APLICACIÓN DE LOS MODELOS HEC EN EL ANÁLISIS DE VARIABLES HIDROLÓGICO-AMBIENTALES. CASO DE ESTUDIO DE ZONIFICACIÓN DE LAS MANCHAS DE INUNDACIÓN EN LA CUENCA DEL RIO URAMA-ESTADO CARABOBO

UNIVERSIDAD DE CARABOBO
AREA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO
FACULTAD DE INGENIERIA
MAESTRIA EN INGENIERIA AMBIENTAL

APLICACIÓN DE LOS MODELOS HEC EN EL ANÁLISIS DE VARIABLES HIDROLÓGICO-AMBIENTALES. CASO DE ESTUDIO DE ZONIFICACIÓN DE LAS MANCHAS DE INUNDACIÓN EN LA CUENCA DEL RIO URAMA- ESTADO CARABOBO

Autor: Ing. Adriana Márquez
Tutor: Ing. Edilberto Guevara

BÁRBULA, MARZO 2006

UNIVERSIDAD DE CARABOBO
AREA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO
FACULTAD DE INGENIERIA
MAESTRIA EN INGENIERIA AMBIENTAL

APLICACIÓN DE LOS MODELOS HEC EN EL ANÁLISIS DE VARIABLES HIDROLÓGICO-AMBIENTALES. CASO DE ESTUDIO DE ZONIFICACIÓN DE LAS MANCHAS DE INUNDACIÓN EN LA CUENCA DEL RIO URAMA- ESTADO CARABOBO

Autor: Ing. Adriana Márquez

Trabajo presentado ante el Área de Estudios de Postgrado de la Universidad De Carabobo para optar al Título de Magíster en Ingeniería Ambiental

BÁRBULA, MARZO 2006

UNIVERSIDAD DE CARABOBO
AREA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO
FACULTAD DE INGENIERIA
MAESTRIA EN INGENIERIA AMBIENTAL

APLICACIÓN DE LOS MODELOS HEC EN EL ANÁLISIS DE VARIABLES HIDROLÓGICO-AMBIENTALES. CASO DE ESTUDIO DE ZONIFICACIÓN DE LAS MANCHAS DE INUNDACIÓN EN LA CUENCA DEL RIO URAMA- ESTADO CARABOBO

Autor: Ing. Adriana Márquez

Aprobado en el Área de Estudios de Postgrado de la Universidad de Carabobo por Miembros de la Comisión Coordinadora del Programa:

_____(Nombre, Apellido, Firma)

_____(Nombre, Apellido, Firma)

_____(Nombre, Apellido, Firma)

BÁRBULA, MARZO 2006

UNIVERSIDAD DE CARABOBO
AREA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO
FACULTAD DE INGENIERIA
MAESTRIA EN INGENIERIA AMBIENTAL

VEREDICTO

Nosotros, Miembros del Jurado designado para la Evaluación del Trabajo de Grado titulado: **Aplicación de los modelos HEC en el análisis de variables hidrológico-ambientales. Caso de estudio de zonificación de las manchas de inundación en la cuenca del río Urama- Estado Carabobo,** presentado por la Ing. Adriana Mercedes Márquez Romance, para optar al título de Magíster en Ingeniería Ambiental, estimamos que el mismo reúne los requisitos para ser considerado como: APROBADO

Miguel Montilva
C.I. 1732060

Franklin Paredes
C.I. 12200786

Arnoldo Gómez
C.I. 1987097

REPUBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD DE CARABOBO
SECCION DE GRADO
AREA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO DE INGENIERIA

BÁRBULA, MARZO 2006

REPUBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD DE CARABOBO
SECCION DE GRADO
AREA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO DE INGENIERIA

UNIVERSIDAD DE CARABOBO
AREA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO
FACULTAD DE INGENIERIA
MAESTRIA EN INGENIERIA AMBIENTAL

VEREDICTO

Nosotros, Miembros del Jurado designado para la Evaluación del Trabajo de Grado titulado: **Aplicación de los modelos HEC en el análisis de variables hidrológico-ambientales. Caso de estudio de zonificación de las manchas de inundación en la cuenca del río Urama- Estado Carabobo,** presentado por la Ing. Adriana Mercedes Márquez Romance, para optar al título de Magíster en Ingeniería Ambiental, estimamos que el mismo reúne los requisitos para ser considerado como: APROBADO

Miguel Montilva
C.I.

Franklin Paredes
C.I. 12.200.786

Arnoldo Gómez
C.I.

BÁRBULA, MARZO 2006

DEDICATORIA

A Dios, por darme a fuerzas y ser guía en los momentos más difíciles en esta meta alcanzada.

A mis Padres, Miriam Romance y Benny Márquez, que con amor, cariño y paciencia me brindaron todo su apoyo incondicional y depositaron toda su confianza para el logro de esta meta.

A mis Abuelos, Hortensia de Márquez y Hermes Márquez, Emilia Romance y Humberto Escobar, agradezco la comprensión por el tiempo que no pude compartir con ustedes para poder lograr esta meta. Abuelo Hermes me encariñé con esta zona porque en todo momento me recordó a ti.

A mi hermana Mairim Márquez, por su comprensión, cariño y solidaridad a lo largo de este camino.

A mi amiga Laura Albano, por darme su apoyo incondicional, siempre valoraré tu ayuda y soporte en los momentos en que más lo necesitaba

Al profesor Edilberto Guevara por su sabia orientación y apoyo. Usted es un ejemplo a seguir, es la evidencia de que cuando se es persistente es posible lograr las metas por méritos.

Al Profesor Miguel Montilva por orientarme en el camino de la docencia e investigación, todos los libros y apuntes que me ha suministrado valen oro para mi

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecerle al Profesor Ing. Edilberto Guevara, Tutor de este Proyecto de Grado, por su orientación y apoyo en la realización el mismo, nunca habrá una tutor como usted, muchas gracias.

A la Profesora Maria Teresa DeFrenza, al Profesor Arnoldo Gómez, por apoyarme, comprenderme e impulsarme en todo momento y todos mis compañeros de trabajo en el Departamento de Ingeniería Ambiental

Al Prof. Frankilin Paredes por contribuir a mejorar los resultados de mi trabajo.

Al Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables (M.A.R.N.R.), por la atención prestada y los datos facilitados.

Al Ingeniero Agrónomo Moisés Almosny de SAMS CONSULTORES por su ayuda al facilitarnos los planos requeridos para la posterior aplicación del software.

También le agradezco a Profesores, Empleados, demás compañeros y amigos, que de una u otra forma contribuyeron en esta meta alcanzada.

La Autora

RESUMEN

APLICACIÓN DE LOS MODELOS HEC PARA EL ANÁLISIS DE VARIABLES HIDROLÓGICO-AMBIENTALES. CASO DE ESTUDIO ZONIFICACIÓN DE LAS MANCHAS DE INUNDACIÓN EN LA CUENCA DEL RIO URAMA- ESTADO CARABOBO

Autor: Adriana Márquez

Tutor: Edilberto Guevara

Fecha: Febrero de 2006

La población de Urama, Municipio Juan José Mora, Estado Carabobo, ha sido afectada durante los periodos lluviosos por desbordamiento del río Urama, situación que desmejora la calidad de vida de los habitantes y pone en riesgo el normal desarrollo de las actividades económicas y sociales de la región. En consecuencia se hace necesario evaluar las planicies de inundación. En este trabajo se usan los modelos HEC para el estudio de dichas áreas, los resultados proporcionan mejores parámetros para la toma de decisiones institucionales. El objetivo general de la investigación es aplicar los modelos HEC para el análisis de las variables hidrológico-ambientales considerando como caso de estudio la zonificación de las manchas de inundación en la cuenca del Río Urama. La metodología empleada involucra, trabajo de campo, fotografías, características de obras hidráulicas; ejecución de levantamiento topográfico de aproximadamente 60 secciones transversales, uso de un modelo de elevación digital a escala 1:25.000 basado en la

cartografía oficial disponible en el IGVSB; manipulación de este modelo mediante AutoDesk Land 2005 y ArcView GIS 3.2, combinación de bases de datos digitalizadas de tipos de suelos y uso de la tierra, procesamiento de datos hidrológicos para generación de tormentas de periodos de retorno de 10, 50 y 100 años. Mediante la aplicación de los HEC; se establecieron 9 subcuencas, se obtuvieron modelos digitalizados espaciales de las características físicas y los parámetros hidrológicos requeridos para los modelos de pérdidas por infiltración, transformación de lluvia en escorrentía y flujo base a partir de los cuales se generaron las crecientes que se utilizaron para los perfiles superficiales del agua, estos se obtuvieron mediante el uso de los métodos tradicionales de modelación de flujo estable bajo régimen combinado subcrítico y supercrítico a través del río, puentes y uniones para finalmente obtener las manchas de inundación que muestran la extensión y profundidad de inundación de la zona en estudio para crecientes de períodos de retorno de 10, 50 y 100 años. Los resultados obtenidos indicaron que para una creciente con un período de retorno de 10 años, las viviendas que resultarían afectadas serian las que se encuentran por debajo de la cota 35 msnm; para 50 años, las que se encuentran por debajo de la cota 36 msnm; y para 100 años, las que se encuentran por debajo de la cota 37 msnm

ÍNDICE GENERAL

		Pág.
	INTRODUCCIÓN	1
	CAPITULO I: EL PROBLEMA	1
1.1	Planteamiento del Problema	3
1.2	Formulación del Problema	10
1.3	Objetivos de la Investigación	10
1.4	Justificación de la Investigación	12
	CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	16
2.1	Antecedentes	16
2.2	Bases Teóricas	22
2.3	Modelación con HEC-GEOHMS y HMS	22
2.4	Características físicas de la unidad hidrológica	23
2.4.1	Longitud del flujo superficial	23
2.4.2	Longitud de las corrientes	23
2.4.3	Pendiente del canal	24
2.4.4	Longitud al centroide	24
2.4.5	Centroide de la cuenca	25
2.5	Estimación de los parámetros hidrológicos y modelación hidrológica	26
2.5.1	Modelación de la precipitación para HEC-HMS	26

2.5.2 Modelación del volumen de escurrimiento con HEC-HMS..... 30

2.5.3 Modelación de la escorrentía directa con HEC-HMS..... 39

2.5.3.1 Modelo de HU del SCS..... 40

2.5.3.2 Modelo del HU de Clark..... 49

2.5.3.3 Modelación del flujo base con HEC-HMS..... 50

2.6 Modelación con HEC-RAS..... 55

2.7 Filosofía general del sistema modelado..... 56

2.8 Descripción de las capacidades hidráulicas..... 57

2.9 Perfiles de la superficie del agua en flujo permanente..... 57

2.10 Teoría básica para los cálculos del flujo unidimensional..... 58

2.11 Perfiles de la superficie del agua para flujo permanente..... 59

2.12 Ecuaciones para el cálculo de los perfiles básicos..... 60

2.13 Cálculos de la conductividad mediante la subdivisión de las secciones transversales..... 62

2.14 Cálculos de la conductividad mediante la subdivisión de las secciones transversales..... 62

2.15 Composición del coeficiente de manning para el canal principal..... 65

2.16 Evaluación de la pérdida por fricción..... 70

2.17 Procedimiento de cálculo..... 72

2.18 Determinación de la profundidad crítica 77

2.19 Aplicaciones de la ecuación de momentum..... 81

2.20 Limitaciones del programa en flujo permanente..... 87

2.21 Modelado de puentes..... 88

2.21.1 Pautas generales del modelado..... 89

2.21.2 Cálculos hidráulicos a través del puente..... 99

2.21.3 Selección de un modelo aproximado para puentes..... 110

2.21.4 Problemas particulares en puentes y sugerencias 114

CAPITULO III. MARCO METODOLÓGICO 117

3.1 Tipo de investigación..... 117

3.2 Diseño de investigación..... 118

3.3 Metodología..... 118

3.4 Fase diagnóstico..... 118

3.5 Fase de recolección de datos..... 120

3.5.1 Cartas Topográficas..... 120

3.5.2 Modelo Digital del Terreno (MDT)..... 120

3.5.3 Levantamiento Topográfico..... 120

3.5.4 Uso de la tierra y tipo de suelo..... 122

3.5.5 Información Hidrológica..... 122

3.6 Fase de procesamiento de datos..... 122

3.7 Procesamiento con HEC-GEOHMS..... 123

3.8 Trabajo en ArcView GIS 3.2..... 123

3.8.1 Creación de un proyecto en ArcView GIS 3.2..... 124

3.8.2 Extensiones..... 125

3.9 Trabajo en MainView..... 128

3.10 Preprocesamiento del Terreno (Terrain Preprocessing)..... 128

3.10.1 Reacondicionamiento del terreno en ArcView..... 147

3.10.2 Relleno de depresiones (FILL SINK)..... 149

3.10.3 Direccionamiento del flujo (Flow Direction)..... 151

3.10.4 Acumulación del flujo (Flow Accumulation)..... 151

3.10.5 Definición de corrientes (Stream Definition)..... 153

3.10.6 Segmentación de corrientes (Stream Segmentation)..... 155

3.10.7 Delineación de cuencas (Wateshed Delineation)..... 157

3.10.8 Procesamiento de los polígonos de la cuenca (Watershed Polygon Processing)..... 160

3.10.9 Procesamiento de los segmentos de corrientes (Stream Segment Processing)..... 161

3.10.10 Agregación de microcuencas (Watreshed Aggregation)..... 161

3.10.11 Administración de Datos (Data Management)..... 162

3.11 Arranque de proyectos en HMS (HMS PROJECT SETUP)..... 163

3.11.1 Inicio de un nuevo proyecto (Start New Project)..... 164

3.11.2 Generación del proyecto (Generate Project)..... 165

3.12 Trabajo en ProjView..... 166

3.13 Procesamiento de la cuenca (BASIN PROCESSING)..... 167

3.13.1 Unión de Cuencas (Basin Merge)..... 167

3.13.2 Modificación de ríos..... 169

3.14 Características de la cuenca..... 172

3.14.1 Longitud de ríos (River Length)..... 172

3.14.2 Pendiente de ríos (River Slope)..... 174

3.14.3 Centroide de las subcuencas..... 176

3.14.4 Elevación del centroide (Centroid Elevation Update)..... 180

3.14.5 Ruta de flujo más larga (Longest Flow Path)..... 180

3.14.6 Ruta de flujo centroidal (Centroidal Flow Path)..... 183

3.15 Estimación de parámetros hidrológicos..... 186

3.16 Estimación del número de curva para la subcuenca (subbasin curve number)..... 186

3.17 Procesamiento de las subcuencas mediante la construcción de un grid para el método de ModClark..... 198

3.18 Parámetros para Muskingum –Cunge..... 203

3.19 Estimación del tiempo de concentración..... 205

3.19.1 Precipitación de dos años de período de retorno (Rainfall Two – Year)..... 205

3.19.2 Segmentación de corrientes para el método TR55 (TR55 Flow Path Segments)..... 208

3.19.3 Parámetros para los segmentos de corrientes TR55 (TR55 flow segment parameters)..... 209

3.19.4 Exportación de los datos correspondientes al método TR55 (Export TR55 Data)..... 213

3.20 Tiempo de retardo de la cuenca (Basin Lag Time)..... 220

3.20.1 Pendiente de la cuenca (Basin Slope)..... 213

3.20.2 Método del CN – Lag..... 213

3.21 Precipitación de diseño para las subcuencas..... 216

3.22 Sistemas de modelación hidrológica (HMS)..... 218

3.23 Autonombramiento de tramos (Reach Autoname)..... 219

3.24 Autonombramiento de la cuenca (Basin Autoname)..... 222

3.25 Unidades para el mapa en HMS (Map To HMS Units)..... 223

3.26 Verificación de los datos en HMS (Hms Data Check)..... 226

3.27 Esquema de cuencas para HEC-HMS (HEC-HMS Basin Schematic)..... 229

3.28 Leyenda de HMS (HMS Legend)..... 231

3.29 Adición de coordenadas (Add Coordinates)..... 232

3.30 Procesos estándar en HMS (Standard HMS Process)..... 234

3.31 Archivo de mapa de respaldo (Background – Map File)..... 334

3.32 Modelo concentrado de cuenca (Lumped - Basin Model)..... 335

3.33 Archivos de parámetros para las celdas del grid (Grid-Cell Parameter

File) 236

3.34 Modelo distribuido de cuenca (Distributed Basin Model)..... 237

3.35 Archivos de modelos meteorológicos (Meteorologic Model File)..... 238

3.36 Arranque de Proyectos HMS (HMS Project Setup)..... 238

3.37 Procesamiento con HEC-HMS..... 239

3.38 Trabajo previo en HEC-GEOHMS..... 239

3.39 Trabajo en HEC-HMS..... 240

3.40 Configuración inicial..... 241

3.41 Calibración de HEC-HMS..... 241

3.42 Modelo de cuenca (Basin Model)..... 245

3.43 Modelación de crecientes 248

3.43.1 Modelación para la alternativa 1..... 249

3.43.2 Modelación para la alternativa 2..... 253

3.44 Modelo Meteorológico..... 255

3.45 Generación de tormentas de diseño..... 256

3.45.1 Selección del período de retorno..... 258

3.45.2 Selección de la duración de la tormenta de diseño..... 259

3.45.3 Estimación de los valores de la tormenta de diseño..... 260

3.45.4 Corrección de los valores de la tormenta de diseño por efectos del área..... 262

3.45.5 Distribución de los valores de la tormenta de diseño..... 266

3.46 Ingreso de las tormentas de diseño en HEC-HMS..... 266

3.47 Especificaciones de control..... 268

3.48 Configuraciones de trabajo..... 269

3.49 Crecientes..... 271

3.50 Procesamiento con HEC-GEORAS..... 272

3.51 Creación del proyecto..... 274

3.52 Modelo digital del terreno (MDT)..... 274

3.53 Creación del tema grid..... 275

3.54 Creación del tema TIN..... 276

3.55 Preprocesamiento con GEORAS..... 278

3.56 Preparación de las polilíneas 3-D..... 278

3.56.1 Creación del Eje del Cauce (Stream Centerline)..... 279

3.56.2 Creación de las líneas que definen las márgenes del cauce del río (*Main Channel Banks*)..... 280

3.56.3 Creación de líneas que permiten medir la distancia recorrida por el flujo en los márgenes del cauce del río (*Flow Path Centerlines*)..... 281

3.56.4 Creación de las líneas de corte de las secciones transversales (*Cross-Sectional Cut Lines*)..... 283

3.56.5 Creación de diques (Leeve)..... 285

3.56.6 Perfil del dique..... 285

3.56.7 Completación de los datos del dique 3-D..... 286

3.57 Generación de los atributos de los temas en 3-D..... 286

3.57.1 PreRAS - Centerline Completion 287

3.57.2 PreRAS - XS Attributing 287

3.57.3 PreRAS - XS Elevations..... 287

3.57.4 PreRAS – Levee Positions 288

3.58 Creación del fichero de importación para HEC-RAS..... 288

3.58.1 PreRAS - Theme Setup..... 288

3.58.2 PreRAS - Generate RAS GIS Import File..... 289

3.59 Trabajo en HEC-RAS..... 289

3.59.1 Creación del proyecto..... 290

3.59.2 Edición de los Datos Geométricos..... 290

3.59.3 Importación del archivo de datos Geométricos..... 291

3.60 Completación de los datos para las secciones transversales..... 293

3.60.1 Asignación de los números de Manning..... 294

3.60.2 Coeficientes de Contracción y Expansión..... 295

3.60.3 Obstrucciones 298

3.60.4 Interpolación de secciones transversales..... 298

3.60.5 Introducción de la geometría del Puente Urama (Carretera Nacional Morón – San Felipe)..... 300

3.60.6 Modelación matemática del flujo en el puente..... 304

3.60.6.1 Plan 1..... 304

3.60.6.2 Plan 2..... 305

3.61 Edición de los datos de flujo..... 305

3.62 Ejecución de la corrida del flujo estable..... 307

3.63 Desarrollo del archivo de exportación hacia HEC-GEORAS..... 311

3.64 Trabajo en HEC-GEORAS (retorno)..... 317

3.64.1 PostRAS-Read RAS GIS Export File..... 318

3.64.2 PostRAS - Ws TIN Generation..... 318

3.64.3 PostRAS - FloodPlain Delineation..... 320

CAPITULO IV. ANÁLISIS DE RESULTADOS 322

4.1 Resultados del procesamiento de datos..... 323

4.2 Resultados del procesamiento con HEC-GEOHMS..... 323

4.2.1 Datos geométricos de cuencas y ríos 323

4.2.2 Parámetros Hidrológicos para la simulación hidrológica 323

4.2.3 Planos generados con HEC-GeoHMS..... 324

4.3 Resultados del procesamiento con HEC-HMS..... 324

4.4 Resultados del procesamiento con HEC-RAS..... 324

4.5 Resultados del procesamiento con HEC-GEORAS..... 324

4.6 Análisis de resultados..... 326

Conclusiones..... 336

Referencias Bibliográficas..... 338

Apéndice.....

INDICE DE TABLAS

Tabla		Pág
2-1	Rango de las relaciones de expansión	91
2-2	Coeficientes de contracción y de expansión del flujo subcrítico	99
2-3	Coeficientes comunes de empuje para varias formas de pilas	105
2-4	Coeficiente de Yarnell para varias formas de pilas, K,	107
3.1	Sistemas de Unidades de HMS	224
3.2	Resumen de los resultados de la verificación de datos para HMS	228
3.3	Alternativas de modelación de crecientes	249
3.4	Pérdida inicial por retención superficial	251
3.5	Estimación del tiempo de concentración	258
3.6	Tormenta de proyecto para TR=10 años y D= 3 horas	259
3.7	Coeficientes Típicos para la forma de la pila	305
3.8	Caudales pico de crecientes de distinto período de retorno y duración de tormenta para el Río Urama	309
4.1	Estimación del tiempo de concentración	329
4.2	Comparación de los resultados obtenidos para el caudal pico (m^3/s) de creciente generada mediante la alternativa 2 para duraciones de 3 y 6 horas	332

INTRODUCCIÓN

En Venezuela son evidentes los problemas creados por el uso inadecuado de modelos; es decir, la mayoría de las veces se suelen importar sin un análisis de adaptabilidad a las condiciones locales. Por tal motivo, con esta investigación se llevará acabo un estudio sobre la aplicabilidad de los modelos HEC para evaluar el comportamiento de variables hidrológico – ambientales con énfasis en la zonificación de las planicies de inundación en la cuenca del río Urama - Estado Carabobo, de tal manera de reproducir más fidedignamente el comportamiento de la relación lluvia-escurrimiento y en consecuencia determinar parámetros coherentes que permitan a los organismos gubernamentales tener criterios con una base científica para la toma de decisiones en planificación territorial, en función de la expansión urbana.

El estudio de las variables hidrológico-ambientales lluvia-escurrimiento permite considerar las problemáticas relacionadas con las inundaciones, como es el caso del río Urama donde al producirse crecidas naturales, éstas afectan a un representativo número de asentamientos humanos próximos al río, debido a estas situaciones, surge la necesidad de realizar una investigación que proporcione una metodología para determinar la extensión y la profundidad del agua en las planicies para eventos cuya probabilidad de ser excedidos son del 1%, 2% y 10%. Para tal fin, se generaran datos hidrológicos, cartográficos y geomorfológicos, de tal manera que nos permitan seleccionar los modelos

hidrológicos más adecuados suministrados por HEC para la obtención de los resultados.

Esta investigación se ha dividido en cuatro capítulos. El Capítulo I, plantea el problema de investigación, sus objetivos, justificación y el alcance y las limitaciones. El Capítulo II, presenta el marco teórico, el cual está compuesto por los antecedentes y las bases teóricas relativas a la modelación matemática con cada software HEC. El Capítulo III, describe el marco metodológico, donde se puntualiza el tipo de investigación, su diseño, la descripción de la metodología, esta última involucrará en primer lugar la determinación de las características físicas de las subcuencas de estudio con HEC-GeoHMS, luego se continua con los pasos para generar las crecientes de diseño con HEC-HMS, posteriormente se explica cómo determinar las zonas inundables mediante el uso de HEC-RAS para generar los perfiles de superficie del agua y la exportación de esta información hacia HEC-GeoRAS para la delimitación de la extensión de las zonas inundables y su profundidad para los distintos eventos de probabilidad de excedencia mencionados con anterioridad. Finalmente, el Capítulo IV se refiere a los resultados y al análisis de los mismos.

Con respecto a los datos utilizados y a los resultados generados, los mismos se encontrarán soportados en la sección de Apéndices del presente estudio.

CAPITULO I

EL PROBLEMA

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La sociedad viene confrontando una variedad de fenómenos meteorológicos: impresionantes inundaciones, marejadas, tormentas, huracanes, sequías, olas de calor y de frío, entre otros. Estos problemas se deben al sobre uso de los recursos y se han discutido en reuniones internacionales. El texto del Protocolo de Kyoto, que es el primer instrumento de la Convención de Cambio Climático que compromete a los países desarrollados a cumplir metas moderadas de reducción de sus emisiones de gases de efecto invernadero, se terminó de redactar en diciembre de 1997, y no es sino en febrero de 2005, más de siete años después, cuando este Protocolo deberá entrar en vigor, haciendo obligatorio su cumplimiento para el 2012. No obstante, la condición para la entrada en vigor del Protocolo, consistente en que fuese ratificado por un número de países cuyas emisiones representen el 55% del total de las emisiones de dióxido de carbono del mundo desarrollado en 1990, se cumplió recientemente, con la

ratificación de Rusia, después de un largo período de espera. El lento desarrollo observado en las negociaciones diplomáticas no parece estar en consonancia con las apreciaciones del mundo científico, para quien el cambio climático es y será durante un buen tiempo una de las preocupaciones ambientales mundiales más importante, que debe ser debidamente atendida.

Por otro lado, la ocurrencia de los fenómenos climáticos también es debido a ciclos de la naturaleza. Es por ello, que cada vez más se anuncia la necesidad de aprender de los ciclos naturales. En la primera exposición mundial del Siglo XXI que tiene lugar en Japón en el presente año 2005, se ha escogido como tema la “sabiduría de la naturaleza”. A fin de crear una nueva interrelación entre la naturaleza y la vida en el siglo XXI, la comunidad mundial necesita inventar un nuevo modo de vida, un modo que sea compatible con el entorno natural restante (Sulbarán, 2005).

Con respecto a Venezuela, las crecientes se pueden considerar como resultado de la ocurrencia de un fenómeno natural que se puede explicar con base en el régimen de lluvias, el cual se puede comprender tomando en cuenta la circulación atmosférica que rige los fenómenos meteorológicos del globo terrestre.

En Venezuela, desde diciembre hasta abril, el flujo de aire superficial, está constituido por los alisios de NE del Hemisferio norte, los cuales extienden su influencia desde los 30°N (Centro de la alta presión subtropical) hasta los 2°N de latitud. En esta zona convergen la corriente de aire del Hemisferio sur (Alisios del SE), dando lugar a la Zona de la Convergencia Intertropical. (ZCI). La ZCI condiciona el aparecimiento y la finalización de la temporada de lluvias a lo largo de todo el país. A partir de mediados de abril hasta noviembre, debido al sistema de presiones existente hacia latitudes norteñas, el país está bajo la influencia de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCI), la cual por los fenómenos de convergencia y convección origina fuertes precipitaciones que se corresponde con el inicio de la estación de lluvias. Con base en el desplazamiento de la ZCI y el tipo de régimen de lluvia, el país se puede dividir en tres sectores: la zona sur, la zona central y el sector norte. El sector norte tiene un régimen bimodal con dos máximos, uno el menor, en abril-mayo y otro el mayor, en octubre-noviembre. El máximo más importante en los meses de octubre-noviembre es provocado por la intensificación del frente frío, el cual hace avanzar a masas de aire norteñas sobre el mar Caribe, cargándose de humedad hasta una latitud tan baja como 10°N (norte del país) y produciendo fuertes lluvias.Por otro lado, si se revisan algunos de los eventos históricos excepcionales ocurridos en Venezuela se encuentra que, los meses de enero y febrero de 1951 y en diciembre de 1999 se caracterizaron por una frecuencia anormal de la

presencia de frentes fríos que avanzaban hacia el Mar Caribe y cuyos restos penetraron en Venezuela, y en consecuencia se presentaron precipitaciones excepcionalmente altas para los meses mencionados. La causa de estas elevadas precipitaciones fue la presencia muy persistente de una vaguada, la persistencia se explica debido al bloqueo de la vaguada debido a una zona de alta presión en el Atlántico que a su vez se ve bloqueada por un ciclón extratropical extraordinario sobre el Atlántico Norte. Las vaguadas se presentan en cualquier momento del año, pero con mayor frecuencia al inicio y al final de la temporada lluviosa

Más recientemente en los años 2003 a 2005, en especial en este último año, las lluvias duraron los días del 7 al 12 de Febrero, durante los cuales tuvo lugar una vaguada estacionaria que afectó toda la región norte costera del país. El norte del Estado Carabobo fue una de las zonas afectadas, específicamente el Municipio “Juan José Mora”, en la Parroquia no urbana de Urama, la cual cuenta con una población de 8029 habitantes, equivalente al 12.77% de la población total del Municipio, con una densidad de 40 hab/km^2 (INE, 2001).

En esta parroquia; la planicie inundable la conforman en orden de consecución con respecto a la carretera nacional San Felipe - Morón; los sectores La Luna, La Jobera y El Charal, los cuales a su vez se encuentran ubicados sobre la vía que comunica Urama con Canoabo (local 4). Estos sectores se han visto afectados de la siguiente manera: en lo social; en

promedio unas 25 casas han quedado bajo las aguas y unas 50 familias han perdido sus bienes y más de 5000 se han visto afectados. En cuanto a la salud; las viviendas no cuentan con sistemas de cloacas, algunas poseen pozos sépticos que se rebosan cada vez que llueve y otras descargan sus aguas directamente al río, lo que ha favorecido que se produzcan brotes de diarrea, fiebre y escabiosis, afectando especialmente a los niños, en un lugar donde en promedio residen 100 niños. En cuanto a la economía; en esta zona hay siembra de naranja, maíz, cacao, plátano, lechosa y otros frutos que son vendidos semanalmente en los mercados de Puerto Cabello y Morón, así como también hay cría de ganado los cuales se han declarado en pérdida total motivado a las crecientes" (Fuenmayor, 2004).

La persistencia de la situación actual en un futuro podría producir en la parroquia Urama, que la parte alta del sector El Charal, esté sometida a amenaza debido a la posibilidad de quedar tapiadas unas 50 familias que viven en el sitio, motivado a la inestabilidad del terreno y a la propensión de derrumbe de este cerro, esta situación se ha podido observar durante un recorrido por el mismo, donde se constataron las huellas que ha dejado el movimiento de la tierra, tanto en las paredes y pisos de las viviendas como en los patios. Así mismo, existe el riesgo y el temor de los habitantes de enviar sus hijos en temporada de lluvias a clases ya que la Escuela Josefina Salcedo García, se encuentra justo debajo de este cerro. Para agravar la

situación, existe una quebrada intermitente, que mantiene la humedad en algunos sitios y de vez en cuando se forman pequeñas corrientes de agua, que contribuyen a la erosión del mismo En vista de esta situación, los habitantes esperan una propuesta de reubicación y manifiestan que estarían dispuestos a abandonar el sitio" (Zambrano, 2005)

Por otro lado, la inundación podría volver a interrumpir el paso en la vía que comunica Urama con Canoabo, y afectar el servicio que realiza el sistema de transporte ferroviario Urama-San Felipe, que actualmente **c**ontribuye a la diversificación y abaratamiento del transporte de cargas (Zambrano, 2005)

Adicionalmente, cualquier trabajo que se pretenda desarrollar en el cauce, deberá tomar en cuenta que la parroquia Urama es atravesada en el tramo de estudio por el gasoducto Morón – Barquisimeto que actualmente forma parte de un proyecto nacional de expansión para la interconexión Centro Occidente/Oriente, Morón-Río Seco y por el acueducto que abastece de agua a Morón y Puerto Cabello (PDVSA, 2003).

La situación expuesta hasta aquí permite reflexionar en relación a que existen variables hidrológico-ambientales, tales como estas vaguadas, que responden a procesos naturales, con los cuales el hombre como parte del

ecosistema planetario debe interconectarse y aprender de los ciclos naturales, esto implica, construir y mantener comunidades sostenibles en las que podamos satisfacer nuestras necesidades y aspiraciones respetando y entendiendo a la naturaleza. Existen una gran variedad de modelos ya estandarizados para el estudio del régimen de las variables hidrológico-ambientales, uno de los sistemas informáticos son los denominados HEC (Hydrologic Engineering Centers) que permiten estimar dichas variables sobre la base de parámetros físicos de la cuenca, uno de los análisis hidrológicos que se pueden llevar a cabo con estos modelos es la evaluación de las manchas de inundación. Esta investigación se orienta a la calibración y puesta en operación de los modelos HEC para determinar las planicies de inundación del río Urama y luego dejarlo operativo para cualquier otra cuenca.

1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Permite la aplicación de los modelos HEC zonificar las planicies de inundación en la cuenca del río Urama - Estado Carabobo?

1.3 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.

1.3.1 Objetivo General

Aplicar los modelos HEC para evaluar el comportamiento de variables hidrológico – ambientales con énfasis en la zonificación de las planicies de inundación en la cuenca del río Urama - Estado Carabobo

1.3.2 Objetivos Específicos

- Digitalizar la cartografía y obtener la información hidrológica requerida para la identificación de las subcuencas vertientes al río y la delimitación de la zona de estudio, que posean los organismos competentes tales como: SOPEC, INVIAL, MINFRA y Gobernación del Estado Carabobo
- Evaluar la información hidrometeorológica pertinente y disponible para establecer las condiciones iniciales y límites de los modelos hidrológicos utilizados en el Estudio
- Editar la información cartográfica digitalizada con el levantamiento topográfico de la zona de estudio, esto implica, incluir el perfil longitudinal y secciones transversales de aproximadamente 7 km para complementar y actualizar la cartografía digitalizada

- Adaptar y aplicar el software HEC-GeoHMS 1.1 (2003) como herramienta de modelación hidrológica geoespacial para obtener las características físicas y de drenaje de la zona de estudio
- Generar mediante HEC- HMS 2.2.2, las crecientes para distinto período de retorno
- Generar mediante HEC-RAS 3.1.3, los perfiles de superficie de las crecientes en el tramo de estudio de 7 Km. del cauce del río Urama
- Establecer las áreas de inundación mediante importación de la información previa hacia HEC-GeoRAS 1.0

1.4 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

El problema de las inundaciones se ha convertido en crónico en los últimos años, razón por la cual las instituciones, como MARN y Alcaldías han tomado conciencia de la importancia de los estudios hidrológicos-ambientales. El caso de esta investigación se formula a petición del Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales debido a la solicitud realizada por parte de la Alcaldía del Municipio “Juan José Mora”, en un esfuerzo por dar respuesta ante las peticiones de solución realizadas por los habitantes de la parroquia Urama, los cuales sufren de problemas de

epidemias, pérdidas de bienes y hasta vidas cada vez que retorna el período lluvioso y ocurren las crecientes de este río.

Con base en lo anterior, se espera que esta investigación contribuya a suministrar planos que indiquen las manchas de inundación o áreas de coberturas de las crecientes para períodos de retorno de 10, 25 y 50 años a lo largo de 7 Km que comprenden la cuenca alta y baja del río Urama - Parroquia Urama - Municipio "Juan José Mora" - Estado Carabobo, esta información permitirá proporcionarles a las autoridades del Municipio criterios para la toma de decisiones en planificación territorial, en función de la expansión urbana o bien de riesgos de inundaciones. De este modo se da cumplimiento con el requerimiento de pertinencia social de los programas de postgrado de la Universidad de Carabobo.

La investigación se enmarca además dentro de la propuesta global línea de investigación aprobada por el Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico (CDCH), según el Nº CDCH -1496-05 del 16/05/05, titulada "**MODELACIÓN DEL RÉGIMEN DE LAS VARIABLES HIDROLÓGICO - AMBIENTALES CON MIRAS AL ESTABLECIMIENTO DE PARÁMETROS DE DISEÑO EN REGIONES TROPICALES CARENTES DE INFORMACIÓN",** a cargo del Prof. Edilberto Guevara, según la cual incluye a la autora, adscrita al Departamento de Ingeniería Ambiental de la Escuela

de Ingeniería Civil, como coinvestigador en la realización de su desarrollo profesional. La razones técnicas por las cuales esta investigación se considera un caso de estudio dentro de la macro-investigación, están basadas en que ambas requieren; realizar modelación de procesos de precipitación, escurrimiento, así como de impactos ambientales sobre cuencas de Venezuela. Para evidenciar lo planteado en este párrafo se sugiere revisar la sección de anexos.

En el área de docencia, el uso de estos programas son de gran ayuda para el proceso de enseñanza-aprendizaje ya que garantizan el manejo de una herramienta eficaz, eficiente y amigable con el usuario, bien sea alumno o facilitador, puesto que éstos software se basan en los modelos matemáticos tradicionales contenidos en los textos clásicos de Hidrología y Mecánica de los Fluidos, lo cual permite agilizar los cálculos rutinarios, incrementar los casos de estudio y facilitar la visualización de resultados, tanto en forma gráfica, tabular o bien geoespacial mediante el uso de Modelos de Elevación Digital del terreno donde subyacen las cuencas. La manera como inciden en las respectivas asignaturas se describe a continuación:

El software HEC-HMS 2.2.2 se adapta al contenido programático de la asignatura de Hidrología que se dicta a los alumnos del séptimo semestre de

la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad de Carabobo, ya que ofrece los métodos tradicionales de modelación de los procesos de precipitación-escurrimiento y tránsito tanto natural como controlado así como también proporciona una interfaz gráfica con el usuario que permite visualizar las subcuencas a través de la importación de archivos generados mediante el uso del software HEC-GeoHMS 1.1 (2003) como herramienta de modelación hidrológica geoespacial, mediante la cual se pueden visualizar las características físicas de relieve y forma de cada subcuenca, además del drenaje de la zona de estudio, así como la delimitación en subcuencas de la zona de estudio. Como se puede observar la interfaz gráfica es una herramienta actualizada, pues data del año 2003. Todo lo cual los convierte en una herramienta de potencial aplicación en dicha asignatura.

El software HEC-RAS 3.1 (2002) se adapta al contenido programático de la asignatura de Mecánica de los Fluidos que se dicta a los alumnos del quinto y sexto semestre de la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad de Carabobo, ya que ofrece los métodos tradicionales de modelación de flujo estable o inestable, subcrítico, supercrítico y en trancisión, luego, esta información puede exportarse al software HEC-GeoRAS 1.1(2003) para generar las manchas de inundación para la zona mediante el uso de un soporte geoespacial (plano topográfico digitalizado)

En el área de investigación, los modelos permiten analizar el comportamiento de las variables hidrológico – ambientales en cualquier otra cuenca, una vez que se hayan ejecutado en este caso particular de estudio. Además, luego de la calibración y puesta en marcha del modelo, es posible usarlo para zonas de carencia de información básica.

Finalmente, con esta investigación se pretende generar conocimiento pertinente a las necesidades de la comunidad que constituye el entorno a la Universidad de Carabobo, y suministrar la información útil para tomar decisión a los organismos como la Gobernación, Alcaldías, Ministerios y demás organismos públicos involucrados con la implementación de soluciones.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES

En este Capítulo se tratará; la antecedencia los estudios que se han realizado en la zona de interés, uso de los programas HEC en Venezuela y a nivel mundial, así como también se presentarán los modelos matemáticos en los cuales se fundamentan los programas utilizados para la elaboración de este estudio.

- **Estudios realizados en el río Urama- Municipio Juan José Mora-Estado Carabobo**

C.G.R. (1994), realizó un estudio de la hidrología de la zona de interés, para determinar los hidrogramas de crecientes correspondientes a diferentes períodos de retorno en el sitio de toma del Río Urama (Dique-Toma), permitiendo expandir las obras de captación existente para transvasar hacia el vaso de Canoabo, parte de la producción de escorrentía que drena hacia dicho sitio. Este proyecto incluye la zona en estudio, Dique-Toma “José Laurencio Silva” del Río Urama, en donde se muestran los hidrogramas de crecientes,

curvas de duración de gastos diarios a nivel mensual y simulación del escurrimiento de los Ríos Urama , Canoabo y Temerla, está simulación se llevó a cabo para el periodo 1964-1991.

L. Acosta y L. Ramírez (2004), realizaron una investigación con el objetivo de evaluar la problemática por desbordamiento del río Urama. La metodología empleada para llevar a cabo la investigación involucró, en principio; realizar visitas de campo para observar la topografía, la geometría de las secciones transversales, entrevistar a la población afectada, tomar fotografías y detectar las obras hidráulicas presentes en la misma; el área tributaria se determinó mediante el uso de AutoCAD con un plano topográfico a escala 1:5.000 digitalizado, se determinó el perfil longitudinal del lecho del río en 700 m. de cauce y seis secciones transversales mediante levantamiento topográfico, esto permitió construir curvas de gasto en cada sección transversal utilizando la ecuación de Manning en tramos donde se pudo aproximar a sección constante, así como también se utilizaron registros de datos hidrológicos y geomorfológicos para estimar el caudal pico para periodos de retorno de 10, 25 y 50 años, a través del método del Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos. Se obtuvo un área tributaria de 1367 ha., el tiempo al pico resultó ser 120 minutos, los caudales picos de crecientes para 10, 25 y 50 años fueron 202, 272 y 465 m^3/s. La máxima capacidad hidráulica de las secciones transversales dio 133 m^3/s valor que es inferior a los caudales para los períodos de retorno seleccionados. Con la información obtenida y generada se concluyó que las secciones actuales del río no tienen la suficiente capacidad para soportar las crecidas, que el problema se ha acentuado por la

ubicación de viviendas en el lecho de la crecida del río. Se recomienda realizar limpieza en el cauce, mejorar las secciones transversales y procurar un trayecto mas recto para el río.

- **Estudios realizados de aplicación de los programas HEC en diferentes partes del mundo y en nuestro país**

El HEC-HMS ha sido empleado de la siguiente manera:

J. Velázquez (1998), profesor adscrito al Centro de Investigaciones en Desarrollo Sostenible y a la Universidad de Costa Rica, realizó un estudio con el objetivo de analizar los efectos que la expansión urbana ha generado sobre la hidrología de las cuencas urbanas de la ciudad de San José, con el fin de identificar zonas de riesgo y dar recomendaciones de ordenamiento territorial en torno a la mitigación y prevención de este problema. El análisis se dividió a su vez en dos grandes áreas: el análisis de la expansión urbana y la evaluación hidrológica. Para la primera, se derivaron mapas de cobertura urbana para distintos años dentro del período de estudio, mediante interpretación de imágenes Landsat TM. Para la segunda, se analizó la respuesta hidrológica, con la cual se identificaron las características del proceso de precipitación-escorrentía, el cual es en gran medida, el responsable de las inundaciones. El modelo de simulación empleado fue el HEC-HMS, utilizando como parámetros de calibración el *número de curva* y las abstracciones iniciales, y utilizando el modelo de *Hidrograma Unitario* para asignar las características temporales de la respuesta hidrológica. Finalmente, se realizaron estimaciones de caudal para eventos probables de precipitación, se recopiló información histórica de

inundaciones y se identificaron las causas de estos eventos y las zonas más vulnerables.

Cordero, M.; Crecente, R., y Cancela, J. (1999) adscritos a la Escuela Politécnica Superior, Campus Universitario s/n, Lugo, España, realizaron un estudio en la cuenca alta del río Tea. O Covelo (Pontevedra), este río se encuentra ubicado en el Municipio de O Covelo (Pontevedra) Galicia- España. Los objetivos del estudio fueron evaluar los impactos y los campos donde se debía actuar para proteger el cauce y su cuenca alimentadora que presenta fuertes pendientes y una elevadísima pluviosidad (hasta 3000 mm) por lo que el tramo alto de la cuenca presenta características torrenciales. El estudio hidrológico se dividió en tres apartados; Estudio de avenidas en el cauce del río Tea: obtención de caudales y niveles; alcanzados para distintos períodos de retorno con los programas HEC-HMS (antiguo HEC-1) (HEC 1990) y HEC-RAS (antiguo HEC-2) (BRUNNER, G.W.1997). Estudio de la evolución del riesgo de erosión mediante la USLE (WISCHMEIER, W.H. y SMITH, D.D. 1978). Estudio del impacto de la red de pistas en la red de drenaje natural: mediante la extensión Hidrology Modeling del GIS ArcView GIS.3.2 se calculó la red fina de drenaje natural de la cuenca y su interacción con la red de pistas. Simultáneamente por un estudio de campo se analizaron los factores más importantes en la destrucción por erosión de las pistas y las formas de evitarlo, se ejecutaron obras de caminos rurales en tres zonas de Concentración Parcelaria.

M. Palencia y A. Machado (2005), realizaron una investigación que utilizó el software HEC-HMS para simular las crecientes de distinto período de

retorno que se generan en la confluencia de los ríos Canoabo y Temerla y efectuar el tránsito de la creciente superpuesta hasta el Dique Toma, lugar donde se contaba con crecientes conocidas a partir de las cuales se efectuó la simulación, estas crecientes serán usadas como datos de entrada en el HEC-RAS. La modelación hidrológica para simular los procesos de la precipitación-escurrimiento se realizó mediante la aplicación del método del SCS y así generar las crecientes, dichas crecientes se transitaron desde la confluencia hasta el Dique-Toma “José Laurencio Silva” empleando el modelo de Muskingum. Una vez obtenidas las crecientes, éstas fueron comparadas con las propuestas por el estudio de Hidrocentro

El uso de HEC-GeoHMS se ha reseñado de la siguiente manera:

V., Ponce (1994), realizó un estudio para analizar las condiciones hidrológicas de la cuenca del Arroyo Alamar, determinar la frecuencia y probabilidad de ocurrencia de los escurrimientos, así como calcular la avenida de diseño correspondiente a la llamada "cuenca libre." Con el objeto de definir el gasto de diseño más apropiado para utilizar en la demarcación de las zonas federales en el Arroyo Alamar, donde se empleo el programa HEC-GeoHMS.

Con respecto a las investigaciones realizadas que guardan relación con el uso del software HEC-RAS, se tiene que:

E. Chavarri (1999), adscrito a la Universidad Nacional Agraria La Molina - Perú, llevó a cabo una aplicación del HEC-RAS para obtener los perfiles

hidráulicos para diversos caudales de crecidas, en el estudio río Tumbes desde la Estación Puerto El Cura hasta 900.0 m aproximadamente aguas abajo del Puente Tumbes. Después de los eventos ocurridos por el fenómeno El Niño-98, la configuración del río varió considerablemente por lo que fue necesario este tipo de estudios para que acompañados de otros como el estudio del transporte de sedimentos, se pudiera realizar la planificación hidráulica del río. Las principales partes del estudio consistieron en la revisión hidrológica de la información hidrometeorológica así como el procesamiento de la información topográfica. La ejecución del programa HEC-RAS, consideró subcrítico el régimen hidráulico del río, la simulación del perfil de flujo del evento ocurrido 09-02-98 tuvo como finalidad calibrar los cálculos que realiza el cálculo del programa. Sin embargo al realizar la simulación respectiva los resultados no concuerdan con lo observado en el Puente Tumbes, esto debido a la escasez de precisión de los datos de entrada al programa y a la sobrestimación de los caudales máximos extraídos de la información hidrológica.

V. Obregón, I. Saavedra y M. Nava (2005), realizaron la evaluación del flujo de agua superficial y subterránea en la Ciudad Universitaria de Caracas, esto debido a que se ha venido apreciando una serie de fallas en las edificaciones, las cuales han motivado a las autoridades responsables de la conservación y preservación de este patrimonio mundial a la caracterización del acuífero existente. Para esto se hace imperativa la obtención de una serie de datos reales correspondientes a diversos parámetros hidrológicos, hidráulicos y geológicos que permitan la aplicación de un modelo de simulación de flujo, mediante el estudio de la sensibilidad por el Modelo Unidimensional

HEC-RAS, específicamente aplicado en el sector piloto, a los diferentes parámetros y condiciones de borde que se especifican en la data de entrada, permitiendo la estimación de las profundidades para los gastos máximos de diversas crecientes (TR= 2.33 ,5, 10, 25, 100, 500 años) y la mancha de inundación producida por ellas, complementando este estudio con el Modelo Bidimensional FLO-2D.

Algunos ejemplos del uso de HEC-GeoRAS en el mundo, son:

El proyecto *Hydraulic Modeling of the Salt River, Arizona*, donde se estudió el impacto de las alternativas de restauración del ecosistema y los efectos asociados a los daños por inundación para el área en estudio.

2.2 BASES TEÓRICAS

Las bases teóricas que serán presentadas están fundamentadas en los modelos matemáticos usados para este estudio que administran los programas HEC. Se iniciará con los modelos usados por los programas HEC-GeoHMS y HMS, para luego finalizar con detalles de la modelación HEC-RAS

2.3 MODELACIÓN CON HEC-GEOHMS Y HMS

La modelación con HEC-GeoHMS y HEC-HMS está relacionada ya que HEC-GeoHMS genera archivos de importación de las características físicas, tales como delimitación de subcuencas, longitud de ríos, áreas de las subcuencas, pendientes de ríos, pendientes de subcuencas, y también

parámetros hidrológicos para la aplicación de los modelos matemáticos en HEC-HMS; para determinar pérdidas por infiltración, escorrentía superficial, flujo base, tránsito de crecientes a lo largo de ríos

2.4 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LA UNIDAD HIDROLÓGICA

Las características físicas que serán descritas para la cuenca y el río que genera GeoHMS son las siguientes:

- Longitud del flujo superficial.
- Longitud de las corrientes.
- Pendiente del canal.
- Longitud al centroide.
- Centroide de la cuenca.

2.4.1 Longitud del flujo superficial

Es la longitud del recorrido del flujo no canalizado desde un punto sobre la divisoria del drenaje hasta un punto del cauce adyacente, proyectado sobre la horizontal.

2.4.2 Longitud de las corrientes

Para obtener la longitud media del cauce de orden u, se divide la longitud total por el número de segmentos N_u de ese orden. La longitud promedio de un segmento de cauce de orden u es una propiedad dimensional reveladora del tamaño característico de los componentes de una red de drenaje y de las superficies de sus cuencas contribuyentes.

2.4.3 Pendiente del canal

La velocidad de escurrimiento de las corrientes de agua depende de la pendiente de sus canales fluviales. A mayor pendiente mayor velocidad. Los perfiles típicos de los cauces naturales son cóncavos hacia arriba; además, todas las cuencas, exceptuando las más pequeñas, tienen varios canales cada uno con un perfil diferente. Es por esta razón que definir la pendiente promedio de un cauce en una cuenca es muy difícil.

2.4.4 Longitud al centroide

Es la distancia siguiendo el cauce desde el punto más bajo hasta el centro de gravedad de la cuenca, definido este último con un punto ubicado en el cauce principal.

2.4.5 Centroide de la cuenca

La localización del centroide de la cuenca puede ser estimada de cuatro maneras. El enfoque de ingeniería para la localización del centroide con cálculo del momento alrededor de los ejes X y Y no es implementada aquí, porque el centroide puede estar fuera de la cuenca en el caso de cuencas en forma de U o de cuencas con formas extrañas. Los cuatros métodos usados por GeoHMS para aproximar la ubicación del centroide son; Rectángulo circunscrito, la elipse, el canal de flujo y el especificado por el usuario.

- **Cuadro Circunscrito**: El método de cuadro circunscrito, circunscribe una subcuenca dentro de un rectángulo y aproxima el centroide como el centro del cuadro. Este método funciona bastante rápido pero puede no ser aplicable a muchas formas de cuenca.

- **Método de la Elipse:** El método de la elipse circunscribe una subcuenca dentro de una elipse y aproxima el centroide como el centro de la elipse. Este método es más lento que el del cuadro circunscrito pero generalmente produce mejores estimados de los centroides de la cuenca. Este método solo funciona en subcuencas de 2.000.000 (dos millones) de celdas o menos.

- **Canal de Flujo**: El método de la canal de flujo dibuja la mayor longitud de flujo para la subcuenca y aproxima el centroide al punto medio en la corriente de mayor longitud

- **Localización del Centroide especificada por el usuario**: Cuando los tres métodos previos no producen estimados satisfactorios del centroide, el programa le permite al usuario mover el centroide a cualquier localización dentro de la subcuenca.

2.5 ESTIMACIÓN DE LOS PARÁMETROS HIDROLÓGICOS Y MODELACIÓN HIDROLÓGICA

A continuación se presentan los modelos matemáticos hidrológicos que hacen uso de los parámetros hidrológicos calculados por GeoHMS. Los modelos matemáticos hidrológicos involucrados son:

- Modelación de la precipitación para HEC-HMS
- Modelación del volumen de escurrimiento con HEC-HMS
- Modelación de la escorrentía directa con HEC-HMS
- Modelación del flujo base con HEC-HMS
- Modelación del tránsito en canales con HEC-HMS

2.5.1 Modelación de la precipitación para HEC-HMS

HEC-HMS ofrece tres alternativas de tormentas basadas en estándares:

1. Tormentas basadas en frecuencias
2. Tormentas de proyecto estándares; y

3. Alturas de tormentas definidas por el usuario y distribución temporal.

En este estudio se aplicaran las tormentas basadas en frecuencias debido a que se poseen datos para ello.

Tormentas hipotéticas basadas en Frecuencia en HEC-HMS

El objetivo de las tormentas hipotéticas basadas en las frecuencias incluidas en HEC-HMS es definir un evento para el cual la altura de precipitación para distintas duraciones dentro de la tormenta tiene una probabilidad de excedencia consistente. Para desarrollar las tormentas para HEC-HMS:

Uno de los puntos fundamentales para obtener un diagrama de cualquier periodo de retorno es ver cuál es la lluvia de diseño y cómo se reparte en el tiempo. Para ello hay varios métodos, usando en nuestro caso el de los bloques alternados (Chow, Maidment, 1988), dada su sencillez y su claro significado físico.

A continuación se resume cual es el proceso del mismo, que permite obtener la tormenta de proyecto en forma de una sucesión de bloques de igual duración donde en cada uno de ellos llueve distinto, dándose el valor máximo a mitad de la duración considerada:

· **Determinación de la duración de la lluvia**: Por definición, la duración de la lluvia más desfavorable y que provoca mayor pico de caudal de hidrograma es la del tiempo de concentración, que es el momento a partir del cual toda la superficie de la cuenca aporta agua en nuestra sección de estudio. Si la duración es menor, hay parte de la superficie de la cuenca que no aporta agua, por lo que el pico de caudal será menor, y si la duración es mayor el pico es el mismo que cuando se toma como duración el tiempo de concentración de la cuenca, ya que la superficie de agua es la misma, no aumenta.

· **Determinación de los intervalos de lluvia:** Ésta se toma de manera que se obtengan entre 10 y 20 bloques de lluvia en la tormenta de proyecto, logrando una aproximación más a 20, cuanto mayor sea el tiempo de concentración. Aquí decidimos tomar 20 minutos, resultando 14 bloques totales (tormenta de 280 minutos).

· **Deducción de los valores de intensidad de precipitación**: para cada una de las duraciones acumuladas de los intervalos considerados (20, 40 ... y 280 minutos). La intensidad de precipitación se determina mediante el modelo empírico determinado para la región central de Venezuela (Estados Aragua, Carabobo y Cojedes) sobre la base de los registros pluviográficos de 14 estaciones, (Guevara, 2002) ha encontrado el modelo de la Ecuación 2.1, para estimar la curva de Intensidad – Duración –Frecuencia:

$$I = \frac{634T^{0.222}}{(D+4)^{0.714}} \quad \text{(r=0.996)} \qquad (2.1)$$

Donde, I es la intensidad máxima para un determinado período de retorno T en mm/hora y D es la duración de la tormenta en mm/hora

· **Obtención de la profundidad máxima de precipitación acumulada** como el producto de la intensidad calculada por su duración correspondiente.

· **Bloques Alternos**: se calcula la profundidad que le corresponde a cada uno de los bloques considerados desacumulando los valores obtenidos en el punto anterior.

· Reducir estos últimos valores de lluvia a intensidad dividiendo por la duración del intervalo de lluvia en horas (20 minutos = 0.33 horas), para tener mm/h.

- **Reducción de la lluvia por el área,** para ello se cuenta con un factor de reducción para la lluvia puntual sobre el área a partir de un análisis de Altura-Duración-Área, realizado sobre la base de 47 tormentas obtenidas del Ministerio del Ambiente y Recursos Naturales, ocurridas en las regiones Nor-Oriental, Central, Centro-Occidental y Andes de Venezuela (Guevara 2002), basado en el hecho de que la lluvia media decrece con la distancia desde el centro de la tormenta y de que la tasa de reducción de los valores puntuales se incrementa a medida que disminuye la duración de la lluvia puntual en el centro de la tormenta. Para una duración de 3 horas se determinó el factor de reducción, aplicando la Ecuación 2.2:

$$R_D = \frac{1}{1 + 7.75x10^{-4} D^{-0.304} A} \qquad (2\text{-}2)$$

· Ordenar los bloques de manera que el mayor valor quede en el centro, y los siguientes alternativamente a derecha e izquierda del central.

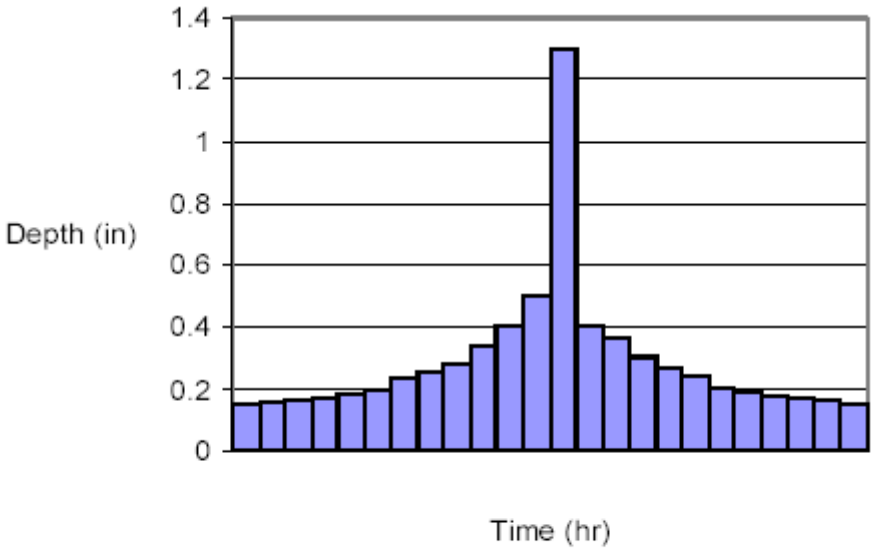


Figura 2.1 Tormenta de diseño. Método de bloques alternos

2.5.2 Modelación del volumen de escurrimiento con HEC-HMS

HEC-HMS considera que el terreno y el agua en una cuenca se pueden clasificar como sigue:

- Superficie impermeable
- Superficie permeable

La superficie impermeable en la cuenca, es la parte de la cuenca a través de la cual escurre toda la precipitación si no hay infiltración, evaporación,

u otros volúmenes de pérdidas. La superficie permeable está sujeta a pérdidas. HEC-HMS involucra los siguientes modelos de alternativas para la determinación de las pérdidas acumuladas:

- Modelo de pérdidas iniciales y constantes
- Modelo déficit y velocidad constante
- Modelo de pérdidas del número de curva (CN) del Servicio De Conservación De Suelos
- Modelo de pérdidas de Green y Ampt

Con cada modelo, las pérdidas de la precipitación se encuentran para cada intervalo de tiempo, y se restan de la altura de la precipitación total para ese intervalo. La altura remanente se refiere al exceso de la precipitación. Esta altura se considera uniformemente distribuida sobre toda el área de la cuenca, de manera que representa el volumen de escurrimiento.

En este estudio detallaremos únicamente el Modelo de pérdidas del número de curva (CN) del Servicio de Conservación de Suelos, debido a que es el que se ajusta a los datos encontrados.

Modelo de pérdidas del número de curva (CN) del Servicio de Conservación de Suelos

El modelo de Número de Curva (CN) del Servicio de Conservación de Suelos (SCS) estima el exceso de precipitación como una función de la

precipitación acumulada, la cobertura del suelo, uso de la tierra, y humedad antecedente, mediante el uso de la Ecuación 2-3:

$$P_e = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S} \qquad (2\text{-}3)$$

Donde:

P_e: Exceso de precipitación acumulada en el tiempo.

P: Altura de lluvia acumulada en el tiempo.

I_a: Abstracción inicial (pérdida inicial).

S: Retención máxima potencial, una medida de la capacidad de la cuenca para abstraer y retener la precipitación de la tormenta. Hasta que la lluvia acumulada exceda a la abstracción inicial, el exceso de precipitación y en consecuencia el escurrimiento, serán nulos.

A partir del análisis de los resultados de muchas cuencas pequeñas, el SCS desarrolló relaciones empíricas de I_a y S que se según la Ecuación 2-4:

$$I_a = 0.2S \qquad (2\text{-}4)$$

Por otro lado, el exceso acumulado en el tiempo t es:

$$P_e = \frac{(P - 0.2S)^2}{P + 0.8S} \qquad (2.5)$$

El exceso incremental para un intervalo de tiempo se calcula como la diferencia entre el exceso acumulado y el final y el comienzo del período.

La retención máxima, S, y las características de la cuenca se relacionan mediante parámetros intermedios, el número de curva (abreviado en ingles como CN) interviene como en la Ecuación 2.6:

$$S = \begin{cases} \dfrac{1000 - 10CN}{CN} & Sistema \quad Inglés \\ \dfrac{25400 - 254CN}{CN} & SI \end{cases} \qquad (2.6)$$

El rango de valores de CN va desde 100 (para cuerpos de agua) hasta aproximadamente 30 para suelos permeables con alta velocidad de infiltración.

Estimación del número de curva de escorrentía, CN

Con la precipitación P, y el número de curva de escorrentía CN, la escorrentía P_e, puede ser determinada por la Ecuación 2-5. Para cuencas sin mediciones de caudal, tablas de número de curva de escorrentía CN para varias coberturas complejas hidrológicas del suelo se encuentran ampliamente disponibles.

Las coberturas complejas hidrológicas de suelo describen una combinación específica de los grupos de suelos hidrológicos, el uso y

tratamiento de la tierra, la condición hidrológica superficial, y las condiciones de humedad antecedentes. Todos estos factores tienen un comportamiento directo sobre la cantidad de escorrentía producida por una cuenca. El grupo hidrológico de suelos describe el tipo de suelo. El uso y tratamiento del suelo describe el tipo y la condición de la cubierta vegetal. La condición hidrológica se refiere a la capacidad de la superficie de la cuenca para aumentar o impedir la escorrentía directa. La condición de humedad antecedente tiene en cuenta la historia reciente de la precipitación, y consecuentemente es una medida de la cantidad almacenada por la cuenca.

Clasificación hidrológica de los suelos

Los grupos hidrológicos en que se pueden dividir los suelos son utilizados en el planeamiento de cuencas; para la estimación de escorrentía a partir de la precipitación. Los suelos han sido clasificados en cuatro grupos, A, B, C y D, de acuerdo con el potencial de escurrimiento.

A. (Bajo potencial de escorrentía).Suelos que tienen alta tasa de infiltración aún cuando estén muy húmedos. Consisten en arenas o gravas profundas bien o excesivamente drenados. Estos suelos tienen una alta transmisión de agua.

B. (Moderadamente bajo potencial de escorrentía). Suelos con tasa de infiltración moderada cuando están muy húmedos. Suelos moderadamente profundos a profundos, moderadamente bien drenados a bien drenados,

suelos con texturas moderadamente finas a moderadamente gruesas y permeabilidad moderadamente lenta a moderadamente rápida. Son suelos con tasas de transmisión de agua moderadas.

C. (Moderadamente alto potencial de escorrentía). Suelos con infiltración lenta cuando están muy húmedos. Consisten de suelos con un estrato que impide el movimiento del agua hacia abajo; suelos de texturas moderadamente finas a finas; suelos con infiltración lenta debido a sales o álcali, o suelos con niveles freáticos moderados. Estos suelos pueden ser pobremente drenados o bien moderadamente bien drenados, con estratos de permeabilidad lenta a muy lenta a poca profundidad (50 – 100cm).

D. (Alto potencial de escorrentía). Suelos con infiltración muy lenta cuando están muy húmedos. Consisten de suelos arcillosos con alto potencial de expansión; suelos con nivel freático alto permanente; suelos con estrato arcilloso superficial, suelos con infiltración muy lenta debido a sales o álcali y suelos poco profundos sobre material casi impermeable. Estos suelos tienen tasas de transmisión de agua muy lenta.

Condición de humedad antecedente

El método del número de curva de escorrentía tiene tres niveles de humedad antecedente, dependiendo de la precipitación total en los cinco días previos a la tormenta; la condición de humedad antecedente seca; la

condición de humedad antecedente normal y la condición de humedad antecedente húmeda.

Condición I: (Suelo Seco). Es el caso en que los suelos se secan sin perder la cohesión; o sea, cuando se puede arar o cultivar en buenas condiciones (lámina 0-35mm).

Condición II: (Suelo Normal). Es el caso medio para crecidas anuales, es decir, las condiciones medias existentes que produjera la máxima crecida anual en dichas cuencas (lámina 35- 50mm).

Condición III (Suelo Húmedo). Cuando en los 5 días anteriores a al tormenta dada, se han producido lluvias fuertes o lluvias tenues con bajas temperaturas y el suelo esta casi saturado (lámina mayor a 50mm).

La relación entre la precipitación y el escurrimiento para estas tres condiciones se expresa mediante un determinado numero de curva, que depende de la condición de humedad antecedente, de la clasificación de los suelos según sus características hidrológicas (indicador de infiltración), de la condición hidrológica (indicador de la cobertura vegetal) y de los usos de la tierra.

Usos y tratamiento del suelo

El uso de la cuenca tiene efecto sobre la respuesta de la cuenca a los fenómenos hidrometeorológicos. A medida que se deforesta una cuenca

aumentan los picos de crecidas y baja el caudal de esquiaje (caudal mínimo del río, a partir del cual se midan las crecidas).

Dependiendo de la clasificación de los suelos, uso de la tierra, tratamiento o práctica y de la condición hidrológica, se determina el número de curva a la condición II de humedad antecedente ya que ésta es representativa de la condición del suelo.

Los valores de CN para las condiciones I y III se estiman mediante las ecuaciones:

$$CNI = \frac{4.2CNII}{10 - 0.058CNII} \qquad (2.6)$$

$$CNIII = \frac{23CNII}{10 - 0.13CNII} \qquad (2.7)$$

Donde:

CN I: Condición de humedad antecedente seca.

CN II: Condición de humedad antecedente normal.

CN III: Condición de humedad antecedente húmeda.

El CN de una cuenca se puede estimar como una función del uso de la tierra, tipo de suelo, y humedad antecedente de la cuenca, con el uso de las

tablas publicadas por el SCS. Por conveniencia, se incluyen las tablas de CN desarrolladas por el SCS y publicadas en el Reporte Técnico 55 (comúnmente referenciado como TR-55). Con estas tablas y conociendo el tipo de suelo y el uso de la tierra, se encuentra un valor único de CN. Las diversas tablas referentes a la selección del CN se encuentran en el Apéndice H de este estudio

Para una cuenca formada por varios tipos de suelo y usos de la tierra, un CN ponderado se calcula mediante la Ecuación 2-8:

$$CN_{pondreado} = \frac{\sum A_i CN_i}{CN_i} \qquad (2\text{-}8)$$

Donde:

$CN_{ponderado}$: Numero de Curva ponderado para calcular el volumen de escurrimiento.

I: Índice de subdivisiones de la cuenca para tipo de suelo y uso de la tierra

CN_i: Número de Curva para la subdivisión i.

A_i: Área de drenaje de la subdivisión i.

Los usuarios del modelo SCS como se implementa en HEC-HMS deberían notar que las tablas incluyen un CN ponderado para distritos urbanos, distritos residenciales, y áreas de clasificación reciente. Esto es, el CN que se muestra son valores compuestos para un área impermeable conectada directamente y espacios abiertos. Si se selecciona un CN para estos usos de la

tierra, no se requiere la determinación del área impermeable no conectada en HEC-HMS.

2.5.3 Modelación de la escorrentía directa con HEC-HMS

En este punto se describen los modelos de interés para este estudio que simulan los procesos de escurrimiento directo del exceso de precipitación sobre la cuenca. HEC-HMS se refiere a estos procesos como “transformación” del exceso de precipitación en un punto de escurrimiento. Con HEC-HMS, existen dos opciones para métodos de transformación:

- **Modelos empíricos (se refieren a modelos teóricos de sistemas)**. Estos involucran modelo de hidrogramas unitarios (HU) tradicionales. Los modelos teóricos de sistemas buscan establecer un enlace casuístico, entre el exceso de precipitación y el escurrimiento sin considerar los detalles de los procesos internos. Las ecuaciones y los parámetros del modelo tienen significado físico limitado. Sin embargo, ellos han sido seleccionados atendiendo a criterios de optimización de bondad de ajuste.
- **Modelo conceptua**l. El modelo conceptual incluido en HEC-HMS es el modelo de onda cinemática de flujo superficial. Este representa, en su mayor extensión, todos los mecanismos físicos que gobiernan el movimiento del exceso de precipitación sobre la superficie de la tierra de la cuenca y pequeños canales colectores en la cuenca.

En este estudio se dispone de datos para utilizar los modelos empíricos

del SCS y de Clark, es por ello que serán los detallados a continuación.

2.5.3.1 Modelo de HU del SCS

El Servicio de conservación de Suelos (SCS) propuso un modelo paramétrico de Hidrograma Unitario (HU). Este HU adimensional, el cual se muestra en la Figura 2-2, expresa el HU de descarga, U_t , como la relación de la descarga pico del HU, U_p, para cualquier tiempo t, una fracción de T_p, el tiempo al pico del HU.

Las investigaciones del SCS sugieren que el pico del HU y el tiempo al pico del HU se relacionan mediante la Ecuación 2-9:

$$U_p = C\frac{A}{T_p} \qquad (2\text{-}9)$$

En el cual A=área de la cuenca; y C= constante de conversión (2.08 en SI y 484 en el sistema libra-pie). El tiempo al pico (también se conoce como tiempo de incremento) se relaciona con la duración de la unidad de exceso de precipitación mediante la Ecuación 2-10:

$$T_p = \frac{\Delta t}{2} + t_{lag} \qquad (2\text{-}10)$$

Donde Δt=duración de la precipitación en exceso (el cual es un intervalo de cálculo en HEC-HMS); y t_{lag}=retardo de la cuenca, definido como el tiempo

diferencia entre el centro de masa del exceso de lluvia y el pico del HU. [Observe que para una definición adecuada de las ordenadas sobre la curva ascendente del HU del SCS, se debe usar un intervalo de cálculo, Δt, menor del 29% del t_{lag} (USACE,1998).]

Cuando se especifica el tiempo de retardo, HEC-HMS resuelve la Ecuación 2-10 para encontrar el tiempo al pico del HU, y la Ecuación 2-9 para encontrar el pico del HU. Conocidos U_p y T_p, el HU se encuentra a partir del formato dimensional, el cual se incluye en HEC-HMS, por multiplicación

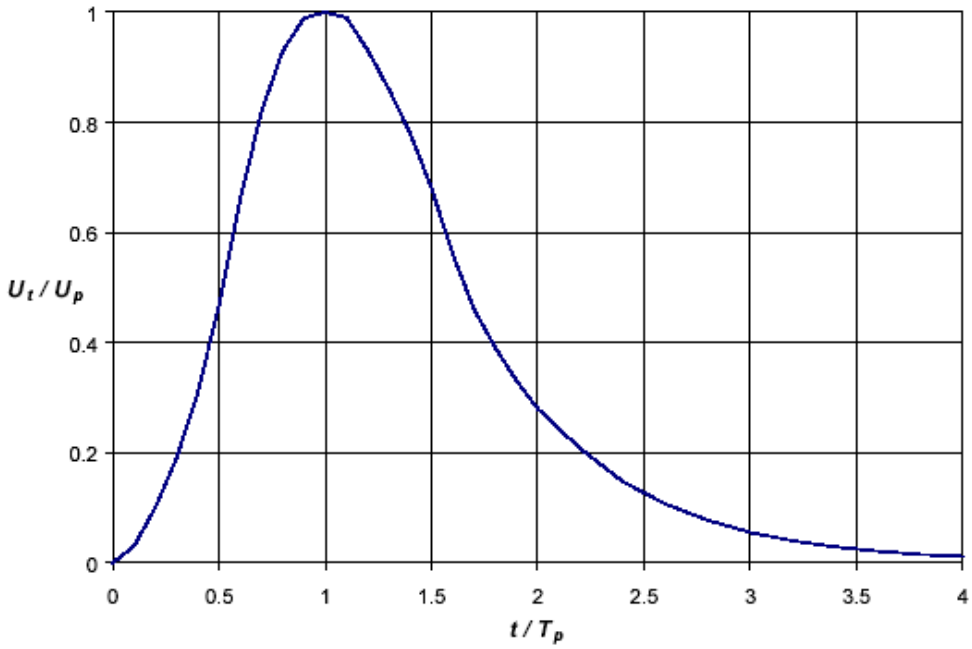


Figura 2.2 Hidrograma Unitario Adimensional del SCS

Estimación de los parámetros del HU del SCS

Para cuencas sin medición, el SCS sugiere que el tiempo de retardo del HU se debe relacionar con el tiempo de concentración, t_C, con la Ecuación 2-11:

$$t_{lag} = 0.6 t_C \qquad (2\text{-}11)$$

El tiempo de concentración es un parámetro cuasi-físico que se puede estimar con la Ecuación 2-12:

$$t_C = t_{sheet} + t_{shalow} + t_{channel} \qquad (2\text{-}12)$$

Donde t_{sheet}=suma del tiempo de viaje en los tramos de flujo laminar sobre la superficie del terreno de la cuenca; $t_{shallow}$= suma del tiempo de viaje en tramos de flujo turbulento, partes bajas de la calles, cunetas, quebradas y arroyos; y $t_{channel}$= suma del tiempo de viaje en tramos del canal.

Identificar los canales abiertos donde la información de la sección transversal esté disponible. Obtener las secciones transversales de levantamientos topográficos de campo, planos, o fotografías aéreas. Para estos canales, la velocidad se estima mediante la Ecuación de Manning (2-12):

$$V = \frac{CR^{2/3}S^{1/2}}{n} \qquad (2\text{-}13)$$

Donde V=velocidad promedio; R=radio hidráulico (definido como la relación del área de la sección transversal entre el perímetro mojado); S=pendiente de la línea de energía (con frecuencia se aproxima a la pendiente del lecho); y C=constante de conversión (1.00 para el SI y 1.49 para el sistema libra-pie). Los valores de n, los cuales comúnmente se conocen como coeficiente de rugosidad de Manning, se puede estimar de tablas de textos, tales como en Chaudhry (1993). Una vez que la velocidad en el canal se ha estimado, el tiempo de viaje en el canal se calcula con la Ecuación 2-14:

$$t_{channel} = \frac{L}{V} \qquad (2\text{-}14)$$

Donde L=longitud del canal

El flujo laminar es el flujo sobre la superficie de la tierra, antes de que el agua llegue al canal. Las distancias son cortas – en el orden de 10 – 100 metros (30 – 300 pie). El SCS sugiere que el tiempo de viajes del flujo laminar se puede estimar con la Ecuación 2-15:

$$t_{sheet} = \frac{0.0007(NL)^{0.8}}{(P_2)^{0.5}S^{0.4}} \qquad (2\text{-}15)$$

Donde N=coeficiente de rugosidad del flujo sobre la tierra; L= longitud del flujo; P_2=2 años, 24 horas de altura de lluvia, en pulgadas, y S=pendiente de la línea hidráulica, la cual se puede aproximar a la pendiente del terreno. (Esto se estima basado en la solución aproximada de las ecuaciones de onda – cinemática, las cuales se describen posteriormente en este capítulo). En el Apéndice I se encuentran tabulados los valores de N para varias superficies.

El flujo laminar generalmente se convierte en turbulento después de 100 metros. La velocidad promedio para el flujo en completa turbulencia se puede estimar como:

$$V = \begin{cases} 16.1345\sqrt{S} & para\,superficies\,sin\,pavimento \\ 20.3282\sqrt{S} & para\,superficies\,pavimentadas \end{cases} \qquad (2\text{-}16)$$

A partir de esto, el tiempo de viaje se estima con la Ecuación 2-14

2.5.3.2 Modelo del HU de Clark

El modelo de Clark genera un HU para una cuenca mediante representación explicita de dos procesos críticos en la transformación del exceso de precipitación en escurrimiento.

- **Traslación** o movimiento del exceso desde el origen hacia el drenaje hacia la salida de la cuenca; y
- **Atenuación** o reducción de la magnitud de la descarga a medida que el exceso se almacena a lo largo de la cuenca

Conceptos Básicos y Ecuaciones

El almacenamiento del agua a través de la cuenca –en el suelo, sobre la superficie, y en los canales- juega un papel importante en la transformación del exceso de precipitación a escurrimiento. El modelo de embalse lineal es una representación común de los efectos de este almacenamiento. El modelo deriva de la ecuación de continuidad, Ecuación 2-17:

$$\frac{dS}{dt} = I_t - O_t \qquad (2\text{-}17)$$

Donde dS/dt=velocidad de cambio en el tiempo del almacenamiento en el tiempo; I_t=caudal de entrada promedio para el almacenamiento en el tiempo t; y O_t=caudal de salida desde el almacenamiento en el tiempo t.

Con el modelo lineal del embalse, el almacenamiento en tiempo t se relaciona con el caudal de salida con la Ecuación 2-18:

$$S_t = RO_t \qquad (2\text{-}18)$$

Donde R=constante lineal del parámetro del embalse. La combinación y resolución de las ecuaciones usa una aproximación de diferencias finitas simples produce:

$$O_t = C_A I_t + C_B O_{t-1} \qquad (2\text{-}19)$$

Donde C_A, C_B = coeficientes de tránsito. Los coeficientes se calculan a partir de:

$$C_A = \frac{\Delta t}{R + 0.5\Delta t} \qquad (2\text{-}20)$$

$$C_B = 1 - C_A \qquad (2\text{-}21)$$

El caudal de salida promedio es:

$$\overline{O_t} = \frac{O_{t-1} + O_t}{2} \qquad (2\text{-}22)$$

Con el modelo de Clark, los embalses lineales representan las consecuencias agregadas de almacenamiento de la cuenca. De manera que, conceptualmente, el embalse se considera que deba ubicarse en la salida de la cuenca.

Adicionalmente a este modelo de soporte del almacenamiento, el modelo de Clark determina el tiempo requerido para que el agua se mueva hasta la salida de la cuenca. Esto supone un modelo lineal de canal (Dooge,1959), en el cual el agua “transitó” desde los puntos remotos hasta el embalse lineal en la salida con retardo (translación), pero sin atenuación

Este retardo se representa implícitamente en el hidrograma de área-tiempo. Con ello se especifica el área de la cuenca contribuyente al caudal en la salida como una función del tiempo. Si el área se multiplica por una altura unitaria se divide entre Δt, el calculo del período de tiempo, el resultado es el caudal de entrada I_t, para un almacenamiento lineal.

La solución de la Ecuación 2-22 se encuentra por iteración, una vez definido el caudal de entrada, produce valores de $\overline{O_t}$. Sin embargo, si la ordenada del caudal de entrada en la Ecuación 2-19 representa el escurrimiento a partir de una unidad de exceso de lluvia, las ordenadas del caudal de salida son, de hecho, U_t, en el HU.

[Observe que como la solución de la Ecuación es iterada, el caudal de salida teóricamente continuará para una duración infinita. HEC-HMS continua el cálculo de las ordenadas del HU hasta que el caudal de salida excede 0.995 pulgadas o mm. HEC-HMS ajusta las ordenadas del HU usando una consideración de altura ponderada para producir una altura uniforme equivalente por cada unidad]

Estimación de los Parámetros del Modelo del HU de Clark

La aplicación del modelo de Clark requiere determinar:

- Propiedades del histograma de área-tiempo
- Coeficiente de almacenamiento, R

- **Propiedades del histograma de área-tiempo**

Como se observa, las propiedades del modelo de tránsito lineal se definen implícitamente mediante un histograma área-tiempo. Los estudios en HEC muestran que, aun cuando se han desarrollado relaciones específicas para la cuenca, una función semejante se ajusta a las relaciones de área – tiempo representa una distribución temporal adecuada para la generación de un HU para la mayoría de las cuencas. Esta relación área-tiempo común, incluida en HEC-HMS es:

$$\frac{A_t}{A} = \begin{cases} 1.414\left(\frac{t}{t_c}\right)^{1.5} & para\, t \le \frac{t_c}{2} \\ 1 - 1.414\left(1 - \frac{1}{t_c}\right) & para\, t \ge \frac{t_c}{2} \end{cases} \qquad (2\text{-}23)$$

Donde A_t=área acumulada de la cuenca que contribuye en el tiempo t; A=área total de la cuenca; y t_c=tiempo de concentración de la cuenca, y t_c=tiempo de concentración de la cuenca. Para la aplicación del HEC-HMS, sólo se necesita el parámetro t_c, el tiempo de concentración. Este se puede

estimar mediante el procedimiento descrito con anterioridad en la sección del HU del SCS de este capítulo.

- **Coeficiente de almacenamiento, R**

El coeficiente de almacenamiento, R, es un índice de almacenamiento temporal de la precipitación en exceso en la cuenca así como del drenaje hacia el punto de salida. Éste se puede estimar también mediante calibración, si la data de caudal y precipitación medida está disponible. Aunque R tiene unidades de tiempo, tiene sólo un significado cualitativo en sentido físico. Clark (1945) indicó que R se puede calcular como el caudal en punto de inflexión sobre la curva descendente del hidrograma dividido por el tiempo derivado del caudal.

2.5.3.3 Modelación del flujo base con HEC-HMS

Dos componentes distinguibles de un hidrograma de escurrimiento son (1) la directa, escorrentía rápida debida a la precipitación, y (2) flujo base. El flujo base es el escurrimiento sostenido o de “buen tiempo” antes de que la precipitación se almacene temporalmente en la cuenca, sumado al escurrimiento superficial retardado de la tormenta actual.

HEC-HMS incluye tres modelos alternativos de flujo base:

- Variación mensual Constante
- Modelo de recesión exponencial, y

- Modelo de determinación del volumen de un depósito lineal

En este estudio se tratará el modelo que considera la variación mensual por disponer de datos para ello.

Variación mensual contante

El modelo del flujo base en HEC-HMS, representa al flujo base como una constante y considera su variación mensualmente. El flujo es especificado por el usuario y se adiciona al escurrimiento directo calculado a partir de la lluvia para cada periodo de tiempo de la simulación.

2.5.3.4 Modelación del tránsito en canales con HEC-HMS

Los modelos de flujo en canales que se incluyen en HEC-HMS; estos son conocidos como modelos de tránsito. Los modelos de tránsito disponibles en HEC-HMS incluyen:

- Retardo
- Muskingum
- Suma modificada, también conocido como almacenamiento en tránsito
- Onda cinemática; y
- Muskingum-Cunge

Cada uno de estos modelos calcula un hidrograma de escurrimiento aguas abajo, conocido el hidrograma de escurrimiento aguas arriba como condición límite. Para cada uno se resuelve la ecuación de continuidad y cantidad de movimiento. En capítulo se presenta el modelo de Muskingum-Cunge por disponer de datos par él.

- **Muskingum-Cunge**

Aunque conocido y fácil para su uso, el modelo de Muskingum incluye parámetros que no están basados en la física y de esta manera son difíciles de estimar. Además, el modelo se basa en suposiciones que con frecuencia no se cumplen en los canales naturales. Como una ampliación el Modelo Muskingum-Cunge supera estas limitaciones. El modelo se basa en una solución de la siguiente ecuación de continuidad (con un caudal de entrada lateral, q_L, incluye):

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q_L \qquad (2\text{-}24)$$

Y la forma de difusión de la ecuación de cantidad de movimiento:

$$S_f = S_o - \frac{\partial y}{\partial x} \qquad (2\text{-}25)$$

La combinación de éstos y el uso de la aproximación lineal da lugar a la ecuación de difusión convectiva (Millar y Cunge, 1975):

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + c\frac{\partial Q}{\partial x} = \mu\frac{\partial^2 Q}{\partial x^2} + cq_L \qquad (2\text{-}26)$$

Donde c=celeridad (velocidad) de la onda; y $\mu =$difusividad hidráulica. La celeridad de la onda y la difusividad hidráulica se expresa como:

$$c = \frac{\partial Q}{dA} \qquad (2\text{-}27)$$

Y

$$\mu = \frac{Q}{2BS_o} \qquad (2\text{-}28)$$

Donde B= ancho superior de la superficie del agua. Una aproximación por diferencias finitas de las derivadas parciales, combinadas con la ecuación de continuidad, produce:

$$O_t = C_1 I_{t-1} + C_2 I_t + C_3 O_t - 1 + C_4 (q_L \Delta x) \qquad (2\text{-}29)$$

Los coeficientes son:

$$C_1 = \frac{\frac{\Delta t}{K} + 2X}{\frac{\Delta t}{K} + 2(1 - X)} \qquad (2\text{-}30)$$

$$C_2 = \frac{\frac{\Delta t}{K} - 2X}{\frac{\Delta t}{K} + 2(1 - X)} \qquad (2\text{-}31)$$

$$C_3 = \frac{2(1 - X) - \frac{\Delta t}{K}}{\frac{\Delta t}{K} + 2(1 - X)} \qquad (2\text{-}32)$$

$$C_4 = \frac{2\left(\frac{\Delta t}{K}\right)}{\frac{\Delta t}{K} + 2(1 - X)} \qquad (2\text{-}33)$$

Los parámetros K y X son (Cunge, 1969; Ponce, 1978):

$$K = \frac{\Delta x}{c} \qquad (2\text{-}34)$$

$$X = \frac{1}{2}\left(1 - \frac{Q}{BS_o c \Delta x}\right) \qquad (2\text{-}35)$$

Pero c, Q, y B cambian con el tiempo, de manera que los coeficientes C_1, C_2, C_3 y C_4 deben cambiar. HEC-HMS los recalcula para cada intervalo de

tiempo y distancia, Δt y Δx, con el uso de los algoritmos propuestos por Ponce (1986)

De nuevo, la selección del intervalo de tiempo y distancia es crítica. HEC-HMS selecciona estos para garantizar exactitud y estabilidad. El Δt seleccionado es el mínimo de los siguientes: intervalo de tiempo del usuario a partir de las especificaciones de control; el tiempo de viaje a lo largo del tramo; o 1/20 del tiempo de incremento del flujo de entrada pico con la selección de una curva de crecimiento pronunciado, redondeando un múltiplo próximo o divisor del intervalo de tiempo del usuario. Una que se elige Δt, HEC-HMS calcula Δx como:

$$\Delta x = c\Delta t \qquad (2\text{-}36)$$

El valor está limitado de esta manera:

$$\Delta x \langle \frac{1}{2}\left(c\Delta t + \frac{Q_o}{BS_o c} \right) \qquad (2\text{-}37)$$

Aquí Q_o= caudal de referencia, calculado a partir del hidrograma de entrada como.

$$Q_o = Q_B + \frac{1}{2}(Q_{peak} - Q_B) \qquad (2\text{-}38)$$

Donde Q_B= flujo base; y Q_{peak}= flujo de entrada pico

El modelo Muskingum-Cunge en HEC-HMS usa dos configuraciones; la **configuración estándar y la configuración de la sección transversal de 8 puntos**

- **Configuración estándar.** En esta configuración, se suministró una descripción de una sección transversal representativa. O, se seleccionan una de las formas alternativas que se muestran en la Figura 6-4. Las dimensiones principales de la sección son especificadas, a lo largo de la rugosidad del canal, pendiente de energía, y longitud. La longitud y la rugosidad se estiman de planos, fotografías aéreas, y levantamientos topográficos en campo. La pendiente de energía se puede estimar como la pendiente del lecho del canal, en ausencia de mejor información.

2.6 MODELACIÓN CON HEC-RAS

La información que se presenta a continuación ha sido extraída del Manual Técnico de Referencia Hidráulica generado por el Cuerpo de Ingenieros de la Armada de los Estados Unidos para la versión 3.1.3 de HEC-RAS en el año 2002.

Las bases teóricas para HEC-RAS se han estructurado de la siguiente manera:

- Filosofía General del sistema modelado.
- Descripción de las capacidades hidráulicas.
- Teoría básica para los cálculos del flujo unidimensional.

- Datos básicos requeridos en HEC-RAS.
- Descripción de las capacidades opcionales.
- Modelado de puentes.

2.7 FILOSOFÍA GENERAL DEL SISTEMA MODELADO

El software del Sistema de Análisis de ríos del Centro de Ingeniería Hidrológica (HEC-RAS), permite la modelación hidráulica de flujo unidimensional permanente y no permanente. Las versiones futuras apoyarán los cálculos de transporte de sedimento.

HEC-RAS es un sistema integrado de software, diseñado para el uso interactivo en un ambiente de red multi-tarea, y multi-usuario. El sistema se comprende de una interfase gráfica de usuario (GUI; Graphical user interface), componentes del análisis hidráulico por separado, almacenamiento de datos y capacidades de orientación, facilitando informes y gráficos.

El sistema finalmente manejará tres componentes para el análisis hidráulico unidimensional: Cálculos de los perfiles de la superficie de agua con flujo permanente, simulación de flujo no permanente y los cálculos de los límites variables de transporte de sedimento. Un elemento importante en común es que los tres componentes usarán una representación de datos geométricos comunes y geometría común y rutinas de cálculos hidráulicos. Además de los tres componentes del análisis hidráulico, el sistema contiene varias características hidráulicas de diseño que pueden ser solicitadas una vez que los datos básicos de perfiles de la superficie de agua son calculados.

2.8 DESCRIPCIÓN DE LAS CAPACIDADES HIDRÁULICAS

HEC-RAS esta diseñado para realizar cálculos hidráulicos unidimensionales para una red llena de canales naturales y construidos por el hombre. A continuación se presenta una descripción de las principales capacidades hidráulicas de HEC-RAS, entre las cuales se describirán:

- Perfiles de la superficie del agua en flujo permanente.
- Simulación de flujo no permanente.
- Cálculo del transporte de sedimentos y límites variables.

2.9 PERFILES DE LA SUPERFICIE DEL AGUA EN FLUJO PERMANENTE

Este componente del sistema modelador se utiliza para calcular los perfiles de la superficie de agua para flujo permanente gradualmente variado. El sistema puede ocuparse de un solo tramo del río, un sistema dendrítico, o una red llena de cauces. El componente de flujo permanente es capaz de modelar perfiles de la superficie de agua en régimen subcrítico, supercrítico y en transición.

El procedimiento básico computacional esta basado en la solución de la Ecuación de Energía unidimensional. La pérdida de energía es evaluada por fricción (Ecuación de Manning) y contracción/expansión (coeficiente multiplicado por el cambio en la carga de velocidad). La Ecuación de Momentum se utiliza en situaciones donde el perfil de superficie de agua varía

rápidamente. Estas situaciones incluyen los cálculos de régimen de flujo mixto (es decir, resalto hidráulico), hidráulica de puentes y evaluación de perfiles en las confluencias del río (uniones de riachuelos).

Los efectos de varias obstrucciones tales como los puentes, alcantarillas, aliviaderos, vertederos y otras estructuras en el cauce del río pueden ser considerados en los cálculos. El sistema de flujo permanente está diseñado para la aplicación en estudios de manejo de planicies de inundación y seguridad de inundación para evaluar los encauzamientos en el curso de la inundación. También, es capaz de evaluar los cambios en los perfiles de la superficie de agua debido a las mejoras del canal y dique.

Las características especiales del componente de flujo permanente contienen: los análisis de planes múltiples; los cálculos de perfiles múltiples; análisis de aberturas múltiples en puentes y/o alcantarillas, y optimización del flujo dividido por uniones de riachuelos, vertederos laterales y aliviaderos.

2.10 TEORÍA BÁSICA PARA LOS CÁLCULOS DEL FLUJO UNIDIMENSIONAL

A continuación se describen las metodologías usadas dentro de HEC-RAS para realizar los cálculos de flujo unidimensional, las ecuaciones básicas que se necesitan y las bases teóricas para el cálculo de los perfiles de la superficie de agua para un flujo unidimensional. Las discusiones contenidas a

continuación se limitan al cálculo de los perfiles de la superficie del agua para flujo permanente.

2.11 PERFILES DE LA SUPERFICIE DEL AGUA PARA FLUJO PERMANENTE

El HEC-RAS es actualmente capaz de realizar cálculos de perfiles de la superficie de agua para flujo permanente gradualmente variado en canales naturales o artificiales. Pueden ser calculados perfiles de la superficie de agua en régimen de flujo subcrítico, supercrítico y mixto.

A continuación se describirán las ecuaciones y teorías involucradas con los perfiles de superficie del agua para flujo permanente, las cuales son:

- Ecuaciones para el Cálculo de los Perfiles Básicos.
- Cálculos de la conductividad mediante la subdivisión de las secciones transversales.
- Composición del Coeficiente de Manning para el canal principal.
- Evaluación de la carga media de Energía Cinética.
- Evaluación de la pérdida por fricción.
- Evaluación de la pérdida por contracción y expansión.
- Procedimiento de cálculo.
- Determinación de la profundidad crítica.
- Aplicación de la Ecuación de Momentum.
- Limitaciones del programa en flujo permanente.

2.12 ECUACIONES PARA EL CÁLCULO DE LOS PERFILES BÁSICOS

Los perfiles de superficie del agua son calculados entre una sección transversal y la próxima mediante la resolución de la Ecuación de Energía con un proceso iterativo llamado método del paso estándar. La Ecuación de Energía es la siguiente:

$$Y_2 + Z_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} = Y_1 + Z_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} + h_e \qquad (2\text{-}39)$$

Donde:

Y_1, Y_2 : Profundidad del agua en la sección transversal

Z_1, Z_2 : Elevación del canal principal

V_1, V_2 : Velocidades medias en la sección (descarga total / área de flujo total)

α_1, α_2 : Coeficientes de velocidad en los extremos del tramo

g : Aceleración de la gravedad

h_e : Pérdidas de energía

A continuación se muestra un diagrama con los términos de la Ecuación de Energía.

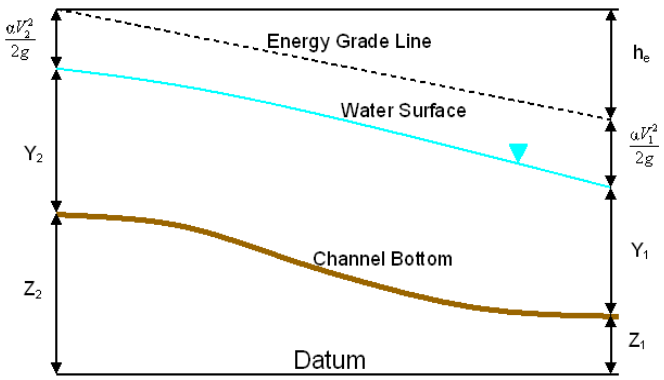


Figura 2.3 Representación de los términos de la Ecuación de Energía

La pérdida de energía (h_e) entre dos secciones transversales, se evalúa con la siguiente ecuación:

$$h_e = L\overline{S_f} + C\left[\frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} - \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g}\right] \qquad (2\text{-}40)$$

Donde:

L : Longitud del tramo ponderado con caudal

$\overline{S_f}$: Pendiente de fricción entre dos secciones

C : Coeficiente de pérdida por contracción y expansión.

La longitud del tramo ponderado con caudal, L, se calcula así:

$$L = \frac{L_{lob}\overline{Q}_{lob} + L_{ch}\overline{Q}_{ch} + L_{rob}\overline{Q}_{rob}}{\overline{Q}_{lob} + \overline{Q}_{ch} + \overline{Q}_{rob}} \qquad (2\text{-}41)$$

Donde:

L_{lob}, L_{ch}, L_{rob}: longitud del tramo de la sección transversal especifica para el caudal en el margen izquierdo, canal principal y el margen derecho, respectivamente.

Q_{lob}, Q_{ch}, Q_{rob}: Promedio aritmético de caudales entre secciones para el margen izquierdo, canal principal y el margen derecho, respectivamente.

2.13 CÁLCULOS DE LA CONDUCTIVIDAD MEDIANTE LA SUBDIVISIÓN DE LAS SECCIONES TRANSVERSALES

La determinación de la conductividad total y del coeficiente de velocidad para una sección transversal requiere que ésta se subdivida en unidades para las cuales la velocidad esté uniformemente distribuida. La aproximación usada en HEC-RAS, está basada en la subdivisión del flujo en las áreas de las márgenes mediante el ingreso de los valores de n para las secciones transversales separadas por puntos (ubicación donde cambian los valores de n) como base para la subdivisión (Figura 2.2). La conductividad se calcula para cada subdivisión siguiendo la ecuación de Manning (basado en unidades inglesas):

$$Q = K S_f^{1/2} \tag{2-42}$$

$$K = \frac{1.486}{n} AR^{2/3} \qquad (2\text{-}43)$$

Donde:

K = conductividad para la subdivisión

n = Coeficiente de rugosidad de Manning para la subdivisión

A = Área de flujo para la subdivisión

R = Radio hidráulico para la subdivisión (área / perímetro mojado).

El programa suma todos los incrementos de conductividad en los márgenes para obtener una conducción del margen izquierdo y derecho. La conducción en el canal principal normalmente se calcula como un elemento individual de conducción. La conducción total para la sección transversal se obtiene sumando las tres conducciones subdivididas (izquierda, canal y derecha).

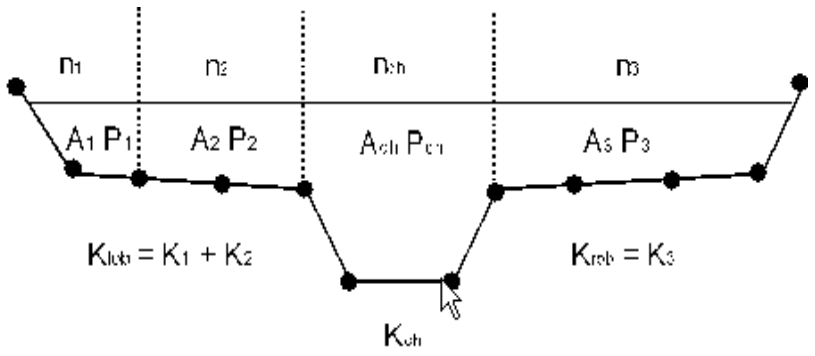


Figura 2.4 Método de Subdivisión de Conducción Predefinido por defecto en HEC-RAS

Un método alternativo disponible en el HEC-RAS, es el cálculo de la conductividad entre la coordenada de cada punto en los márgenes (Figura 2.3).

La conductividad se suma para conseguir los márgenes izquierdos totales y valores de los márgenes derechos. Este método se usa en el programa de HEC-2. El método ha permanecido como una opción dentro del HEC-RAS para reproducir los estudios que fueron originalmente desarrollados con el HEC-2.

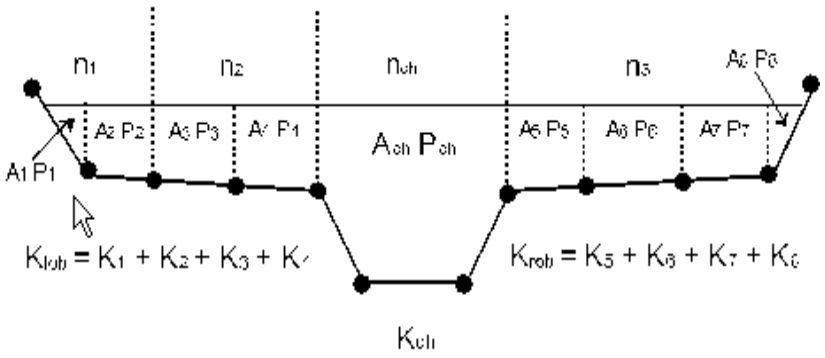


Figura 2.5 Método Alternativo de Subdivisión de Conducción

Los dos métodos para calcular las conductividades producirán respuestas diferentes cuando las partes sobre las márgenes tengan secciones de terreno con pendiente vertical significativa. En general las aproximaciones por defecto en el HEC-RAS suministraran una conducción total más baja para la misma elevación de la superficie del agua.

Primero que todo, para las pruebas la importancia de las dos formas de cálculos de conductividad, fue el estudio exacto de comparaciones que se realizaron usando un conjunto de 97 datos de los perfiles del HEC (HEC 1986). Los perfiles de la superficie del agua se calcularon para un evento de probabilidad del 1% mediante el uso de dos métodos para el cálculo de la conductividad en el HEC-RAS. Los resultados del estudio mostraron que la aproximación por defecto en HEC-RAS generalmente produciría una elevación mayor de la superficie del agua calculada. Además de las 2048 ubicaciones de

la sección transversal, 47.5% habían sido calculadas para las elevaciones de la superficie del agua dentro de 0.10 pies (30.48 mm), 71% dentro de 0.20 pies (60.96 mm), 94.4% dentro de 0.4 pies (121.92 mm), 99.4% dentro de 1.0 pies (304.8 mm), y una sección transversal tenía una diferencia de 2.75 pies (0,84 m). Debido a que las diferencias tendían a estar en la misma dirección, algunos efectos pudieron ser atribuidos a la propagación de diferencias aguas abajo.

Los resultados de las comparaciones de conductividad no muestran qué método es más exacto, ellos sólo muestran las diferencias entre los mismos. En general, se percibe que en HEC-RAS el método predefinido es más proporcional a la ecuación de Manning y al concepto de elementos de flujo separados. Más allá de la investigación, con los perfiles de la superficie del agua observados, se necesitará hacer cualquier conclusión sobre la exactitud de los dos métodos.

2.14 COMPOSICIÓN DEL COEFICIENTE DE MANNING PARA EL CANAL PRINCIPAL

El flujo del canal principal no se subdivide, excepto cuando el coeficiente de rugosidad cambia en el interior del área del canal. HEC-RAS prueba la aplicabilidad de la subdivisión de la rugosidad dentro de las partes del canal principal para una sección transversal, y si no es aplicable, el programa calculará un único valor de n compuesto para el canal principal completo. El programa determina si la parte del canal principal de la sección transversal puede subdividirse o si un canal principal compuesto de n valores será utilizado

basado en el siguiente criterio: si en un canal principal la pendiente lateral es más inclinada que 5H : 1V y el canal principal tiene más que un valor n, una composición de rugosidad, n_c, será calculado [Chow, 1959]. La pendiente lateral del canal usada por HEC-RAS, se define como la distancia horizontal entre las estaciones de n valores adyacentes en el canal principal, y la diferencia en la elevación de estas dos estaciones (vea S_L y S_R de la Figura 2.4).

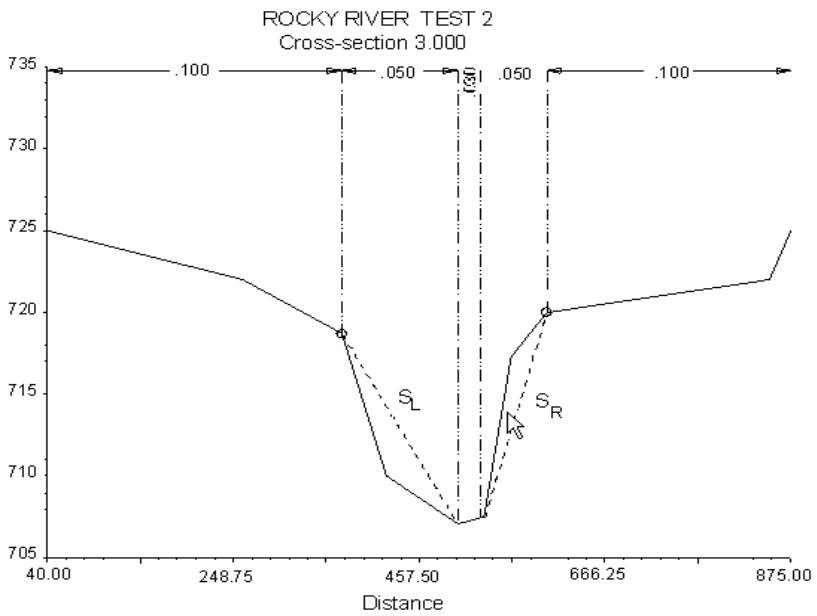


Figura 2.6 Definición de la pendiente de las orillas para los cálculos de valor compuesto, n_c

Para la determinación de n_c, el canal principal está dividido en las N partes, cada uno con un perímetro mojado conocido P_i y un coeficiente de rugosidad n_i .

$$n_c = \left[\frac{\sum_{i\,1}^{N} \left(P_i \, n_i^{1.5} \right)}{P} \right]^{2/3} \qquad (2\text{-}44)$$

Donde:

n_c = coeficiente de rugosidad compuesto o equivalente.

P = perímetro mojado para el canal principal completo.

P_i = perímetro mojado de la subdivisión 1.

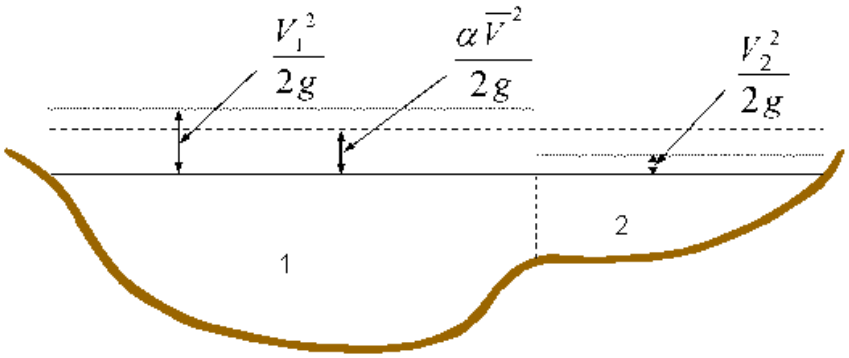
n_i = coeficiente de rugosidad para la subdivisión 1.

La composición calculada n_c debe verificarse razonablemente. El valor calculado es la composición para el canal principal del valor n que se muestra en las tablas resumidas de salida.

2.15 EVALUACIÓN DE LA CARGA MEDIA DE ENERGÍA CINÉTICA

Debido a que el software HEC-RAS es un programa para perfiles de flujo de la superficie de agua unidimensional, sólo una superficie de agua y por consiguiente una sola energía media son calculadas para cada sección transversal. Para una elevación de la superficie de agua dada, la energía media se obtiene mediante el cálculo de la carga de energía del flujo a partir de tres subsecciones de una sección transversal (margen izquierdo, canal principal y margen derecho). La Figura 2.5 muestra como la energía media se podría

obtener para una sección transversal con un canal principal y un margen derecho (sin área para el margen izquierdo).



V_1 = velocidad media para la subsección 1.

V_2 = velocidad media para la subsección 2.

Figura 2.7 Ejemplo de obtención de la energía media

Para calcular la energía cinética media es necesario obtener el coeficiente alfa.

El coeficiente alfa se calcula de la siguiente manera:

La carga de energía cinética media = Descarga – carga de velocidad

$$\alpha \frac{\overline{V}^2}{2g} = \frac{Q_1 \frac{V_1^2}{2g} + Q_2 \frac{V_2^2}{2g}}{Q_1 + Q_2} \qquad (2\text{-}45)$$

$$\alpha = \frac{2g\left[Q_1 \frac{V_1^2}{2g} + Q_2 \frac{V_2^2}{2g} \right]}{(Q_1 + Q_2)\overline{V}^2} \qquad (2\text{-}46)$$

$$\alpha = \frac{Q_1 V_1^2 + Q_2 V_2^2}{(Q_1 + Q_2)\overline{V}^2} \qquad (2\text{-}47)$$

En General:

$$\alpha = \frac{\left[Q_1 V_1^2 + Q_2 V_2^2 + \ldots + Q_N V_N^2\right]}{Q\overline{V}^2} \qquad (2\text{-}48)$$

El coeficiente de velocidad, α, se calcula basado en la conductividad de los tres elementos de flujo: margen izquierdo, margen derecho y el canal principal. También puede escribirse por lo que se refiere a la conducción y área como en la siguiente ecuación:

$$\alpha = \frac{(A_t)^2 \left[\frac{K_{lob}^3}{A_{lob}^2} + \frac{K_{ch}^3}{A_{ch}^2} + \frac{K_{rob}^3}{A_{rob}^2}\right]}{K_t^3} \qquad (2\text{-}49)$$

Donde:

A_t = área de flujo total de la sección transversal

A_{lob}, A_{ch}, A_{rob} = áreas del flujo en el margen izquierdo, canal principal y el margen derecho, respectivamente.

K_t = conducción total en la sección transversal

K_{lob}, K_{ch}, K_{rob} = conducción del margen izquierdo, canal principal y el margen derecho, respectivamente.

2.16 EVALUACIÓN DE LA PÉRDIDA POR FRICCIÓN

La perdida por fricción se evalúa en HEC-RAS como el producto de S_f y L, dónde S_f es la pendiente por fricción para un tramo y L longitud del tramo. La pendiente de fricción (pendiente del gradiente de energía) en cada sección transversal se calcula por la ecuación de Manning como sigue:

$$S_f = \left(\frac{Q}{K}\right)^2 \qquad (2\text{-}50)$$

Las expresiones alternativas para la pendiente por fricción en el tramo representativo (S_f) en HEC-RAS son las siguientes:

Ecuación de la pendiente Media

$$\overline{S}_f = \left(\frac{Q_1 + Q_2}{K_1 + K_2}\right)^2 \qquad (2\text{-}51)$$

Ecuación de la Pendiente Media por Fricción

$$\overline{S}_f = \frac{S_{f1} + S_{f2}}{2} \qquad (2\text{-}52)$$

Ecuación de la Pendiente Media por Fricción Geométrica

$$\overline{S}_f = \sqrt{S_{f1} \times S_{f2}} \tag{2-53}$$

Ecuación de la Pendiente Media por Fricción Armónica.

$$\overline{S}_f = \frac{2(S_{f1} + S_{f2})}{S_{f1} + S_{f2}} \tag{2-54}$$

La ecuación 2-51 es por “defecto” la utilizada por el programa; ésta se usa automáticamente a menos que una ecuación diferente sea requerida en la entrada. El programa también contiene una opción para seleccionar las ecuaciones, dependiendo del régimen de flujo y tipo del perfil (Ej. S1, M1, etc.).

Evaluación de las pérdidas por contracción y expansión

Las pérdidas por contracción y expansión en HEC-RAS son evaluadas con la siguiente ecuación:

$$h_{ce} = C\left|\frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} - \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g}\right| \tag{2 -55}$$

Donde:

C = coeficiente de contracción o expansión

El programa asume que una contracción está ocurriendo cuando la carga de velocidad aguas abajo es mayor que la carga de velocidad aguas arriba. Igualmente, cuando la carga de velocidad aguas arriba es mayor que la carga de velocidad aguas abajo, el programa asume que ocurre una expansión del flujo. Los valores comunes de “C” se mencionan mas adelante.

2.17 PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO

La elevación desconocida de la superficie de agua en una sección transversal es determinada mediante una solución iterativa de las Ecuaciones 2-1 y 2-2. El procedimiento de cálculo es el siguiente:

1. Se asume una elevación de la superficie de agua en la sección transversal aguas arriba (o en la sección transversal aguas abajo si se calcula un perfil supercrítico).

2. Basado en la elevación de superficie de agua asumida, se determina la conducción total correspondiente y la carga de velocidad.

3. Con los valores del paso 2, se calcula $\overline{S_f}$ y se resuelve la Ecuación 2-2 para h_e.

4. Con los valores de los pasos 2 y 3, se resuelve la Ecuación 2-1 para WS_2.

5. Se compara el valor calculado de WS_2 con el valor asumido en el paso 1, y se repiten los pasos del 1 hasta el 5, hasta que los valores concuerden en 0,01 pies (0,003 m), o en la tolerancia definida por el usuario.

El criterio usado para asumir las elevaciones de la superficie de agua en el procedimiento iterativo varía de ensayo a ensayo. El primer ensayo de la superficie del agua está basado en proyectar la profundidad de agua en la sección transversal anterior hacia la sección transversal actual. El segundo ensayo de la elevación de la superficie del agua se agrega a la elevación de superficie de agua asumida más 70% del error del primer ensayo (W.S. calculado - W.S asumida). En otras palabras, W.S. nuevo = W.S. asumido + 0.70 * (W.S. calculado - W.S. asumido). La tercera y siguiente prueba generalmente se basa en el método “Secante” de proyectar la razón de cambio de la diferencia entre las elevaciones calculadas y las asumidas para los dos ensayos anteriores. La ecuación para el método de la secante es la siguiente:

$$WS_1 = WS_{1-2} - Err_{1-2} * Err_Assum / Eff_Diff \qquad (2\text{-}56)$$

Donde:

WS_1 = nueva superficie de agua asumida

WS_{1-1} = superficie de agua asumida de la iteración anterior

WS_{1-2} = superficie de agua asumida de dos ensayos anteriores

Err_{1-2} = error de los dos ensayos anteriores (cálculo de la superficie de agua menos la asumida de la iteración 1-2).

Err_Assum = diferencia en las superficies de agua asumida de los dos ensayos anteriores. Err_Assum = WS_{1-2} - WS_{1-1}

Err_Diff = superficie de agua asumida menos la superficie de agua calculada de la iteración anterior (I -1), más el error de dos ensayos anteriores (Err_{1-2}).

Err_Diff = WS_{1-1} - WS $Ca1c_{1-1}$ + Err_{1-2}

El cambio de un ensayo al próximo se acerca a un máximo de 50 por ciento de la profundidad asumida del ensayo anterior. En ocasiones el método de la secante puede fallar si el valor del Err_Diff se hace demasiado pequeño. Si el Err_Diff es menor que 1.0E-2, entonces el método de la secante no se usa. Cuando esto ocurre, el programa calcula una nueva suposición tomando el promedio de la superficie del agua calculado y asumido a partir de las iteraciones anteriores.

El programa esta restringido para un número máximo de iteraciones (el valor predeterminado es 20) para un balance de la superficie de agua. Mientras el programa esta iterando, guarda el camino de las superficies de agua que produce la mínima magnitud de error entre los valores asumidos y calculados. Esta superficie de agua se denomina la *superficie de agua de error mínimo*. Si el número máximo de iteraciones se alcanza antes de lograr el equilibrio de la

superficie de agua, entonces el programa calculará la profundidad crítica (si esto no ha sido realizado). El programa luego, verifica para mostrar si el error asociado con la superficie de agua de error mínimo está dentro de una tolerancia predefinida (por defecto este valor es 0,3 pies o 0,1 m). Si la superficie de agua de error mínimo tiene un error asociado menor que la tolerancia predefinida, y esta superficie de agua está en el lado correcto de la profundidad crítica, entonces el programa usa esta superficie de agua como la respuesta final y muestra un mensaje de advertencia. Si la superficie de agua de error mínima tiene un error asociado que es mayor que la tolerancia predefinida, o está en el lado incorrecto de la profundidad crítica, el programa usará la profundidad crítica como la respuesta final para la sección transversal y pondrá un mensaje de advertencia. La razón para usar la superficie de agua de error mínimo es que posiblemente dé una respuesta aceptable de la profundidad crítica, con tal de que el criterio anterior se cumpla. Ambos, la superficie de agua de error mínima y la profundidad crítica, son solo usados en estas situaciones para permitir que el programa suministre la solución del perfil de superficie de agua. Ninguna de estas dos respuestas son consideradas como soluciones válidas, y por consiguiente se emiten los mensajes de advertencia publicados. En general, cuando el programa no puede equilibrar la Ecuación de Energía de una sección transversal, normalmente es originado por un número inadecuado de secciones transversales (las secciones transversales espaciadas demasiado lejos) o los datos de la sección transversal son errados. De vez en cuando, esto puede ocurrir porque el programa está intentando calcular una superficie de agua de régimen subcrítico cuando el flujo es realmente de régimen supercrítico.

Cuando una elevación de la superficie de agua “balanceada” se ha obtenido de una sección transversal, se debe de hacer una verificación para confirmar que la elevación este en el lado correcto de la elevación de la superficie de agua critica (por ejemplo, sobre la elevación crítica si un perfil subcrítico ha sido requerido). Si la elevación balanceada está por encima del lado errado de la elevación de superficie de agua crítica, la profundidad crítica es asumida para la sección transversal y un mensaje de “advertencia” se despliega en el programa. El programa debe de estar enterado de la profundidad crítica asumida y determinar las razones para su ocurrencia, porque en muchos casos son el resultado de longitudes del tramo que son demasiado largo o de mala representación de las áreas de flujo efectivas de las secciones transversales.

Para un perfil subcrítico, un chequeo preliminar para el régimen de flujo apropiado involucra la comprobación del número de Froude. El programa calcula los números de Froude de la superficie de agua “balanceada” para el canal principal solamente y la sección transversal completa. Si cualquiera de estos dos números de Froude son mayores que 0.94, entonces el programa verificará el régimen del flujo calculando una estimación más exacta de la profundidad crítica usando el método de energía específica mínima. Un número de Froude de 0.94 se usa en lugar de 1.0, porque el cálculo del número de Froude en los canales irregulares no es exacto. Por consiguiente, usando un valor conservador de 0.94, el programa calculará la profundidad crítica más frecuentemente que lo necesario.

Para un perfil supercrítico, la profundidad crítica es automáticamente calculada para cada sección transversal, lo cual permite una comparación directa entre las elevaciones equilibradas y críticas.

2.18 DETERMINACIÓN DE LA PROFUNDIDAD CRÍTICA

La profundidad crítica para una sección transversal se determinará si se cumplen cualquiera de las siguientes condiciones:

(1) El flujo de régimen supercrítico ha sido especificado.

(2) El cálculo de profundidad crítica se ha solicitado.

(3) Esta es una sección transversal del borde externo y la profundidad crítica debe determinarse para asegurar que la condición de borde introducida esté en el régimen de flujo correcto.

(4) El número de Froude se verifica para un perfil subcrítico indicando que la profundidad crítica necesita sea determinada para verificar el régimen de flujo asociado con la elevación equilibrada.

(5) El programa no podrá equilibrar la Ecuación de Energía dentro de la tolerancia especificada antes de alcanzar el número máximo de iteraciones.

La carga de energía total para una sección transversal está definida por:

$$H = WS - \frac{\alpha V^2}{2g} \tag{2-57}$$

Donde:

H = Carga de energía total.

WS = Elevación de la superficie de agua

$\frac{\alpha V^2}{2g}$ = Carga de velocidad

La elevación de superficie de agua crítica es la altura por la cual la carga de energía total es mínima (es decir, la energía específica es mínima para esa sección transversal para un flujo dado). La elevación crítica se determina con un procedimiento iterativo por el cual los valores de WS son asumidos y los valores correspondientes de H son determinados con la Ecuación 2.57 hasta alcanzar un valor mínimo de H.

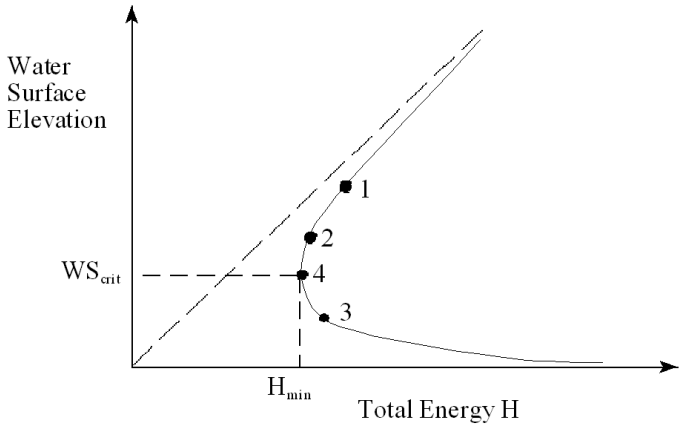


Figura 2.8 Diagrama de Energía vs. Elevación de la superficie del agua.

El programa HEC-RAS tiene dos métodos para calcular la profundidad crítica: el método “Parabólico” y el método “Secante”. El método parabólico se calcula más rápido, pero sólo puede localizar una energía mínima particular. Para la mayoría de las secciones transversales habrá sólo un mínimo en la

curva de energía total, por consiguiente el método parabólico ha sido seleccionado como el método predefinido (el método predefinido puede ser cambiado desde la interfase). Si el método parabólico es utilizado y no converge, entonces el programa automáticamente utilizara el método Secante.

En ciertas situaciones es posible tener más de un mínimo en la curva de energía total. Los mínimos múltiples son a menudo asociados con secciones transversales que tienen discontinuidad en la curva de energía total. Estas discontinuidades pueden ocurrir debido a que los márgenes son muy anchos y planos, así como las secciones transversales con diques y áreas de flujo inefectivas. Cuando el método parabólico es usado en una sección transversal que tiene múltiples valores mínimos en la curva de energía total, el método convergerá en el primer valor mínimo que se localice. Esta aproximación puede llevar a estimaciones incorrectas de la profundidad crítica. Si se piensa que el programa ha localizado de forma incorrecta la profundidad crítica, entonces debe seleccionarse el método Secante y simular nuevamente el modelo.

El método “parabólico” involucra determinar los valores de H para tres valores de WS que son divididos en intervalos iguales de ΔWS. El WS correspondiente al valor mínimo para H, definido por una parábola que pasa a través de tres puntos en el plano H vs. WS, es usado como la base para la próxima suposición del valor de WS. Se asume que la profundidad crítica ha sido obtenida cuando hay menos de 0.01 pies (0.003 m) de probabilidad en la

profundidad del agua de una interacción a la próxima y cuando la carga de energía no haya disminuido ni aumentado por más de 0,1 pies (0,003 m).

El método “secante” primero crea una tabla de la superficie del agua vs. la energía de la división de la sección transversal en 30 intervalos. Si la altura máxima de la sección transversal (desde el punto más alto hasta el punto más bajo) es menor que 1.5 veces la altura máxima del canal principal (de la estación del margen mas alto del canal principal al mas bajo), entonces el programa divide la sección transversal completa en 30 intervalos iguales. Si este no es el caso, el programa usa 25 intervalos iguales desde la estación del margen del canal principal más bajo al más alto, y luego 5 intervalos iguales desde el canal principal al punto más alto de la sección transversal. El programa entonces buscará esta tabla para ubicar los mínimos locales. Cuando un punto en la tabla es encontrado tal que la energía para la superficie de agua inmediatamente superior e inferior sea mayor que la energía dada para la superficie de agua, luego la ubicación general de un mínimo local ha sido encontrada. El programa realizará la búsqueda del mínimo local usando el método de proyección Secante. El programa tanteará para cualquier mínimo local hasta 30 veces o hasta que la profundidad crítica se haya limitado por la tolerancia del error crítico. Después de que el mínimo local ha sido determinado con mayor precisión, el programa continúa examinando la tabla para ver si existe cualquier otro mínimo local. El programa puede localizar hasta tres mínimos locales en la curva de energía. Si más de un mínimo local es encontrado, el programa fija una profundidad crítica igual a una profundidad con la que posea menor energía. Si este mínimo local se debe a una

discontinuidad en la curva de energía causada por un dique sobresaliente o un área de flujo inefectivo, entonces el programa seleccionará el próximo mínimo más bajo en la curva de energía. Si todos los mínimos locales están ocurriendo por discontinuidad en la curva de energía, entonces el programa igualara la profundidad crítica con la energía más baja. Si ningún mínimo local se encuentra, entonces el programa usará la elevación de la superficie del agua con la menor energía. Si la profundidad crítica que se encuentra es en el punto más alto de la sección transversal, entonces ésta probablemente no sea la profundidad crítica real. Por consiguiente, el programa duplicará la altura de la sección transversal y probará de nuevo. Duplicar la altura de la sección transversal se logra extendiendo las paredes verticales del primero y los últimos puntos de la sección. La altura de la sección transversal puede duplicarse hasta cinco veces antes de que el programa deje de examinar.

2.19 APLICACIONES DE LA ECUACIÓN DE MOMENTUM

Cuando el paso de la superficie de agua sea a través de la profundidad crítica, la Ecuación de Energía no es aplicable. La Ecuación de Energía sólo es aplicable a las situaciones de flujo gradualmente variado, y a la transición desde subcrítico a supercrítico o desde supercrítico a subcrítico, que son situaciones del flujo rápidamente variado. Hay varios casos cuando la transición del flujo subcrítico al supercrítico y supercrítico al subcrítico pueden ocurrir. Éstos incluyen cambios significativos en la pendiente del canal, reducciones de puentes, las estructuras de caída y vertederos, y uniones de corriente. En algunos de estos casos pueden aplicarse las ecuaciones

empíricas, mientras que en otros casos es necesario aplicar la Ecuación de Momentum para obtener una respuesta.

En HEC-RAS, la Ecuación de Momentum puede aplicarse para los siguientes problemas específicos: la ocurrencia de un resalto hidráulico, el flujo bajo en puentes y uniones de ríos.

La Ecuación de Momentum se deriva de la Segunda Ley de Newton:

Fuerza = Masa x Aceleración

$$\sum F_x = ma \tag{2-58}$$

Aplicando la Segunda Ley de Newton a un cuerpo de agua almacenado entre dos secciones transversales en la ubicación 1 y 2 (Figura 2.9), la expresión para el cambio en la cantidad de movimiento puede describirse de la siguiente manera:

$$P_2 - P_1 + W_x - F_f = Q\rho\Delta V_x \tag{2-59}$$

Donde:

P= Fuerza de presión Hidrostática localizada en 1 y 2.

W_x = Fuerza debido a la carga de agua en la dirección X.

F_f = Fuerza debido a las pérdidas por fricción externa de 2 hacia 1.

Q=Caudal

ρ = Densidad del agua

ΔV_x = Cambio en la velocidad de 2 hacia1, en la dirección X.

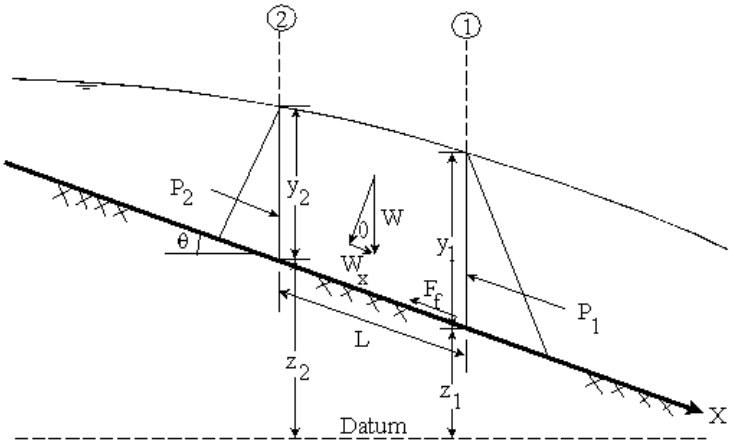


Figura 2.9 Aplicación del Principio de Cantidad de Movimiento

Fuerza de Presión Hidrostáticas

La fuerza en la dirección X debido a la presión hidrostática es:

$$P = \gamma A \overline{Y} \cos\theta \qquad (2\text{-}60)$$

La suposición de una distribución de la presión hidrostática sólo es válida para las pendientes menores de 1:10. El cos θ para una pendiente de 1:10 (aproximadamente de 6 grados) es igual a 0.995. Debido a que la pendiente de los canales ordinarios esta mas próxima de 1:10, la corrección del cos θ para la profundidad puede colocarse igual a 1.0 (Chow, 1959). Por

consiguiente, las ecuaciones para la fuerza de presión hidrostática de las secciones 1 y 2 son de la siguiente forma:

$$P_1 = \gamma A_1 \overline{Y}_1 \qquad (2\text{-}61)$$

$$P_2 = \gamma A_2 \overline{Y}_2 \qquad (2\text{-}62)$$

Donde:

γ= Carga unitaria de agua.

A_i = Área mojada de la sección transversal localizada en 1 y 2.

Y_i = Profundidad medida de la superficie de agua al centroide del área de la sección transversal entre 1 y 2.

Fuerza del peso del Agua

Peso del agua = (peso unitario del agua) x (volumen del agua).

$$W = \gamma \left(\frac{A_1 + A_2}{2} \right) L \qquad (2\text{-}63)$$

$$W_x = W \times \sin\theta \qquad (2\text{-}64)$$

$$\sin\theta = \frac{z_2 - z_1}{L} = S_0 \qquad (2\text{-}65)$$

$$W_x = \gamma \left(\frac{A_1 + A_2}{2} \right) L S_0 \qquad (2\text{-}66)$$

Donde:

L = Distancia entre las secciones 1 y 2 a lo largo del eje X.

S_o = Pendiente del canal, en las elevaciones del cauce.

z_i = Elevación del cauce medio localizadas entre 1 y 2.

Fuerza de Fricción Externa

$$F_f = \tau \overline{P} L \qquad (2\text{-}67)$$

Donde:

τ = tensión de la sección.

$\overline{P}$ = Perímetro mojado medio entre las secciones 1 y 2.

$$\tau = \gamma \overline{R} \overline{S}_f \qquad (2\text{-}68)$$

Donde:

$\overline{R}$ = Radio hidráulico promedio (R = A/P).

$\overline{S}_f$ = Gradiente de la pendiente de energía (pendiente por fricción).

$$F_f = \gamma \frac{\overline{A}}{\overline{P}} \overline{S}_f \overline{P} L \qquad (2\text{-}69)$$

$$F_f = \gamma \left(\frac{A_1 + A_2}{2} \right) \overline{S}_f \; L \tag{2-70}$$

Aceleración de Cantidad de Masa

$$m\,a = Q\,\rho\,\Delta V_x \tag{2-71}$$

$$\rho = \frac{\gamma}{g} \quad and \quad \Delta V_x = \left(\beta_1 V_1 - \beta_2 V_2\right) \tag{2-72}$$

Donde:

β = coeficiente de cantidad de movimiento que corresponde a la distribución de velocidades variables en canales irregulares.

Sustitución dentro de la Ecuación 2-59, y asumiendo Q puede variar desde la sección 2 a la 1.

$$\gamma A_2 \overline{Y}_2 - \gamma A_1 \overline{Y}_1 + \gamma \left(\frac{A_1 + A_2}{2} \right) L S_0 - \gamma \left(\frac{A_1 + A_2}{2} \right) L \overline{S}_f = \frac{Q_1 \gamma}{g} \beta_1 V_1 - \frac{Q_2 \gamma}{g} \beta_2 V_2 \tag{2-73}$$

$$\frac{Q_2 \beta_2 V_2}{g} + A_2 \overline{Y}_2 + \left(\frac{A_1 + A_2}{2} \right) L S_0 - \left(\frac{A_1 + A_2}{2} \right) L \overline{S}_f = \frac{Q_1 \beta_1 V_1}{g} + A_1 \overline{Y}_1 \tag{2-74}$$

$$\frac{Q_2 \beta_2}{g A_2} + A_2 \overline{Y}_2 + \left(\frac{A_1 + A_2}{2} \right) L S_0 - \left(\frac{A_1 + A_2}{2} \right) L \overline{S}_f = \frac{Q_1 \beta_1}{g A_1} + A_1 \overline{Y}_1 \tag{2-75}$$

La Ecuación 2-75 es la forma funcional de la Ecuación de Momentum que se usa en HEC-RAS. Todas las aplicaciones de esta ecuación dentro de HEC-RAS se derivan de la Ecuación 2-75.

2.20 LIMITACIONES DEL PROGRAMA EN FLUJO PERMANENTE

Las siguientes suposiciones están implícitas en las expresiones analíticas usadas en la versión actual del programa:

- El flujo es estable.
- El flujo es gradualmente variado. (Excepto en las estructuras hidráulicas como: puentes, alcantarillas y vertederos. En estas situaciones dónde el flujo puede variar rápidamente, puede usarse la Ecuación de Momentum u otras ecuaciones empíricas).
- El flujo es unidimensional (es decir los componentes de la velocidad en la direcciones distintas de la dirección del flujo no se toman en cuenta).
- Los canales del río tienen “pequeñas” pendientes, (menores de 1:10).

Se asume que el flujo es permanente porque los términos dependientes del tiempo no son incluidos en la Ecuación de Energía (Ecuación 2-39). Se asume que el flujo es gradualmente variado porque la Ecuación 2-39 está basada en la premisa de que una distribución de la presión hidrostática existe en cada sección transversal. En situaciones dónde el flujo es rápidamente

variado, el programa cambia a la Ecuación de Momentum u otras ecuaciones empíricas. Se asume que el flujo es unidimensional porque la Ecuación 2-19 está basada en la premisa de que la carga de energía total es la misma para todos los puntos de una sección transversal. Las pendientes pequeñas del canal son asumidas porque la carga de presión, la cual es un componente de Y en la Ecuación 2-39, se representa por la profundidad del agua medida verticalmente.

El programa no tiene actualmente la capacidad para tratar con fronteras movibles (por ejemplo: el transporte de sedimentos) y requiere que esas pérdidas de energía sean definidas con los términos contenidos en la Ecuación 2-40.

2.21 MODELADO DE PUENTES

HEC-RAS calcula las pérdidas de energía causadas por las estructuras tales como puentes y alcantarillas en tres partes. La primera consiste en las pérdidas que ocurren en el tramo inmediatamente aguas abajo de la estructura, donde generalmente ocurre una expansión del flujo. La segunda parte trata sobre las pérdidas en la propia estructura, las mismas pueden ser modeladas con diferentes métodos. La tercera parte está constituida por las pérdidas que ocurren en el tramo inmediatamente aguas arriba de la estructura, donde el flujo generalmente se contrae para conseguirse con la abertura. A continuación se describe el modelado de los puentes usando HEC-RAS, lo cual contiene:

- Pautas generales del modelado.
- Cómputos hidráulicos a través del puente.
- Selección de un modelo aproximado para puentes.
- Problemas particulares en puentes y sugerencias

2.21.1 Pautas Generales del Modelado

Las pautas de modelado suministradas en esta sección para localizar las secciones transversales, definir áreas de flujo inefectivas y evaluar las pérdidas por contracción y expansión alrededor de los puentes.

- **Ubicaciones de la Sección Transversal**

Las rutinas del puente utilizan cuatro secciones transversales definidas en los cómputos de las pérdidas de energía debido a la estructura. Durante los cómputos hidráulicos, el programa formula automáticamente dos secciones transversales adicionales dentro de la estructura del puente. Las secciones transversales en la Figura 2.10 son designadas como estaciones del río 1, 2, 3 y 4. Siempre que se estén realizando los cómputos del perfil de la superficie del agua a través de un puente (o de cualquier otra estructura hidráulica), las secciones transversales adicionales deben incluirse siempre tanto aguas arriba

como aguas abajo del puente. Esto evitará que cualquier condición límite fijada afecte los resultados hidráulicos a través del puente.

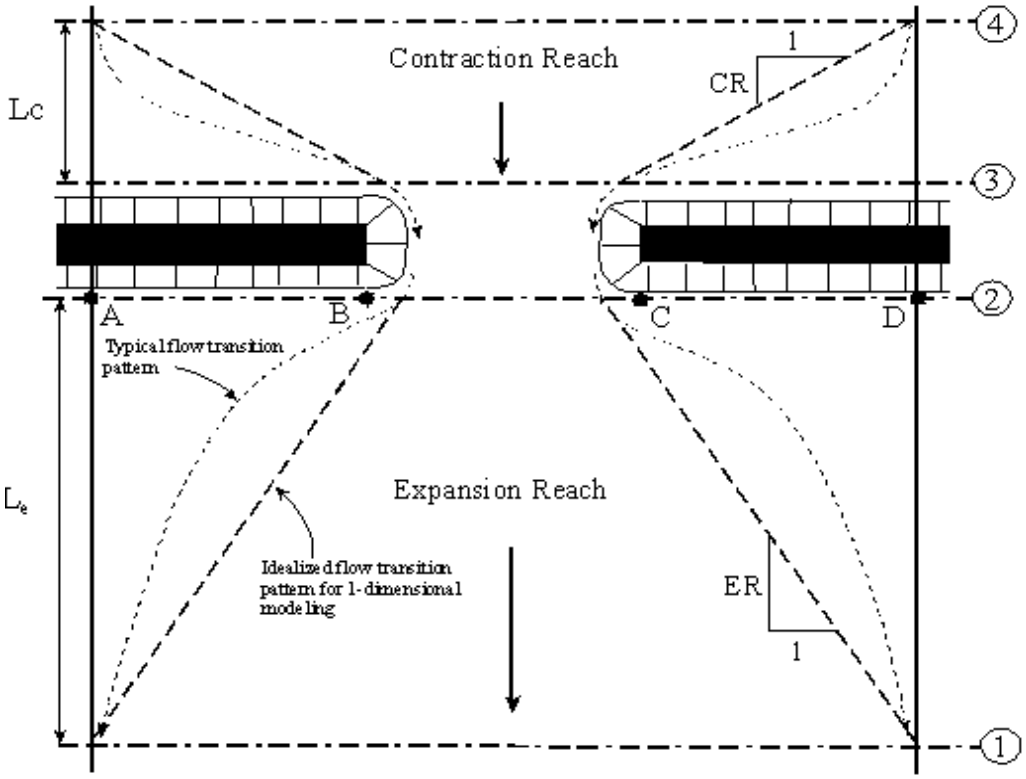


Figura 2.10 Secciones Transversales en puentes

Sección transversal 1. Se ubica aguas abajo de la estructura de modo que el flujo no sea afectado por la estructura (es decir, el flujo se ha expandido completamente). Esta distancia (la longitud del tramo de la expansión, L_e) se debe determinar generalmente por investigación de campo durante flujos altos. La distancia de expansión variará dependiendo del grado de constricción, la forma de la constricción, la magnitud y velocidad del flujo.

La Tabla 2.1 ofrece los rangos de relación de expansión, que se pueden utilizar para diversos grados de constricción, diversas pendientes, y diferentes

relaciones del margen de rugosidad para la rugosidad del canal principal. Una vez que se selecciona una relación de expansión, la distancia hacia el extremo aguas abajo en el tramo de la expansión (distancia L_e en la Figura 2.10) se encuentra multiplicando la relación de expansión por la longitud media de la obstrucción (el promedio de las distancias de A para B y de C para D de la Figura 2.10). La longitud media de la obstrucción es la mitad de la reducción total en la anchura de la planicie de inundación causada por los dos terraplenes de acercamiento del puente. En la Tabla 2.1, b/B es la relación de la anchura de la abertura del puente entre la anchura total de la planicie de inundación, n_{ob} es el valor del coeficiente de Manning "n" que sirve para los taludes, n_c es el valor de n para el canal principal, y S es la pendiente longitudinal. Los valores en el interior de la tabla son los rangos de las relaciones de expansión. Para cada rango, el valor más alto se asocia típicamente a una descarga más alta.

Tabla 2.1 Rango de las relaciones de expansión

		$n_{ob} / n_{c=1}$	$n_{ob} / n_{c=2}$	$n_{ob} / n_{c=4}$
b/B = 0.10	S = 1 ft/mile	1.4 – 3.6	1.3 – 3.0	1.2 – 2.1
	5 ft/mile	1.0 – 2.5	0.8 – 2.0	0.8 – 2.0
	10 ft/mile	1.0 – 2.2	0.8 – 2.0	0.8 – 2.0
b/B = 0.25	S = 1 ft/mile	1.6 – 3.0	1.4 – 2.5	1.2 – 2.0
	5 ft/mile	1.5 – 2.5	1.3 – 2.0	1.3 – 2.0
	10 ft/mile	1.5 – 2.0	1.3 – 2.0	1.3 – 2.0
b/B = 0.50	S = 1 ft/mile	1.4 – 2.6	1.3 – 1.9	1.2 – 1.4
	5 ft/mile	1.3 – 2.1	1.2 – 1.6	1.0 – 1.4
	10 ft/mile	1.3 – 2.0	1.2 – 1.5	1.0 – 1.4

Fuente: HEC-RAS Hydraulic Reference Manual, 2002

No se debe permitir que la distancia entre la sección transversal 1 y 2 llegue a ser tan grande ya que las pérdidas de fricción no serán modeladas adecuadamente. Si se piensa que el tramo de expansión requerirá una

distancia larga, entonces se deben colocar las secciones transversales intermedias dentro del tramo de la expansión para modelar adecuadamente las pérdidas por fricción. La opción de flujo inefectivo se puede utilizar para limitar el área de flujo efectivo de las secciones transversales intermedias en el tramo de la expansión.

Sección transversal 2. Se localiza a una pequeña distancia aguas abajo del puente (por ejemplo, comúnmente se sitúa en el pie del terraplén aguas abajo). Esta sección transversal debe representar el área contigua a la salida del puente.

Sección transversal 3. Se debe localizar a una pequeña distancia aguas arriba del puente (por ejemplo, comúnmente se sitúa en el pie del terraplén aguas arriba). La distancia entre la sección transversal 3 y el puente debe reflejar únicamente la longitud requerida para una aceleración abrupta y la contracción del flujo que ocurre en el área inmediata de la abertura. La sección transversal 3 representa el área de flujo efectivo solo aguas arriba del puente. Ambas secciones transversales 2 y 3 tendrán áreas inefectivas de flujo a cualquier lado de la abertura del puente mientras ocurran perfiles de flujo bajos y de flujo a presión. Para modelar solamente las áreas de flujo efectivo en estas dos secciones, se debe utilizar la opción de área de flujo inefectivo en ambas secciones transversales.

Sección transversal 4. Es una sección que está ubicada aguas arriba donde las líneas de flujo son aproximadamente paralelas y la sección

transversal es completamente efectiva. En general, las contracciones del flujo ocurren sobre una distancia más corta en comparación con las distancias donde tiene lugar las expansiones. La distancia entre la sección transversal 3 y 4 (longitud del tramo de la contracción, L_c) se determinan mediante investigación de campo durante flujos altos. La distancia de la contracción variará dependiendo del grado de constricción, de la forma de la constricción, de la magnitud y velocidad del flujo.

Durante los cálculos hidráulicos, el programa automáticamente formula dos secciones transversales adicionales dentro de la estructura del puente. La geometría dentro del puente es una combinación de las secciones transversales fronterizas (secciones 2 y 3) y la geometría del puente. La geometría del puente consiste en la cubierta y la vialidad del puente, la pendiente de los estribos en caso que sea necesario, y cualquier pila que pueda existir. Se pueden especificar diversas geometrías del puente para los lados aguas arriba y aguas abajo de la estructura en caso de ser necesario. La sección transversal 2 y la información de la estructura sobre el lado aguas abajo del puente se utilizan como la geometría dentro de la estructura en el extremo aguas abajo. La sección transversal 3 y la información aguas arriba de la estructura se utilizan como la geometría del puente dentro de la estructura en el extremo aguas arriba.

- **Definición del área inefectiva de flujo**

Un problema básico en definir los datos del puente es la definición de las áreas inefectivas del flujo cercanas a la estructura del puente. Haciendo referencia a la Figura 2.10, las líneas discontinuas representan el límite efectivo del flujo para las condiciones de flujo bajo y de flujo a presión. Por lo tanto, para las secciones transversales 2 y 3, las áreas inefectivas del flujo a los lados de la abertura del puente (a lo largo de la distancia AB y CD) no deben incluirse como parte del área activa del flujo para el flujo bajo o flujo a presión.

El ejemplo del puente mostrado en la Figura 2.11 es una situación típica donde el puente atraviesa el canal entero y sus estribos obstruyen la llanura de inundación natural. Esto es una situación similar como la mostrada en la vista de planta de la Figura 2.11. Los números y las localizaciones de las secciones transversales son iguales a los discutidos anteriormente. El problema es convertir el perfil natural del terreno en las secciones transversales 2 y 3 a partir de las secciones transversales mostradas en la parte B y en la parte C de la Figura 2.11. La eliminación de las áreas inefectivas del flujo sobre los taludes puede lograrse mediante la redefinición de la geometría en las secciones transversales 2 y 3 o usando el perfil del terreno natural y solicitando la opción del área inefectiva para eliminar el uso del área del flujo sobre los taludes (según lo mostrado en la parte C de la Figura 2.11). Asimismo, para los flujos altos (exceso de flujo sobre la cubierta del puente), el área fuera de la abertura principal del puente puede ser ineficaz, y necesitará ser incluida como área

activa del flujo. Si se elige redefinir la sección transversal, se utiliza un límite fijo en los laterales de la sección transversal para contener el flujo, cuando en realidad no existe físicamente un límite sólido allí. El uso de la opción de área inefectiva es más apropiado y no agrega perímetro mojado al límite activo del flujo sobre el perfil de terreno dado.

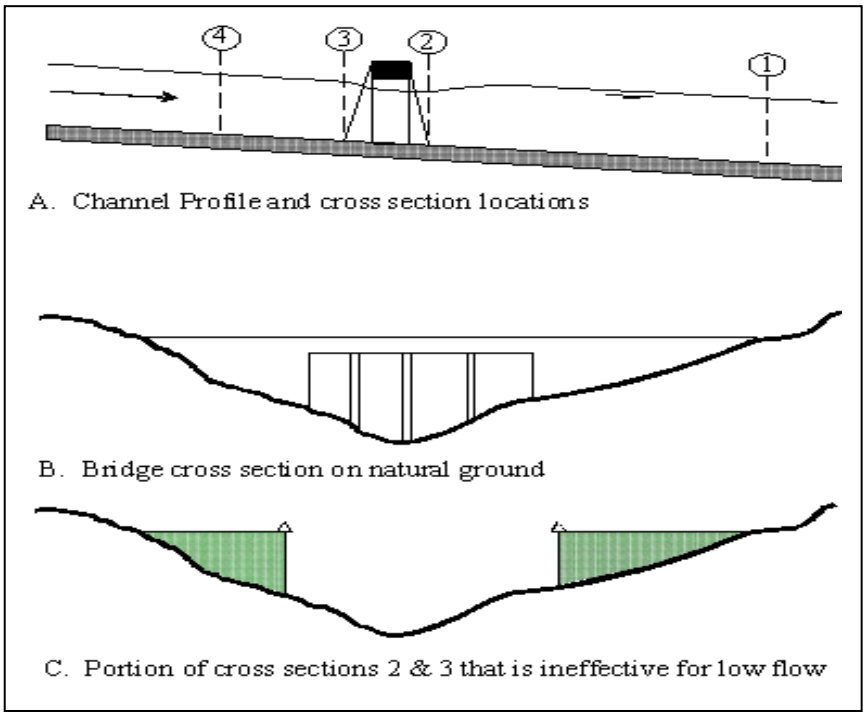


Figura 2.11 Secciones transversales cerca de los puentes

La opción del área inefectiva se utiliza en las secciones 2 y 3 para mantener todo el flujo activo en el área de la abertura del puente hasta que las elevaciones asociadas con las áreas inefectivas de flujo derecha e izquierda son excedidas debido a la elevación de la superficie del agua ya calculada. El programa permite las estaciones y el control de las elevaciones de las áreas inefectivas de flujo izquierdas y derechas que serán especificadas. Además, las estaciones de las áreas inefectivas no tienen que coincidir con las estaciones del perfil del terreno, el programa interpolará la estación del terreno.

Las áreas inefectivas se deben fijar en las estaciones que describirán adecuadamente el área activa del flujo en las secciones transversales 2 y 3. En general, estas estaciones se deben poner fuera de los bordes de la abertura del puente para tener en cuenta la contracción y la expansión del flujo que ocurre en las inmediaciones del puente. En el lado ubicado aguas arriba del puente (sección 3) el flujo se contrae rápidamente. Un método práctico para localizar las estaciones de las áreas inefectivas es asumir una relación 1:1 de la contracción en las inmediaciones del puente. Es decir, si la sección transversal 3 está a 10 pies de la cara aguas arriba del puente, las áreas inefectivas del flujo se deben situar 10 pies de cada lado de la abertura del puente. En el lado aguas abajo del puente (la sección 2), una suposición similar puede ser aplicada. El área activa del flujo en el lado aguas abajo del puente puede ser menor, igual o mayor que la anchura de la abertura del puente. Como el flujo converge en la abertura del puente, dependiendo de la obstrucción de los estribos, el área activa del flujo puede estrecharse para ser menor que la abertura del puente, a la vez que el flujo en la salida del puente comienza a ampliarse. Debido a este fenómeno, la estación estimada en el área inefectiva del flujo en la sección transversal 2 puede ser muy difícil. En general, se debe hacer que el área activa del flujo sea igual a la anchura de la abertura del puente o más ancha (cantidad para la expansión del flujo), a menos que los estribos del puente sean muy abruptos (estribos de paredes verticales sin aletas).

Las elevaciones especificadas para el flujo inefectivo deben corresponder a las elevaciones donde el flujo significativo del vertedero pasa sobre el puente. Para la sección transversal aguas abajo, generalmente la elevación de la superficie de agua para el flujo vertiente se desconoce en la corrida inicial, deberá hacerse una estimación. Una elevación debajo del borde inferior de la vía, tal como un promedio entre la cuerda baja y el borde inferior de la vía, se puede utilizar como primera estimación.

Usando la opción de área inefectiva para definir las áreas de flujo inefectivo que permitan que las áreas en los márgenes lleguen a ser efectivas tan pronto como se excedan las elevaciones del área inefectiva.

La sección transversal 3, ubicada próxima aguas arriba del puente, se define generalmente de manera similar a la sección transversal 2. En muchos casos las secciones transversales son idénticas. La única diferencia generalmente esta en que las estaciones y las elevaciones se pueden usar para la opción de área inefectiva. Para la sección transversal aguas arriba, la elevación se debe fijar inicialmente en un punto bajo del borde de la vía. Cuando esto sucede se podría obtener posiblemente una solución donde la hidráulica del puente se calcula con flujo vertiente, sin embargo la elevación de la superficie del agua aguas arriba llega a ser más baja que el borde de la vía. Una vez que la energía aguas arriba se calcula a partir de la hidráulica del puente, el programa intenta calcular una elevación de la superficie del agua en la sección transversal aguas arriba que corresponde a esa energía. El programa puede conseguir de vez en cuando una superficie de agua que sea

confinada por las áreas inefectivas del flujo y más baja que el borde mínimo de la vía.

Usando la opción del área inefectiva en la manera descrita para las dos secciones transversales en cualquier lado del puente se provee una sección estrecha cuando todo el flujo se traslada debajo del puente.

- **Pérdidas por contracción y expansión**

Las pérdidas debido a la contracción y a la expansión del flujo entre las secciones transversales se determinan durante los cálculos de perfil del paso estándar. La ecuación de Manning usada para calcular las pérdidas por fricción, y todas las otras pérdidas se describen en términos de un coeficiente que regule el valor absoluto del cambio en la carga de la velocidad entre las secciones transversales adyacentes. Cuando la carga de velocidad aumenta en la dirección aguas abajo, se utiliza un coeficiente de contracción y cuando la carga de velocidad disminuye, se utiliza un coeficiente de expansión.

Los coeficientes de contracción y de expansión se utilizan para calcular las pérdidas de energía asociadas a los cambios en la forma de las secciones transversales del río (o de las áreas efectivas del flujo). La pérdida debido a la expansión del flujo es generalmente más grande que la pérdida de la contracción. Los valores típicos para los coeficientes de la contracción y de la expansión bajo condiciones de flujo subcrítico se muestran en la Tabla 2.2.

Tabla 2.2 Coeficientes de contracción y de expansión del flujo subcrítico

	Contraction	Expansion
No transition loss computed	0.0	0.0
Gradual transitions	0.1	0.3
Typical Bridge sections	0.3	0.5
Abrupt transitions	0.6	0.8

Fuente: HEC-RAS Hydraulic Reference Manual, 2002

En general, los coeficientes de contracción y de expansión para el flujo supercrítico deben ser más bajos que flujo subcrítico.

2.21.2 Cálculos hidráulicos a través del puente

Las rutinas del puente en HEC-RAS permiten que se analice un puente con diversos métodos sin cambiar la geometría del mismo. Las rutinas del puente son capaces de modelar flujos bajos (clase A, B, y C), flujos bajos en vertedero (ajustados a vertederos sumergidos), flujo a presión, el flujo a presión y de vertedero, y flujo sumergido alto (el programa automáticamente cambiará a la ecuación de la energía cuando el flujo sobre el camino es altamente sumergido). A continuación se describe el calculo para flujo bajo, para clase A, B y C; y para el flujo alto.

- **Cálculo para flujos bajos**

Los flujos pequeños existen cuando el flujo que pasa por la abertura del puente es el flujo en canal abierto (la superficie del agua debajo del punto más alto en la cuerda baja de la abertura del puente). Para el cálculo de los flujos

bajos, el programa primero utiliza la Ecuación de Momentum para identificar la clase de flujo. Esto se logra calculando primero el momento en la profundidad crítica dentro del puente en los extremos aguas arriba y aguas abajo. El extremo con el mayor momento (por lo tanto la sección más estrecha) será la sección que controla el puente. Si las dos secciones son idénticas, el programa selecciona la sección aguas arriba del puente como la sección de control. El momento en la profundidad crítica de la sección de control, luego se compara con el momento del flujo aguas abajo del puente cuando ocurre un perfil subcrítico (aguas arriba del puente para un perfil supercrítico). Si el momento aguas abajo es mayor que el momento de la profundidad critica dentro del puente, la clase de flujo se considera completamente subcrítico (es decir flujo pequeño clase A). Si el momento aguas abajo es menor que el momento en la profundidad critica, en la sección de control del puente, entonces se asume que la contracción puede causar que el flujo pase a través la profundidad crítica y pueda ocurrir un resalto hidráulico en alguna distancia aguas abajo (flujo bajo clase B). Si el perfil es totalmente supercrítico a través del puente, entonces esto se considera un flujo bajo clase C.

Flujo bajo Clase A

El flujo bajo clase A existe cuando la superficie del agua a través del puente es totalmente subcrítica (es decir, por encima de la profundidad crítica). Las pérdidas de energía a través de la expansión (secciones 2 a 1) se calculan como pérdidas por fricción y pérdidas por expansión. Las perdidas de carga por fricción se determinan en una de las cuatro alternativas disponibles en HEC-

RAS, mediante métodos de conductividad promedio por defecto. La longitud media usada en el cálculo se basa en la longitud del tramo carga - descarga. Las pérdidas de energía a través de la contracción se calculan como pérdidas por fricción y pérdidas por contracción. Hay cuatro métodos disponibles para calcular pérdidas a través del puente (secciones 2 a 3):

- Ecuación de Energía (método del paso estándar).
- Balance de la cantidad de movimiento.
- Ecuación De Yarnell.
- Método de FHWA WSPRO.

Se puede seleccionar cualquiera de estos métodos para hacer el cálculo. Esto permite que se comparen las respuestas de las diferentes técnicas para una ejecución particular del programa. Se debe elegir un solo método como la solución final o utilizar en el programa el método que calcula la mayor pérdida de energía a través del puente como la solución final en la sección 3. Los resultados mínimos están disponibles para todos los métodos de cálculo, pero los resultados detallados están disponibles para el método que se selecciona como la respuesta final. Una discusión detallada de cada método es como sigue:

Ecuación de la Energía (método del paso estándar):

El método basado en la energía trata a un puente de manera semejante como una sección natural de un río, excepto que el área del puente debajo de

la superficie del agua se resta del área total, y se incrementa el perímetro mojado donde el agua esta en contacto con la estructura del puente.

La secuencia de los cálculos con el método del paso estándar comienzan calculando aguas abajo del puente (sección 2) hacia el interior del puente (sección BD) en el extremo aguas abajo. El programa luego realiza un paso estándar a través del puente (desde la sección BD a la sección BU). Los últimos cálculos son pasos fuera del puente (desde la sección BU a la sección 3).

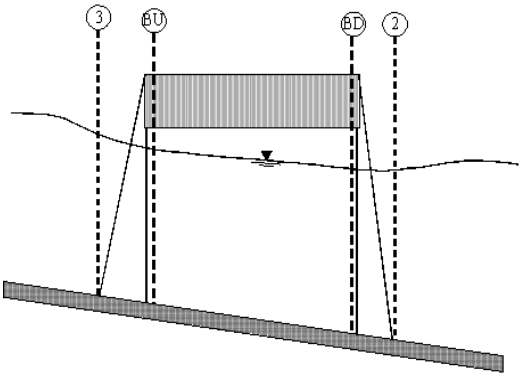


Figura 2.12 Secciones transversales en las proximidades del puente

El método basado en la energía requiere usar los valores del coeficiente “n” de Manning para las pérdidas por fricción y los coeficientes de contracción y expansión para las pérdidas por transición. La salida detallada está disponible para las secciones transversales dentro del puente (secciones BD y BU) así como también para las secciones transversales introducidas (secciones 2 y 3).

Método Del Balance de la cantidad de movimiento

Este método esta basado en la realización de un balance de la cantidad de movimiento desde la sección transversal 2 a la sección transversal 3. Esto se realiza en tres pasos. El primer paso es realizar un balance de la cantidad de movimiento desde la sección transversal 2 hasta la sección transversal BD dentro del puente. La ecuación para este balance de la cantidad de movimiento es como sigue:

$$A_{BD}\,\overline{Y}_{BD} + \frac{\beta_{BD}\,Q_{BD}^2}{g\,A_{BD}} = A_2\,\overline{Y}_2 + \frac{\beta_2\,Q_2^2}{g\,A_2} - A_{p_{BD}}\,\overline{Y}_{p_{BD}} + F_f - W_x \qquad (2.76)$$

Donde:

A_2,A_{BD} = Área activa del flujo en la sección 2 y BD, respectivamente.

$A_{P\,BD}$ = Área obstruida de la pila en el lado aguas abajo.

$\overline{Y}_2$, $\overline{Y}_{BD}$ = Distancia vertical de la superficie del agua al centro de gravedad del área de flujo A_2 y A_{BD}, respectivamente.

$\overline{Y}_{P\,BD}$ = Distancia vertical de la superficie del agua al centro de gravedad del área mojada de la pila en el lado aguas abajo.

β_2, β_{BD} = Coeficientes de carga de velocidad para la Ecuación de Momentum

Q_2, Q_{BD} = Caudal.

g = Aceleración de gravedad.

F_f = Fuerza externa debido a la fricción, por la carga de agua.

W_x = Fuerza debida a la carga de agua en la dirección del flujo, por unidad de la carga de agua.

El segundo paso es un balance de la cantidad de desde la sección BD hasta la sección BU. La ecuación para este paso es como sigue:

$$A_{BU}\,\overline{Y}_{BU} + \frac{\beta_{BU}\,Q_{BU}^2}{g\,A_{BU}} = A_{BD}\,\overline{Y}_{BD} + \frac{\beta_{BD}\,Q_{BD}^2}{g\,A_{BD}} + F_f - W_x \qquad (2.77)$$

El paso final es un balance de la cantidad de movimiento desde la sección BU a la sección 3. La ecuación para este paso es como sigue:

$$A_3\,\overline{Y}_3 + \frac{\beta_3\,Q_3^2}{g\,A_3} = A_{BU}\,\overline{Y}_{BU} + \frac{\beta_{BU}\,Q_{BU}^2}{g\,A_{BU}} + A_{p_{BU}}\,\overline{Y}_{p_{BU}} + \frac{1}{2}C_D\,\frac{A_{p_{BU}}\,Q_3^2}{g\,A_3^2} + F_f - W_x \qquad (2.78)$$

Donde:

C_D = Coeficiente de empuje para el flujo alrededor de las pilas. La dirección en seleccionar coeficientes de empuje se pueden encontrar en la Tabla 2.3 ubicada abajo.

El método del balance de la cantidad de movimiento requiere el uso de los coeficientes de rugosidad para la estimación de la fuerza de la fricción y del coeficiente de empuje para la fuerza de la fricción en las pilas. Los coeficientes de empuje se utilizan para estimar la fuerza debido al movimiento del agua alrededor de las pilas, la separación del flujo, y la estela resultante que ocurre aguas abajo. Los coeficientes de empuje para las diversas formas cilíndricas se han derivado de los datos experimentales (Lindsey. 1938). La siguiente tabla

muestra algunos coeficientes de empuje comunes que se puedan utilizar para las pilas:

Tabla 2.3 Coeficientes comunes de empuje para varias formas de pilas

Pier Shape	Drag Coefficient C_D
Circular pier	1.20
Elongated piers with semi-circular ends	1.33
Elliptical piers with 2:1 length to width	0.60
Elliptical piers with 4:1 length to width	0.32
Elliptical piers with 8:1 length to width	0.29
Square nose piers	2.00
Triangular nose with 30 degree angle	1.00
Triangular nose with 60 degree angle	1.39
Triangular nose with 90 degree angle	1.60
Triangular nose with 120 degree angle	1.72

Fuente: HEC-RAS Hydraulic Reference Manual, 2002

Ecuación De Yarnell:

La ecuación de Yarnell es una ecuación empírica la cual se utiliza para predecir el cambio en la superficie del agua desde aguas abajo del puente hacia aguas arriba del puente. La ecuación se basa en aproximadamente 2600 experimentos del laboratorio en los cuales los investigadores variaron la forma de las pilas, el ancho, la longitud, el ángulo, y el caudal. La ecuación de Yarnell es como sigue (Yarnell, 1934):

$$H_{3-2} = 2K\left(K + 10\omega - 0.6\right)\left(\alpha + 15\alpha^4\right)\frac{V^2}{2g} \qquad (2.79)$$

Donde:

H_{3-2} = Gota en la elevación de la superficie del agua de la sección 3 a 2.

K = Coeficiente de Yarnell de la forma de la pila.

ω = Razón de la carga de velocidad para la profundidad en la sección 2.

ά = Área obstruida por las pilas dividida por el área total sin obstáculo en la sección 2.

V_2 = velocidad aguas abajo en la sección 2.

El cálculo de la elevación de la superficie aguas arriba calculada es simplemente la elevación de la superficie aguas abajo más H_{3-2}. Con la superficie aguas arriba conocida, el programa calcula la correspondiente carga de velocidad y elevación de energía para la sección aguas arriba. Cuando se utiliza el método de Yarnell, la información hidráulica se proporciona solamente en las secciones transversales 2 y 3 (no se proporciona ninguna información para las secciones BU y BD).

La ecuación de Yarnell es sensitiva a la forma de las pilas (coeficiente de K), al área obstruida de las pilas, y a la velocidad del agua. El método no es sensible a la forma de la abertura del puente, a la forma de los estribos, o al ancho del puente. Debido a estas limitaciones, el método de Yarnell se debe utilizar solamente en puentes donde la mayoría de las perdidas de energía son asociadas con las pilas. Cuando la ecuación de Yarnell se utiliza para calcular el cambio en superficie del agua a través del puente, se debe suministrar el coeficiente de la forma de las pilas de Yarnell, K. La tabla siguiente da los valores para el coeficiente del estribo de Yarnell, K, para las diversas formas del estribo:

Tabla 2.4 Coeficiente de Yarnell para varias formas de pilas, K,

Pier Shape	Yarnell K Coefficient
Semi-circular nose and tail	0.90
Twin-cylinder piers with connecting diaphragm	0.95
Twin-cylinder piers without diaphragm	1.05
90 degree triangular nose and tail	1.05
Square nose and tail	1.25
Ten pile trestle bent	2.50

Fuente: HEC-RAS Hydraulic Reference Manual, 2002

Método de FHWA WSPRO:

Los cálculos hidráulicos del flujo bajo del programa de cálculo WSPRO de la Federal Highway Administration's (FHWA), ha sido adaptado como una opción para la hidráulica del flujos bajos en HEC-RAS. La metodología de WSPRO tuvo que ser modificada levemente con la idea de ajustarse al concepto de HEC-RAS para la ubicación de las secciones transversales alrededor y a través del puente.

El método de WSPRO calcula el perfil de la superficie del agua a través de un puente resolviendo la Ecuación de Energía. El método realiza una solución iterativa a partir de la sección transversal de salida hacia las secciones transversales próximas. El balance de energía se realiza en pasos desde la sección transversal de salida a la sección transversal justo aguas abajo del puente; desde aguas abajo del puente hacia el interior del puente en el extremo aguas abajo; desde el interior del puente en el extremo aguas abajo hacia el

interior del puente en el extremo aguas arriba; desde el interior del puente en el extremo aguas arriba a un punto aguas arriba del puente (3) y desde aguas arriba del puente hasta la próxima sección .

Flujo bajo Clase B

El flujo bajo clase B puede existir para cualquier perfil subcrítico o supercrítico. Este flujo ocurre cuando el perfil pasa a través de profundidad crítica en la constricción del puente. Para un perfil subcrítico, la ecuación se utiliza la Ecuación de Momentum para calcular una superficie aguas arriba (sección 3 de la Figura 2.12) sobre la profundidad crítica y una superficie aguas abajo (sección 2) debajo de la profundidad crítica. Para un perfil supercrítico, el puente está actuando como un control y está causando que la elevación de la superficie aguas arriba este sobre la profundidad crítica. La cantidad de movimiento se utiliza para calcular una superficie aguas arriba sobre la profundidad crítica y una superficie aguas abajo debajo de la profundidad crítica. Si por alguna razón la Ecuación de Momentum no puede converger en una respuesta durante los cálculos del flujo clase B, el programa cambiará automáticamente a un método basado en la energía.

Siempre que el flujo clase B pueda existir, se debe ejecutar el programa en un modo de régimen de flujo mixto.

Flujo bajo Clase C

Este existe cuando la superficie del agua a través del puente es totalmente supercrítica. El programa puede utilizar la Ecuación de Energía o la Ecuación de Momentum para calcular la superficie del agua a través del puente.

- **Cálculos para flujos altos**

El programa HEC-RAS tiene la capacidad de calcular flujo altos (flujos que entran en contacto con la máxima altura de la celosía de la cubierta del puente) por la ecuación de la energía (método del paso estándar) o con el uso separado de las ecuaciones hidráulicas para el flujo a presión y/o el flujo en vertedero. A continuación se explica la metodología usando la ecuación de energía.

Ecuación de la energía (método del paso estándar). El método basado en la energía se aplica a los flujos altos de la misma manera que se aplica a flujos bajos. Los cálculos se basan en las ecuaciones del balance de energía en tres etapas a través del puente. Las pérdidas de energía se basan en pérdidas de fricción, de contracción y de expansión. Para la salida de este método se dispone de las secciones transversales dentro del puente así como en el exterior.

El método basado en la energía realiza todos los cálculos como si fuera flujo en canales abiertos. En las secciones transversales dentro del puente, el área obstruida por los estribos del puente, pilas, y la cubierta es restada del área del flujo y se agrega adicionalmente el perímetro mojado. Ocasionalmente las superficies del agua resultantes dentro del puente (en las secciones BU y BD) se calculan como las elevaciones que estarían dentro de la cubierta del puente. Las superficies del agua dentro del puente reflejan la línea de elevación del gradiente hidráulico, no necesariamente las elevaciones de la superficie del agua. Adicionalmente, el área flujo del flujo activa se limita al área de entrada del puente.

2.21.3 **Selección de un modelo aproximado para puentes**

Hay varias opciones disponibles en HEC – RAS cuando se seleccionan los métodos para calcular el perfil de la superficie del agua a través de un puente.

Para flujo bajo, se puede seleccionar cualquiera de los cuatro métodos disponibles. Para los flujos altos, el usuario debe escoger entre el método basado en la energía o la aproximación del flujo en vertedero o flujo a presión. La selección de métodos debe ser considerada con cuidado. A continuación se proporcionan algunas pautas básicas para seleccionar los métodos apropiados para flujo bajo.

- **Métodos para Flujo Bajo**

Para las condiciones de flujo bajo, los métodos de energía y de la cantidad de movimiento son aplicables en situaciones de flujo y rangos más anchos de puentes. Ambos métodos cuantifican las perdidas por fricción y cambios en la geometría a través del puente. El método de energía cuantifica las perdidas adicionales debidas a transiciones de flujo y a turbulencias a través del uso de las perdidas por expansión y contracción. El método de la cantidad de movimiento cuantifica las pérdidas adicionales debida a la fricción con las pilas. El método FHWA WSPRO fue desarrollado originalmente para el paso a través del puente que tiene una planicie de inundación con áreas en el margen cubiertas con vegetación. El método es una solución basada en la energía con algunas cualidades empíricas (la ecuación de pérdida por expansión en el método WSPRO utiliza un coeficiente de descarga empírico). La ecuación de Yarnell es una fórmula empírica. Al aplicar la ecuación de Yarnell, se debe asegurar de que el problema está dentro del rango de datos para los cuales el método fue desarrollado. Los siguientes ejemplos son algunos casos típicos donde los diversos métodos de flujo bajo pueden ser utilizados:

1. En casos donde las pilas del puente obstruyen escasamente al flujo y las pérdidas de la fricción son la consideración predominante, el método basado en la energía, el método de la cantidad de movimiento, y el método de WSPRO deben dar las mejores respuestas.

2. En los casos donde las pérdidas por fricción y las perdidas en las pilas son predominantes, el método de la cantidad de movimiento deberá ser el mas conveniente. Sin embargo cualquiera de los otros métodos pueden ser utilizados.

3. Siempre que el flujo pasa a través de una profundidad crítica en las inmediaciones del puente, tanto el método de la cantidad de movimiento como el método de energía son capaces de modelar este tipo de transición del flujo. Los métodos de Yarnell y de WSPRO son solo utilizados para el flujo subcrítico.

4. Para el flujo supercrítico, tanto el método de energía y el método de la cantidad de movimiento pueden ser utilizados. El método basado en la cantidad de movimiento puede ser el mejor en las localizaciones que tienen una magnitud de impacto considerable sobre las pilas. La ecuación de Yarnell y el método de WSPRO son solamente aplicables a situaciones del flujo subcrítico.

5. Para los puentes en los cuales las pilas son los principales contribuidores a las pérdidas de energía y a los cambios en la superficie del agua, el método de la cantidad de movimiento o de la ecuación de Yarnell deberían ser los de mayor aplicación. Sin embargo, la ecuación de Yarnell es solamente aplicable al flujo bajo clase A.

- **Método para Flujos Altos**

Para los altos flujos (flujos que vienen en contacto la máxima estructura de la cubierta del puente), el método de la energía es aplicable para un rango amplio de problemas. Los ejemplos siguientes son algunos casos típicos donde los métodos de flujos altos podrían ser utilizados.

1. Cuando la cubierta del puente presenta una pequeña obstrucción al flujo, y el cajón del puente no está actúa como un orificio a presión, el método basado en la energía debe ser utilizado.

2. Cuando la cubierta del puente y los terraplenes del camino representan una gran obstrucción al flujo, y se crea un remanso debido a la constricción del flujo, el método del vertedero y a presión deberían ser los más utilizados.

3. Cuando el terraplén del puente y/o del camino se encuentran sobrepasados, y el agua pasa por encima de la cota superior del puente no esta altamente sumergido debido a la superficie del agua que esta agua abajo, el método del vertedero y de la presión deben ser utilizados. El método del vertedero y de la presión debe ser cambiado automáticamente por el método de la energía si el puente pasa a estar en un 95 por ciento sumergido. Se puede cambiar el porcentaje de sumergencía con lo cual el programa cambiará del método del vertedero y de presión al método de la energía. Esto lo propone

los editores de la cubierta de la carretera (Deck/Roadway) de los datos de puente/ alcantarilla (Bridge/Culvert).

4. Cuando el puente esta altamente sumergido, y el flujo sobre el camino no actúan como flujo en vertedero, el método de la energía deberá ser utilizado.

2.21.4 Problemas particulares en puentes y sugerencias

Muchos puentes son más complejos que los ejemplos simples. La siguiente discusión tiende mostrar cómo HEC-RAS se puede utilizar para calcular los perfiles de las mayorías de los pasos complejos del puente.

- **Puentes en planicie**

Este tipo de puente es aquel en el cual la vía aproximada del puente esta cerca de la planicie de inundación, y solo en el área inmediata del puente la subida del terreno condiciona el nivel del suelo para atravesar el curso de agua (Figura 2.13). Una situación de flujo de creciente con este tipo de puente es el flujo bajo debajo del puente y el flujo en los márgenes alrededor del puente.

Debido a que la vía próxima al puente no es mas alta que el terreno, no se justifica el flujo sobre vertederos. Una solución basada en el método de energía (cálculos del paso estándar) sería mejor que una solución basada en

flujo sobre el vertedero con la corrección por sumergencia. Por lo tanto, este tipo de puente se debe modelar generalmente usando el método de energía, especialmente cuando un porcentaje grande de la descarga total está en las áreas de las márgenes.

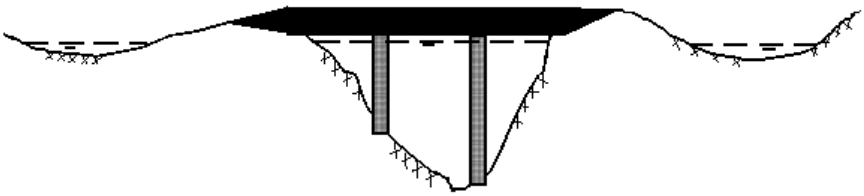


Figura 2.13 Ejemplo de puente en planicie

- **Puente bajo el agua**

El puente bajo el agua (Figura 2.14) se diseña para llevar solamente flujos bajos debajo del puente. Los flujos de la inundación son transportados por encima del puente y del camino. Cuando se modela el flujo de estos puentes para la inundación, la solución anticipada es una combinación del flujo a presión y del flujo en vertedero. Sin embargo, con la mayoría de los flujos sobre la cota superior del puente, la corrección por sumergencia puede introducir un error considerable. Si la superficie del agua pasa por encima, podría ser mejor usar el método de la energía.

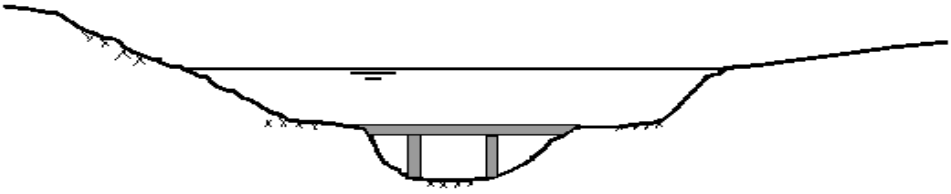


Figura 2.14 Ejemplo de los puentes bajo el agua

CAPITULO III

MARCO METODOLOGICO

3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

Es un estudio de tipo descriptivo, ya que se orientará a especificar las propiedades y las características del fenómeno que se está analizando. Esto se logrará a través de mediciones, evaluaciones o recolección de datos sobre diversos aspectos, dimensiones o componentes del fenómeno a investigar.

"La investigación descriptiva se realiza cuando la experiencia y la exploración previa indican que no existen descripciones precisas del evento en estudio o han quedado obsoletas debido a un flujo distinto de información, a la aparición de un nuevo contexto, a la invención de nuevos aparatos o tecnologías de medición, entre otros". (Hurtado, 1998).

3.2. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

De acuerdo con el enfoque que se le dará a la investigación, se considera *Diseño No Experimental*. Esto se debe a que no se controlarán variables, se limita a la observación de las diversas respuestas manifestadas por los elementos en el estudio ante situaciones que no son manipuladas. Asimismo, se puede considerar una investigación cuantitativa, ya que "utiliza la

recolección y el análisis de datos para contestar preguntas de investigación y probar hipótesis establecidas previamente, y confía en la medición numérica, el conteo y frecuentemente en el uso de estadística para establecer con exactitud patrones de comportamiento en una población.” (Hernández, 2004).

3.3 METODOLOGIA

La metodología empleada implicó la ejecución de las siguientes fases:

- Fase Diagnóstico
- Fase de Recolección de datos
- Fase de Procesamiento de datos
- Fase de Análisis de resultados

3.4 FASE DIAGNÓSTICO

En esta fase se seleccionó la zona de estudio de la cuenca del río Urama, el cual atraviesa los sectores Los Robalos, El Charal y La Luna ubicados en la Parroquia Urama del Municipio “Juan José Mora” - Estado Carabobo, para el estudio de esta cuenca se realizó el análisis de las cuenca de los ríos Temerla y Canoabo, los cuales componen las cabeceras del río Urama, con el fin de determinar el caudal pico de creciente generado luego de la confluencia de ambos ríos, es decir, al inicio del río urama, detalles de ubicación de la zona podrán ser consultados en las cartas topográficas que posteriormente serán citadas en este Capítulo.

Con la idea de obtener información relacionada con las áreas afectadas por la creciente se realizaron visitas de campo mediante las cuales se consultó

a la población afectada en relación a la extensión del área inundada y niveles alcanzados, la fotografía de la Figura 3.1 indica que el nivel alcanzado por el río durante la vaguada de febrero de 2005 fue de aproximadamente 1.7 metros, para mayores detalles consultar el Apéndice A.

Figura 3.1 Niveles alcanzados por la creciente del río Urama durante la vaguada de Febrero 2005

La planicie inundada tiene una extensión como se indica en la fotografía de la Figura 3.2

Figura 3.2 Planicie inundable próxima al Río Urama

Adicionalmente, las visitas sirvieron para involucrar a la comunidad de la Parroquia Urama, de manera que plantearan su problemática y

colaboraran en la ejecución del levantamiento topográfico, en la fotografía de la Figura 3.3 se observan representantes de la comunidad que sirvieron de guías, para mayores detalles consultar el Apéndice A.

Figura 3.3 Universidad y comunidad de la Parroquia Urama Municipio Juan José Mora

3.5 FASE DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Esta fase involucró recolectar la información requerida para la elaboración del estudio, para lo cual fue preciso; adquirir las cartas topográficas, ejecutar un levantamiento topográfico, digitalizar la información de usos de la tierra y tipos de suelos para la zona de estudio, así como procesar la información hidrológica

3.5.1 Cartas Topográficas

Las cartas topográficas oficiales fueron suministradas por el Instituto Geográfico de Venezuela Simón Bolívar (IGVSB). Las cartas usadas para delimitar la cuenca del río Urama fueron las hojas; 6546-I-NO, 6546-IV-NE,

6546-I-SO, 6546-II-NO, 6547-III-SE, 6547-III-SO y 6547-IV-SE, ocho cartas en total, las cuales se pueden observar en el Apéndice B

3.5.2 Modelo Digital del Terreno (MDT)

El Modelo Digital del Terreno (MDT), se realizó con base en la digitalización y ensamble de las cartas topográficas oficiales haciendo uso del software Autodesk Land Desktop 2005, para detalles del método de digitalización, así como del MDT obtenido se puede consultar el Apéndice C.

3.5.3 Levantamiento Topográfico

El levantamiento topográfico del río Urama se realizó en el tramo comprendido entre el Dique Toma "José Laurencio Silva" y las vías del Ferrocarril Puerto Cabello-Barquisimeto. Éste se realizó con el objeto de contrastar y mejorar las secciones transversales y el perfil longitudinal obtenido mediante el MDT. Las secciones transversales y el perfil longitudinal del levantamiento se pueden consultar en el Apéndice D. La Figura 3.4 muestra una fotografía del levantamiento de una sección transversal en el río Urama, mayores detalles pueden ser observados en el Apéndice A.

Figura 3.4 Levantamiento de sección transversal del río Urama

3.5.4 Uso de la tierra y tipo de suelo

El uso de la tierra y tipo de suelo fueron consultados en el manual "Sistemas Ambientales Venezolanos. Proyecto Ven/79/001", este documento contiene una metodología para la definición de regiones, sub-regiones y áreas naturales del país y fue suministrado por el MARN, para detalles de la clasificación obtenida para el eje Urama-Morón-Puerto Cabello, se recomienda consultar el Apéndice E. En la tabla que se presenta en dicho apéndice, se encontrará información adicional sobre el clima de la región. Esta información fue relevante para la obtención del parámetro hidrológico Número de Curva, usado para estimar la escorrentía generada por la tormenta.

3.5.5 Información Hidrológica

La información relativa a registros de lluvias y caudales fue suministrada por el Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales (MARN) y de Hidrocentro. La misma fue extraída de los estudios de diseño del Embalse de Canoabo y del Transvase de Temerla hacia dicho embalse, para detalles consultar el Apéndice F.

3.6 FASE DE PROCESAMIENTO DE DATOS

Esta fase consta de la secuencia de actividades ejecutadas durante la aplicación de los programas utilizados para determinar las zonas inundables; a continuación se describirán los siguientes procesamientos;

- Procesamiento con HEC-GeoHMS

- Procesamiento con HEC-HMS
- Procesamiento con HEC-RAS
- Procesamiento con HEC-GeoRAS

3.7 PROCESAMIENTO CON HEC-GEOHMS

El procesamiento con HEC-GeoHMS implica describir los pasos a ejecutar en ArcView GIS 3.2 y HEC-GeoHMS, así mismo dentro de HEC-GeoHMS fue preciso describir el procedimiento ejecutado en los documentos **MainView y ProjView**

3.8 TRABAJO EN ARCVIEW GIS 3.2

Para iniciar el trabajo en ArcView GIS 3.2, en la raíz **"C"** de la máquina se creó una carpeta nombrándola de la siguiente forma: HMS**,** dentro de la cual se copiaron los archivos Líneas.shp, Líneas.shx y Líneas.dbf,, como se muestra en la Figura 3.5, estos archivos se crearon previamente a partir de un fichero CAD que contiene las líneas de nivel, y representan el Modelo Digital de Terreno (MDT), el cual tiene asociado a cada línea de nivel un registro en la base de datos que indica su cota.

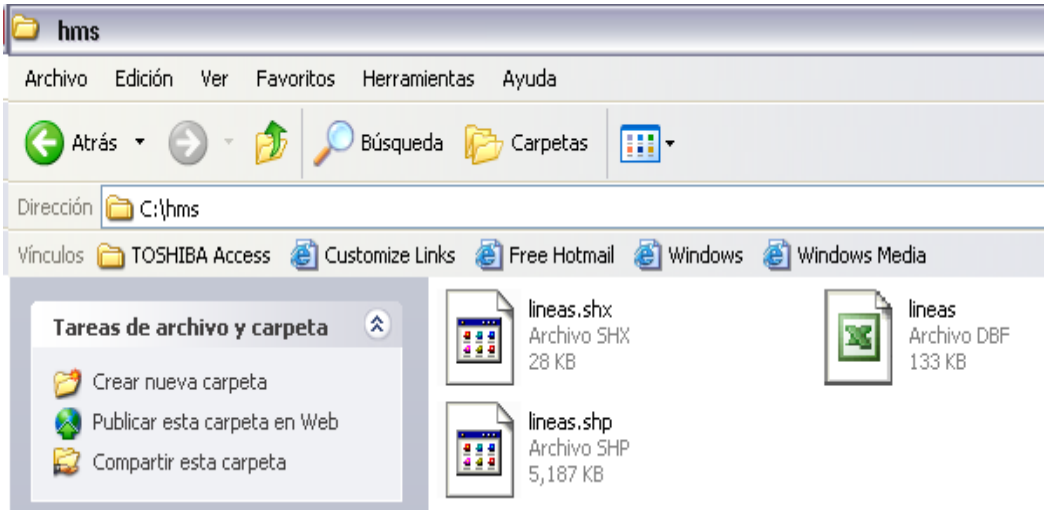


Figura 3.5 Carpeta HMS

El paso siguiente implica; la creación de un proyecto en ArcView GIS 3.2

3.8.1 Creación de un proyecto en ArcView GIS 3.2

Para crear un nuevo proyecto en ArcView 3.2, se hizo doble click en el ícono del programa desde el directorio de trabajo en Windows, indicado en la Figura 3.6

Figura 3.6 Icono de ArcView GIS 3.2

Una vez que el programa abrió, se activó el cuadro de diálogo **Welcome to ArcView GIS**, como se indica en la Figura 3.7, del cual se seleccionó la opción **as a blank project.**

Figura 3.7 Creación de un nuevo proyecto en ArcView GIS 3.2

3.8.2 Extensiones

Para activar las extensiones de los módulos de ArcView 3.2, desde el menú **File** se seleccionó la opción **Extensions,** como se indica en la Figura 3.8

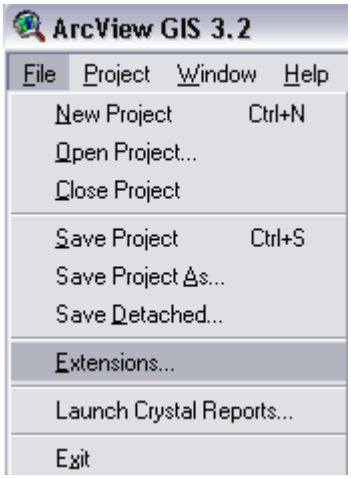


Figura 3.8 Selección de la opción Extensions en ArcView GIS 3.2

La selección de la opción **Extensions** desplegó el cuadro de diálogo **Extensions,** donde se encuentran los módulos disponibles en ArcView GIS 3.2

para procesamiento de imágenes, los cuales fueron activados posicionando el puntero del mouse sobre los cuadros en blanco ubicados a la izquierda de cada módulo, se observó que el puntero cambió de flecha a una tilde previo a ejecutar el click y que permaneció sobre el cuadro una vez seleccionada cada una de las opciones, lo cual garantiza que dichos módulos estarán activos para el trabajo en ArcView GIS 3.2, se activó la opción **Make Default**, que garantiza que estas opciones estarán activas cada vez que se abra dicho proyecto y finalmente se pulsa **OK** para cerrar el cuadro. Ver Figura 3.9.

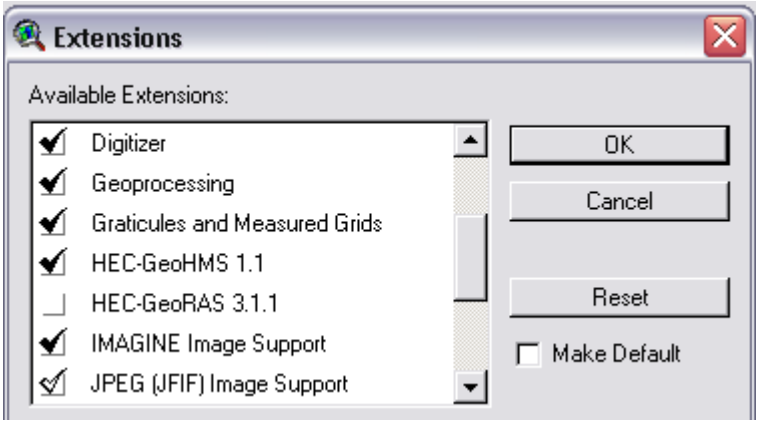


Figura 3.9Selección de las Extensiones de trabajo de ArcView GIS 3.2

En la Figura 3.9 se observa la selección de las extensiones, entre las cuales se garantizó la selección de los módulos **3D Analyst, Spatial Analyst** y **HEC-GeoHMS 1.1**, los cuales son las principales extensiones para el procesamiento del MDT.

Para iniciar un proyecto en ArcView GIS 3.2, se cuenta con siete tipo de documentos, los dos primeros corresponden a GeoHMS (**MainView, PojView)** y los cinco restantes representan las opciones estándar de ArcView (**View, Table, Charts, Layouts y Scripts)** ubicados en la ventana de Proyectos, entre

los cuales se seleccionó **MainView**, la selección se evidencia mediante un recuadro con borde negro alrededor de la opción, como se muestra en la Figura 3.10

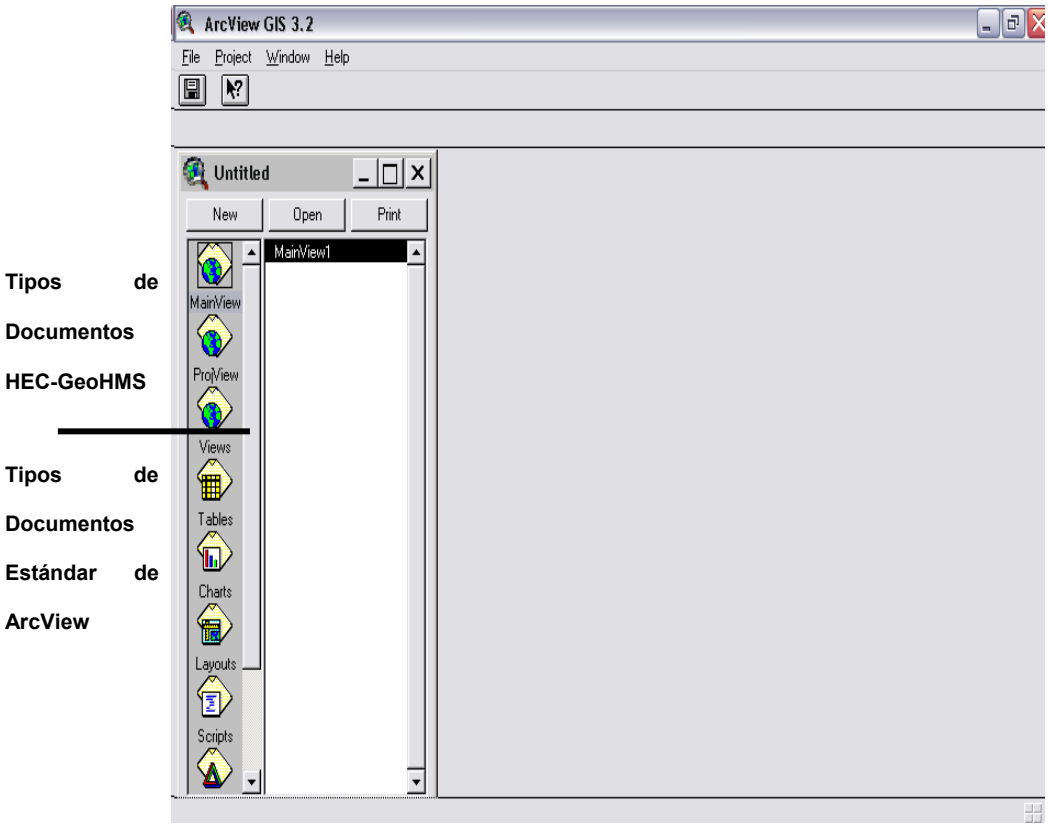


Figura 3.10 Selección de MainView

Para el trabajo en HEC-GeoHMS se requiere desarrollar actividades primero en **MainView**, lo cual implica desarrollar el preprocesamiento del terreno y posteriormente, sobre la base de estas modificaciones se desarrollan acciones en el documento que contendrá el proyecto, denominado **ProjView.**

3.9 TRABAJO EN MAINVIEW

Para iniciar el trabajo en este documento, se selecciona la opción **MainView** de la ventana de vistas de ArcView GIS 3.2. En la Figura 3.11, se puede observar que la Interfaz Gráfica con el Usuario (GUI) involucra; menú, barra de herramientas y botones. El menú contiene las opciones estándar de ArcView GIS 3.2 y las opciones de HEC-GeoHMS, las cuales se identifican como; **Terrain Preprocessing, HMS Project Setup y Utility.**

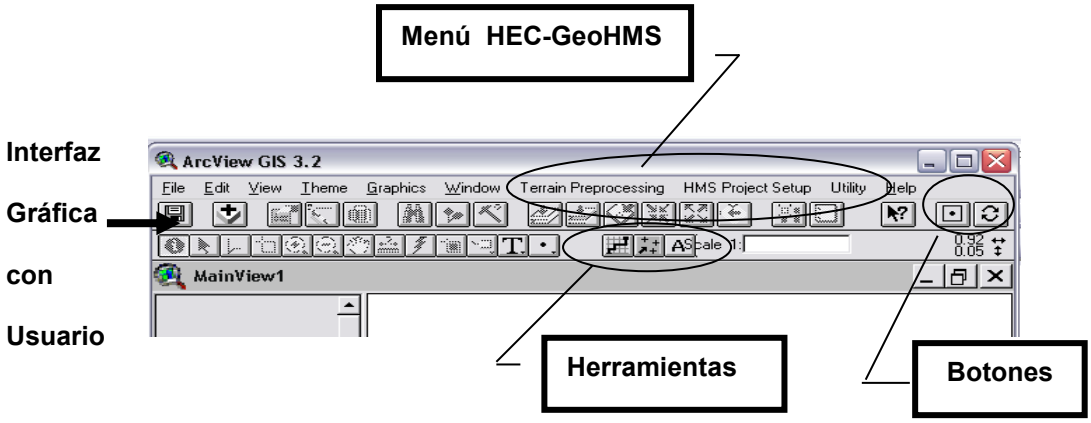


Figura 3.11 Interfaz Gráfica con el Usuario MainView con los descriptores de las extensiones de GeoHMS

3.10 PREPROCESAMIENTO DEL TERRENO (Terrain Preprocessing)

El preprocesamiento del terreno implicó ejecutar las siguientes opciones en forma consecutiva; *reacondicionamiento del terreno, relleno de depresiones, direccionamiento del flujo, acumulación del flujo, definición de corrientes, segmentación de corrientes, delineación de cuencas, procesamiento poligonal*

de la cuenca, procesamiento de los segmentos de corrientes y agregación de cuencas.

3.10.1 REACONDICIONAMIENTO DEL TERRENO EN ARCVIEW

Para efectuar el reacondicionamiento del terreno se requirió cambiar al menú estándar de ArcView GIS 3.2, esto se realizó pulsando el botón , como se muestra en la Figura 3.12. Las acciones que se realizarán con este menú darán como resultado una imagen en formato Grid, con una resolución adecuada para ser trabajada con GeoHMS.

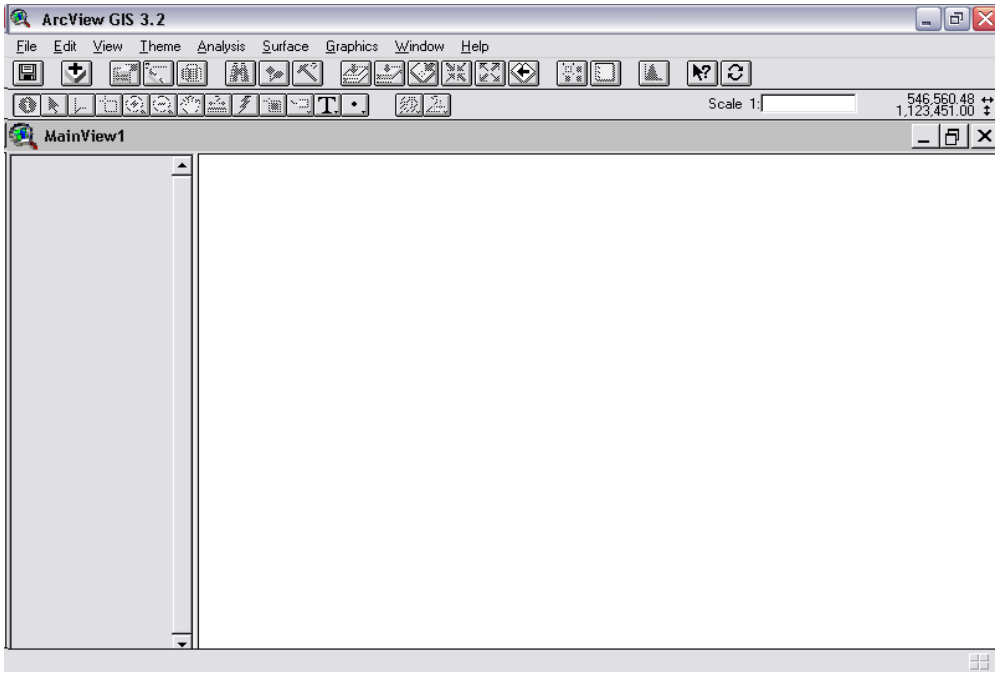


Figura 3.12 Interfaz Gráfica con el Usuario en MainView con los descriptores estándar de ArcView GIS 3.2

Adición del MDT

Para cargar el MDT, se carga la información almacenada en la carpeta HMS, bajo el archivo; Líneas.shp, para ello se debió presionar el botón para adicionar el tema, luego de lo cual se desplegó el cuadro de diálogo **Add Theme**, mediante el directorio referido a la unidad C se ubicó la carpeta HMS y al abrirla se cargó el archivo **Líneas.shp**, como se muestra en la Figura 3.13. El tipo de fuente de datos (**Data Source Types**) señala que el archivo cargado constituye la fuente de datos de las características (**Feature Data Source**)

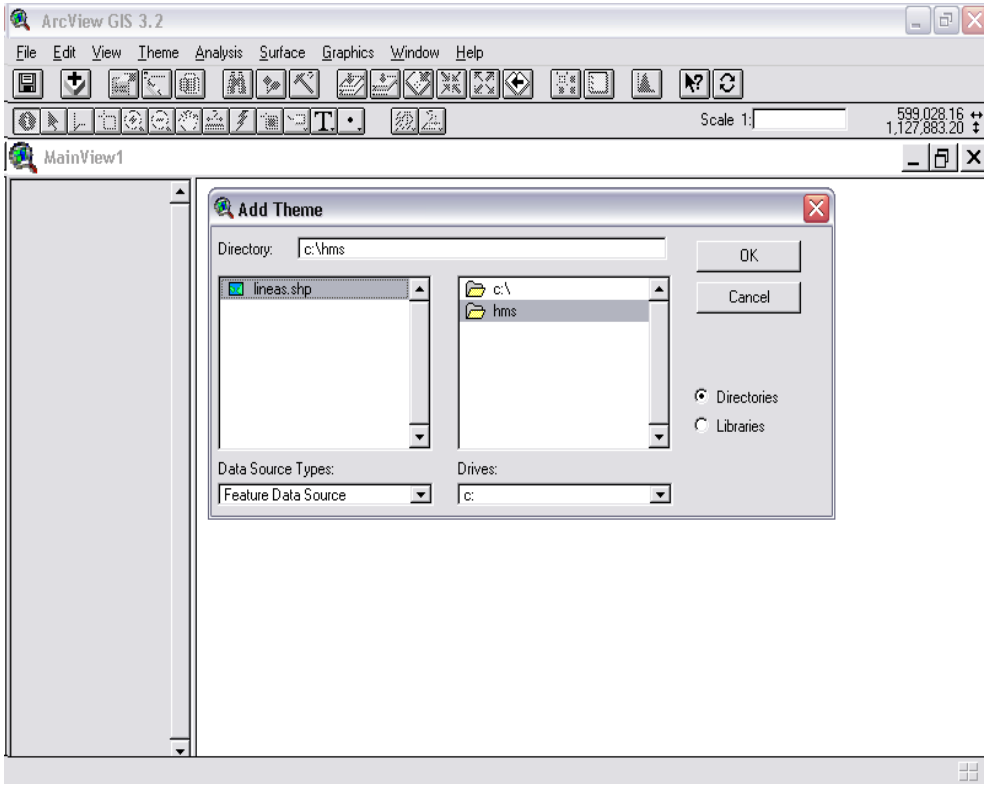


Figura 3.13 Adición de la información cartográfica digitalizada a MainView

El archivo Líneas.shp que contiene el MDT se carga como un tema a la Tabla de Contenidos, en la cual se identifica con un símbolo de línea y una leyenda, una vez activado, el tema se carga a la muestra de mapas, como se muestra en la Figura 3.14.

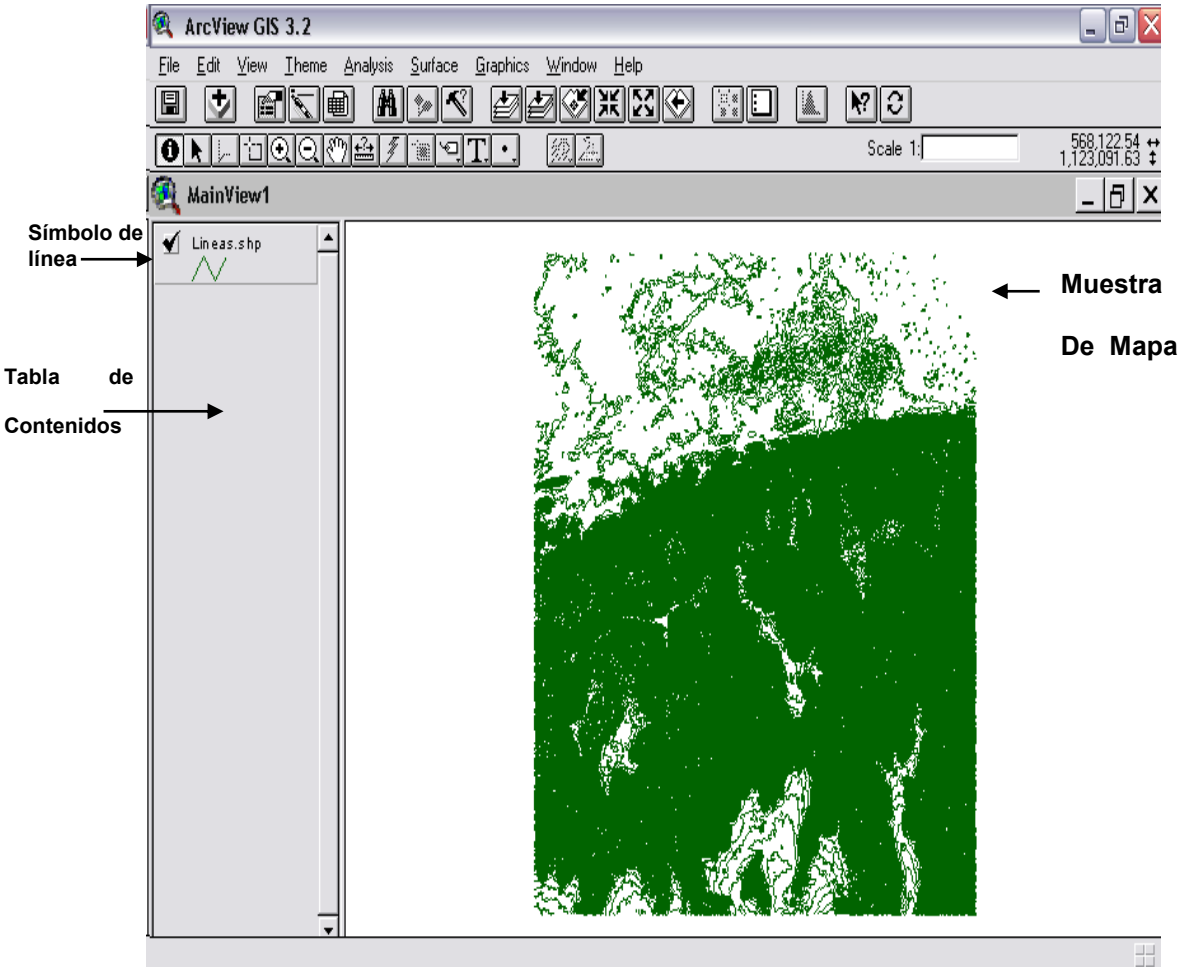


Figura 3.14 Adición del MDT en ArcView

Conversión de formato tipo Shape a Grid

Pulsando el menú **Theme**, desde el submenú desplegable se seleccionó la opción **Convert to Grid,** esta acción permitió convertir el tema Líneas.shp a un tema GRID, como se muestra en la Figura 3.15.

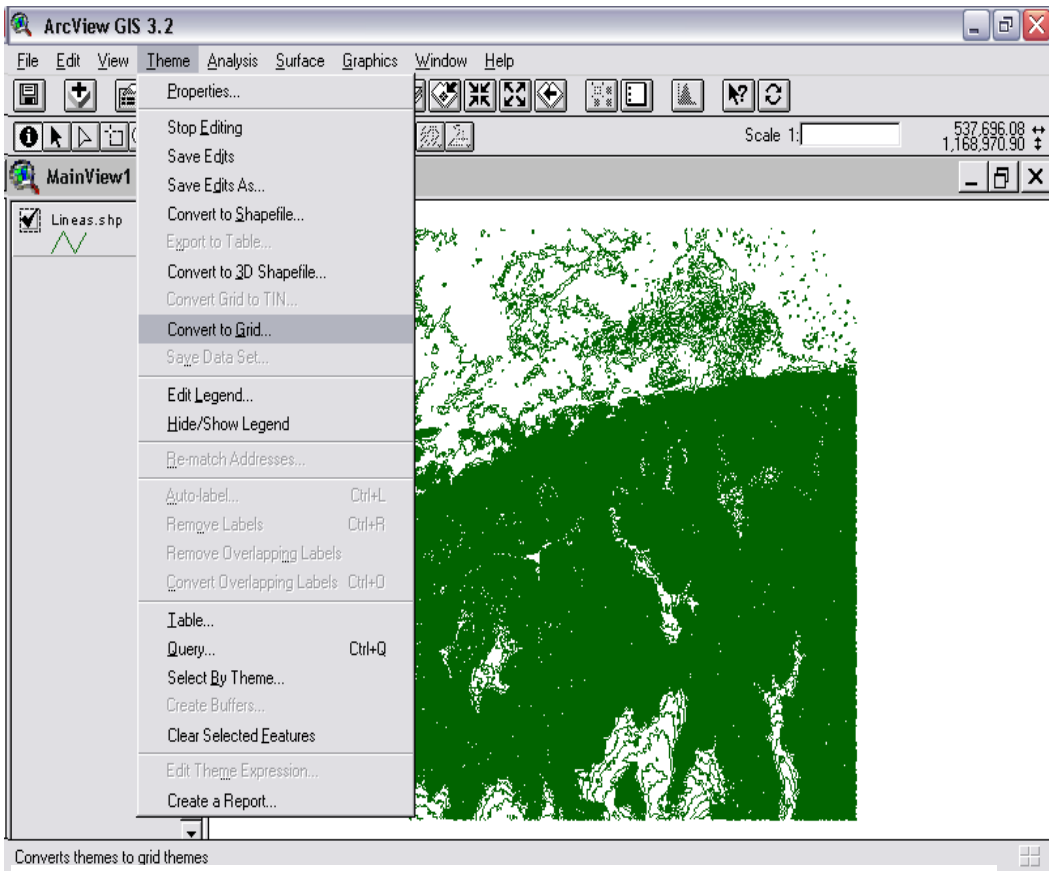


Figura 3.15 Conversión del tema Lineas.shp a Grid

Haciendo click en Convert to Grid, se despliega el cuadro de diálogo **Convert Lineas.shp**, como se indica en la Figura 3.16, se ubica el directorio de trabajo **C:\HMS** y se acepta el nombre asignado por defecto al tema Grid; **nwgrd1,** se pulsa **OK**.

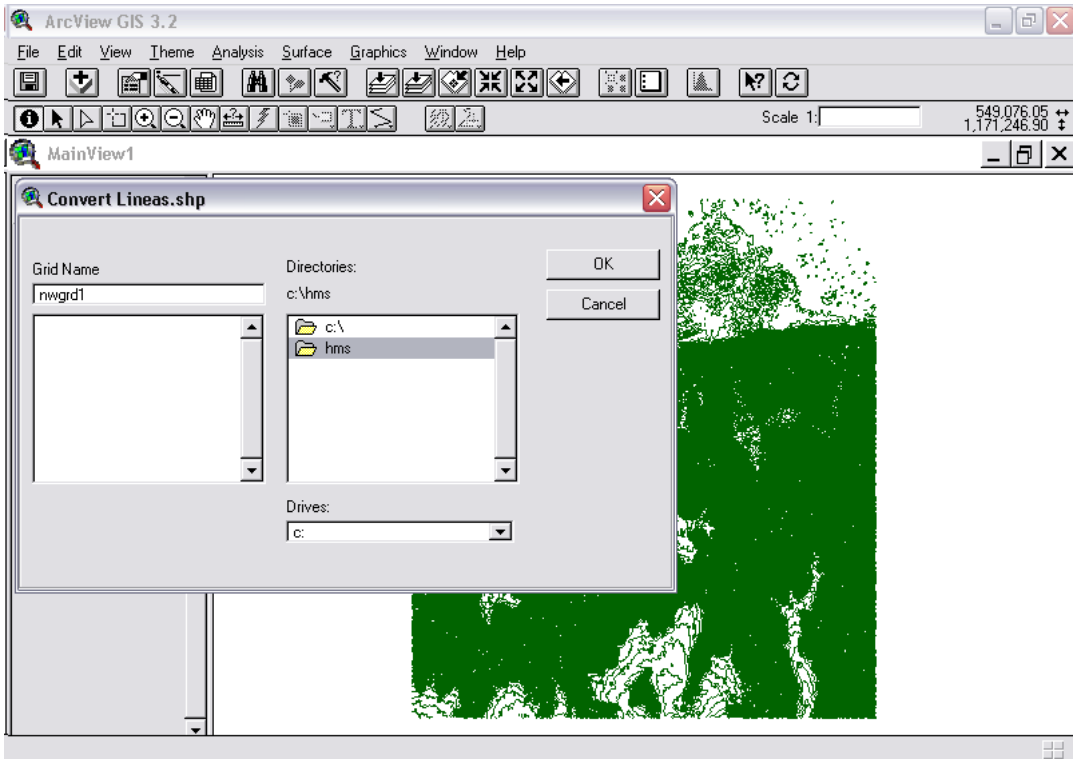


Figura 3.16 Creación de un tema Grid

Se despliega el cuadro de diálogo **Conversion Extent: Lineas.shp**, en **Output Grid Extent** se selecciona del menú desplegable **Same as View**, en **Output Grid Cell Size** se acepta el valor asignado por defecto para el tamaño de la celda del Grid, en este caso 204.6 unidades de mapa, con lo cual se obtienen 250 filas y 378 columnas. Hacer el tamaño de la celda más pequeño, mejora la resolución de la imagen, pero a su vez incrementa el tamaño de la matriz, esto es; el número de filas y columnas en el Grid, en consecuencia la imagen ocupa más espacio y se hacen más lento el proceso de interpolación de la misma, por el contrario colocar un tamaño más grande puede dar lugar a una imagen defectuosa aunque sea más rápida su interpolación, se recomienda intentar la primera opción, tomando en cuenta que la limitante para la disminución del tamaño está en la capacidad computacional del equipo

utilizado para efectuar el procesamiento, se decidió optar por el tamaño asignado por defecto pulsando **OK**. Ver Figura 3.17

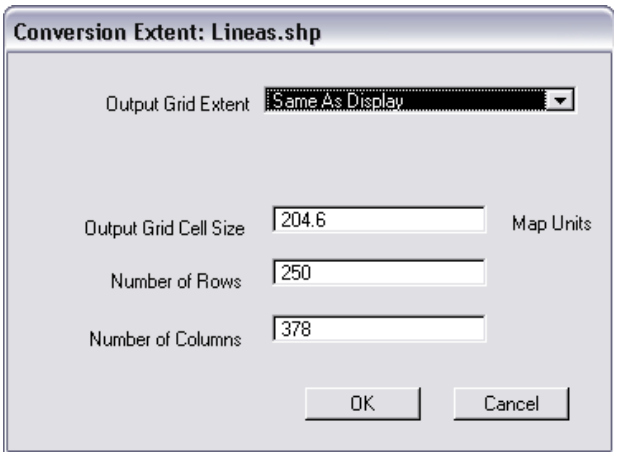


Figura 3.17 Dimensionamiento del Grid

En el cuadro de diálogo **Conversion Field: Lineas.shp** se selecciona **Elevation** y se pulsa **OK,** como se muestra en la Figura 3.18. Se espera un tiempo mientras se efectúa la conversión.

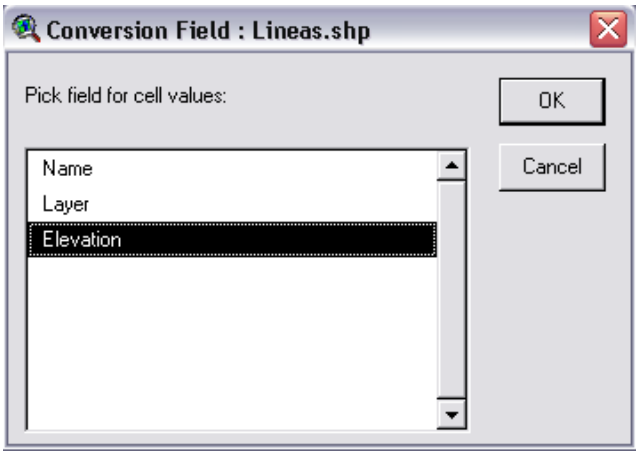


Figura 3.18 Campo de Conversión para el formato Lineas.shp

Luego que la imagen es convertida, se genera el cuadro de diálogo **Convert to Grid: Lineas.shp** para confirmar si se adiciona el Grid como un tema a la vista, pulsar **YES**. Ver Figura 3.19

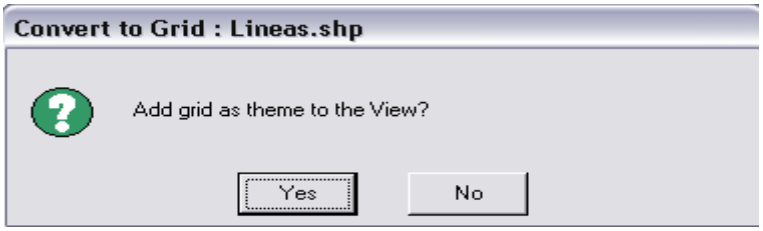


Figura 3.19 Confirmación de la adición del tema Grid

El tema Grid es adicionado a la Tabla de Contenidos y a la muestra de mapas, en la Tabla de Contenidos se observa la clasificación de las elevaciones agrupadas en 9 clases o subintervalos, como se muestra en la Figura 3.20, tanto la graduación del color como el número de clases pueden ser modificados haciendo doble click sobre el tema Nwgrd1 en la Tabla de Contenidos. El tipo de clasificación es de intervalos iguales (Equal Interval)

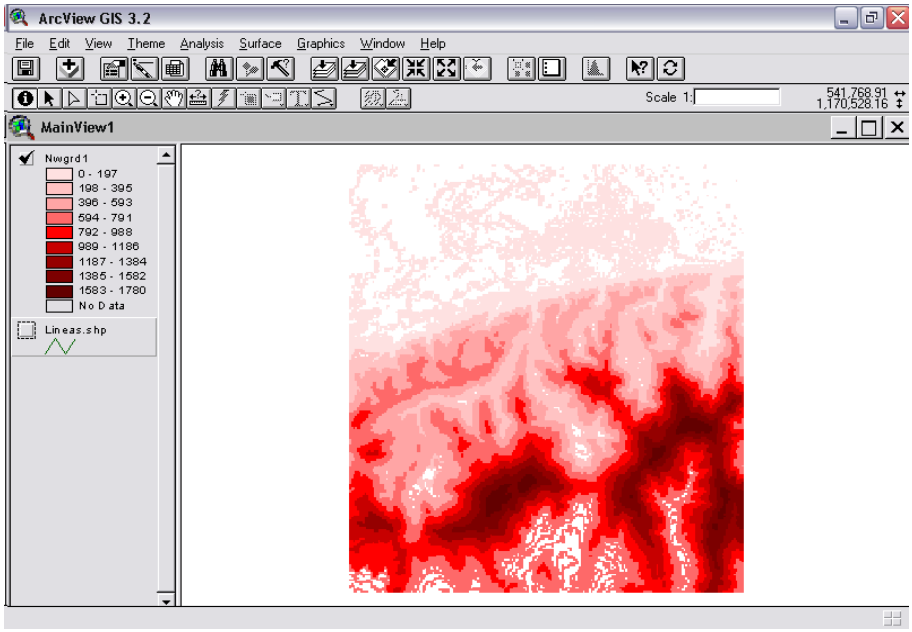


Figura 3.20 Tema Nwgrd1

La Figura 3.21 muestra el cuadro de diálogo **Theme Properties**, desplegado cuando se selecciona la opción **Properties** en el menú **Theme**, el campo **Theme Name: Nwgrd1** confirma que corresponde a Grid 1, se puede

observar que el Grid está constituido por celdas de tamaño 204.6 unidades, 250 filas y 378 columnas, además de las coordenadas del plano, el tipo de dato y el estatus

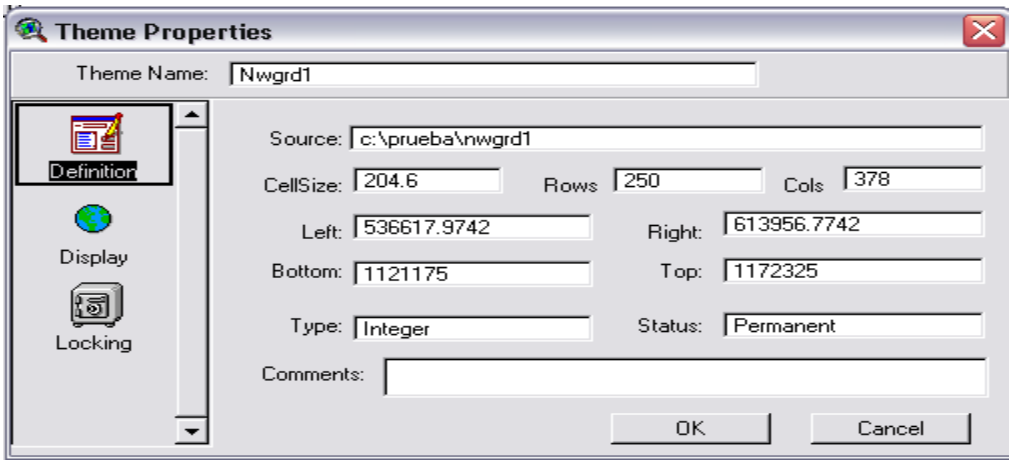


Figura 3.21 Propiedades de tema Nwgrd1

Conversión de formato Grid a TIN

Para reacondicionar el terreno, se convierte la imagen de Formato Grid a TIN (Triangular Irregular Network), seleccionando el menú **Theme** y haciendo click en la opción **Convert Grid to TIN...,** como se muestra en la Figura 3.22

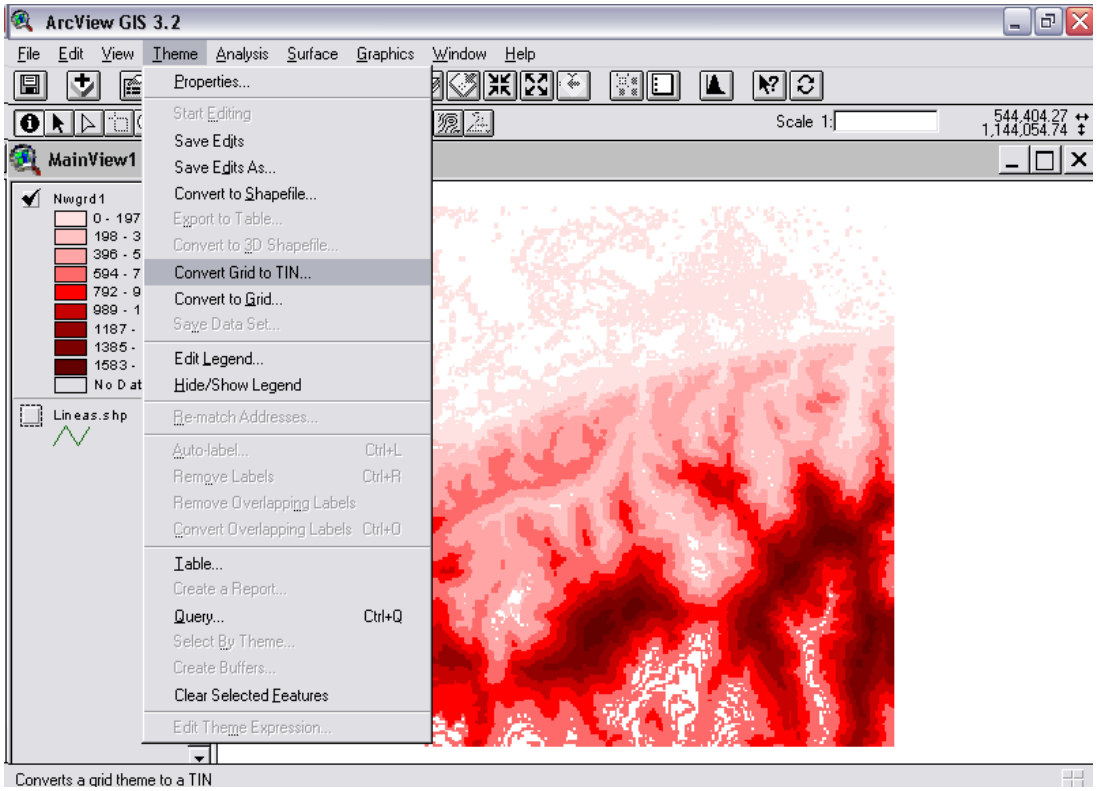


Figura 3.22 Selección de la opción para convertir de Grid a TIN

En el cuadro de diálogo Output TIN Name: Nwgrd1, se ubica el directorio **C:\HMS**, donde se guardará el nuevo tema, y se acepta el nombre asignado por defecto **Nwtin1,** pulsando **OK**. Ver Figura 3.23

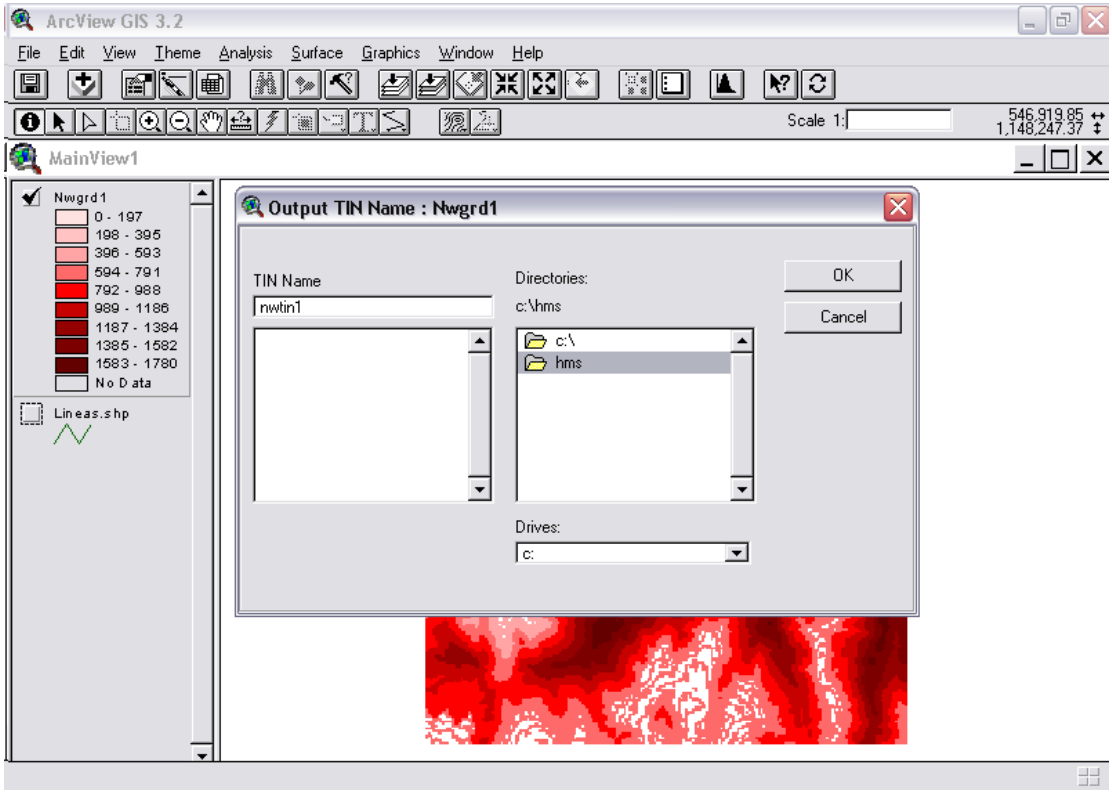


Figura 3.23. Asignación de un nombre al TIN

En el cuadro de diálogo **Convert Grid to TIN: Nwgrd1**, se ingresa un valor de tolerancia en Z (**Enter Z value tolerance**), para el caso de este estudio se asignó 20 unidades del mapa, ya que este es el intervalo en el cual se encuentran las curvas de nivel del plano digitalizado, colocar un valor mayor o menor arroja resultados errados en la delineación de las corrientes, se pulsó **OK** para aceptar, como se muestra en la Figura 3.24. Este paso tarda alrededor de 5 minutos.

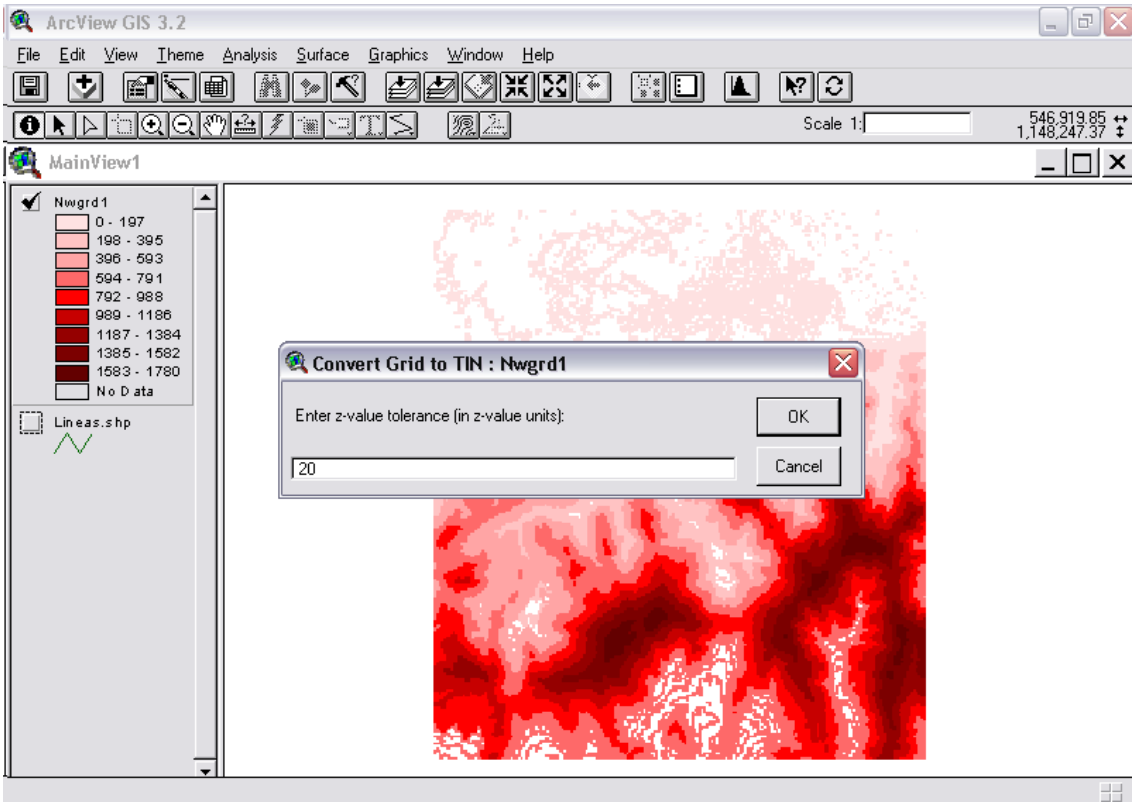


Figura 3.24 Selección de la tolerancia de valores en Z

Luego de ser interpolada la superficie del TIN, aparece el cuadro de dialogo **Convert Grid to TIN: Nwgrd1,** que consulta si se adiciona el tema TIN a la Tabla de Contenidos, como se indica en la Figura 3.25. Presionar **YES**.

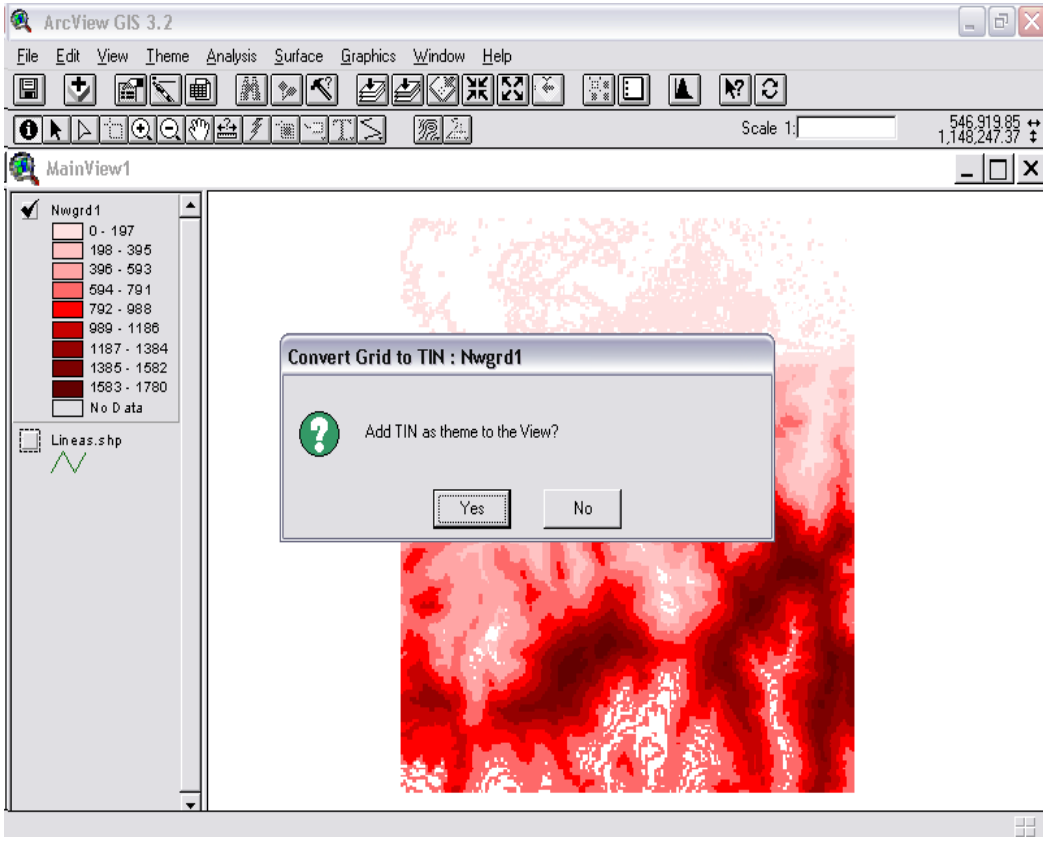


Figura 3.25 Adición de un tema TIN

El tema TIN se carga a la tabla de contenidos y al activarlo se carga la imagen a la muestra de mapas, como se muestra en la Figura 3.26. En la Tabla de Contenidos se observa una leyenda que indica los rangos de elevación agrupados en 9 clases y a diferentes colores. Tanto los colores como el número de clases pueden ser modificados pulsado doble click sobre el tema Nwtin1.

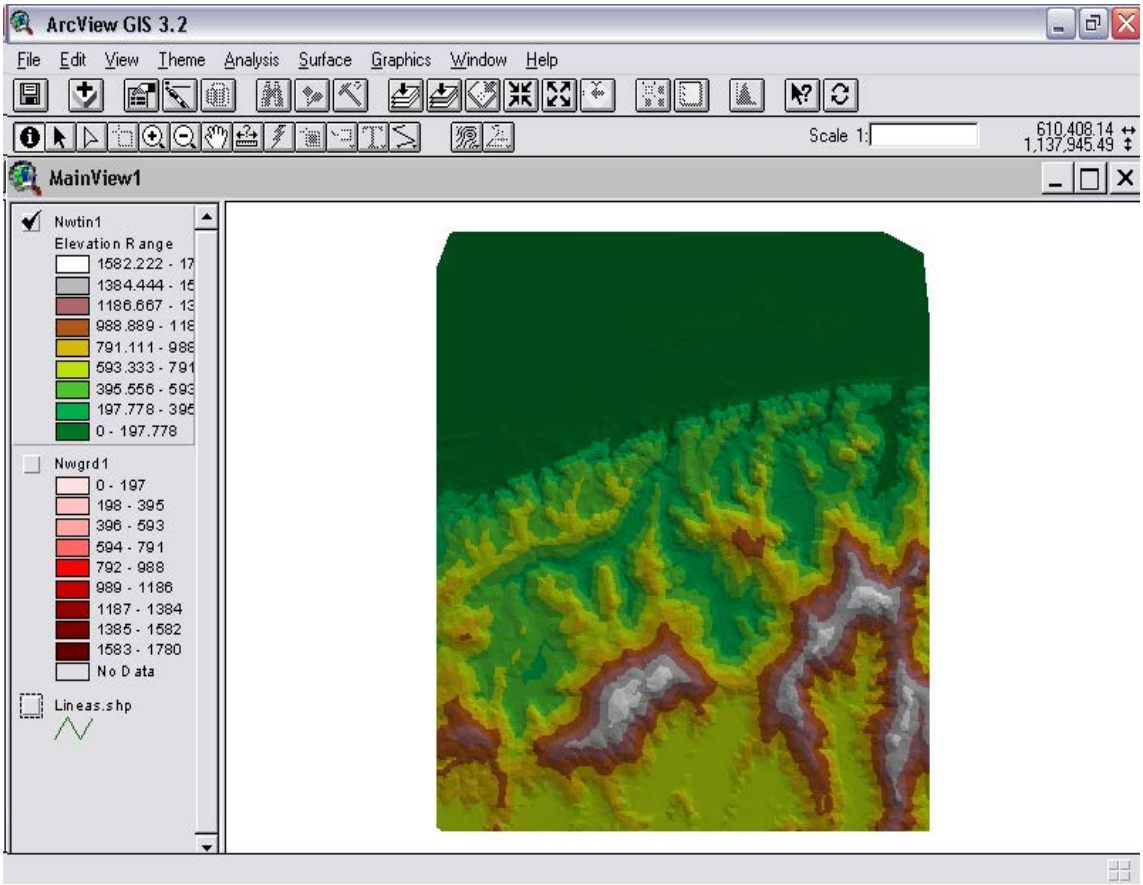


Figura 3.26 Tema TIN

Para observar las propiedades del tema TIN, se pulsa **Theme** y del menú desplegable se selecciona la opción **Properties**, como se muestra en la Figura 3.27, se despliega el cuadro de diálogo **Theme Properties**, se indican las coordenadas y en la vertical se observa que la menor cota es -10 y la máxima 1780 msnm, el TIN está formado por 1.876.156 triángulos y 938.295 nodos con un intervalo entre curvas de nivel de una unidad

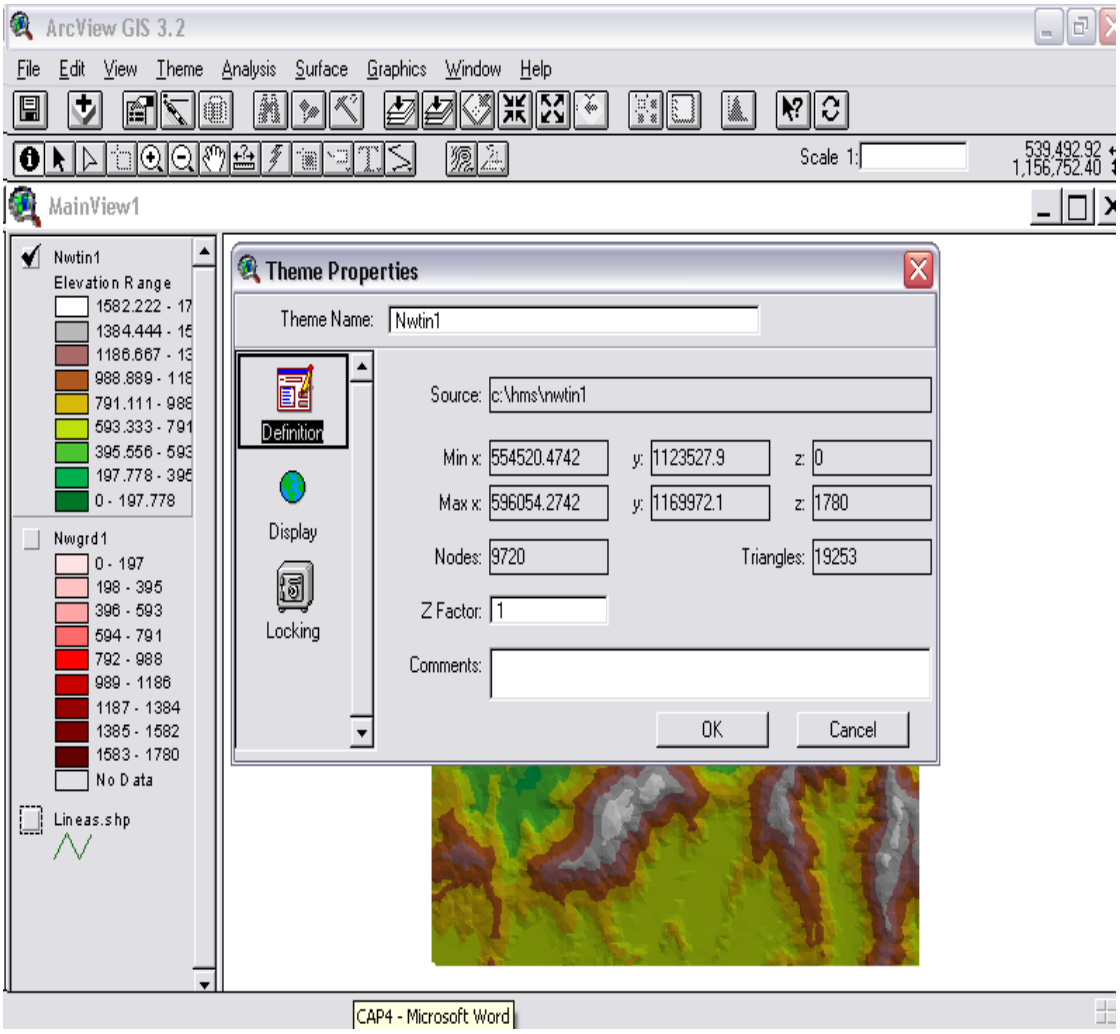


Figura 3.27 Propiedades del tema TIN

Conversión de TIN a Grid

Con el tema TIN activo se va al menú **Theme** y se selecciona la opción **Convert to Grid...** del menú desplegable, luego de la cual se despliega el cuadro de diálogo **Convert Nwtin1,** se ubica el directorio de trabajo **C:\HMS** y en **Grid Name** se cambia el nombre del archivo de **Nwgrd1** a **Nwgrd2**, se acepta pulsando **OK**. Ver Figura 3.28

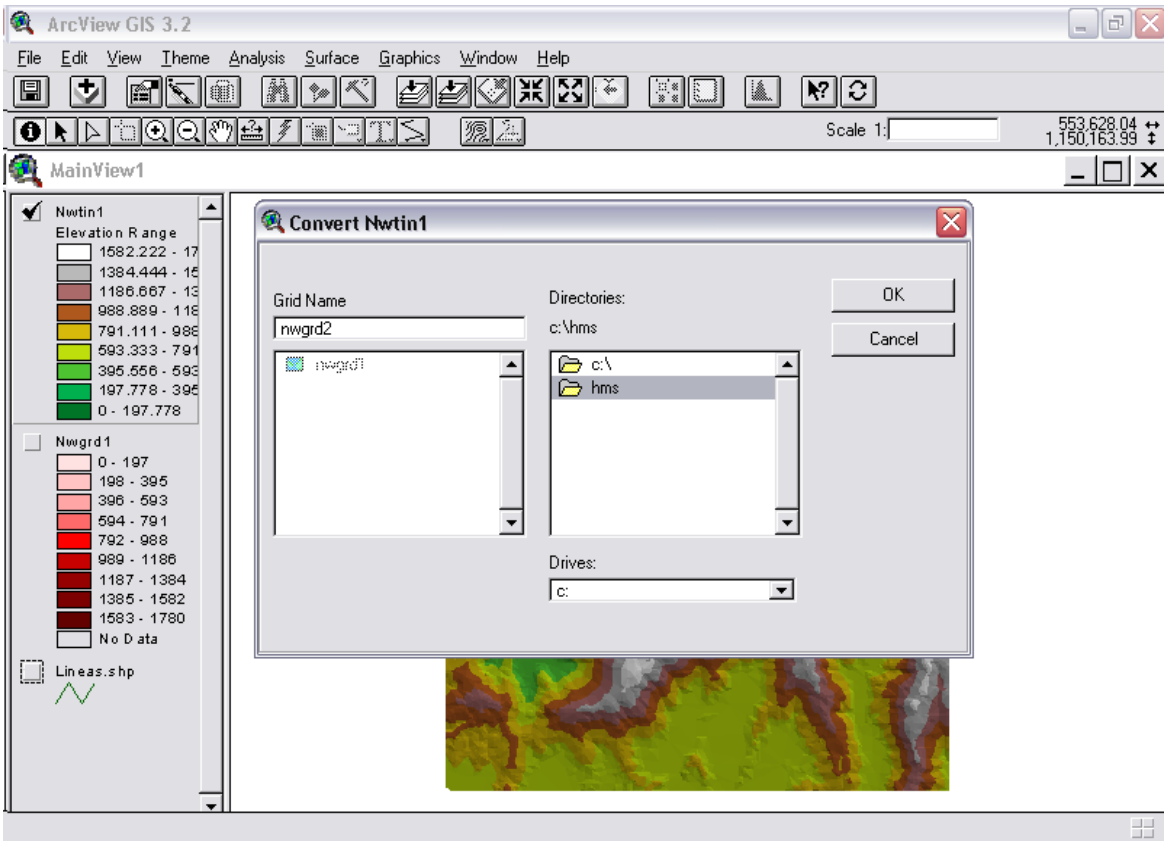


Figura 3.28 Cuadro de diálogo para conversión del TIN a Grid 2

En el cuadro de diálogo **Conversion Extent: Nwtin1**, en Output Grid Extent se mantiene **Same As Display**, en la celda **Output Grid Cell Size** se abre el menú desplegable y se selecciona **Same As Nwgrd1**, automáticamente se llenan los campos **Cell Size, Number of Rows y Number of Columns,** los cuales se cargan con el dimensionamiento seleccionado para el Grid 1, ver Figura 3.29.

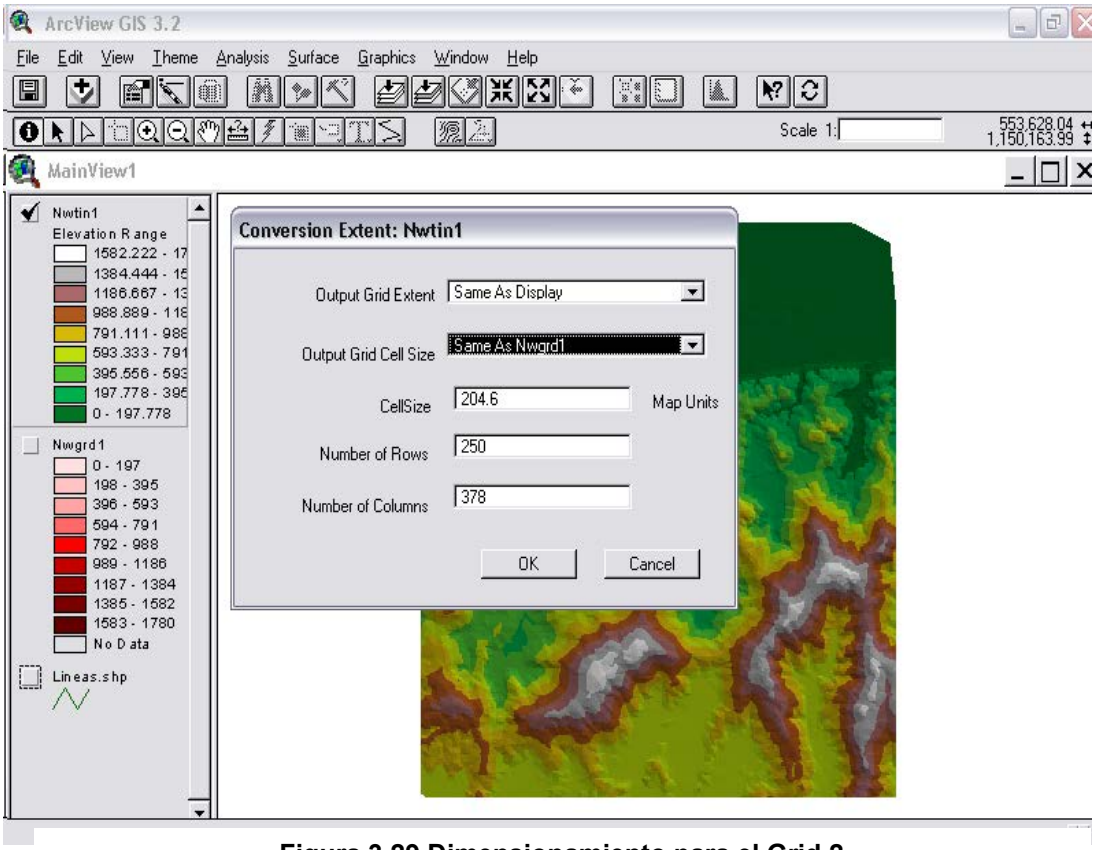


Figura 3.29 Dimensionamiento para el Grid 2

En la Figura 3.30 se indica el cuadro de confirmación de la adición del tema Grid 2, denominado Nwgrd2 a la Tabla de Contenidos, pulsar **OK**.

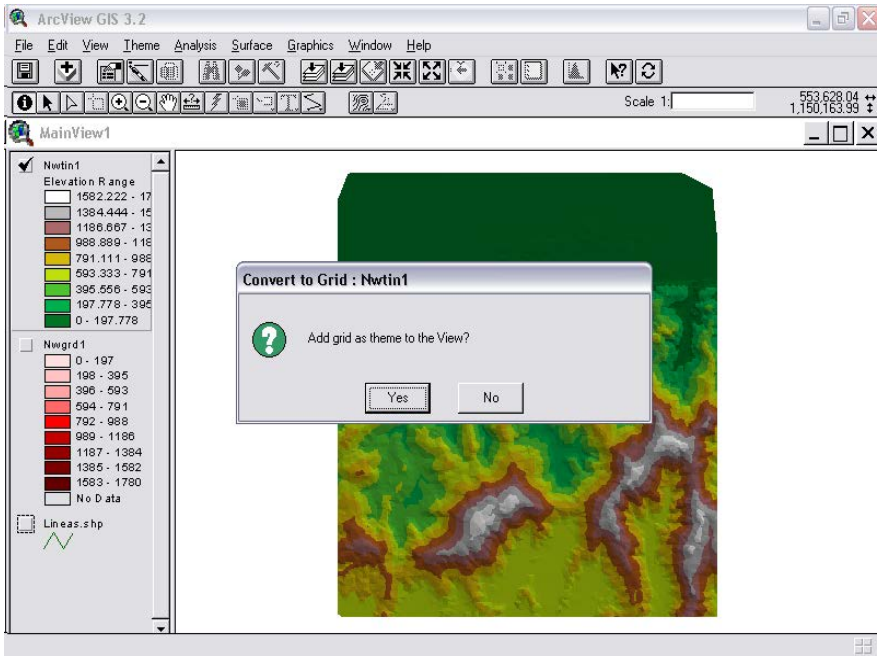


Figura 3.30 Confirmación de adición de tema Grid 2 a la Vista

La Figura 3.31 muestra el tema Grid, nombrado Nwgrd2, en este tema se puede observar que como resultado de la interpolación, en la Tabla de Contenidos el cuadro asociado a la leyenda No Data tiene un color.

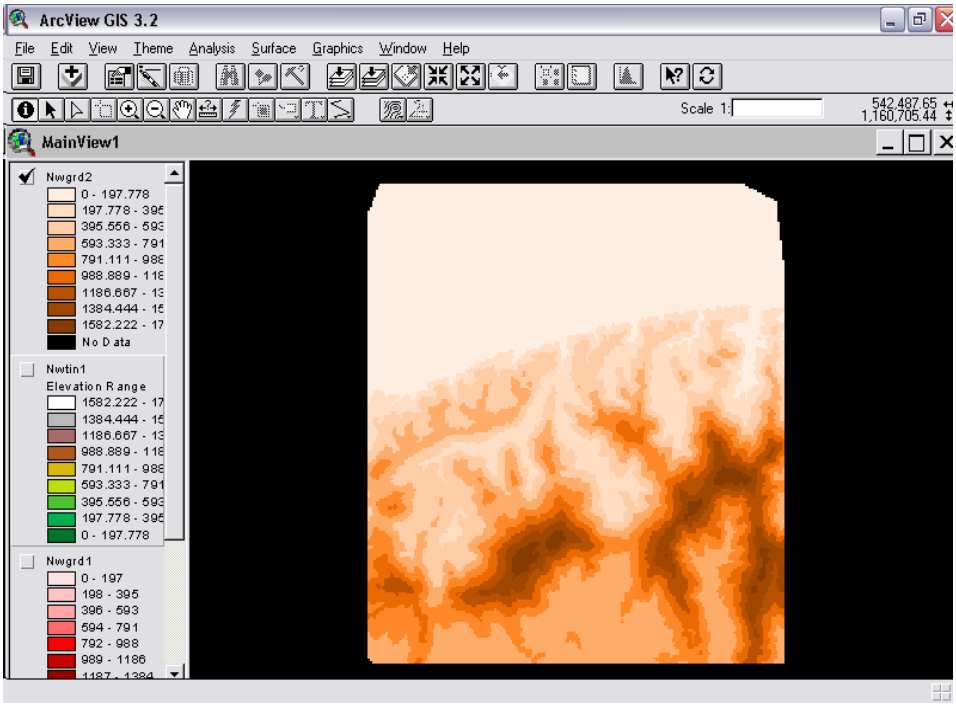


Figura 3.31 Tema Nwgrd2

La Figura 3.32 muestra las propiedades del tema Nwgrd2, aquí se puede observar que son las mismas asignadas al tema Nwgrd1, a diferencia que la clasificación ya no es entero sino de punto flotante

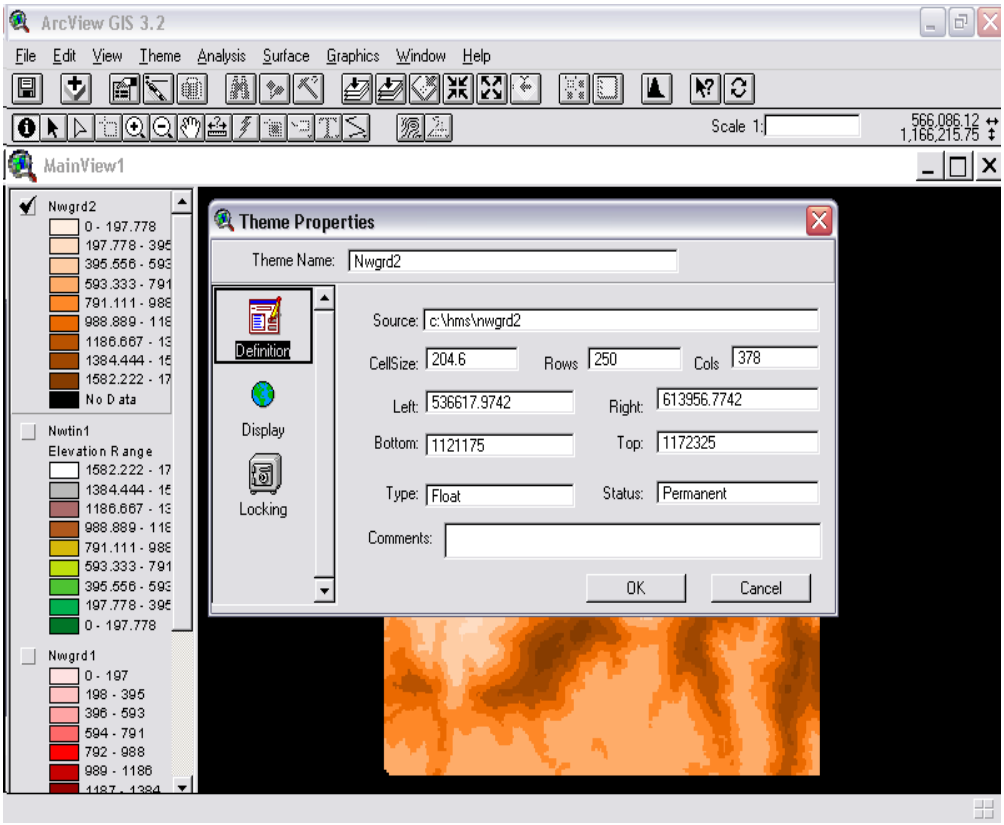


Figura 3.32 Propiedades del tema Nwgrd2

Con este Nwgrd2 generado termina el trabajo con el menú estándar de ArcView. Para ir al menú de procesamiento en GeoHMS se pulsa el botón , y se continua con el preprocesamiento del terreno con las herramientas de GeoHMS.

3.10.2 RELLENO DE DEPRESIONES (FILL SINK)

Para efectuar el preprocesamiento del terreno en GeoHMS, con el tema Nwgrd2 activo, se seleccionó **Terrain Preprocessing ⇒Fill Sinks.** Seguidamente, el cuadro de diálogo **DEM Filling Sinks Operations,** solicita confirmación en relación al archivo sobre el cual se ejecutará la operación de relleno del terreno, como se muestra en la Figura 3.33. Este paso tarda cerca de 5 minutos.

Figura 3.33 Confirmación de la operación de relleno

Luego de finalizado el tiempo necesario por el programa para definir y calcular la dirección del flujo, aparece un cuadro de diálogo que indica que el proceso se ha completado satisfactoriamente, como se indica en la Figura 3.34, también se observa que a la Tabla de Contenidos se ha agregado el tema Fillgrid, el cual contiene la información generada y se hará visible cuando se active la opción en el cuadro

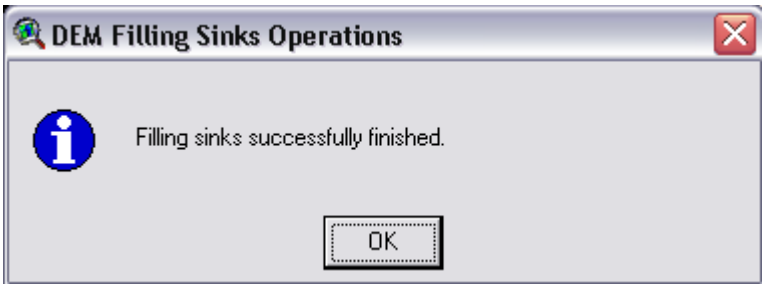


Figura 3.34. Operación de relleno completada satisfactoriamente

En la Figura 3.35 se muestra la imagen luego de efectuar el relleno de las depresiones

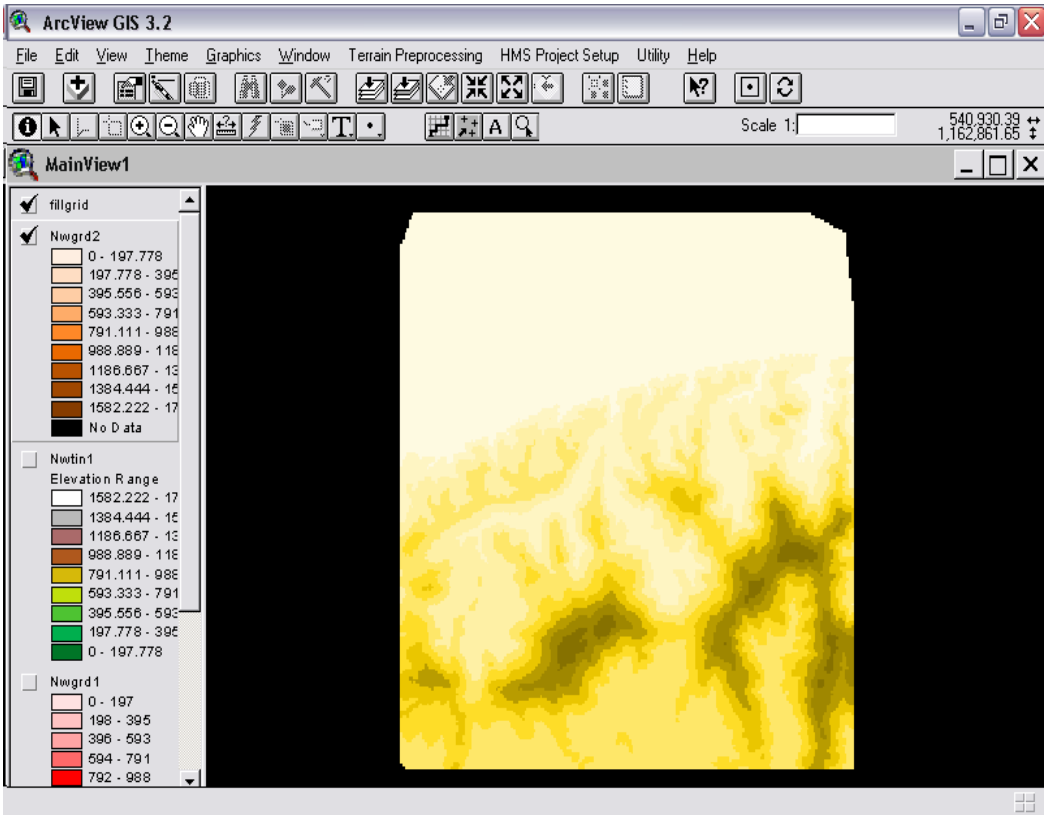


Figura 3.35 Nwgrd2 rellenado

El método utilizado para efectuar el preprocesamiento del terreno es el tipo procesamiento **paso a paso**. La Figura 3.36 muestra el administrador de

datos, donde se asocia el **HydroDEM** a **fillgrid**, ya que hasta el momento es la única opción que se ha ejecutado para el preprocesamiento.

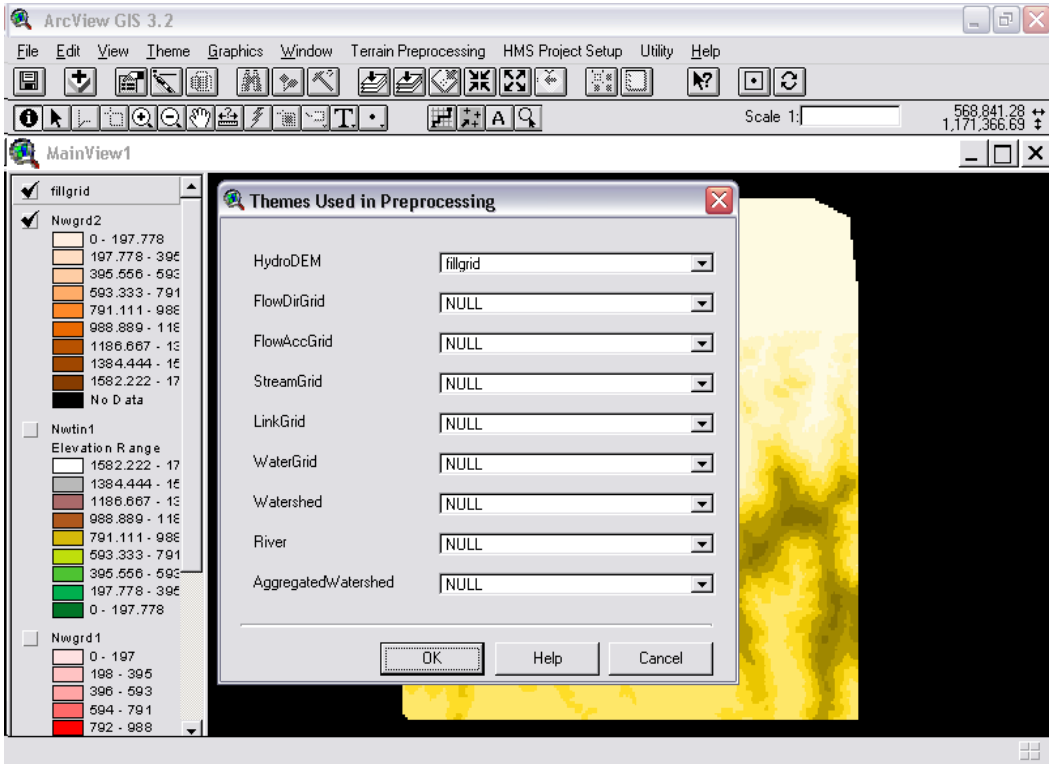


Figura 3.36 Administrador de datos para relleno de depresiones

3.10.3 Direccionamiento del flujo (Flow Direction)

Con este paso se definió la dirección de las pendientes de descenso para cada celda en el terreno. Al igual que un compás, el algoritmo especifica ocho puntos definidos por ocho direcciones posibles, como se muestra en la Figura 3.37

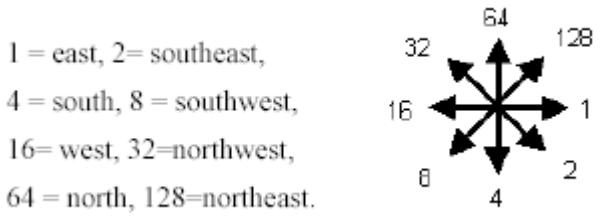


Figura 3.37 Direccionamiento del flujo

Los pasos para calcular las direcciones de flujo consisten en; seleccionar **Terrain Preprocessing** ⇒ **Flow Direction,** como se muestra en la Figura 3.38.

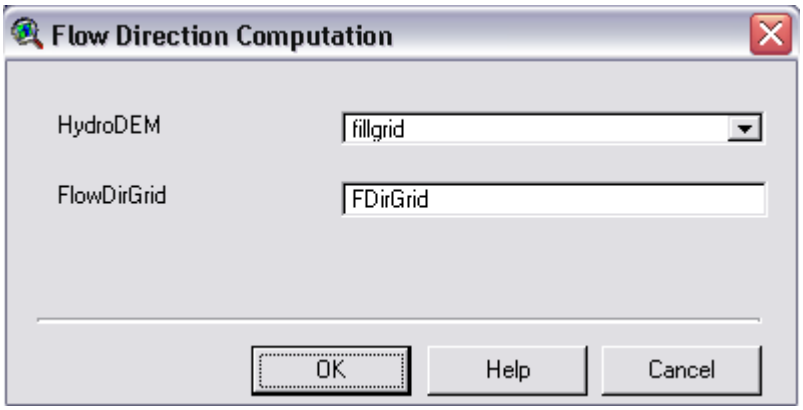


Figura 3.38 Confirmación para el Cálculo de la Dirección del Flujo

La Figura 3.39 confirma que la dirección del flujo fue calculada satisfactoriamente, se pulsa **OK**.

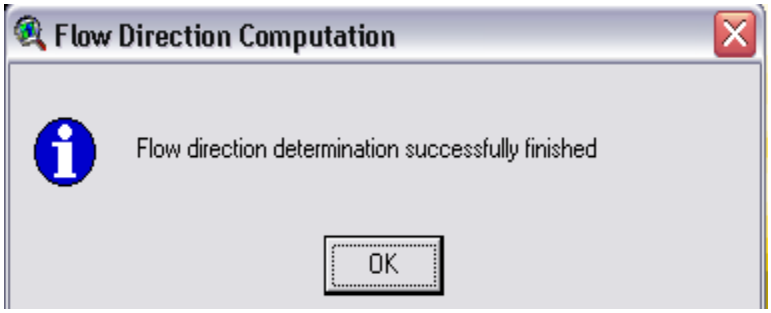


Figura 3.39 Operación de determinación de la dirección del flujo satisfactoriamente

La Figura 3.40 indica en la muestra de mapa, el plano con la dirección del flujo establecida, una vez seleccionado el tema **FDirgrid** en la Tabla de Contenidos

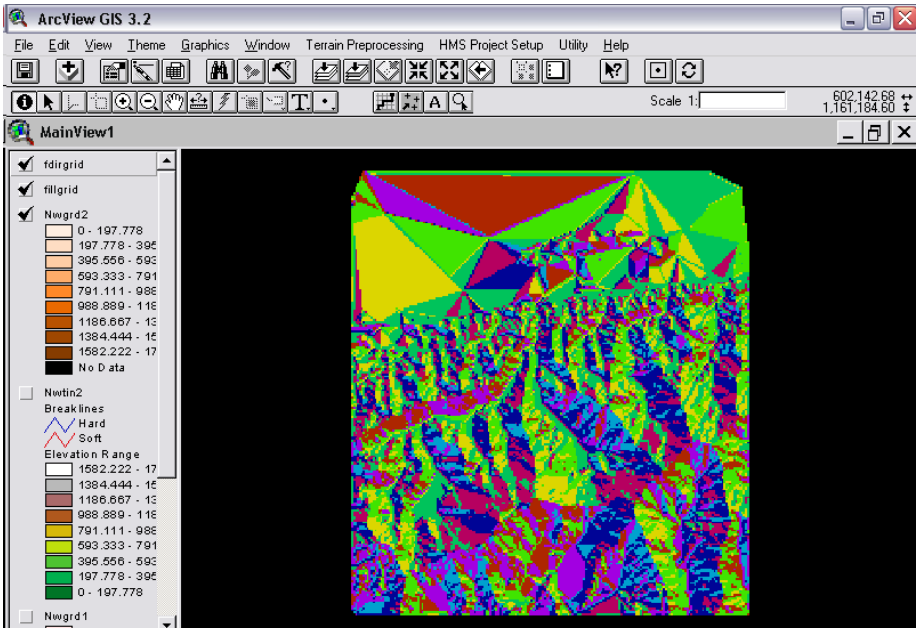


Figura 3.40 Plano con la dirección del flujo

3.10.4 Acumulación del flujo (Flow Accumulation)

Con este paso se determina el número de corrientes en las celdas de drenaje para una determinada celda. Las áreas de drenaje aguas arriba en una celda determinada se calculan como la multiplicación de los valores de acumulación del flujo por las áreas de celdas. Los pasos para el uso de esta opción implican; seleccionar **Flow Accumulation ⇒ Terrain Preprocessing.** Luego el programa muestra un cuadro donde confirma la entrada de **fdirgrid** y el archivo de salida **FlowAccGrid,** el cual se ejecutará una vez que se pulse **OK**, como se muestra en la Figura 3.41

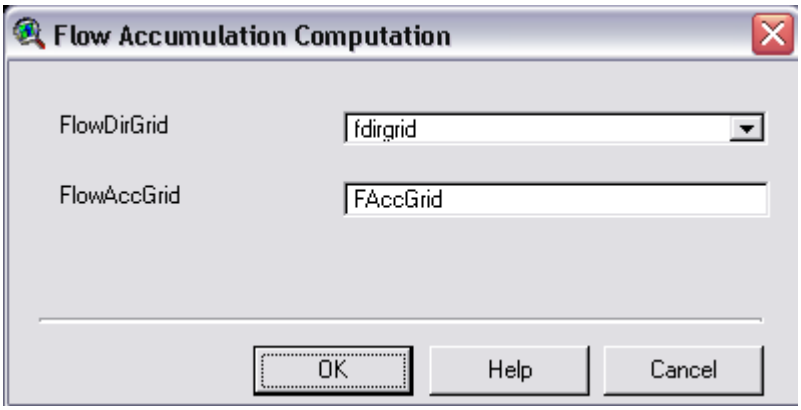


Figura 3.41 Operación de acumulación de flujo

El resultado de la operación de acumulación del flujo es “faccGrid”, como se muestra en la Figura 3.42

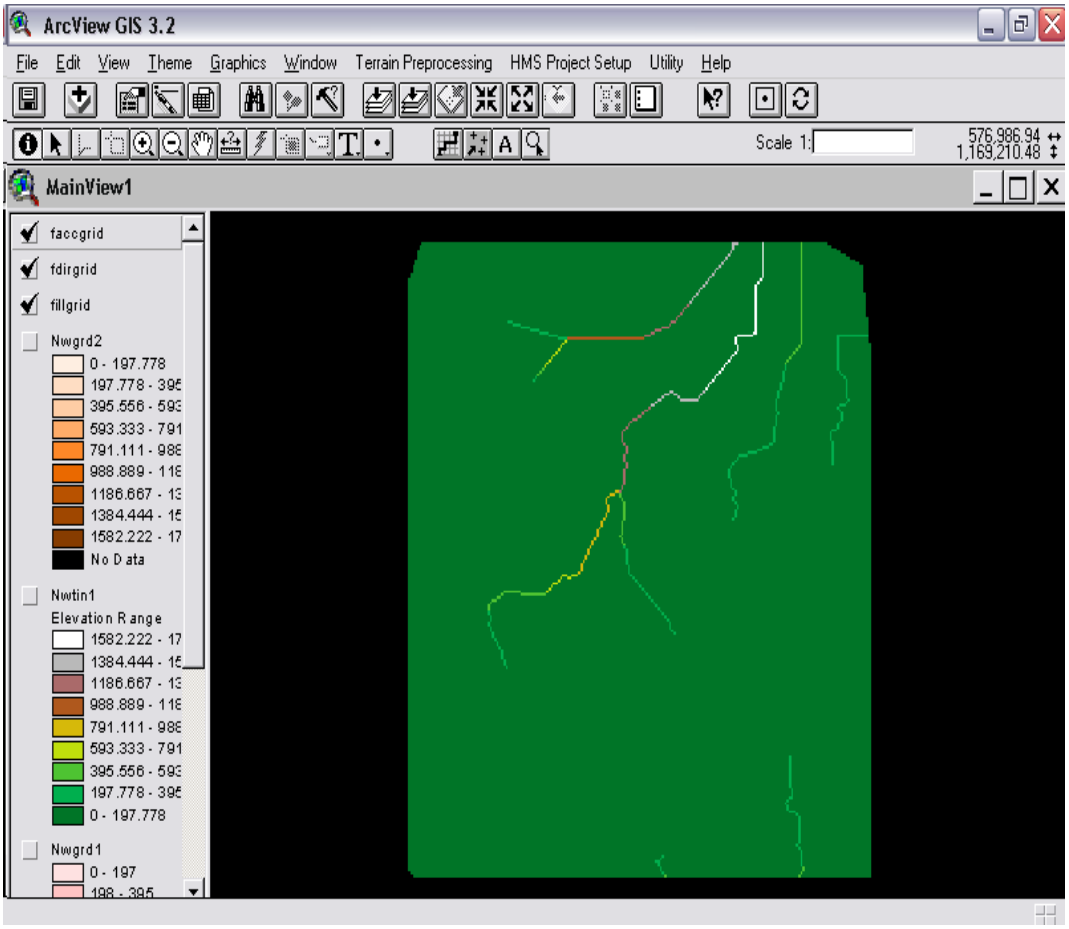


Figura 3.42 Resultado de la acumulación del flujo

3.10.5 **Definición de corrientes (Stream Definition)**

Con este paso se clasificaron todas las celdas con acumulación del flujo mayor a un límite definido. El límite especificado consistió en especificar un área en kilómetros cuadrados, tomando como límite el área por defecto, esto es, áreas mayores al 1% del área de drenaje del tributario más largo. Los pasos para calcular la definición de corrientes implican; seleccionar **View⇒ Properties;** esto abre el cuadro de diálogo que se muestra en la Figura 3.43. En esta figura "Map Units" son las unidades en las cuales el tema SIG se proyectará. "Distance Units", para aceptar se presionó **OK**.

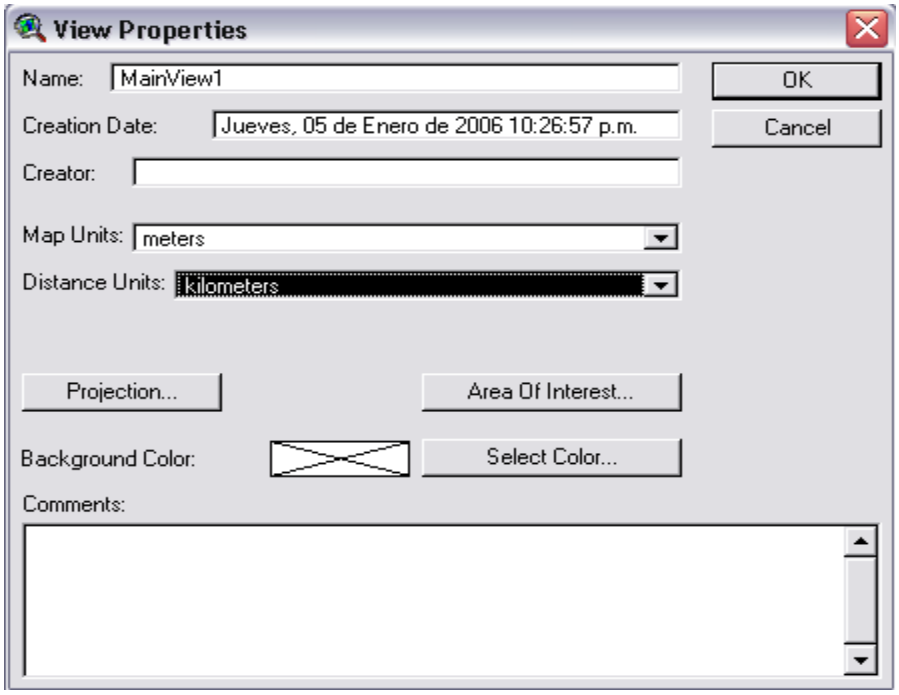


Figura 3.43 Selección de las unidades de la vista

Luego se seleccionó **Terrain Preprocessing⇒Stream Definition**, posteriormente se confirmó que la entrada FlowAccGrid es “faccGrid”. Y la salida de la StreamGrid es “StrGrid”, como se muestra en la Figura 3.44

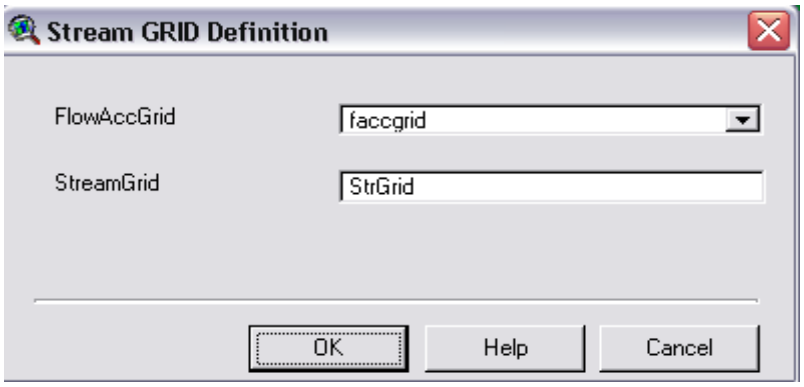


Figura 3.44 Confirmación de los archivos de entrada y salida para la definición del Grid de Corrientes

Se seleccionó el tipo de límite como **Area in Distance Units squared,** como se muestra en la Figura 3.45

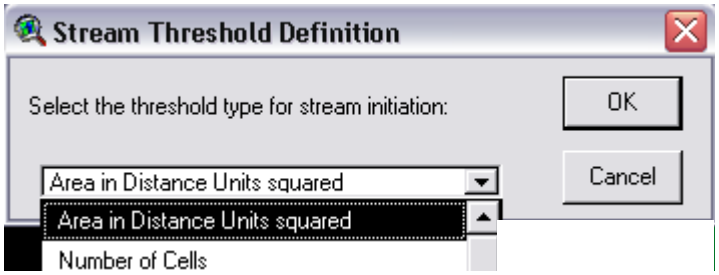


Figura 3.45 Definición de los límites para las corrientes

Se aceptó la opción del 1% del área del tributario más largo, como se muestra en la Figura 3.46

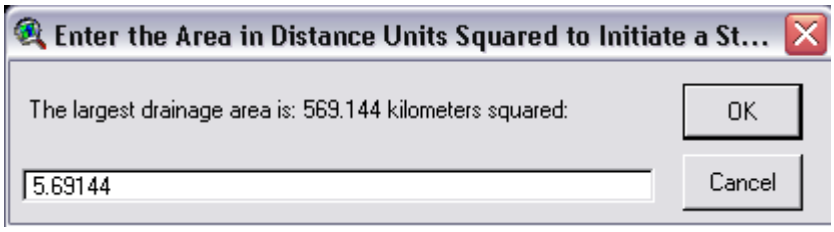


Figura 3.46 Selección del área límite de drenaje

El resultado de aplicar la operación **Stream Definition** es el tema "**strgrid**", como se muestra en la Figura 3.47

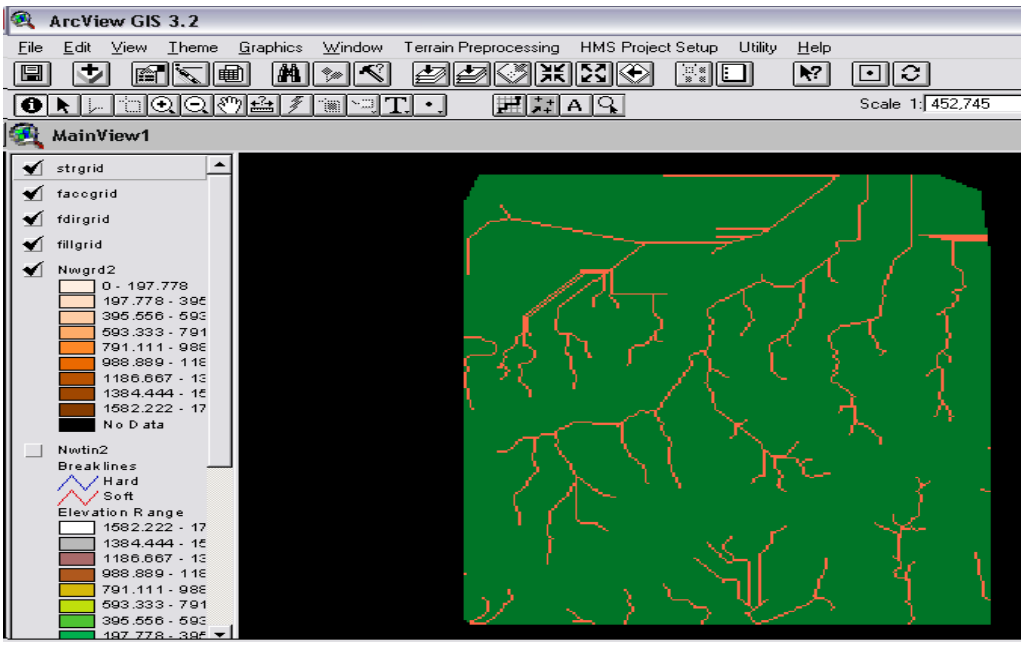


Figura 3.47 Determinación satisfactoria del Grid de corrientes

3.10.6 Segmentación de corrientes (Stream Segmentation)

Con este paso, el programa dividió las corrientes en segmentos. La segmentación de corrientes o enlaces son las secciones de una corriente que conecta dos uniones sucesivas, una unión y una salida, o una unión y división de de drenajes. Los pasos para calcular la segmentación del flujo consistieron en; seleccionar **Terrain Preprocessing** ⇒ **Stream Segmentation,** luego mediante un cuadro de diálogo se confirma que la entrada de FlowDirGrid es "fdirGrid" y StreamGrid es "strgrid". La salida de LinkGrid es "StrLnkGrid", como se muestra en la Figura 3.48, para aceptar se presionó **OK.**

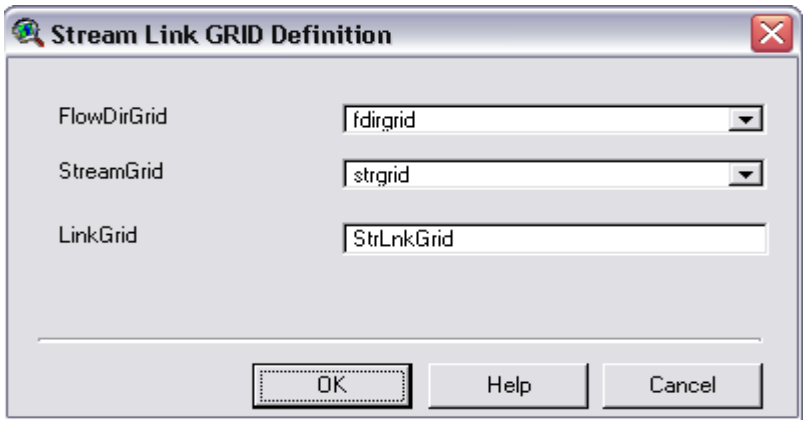


Figura 3.48 Confirmación de los archivos de entrada y salida para la operación de segmentación

La operación de segmentación de corrientes resultó en 138 segmentos de corrientes, como se muestra en la Figura 3.49

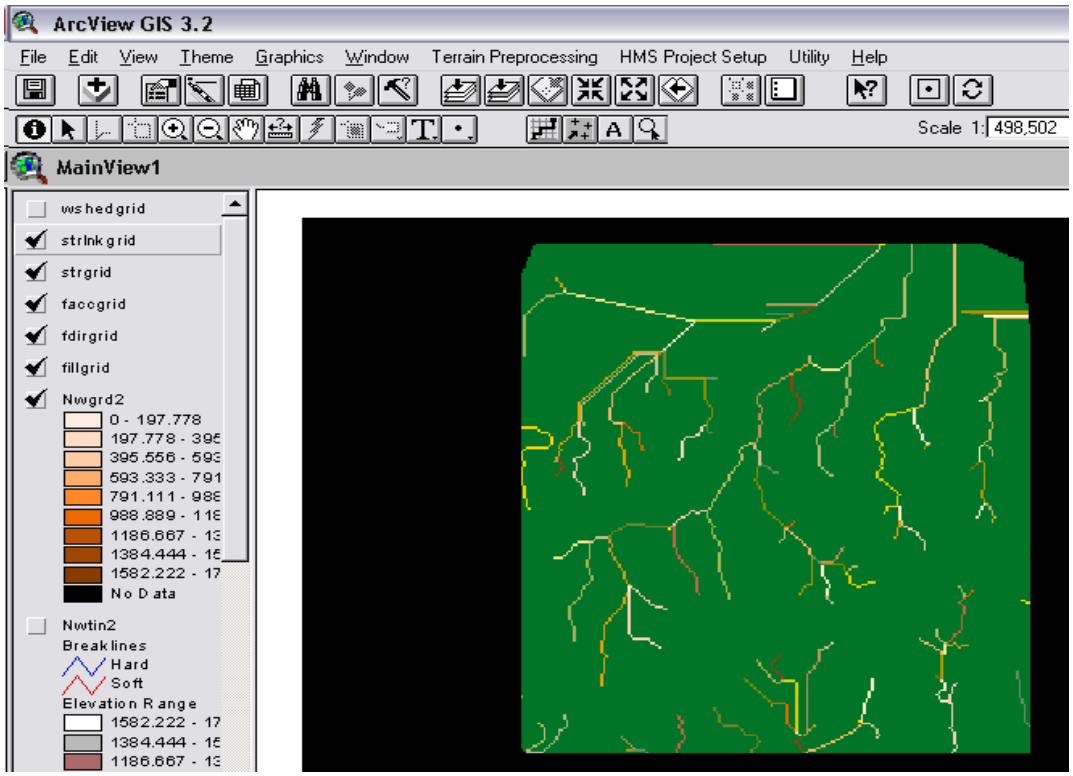


Figura 3.49 Resultado de la segmentación de corrientes

3.10.7 Delineación de cuencas (Wateshed Delineation)

Con este paso se delimitaron las subcuencas de acuerdo con la segmentación de corrientes. Los pasos para delimitar las subcuencas consistieron en; seleccionar **Terrain Preprocessing ⇒ Watershed Delineation.** Luego, confirmar en el cuadro de diálogo que la entrada en FlowDirGrid es “fDirGrid” y en LinkGrid es “strlnkgrid”, como se muestra en la Figura 3.50. “WShedGrid” es el nombre por defecto que puede ser editado por el usuario, la información de este cuadro se aceptó presionando **OK.**

Figura 3.50 Confirmación de los archivos de entrada y salida para la delineación de las subcuencas

La operación de delimitación de subcuencas resulta en 138 subcuencas como se muestra en el tema “WShedGrid” como se muestra en la Figura 3.51

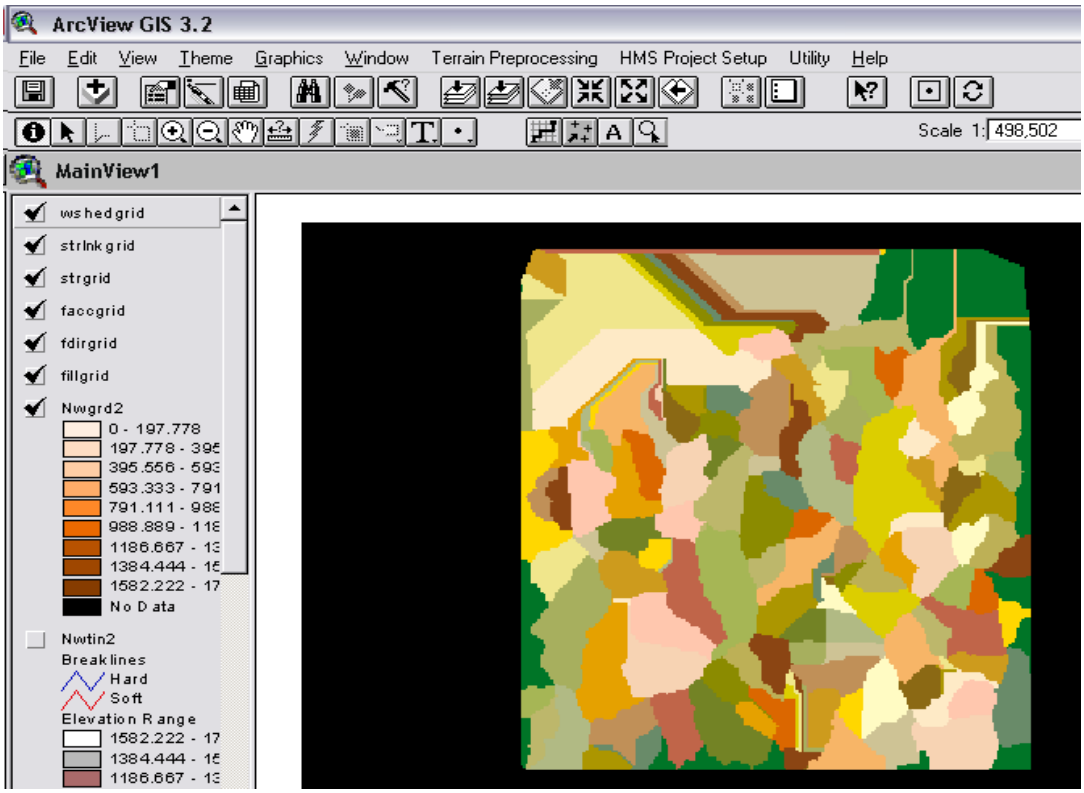


Figura 3.51 Delineación de la cuenca

3.10.8 Procesamiento de los polígonos de la cuenca (Watershed Polygon Processing)

Con este paso se convirtieron las subcuencas en la representación grid a una representación vectorial. Los pasos para vectorizar cuencas son como sigue; se seleccionó **Terrain Preprocessing ⇒Watershed Polygon Processing** y luego en el cuadro de diálogo, se ingresó en **WaterGrid "Wshedgrid"** y la salida es **"Wshedshp.shp",** como se muestra en la Figura 3.52, luego se presionó **OK.**

Figura 3.52 Archivos de entrada y salida de los polígonos de la cuenca

La Figura 3.53 muestra el resultado de la operación de la conformación de los polígonos de las subcuencas

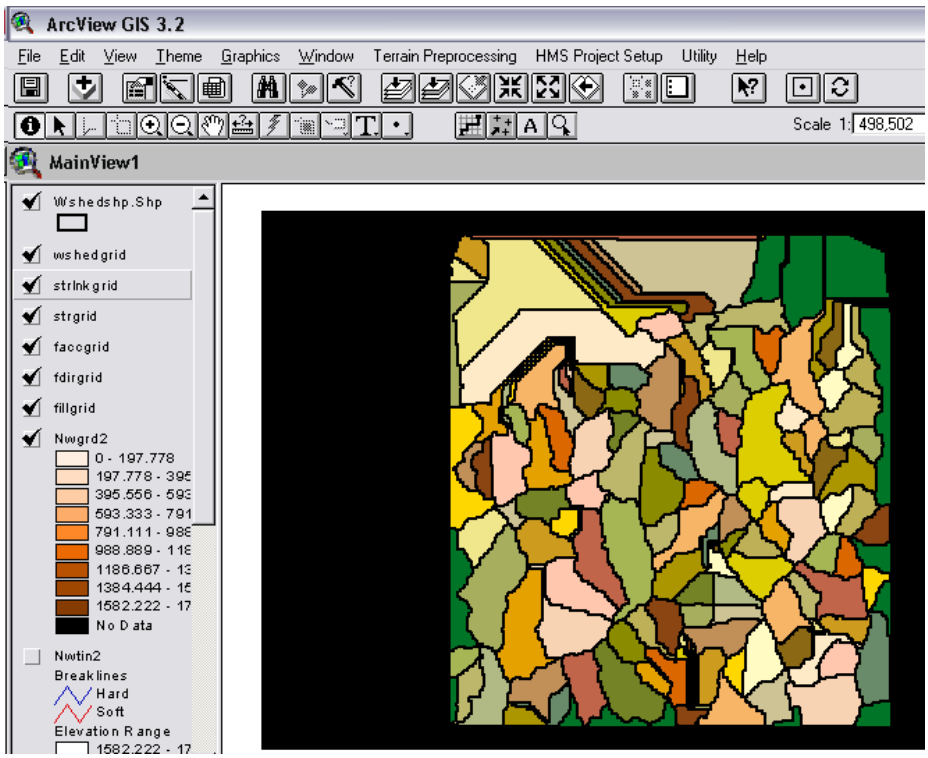


Figura 3.53 Resultado de la operación de polígonos de la cuenca

3.10.9 Procesamiento de los segmentos de corrientes (Stream Segment Processing)

Con este paso se convirtieron las corrientes de una representación grid a una representación vectorial. Los pasos consistieron en; seleccionar **Terrain preprocessing ⇒ Stream Segment Processing** y luego confirmar en el cuadro de diálogo que la entrada en LinkGrid es “strlnkgrid” y en FlowDirGrid es “fdirgrid”. La salida del río es “River”, como se muestra en la Figura 3.54

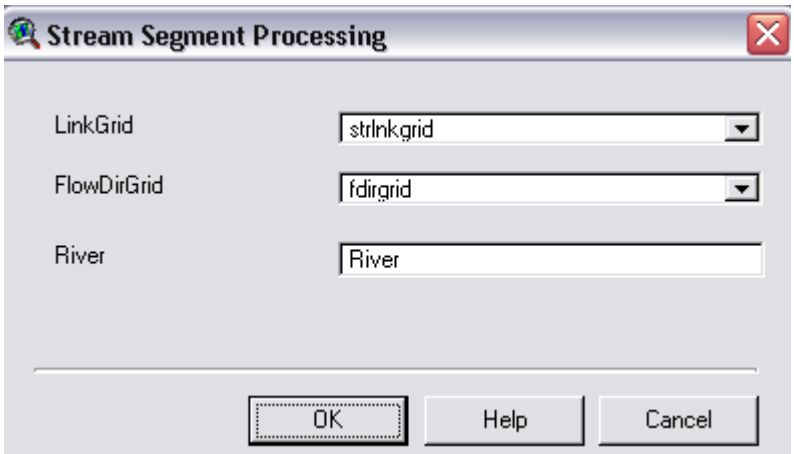


Figura 3.54 Confirmación de los archivos para la segmentación

La operación de procesamiento de corrientes vectorizó las corrientes basadas en el grid de corrientes en vectores lineales, como se muestra en la Figura 3.55

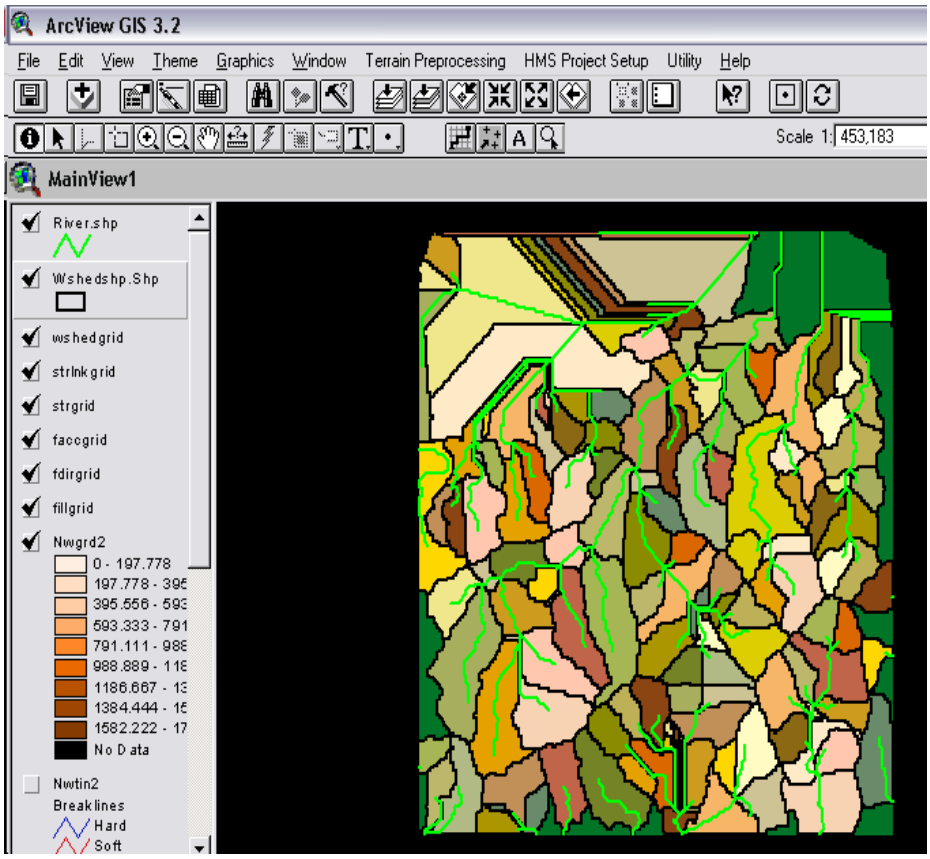


Figura 3.55 Resultado del procesamiento de corrientes

3.10.10 Agregación de microcuencas (Watreshed Aggregation)

Con este paso se agregaron las subcuencas desde aguas arriba en cada confluencia. Este es un paso que se realiza para mejorar la ejecución de los cálculos en la delimitación de las subcuencas y extracción de los datos. Este paso no tiene significado hidrológico. Los pasos para agregar las cuencas consisten en; seleccionar **Terrain Preprocessing** ⇒ **Watershed Aggregation** y posteriormente mediante un cuadro de diálogo se ingresa en el campo **River**, el archivo **"River.shp"** y en **Watershed,** el archivo **"Wshedshp.shp".** La salida de **Aggregated Watershed** es **"WshedMg.shp",** como se muestra en la Figura 3.56, para aceptar este paso se presionó **OK.**

Figura 3.56 Confirmación de archivos para la agregación de microcuencas

La operación de agregación de cuencas resulta como se muestra en el tema “wshedmg.shp” en la Figura 3.57

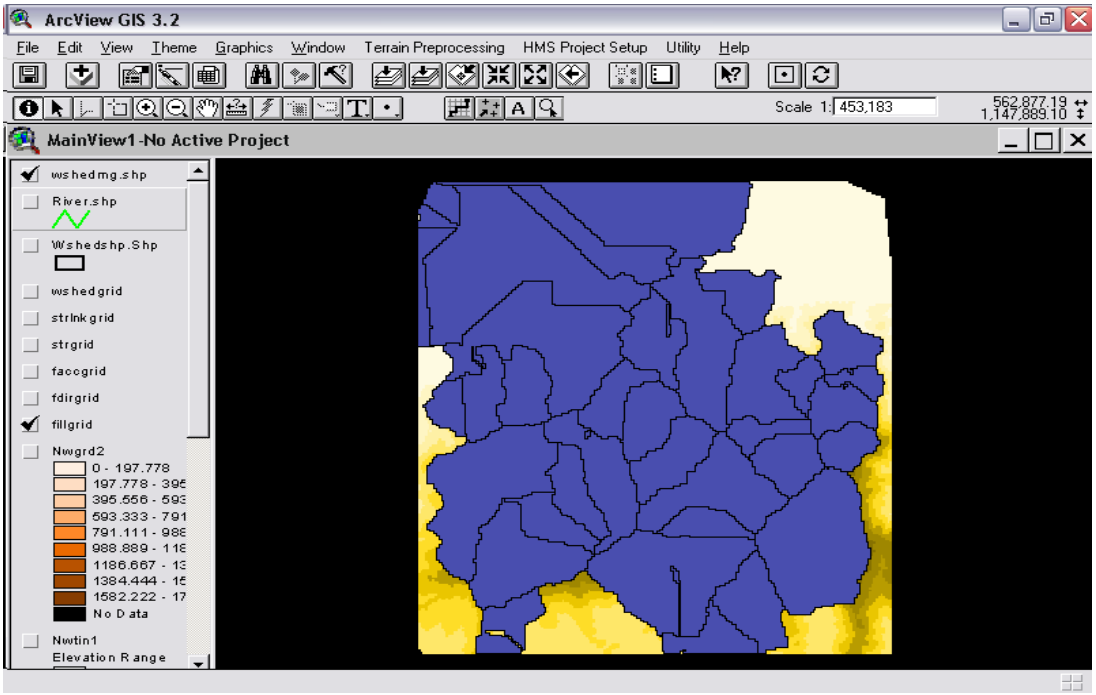


Figura 3.57 Agregación de cuencas

3.10.11 Administración de Datos (Data Management)

Una vez que el procesamiento del terreno se culminó en la opción Data Management, todos los temas del preprocesamiento se habrán cargado en los campos respectivos, como se muestra en la Figura 3.58

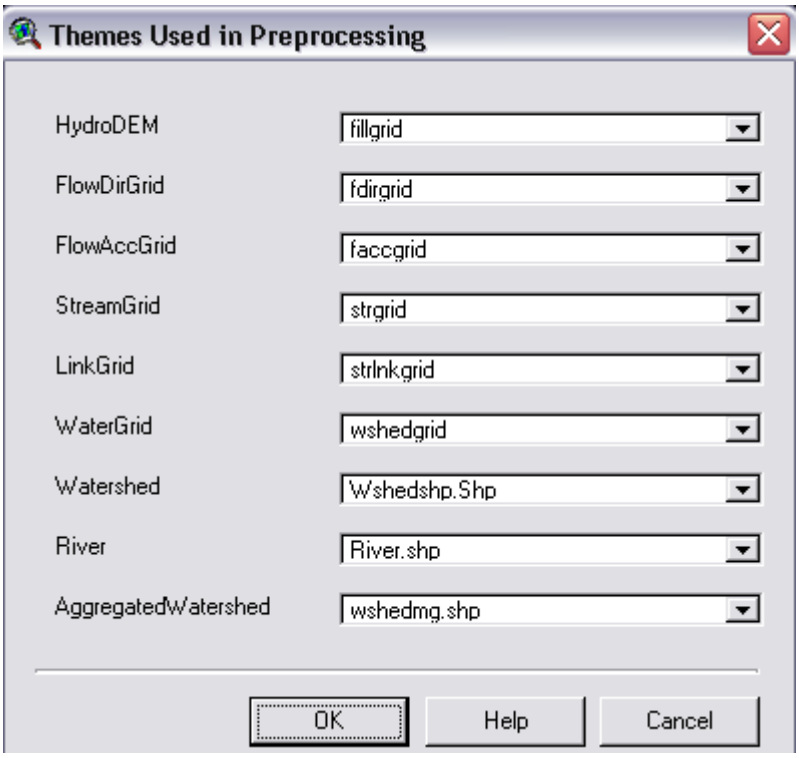


Figura 3.58 Completación de los temas útiles para el preprocesamiento del terreno

3.11 ARRANQUE DE PROYECTOS EN HMS (HMS PROJECT SETUP)

Este módulo forma parte del documento **MainView** y dentro de su menú desplegable se ejecutaron las opciones: Inicio de un nuevo proyecto **(Start New Project),** y Generación de un proyecto **(Generate Project**). Estas opciones se pueden observar en el menú desplegable de **HMS Project Setup** de la Figura 3.59

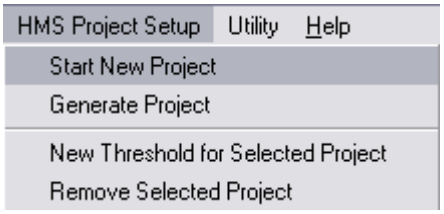


Figura 3.59 Submenú de HMS Project Setup

3.11.1 Inicio de un nuevo proyecto (Start New Project)

Para iniciar un nuevo proyecto y crear un directorio para contener los datos y archivos relacionados se seleccionó **HMS Project Setup ⇒ Start New Project** y se ingresó el nombre del nuevo proyecto, como se muestra en la Figura 3.60

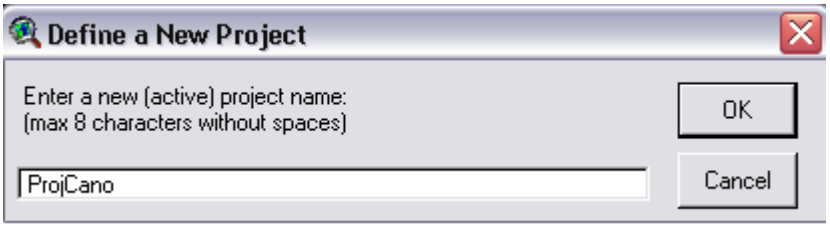


Figura 3.60 Nombramiento del proyecto

Luego, se seleccionó la herramienta y se especificó el punto de salida para el modelo de cuenca tributaria, como se muestra en la Figura 3.61

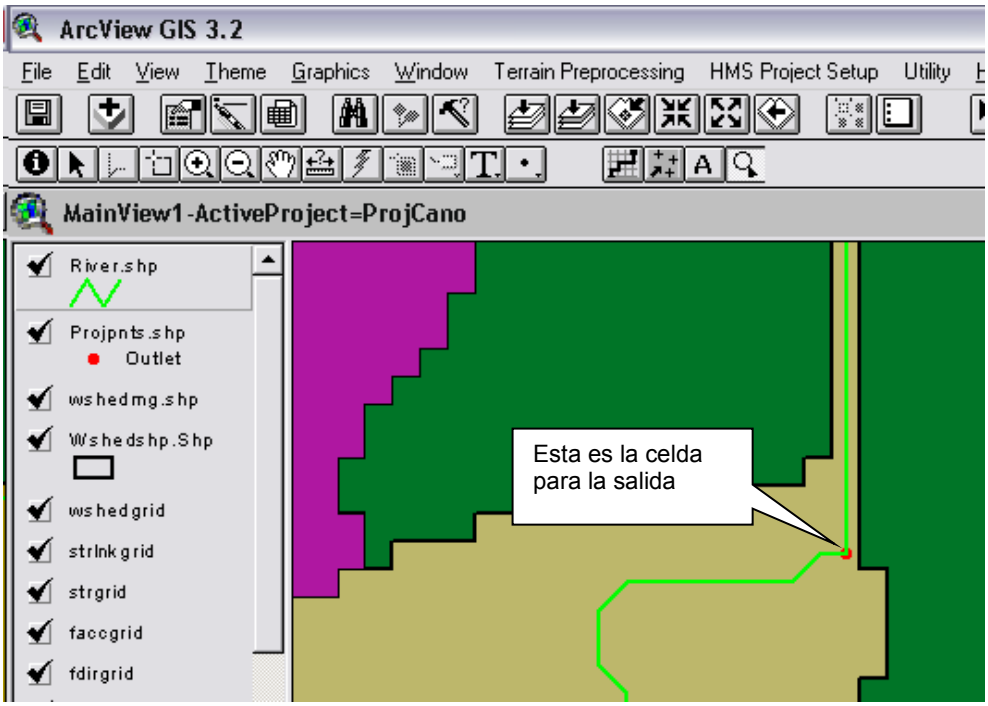


Figura 3.61 Identificación de la desembocadura con un punto rojo

3.11.2 Generación del proyecto (Generate Project)

Se seleccionó **HMS Project Setup ⇒Generate Project**, luego se seleccionó el método de generación del proyecto, del menú desplegable se seleccionó **Original Stream Definition,** como se muestra en la Figura 3.62

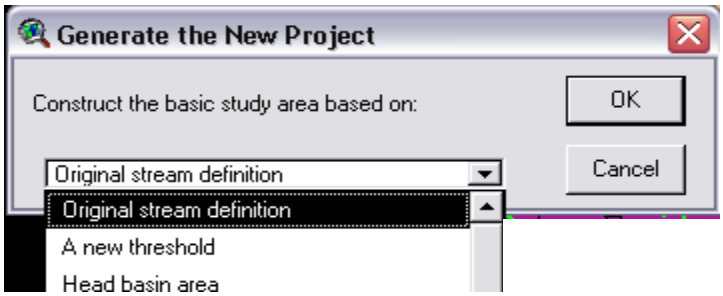


Figura 3.62 Selección de "Original Stream Definition"

Se presionó **OK.** Luego, se usó el nombre por defecto "ProjArea.SHP" como se muestra en la Figura 3.63

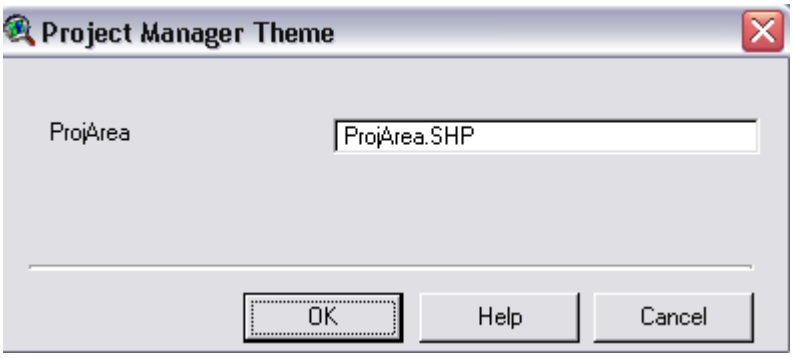


Figura 3.63 Creación ProjArea en el Administrador de temas de proyectos

Se presionó **OK** para generar el nuevo proyecto en el tipo de documento ***ProjView*** denominado **"ProCano",** como se muestra en las Figura 3.64

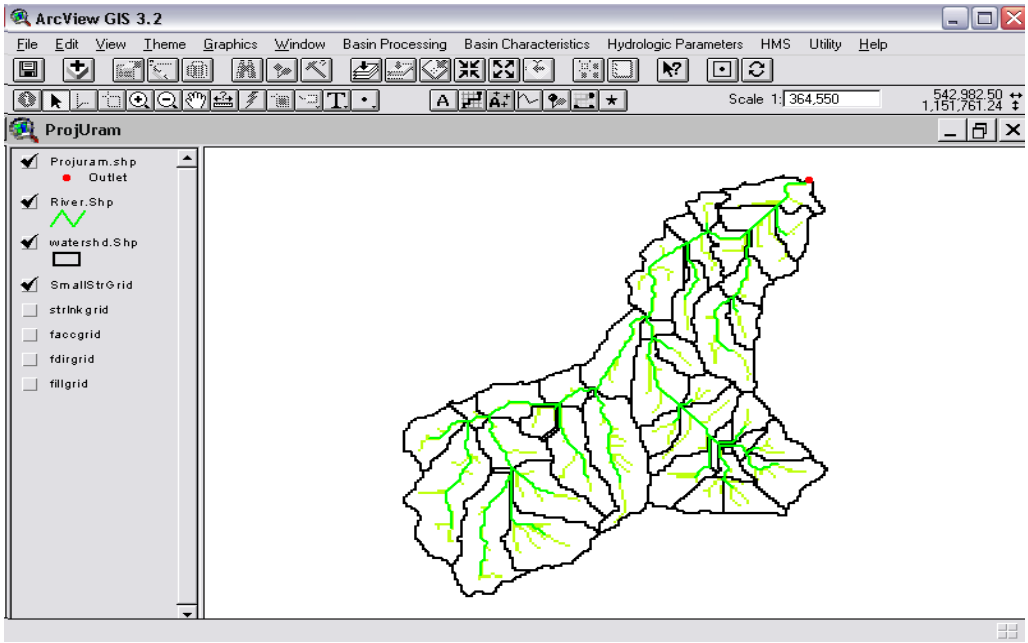


Figura 3.64 Área de Proyecto del río Urama con subcuencas delineadas y tributarios

3.12 TRABAJO EN PROJVIEW

Este documento automáticamente se carga en la vista al finalizar el trabajo en **MainView,** una vez que se delimita el área de proyecto. En la Figura 3.11, se puede observar que la Interfaz Gráfica con el Usuario (GUI) involucra; menú, barra de herramientas y botones. El menú contiene las opciones estándar de ArcView GIS 3.2 y las opciones de HEC-GeoHMS, las cuales se identifican como; procesamiento de la cuenca **(Basin Preprocessing),** características de la cuenca **(Basin Characteristics),** Parámetros Hidrológicos **(Hydrologic Parameters), HMS** y **Utility.** Estas opciones permitirán crear las subcuencas de interés para el estudio, así como determinar sus características geométricas, parámetros hidrológicos y utilizar la opción de Utilidades para crear los temas Grid requeridos para la modelación espacial.

3.13 PROCESAMIENTO DE LA CUENCA (BASIN PROCESSING)

La opción de procesamiento de la cuenca perteneciente al documento **ProjView** comprende las siguientes opciones: Unión de Cuencas (**Basin Merge),** Unión de ríos (**River Merge),** Perfil del río (**River Profile)** y División de cuencas en confluencias **(Split Basin at Confluence).**

3.13.1 Unión de Cuencas (Basin Merge)

Las subcuencas fueron unidas de acuerdo a las áreas de interés para el estudio, conformando así las subcuencas de Temerla, Canoabo, Urama Alto, Urama Bajo, El Salado y Alpargatón, aunque las áreas más relevantes para el estudio las constituyeron Temerla, Canoabo y Urama Alto, la información obtenida luego de terminar esta actividad se compararon con una delimitación realizada manualmente sobre cartas topográfica a escala 1:100.000 de toda la cuenca, como se puede observar en el Apéndice G. El procedimiento implica seleccionar las cuencas a unir, y luego **Basin Processing ⇒Basin Merge,** antes de aplicar la función aparece un cuadro de diálogo para constatar si el área sombreada es la que se requiere unir, como se muestra en la Figura 3.65

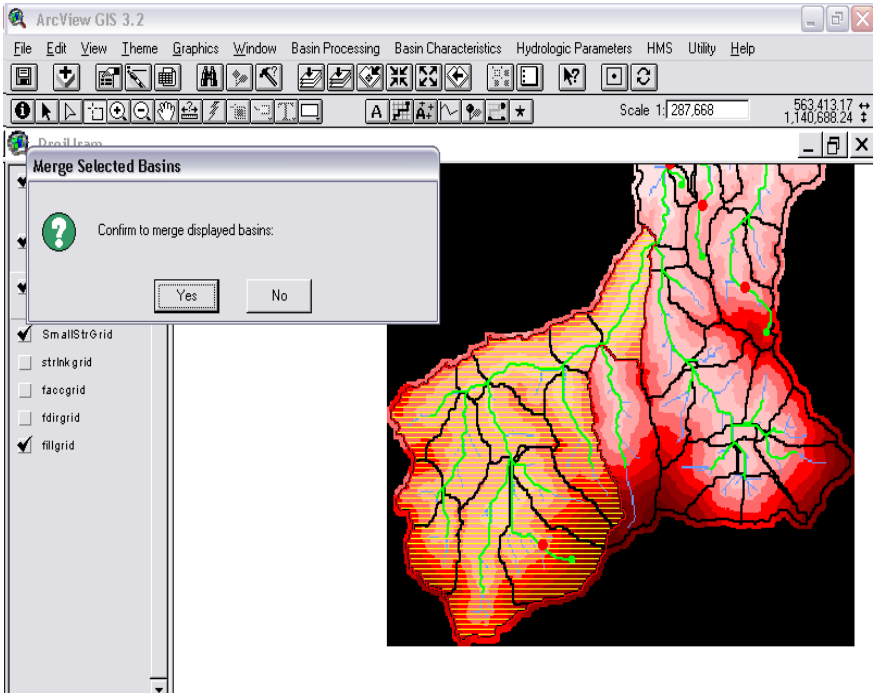


Figura 3.65 Selección del área de las subcuencas que serán unidas

La Figura 3.66 muestra el resultado de la fusión de las subcuencas de la Figura 3.65

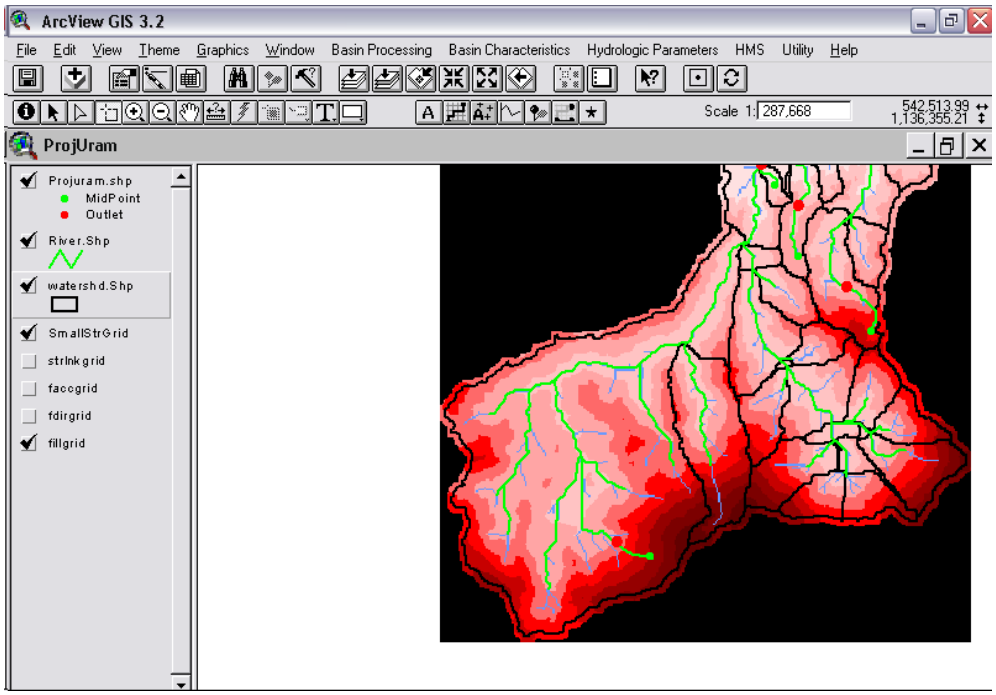


Figura 3.66 Resultado de la unión de las áreas de las subcuencas

La Figura 3.67 muestra el resultado de aplicar esta función sobre las subcuencas de interés para este estudio, en total se redujo de 46 subcuencas a 6 subcuencas.

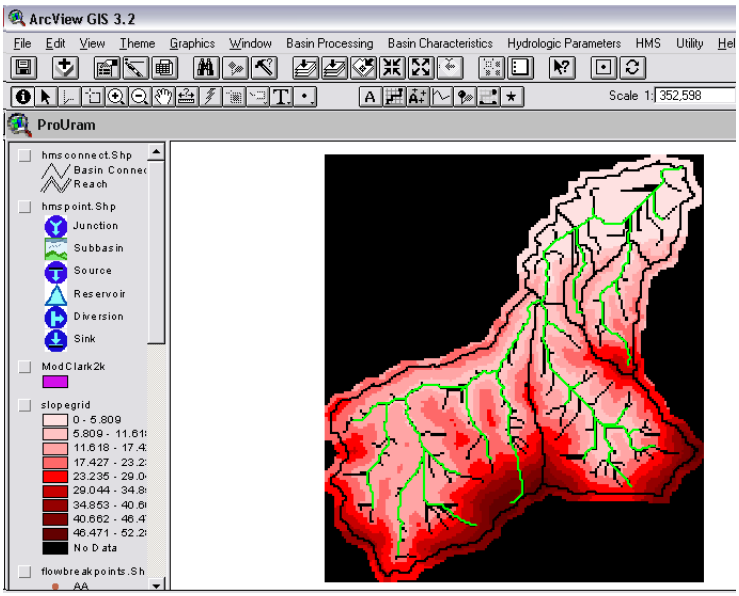


Figura 3.67 Resultado de la unión de las áreas de las subcuencas

3.13.2 Modificación de ríos

En los ríos de las subcuencas de estudio fue preciso aplicar el método de subdivisión de cuencas en una corriente existente **(Basin Subdivision on Existing Stream),** con el fin de completar su longitud, para ello se requirió usar la herramienta **(Basin Subdivide)**. La herramienta puede ser visualizada al situar la herramienta del puntero sobre la herramienta , como se muestra en la Figura 3.68

Figura 3.68 Herramienta de subdivisión de la cuenca

Los pasos para completar el río son, seleccionar la herramienta , luego hacer click sobre la celda de interés como se muestra en la Figura 4.69

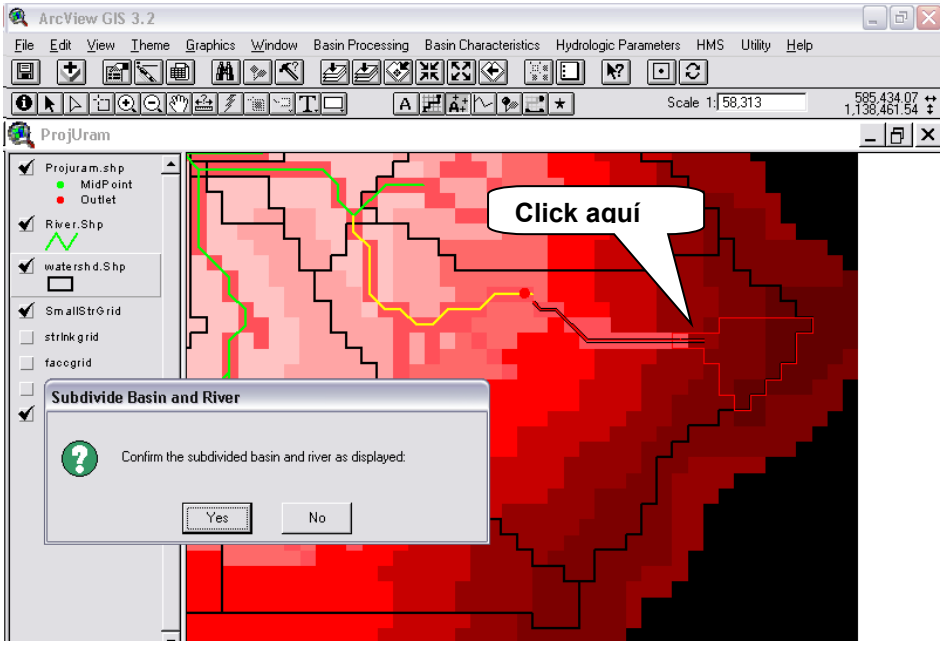


Figura 3.69 Selección de celda para subdividir la cuenca y confirmación

Luego de aceptar la confirmación de subdivisión, el resultado de la operación se muestra en la Figura 3.70

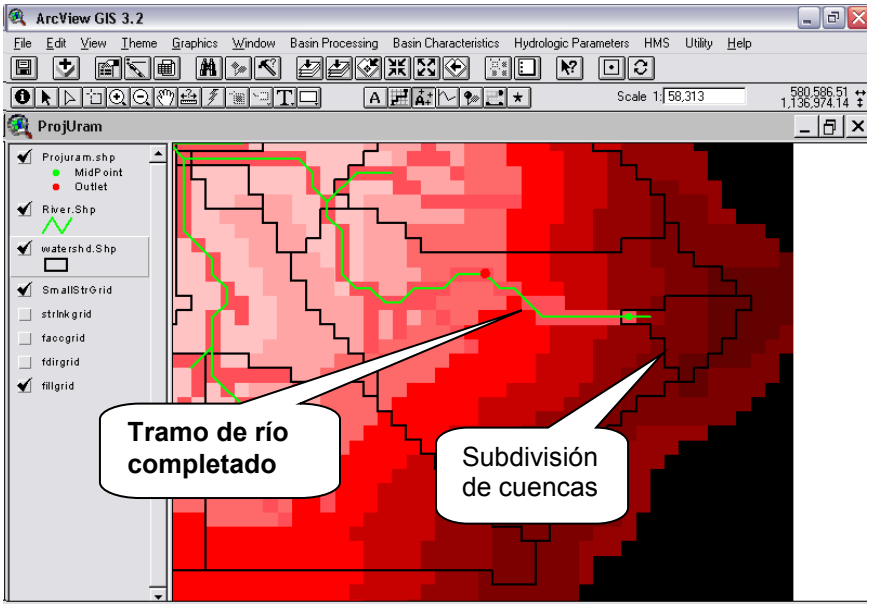


Figura 3.70 Subdivisión de las subcuencas y completación del río

Luego que se completó el río, se aplicó la función **Basin Merge** para unir las cuencas que se muestran en la Figura 3.71

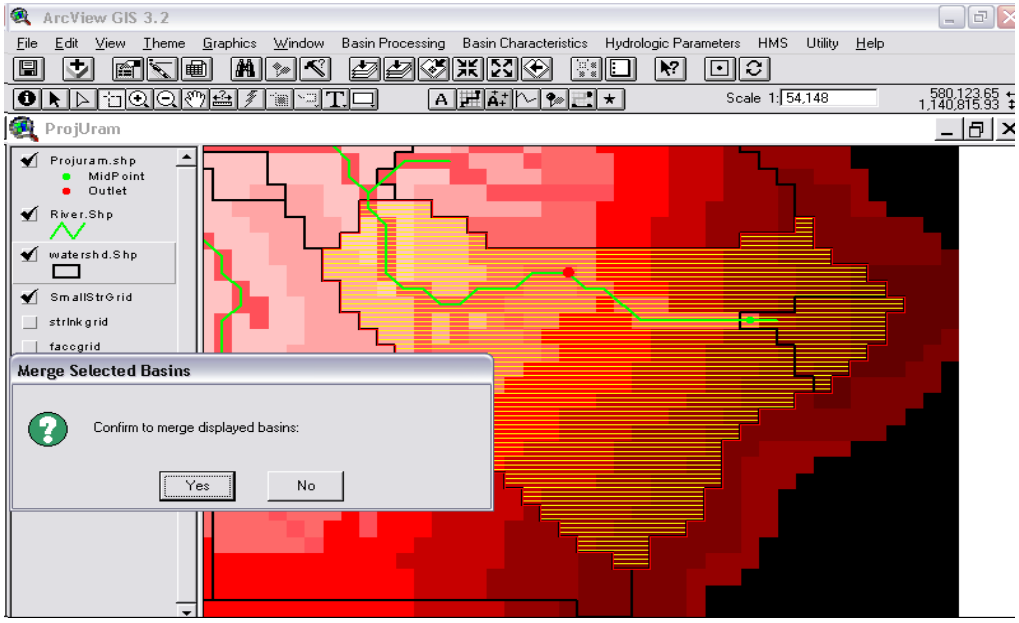


Figura 3.71 Fusión de cuencas

En la Figura 3.72 se observa el resultado de la fusión de las subcuencas y la corriente completada

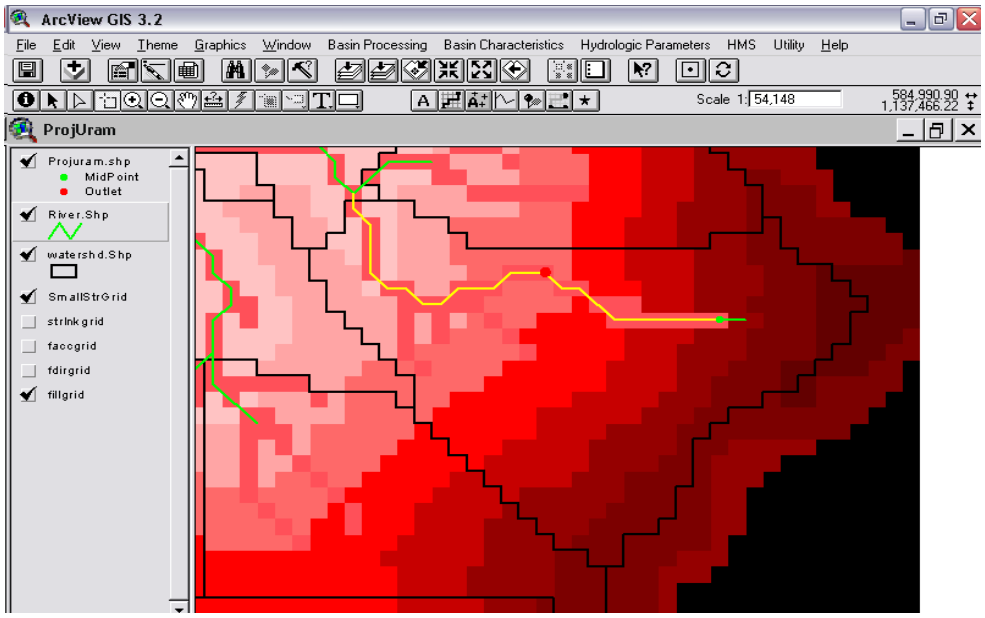


Figura 3.72 Fusión de cuencas y completación de ríos

3.14 CARACTERÍSTICAS DE LA CUENCA

En esta sección se determinaron las características físicas de las subcuencas, las cuales pudieran utilizarse para comparar subcuencas y serán utilizadas posteriormente para determinar los parámetros hidrológicos útiles para la modelación hidrológica. Las características físicas serán almacenadas en tablas de atributos, las cuales serán exportadas para su uso en hojas de cálculo de otros programas. En esta sección se discutirá la manera cómo se obtuvieron las siguientes características físicas; longitud de ríos **(River Length),** pendiente de ríos **(River Slope)**, centroide de la cuenca **(Basin Centroid)**, elevación del centroide **(Centroid Elevation Update)**, longitud del tributario más largo **(Longest Flow Path),** longitud del flujo al centroide **(Centroidal Flow Path),** estas opciones se muestran en la Figura 3.73

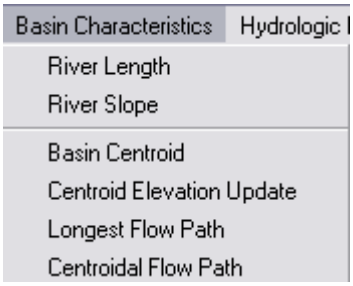


Figura 3.73 Opciones para determinar las características de las cuencas

3.14.1 Longitud de ríos (River Length)

Los pasos para aplicar esta opción consisten en; seleccionar **Basin Characteristics** ⇒ **River Length**, como se muestra en la Figura 3.74

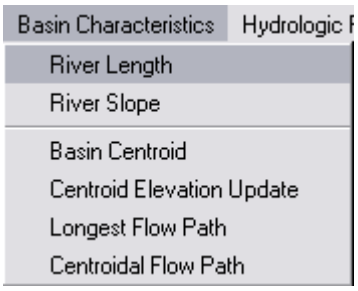
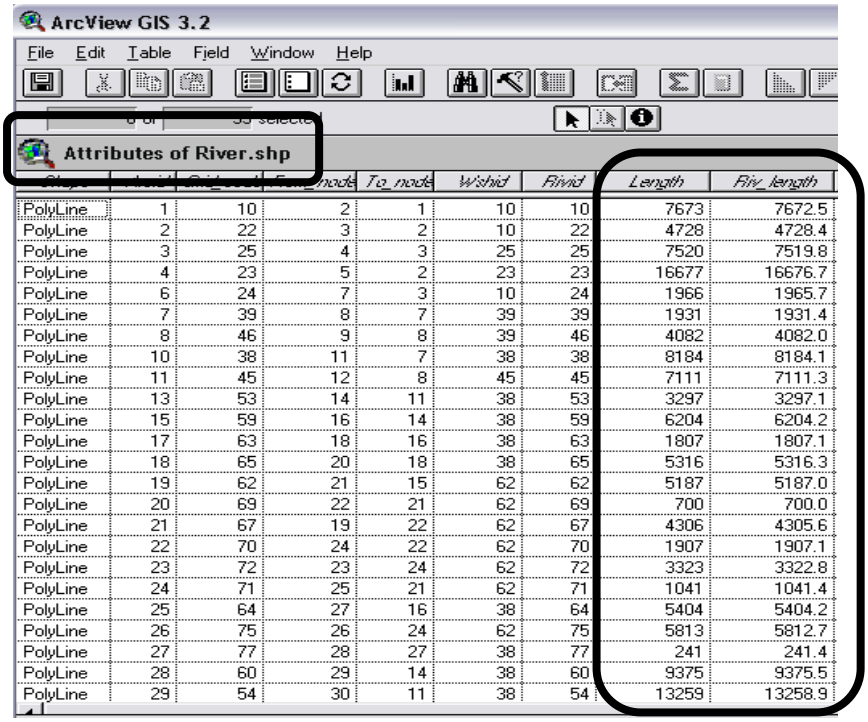


Figura 3.74 Selección del item River Length en el menú

Luego se presiona OK para aceptar la opción de cálculo de la longitud de los ríos, como se muestra en la Figura 3.75

Figura 3.75 Confirmación de la determinación de la longitud de ríos

Los resultados del cálculo de la longitud de los ríos se encuentran bajo la columna “Riv_Length” que se añade a la tabla de atributos, como se muestra en la Figura 3.76 “Riv_Length” se encuentra en las unidades de mapa, las cuales son metros para este estudio.



ArcView GIS 3.2

File Edit Table Field Window Help

Attributes of River.shp

PolyLine	1	10	2	1	10	10	7673	7672.5
PolyLine	2	22	3	2	10	22	4728	4728.4
PolyLine	3	25	4	3	25	25	7520	7519.8
PolyLine	4	23	5	2	23	23	16677	16676.7
PolyLine	6	24	7	3	10	24	1966	1965.7
PolyLine	7	39	8	7	39	39	1931	1931.4
PolyLine	8	46	9	8	39	46	4082	4082.0
PolyLine	10	38	11	7	38	38	8184	8184.1
PolyLine	11	45	12	8	45	45	7111	7111.3
PolyLine	13	53	14	11	38	53	3297	3297.1
PolyLine	15	59	16	14	38	59	6204	6204.2
PolyLine	17	63	18	16	38	63	1807	1807.1
PolyLine	18	65	20	18	38	65	5316	5316.3
PolyLine	19	62	21	15	62	62	5187	5187.0
PolyLine	20	69	22	21	62	69	700	700.0
PolyLine	21	67	19	22	62	67	4306	4305.6
PolyLine	22	70	24	22	62	70	1907	1907.1
PolyLine	23	72	23	24	62	72	3323	3322.8
PolyLine	24	71	25	21	62	71	1041	1041.4
PolyLine	25	64	27	16	38	64	5404	5404.2
PolyLine	26	75	26	24	62	75	5813	5812.7
PolyLine	27	77	28	27	38	77	241	241.4
PolyLine	28	60	29	14	38	60	9375	9375.5
PolyLine	29	54	30	11	38	54	13259	13258.9

Figura 3.76 Tabla de atributos rellena con la longitud de los ríos

3.14.2 Pendiente de ríos (River Slope)

Con este paso, el programa determinó la elevación de los tramos de ríos aguas arriba y aguas abajo y con base en ello calculó las pendientes. La elevación aguas arriba y aguas abajo y las pendientes se añadieron a las columnas de la tabla de atributos **"River.shp"** bajo el encabezado: **"us_Elv", "ds_Elv", y "Slp_Endpt".**

Los pasos para aplicar esta opción implicaron; seleccionar **Basin Characteristics** ⇒ **River Slope**, como se muestra en la Figura 3.77

Figura 3.77 Selección del item River Slope

Se seleccionó metros **(meters)** para la unidades verticales del MDT en el cuadro de diálogo **DEM Vertical Units,** como se muestra en la Figura 3.78, debido los datos del terreno tiene unidades verticales en metros. Esta opción se aceptó presionando **OK.**

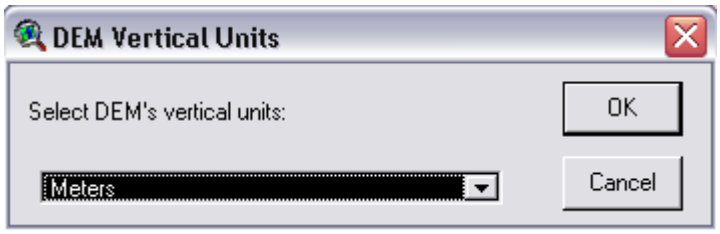


Figura 3.78 Unidades verticales en el MDT

Al presionar **OK** se muestra el cuadro de confirmación, como se muestra en la Figura 3.79

Figura 3.79 Confirmación del cálculo de las pendientes del río

Los cálculos de la pendiente de los ríos y las elevaciones aguas arriba y abajo, además de la pendiente se añaden a la tabla de atributos, como se muestra en la Figura 3.80

ArcView GIS 3.2

File Edit Table Field Window Help

0 of 33 selected

Attributes of River.shp

Shape	Arcid	Grid_code	From_node	To_node	Wshid	Rivid	Length	F_length	Slp_endpt	Us_elv	Ds_elv
PolyLine	1	10	2	1	10	10	7673	7672.5	0.0012	19.5876	10.0556
PolyLine	2	22	3	2	10	22	4728	4728.4	0.0023	30.4013	19.5876
PolyLine	3	25	4	3	25	25	7520	7519.8	0.0531	430.0000	30.4013
PolyLine	4	23	5	2	23	23	16677	16676.7	0.0566	963.3333	19.5876
PolyLine	6	24	7	3	10	24	1966	1965.7	0.0003	31.0256	30.4013
PolyLine	7	39	8	7	39	39	1931	1931.4	0.0328	231.4286	168.0000
PolyLine	8	46	9	8	39	46	4082	4082.0	0.0633	490.0000	231.4286
PolyLine	10	38	11	7	38	38	8184	8184.1	0.0121	266.9231	168.0000
PolyLine	11	45	12	8	45	45	7111	7111.3	0.0068	280.0000	231.4286
PolyLine	13	53	14	11	38	53	3297	3297.1	0.0040	280.0000	266.9231
PolyLine	15	59	16	14	38	59	6204	6204.2	0.0070	323.3333	280.0000
PolyLine	17	63	18	16	38	63	1807	1807.1	0.0126	346.1538	323.3333
PolyLine	18	65	20	18	38	65	5316	5316.3	0.0653	693.3333	346.1538
PolyLine	19	62	21	15	62	62	5187	5187.0	0.0020	290.1613	280.0000
PolyLine	20	69	22	21	62	69	700	700.0	0.0141	300.0000	290.1613
PolyLine	21	67	19	22	62	67	4306	4305.6	0.0813	650.0000	300.0000
PolyLine	22	70	24	22	62	70	1907	1907.1	0.0059	311.2500	300.0000
PolyLine	23	72	23	24	62	72	3323	3322.8	0.1471	800.0000	311.2500
PolyLine	24	71	25	21	62	71	1041	1041.4	0.0000	290.1613	290.1613
PolyLine	25	64	27	16	38	64	5404	5404.2	0.0142	400.0000	323.3333
PolyLine	26	75	26	24	62	75	5813	5812.7	0.1569	1223.3334	311.2500
PolyLine	27	77	28	27	38	77	241	241.4	0.0000	400.0000	400.0000
PolyLine	28	60	29	14	38	60	9375	9375.5	0.0927	1148.8889	280.0000
PolyLine	29	54	30	11	38	54	13259	13258.9	0.0975	1560.0000	266.9231

Figura 3.80 Atributos de las pendientes de los ríos

3.14.3 Centroide de las subcuencas

La ubicación del centroide, pudo haber sido estimada mediante tres métodos gráficos, ya que el programa ofrece la aproximación física de la cuenca al centroide de un rectángulo, elipse y al punto medio del río. Para este estudio se seleccionó el método de la elipse por considerar que es más aproximado a la forma de las subcuencas que los otros. Los pasos para usar esta opción son; seleccionar **Basin Characteristics⇒Basin Centroid**, como se muestra en la Figura 3.81

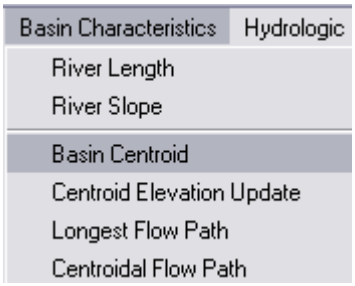


Figura 3.81 Selección de la opción Basin Centroid

En el cuadro de dialogo **Basin Centroid Computation**, se admitieron como archivos de entradas; **watershd.shp, fillgrid y fdirgrid**; para obtener como salida **WshCentroid**, como se muestra en la Figura 3.82. Se aceptó esta operación presionando **OK.**

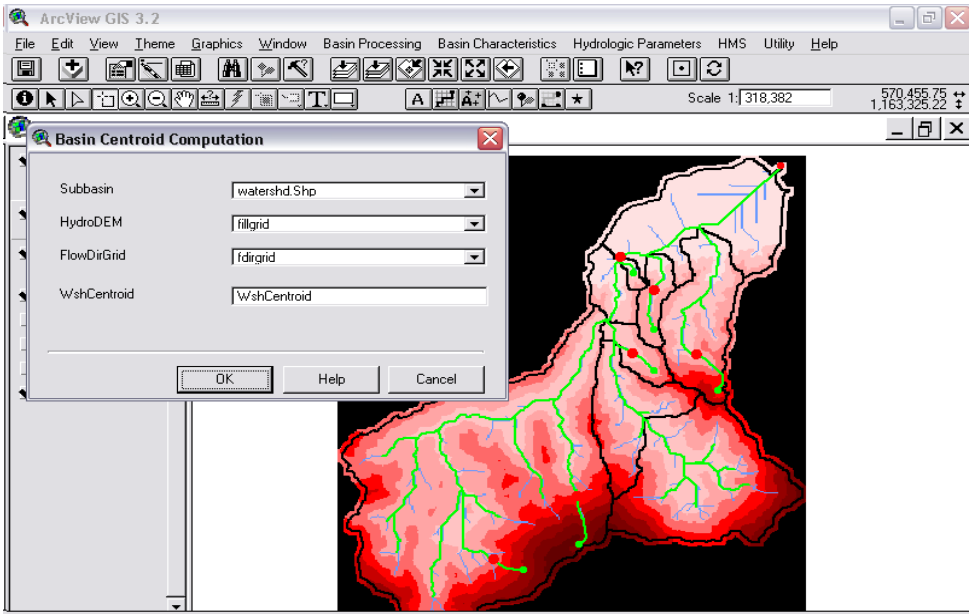


Figura 3.82 Archivos de entrada y salida para la estimación del centroide

Se seleccionó el método de la Elipse **(Ellipse Method)** del menú desplegable que se muestra en la Figura 3.83

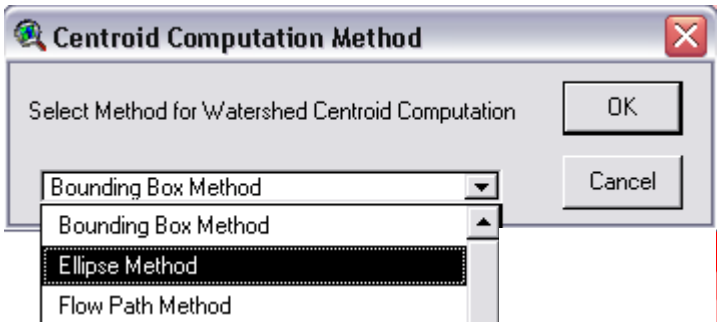


Figura 3.83 Selección del método de la elipse para el centroide

Una vez aceptada la opción anterior el programa efectúa los cálculos, y envía el siguiente mensaje, como se muestra en la Figura 3.84

Figura 3.84 Confirmación de la obtención del centroide

El resultado de la operación es punto editable, “wshCentroid.Shp”, mostrando los centroides como indica la Figura 3.85

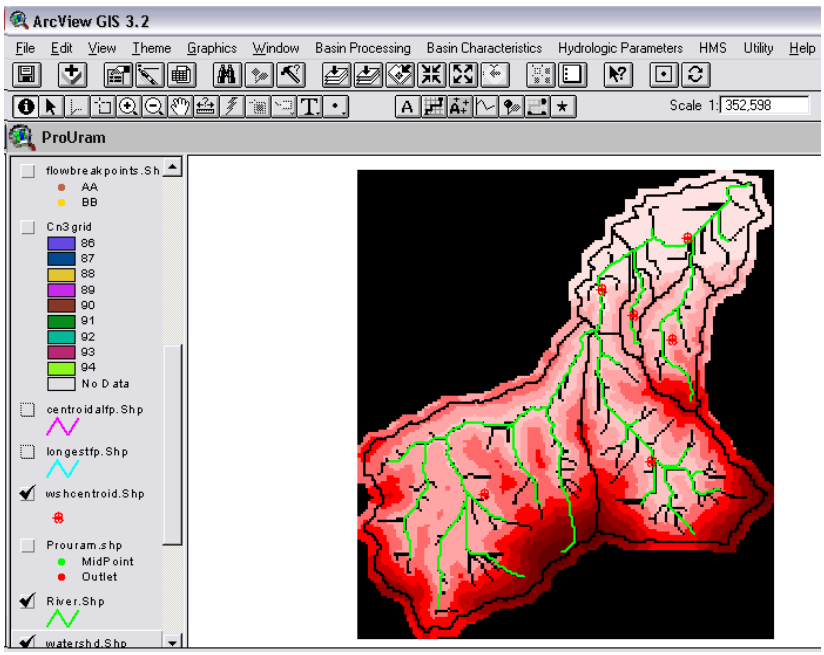


Figura 3.85 Resultado de los centroides de las subcuencas

La elevación del centroide se calcula y se almacena en la tabla de atributos como se muestra en la Figura 3.86. Adicionalmente, la elevación del centroide también se almacena en la tabla de atributos **"WaterShd.shp"** como se muestra en la Figura 3.87

Attributes of wshcentroid.Shp

Shape	Wshld	Elevation
Point	10	19.5833
Point	23	370.0000
Point	39	320.6667
Point	25	410.0000
Point	38	493.3333
Point	45	333.3333
Point	62	405.0000
Point	64	191.4286
Point	65	134.2857

Figura 3.86 Tabla de atributos para el centroide de las subcuencas

ArcView GIS 3.2

File Edit Table Field Window Help

0 of 9 selected

Attributes of watershd.Shp

Shape	Id	Gridcode	Area	Wshld	Perimeter	Elevation
Polygon	1	10	69870000.00	10	63000.00000	19.5833
Polygon	3	23	48670000.00	23	43800.00000	370.0000
Polygon	6	39	12230000.00	39	21600.00000	320.6667
Polygon	7	25	12020000.00	25	22000.00000	410.0000
Polygon	12	38	272820000.0	38	98200.00000	493.3333
Polygon	18	45	39420000.00	45	42000.00000	333.3333
Polygon	23	62	94420000.00	62	54000.00000	405.0000
Polygon	0	24	2500000.000	64	8800.000000	191.4286
Polygon	0	24	14030000.00	65	21000.00000	134.2857

Figura 3.87 Elevación del centroide superpuesta en la tabla de atributos Watershed.Shp

3.14.4 Elevación del centroide (Centroid Elevation Update)

Esta es una opción que se considera cuando el usuario es quien especifica la ubicación del centroide, y se requiere que tanto en la tabla de atributos **Watershed.Shp** como en la tabla de atributos **wshCentroid.Shp** coincidan los campos de elevaciones

3.14.5 Ruta de flujo más larga (Longest Flow Path)

Con esta operación **Longest Flow Path** se calcularon un conjunto de características físicas de cada subcuenca: longitud del flujo más larga, elevación aguas arriba, elevación aguas abajo, pendiente entre extremos, y pendiente entre el 10% y el 85% de la longitud del flujo más larga. Estas características se almacenaron en la tabla de atributos **"Watershed.shp".** Los pasos consisten en seleccionar; **Basin Characteristics ⇒ Longest Flow Path,** como se muestra en la Figura 3.88.

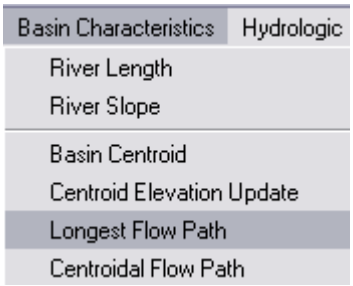


Figura 3.88 Selección de la opción Longest Flow Path

El programa envía un mensaje para confirmar que efectuó los cálculos, como se muestra en la Figura 3.89

Figura 3.89 Confirmación de Longest Flow Path

El resultado de la operación de la longitud del flujo más larga es como se muestra en la Figura 3.90

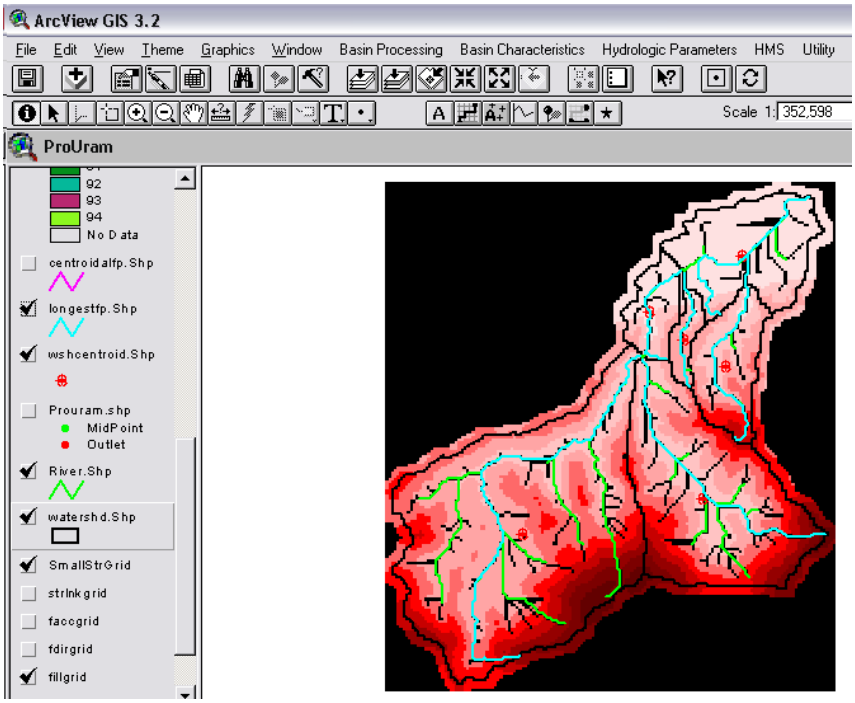


Figura 3.90 Resultado de los tributarios más largos

Los atributos de los tributarios más largos se escriben en ambas tablas de atributos **“Longestfp.shp”** y **“watwerShd.shp”,** como se muestra en la Figura 3.91 y Figura 3.92 respectivamente

ArcView GIS 3.2

File Edit Table Field Window Help

0 of 9 selected

Attributes of longestfp.Shp

Shape	Wshld	DSElv	Slp_EndFt	Slp_1085	Elv85Ft	LongestFL	Elv10Ft	USElv
PolyLine	10	10.0556	0.002	0.001	113.9697	17016.652	63.8899	48.9787
PolyLine	23	19.9121	0.061	0.062	2786.9816	17816.652	72.1783	1105.9459
PolyLine	39	168.0000	0.101	0.069	1968.5000	7391.169	705.3792	915.0000
PolyLine	25	32.3529	0.074	0.058	1410.7583	8935.534	135.9202	690.0000
PolyLine	38	168.0000	0.031	0.008	1476.3750	36429.141	787.4000	1305.4546
PolyLine	45	232.8571	0.072	0.050	2608.2625	14063.961	866.1400	1240.0000
PolyLine	62	280.0000	0.092	0.069	3494.0875	15222.540	922.1994	1674.0000
PolyLine	64	31.0256	0.135	0.131	1312.3333	3697.056	120.2972	530.0000
PolyLine	65	31.0256	0.072	0.054	1049.8667	7111.270	101.7900	540.0000

Figura 3.91 Tabla de atributos de la longitud de flujo más larga

ArcView GIS 3.2

File Edit Table Field Window Help

0 of 9 selected

Attributes of watershd.Shp

Shape	Id	Gridcode	Area	Wshld	Perimeter	Elevation	Slp_EndFt	Slp_1085	LongestFL
Polygon	1	10	69870000.00	10	63000.0000	19.5833	0.002	0.001	17016.652
Polygon	3	23	48670000.00	23	43800.0000	370.0000	0.061	0.062	17816.652
Polygon	6	39	12230000.00	39	21600.0000	320.6667	0.101	0.069	7391.169
Polygon	7	25	12020000.00	25	22000.0000	410.0000	0.074	0.058	8935.534
Polygon	12	38	272820000.0	38	98200.0000	493.3333	0.031	0.008	36429.141
Polygon	18	45	39420000.00	45	42000.0000	333.3333	0.072	0.050	14063.961
Polygon	23	62	94420000.00	62	54000.0000	405.0000	0.092	0.069	15222.540
Polygon	0	24	2500000.000	64	8800.00000	191.4286	0.135	0.131	3697.056
Polygon	0	24	14030000.00	65	21000.00000	134.2857	0.072	0.054	7111.270

Figura 3.92 Tabla de atributos de la longitud de flujo más larga

3.14.6 Ruta de flujo centroidal (Centroidal Flow Path)

Con esta operación se calcula la longitud del flujo al centroide mediante la proyección del centroide sobre la longitud del flujo más larga. La longitud del flujo centroidal se mide desde el punto proyección del centroide sobre la longitud del flujo más larga hasta la salida de la subcuenca, como se muestra en la Figura 3.93

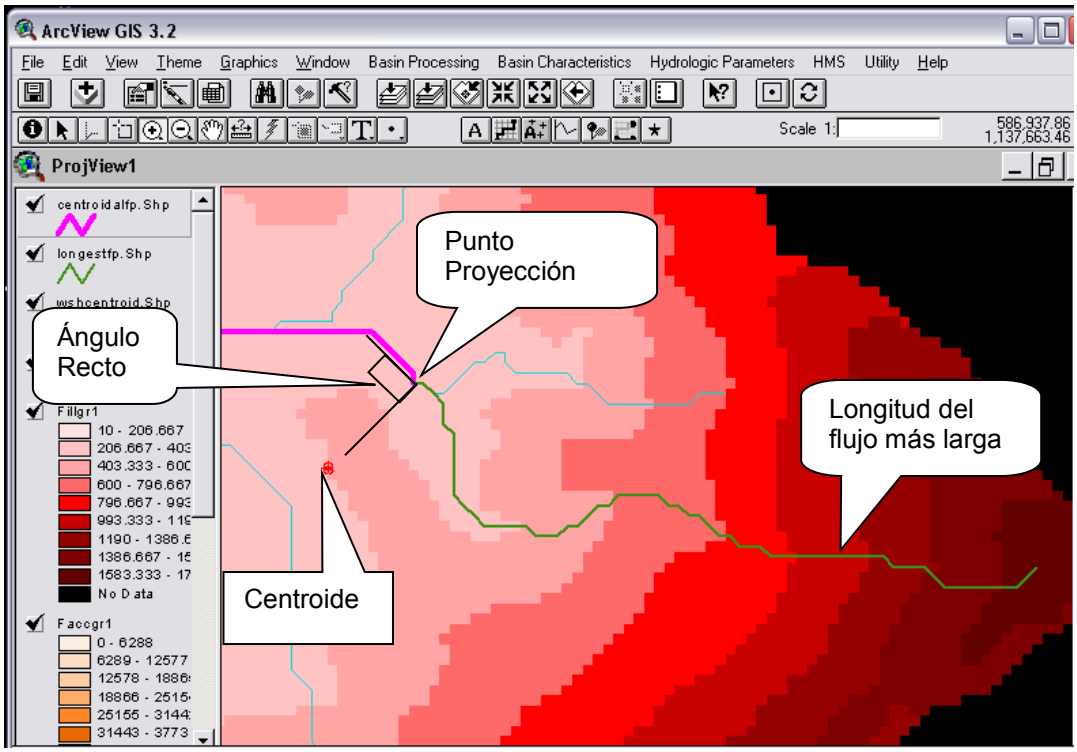


Figura 3.93 Longitud del tributario más larga

Los pasos para aplicar esta opción consistieron en; seleccionar **Basin characteristicas** ⇒ **Centroidal Flow Path** como se muestra en la Figura 3.94

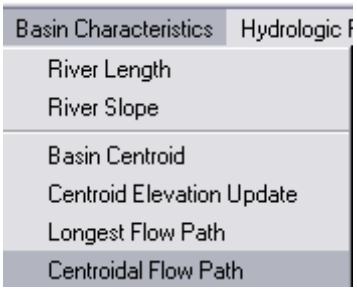


Figura 3.94 Longitud del flujo centroidal

El programa usa cinco datos de entrada y uno de salida, como se muestra en la Figura 3.95, donde se aceptó presionando **OK**.

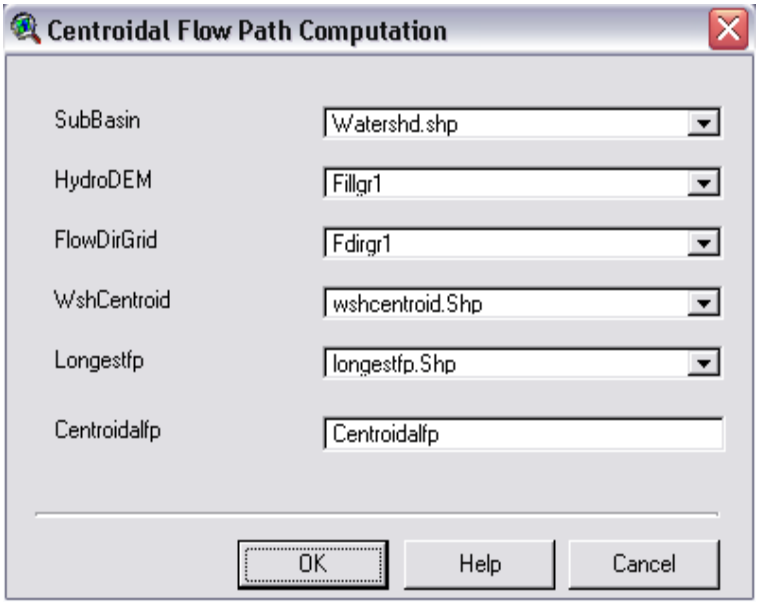


Figura 3.95 Temas de entrada y salida para el flujo centroidal

Se presionó **OK** en el cuadro de confirmación de la Figura 3.96

Figura 3.96 Confirmación de la ruta de flujo centroidal

El resultado de la operación de cálculo del flujo centroidal es un archivo editable denominado “centroidalfp.shp” y su tabla de atributos se muestra en la Figura 3.97 y Figura 3.98, respectivamente. La longitud del flujo centroidal se

encuentra en la columna “CentroidalFL” que se almacena en la tabla de atributos “Watershed.shp” como se muestra en la Figura 3.99

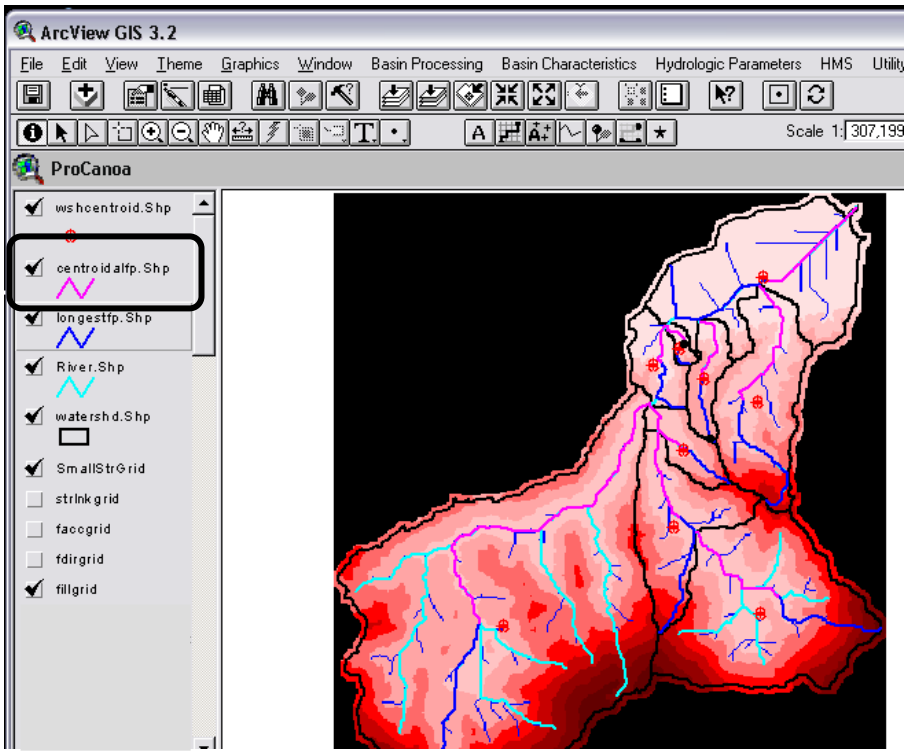
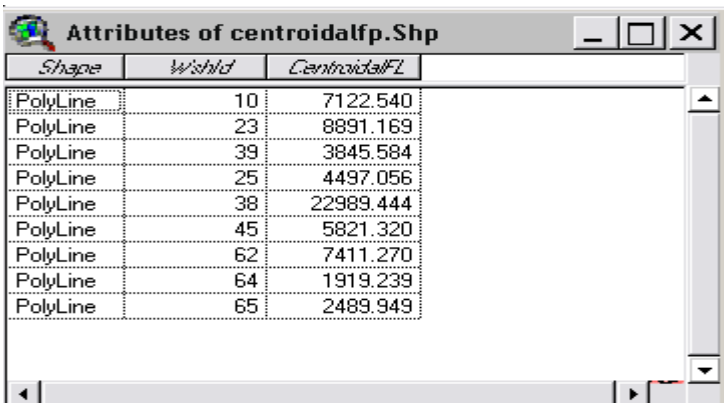


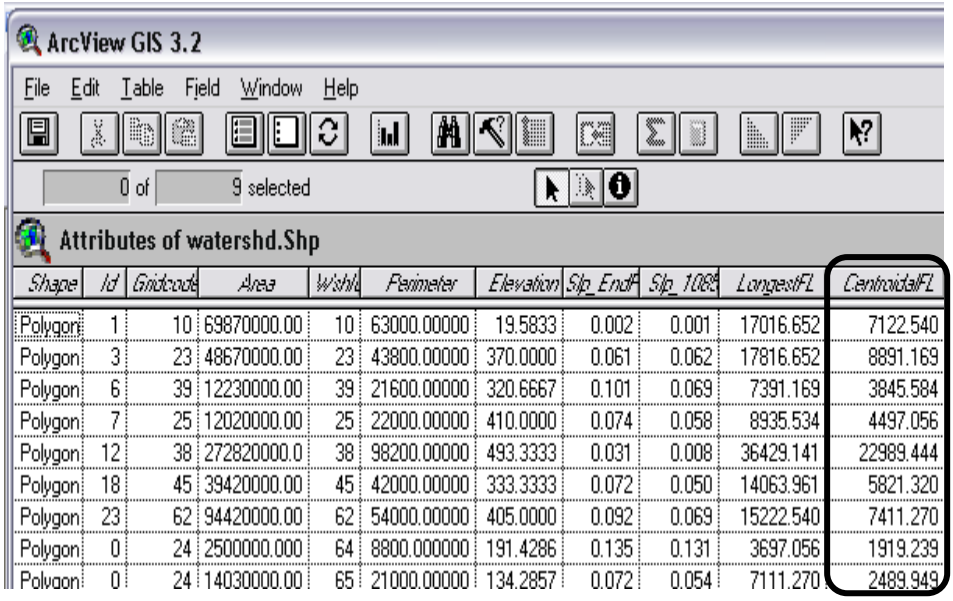
Figura 3.97 Resultado de la ruta de flujo centroidal



Attributes of centroidalfp.Shp

Shape	Wshld	CentroidalFL
PolyLine	10	7122.540
PolyLine	23	8891.169
PolyLine	39	3845.584
PolyLine	25	4497.056
PolyLine	38	22989.444
PolyLine	45	5821.320
PolyLine	62	7411.270
PolyLine	64	1919.239
PolyLine	65	2489.949

Figura 3.98 Tabla de atributos del flujo centroidal



ArcView GIS 3.2

File Edit Table Field Window Help

0 of 9 selected

Attributes of watershd.Shp

Shape	Id	Gridcode	Area	Wshld	Perimeter	Elevation	Slp_EndP	Slp_108S	LongestFL	CentroidalFL
Polygon	1	10	69870000.00	10	63000.00000	19.5833	0.002	0.001	17016.652	7122.540
Polygon	3	23	48670000.00	23	43800.00000	370.0000	0.061	0.062	17816.652	8891.169
Polygon	6	39	12230000.00	39	21600.00000	320.6667	0.101	0.069	7391.169	3845.584
Polygon	7	25	12020000.00	25	22000.00000	410.0000	0.074	0.058	8935.534	4497.056
Polygon	12	38	272820000.0	38	98200.00000	493.3333	0.031	0.008	36429.141	22989.444
Polygon	18	45	39420000.00	45	42000.00000	333.3333	0.072	0.050	14063.961	5821.320
Polygon	23	62	94420000.00	62	54000.00000	405.0000	0.092	0.069	15222.540	7411.270
Polygon	0	24	2500000.000	64	8800.000000	191.4286	0.135	0.131	3697.056	1919.239
Polygon	0	24	14030000.00	65	21000.00000	134.2857	0.072	0.054	7111.270	2489.949

Figura 3.99 Tabla de atributos de las cuencas para flujo centroidal

3.15 ESTIMACIÓN DE PARÁMETROS HIDROLÓGICOS

La estimación de los parámetros hidrológicos involucró desarrollar cada uno de las opciones contenidas en el menú **Hydrologic Parameters,** los cuales están constituidos por; Número de curva de la subcuenca **(Subbasin Curve Number),** procesamiento de ModClark **(ModClark Processing),** Número de Curva -cuadrícula de ModClark **(ModClark Grid CN),** parámetros para Muskingum-Cunge **(Muskingum-Cunge Parameters),** Tormenta de 2 años de período de retorno **(Rainfall 2 Year),** tormenta de diseño **(Design Rainfall)**, segmentación de corrientes por el método TR55 **(TR55 Flow Path Segments)**, parámetros de corrientes por el método TR55 **(TR55 Flow Path Parameters)**, exportación de parámetros para el método TR55 **(TR55 Export Parameters to Excel)**, pendientes de cuenca **(Basin Slope)** y método del

retardo-Número de Curva **(CN Lag Method),** los parámetros fueron seleccionados del menú como se muestra en la Figura 3.100

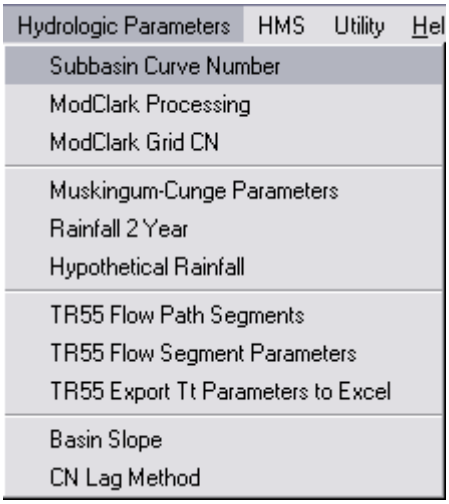


Figura 3.100 Menú para estimación de los parámetros hidrológicos

3.16 ESTIMACIÓN DEL NÚMERO DE CURVA PARA LA SUBCUENCA (SUBBASIN CURVE NUMBER)

El Número de Curva para la subcuenca será estimado mediante la construcción de un tema **Grid** para el Número de Curva. La construcción se basó en el procedimiento especificado en los Apéndices E, F y G del Manual de Usuario de HEC-GeoHMS 1.1, que se esquematiza en la Figura 3.100

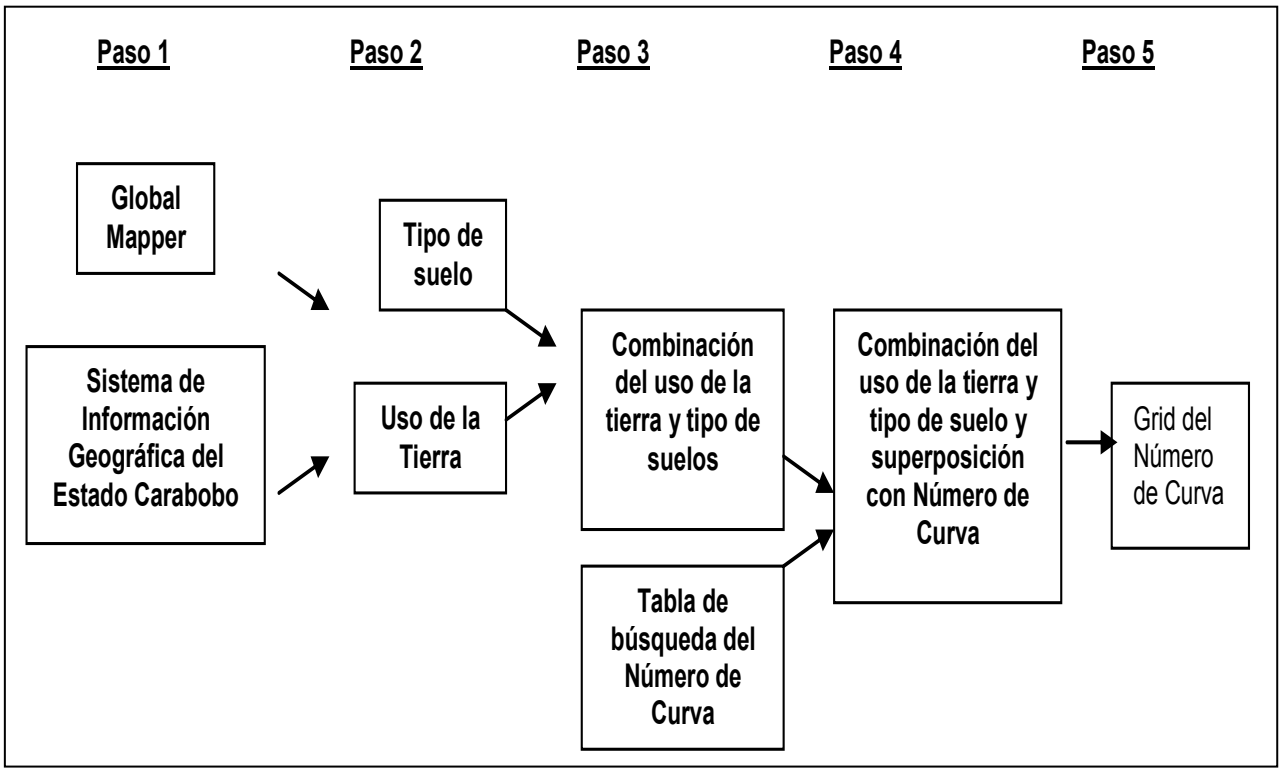


Figura 3.100 Menú para estimación de los parámetros hidrológicos

La base de datos utilizada para el suelo se fundamentó en los "Sistemas Ambientales Venezolanos. Proyecto Ven/79/001", este documento contiene una metodología para la definición de regiones, sub-regiones y áreas naturales del país y fue suministrado por el MARN

Paso 2: Unión de la bases de datos para suelos y creación del uso de la tierra

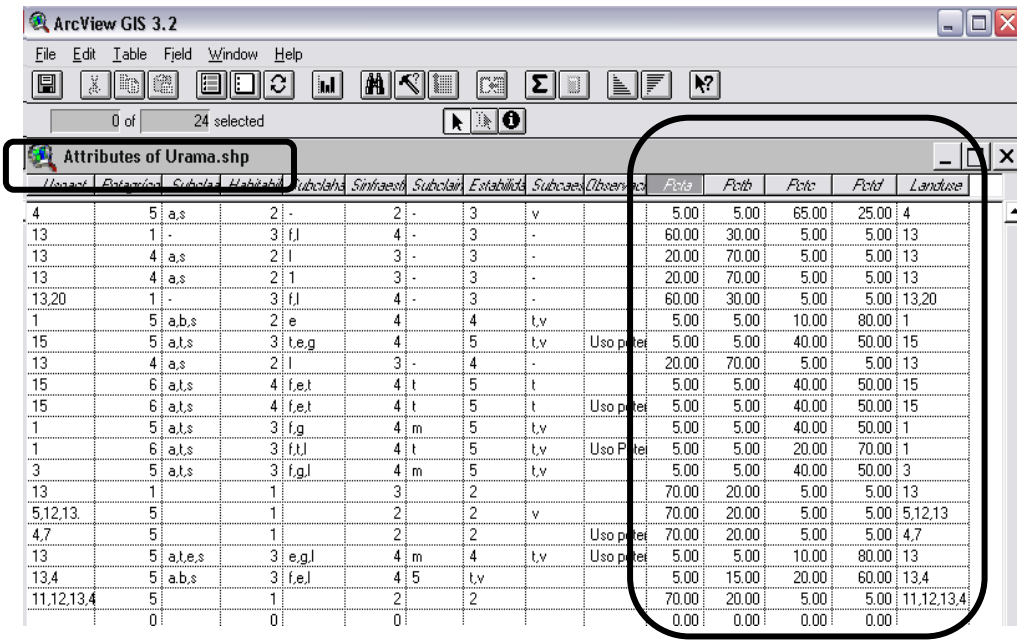
Se requirió unir diversas bases de datos del suelo para establecer una base de datos común. La creación de la base de datos digitalizados del uso del suelo se ha realizado a partir de fotografías aéreas y otras fuentes por parte de la división de Sistemas de Información Geográfica del Estado Carabobo. Para crear una combinación única del uso de la tierra y el tipo de suelo se requirió el

uso de la Extensión Wizard Geoprocessing de ArcView 3.2, el resultado de esta unión se encuentra en el Apéndice E.

Paso 3: Combinación del uso de la tierra y tipo de suelos con la tabla de búsqueda del Número de Curva

- **Combinación del uso de la tierra y tipo de suelos**

Comparando la clasificación del tipo del suelo de la zona según la base de datos y la descripción de la clasificación hidrológica de los suelos (Monsalve, 1995), se estimaron los porcentajes de grupos de suelos hidrológicos; “pcta”, “pctb”, “pctc” y “pctd”, de las zonas delimitadas en el plano de la base de datos, como se muestra en la Figura 3.101



Usoact	Estagrícol	Subclad	Habitabil	Subclaha	Sinfaestr	Subclair	Estabilida	Subcaes	Observaci	Pcta	Pctb	Pctc	Pctd	Landuse
4	5	a,s	2	-	2	-	3	v		5.00	5.00	65.00	25.00	4
13	1	-	3	f,l	4	-	3	-		60.00	30.00	5.00	5.00	13
13	4	a,s	2	l	3	-	3	-		20.00	70.00	5.00	5.00	13
13	4	a,s	2	1	3	-	3	-		20.00	70.00	5.00	5.00	13
13,20	1	-	3	f,l	4	-	3	-		60.00	30.00	5.00	5.00	13,20
1	5	a,b,s	2	e	4		4	t,v		5.00	5.00	10.00	80.00	1
15	5	a,t,s	3	t,e,g	4		5	t,v	Uso potei	5.00	5.00	40.00	50.00	15
13	4	a,s	2	l	3	-	4	-		20.00	70.00	5.00	5.00	13
15	6	a,t,s	4	f,e,t	4	t	5	t		5.00	5.00	40.00	50.00	15
15	6	a,t,s	4	f,e,t	4	t	5	t	Uso potei	5.00	5.00	40.00	50.00	15
1	5	a,t,s	3	f,g	4	m	5	t,v		5.00	5.00	40.00	50.00	1
1	6	a,t,s	3	f,t,l	4	t	5	t,v	Uso Potei	5.00	5.00	20.00	70.00	1
3	5	a,t,s	3	f,g,l	4	m	5	t,v		5.00	5.00	40.00	50.00	3
13	1		1		3		2			70.00	20.00	5.00	5.00	13
5,12,13.	5		1		2		2	v		70.00	20.00	5.00	5.00	5,12,13
4,7	5		1		2		2		Uso potei	70.00	20.00	5.00	5.00	4,7
13	5	a,t,e,s	3	e,g,l	4	m	4	t,v	Uso potei	5.00	5.00	10.00	80.00	13
13,4	5	a,b,s	3	f,e,l	4	5	t,v			5.00	15.00	20.00	60.00	13,4
11,12,13,4	5		1		2		2			70.00	20.00	5.00	5.00	11,12,13,4
	0		0		0					0.00	0.00	0.00	0.00	

Figura 3.101 Porcentajes de grupos de suelos hidrológicos y uso de la tierra

- **Tablas de búsqueda del Número de Curva**

En la tabla de contenidos de ArcView 3.2, se crearon tres tablas para diferentes condiciones de humedad del suelo; seca, normal y húmeda, respectivamente CN I, CN II y CN III. La asignación de los valores de CN para los tipos de suelos A, B, C y D se realizó con base en las tablas del Apéndice H de este documento desarrolladas por el Servicio de Conservación de Suelos y publicadas en el Reporte Técnico 55 (comúnmente conocido como TR-55). Para ello se seleccionó la opción **Tables** y se guardaron las tablas dentro de la carpeta del proyecto, como se muestra en la Figura 3.102

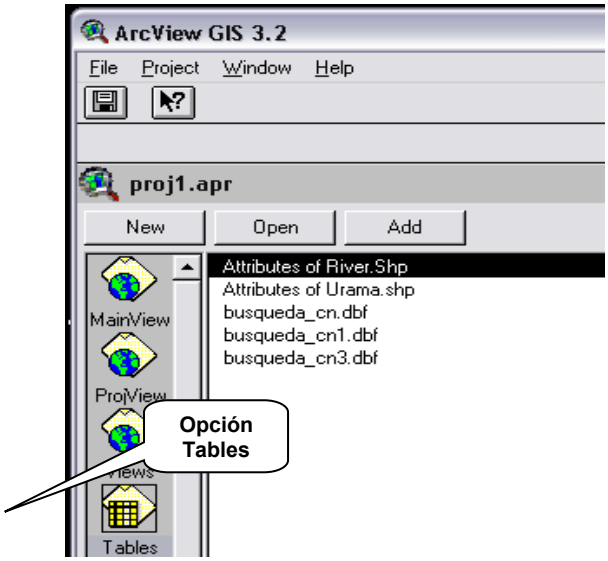
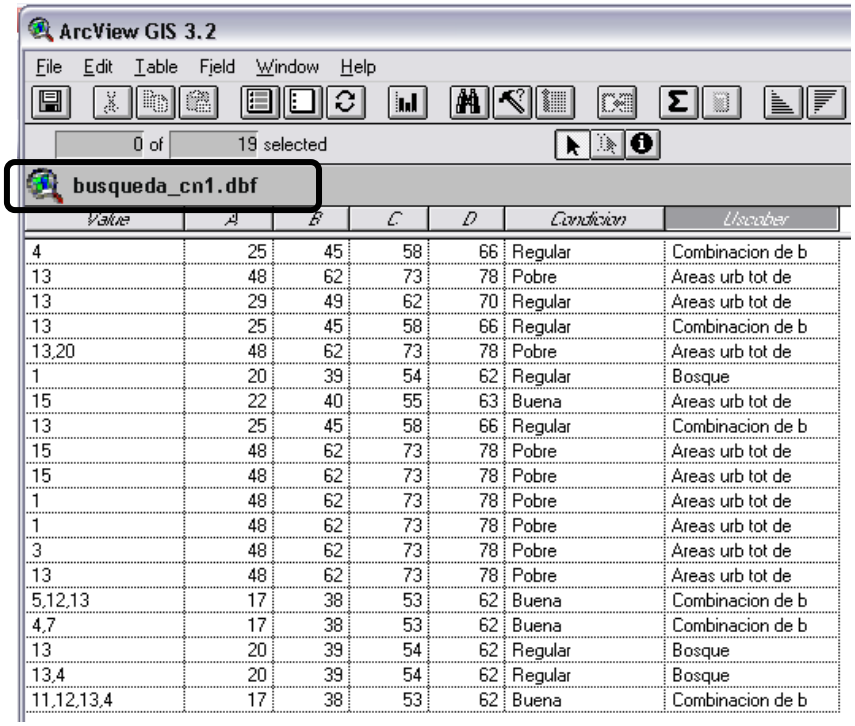


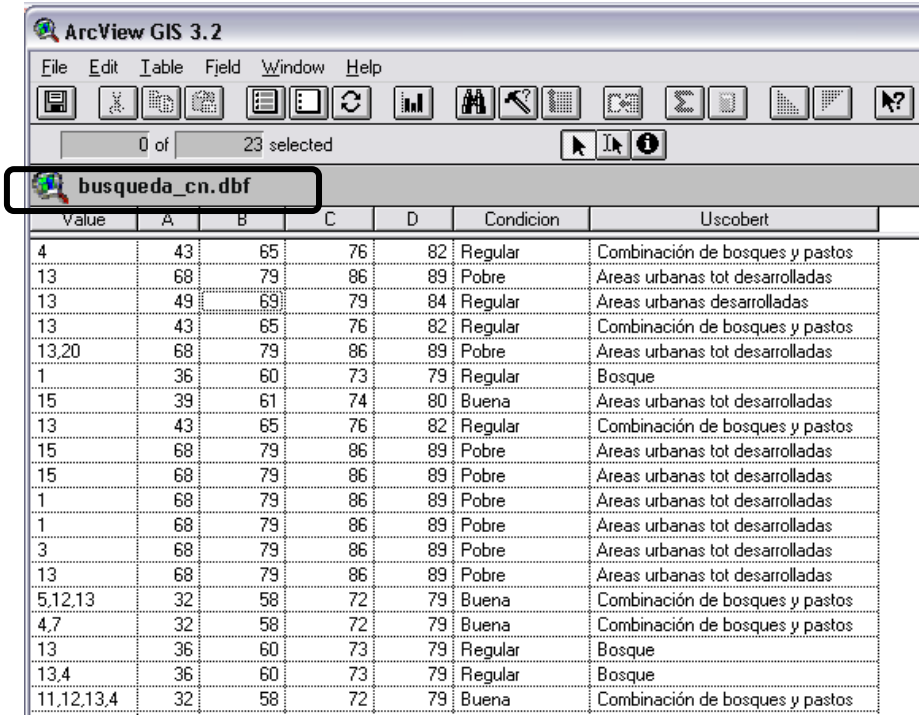
Figura 3.102 Creación de tablas de búsqueda de CN para distintas condiciones de humedad del suelo

La ventana de ArcView que genera las tablas de búsqueda para CNI, CNII y CNIII es como se muestra en la Figura 3.103, 3.104 y 3.105



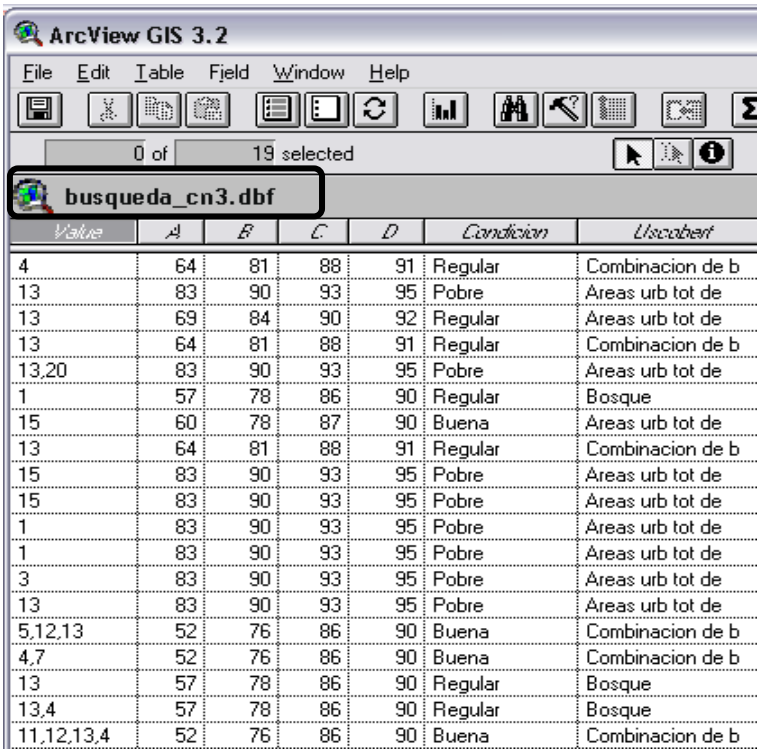
Value	A	B	C	D	Condicion	Uscober
4	25	45	58	66	Regular	Combinacion de b
13	48	62	73	78	Pobre	Areas urb tot de
13	29	49	62	70	Regular	Areas urb tot de
13	25	45	58	66	Regular	Combinacion de b
13,20	48	62	73	78	Pobre	Areas urb tot de
1	20	39	54	62	Regular	Bosque
15	22	40	55	63	Buena	Areas urb tot de
13	25	45	58	66	Regular	Combinacion de b
15	48	62	73	78	Pobre	Areas urb tot de
15	48	62	73	78	Pobre	Areas urb tot de
1	48	62	73	78	Pobre	Areas urb tot de
1	48	62	73	78	Pobre	Areas urb tot de
3	48	62	73	78	Pobre	Areas urb tot de
13	48	62	73	78	Pobre	Areas urb tot de
5,12,13	17	38	53	62	Buena	Combinacion de b
4,7	17	38	53	62	Buena	Combinacion de b
13	20	39	54	62	Regular	Bosque
13,4	20	39	54	62	Regular	Bosque
11,12,13,4	17	38	53	62	Buena	Combinacion de b

Figura 3.103 Ventana de ArcView con la tabla para CN I



Value	A	B	C	D	Condicion	Uscobert
4	43	65	76	82	Regular	Combinación de bosques y pastos
13	68	79	86	89	Pobre	Areas urbanas tot desarrolladas
13	49	69	79	84	Regular	Areas urbanas desarrolladas
13	43	65	76	82	Regular	Combinación de bosques y pastos
13,20	68	79	86	89	Pobre	Areas urbanas tot desarrolladas
1	36	60	73	79	Regular	Bosque
15	39	61	74	80	Buena	Areas urbanas tot desarrolladas
13	43	65	76	82	Regular	Combinación de bosques y pastos
15	68	79	86	89	Pobre	Areas urbanas tot desarrolladas
15	68	79	86	89	Pobre	Areas urbanas tot desarrolladas
1	68	79	86	89	Pobre	Areas urbanas tot desarrolladas
1	68	79	86	89	Pobre	Areas urbanas tot desarrolladas
3	68	79	86	89	Pobre	Areas urbanas tot desarrolladas
13	68	79	86	89	Pobre	Areas urbanas tot desarrolladas
5,12,13	32	58	72	79	Buena	Combinación de bosques y pastos
4,7	32	58	72	79	Buena	Combinación de bosques y pastos
13	36	60	73	79	Regular	Bosque
13,4	36	60	73	79	Regular	Bosque
11,12,13,4	32	58	72	79	Buena	Combinación de bosques y pastos

Figura 3.104 Ventana de ArcView con la tabla para CN II



ArcView GIS 3.2

File Edit Table Field Window Help

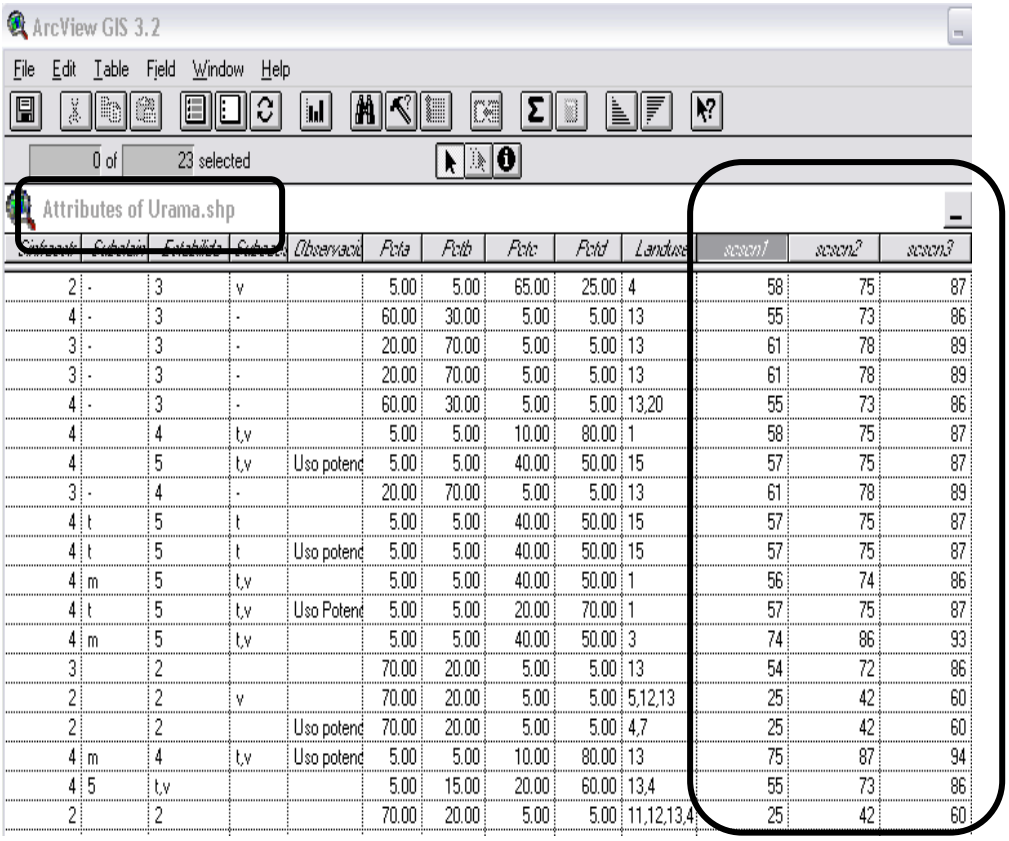
0 of 19 selected

busqueda_cn3.dbf

Value	A	B	C	D	Condicion	Uscobert
4	64	81	88	91	Regular	Combinacion de b
13	83	90	93	95	Pobre	Areas urb tot de
13	69	84	90	92	Regular	Areas urb tot de
13	64	81	88	91	Regular	Combinacion de b
13,20	83	90	93	95	Pobre	Areas urb tot de
1	57	78	86	90	Regular	Bosque
15	60	78	87	90	Buena	Areas urb tot de
13	64	81	88	91	Regular	Combinacion de b
15	83	90	93	95	Pobre	Areas urb tot de
15	83	90	93	95	Pobre	Areas urb tot de
1	83	90	93	95	Pobre	Areas urb tot de
1	83	90	93	95	Pobre	Areas urb tot de
3	83	90	93	95	Pobre	Areas urb tot de
13	83	90	93	95	Pobre	Areas urb tot de
5,12,13	52	76	86	90	Buena	Combinacion de b
4,7	52	76	86	90	Buena	Combinacion de b
13	57	78	86	90	Regular	Bosque
13,4	57	78	86	90	Regular	Bosque
11,12,13,4	52	76	86	90	Buena	Combinacion de b

Figura 3.105 Ventana de ArcView con la tabla para CN III

Una vez creadas las tablas de búsqueda de CN para diferentes condiciones de humedad del suelo, éstas se combinaron con el tema de polígonos referente al uso de la tierra/tipo de suelo mediante la aplicación de la opción **Generate CN theme** ubicado en el menú **Utility** de GeoHMS, a la combinación del tema de polígonos con el campo del número de curva se le denomina como ***tema de polígonos del número de curva***, la Figura 3.106 muestra esta combinación.



				Observaci	Pcta	Pctb	Pctc	Pctd	Landuse	scscn1	scscn2	scscn3
2	-	3	v		5.00	5.00	65.00	25.00	4	58	75	87
4	-	3	-		60.00	30.00	5.00	5.00	13	55	73	86
3	-	3	-		20.00	70.00	5.00	5.00	13	61	78	89
3	-	3	-		20.00	70.00	5.00	5.00	13	61	78	89
4	-	3	-		60.00	30.00	5.00	5.00	13,20	55	73	86
4		4	t,v		5.00	5.00	10.00	80.00	1	58	75	87
4		5	t,v	Uso potenc	5.00	5.00	40.00	50.00	15	57	75	87
3	-	4	-		20.00	70.00	5.00	5.00	13	61	78	89
4	t	5	t		5.00	5.00	40.00	50.00	15	57	75	87
4	t	5	t	Uso potenc	5.00	5.00	40.00	50.00	15	57	75	87
4	m	5	t,v		5.00	5.00	40.00	50.00	1	56	74	86
4	t	5	t,v	Uso Potenc	5.00	5.00	20.00	70.00	1	57	75	87
4	m	5	t,v		5.00	5.00	40.00	50.00	3	74	86	93
3		2			70.00	20.00	5.00	5.00	13	54	72	86
2		2	v		70.00	20.00	5.00	5.00	5,12,13	25	42	60
2		2		Uso potenc	70.00	20.00	5.00	5.00	4,7	25	42	60
4	m	4	t,v	Uso potenc	5.00	5.00	10.00	80.00	13	75	87	94
4	5	t,v			5.00	15.00	20.00	60.00	13,4	55	73	86
2		2			70.00	20.00	5.00	5.00	11,12,13,4	25	42	60

Figura 3.106 Ventana de ArcView con la tabla para CN III

Paso 4: Conversión del Tema de Polígonos del Número de Curva a un tema de Número de Curva en cuadrículas (Grid)

Para convertir el tema de polígonos del número de curva en un tema grid de número de curva se usó la herramienta estándar constituida en la Extensión **Spatial Analyst** de ArcView. Para hacer uso de esta herramienta fue preciso cambiar de la Extensión GeoHMS al menú estándar de ArcView y seleccionar la opción **Convert to Grid** bajo el menú **Theme**, esto se aprecia en la Figura 3.107

Figura 3.107 Ventana de ArcView para la selección de la opción para conversión a tema Grid

Se le asignó un nombre a cada tema grid de Número de Curva, se asignaron dimensiones a las celdas del grid a construir y se seleccionaron en cada oportunidad los campos scn1, 2 y 3 del tema Urama.shp, como se muestra en las Figuras 3.108, 3.109 y 3.110

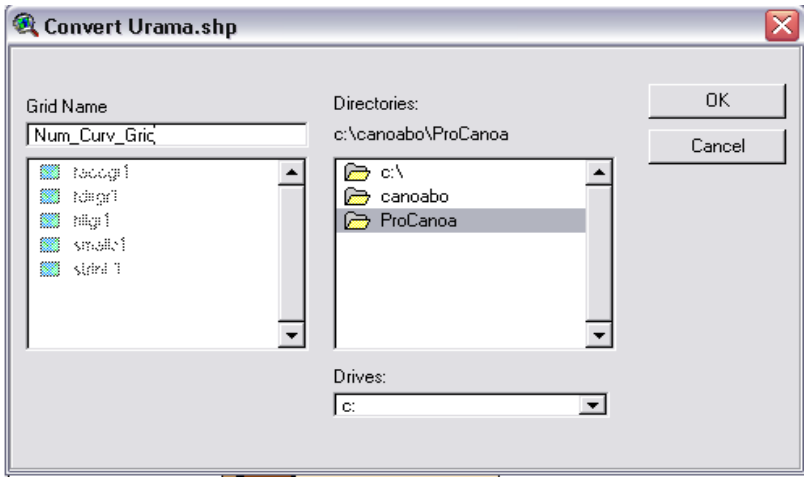


Figura 3.108 Asignación de un nombre al tema Grid

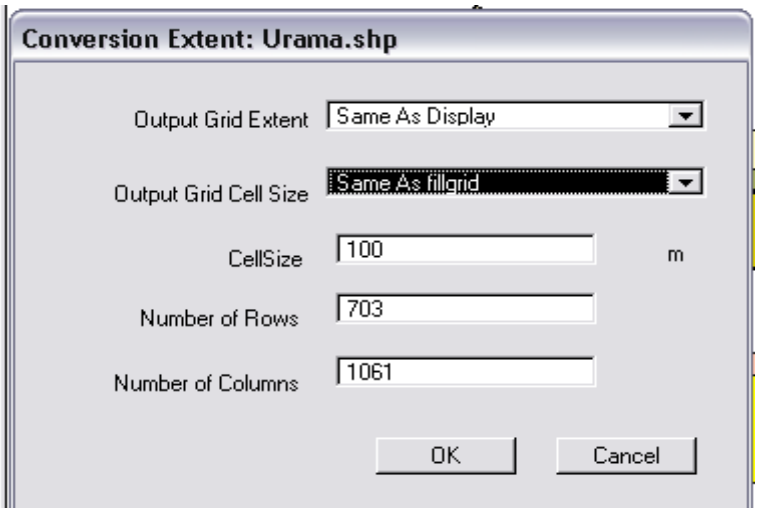


Figura 3.109 Dimensionamiento del tema Grid

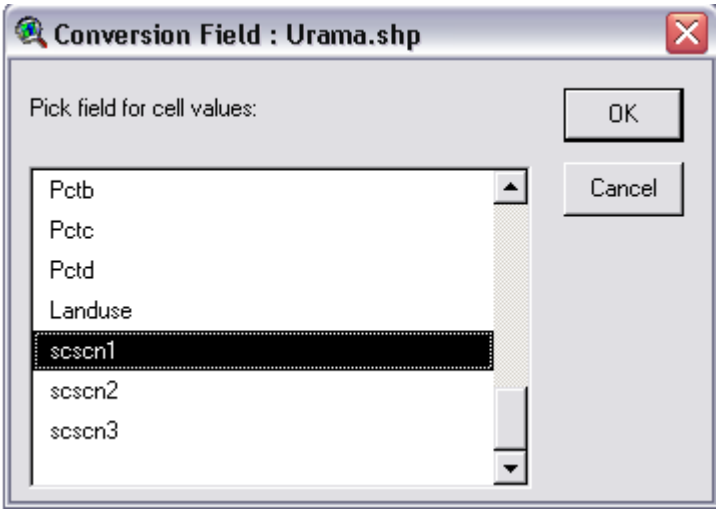


Figura 3.110 Selección del campo a convertir desde Urama.Shp

Luego se seleccionó **NO** en el cuadro que consulta la unión a las tablas del tema grid, ver Figura 3.107

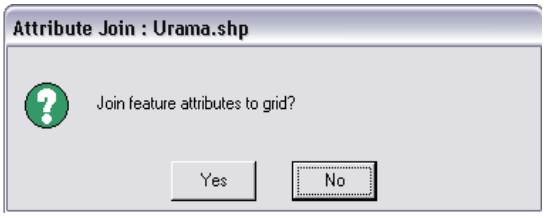


Figura 3.111 Consulta para la adición de los atributos de grid a Urama.shp

Se confirmó la inclusión del tema Grid en la Tabla de contenidos y su presentación como una vista, ver Figura 3.112

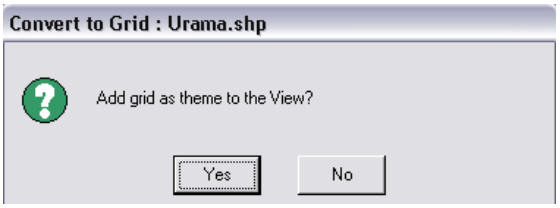


Figura 3.112 Adición del tema grid a la vista

La ventana que se muestra en la Figura 3.113 muestra la inclusión en la Tabla de contenidos de tres nuevos temas Grid correspondientes al Número de Curva.

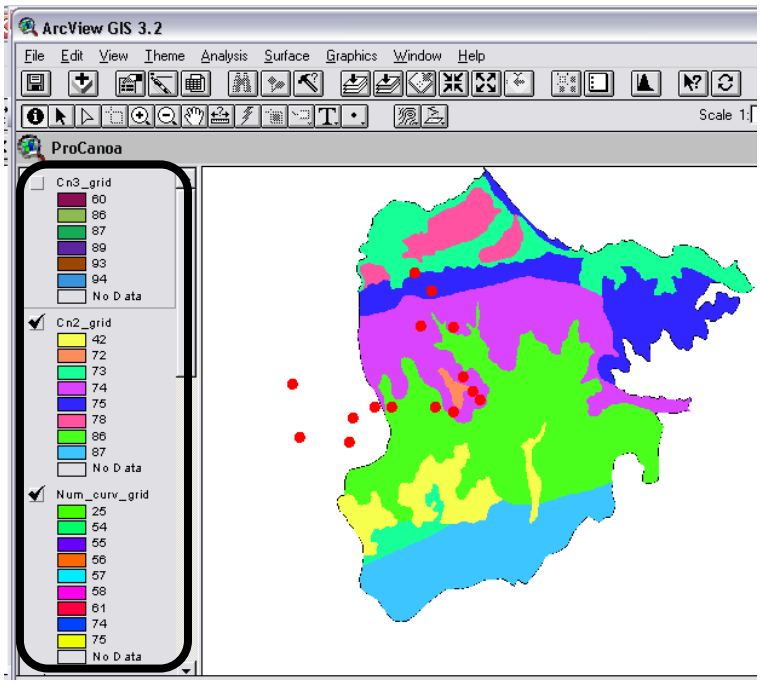


Figura 3.113 Temas grid en la Tabla de contenidos y muestra de mapas

Paso 5: Uso del tema en cuadrículas del Número de Curvas

Para usar los temas Grid generados retornamos a la Extensión GeoHMS presionando el botón Toggle View Interface . En GeoHMS, se seleccionó **Hydrologic Parameters ⇒ Subbasin Curve Number,** luego se seleccionó la subcuenca y los temas número de curva desde el menú desplegable como se muestra en la Figura 3.114

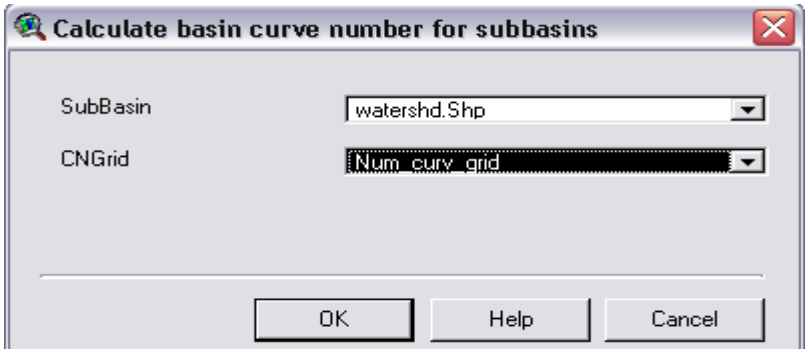
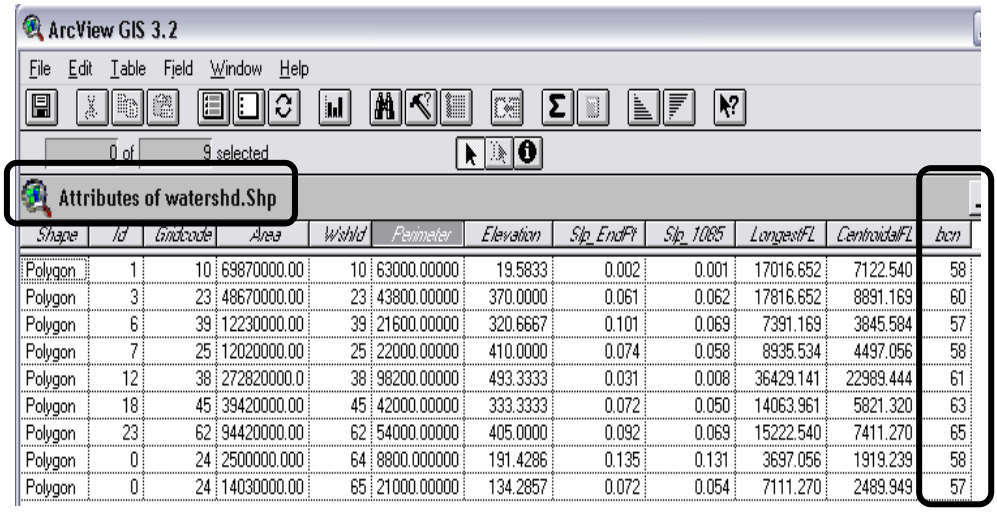


Figura 3.114 Ingreso de temas para la estimación del número de curva

El número de curva ponderado promedio para cada subcuenca se muestra en la Figura 3.115



Shape	Id	Gridcode	Area	Wshld	Perimeter	Elevation	Slp_EndPt	Slp_1085	LongestFL	CentroidalFL	bcn
Polygon	1	10	69870000.00	10	63000.00000	19.5833	0.002	0.001	17016.652	7122.540	58
Polygon	3	23	48670000.00	23	43800.00000	370.0000	0.061	0.062	17816.652	8891.169	60
Polygon	6	39	12230000.00	39	21600.00000	320.6667	0.101	0.069	7391.169	3845.584	57
Polygon	7	25	12020000.00	25	22000.00000	410.0000	0.074	0.058	8935.534	4497.056	58
Polygon	12	38	272820000.0	38	98200.00000	493.3333	0.031	0.008	36429.141	22989.444	61
Polygon	18	45	39420000.00	45	42000.00000	333.3333	0.072	0.050	14063.961	5821.320	63
Polygon	23	62	94420000.00	62	54000.00000	405.0000	0.092	0.069	15222.540	7411.270	65
Polygon	0	24	2500000.000	64	8800.000000	191.4286	0.135	0.131	3697.056	1919.239	58
Polygon	0	24	14030000.00	65	21000.00000	134.2857	0.072	0.054	7111.270	2489.949	57

Figura 3.115 Ingreso de temas para la estimación del número de curva

3.17 PROCESAMIENTO DE LAS SUBCUENCAS MEDIANTE LA CONSTRUCCIÓN DE UN GRID PARA EL MÉTODO DE MODCLARK

En esta sección se generaron los parámetros para realizar una modelación distribuida a través de un método transformado de ModClark, para ello se aplicaron los siguientes pasos; se seleccionó la opción **ModClark Processing** (procesamiento de ModClark) mediante la cual se construyó tema grid y luego **Modclark Grid CN**, para combinar el grid del número de curva para cada celda del grid ModClark.

Procesamiento del ModClark (ModClark Processing)

El uso de esta función permitió generar un tema de polígonos en celda para el construir un Grid para el método ModClark. El dimensionamiento de las celdas del Grid está en unidades del SI.

El método para crear el tema de polígonos en celdas para el grid de ModClark es el SGH (Standard Hydrologic Grid), el uso de esta función requiere; un grid para la dirección del flujo, un tema editable de subcuencas y el ingreso de un archivo de proyección.

Los pasos son los siguientes; se selecciona **Hydrologics Parameters ⇒ ModClark Processing,** luego se selecciona **SGH Method** desde el menú desplegable como se muestra en la Figura 3.116, y se presiona **OK**.

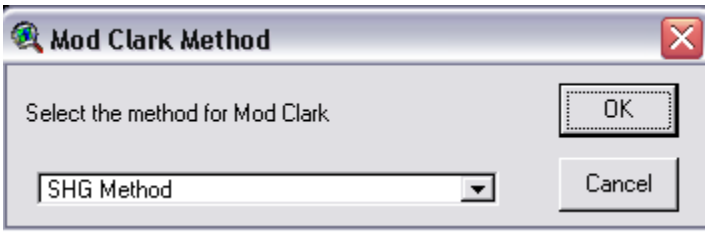


Figura 3.116 Tipos de grid para la precipitación

Para el grid SGH se usó la proyección Equal-Area de Albers como se muestra en la Figura 3.117. Pulsar **Yes**.

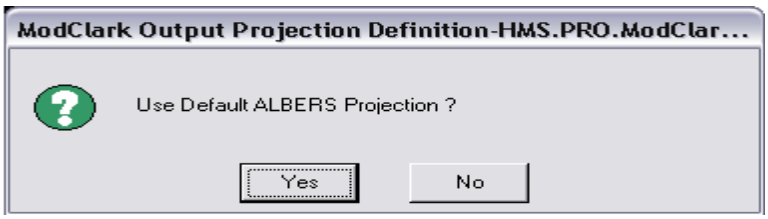


Figura 3.117 Proyección Albers predeterminada

Se seleccionó el tamaño de resolución para el tema grid SHG, **2000** metros como se muestra en la Figura 3.118. En esta resolución, cada celda en el grid tiene un área de cuatro kilómetros cuadrados, y quedan internas a las subcuencas. Entre los límites de las subcuencas, sin embargo una celda grid puede quedar incompleta. Para aceptar esta opción se presionó **OK**.

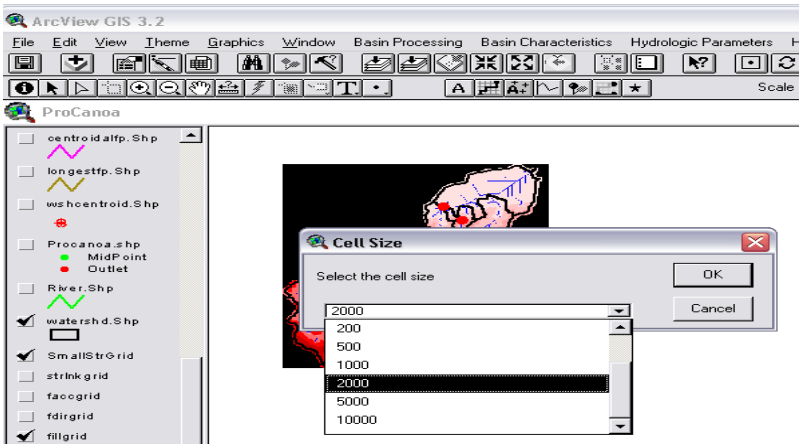


Figura 3.118 Resolución de una celda grid para SGH

Esta opción crea un archivo editable en celda de ModClark, con las longitudes de viaje y áreas del flujo, como se muestra en la Figura 3.119

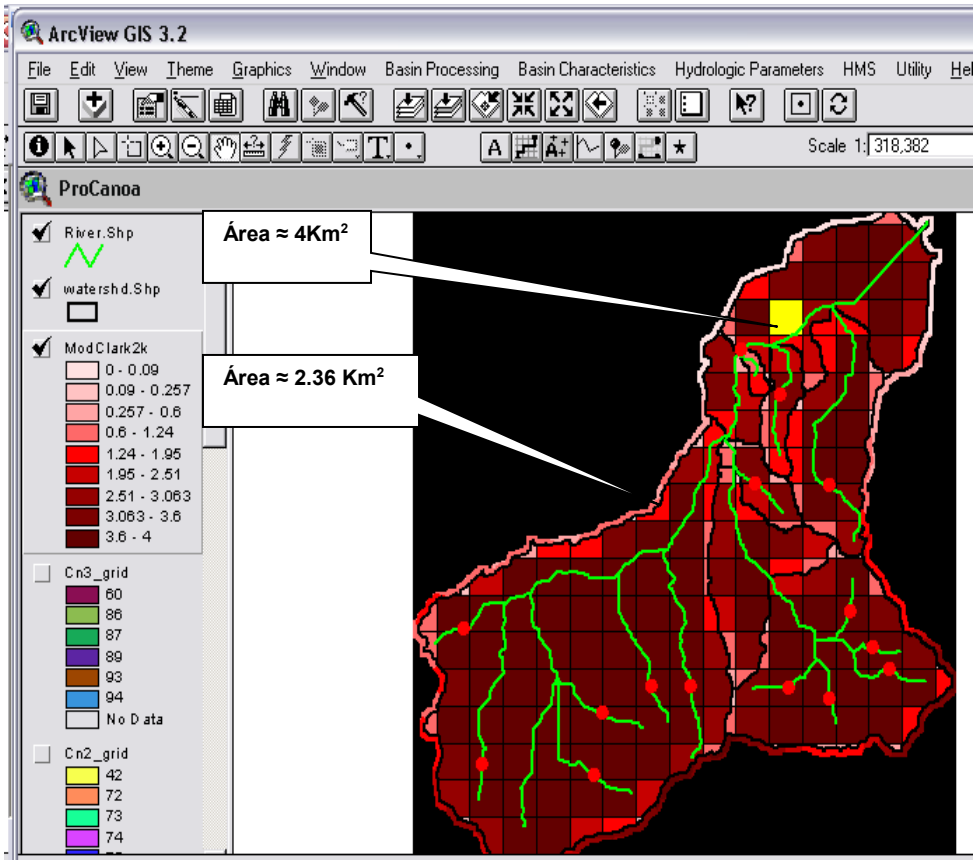


Figura 3.119 Resultado del archivo de parámetros para cada celda grid

La Tabla de atributos que se muestra en la Figura 3.120 indica los resultados de la celda seleccionada en la Figura 3.119

ArcView GIS 3.2

File Edit Table Field Window Help

1 of 243 selected

Attributes of ModClark2k

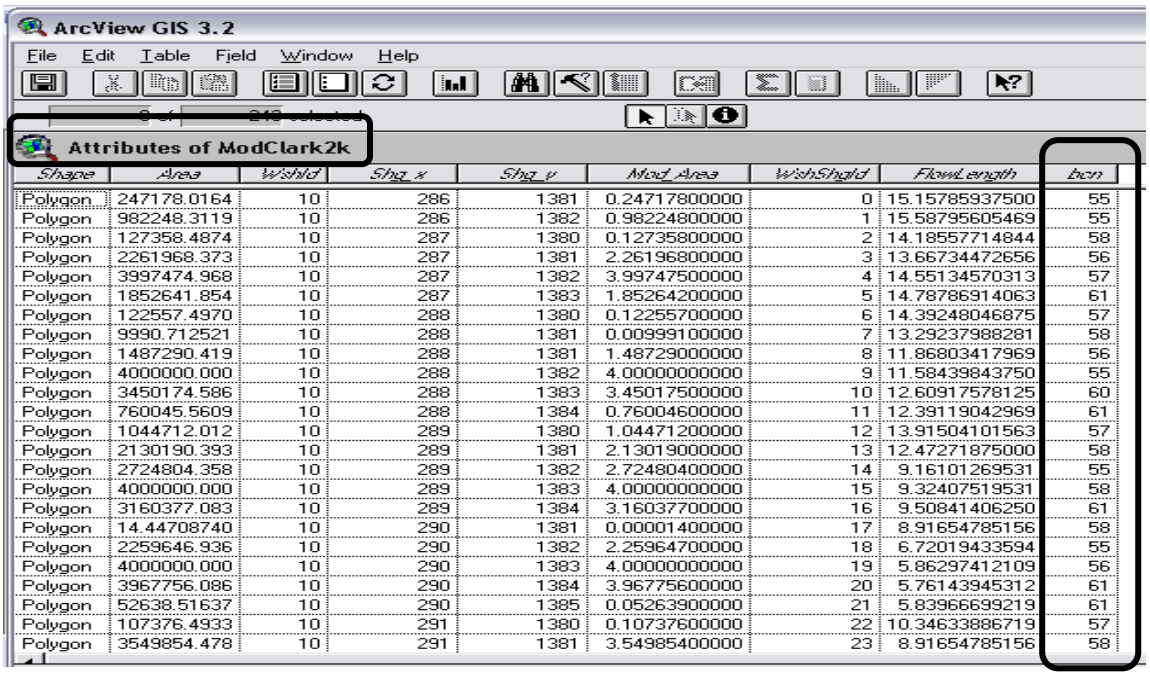
Shape	Area	WshId	Shg_x	Shg_y	Mod_Area	WshShgId	FlowLength	bcn
Polygon	247178.0164	10	286	1381	0.24717800000	0	15.15785937500	73
Polygon	982248.3119	10	286	1382	0.98224800000	1	15.58795605469	73
Polygon	127358.4874	10	287	1380	0.12735800000	2	14.18557714844	75
Polygon	2261968.373	10	287	1381	2.26196800000	3	13.66734472656	74
Polygon	3997474.968	10	287	1382	3.99747500000	4	14.55134570313	75
Polygon	1852641.854	10	287	1383	1.85264200000	5	14.78786914063	78
Polygon	122557.4970	10	288	1380	0.12255700000	6	14.39248046875	75
Polygon	9990.712521	10	288	1381	0.00999100000	7	13.29237988281	75
Polygon	1487290.419	10	288	1381	1.48729000000	8	11.86803417969	74
Polygon	4000000.000	10	288	1382	4.00000000000	9	11.58439843750	73
Polygon	3450174.586	10	288	1383	3.45017500000	10	12.60917578125	77
Polygon	760045.5609	10	288	1384	0.76004600000	11	12.39119042969	78
Polygon	1044712.012	10	289	1380	1.04471200000	12	13.91504101563	75
Polygon	2130190.393	10	289	1381	2.13019000000	13	12.47271875000	75
Polygon	2724804.358	10	289	1382	2.72480400000	14	9.16101269531	73
Polygon	4000000.000	10	289	1383	4.00000000000	15	9.32407519531	76
Polygon	3160377.083	10	289	1384	3.16037700000	16	9.50841406250	78
Polygon	14.44708740	10	290	1381	0.00001400000	17	8.91654785156	75
Polygon	2259646.936	10	290	1382	2.25964700000	18	6.72019433594	73
Polygon	4000000.000	10	290	1383	4.00000000000	19	5.86297412109	74
Polygon	3967756.086	10	290	1384	3.96775600000	20	5.76143945312	78
Polygon	52638.51637	10	290	1385	0.05263900000	21	5.83966699219	78
Polygon	107376.4933	10	291	1380	0.10737600000	22	10.34633886719	75
Polygon	3549854.478	10	291	1381	3.54985400000	23	8.91654785156	75

Figura 3.120 Tabla de atributos del tema de polígonos de celdas del grid ModClark

Superposición del tema grid ModClark con el número de curva (ModClark Grid CN)

Con esta función se calculó un número de curva promedio para celda en el grid ModClark. Se guardaran las estadísticas del número de curva en el archivo Cnstat.dbf almacenado en el directorio del proyecto. Para dicha generación se requerirá las siguientes entradas: tema de polígonos en celda del grid ModClark y el grid del Número de Curva.

La Figura 3.121 muestra la superposición de los valores del número de curva (bcn) para cada celda en el grid ModClark



ArcView GIS 3.2

File Edit Table Field Window Help

Attributes of ModClark2k

Shape	Area	WshId	Shg_x	Shg_y	Mod_Area	WshShgId	FlowLength	bcn
Polygon	247178.0164	10	286	1381	0.24717800000	0	15.15785937500	55
Polygon	982248.3119	10	286	1382	0.98224800000	1	15.58795605469	55
Polygon	127358.4874	10	287	1380	0.12735800000	2	14.18557714844	58
Polygon	2261968.373	10	287	1381	2.26196800000	3	13.66734472656	56
Polygon	3997474.968	10	287	1382	3.99747500000	4	14.55134570313	57
Polygon	1852641.854	10	287	1383	1.85264200000	5	14.78786914063	61
Polygon	122557.4970	10	288	1380	0.12255700000	6	14.39248046875	57
Polygon	9990.712521	10	288	1381	0.00999100000	7	13.29237988281	58
Polygon	1487290.419	10	288	1381	1.48729000000	8	11.86803417969	56
Polygon	4000000.000	10	288	1382	4.00000000000	9	11.58439843750	55
Polygon	3450174.586	10	288	1383	3.45017500000	10	12.60917578125	60
Polygon	760045.5609	10	288	1384	0.76004600000	11	12.39119042969	61
Polygon	1044712.012	10	289	1380	1.04471200000	12	13.91504101563	57
Polygon	2130190.393	10	289	1381	2.13019000000	13	12.47271875000	58
Polygon	2724804.358	10	289	1382	2.72480400000	14	9.16101269531	55
Polygon	4000000.000	10	289	1383	4.00000000000	15	9.32407519531	58
Polygon	3160377.083	10	289	1384	3.16037700000	16	9.50841406250	61
Polygon	14.44708740	10	290	1381	0.00001400000	17	8.91654785156	58
Polygon	2259646.936	10	290	1382	2.25964700000	18	6.72019433594	55
Polygon	4000000.000	10	290	1383	4.00000000000	19	5.86297412109	56
Polygon	3967756.086	10	290	1384	3.96775600000	20	5.76143945312	61
Polygon	52638.51637	10	290	1385	0.05263900000	21	5.83966699219	61
Polygon	107376.4933	10	291	1380	0.10737600000	22	10.34633886719	57
Polygon	3549854.478	10	291	1381	3.54985400000	23	8.91654785156	58

Figura 3.121 Combinación del Grid CN con las celdas del grid ModClark

3.18 PARÁMETROS PARA MUSKINGUM -CUNGE

Esta función permitió ingresar los parámetros para el tránsito por el método de Muskingum-Cunge para el río con canal con forma prismática. Para confirmar la forma del canal se hizo uso de fotos y datos del levantamiento topográfico. Esta información sirvió de base para especificar las dimensiones del canal, forma y otros parámetros.

Los pasos para el ingreso de estos parámetros consistieron en la selección de cada uno de los segmentos de los ríos de la cuenca, como se muestra en la Figura 3.122

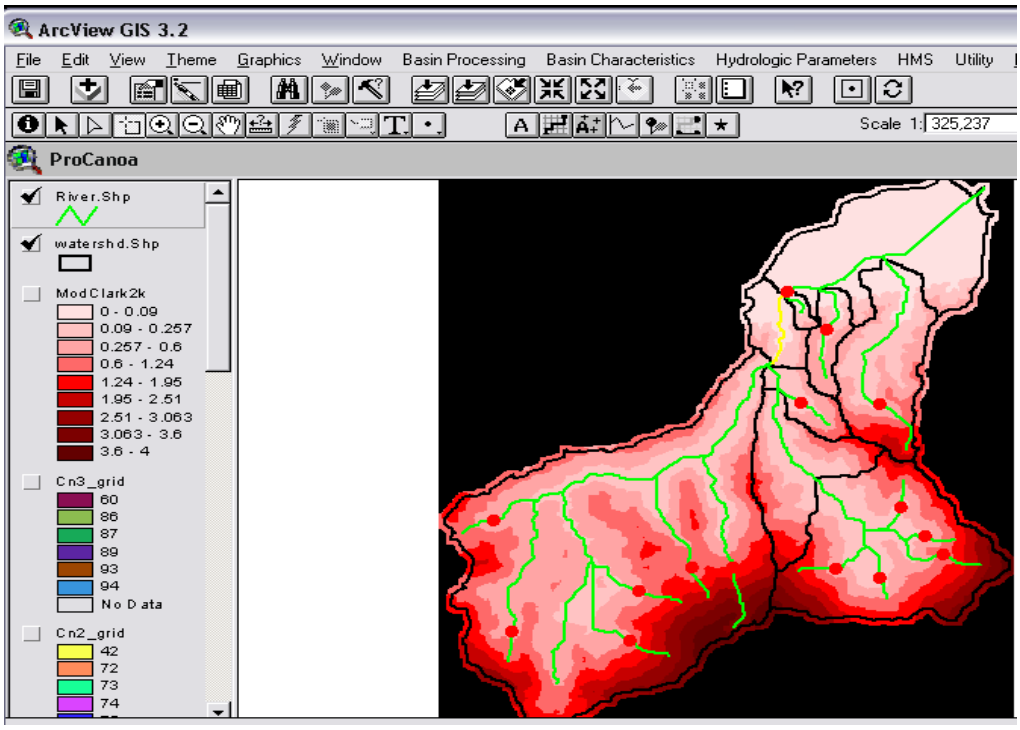


Figura 3.122 Selección del tramo de río Urama para el método de Muskingum-Cunge

Se selecciona **Hydrologic Parameters ⇒ Muskingum-Cunge Parameters.** Luego se ingresó el ancho inferior del canal, pendientes laterales del canal y coeficiente de rugosidad de Manning, como se muestra en la Figura 3.123.

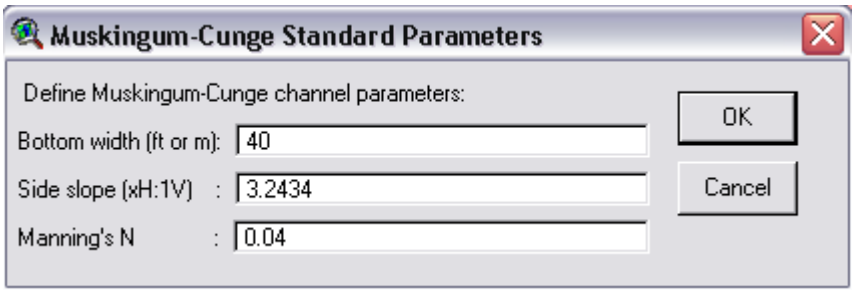
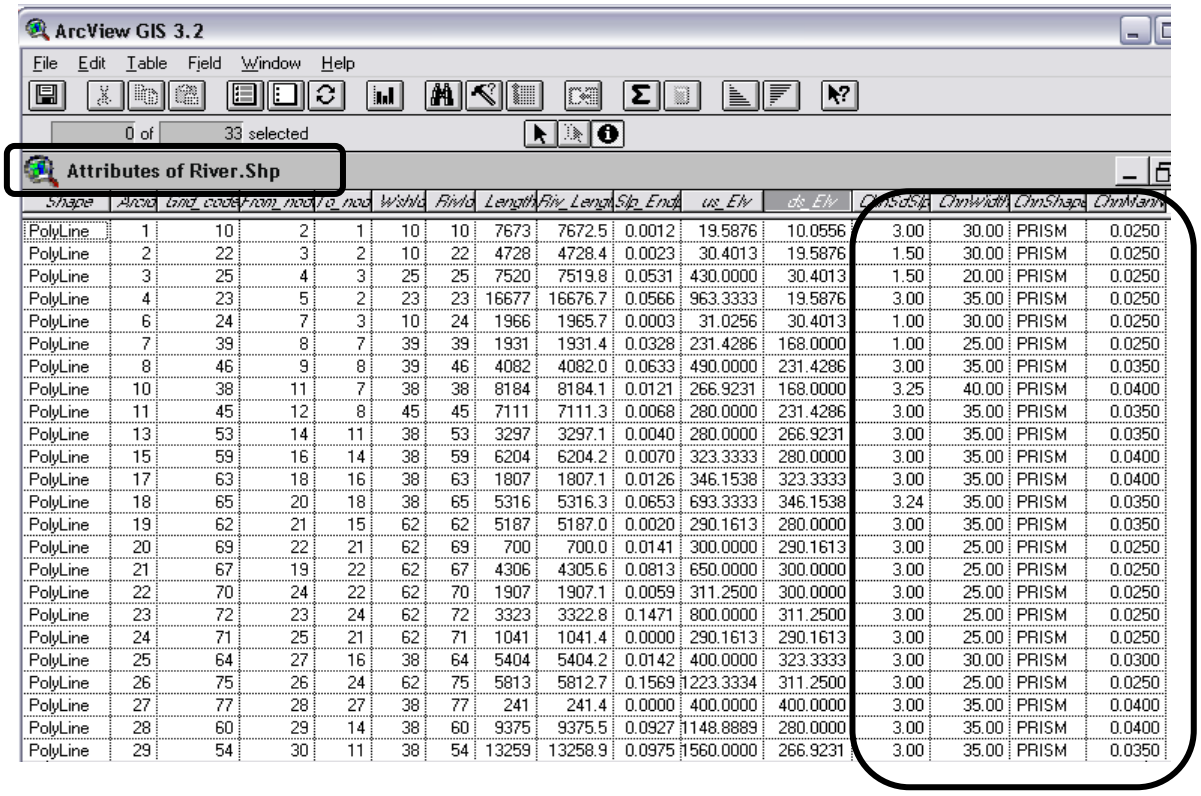


Figura 3.123 Ingreso de los parámetros estándar del Método de Muskingum-Cunge

Esta función crea o superpone los siguientes campos en el tema editable del Río como se muestra en la Figura 3.120:

- ChnSdSlp: pendiente lateral del canal
- ChnWith: ancho del canal
- ChnShape: forma del canal
- ChnManN: número de Manning del canal



ArcView GIS 3.2

File Edit Table Field Window Help

0 of 33 selected

Attributes of River.Shp

Shape	Area	Grid_code	From_node	To_node	WshId	RivId	Length	Riv_Length	Slp_End	us_Elv	ds_Elv	ChnSdSlp	ChnWidth	ChnShape	ChnManN
PolyLine	1	10	2	1	10	10	7673	7672.5	0.0012	19.5876	10.0556	3.00	30.00	PRISM	0.0250
PolyLine	2	22	3	2	10	22	4728	4728.4	0.0023	30.4013	19.5876	1.50	30.00	PRISM	0.0250
PolyLine	3	25	4	3	25	25	7520	7519.8	0.0531	430.0000	30.4013	1.50	20.00	PRISM	0.0250
PolyLine	4	23	5	2	23	23	16677	16676.7	0.0566	963.3333	19.5876	3.00	35.00	PRISM	0.0250
PolyLine	6	24	7	3	10	24	1966	1965.7	0.0003	31.0256	30.4013	1.00	30.00	PRISM	0.0250
PolyLine	7	39	8	7	39	39	1931	1931.4	0.0328	231.4286	168.0000	1.00	25.00	PRISM	0.0250
PolyLine	8	46	9	8	39	46	4082	4082.0	0.0633	490.0000	231.4286	3.00	35.00	PRISM	0.0350
PolyLine	10	38	11	7	38	38	8184	8184.1	0.0121	266.9231	168.0000	3.25	40.00	PRISM	0.0400
PolyLine	11	45	12	8	45	45	7111	7111.3	0.0068	280.0000	231.4286	3.00	35.00	PRISM	0.0350
PolyLine	13	53	14	11	38	53	3297	3297.1	0.0040	280.0000	266.9231	3.00	35.00	PRISM	0.0350
PolyLine	15	59	16	14	38	59	6204	6204.2	0.0070	323.3333	280.0000	3.00	35.00	PRISM	0.0400
PolyLine	17	63	18	16	38	63	1807	1807.1	0.0126	346.1538	323.3333	3.00	35.00	PRISM	0.0400
PolyLine	18	65	20	18	38	65	5316	5316.3	0.0653	693.3333	346.1538	3.24	35.00	PRISM	0.0350
PolyLine	19	62	21	15	62	62	5187	5187.0	0.0020	290.1613	280.0000	3.00	35.00	PRISM	0.0350
PolyLine	20	69	22	21	62	69	700	700.0	0.0141	300.0000	290.1613	3.00	25.00	PRISM	0.0250
PolyLine	21	67	19	22	62	67	4306	4305.6	0.0813	650.0000	300.0000	3.00	25.00	PRISM	0.0250
PolyLine	22	70	24	22	62	70	1907	1907.1	0.0059	311.2500	300.0000	3.00	25.00	PRISM	0.0250
PolyLine	23	72	23	24	62	72	3323	3322.8	0.1471	800.0000	311.2500	3.00	25.00	PRISM	0.0250
PolyLine	24	71	25	21	62	71	1041	1041.4	0.0000	290.1613	290.1613	3.00	25.00	PRISM	0.0250
PolyLine	25	64	27	16	38	64	5404	5404.2	0.0142	400.0000	323.3333	3.00	30.00	PRISM	0.0300
PolyLine	26	75	26	24	62	75	5813	5812.7	0.1569	1223.3334	311.2500	3.00	25.00	PRISM	0.0250
PolyLine	27	77	28	27	38	77	241	241.4	0.0000	400.0000	400.0000	3.00	35.00	PRISM	0.0400
PolyLine	28	60	29	14	38	60	9375	9375.5	0.0927	1148.8889	280.0000	3.00	35.00	PRISM	0.0400
PolyLine	29	54	30	11	38	54	13259	13258.9	0.0975	1560.0000	266.9231	3.00	35.00	PRISM	0.0350

Figura 3.124 Parámetros estándar del Método de Muskingum-Cunge

3.19 ESTIMACIÓN DEL TIEMPO DE CONCENTRACIÓN

3.19.1 Precipitación de dos años de período de retorno (Rainfall Two – Year)

En este aspecto, debido a que no se cuenta con datos de radar con los cuales se hubiese construido un grid de intensidad de precipitación, por lo tanto, los pasos que se siguieron fueron; seleccionar **Hydrologic Parameters ⇒ Rainfall 2 Yr**, a partir del cual se despliega el cuadro que se muestra en la Figura 3.121 y presionar **Cancel.**

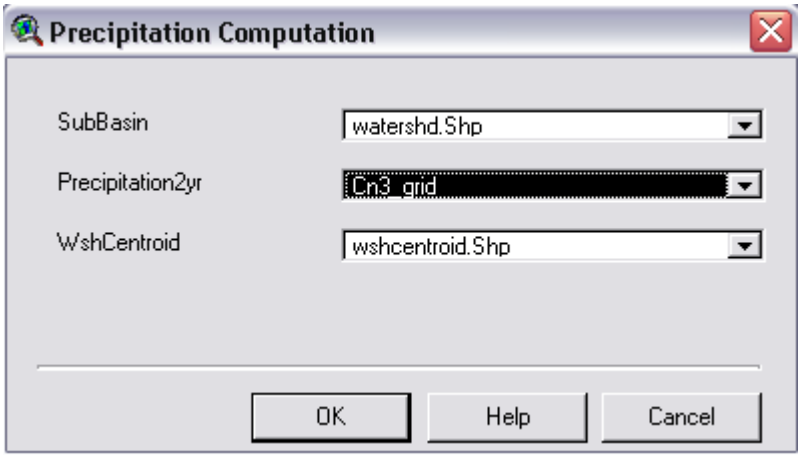
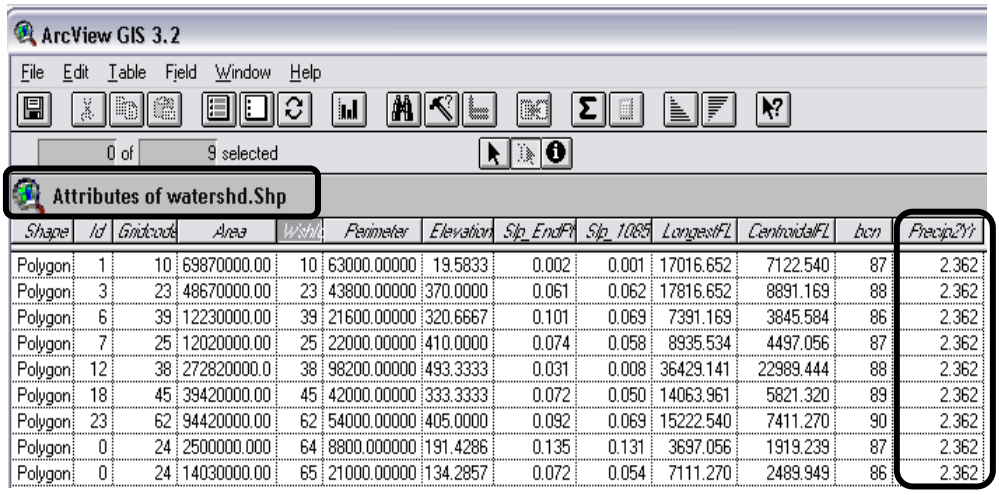


Figura 3.125 Cálculo de la intensidad de precipitación

La función creó el campo “Precip2Yr” en la tabla de atributos de la cuenca, watershed.shp, con lo cual se ingresó manualmente los datos correspondientes a la intensidad de lluvia de 2 años de período de retorno y 24 horas de duración, la lluvia se introduce en pulgadas, esto para ser consistente con las ecuaciones para el cálculo del tiempo de viaje, la Figura 3.126 muestra la inclusión de este campo en la tabla de atributos.



ArcView GIS 3.2

File Edit Table Field Window Help

0 of 9 selected

Attributes of watershd.Shp

Shape	Id	Gridcode	Area	Wshd	Perimeter	Elevation	Slp_EndPt	Slp_1085	LongestFL	CentroidalFL	bcn	Precip2Yr
Polygon	1	10	69870000.00	10	63000.00000	19.5833	0.002	0.001	17016.652	7122.540	87	2.362
Polygon	3	23	48670000.00	23	43800.00000	370.0000	0.061	0.062	17816.652	8891.169	88	2.362
Polygon	6	39	12230000.00	39	21600.00000	320.6667	0.101	0.069	7391.169	3845.584	86	2.362
Polygon	7	25	12020000.00	25	22000.00000	410.0000	0.074	0.058	8935.534	4497.056	87	2.362
Polygon	12	38	272820000.0	38	98200.00000	493.3333	0.031	0.008	36429.141	22989.444	88	2.362
Polygon	18	45	39420000.00	45	42000.00000	333.3333	0.072	0.050	14063.961	5821.320	89	2.362
Polygon	23	62	94420000.00	62	54000.00000	405.0000	0.092	0.069	15222.540	7411.270	90	2.362
Polygon	0	24	2500000.000	64	8800.000000	191.4286	0.135	0.131	3697.056	1919.239	87	2.362
Polygon	0	24	14030000.00	65	21000.00000	134.2857	0.072	0.054	7111.270	2489.949	86	2.362

Figura 3.126 Resultado del ingreso de la intensidad de precipitación

3.19.2 Segmentación de corrientes para el método TR55 (TR55 Flow Path Segments)

Con esta función se creó un tema de puntos que muestra el régimen de flujo para el tributario más largo para el cálculo del tiempo de concentración, de acuerdo con la metodología TR55 del Servicio de Conservación de Suelos. Esta función sitúa dos puntos entre el tributario más largo para cada subcuenca. Los pasos para aplicar esta función, consisten en; seleccionar **Hydrologic Parameters** ⇒ **TR55 Flow Path Segments** y luego seleccionar el archivo editable de la subcuenca, **WaterShd.Shp**; para el campo de **TR55Channel** el programa usa por defecto la longitud al centroide**; centroidalfp.Shp;** el archivo editable de la longitud de flujo más larga, **longestfp.Shp;** y la acumulación del flujo; **faccgrid**, como se muestra en la Figura 3.127.

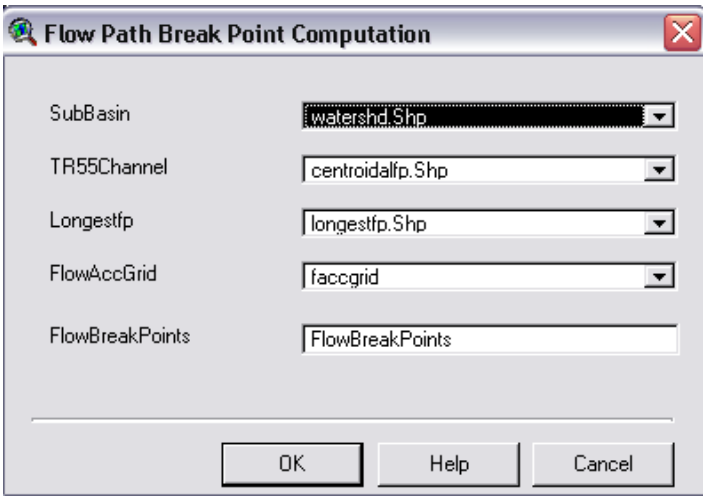


Figura 3.127 Resultado del ingreso de la intensidad de precipitación

La función crea el tema de puntos para la trancisión del flujo, como se muestra en la Figura 3.128. Este tema contiene los siguientes campos:

- Name: Indica si el punto es un punto AA o BB
- WshID: Identificador de la subcuenca

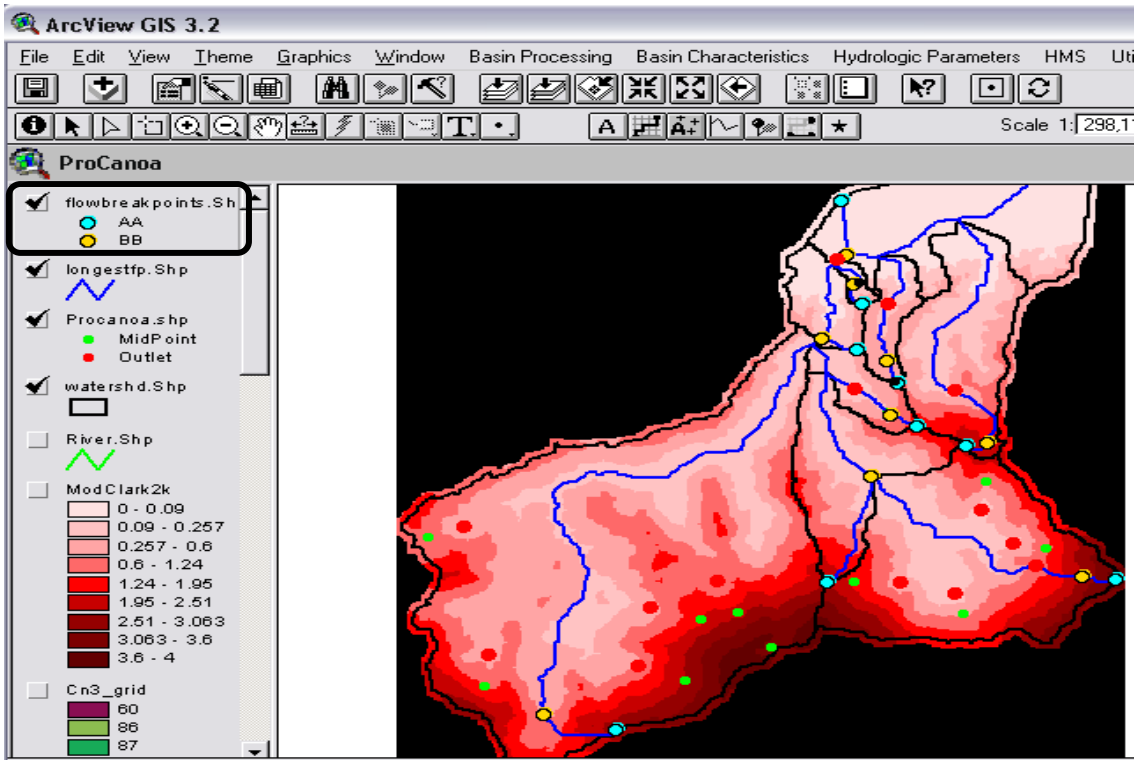


Figura 3.128 Resultado del cálculo de los puntos de trancisión del régimen de flujo

En la Figura 3.128, el primer punto AA (círculo azul), marca la trancisión entre el flujo laminar y el turbulento. El punto AA, por defecto se localiza a 91 metros de la divisoria de la cuenca a lo largo del cauce más largo. El segundo punto, BB (círculo amarillo), marca la trancisión entre el flujo turbulento y el flujo en el canal. El punto BB, se localiza por defecto en el primer sitio donde se encuentran el cauce más largo con el canal.

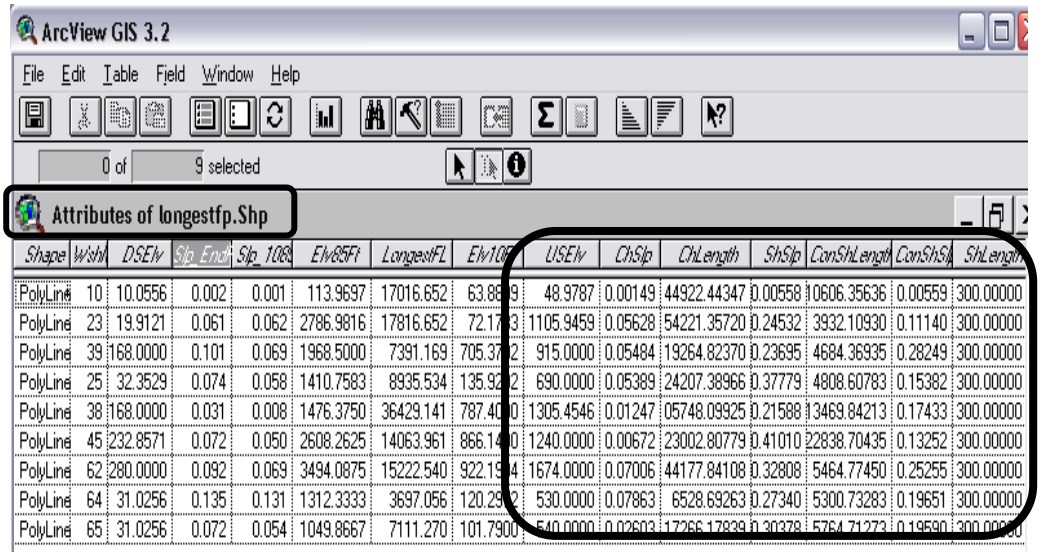
3.19.2 Parámetros para los segmentos de corrientes TR55 (TR55 flow segment parameters)

Con esta función se calculó la longitud y pendientes para los tributarios TR55 para cada subcuenca, para ello se determinan las elevaciones de los puntos de inicio y final de los segmentos de los tributarios más largos y entre los puntos AA y BB. Las longitudes consideradas son las medidas sobre el tributario más largo entre los cuatro puntos de interés.

La función creó o superpuso los siguientes campos en el tema del tributario más largo como se muestra en la Figura 3.129:

- **ChSlp:** pendiente de los segmentos de flujo TR55 (ft/ft) entre el punto BB y el extremo del canal
- **ChLength:** longitud de los tributarios TR55 entre el punto BB y la salida de la subcuenca
- **ShSlp**: pendiente del tramo de tributario para flujo turbulento (ft/ft)entre el punto más remoto y el punto AA (flujo sobre el terreno)

- **ConShLength:** Longitud del segmento de flujo turbulento (entre el punto AA y BB) (ft)
- **ConShSlp:** pendiente en el segmento de flujo turbulento entre los puntos AA y BB
- **ShLength:** longitud del flujo turbulento (flujo sobre el terreno) entre el inicio del flujo en el tributario más largo y el flujo en el punto AA. (ft)



Shape	Wsh	DSElv	Slp_End	Slp_108	Elv85Ft	LongestFL	Elv10	USElv	ChSlp	ChLength	ShSlp	ConShLength	ConShSl	ShLength
PolyLine	10	10.0556	0.002	0.001	113.9697	17016.652	63.88	48.9787	0.00149	44922.44347	0.00558	10606.35636	0.00559	300.00000
PolyLine	23	19.9121	0.061	0.062	2786.9816	17816.652	72.17	1105.9459	0.05628	54221.35720	0.24532	3932.10930	0.11140	300.00000
PolyLine	39	168.0000	0.101	0.069	1968.5000	7391.169	705.37	915.0000	0.05484	19264.82370	0.23695	4684.36935	0.28249	300.00000
PolyLine	25	32.3529	0.074	0.058	1410.7583	8935.534	135.92	690.0000	0.05389	24207.38966	0.37779	4808.60783	0.15382	300.00000
PolyLine	38	168.0000	0.031	0.008	1476.3750	36429.141	787.40	1305.4546	0.01247	05748.09925	0.21588	13469.84213	0.17433	300.00000
PolyLine	45	232.8571	0.072	0.050	2608.2625	14063.961	866.14	1240.0000	0.00672	23002.80779	0.41010	22838.70435	0.13252	300.00000
PolyLine	62	280.0000	0.092	0.069	3494.0875	15222.540	922.19	1674.0000	0.07006	44177.84108	0.32808	5464.77450	0.25255	300.00000
PolyLine	64	31.0256	0.135	0.131	1312.3333	3697.056	120.29	530.0000	0.07863	6528.69263	0.27340	5300.73283	0.19651	300.00000
PolyLine	65	31.0256	0.072	0.054	1049.8667	7111.270	101.7900	540.0000	0.02603	17266.17839	0.30379	5764.71273	0.19590	300.00000

Figura 3.129 Resultado de los parámetros de segmentación de corrientes

3.19.3 Exportación de los datos correspondientes al método TR55 (Export TR55 Data)

Con esta función se exportaron los datos referentes a los segmentos de corrientes para el método TR55 hacia el espacio de trabajo en Microsoft Excel. Esta función se aplicó a todas las subcuencas.

En la hoja de cálculo de Excel como se muestra en la Figura 3.130, las áreas azules contienen los datos que se traen desde GeoHMS, las áreas en

verde contienen los datos que se ingresaron manualmente, las áreas en blanco y amarillo contienen los valores calculados. La hoja de cálculo de Excel se almacenó automáticamente en el directorio de proyecto. El nombre del archivo completo y su ruta de acceso se muestran en la celda B28 o la denominada **“Stored Workbook”.** El nombre del archivo se concatena con el prefijo “Tt” con la fecha y hora en la cual fue creado.

En la Figura 3.130, los valores en las áreas verdes que se ingresaron, se justifican de la siguiente manera; con respecto a las Características para el Flujo Laminar **(Sheet Flow Characteristics)**; el campo para el coeficiente de rugosidad de Manning (**Manning’s Rougness Coefficient**) para el flujo laminar sobre el terreno fue rellenado con base en una combinación de la información aportada por; el Apéndice I para valores de N para flujo sobre el terreno y de la cobertura vegetal de la zona de estudio, la cual se dedujo del plano ubicado en el Apéndice I para cada una de las subcuencas identificadas bajo la denominación **Watreshed ID** referenciadas desde GeoHMS.

La información para las características del flujo turbulento **(Shallow Concentrated Flow Characteristics),** en relación al campo para la descripción de la superficie **(Surface Description)**, se seleccionó la opción 1 (sin pavimento) para las subcuencas 10, 25, 39, 25, 38, 45, 62 y 64; y se seleccionó la opción 2 (pavimentada) para la subcuenca 65, ya que en ella se encuentra el centro poblado de Urama.

Finalmente, para las características del flujo en canales **(Channel Flow Characteristics);** los campos; área de flujo de la sección transversal y perímetro húmedo **(Cross-sectional Flow Area y Wetted Perimeter)**; éstos valores pueden variar dependiendo del período de retorno de la creciente que se esté estudiando; en este caso se usó la información extraída de las tablas del apéndice J, obtenidas mediante; el MDT y las crecientes para 100 años de período de retorno, detalles adicionales serán suministrados con HEC-HMS. El coeficiente de rugosidad de Manning para flujo en canales consultado se indica en el Apéndice K.

Microsoft Excel - Tt_0102_1053

Archivo Edición Ver Insertar Formato Herramientas Datos Ventana ?

TR55 Export

F34C11

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Worksheet for computation of time of travel according to TR-55 methodology									
2	Blue - GIS defined, Green - user specified, White and yellow - calculated, Red - final result									
3	Watershed ID	10	23	39	25	38	45	62	64	65
4	Sheet Flow Characteristics									
5	Manning's Roughness Coefficient	0.4	0.6	0.8	0.4	0.8	0.8	0.8	0.25	0.06
6	Flow Length (ft)	300	300	300	300	300	300	300	300	300
7	Two-Year 24-hour Rainfall (in)	2.362	2.362	2.362	2.362	2.362	2.362	2.362	2.362	2.362
8	Land Slope (ft/ft)	0.0056	0.2453	0.23695	0.3778	0.2159	0.41	0.32808	0.2734	0.30378
9	Sheet Flow Tt (hr)	1.67	0.51	0.65	0.31	0.67	0.52	0.57	0.24	0.07
10	Shallow Concentrated Flow Characteristics									
11	Surface Description (1 - unpaved, 2 - paved)	1	1	1	1	1	1	1	1	2
12	Flow Length (ft)	10606	3932	4684	4809	13470	22839	5465	5301	5765
13	Watercourse Slope (ft/ft)	0.0056	0.1114	0.28249	0.1538	0.1743	0.133	0.25255	0.1965	0.1959
14	Average Velocity - computed (ft/s)	1.21	5.39	8.58	6.33	6.74	5.87	8.11	7.15	9.00
15	Shallow Concentrated Flow Tt (hr)	2.44	0.20	0.15	0.21	0.56	1.08	0.19	0.21	0.18
16	Channel Flow Characterisitics									
17	Cross-sectional Flow Area (ft2)	3342	3342	1345	3342	1359	1420	1420	20488	20488
18	Wetted Perimeter (ft)	1470	1470	177	1470	179	185.6	185.6	1920	1920
19	Hydraulic Radius - computed (ft)	2.27	2.27	7.60	2.27	7.59	7.65	7.65	10.67	10.67
20	Channel Slope (ft/ft)	0.0015	0.0563	0.05484	0.0539	0.0125	0.007	0.07006	0.0786	0.02603
21	Manning's Roughness Coefficient	0.03	0.035	0.04	0.03	0.04	0.04	0.04	0.03	0.03
22	Average Velocity - computed (ft/s)	3.31	17.46	33.72	19.9	16.07	11.86	38.28	67.50	38.84
23	Flow Length (ft)	44922	54221	19265	24207	5748	23003	44178	6529	17266
24	Channel Flow Tt (hr)	3.76	0.86	0.16	0.34	0.10	0.54	0.32	0.03	0.12
25	Watershed Time of travel (hr)	7.88	1.57	0.96	0.86	1.33	2.14	1.08	0.47	0.38
26	nWsh	9								
27	AVSession	Arcview1053								
28	Stored workbook	C:\Canoabo\ProCanoa\Tt_0102_1053								
29	$AVHOME directory	C:\esri\AV_GIS30\Arcview\etc								
30										

Tc

Figura 3.130 Resultado del cálculo del tiempo de viaje TR55

- Una vez que el tiempo viaje en cada subcuenca fue estimado, se presionó el botón

, para transferir el tiempo de viaje de regreso a GeoHMS. En GeoHMS; la función creó o superpuso los siguientes campos en el tema de la subcuenca como se muestra en la Figura 3.131:
- BasinLag: tiempo de retardo (horas), calculado como $0.6T_c$
- LagMethod: Método usado para el cálculo del tiempo de retardo.
- T_c: tiempo de concentración de la cuenca (horas)

ArcView GIS 3.2

File Edit Table Field Window Help

0 of 9 selected

Attributes of watershd.Shp

Perimeter	Elevation	Slp_EndPt	Slp_Total	LongestFL	CentroidalFL	bcn	Precip2Yr	Tc	BasinSlp	BasinLag	LagMethod
63000.00000	19.5833	0.002	0.001	17016.652	7122.540	87	2.362	7.878500	5.87	2.584	CNLag
43800.00000	370.0000	0.061	0.062	17816.652	8891.169	88	2.362	1.574400	23.84	1.281	CNLag
21600.00000	320.6667	0.101	0.069	7391.169	3845.584	86	2.362	0.960200	24.65	0.671	CNLag
22000.00000	410.0000	0.074	0.058	8935.534	4497.056	87	2.362	0.858100	22.17	0.794	CNLag
98200.00000	493.3333	0.031	0.008	36429.141	22989.444	88	2.362	1.329200	21.55	2.388	CNLag
42000.00000	333.3333	0.072	0.050	14063.961	5821.320	89	2.362	2.140800	24.14	1.013	CNLag
54000.00000	405.0000	0.092	0.069	15222.540	7411.270	90	2.362	1.078200	23.36	1.054	CNLag
8800.000000	191.4286	0.135	0.131	3697.056	1919.239	87	2.362	0.474700	23.42	0.381	CNLag
21000.00000	134.2857	0.072	0.054	7111.270	2489.949	86	2.362	0.375500	23.82	0.662	CNLag

Figura 3.131 Resultado del cálculo del tiempo de viaje TR55

3.20 TIEMPO DE RETARDO DE LA CUENCA (BASIN LAG TIME)

En esta sección, el tiempo de retardo de la subcuenca se estimó en dos procesos; el primer paso se llevó a cabo para estimar la pendiente de las

subcuencas. En el segundo paso, el tiempo de retardo de las subcuencas se estimó usando el método descrito en el NRCS National Engineering Handbook, 1972.

3.20.1 Pendiente de la cuenca (Basin Slope)

Con esta función se calculó la pendiente promedio de la cuenca, la cual se usó como una entrada para el calculo del tiempo de retardo (CN lag time). La función se aplicó a todas las subcuencas. Las pendientes promedio de las subcuencas se determinaron mediante la generación de un grid de pendientes. Debido a que el grid de pendientes no existía, GeoHMS hizo uso del operador para determinación de pendientes del módulo **Spatial Analyst de ArcView (ESRI),** para confirmación el programa efectúa la consulta como se muestra en la Figura 3.132

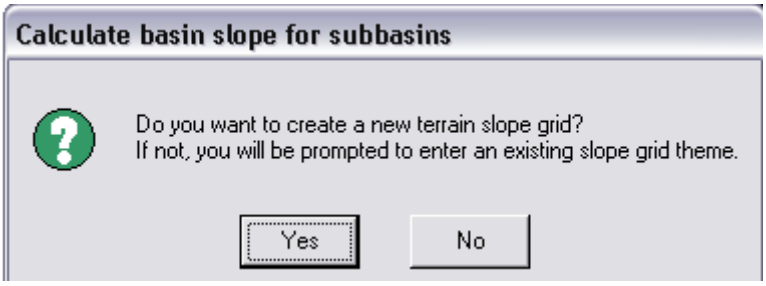


Figura 3.132 Creación del tema grid de pendientes

Los pasos son los siguientes; se selecciona **Hydrologic Parameters** ⇒ **Basin Slope**; luego se selecciona el grid del terreno como se muestra en la Figura 3.133

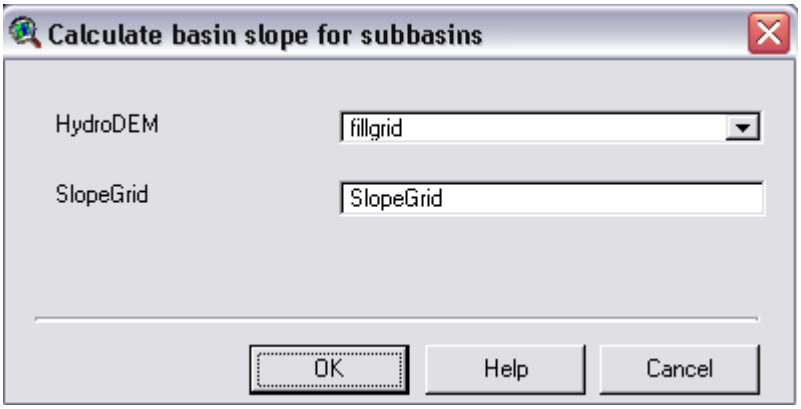


Figura 3.133 Selección del tema grid de pendientes

El grid de pendientes creado es como se muestra en la Figura 3.134 y a la vez se crean y superponen los campos en el tema de subcuencas como se muestra en la Figura 3.135

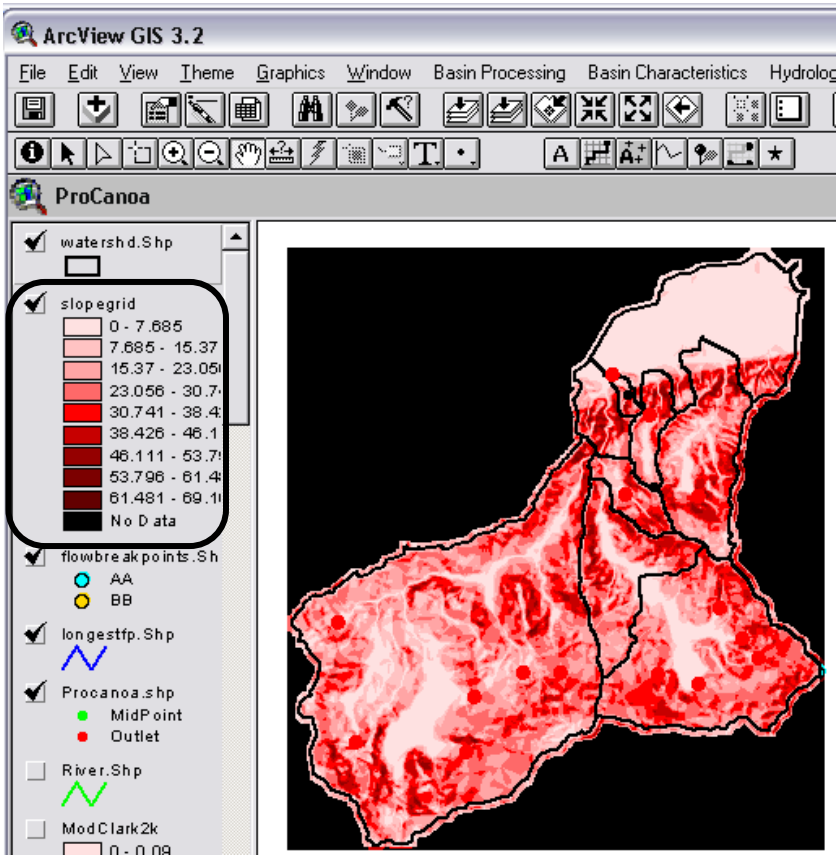
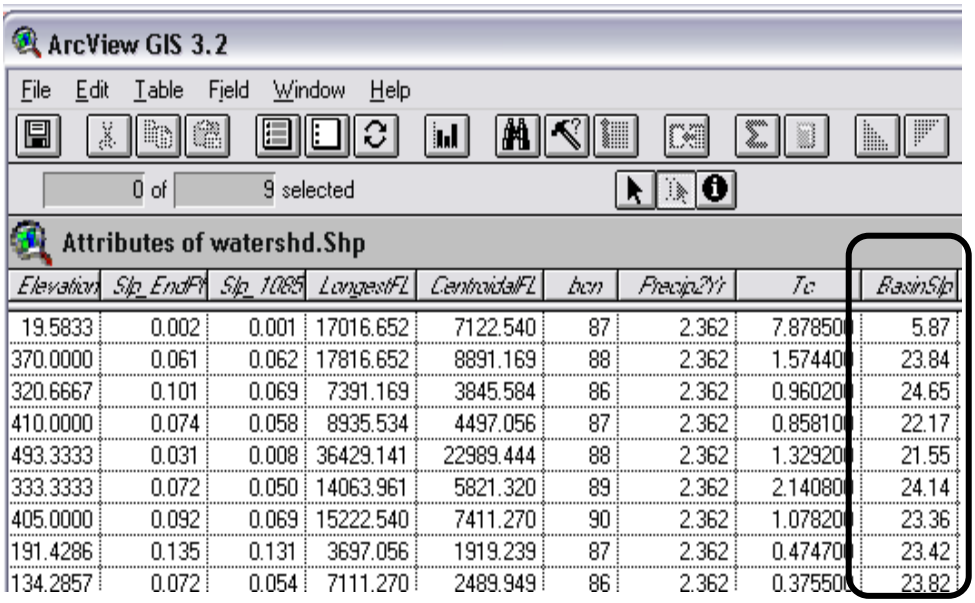


Figura 3.134 Grid de pendientes de las subcuencas del área de estudio



ArcView GIS 3.2

File Edit Table Field Window Help

0 of 9 selected

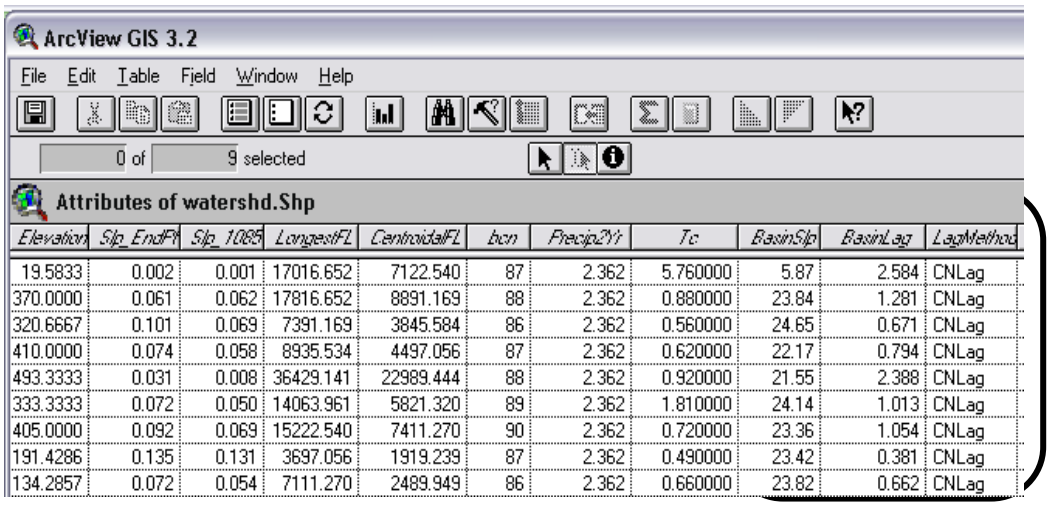
Attributes of watershd.Shp

Elevation	Slp_EndPt	Slp_1085	LongestFL	CentroidalFL	bcn	Precip2Yr	Tc	BasinSlp
19.5833	0.002	0.001	17016.652	7122.540	87	2.362	7.878500	5.87
370.0000	0.061	0.062	17816.652	8891.169	88	2.362	1.574400	23.84
320.6667	0.101	0.069	7391.169	3845.584	86	2.362	0.960200	24.65
410.0000	0.074	0.058	8935.534	4497.056	87	2.362	0.858100	22.17
493.3333	0.031	0.008	36429.141	22989.444	88	2.362	1.329200	21.55
333.3333	0.072	0.050	14063.961	5821.320	89	2.362	2.140800	24.14
405.0000	0.092	0.069	15222.540	7411.270	90	2.362	1.078200	23.36
191.4286	0.135	0.131	3697.056	1919.239	87	2.362	0.474700	23.42
134.2857	0.072	0.054	7111.270	2489.949	86	2.362	0.375500	23.82

Figura 3.135 Resultado del cálculo de las pendientes de las subcuencas

3.20.2 Método del CN – Lag

Con esta función se calculó el tiempo de retardo de la cuenca basado en el número de curva descrito en el NRSCS National Engineering Handbook, 1972. Este método se desarrolló para cuencas menores a 2000 acres. La función se aplicó sobre todas las subcuencas por cumplir con la condición anterior. La función crea o superpone los siguientes campos que se muestran en la Figura 3.136:



ArcView GIS 3.2

File Edit Table Field Window Help

0 of 9 selected

Attributes of watershd.Shp

Elevation	Slp_EndPt	Slp_1085	LongestFL	CentroidalFL	bcn	Precip2Yr	Tc	BasinSlp	BasinLag	LagMethod
19.5833	0.002	0.001	17016.652	7122.540	87	2.362	5.760000	5.87	2.584	CNLag
370.0000	0.061	0.062	17816.652	8891.169	88	2.362	0.880000	23.84	1.281	CNLag
320.6667	0.101	0.069	7391.169	3845.584	86	2.362	0.560000	24.65	0.671	CNLag
410.0000	0.074	0.058	8935.534	4497.056	87	2.362	0.620000	22.17	0.794	CNLag
493.3333	0.031	0.008	36429.141	22989.444	88	2.362	0.920000	21.55	2.388	CNLag
333.3333	0.072	0.050	14063.961	5821.320	89	2.362	1.810000	24.14	1.013	CNLag
405.0000	0.092	0.069	15222.540	7411.270	90	2.362	0.720000	23.36	1.054	CNLag
191.4286	0.135	0.131	3697.056	1919.239	87	2.362	0.490000	23.42	0.381	CNLag
134.2857	0.072	0.054	7111.270	2489.949	86	2.362	0.660000	23.82	0.662	CNLag

Figura 3.136 Resultado del cálculo del retardo con base en el Número de Curva

3.21 PRECIPITACIÓN DE DISEÑO PARA LAS SUBCUENCAS

Con esta función se desarrolla el método de ponderación de mediciones especificadas por el usuario **(User-Specified Gage Weigths Method),** en la sección de Componente Meteorológico de HMS. El valor queda definido por la cantidad de lluvia en el grid ubicado en el centroide de la subcuenca. No hay conversión de unidades, de modo que serán utilizadas las unidades del grid. Las unidades para el modelo meteorológico se fijan en el archivo de texto "HMSMetDesign.txt" en "Unit". Si las unidades están en milímetros se debe escoger "SI".

La aplicación de esta función requiere la entrada de los siguientes tres temas; tema de subcuencas, grid de intensidad de precipitación y tema del centroide.

Como en este caso no se cuenta con un grid de precipitación, entonces fue preciso presionar el botón Cancel, como se muestra en la Figura 3.137. La función creó los campos para la intensidad de precipitación, y estos fueron introducidos manualmente para cada subcuenca mediante el campo de edición **"DesignRain".** Los datos introducidos aquí corresponden a la intensidad de lluvia para un período de retorno de 100 años y 24 horas de lluvia, estos datos fueron extraídos de las curvas IDF del Apéndice K.

Los pasos para aplicar esta opción son; se seleccionó **Hydrologic Parameters** ⇒ **Desing Rainfall**, luego se seleccionó los temas,

WaterShd.Shp, Precip2Yr, wshcentroid.Shp, como se muestra en la Figura 3.137

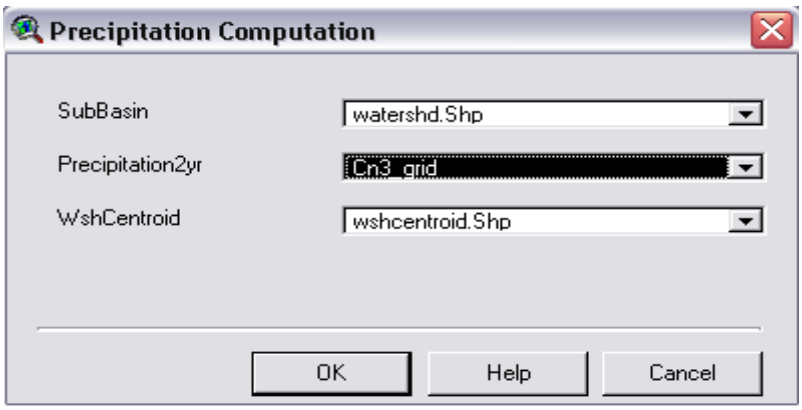
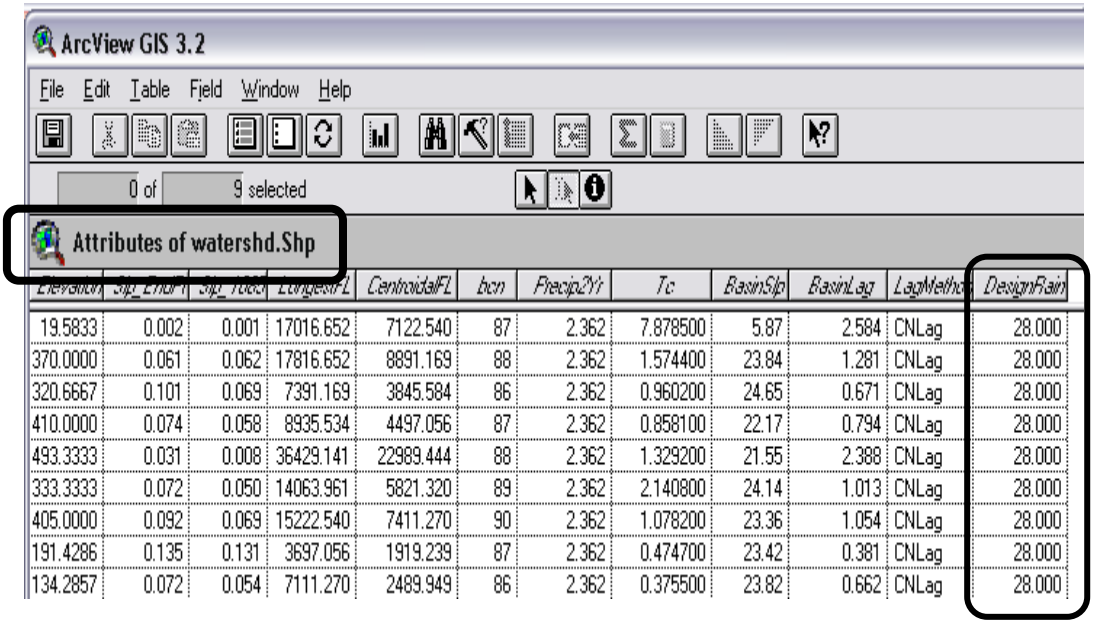


Figura 3.137 Cálculo de la precipitación de diseño

La función creó un campo en el tema de subcuencas como se muestra en la Figura 3.138



Elevation	Slp_Enter1	Slp_Total	LongestFL	CentroidalFL	bcn	Precip2Yr	Tc	BasinSlp	BasinLag	LagMethod	DesignRain
19.5833	0.002	0.001	17016.652	7122.540	87	2.362	7.878500	5.87	2.584	CNLag	28.000
370.0000	0.061	0.062	17816.652	8891.169	88	2.362	1.574400	23.84	1.281	CNLag	28.000
320.6667	0.101	0.069	7391.169	3845.584	86	2.362	0.960200	24.65	0.671	CNLag	28.000
410.0000	0.074	0.058	8935.534	4497.056	87	2.362	0.858100	22.17	0.794	CNLag	28.000
493.3333	0.031	0.008	36429.141	22989.444	88	2.362	1.329200	21.55	2.388	CNLag	28.000
333.3333	0.072	0.050	14063.961	5821.320	89	2.362	2.140800	24.14	1.013	CNLag	28.000
405.0000	0.092	0.069	15222.540	7411.270	90	2.362	1.078200	23.36	1.054	CNLag	28.000
191.4286	0.135	0.131	3697.056	1919.239	87	2.362	0.474700	23.42	0.381	CNLag	28.000
134.2857	0.072	0.054	7111.270	2489.949	86	2.362	0.375500	23.82	0.662	CNLag	28.000

Figura 3.138 Lluvia de Diseño

3.22 SISTEMAS DE MODELACIÓN HIDROLÓGICA (HMS)

Con HEC-GeoHMS, en esta sección se desarrollaron una cantidad de entradas para HEC-HMS: un archivo de soporte de mapas; un archivo de modelo ponderado distribuido de la cuenca; un archivo de parámetros para cada en el grid; y un archivo de modelo esquemático distribuido de la cuenca. La secuencia de pasos en GeoHMS para crear estos archivos involucró el nombramiento automático de tramos y subcuencas, la verificación de fallas en la conexión de cuencas y corrientes; y la generación de un modelo esquemático. Los datos de los parámetros hidrológicos constituyen las entradas para el menú HMS.

En esta sección se presentará una discusión de las herramientas para la generación de los archivos de importación para HEC-HMS que se usaron desde la Interfaz Gráfica con el Usuario **ProjView** bajo el menú **HMS,** las cuales se muestran en la Figura 3.139

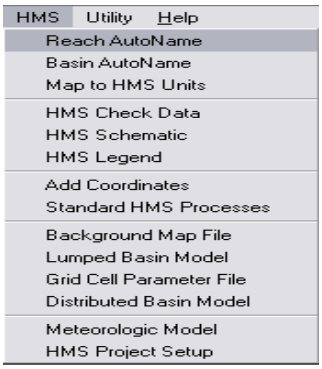


Figura 3.139 Menú HMS desde HEC-GeoHMS

3.23 AUTONOMBRAMIENTO DE TRAMOS (REACH AUTONAME)

Este proceso asignó nombres a los tramos desde aguas arriba hasta aguas abajo. La convención para el nombramiento combina la letra “R” y un número, los tramos aguas arriba inician con R100 y luego, R220, R250, etc. En este estudio para lograr una mejor identificación se sustituyeron los nombres por defecto con los nombres correspondientes a la zona de estudio según los indican las cartas 1:25.000 ubicadas en el Apéndice B. Los pasos para aplicar esta opción implicaron; seleccionar **HMS⇒Reach AutoName** como se muestra en la Figura 3.140. A continuación se presionó **OK** en el cuadro de confirmación

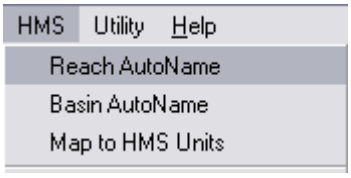
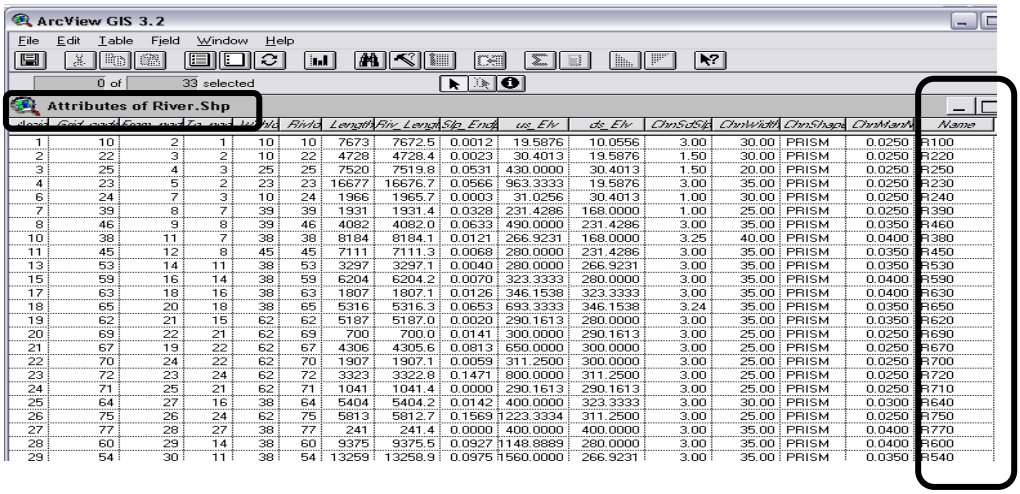


Figura 3.140 Selección del Item Reach AutoName

La operación **Reach AutoName** creó la columna **“Name”** en la tabla de atributos de corrientes como se muestra en la Figura 3.141



1	10	2	1	10	10	7673	7672.5	0.0012	19.5876	10.0556	3.00	30.00	PRISM	0.0250	R100
2	22	3	2	10	22	4728	4728.4	0.0023	30.4013	19.5876	1.50	30.00	PRISM	0.0250	R220
3	25	4	3	25	25	7520	7519.8	0.0531	430.0000	30.4013	1.50	20.00	PRISM	0.0250	R250
4	23	5	2	23	23	16677	16676.7	0.0566	963.3333	19.5876	3.00	35.00	PRISM	0.0250	R230
6	24	7	3	10	24	1966	1965.7	0.0003	31.0256	30.4013	1.00	30.00	PRISM	0.0250	R240
7	39	8	7	39	39	1931	1931.4	0.0328	231.4286	168.0000	1.00	25.00	PRISM	0.0250	R390
8	46	9	8	39	46	4082	4082.0	0.0633	490.0000	231.4286	3.00	35.00	PRISM	0.0350	R460
10	38	11	7	38	38	8184	8184.1	0.0121	266.9231	168.0000	3.25	40.00	PRISM	0.0400	R380
11	45	12	8	45	45	7111	7111.3	0.0068	280.0000	231.4286	3.00	35.00	PRISM	0.0350	R450
13	53	14	11	38	53	3297	3297.1	0.0040	280.0000	266.9231	3.00	35.00	PRISM	0.0350	R530
15	59	16	14	38	59	6204	6204.2	0.0070	323.3333	280.0000	3.00	35.00	PRISM	0.0400	R590
17	63	18	16	38	63	1807	1807.1	0.0126	346.1538	323.3333	3.00	35.00	PRISM	0.0400	R630
18	65	20	18	38	65	5316	5316.3	0.0653	693.3333	346.1538	3.24	35.00	PRISM	0.0350	R650
19	62	21	15	62	62	5187	5187.0	0.0020	290.1613	280.0000	3.00	35.00	PRISM	0.0350	R620
20	69	22	21	62	69	700	700.0	0.0141	300.0000	290.1613	3.00	25.00	PRISM	0.0250	R690
21	67	19	22	62	67	4306	4305.6	0.0813	650.0000	300.0000	3.00	25.00	PRISM	0.0250	R670
22	70	24	22	62	70	1907	1907.1	0.0059	311.2500	300.0000	3.00	25.00	PRISM	0.0250	R700
23	72	23	24	62	72	3323	3322.8	0.1471	800.0000	311.2500	3.00	25.00	PRISM	0.0250	R720
24	71	25	21	62	71	1041	1041.4	0.0000	290.1613	290.1613	3.00	25.00	PRISM	0.0250	R710
25	64	27	16	38	64	5404	5404.2	0.0142	400.0000	323.3333	3.00	30.00	PRISM	0.0300	R640
26	75	26	24	62	75	5813	5812.7	0.1569	1223.3334	311.2500	3.00	25.00	PRISM	0.0250	R750
27	77	28	27	38	77	241	241.4	0.0000	400.0000	400.0000	3.00	35.00	PRISM	0.0400	R770
28	60	29	14	38	60	9375	9375.5	0.0927	1148.8889	280.0000	3.00	35.00	PRISM	0.0400	R600
29	54	30	11	38	54	13259	13258.9	0.0975	1560.0000	266.9231	3.00	35.00	PRISM	0.0350	R540

Figura 3.141 Resultados de Reach AutoName

Los siguientes pasos fueron utilizados para editar la tabla de atributos

- Se abrió y activó la tabla de atributos de **"River.Shp"**
- Se seleccionó **Table⇒Start Editing** como se muestra en la Figura 3.142

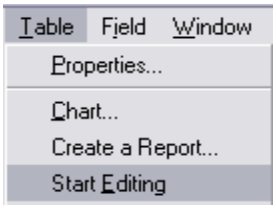


Figura 3.142 Edición del nombre del tramo

- Se seleccionó la herramienta
- Se presionó sobre el campo **Name,** se ingresó el nuevo nombre y se revisó
- Cuando la revisión se finalizó, se presionó **Table⇒Stop Editing** como se muestra en la Figura 3.143
- A la consulta **Save Edit?** Se presionó **Yes** para guardar los cambios

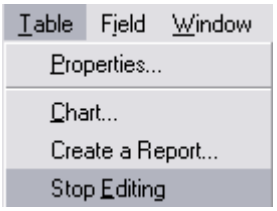
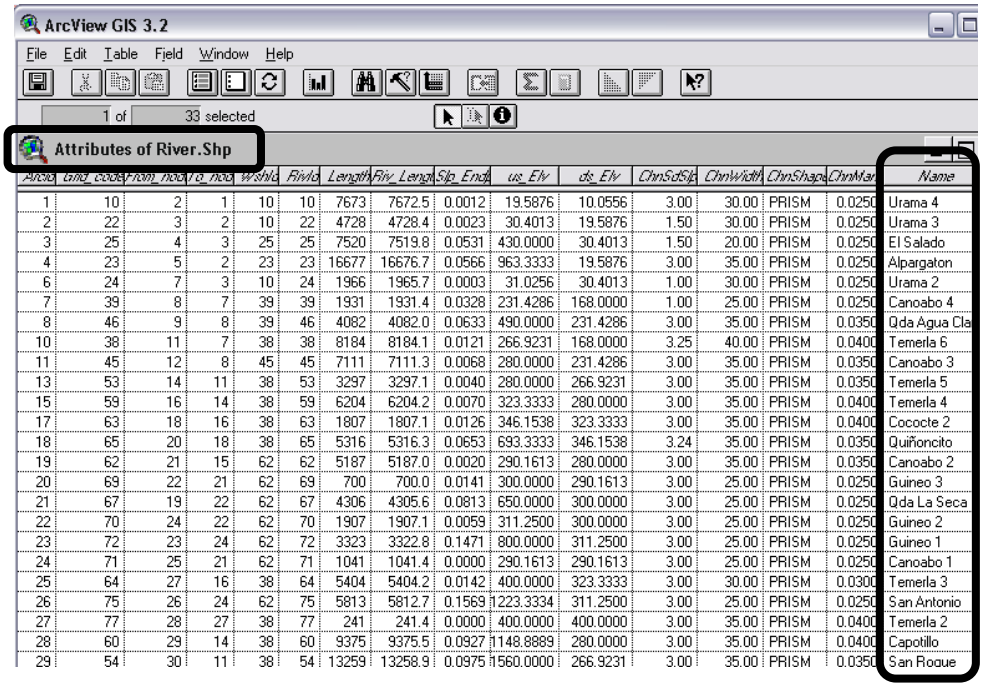


Figura 3.143 Parar y guardar los nombres de los tramos revisados

El resultado de la sustitución de los nombres por defectos de GeoHMS por los indicados en planos se muestra en la Figura 3.144



Arcid	Grid_code	From_node	To_node	WShId	RivId	Length	Riv_Length	Slp_End	us_Elv	ds_Elv	ChnSdSlp	ChnWidth	ChnShape	ChnMan	Name
1	10	2	1	10	10	7673	7672.5	0.0012	19.5876	10.0556	3.00	30.00	PRISM	0.0250	Urama 4
2	22	3	2	10	22	4728	4728.4	0.0023	30.4013	19.5876	1.50	30.00	PRISM	0.0250	Urama 3
3	25	4	3	25	25	7520	7519.8	0.0531	430.0000	30.4013	1.50	20.00	PRISM	0.0250	El Salado
4	23	5	2	23	23	16677	16676.7	0.0566	963.3333	19.5876	3.00	35.00	PRISM	0.0250	Alpargaton
6	24	7	3	10	24	1966	1965.7	0.0003	31.0256	30.4013	1.00	30.00	PRISM	0.0250	Urama 2
7	39	8	7	39	39	1931	1931.4	0.0328	231.4286	168.0000	1.00	25.00	PRISM	0.0250	Canoabo 4
8	46	9	8	39	46	4082	4082.0	0.0633	490.0000	231.4286	3.00	35.00	PRISM	0.0350	Qda Agua Cla
10	38	11	7	38	38	8184	8184.1	0.0121	266.9231	168.0000	3.25	40.00	PRISM	0.0400	Temerla 6
11	45	12	8	45	45	7111	7111.3	0.0068	280.0000	231.4286	3.00	35.00	PRISM	0.0350	Canoabo 3
13	53	14	11	38	53	3297	3297.1	0.0040	280.0000	266.9231	3.00	35.00	PRISM	0.0350	Temerla 5
15	59	16	14	38	59	6204	6204.2	0.0070	323.3333	280.0000	3.00	35.00	PRISM	0.0400	Temerla 4
17	63	18	16	38	63	1807	1807.1	0.0126	346.1538	323.3333	3.00	35.00	PRISM	0.0400	Cococte 2
18	65	20	18	38	65	5316	5316.3	0.0653	693.3333	346.1538	3.24	35.00	PRISM	0.0350	Quiñoncito
19	62	21	15	62	62	5187	5187.0	0.0020	290.1613	280.0000	3.00	35.00	PRISM	0.0350	Canoabo 2
20	69	22	21	62	69	700	700.0	0.0141	300.0000	290.1613	3.00	25.00	PRISM	0.0250	Guineo 3
21	67	19	22	62	67	4306	4305.6	0.0813	650.0000	300.0000	3.00	25.00	PRISM	0.0250	Qda La Seca
22	70	24	22	62	70	1907	1907.1	0.0059	311.2500	300.0000	3.00	25.00	PRISM	0.0250	Guineo 2
23	72	23	24	62	72	3323	3322.8	0.1471	800.0000	311.2500	3.00	25.00	PRISM	0.0250	Guineo 1
24	71	25	21	62	71	1041	1041.4	0.0000	290.1613	290.1613	3.00	25.00	PRISM	0.0250	Canoabo 1
25	64	27	16	38	64	5404	5404.2	0.0142	400.0000	323.3333	3.00	30.00	PRISM	0.0300	Temerla 3
26	75	26	24	62	75	5813	5812.7	0.1569	1223.3334	311.2500	3.00	25.00	PRISM	0.0250	San Antonio
27	77	28	27	38	77	241	241.4	0.0000	400.0000	400.0000	3.00	35.00	PRISM	0.0400	Temerla 2
28	60	29	14	38	60	9375	9375.5	0.0927	1148.8889	280.0000	3.00	35.00	PRISM	0.0400	Capotillo
29	54	30	11	38	54	13259	13258.9	0.0975	1560.0000	266.9231	3.00	35.00	PRISM	0.0350	San Roque

Figura 3.144 Nombramiento según plano de la zona de estudio

3.24 AUTONOMBRAMIENTO DE LA CUENCA (BASIN AUTONAME)

El procedimiento para el nombramiento de subcuencas se realiza consecutivamente desde aguas arriba hasta aguas abajo. La convención para los nombres consiste en añadir “W + 10,20, y etc” al nombre del tramo para formar el nombre de la subcuenca, por ejemplo; R20W20. Sin embargo, luego de este nombramiento rápido, al igual que como se hizo en los subtramos se reemplazaran éstos por nombres según los planos de la zona de estudio.

Los pasos para aplicar esta opción fueron; seleccionar **HMS ⇒ Basin AutoName**, como se muestra en la Figura 3.145

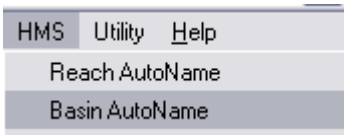
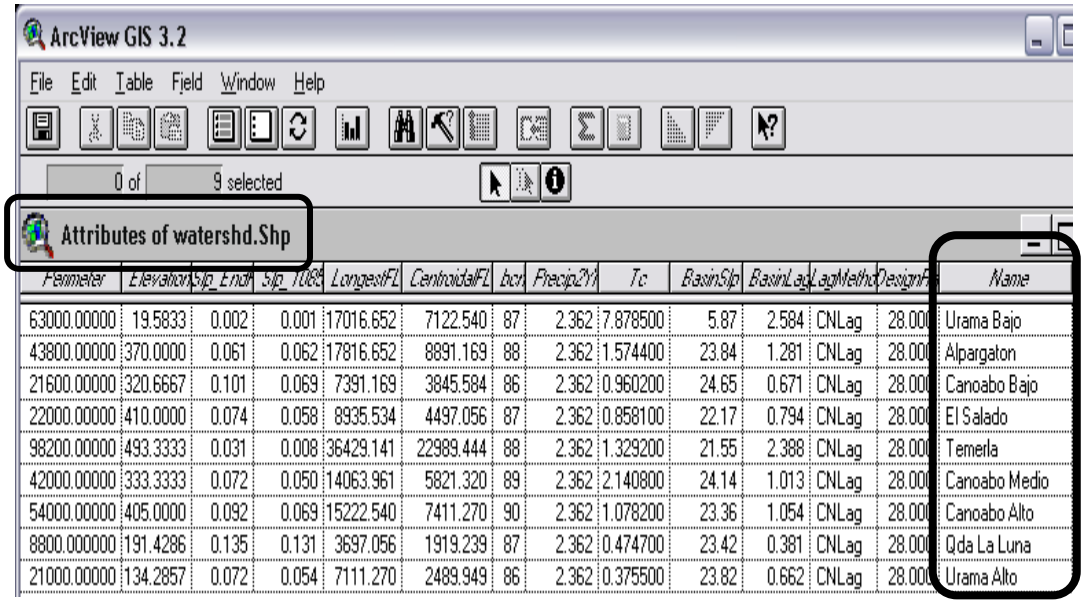


Figura 3.145 Selección de la opción Basin AutoName en el menú de GeoHMS

El reemplazo de los nombres de las cuencas dio los resultados que se muestran en la Figura 3.146



Perimeter	Elevation	Slp_End	Slp_108	LongestFL	CentroidalFL	bcn	Precip2Yr	Tc	BasinSlp	BasinLag	LagMetho	DesignF	Name
63000.00000	19.5833	0.002	0.001	17016.652	7122.540	87	2.362	7.878500	5.87	2.584	CNLag	28.000	Urama Bajo
43800.00000	370.0000	0.061	0.062	17816.652	8891.169	88	2.362	1.574400	23.84	1.281	CNLag	28.000	Alpargaton
21600.00000	320.6667	0.101	0.069	7391.169	3845.584	86	2.362	0.960200	24.65	0.671	CNLag	28.000	Canoabo Bajo
22000.00000	410.0000	0.074	0.058	8935.534	4497.056	87	2.362	0.858100	22.17	0.794	CNLag	28.000	El Salado
98200.00000	493.3333	0.031	0.008	36429.141	22989.444	88	2.362	1.329200	21.55	2.388	CNLag	28.000	Temerla
42000.00000	333.3333	0.072	0.050	14063.961	5821.320	89	2.362	2.140800	24.14	1.013	CNLag	28.000	Canoabo Medio
54000.00000	405.0000	0.092	0.069	15222.540	7411.270	90	2.362	1.078200	23.36	1.054	CNLag	28.000	Canoabo Alto
8800.000000	191.4286	0.135	0.131	3697.056	1919.239	87	2.362	0.474700	23.42	0.381	CNLag	28.000	Qda La Luna
21000.00000	134.2857	0.072	0.054	7111.270	2489.949	86	2.362	0.375500	23.82	0.662	CNLag	28.000	Urama Alto

Figura 3.146 Resultados del autonombramiento de las subcuencas

3.25 UNIDADES PARA EL MAPA EN HMS (MAP TO HMS UNITS)

Con este paso se convierten las características físicas de los tramos y subcuencas desde las unidades del mapa a las unidades de HMS. La unidades del mapa es la unidad de los datos en ArcView GIS 3.2; los datos del terreno se introdujeron en metros. La Tabla 3.1 muestra los Sistemas de Unidades utilizados por HMS.

Tabla 3.1 Sistemas de Unidades de HMS

	Physical Characteristics (Table Heading)	HMS EnglishUnits (Table Heading)	HMS SI Units (Table Heading)
Stream (River.Shp)	Length (Riv_Length)	Feet (Riv_Length_HMS)	Meters (Riv_Length_HMS)
	Upstream elevation (US_Elv)	Feet (US_Elv_HMS)	Meters (US_Elv_HMS)
	Downstream elevation (DS_Elv)	Feet (DS_Elv_HMS)	Meters (DS_Elv_HMS)
Watershed (WaterShd.shp)	Area (Area)	Square miles (Area_HMS)	Square kilometers (Area_HMS)
	Centroid Elevation (Elevation)	Feet (Elevation_HMS)	Meters (Elevation_HMS)
	Longest Flow Length (LongestFP)	Feet (Longest_FL)	Meters (Longest_FL)
	Upstream elevation (US_Elv)	Feet (USElv_HMS)	Meters (USElv_HMS)
	Downstream elevation (US_Elv)	Feet (DSElv_HMS)	Meters (DSElv_HMS)
	Centroidal Length (CentroidalFL)	Feet (CentroidalFL_HMS)	Meters (CentroidalFL_HMS)

Los pasos para aplicar esta opción consistieron en; seleccionar **HMS⇒ Map to HMS Units**. Luego se seleccionó del menú desplegable las unidades del Sistema Internacional (SI Unit). Como se muestra en la Figura 3.147

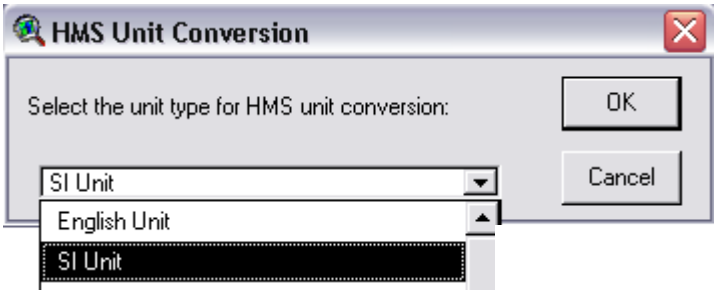
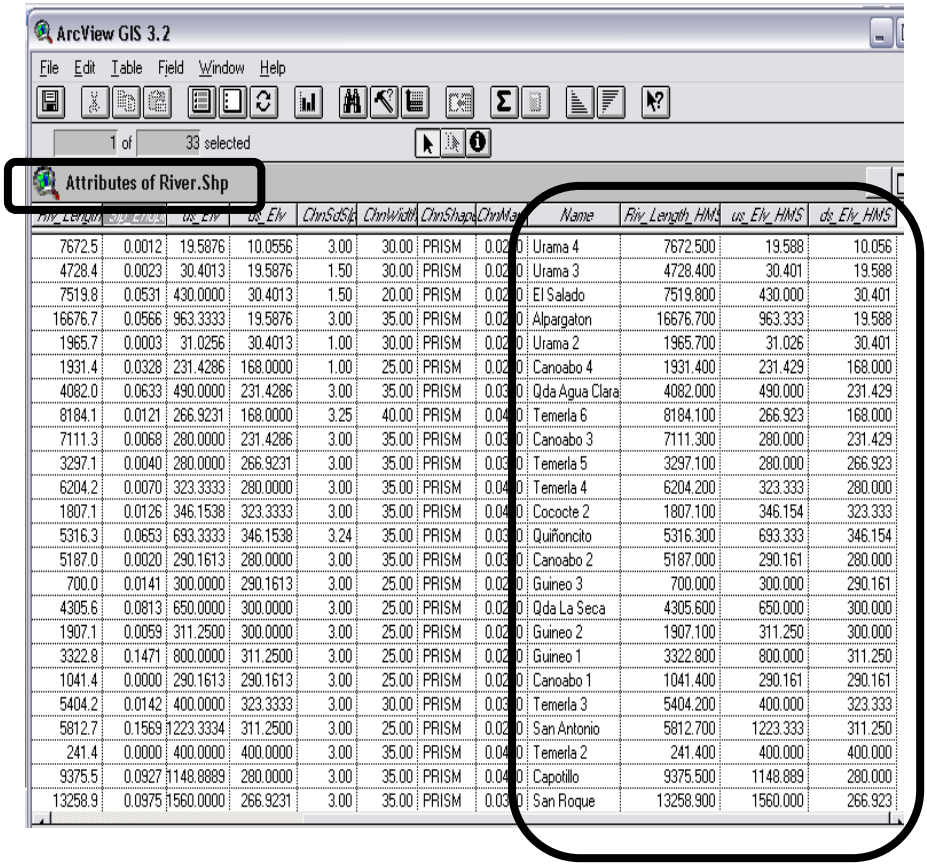


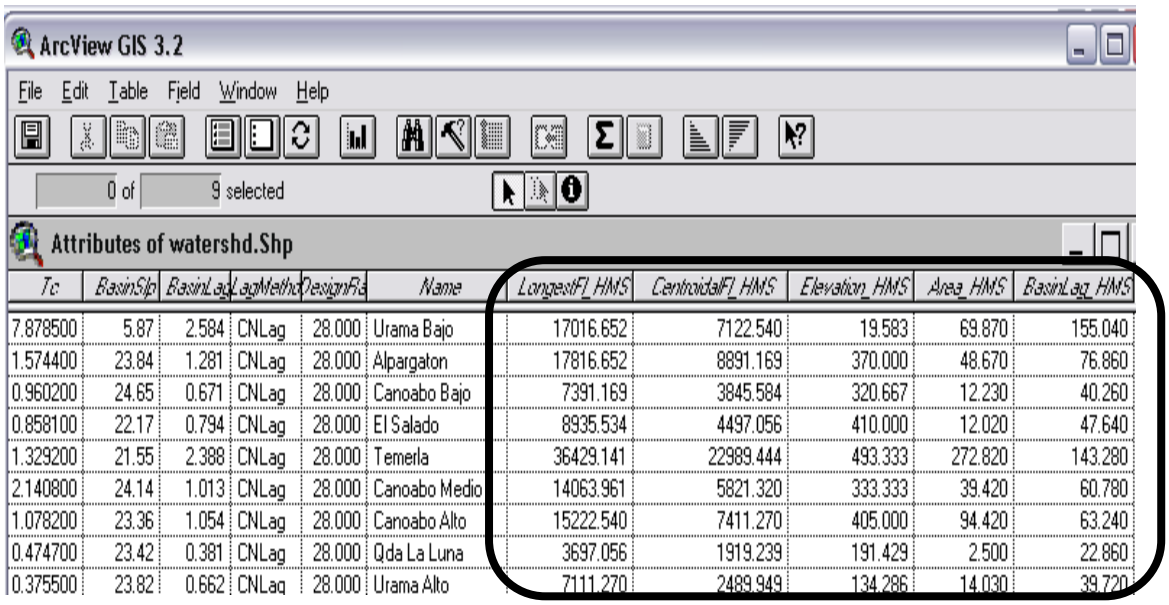
Figura 3.147 Opciones de conversión de unidades para HMS

Las unidades de conversión se aplicaron sobre tres columnas en las tablas de corriente como se muestra en la Figura 3.148 y sobre seis columnas en la tabla de subcuencas como se muestra en la Figura 3.149



Riv_Length	Slp_Elev	us_Elv	ds_Elv	ChnSdSlp	ChnWidth	ChnShape	ChnMan	Name	Riv_Length_HMS	us_Elv_HMS	ds_Elv_HMS
7672.5	0.0012	19.5876	10.0556	3.00	30.00	PRISM	0.02	Urama 4	7672.500	19.588	10.056
4728.4	0.0023	30.4013	19.5876	1.50	30.00	PRISM	0.02	Urama 3	4728.400	30.401	19.588
7519.8	0.0531	430.0000	30.4013	1.50	20.00	PRISM	0.02	El Salado	7519.800	430.000	30.401
16676.7	0.0566	963.3333	19.5876	3.00	35.00	PRISM	0.02	Alpargaton	16676.700	963.333	19.588
1965.7	0.0003	31.0256	30.4013	1.00	30.00	PRISM	0.02	Urama 2	1965.700	31.026	30.401
1931.4	0.0328	231.4286	168.0000	1.00	25.00	PRISM	0.02	Canoabo 4	1931.400	231.429	168.000
4082.0	0.0633	490.0000	231.4286	3.00	35.00	PRISM	0.03	Qda Agua Clara	4082.000	490.000	231.429
8184.1	0.0121	266.9231	168.0000	3.25	40.00	PRISM	0.04	Temerla 6	8184.100	266.923	168.000
7111.3	0.0068	280.0000	231.4286	3.00	35.00	PRISM	0.03	Canoabo 3	7111.300	280.000	231.429
3297.1	0.0040	280.0000	266.9231	3.00	35.00	PRISM	0.03	Temerla 5	3297.100	280.000	266.923
6204.2	0.0070	323.3333	280.0000	3.00	35.00	PRISM	0.04	Temerla 4	6204.200	323.333	280.000
1807.1	0.0126	346.1538	323.3333	3.00	35.00	PRISM	0.04	Cococte 2	1807.100	346.154	323.333
5316.3	0.0653	693.3333	346.1538	3.24	35.00	PRISM	0.03	Quiñoncito	5316.300	693.333	346.154
5187.0	0.0020	290.1613	280.0000	3.00	35.00	PRISM	0.03	Canoabo 2	5187.000	290.161	280.000
700.0	0.0141	300.0000	290.1613	3.00	25.00	PRISM	0.02	Guineo 3	700.000	300.000	290.161
4305.6	0.0813	650.0000	300.0000	3.00	25.00	PRISM	0.02	Qda La Seca	4305.600	650.000	300.000
1907.1	0.0059	311.2500	300.0000	3.00	25.00	PRISM	0.02	Guineo 2	1907.100	311.250	300.000
3322.8	0.1471	800.0000	311.2500	3.00	25.00	PRISM	0.02	Guineo 1	3322.800	800.000	311.250
1041.4	0.0000	290.1613	290.1613	3.00	25.00	PRISM	0.02	Canoabo 1	1041.400	290.161	290.161
5404.2	0.0142	400.0000	323.3333	3.00	30.00	PRISM	0.03	Temerla 3	5404.200	400.000	323.333
5812.7	0.1569	1223.3334	311.2500	3.00	25.00	PRISM	0.02	San Antonio	5812.700	1223.333	311.250
241.4	0.0000	400.0000	400.0000	3.00	35.00	PRISM	0.04	Temerla 2	241.400	400.000	400.000
9375.5	0.0927	1148.8889	280.0000	3.00	35.00	PRISM	0.04	Capotillo	9375.500	1148.889	280.000
13258.9	0.0975	1560.0000	266.9231	3.00	35.00	PRISM	0.03	San Roque	13258.900	1560.000	266.923

Figura 3.148 Tabla de atributos de los ríos con ampos en unidades para HMS



Tc	BasinSlp	BasinLag	LagMethod	DesignFlo	Name	LongestFl_HMS	CentroidalFl_HMS	Elevation_HMS	Area_HMS	BasinLag_HMS
7.878500	5.87	2.584	CNLag	28.000	Urama Bajo	17016.652	7122.540	19.583	69.870	155.040
1.574400	23.84	1.281	CNLag	28.000	Alpargaton	17816.652	8891.169	370.000	48.670	76.860
0.960200	24.65	0.671	CNLag	28.000	Canoabo Bajo	7391.169	3845.584	320.667	12.230	40.260
0.858100	22.17	0.794	CNLag	28.000	El Salado	8935.534	4497.056	410.000	12.020	47.640
1.329200	21.55	2.388	CNLag	28.000	Temerla	36429.141	22989.444	493.333	272.820	143.280
2.140800	24.14	1.013	CNLag	28.000	Canoabo Medio	14063.961	5821.320	333.333	39.420	60.780
1.078200	23.36	1.054	CNLag	28.000	Canoabo Alto	15222.540	7411.270	405.000	94.420	63.240
0.474700	23.42	0.381	CNLag	28.000	Qda La Luna	3697.056	1919.239	191.429	2.500	22.860
0.375500	23.82	0.662	CNLag	28.000	Urama Alto	7111.270	2489.949	134.286	14.030	39.720

Figura 3.149 Opciones de conversión de unidades para HMS

3.26 VERIFICACIÓN DE LOS DATOS EN HMS (HMS DATA CHECK)

Con este paso se chequeó los conjuntos de datos para la consistencia en la descripción de la estructura hidrológica del modelo. Por ejemplo, el programa verifica los nombres únicos para los tramos, subcuencas, y puntos de salida. Adicionalmente, el programa chequea que los ríos y los centroides están contenidos dentro de las subcuencas y que los ríos que estén conectados en los puntos principales creados durante el procedimiento paso a paso.

El programa verifica cada característica espacial en los archivos de datos “River.Shp”, “WaterShed.Shp” y “wshcentroid.Shp”. Produce un archivo de texto, “SkelConsChk.txt”, que muestra los resultados de las características y totaliza los resultados.

Los pasos para aplicar esta opción consisten en; seleccionar **HMS** ⇒ **HMS Check Data**, revisar de los conjuntos de datos de entrada como se muestra en la Figura 3.150

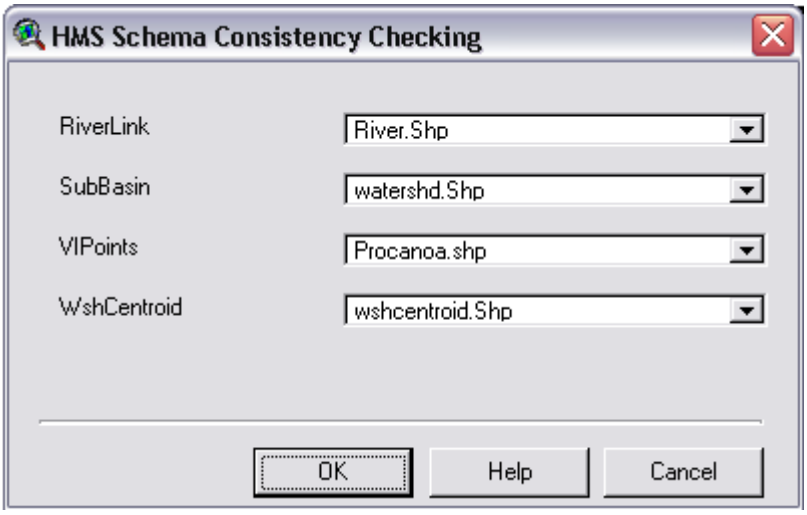


Figura 3.150 Verificación de los archivos de entrada y salida de datos de HMS

Se genera una nota que indica la creación del archivo y su ubicación, como se muestra en la Figura 3.151

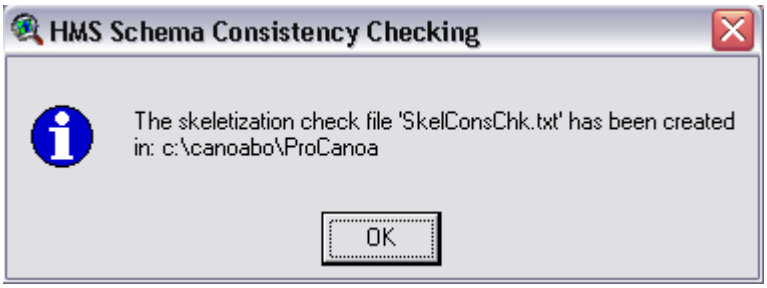


Figura 3.151 Ubicación del archivo de verificación de la data para HMS

Al abrir el archivo con el editor de texto se pueden revisar los resultados, como se muestra en el Apéndice H, y cuyo resumen se muestra en la Tabla 3.2

Tabla 3.2. Resumen de los resultados de la verificación de datos para HMS

CHECKING SUMMARY
****
Unique names - no problems.
River Containment - no problems.
Center Containment - no problems.
River Connectivity - no problems.
VIP Relevance - total of 28 problems.

El Cuadro 3.1 indica que nos se encontraron problemas en la asignación de los nombres a ríos y cuencas, en los ríos contenidos en las subcuencas, en los centroides dentro de las subcuencas y en la conectividad de los ríos, pero se encontraron 28 problemas con los puntos más importantes, sin embargo cuando se revisó, no constituían problemas, ya que el motivo reflejado era que no existía división del río en el punto del empate de corrientes, lo cual es conveniente ya que hay garantía de continuidad en las corrientes.

3.27 ESQUEMA DE CUENCAS PARA HEC-HMS (HEC-HMS BASIN SCHEMATIC)

La representación esquemática de la cuenca en HMS consiste en el Sistema de Información Geográfica (SIG) de los modelos hidrológicos de las cuencas con los elementos de la cuenca y su conectividad. Con este paso se creó un formato de punto; “HMSPoint.shp”, y un formato de línea, “HMSConnect.shp”. Con el HMSPoint.shp se generaron las características puntuales, tales como; ubicación de íconos de subcuencas; salidas y uniones. Los íconos de las subcuencas fueron situados en el centroide de la subcuenca. El “HMSConnect.shp” contiene las características de línea, tales como conectores de subcuencas y tramos.

Los pasos para usar esta opción son; **HMS ⇒ HMS Schematic** y luego los conjuntos de datos de entrada y salida como se muestra en la Figura 3.152

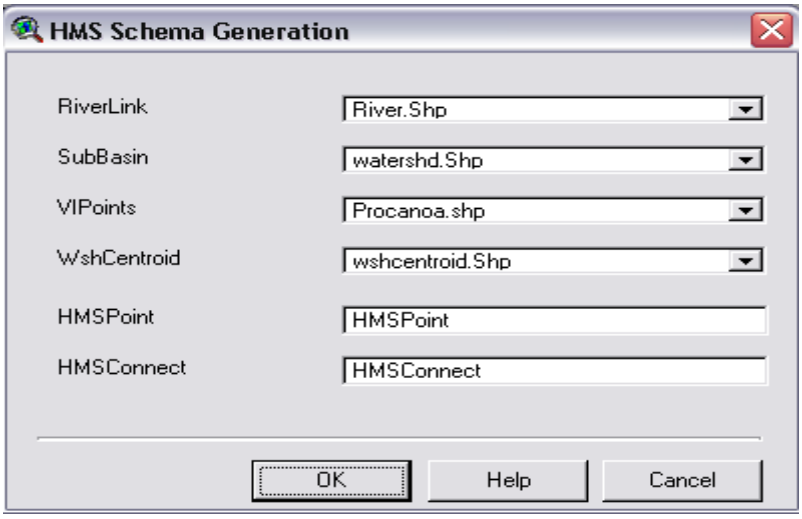


Figura 3.152 Archivos de entrada y salida en el esquema de HMS

La representación esquemática con los símbolos de ArcView se muestra en la Figura 3.153

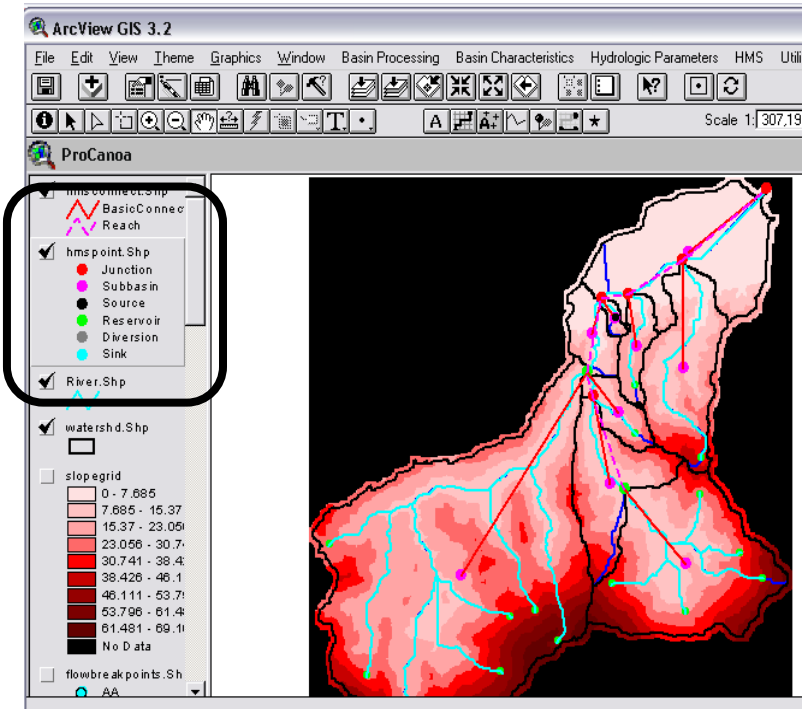
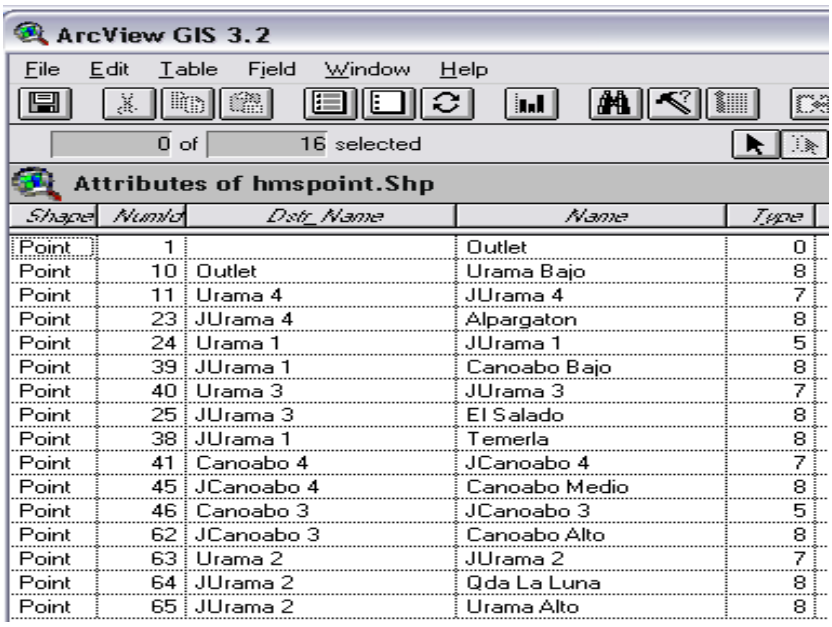


Figura 3.153 Resultado de la representación esquemática inicial de HMS

La tabla de atributos de los archivos "HMSPoint.shp", y "HMSConnect.shp" se muestran en la Figura 3.154 y en la Figura 3.155



ArcView GIS 3.2

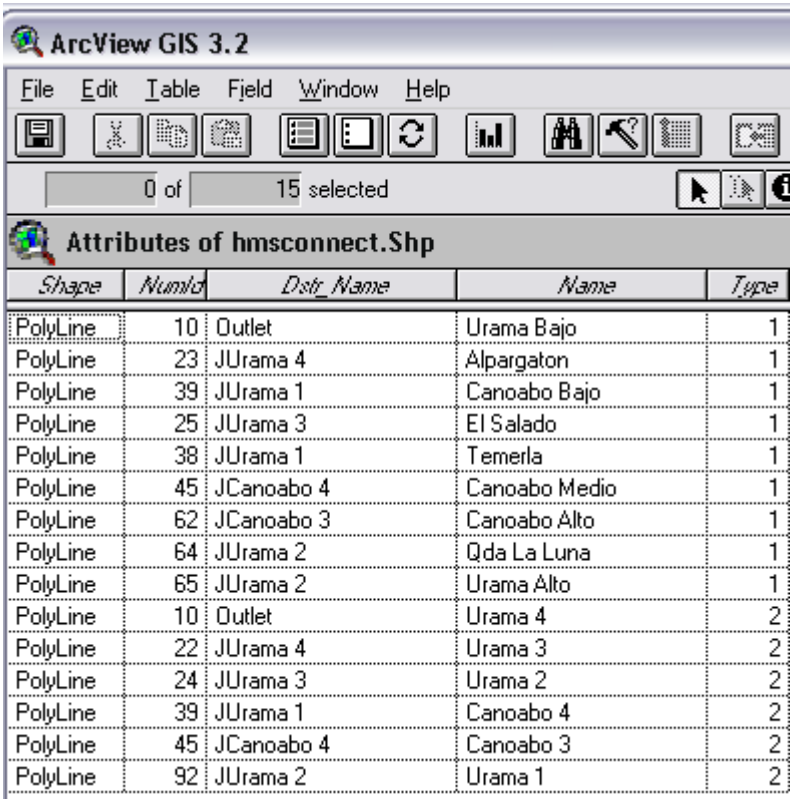
File Edit Table Field Window Help

0 of 16 selected

Attributes of hmspoint.Shp

Shape	Numid	Dstr_Name	Name	Type
Point	1		Outlet	0
Point	10	Outlet	Urama Bajo	8
Point	11	Urama 4	JUrama 4	7
Point	23	JUrama 4	Alpargaton	8
Point	24	Urama 1	JUrama 1	5
Point	39	JUrama 1	Canoabo Bajo	8
Point	40	Urama 3	JUrama 3	7
Point	25	JUrama 3	El Salado	8
Point	38	JUrama 1	Temerla	8
Point	41	Canoabo 4	JCanoabo 4	7
Point	45	JCanoabo 4	Canoabo Medio	8
Point	46	Canoabo 3	JCanoabo 3	5
Point	62	JCanoabo 3	Canoabo Alto	8
Point	63	Urama 2	JUrama 2	7
Point	64	JUrama 2	Qda La Luna	8
Point	65	JUrama 2	Urama Alto	8

Figura 3.154 Tabla de atributos de los íconos del esquema de HMS



Shape	Numbr	Dstr_Name	Name	Type
PolyLine	10	Outlet	Urama Bajo	1
PolyLine	23	JUrama 4	Alpargaton	1
PolyLine	39	JUrama 1	Canoabo Bajo	1
PolyLine	25	JUrama 3	El Salado	1
PolyLine	38	JUrama 1	Temerla	1
PolyLine	45	JCanoabo 4	Canoabo Medio	1
PolyLine	62	JCanoabo 3	Canoabo Alto	1
PolyLine	64	JUrama 2	Qda La Luna	1
PolyLine	65	JUrama 2	Urama Alto	1
PolyLine	10	Outlet	Urama 4	2
PolyLine	22	JUrama 4	Urama 3	2
PolyLine	24	JUrama 3	Urama 2	2
PolyLine	39	JUrama 1	Canoabo 4	2
PolyLine	45	JCanoabo 4	Canoabo 3	2
PolyLine	92	JUrama 2	Urama 1	2

Figura 3.155 Tabla de atributos de las líneas del esquema de HMS

3.28 LEYENDA DE HMS (HMS LEGEND)

Con este procedimiento se implementó la simbología de HMS para representar puntos y líneas con más detalles hidrológicos, tales como uniones, subcuencas, fuentes y otros, como se muestra en la Figura 3.156. Los pasos consistieron en; seleccionar **HMS** ⇒ **HMS Legend**.

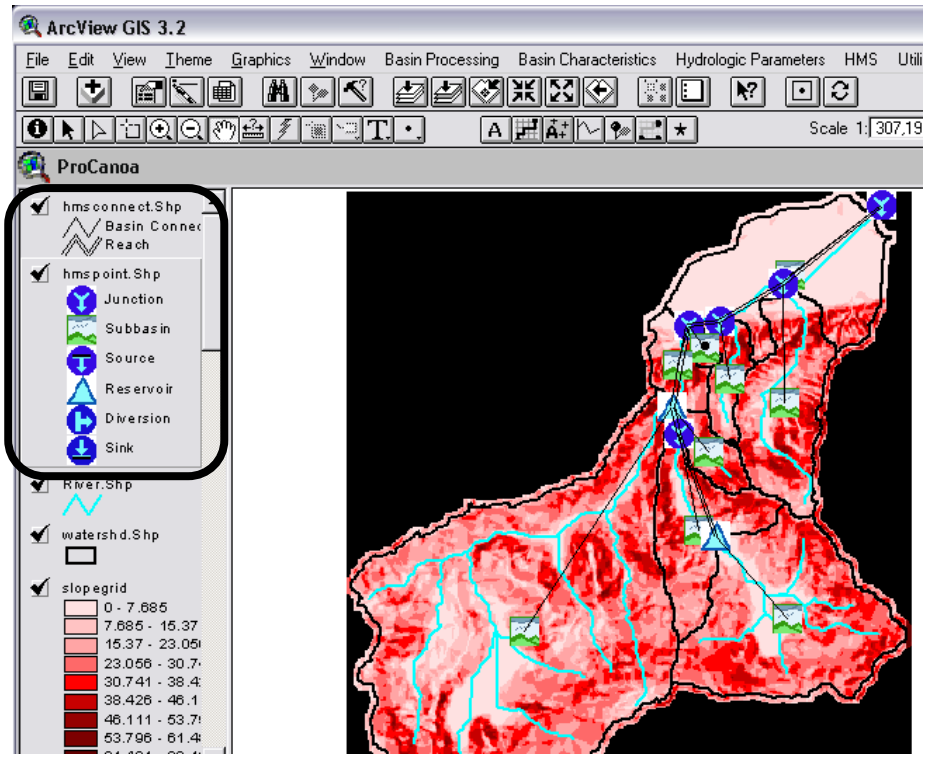


Figura 3.156 Representación esquemática de HMS con símbolos

3.29 ADICION DE COORDENADAS (ADD COORDINATES)

Con este paso se adicionaron las coordenadas geográficas a los elementos hidrológicos en la tabla de atributos de “HMSPoint.shp”, y “HMSConnect.shp”. La adición de coordenadas permite que los datos del SIG sean exportados en formato ASCII y se preserve la información geográfica.

Los pasos para aplicar esta opción consisten en; seleccionar **HMS** ⇒ **Add Corrdinates** y presionar **OK.** Los resultados se muestran en la Figura 3.157 y la Figura 3.158

ArcView GIS 3.2

File Edit Table Field Window Help

0 of 16 selected

Attributes of hmspoint.Shp

Shape	NumId	Dstr_Name	Name	Type	CanvasX	CanvasY	Elevation
Point	1		Outlet	0	585567.974	1163375.000	10.056
Point	10	Outlet	Urama Bajo	8	580267.974	1159325.000	19.583
Point	11	Urama 4	JUrama 4	7	579867.974	1158825.000	19.588
Point	23	JUrama 4	Alpargaton	8	579967.974	1151925.000	370.000
Point	24	Urama 1	JUrama 1	5	573467.974	1151725.000	168.000
Point	39	JUrama 1	Canoabo Bajo	8	575567.974	1149125.000	320.667
Point	40	Urama 3	JUrama 3	7	576167.974	1156625.000	30.401
Point	25	JUrama 3	El Salado	8	576767.974	1153325.000	410.000
Point	38	JUrama 1	Temerla	8	564867.974	1138725.000	493.333
Point	41	Canoabo 4	JCanoabo 4	7	573867.974	1150125.000	231.429
Point	45	JCanoabo 4	Canoabo Medio	8	574967.974	1144525.000	333.333
Point	46	Canoabo 3	JCanoabo 3	5	575967.974	1144225.000	280.000
Point	62	JCanoabo 3	Canoabo Alto	8	580067.974	1139425.000	405.000
Point	63	Urama 2	JUrama 2	7	574367.974	1156425.000	31.026
Point	64	JUrama 2	Qda La Luna	8	575267.974	1155125.000	191.429
Point	65	JUrama 2	Urama Alto	8	573767.974	1154125.000	134.28

Figura 3.157 Tabla de atributos para las coordenadas de los íconos del esquema de HMS

ArcView GIS 3.2

File Edit Table Field Window Help

0 of 15 selected

Attributes of hmsconnect.Shp

Shape	NumId	Dstr_Name	Name	Type	FromCanvasX	FromCanvasY	CanvasX	CanvasY
PolyLine	10	Outlet	Urama Bajo	1	580267.974	1159325.000	585567.974	1163375.000
PolyLine	23	JUrama 4	Alpargaton	1	579967.974	1151925.000	579867.974	1158825.000
PolyLine	39	JUrama 1	Canoabo Bajo	1	575567.974	1149125.000	573467.974	1151725.000
PolyLine	25	JUrama 3	El Salado	1	576767.974	1153325.000	576167.974	1156625.000
PolyLine	38	JUrama 1	Temerla	1	564867.974	1138725.000	573467.974	1151725.000
PolyLine	45	JCanoabo 4	Canoabo Medio	1	574967.974	1144525.000	573867.974	1150125.000
PolyLine	62	JCanoabo 3	Canoabo Alto	1	580067.974	1139425.000	575967.974	1144225.000
PolyLine	64	JUrama 2	Qda La Luna	1	575267.974	1155125.000	574367.974	1156425.000
PolyLine	65	JUrama 2	Urama Alto	1	573767.974	1154125.000	574367.974	1156425.000
PolyLine	10	Outlet	Urama 4	2	579867.974	1158825.000	585567.974	1163375.000
PolyLine	22	JUrama 4	Urama 3	2	576167.974	1156625.000	579867.974	1158825.000
PolyLine	24	JUrama 3	Urama 2	2	574367.974	1156425.000	576167.974	1156625.000
PolyLine	39	JUrama 1	Canoabo 4	2	573867.974	1150125.000	573467.974	1151725.000
PolyLine	45	JCanoabo 4	Canoabo 3		575967.974	1144225.000	573867.974	1150125.000
PolyLine	92	JUrama 2	Urama 1	2	573467.974	1151725.000	574367.974	1156425.000

Figura 3.158 Tabla de atributos para las coordenadas para las líneas del esquema de HMS

3.30 PROCESOS ESTÁNDAR EN HMS (STANDARD HMS PROCESS)

Con esta función se rellenaron un conjunto de campos con valores por defecto requeridos para que sean colocados como valores en los archivos de entrada de **HEC-HMS**. Esta operación creó el archivo ASCII nombrado "fieldmap.fmf" en el directorio de proyectos.

3.31 ARCHIVO DE MAPA DE RESPALDO (BACKGROUND – MAP FILE)

El archivo de mapa de respaldo captura la información geográfica de los límites de las subcuencas y alineamiento de corrientes en archivo de texto ASCII que puede ser leído por HMS. Los pasos para aplicar esta opción son; seleccionar **HMS** ⇒ **Background – Map File**, como se muestra en la Figura 3.159

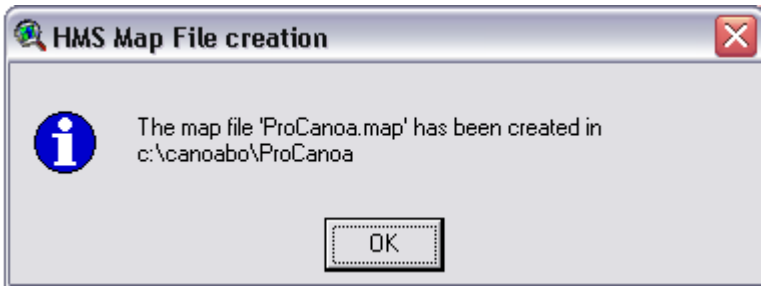


Figura 3.159 Ubicación del archivo Background – Map File

3.32 MODELO CONCENTRADO DE CUENCA (LUMPED - BASIN MODEL)

El modelo concentrado de cuenca captura los elementos hidrológicos, sus conectividades, e información geográfica relacionada en un archivo de texto ASCII que puede ser ingresado a HMS. Este modelo de cuenca será usado para modelación hidrológica concentrada, no distribuida, parámetros de cuencas. Los modelos de cuenca concentrados no usan un grid de precipitación o el método transformado ModClark.

Los pasos para aplicar esta opción fueron, **seleccionar HMS ⇒ Lumped Basin Model**. La Figura 3.160 muestra la confirmación de la creación del archivo y su ubicación

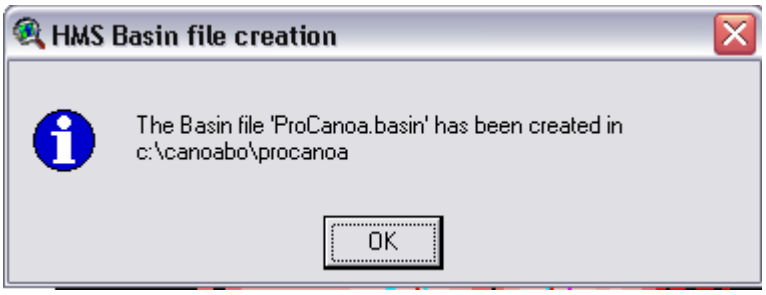


Figura 3.160 Ubicación del archivo del modelo concentrado de cuenca

3.33 ARCHIVOS DE PARÁMETROS PARA LAS CELDAS DEL GRID (GRID-CELL PARAMETER FILE)

Con esta función se generó el archivo de parámetros para las celdas en el grid en ModClark, Los archivos de parámetros para las celdas en el grid representan las celdas del grid en las subcuencas para lograr una aproximación a la modelación distribuida. Un archivo ASCII llamado ProjectName.mod, contiene la información del grid de la subcuencas. Los parámetros de las celdas en el grid se han extendido para incluir el grid del número de curva. Esta función requiere un sólo tema de entrada: el archivo editable de polígono de las celdas del grid ModClark.

Los pasos para aplicar esta función son; seleccionar **HMS ⇒ Grid Cell Parameter File**, la ubicación del archivo se puede observar en la Figura 3.161

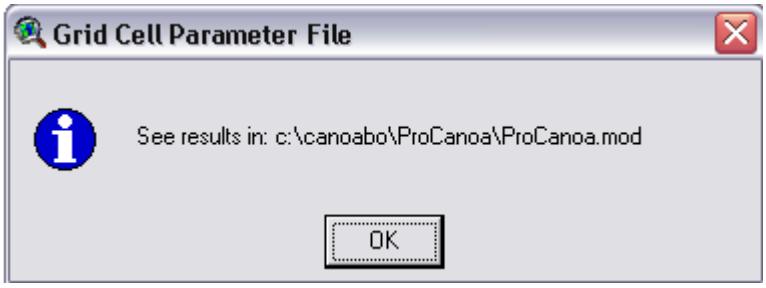


Figura 3.161 Ubicación del archivo de los parámetros en celda para el grid

3.34 MODELO DISTRIBUIDO DE CUENCA (DISTRIBUTED BASIN MODEL)

Al igual que en el modelo concentrado de cuenca, el modelo distribuido de cuenca tiene etiquetas adicionales referenciadas a las celdas del grid de las subcuencas en conjunto con el archivo de parámetros para las celdas del grid. Los pasos para ejecutar esta opción son; seleccionar **HMS** ⇒ **Distributed Basin Model**, el archivo donde quedaron almacenados estos datos se refleja en la Figura 3.162

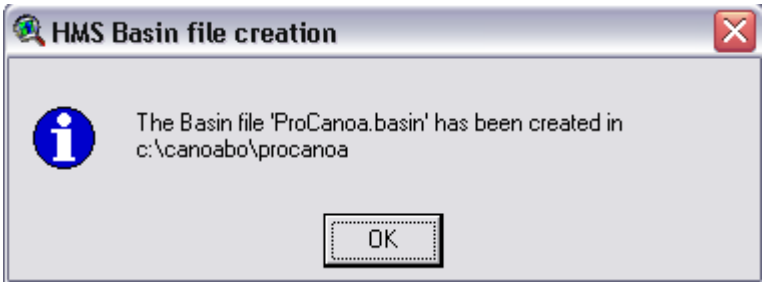


Figura 3.162 Ubicación del archivo de los parámetros en celda para el grid

3.35 ARCHIVOS DE MODELOS METEOROLÓGICOS (METEOROLOGIC MODEL FILE)

Con esta función se generó el archivo del modelo meteorológico (*.met). Durante la ejecución surge una consulta a cerca del nombre de la estación meteorológica mediante la cual la distribución temporal podrá ser usada en

HMS bajo la modalidad **User-Specified Gage Weigth**, como se muestra en la Figura 3.163.

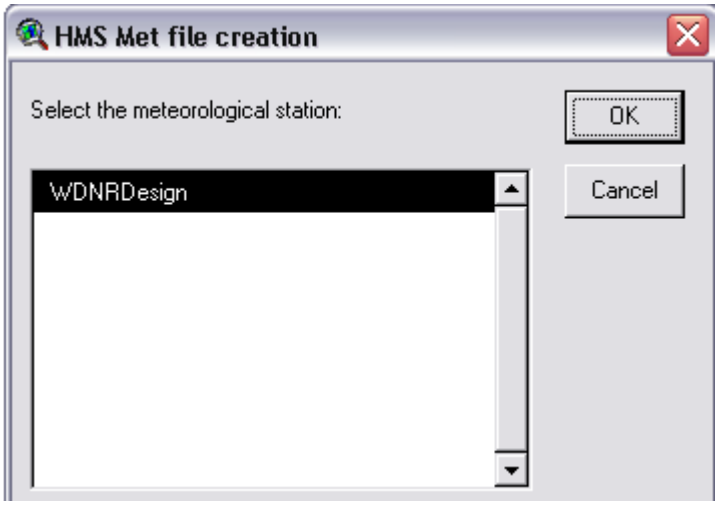


Figura 3.163 Denominación de la estación meteorológica

3.36 ARRANQUE DE PROYECTOS HMS (HMS PROJECT SETUP)

Con esta función se generó un subdirectorio de proyecto en el directorio de proyectos de HMS. Esto permite copiar todos los archivos estándar de GeoHMS y los específicos del proyecto en este directorio recién creado. Si el directorio existe, los archivos existentes serán reemplazados. La localización del directorio de proyectos de HMS está especificada en el archivo **HMSMetDesign.txt** (en el directorio $AVHOME\etc) como **"HMSDataDirectory".** Modificando esta entrada, GeoHMS puede ser instruido para generar los subdirectorios de proyecto en un directorio raíz diferente.

Los siguientes archivos son copiados ("Project" identifica el nombre del proyecto en GeoHMS):

"Project".basin copiado del subdirectorio de proyectos de GeoHMS.

"Project".hms copiado del subdirectorio de proyectos de GeoHMS.

"Project".met copiado del subdirectorio de proyectos de GeoHMS.

"Project".map copiado del subdirectorio de proyectos de GeoHMS.

"Project".mod copiado del subdirectorio de proyectos de GeoHMS.

"Project".dss renombrado de hmsdesign.dss en $AVHOME\etc

"Project".control renombrado de hmsdesign.control en $AVHOME\etc

"Project".gage renombrado de hmsdesign.gage en $AVHOME\etc

Este conjunto de archivos definió el proyecto HMS completamente y pudo ser directamente cargado y será ejecutado desde HMS sin ninguna manipulación de data adicional.

3.37 PROCESAMIENTO CON HEC-HMS

El procesamiento con HEC-GeoHMS requiere realizar el trabajo previo de generación de los archivos de exportación en HEC-GeoHMS y luego la ejecución de las actividades en HEC-HMS para generar los hidrogramas de crecientes

3.38 TRABAJO PREVIO EN HEC-GEOHMS

Como se vió en las sección anterior HEC-GeoHMS posee una herramienta dentro del menú **HMS ⇒ HMS Project Setup**, que crea un subdirectorio del proyecto en el subdirectorio de proyectos de HMS, como se

muestra en la Figura 3.164. En esta figura, se puede ver que la dirección para la localización de este subdirectorio es **C:\hmsproj,** dentro de la carpeta hmsproj se encontraron otros proyectos que sirven de demostración, tales como; *Castro, Tenk y Tifton* y la carpeta de trabajo de este estudio denominada **ProCanoa.** Esta carpeta posee los archivos importados desde HEC-GeoHMS y que serán usados como base de datos para el trabajo con HEC-HMS.

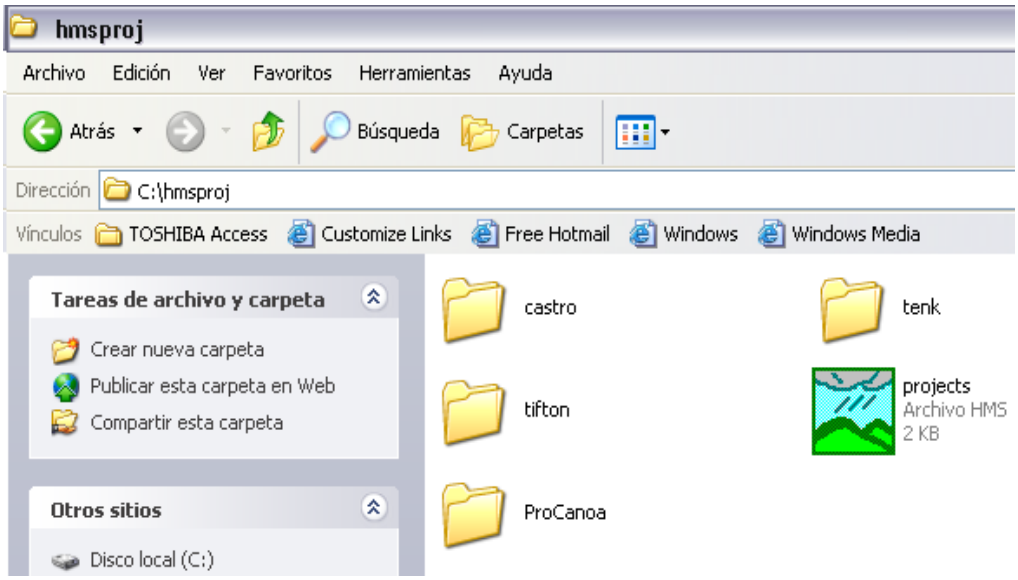


Figura 3.164 Directorio de proyecto en HMS

3.39 TRABAJO EN HEC-HMS

Para iniciar el trabajo con HEC-HMS, posterior a la instalación del programa en el computador, se debe ubicar el icono que se muestra en la Figura 3.165

Figura 3.165 Icono HMS

El trabajo con HMS requiere el desarrollo de los siguientes tres componentes; **Basin** (Cuencas); **Meteorologic** (Meteorológico) y **Control Specifications** (Especificaciones de Control). La configuración inicial, calibración y el trabajo con los componentes se describen posteriormente.

3.40 CONFIGURACIÓN INICIAL

Para definir la configuración inicial, en primer lugar hay que abrir el proyecto, para ello seleccionamos; en el menú **File** ⇒ **Open Project**, luego que esta ventana se abre, se selecciona la pestaña denominada **Unlisted Project**, en esta ventana en la sección **Directory: C:\hmsproj;** seleccionamos **ProCanoa** y presionamos **Open**, damos como se muestra en la Figura 3.166

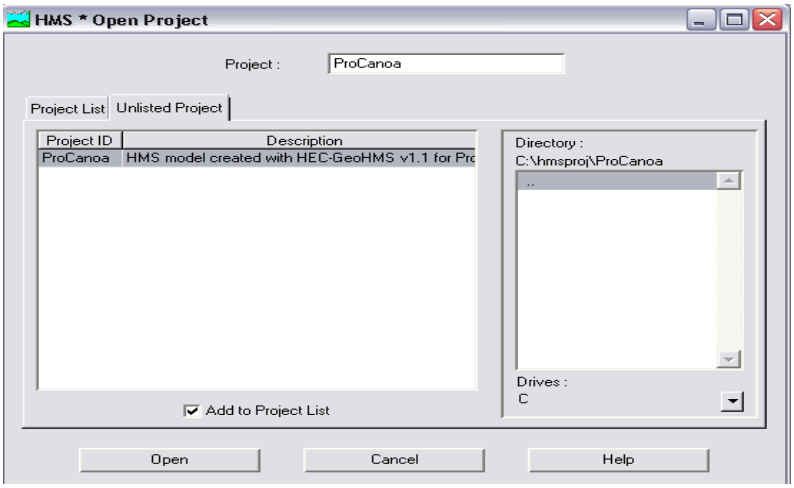


Figura 3.166 Apertura del proyecto ProCanoa

Una vez que se abre el proyecto ProCanoa en HMS; para definir la configuración inicial, se selecciona del menú **File ⇒ Project Attributes**, como se muestra en la Figura 3.167

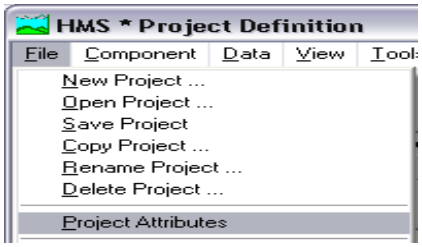


Figura 3.167 Selección de los atributos para el proyecto

En la ventana de **Project Attributes,** se encuentran seis pestañas o subsecciones; **Basin Defaults, Basin Options, Met. Default, Met. Opctions, Units y Project Options,** a continuación mostraremos los principales.

La opción **Basin Defaults,** especifica los modelos matemáticos que estarán disponibles por defecto cuando se desarrolle el componente **Basin**, la Figura 3.167 muestra los modelos seleccionados, lo cual no significa que sólo estos sean los utilizados en este estudio. Por ejemplo, allí se definió que el método para determinar las pérdidas por infiltración sería el Número de Curva del SCS, para transformar la lluvia en escorrentía se utilizará el Hidrograma Unitario del SCS, para el flujo base se usara el método de recesión del flujo y para efectuar el tránsito; el método estándar de Muskingum- Cunge.

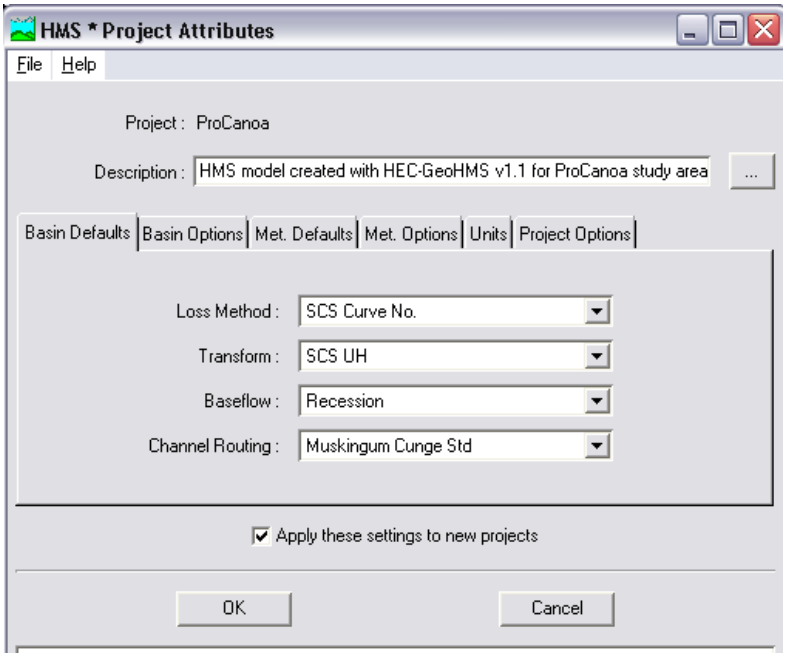


Figura 3.168 Modelos predeterminados para el componente Basin

En la sección **Basin Options** se seleccionó permitir la relación entre el flujo en la fuente y en la cuenca; además de permitir efectuar el cálculo del flujo local en las uniones, como se muestra en la Figura 3.169

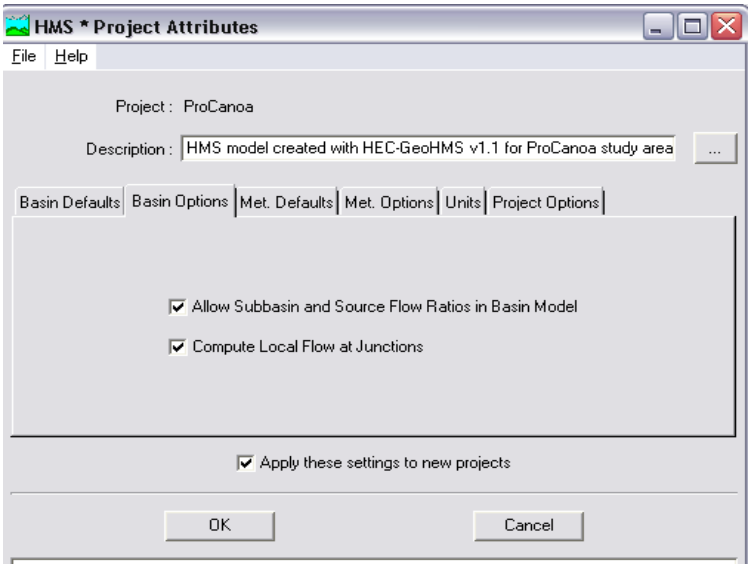


Figura 3.169 Opciones permitidas en el componente Basin

En la sección **Met. Defaults,** se escogió para el campo **Precipitacion**; la opción **User Gage Weigths** y en la opción **Evapotranspiration** se eligió no considerarla, como se muestra en la Figura 3.170

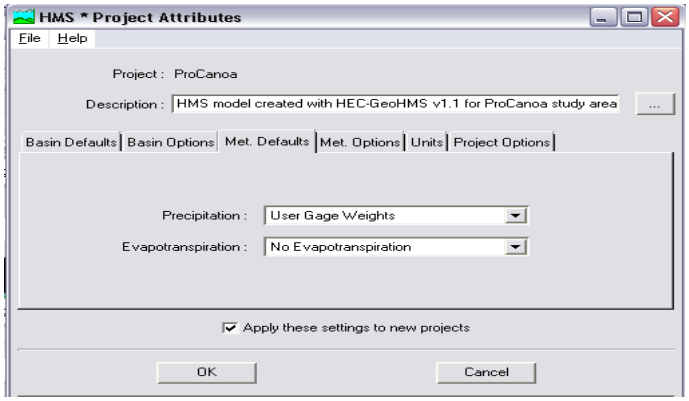


Figura 3.170 Opciones permitidas en el componente Meteorologic

En la sección Units establecimos las unidades del SI para trabajar los modelos **Basin** y **Meteorologic**, como se muestra en la Figura 3.171

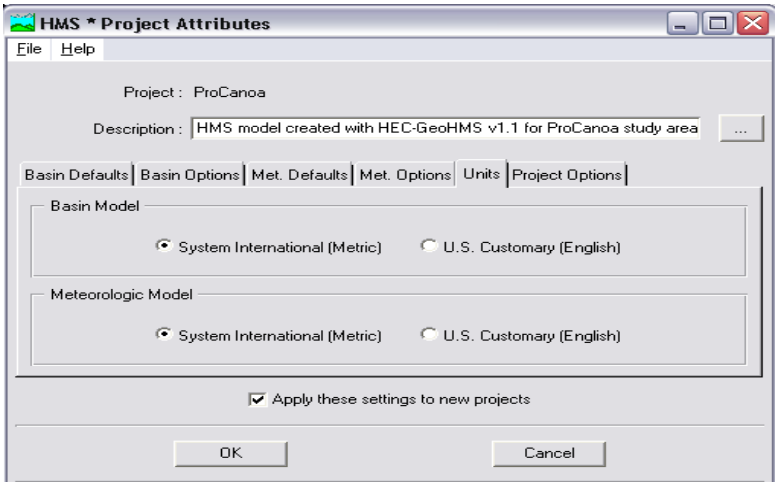


Figura 3.171 Unidades de trabajo en HMS

Se aceptaron todas estas opciones, seleccionando **OK** y luego se pasó a la ventana principal de HMS.

3.41 CALIBRACIÓN

Estudios realizados en el país han probado que la aplicación de HEC-HMS es satisfactoria para Venezuela (Rafael Rojas, 1999).

3.42 MODELO DE CUENCA (BASIN MODEL)

Para seleccionar el esquema de la cuenca de trabajo, se seleccionó **Component ⇒ Basin Model ⇒ Import,** como se muestra en la Figura 3.172

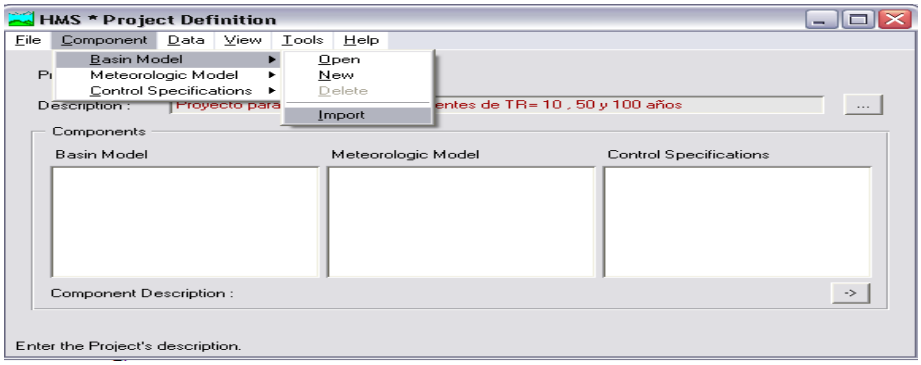


Figura 3.172 Ubicación del modelo de cuenca

El resultado de la importación del archivo **ProCanoa** se indica bajo la sección de **Basin Model**, como se indica en la Figura 3.173

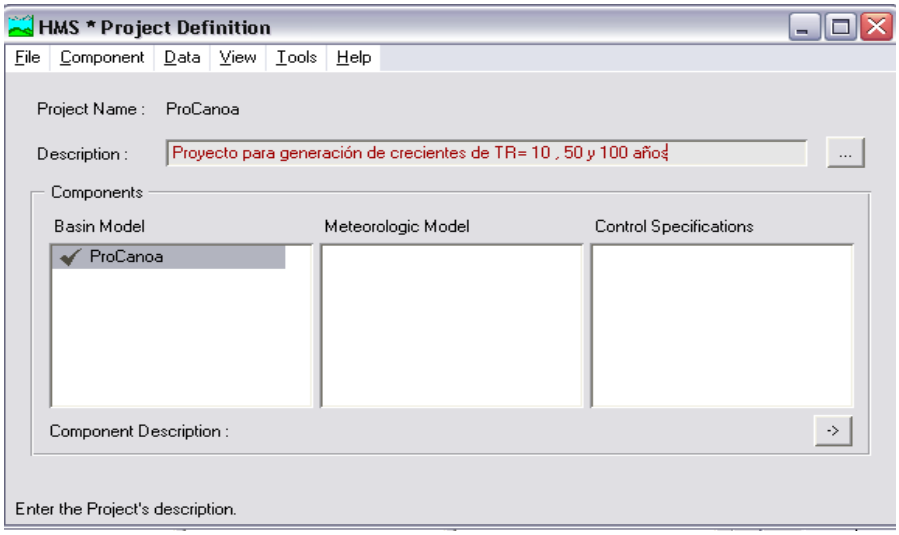


Figura 3.173 Ubicación del modelo de cuenca

Una vez que el proyecto se ha cargado, se hace doble click en ProCanoa y se accede a la ventana donde se encuentra el esquema de cuencas importado desde HEC-GeoHMS, como se muestra en la Figura 3.174.

Esta figura se muestra las cuencas

, uniones

y conexiones de tramos

.

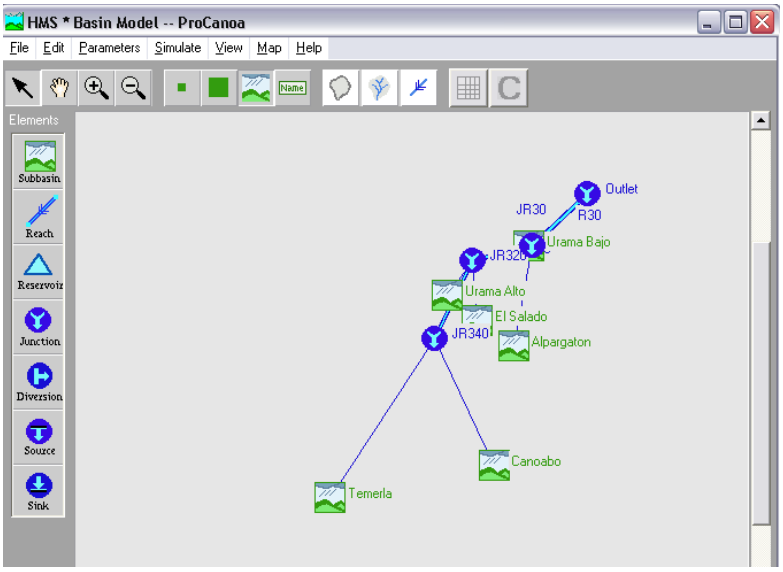


Figura 3.174 Esquema del modelo de cuenca

Para complementar la modelación de la cuenca se puede importar el mapa de fondo que ubica cada ícono de subcuenca en el espacio físico que le corresponde, esta acción se ejecuta mediante los siguientes pasos; **File ⇒ Basin Model Attributes,** ver Figura 3.175

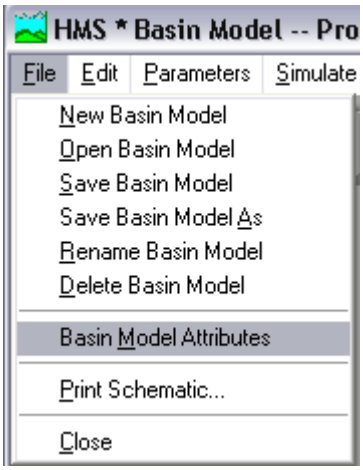


Figura 3.175 Ubicación del plano

En la ventana **Attributes** se selecciona la pestaña **Files** ⇒ **Browse,** esta opción permite ubicar el archivo de mapa, el cual posee la siguiente dirección; **C:\hmsproj\ProCanoa\ ProCanoa.map**, ver Figura 3.176

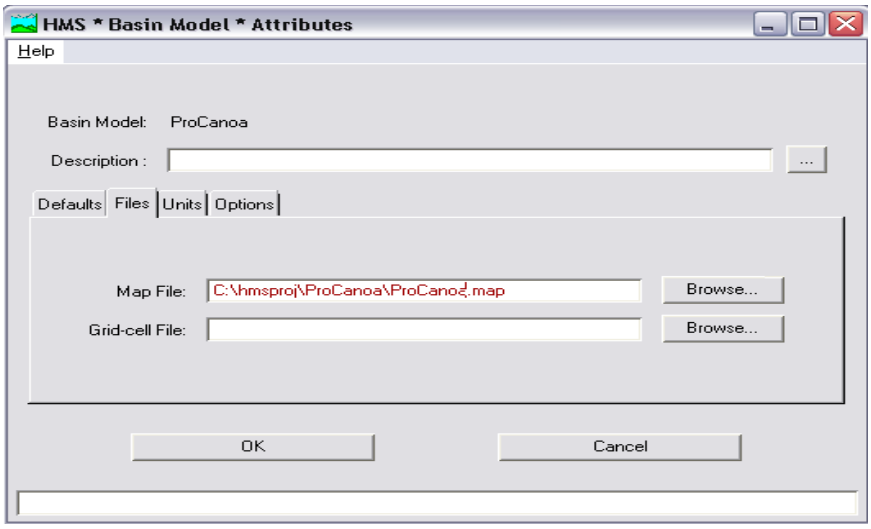


Figura 3.176 Ubicación del archivo de mapa

La importación del mapa se carga a la pantalla del esquema de la cuenca como se muestra en la Figura 3.177.

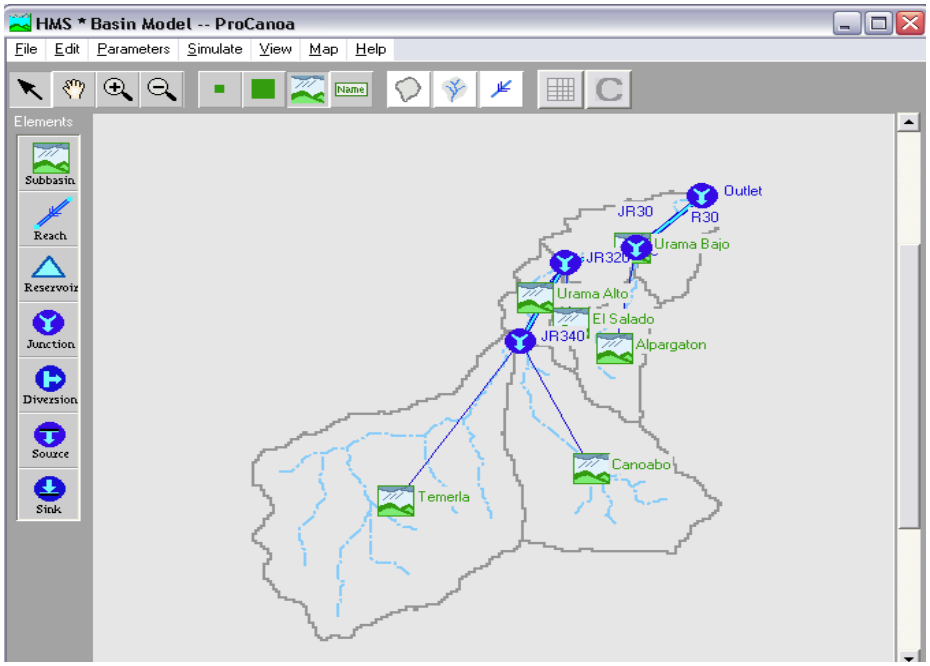


Figura 3.177 Carga del archivo de mapa

3.43 MODELACIÓN DE CRECIENTES

Para generar las crecientes de diseño se probaron tres alternativas que combinan modelos para estimar la fracción de lluvia que se infiltra, escurre superficialmente y que se queda almacenada a lo largo del tránsito por los ríos de la cuenca, la Tabla 3.3 muestra las dos alternativas

Tabla 3.3 Alternativas de modelación de crecientes

A lternativa	Modelo	Tipo	Clasificación
1	Pérdidas por Infiltración	Número de Curva (CN:Curve Number) SCS	Eventual, concentrado, empírico, parámetros ajustados
	Escurrimiento Superficial	HU SCS	Eventual, concentrado, empírico, parámetros ajustados
	Escurrimiento base	Constante mensual	Eventual, concentrado, empírico, parámetros ajustados
	Tránsito	Sección Estándar Muskingum-Cunge	Eventual, concentrado, cuasi-conceptual, parámetros medidos
	Confluencia		Continuo, conceptual, parámetros medidos
2	Pérdidas por Infiltración	Número de Curva (CN:Curve Number) SCS	Eventual, concentrado, empírico, parámetros ajustados
	Escurrimiento Superficial	HU Clark	Eventual, concentrado, empírico, parámetros ajustados
	Escurrimiento base	Constante mensual	Eventual, concentrado, empírico, parámetros ajustados
	Tránsito	Sección Estándar Muskingum-Cunge	Eventual, concentrado, cuasi-conceptual, parámetros medidos
	Confluencia		Continuo, conceptual, parámetros medidos

3.43.1 Modelación para la alternativa 1

La modelación para la alternativa 1 se realizó para todas las subcuencas, siguiendo los pasos que se indican a continuación, usando como ejemplo la subcuenca de Canoabo, para ello se debe hacer doble click sobre el ícono de la subcuenca de Canoabo, luego se selecciona **Loss Rate** ⇒ **Method** ⇒ **SCS Curve No** y se ingresan los valores en los campos **Initial Loss (mm)** y **SCS Curve.** En la Figura 3.177 se puede observar la identificación de

la cuenca en el campo **Subbasin Name: Canoabo,** el área de la subcuenca en Km^2: **147.1**, el campo **Initial loss** se llenó con los valores obtenidos según la Tabla 3.5 y el campo SCS Curve No automáticamente estaba lleno con los valores importados desde HEC-GeoHMS.

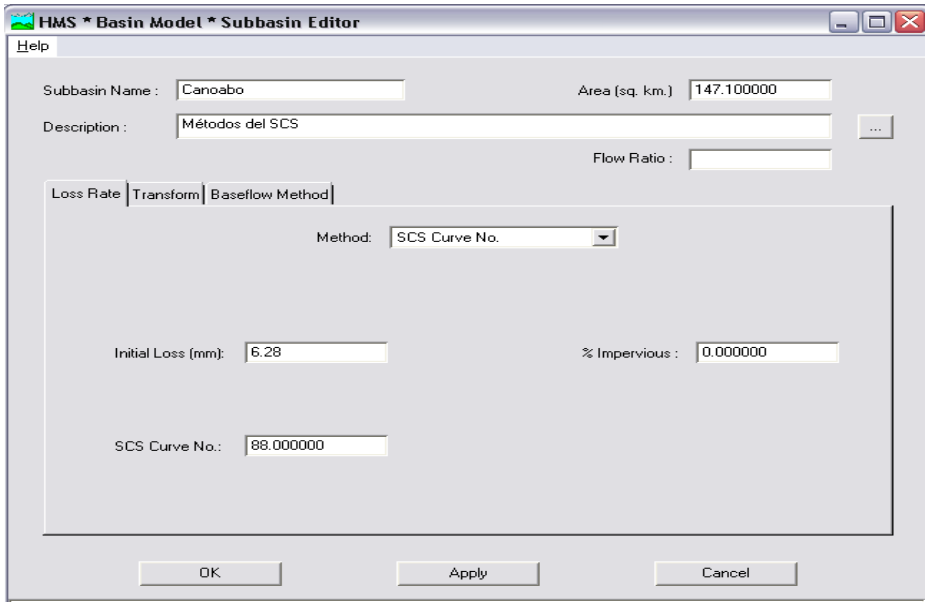


Figura 3.178 Modelo para infiltración

La Tabla 3.4 muestra los valores obtenidos para la pérdida inicial por retención superficial en depresiones e intercepción en la vegetación.

Tabla 3.4 Pérdida inicial por retención superficial

Método	PARÁMETROS PARA M. SCS					
Cuenca	Temerla	Canoabo	Urama Alto	Urama Bajo	El Salado	Alpargatón
Número de Curva (CN)	89.00	88.00	87.00	87.00	87.00	88.00
Retención máxima potencial (S)mm= 25400-254CN/CN	31.39	34.64	37.95	37.95	37.95	34.64
Abstracción Inicial (Ia) mm/hora	6.28	6.93	7.59	7.59	7.59	6.93

La pestaña **Transform** indica los métodos seleccionados para transformar la lluvia neta en escorrentía superficial, ver Figura 3.179. En este caso, se seleccionó **Transform⇒SCS,** el campo **SCS lag**, para el tiempo de retardo se rellena automáticamente con los valores importados desde HEC-GeoHMS

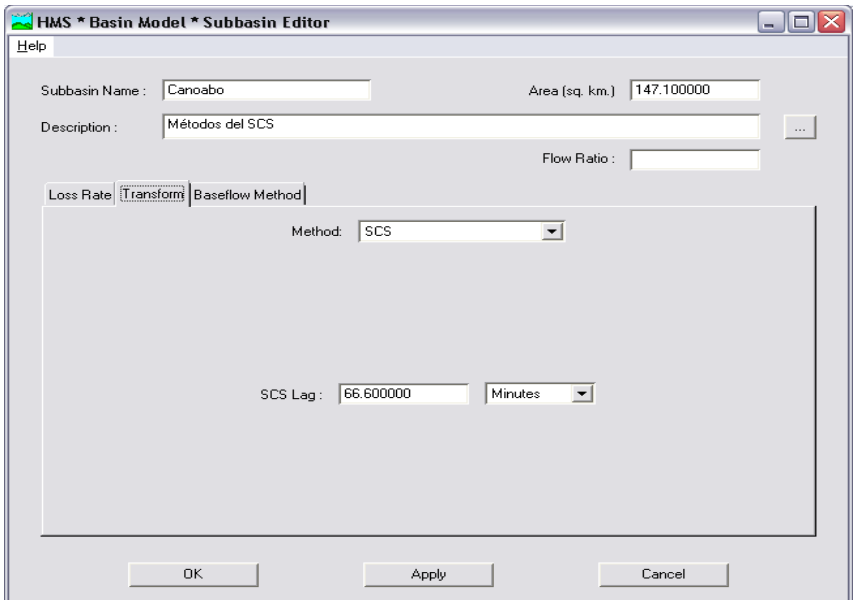


Figura 3.179 Modelo para transformación de lluvia a escorrentía

La Figura 3.180 indica los campos rellenados en forma manual para el flujo base en la pestaña **Baseflow Method⇒Constant Monthly,** los valores ingresados corresponden al promedio mensual de los meses de Enero a Marzo, esto es, los meses de sequía, obtenidos de los registros que se encuentran en el Apéndice F.

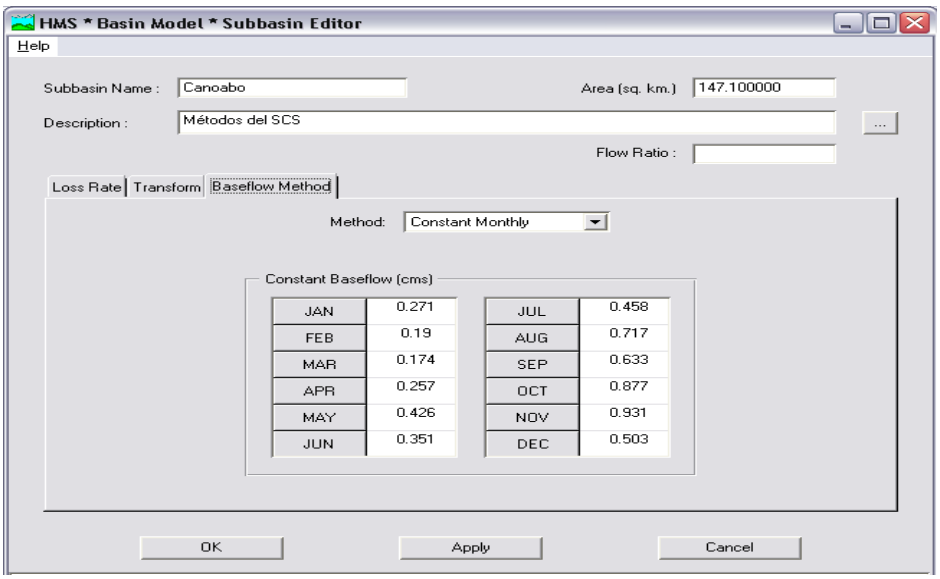


Figura 3.180 Modelo para flujo base

Los valores para efectuar el tránsito a través de los tramos de ríos se importan automáticamente desde HEC-GeoHMS y se muestran en la Figura 3.181, ya que son características geométricas, tales como, forma de la sección transversal, longitud de tramo, pendiente de energía, pendiente lateral y n de Manning. Este modelo se mantiene constante en todas las alternativas.

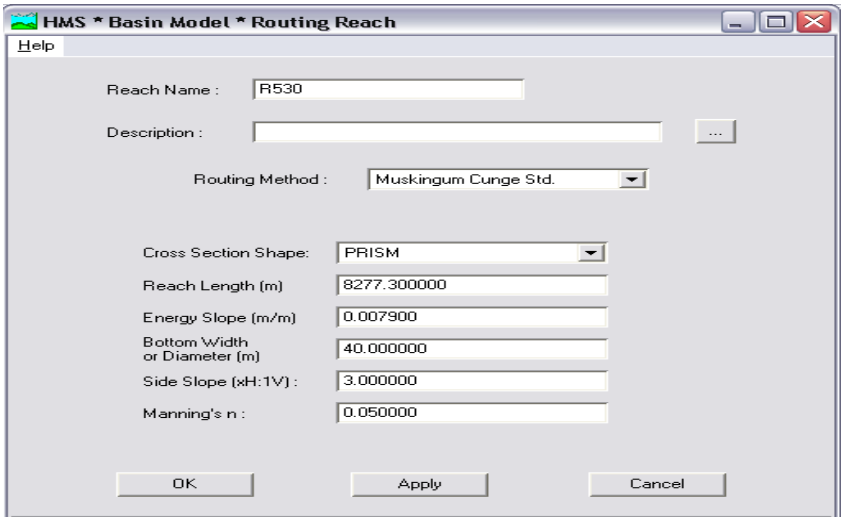


Figura 3.181 Modelo para tránsito

3.43.2 Modelación para la alternativa 2

Para esta alternativa se creó el segundo modelo de cuenca, para el cual se seleccionó a partir del modelo de cuenca ProCanoa, la opción **File⇒ Rename Model**, como se muestra en la Figura 3.182**.**

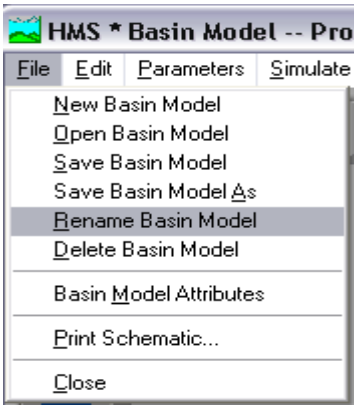


Figura 3.182 Renombramiento del proyecto

En la Figura 3.183 se muestra el relleno de los campos con el nuevo nombre, denominado ProCanoa2

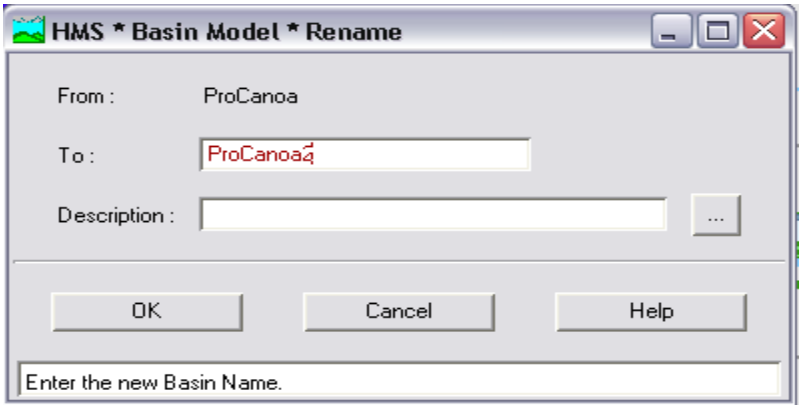


Figura 3.183 Renombramiento del proyecto

La diferencia de esta alternativa con respecto a la alternativa 1 radica en el modelo de transformación de lluvia en escurrimiento ya que se selecciona **Method ⇒ HU Clark,** como se muestra en la Figura 3.184, para este método hay que ingresar el tiempo de concentración y el coeficiente de almacenamiento, estos valores fueron importados desde HEC-GeoHMS

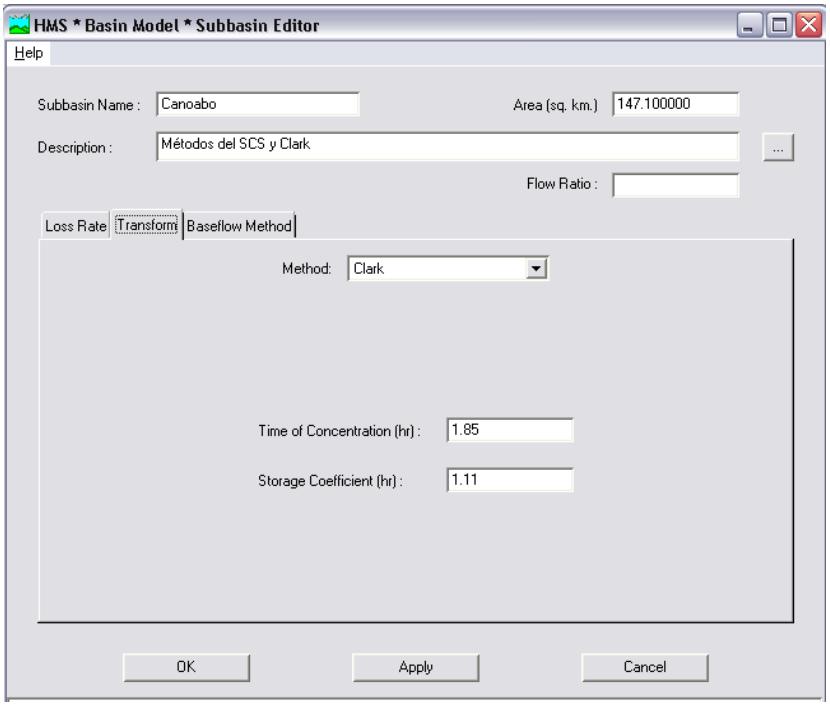


Figura 3.184 Modelo Clark para Escurrimiento Superficial

3.44 MODELO METEOROLÓGICO

El modelo meteorológico considerado para las alternativas 1 y 2 propuestas en el desarrollo del modelo de cuenca, se construyó ejecutando los siguientes pasos; *generación de las tormentas de diseño, ingreso de las tormentas en HEC-HMS y creación del modelo meteorológico en HEC-HMS.*

Se crearon seis modelos meteorológicos, esto significa seis tormentas de diseño; las características que diferencian las tormentas dependen de dos parámetros; la duración de la tormenta y el período de retorno de la misma; se consideraron dos duraciones de diseño; tres y seis horas correspondientes a tres periodos de retorno; 10, 50 y 100 años. A continuación se indicarán los criterios para la generación de las tormentas de diseño; selección del período de retorno, la duración de la tormenta y la obtención de los pluviogramas.

3.45 GENERACIÓN DE TORMENTAS DE DISEÑO

Para generar las tormentas de diseño, se realizaron los siguientes pasos:

- Selección del período de retorno
- Selección de la duración de diseño
- Estimación de los valores de la tormenta de diseño
- Corrección de los valores de la tormenta de diseño por efectos del área de la cuenca
- Distribución de los valores de la tormenta de diseño

3.45.1Selección del período de retorno

Para seleccionar el período de retorno se tomó como referencia la información establecida en la legislación venezolana con respecto a las disposiciones para planicies inundables, en el Apéndice A se encontrarán los artículos 60 y 61 de las **NORMAS SOBRE LA REGULACIÓN Y EL CONTROL DEL APROVECHAMIENTO DE LOS RECURSOS HÍDRICOS Y DE LAS CUENCAS HIDROGRÁFICAS**, según los cuales;

"La delimitación de las áreas responderá al nivel de riesgo asociado a cada una de ellas, en función de los períodos de retorno de las crecidas. "

"En áreas rurales, la reducción de riesgos de pérdida de vidas y de daños a las propiedades debe orientarse preferentemente hacia medidas de carácter preventivo"

En el caso de estudio se seleccionaron los períodos de retorno de 10, 50 y 100 años, con el objeto de establecer conjeturas en relación a la variación de la superficie de agua de la inundación y dar lugar a algunas medidas de carácter preventivo.

3.45.2 Selección de la duración de la tormenta de diseño

Por definición, la duración de la lluvia más desfavorable y que provoca mayor pico de caudal de hidrograma es la del tiempo de concentración, que es

el momento a partir del cual toda la superficie de la cuenca aporta agua en nuestra sección de estudio. Si la duración es menor, hay parte de la superficie de la cuenca que no aporta agua, por lo que el pico de caudal será menor, y si la duración es mayor, el pico es el mismo que cuando tomamos como duración el tiempo de concentración de la cuenca, ya que la superficie de agua es la misma, no aumenta. La tormenta seleccionada debería ser lo suficientemente larga de manera que toda la cuenca contribuya al escurrimiento en el punto de concentración. De modo que, la duración exceda el tiempo de concentración de la cuenca; algunos recomiendan que debería ser 3 o 4 veces el tiempo de concentración (Placer County, 1990)

La selección de la duración se basó en el análisis del tiempo de concentración de las subcuencas, este tiempo se estimó mediante el método de Kirprich, como se muestra en la Tabla 3.5. Esta tabla indica que el tiempo de concentración de toda la cuenca es de 7.49 horas, sin embargo como la subcuenca en la cual se desea hacer el estudio de las manchas de inundación es la del río Urama, se consideró relevante el tiempo de concentración de las subcuencas cabeceras, Temerla y Canoabo, debido a que las cuencas no son consecutivas, se consideró representativo el tiempo de Temerla, el cual resultó de 4.74 horas

Por otro lado, considerando que la Dirección del antiguo Ministerio de Obras de Venezuela encontró sobre la base del análisis de 50 tormentas registradas en la red pluviométrica nacional que la duración de las tormentas de diseño es generalmente de 3 horas y no va más allá de 6 horas (Guevara,

2003) y analizando los tiempos de concentración por subcuencas se resolvió simular crecientes con dos tiempos; 3 y 6 horas como tiempo de concentración para la tormenta de diseño de este estudio, estas duraciones se ajustan a los tiempos de concentración.

Tabla 3.5 Estimación del tiempo de concentración (Tc)

Método	Kirprich						
Cuenca	Todas	Temerla	Canoabo	Urama Alto	Urama Bajo	El Salado	Alpargatón
Ecuación de Tc	$0.0195(L^3/H)^{0.385}$	$0.0195(L^3/H)^{0.385}$	$0.0195(L^3/H)^{0.385}$	$0.0195(L^3/H)^{0.385}$	$0.0195(L^3/H)^{0.385}$	$0.0195(L^3/H)^{0.385}$	$0.0195(L^3/H)^{0.385}$
Longitud total de cauce (m)	53,945.60	32554	15386.6	8601	19743.4	5571	12676.2
Elevación aguas arriba (msnm)	742.00	742	853	215	430	380	430
Elevación aguas abajo (msnm)	10.00	215	215	25	10	25	19
Diferencia de Elevación (m)	732.00	527.00	638.00	190.00	420	355	411
Tiempo de Concentración (min)	449.37	284.57	111.26	90.60	174.30	43.13	105.36
Tiempo de Concentración (hora)	7.49	4.74	1.85	1.51	2.90	0.72	1.76
Tiempo de retardo (hora)	4.49	2.85	1.11	0.91	1.74	0.43	1.05

3.45.3 Estimación de los valores de la tormenta de diseño

La estimación de la tormenta de diseño se llevó a cabo mediante la aplicación de un modelo empírico para estimar los valores de la curva Intensidad-Duración-Frecuencia, generado para la región central de Venezuela (Estados Aragua, Carabobo y Cojedes), sobre la base de los registros pluviográficos de 14 estaciones (Guevara, 2002), los detalles se encuentran en el Apéndice F. Como ejemplo se ilustra el caso para una tormenta de 10 años de período de retorno y una duración de 3 horas, la intensidad para cada duración se determinó mediante la Ecuación 3.1 :

$$I = \frac{634T^{0.222}}{(D+4)^{0.714}} \qquad (3.1)$$

Para T=10 años y D=20 minutos, se tiene que:

$$I = \frac{634(10)^{0.222}}{(20+4)^{0.714}}$$

I=108.8 mm/hora

Los valores obtenidos se calcularon mediante el procedimiento anterior para cada intervalo de tiempo de la tormenta se listan en la columna (3) de la Tabla 3.6.

Tabla 3.6 Tormenta de proyecto para TR=10 años y D= 3 horas

TORMENTA DE PROYECTO						
Cuenca				**Todas**		
Estación Pluviométrica				**Urama**		
Período de retorno				**10 años**		
Intensidad (E:Ecuación)				**$I=634T^{0.222}/(D+4)^{0.714}$**		
Intensidad (MP:Método Probabilistico)				**$I=\mu+\sigma K$**		
Tiempo de Concentración				**449 minutos**		
Factor de Reducción por el área (%)				**76**		
Intervalo (hr)	Intervalo (min)	Intensidad (mm/h)	Pacum (mm)	P(mm)	Pred(mm)	bloques alternos
-	0	-	-	0	-	-
0.33	20	108.80	36.27	36.27	27.57	2.03
0.67	40	70.58	47.05	10.79	8.20	2.48
1.00	60	54.01	54.01	6.96	5.29	3.30
1.33	80	44.48	59.31	5.29	4.02	5.29
1.67	100	38.19	63.65	4.34	3.30	27.57
2.00	120	33.68	67.36	3.72	2.82	8.20
2.33	140	30.27	70.63	3.27	2.48	4.02
2.67	160	27.59	73.56	2.93	2.23	2.82
3.00	180	25.41	**76.23**	2.67	2.03	2.23

3.45.4 Corrección de los valores de la tormenta de diseño por efectos del área

Se aplicó un factor de reducción para la lluvia puntual sobre el área a partir de un análisis de Altura-Duración-Área, realizado sobre la base de 47

tormentas obtenidas del Ministerio del Ambiente y Recursos Naturales, ocurridas en las regiones Nor-Oriental, Central, Centro-Occidental y Andes de Venezuela (Guevara 2002), basado en el hecho de que la lluvia media decrece con la distancia desde el centro de la tormenta y de que la tasa de reducción de los valores puntuales se incrementa a medida que disminuye la duración de la lluvia puntual en el centro de la tormenta. Para una duración de 3 horas se determinó el factor de reducción, aplicando la Ecuación 3.2:

$$R_D = \frac{1}{1 + 7.75x10^{-4} D^{-0.304} A} \qquad \text{Ec (3.2)}$$

Donde D= 3 horas y A=517 Km^2

$$R_D = \frac{1}{1 + 7.75x10^{-4} (3)^{-0.304} (567.3)}$$

$$R_D = 0.76$$

Este factor se aplicó sobre la lluvia para obtener los resultados que se indican en la columna (6) de la Tabla 3.6

3.45.5 Distribución de los valores de la tormenta de diseño

La distribución de los valores de la tormenta de diseño se realizó según el método de bloques alternativos (Chow, Maidment, 1988) para desarrollar un pluviograma de valores de precipitación incremental. Este método sitúa el bloque de altura incremental máximo en la mitad de la duración requerida. Los bloques remanentes se arreglan entonces en orden descendente,

alternativamente antes y después del bloque central. En la Tabla 3.6 este procedimiento se ejecuta de la siguiente manera:

- La columna (4) de precipitación acumulada (P_{acum}), resulta multiplicar la intensidad de lluvia (mm/h) de la columna (3) por el intervalo de tiempo en horas de la columna (1).
- La columna (5) de precipitación en incrementos (P_{inc}), resulta de desacumular los valores de la columna (4)
- La columna (6) de precipitación reducida (P_{red}), resulta de aplicar el factor de corrección de la lluvia por el área, R=0.76
- La columna (7) presenta la lluvia distribuida de acuerdo al método de losa bloques alternos, y resulta repartir alternadamente los valores de la columna (6) alrededor del valor máximo

La Figura 3.185 es un ejemplo de esta distribución temporal; las alturas de lluvia para una tormenta hipotética de duración 3 horas, con intervalos de cálculos de 20 minutos para un período de retorno de 10 años.

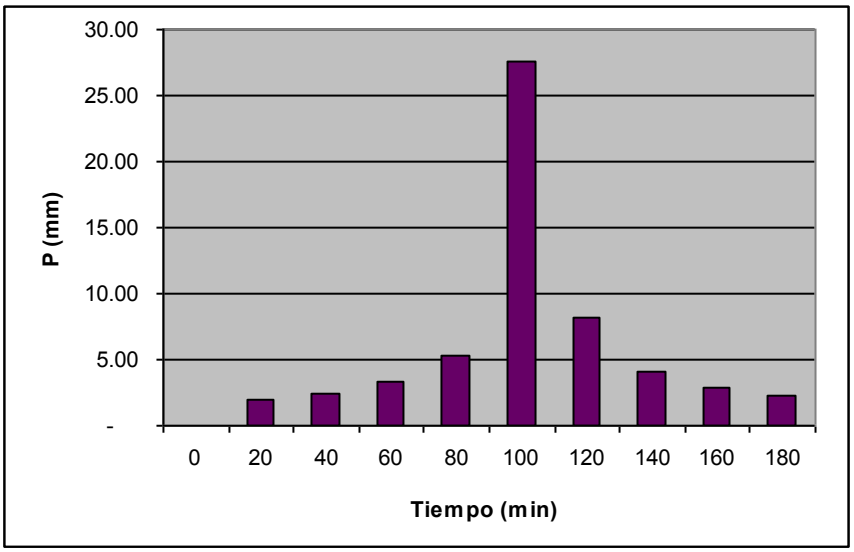


Figura 3.185 Pluviograma de TR=10 años y D=3 horas

3.45.6 Ingreso de las tormentas de diseño en HEC-HMS

En la ventana **Profect Definition** de **HMS**, se selecciona **Data ⇒Precipitation Gages...,** como se muestra en la Figura 3.186

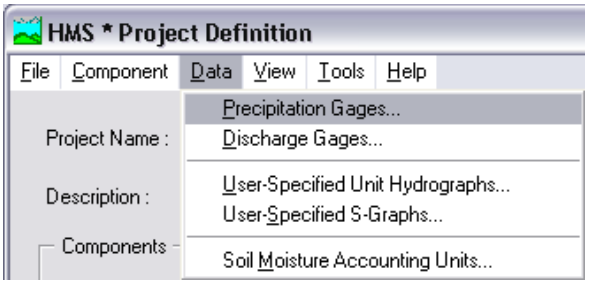


Figura 3.186 Selección de opción para ingresar tormentas

En la ventana **Precipitation Gage Manager** seleccionamos **Edit ⇒ Add Gage,** y en la ventana **New Precipitation Record**, rellenamos los campos; **Gage ID, Description, Data Type, Units y Location** y permitimos la opción por defecto de entrada manual de datos **Manual Entry**, como se muestra en la Figura 3.187

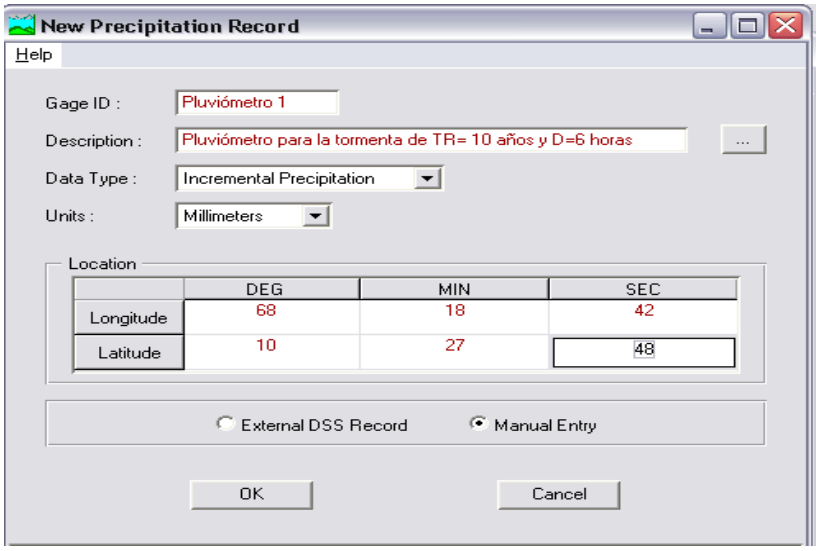


Figura 3.187 Carga de un registro nuevo para la tormenta

Se presiona OK y aparece otro menú donde se ingresan; el intervalo de tiempo considerado (*Time interval*), el día de la lluvia, que será el mismo que posteriormente se introducirá en el control y el cual puede ser cualquier día (*Start date* y *End date*); las horas de inicio y final de la lluvia (*Start time* y *End time*), que coincidirán en su inicio con el tiempo de inicio del control, y que corresponderá a un intervalo de tiempo mayor o igual que el tiempo de concentración total para la cuenca (para poder obtener el caudal máximo). La hora de finalización de la lluvia habrá de ser menor que la hora de finalización del control. Se colocó una lluvia para el 10 de julio del 2005 desde las 12 de la noche hasta las 6:00 de la mañana, entre otras cosas porque el tiempo de concentración para la cuenca es aproximadamente esta duración. Las fechas se deben ingresar en ingles o el programa protestará. Estas características se muestran en la Figura 3.188

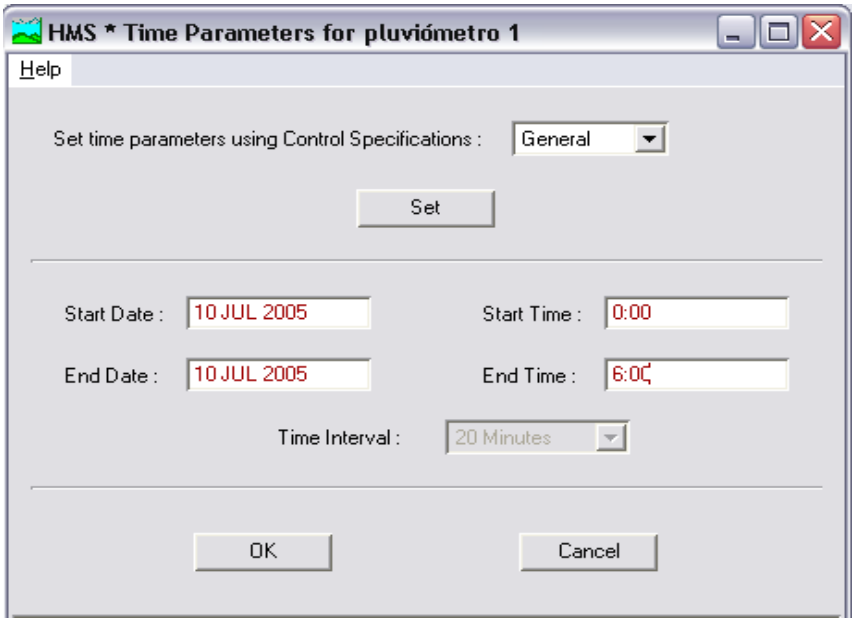


Figura 3.188 Parámetros de tiempo para la tormenta

Se presiona OK y aparece la ventana **Data Editor**; donde se encuentra la tabla para empezar a cargar los datos de lluvia (milímetros). La lluvia a ingresar es la que corresponde a la Figura 3.189

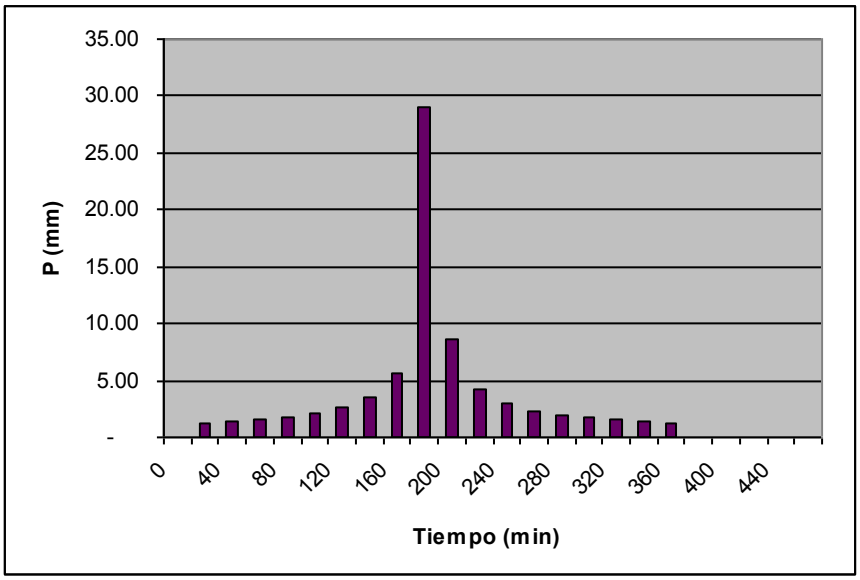


Figura 3.189 Tormenta de TR=10 años y D=6 horas

La ventana **Data Editor** resultante luego del ingreso de los datos es como se muestra en la Figura 3.190

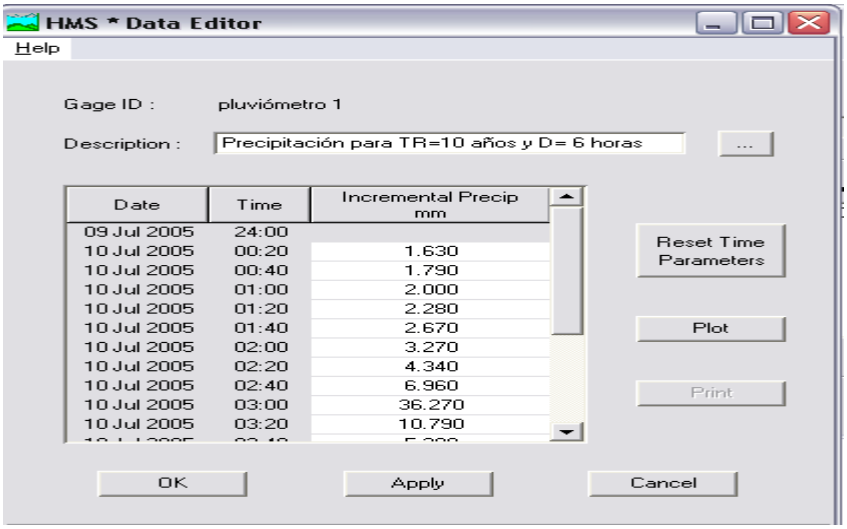


Figura 3.190 Editor de datos de la tormenta

Al final la ventana **Precipitation Manager** muestra las diferentes lluvias (serie de datos pluviómetros) que se han introducido. Se ingresaron 6 tormentas de diseño para duraciones de 3 y 6 horas, así como para periodos de retorno de 10, 50 y 100 años, como se muestra en la Figura 3.191

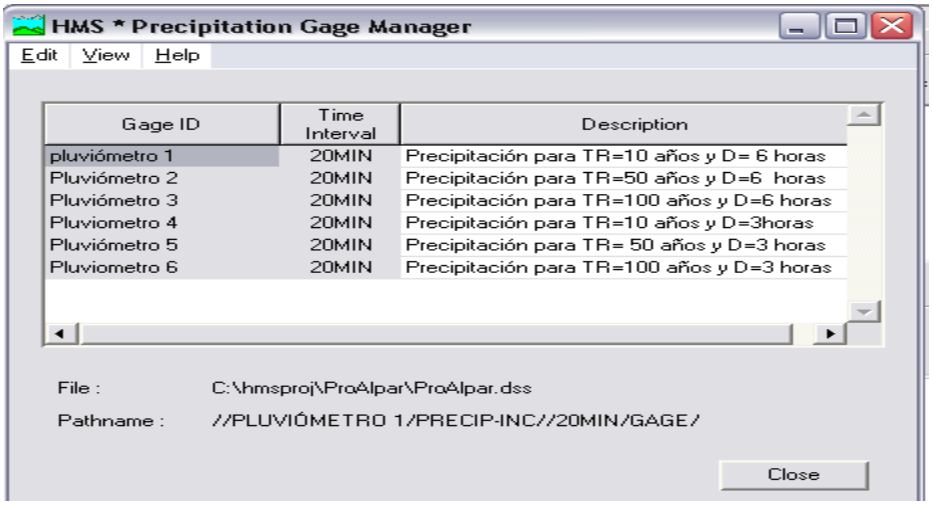


Figura 3.191 Administrador de datos para tormentas de diseño

3.46 CREACIÓN DE LOS MODELOS METEOROLÓGICOS

Una que se han ingresado tantos ***gages*** como tormentas a considerar y creadas y definidas las subcuencas, entonces se crean los modelos meteorológicos en **Component⇒Meteorologyc Model⇒New,** como se muestra en la Figura 3.192

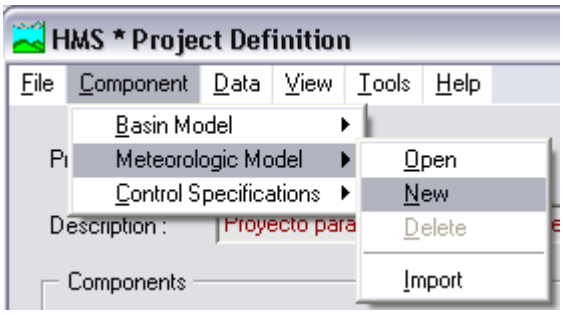


Figura 3.192 Carga del Modelo Meteorológico

En la ventana **New Meteorologic Model,** se le asigna un nombre y descripción en el menú y se presiona **OK**, como se muestra en la Figura 3.193

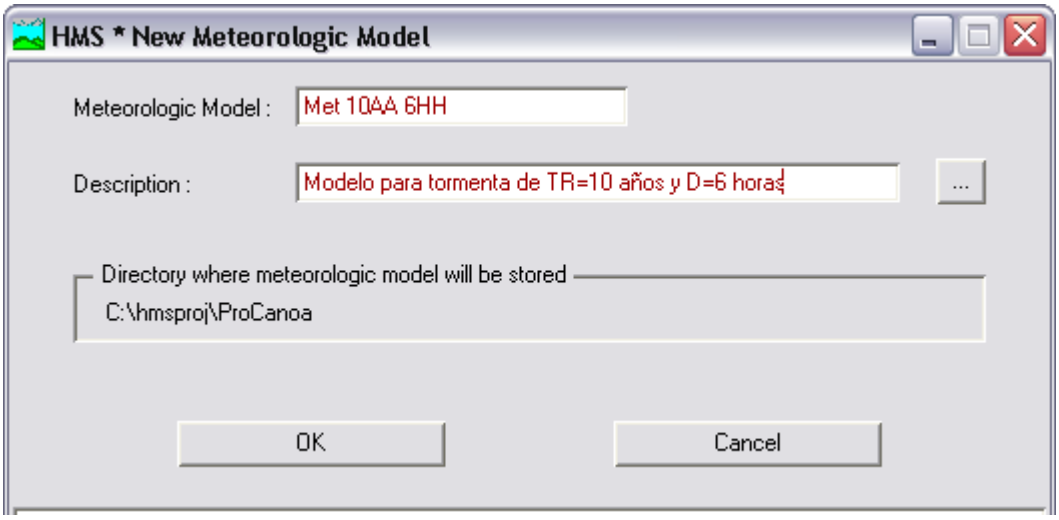


Figura 3.193 Identificación del Modelo Meteorológico

Posteriormente aparece un menú donde presionamos **Subbasin list,** arriba a la derecha, y aparece otro menú donde se presiona **Add** debajo de ***ProCanoa*** y aparecen todas las subcuencas que tenemos en dicha cuenca (*Urama Alto, Canoabo,* etc…), se presiona OK.

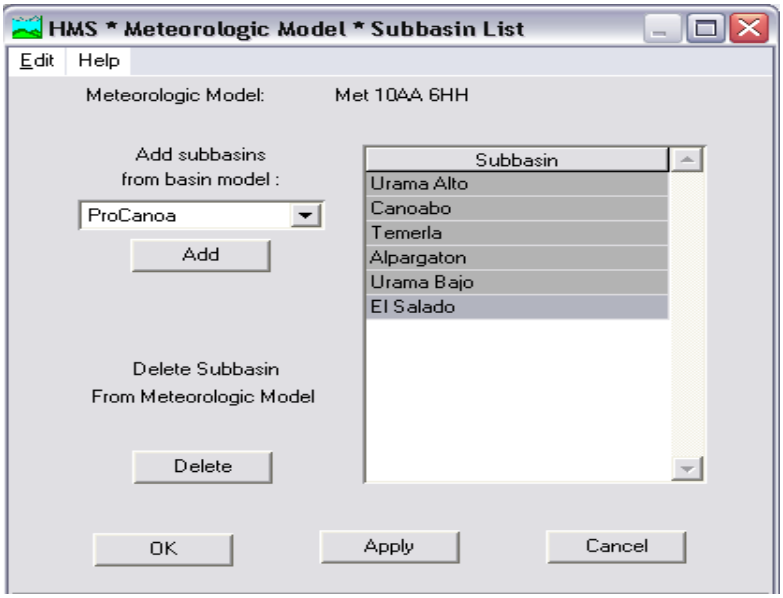


Figura 3.194 Adición de las subcuencas

Luego en la ventana Meteorologic Model, se asignan los pluviómetros para cada una de las subcuencas. Esta asignación se hace pulsando el campo de ***"Gage"ID***, y entonces se abre un menú desplegable para cada subcuenca desde donde se puede elegir entre los distintos *gages* creados anteriormente. Seleccionamos el Pluviómetro 1 para las 6 subcuencas en el modelo Meteorológico 1. Ver Figura 3.195

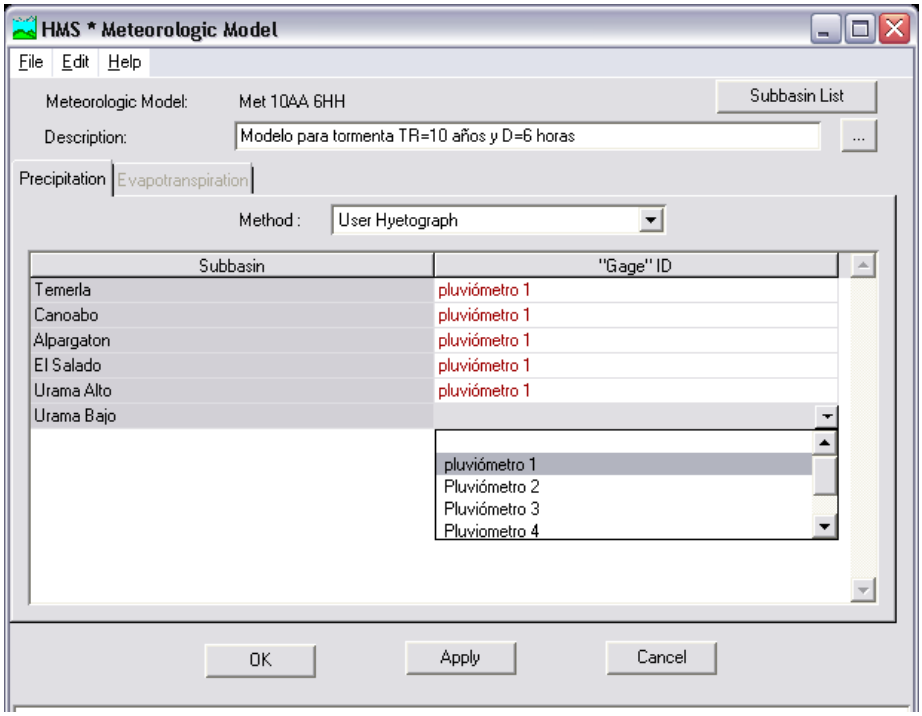


Figura 3.195 Asignación de pluviómetros a las subcuencas

Una vez terminado se presiona OK y se crea un nuevo modelo meteorológico para la tormenta de proyecto del siguiente periodo de retorno. Al final el proyecto quedará con los siguientes componentes, más los pluviómetros, como se muestra en la Figura 3.196

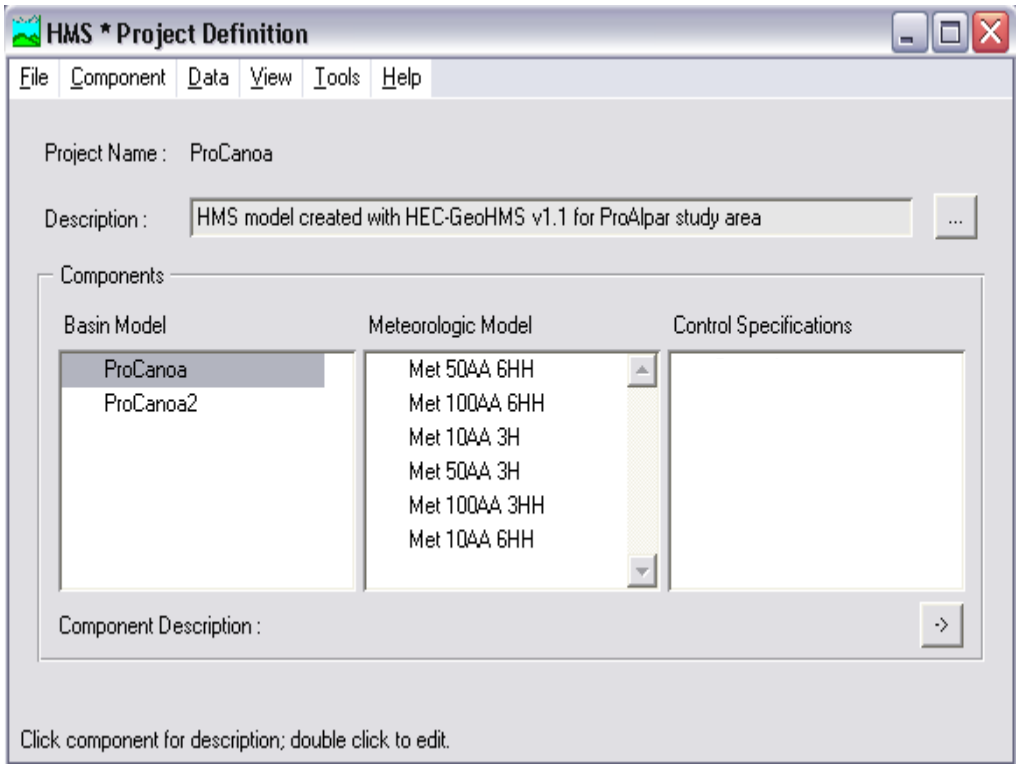


Figura 3.196 Modelos Meteorológicos creados

3.47 ESPECIFICACIONES DE CONTROL

En esta sección se le asigna un control, que es el medio virtual que va a observar como circula el caudal a través de la cuenca. Para ello se selecciona **Component⇒Control specification⇒New**, se le asigna nombre y descripción y se presiona **OK**, en el siguiente menú se coloca el día en que caerá la tormenta (*Starting date* y *Ending date*), un intervalo de tiempo (*Time interval*) que sea menor que el 29% del intervalo de tiempo que se usará para ingresar

los datos de los pluviómetros (si no el programa protesta), y el inicio y final del tiempo de observación lluvia (*Starting time* y *Ending time*), que tendrá que ser mayor que el tiempo que se supondrá que dura la lluvia, porque si no se realiza de esta manera, entonces no le dará tiempo a observar como baja todo el caudal y por lo tanto no se tendrán hidrogramas completos. Ver Figura 3.197

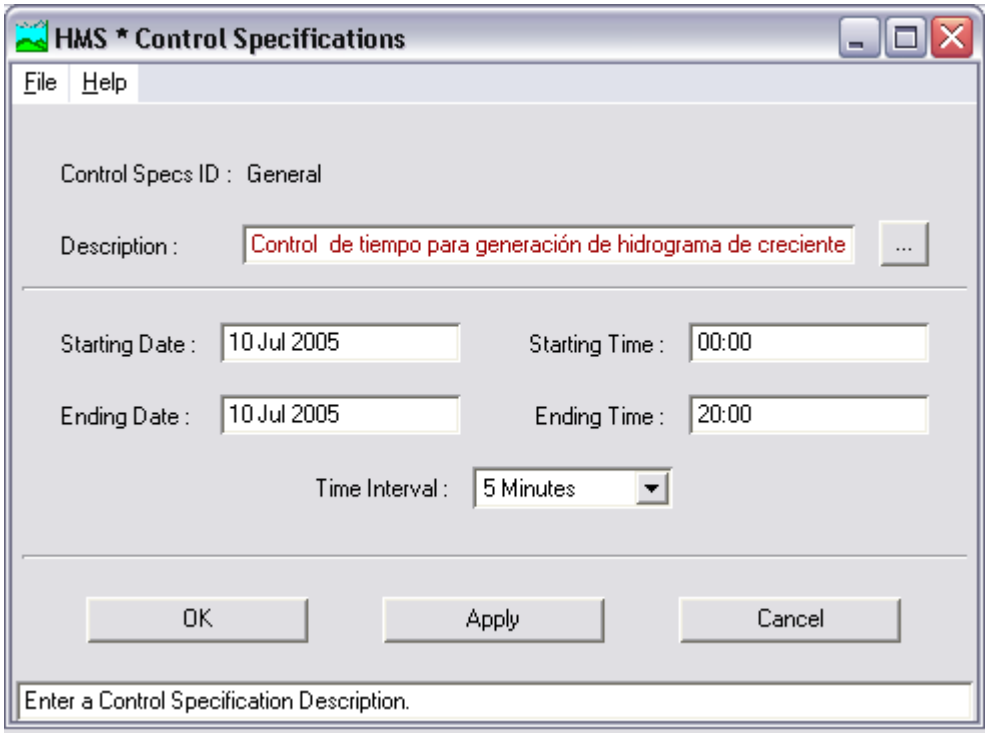


Figura 3.197 Asignación de las Especificaciones de Control

3.48 CONFIGURACIONES DE TRABAJO

Se hace doble click en **ProCanoa** e ingresamos a la pantalla gráfica para la cuenca (**Basin model**). Se establecen distintas configuraciones para que trabaje el programa, es decir, las distintas hipótesis de trabajo para que este realice sus cálculos. Para ello, ingresamos en **Simulate⇒Run**

Configuration, y aparece la pantalla desde la cual añadir las distintas configuraciones, como se muestra en la Figura 3.198

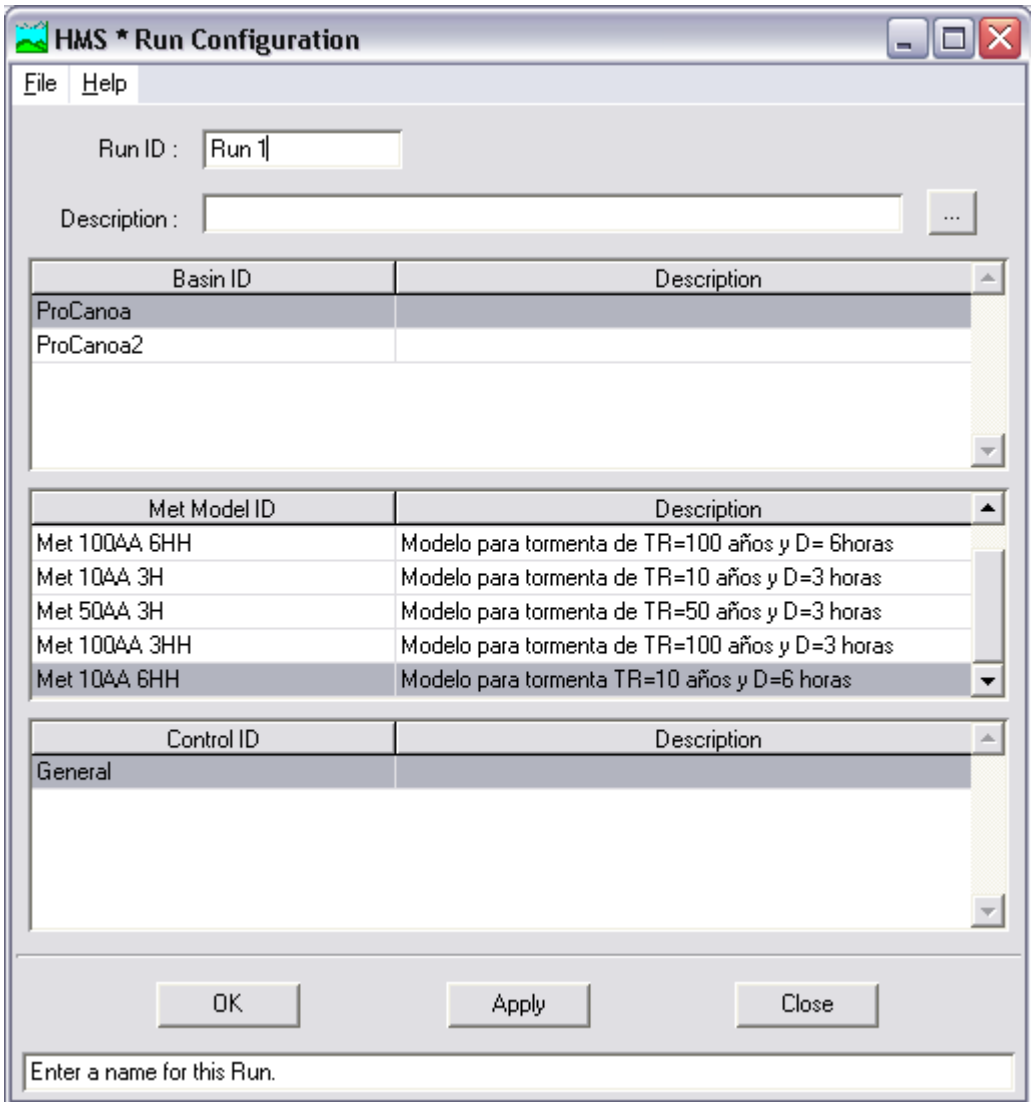


Figura 3.198 Configuración de la corrida 1

En el ejemplo se crearán 6 configuraciones (*Run* 1 hasta *Run* 6) para cada modelo de cuenca, como existen 2 modelos de cuenca, ProCanoa y Procanoa 1, en total serían 12 corridas. Una vez seleccionado el modelo de cuenca, control no varía, pero el modelo meteorológico es distinto, aquel que lleva el pluviómetro con las diferentes tormentas según que periodos de retorno. Para esto basta con seleccionar en cada apartado de la ventana el elemento que interviene en el modelo concreto y después darle a OK. Ahora se retorna al menú **Simulate** y se elige **Run1**, que es el de la tormenta de 10 años y duración de 6 horas. A continuación se ingresa de nuevo en **Simulate** y se selecciona **Compute <Run1>,** y con esto el programa ya empieza a calcular.

3.49 CRECIENTES

Para ver los resultados generados por el programa se puede seleccionar en los menús desplegables del modelo de cuenca la opción **View⇒Global summary table***,* o bien se puede situar el puntero del mouse sobre cualquiera de los elementos del modelo, darle al botón derecho y seleccionar cualquiera de las opciones del submenú **View Results.**

Es conveniente indicar que ***cms*** son ***cubic meters per second***, esto es, m3/seg, y es la unidad con la que se miden los caudales. Los hidrogramas se ven en **View result⇒/Graph,** como se muestra en la Figura 3.199

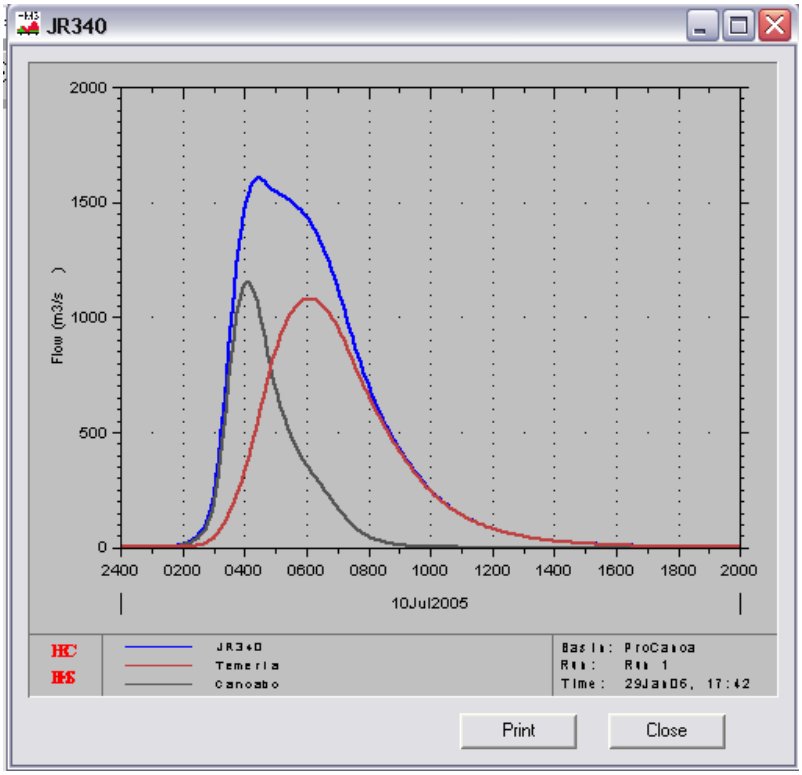


Figura 3.199 Hidrograma de creciente en Urama para tormenta TR=10 años y D=6 horas

3.50 PROCESAMIENTO CON HEC-GEORAS

Para crear un nuevo proyecto en ArcView 3.2, se debe hizo doble click en el ícono del programa desde el directorio de trabajo en Windows, indicado en la Figura 3.200

Figura 3.200 Icono de ArcView GIS 3.2

Una vez que el programa abrió, se activó el cuadro de diálogo **Welcome to ArcView GIS**, como se indica en la Figura 3.201, del cual se seleccionó la opción **as a blank project.**

Figura 3.201. Creación de un nuevo proyecto en ArcView GIS 4.2

Para activar las extensiones de los módulos de ArcView 3.2, desde el menú **File** se seleccionó la opción **Extensions,** como se indica en la Figura 3.202

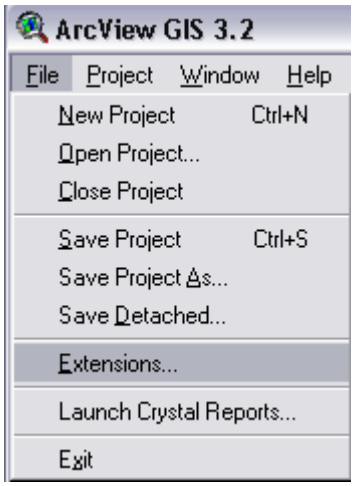


Figura 3.202 Selección de las Extensiones en ArcView GIS 3.2

En el cuadro de diálogo **Extesions** se seleccionó **HEC-GeoRAS 3.1.1,** y se presionó **OK** para aceptar, como se muestra en la Figura 3.203

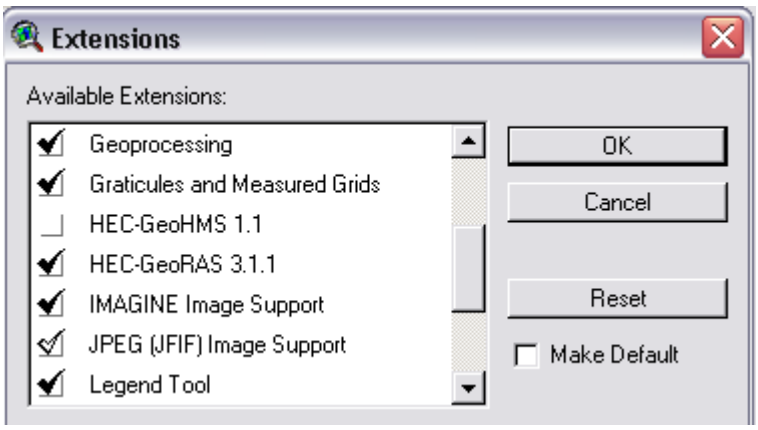


Figura 3.203 Selección de la Extensión HEC-GeoRAS

3.51 CREACIÓN DEL PROYECTO

Desde la tabla de contenidos de ArcView se seleccionó el documento **View**, una vez abierta la pantalla de esta vista, se seleccionó **File⇒Save prject as...**, el proyecto se creó en la siguiente dirección, **C:\gras\Proj1.apr,** el documento Proj1.apr, almacenarán todos los archivos de trabajo con HEC-GeoRAS. Una vez creado el proyecto se procedió a cargar el Modelo Digital de Terreno.

3.52 MODELO DIGITAL DEL TERRENO (MDT)

El trabajo con HEC-GeoRAS requirió un MDT, desde el cual, fueron extraídos los datos geométricos. El MDT fue adquirido para este estudio desde la empresa SAMS Consultores. El MDT se almacenó en un archivo denominado Líneas.shp, la ubicación de este archivo se llevó a cabo de la siguiente manera; desde la barra de herramienta se seleccionó **Add Theme ⇒ C: \gras ⇒lineas.shp**, la carga de este archivo representa el Modelo Digital del Terreno (MDT), como se muestra en la Figura 3.204

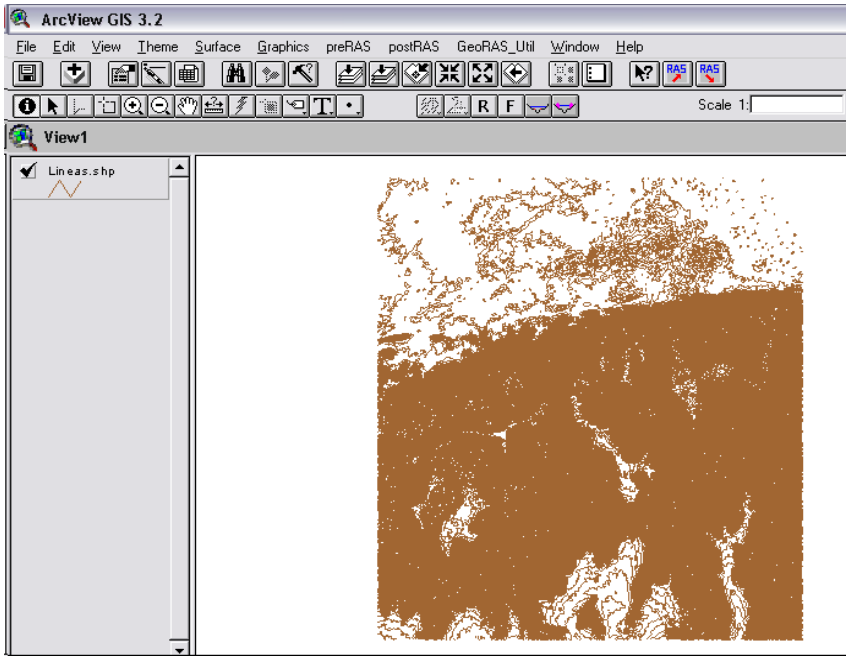


Figura 3.204 Modelo Digital del Terreno (MDT)

3.53 CREACIÓN DEL TEMA GRID

Para iniciar el trabajo en el programa, se creó un tema GRID a partir del MDT, para ello se seleccionó del menú **Theme ⇒Convert to Grid,** luego el mismo será almacenado en la siguiente dirección; **C: \gras ⇒Nwgrd1,** automáticamente se despliega el cuadro **Conversion Extent: Lineas.shp**, en este cuadro se aceptaron las opciones de dimensionamiento de celdas propuestas por defecto, al presionar **OK**, se desplegó el cuadro **Conversion Fields:lineas.shp,** en el cual se seleccionó la opción **Elevation**, al cual se presionó **OK.** Una vez aceptada las opciones se carga a la pantalla de mapas el tema Nwgrd1, como se muestra en la Figura 3.205

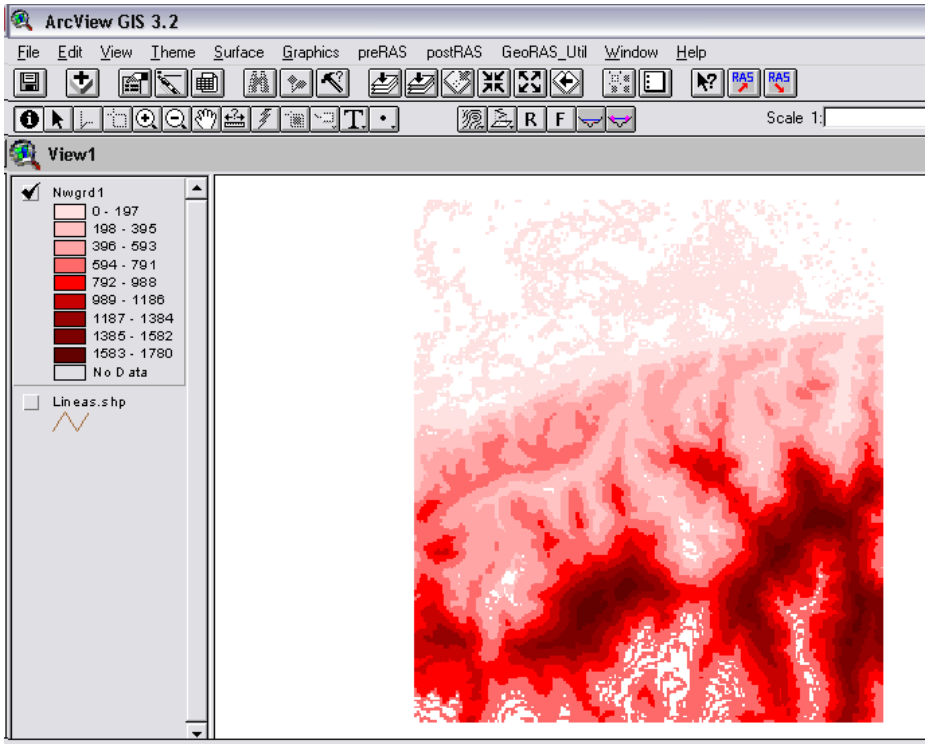


Figura 3.205 Tema Grid desde MDT

3.54 CREACIÓN DEL TEMA TIN

El tema TIN se creó a partir del tema GRID, para ello se seleccionó del menú **Theme ⇒Convert Grid to TIN,** luego el mismo será almacenado en la siguiente dirección; **C: \gras ⇒Nwtin1,** automáticamente se despliega el cuadro **Convert GRID to TIN: Nwgrd1**, en este cuadro aceptó ingresar como tolerancia en el eje z la altura cada 20 metros de desnivel, al cual se presionó **OK.** Una vez aceptada las opciones se carga a la pantalla de mapas el tema Nwtin1, como se muestra en la Figura 3.206

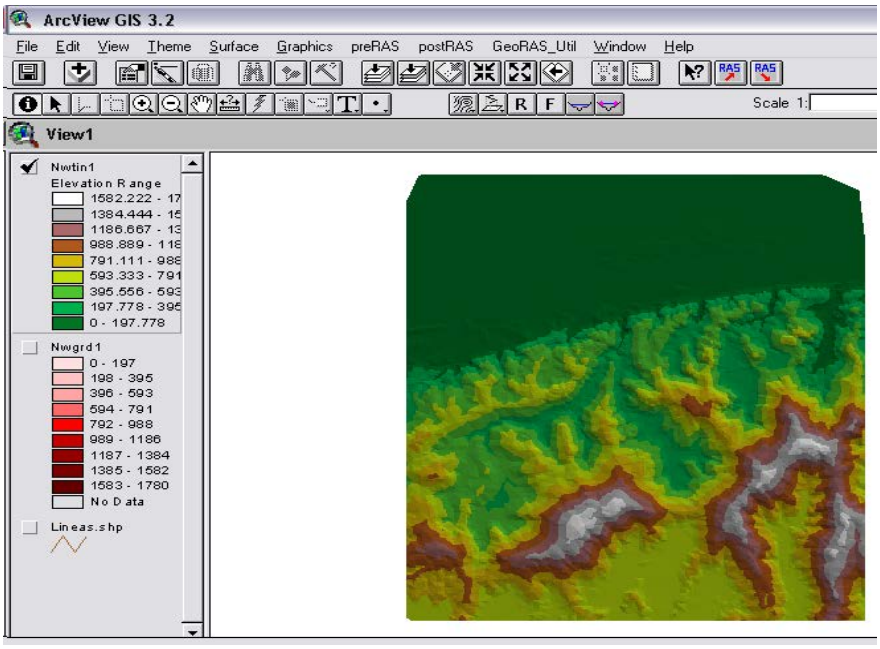


Figura 3.206 Tema Nwtin1 a partir de Nwgrd1

Desde el menú **Surface** se seleccionó **Create Contour,** se despliega el cuadro **Contour Parameters,** en este cuadro se establecieron intervalos cada 1 metro, al presionar **OK**, se cargó el tema **Contour of Nwtin1.** Este tema contribuye a diferenciar el curso por el cual debe ser trazado el río, como se muestra en la Figura 3.204.

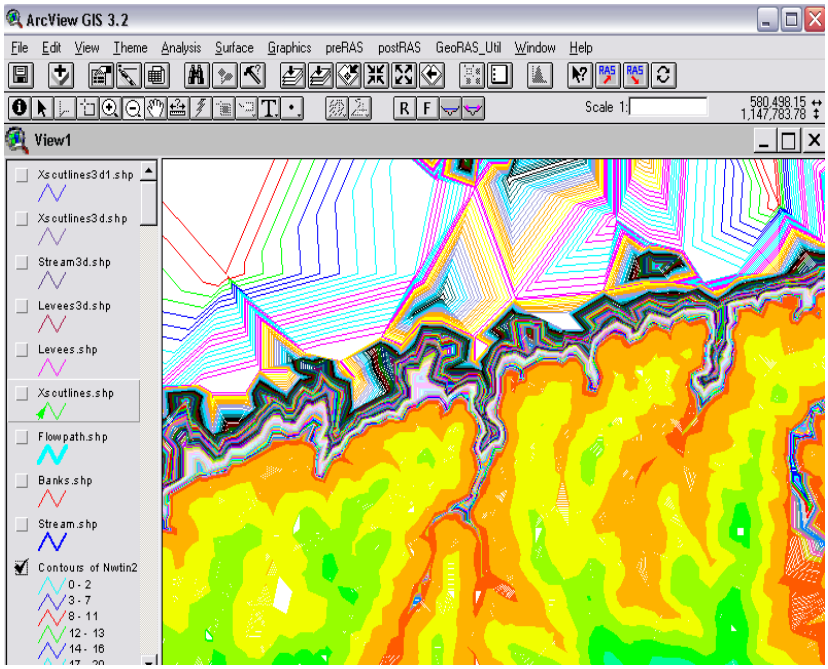


Figura 3.207 Tema de Contornos para Nwtin1

3.55 PREPROCESAMIENTO CON GEORAS

El objetivo de esta sección fue desarrollar los datos espaciales requeridos para generar el archivo de importación que contiene definidos la red de corrientes en 3-D y las secciones transversales en 3-D. El proceso se llevó a cabo en tres pasos:

- **Preparación de los temas polilíneas en 3-D**, que definen; el eje del río (stream centerline), secciones transversales (cross- sections), márgenes del río (stream banks), y líneas de curso del río (flow path lines).
- **Generación de los atributos en 3D:** se usarán las funciones del menú preRAS de HEC-GeoRAS para extraer los datos espaciales en 3-D desde el TIN para el desarrollo de los temas de polilíneas en Z 3-D construidos sobre la base del eje de río, secciones transversales, márgenes de corrientes y líneas de curso del río.
- **Generación del archivo de importación HEC-RAS**

3.56 PREPARACIÓN DE LAS POLILÍNEAS 3-D

El tema de polilíneas 3-D involucró crear los siguientes temas; stream centerline, cross- sections, stream banks y flow path lines.

3.56.1 Creación del Eje del Cauce (*STREAM CENTERLINE*)

En el menú de ArcView se selecciona **PreRAS⇒Create Stream Centerline,** luego de esta selección se despliega el cuadro donde se introdujo el

nombre del archivo, el cual será almacenado en la siguiente dirección **C: \gras\stream.shp**, automáticamente este tema se hace editable, la edición del río se ejecutó con la herramienta , el trazado del río se finaliza con doble click, para esta edición fue preciso consultar la carta geográfica oficial de la zona, emanada del antiguo Ministerio de Obras Públicas (MOP), Dirección de Cartografía Nacional, cuadrícula **6547-III-SE año 1977, Urama, Escala 1:25.000**. Como regla se debe considerar que se digitaliza desde aguas arriba hacia aguas abajo. La Figura 3.208 indica el resultado de esta ejecución.

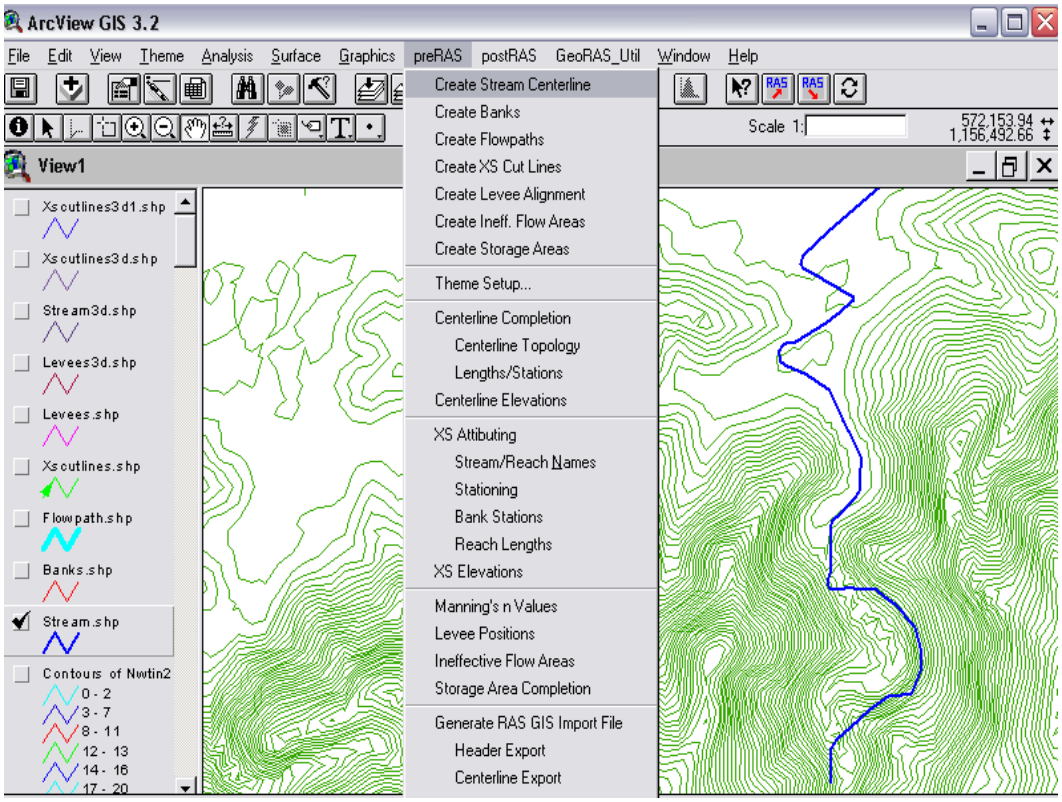


Figura 3.208 Eje del Cauce

Se debe posteriormente a este paso darle nombre al río y al tramo ejecutado, para ello es preciso pulsar la tecla R, hacer click sobre el río, éste se torna de color amarillo para indicar que ha sido seleccionado, e introducir la identificación correspondiente, como se indica en la Figura 3.209

Figura 3.209 Ventana *River and Reach IDs*

Cuando se ha terminado de digitalizar hay que cerrar la edición de ese tema **Theme⇒ Stop Editing.**

3.56.2 Creación de las líneas que definen las márgenes del cauce del río (*MAIN CHANNEL BANKS*)

En el menú de ArcView se selecciona **PreRAS⇒ Create Bank,** luego de esta selección se despliega el cuadro donde se introdujo el nombre del archivo, el cual será almacenado en la siguiente dirección **C: \gras\Banks.shp**, automáticamente este tema se hace editable, la edición de las márgenes se ejecutó con la herramienta "*draw line*", el trazado de las

márgenes se finaliza con doble click. El resultado de crear las márgenes se muestra en la Figura 3.210

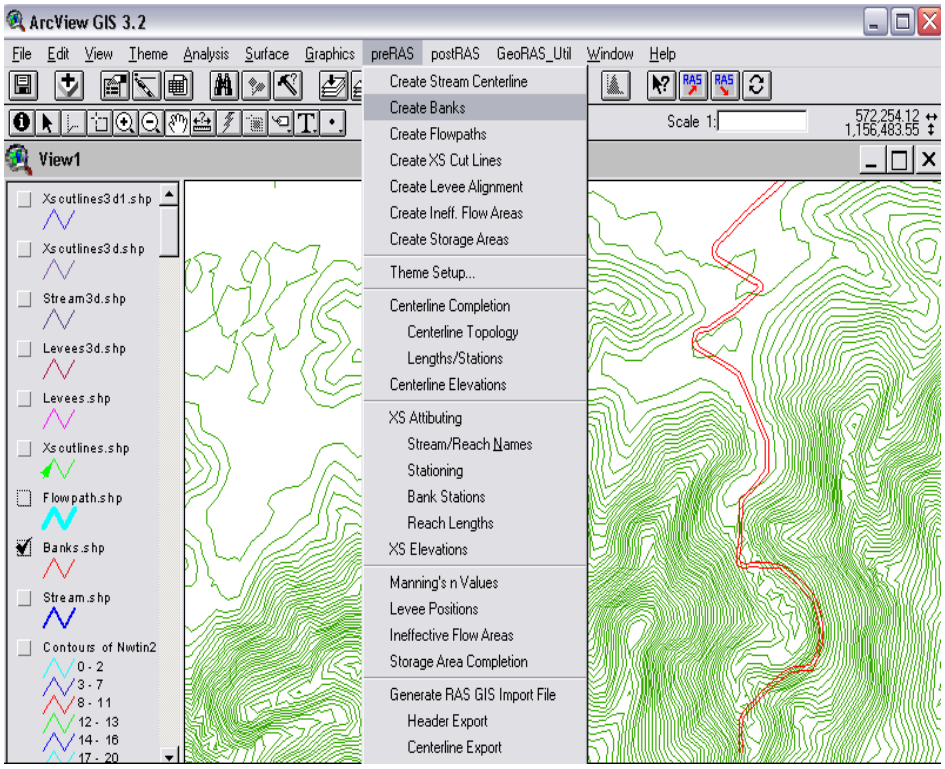


Figura 3.210 ***Main Channel Banks*, Río Urama**

Cuando se ha terminado de digitalizar hay que cerrar la edición del tema; **Theme ⇒Stop Editing.**

3.56.3 Creación de líneas que permiten medir la distancia recorrida por el flujo en los márgenes del cauce del río (*FLOW PATH CENTERLINES*)

En el menú de ArcView se selecciona **PreRAS⇒ Create FlowPath,** luego de esta selección se despliega el cuadro donde se introdujo el nombre del archivo, el cual será almacenado en la siguiente dirección **C: \gras**

FlowPath.shp, automáticamente este tema se hace editable, la edición del los flow Paths se ejecutó con la herramienta "*draw line*" , el trazado de cada Flow Path se finaliza con doble click. Estas líneas definirán el centro de masa del flujo que discurrirá por cada margen. El corte de estas líneas con las secciones transversales definen los puntos entre los que se medirá automáticamente, siguiendo esa línea, la distancia entre secciones por los márgenes. Se digitaliza una línea por cada lado del río, y también debe incluirse el eje del cauce principal **(*Stream Centerline*),** pero como este eje ya está hecho, es recomendable aceptar la opción que da el programa de copiarlo automáticamente. El resultado de esta ejecución se indica en la Figura 3.211

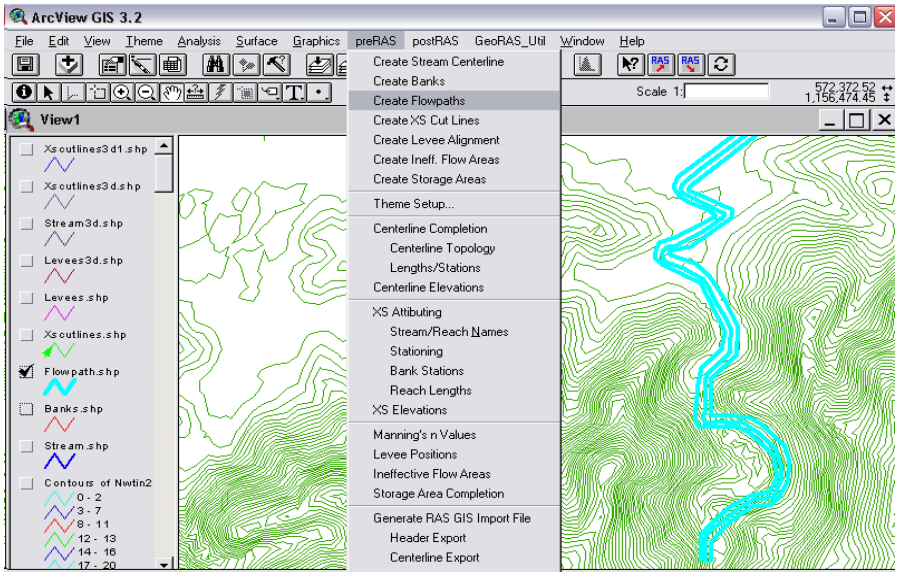


Figura 3.211 Trayectoria del Flujo, Río Urama

A continuación, se definió para cada segmento su situación: Izquierdo (*Left*), Derecho (*Right*) o Cauce (*Channel*) de "*Flow Path Centerlines*", como muestra la Figura 3.212

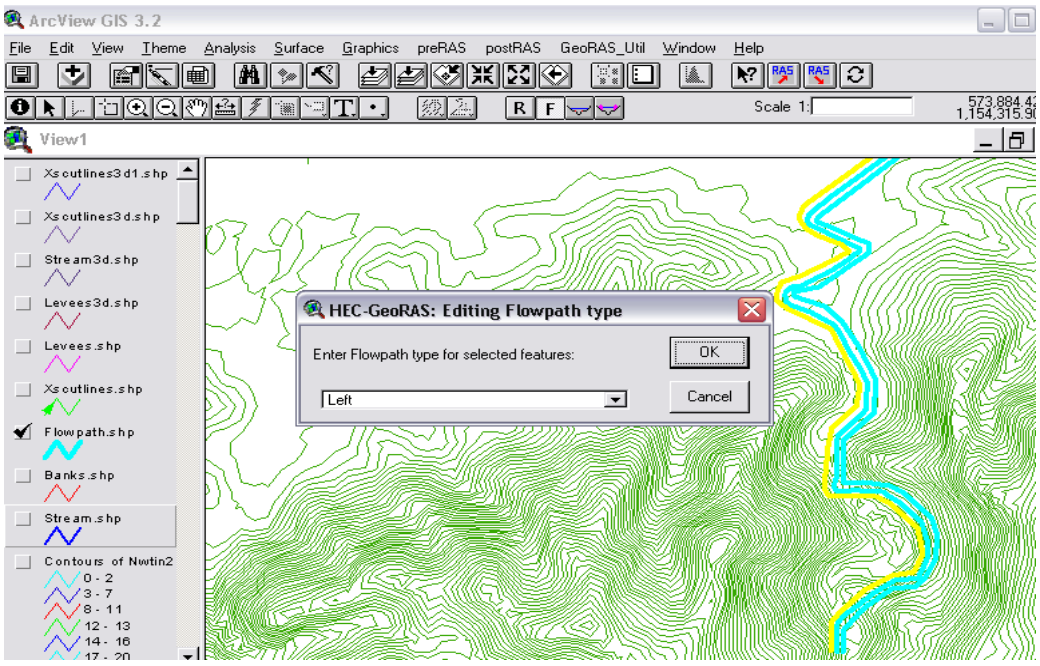


Figura 3.212 Identificación del Estribo Izquierdo, Derecho, y Canal Principal.

Cuando se ha terminado de digitalizar hay que cerrar la edición de este tema; **Theme⇒Stop Editing.**

3.56.4 Creación de las líneas de corte de las secciones transversales (*CROSS-SECTIONAL CUT LINES*)

En el menú de ArcView se selecciona **PreRAS⇒ *Create XS Cut lines*,** luego de esta selección se despliega el cuadro donde se introdujo el nombre del archivo, el cual será almacenado en la siguiente dirección **C: \gras\ *Xs Cut lines*.shp**, automáticamente este tema se hace editable, la edición del las secciones transversales se ejecutó con la herramienta "*draw line*" , el trazado de cada sección transversal se finaliza con doble click.

Con las secciones definidas en este paso, se extraerán los datos de la geometría de las secciones transversales a partir del TIN. Las normas a seguir para digitalizar son:

- Tener activado el *TIN Theme*.
- No se pueden cortar dos secciones.
- Las secciones cortan perpendicular al flujo.
- Se digitaliza de orilla izquierda a derecha y deben cortar las líneas de *Flow Path Centerline*.

El resultado de la creación de las secciones transversales se indica en la Figura 3.213

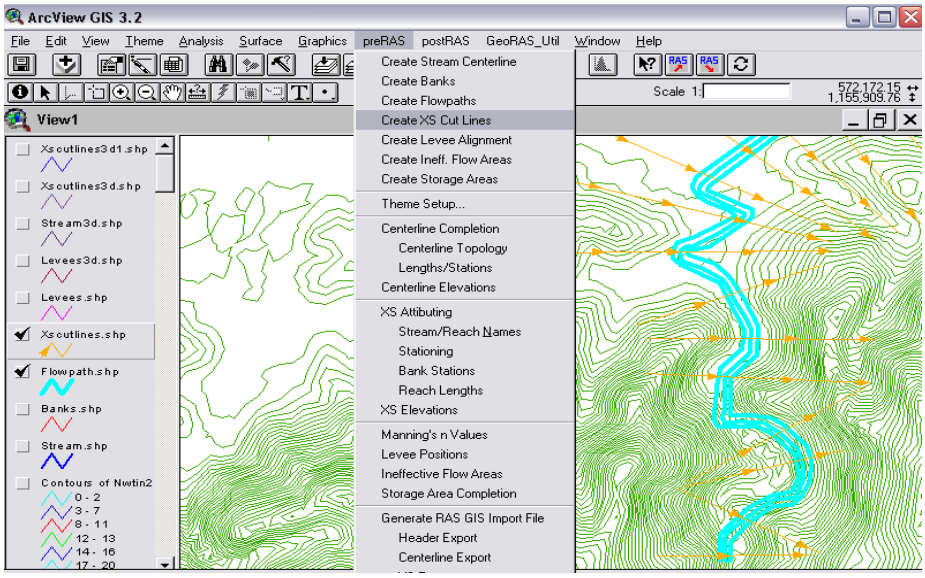


Figura 3.213 Líneas de Corte de Sección Transversal, Río Urama

3.56.5 Creación de diques (Leeve)

En el menú de ArcView se selecciona **PreRAS⇒ Create Levee Alignment,** luego de esta selección se despliega el cuadro donde se introdujo el nombre del archivo, el cual será almacenado en la siguiente dirección **C: \gras\levee.shp**, automáticamente este tema se hace editable, la edición del dique se ejecutó con la herramienta "*draw line*", después de crear el alineamiento, se abre la tabla **Levee Alignment**. La tabla contiene el campo Levee_ID, se debe hacer la tabla editable, seleccionando **Table⇒ Start Editing**, se usa la herramienta **(Edit)** para ingresar un identificador para el dique, en este estudio el dique se identificó como DILAJOBERA, debido a que la zona se identifica así, para finalizar se selecciona **Table⇒ Stop Editing.**

3.56.6 Perfil del dique

Los datos del perfil fueron ingresados utilizando la herramienta **(Levee Elevations),** el TIN debe estar activo, y una vez seleccionada dicha herramienta el puntero se transforma en un círculo, mediante el cual se fue haciendo click sobre los puntos a lo largo del dique. Una pantalla para introducir las elevaciones del dique, indicando la cota del terreno aparecerá para ir introduciendo las elevaciones, las elevaciones serán almacenadas en una tabla identificada con el nombre que se le asignó previamente, DILAJOBERA, el perfil creado se indica en la Figura 3.214

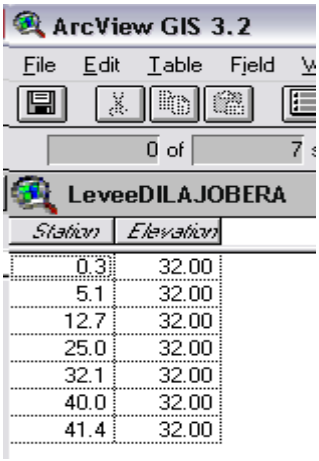


Figura 3.214 Tabla para perfil del dique

3.56.7 Completación de los datos del dique 3-D

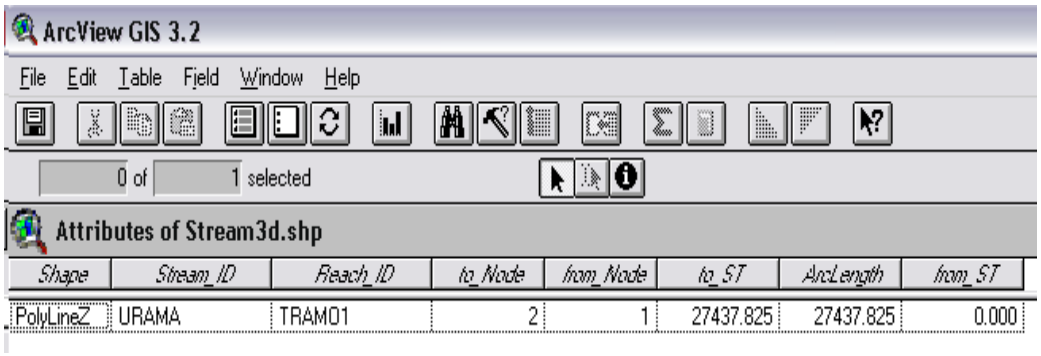
Debido a que GeoRAS requiere completar el alineamiento del dique mediante un archivo 3-D, la completación del dique requiere la extracción de los datos 3-D, para ello se selecciona **GeoRAS_Util⇒Levee Profile Completion** para completar el tema dique en 2D a 3D.

3.57 GENERACIÓN DE LOS ATRIBUTOS DE LOS TEMAS EN 3-D

En este paso se completa la información automáticamente a los "*RAS Themes*" y, además, se crearán otros similares pero en 3 dimensiones, esto se realiza mediante la aplicación de las funciones; **Centerline Completion, Centerline Elevations, XS Attributing, XS Elevations**

3.57.1 PreRAS - Centerline Completion

Crea un fichero 3D a partir de "*Stream*", es decir, con una coordenada de cota (*Stream3D.shp*). Chequea la tabla de atributos para asegurar que los tramos estén conectados adecuadamente, cada campo debería tener un formato "PolilineZ" y las distancias "to_ST" y "from_ST" para cada tramo. Esto asegura la conectividad de cada tramo. Si la tabla de atributos tiene datos faltantes, el desarrollo del tema **stream centerline** necesitará repetirse de nuevo antes de pasar al próximo paso. Los campos citados con anterioridad se pueden observar en la tabla de atributos que se muestra en la Figura 3.215



Shape	Stream_ID	Reach_ID	to_Node	from_Node	to_ST	ArcLength	from_ST
PolyLineZ	URAMA	TRAMO1	2	1	27437.825	27437.825	0.000

Figura 3.215 Tabla de atributos del río en 3-D, Río Urama

3.57.2 PreRAS - XS Attributing

Añade una serie de campos a "*XS Cut Lines*".

3.57.3 *PreRAS - XS Elevations*

Crea un fichero 3D a partir de "*xscutlines.shp*", es decir, con una coordenada de cota (*xscutilines3d.shp*).

3.57.4 *PreRAS – Levee Positions*

Los datos de las elevaciones del dique son extraídos durante este proceso, para ello debe haber un archivo 3-D editable con los datos del perfil del dique con un campo titulado **Levee_ID** en la tabla de atributos de características para realizar esta función. Los datos de la posición y elevación del dique son extraídos del tema de Líneas de Corte de las Secciones Transversales y el tema **Levee 3D.** Los datos reportados se envían a la tabla **Levee Position.**

3.58 CREACIÓN DEL FICHERO DE IMPORTACIÓN PARA HEC-RAS

3.58.1 PreRAS - Theme Setup

Se debe rellenar en *Terrain TIN*, con el contorno TIN; e *Input Data*, con los *RAS Themes*, creados al caso que corresponda. La Figura 3.216 muestra el cuadro que indica los temas creados para en PreRAS para la importación.

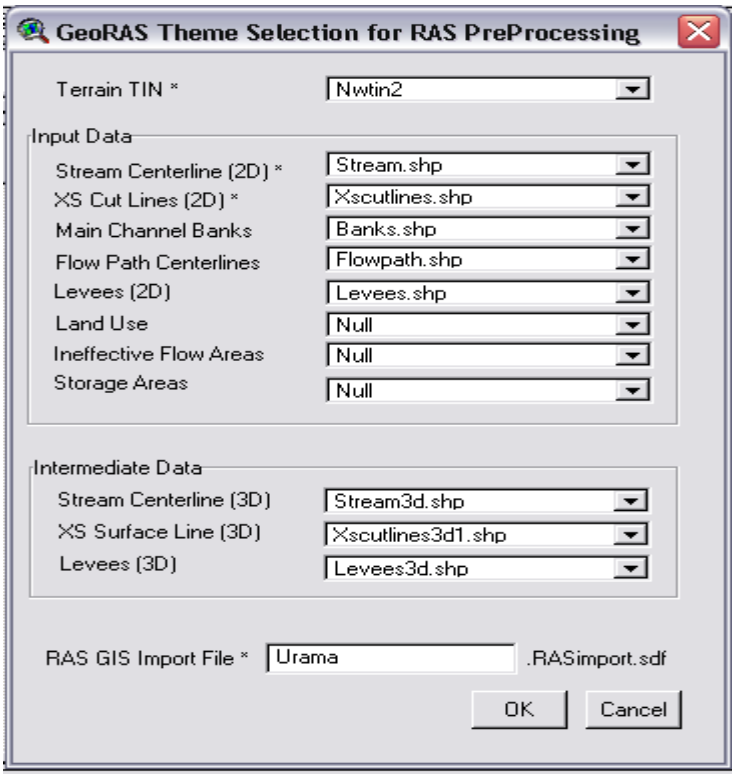


Figura 3.216 Fichero de Importación para HEC-RAS

3.58.2 PreRAS - Generate RAS GIS Import File

Aquí se prepara el archivo (fichero) que a continuación será leído por HEC-RAS. Este archivo de texto sin extensión está en la carpeta donde se encuentra el resto de temas.

3.59 TRABAJO EN HEC-RAS

Para crear un nuevo proyecto en HEC-RAS, se hizo doble click en el ícono del programa desde el directorio de trabajo en Windows, indicado en la Figura 3.217

Figura 3.217 Icono de HEC-RAS

3.59.1 Creación del proyecto

Para crear un nuevo proyecto se seleccionó **File⇒New Project...,** esta acción desplegó el cuadro de diálogo, donde se ubicó el directorio para almacenar el proyecto; el cual se resultó como sigue **C: \ras ⇒Urama.prj,** colocó un título para el proyecto y un identificador corto para el mismo, esto se puede observar en la Figura 3.218

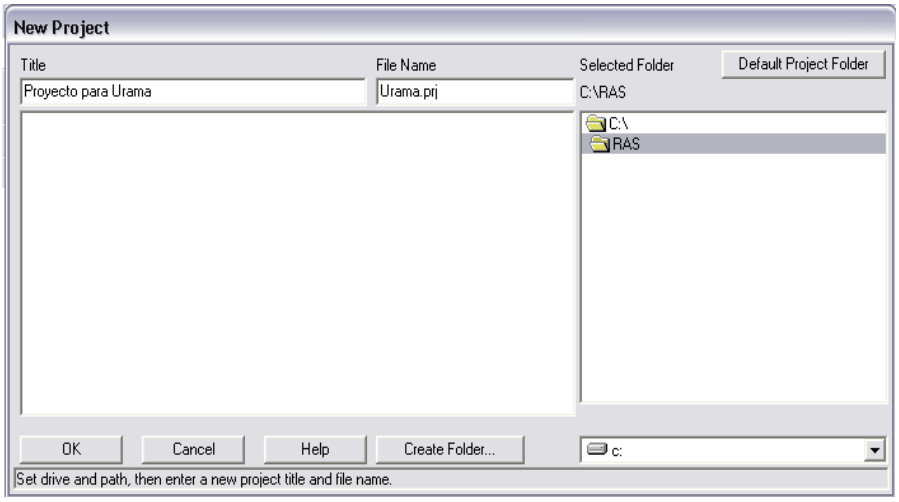


Figura 3.218 Ventana *HEC-RAS – File – New Project*

3.59.2 Edición de los Datos Geométricos

Para abrir el **Editor de Datos Geométricos** se seleccionó desde el menú de HEC-RAS; **Edit⇒ Geometric Data...**, una vez abierta la pantalla,

desde el menú se procedió a identificar el archivo con el cual serán almacenados los datos geométricos, para ello se seleccionó **File⇒Save geometric Data As...,** y se colocó un título y se aceptó que dicho archivo fuese almacenado como un documento del proyecto, esta ven tana se muestra en la Figura 3.219.

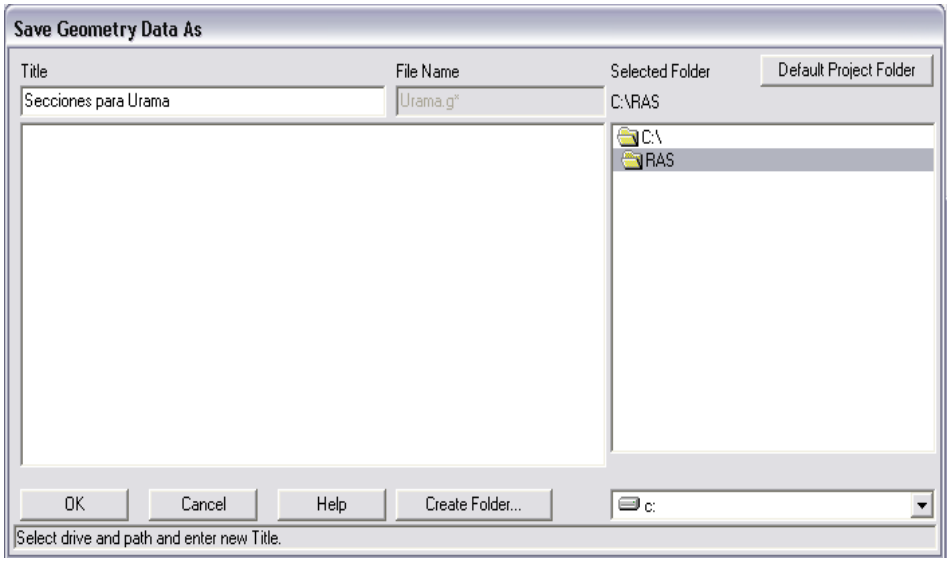


Figura 3.219 Ventana *File- Geometry Data*

3.59.3 Importación del archivo de datos Geométricos

Para importar el archivo se selecciona ***File⇒ Import Geometry Data ⇒ GIS Format...,*** luego en el modulo ***Edit – Enter Geometric Data***, se busca el Archivo de Importación creado por Arcview, como se muestra en la Figura 3.220

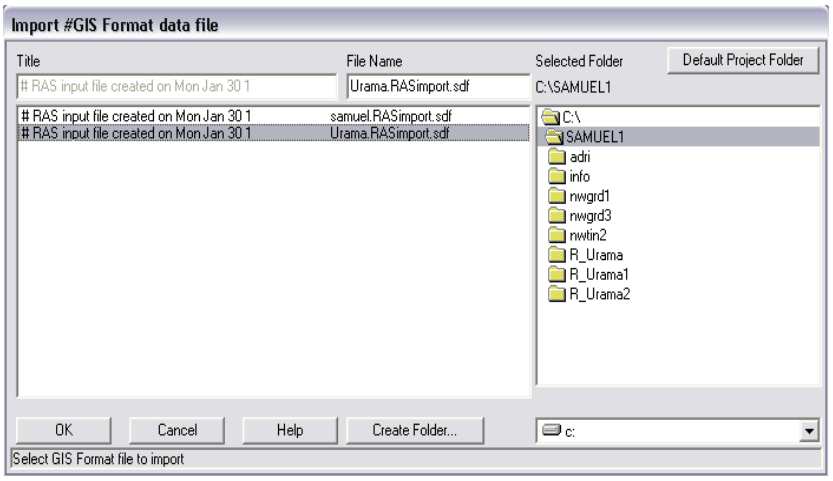


Figura 3.220 Identificación de las secciones transversales

La importación del archivo dio como resultado el esquema de río y secciones transversales, como se muestra en la Figura 3.221

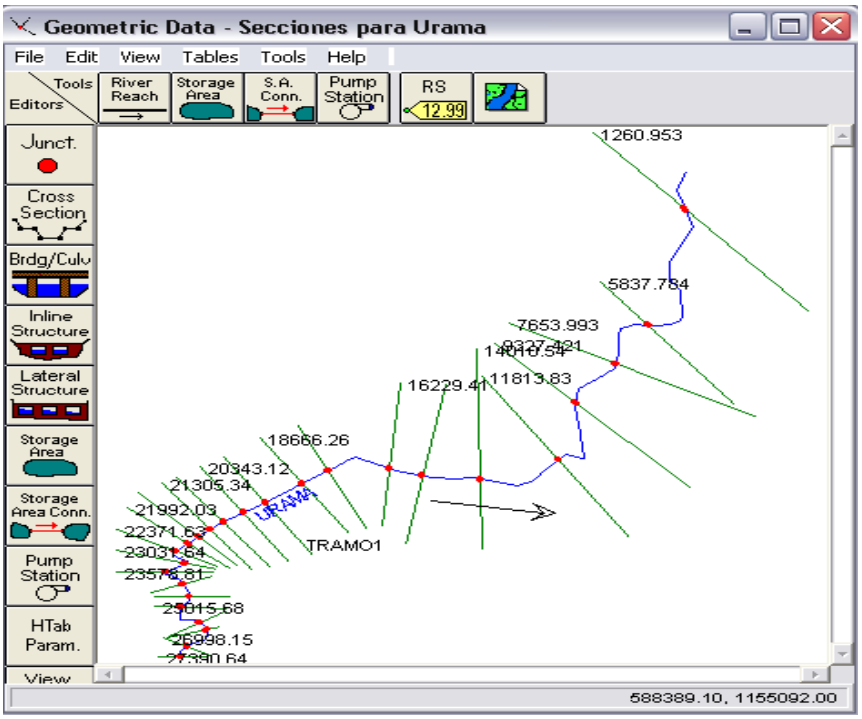


Figura 3.221 Archivo de Importación creado en PreRAS

3.60 COMPLETACIÓN DE LOS DATOS PARA LAS SECCIONES TRANSVERSALES

La completación de los datos para las secciones transversales implicó cargar los números de Manning, coeficientes de contracción y expansión y las obstrucciones, interpolación de secciones y edición de puentes. La selección del editor de secciones transversales se realiza pulsando el ícono **Cross Section**

que se indica en la pantalla **Geometric Data – Secciones para urama.** Este ícono despliegua la pantalla donde se puede completar la información de las secciones, como se muestra en la Figura 3.222. En esta figura se puede observar que es preciso asignar el número de Manning y revisar los valores asignados por defecto para el coeficiente de contracción y expansión, los campos **Downstream Reach Length y Main Channel Bank Stations** son importados desde HEC-GeoRAS

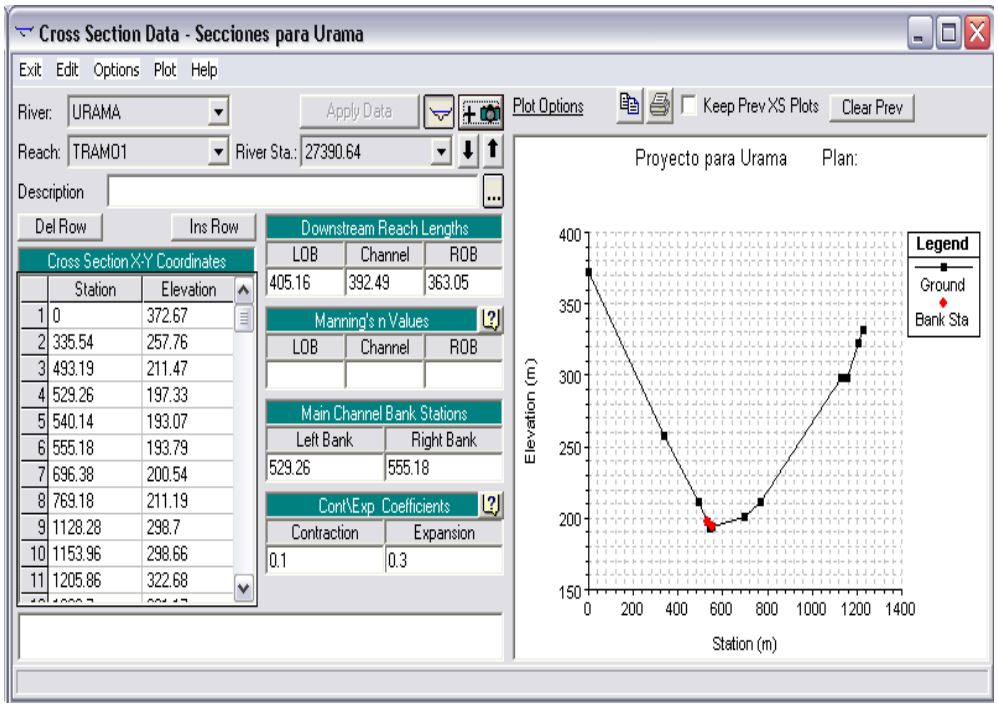


Figura 3.222 Archivo de Importación creado en PreRAS

3.60.1 Asignación de los números de Manning

Para introducir el coeficiente n de Manning se consultó la tabla cargada por defecto en el campo **Manning's N Value**, con pulsar el botón [?], se despliega la tabla que se muestra en la Figura 3.223. Esta figura muestra parte de la Tabla, para mayores detalles consultar el Apéndice C2.

Mannings n Information Table

Type of Channel and Description	Minimum	Normal	Maximum
A. *Natural Streams*			
1. Main Channels			
a. Clean, straight, full, no rifts or deep pools	0.025	0.030	0.033
b. Same as above, but more stones and weeds	0.030	0.035	0.040
c. Clean, winding, some pools and shoals	0.033	0.040	0.045
d. Same as above, but some weeds and stones	0.035	0.045	0.050
e. Same as above, lower stages, more ineffective slopes and sections	0.040	0.048	0.055
f. Same as "d" but more stones	0.045	0.050	0.060
g. Sluggish reaches, weedy. deep pools	0.050	0.070	0.080
h. Very weedy reaches, deep pools, or floodways with heavy stands of timber and brush	0.070	0.100	0.150
2. Flood Plains			
a. Pasture no brush			
1. Short grass	0.025	0.030	0.035
2. High grass	0.030	0.035	0.050
b. Cultivated areas			
1. No crop	0.020	0.030	0.040
2. Mature row crops	0.025	0.035	0.045
3. Mature field crops	0.030	0.040	0.050
c. Brush			
1. Scattered brush, heavy weeds	0.035	0.050	0.070
2. Light brush and trees, in winter	0.035	0.050	0.060
3. Light brush and trees, in summer	0.040	0.060	0.080
4. Medium to dense brush, in winter	0.045	0.070	0.110
5. Medium to dense brush, in summer	0.070	0.100	0.160
d. Trees			

Figura 3.223 Tabla para n de Manning

Los valores de Manning tomados fueron dos; uno para el tramo entre montaña con el curso del río sin vegetación, con márgenes con árboles y malezas y con piedras dentro del curso, se tomó 0.040, como se muestra en la Figura 3.224 y el segundo para la planicie con áreas cultivadas, se asumió 0.035, lo cual se puede ver en la Figura 3.225

Figura 3.224 Selección de Manning para la montaña

Figura 3.225 Selección de Manning para planicie

3.60.2 Coeficientes de Contracción y Expansión

Para el ingreso de los coeficientes de contracción y expansión, se consideró un cambio gradual en las secciones transversales, debido a que el río en la planicie recientemente había sido dragado con máquina , se regularizaron las secciones transversales y en la montaña presenta seciones con poco cambio, como se muestra en la fotografía de la Figura 3.226. Es por

ello que se utilizó 0.1 para el coeficiente de contracción y 0.3 para el coeficiente de expansión, en cuanto al puente se considero 0.3 y 0.5, respectivamente. Estos valores fueron tomados de la tabla de consulta proporcionada por el HEC-RAS en el campo **Cont/Exp Coefficients**, a la cual se accede presionando el botón , como se indica en la Figura 3.227

Figura 3.226 Criterio para selección de coeficientes de expansión y contracción

Contraction and Expansion Information Table

Subcritical Flow Contraction and Expansion Coefficients	Contraction	Expansion
No transition loss computed	0.000	0.000
Gradual transitions	0.100	0.300
Typical Bridge sections	0.300	0.500
Abrupt transitions	0.600	0.800

Figura 3.227 Tabla para los coeficientes de Contracción y Expansión

El ingreso de los datos de las secciones transversales en los campos indicados anteriormente, es como se indica en la Figura 3.228

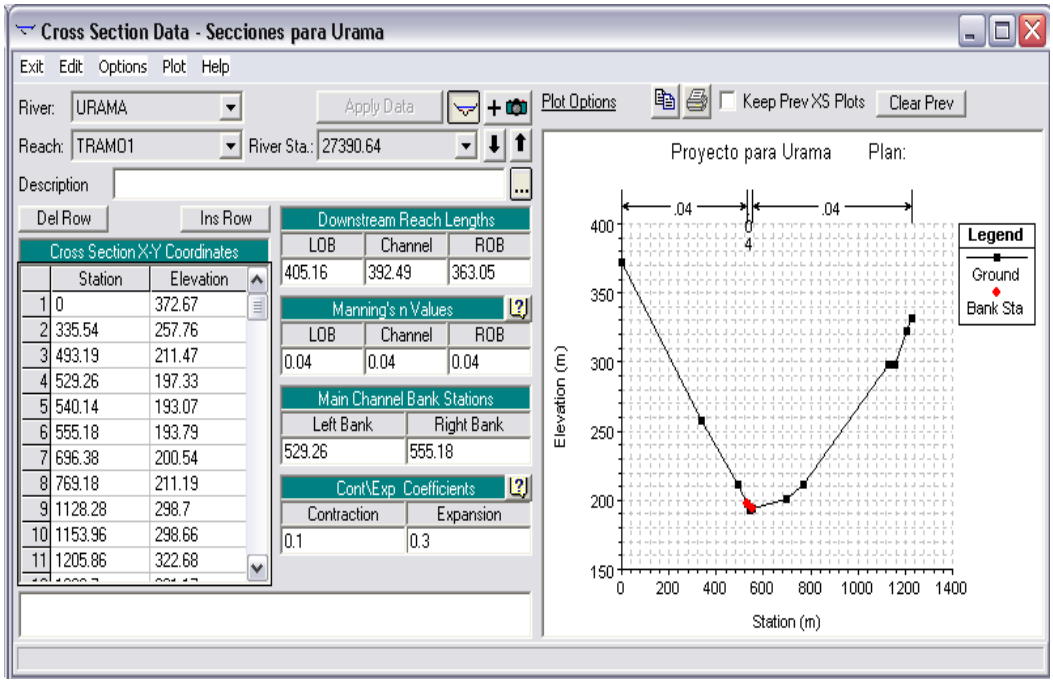


Figura 3.228 Datos completados de la Sección Transversal

3.60.3 Obstrucciones

El tramo entre montaña del río Urama presenta gran cantidad de piedras dentro del curso del río, por ello para evidenciar esta situación se cargaron las obstrucciones con dimensiones aproximadas de lo que ocurre en sitio, las fotografías cargadas en el programa en esta sección de ingreso de datos, permiten asociar las obstrucciones con la realidad del sitio, ver Figura 3.229

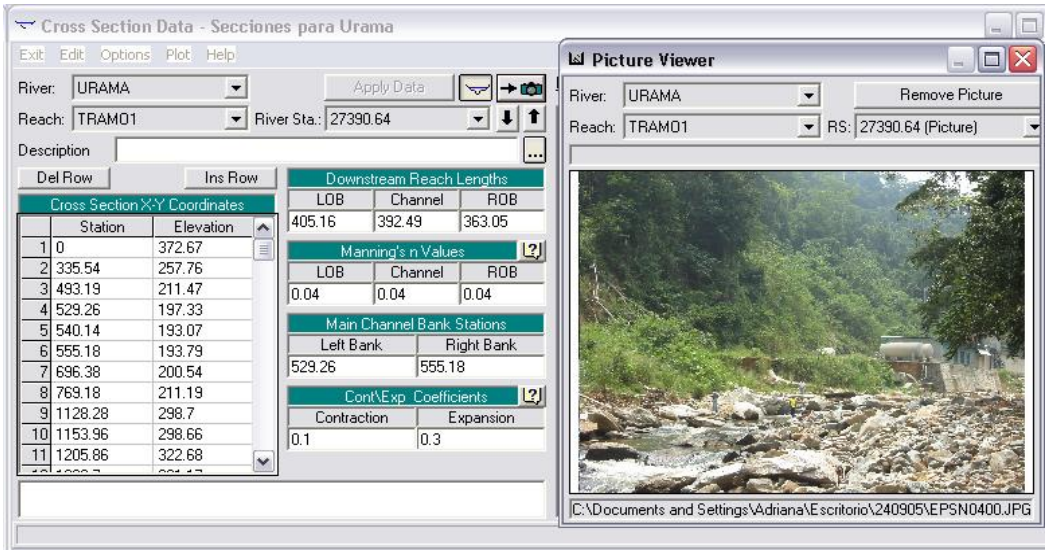


Figura 3.229 Fotografía para obstrucciones en el río Urama-Datos de sección transversal

Para cargar las obstrucciones se ejecutaron los siguientes pasos, se seleccionó del menú **Options ⇒ Obstructions...⇒Obstructed Areas⇒Multiple Blocks**. La Figura 3.230 indica el inicio y final del tramo de la sección transversal obstruida y la elevación por cada obstrucción

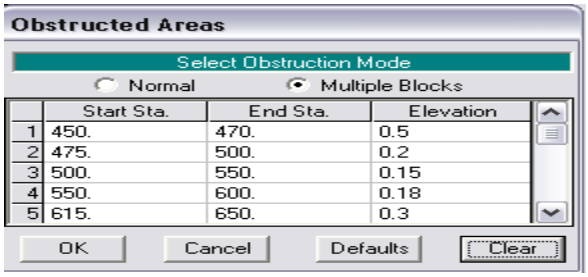


Figura 3.230 Obstrucciones en la sección transversal entre montaña - Río Urama

3.60.4 Interpolación de secciones transversales

La interpolación de secciones transversales es una herramienta que contribuye a la visualización de la mancha inundable, para ello se selecciona del menú del editor de datos de secciones transversales, **Tools⇒XS**

Interpolation⇒Within a reach. La Figura 3.231 indica que se interpolaron secciones transversales cada 50 metros a lo largo del río Urama.

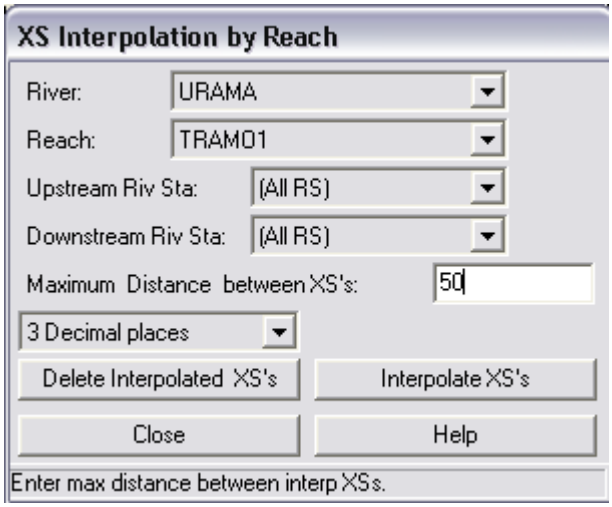


Figura 3.231 Interpolación de secciones transversales para el Río Urama

La Figura 3.232 muestra el eje del río con las secciones transversales interpoladas. Este paso se realizó ya que el software trabaja con ecuaciones diferenciales, y al colocar más secciones transversales los resultados arrojados serán más próximos a la realidad, o sea, tendrán menos error.

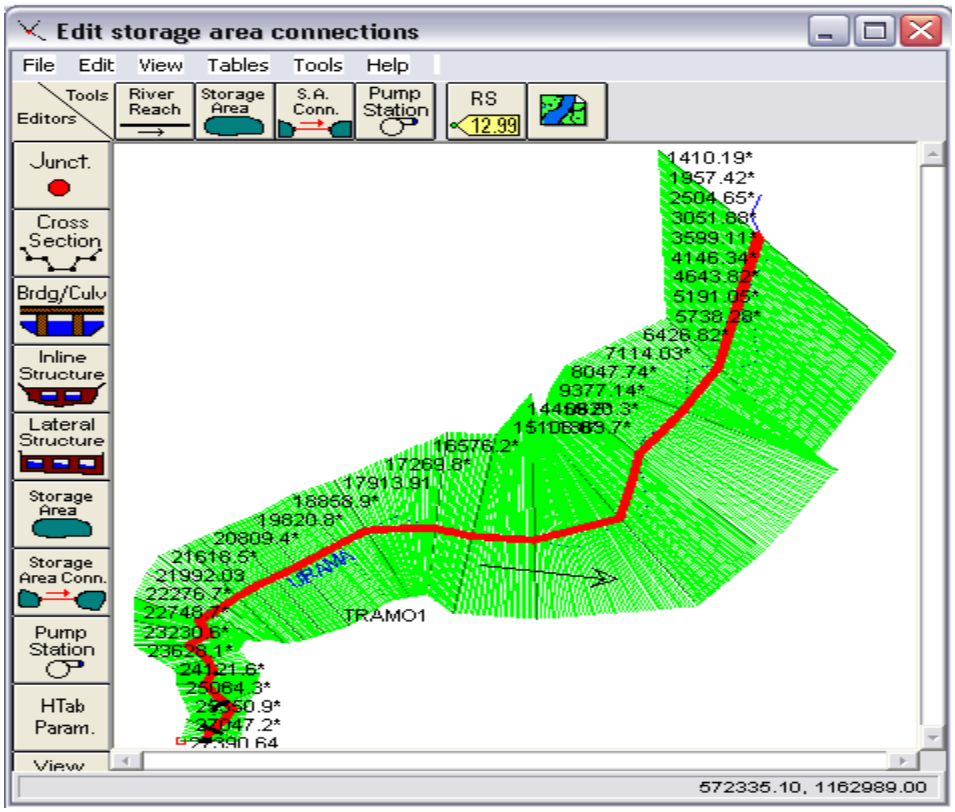


Figura 3.232 Secciones transversales interpoladas para el Río Urama

3.60.5 Introducción de la geometría del Puente Urama (Carretera Nacional Morón – San Felipe)

Para introducir datos del puente se presionó el botón ***Bridge/Culvert*** (puentes/alcantarillas)

en la ventana de datos geométricos. Una vez que el botón ***Bridge/Culvert*** ha sido presionado el editor de datos de ***Bridge/Culvert*** apareció una ventana mostrada en la Figura 3.233. Para agregar el puente al modelo se hizo lo siguiente:

En el menú ***Option*** se seleccionó ***Add a Bridge and/ or Culvert*** de la lista. Figura 3.233. Luego, se seleccionó el tramo entre secciones transversales a la cual se agregó el puente. Figura 3.234.

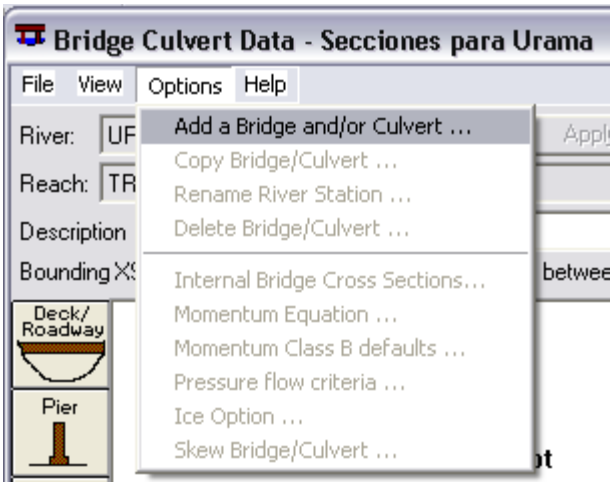


Figura 3.233 Adición de Puente Urama

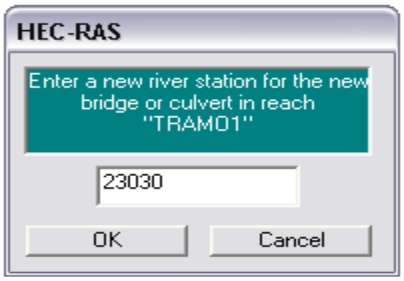


Figura 3.234 Adición de la longitud para ubicación de Puente Urama

Una vez introducida la longitud, el programa despliega una vista de las secciones aguas arriba y aguas abajo del puente, que indica la separación entre ellas, sus cotas y distancias referidas desde el borde izquierdo del río, como se muestra en la Figura 3.235

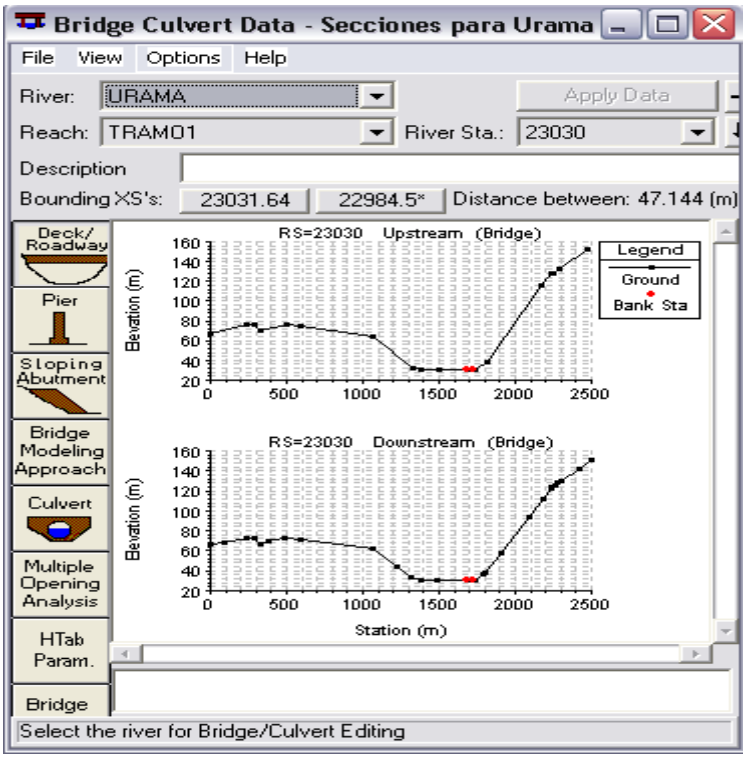


Figura 3.235 Secciones aguas arriba y abajo de Puente Urama

Luego se seleccionó el ícono ***Deck/ Roadway***,

esto activó el ***Deck/ Roadway Data Editor.*** Esto se hizo para introducir la información de la cubierta del puente**.** El editor de datos apareció como se muestra en la Figura 3.236

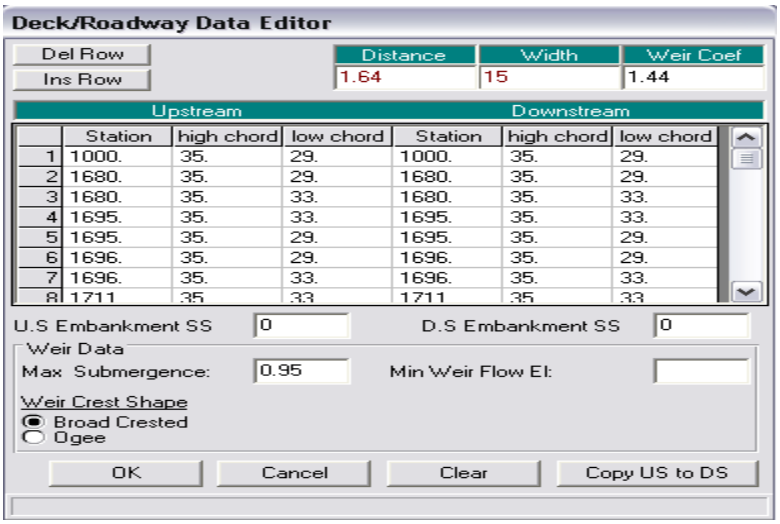


Figura 3.236 Editor de datos de la cubierta de Puente Urama

Una vez introducida toda la información sobre la cubierta del puente, se debió presionar el botón *OK* al fondo de la ventana (Figura 3.236). Al presionar el botón *OK*, se indico a la interfaz que aceptara los datos y se cerró la ventana. Una vez cerrado el editor de cubierta, el gráfico del puente apareció en la ventana de datos ***Bridge/Culvert***. Esto se muestra en la Figura 3.237.

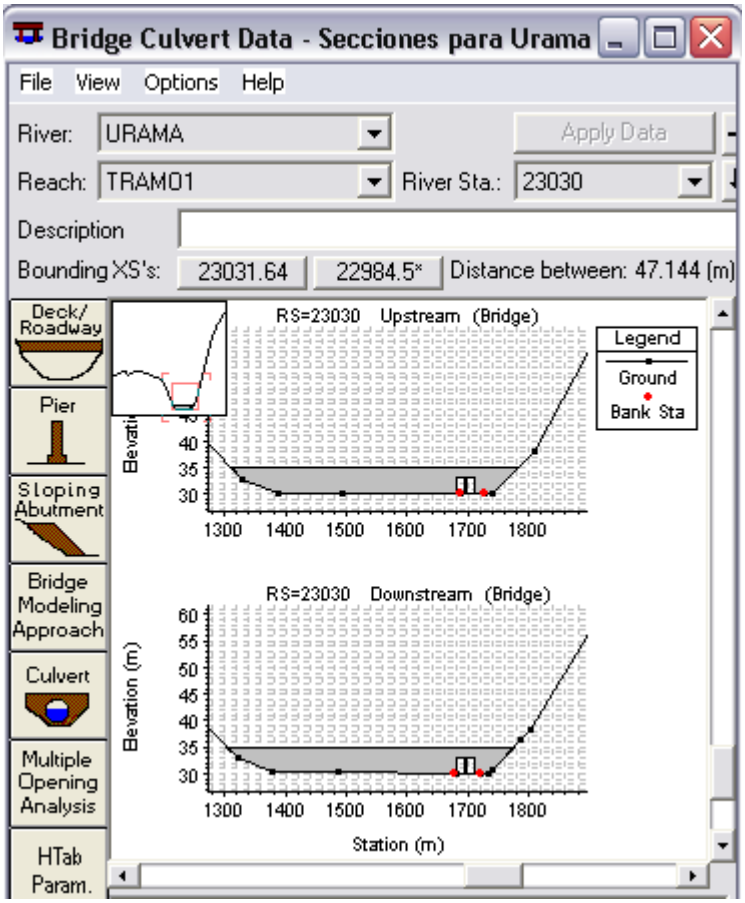


Figura 3.237 Vista del Puente Urama en secciones aguas arriba y abajo

3.60.6 **Modelación matemática del flujo en el puente**

Luego de esto se seleccionó la opción ***Bridge Modeling Approach*** del editor de datos de puente para definir las ecuaciones para modelar el flujo en Puente Urama e introducir el coeficiente necesario. Este editor apareció como el que se muestra en la Figura 3.238.

Para hacer una comparación, se realizaron dos planes, los cuales involucran Plan 1 y Plan 2.

3.60.6.1 Plan 1

Para este plan se seleccionó primero el método ***Low Flow*** con el método de ***Energy (Estándar Step)*** **y** ***Momentum***. Luego se seleccionó el campo ***Highest Energy Answer***. Esto se realizó para que el programa trabaje del mejor modo y de una respuesta final de ambos métodos. La próxima selección fue el método de ***High Flow,*** y para esta simulación, el método de ***Energy Only*** fue seleccionado. Ver Figura 3.238.

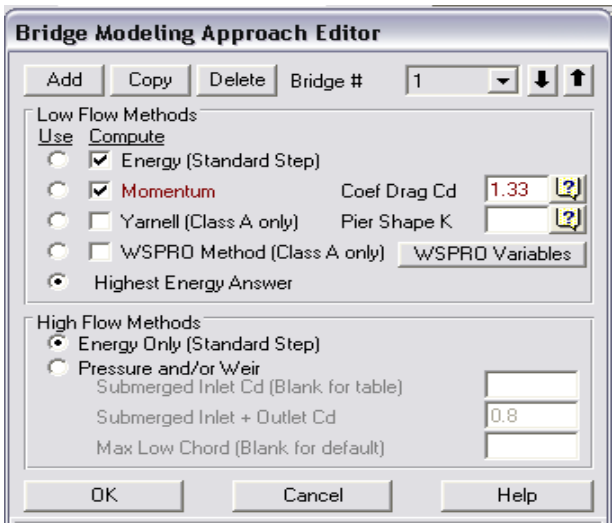


Figura 3.238 Editor para la modelación del flujo en Puente Urama

El coeficiente seleccionado en el método de Momento fue 1.33, ya que se adecua a la geometría de las pilas de Puente Urama, esto se muestra en la Tabla 3.7.

Tabla 3.7 Coeficientes Típicos para la forma de la pila.

Typical drag coefficients for various pier shapes	
Pier Shape	**Drag Coefficient Cd**
Circular pier	1.20
Elongated piers with semi-circular ends	1.33
Elliptical piers with 2:1 length to width	0.60
Elliptical piers with 4:1 length to width	0.32
Elliptical piers with 8:1 length to width	0.29
Square nose piers	2.00
Triangular nose with 30 degree angle	1.00

3.60.6.2 Plan 2

Para este plan se seleccionó primero el método de ***Low Flow*** con el método de ***Energy (Estándar Step)*** **y** ***Momentum***. Luego se seleccionó el campo ***Highest Energy Answer****.* Esto se realizó para que el programa trabaje del mejor modo y de una respuesta final de ambos métodos. La próxima selección fue el método de ***High Flow****,* y para esta simulación, el método de ***Pressure and/or Weir*** fue seleccionado. Ver Figura 3.239. Este procedimiento se realizó para la segunda modelación en Puente Urama.

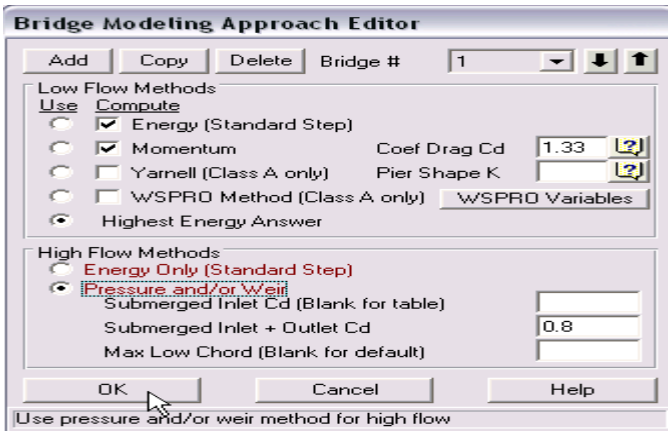


Figura 3.239 Editor para la modelación del flujo en Puente Urama

En ambos planes, se observaron los puentes en la vista de planta del río en la ventana de datos geométricos, como se muestra en la Figura 3.240

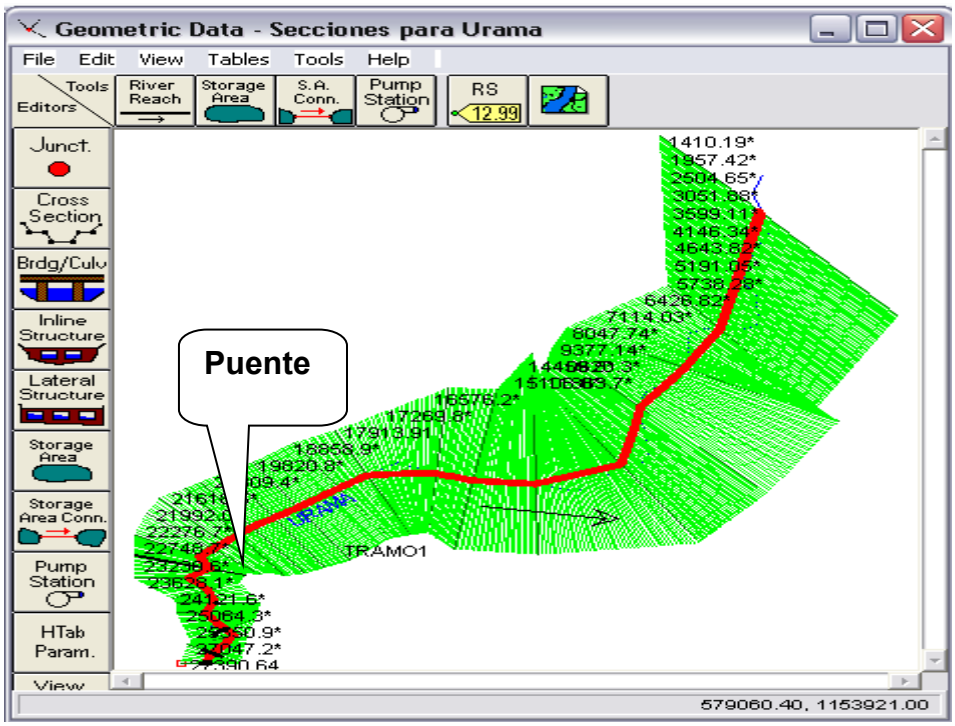


Figura 3.240 Ubicación de Puente Urama

La Figura 3.241 muestra una fotografía del puente sobre el río Urama, este puente tiene 31 metros de largo y 15 metros de cubierta, comunica a

Morón con San Felipe, en el medio tiene un muro de forma semicircular en los extremos

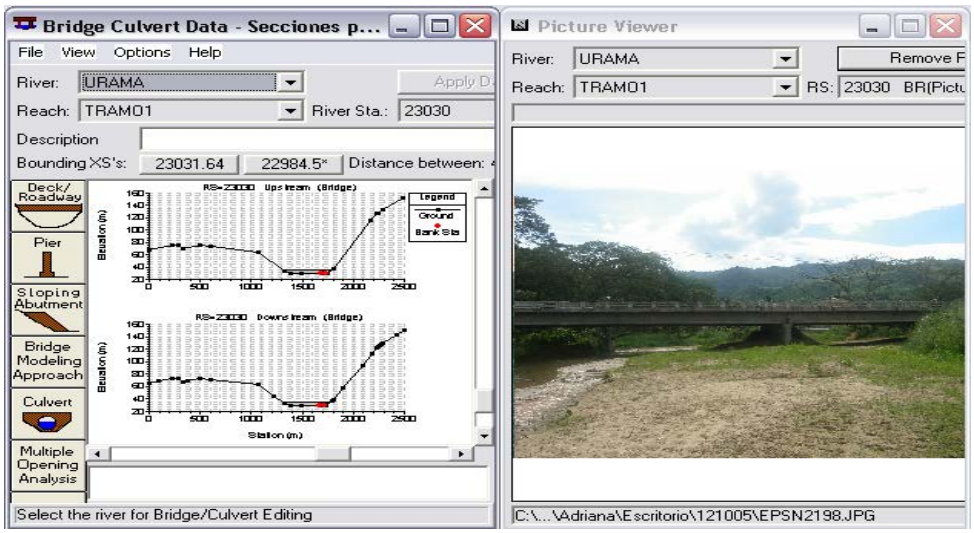


Figura 3.241 Fotografía de Puente Urama cargada en HEC-RAS

3.61 EDICIÓN DE LOS DATOS DE FLUJO

El procedimiento para introducir los datos de flujo permanente se seleccionó desde la ventana principal de HEC-RAS, en el menú ***Edit⇒ Steady Flow Data***, como se muestra en la Figura 3.242

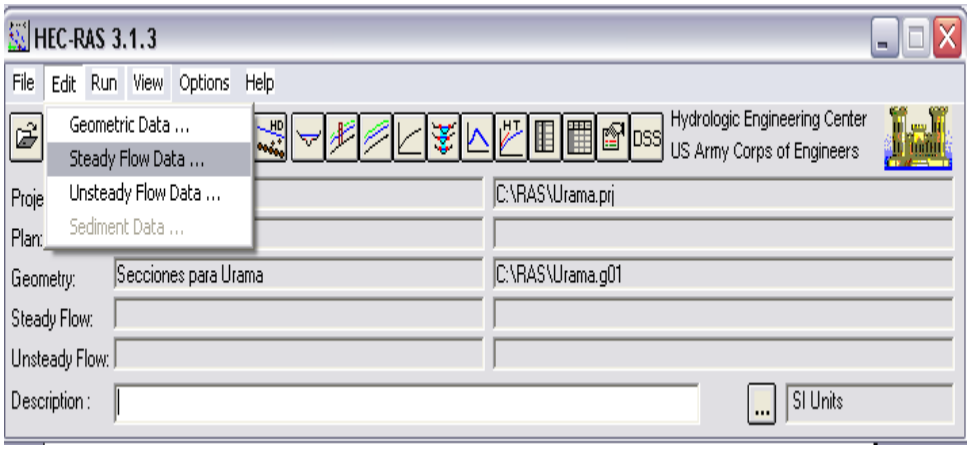
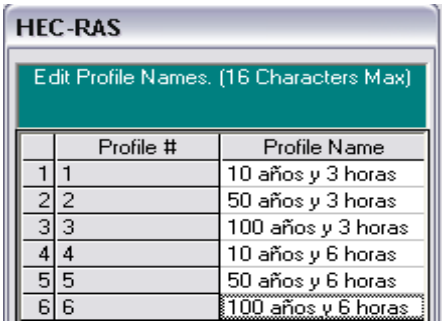


Figura 3.242 Selección de la opción para editar el flujo estable

Se desplegó la ventana para el editor de datos de flujo estable. En la casilla superior en la ventana del editor, se ingresó el número de perfiles. Se colocó el número 3, y una parte de la tabla se ajustó a 3 perfiles. Luego, desde el menú ***Options*** se seleccionó ***Edit Profile Names*** con el fin de colocar los distintos periodos de retorno para cada perfil, como se muestra en la Figura 2.243. Los nombres corresponden al período de retorno y duración de la tormenta que generó la creciente correspondiente



	Profile #	Profile Name
1	1	10 años y 3 horas
2	2	50 años y 3 horas
3	3	100 años y 3 horas
4	4	10 años y 6 horas
5	5	50 años y 6 horas
6	6	100 años y 6 horas

Figura 3.243 Edición del nombre de los perfiles

Luego de presionar *OK*, se procedió a colocar en la ventana de ***Steady Flow Data*** los datos de los caudales picos de las crecientes generadas con HEC-HMS. La Figura 3.244 muestra a manera de ejemplo el hidrograma del cual se seleccionó el pico para la creciente de 10 años de período de retorno y 6 horas de duración de la tormenta. Los resultados de las demás tormentas serán presentados en el Capítulo IV. El caudal de interés corresponde al hidrograma envolvente de los hidrogramas del río Canoabo y Temerla

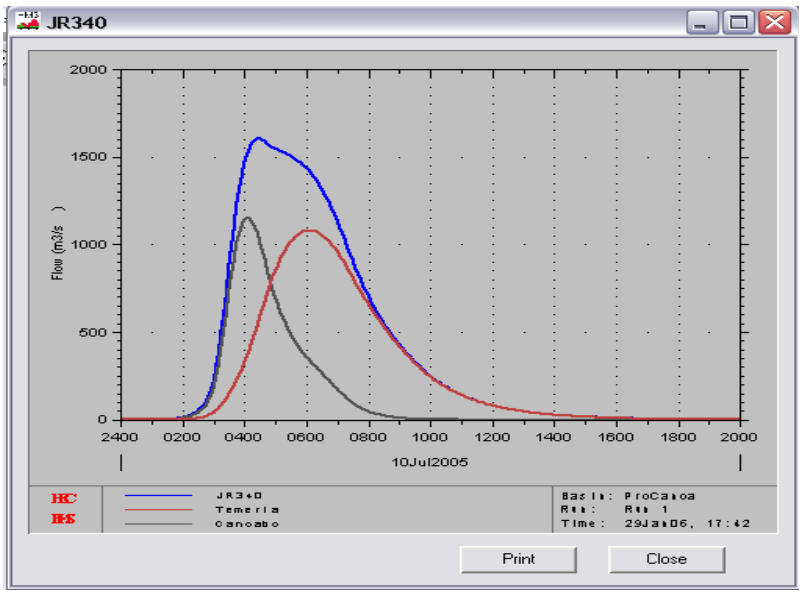


Figura 3.244 Hidrograma de creciente en Urama para tormenta TR=10 años y D=6 horas generado en HEC-HMS

La Tabla 3.8 presenta los caudales picos extraídos de los seis hidrogramas de creciente. Las corridas seleccionadas de las 12 realizadas con HEC-HMS fueron las que combinaron el Método del Servicio de Conservación de Suelos (SCS) y el Método de Clark, debido a que el SCS presenta limitantes para el área de escurrimiento.

Tabla 3.8 Caudales pico de crecientes de distinto período de retorno y duración de tormenta para el Río Urama

Duración de la lluvia (horas)	3 horas			*6 horas*		
Período de retorno (años)	10	50	100	10	50	*100*
Caudal máximo (m^3/s)	*721.95*	*1225.7*	*1514.9*	*1241*	*2001.2*	*2426*

Fuente: Elaboración propia

El ingreso de estos datos en el editor se muestra en la Figura 3.245.

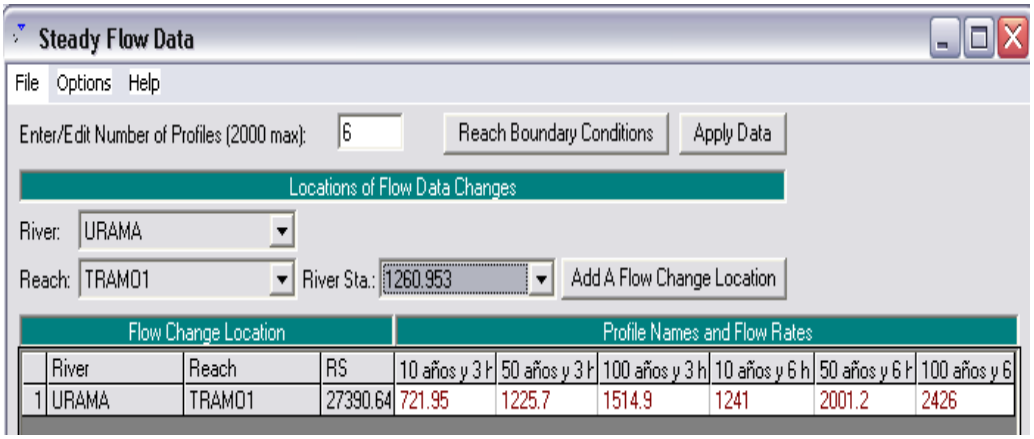


Figura 3.245 Ingreso de los caudales picos de crecientes en el editor de datos de flujo estable

Después de esto se presionó el botón que se encuentra en la parte superior a la derecha de la ventana de ***Steady Flow Data***, para indicar las condiciones de borde. Al hacer esto se desplegó la ventana que aparece en la Figura 3.246, en esta se seleccionó el botón de ***Critical Depth*** (profundidad crítica) utilizado para cada tramo. Esta selección será discutida en el análisis de resultados.

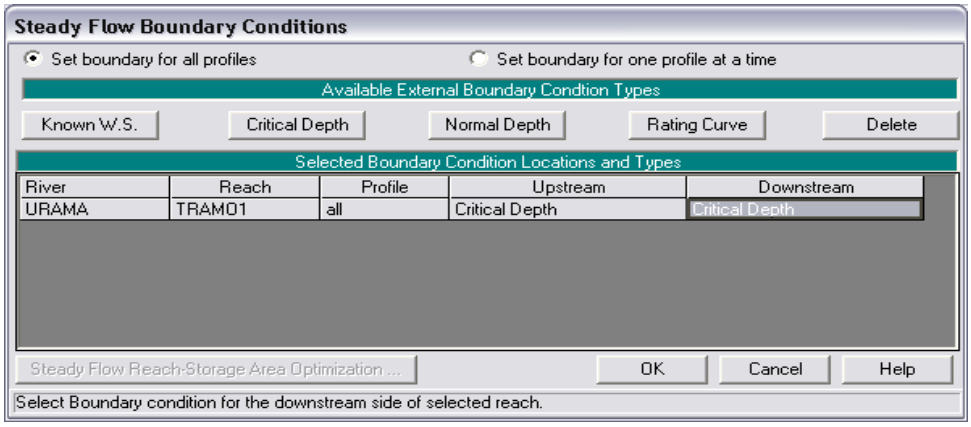


Figura 3.246 Ingreso las condiciones límites para el flujo estable

Para finalizar la edición de estos datos, los mismos fueron almacenados luego de seleccionar **File ⇒ Save Flow Data As...,** en la carpeta de proyecto, como se muestra en la Figura 3.247

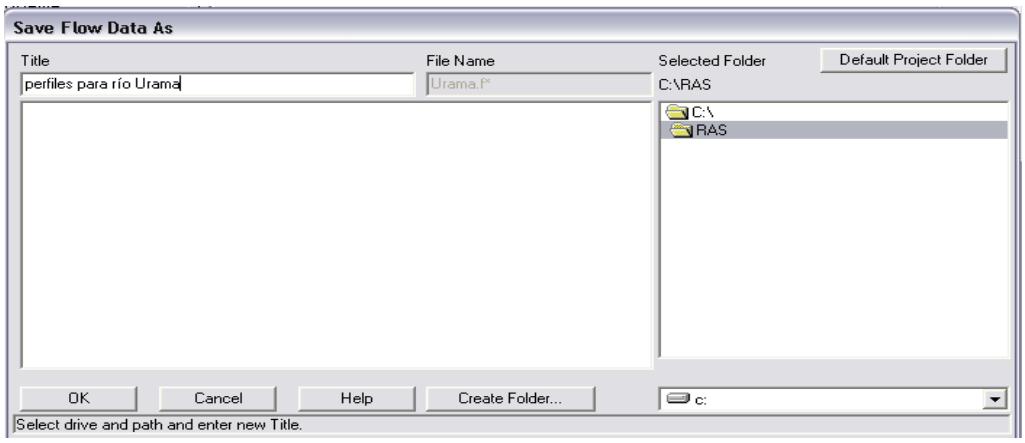


Figura 3.247 Almacenamiento de los datos de flujo estable

3.62 EJECUCIÓN DE LA CORRIDA DEL FLUJO ESTABLE

Todos los datos geométricos y de flujo requeridos por el programa se introdujeron. Entonces, se procedió a ejecutar el mismo, esto se hizo desde el menú ***Run*** de la ventana principal de HEC-RAS, colocando ***Steady Flow Analysis***, como se muestra en la Figura 3.248

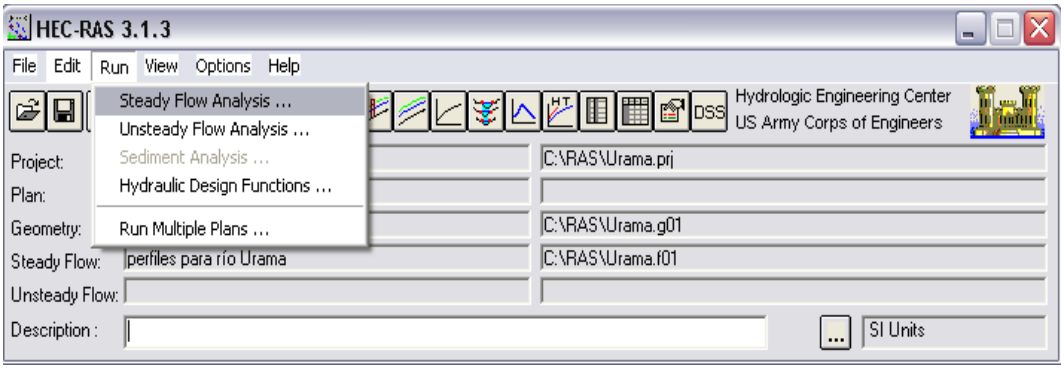


Figura 3.248 Ventana principal, selección de Steady Flow Data desde el menú RUN

Luego apareció la ventana de la Figura 3.249 en la cual se colocó el tipo de régimen a estudiar y la información fue guardada como un *Plan*, seleccionando *File* y luego *Save Plan As*, para luego introducir el título (Figura 3.250) y el botón *OK* fue presionado (Figura 3.249). El título de este Plan apareció en la parte superior de la ventana de flujo estable (así como en la ventana principal del programa).

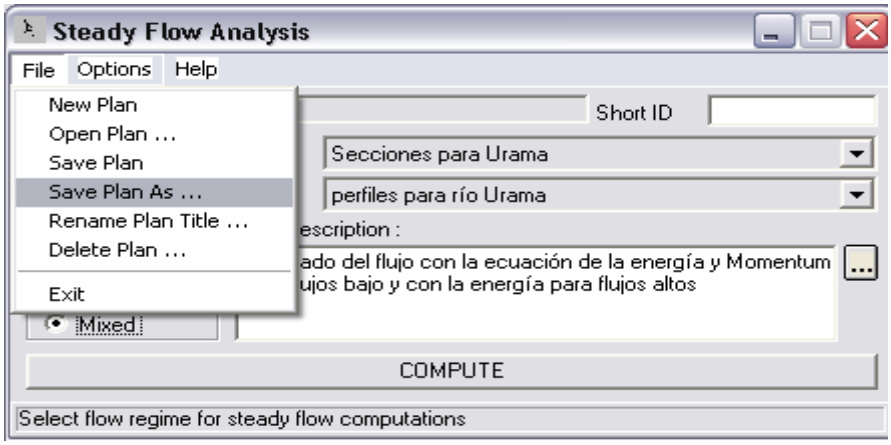


Figura 3.249 Almacenamiento del Plan 01

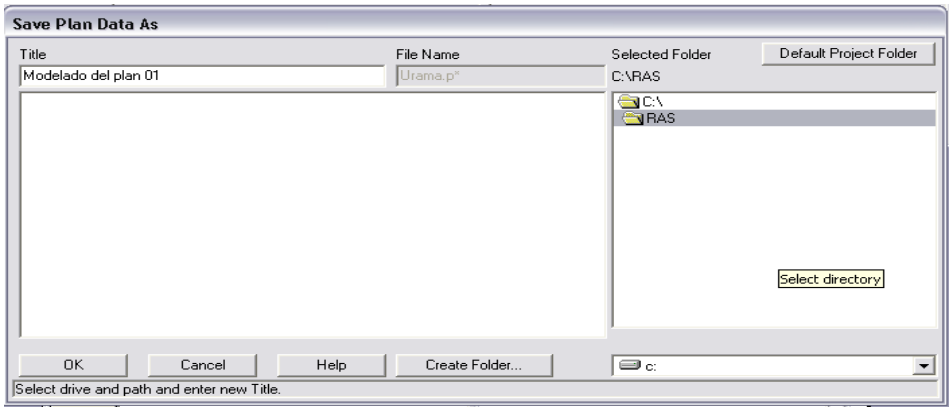


Figura 3.250 Título para el plan 01

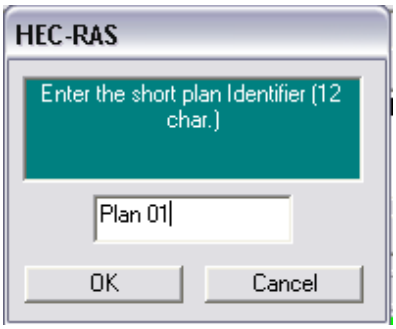


Figura 3.251 Identificador del Plan

Finalmente, el botón *Compute* fue seleccionado para realizar el análisis. Figura 3.252

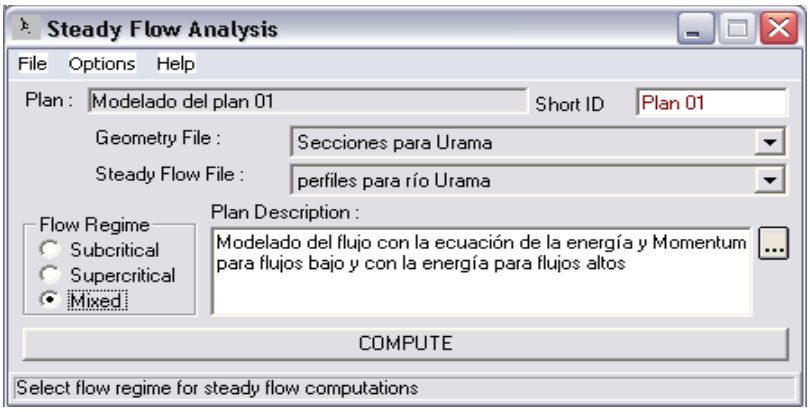


Figura 3.252 Selección de Compute para correr el Plan 01

Luego de esto el programa corrió sin problemas, esto se muestra en la Figura 3.253. Para ver los resultados en forma gráfica y tabulada se presionó ***Close.***

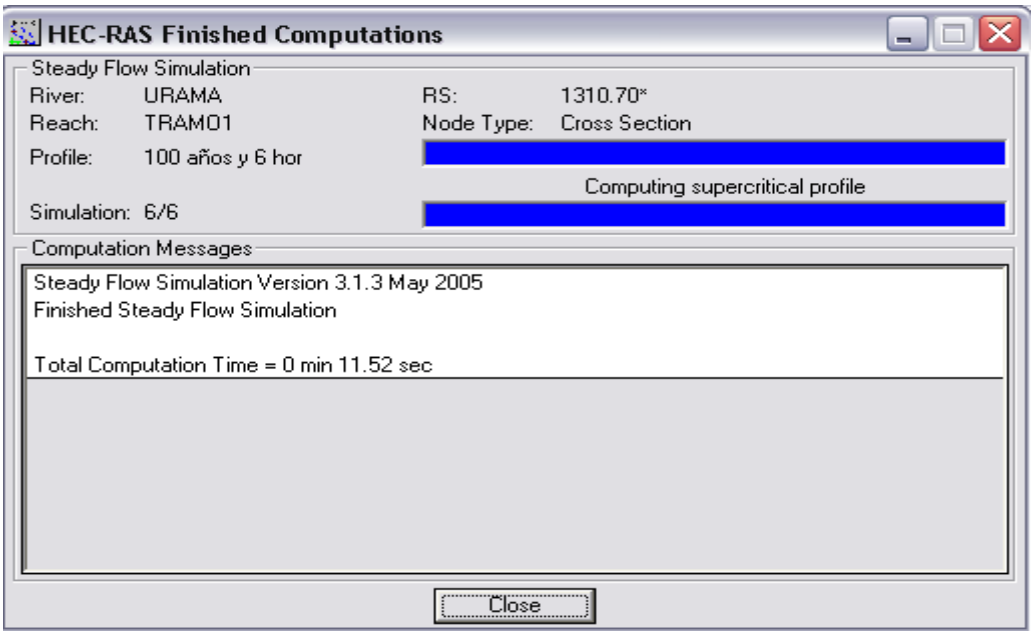


Figura 3.253 Selección de Compute para correr el Plan 01

Para observar los resultados y el análisis se debe consultar el Capítulo IV.

Finalmente, la ventana principal de HEC-RAS posee todos los campos llenos, una vez que se han cargado la información de los datos geométricos del río, los datos de los caudales picos de las crecientes para distinto período de retorno y duración de lluvia, así como los datos de la corrida o plan, como se muestra en la Figura 3.254

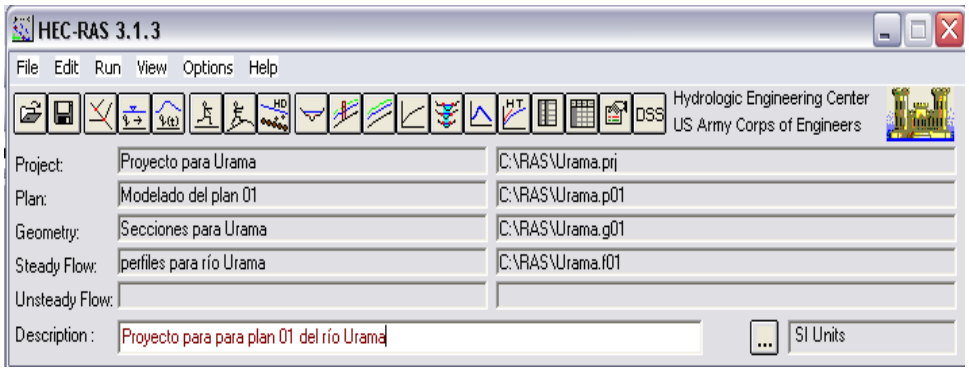


Figura 3.254 Ventana principal de HEC-RAS para proyecto del Plan 01

3.63 DESARROLLO DEL ARCHIVO DE EXPORTACIÓN HACIA HEC-GEORAS

Luego de correr el programa en HEC-RAS, se creará el archivo de exportación; para ello se seleccionó ***File⇒ Export GIS Data*** en la pantalla principal de HEC-RAS. Aparece un cuadro de diálogo, el cual se rellena a criterio del usuario, como se muestra en la Figura 3.255

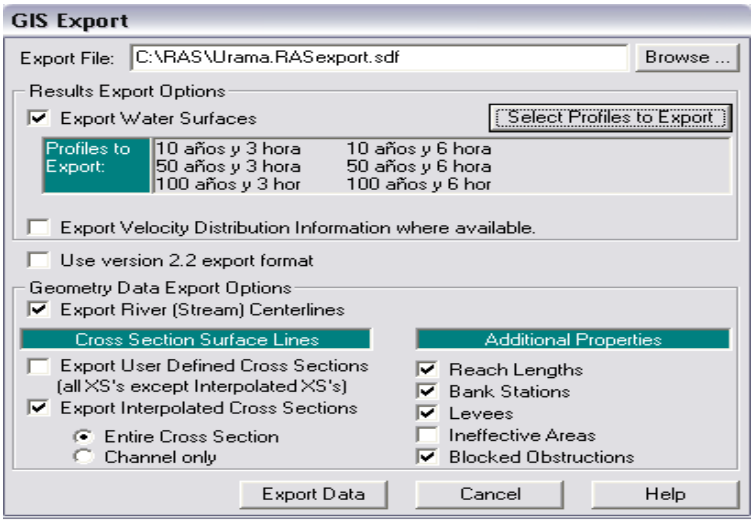


Figura 3.255 Creación del archivo de exportación

Para confirmar la creación del archivo de exportación, una vez presionado el botón Export Data, se despliega el cuadro que se muestra en la Figura 3.256

Figura 3.256 Confirmación de la creación del archivo de exportación

Una vez que se aparece la Figura 3.256 se puede cerrar HEC-RAS para retornar a HEC-GeoRAS

3.64 TRABAJO EN HEC-GEORAS (RETORNO)

En el menú principal de HEC-GeoRAS se seleccionó ***PostRAS*** ⇒ ***Theme Setup,*** como se muestra en la Figura 3.257

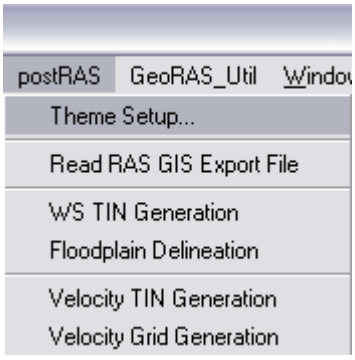


Figura 3.257 Selección de Theme Setup desde PostRAS

Para ello se rellenaron los datos requeridos en los campos; **RAS GIS Export File** mediante el archivo de exportación de HEC-RAS**, Terrain TIN** con el archivo TIN de GeoRAS**,** en ***Output Directory*** se introduce un nombre sencillo sin ruta de disco. El último apartado, ***Rasterization Cell Size***, está referido al tamaño de *pixel* que tendrán los datos resultantes. Al pulsar el botón ***OK*** lo primero que hace es crear en MS-Dos el directorio donde se depositarán los datos resultantes del análisis, como se muestra en la Figura 3.258

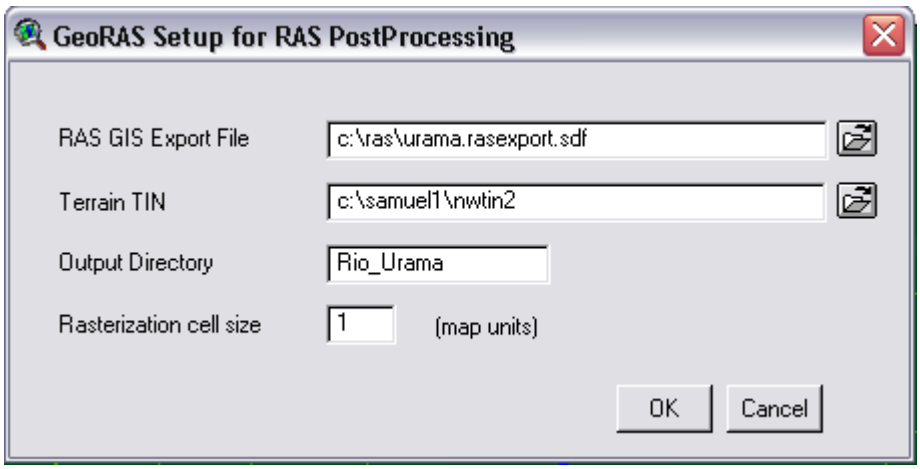


Figura 3.258 Configuración para el Postprocesamiento en HEC-RAS

3.64.1 PostRAS⇒Read RAS GIS Export File

Desde este menú se crea y lee los resultados de RAS y crea la base de datos para el post-procesamiento GIS. Los temas básicos iniciales creados involucran: redes de corrientes, líneas de corte de secciones transversales, líneas de superficies de las secciones transversales, líneas de las estaciones en las márgenes y polígonos límites de los perfiles superficiales del agua. Esta información se puede ver en la Figura 3.259

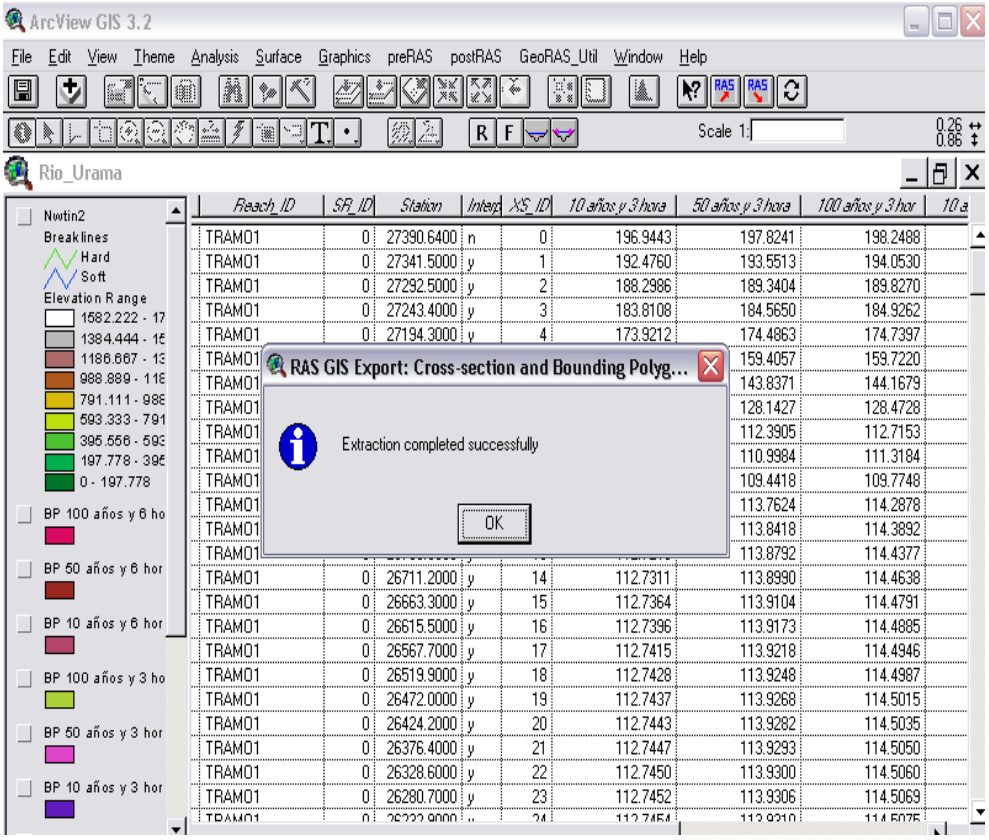


Figura 3.259 Exportación de archivos desde HEC-RAS

3.64.2 PostRAS - Ws TIN Generation

Esta opción se seleccionó presionando en el menú **postRAS ⇒ WS TIN Generation.** El cuadro diálogo de la Figura 3.260 permitió seleccionar el perfil de la superficie del agua para crear el TIN de superficie del agua.

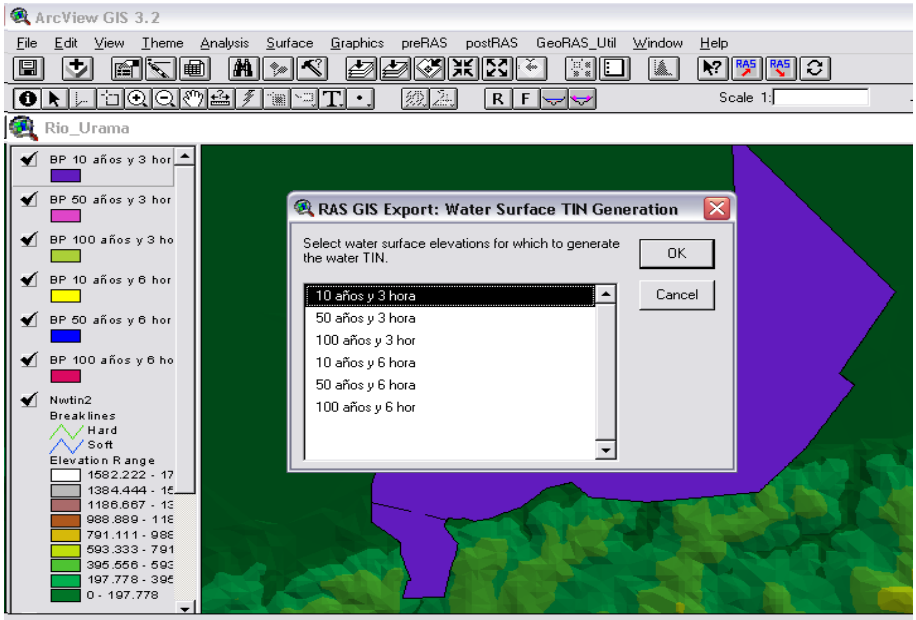


Figura 3.260 Exportación de archivos desde HEC-RAS

El TIN de superficie del agua será creado a partir del tema de líneas de corte R_Urama_10_3_xs.shp, y del tema de polígonos límites (BP 10 años y 3 horas), como se muestra en la Figura 3.261

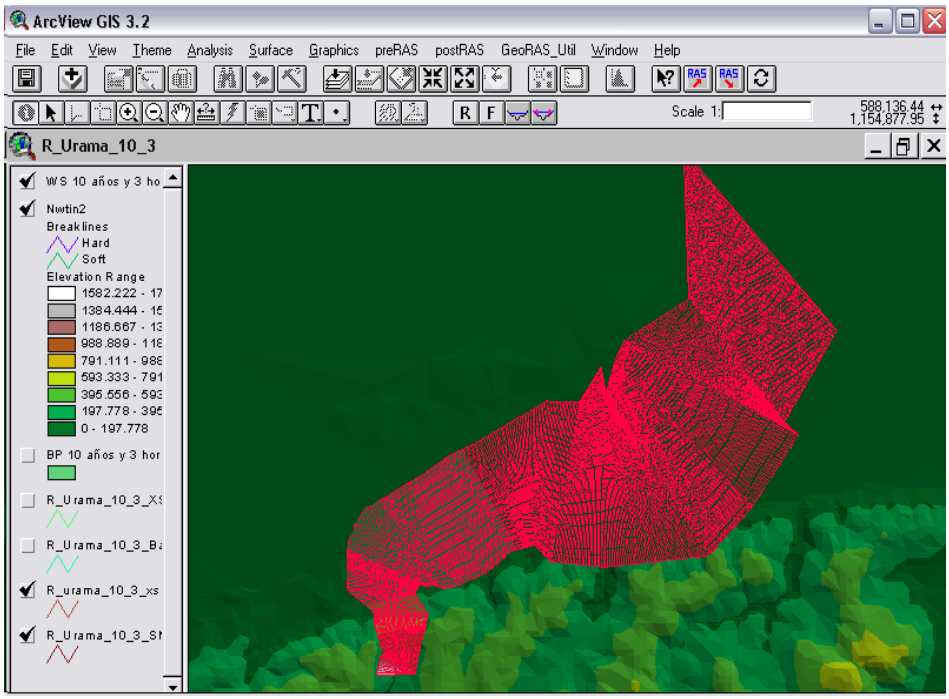


Figura 3.261 TIN de superficie del agua para creciente de TR=10 años y D=6 horas

3.64.3 PostRAS - FloodPlain Delineation

En este proceso se crearán las zonas de inundación para cada perfil, es decir, para cada caudal que se haya establecido en HEC-RAS. La Figura 3.262 muestra la mancha de inundación para un período de retorno de 10 años, duración de tormenta de 3 horas y un caudal pico de creciente de 722 m^3/s

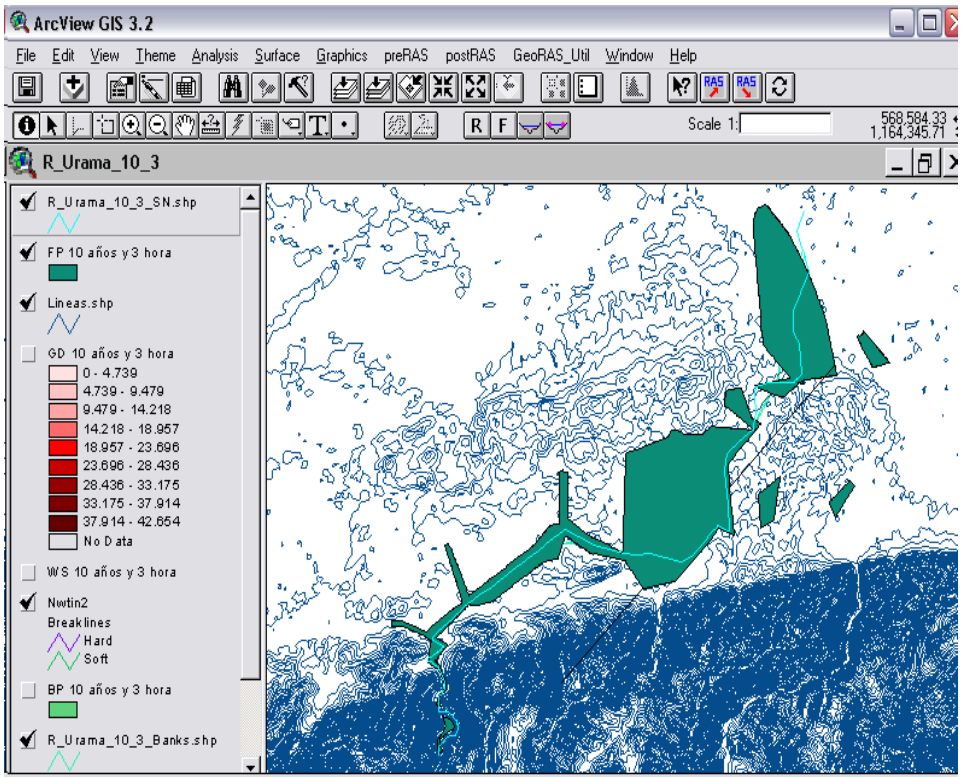


Figura 3.262 Mancha de inundación para creciente de TR=10 años y D=3 horas

Por otro lado, se genera un tema de puntos que indica la profundidad para cada caudal en esa posición geográfica (calcula la diferencia de altura entre el terreno y la lámina de agua ficticia que viene determinado por el caudal que se asignó en HEC-RAS). A partir de este tema de puntos, se genera una cuadrícula (*Grid*) de profundidad por un caudal; es decir, una cuadrícula en el que la coordenada “Z” indica la profundidad en ese punto “X”,

“Y”. Profundidad de Inundación para un Período de Retorno de 10 años, duración de tormenta de 3 horas y un Caudal Q=722 m^3/s.

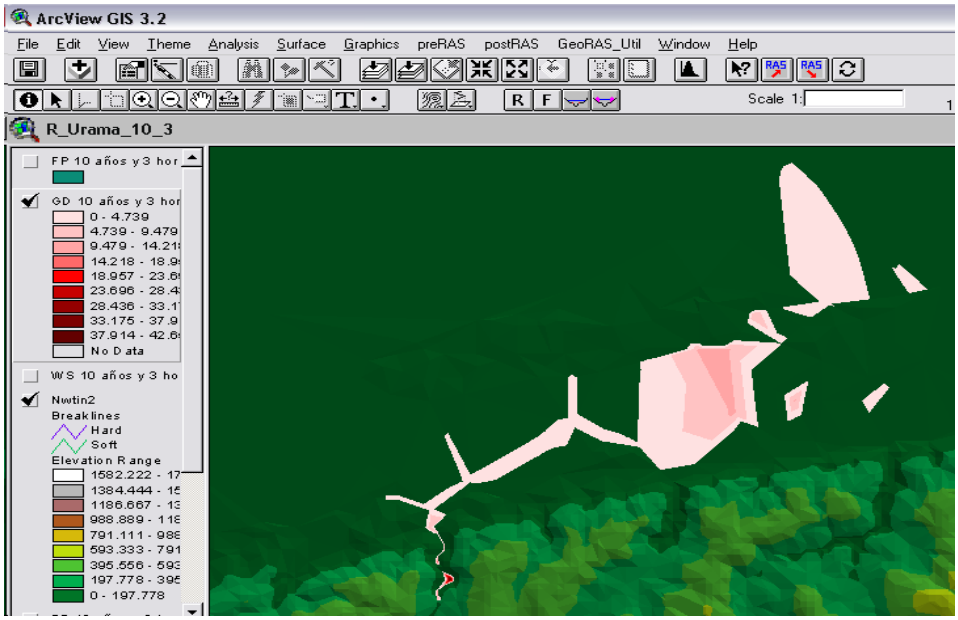


Figura 3.263 TIN de profundidad del agua para creciente de TR=10 años y D=3 horas

CAPITULO IV

ANALISIS DE RESULTADOS

En este Capítulo se presentan los resultados obtenidos durante la ejecución de las fases mencionadas en el Capítulo III:

- Fase Diagnóstico
- Fase de Recolección de datos
- Fase de Procesamiento de datos
- Fase de Análisis de resultados

Las fases de diagnóstico y recolección de datos han sido detalladas con profundidad en el Capítulo III, a continuación se describirán los resultados de las fases siguientes.

4.1 RESULTADOS DEL PROCESAMIENTO DE DATOS

En esta fase se presentaran las tablas y planos generados en los distintos procesamientos efectuados con cada uno de los programas, se iniciará con HEC-GeoHMS, luego con HEC-HMS, se finalizará con la inetrrelación HEC-GeoRAS con HEC-RAS.

4.2 RESULTADOS DEL PROCESAMIENTO CON HEC-GEOHMS

El procesamiento con HEC-GeoHMS genera dos tipos de resultados; estos consisten en *datos geométricos de cuencas y ríos* y *parámetros hidrológicos* para los modelos matemáticos de simulación de crecientes generados posteriormente por HEC-HMS, a continuación se presentan las tablas y planos generados con este programa.

4.2.1 Datos geométricos de cuencas y ríos y parámetros hidrológicos

Los resultados de los datos geométricos de cuencas y ríos y los parámetros hidrológicos se presentan en las tablas que se encuentran en el Apéndice L; el Apéndice L1 contiene las tablas de atributos de río, el Apéndice L2 contiene las tablas de atributos del tributario más largo por cada subcuenca, el Apéndice L3 contiene las tablas de atributos de las subcuencas, el Apéndice L4 contiene las tablas de búsqueda de los Números de Curva, el Apéndice L5 contiene las tablas para el cálculo del tiempo de concentración por el Método de Kirprich y TR55, y finalmente el Apéndice L6 contiene las tablas de atributos para la aplicación del método ModClark.

4.2.2 Planos generados con HEC-GeoHMS

Los planos generados con HEC-GeoHMS podrán observarse en el Apéndice N; el Apéndice N1 contiene el plano de delineación del área de proyecto, el Apéndice N2 contiene el plano de ubicación de las subcuencas y corrientes de la zona de estudio, el Apéndice N3 contiene el plano que señala la ubicación de los centroides y longitudes centroidales y Apéndice 4 presenta el grid del Número de Curva

4.3 RESULTADOS DEL PROCESAMIENTO CON HEC-HMS

Los resultados obtenidos con HEC-HMS consisten en las tablas y gráficos para las crecientes de período de retorno 10, 50 y 100 años; para duraciones de tormentas de diseño de duración de 3 y 6 horas, en total doce crecientes, y se encuentran en el Apéndice O

4.4 RESULTADOS DEL PROCESAMIENTO CON HEC-RAS

Los resultados del procesamiento con HEC-RAS se encuentran en el Apéndice P; el Apéndice P1 contiene las tablas de perfiles de superficie del agua para período de retorno de 10, 50 y 100 años para tormentas de duración de 3 horas, el Apéndice P2 contiene las tablas de

perfiles de superficie del agua para período de retorno de 10, 50 y 100 años para tormentas de duración de 6 horas, el Apéndice P3 contiene los perfiles de superficie del agua para las opciones citadas anteriormente y el Apéndice P4 contiene las secciones transversales del río Urama incluyendo las profundidades del agua para distinto período de retorno

4.5 RESULTADOS DEL PROCESAMIENTO CON HEC-GeoRAS

Los resultados del procesamiento con HEC-GeoRAS se encuentran en el Apéndice Q; el Apéndice Q1 contiene el plano de profundidades de crecientes para periodo de retorno de 10 años y tormenta de 3 horas, el Apéndice Q2 contiene el plano de profundidades de crecientes para periodo de retorno de 50 años y tormenta de 3 horas, el Apéndice Q3 contiene el plano de profundidades de crecientes para periodo de retorno de 100 años y tormenta de 3 horas, el Apéndice Q4 contiene el plano de profundidades de crecientes para periodo de retorno de 10 años y tormenta de 3 horas, el Apéndice Q5 contiene el plano de profundidades de crecientes para periodo de retorno de 50 años y tormenta de 3 horas, el Apéndice Q6 contiene el plano de profundidades de crecientes para periodo de retorno de 100 años y tormenta de 3 horas, el Apéndice Q7 contiene la superposición de las manchas de inundación para períodos de retorno de 10, 50 y 100 años y duración de tormenta de 3 horas

4.6 ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.6.1 Análisis de los resultados con HEC-GeoHMS

Los resultados de la aplicación de HEC-GeoHMS consistieron en la obtención del área de proyecto como se indica en el Apéndice N1, dicho plano indica que el área de estudio se ubica entre las longitudes 550.000 y 600.000, así como entre las latitudes 1.170.000 y 1.130.000. En el plano N2 se puede observar que el área de proyecto fue seccionada en 6 subcuencas, de las cuales, las principales subcuencas de estudio fueron tres; Temerla, Canoabo y Urama Alto.

Las características físicas relacionadas al área de las subcuencas y a la longitud de tributarios fueron como sigue; se encontró en el Apéndice L3 que Temerla posee una extensión de 272.96 km^2, Canoabo de 147.1 km^2 y Urama Alto 22.77 km^2. Las elevaciones de los centroides se localizaron para Temerla en la cota 570 msnm, para Canoabo a 300 msnm y para Urama Alto 130 msnm. Con respecto a la pendiente media del terreno se encontró 19.93% para Temerla, 22.05% para Canoabo y 15.75% para Urama Alto. Las subcuencas de interés se identifican en las tablas en el campo WSHID como 34 para Urama Alto, 55 para Canoabo y 53 para Temerla, de acuerdo con esta clasificación se puede observar en el Apéndice L1 que el río Urama en la subcuenca Urama Alto (34), bajo la denominación R340, posee 8,6 km de longitud, cuya elevación aguas arriba es de 215 msnm y en la planicie 25 msnm, los cual proporciona

para este río un desnivel 190 metros, la pendiente promedio del río es de 2.21% y el número de Manning asignado es de 0.035.

Los resultados de los parámetros hidrológicos consistieron en determinar; el Número de Curva en grid, parámetros para la aplicación del Método de Clark modificado, el método de Muskingum-Cunge Estándar y el tiempo de concentración por el Método TR-55.

Los resultados del grid del Número de Curva (CN) para la condición seleccionada de diseño, la cual asume que los suelos de la cuenca están húmedos, es decir CNIII, indican los siguientes valores ponderados espacialmente de acuerdo al tipo de suelo y uso de la tierra de; próximos a 90 para las cuencas altas Temerla y Canoabo y cercanos a 85 para la planicie, estos valores de CN se encuentran respaldados en la información suministrada en el Apéndice E, donde se encuentra la tabla que indica diversa variables ambientales para la zona de Urama, Canoabo y Temerla, así como para zonas aledañas como Morón y Puerto Cabello.

Por ejemplo, las variables de Urama, consideradas en el Apéndice E, son las que corresponden a la descripción en el campo de **UBICACIÓN** de la tabla como, “Norte del centro poblado Urama, margen derecha del río Yaracuy, Municipio Puerto Cabello, Edo. Carabobo, para esta zona se considera que presenta suelos de moderada fertilidad, texturas medianas, pedregosos, poco profundos bien drenados, bajo contenido de sales, en cuanto a la vegetación; se considera bosque tropical semidecíduo, todo lo cual condujo a que se le

asignaran los porcentajes que describen la condición hidrológica A, B, C y D, como sigue; 20% para la condición A, 70% para la condición B, 5% para la condición C y 5% para la condición D, esto en combinación con la consideración de que la zona es parroquia urbana, permitió asignar un valor de CN I (Condición de humedad del suelo seca) de 61, para CN II (condición de humedad del suelo normal) de 78 y para CN III (condición de humedad del suelo húmeda) de 89, bajo el mismo criterio aplicado anteriormente se rellenaron los campo PCTA, PCTB, PCTC y PCTD, así como, SCSCN I, SCSCN y SCSCN 3, una vez generados estos campo en la tabla del Apéndice E, con ayuda de unas rutinas cargadas bajo el menú Utility de HEC-GeoHMS se generaron los valores para el Grid del Número de Curva, especificamente para la condición III, suelos de la cuenca húmedos.

En cuanto a los parámetros para el Método de ModClark, en el Apéndice L6, se puede observar el tamaño de las celdas en kilómetros cuadrados en un rango de 0.1 a 4 km^2, así como la longitud considerada para el recorrido del flujo, la cual se encuentra entre los 8 y 13 km, y la asignación de un valor del Números de curva para cada celda, este método posee como limitante para su aplicación que requiere obtener información de lluvias registradas mediante radar, información con la cual no se cuenta en los organismos autorizados del país.

En cuanto a los parámetros para el método de Muskingum- Cunge, estos fueron asignados con base en el levantamiento topográfico y las observaciones recogidas mediante las fotografías de las características del río. Los

parámetros asignados fueron; pendiente de taludes, ancho del canal y número de Manning, estos parámetros se cargan en la tabla de atributos de ríos ubicada en el Apéndice L1. Para el río Urama Alto (34), se asignó una pendiente de talud de 3 para el canal, un ancho de canal de 35 metros, una forma prismática y número de Manning de 0.035, bajo el mismo criterio se asignaron valores a los demás ríos

Con respecto al tiempo de concentración, éste es útil para determinar la duración de la tormenta de diseño, se tiene que las diferencias entre el método TR55 y el método de Kirprich se evidencian en la Tabla 4.1 para las subcuencas de interés.

Tabla 4.1 Estimación del tiempo de concentración

Subcuenca	Urama Alto	Canoabo	Temerla
Tiempo de Concentración (TR-55)- horas	1.76	3.56	6.05
Tiempo de Concentración (Método de Kirprich)-horas	1.51	1.85	4.74

Fuente: Generación Propia

Los resultados obtenidos de la estimación indican que los mayores tiempos de concentración se obtuvieron mediante la aplicación del Método TR-55 en relación al Método de Kirprich, este último método se considera de menor precisión ya que es aplicable a cuencas donde el almacenaje en el cauce predomina antes que el flujo en el terreno (Guevara, 2003), y como se observa en el plano del Apéndice N3, éstas se pueden considerar cuencas de

alta ramificación, donde predomina el flujo a través de tributarios hacia el cauce principal, en las fotografías también se puede constatar este hecho, por lo tanto se considera que estos argumentos favorecen la elección de los resultados obtenidos con TR-55, adicionalmente los resultados la hoja de cálculo del Apéndice L5 muestra esta predominancia de los valores del flujo en los tributarios en relación al flujo en el terreno y en el río principal.

La elección anterior permite seleccionar como tiempo de concentración de diseño el correspondiente a la cuenca del río Temerla, el cual permite suponer como mínimo 6 horas de duración de la tormenta de diseño, este parámetro es importante para la generación de las crecientes con HEC-HMS

4.6.2 Análisis de los resultados con HEC-HMS

Los resultados obtenidos con HEC-HMS se pueden clasificar de acuerdo a las alternativas de simulación planteadas en el Capítulo III, lo cual genera las siguientes cuatro combinaciones; alternativa 1 con una tormenta de diseño de 3 horas, alternativa 1 con una tormenta de diseño de 6 horas, alternativa 2 con una tormenta de diseño de 3 horas y alternativa 2 con una tormenta de diseño de 6 horas. Como se recordará la alternativa 1, contemplaba el uso del método del SCS para calcular las pérdidas por infiltración y transformar la lluvia en escurrimiento y la alternativa 2, implicaba combinar el método del SCS para estimar las pérdidas y el método de Clark para la transformar la lluvia en escurrimiento, esto muestra la versatilidad del programa HEC-HMS para

manejar diversas condiciones, sin embargo, y debido a que el Método del SCS está limitado en el caso de la transformación de la lluvia en escurrimiento para cuencas menores a 8 km^2, se descarta la alternativa 1, ya que las subcuencas de interés; Canoabo, Urama Alto y Temerla poseen áreas entre 22 – 270 km^2, este método es inaplicable, por lo tanto se trabajará con la alternativa 2.

Con respecto a la estimación de las tormentas de diseño, en el Apéndice K se encuentra los resultados de la determinación de las curvas I-D-F con base en los registros de precipitación medidos para la zona en el período entre 1967 - 1974. Así como también, se indica mediante una curva de masa de precipitación, la comparación entre los valores estimados y los valores medidos, estos resultados indican que la precipitación estimada según la Ecuación 3.1 son menores que los valores medidos, con lo cual se deduce que se está lejos de un sobredimensionamiento, sin embargo hay que tomar en cuenta que la longitud del registro considerado es menor a 10 años y esto puede justificar las diferencias con respecto a la Ecuación 3.1, con lo cual se pueden considerar aceptables los valores estimados con dicha ecuación.

Por otro lado, como se comentó en el Capítulo III, considerando que la Dirección del antiguo Ministerio de Obras de Venezuela encontró sobre la base del análisis de 50 tormentas registradas en la red pluviométrica nacional que la duración de las tormentas de diseño es generalmente de 3 horas y no va más allá de 6 horas (Guevara, 2003) y analizando los tiempos de concentración por subcuencas se resolvió simular crecientes con dos tiempos; 3 y 6 horas como tiempo de concentración para la tormenta de diseño de este estudio, estas

duraciones se ajustan a los tiempos de concentración para la alternativa 2. Los resultados comparativos de los picos de crecientes se pueden observar en la Tabla 4.2.

Tabla 4.2 Comparación de los resultados obtenidos para obtención del caudal pico (m^3/s) de creciente generada mediante la alternativa 2 para duraciones de 3 y 6 horas

TR (años)	10	50	100
Alt 2 para D= 3 horas	721.95	1225.7	1514.9
Alt 2 para D= 6 horas	1603.7	2588.6	3138.6

Esos resultados indican que la relación entre los resultados supera el doble, sin embargo, de acuerdo con lo discutido previamente en relación a los valores para la tormenta de diseño se puede establecer que los valores de la Tabla 4.2 son adecuados para ser usados en la simulación de las planicies inundables.

Considerando que la extracción de aguas permanentes de las cuencas de Canoabo y de Temerla, con fines de abastecimiento y transvase hacia el embalse de Canoabo, genera una amortiguación del picos de la creciente, se decidió seleccionar para los resultados de la alternativa 2 para una duración de 3 horas para efectuar la simulación con HEC-RAS

4.6.3 Análisis de los resultados con HEC-RAS

Los resultados generados con HEC-RAS fueron producto de haber considerado 2 planes de trabajo, los cuales dependen principalmente del empleo de los modelos de simulación para el flujo a través del Puente sobre el río Urama, ubicado en la carretera nacional Morón – San Felipe. Como se planteó en el Capítulo III, en el Plan 1 se consideró el uso de la Ecuación de Energía y alternativamente de Momentum tanto para flujos bajos y sólo Energía para flujos altos, y en el Plan 2 se consideró la Ecuación de la Energía para flujos bajos y los modelos para flujo a presión y vertedero en el estudio de los flujos altos.

Una vez realizada la corrida con el Plan 1, se observó que para TR=10 años el flujo sobrepasa al puente, esto es, el puente trabaja como vertedero, adicionalmente no es preciso realizar la corrida para los restantes períodos de retorno, ya que la magnitud del pico de creciente es mayor y en consecuencia el puente será sobrepasado por el agua. Este resultado es suficiente para descartar la aplicación de la Ecuación de la Energía en las inmediaciones del puente, como se muestra en la Figura 4.1 y cambiarse al Plan 02.

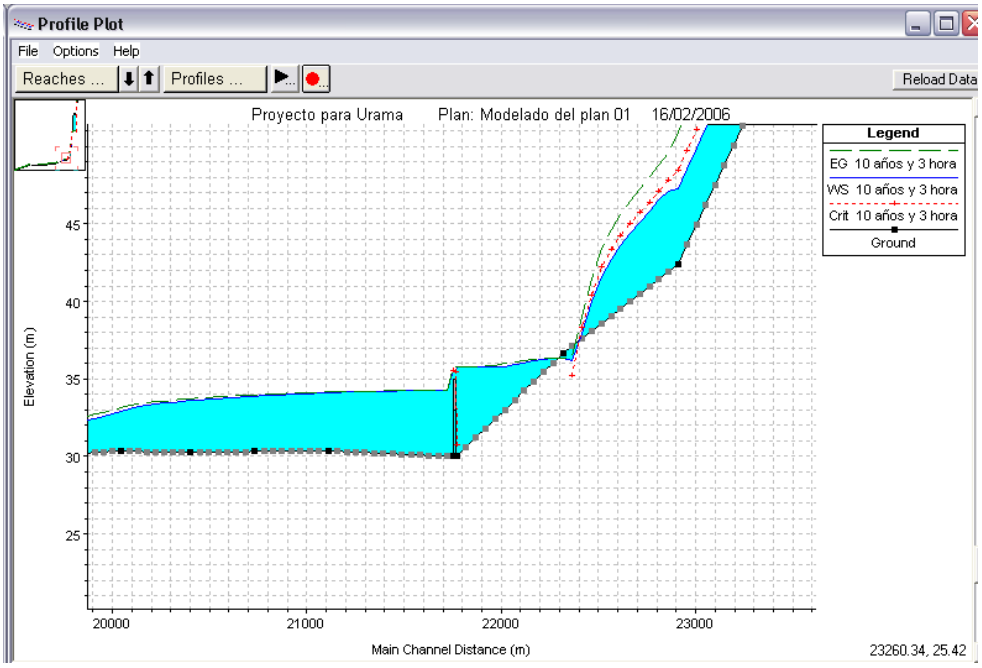


Figura 4.1 Plan 01- Perfil de superficie del agua en la zona del puente Urama

Las tablas para el Plan 2 ubicadas en el Apéndice P1, señalan de manera general para los tres períodos de retorno, caudal, elevación mínima del cauce, elevación de la superficie del agua; es importante observar que para determinar la profundidad del agua es preciso hacer la diferencia de estos dos, dando como resultado profundidades próximas a los 4 metros, así como también es aplicable al caso de la profundidad crítica y de energía, la pendiente de la línea de energía; la cual se ubica en el rango de 5-10% en la zona alta; antes del puente, y tendiendo a cero en la planicie, las velocidades medias en el canal, las cuales oscilan entre 10 -15 m/s antes del puente y tendiendo a cero en la planicie, así mismo los anchos superficiales; los cuales oscilan entre 10-100 antes del puente y superan los 1000 metros en la planicie.

Con respecto a los perfiles de superficie del agua, en el Apéndice P2, se puede observar una altura de aproximadamente 50 metros para la distancia ubicada entre 25000 y 30000 metros, este desnivel existe físicamente en la zona entre montaña, sólo que el río toma otra ruta en épocas de sequía y es capaza de rellenar esta cavidad bajo condiciones de crecientes.

El Apéndice P3 señala algunas de las secciones transversales en las zonas entre montañas, para mayores detalles, se recomienda revisar las corridas del Plan 2.

4.6.4 Análisis de los resultados con HEC-GeoRAS

Con HEC-GeoRAS se puede apreciar en una vista de planta la extensión y cobertura de las crecientes para distinto periodo de retorno, así como las profundidades de las superficie del agua con respecto al fondo del río, se observa de manera general que las profundidades predominantes oscilan entre 0 -5 metros, así como se cuenta con una depresión en el área entre montaña de aproximadamente 30 metros de desnivel, como se aprecia en el Apéndice Q. Así mismo se indica la superposición de dichas superficies, donde aprecia la diferencia entre la cobertura para distinto período de retorno.

CONCLUSION

Los programas HEC resultaron apropiados para generar los planos de identificación de las planicies inundables, así como las profundidades alcanzadas por la superficie del agua en las planicies para diversos períodos de retorno, considerando 10, 50 y 100 años de período de retorno. Estos programas permiten el manejo de una diversidad de métodos y ecuaciones para cálculo hidráulico que incluyen; generación de las características físicas y parámetros hidrológicos, generación de crecientes, perfiles de superficie del agua de una manera rápida, adicionalmente por causa de la digitalización de curvas de nivel es posible visualizar la ocurrencia del fenómeno de inundación en una amplia extensión de las planicies y subcuencas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bolinaga, J., 1996. “Proyectos de Ingeniería Hidráulica”. Volumen II. Fundación Polar. Caracas- Venezuela

CGR Ingeniería, 1994. “Estudio de crecidas del Río Urama, Canoabo y Temerla. Hidrocentro C.A.

Caldera Oralyn, (2005). “Régimen de lluvias y “sabiduría de la naturaleza”. Vitalis. Venezuela

Chow Ven Te., (1994). “Hidráulica de Canales Abiertos”. McGRAW-HILL INTERAMERICANA, S.A. Santafe de Bogota.

Chow Ven Te., Maidment D. “Hidrología Aplicada”. McGRAW-HILL INTERAMERICANA, S.A. Santafe de Bogota, 2000.

Fuenmayor, Maryoris, (2004).”Brote de epidemias provoca crecidas de río Urama”. El Carabobeño. Valencia-Venezuela

Fuenmayor, Maryoris, (2004).”Productores agrícolas solicitan créditos para cosechas”. El Carabobeño. Valencia-Venezuela

Guevara, E., (2003). “Un Modelo de Área-Altura-Duración (AAD) de tormentas de Venezuela”. Revista INGENIERIA UC. Vol. 10, Nº 1. Valencia-Venezuela.

Guevara, E., Cartaya, H., (2003). “Hidrología, Una Introducción a la Ciencia Hidrológica Aplicada”. Universidad de Carabobo. Valencia-Venezuela.

Márquez, A. Acosta, L y Ramírez, L. (2005). “Evaluación y diagnóstico de la problemática por desbordamiento del río Urama, Municipio Juan José Mora. Universidad de Carabobo

Monsalve, G. (1999). “Hidrología en Ingeniería”. Escuela Colombiana de Ingeniería. Santafe de Bogota, 2da edición,

Normas sobre la regulación y el control del aprovechamiento de los recursos hídricos y de las cuencas hidrográficas. (1996). DECRETO Nº 1400. Gaceta Oficial de la República de Venezuela Nº 36.013

Ley Forestal de Suelos y Aguas (1966). Gaceta Oficial de la República de Venezuela N° 1.004 Extraordinario. Caracas-Venezuela

Plan de ordenamiento y reglamento de uso de la zona protectora del Macizo de Nirgua (1992). Decreto No 2317. República Bolivariana De Venezuela. Presidencia De La República. Caracas-Venezuela

Proyecto VEN/79/001 (1983). “Sistemas Ambientales Venezolanos. Metodología para la definición de regiones, subregiones y áreas naturales”. Departamento de reproducción gráfica DGPOA. Caracas-Venezuela

PDVSA. (2003) “Interconexión Centro-Occidente/Oriente”. Proyecto ICO. Presentación de la Cámara Petrolera. Caracas. Venezuela

Sulbarán Berenice, (2005). “CALENTAMIENTO GLOBAL Y CAMBIO CLIMÁTICO”. Vitalis. Venezuela

US Army Corps of Engineers, (2003) “Geospatial Hydrologic Modeling System. HEC- GEOHMS version 1.1”. User’s Manual

US Army Corps of Engineers, (2002) “HEC-GeoRAS version 3.1. An extension for support of HEC-RAS using ArcView”. User’s Manual

US Army Corps of Engineers, (2002) “River Analysis System. HEC-RAS version 3.1”. Applications Guide.

US Army Corps of Engineers, (2002) “River Analysis System. HEC-RAS version 3.1”. Hydraulic Reference Manual.

US Army Corps of Engineers, (2002) “River Analysis System. HEC-RAS version 3.1”. User’s Manual

US Army Corps of Engineers, (2001) “Hydrologic Modeling System. HEC-HMS version 2.1”. User’s Manual

US Army Corps of Engineers, (2001) “Hydrologic Modeling System. HEC-HMS version 2.1”. Hydraulic Reference Manual

US Army Corps of Engineers, (2001) “Hydrologic Modeling System. HEC-HMS version 2.1”. Applications Guide.

Zambrano M., Yuraima, (2005),” 50 familias podrían quedar tapiadas por cerro El Charal en Urama”. El Carabobeño. Valencia-Venezuela

Zambrano M., Yuraima, (2005),” Invertirán 7 millardos en vías afectadas por lluvias”. El Carabobeño. Valencia-Venezuela

Zambrano M., Yuraima, (2005),” Inaugurada cuarta etapa de acueducto de Urama”. El Carabobeño. Valencia-Venezuela

Zambrano M., Yuraima, (2005).”Más de cinco mil afectados en Urama”. El Carabobeño. Valencia-Venezuela

Zambrano M., Yuraima, (2004).”Afectados El Charal, La Joyera y Canoabito. Incomunicados habitantes de San Pablo de Urama”. El Carabobeño. Valencia-Venezuela

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bolinaga, J., 1996. “Proyectos de Ingeniería Hidráulica”. Volumen II. Fundación Polar. Caracas- Venezuela

CGR Ingeniería, 1994. “Estudio de crecidas del Río Urama, Canoabo y Temerla. Hidrocentro C.A.

Caldera Oralyn, (2005). “Régimen de lluvias y “sabiduría de la naturaleza”. Vitalis. Venezuela

Chow Ven Te., (1994). “Hidráulica de Canales Abiertos”. McGRAW-HILL INTERAMERICANA, S.A. Santafe de Bogota.

Chow Ven Te., Maidment D. “Hidrología Aplicada”. McGRAW-HILL INTERAMERICANA, S.A. Santafe de Bogota, 2000.

Fuenmayor, Maryoris, (2004).”Brote de epidemias provoca crecidas de río Urama”. El Carabobeño. Valencia-Venezuela

Fuenmayor, Maryoris, (2004).”Productores agrícolas solicitan créditos para cosechas”. El Carabobeño. Valencia-Venezuela

Guevara, E., (2003). “Un Modelo de Área-Altura-Duración (AAD) de tormentas de Venezuela”. Revista INGENIERIA UC. Vol. 10, Nº 1. Valencia-Venezuela.

Guevara, E., Cartaya, H., (2003). “Hidrología, Una Introducción a la Ciencia Hidrológica Aplicada”. Universidad de Carabobo. Valencia-Venezuela.

Márquez, A. Acosta, L y Ramírez, L. (2005). “Evaluación y diagnóstico de la problemática por desbordamiento del río Urama, Municipio Juan José Mora. Universidad de Carabobo

Monsalve, G. (1999). “Hidrología en Ingeniería”. Escuela Colombiana de Ingeniería. Santafe de Bogota, 2da edición,

Normas sobre la regulación y el control del aprovechamiento de los recursos hídricos y de las cuencas hidrográficas. (1996). DECRETO Nº 1400. Gaceta Oficial de la República de Venezuela Nº 36.013

Ley Forestal de Suelos y Aguas (1966). Gaceta Oficial de la República de Venezuela N° 1.004 Extraordinario. Caracas-Venezuela

Plan de ordenamiento y reglamento de uso de la zona protectora del Macizo de Nirgua (1992). Decreto No 2317. República Bolivariana De Venezuela. Presidencia De La República. Caracas-Venezuela

Proyecto VEN/79/001 (1983). “Sistemas Ambientales Venezolanos. Metodología para la definición de regiones, subregiones y áreas naturales”. Departamento de reproducción gráfica DGPOA. Caracas-Venezuela

PDVSA. (2003) “Interconexión Centro-Occidente/Oriente”. Proyecto ICO. Presentación de la Cámara Petrolera. Caracas. Venezuela

Rojas R., (1999) “Evaluación preliminar del modelo EPIC”. Universidad de Los Andes. Mérida. Venezuela

Sulbarán Berenice, (2005). “CALENTAMIENTO GLOBAL Y CAMBIO CLIMÁTICO”. Vitalis. Venezuela

US Army Corps of Engineers, (2003) “Geospatial Hydrologic Modeling System. HEC- GEOHMS version 1.1”. User’s Manual

US Army Corps of Engineers, (2002) “HEC-GeoRAS version 3.1. An extension for support of HEC-RAS using ArcView”. User’s Manual

US Army Corps of Engineers, (2002) “River Analysis System. HEC-RAS version 3.1”. Applications Guide.

US Army Corps of Engineers, (2002) “River Analysis System. HEC-RAS version 3.1”. Hydraulic Reference Manual.

US Army Corps of Engineers, (2002) “River Analysis System. HEC-RAS version 3.1”. User’s Manual

US Army Corps of Engineers, (2001) “Hydrologic Modeling System. HEC-HMS version 2.1”. User’s Manual

US Army Corps of Engineers, (2001) “Hydrologic Modeling System. HEC-HMS version 2.1”. Hydraulic Reference Manual

US Army Corps of Engineers, (2001) “Hydrologic Modeling System. HEC-HMS version 2.1”. Applications Guide.

Zambrano M., Yuraima, (2005),” 50 familias podrían quedar tapiadas por cerro El Charal en Urama”. El Carabobeño. Valencia-Venezuela

Zambrano M., Yuraima, (2005),” Invertirán 7 millardos en vías afectadas por lluvias”. El Carabobeño. Valencia-Venezuela

Zambrano M., Yuraima, (2005),” Inaugurada cuarta etapa de acueducto de Urama”. El Carabobeño. Valencia-Venezuela

Zambrano M., Yuraima, (2005).”Más de cinco mil afectados en Urama”. El Carabobeño. Valencia-Venezuela

Zambrano M., Yuraima, (2004).”Afectados El Charal, La Joyera y Canoabito. Incomunicados habitantes de San Pablo de Urama”. El Carabobeño. Valencia-Venezuela

APÉNDICE A

FOTOGRAFIAS Y ASPECTOS LEGALES

APÉNDICE A1

IMPACTO EN LA PLANICIE

Planicie inundable por el río Urama

Niveles de crecientes del Río Urama debidos a Vaguada de Febrero de 2005

Áreas habitadas con alto riesgo a ser inundadas por el Río Urama

Invasión del río Urama hacia la zonas habitadas

APÉNDICE A2

IMPACTO EN LA ZONA MONTAÑOSA

Impacto de la creciente sobre el terreno de soporte de la Estación de abastecimiento de gasoil para la operación de la estación de bombeo

Tanque de Gasoil arrastrado por la creciente

Raíces descubierta por el paso de la creciente

Raíces descubierta por el paso de la creciente

APÉNDICE A3

RELACIONES INTER-INSTITUCIONALES

Autoridades de la Parroquia de Urama-Municipio Juan José Mora Estado Carabobo

Universidad y comunidad de la Parroquia Urama-Municipio Juan José Mora

APÉNDICE A4

LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO

Equipo de trabajo

Dique Toma José L. Silva. Punto de inicio del levantamiento topográfico

Levantamiento de sección transversal del Río Urama

Levantamiento de sección transversal del Río Urama

Preparador de Topografía y Equipos de la Universidad de Carabobo

Colaboración de integrantes de la comunidad

Levantamiento en Puente Urama – Carretera Nacional Morón –San Felipe

Levantamiento en Puente Urama – Carretera Nacional Morón –San Felipe

Obstrucciones en Puente Urama – Carretera Nacional Morón –San Felipe

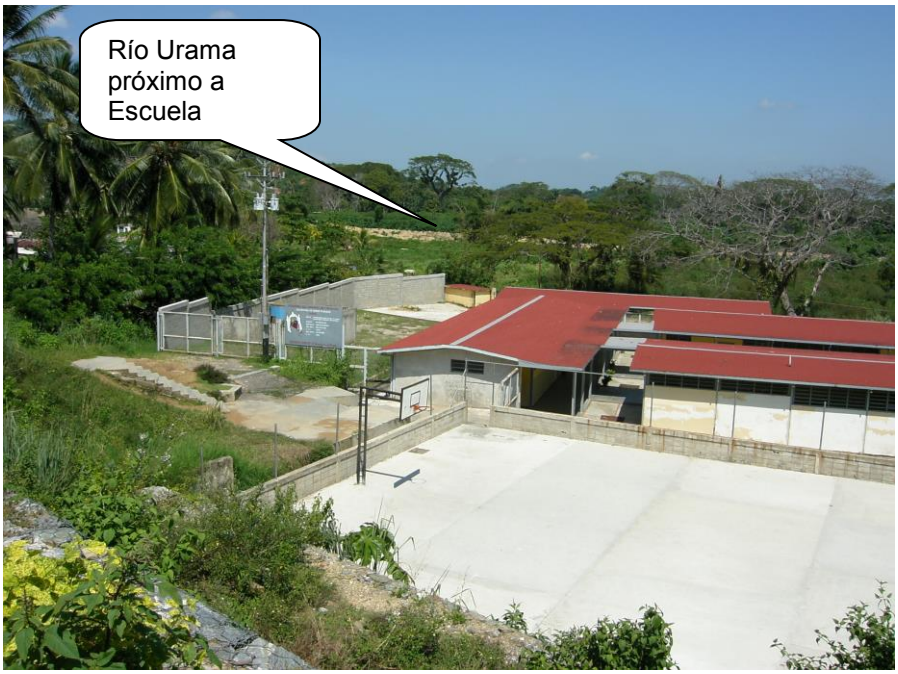
Áreas inefectivas de flujo en Puente Urama

Río Urama en la planicie

Dique en La Jobera- Río Urama

Casas en el cauce del río

Reparación de fallas de borde de la Carretera Urama-Canoabo



Escuela en planicie inundable

Zona de Estudio Próxima a Puente Urama

Notas del levantamiento en el Río Urama-Montaña

Notas del levantamiento en el río Urama-Planicie

Tributarios hacia el río Urama

Río Urama- Zona Montañosa

APÉNDICE A5

ASPECTOS LEGALES

NORMAS SOBRE LA REGULACIÓN Y EL CONTROL DEL APROVECHAMIENTO DE LOS RECURSOS HÍDRICOS Y DE LAS CUENCAS HIDROGRÁFICAS

Gaceta Oficial de la República de Venezuela Nº 36.013 de 2 de agosto de 1996. **DECRETO Nº 1400 DE 10 DE JULIO DE 1996**

TÍTULO IV
De las Áreas Bajo Régimen de Administración Especial para la Conservación y Racional Aprovechamiento de las Aguas y Cuencas Hidrográficas

---

CAPÍTULO VI
De las Planicies Inundables

Artículo 60. La protección de las Planicies Inundables, mediante la declaración de Áreas Bajo Régimen de Administración Especial, tiene como objetivos principales evitar la ocurrencia de daños a bienes y personas localizados en áreas susceptibles de inundación, adecuar el uso de dichas áreas a los riesgos de ocurrencia de estos fenómenos y orientar la planificación y ejecución de obras de saneamiento y protección.

Artículo 61. El régimen de usos y actividades se establecerá en los correspondientes planes de ordenamiento y reglamentos de uso, en base a los siguientes criterios:

1) La delimitación de las áreas responderá al nivel de riesgo asociado a cada una de ellas, en función de los períodos de retorno de las crecidas.
2) En áreas rurales, la reducción de riesgos de pérdida de vidas y de daños a las propiedades debe orientarse preferentemente hacia medidas de carácter preventivo.
3) En áreas urbanas, la localización de instalaciones de primera importancia para el funcionamiento de la ciudad deberá orientarse a aquellas áreas donde el período de retorno de ocurrencia de inundaciones sea superior a 100 años.

APÉNDICE B

CARTAS TOPOGRÁFICAS

1:25.000

APÉNDICE C

MODELO DIGITAL DE TERRENO

(MDT)

APÉNDICE D

SECCIONES TRANSVERSALES Y PERFIL LONGITUDINAL DEL LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO

APÉNDICE E

USO DE LA TIERRA Y TIPO DE SUELO

APÉNDICE F

INFORMACIÓN HIDROLÓGICA

APÉNDICE F1

CAUDALES MEDIOS MENSUALES DE LAS SUBCUENCAS DE ESTUDIO

Promedio de caudales de los meses de sequía

Meses	Temerla	Canoabo	Urama
Enero	0.745	0.271	0.39
Febrero	0.609	0.19	0.19
Marzo	0.585	0.174	0.12
Promedio	**0.65**	**0.21**	**0.23**

Fuente: Elaboración propia

APÉNDICE F2

TORMENTAS DE DISEÑO

TR=10 AÑOS. DURACION DE DISEÑO 3 HORAS

TORMENTA DE PROYECTO						
Cuenca				**Todas**		
Estación Pluviométrica				**Urama**		
Período de retorno				**10 años**		
Intensidad (E:Ecuación)				**$I=634T^{0.222}/(D+4)^{0.714}$**		
Intensidad (MP:Método Probabilistico)				**$I=\mu+\sigma K$**		
Tiempo de Concentración				**180 minutos**		
Factor de Reducción por el área (%)				**76**		
Intervalo (hr)	Intervalo (min)	Intensidad (mm/h)	Pacum (mm)	P(mm)	Pred(mm)	bloques alternos
-	0	-	-	0	-	-
0.33	20	108.80	36.27	36.27	27.57	2.03
0.67	40	70.58	47.05	10.79	8.20	2.48
1.00	60	54.01	54.01	6.96	5.29	3.30
1.33	80	44.48	59.31	5.29	4.02	5.29
1.67	100	38.19	63.65	4.34	3.30	27.57
2.00	120	33.68	67.36	3.72	2.82	8.20
2.33	140	30.27	70.63	3.27	2.48	4.02
2.67	160	27.59	73.56	2.93	2.23	2.82
3.00	180	25.41	**76.23**	2.67	2.03	2.23

Fuente: Elaboración propia

TR=50 AÑOS. DURACION DE DISEÑO 3 HORAS

TORMENTA DE PROYECTO						
Cuenca				**Todas**		
Estación Pluviométrica				**Urama**		
Período de retorno				**50 años**		
Intensidad (E:Ecuación)				**$I=634T^{0.222}/(D+4)^{0.714}$**		
Intensidad (MP:Método Probabilistico)				**$I=\mu+\sigma K$**		
Tiempo de Concentración				**180 minutos**		
Factor de Reducción por el área (%)				**76**		
Intervalo (hr)	Intervalo (min)	Intensidad (mm/h)	Pacum (mm)	P(mm)	Pred(mm)	bloques alternos
-	0	-	-	0	-	-
0.33	20	156.24	52.08	52.08	39.58	2.91
0.67	40	101.35	67.57	15.49	11.77	3.57
1.00	60	77.56	77.56	9.99	7.59	4.74
1.33	80	63.87	85.17	7.60	5.78	7.59
1.67	100	54.84	91.40	6.23	4.74	39.58
2.00	120	48.37	96.74	5.34	4.06	11.77
2.33	140	43.47	101.43	4.69	3.57	5.78
2.67	160	39.62	105.64	4.21	3.20	4.06
3.00	180	36.49	**109.47**	3.83	2.91	3.20

Fuente: Elaboración propia

TR=100 AÑOS. DURACION DE DISEÑO 3 HORAS

TORMENTA DE PROYECTO						
Cuenca				**Todas**		
Estación Pluviométrica				**Urama**		
Período de retorno				**100 años**		
Intensidad (E:Ecuación)				**$I=634T^{0.222}/(D+4)^{0.714}$**		
Intensidad (MP:Método Probabilistico)				**$I=\mu+\sigma K$**		
Tiempo de Concentración				**180 minutos**		
Factor de Reducción por el área (%)				**76**		
Intervalo (hr)	Intervalo (min)	Intensidad (mm/h)	Pacum (mm)	P(mm)	Pred(mm)	bloques alternos
-	0	-	-	0	-	-
0.33	20	182.23	60.74	60.74	46.16	3.40
0.67	40	118.21	78.81	18.07	13.73	4.16
1.00	60	90.46	90.46	11.66	8.86	5.53
1.33	80	74.50	99.33	8.87	6.74	8.86
1.67	100	63.96	106.60	7.27	5.53	46.16
2.00	120	56.41	112.83	6.22	4.73	13.73
2.33	140	50.70	118.30	5.48	4.16	6.74
2.67	160	46.21	123.21	4.91	3.73	4.73
3.00	180	42.56	**127.68**	4.47	3.40	3.73

Fuente: Elaboración propia

TR=10 AÑOS. DURACION DE DISEÑO 6 HORAS

TORMENTA DE PROYECTO						
Cuenca				**Todas**		
Estación Pluviométrica				**Urama**		
Período de retorno				**10 años**		
Intensidad (E:Ecuación)				**$I=634T^{0.222}/(D+4)^{0.714}$**		
Intensidad (MP:Método Probabilistico)				**$I=\mu+\sigma K$**		
Tiempo de Concentración				**449 minutos**		
Factor de Reducción por el área (%)				**80**		
Intervalo (hr)	Intervalo (min)	Intensidad (mm/h)	Pacum (mm)	P(mm)	Pred	bloques alternos
-	0	-	-	0	-	-
0.33	20	108.80	36.27	36.27	29.02	1.30
0.67	40	70.58	47.05	10.79	8.63	1.43
1.00	60	54.01	54.01	6.96	5.57	1.60
1.33	80	44.48	59.31	5.29	4.24	1.82
1.67	100	38.19	63.65	4.34	3.47	2.13
2.00	120	33.68	67.36	3.72	2.97	2.62
2.33	140	30.27	70.63	3.27	2.62	3.47
2.67	160	27.59	73.56	2.93	2.35	5.57
3.00	180	25.41	76.23	2.67	2.13	29.02
3.33	200	23.61	78.69	2.45	1.96	8.63
3.67	220	22.08	80.96	2.28	1.82	4.24
4.00	240	20.77	83.09	2.13	1.70	2.97
4.33	260	19.64	85.09	2.00	1.60	2.35
4.67	280	18.64	86.98	1.89	1.51	1.96
5.00	300	17.75	88.77	1.79	1.43	1.70
5.33	320	16.97	90.48	1.71	1.37	1.51
5.67	340	16.26	92.11	1.63	1.30	1.37
6.00	360	15.61	**93.67**	1.56	1.25	1.25

Fuente: Elaboración propia

TR=50 AÑOS. DURACION DE DISEÑO 6 HORAS

TORMENTA DE PROYECTO						
Cuenca				**Todas**		
Estación Pluviométrica				**Urama**		
Período de retorno				**50 años**		
Intensidad (E:Ecuación)				**$I=634T^{0.222}/(D+4)^{0.714}$**		
Intensidad (MP:Método Probabilistico)				**$I=\mu+\sigma K$**		
Tiempo de Concentración				**449 minutos**		
Factor de Reducción por el área (%)				**80**		
Intervalo (hr)	Intervalo (min)	Intensidad (mm/h)	Pacum (mm)	P(mm)	Pred(mm)	bloques alternos
-	0	-	-	0	-	-
0.33	20	156.24	52.08	52.08	41.66	1.87
0.67	40	101.35	67.57	15.49	12.39	2.06
1.00	60	77.56	77.56	9.99	7.99	2.30
1.33	80	63.87	85.17	7.60	6.08	2.62
1.67	100	54.84	91.40	6.23	4.99	3.06
2.00	120	48.37	96.74	5.34	4.27	3.76
2.33	140	43.47	101.43	4.69	3.76	4.99
2.67	160	39.62	105.64	4.21	3.37	7.99
3.00	180	36.49	109.47	3.83	3.06	41.66
3.33	200	33.90	113.00	3.52	2.82	12.39
3.67	220	31.71	116.27	3.27	2.62	6.08
4.00	240	29.83	119.32	3.06	2.45	4.27
4.33	260	28.20	122.20	2.87	2.30	3.37
4.67	280	26.77	124.91	2.71	2.17	2.82
5.00	300	25.50	127.49	2.57	2.06	2.45
5.33	320	24.36	129.94	2.45	1.96	2.17
5.67	340	23.34	132.28	2.34	1.87	1.96
6.00	360	22.42	**134.52**	2.24	1.79	1.79

Fuente: Elaboración propia

TR=100 AÑOS. DURACION DE DISEÑO 6 HORAS

TORMENTA DE PROYECTO						
Cuenca				**Todas**		
Estación Pluviométrica				**Urama**		
Período de retorno				**100 años**		
Intensidad (E:Ecuación)				**$I=634T^{0.222}/(D+4)^{0.714}$**		
Intensidad (MP:Método Probabilistico)				**$I=\mu+\sigma K$**		
Tiempo de Concentración				**449 minutos**		
Factor de Reducción por el área (%)				**80**		
Intervalo (hr)	Intervalo (min)	Intensidad (mm/h)	Pacum (mm)	P(mm)	Pred(mm)	bloques alternos
-	0	-	-	0	-	-
0.33	20	182.23	60.74	60.74	48.59	2.18
0.67	40	118.21	78.81	18.07	14.45	2.40
1.00	60	90.46	90.46	11.66	9.32	2.68
1.33	80	74.50	99.33	8.87	7.09	3.05
1.67	100	63.96	106.60	7.27	5.82	3.57
2.00	120	56.41	112.83	6.22	4.98	4.38
2.33	140	50.70	118.30	5.48	4.38	5.82
2.67	160	46.21	123.21	4.91	3.93	9.32
3.00	180	42.56	127.68	4.47	3.57	48.59
3.33	200	39.54	131.79	4.11	3.29	14.45
3.67	220	36.98	135.61	3.81	3.05	7.09
4.00	240	34.79	139.17	3.56	2.85	4.98
4.33	260	32.89	142.52	3.35	2.68	3.93
4.67	280	31.22	145.69	3.17	2.53	3.29
5.00	300	29.74	148.69	3.00	2.40	2.85
5.33	320	28.42	151.55	2.86	2.29	2.53
5.67	340	27.23	154.28	2.73	2.18	2.29
6.00	360	26.15	**156.90**	2.62	2.09	2.09

Fuente: Elaboración propia

APÉNDICE G

CARTAS TOPOGRÁFICAS

ESCALA 1:100.000

APÉNDICE H

VALORES DEL NÚMERO DE CURVA (CN)

Apéndice H1

SCS TR-55 Table 2-2a – Runoff curve numbers for urban areas[1]

Cover description		Curve numbers for hydrologic soil group			
Cover type and hydrologic condition	Average percent impervious area[2]	A	B	C	D
Fully developed urban areas					
Open space (lawns, parks, golf courses, cemeteries, etc.)[3]:					
Poor condition (grass cover < 50%)		68	79	86	89
Fair condition (grass cover 50% to 75%)		49	69	79	84
Good condition (grass cover > 75%)		39	61	74	80
Impervious areas:					
Paved parking lots, roofs, driveways, etc. (excluding right-of-way)		98	98	98	98
Streets and roads:					
Paved; curbs and storm sewers (excluding right-of-way)		98	98	98	98
Paved; open ditches (including right-of-way)		83	89	92	93
Gravel (including right-of-way)		76	85	89	91
Dirt (including right-of-way)		72	82	87	89
Western desert urban areas:					
Natural desert landscaping (pervious areas only)[4]		63	77	85	88
Artificial desert landscaping (impervious weed barrier, desert shrub with 1- to 2-inch sand or gravel mulch and basin borders)		96	96	96	96
Urban districts:					
Commercial and business	85	89	92	94	95
Industrial	72	81	88	91	93
Residential districts by average lot size					
1/8 acre or less (town houses)	65	77	85	90	92
1/4 acre	38	61	75	83	87
1/3 acre	30	57	72	81	86
1/2 acre	25	54	70	80	85
1 acre	20	51	68	79	84
2 acre	12	46	65	77	82
Developing urban areas					
Newly graded areas (pervious areas only, no vegetation)[5]		77	86	91	94
Idle lands (CN's are determined using cover types similar to those in table 2-2c					

[1] Average runoff condition, and $I_a = 0.2S$.
[2] The average percent impervious area shown was used to develop the composite CN's. Other assumptions are as follows: impervious areas are directly connected to the drainage system, impervious areas have a CN of 98, and pervious areas are considered equivalent to open space in good hydrologic condition. CN's for other combinations of conditions may be computed using figure 2-3 or 2-4.
[3] CN's shown are equivalent to those of pasture. Composite CN's may be computed for other combinations of open space cover type.
[4] Composite CN's for natural desert landscaping should be computed using figures 2-3 or 2-4 based on the impervious area percentage (CN = 98) and the pervious area CN. The pervious area CN's are assumed equivalent to desert shrub in poor hydrologic condition.
[5] Composite CN's to use for the design of temporary measures during grading and construction should be computed using figure 2-3 or 2-4, based on the degree of development (imperviousness area percentage) and the CN's for the newly graded pervious areas.

Fuente: Publicaciones del Servicio de Conservación de suelos, 1986

Apéndice H2

SCS TR-55 Table 2-2b – Runoff curve numbers for cultivated agricultural lands[1]

Cover description			Curve numbers for hydrologic soil group			
Cover type	Treatment[2]	Hydrologic condition[3]	A	B	C	D
Fallow	Bare soil	–	77	86	91	94
	Crop residue cover (CR)	Poor	76	85	90	93
		Good	74	83	88	90
Row crops	Straight row (SR)	Poor	72	81	88	91
		Good	67	78	85	89
	SR + CR	Poor	71	80	87	90
		Good	64	75	82	85
	Contoured (C)	Poor	70	79	84	88
		Good	65	75	82	86
	C + CR	Poor	69	78	83	87
		Good	64	74	81	85
	Contoured & terraced (C & T)	Poor	66	74	80	82
		Good	62	71	78	81
	C & T + CR	Poor	65	73	79	81
		Good	61	70	77	80
Small grain	SR	Poor	65	76	84	88
		Good	63	75	83	87
	SR + CR	Poor	64	75	83	86
		Good	60	72	80	84
	C	Poor	63	74	82	85
		Good	61	73	81	84
	C + CR	Poor	62	73	81	84
		Good	60	72	80	838
	C & T	Poor	61	72	79	82
		Good	59	70	78	81
	C & T + CR	Poor	60	71	78	81
		Good	58	69	77	80
Close-seeded or broadcast legumes or rotation meadow	SR	Poor	66	77	85	89
		Good	58	72	81	85
	C	Poor	64	75	83	85
		Good	55	69	78	83
	C & T	Poor	63	73	80	83
		Good	51	67	76	80

[1] Average runoff condition, and Ia = 0.2S.
[2] *Crop residue cover* applies only if residue is on at least 5% of the surface throughout the year.
[3] Hydrologic condition is based on combination of factors that affect infiltration and runoff, including (a) density and canopy of vegetative areas, (b) amount of year-round cover, (c) amount of grass or close-seeded legumes in rotations, (d) percent of residue cover on the land surface (good ≥ 20%), and (e) degree of surface roughness.
Good: Factors impair infiltration and tend to increase runoff.
Poor: Factors encourage average and better than average infiltration and tend to decrease runoff.

Fuente: Publicaciones del Servicio de Conservación de suelos, 1986

APÉNDICE H3

SCS TR-55 Table 2-2c – Runoff curve numbers for other agricultural lands[1]

Cover description		Curve numbers for hydrologic soil group			
Cover type and hydrologic condition	Hydrologic condition	A	B	C	D
Pasture, grassland, or range – continuous forage for graving.[2]	Poor	68	79	86	89
	Fair	49	69	79	84
	Good	39	61	74	80
Meadow – continuous grass, protected from grazing and generally mowed for hay.	–	30	58	71	78
Brush – brush-weed mixture with brush the major element.[3]	Poor	48	67	77	83
	Fair	35	56	70	77
	Good	30[4]	48	65	73
Woods – grass combination (orchard or tree farm).[5]	Poor	57	73	82	86
	Fair	43	65	76	82
	Good	32	58	72	79
Woods.[6]	Poor	45	66	77	83
	Fair	36	60	73	79
	Good	30[4]	55	70	77
Farmsteads – buildings, lanes, driveways, and surrounding lots.	–	59	74	82	86

[1] Average runoff condition, and $I_a = 0.2S$.

[2] *Poor:* <50% ground cover or heavily grazed with no mulch.
Fair: 50 to 75% ground cover and not heavily grazed.
Good: >75% ground cover and lightly or only occasionally grazed.

[3] *Poor:* <50% ground cover.
Fair: 50 to 75% ground cover.
Good: >75% ground cover.

[4] Actual curve number is less than 30; use CN=30 for runoff computations.

[5] CN's shown were computed for areas with 50% woods and 50% grass (pasture) cover. Other combinations of conditions may be computed from the CN's for woods and pasture.

6 *Poor:* Forest litter, small trees, and brush are destroyed by heavy grazing or regular burning.
Fair: Woods are grazed but not burned, and some forest litter covers the soil.
Good: Woods are protected from grazing, and litter and brush adequately cover the soil.

Fuente: Publicaciones del Servicio de Conservación de suelos, 1986

APÉNDICE H4

SCS TR-55 Table 2-2d – Runoff curve numbers for arid and semiarid rangelands[1]

Cover description		Curve numbers for hydrologic soil group			
Cover type	Hydrologic condition[2]	A[3]	B	C	D
Herbaceous – mixture of grass, weeds, and low-growing brush, with brush the minor element.	Poor		80	87	93
	Fair		71	81	89
	Good		62	74	85
Oak-aspen – mountain brush mixture of oak brush, aspen, mountain mahogany, bitter brush, maple, and other brush	Poor		66	74	79
	Fair		48	57	63
	Good		30	41	48
Pinyon-juniper – pinyon, juniper, or both; grass understory.	Poor		75	85	89
	Fair		58	73	80
	Good		41	61	71
Sagebrush with grass understory.	Poor		67	80	85
	Fair		51	63	70
	Good		35	47	55
Desert shrub – major plants include saltbrush, greasewood, creosotebush, blackbrush, bursage, palo verde, mesquite, and cactus.	Poor	63	77	85	88
	Fair	55	72	81	86
	Good	49	68	79	84

[1] Average runoff condition, and $I_a = 0.2S$.

[2] *Poor:* <30% ground cover (litter, grass, and brush overstory).
Fair: 30 to 70% ground cover.
Good: >70% ground cover.

[3] Curve numbers for group A have been developed only for desert shrub.

Fuente: Publicaciones del Servicio de Conservación de suelos, 1986

Asignación de CN I para las subcuencas de los Municipios Juan José Mora- Puerto Cabello- Estado Carabobo

VALUE	A	B	C	D	CONDICION	USCOBER
4	25	45	58	66	Regular	Combinación de bosques y pastos
13	48	62	73	78	Pobre	Áreas urbanas tot desarrolladas
13	29	49	62	70	Regular	Áreas urbanas tot desarrolladas
13	25	45	58	66	Regular	Combinación de bosques y pastos
13,20	48	62	73	78	Pobre	Áreas urbanas tot desarrolladas
1	20	39	54	62	Regular	Bosque
15	22	40	55	63	Buena	Áreas urbanas tot desarrolladas
13	25	45	58	66	Regular	Combinación de bosques y pastos
15	48	62	73	78	Pobre	Áreas urbanas tot desarrolladas
15	48	62	73	78	Pobre	Áreas urbanas tot desarrolladas
1	48	62	73	78	Pobre	Áreas urbanas tot desarrolladas
1	48	62	73	78	Pobre	Áreas urbanas tot desarrolladas
3	48	62	73	78	Pobre	Áreas urbanas tot desarrolladas
13	48	62	73	78	Pobre	Áreas urbanas tot desarrolladas
5,12,13	17	38	53	62	Buena	Combinación de bosques y pastos
4,7	17	38	53	62	Buena	Combinación de bosques y pastos
13	20	39	54	62	Regular	Bosque
13,4	20	39	54	62	Regular	Bosque
11,12,13,4	17	38	53	62	Buena	Combinación de bosques y pastos

Fuente: Generación propia

Asignación de CN II para las microcuencas de los Municipios Juan José Mora- Puerto Cabello- Estado Carabobo

VALUE	A	B	C	D	CONDICION	USCOBERT
4	43	65	76	82	Regular	Combinación de bosques y pastos
13	68	79	86	89	Pobre	Áreas urbanas tot desarrolladas
13	49	69	79	84	Regular	Áreas urbanas tot desarrolladas
13	43	65	76	82	Regular	Combinación de bosques y pastos
13,20	68	79	86	89	Pobre	Áreas urbanas tot desarrolladas
1	36	60	73	79	Regular	Bosque
15	39	61	74	80	Buena	Áreas urbanas tot desarrolladas
13	43	65	76	82	Regular	Combinación de bosques y pastos
15	68	79	86	89	Pobre	Áreas urbanas tot desarrolladas
15	68	79	86	89	Pobre	Áreas urbanas tot desarrolladas
1	68	79	86	89	Pobre	Áreas urbanas tot desarrolladas
1	68	79	86	89	Pobre	Áreas urbanas tot desarrolladas
3	68	79	86	89	Pobre	Áreas urbanas tot desarrolladas
13	68	79	86	89	Pobre	Áreas urbanas tot desarrolladas
5,12,13	32	58	72	79	Buena	Combinación de bosques y pastos
4,7	32	58	72	79	Buena	Combinación de bosques y pastos
13	36	60	73	79	Regular	Bosque
13,4	36	60	73	79	Regular	Bosque
11,12,13,4	32	58	72	79	Buena	Combinación de bosques y pastos

Fuente: Generación propia

Asignación de CN III para las microcuencas de los Municipios Juan José Mora- Puerto Cabello- Estado Carabobo

VALUE	A	B	C	D	CONDICION	USCOBERT
4	64	81	88	91	Regular	Combinación de bosques y pastos
13	83	90	93	95	Pobre	Áreas urbanas tot desarrolladas
13	69	84	90	92	Regular	Áreas urbanas tot desarrolladas
13	64	81	88	91	Regular	Combinación de bosques y pastos
13,20	83	90	93	95	Pobre	Áreas urbanas tot desarrolladas
1	57	78	86	90	Regular	Bosque
15	60	78	87	90	Buena	Áreas urbanas tot desarrolladas
13	64	81	88	91	Regular	Combinación de bosques y pastos
15	83	90	93	95	Pobre	Áreas urbanas tot desarrolladas
15	83	90	93	95	Pobre	Áreas urbanas tot desarrolladas
1	83	90	93	95	Pobre	Áreas urbanas tot desarrolladas
1	83	90	93	95	Pobre	Áreas urbanas tot desarrolladas
3	83	90	93	95	Pobre	Áreas urbanas tot desarrolladas
13	83	90	93	95	Pobre	Áreas urbanas tot desarrolladas
5,12,13	52	76	86	90	Buena	Combinación de bosques y pastos
4,7	52	76	86	90	Buena	Combinación de bosques y pastos
13	57	78	86	90	Regular	Bosque
13,4	57	78	86	90	Regular	Bosque
11,12,13,4	52	76	86	90	Buena	Combinación de bosques y pastos

Fuente: Generación propia

APÉNDICE I

VALORES DE N DE MANNING

Tabla I1. Coeficiente de rugosidad de Manning para flujos sobre el terreno para la modelación de flujo laminar

Tipo de canal y descripción	Mínimo	Normal	Máximo
A. Conductos cerrados que fluyen parcialmente llenos			
A-1. Metal			
a. Latón, liso	0.009	**0.010**	0.013
b. Acero			
1. Estriado y soldado	0.010	0.012	0.014
2. Riveteado y en espiral	0.013	0.016	0.017
c. Hierro fundido			
1. Recubierto	0.010	0.013	0.014
2. No recubierto	0.011	0.014	0.016
d. Hierro forjado			
1. Negro	0.012	0.014	0.015
2. Galvanizado	0.013	0.016	0.017
e. Metal corrugado			
1. Subdrenaje	0.017	0.019	0.021
2. Drenaje de aguas lluvias	0.021	**0.024**	0.030
A-2. No metal			
a. Lucita	0.008	0.009	0.010
b. Vidrio	0.009	**0.010**	0.013
c. Cemento			
1. Superficie pulida	0.010	0.011	0.013
2. Mortero	0.011	0.013	0.015
d. Concreto			
1. Alcantarilla, recta y libre de basuras	0.010	0.011	0.013
2. Alcantarilla con curvas, conexiones y algo de basuras	0.011	**0.013**	0.014
3. Bien terminado	0.011	0.012	0.014
4. Alcantarillado de aguas residuales, con pozos de inspección, entradas, etc., recto	0.013	0.015	0.017
5. Sin pulir, formaleta o encofrado metálico	0.012	0.013	0.014
6. Sin pulir, formaleta o encofrado en madera lisa	0.012	**0.014**	0.016
7. Sin pulir, formaleta o encofrado en madera rugosa	0.015	0.017	0.020
e. Madera			
1. Machihembrada	0.010	0.012	0.014
2. Laminada, tratada	0.015	0.017	0.020
f. Arcilla			
1. Canaleta común de baldosas	0.011	**0.013**	0.017
2. Alcantarilla vitrificada	0.011	0.014	0.017
3. Alcantarilla vitrificada con pozos de inspección, entradas, etc.	0.013	0.015	0.017
4. Subdrenaje vitrificado con juntas abiertas	0.014	0.016	0.018
g. Mampostería en ladrillo			
1. Barnizada o lacada	0.011	0.013	0.015
2. Revestida con mortero de cemento	0.012	0.015	0.017
h. Alcantarillados sanitarios recubiertos con limos y babas de aguas residuales, con curvas y conexiones	0.012	0.013	0.016
i. Alcantarillado con batea pavimentada, fondo liso	0.016	0.019	0.020
j. Mampostería de piedra, cementada	0.018	0.025	0.030

Fuente: (USACE,1998)

Descripción del tipo de superficie	N
Superficie lisas (pavimento, asfalto, grava, suelo desnudo)	0,011
Desnudo (sin desperdicios)	0,05
Cultivado descuidado	0.06
Con residuos <= 20%	0.17
Con residuos >20%	0.24
Grama	0.15
Grama corta en pradera	0.41
Grama densa, incluyendo especies tales como grama de amor, grama azul, grama de búfalo y gramas del lugar mezclada	0.13
Grama Bermuda	0.40
Bosques	0.80
Poca maleza	
Mucha maleza	

Nota: Cuando se selecciona N, hay que considerar la cobertura próxima a 0.1 pie, Esto es aplicable a la cobertura de plantas que obstruyen los canales de flujo

Tabla I2. Tablas de coeficientes de Manning para flujo en canales

Fuente: Ven Te Chow, Hidráulica de Canales Abiertos. **Año** 2000

	Tipo de canal y descripción	Mínimo	Normal	Máximo
B.	C. Excavado o dragado			
	a. En tierra, recto y uniforme			
	1. Limpio, recientemente terminado	0.016	0.018	0.020
	2. Limpio, después de exposición a la intemperie	0.018	0.022	0.025
	3. Con gravas, sección uniforme, limpio	0.022	0.025	0.030
	4. Con pastos cortos, algunas malezas	0.022	0.027	0.033
	b. En tierra, serpenteante y lento			
	1. Sin vegetación	0.023	0.025	0.030
	2. Pastos, algunas malezas	0.025	0.030	0.033
	3. Malezas densas o plantas acuáticas en canales profundos	0.030	0.035	0.040
	4. Fondo en tierra con lados en piedra	0.028	0.030	0.035
	5. Fondo pedregoso y bancas con malezas	0.025	0.035	0.040
	6. Fondo en cantos rodados y lados limpios	0.030	0.040	0.050
	c. Excavado con pala o dragado			
	1. Sin vegetación	0.025	0.028	0.033
	2. Matorrales ligeros en las bancas	0.035	0.050	0.060
	d. Cortes en roca			
	1. Lisos y uniformes	0.025	0.035	0.040
	2. Afilados e irregulares	0.035	0.040	0.050
	e. Canales sin mantenimiento, malezas y matorrales sin cortar			
	1. Malezas densas, tan altas como la profundidad de flujo	0.050	0.080	0.120
	2. Fondo limpio, matorrales en los lados	0.040	0.050	0.080
	3. Igual, nivel máximo de flujo	0.045	0.070	0.110
	4. Matorrales densos, nivel alto	0.080	0.100	0.140
	D. Corrientes naturales			
	D-1. Corrientes menores (ancho superficial en nivel creciente < 100 pies)			
	a. Corrientes en planicies			
	1. Limpias, rectas, máximo nivel, sin montículos ni pozos profundos	0.025	0.030	0.033
	2. Igual al anterior, pero con más piedras y malezas	0.030	0.035	0.040
	3. Limpio, serpenteante, algunos pozos y bancos de arena	0.033	0.040	0.045
	4. Igual al anterior, pero con algunos matorrales y piedras	0.035	0.045	0.050
	5. Igual al anterior, niveles bajos, pendientes y secciones más ineficientes	0.040	0.048	0.055
	6. Igual al 4, pero con más piedras	0.045	0.050	0.060
	7. Tramos lentos, con malezas y pozos profundos	0.050	0.070	0.080
	8. Tramos con muchas malezas, pozos profundos o canales de crecientes con muchos árboles con matorrales bajos	0.075	0.100	0.150

Fuente: Ven Te Chow, Hidráulica de Canales Abiertos. **Año** 2000

Tipo de canal y descripción	Mínimo	Normal	Máximo
b. Corrientes montañosas, sin vegetación en el canal, bancas usualmente empinadas, árboles y matorrales a lo largo de las bancas sumergidas en niveles altos			
1. Fondo: gravas, cantos rodados y algunas rocas	0.030	0.040	0.050
2. Fondo: cantos rodados con rocas grandes	0.040	0.050	0.070
D-2. Planicies de inundación			
a. Pastizales, sin matorrales			
1. Pasto corto	0.025	0.030	0.035
2. Pasto alto	0.030	0.035	0.050
b. Áreas cultivadas			
1. Sin cultivo	0.020	0.030	0.040
2. Cultivos en línea maduros	0.025	0.035	0.045
3. Campos de cultivo maduros	0.030	0.040	0.050
c. Matorrales			
1. Matorrales dispersos, mucha maleza	0.035	0.050	0.070
2. Pocos matorrales y árboles, en invierno	0.035	0.050	0.060
3. Pocos matorrales y árboles, en verano	0.040	0.060	0.080
4. Matorrales medios a densos, en invierno	0.045	0.070	0.110
5. Matorrales medios a densos, en verano	0.070	0.100	0.160
d. Árboles			
1. Sauces densos, rectos y en verano	0.110	0.150	0.200
2. Terreno limpio, con troncos sin retoños	0.030	0.040	0.050
3. Igual que el anterior, pero con una gran cantidad de retoños	0.050	0.060	0.080
4. Gran cantidad de árboles, algunos troncos caídos, con poco crecimiento de matorrales, nivel del agua por debajo de las ramas	0.080	0.100	0.120
5. Igual al anterior, pero con nivel de creciente por encima de las ramas	0.100	0.120	0.160
D-3. Corrientes mayores (ancho superficial en nivel de creciente > 100 pies). El valor de *n* es menor que el correspondiente a corrientes menores con descripción similar, debido a que las bancas ofrecen resistencia menos efectiva.			
a. Sección regular, sin cantos rodados ni matorrales	0.025	.....	0.060
b. Sección irregular y rugosa	0.035	.....	0.100

Fuente: Ven Te Chow, Hidráulica de Canales Abiertos. **Año** 2000

Fuente: Ven Te Chow, Hidráulica de Canales Abiertos. **Año** 2000

APÉNDICE J

CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DE LAS SECCIONES TRANSVERSALES TR=100 AÑOS

APÉNDICE K

CURVAS I-D-F

DATOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LAS CURVAS I-D-F

MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS
ESTACION: URAMA

AÑO 1967

	LLUVIAS EXTREMAS											
DURACION (hr)	**ENE**	**FEB**	**MAR**	**ABR**	**MAY**	**JUN**	**JUL**	**AGO**	**SEP**	**OCT**	**NOV**	**DIC**
1	6	6	11	13	19	10	14	21	15	8	15	9
3	10	8	11	14	20	10	19	22	23	8	21	11
6	10	8	12	22	20	10	23	22	25	8	27	17
9	10	9	15	26	22	11	23	22	25	8	27	20
12	10	9	17	30	22	11	23	23	25	8	27	20
24	10	9	17	35	22	11	28	29	36	8	29	28

MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS
ESTACION: URAMA
AÑO 1968

	LLUVIAS EXTREMAS											
DURACION (hr)	**ENE**	**FEB**	**MAR**	**ABR**	**MAY**	**JUN**	**JUL**	**AGO**	**SEP**	**OCT**	**NOV**	**DIC**
1	5.2	9.1	5.7	67.2	23.9	-	20.3	39.8	29.2	26.1	14.2	16.3
3	6.6	9.4	5.7	81.6	37.4	-	21.0	44.4	30.1	27.0	17.2	16.3
6	8.7	9.9	6.1	127.4	37.5	-	24.7	46.0	30.2	33.7	17.2	16.3
9	8.7	10.1	6.1	128.1	37.5	-	24.7	47.7	30.2	33.7	17.2	16.3
12	10.3	10.6	6.1	128.5	37.5	-	24.7	47.7	30.2	33.7	17.2	16.3
24	10.7	10.6	6.9	131.0	42.1	-	27.9	48.0	32.8	33.7	27.7	27.2

MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS
ESTACION: URAMA
AÑO 1969

	LLUVIAS EXTREMAS											
DURACION (hr)	**ENE**	**FEB**	**MAR**	**ABR**	**MAY**	**JUN**	**JUL**	**AGO**	**SEP**	**OCT**	**NOV**	**DIC**
1	45.6	66.3	37.2	-	11.2	18.3	27.4	21.2	4.6	35.9	37.0	64.1
3	101.5	92.4	39.6	-	11.2	26.2	33.3	21.2	4.7	60.5	40.0	88.6
6	125.7	99.2	39.7	-	13.5	26.3	34.9	21.2	4.7	61.5	40.3	89.9
9	140.3	100.8	39.7	-	13.5	26.3	34.9	21.2	7.2	61.5	44.3	89.9
12	146.5	101.5	40.1	-	13.5	26.3	34.9	23.8	7.2	61.5	56.8	89.9
24	148.4	102.9	40.3	-	13.5	27.4	34.9	28.0	7.2	61.5	66.3	93.5

MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS
ESTACION: URAMA
AÑO 1970

	LLUVIAS EXTREMAS											
DURACION (hr)	**ENE**	**FEB**	**MAR**	**ABR**	**MAY**	**JUN**	**JUL**	**AGO**	**SEP**	**OCT**	**NOV**	**DIC**
1	5.8	10.1	12.6	12.7	10.8	19.2	37.0	37.2	19.6	-	-	-
3	9.3	12.6	25.5	25.5	18.6	35.3	49.6	43.7	22.4	-	-	-
6	9.4	16.5	34.8	26.2	24.4	35.3	59.9	43.8	22.4	-	-	-
9	9.4	19.9	35.2	26.2	31.6	35.3	60.5	47.0	22.4	-	-	-
12	9.4	23.5	36.5	26.2	32.5	35.3	61.7	53.3	22.4	-	-	-
24	9.4	29.4	64.7	26.2	32.8	55.5	67.9	53.3	29.3	-	-	-

MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS
ESTACION: URAMA
AÑO 1971

	LLUVIAS EXTREMAS											
DURACION (hr)	**ENE**	**FEB**	**MAR**	**ABR**	**MAY**	**JUN**	**JUL**	**AGO**	**SEP**	**OCT**	**NOV**	**DIC**
1	18.6	2.1	4.8	47.2	66.8	9.5	37.0	57.6	-	52.7	15.4	18.8
3	32.0	2.1	5.8	51.0	72.9	15.7	46.9	81.7	-	55.7	28.5	19.7
6	35.6	2.1	6.3	59.0	72.9	15.7	47.3	96.1	-	56.7	34.4	19.7
9	35.6	2.1	7.0	59.7	72.9	15.7	47.3	96.1	-	56.6	36.5	19.7
12	35.6	2.1	7.3	60.2	72.9	15.7	47.3	96.1	-	56.6	38.1	19.7
24	35.6	3.7	7.3	61.3	72.9	17.2	48.6	98.6	-	56.6	41.1	20.7

MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS
ESTACION: URAMA
AÑO 1972

	LLUVIAS EXTREMAS											
DURACION (hr)	**ENE**	**FEB**	**MAR**	**ABR**	**MAY**	**JUN**	**JUL**	**AGO**	**SEP**	**OCT**	**NOV**	**DIC**
1	6.7	4.0	13.3	28.2	11.8	5.9	-	15.1	18.0	53.8	15.7	59.2
3	7.5	4.3	13.3	51.7	22.0	6.2	16.7	16.7	21.3	54.7	15.8	80.7
6	7.7	5.9	13.3	79.9	23.0	6.2	16.7	16.7	24.7	54.8	16.8	91.4
9	7.7	5.9	13.3	85.2	23.0	6.2	16.7	16.7	27.7	54.8	16.8	91.5
12	7.7	7.6	13.3	88.1	23.2	6.2	16.7	16.8	30.4	54.8	17.0	91.5
24	9.6	7.9	13.9	115.2	42.5	6.3	18.0	20.8	34.1	54.8	25.4	109.8

MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS
ESTACION: URAMA
AÑO 1973

	LLUVIAS EXTREMAS											
DURACION (hr)	**ENE**	**FEB**	**MAR**	**ABR**	**MAY**	**JUN**	**JUL**	**AGO**	**SEP**	**OCT**	**NOV**	**DIC**
1	54.6	5.8	6.0	22.1	19.3	19.2	12.2	42.8	57.1	52.7	23.5	99.0
3	96.5	6.1	10.0	30.0	35.7	23.0	12.5	49.1	59.3	54.1	38.2	112.1
6	110.0	6.1	10.4	32.6	51.8	23.0	14.5	49.1	59.6	54.9	38.4	112.9
9	110.0	6.1	10.4	32.7	52.1	23.0	15.0	49.1	59.6	54.9	39.9	116.4
12	110.0	6.1	10.4	36.9	52.1	23.0	15.0	49.1	59.6	54.9	57.4	116.5
24	125.4	6.1	19.8	66.8	52.4	24.8	15.0	56.9	60.7	56.4	75.7	116.8

MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS
ESTACION: URAMA
AÑO 1974

	LLUVIAS EXTREMAS											
DURACION (hr)	**ENE**	**FEB**	**MAR**	**ABR**	**MAY**	**JUN**	**JUL**	**AGO**	**SEP**	**OCT**	**NOV**	**DIC**
1	11.9	30.3	2.5	5.4	-	11.3	39.4	24.9	91.7	14.5	53.0	9.1
3	12.9	35.2	3.2	8.3	-	11.5	48.3	35.3	93.6	14.5	58.5	9.4
6	12.9	35.3	3.5	10.1	-	13.2	48.3	38.8	93.6	14.5	60.6	9.7
9	14.4	35.7	3.7	11.6	-	13.8	50.0	38.8	93.6	14.5	60.7	9.7
12	16.3	35.7	4.2	11.7	-	13.8	50.5	38.8	93.6	14.5	60.7	9.7
24	17.0	36.4	4.2	11.7	-	17.5	50.8	39.9	93.6	16.2	60.7	9.7

CONSTRUCCIÓN DE LAS CURVAS I-D-F

PRECIPITACION MAXIMA (mm) PARA DIFERENTES

DURACIONES
ESTACIÓN: URAMA ESTADO: CARABOBO

Año	1h	3h	6h	9h	12h	24h
1967	21	23	27	27	27	36
1968	67.2	81.6	127.4	128.1	128.5	131
1969	66.3	101.5	125.7	140.3	146.5	148.4
1970	37.2	49.6	59.9	60.5	61.7	87.9
1971	66.8	81.7	96.1	96.1	96.1	98.6
1972	59.2	80.7	91.4	91.5	91.5	109.8
1973	99	112.1	112.9	116.4	116.5	125.4
1974	91.7	93.6	93.6	93.6	93.6	93.6

Fuente: Ministerio de Obras Públicas

PRECIPITACION MAXIMA (mm) PARA DIFERENTES DURACIONES ORDENADAS DE MAYOR A MENOR
ESTACIÓN: URAMA ESTADO: CARABOBO

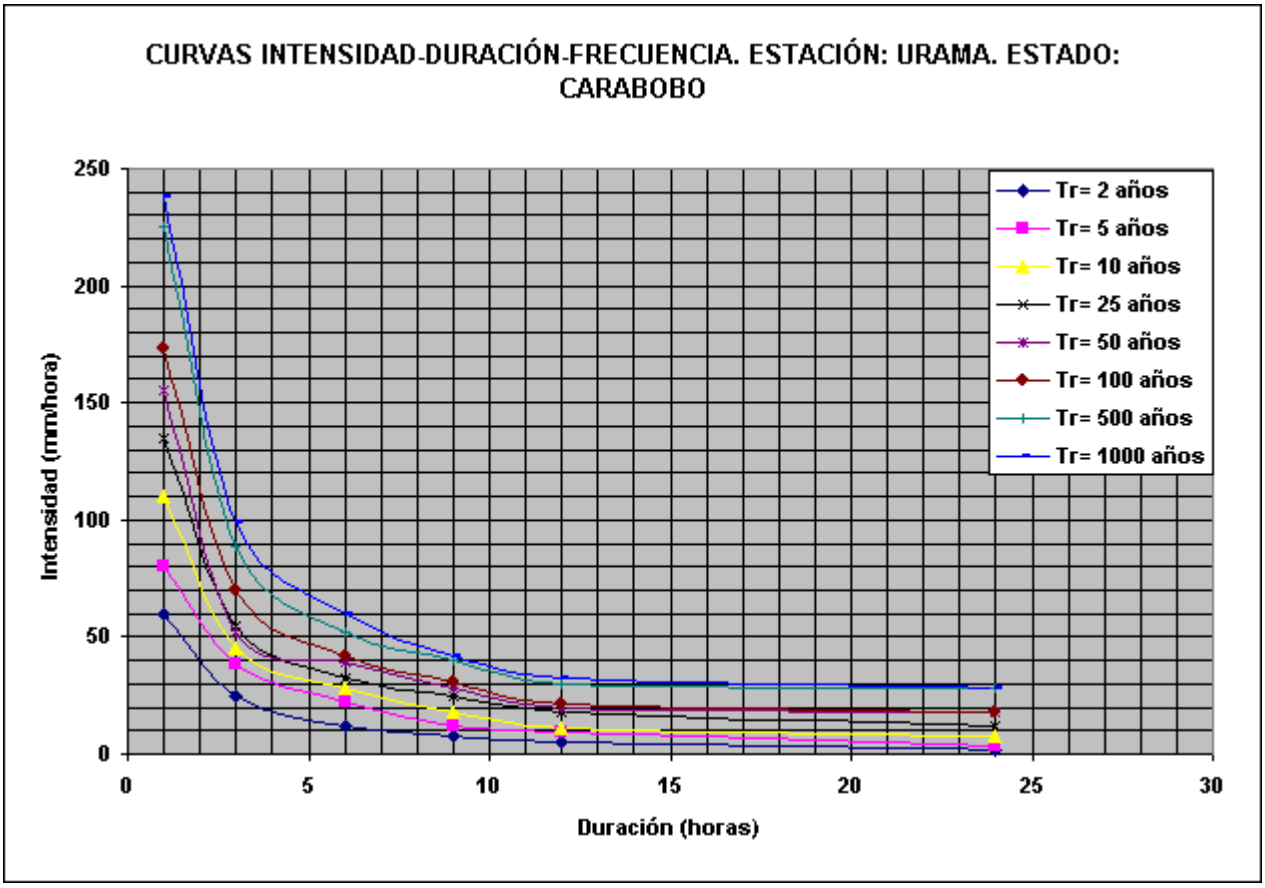
Nº de orden (m)	1h	3h	6h	9h	12h	24h	Tr (Años)
1	99	112.1	127.4	140.3	146.5	148.4	9.00
2	91.7	101.5	125.7	128.1	128.5	131	4.50
3	67.2	93.6	112.9	116.4	116.5	125.4	3.00
4	66.8	81.7	96.1	96.1	96.1	109.8	2.25
5	66.3	81.6	93.6	93.6	93.6	98.6	1.80
6	59.2	80.7	91.4	91.5	91.5	93.6	1.50
7	37.2	49.6	59.9	60.5	61.7	87.9	1.29
8	21	23	27	27	27	36	1.13

INTENSIDAD MAXIMA PARA DIFERENTES DURACIONES
ESTACIÓN: URAMA ESTADO: CARABOBO

Nº de orden (m)	1h	3h	6h	9h	12h	24h	Tr (Años)	P(X≤xi)%
1	99	37.37	21.23	15.59	12.21	6.18	9.00	88.89
2	91.7	33.83	20.95	14.23	10.71	5.46	4.50	77.78
3	67.2	31.20	18.82	12.93	9.71	5.23	3.00	66.67
4	66.8	27.23	16.02	10.68	8.01	4.58	2.25	55.56
5	66.3	27.20	15.60	10.40	7.80	4.11	1.80	44.44
6	59.2	26.90	15.23	10.17	7.63	3.90	1.50	33.33
7	37.2	16.53	9.98	6.72	5.14	3.66	1.29	22.22
8	21	7.67	4.50	3.00	2.25	1.50	1.13	11.11

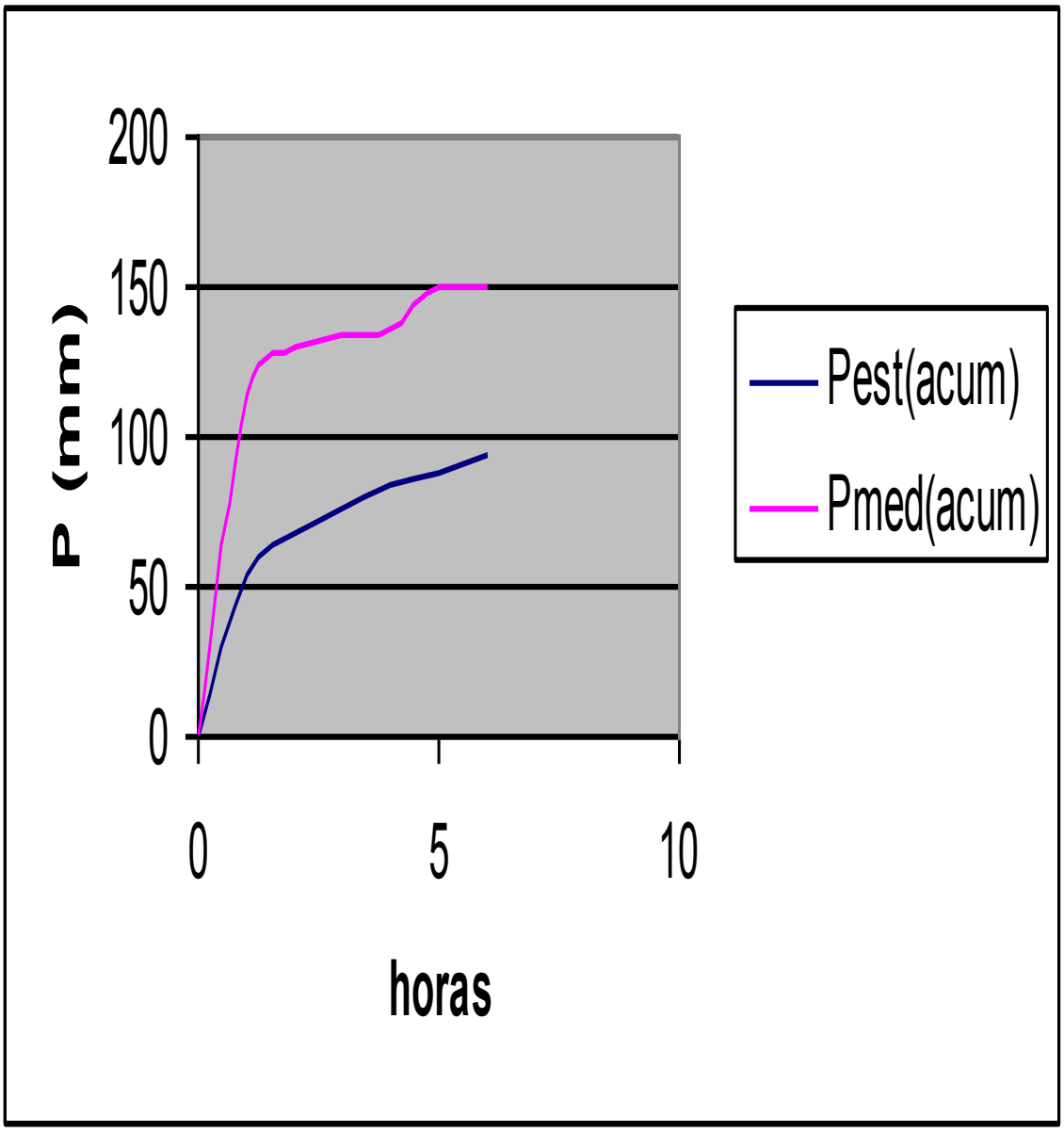
INTENSIDAD MAXIMA (mm/hora) PARA DIFERENTES DURACIONES Y PERIODOS DE RETORNO
ESTACIÓN: URAMA ESTADO: CARABOBO

	Tr, Años							
Duración (horas)	**2**	**5**	**10**	**25**	**50**	**100**	**500**	**1000**
1	60	80	110	135	155	173	225	238
3	25	38	45	55	52	70	89	99
6	12	22	28	32	39	42	52	60
9	8	12	18	25	28	31	40	42
12	5	9	11	18	20	21	30	32
24	2	3	8	12	18	18	28	28



Fuente: Elaboración propia

Curva de masa comparativa de la precipitación acumulada estimada y la precipitación acumulada medida para TR= 10 años



Fuente: Generación propia

APÉNDICE L

TABLAS DE ATRIBUTOS DE CARACTERÍSTICAS FISICAS Y PARÁMETROS HIDROLÓGICOS CON HEC-GEOHMS

APÉNDICE L1

TABLAS DE ATRIBUTOS DE RÍO

APÉNDICE L2

TABLAS DE ATRIBUTOS DEL TRIBUTARIO MÁS LARGO POR CADA SUBCUENCA

APÉNDICE L3

TABLAS DE ATRIBUTOS DE LAS SUBCUENCAS

APÉNDICE L4

TABLAS DE BÚSQUEDA DE CN I,

CNII Y CN III

APÉNDICE L5

TABLAS DE ATRIBUTOS DEL TIEMPO DE CONCENTRACIÓN

APÉNDICE L6

TABLAS DE ATRIBUTOS PARA EL METODO MODCLARK

APÉNDICE N

PLANOS GENERADOS CON HEC-GEOHMS

APÉNDICE N1

PLANO DE DELINEACIÓN DEL AREA DE PROYECTO

APÉNDICE N2

DELINEACIÓN DE SUBCUENCAS Y CORRIENTES EN LA ZONA DE ESTUDIO

APÉNDICE N3

PLANO DE UBICACIÓN DE CENTROIDES

Y LONGITUDES CENTROIDALES

APÉNDICE N4

PLANO GRID DEL NÚMERO DE CURVA

APÉNDICE O

CRECIENTES GENERADAS CON HEC-HMS

APÉNDICE O1

TABLAS Y GRÁFICOS PARA LAS CRECIENTES DE PERÍODO DE RETORNO 10 AÑOS; PARA DURACIONES DE TORMENTAS DE DISEÑO DE DURACIÓN DE 3 Y 6 HORAS

APÉNDICE O2

TABLAS Y GRÁFICOS PARA LAS CRECIENTES DE PERÍODO DE RETORNO 50 AÑOS; PARA DURACIONES DE TORMENTAS DE DISEÑO DE DURACIÓN DE 3 Y 6 HORAS

APÉNDICE O3

TABLAS Y GRÁFICOS PARA LAS CRECIENTES DE PERÍODO DE RETORNO 100 AÑOS; PARA DURACIONES DE TORMENTAS DE DISEÑO DE DURACIÓN DE 3 Y 6 HORAS

APÉNDICE P

RESULTADOS CON HEC-RAS

APÉNDICE P1

TABLAS DE PERFILES DE SUPERFICIE DEL AGUA PARA PERÍODO DE RETORNO DE 10, 50 Y 100 AÑOS PARA TORMENTAS DE DURACIÓN DE 3 HORAS

PLAN 02

APÉNDICE P2

PERFILES DE SUPERFICIE DEL AGUA PARA TR=10, 50 Y 100 AÑOS Y DURACIÓN DE 3 HORAS

APÉNDICE P3

SECCIONES TRANSVERSALES DEL RÍO URAMA INCLUYENDO LAS PROFUNDIDADES DEL AGUA PARA DISTINTO PERÍODO DE RETORNO

APÉNDICE Q

RESULTADOS CON HEC-GEORAS

APÉNDICE Q1

PLANO DE PROFUNDIDADES DE CRECIENTES PARA PERIODO DE RETORNO DE 10 AÑOS Y TORMENTA DE 3 HORAS

APÉNDICE Q2

PLANO DE PROFUNDIDADES DE CRECIENTES PARA PERIODO DE RETORNO DE 50 AÑOS Y TORMENTA DE 3 HORAS

APÉNDICE Q3

PLANO DE PROFUNDIDADES DE CRECIENTES PARA PERIODO DE RETORNO DE 100 AÑOS Y TORMENTA DE 3 HORAS

APÉNDICE Q4

PLANICIE INUNDABLE PARA TR=10 AÑOS

APÉNDICE Q5

PLANICIE INUNDABLE PARA TR= 50 AÑOS Y TORMENTA DE 3 HORAS

APÉNDICE Q6

PLANICIE INUNDABLE PARA TR=

100 AÑOS Y TORMENTA DE 3 HORAS

APÉNDICE Q7

SUPERPOSICIÓN DE LAS PLANICIES INUNDABLES PARA TR= 10, 50 Y 100 AÑOS Y DURACIÓN DE TORMENTA DE 3 HORAS

APÉNDICE Q8

SUPERPOSICIÓN DE LAS MANCHAS DE INUNDACIÓN PARA PERÍODOS DE RETORNO DE 10, 50 Y 100 AÑOS Y DURACIÓN DE TORMENTA DE 6 HORAS

APÉNDICE R

CARACTERÍSTICAS FISICAS DE LAS SUBCUENCAS (MÉTODO MANUAL)