.org/dades/doc/746\\_es.pdf+hidroinformatica&hl=en&start=7](http://64.233.187.104/search?q=cache:ShnAKJoSV3oJ:www.ibit.org/dades/doc/746_es.pdf+hidroinformatica&hl=en&start=7) USA
63. Whiteaker, T. L. (2001). *A Prototype Toolset for the ArcGIS Hydro Data Model*. Thesis for the Degree of Master of Science in Engineering. Center for Research in Water Resources for the University of Texas.