



**UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA
AMBIENTAL**



**VALIDACION DE MODELOS DEL PROCESO LLUVIA-ESCORRENTIA EN LA
CUENCA DEL RIO CABRIALES**

**TRABAJO ESPECIAL DE GRADO PRESENTADO COMO REQUISITO PARA
OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL**

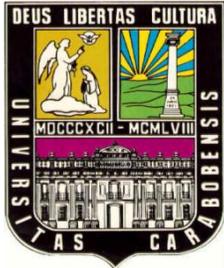
Elaborado por:

Quines Figueroa, Veronica Coromoto
Vega Maganiello, Ana Carolina

Tutor:

Ing. Andriana Marquez

Bárbula, mayo de 2015



**UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA
AMBIENTAL**



**VALIDACION DE MODELOS DEL PROCESO LLUVIA-ESCORRENTIA EN LA
CUENCA DEL RIO CABRIALES**

Elaborado por:

Quines Figueroa, Veronica Coromoto
Vega Maganiello, Ana Carolina

Tutor:

Ing. Andriana Marquez

Bárbula, mayo de 2015.



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA
AMBIENTAL



CERTIFICADO DE APROBACIÓN

Los abajo firmantes miembros del jurado asignado para evaluar el trabajo especial de grado titulado: **VALIDACION DE MODELOS DEL PROCESO LLUVIA-ESCORRENTIA EN LA CUENCA DEL RIO CABRIALES**, realizado por los Bachilleres: **Quines F. Veronica C. C.I. 21.585.050** y **Vega M. Ana C. C.I. 21.653.729**, hacemos constar que hemos revisado y aprobado dicho trabajo.


Prof. JURADO
C.I. #4194687


Prof. Adriana Márquez
Presidente del Jurado
C.I. 1260897


Prof. JURADO
C.I. 13109123



MAYO, 2015



**UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA
AMBIENTAL**



“VALIDACION DE MODELOS DEL PROCESO LLUVIA-ESCORRENTIA EN LA CUENCA DEL RIO CABRIALES”

Autores:
Ana C. Vega M.
Verónica C. Quienes F.
Tutor: Ing. Adriana Marquez.
Fecha: mayo 2015

RESUMEN

La validación de los modelos del proceso de lluvia–escorrentía se fundamenta en el estudio de los parámetros característicos de una cuenca, para fijar un rango específicos de los mismo y mediante estos estimar crecidas periódicas con el fin de prevenir de esta manera a los habitantes de una determinada comunidad. En este trabajo se desarrolla la metodología adecuada para validar modelos de lluvia-escorrentía de la cuenca del Rio Cabriales, con el objeto de obtener caudales simulados y compararlos con los datos observados, ya que en el ámbito de la ingeniería hidráulica, existen en algunos casos fenómenos naturales difíciles de analizar con un modelo matemático. Los modelos utilizados fueron el hidrograma unitario de Clark, el hidrograma unitario de SCS y el hidrograma unitario de Snyder. Los softwares utilizados: fueron ARCGIS 10.0, HEC-GEOHMS 1.0 y HEC-HMS 3.5. Para la fase de calibración los hidrogramas unitarios de Clark y Snyder presentaron mejor adaptación a los hidrogramas de salida de la cuenca de estudio. En el caso de la validación el error fue menor en el hidrograma unitario SCS.

Palabras Clave: Parámetros hidrológicos, modelos, calibración, validar.

DEDICATORIA

Dedicada de manera especial a mis padres Nancy Figueroa, Ventura Quines, quienes fueron el principal cimiento para la construcción de mi vida profesional.

A Dios Todopoderoso, que a pesar de los momentos difíciles nunca me abandono.

A mi abuela Lucila de Figueroa que aunque no se encuentre con nosotros se que siempre esta acompañándome y guiándome en el camino correcto.

A mi Tía Teresa Herrera por ser mi segunda madre, la cual me ha ayudado guiado, aconsejado y me brinda su cariño incondicionalmente

A todos mis familiares y amigos que me apoyaron y siempre estuvieron conmigo de una manera u otra.

Verónica C. Quienes F.

DEDICATORIA

Principalmente quiero agradecer a Dios todopoderoso, por darme la fortaleza en todo momento en seguir adelante en cada paso que di durante esta etapa de mi vida y por nunca abandonarme.

A mis papas Lisbeth Manganiello y Cristobal Vega les dedico mi carrera, por toda la paciencia, todo el ánimo y todos los consejos. Por siempre creer en mí, por esa insistencia de para seguir adelante, sin ustedes no sería lo que soy hoy. Gracias por formarme como profesional y sobretodo por hacerme una mujer de bien.

A mis hermanos Cristian Vega y Maria Vega, por ser la razón de mis alegrías en los momentos más difíciles.

A mis amigos por ser un apoyo en todo momento y sobretodo a Verónica, por tenerme tanta paciencia y tanto cariño, por ser una excelente persona en esta etapa cuando más lo necesite, eres como una hermana y más.

Ana C. Vega M.

AGRADECIMIENTO

Agradecemos a Dios por habernos guiado y acompañado en cada momento

A nuestros padres por ser nuestro pilar, fortaleza y no dejar de darnos apoyo en los momentos más difíciles.

Al señor Pedro Martínez por ser nuestra mano derecha y ayudarnos en tantas ocasiones al momento de hacer nuestras mediciones.

A nuestra tutora Adriana Márquez por brindarnos su ayuda, conocimiento y darnos la posibilidad de trabajar en el CIHAM-UC.

A la profesora Marielvy Jiménez por todo el apoyo, herramientas, conocimiento y consejos brindados.

A la Universidad de Carabobo, por permitirnos la oportunidad de adquirir los conocimientos durante todos estos años en nuestro desarrollo como profesionales.

A Tecnum electrónica, ya que nos proporcionaron los equipos de precipitación ubicados en el CIHAM-UC y en el parque Fernando Peñalver y con ello lograr nuestros objetivos de la tesis.

A la dirección del parque Fernando Peñalver y al Ingeniero encargado Miguel Flores por dejarnos trabajar en sus instalaciones.

Autores.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	iii
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTO	vi
INDICE DE FIGURA	ix
INDICE DE TABLAS	xvii
INTRODUCCIÓN	18
CAPITULO I	20
EL PROBLEMA	20
<i>Planteamiento del problema</i>	20
<i>Formulación del Problema</i>	21
<i>Objetivos de la investigación</i>	22
<i>Objetivo General</i>	22
<i>Objetivos específicos</i>	22
<i>Justificación</i>	23
<i>Alcances y Limitaciones</i>	24
CAPITULO II	25
MARCO TEORICO	25
<i>Antecedentes de la investigación</i>	25
<i>Bases Teóricas</i>	27
<i>Modelo del Hidrograma Unitario de Snyder (Snyder's Unit Hydrograph Model).</i>	27

Modelo del Hidrograma Unitario del Sistema de Conservación del Suelo (SCS Unit Hydrograph Model).	28
Modelo del Hidrograma Unitario de Clark (Clark's Unit Hydrograph Model).	28
CAPITULO III	30
MARCO METODOLÓGICO	30
Tipo de Investigación	30
Diseño de la Investigación	31
Población y Muestra	32
Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos	33
Descripción de la Metodología	34
Fase Diagnóstico:	34
Fase de Recolección de Datos	35
Fase de procesamiento de datos	65
CAPITULO IV	150
ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	150
Análisis de resultado	150
Discusión de Resultados	174
CONCLUSIONES	177
RECOMENDACIONES	179
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	181
ANEXO A:	182
ANEXO B:	184
ANEXO C:	186
ANEXO D:	188

INDICE DE FIGURA

	Pág.
<i>Figura 1. Mapa de Ubicación de la cuenca del Rio Cabriales.....</i>	35
<i>Figura 2. Orden de las cartas topográficas que forman la cuenca.....</i>	37
<i>Figura 3. Entorno de la Página Web.....</i>	38
<i>Figura 4. Referencia puntual de Naguanagua.....</i>	38
<i>Figura 5. Data Set.....</i>	39
<i>Figura 6. Selección del apartado de Landsat.....</i>	40
<i>Figura 7. Imágenes satelitales.....</i>	40
<i>Figura 8: Previsualización de la imagen satelital.....</i>	41
<i>Figura 9. Descarga de la imagen satelital.....</i>	41
<i>Figura 10. Bandas que conforman la imagen satelital.....</i>	42
<i>Figura 11. Ventana de Layer Stacking Parameters.....</i>	43
<i>Figura 12. Ventana de Layer Stacking Input File.....</i>	44
<i>Figura 13. Bandas importadas en el orden correcto.....</i>	44
<i>Figura 14. Ruta y nombre de la imagen.....</i>	45
<i>Figura 15. Imagen a importar al ERDAS IMAGINE.....</i>	46
<i>Figura 16. De ERDAS IMAGINE 2014.....</i>	47
<i>Figura 17. Signature Editor.....</i>	47
<i>Figura 18. Herramientas de edición.....</i>	48
<i>Figura 19. Visualización de la imagen satelital.....</i>	48
<i>Figura 20. Polígono de muestra de color.....</i>	49
<i>Figura 21. Nuevo campo de muestra de color.....</i>	50

<i>Figura 22. Opción de Merge Selected Signatures</i>	<i>51</i>
<i>Figura 23: Nuevo Campo de Agua.....</i>	<i>51</i>
<i>Figura 24. Procedimiento para observar la clasificación de la imagen</i>	<i>52</i>
<i>Figura 25. Imagen previa de la clasificación.</i>	<i>52</i>
<i>Figura 26. Supervised Classification.....</i>	<i>53</i>
<i>Figura 27. Output de la imagen generada.....</i>	<i>53</i>
<i>Figura 28. Imagen Clasificada</i>	<i>54</i>
<i>Figura 29. Sección del rio.</i>	<i>55</i>
<i>Figura 30. Grúa Armada.</i>	<i>57</i>
<i>Figura 31. Hélice del Correntimetro y Tiburon.</i>	<i>58</i>
<i>Figura 32. Vista del Rio Cabriales.....</i>	<i>58</i>
<i>Figura 33. Toma de mediciones.....</i>	<i>59</i>
<i>Figura 34. Caratula del Formato de Aforo.....</i>	<i>60</i>
<i>Figura 35. Cierra del Formato de Aforo.....</i>	<i>62</i>
<i>Figura 36. Nivel Compensado en el Formato de Aforo</i>	<i>64</i>
<i>Figura 37. Conexión Disco C.</i>	<i>67</i>
<i>Figura 38. Ubicación Disco C.....</i>	<i>67</i>
<i>Figura 39. Creación de una Nueva Carpeta.....</i>	<i>68</i>
<i>Figura 40. Archivo_TesisCabriales.</i>	<i>69</i>
<i>Figura 41. Ubicacion de Cartas Topograficas.</i>	<i>70</i>
<i>Figura 42. Carta Visualizada en el Editor.....</i>	<i>70</i>
<i>Figura 43. Carta Editada.....</i>	<i>71</i>
<i>Figura 44. Busqueda Imagen Tiff.....</i>	<i>72</i>
<i>Figura 45. Agregar imagen Tiff.</i>	<i>72</i>
<i>Figura 46. Creación de pirámides.</i>	<i>73</i>
<i>Figura 47. Referencia espacial desconocida.</i>	<i>73</i>
<i>Figura 48. Barra de Herramientas.....</i>	<i>74</i>
<i>Figura 49. Comando Add Control Point.</i>	<i>74</i>
<i>Figura 50. Comando Input X and Y.....</i>	<i>75</i>

<i>Figura 51. Ingreso de Coordenadas.</i>	75
<i>Figura 52. Zoom To Layer.</i>	76
<i>Figura 53. Verificación de RMS.</i>	77
<i>Figura 54. Validación de los puntos de control.</i>	77
<i>Figura 55. Propiedades del archivo donde se está trabajando.</i>	78
<i>Figura 56. Edición.</i>	78
<i>Figura 57. Propiedades del Sistema Espacial de Referencias.</i>	79
<i>Figura 58. Selección del Sistema de Coordenadas.</i>	80
<i>Figura 59. Carpeta Sistema de Coordenadas Proyectadas.</i>	80
<i>Figura 60. Carpeta UTM.</i>	81
<i>Figura 61. Selección del UTM South America</i>	81
<i>Figura 62. Selección de la zona 19S</i>	82
<i>Figura 63. Creación de Shapefile.</i>	83
<i>Figura 64. Continuación del Shapefile.</i>	83
<i>Figura 65. Creación de Archivo de digitalización.</i>	84
<i>Figura 66. Se Añaden las Cartas.</i>	85
<i>Figura 67. Se Añade el Shapefile.</i>	85
<i>Figura 68. Edición</i>	86
<i>Figura 69. Ventana del Comando.</i>	87
<i>Figura 70. Trazado de la Primera curva.</i>	87
<i>Figura 71. Edición de Vertice.</i>	88
<i>Figura 72. Resultado Final.</i>	88
<i>Figura 73. Tabla de Vertices.</i>	89
<i>Figura 74. Valores de Z.</i>	89
<i>Figura 75. Selección de extensiones.</i>	90
<i>Figura 76. Barras de Herramientas de las Extensiones.</i>	91
<i>Figura 77. Activación de las Extensiones.</i>	91
<i>Figura 78. Activación de Checklist.</i>	92
<i>Figura 79. Proyecto digitalizado.</i>	92

<i>Figura 80. Interpolación de curvas de nivel.....</i>	<i>93</i>
<i>Figura 81. Ventana de Topo to Raster.....</i>	<i>94</i>
<i>Figura 82. Raster generado.....</i>	<i>94</i>
<i>Figura 83. Herramienta de Fill Sinks.....</i>	<i>95</i>
<i>Figura 84. Ventana de Fill Sinks.....</i>	<i>95</i>
<i>Figura 85. Grid de Fill.....</i>	<i>96</i>
<i>Figura 86. Ruta del Raster to Tin.....</i>	<i>97</i>
<i>Figura 87. Ventana de Raster to Tin.....</i>	<i>97</i>
<i>Figura 88. Tin generado.....</i>	<i>98</i>
<i>Figura 89. Herramienta del Tin to Raster.....</i>	<i>99</i>
<i>Figura 90. Ventana del Tin to Raster.....</i>	<i>99</i>
<i>Figura 91. Modelo de elevaciones digital.....</i>	<i>100</i>
<i>Figura 92. Herramienta Fill Sinks.....</i>	<i>101</i>
<i>Figura 93. Ventana de Fill Sinks.....</i>	<i>101</i>
<i>Figura 94. Resultado del segundo fil.....</i>	<i>102</i>
<i>Figura 95. Herramienta Flow Direction.....</i>	<i>103</i>
<i>Figura 96. Resultado de Flow Direction.....</i>	<i>103</i>
<i>Figura 97. Herramienta Flow Accumulation.....</i>	<i>104</i>
<i>Figura 98. Resultado de Flow Accumulation.....</i>	<i>104</i>
<i>Figura 99. Herramienta Stream Definition.....</i>	<i>105</i>
<i>Figura 100. Resultado de Stream Definition.....</i>	<i>105</i>
<i>Figura 101. Herramienta Stream Segmentation.....</i>	<i>106</i>
<i>Figura 102. Resultado de Stream Segmentation.....</i>	<i>106</i>
<i>Figura 103. Herramienta Catchment Grid Delineation.....</i>	<i>107</i>
<i>Figura 104. Resultado de Catchment Grid Delineation.....</i>	<i>107</i>
<i>Figura 105. Herramienta Catchment Polygon Processing.....</i>	<i>108</i>
<i>Figura 106. Resultado de Catchment Polygon Processing.....</i>	<i>108</i>
<i>Figura 107. Herramienta Drainage Line Processing.....</i>	<i>109</i>
<i>Figura 108. Resultado de Drainage Line Processing.....</i>	<i>110</i>

<i>Figura 109. Herramienta Adjoint Catchment Processing</i>	110
<i>Figura 110. Resultado de Adjoint Catchment Processing</i>	111
<i>Figura 111. Herramienta Slope</i>	111
<i>Figura 112. Resultado de Slope</i>	112
<i>Figura 113. Herramienta Data Management</i>	112
<i>Figura 114. Ventana de Start New Project</i>	113
<i>Figura 115. Ventana Define a New Project</i>	113
<i>Figura 116. Proyecto generado con éxito</i>	114
<i>Figura 117. R punto del proyecto</i>	114
<i>Figura 118. Punto ubicado en la salida de la cuenca</i>	114
<i>Figura 119. Generate Project</i>	115
<i>Figura 120. River Lenght</i>	116
<i>Figura 121. River Slope</i>	116
<i>Figura 122. Capa del WhsSlope</i>	117
<i>Figura 123. Verificación del Slope Grid</i>	117
<i>Figura 124. Ventana del Basin Slope</i>	118
<i>Figura 125. Longest Flow Path</i>	118
<i>Figura 126. Resultado del Longest Flowpath</i>	119
<i>Figura 127. Basin Centroid</i>	119
<i>Figura 128. Resultado del Basin Centroid</i>	120
<i>Figura 129. Centroid Elevation</i>	120
<i>Figura 130. Centroidal Longest Flowpath</i>	121
<i>Figura 131. Select HMS Processes</i>	122
<i>Figura 132. River Auto Name</i>	123
<i>Figura 133. Basin Auto Name</i>	123
<i>Figura 134. Grid Cell Processingy</i>	124
<i>Figura 135. Resultado del Grid Cell Processing</i>	124
<i>Figura 136. Agregado las capas de vegetación y suelo</i>	125
<i>Figura 137. Visualización de las capas para la obtención del CN</i>	126

<i>Figura 138. Herramienta Intersect para vegetación.</i>	126
<i>Figura 139. Herramienta Intersect para suelo.</i>	127
<i>Figura 140. Tabla de atributos de la capa de vegetación de la cuenca del Rio Cabriales.</i>	127
<i>Figura 141. Tabla de atributos de la capa de vegetación de la cuenca del Rio Cabriales.</i>	128
<i>Figura 142. Subdivision de los polígonos del uso de la tierra.</i>	128
<i>Figura 143. Tabla de atributos de la subdivisión de los polígonos de tierra....</i>	129
<i>Figura 144. Herramienta Union.</i>	129
<i>Figura 145. Tabla de atributos de la unión.</i>	130
<i>Figura 146. Creación de una tabla.</i>	131
<i>Figura 147. Ventana de tabla.</i>	131
<i>Figura 148. Tabla generada para el estimar el numero de curva.</i>	132
<i>Figura 149. Herramienta Generate CN Grid.</i>	132
<i>Figura 150. Resultado del CN Grid.</i>	133
<i>Figura 151. Herramienta Subbasin Parameters from Raster.</i>	134
<i>Figura 152. Herramienta CN Lag.</i>	134
<i>Figura 153. Conversión de Unidades de Mapa en HMS.</i>	135
<i>Figura 154. Chequeo de la Data.</i>	136
<i>Figura 155. Procedimiento para elaborar el esquema de la cuenca HEC-HMS.</i>	136
<i>Figura 156. HMS legend.</i>	137
<i>Figura 157. Resultado de la red hídrica.</i>	137
<i>Figura 158. Procedimiento para agregar coordenadas.</i>	138
<i>Figura 159. Prepare for Model Export Editor.</i>	138
<i>Figura 160. Backgroud Maps Shape File.</i>	139
<i>Figura 161. Basin Model File.</i>	139
<i>Figura 162. Met Model file.</i>	140
<i>Figura 163. Creación exitosa del Met Model file.</i>	140

<i>Figura 164. New Project en HEC-HMS.....</i>	<i>141</i>
<i>Figura 165. Importación del Basin model.....</i>	<i>141</i>
<i>Figura 166. Ventana de Background Maps.....</i>	<i>142</i>
<i>Figura 167. Manual Time Entry y Time Series Data Entry.....</i>	<i>143</i>
<i>Figura 168. Datos ingresados en HEC-DSSVue.....</i>	<i>144</i>
<i>Figura 169. Creación de los Time-Series Data de precipitación y caudal.....</i>	<i>144</i>
<i>Figura 170. Herramienta Meteorologic Model Manager.....</i>	<i>146</i>
<i>Figura 171. Distribución de los pluviómetros dentro de la cuenca.....</i>	<i>146</i>
<i>Figura 172. Corrida de la simulación.....</i>	<i>149</i>
<i>Figura 173. Curva de Gastos de la cuenca del rio Cabriales.....</i>	<i>151</i>
<i>Figura 174. Variación de niveles con respecto al tiempo de estudio.....</i>	<i>153</i>
<i>Figura 175. Ubicación de las Estaciones hidrometeorologicas.....</i>	<i>154</i>
<i>Figura 176. Hidrograma del periodo de estudio.....</i>	<i>156</i>
<i>Figura 177. Hietograma del periodo de estudio estación ubicada en el Parque Fernando Peñalver.....</i>	<i>157</i>
<i>Figura 178. Hietograma del periodo de estudio estación ubicada en el Parque Fernando Peñalver.....</i>	<i>157</i>
<i>Figura 179. Hietograma de lluvia registrado en el CIHAM-UC fecha 12 de Octubre del 2014.....</i>	<i>158</i>
<i>Figura 180. Hietograma de lluvia registrado en el Parque Fernando Peñalver fecha 12 de Octubre del 2014.....</i>	<i>159</i>
<i>Figura 181. Hidrograma en el Parque Fernando Peñalver fecha 12 de Octubre del 2014.....</i>	<i>160</i>
<i>Figura 182. Hietograma de lluvia registrado en el CIHAM-UC fecha 13 de Octubre del 2014.....</i>	<i>161</i>
<i>Figura 183. Hietograma de lluvia registrado en el Parque Fernando Peñalver fecha 13 de Octubre del 2014.....</i>	<i>162</i>
<i>Figura 184. Hidrograma en el Parque Fernando Peñalver fecha 13 de Octubre del 2014.....</i>	<i>163</i>

<i>Figura 185. Hidrogramas observado y estimado luego de la calibració.....</i>	<i>165</i>
<i>Figura 186. Resultados obtenidos por el método SCS Unit Hydrograph.</i>	<i>166</i>
<i>Figura 187. Resultados tabulados obtenidos por el método SCS Unit Hydrograph.....</i>	<i>167</i>
<i>Figura 188. Hidrograma observado y estimado luego de la calibración del modelo.....</i>	<i>168</i>
<i>Figura 189. Resultados obtenidos por el método Snyder Unit Hydrograph. ...</i>	<i>169</i>
<i>Figura 190. Resultados tabulados obtenidos por el método Snyder Unit Hydrograph.....</i>	<i>169</i>
<i>Figura 191. Hidrograma observado y estimado luego de la calibración del modelo.....</i>	<i>170</i>
<i>Figura 192. Resultados obtenidos por el método Clark Unit Hydrograph.</i>	<i>171</i>
<i>Figura 193. Resultados tabulados obtenidos por el método Clark Unit Hydrograph.....</i>	<i>172</i>
<i>Figura 194. Resultados obtenidos por el método SCS Unit Hydrograph, con los mismos parámetros calibrados anteriormente.....</i>	<i>173</i>
<i>Figura 195. Resultados obtenidos por el método Snyder Unit Hydrograph, con los mismos parámetros calibrados anteriormente.....</i>	<i>173</i>
<i>Figura 196. Resultados obtenidos por el método Clark Unit Hydrograph, con los mismos parámetros calibrados anteriormente.....</i>	<i>174</i>

INDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1. Recolección de datos.....</i>	<i>36</i>
<i>Tabla 2. Niveles compensados correspondientes a los caudales medidos, en el puente “A” del Parque Fernando Peñalver.....</i>	<i>151</i>
<i>Tabla 3. Parametros obtenidos de la Cuenca del Rio Cabriales.....</i>	<i>164</i>
<i>Tabla 4. Cuencas correspondientes a la nomenclatura del HEC-HMS.....</i>	<i>165</i>
<i>Tabla 5. Parámetros obtenidos de la Cuenca del Rio Cabriales.....</i>	<i>175</i>

INTRODUCCIÓN

En el marco de la hidrología aplicada se hace esencial predecir ciertas variables físicas y/o parámetros; lo cual mediante un estudio del proceso de lluvia-escorrentía se puede lograr este objetivo. Para ello se requiere validar los modelos del proceso lluvia-escorrentía de una cuenca, en el caso de estudio la Cuenca del Río Cabriales, con el fin de establecer parámetros propios de la cuenca. En un escenario ideal donde se puedan establecer unos parámetros fijos, se pueden predecir en el estudio y análisis de las cuencas hidrográficas, como por ejemplo, el escurrimiento, evotranspiración, infiltración, etc. en un determinado tiempo y en un punto.

Conociendo datos de lluvia, caudal y terreno de la cuenca se hace posible la aplicación de los modelos: Hidrograma Unitario SCS, Hidrograma Unitario de Snyder y Hidrograma Unitario de Clark, con el fin de calibrar, modelar y validar los procesos de lluvia-escorrentía. Para los datos de lluvia se dispuso de los pluviómetros instalados por Tecnum Electrónica, en el Centro de Investigaciones Hidrológicas Ambientales (CIHAM-UC) en la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Carabobo y otro en la Dirección General del Parque Fernando Peñalver; estos equipos de alta tecnología poseen una facilidad de acceso a su información mediante la página web Tecnum Electronica, donde se especifica la estación, el parámetro a disponer de la información y las fechas comprendidas donde se desea obtener la data.

Para los datos de caudal se hizo un estudio de los niveles de un aforo de la Cuenca del Río Cabriales. Para la obtención de los datos del mismo también se tuvo la intervención de Tecnum Electronica donde instalo un sensor de niveles en el Puente A del Parque Negra Hipolita, el cual toma datos de nivel del río cada cinco minutos. En Venezuela solo tres cuencas cuentan con esta

innovadora tecnología. Y se tiene el mismo criterio de los datos de lluvia para disponer de los datos de nivel. La presente investigación hace uso de las herramientas ArcGIS 10.0 y HEC-HMS 3.5 como metodología para lograr el objetivo propuesto en la Cuenca del Rio Cabriales .En el estudio se analiza la formulación matemática de los modelos que se aplican en el HEC-HMS, explicadas en su manual técnico de referencia.

La presente investigación abre el camino para la determinación de parámetros del proceso de lluvia-escorrentía a partir de datos observados mediante el uso de equipos de innovadora tecnología y fácil acceso de data, cabe resaltar que el uso de herramientas, como el sensor de niveles, solo se dispone en tres cuencas de nuestro país, el cual su instalación más reciente fue en la Cuenca del Rio Cabriales. Se han realizado estudios con el mismo fin de simular los procesos de lluvia-escorrentía de la cuenca, los cuales fueron comparados con el presente estudio; tomando en cuenta que estos no disponen de una data que cuenten con la misma precisión como la de este estudio.

CAPITULO I

EL PROBLEMA

Planteamiento del problema

En la Declaración anual de la Organización Meteorológica Mundial (OMM – WMO) sobre el estado del clima mundial manifestó en el 2013 las drásticas repercusiones que tienen las sequías, las olas de calor, las inundaciones y los ciclones en las personas y los bienes de todo el mundo. La cual concluye que una mejora en la predicción de caudales requiere investigación en materia de modelización meteorológica e hidrológica. En las grandes cuencas representa una integración del conocimiento de modelización meteorológica e hidrológica en el espacio y el tiempo con el comportamiento físico integrado, junto con análisis de serie temporales. Para ello adiciona la recomendación de actualizar los procedimientos, usar datos de nivel de agua y caudal de corriente para mejorar las condiciones iniciales para las predicciones del modelo.

En Venezuela hemos sido protagonistas de catástrofes naturales como el deslave de Vargas producto de corrimientos de tierras e inundaciones ocurridas en las costas caribeñas del país en el diciembre del año 1999, las perdidas van desde 700 a 30000 muertos y desaparecidos dependiendo de la fuente. Otro hecho de deslave producto de las fuertes precipitaciones prolongadas por un periodo de 6 horas en la cuenca del río El Limón en el estado Aragua, significaron unos 180 milímetros de agua, lo que equivale a las lluvias de aproximadamente de dos meses normales. Según el reporte de aquella época

fueron más de 8 kilómetros de carretera destruida y más de 100 personas fallecidas.

En la última década la Cuenca del Rio Cabriales ha acontecido un sin número de crecidas producto de las precipitaciones registradas en la cabecera de la Cordillera de la Costa, las cuales ocasionan un aumento del nivel de las aguas. Como por ejemplo el evento del 13 de agosto del 2011 donde las fuertes precipitaciones observadas dejaron como resultado 1.710 personas afectadas y 344 viviendas anegadas en 15 sectores de los municipios Naguanagua y Valencia.

El estudio de Valencia (2011) realiza un mapa de inundación de la cuenca donde se concluye en el estudio lo siguiente: que el mapa de amenaza generado en la investigación es una representación importante y útil de la peligrosidad por inundación en ese sector del río. Por las razones expuestas se establecen los motivos de base para realizar estudios en Venezuela, caso de estudio la Cuenca del Rio Cabriales, de los procesos lluvia-escorrentía con el fin de establecer parámetros propios de la cuenca.

Formulación del Problema

¿En qué grado podrán ser validados los procesos de lluvia-escorrentía del Rio Cabriales?

Objetivos de la investigación

Objetivo General

Validar modelos del proceso lluvia-escorrentía en la cuenca del río Cabriales

Objetivos específicos

1. Caracterizar la variación de los niveles y la escorrentía mediante una curva de gastos del río Cabriales.
2. Describir las características del proceso lluvia-escorrentía mediante obtención de datos de las red de estaciones de monitoreo hidrometeorológicas de la cuenca del rio Cabriales.
3. Calibrar modelos del proceso lluvia-escorrentía adaptados a la cuenca del rio Cabriales.
4. Comparar modelos del proceso lluvia-escorrentía adaptados a la cuenca del rio Cabriales.
5. Validar modelos del proceso lluvia-escorrentía adaptados a la cuenca del rio Cabriales.

Justificación

La calibración de parámetros de los modelos de hidrograma unitario permite ajustar valores de acuerdo a la cuenca de estudio. Estos se presentan como una herramienta útil que permitirá definir un comportamiento del proceso lluvia-escorrentía.

Los modelos aplicados en el presente trabajo, mediante el software HEC-HMS v3.5, son: Hidrograma Unitario SCS, que se rige por el tiempo de retardo de la cuenca, definido como el tiempo transcurrido desde el centro de gravedad del histograma hasta la punta del hidrograma; segundo el Hidrograma Unitario de Snyder, que también trabaja con el tiempo de retardo a partir de unos coeficientes pico propios de la cuenca y por último el Hidrograma Unitario de Clark, que depende del tiempo de concentración definido como, el tiempo que tarda la gota desde el momento en que cae aguas arriba hasta el punto de salida de la cuenca y un coeficiente de almacenamiento definido como, el índice de almacenamiento temporal de exceso de precipitación en la cuenca. A nivel de investigación para la Universidad de Carabobo se está dando un aporte de conocimientos sobre metodología y aplicaciones para predecir comportamientos propios de una cuenca en particular como es el caso de la Cuenca del Rio Cabriales. En el área de ingeniería civil servirá como modelos metodológicos y generara conocimiento y experiencia en ese campo de investigación de alta pertinencia académica.

En el aspecto social aporta estudios mediante los cuales se pueden generar planes de contingencia antes las amenazas de inundaciones y a nivel de planificación urbana, así se puede evitar el desarrollo social en las áreas que presenten mayor riesgo. Ya que al calibrar parámetros de la cuenca se pueden

hacer estimaciones de picos de crecidas para estar alerta a cualquier eventualidad.

Alcances y Limitaciones

La presente investigación se enfoca en el procesamiento de parámetros para la modelación lluvia-escorrentía y la obtención de una curva de gasto de la cuenca del Río Cabriales y será útil para futuras generaciones que se quieran incursionar en los modelos de calibración o en el tema.

Las limitaciones que se presentan o que infieren directamente sobre la investigación a realizar están sujetas a las siguientes condiciones. La falta de personal técnico especializado para la toma de medidas de caudal. La cantidad de información disponible de precipitación y niveles en el plazo que se dispone para la realización del presente estudio ya las condiciones climáticas del periodo de estudio, ya que si en este periodo no se presenta una variación notable o una densidad de información significativa no se puede obtener un modelo ideal.

CAPITULO II

MARCO TEORICO

Antecedentes de la investigación

Carvajal, Roldán (2007) Realizó una investigación titulada “Calibración del modelo lluvia-escorrentia agregado GR4J aplicación Cuenca del Rio Aburra”. En la cual mediante un modelo GR4J se calibraron y optimizaron 4 parámetros los cuales se comprobaron comparando caudales simulados con observados. Los resultados de este investigación arrojaron que el modelo GR4J representa de manera satisfactoria la serie de caudales diarios especialmente en caudales mínimos provenientes de épocas de sequia. Los valores de los criterios de eficiencia se encuentran entre un 50 y 100% lo que muestra el potencial del modelo. Esta investigación sirvió para comparar que modelo era más eficaz.

Quintero y Acero (2014). “Nivel de riesgo de inundación de la cuenca del rio tocuyo usando un sistema de información geográfica” Facultad de Ingeniería de la Universidad de Carabobo, en el cual mediante modelos digitalizados obtuvo las características físicas y los parámetros hidrológicos necesario para predecir el nivel de riesgo de inundación de la cuenca. Esta investigación sirvió de guía para la aplicación de los Software ArcGis y HEC-geoHMS en la estimación de las características físicas y parámetros hidrológicos de la cuenca en estudio.

Peraza y Trujillo, (2014). Investigaron la “la simulación hidráulica de la oferta hídrica en la cuenca de los ríos, Borburata, Patanemo, San Esteban mediante el uso del software HEC...” Se generó el modelo de elevación digital en ArcMap 10 y a través de la herramienta Hec-GeoHms se pudo obtener las características geométricas de las cuencas, tales como área, longitud de los ríos se obtuvieron parámetros de los diferentes modelos que proporciona el software HEC. En esta investigación se obtuvieron valores de tiempo de concentración T_c entre los rangos de 1 a 2 horas, impermeabilidad entre 3 y 10% y tiempos de retardos de 30min a 1 hora. Esta investigación sirve para validar parámetros obtenidos en los diferentes modelos del HEC para cuencas con condiciones similares.

Valencia, (2011.) Realizó una investigación titulada “Validación del modelo HEC HMS en la cuenca del Rio Cabriales para el análisis hidrológico” en la cual hizo un análisis hidrológico e hidráulico en esta cuenca basándose en el uso de modelos matemáticos para simular flujos de canales y procesos de lluvia escorrentía en diferentes periodos de ocurrencia, permitiendo así construir una herramienta fundamental para la planificación de desarrollo urbanístico y medidas de mitigación de riesgo. Los resultados dieron valores de correlación $R= 4.94$, valores de determinación $R^2 = 0.28$ y error estándar $SE= 48.44$. Esta investigación sirvió para comparar valores de error obtenidos al comprar lo observado con lo simulado.

Bases Teóricas

Modelo del Hidrograma Unitario de Snyder (Snyder's Unit Hydrograph Model).

Snyder recopila datos de precipitaciones de cuencas derivados del hidrograma unitario, parametrizando los parámetros medibles relacionados a las características de la cuenca. Para esto, propuso:

$$tp = CC_t(LL_c)^{0.3}$$

Dónde:

- C: Constante de conversión.
- C_t : Coeficiente de la cuenca.
- L: Longitud de la corriente principal desde la salida a la brecha
- L_c : Longitud a lo largo de la corriente principal de la toma a un punto más cercano al centro de gravedad de cuenca.

La constante de conversión C tiene un valor de 0,75, el coeficiente de cuenca C_t tiene un rango de valor entre 1,8 y 2,2 pero también se puede adoptar el valor de 0.4 para áreas montañosas y el de 8 para zonas cercanas al golfo de México.

Modelo del Hidrograma Unitario del Sistema de Conservación del Suelo (SCS Unit Hydrograph Model).

El modelo SCS está incluido en el programa HEC-HSM y se basa en la media del hidrograma unitario derivado de las precipitaciones y la escorrentía para un gran número de pequeñas cuencas agrícolas.

El SCS puede ser estimado mediante una calibración. Para este modelo se requieren dos parámetros los cuales son, el tiempo de retardo (lag time) y el tiempo de concentración (time of concentration) los cuales están relacionados mediante la siguiente ecuación:

$$t_{lag} = 0.6t_c$$

Dónde:

- t_{lag} : Tiempo de retardo.
- t_c : tiempo de concentración.

Modelo del Hidrograma Unitario de Clark (Clark's Unit Hydrograph Model).

El modelo de Clark deriva un hidrograma unitario de cuencas que representan explícitamente dos procesos críticos en la transformación de exceso de precipitación a escorrentía los cuales son:

- Traslación o movimiento del exceso desde su origen a lo largo de la cuenca.
- Atenuación o reducción de la magnitud de la descarga como el exceso es almacenado a lo largo de la cuenca.

Este se fundamenta básicamente en el tiempo de concentración de la cuenca que puede ser estimado como lo describe el Modelo de Hidrograma Unitario SCS o puede ser calibrado dentro de un rango de valores muy amplio. Su formula se define como:

$$Tb = D + Tc$$

Donde

- T_b : Es el tiempo base del Hidrograma Unitario.
- D : Es la duración del evento de precipitación.
- T_c : Es el tiempo de concentración.

CAPITULO III

MARCO METODOLÓGICO

Toda investigación se fundamenta en un marco metodológico, el cual define el uso de métodos, técnicas, instrumentos, estrategias y procedimientos a utilizar en el estudio que se desarrolla. Al respecto Balestrini (2006) define “el marco metodológico como la instancia referida a los métodos las diversas reglas, registros, técnicas y protocolo con los cuales una teoría y sus métodos calculan las magnitudes de lo real”.

Según Finol y Carmacho (2008), el marco metodológico está referido al “como se realiza la investigación, muestra el tipo y diseño de la investigación, población, muestra, técnicas e instrumentos para la recolección de datos, validez y confiabilidad y las técnicas para el análisis de datos”

Tipo de Investigación

La investigación es de tipo correlacional. En cuanto a los estudios correlacionales, Hernández (2003) plantea que “tiene como propósito evaluar la relación que exista entre dos o más conceptos, categoría o variables (en un contexto particular)”. De esta forma una vez medidas las variables de estudio se procedió a evaluar la relación existente entre ellas, para así determinarla entre los parámetros lluvia escorrentía.

Este trabajo pretende determinar la relación existente entre los parámetros lluvia esorrentía en la cuenca del rio Cabriales, ubicada en el estado Carabobo, Aragua y Cojedes; mediante la comparación de modelos matemáticos que contemplen el estudio de ambos.

Diseño de la Investigación

Según lo señalado por Sabino (2007) el diseño de la investigación consiste en “proporcionar un modelo de verificación que permita contrastar hechos con teorías, y su forma es la de una estrategia o plan general que determinan las operaciones necesarias para hacerlo”.

Según Hernandez y otros (2004): “La investigación no experimental es aquella que se realiza sin manipular deliberadamente variables. Es decir, es investigación donde no hacemos variar intencionalmente las variables independientes. Lo que hacemos en la investigación no experimental es observar fenómenos tal y como se dan en su contexto natural, para después analizarlos”.

Este trabajo de investigación será de tipo no experimental, ya que no se manipularon variables y se procedió a describir el impacto de las variables, de estudio en el comportamiento del sistema hidrológico. Dicho investigación se realizo bajo un diseño basado en una evaluación de la cuenca del rio Cabriales para dar comparaciones de lluvias esorrentías históricas y así dejar un registro más reciente de las herramientas que ayuden a la prevención de inundación en zonas urbanas y rurales tanto locales y comerciales. Además se trabajo con variables medidas directamente en campo, sin ser manipuladas durante el

análisis, ya que se pretendía comparar modelos de mediciones teóricas con modelos de mediciones en campo.

Población y Muestra

Para arias (2006), el término “población es un conjunto finito o infinito de elementos con características comunes para los cuales serán extensivas las conclusiones de la investigación. Esta queda delimitada por el problema y por los objetivos del estudio”

En lo que respecta a esta investigación la población a estudiar comprende la cuenca del Rio Cabriales.

La muestra según Martins F. y Palella, (2006) No es más que la escogencia de una parte representativa de una población, cuyas características reproduce de la manera más exacta posible”. En este caso La muestra representativa de la población objeto de estudio abarca la información hidrometeorológica suministrado por tecnum electrónica, correspondiente a las estaciones pluviométricas ubicadas en el CIHAM UC y en el Parque Fernando Peñalver. En cuanto a la representación de la forma y elevación del terreno de la cuenca, será especificada de acuerdo a los planos topográficos en escala 1:25.000 con curvas de nivel a intervalos de 20 metros.

Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos

Respecto a Arias (2006) señala que la técnica de recolección representa el conjunto de procedimientos o formas utilizadas en la obtención de la información necesaria para lograr los objetivos de la investigación”.

En lo que respecta a la investigación planteada se utilizó la técnica tipo campo en el cual Finol y Camacho (2008) lo definen como “el procedimiento por medio del cual se obtienen y registra la información, directamente del lugar donde ocurren los fenómenos, hechos o situaciones objetos de la investigación.

Además se puede decir que para ésta investigación se utilizaron, técnicas de observación documental, presentación resumida, resumen analítico y análisis crítico como: mapas y planos topográficos, registro de precipitaciones y caudales, características físicas, usos del suelo, condición del río, etc., las cuales fueron proporcionadas por organismos gubernamentales encargados de la información cartográfica, geomorfológica e hidrológica referente a la cuenca del Río Cabriales IGVSB y CIHAM-UC. También se realizaron consultas a libros y documentos publicados en páginas web.

Se utilizaron software como ArcGIS con varias de sus extensiones, para aprender su manejo se asistió a charlas con el tutor, videos didácticos, guías complementarias entre otros recursos.

Descripción de la Metodología

La metodología empleada implicó la ejecución de las siguientes fases de investigación:

- Fase Diagnóstico
- Fase de Recolección de Datos
- Fase de Procesamiento de Datos
- Fase de Análisis de Resultados

Fase Diagnóstico:

En esta fase se identificó el área de estudio de la cuenca del río Cabriales la cual se encuentra ubicada en el Estado Carabobo, el nacimiento del cauce se encuentra en la vertiente sur de la serranía del litoral a una cota aproximada de 1.650 msnm; recorre la ciudad de Valencia de norte a sur hasta llegar a su desembocadura en el Lago de Valencia; tiene una longitud de 33 Km y drena un área de 140 Km². De sus condiciones climáticas se puede decir que posee una precipitación promedio anual de 1.000 mm (Estación Bárbula), con un periodo lluvioso entre los meses de abril y octubre, y un periodo seco que se extiende desde noviembre hasta marzo. La temperatura media anual es de 23.4 °C (Estación Guataparó - Dique). En su recorrido el río Cabriales recibe descargas domésticas provenientes de zonas urbanas. En los últimos años la cuenca del río Cabriales ha sido sometida a un proceso de urbanización sin sistemas de disposición de las aguas servidas. (Ver Figura 1).



Figura 1. Mapa de Ubicación de la cuenca del Rio Cabriales

Fase de Recolección de Datos

Ésta fase involucra la recolección de data necesaria para la elaboración de la investigación. La misma esta recopilada de diferentes fuentes por autores y organismos públicos, se pueden resumir en la siguiente tabla 1.

Tabla 1: Recolección de datos.

INFORMACIÓN	FUENTE	DESCRIPCIÓN	USO
Cartas Topográficas	Instituto Geográfico de Venezuela Simón Bolívar (IGVSB)	Curvas de nivel a escala 1:25.000 distanciadas a cada 20 m.	Mapa de elevación digital para delimitar la cuenca del río Cabriales.
Mapa del tipo de vegetación y taxonomía del suelo	CIHAM-UC	Mapas georreferenciados de vegetación y taxonomía del suelo	Calculo del CN parámetro necesario para calcular el número de curva de la cuenca utilizado en la simulación con HEC-HMS
Datos de Precipitación	Tecnum Electrónica	Estación ubicada en el CIHAM-UC y estación ubicada en el Parque Fernando Peñalver	Generar Hietogramas de Tormenta

Cartas Topográficas

Las cartas topográficas oficiales usadas para delimitar la cuenca del río Cabriales están suministradas por el Instituto Geográfico de Venezuela Simón Bolívar (IGVSB) a escala 1:25.000, con curvas de nivel cada 20m las cuales se identifican en la Figura 2.

EL CAMBUR 6547-II-SE	PRIMAVERA 6647-III-SO
LA ENTRADA 6546-I-NE	YAGUA 6646-IV-NO
VALENCIA 6546-I-SE	VALENCIA 6646-IV-SO
NUEVA VALENCIA 6546-II-NE	FLOR AMARILLO 6646-III-NO
LA YAGUARA 6546-II-SE	BOQUERON 6646-III-SO

Figura 2. Orden de las cartas topográficas que forman la cuenca.

Uso de la tierra y tipo de suelo

Para el uso de la tierra y tipo de suelo se realizó el siguiente procedimiento:

1. Para la obtención de la imagen satelital
 - Ingresar en <http://earthexplorer.usgs.gov/>

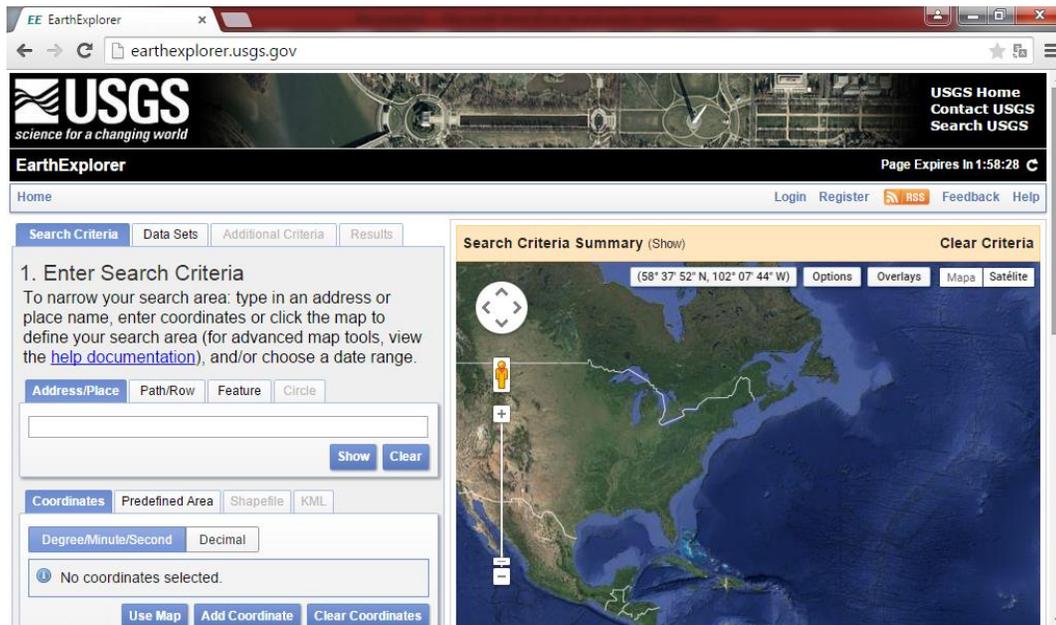


Figura 3. Entorno de la Página Web.

- Registrarse en la página.
- Se localiza en el mapa un punto que se encuentra dentro de la cuenca de estudio (en este caso cuenca del Rio Cabrales) dando click.

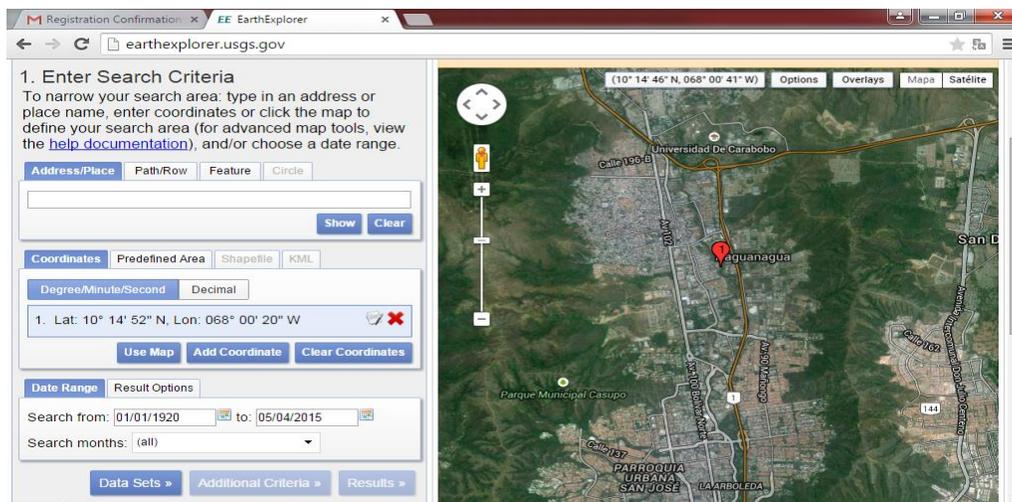


Figura 4. Referencia puntual de Naguanagua.

- Se da click a la pestaña de data set.

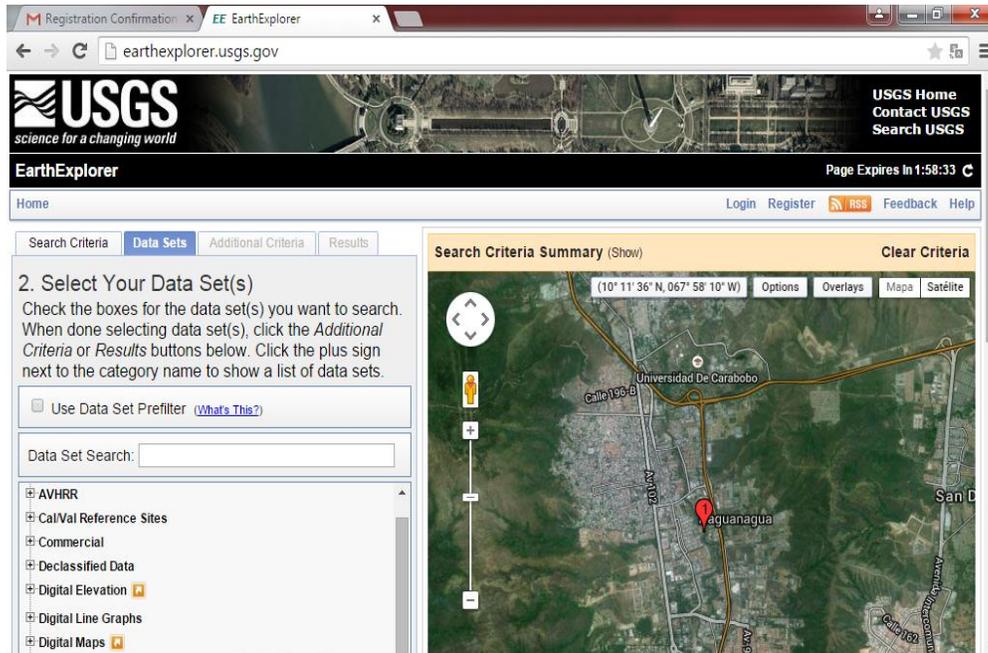


Figura 5. Data Set

- Posteriormente se da click al apartado landsat archive y se tildan L8 OLI/TIRS PRE-WRS-2 y L7 ETM+ SLC-off (2003 present) que son las opciones q nos ofrecen las imágenes satelitales más recientes. Se le da click al botón results.

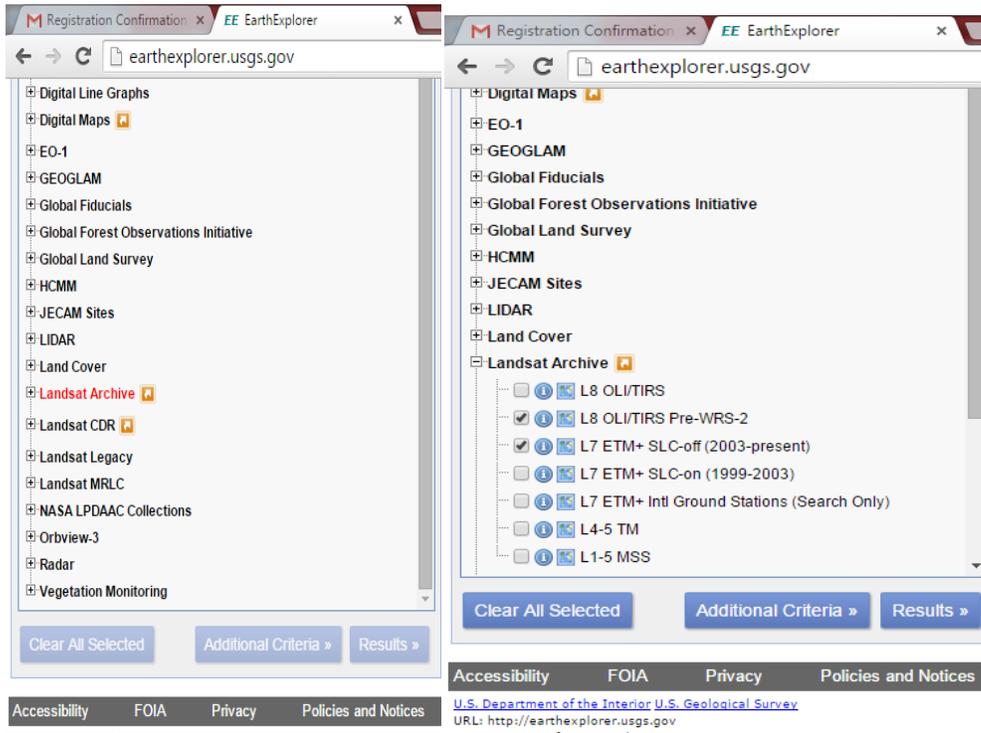


Figura 6. Selección del apartado de Landsat

Nota: Para escoger la imagen se debe tomar en cuenta que esta sea relativamente reciente y que carezca de nubes, se puede explorar las opciones entre 17 y 18 hasta satisfacer el criterio.



Figura 7. Imágenes satelitales

Si se le da click sobre la imagen al lado del nombre se puede pre-visualizar la misma. En este caso se escogió la imagen del 7 de abril del 2015 con pocas nubes del satélite L8, la cual se muestra a continuación.

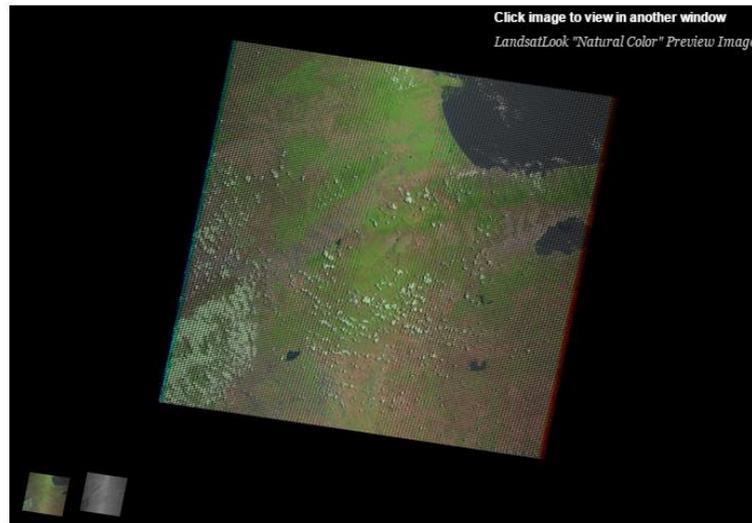


Figura 8: Previsualización de la imagen satelital.

- Finalmente para descargar la imagen se le da al icono de las opciones que dice download options y se descarga la que dice level 1 product (249,6 MB). Ver Figura 9.

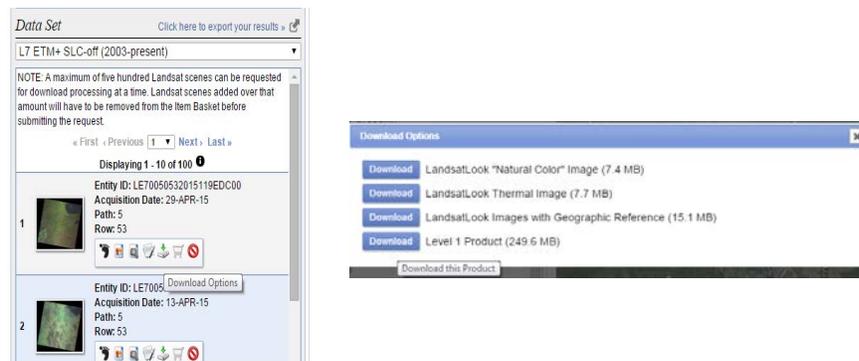


Figura 9. Descarga de la imagen satelital.

2. Procesamiento de la imagen satelital en el software ENVI Classic 5.0.

- Para procesar los usos lo primero que se debe hacer es abrir la imagen dentro de ENVI Classic 5.0, escogiendo la opción file/Open Image File y se procede a seleccionar las primeras siete bandas de la imagen anteriormente descarga. Figura 10.

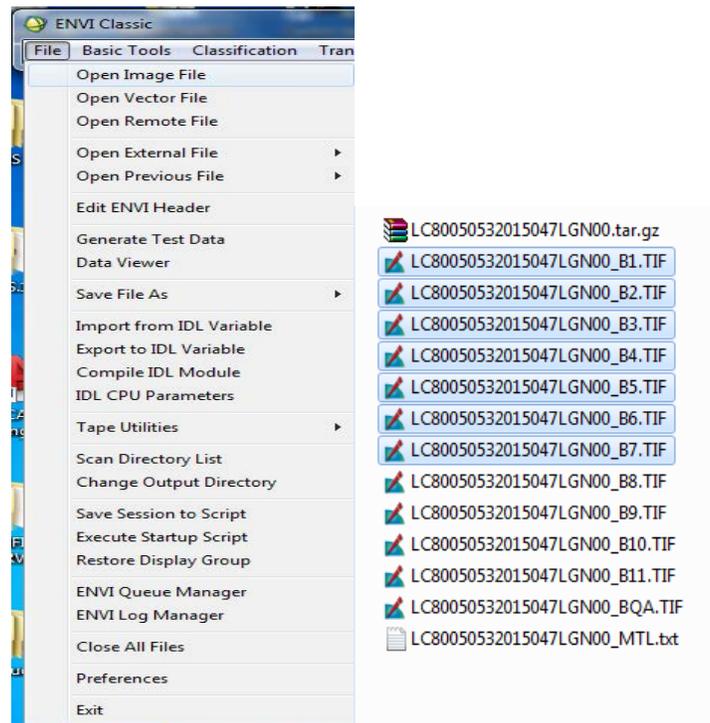


Figura 10. Bandas que conforman la imagen satelital.

- Inmediatamente se despliega la ventana de Available Band List, se tilda la opción RGB Color y se seleccionan las bandas correspondientes a los colores Red, Green y Blue. Para el satélite L8 se usa una combinación de colores B6 para el Red, B5 para el Green y B4 para el Blue. Una vez cargadas las bandas en los colores se le da a Load RGB.

- Al abrirse la imagen seleccionamos la opción Basic Tools/Layer Stacking y se despliega la ventana Layer Stacking Parameters. Al descargar una imagen satelital, esta se descarga en formato de bandas separadas, permitiendo obtener una imagen de banda apilada.

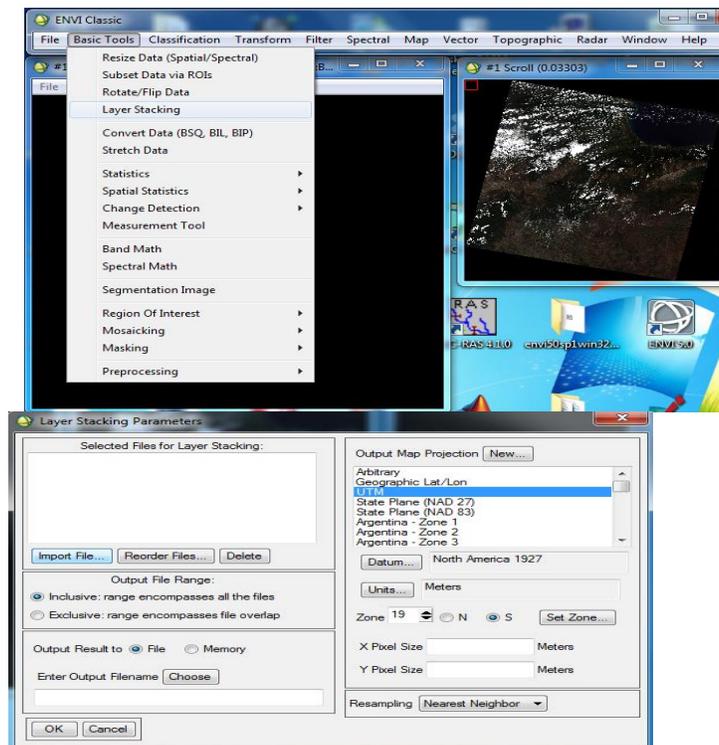


Figura 11. Ventana de Layer Stacking Parameters

- Se selecciona en el menu de Layer Stacking Parameters, la opción de clikear Import File y se abre Layer Stacking, Input File lo que permitirá importar las bandas con las que se trabaja. Es importante destacar que se deben importar las bandas en orden para que la imagen se vea de la forma correcta.

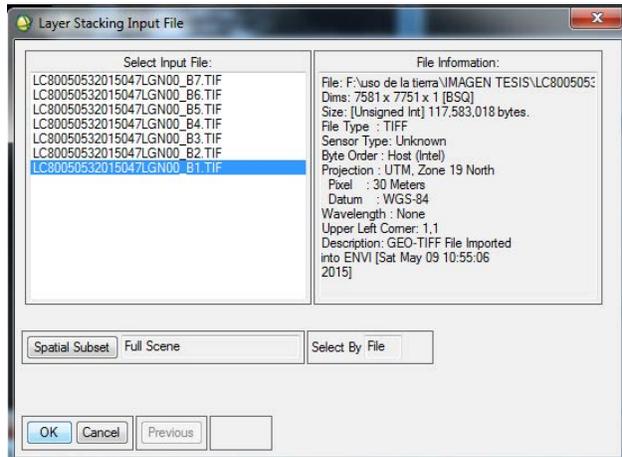


Figura 12. Ventana de Layer Stacking Input File.

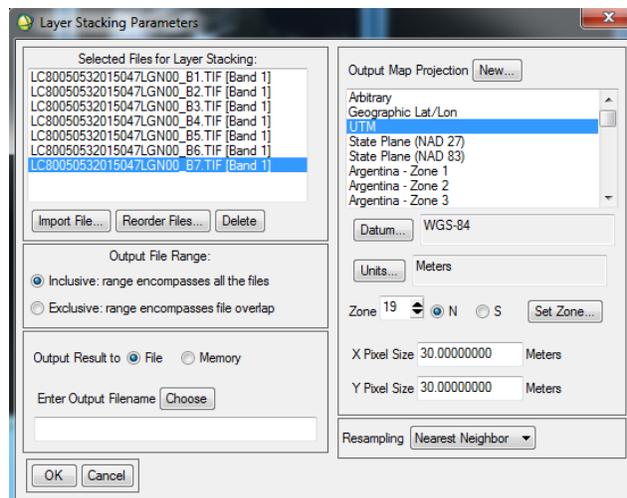


Figura 13. Bandas importadas en el orden correcto.

- Luego de importar las bandas, se guarda tildando la opción file en Output Result y luego en la opción Enter Output Filename, se la da a Choose, lo que genera el despliegue de una ventana donde se debe escoger la ruta de la imagen trabajada y el nombre a asignar.

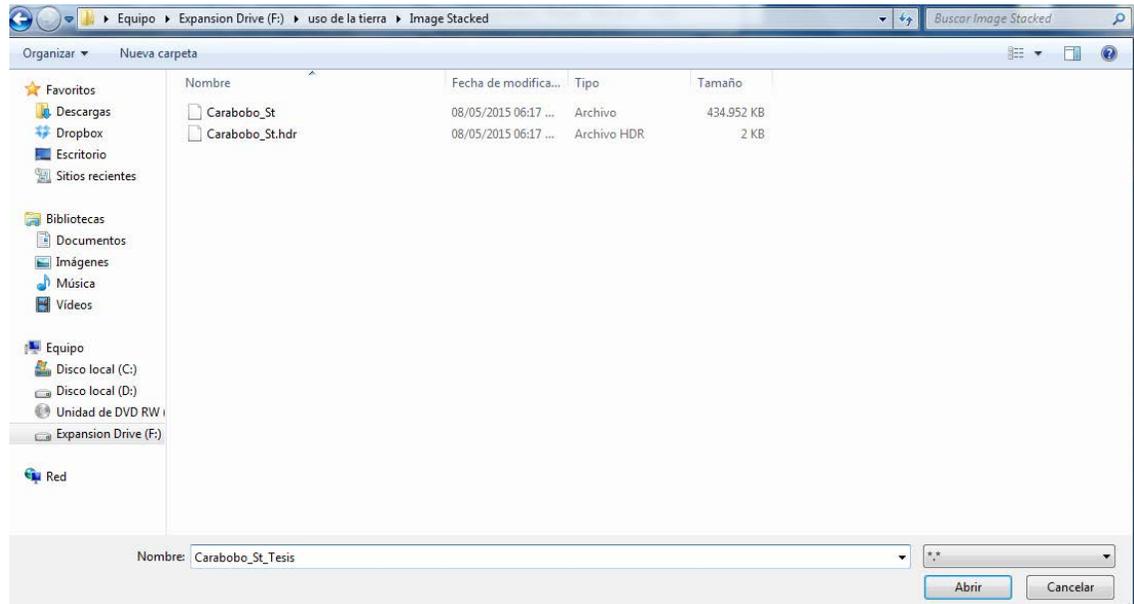


Figura 14. Ruta y nombre de la imagen.

- En la opción de UTM se le selecciona el sistema de coordenadas con el que se está trabajando, en este caso es Zona UTM 19S. y se pulsa Ok.
- Para finalizar se debe importar la imagen ya trabajada al software ERDAS IMAGINE 2014, mediante el menú File/Save File As/ERDAS IMAGINE y se despliega la ventana Select File for ERDAS IMAGINE Output donde se selecciona la imagen y se le da Ok.

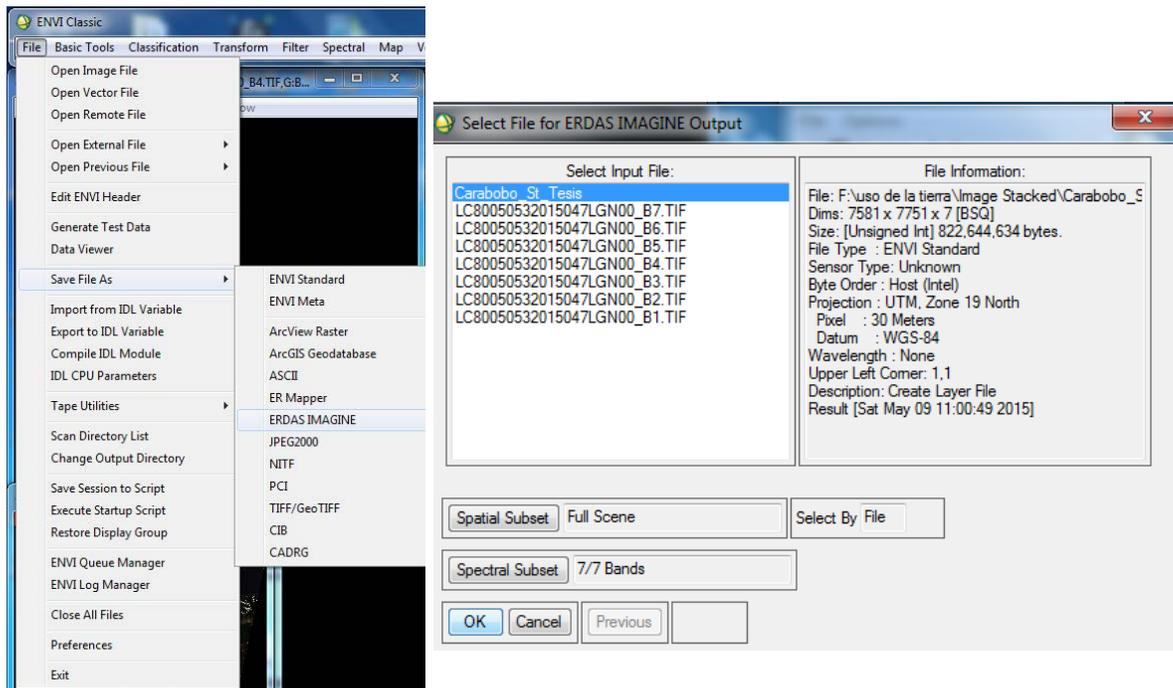


Figura 15. Imagen a importar al ERDAS IMAGINE.

3. Procesamiento de la imagen en el software ERDAS IMAGINE 2014.

- Se abre el programa y automáticamente aparece una ventana llamada Viewer #1, en las opciones de trabajo se pulsa Classifier y al abrirse ésta se escoge la opción Signature Editor, en la cual se procede a realizar la clasificación de los usos del suelo. Ver Figura 16 y 17.

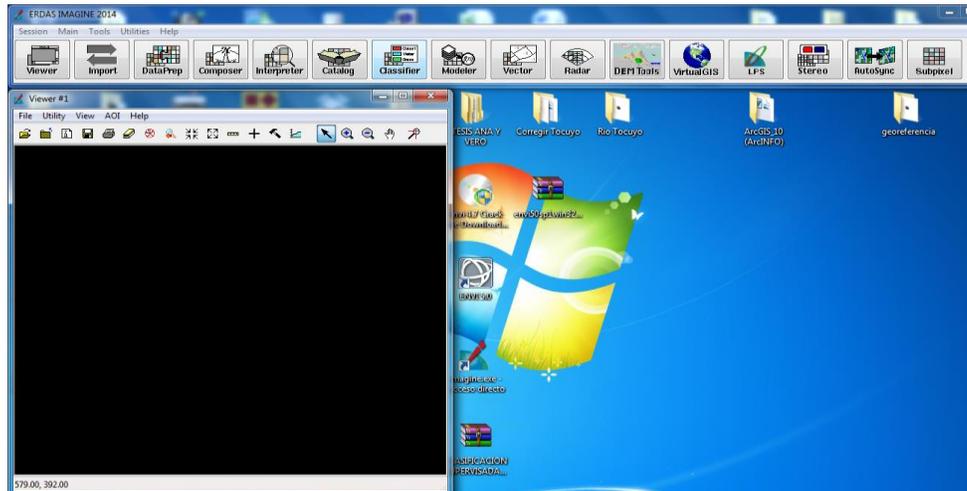


Figura 16. De ERDAS IMAGINE 2014

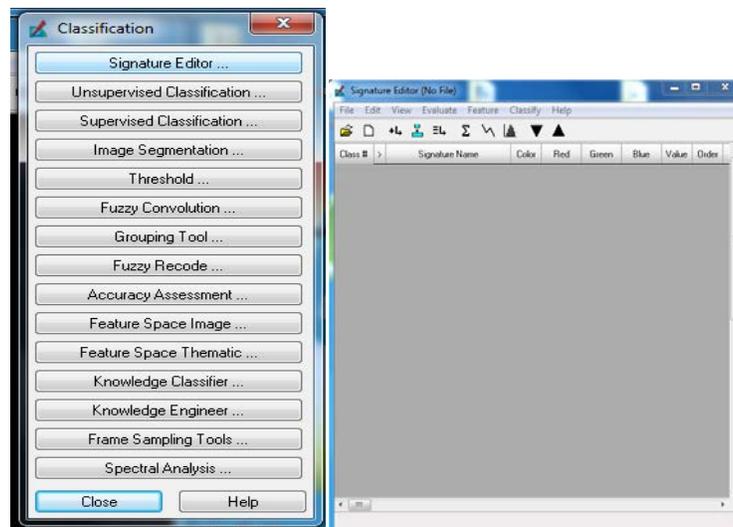


Figura 17. Signature Editor.

- Para abrir las herramientas de trabajo para editar Viewer #1 se buscan en el menú de AOI/Tools.

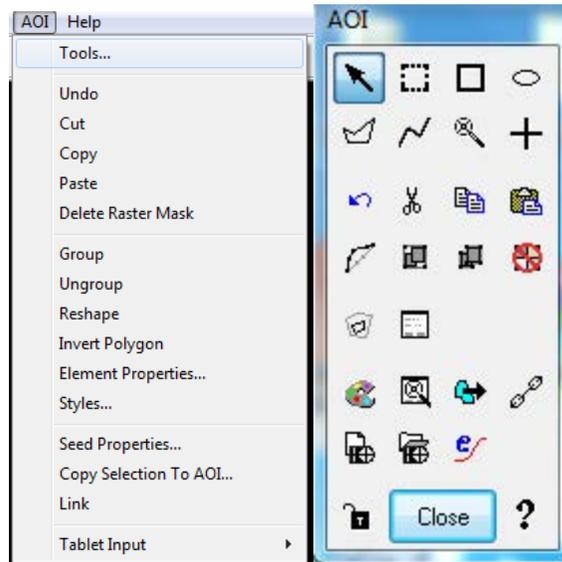


Figura 18. Herramientas de edición.

- Ahora se procede a abrir la imagen anteriormente trabajada, en la ventana de trabajo Viewer #1, en la opción Open Layer y se escoge la imagen. Al darle ok no se visualiza la imagen, para que aparezca le damos click derecho en la pantalla y se escoge la opción FitImage to Window.

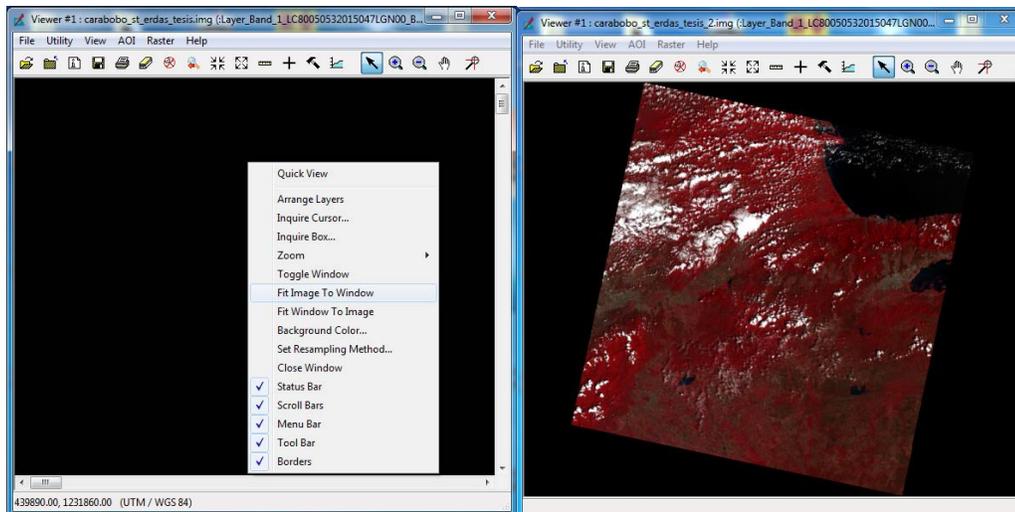


Figura 19. Visualización de la imagen satelital

- Se clasifican los suelos en: bosques, urbano, agricultura, vegetación, agua, nube y urbano, para ello se hacen muestras de color referidas a los usos con la herramienta de trabajo polígonos del AOI, se debe tener en cuenta que es necesario tomar una cantidad representativa demuestras de color del uso determinado.

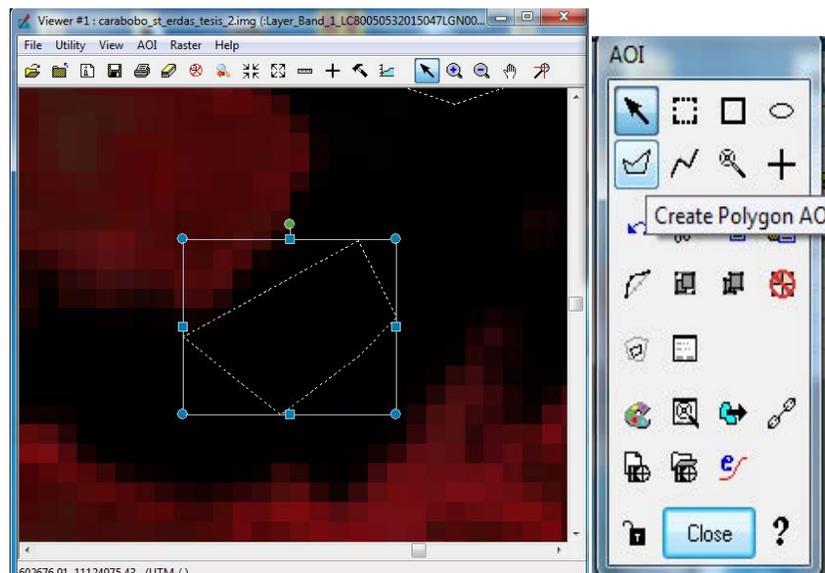


Figura 20. Polígono de muestra de color.

- Una vez realizado el polígono de muestra de color, teniendo la precaución de haber agarrado una zona del mismo color , se va a la ventana de trabajo Signature Editor y se selecciona Create New Signature(s) from AOI creando así un nuevo campo de muestra de color.

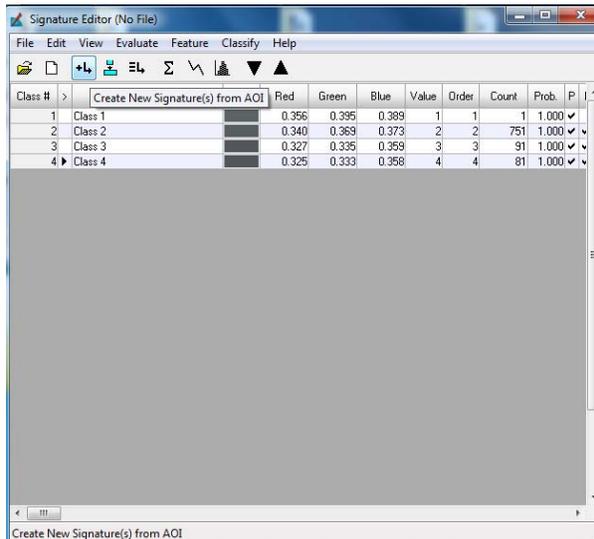


Figura 21. Nuevo campo de muestra de color

- Cuando se tenga una cantidad significativa de muestras de color de diferentes áreas de la imagen satelital se procede a unir todas las muestras, con la opción Merge Selected Signature, se crea un nuevo campo donde le colocamos el nombre de la clasificación y podemos cambiar el color para visualizarlo mejor. Luego de esto podemos borrar los campos anteriores y solo nos quedaremos con el nuevo.

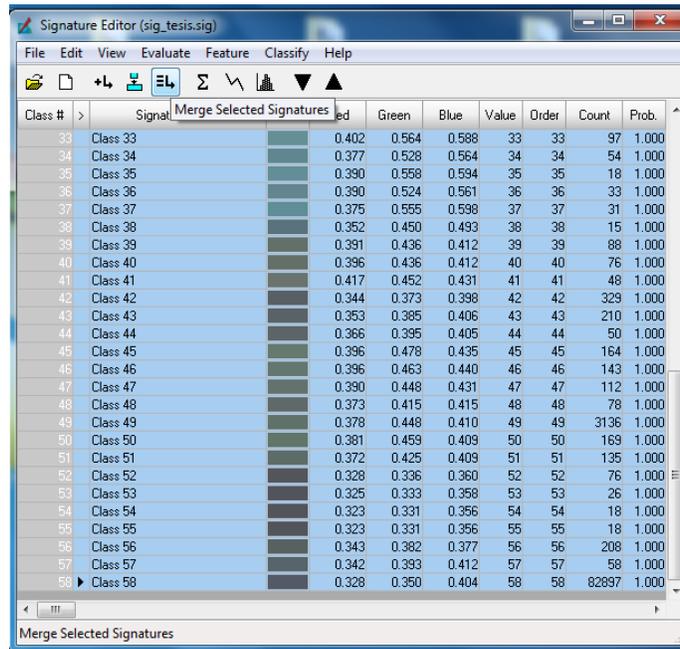


Figura 22. Opción de Merge Selected Signatures

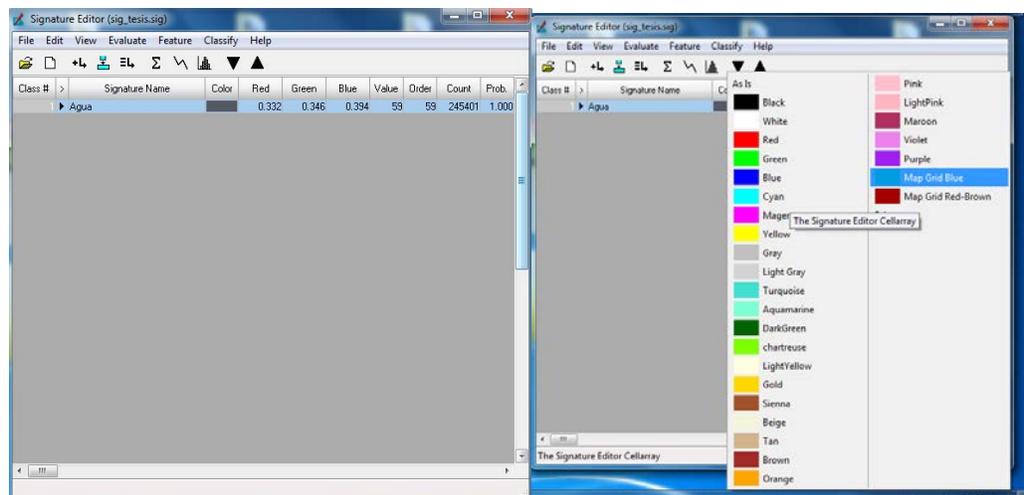


Figura 23: Nuevo Campo de Agua.

- Una vez realizadas todas las clasificaciones para visualizarlas se procede a seleccionar en la ventana de Signature Editor, a opción View/ Image Alarm. Donde se despliega una ventana de Signature Alarm y se presiona Ok.

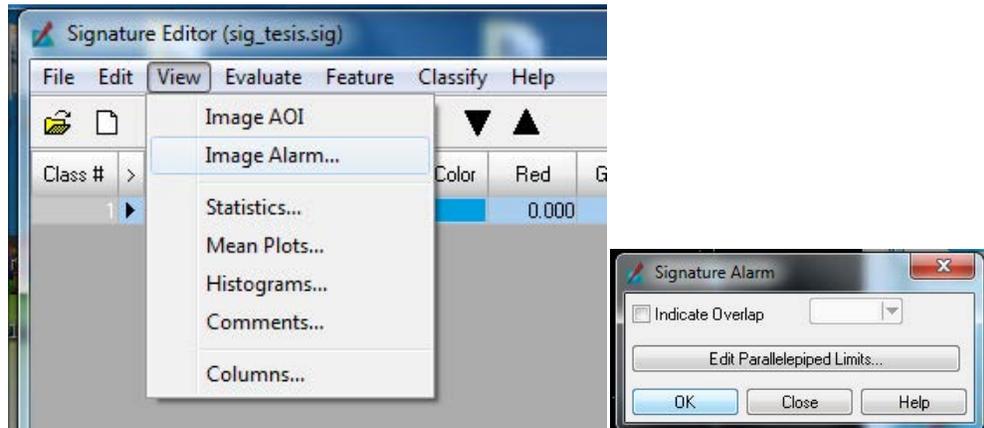


Figura 24. Procedimiento para observar la clasificación de la imagen

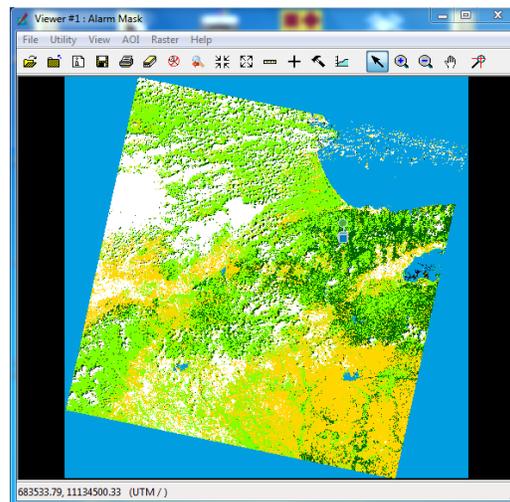


Figura 25. Imagen previa de la clasificación.

- Para finalmente obtener la imagen clasificada para hacer uso de ella en el software del ARCGIS 10.0 se debe volver a la opción Classifier y seleccionar la opción Supervised Classification, donde se despliega la ventana de Supervised Classification escogemos el raster de la imagen clasificada y en el signature file la tabla de datos que se genera con los campos de color. Finalmente en el Output escogemos la ruta y el nombre de la imagen producto del software ERDAS IMAGINE 2014 que sale con formato de imagen .img.



Figura 26. Supervised Classification.

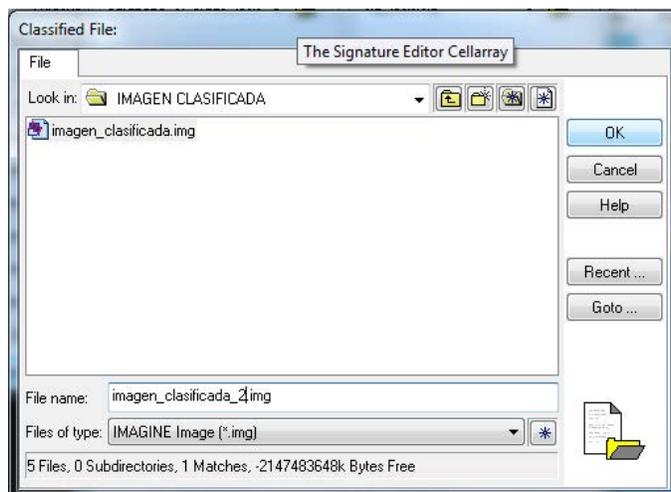


Figura 27. Output de la imagen generada.

- Para asegurarnos que se generó la imagen de forma correcta, abrimos otra ventana de Viewer y cargamos la imagen clasificada.

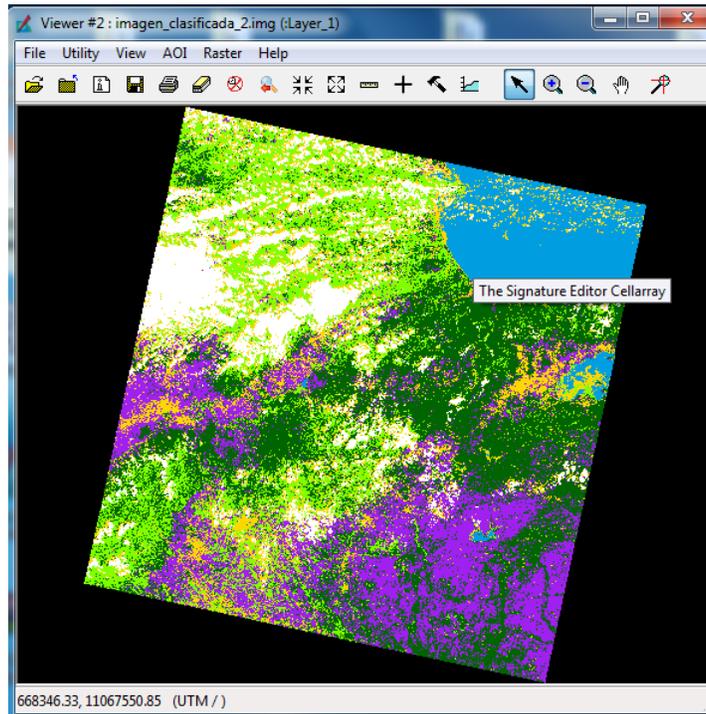


Figura 28. Imagen Clasificada

Información Hidrológica

La información de datos de intensidad de lluvia se obtiene del pluviógrafo ubicado en el parque Fernando Peñalver, el cual se encuentra cerca de la sección donde se hicieron las mediciones, y del pluviógrafo ubicado en el CIHAM UC.

Estos datos son descargados directamente de la página Tecnum Electrónica, donde se especifica la estación en donde se desea descargar los datos, ya sea CIHAM-UC o Parque Fernando Peñalver, la fecha de inicio y culminación de la data, que en este caso fue del 01 de Octubre del 2014 hasta el 28 de Febrero del 2015, ya que las mismas coinciden con el mes donde se iniciaron y finalizaron las mediciones manuales de caudal. Cabe destacar que

se trabaja en el periodo de sequia del año. Por último se especifica el parámetro a descargar, que para la estación ubicada en el CIHAM-UC solo se descargan los datos de lluvia, cada 5 min en mm, y para la estación del Parque Fernando Peñalver se descargan los datos de lluvia cada 5 min en mm y datos de nivel cada 5 mm expresados en m.

Para la recolección de datos manuales es necesario definir la sección del río a la que se le aplica el estudio, en este caso se trabaja con la que coincide con el sensor de nivel, con el fin de poder comparar niveles medidos de manera manual y niveles medidos por el sensor. Se asume que la curvatura del puente no existe y que es recto, quedando su levantamiento de la siguiente forma con progresivas de estudios definidas a cada metro.

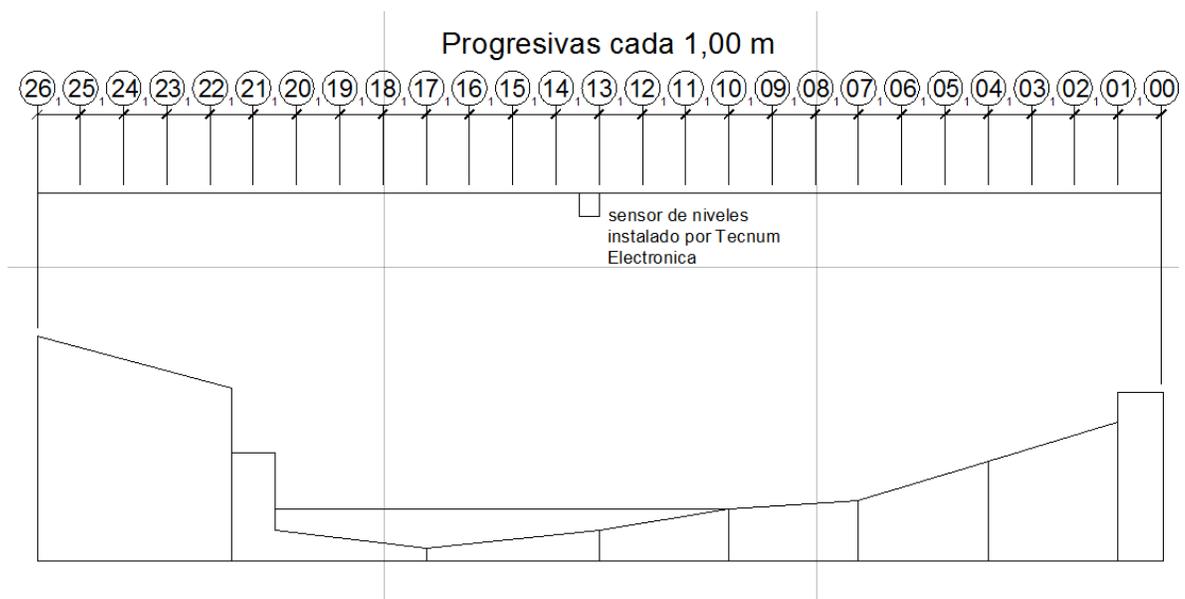


Figura 29. Sección del río.

Medición

Equipo para realizar las mediciones

- Grúa
- Winche
- Correntimetro modelo Gurley 622
- Tiburon o pesa.
- Contador sónico
- Cronometro
- Destornillador
- Guantes



Figura 30. Grúa Armada.

Una vez que se tiene el equipo armado se procede a realizar las mediciones en las progresivas donde se visualice agua, tomando en cuenta la hora inicio de la medición; primero se baja el winche hasta que la barriga del tiburón toque apenas el agua, es donde se procede a encerarlo. Luego se continua bajando hasta que la guaya del winche se afloje, indicando que el tiburón toco el fondo. Se toma esa primera distancia y se multiplica por 0.6 y se le suma los 0.18 m que es la distancia desde el fondo del tiburón hasta el eje del correntimetro, este valor obtenido es la distancia en la que se debe colocar en el medidor del winche para poder efectuar la medición.

Se realizan dos mediciones por punto, cada una con un tiempo de 30 segundos tomados en un cronometro. En esta medición se refleja la cantidad de vueltas que dan las hélices del correntimetro, las cuales se identifican debido a que por cada vuelta que da la hélice el contador sónico emite un pitido.

Una vez que se hayan completado las mediciones en toda la sección del rio donde se visualice agua, se toma la hora final de medición.

La única limitante de este método de medición es que se debe de tener una profundidad de agua mayor o igual a 20 cm para que las hélices de correntimetro puedan estar en contacto con el agua y así marcar las vueltas para el cálculo del caudal.



Figura 31. Hélice del Correntímetro y Tiburon.



Figura 32. Vista del Rio Cabriales.



Figura 33. Toma de mediciones.

Procesamiento de datos

Los datos por cada medición se vacían en dos planillas, siendo la primera la caratula de la medición tal como se ve en la siguiente Figura.

MÉTODO DE AFORO POR SECCIÓN Y VELOCIDAD

RÍO: <u>Cabriales</u>	ESTACIÓN: <u>Puente en Negra Hipolita</u>	SERIAL:	AFORO N°: <u>1</u>
CUENCA: <u>Río Cabriales</u>	ESTADO: <u>Carabobo</u>		FECHA: <u>01/12/14</u>

Modelo de Correntímetro	Gurley 622	Tipo de Aforo	Vado	Superficial	Pesa 30 lbs ⁽¹⁾	Pesa 50-100 lbs ⁽²⁾	<input type="checkbox"/> (1) <input type="checkbox"/> (2) <input checked="" type="checkbox"/> (3) <input type="checkbox"/> (4) <input type="checkbox"/> (5)	Porcentajes aplicados 1- Vado (Gurley 622): <0,13 - (02); 0,14 - 0,49 - (06); >0,49 - (02 - 08) 2- Superficial: Crecientes, (02) 3- Pesa 30 Lbs: 0,19 - 0,36 - (02); 0,37 - 0,74 - (06); >0,74 - (02 - 08) 4- Pesa 50 ⁽³⁾ lbs: 0,34 - 0,67 - (02); 0,68 - 1,34 - (06); >1,34 - (02 - 08)
Serial:	Gurley 625	T. Af.	Vado	Standard				Distancias al aparato: ⁽¹⁾ 5 centímetros; ⁽²⁾ 27 centímetros; ⁽³⁾ Vado (Gurley 625): <0,05 -

<u>Niveles (mts.)</u>	
Hora	Nivel
Inicial	11:30
Final	12:00
Variación de Mira (mts)	
Duración (Horas y Minutos)	00:30
Nivel Medio	
Nivel Medio Compensado	0,37
Nivel Medio Referido al Mar	

<u>Valores para el Cálculo del Nivel Medio Compensado</u>						
N.V.	Hora (H.M.in)	Nivel (mts)	N. Medio (mts)	Gasto (m ³ /seg)	NM*G	N° Obs.
2		0,40				5
			0,45	0,19	0,08	
3		0,50				
			0,40	0,23	0,09	
4		0,30				
			0,33	0,20	0,07	
5		0,35				
			0,30	0,16	0,05	
6		0,25				

Número de Verticales (NV) <input type="text" value="9"/> (Márgenes inclusive) (02) (06) (02-08)	Coefficientes Aplicados a la Velocidad: Susp. varilla (Gurley 622) <input type="text" value="0,88"/> Prof. observación al (02) <input type="text" value="1,00"/> Coefic. ángulo horizontal <input type="text" value="0,00"/> Angulo Horizontal (Grados)
Porcentajes Medidos <input type="text" value="02"/> <input type="text" value="06"/> <input type="text" value="02-08"/> N° Mediciones Vertical (NMV) <input type="text" value="1"/>	Margen de Inicio del Aforo <input type="text" value="MI"/> Margen Final del Aforo <input type="text" value="MD"/>

Notas:

Formulas Empleadas:
 Gurley 622: $V=0,676 \cdot N+0,009$, $N>0,88$; $V=0,667 \cdot N+0,0107$, $N<0,88$
 Gurley 625: $V=0,30 \cdot N$
 (V: Velocidad; N: Revoluciones/Tiempo)

RESULTADOS			
Ancho	<input type="text" value="7,00"/>	mts	
Nivel Medio	<input type="text" value="0,37"/>	mts	
Área	<input type="text" value="2,10"/>	m ²	
Gasto	<input type="text" value="0,89"/>	m ³ /seg	
Velocidad Media	<input type="text" value="0,43"/>	m/seg	

Hoja: 1/2

Figura 34. Caratula del Formato de Aforo.

Donde en el primer recuadro se definen el rio en estudio, en este caso el Rio Cabriales, la estación, Puente A del Parque Negra Hipolita, la cuenca a la que pertenece el aforo de estudio, la Cuenca del Rio Cabriales, el estado donde se realiza el estudio del aforo, el Estado Carabobo y sobretodo la fecha en la

que se realizo el estudio. Cabe destacar que todos los aforos fueron realizados solo los días lunes debido a que la Dirección del Parque solo nos dio el permiso para ese día, ya que es el único en el que el parque está cerrado para el público.

En el segundo recuadro se escoge el modelo de correntimetro a usar, Gurley 622 con una pesa de 30 lbs.

En el recuadro de Niveles (mts) solo se colocan las horas de inicio y finalización de la medición, en este caso son mediciones rápidas así que no se presentan variaciones notables entre la hora de inicio y la hora final de la medición.

En el recuadro de Valores de Nivel Medio Compensado es necesario llenar la planilla de atrás para poder generar el nivel de esa medición.

Dicho esto se recurre a la segunda planilla el cual tiene el siguiente esquema:

REGISTRO DE AFORO

Método: SECCIÓN Y VELOCIDAD

Tipo: CABLE PESA 30 LBS

Fecha: 01/12/14

Río: Cabriales

Estación: Puente en Negra Hipólita

Serial:

N V	Progre- siva	Coef. Ang. Hor.	Coef. de Velo- cidad	Profun- didad	N M V	Prof. de Obser- vación	Velocida d	Revolu- ciones	Tiempo	Velocida d Media	Gasto Unitario	Ancho	Area Parcial	Gasto Parcial	Velocida d promedi o	Area Parcial 2	Gasto Parcial
	(m)			(m)	(un)	(m)	(m/seg)	(Un)	(seg)	(m/seg)	(m ² /seg)	(m)	(m ²)	(m ³ /seg)	(m/seg)	(m ²)	(m ³ /seg)
1	6,00			0,00	MI	0,00	0,00	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
						0,00	0,00	0	0								
2	7,00	1,00	1,00	0,40	1	0,24	0,28	12	30	0,28	0,112	1,000	0,400	0,112	0,41	0,45	0,19
3	8,00	1,00	1,00	0,50	1	0,30	0,55	24	30	0,55	0,275	1,000	0,500	0,275			
4	9,00	1,00	0,88	0,30	1	0,18	0,60	30	30	0,60	0,181	1,000	0,300	0,181	0,58	0,40	0,23
5	10,00	1,00	0,88	0,35	1	0,21	0,64	32	30	0,64	0,225	1,000	0,350	0,225	0,62	0,33	0,20
6	11,00	1,00	0,88	0,25	1	0,15	0,40	20	30	0,40	0,101	1,000	0,250	0,101	0,52	0,30	0,16
7	12,00	1,00	0,88	0,20	1	0,12						1,000	0,200				
8	13,00	1,00	0,88	0,10	1	0,06						1,000	0,100				
9	14,00				MD	0,00	0,00			0,00	0,00		0,00	0,00			
						0,00											
Total NMV:					7	Velocidad Media:				0,43	Totales:		7,000	2,100	0,893		

Hoja: 2/2

Figura 35. Cierra del Formato de Aforo.

En la primera columna se define el Numero de Verticales realizadas en la medición en este caso se realizaron 9 Verticales, que por cada vertical en la columna dos se define a que progresiva corresponden. En la tercera columna se define el coeficiente de Angulo Horizontal, siempre es uno debido a que no se experimentan unas grandes velocidades en el caudal por ende la guaya del winche permanece prácticamente vertical, siendo despreciable el ángulo que forma con la vertical real.

En la quinta columna correspondiente a la profundidad se coloca la profundidad que registra el winche con el encerado en la superficie y el fondo del aforo por cada vertical; la tabla de datos en el software Microsoft Excel está programada para que calcule automáticamente la profundidades de

observación, mas si estas no coinciden con el criterio del usuario se pueden introducir manualmente. Se deben introducir el número de revoluciones registradas en el momento de la medición y el tiempo que duro la misma por vertical. La misma calculara la velocidad que debe tener con los datos introducidos mediante la siguiente formula.

$$V=0,676*N+0,009, N>0,188;$$

$$V=0,667*N+0,0107, N<0,188$$

$$N=\text{Revoluciones/tiempo}$$

Las siguientes columnas de velocidad media la calcula en caso tal de que en una vertical se haga mediciones a diferentes alturas de observación. El gasto unitario, el área parcial y gasto parcial los calcula únicamente para esa vertical. Y el ancho se refiere a la distancia entre progresiva y progresiva que en este caso es de 1,00 m. Con estos valores ya se puede calcular un gasto parcial vertical dando como resultado un gasto observado de 0,89 m³/seg.

Para volver a la caratula y calcular el nivel compensado para ese gasto en particular es necesario escoger la primera medición, la última medición en la y tres mediciones en el centro, dividiendo el aforo en cuatro secciones representativas, a las cuales se les calcula una velocidad promedio que podemos observar en la columna 17, que se calcula del promedio de las velocidad de los límites del rango de la subdivisión del aforo ; un área parcial que puede ser calculada como un promedio de las áreas parciales que abarcan ese rango de la subdivisión o como un trapecio y un gasto parcial calculado como un promedio de los gastos parciales del rango de la subdivisión.

Obtenidos estos datos volvemos a la caratula para calcular el nivel compensado en el siguiente recuadro:

Valores para el Cálculo del Nivel Medio Compensado

<u>N.V.</u>	<u>Hora</u> (H:Min)	<u>Nivel</u> (mts)	<u>N. Medio</u> (mts)	<u>Gasto</u> (m ³ /seg)	<u>NM*G</u>	<u>N° Obs.</u>
2		0,40				5
			0,45	0,19	0,08	
3		0,50				
			0,40	0,23	0,09	
4		0,30				
			0,33	0,20	0,07	
5		0,35				
			0,30	0,16	0,05	
6		0,25				

Figura 36. Nivel Compensado en el Formato de Aforo

Donde en las verticales correspondientes se coloca los niveles observados por el winche en el momento de la medición, en el nivel medio calcula un promedio entre un nivel inicial y un nivel siguiente dentro del rango de la subdivisión del aforo y en el gasto se coloca los gastos promedios antes calculados.

El nivel compensado se obtiene por la aplicación de la siguiente formula.

$$Nivel\ Compensado = \frac{\sum Ni * Qi}{\sum Qi}$$

Este procedimiento se debe seguir para todas las mediciones en el periodo de tiempo determinado con el fin de obtener la curva de gasto correspondiente al estudio realizado y la cual se pueden observar en el capítulo 4.

Herramientas Tecnológicas

Comprende la descarga del programa ArcGisDesktop 10.0 con varias de sus extensiones como lo son: ArcMap, ArcCatalog, ArcScam, GeoHMS10, HEC-HMS 3.5. El material pedagógico para el manejo del programa fue proporcionado por el CIHAMB-UC

ArcGis Desktop 10.0: Incluye las aplicaciones: ArcCatalog, ArcMap, ArcGlobe y ArcScene.

- El ArcMap se utiliza para visualizar, consultar, editar mapas, crear publicaciones de aplicaciones de mapas personalizados y realizar muchas otras actividades de mapas. En este caso se usa esta extensión para georeferenciar las cartas topográficas donde se encontraban cauces del río Cabriales.
- HEC-HMS versión 3.5. Usado como herramienta de simulación del proceso lluvia-escorrentía de la cuenca del río Cabriales.
- Hec-GeoHMS 10 Utilizado para obtener la red de drenaje de la cuenca del río cabriales a partir de los datos digitales del terreno en ArcGis 10.0 con la extensión Espacial Analyst.

Fase de procesamiento de datos

Esta fase comprende el proceso de datos obtenidos mediante las mediciones en campo, como también los datos teóricos y la información obtenida en las cartas topográficas, previamente digitalizadas; utilizando el

software ArcGIS v.10 y sus diferentes extensiones. Para lo mencionado anteriormente se procede a:

- Procesamiento con ArcGIS Desktop 10
- Procesamiento con HEC-HMS
- Procesamiento con HEC-GeoHMS

Procesamiento con ArcGIS Desktop 10

En este proceso se georeferencian los mapas topográficos escaneados y se realiza el trazado de curvas de nivel para obtener un modelo digitalizado.

Trabajo en ArcGIS 10

Antes de iniciar el trabajo en ArcGIS 10, se debe crear una carpeta en la extensión ArcCatalog como se indica en los siguientes pasos:

Creación de archivos

- Abrir ArcCatalog, de la siguiente manera: Inicio -Todos los Programas - ArcGIS - ArcCatalog 10
- Se conecta el disco C al programa: click derecho a Folder Connection - Connect Folder tal como muestra la Figura 37.

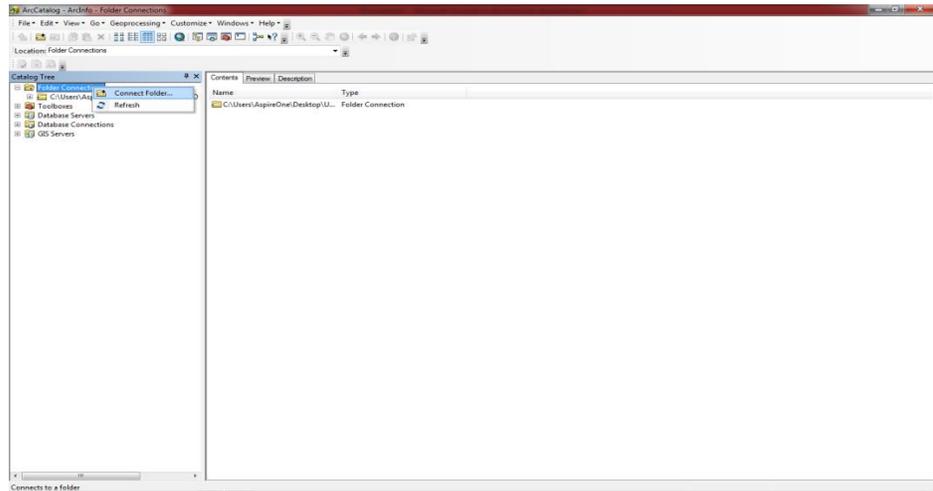


Figura 37. Conexión Disco C.

- Se ubica el disco C -Click en botón ok. Figura 38.

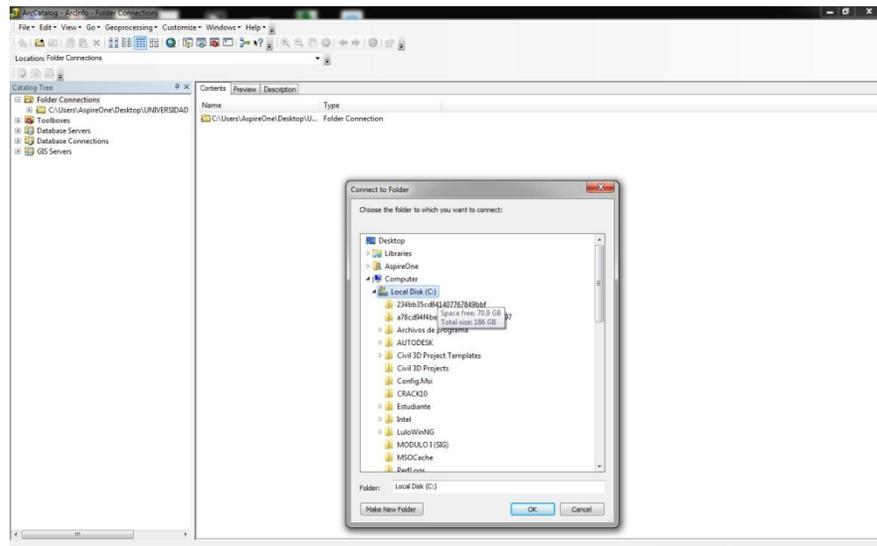


Figura 38. Ubicación Disco C.

- En CatalogTree - click botón derecho - New-Folder, como lo muestra la Figura 39.

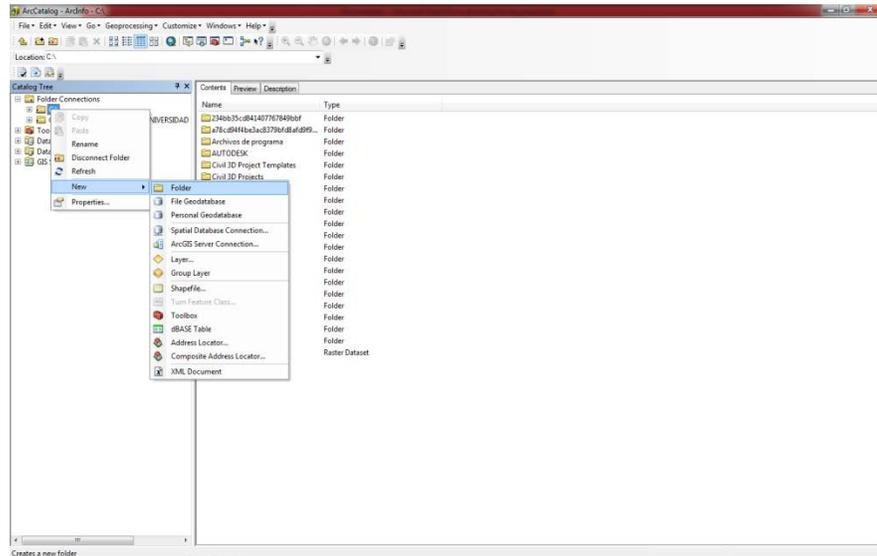


Figura 39. Creación de una Nueva Carpeta.

- Colocar nombre a carpeta “Archivos_TesisCabriales”. Se le puede colocar cualquier nombre pero se recomienda colocar un nombre cuya primera letra sea A con el fin de que al momento de buscarla en el disco local C sea una de las primeras en aparecer. (Ver Figura 40).

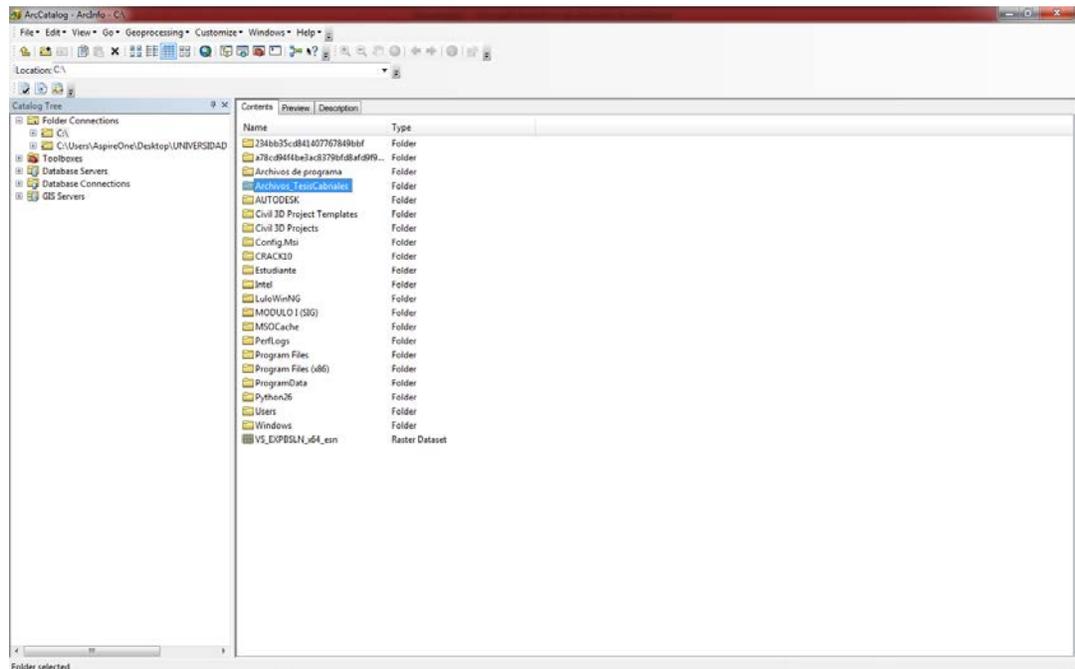


Figura 40. Archivo_TesisCabriales.

Recorte de Imagen en Formato tiff.

Una vez creada la carpeta, se recortaron las cartas suministrada por el Instituto Geográfico de Venezuela Simón Bolívar (IGVSB). Mediante el siguiente procedimiento:

- Buscar la carpeta donde se localizan las imágenes o cartas
- Clic derecho a la imagen - abrir con: cualquier editor de imagen (Ver Figura 41).

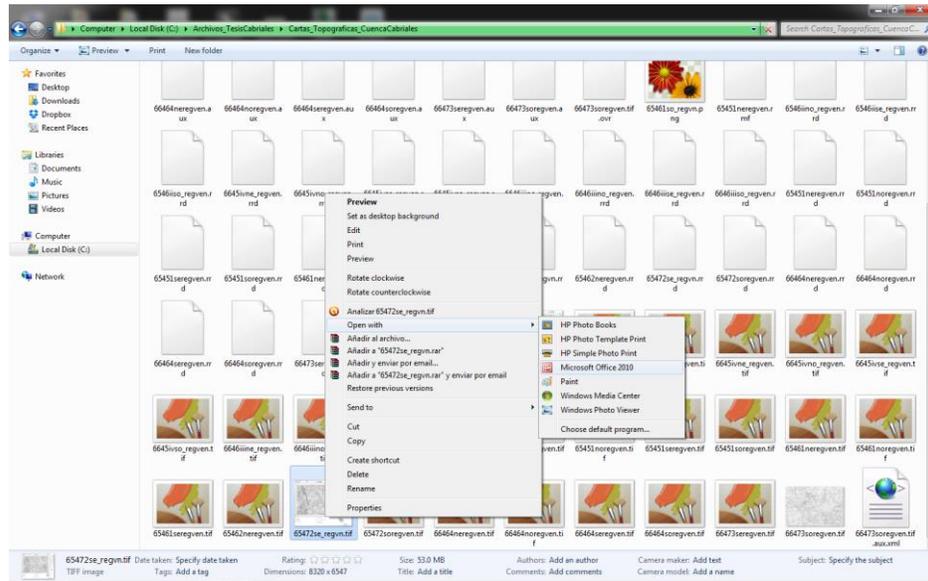


Figura 41. Ubicacion de Cartas Topograficas.

- Una vez abierta la imagen en cualquier editor: clic en editar imagen Figura 42.

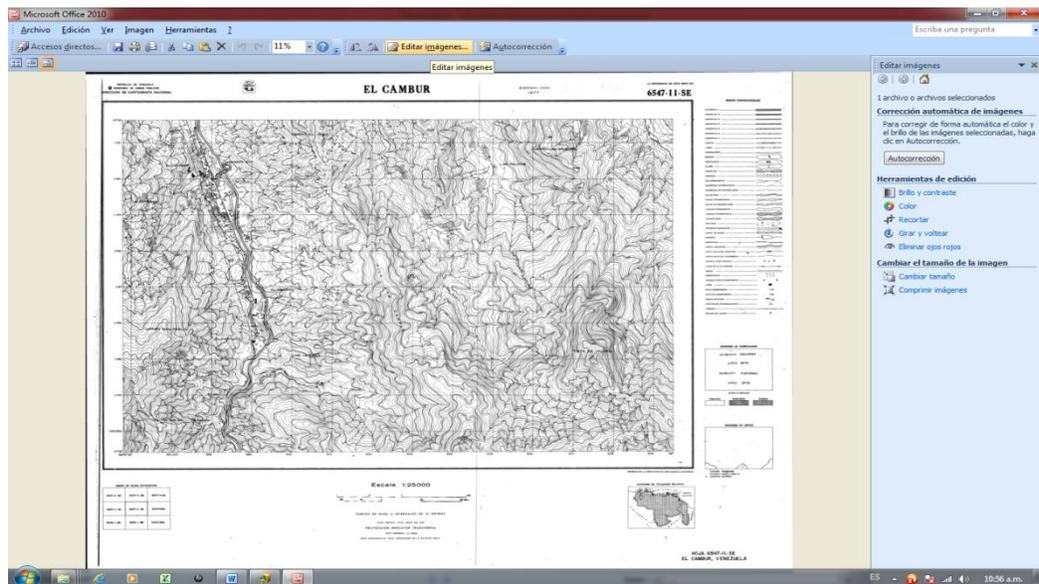


Figura 42. Carta Visualizada en el Editor.

- Seguidamente se procede a recortar como muestra la figura 43. Previo al recorte se debe realizar una copia de la carta en su formato original para tener un respaldo y así visualizar las coordenadas de los puntos en el proceso de georreferenciación

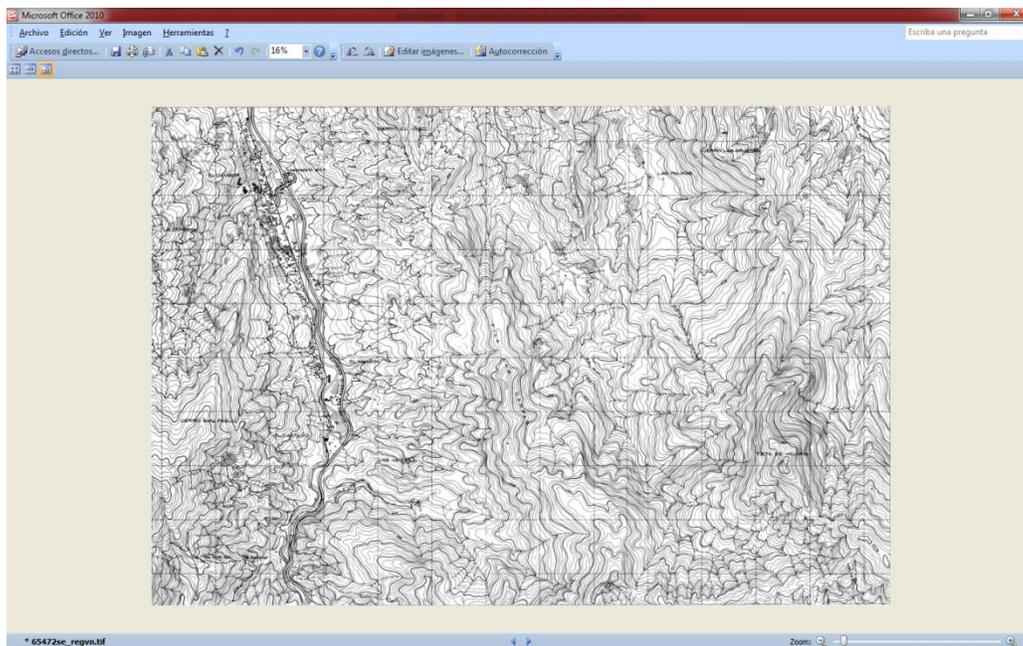


Figura 43. Carta Editada.

- Finalmente se guarda la imagen ya recortada en formato.tif en la carpeta creada anteriormente como Archivo_TesisCabriales.
- Este proceso fue repetido para las 10 cartas que comprenden la Cuenca del Río Cabriales a una escala 1:25.000.

Georreferenciación de las cartas topográfica

Como solo se tiene imágenes escaneadas de las cartas se deben agregar puntos de control que automáticamente se ajustan a la escala y la ubicación del mismo. El procedimiento a seguir es el siguiente:

- Abrir ArcMap

- Clip en el icono Add Data. Figura 44.

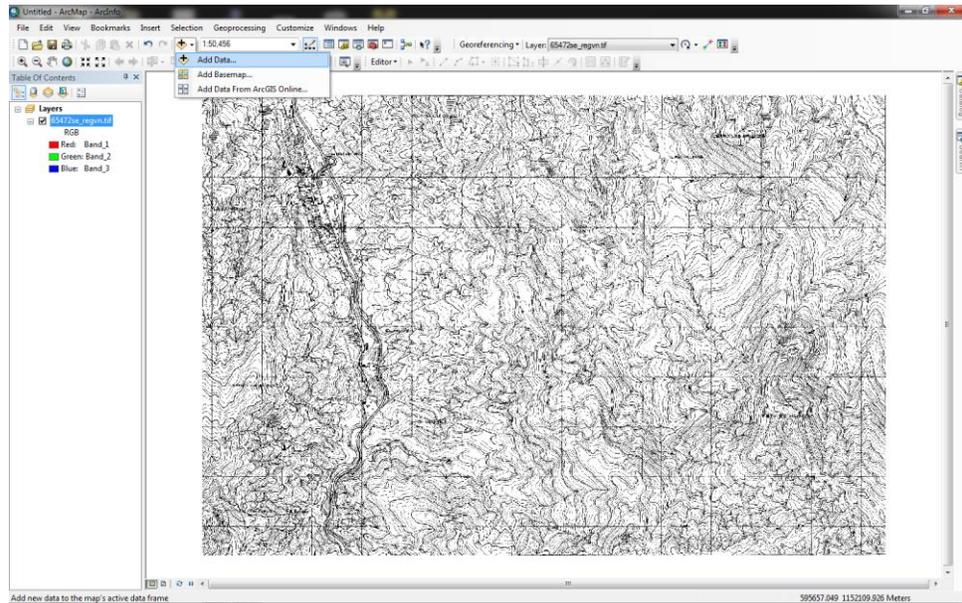


Figura 44. Busqueda Imagen Tiff.

- En el cuadro Add Data –se selecciona la imagen a georreferenciar.

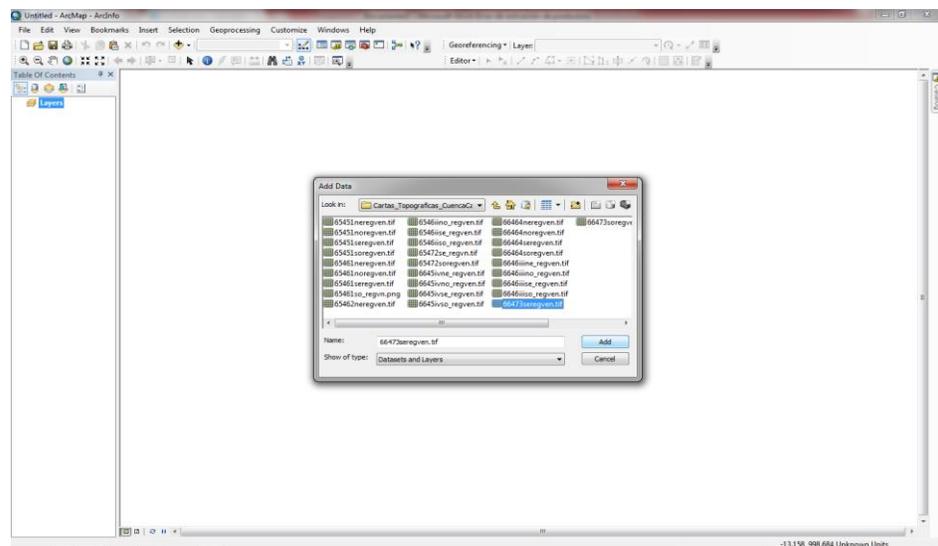


Figura 45. Agregar imagen Tiff.

- Se hace clic en Agregar - Se hace visible el cuadro de dialogo Crear pirámides que aparece cuando se carga una imagen por primera vez - click en Sí - En el cuadro de Referencia espacial desconocida hacer click en Aceptar.

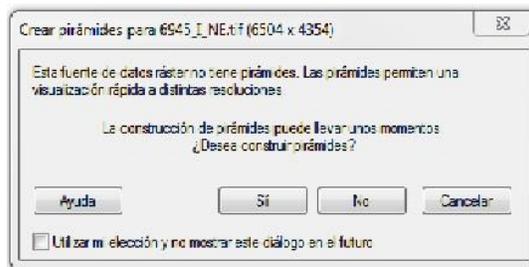


Figura 46. Creación de pirámides.

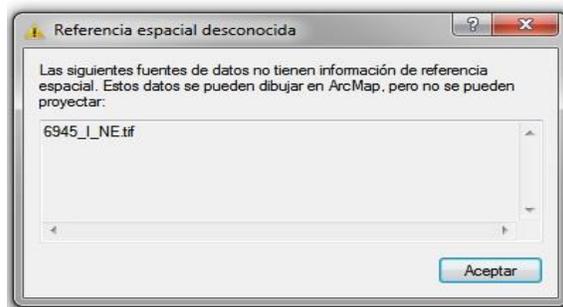


Figura 47. Referencia espacial desconocida.

- Click derecho en la barra para habilitar la herramienta Georreferenciación. De esta forma se hizo visible la barra. Ver Figura 48.

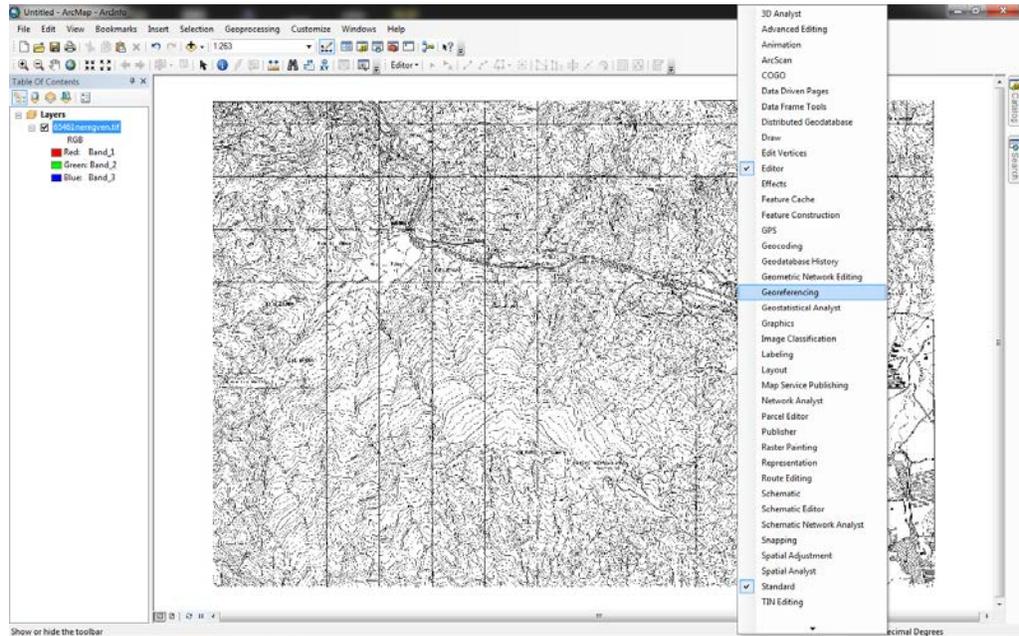


Figura 48. Barra de Herramientas.

- En la barra georreferencing - click en Add Control Point. Figura 49.

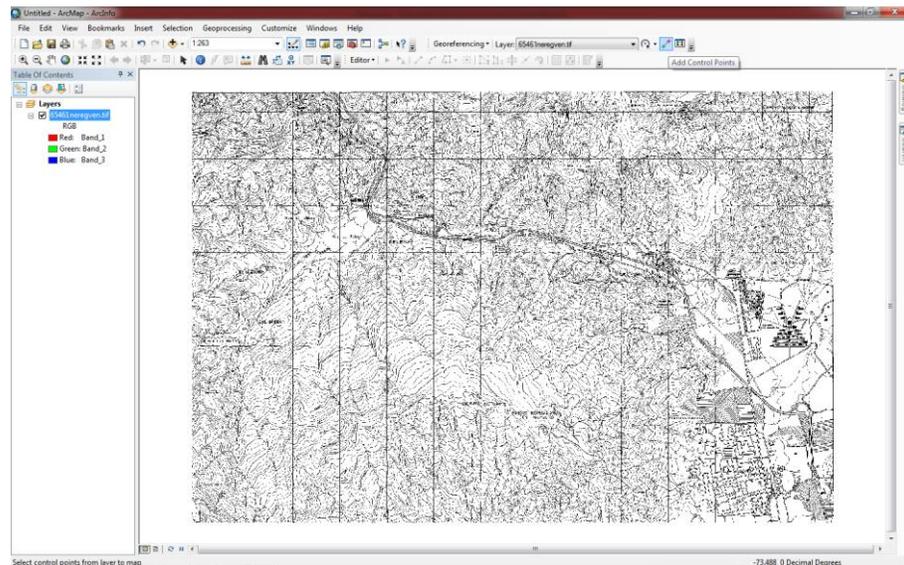


Figura 49. Comando Add Control Point.

- Click en el primer punto de coordenadas conocidas en la imagen - click derecho en la cruz - Input X and Y. Figura 50.
- Se introducen las coordenadas respectivas. Figura 51.

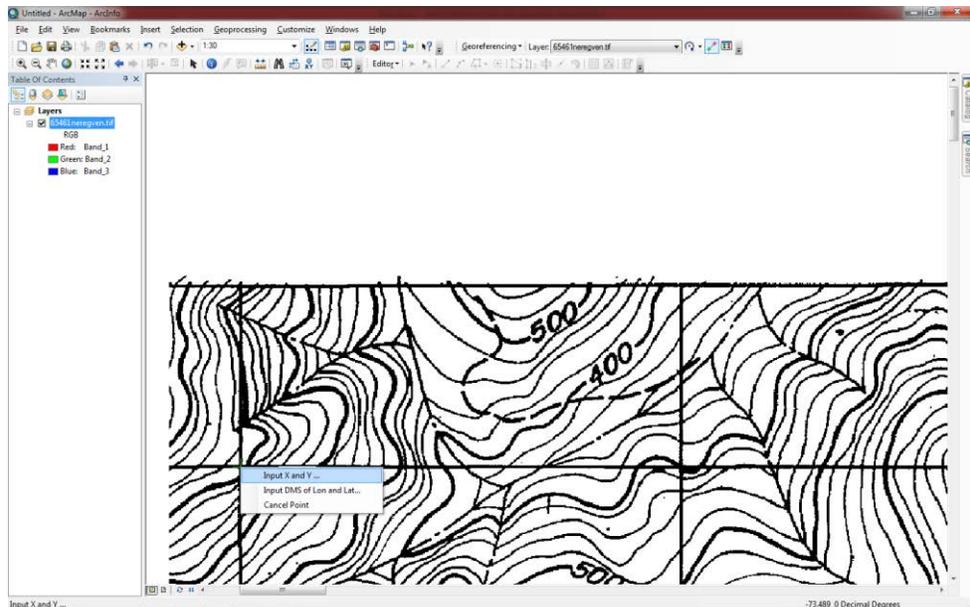


Figura 50. Comando Input X and Y.

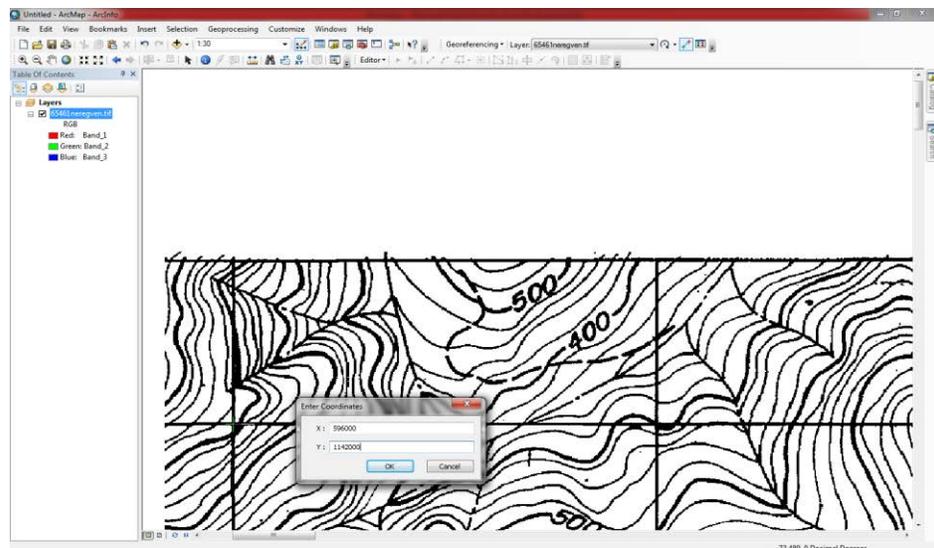


Figura 51. Ingreso de Coordenadas.

- Al introducir las coordenadas la imagen desaparece, para ubicarla: Click derecho sobre la capa – Zoom To Layer, Ver Figura 52.

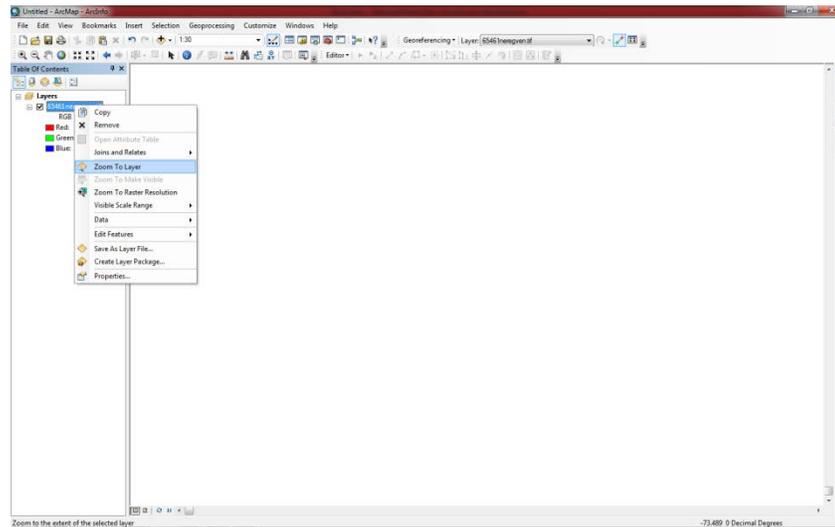


Figura 52. Zoom To Layer.

- Se repite el proceso para tres puntos más teniendo así un total de 4 puntos de control, ubicados en cuatro esquinas donde se conozcan las coordenadas.
- Una vez ingresados todos los puntos de control - click en visualizar tabla con enlace en la barra de georeferencing - En la celda Error Total RMS se verifico que exista un valor cercano a cero y no mayor a 3 - Si es así, haga clic en OK, en caso contrario, tendrá que ingresar los puntos nuevamente hasta lograrlo. Figura 53.

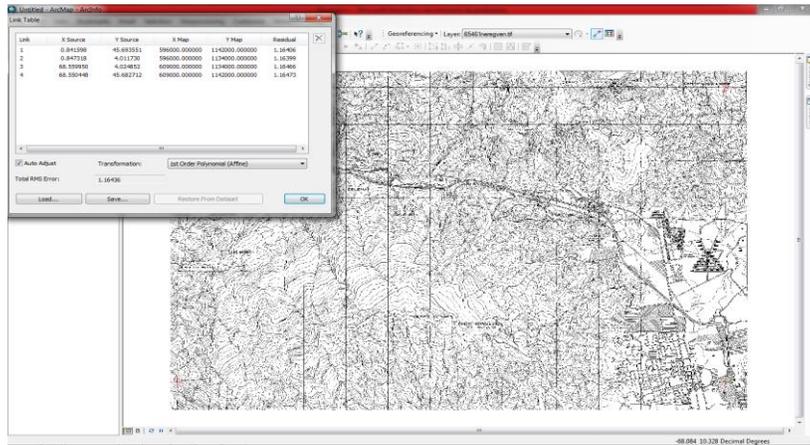


Figura 53. Verificación de RMS.

- Click en Georreferencing en la barra de herramientas con el mismo nombre - click en Update Georreferencing. Al hacer esto, la imagen toma la referencia ingresada a través de los cuatro puntos.

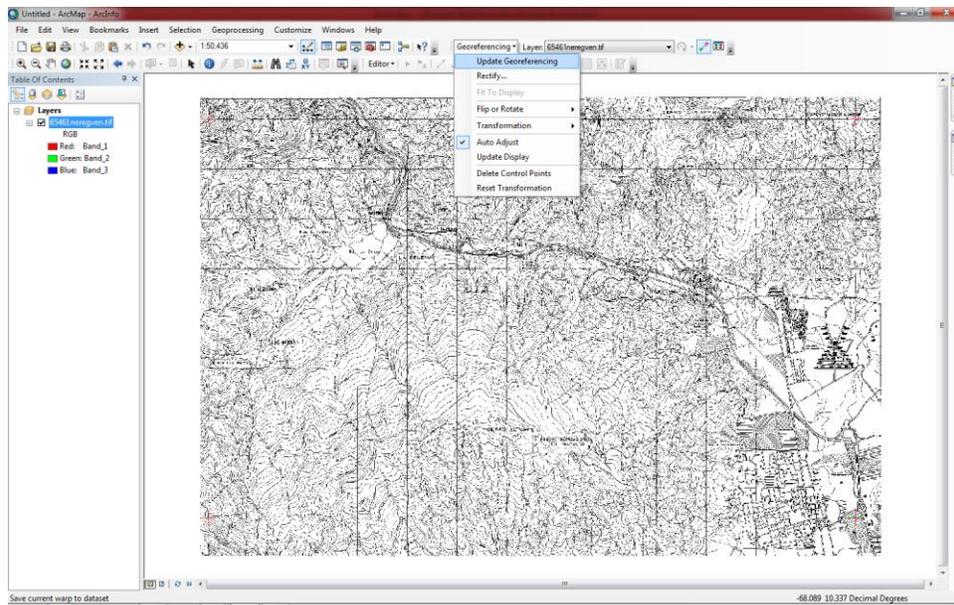


Figura 54. Validación de los puntos de control.

- Se procede a abrir ArcCatalog – click derecho sobre el archivo donde se está trabajando - Properties. Figura 55 – Edit en el renglón Spatial Referenc. Figura 56.

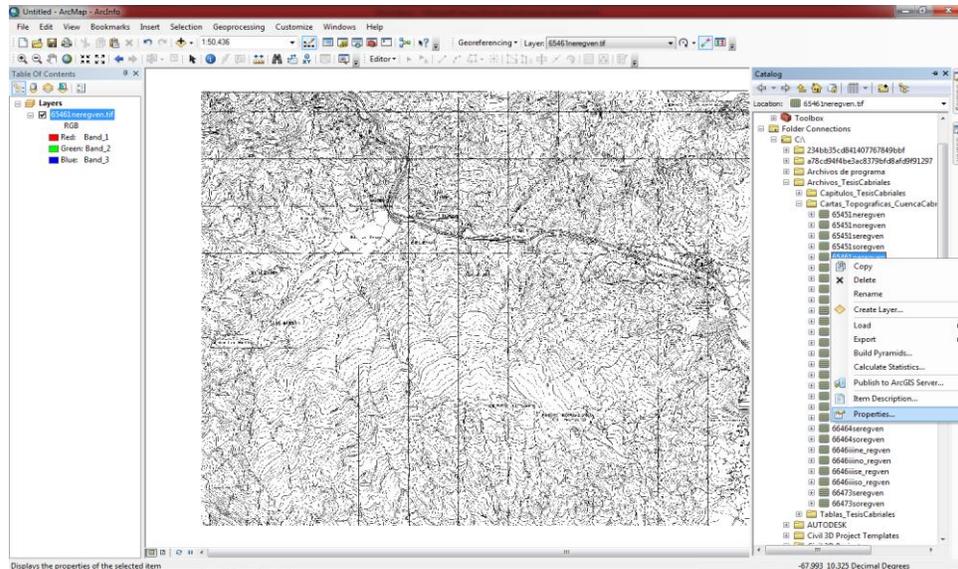


Figura 55. Propiedades del archivo donde se está trabajando.

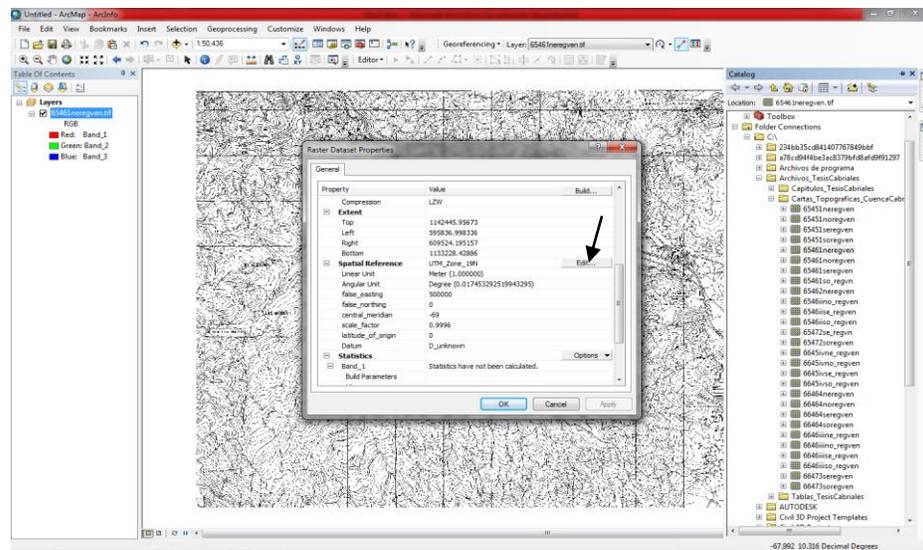


Figura 56. Edición.

- Se selecciona Clear – Select – Projected Coordinated Systems – abrir – UTM – Abrir South America – seleccionar sistema de acuerdo a la zona donde se trabaja en este caso South Americam 1969 UTM Zone 19S – Add – Aply – Ok, todo este procedimiento se muestra en las Figuras siguientes:

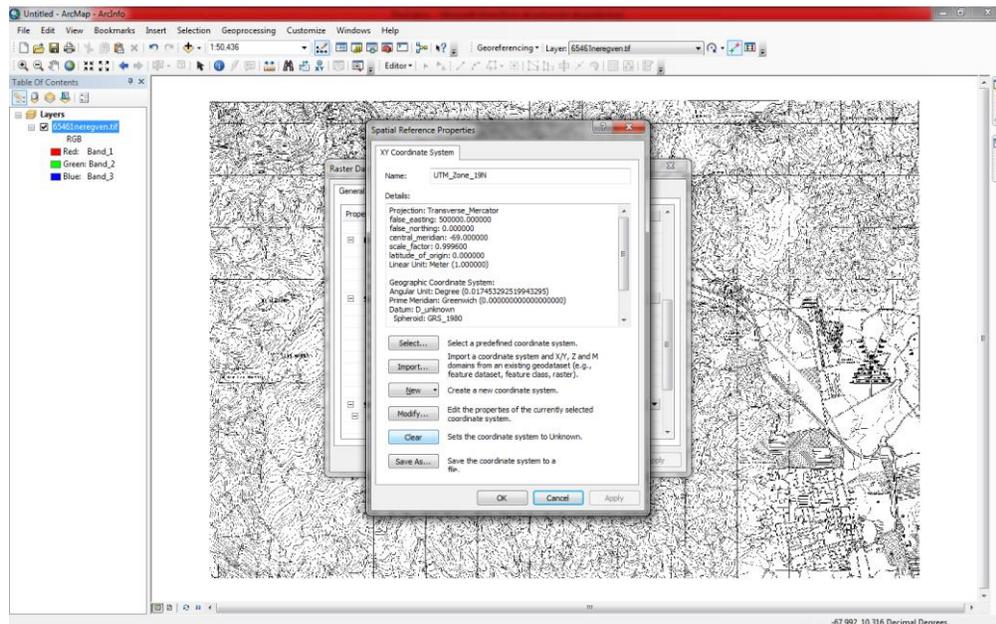


Figura 57. Propiedades del Sistema Espacial de Referencias.

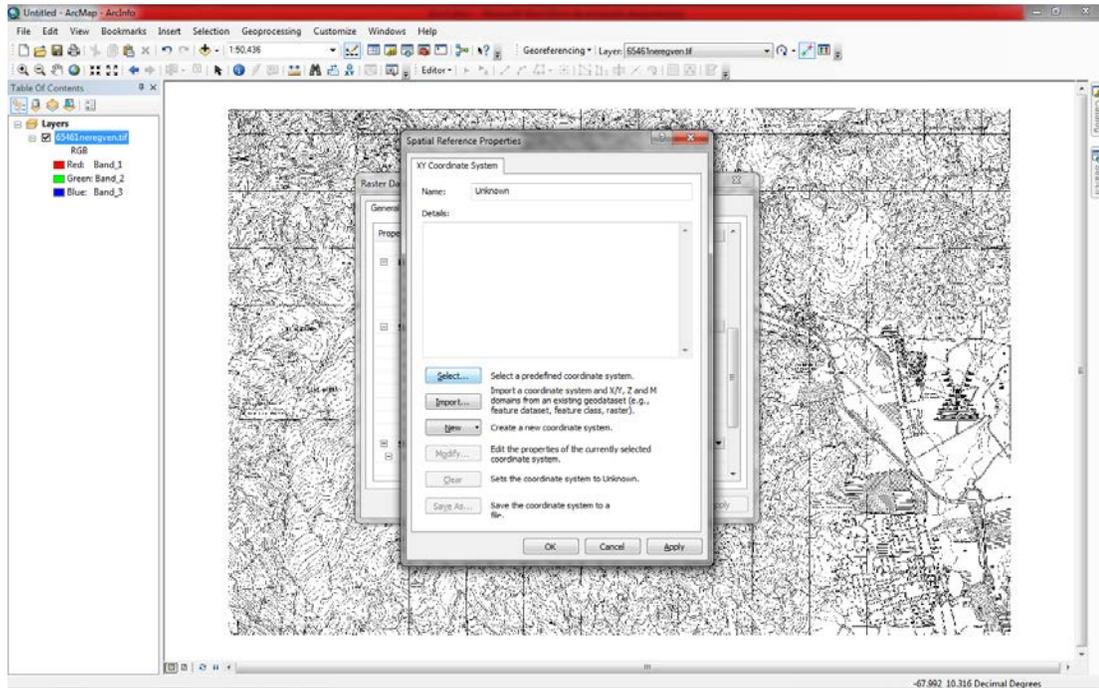


Figura 58. Selección del Sistema de Coordenadas.

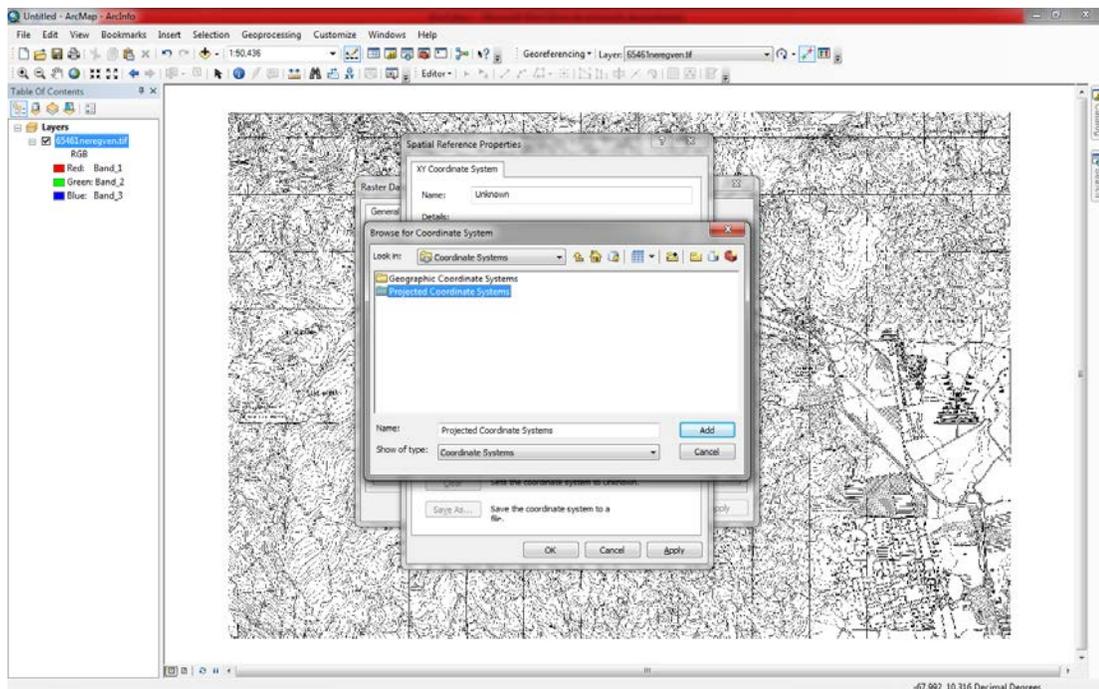


Figura 59. Carpeta Sistema de Coordenadas Projectadas.

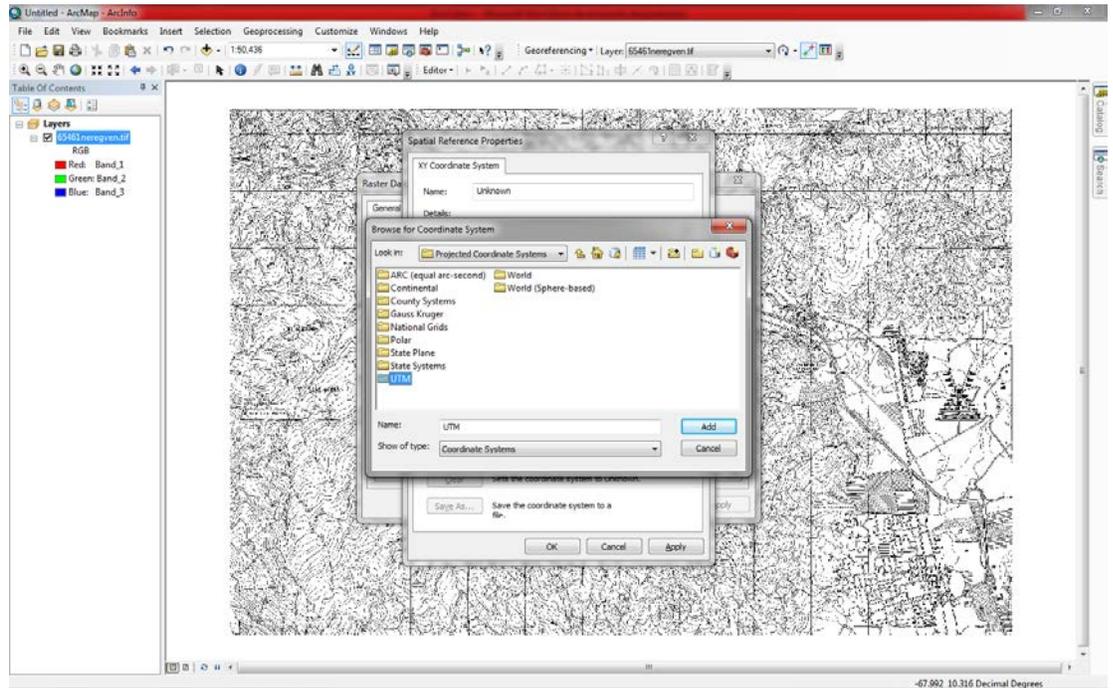


Figura 60. Carpeta UTM.

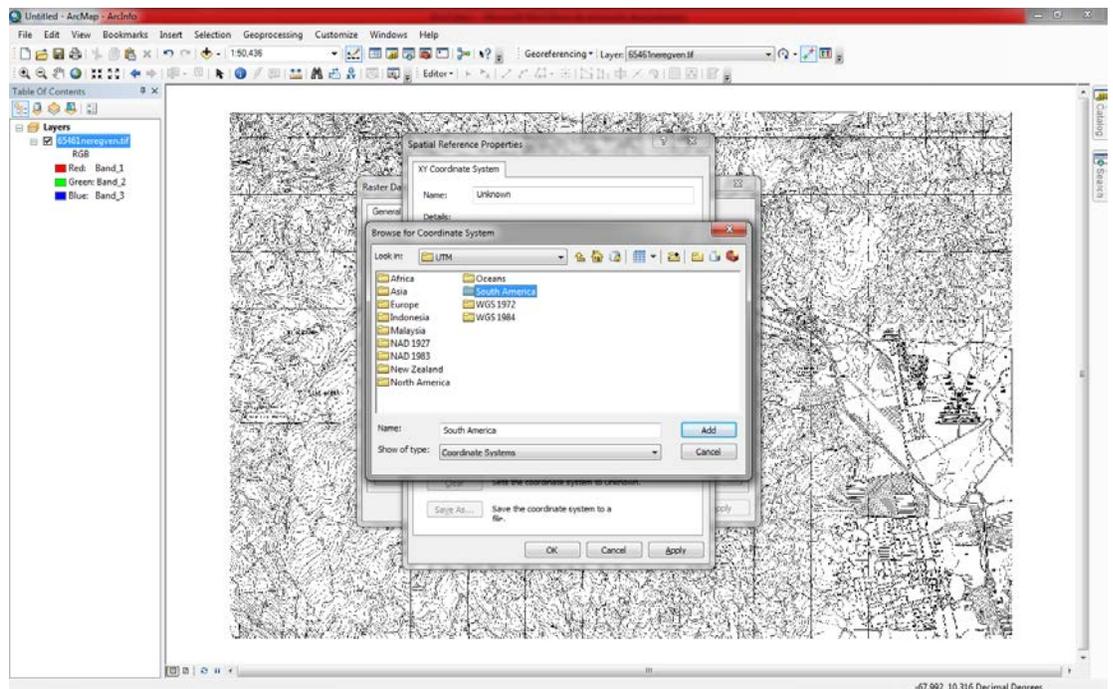


Figura 61. Selección del UTM South America

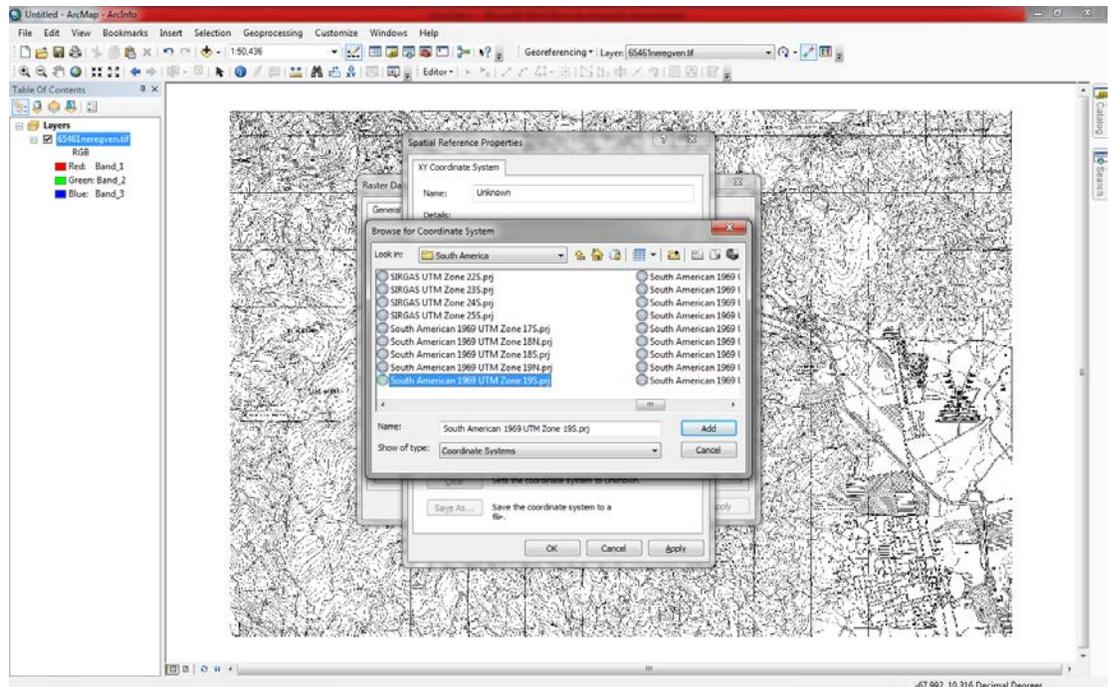


Figura 62. Selección de la zona 19S

- Se cierra el programa y se repite el proceso de la parte de georeferenciación para las 10 cartas a escala 1:25000 que comprenden la cuenca del Río Cabriales.

Creación del shapefiles para vectorizar la carta

- Abrir ArcCatalog.
- En CatalogTree - clic derecho sobre la carpeta en la cual se creará el Shapefile - New – Shapefile. Ver Figura 63.

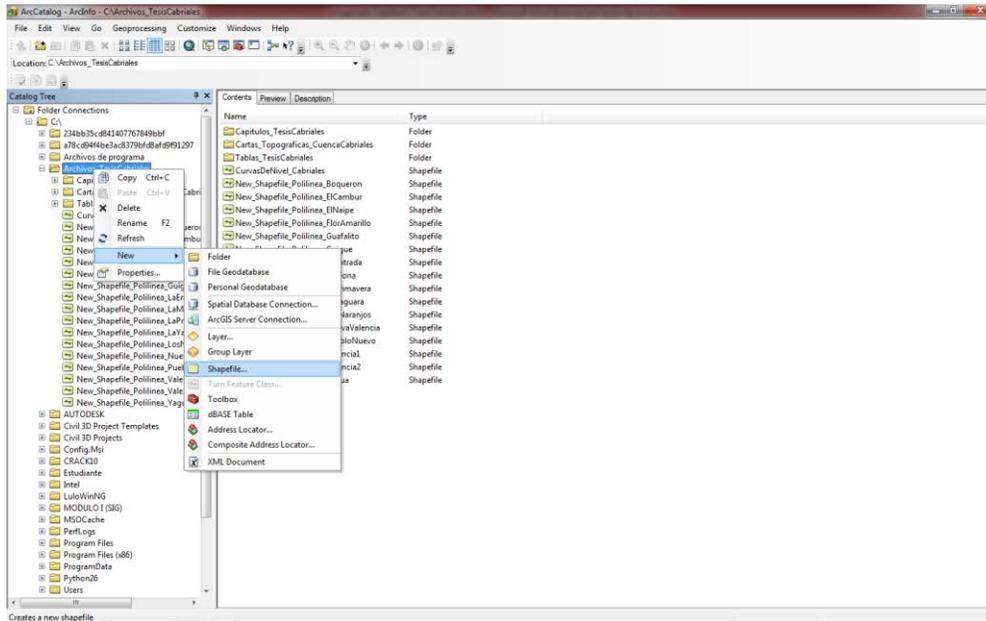


Figura 63. Creación de Shapefile.

- Feature Type - Polyline –seleccionar casilla coordinates will contain Z values –editar - ok. Figura 64.

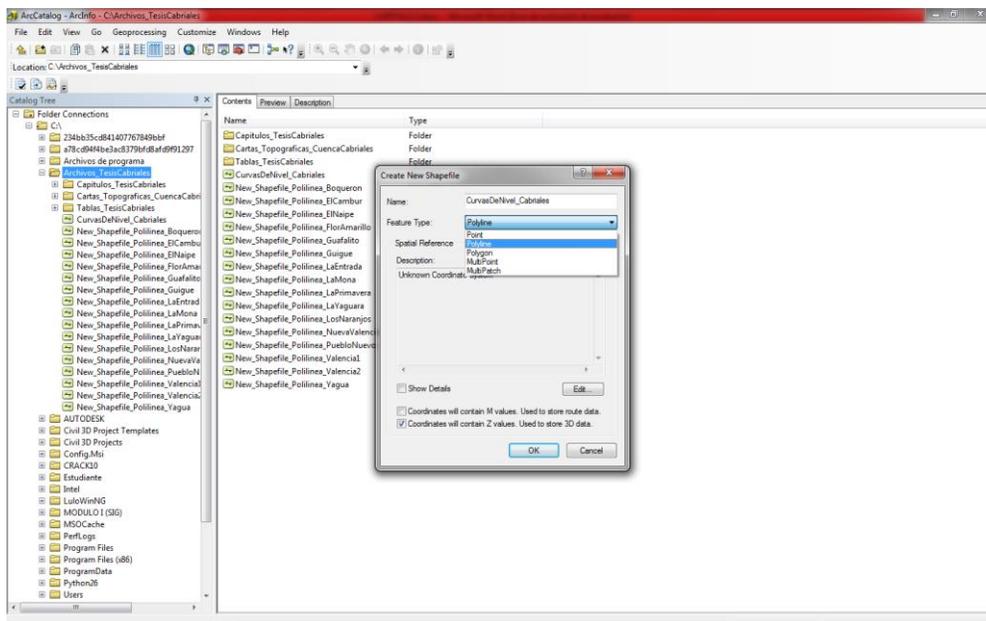


Figura 64. Continuación del Shapefile.

Nota: en la edición se asignó la zona siguiendo los mismos pasos que se utilizó en la georeferenciación antes mencionada.

- Se repitió el proceso anterior para las 10 cartas a escala 1:25000 que comprenden la cuenca del Río Cabriales.

Digitalización de las cartas topográficas

- Se abre nuevamente el ArcMap – botón save as – se creó un nuevo archivo denominado Digitalizacion_TesisCabriales – Save. Ver figura 65.

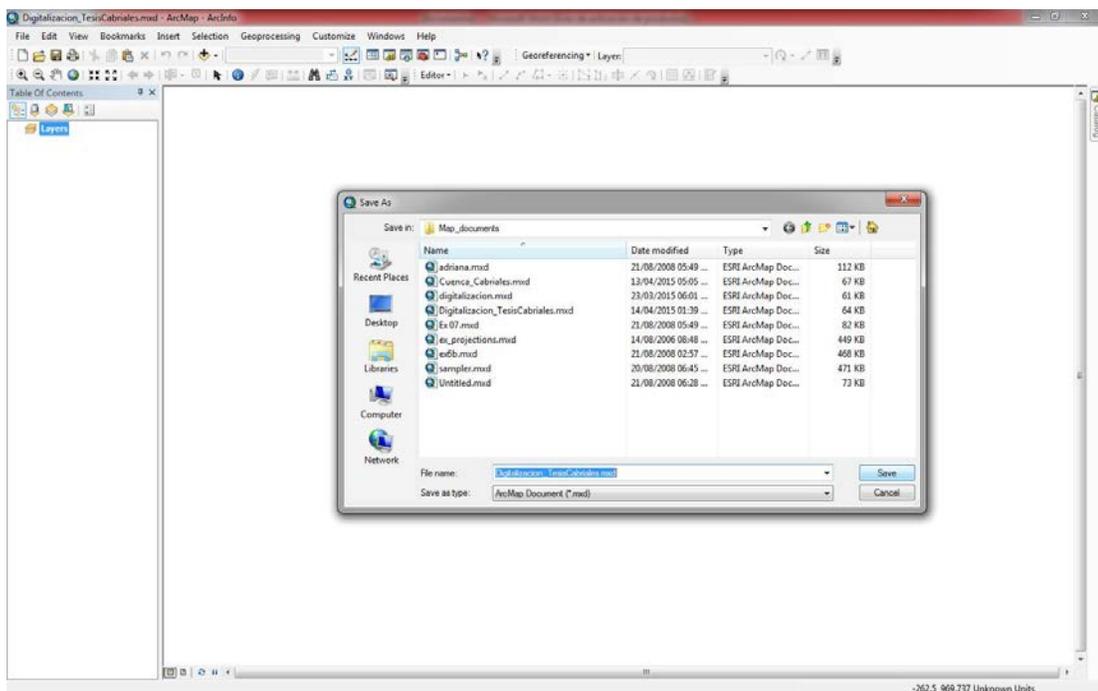


Figura 65. Creación de Archivo de digitalización.

- Se procede a: Add Data – se selecciona la carta a trabajar – Add. Figura 66.

Nota: Este procedimiento se repite para las 10 cartas.

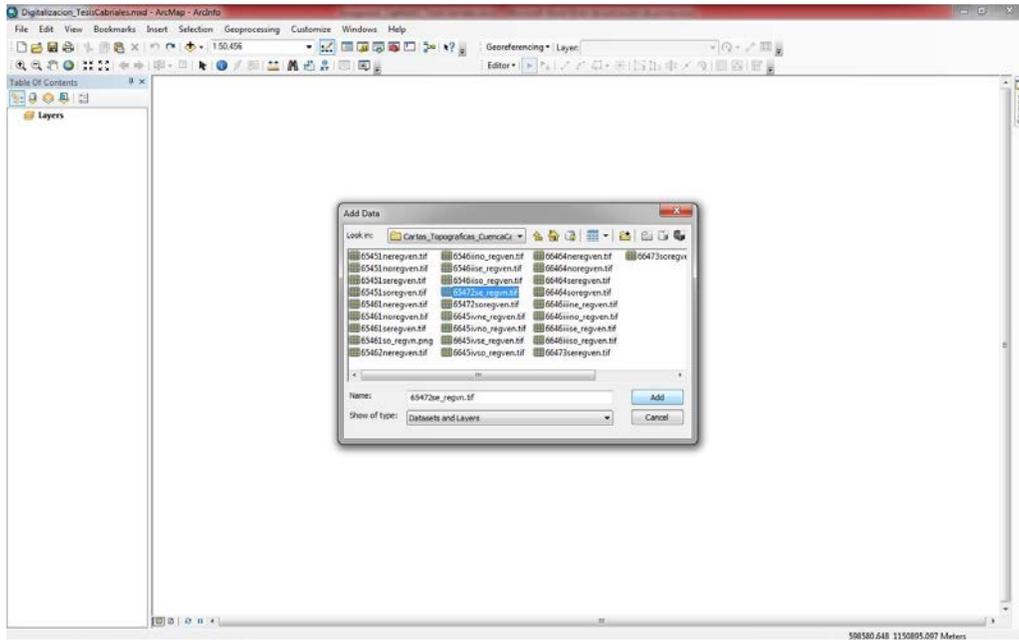


Figura 66. Se Añaden las Cartas.

- Se añade el shapefile mediante la herramienta add data. Ver Figura 67.

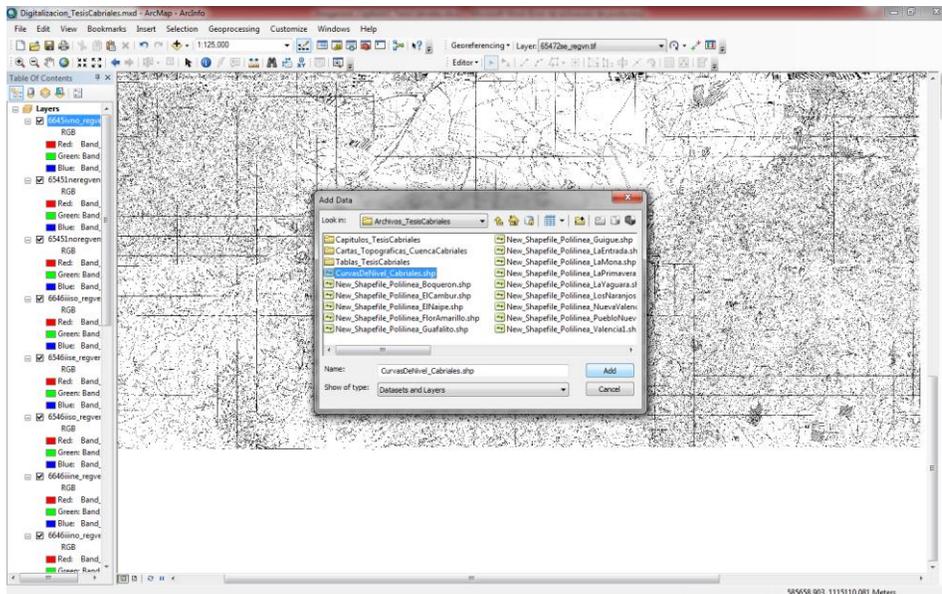


Figura 67. Se Añade el Shapefile.

- Se comienza la edición con el editor en startediting el cual se muestra en la figura siguiente:

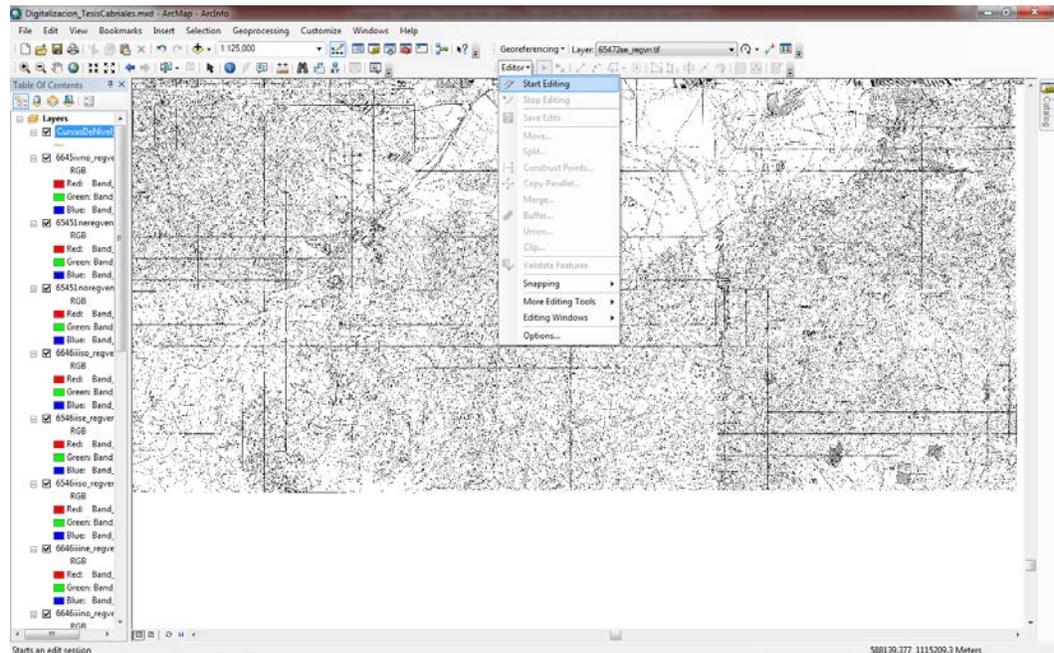


Figura 68. Edición

Se abre una ventana a la derecha que se llama createfeatures – luego se procede a seleccionar el shapefile de curvas de nivel – posterior a eso en la ventana de construction tools, se selecciona lines y se intenta el primer trazado, al finalizar éste se le dio a finish sketch para dejar de dibujar, sino cierra la curva le podemos dar edit vértice y juntamos los vértices Esto se muestra en las siguientes Figuras.

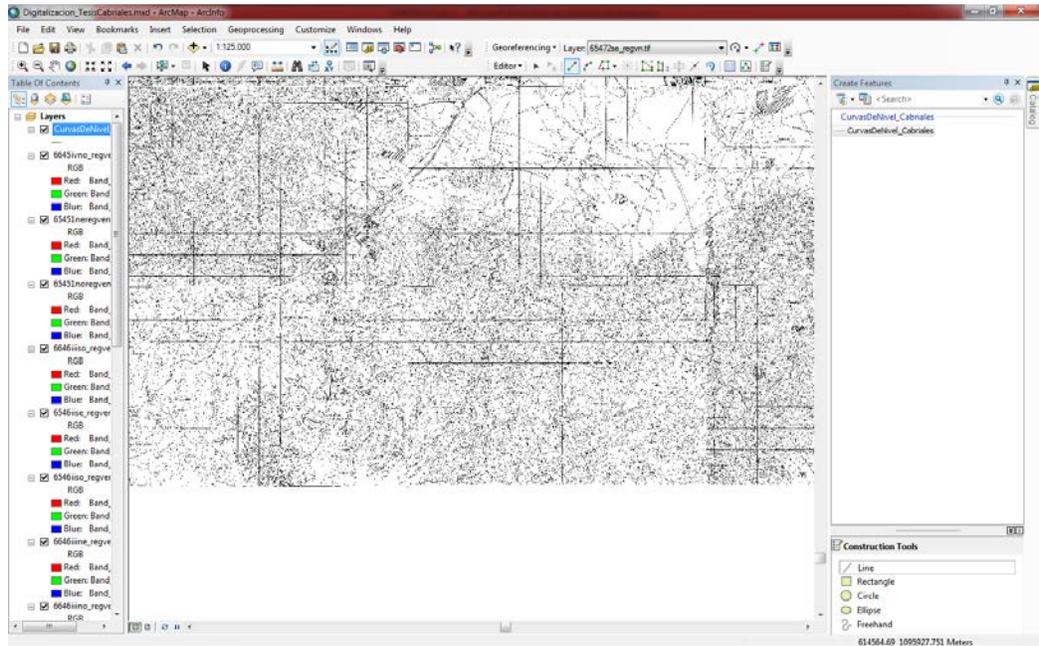


Figura 69. Ventana del Comando.

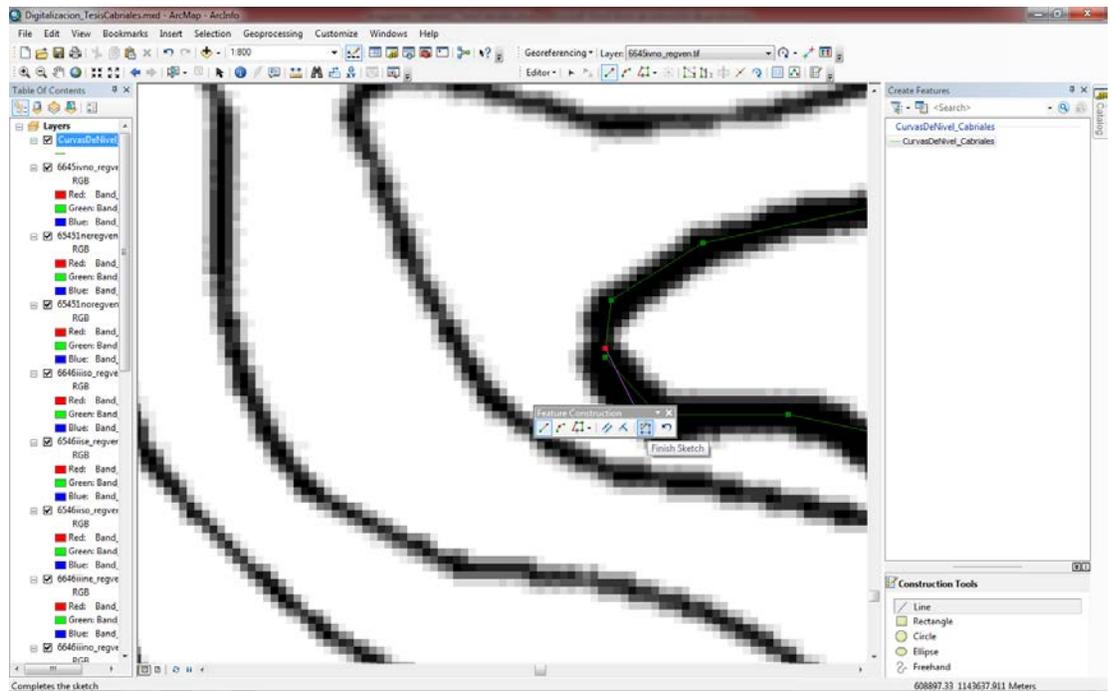


Figura 70. Trazado de la Primera curva.

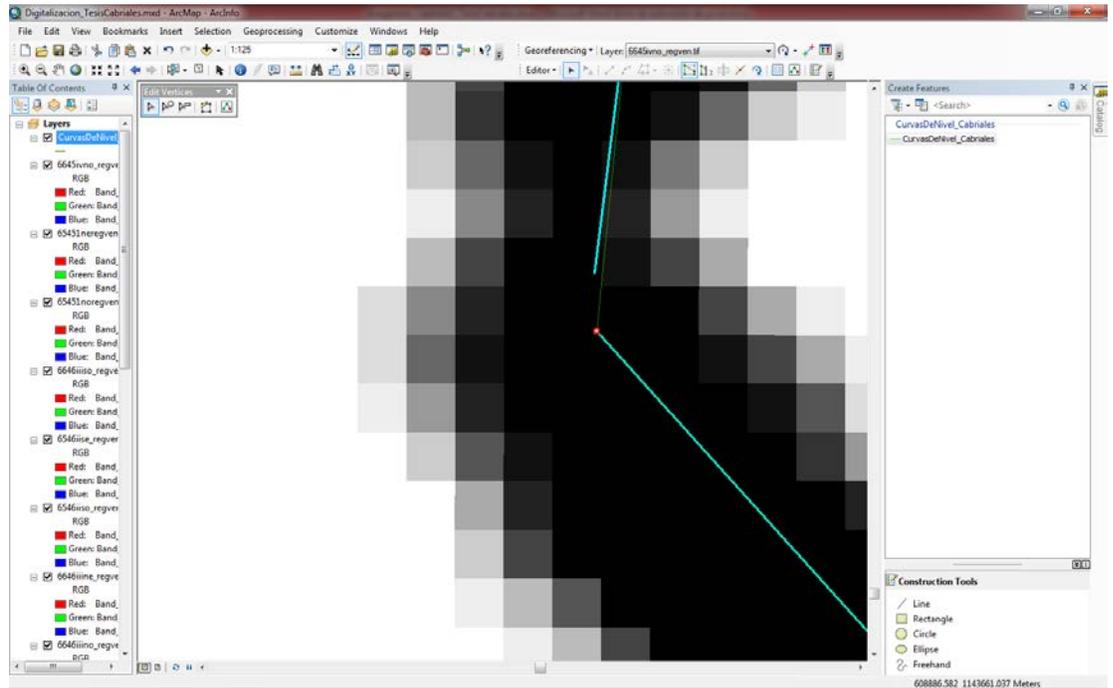


Figura 71. Edicion de Vertice.

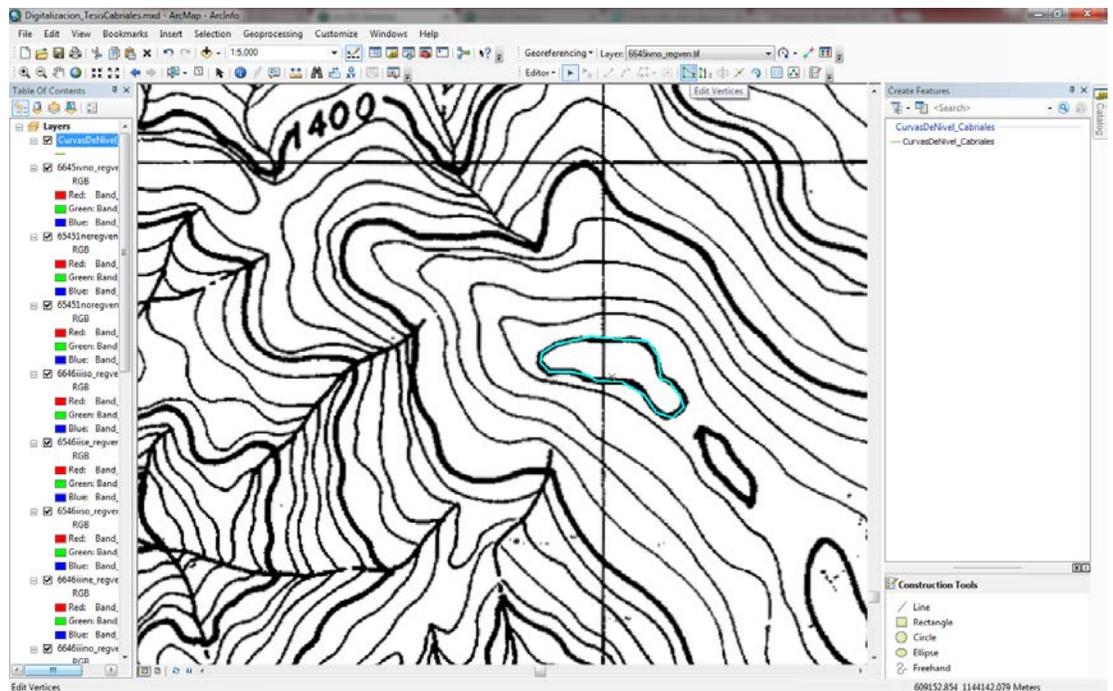


Figura 72. Resultado Final.

- Finalmente se asignan los valores de elevación de la curva utilizando el comando sketch properties. Para esto se seleccionan todos los vértices correspondientes, se le da a set Z value y se introducen los valores de Z que aparecen en las cartas.

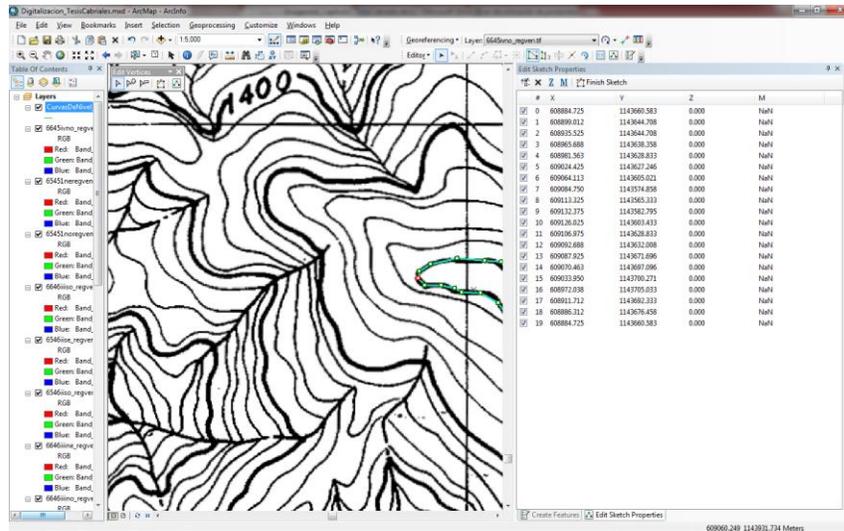


Figura 73. Tabla de Vertices.

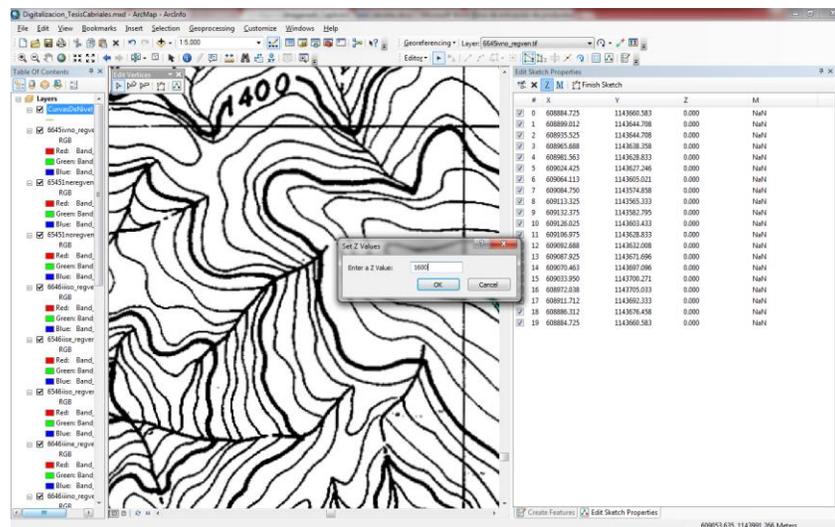


Figura 74. Valores de Z.

Activación de extensiones para continuar la digitalización

- Para activar las extensiones de los módulos de ArcGis 10, desde el menú Customize se seleccionó la opción Extensions., al seleccionarla se despliega un cuadro de diálogo, donde se encuentran los módulos disponibles en ArcGis 10 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 observa que el puntero cambió de flecha a una tilde previo a ejecutar el click como se indica en la Figura 75.

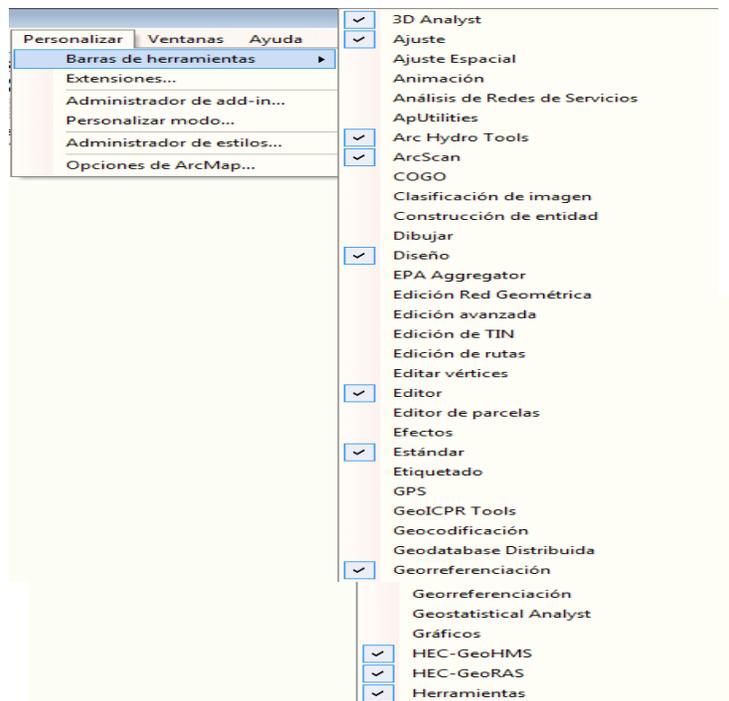


Figura 75. Selección de extensiones.

- Una vez hechas las selecciones aparecen en la pantalla una serie de barras de herramientas correspondientes a cada extensión tal como se muestra en la Figura 76.

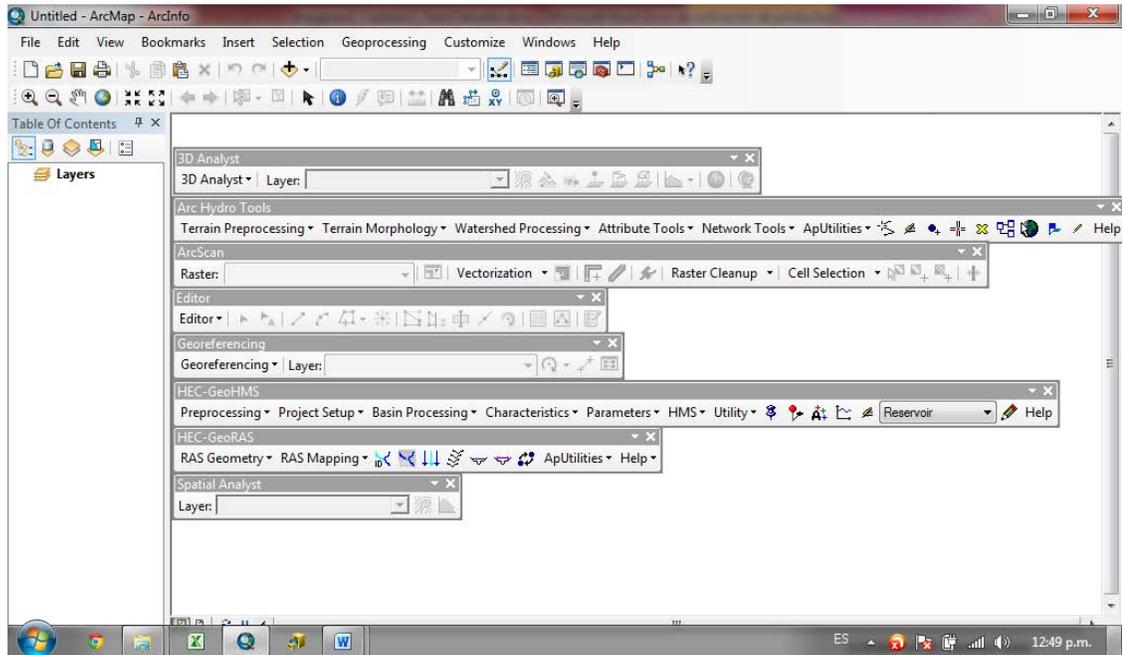


Figura 76. Barras de Herramientas de las Extensiones.

- Se verifica que todas las extensiones estén activas en el ArcMap, para ellos se da click en customize - extensions como se visualiza en la Figura.

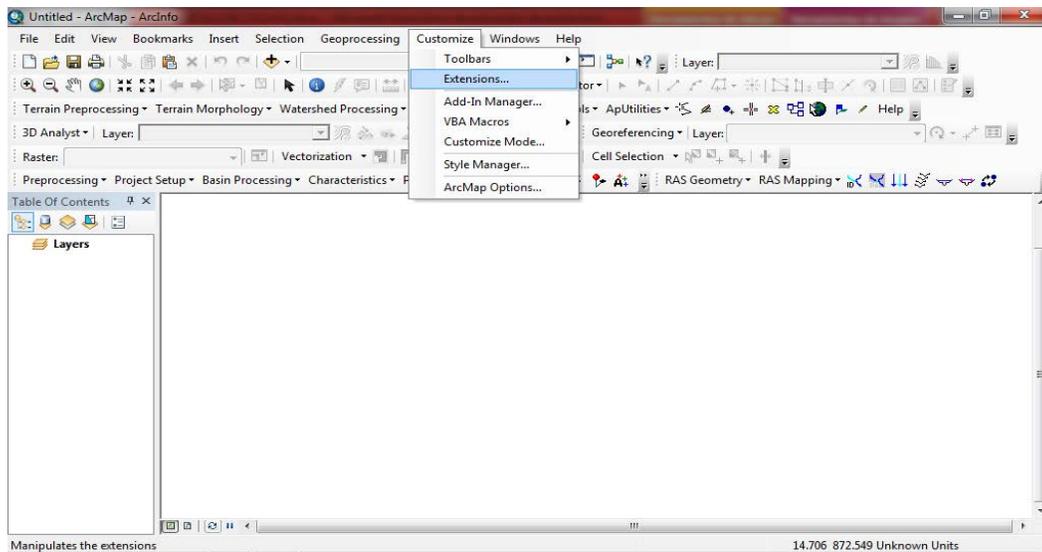


Figura 77. Activación de las Extensiones.

- Se despliega una ventana donde se verifica que todos los checklist estén marcados, como se observa en la siguiente Figura.

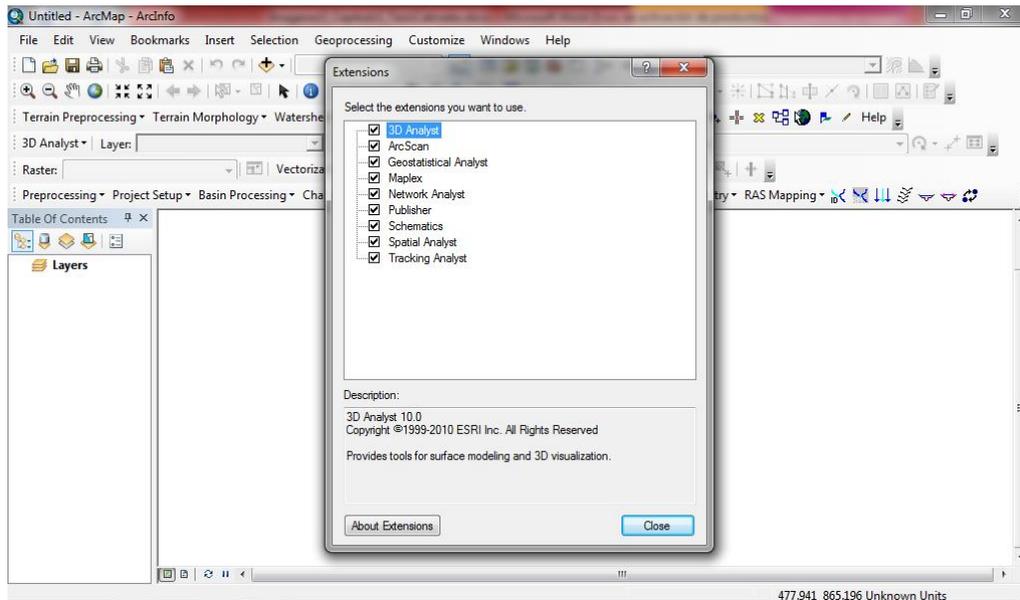


Figura 78. Activación de Checklist.

- Se abre el proyecto el cual fue digitalizado previamente.

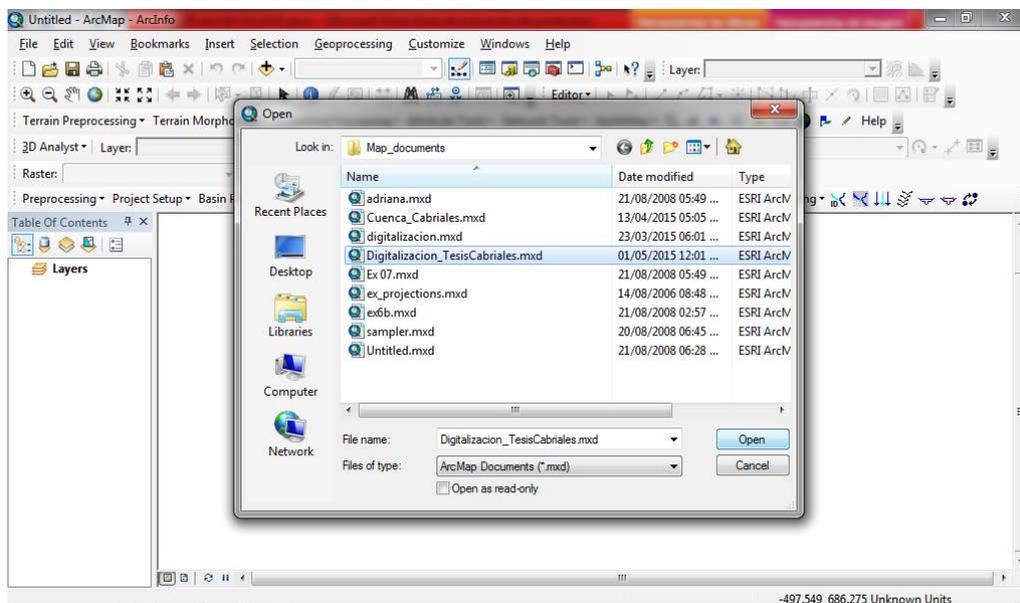


Figura 79. Proyecto digitalizado.

Uso de la herramienta ArcScan

- Posteriormente se modelan las elevaciones hidrológicas de la cuenca utilizando Topo to Raster, seleccionando la pestaña SpatialAnalyst Tools luego Interpolación y finalmente Topo to raster. Ver figura 80.

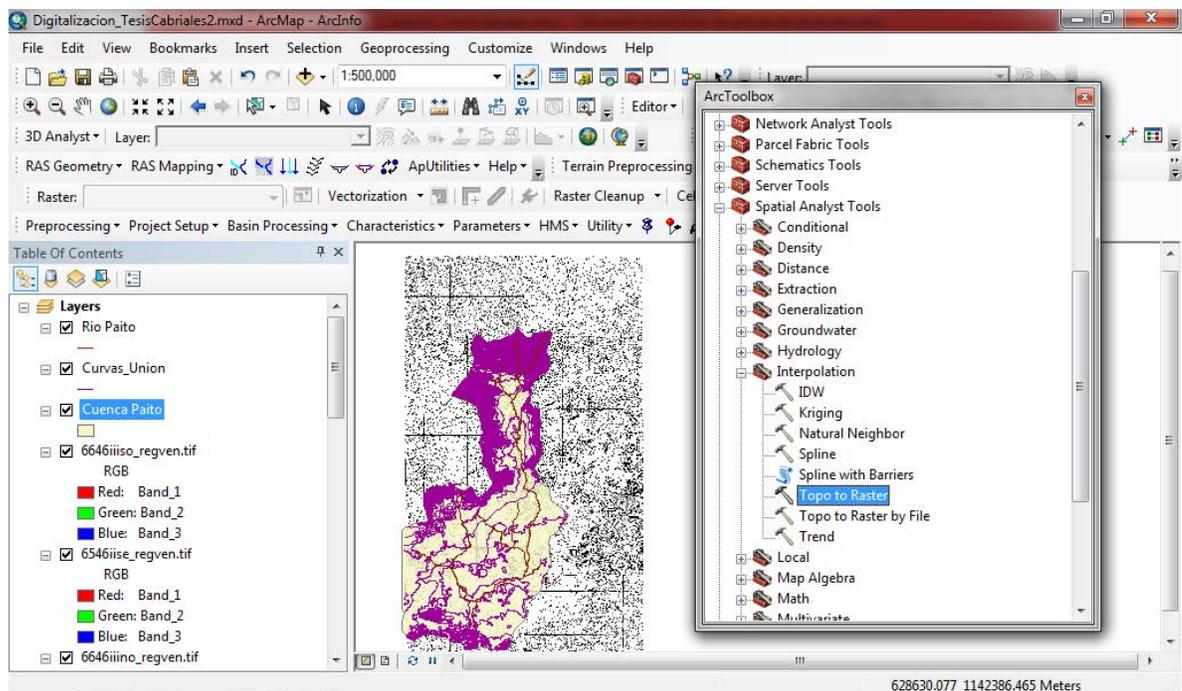


Figura 80. Interpolación de curvas de nivel

- Se abre una ventana donde se le agrega los inputs correspondientes, a las curvas de nivel se le asigna contourn, al límite de la cuenca boundary y al rio stream, como se observa en la siguiente Figura

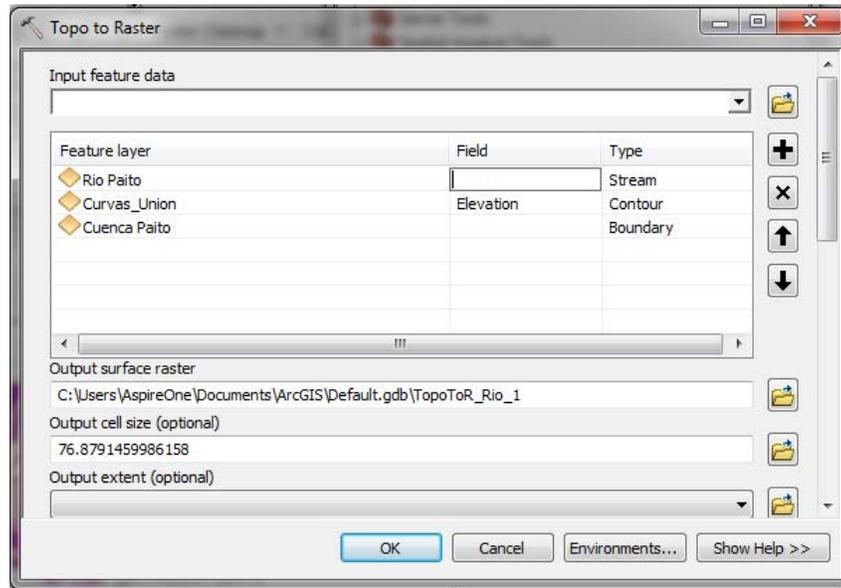


Figura 81. Ventana de Topo to Raster.

- Se le da ok y se crea el siguiente raster

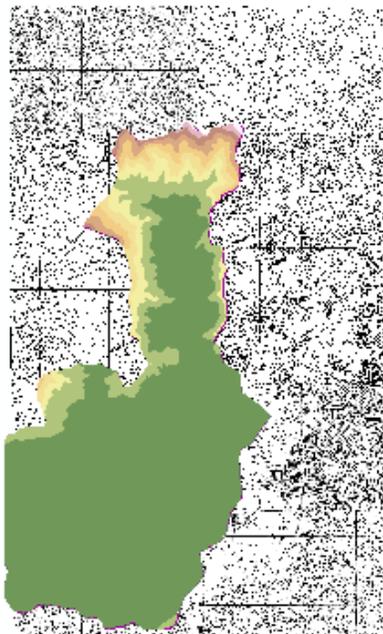


Figura 82. Raster generado.

- Luego se emplea la herramienta FillSinks de la barra de herramientas de ArcHydro Tools para corregir posibles anomalías en el modelo ráster generado en la interpolación. Se le asignó a la capa de salida el nombre de Fil. Como se ve en las siguientes Figuras.

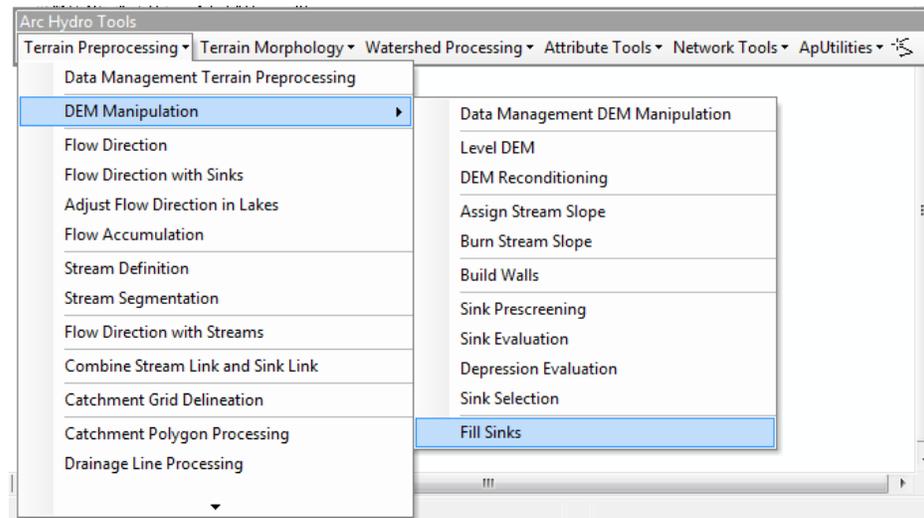


Figura 83. Herramienta de Fill Sinks.

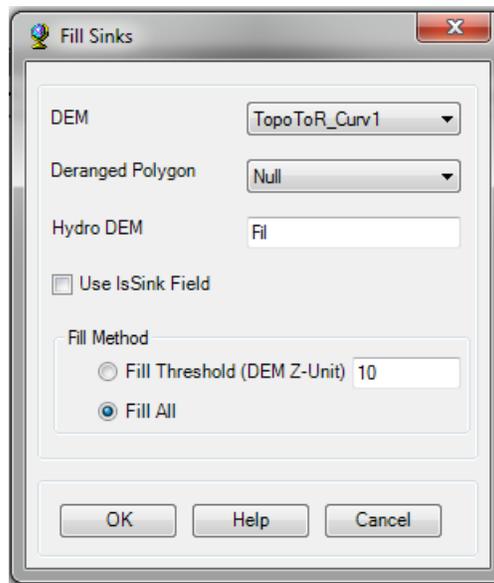


Figura 84. Ventana de Fill Sinks.

- Se obtiene el siguiente grid

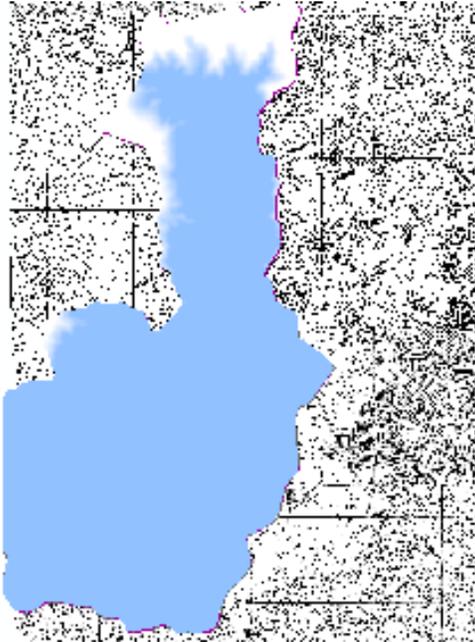


Figura 85. Grid de Fill.

Crear una Triangulación de Redes Irregulares (Triangular Irregular Networks – TIN)

- Se creó un Triangular Irregular Networks – TIN, en base al Grid generado anteriormente; Con la herramienta ArcToolbox - se selecciona la pestaña 3D Analyst Tools, luego la pestaña fromraster de la ficha Conversión y por ultimo Raster to TIN. Ver Figura 86.

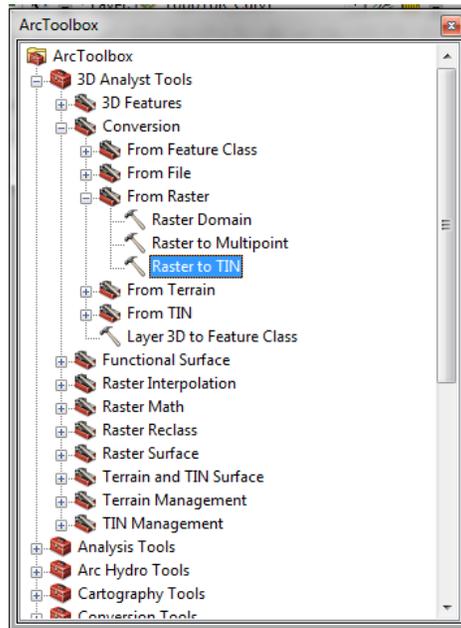


Figura 86. Ruta del Raster to Tin.

- Se despliega una ventana donde se le asigna el nombre y la carpeta del directorio destino del TIN generado. En el campo de Tolerancia Z se modifica el valor a 20 unidades de mapa, ya que es el valor del espaciamiento en altura de las curvas de nivel digitalizadas.

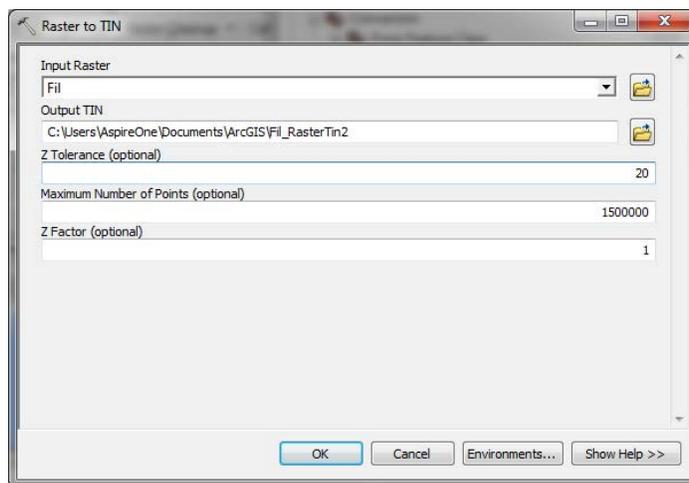


Figura 87. Ventana de Raster to Tin.

El resultado de la creación del TIN se muestra en la Figura

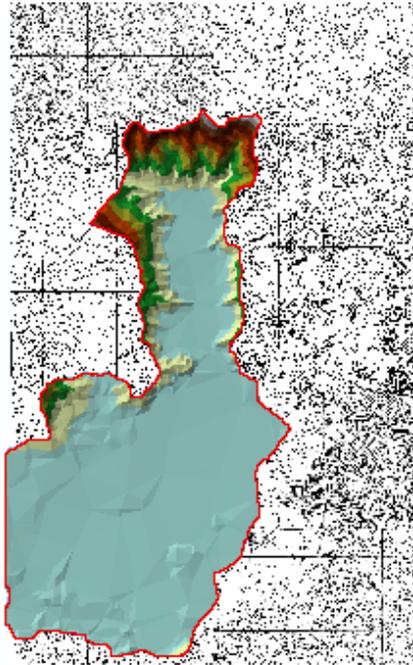


Figura 88. Tin generado.

Convertir un TIN a un Archivo Raster (ConvertTin to Raster)

- El siguiente paso es generar un archivo rasterizado del TIN, desde 3D Analyst Tools, se selecciona Convertir y en la lista desplegable se selecciona TIN to Raster.

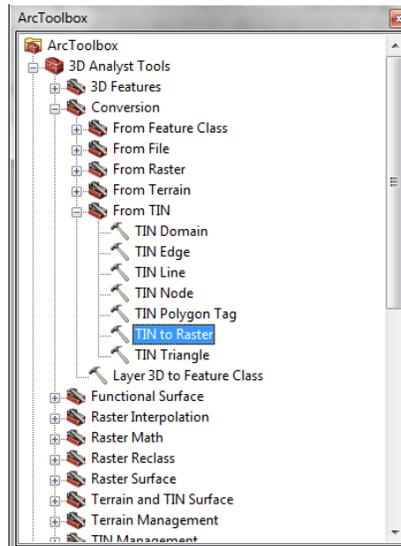


Figura 89. Herramienta del Tin to Raster.

- Se abre la siguiente pestaña y se pulsa Aceptar, se generan los resultados (Ver Figura 90 y 91).

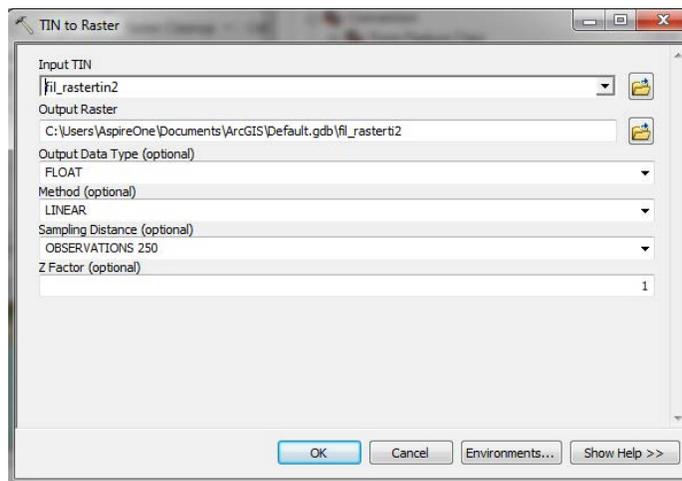


Figura 90. Ventana del Tin to Raster.

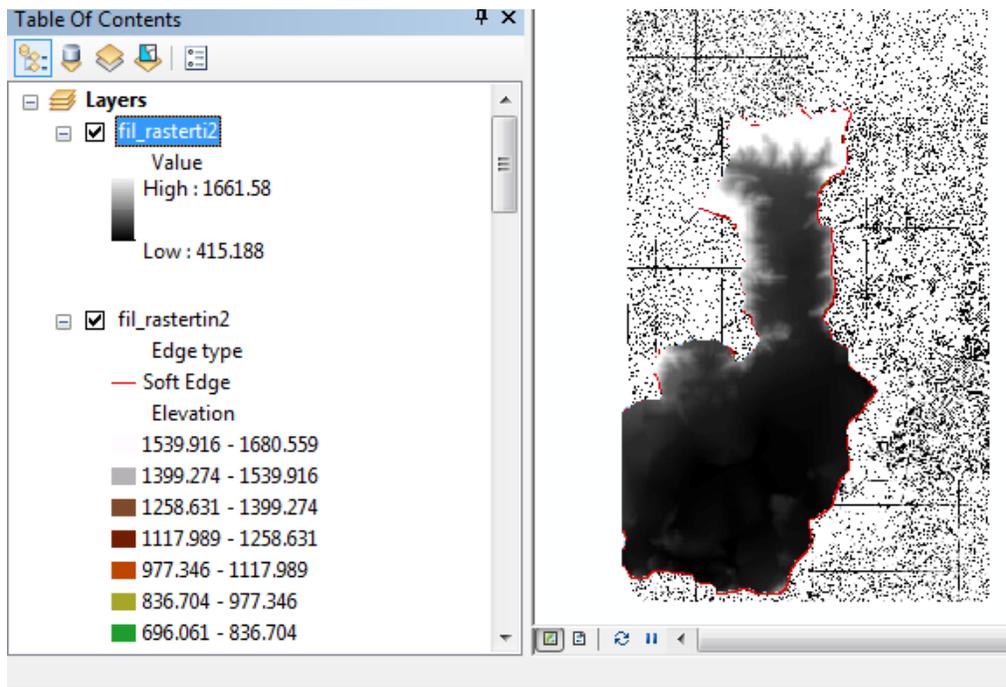


Figura 91. Modelo de elevaciones digital.

Procesamiento con Hec-GeoHMS

Llenado de Depresiones (fillsinks)

- En la barra de herramientas de Arc Hydro Tools se despliega la pestaña del menú Terrain Preprocessing, luego DEM Manipulation y por último Fill Sinks.

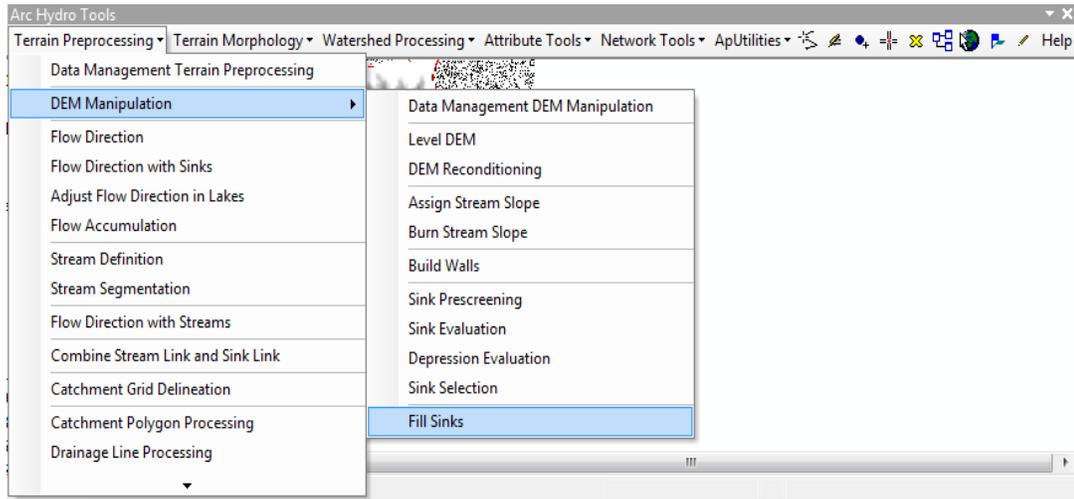


Figura 92. Herramienta Fill Sinks.

- De ahí se despliega una ventana donde en la opción DEM se coloca el fil creado anteriormente y en Hydro DEM se coloca el nombre de fil_2, se le da a ok.

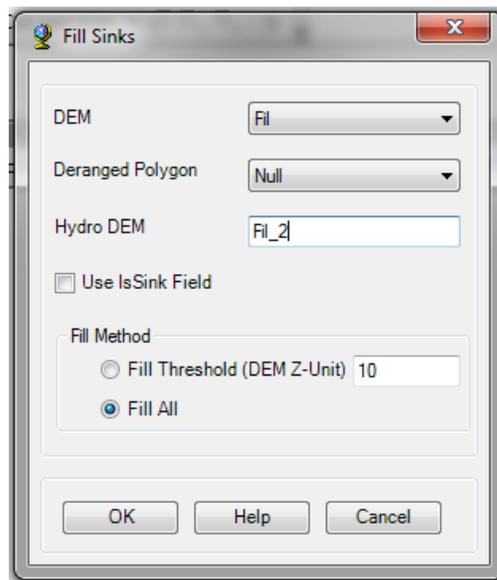


Figura 93. Ventana de Fill Sinks.

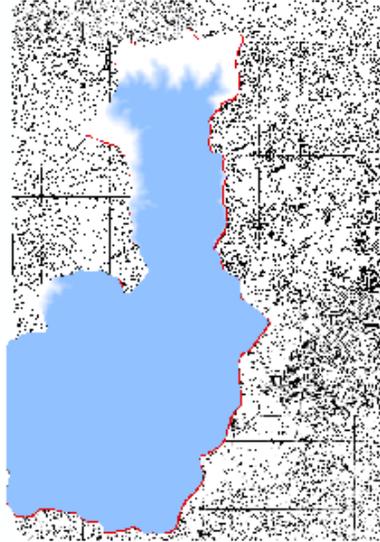


Figura 94. Resultado del segundo fil

Para la dirección de flujo se realiza lo siguiente:

- En Arc Hydro Tool se busca la opción de Terrain Preprocessing y al desplegarse el menú se selecciona Flow Direccion, como se muestra en la figura 85. Se abre una ventana, donde se autoselecciona el fil_2 y se deja el nombre del Flow Direction Grid por defecto. Se recomienda dejar las capas siempre encendidas para que ocurra esta autoselección.

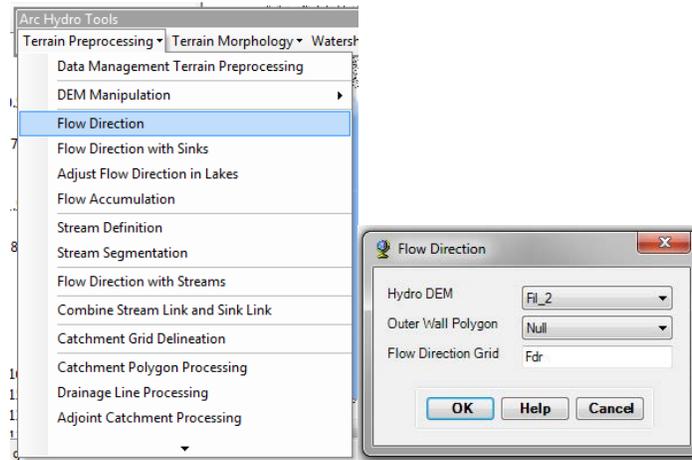


Figura 95. Herramienta Flow Direction.

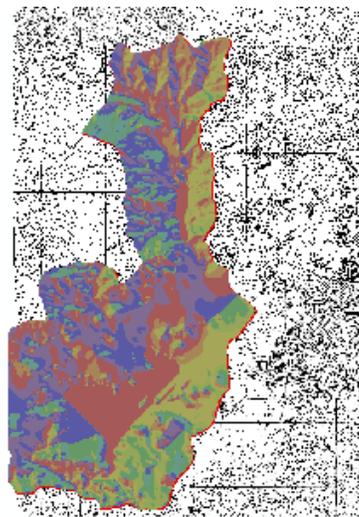


Figura 96. Resultado de Flow Direction.

Acumulación del flujo (Flow Accumulation)

- Se selecciona el Terrain Preprocessing y luego Flow Accumulation. Se despliega una ventana en la que se autoselecciona el fdr y se deja el nombre por defecto fac.

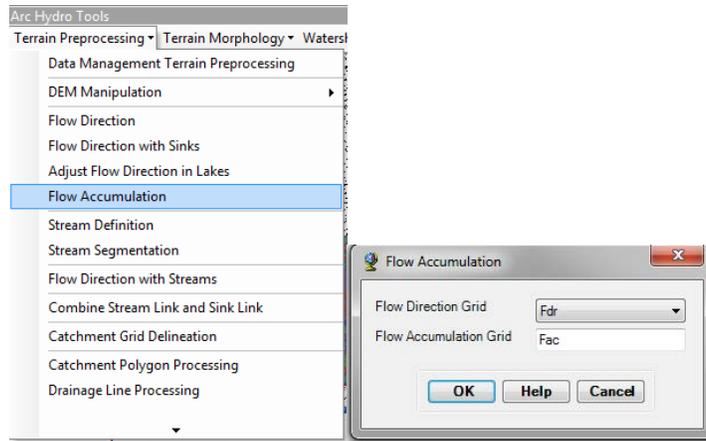


Figura 97. Herramienta Flow Accumulation.

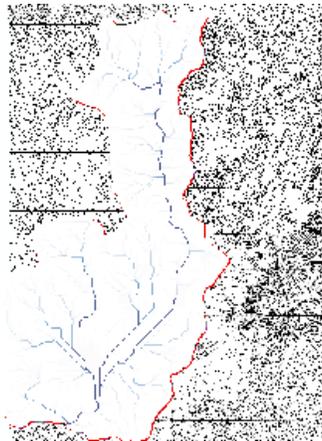


Figura 98. Resultado de Flow Accumulation.

Definición de Corrientes (Stream Definition)

- Se seleccionó el Terrain Preprocessing y luego Stream Definition. Se despliega una ventana donde se autoselecciona el fac, y se eleva el valor del number of cells, modificar este valor solo va a variar la resolución de la imagen, mientras este valor sea mayor, menor será la subdivisión de la

subcuencas de la cuenca, en este caso el number of cells que se debio usar fue de 5500, y se deja en streamgrid el nombre por defecto.

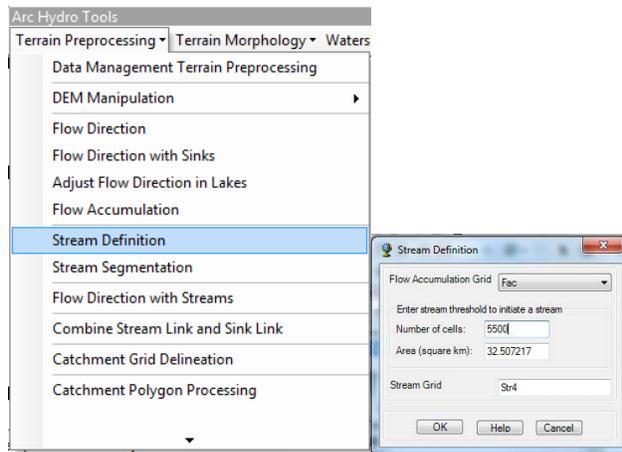


Figura 99. Herramienta Stream Definition.

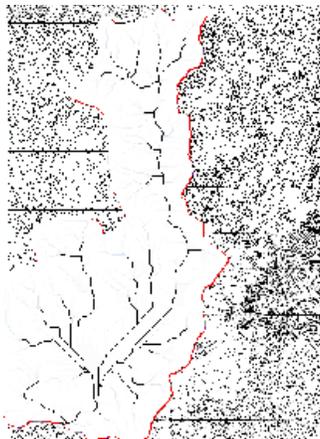


Figura 100. Resultado de Stream Definition.

Segmentación de Corrientes (Stream Segmentation)

- Para ello, se selecciona el menú desplegable Terrain Preprocessing y luego Stream Segmentation.

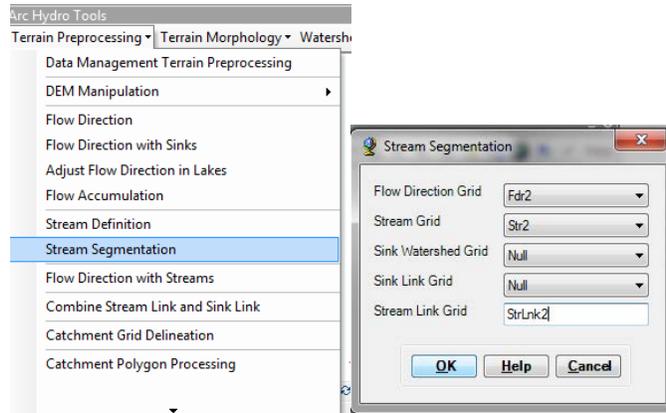


Figura 101. Herramienta Stream Segmentation.

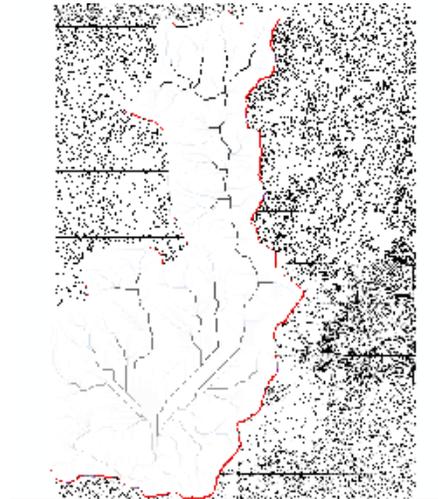


Figura 102. Resultado de Stream Segmentation

Delimitación de subcuencas (Catchment Grid Delineation)

- Se seleccionó el menú Terrain Preprocessing y luego Catchment Grid Delineation (ver Figura. 103). Se comprobó que la dirección del flujo sea “Fdr” y la segmentación de corriente “StrLnk” calculados anteriormente y se dejó por defecto el nombre del archivo de delimitación de subcuencas “Cat” por último se pulsó OK.

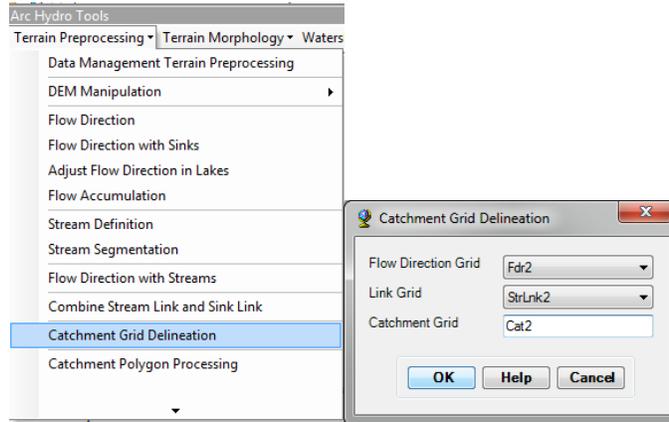


Figura 103. Herramienta Catchment Grid Delineation.

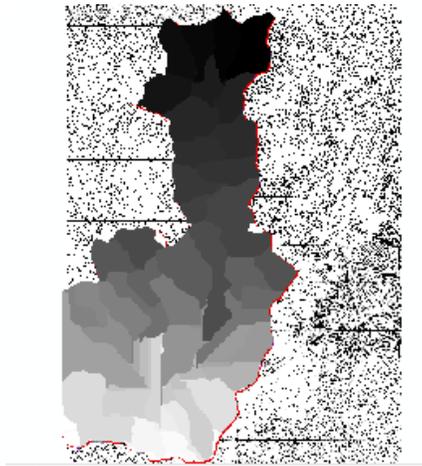


Figura 104. Resultado de Catchment Grid Delineation.

Procesamiento de los Polígonos de la Cuenca (Catchment Polygon Processing)

- Con este paso se convirtieron las subcuencas en la representación Grid a una representación vectorial. Para ello, Se seleccionó el menú Terrain Preprocessing y luego Catchment Polygon Processing. Se verificó que el archivo correspondiente a la entrada “Catchment Grid” fuese “Cat” y se dejó por

defecto el nombre a la delimitación de subcuencas vectorizada: "Catchment", finalmente se pulso OK.

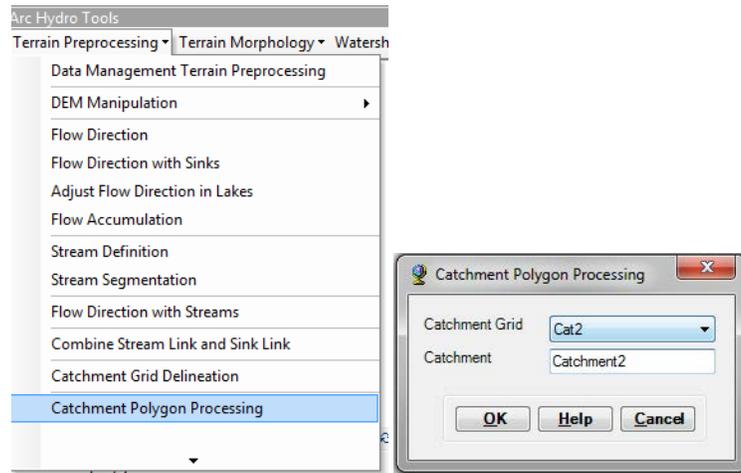


Figura 105. Herramienta Catchment Polygon Processing.

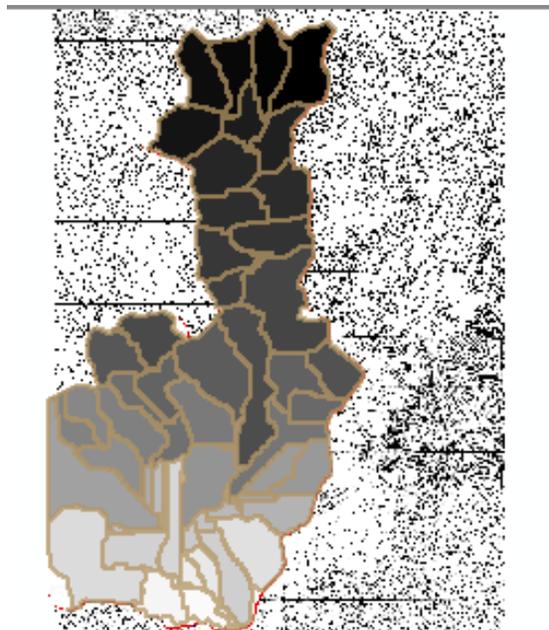


Figura 106. Resultado de Catchment Polygon Processing.

Procesamiento de los Segmentos de Corrientes (Drainage Line Processing)

- Con este paso se convirtieron las corrientes de una representación GRID a una representación vectorial. Se seleccionó el Terrain Preprocessing y luego Drainage Line Processing. Se verificó que el campo de la segmentación de corrientes fuera "StrLnk" y la dirección de flujo "Fdr" se dejó el nombre por defecto "DrainageLine" a los segmentos de corrientes vectorizados y finalmente Se pulsó OK.

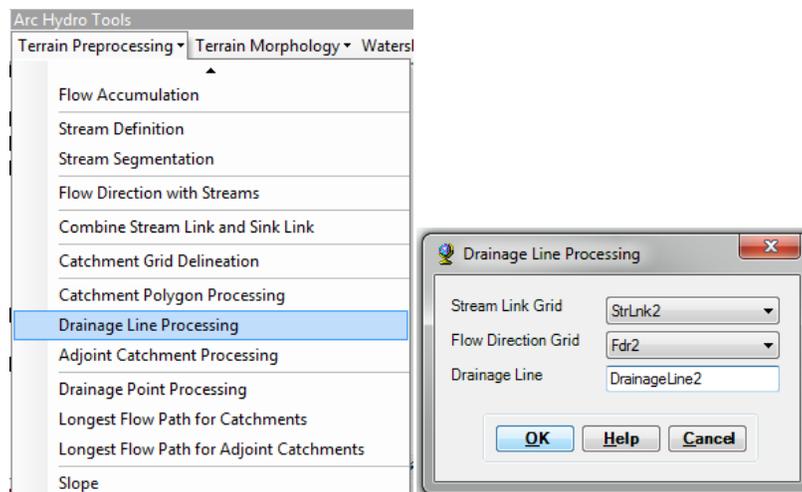


Figura 107. Herramienta Drainage Line Processing.

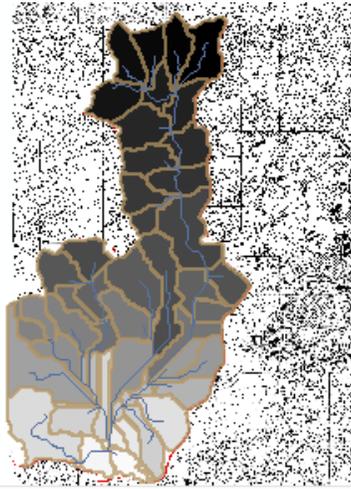


Figura 108. Resultado de Drainage Line Processing.

Agregación de Microcuencas (Adjoint Catchment Processing)

- Este paso no tiene significado hidrológico. Para ello se selecciona desde el menú Terrain Preprocessing la opción Adjoint Catchment Processing. En el recuadro se confirmó que la entrada de la línea de drenaje es “DrainageLine” y la de la vectorización de los polígonos de la subcuenca como “Catchment” como se muestra en la figura. Por último se pulso OK.

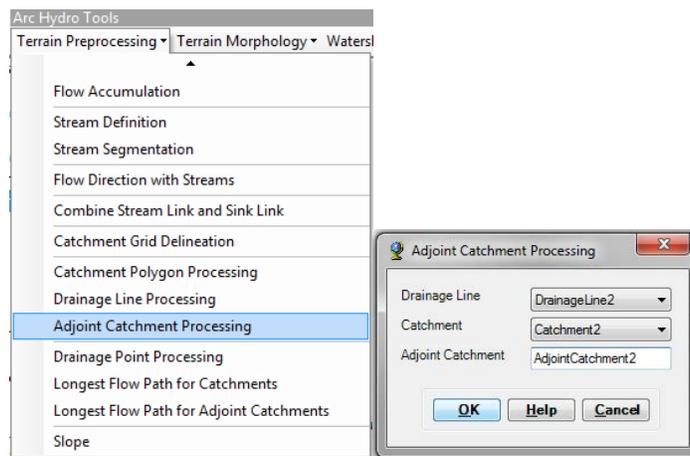


Figura 109. Herramienta Adjoint Catchment Processing

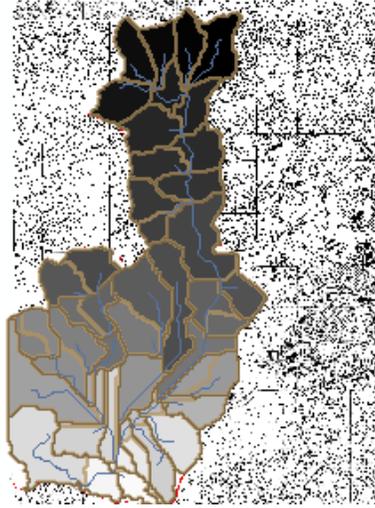


Figura 110. Resultado de Adjoint Catchment Processing.

Pendiente (Slope)

- Esta función permite generar una cuadrícula de pendiente para un DEM dado. Seleccionar Terrain Preprocessing, seguidamente de "Slope. Por último se pulsa OK.

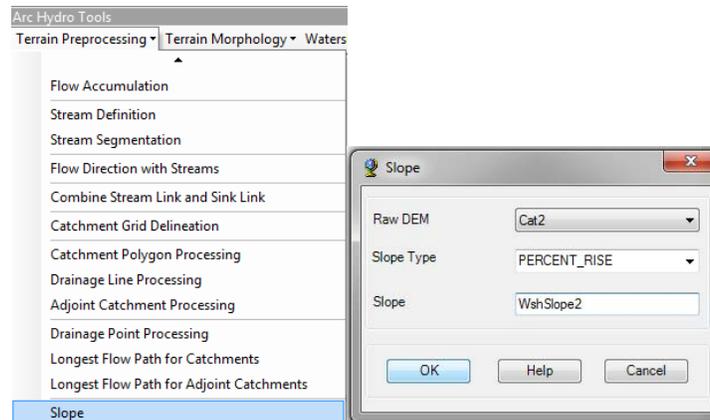


Figura 111. Herramienta Slope.

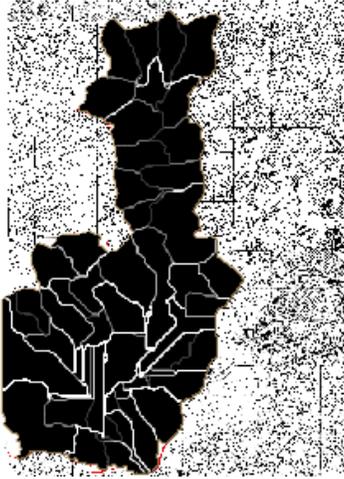


Figura 112. Resultado de Slope.

Arranque de proyectos en HMS (hms project setup)

- Para la extracción de datos generados por el ArcGIS se debe utilizar la herramienta HEC-GEOHMS, para así generar la información necesaria para crear un proyecto de HEC-HMS. Se debe definir un punto de control en la salida de la cuenca para el proyecto de HEC-HMS. Después de definir la salida, HEC-GeoHMS va a extraer los datos de las capas generadas en el Preprocesamiento del terreno.

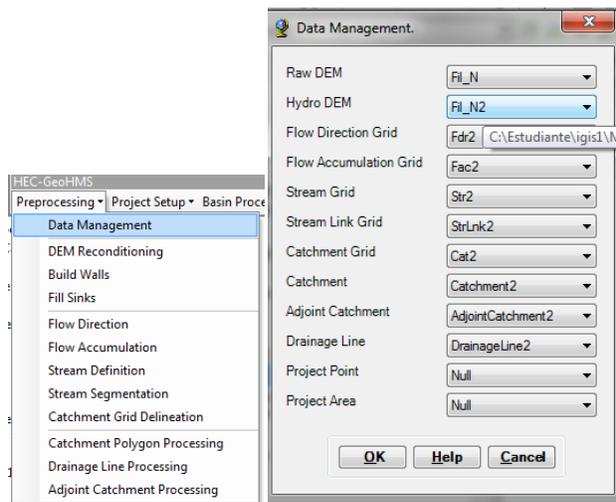


Figura 113. Herramienta Data Management

Inicio de un nuevo proyecto (Start New Project)

- Se selecciona, HMS Project Setup y por ultimo Start New Project.
- Se ingresa el nombre de las capas que contiene el área del proyecto (Project Area) y el punto de descarga de la cuenca (Project Point) del nuevo proyecto.

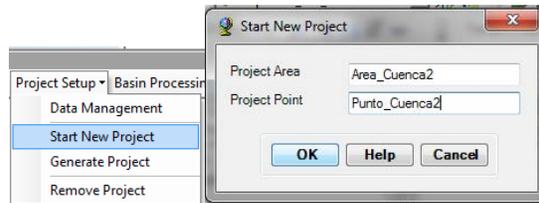


Figura 114. Ventana de Start New Project

- Se abre la ventana para definir el nombre del proyecto, una descripción breve del mismo y se le dio a Ok.

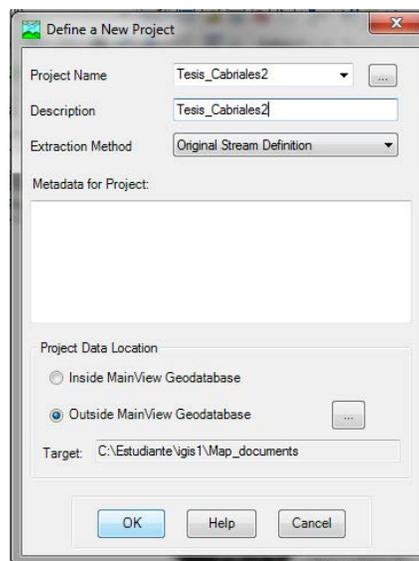


Figura 115. Ventana Define a New Project

- Se abre una nueva ventana donde nos indica que se genera con éxito el proyecto y nos indica los siguientes pasos a proceder.

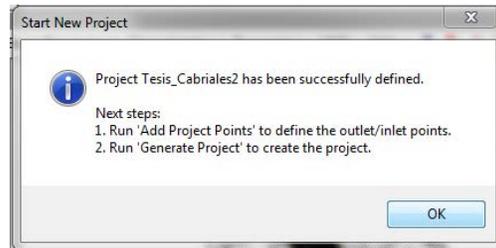


Figura 116. Proyecto generado con éxito.

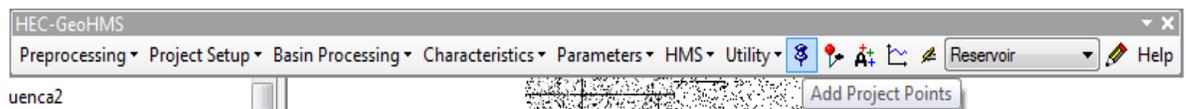


Figura 117. R punto del proyecto.

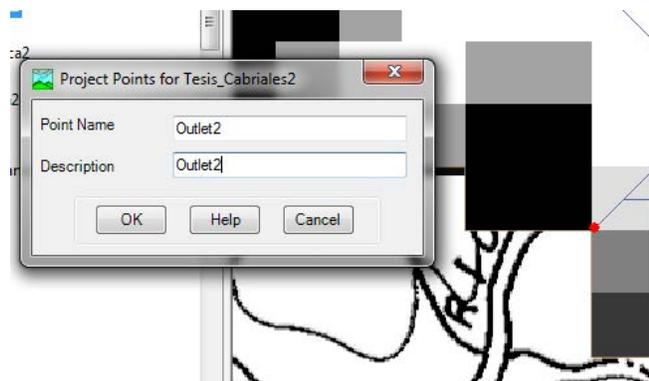


Figura 118. Punto ubicado en la salida de la cuenca.

Generación del proyecto (Generate Project)

- Se selecciona Project Setup y luego Generate Project. Se despliega una ventana donde se pregunta si se quiere crear un proyecto para el área seleccionada, a lo que se responde Yes. Se despliega otra ventana de Generate Project pero en ésta identificamos que todos los parámetros generados por el preprocesamiento estén de forma correcta; el programa por

defecto le pondrá nombre a la cuenca, al punto del proyecto y al río; le damos a Ok y se genera el proyecto.

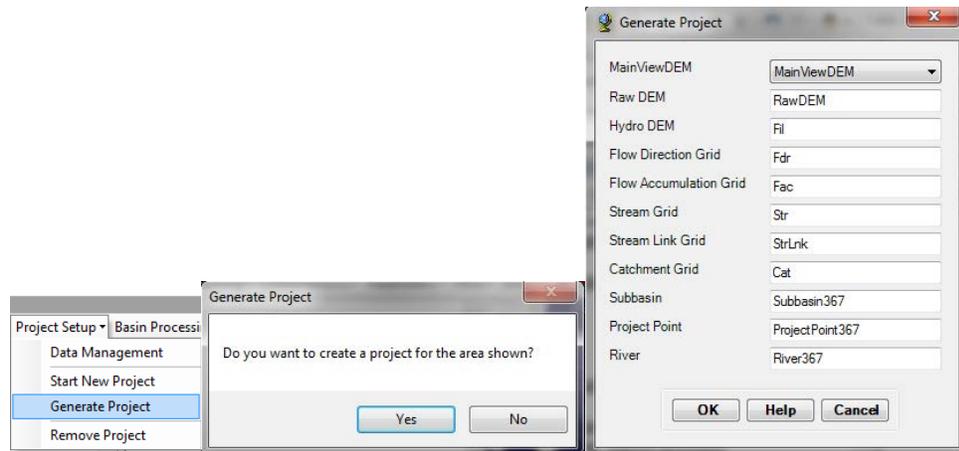


Figura 119. Generate Project.

Características de la Cuenca (Basin Characteristics)

En esta sección se determinan las características físicas de las subcuencas, las cuales son utilizadas posteriormente para determinar los parámetros hidrológicos útiles para la modelación hidrológica

Longitud de ríos (River Length)

Este procedimiento calcula la longitud para un segmento seleccionado o para todos los segmentos en la capa de ríos.

- Se selecciona Basin Characteristics y luego River Length lo que activa el editor de Cálculo de longitudes de ríos. Se presionó Ok.

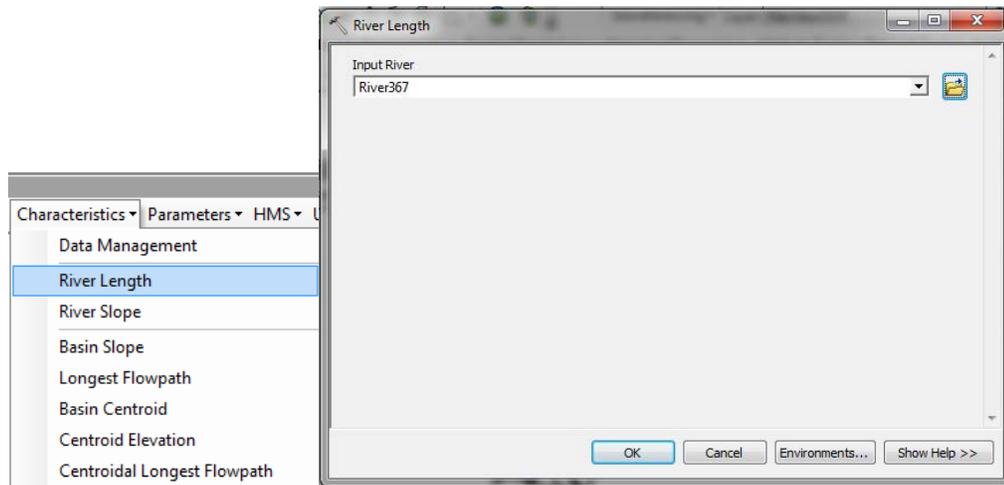


Figura 120. River Length

Pendiente de ríos (River Slope)

Con este paso, se determina la diferencia de elevación entre los tramos de ríos aguas arriba y aguas abajo y con ello calcula las pendientes.

- Se selecciona Basin Characteristics y luego River Slope.

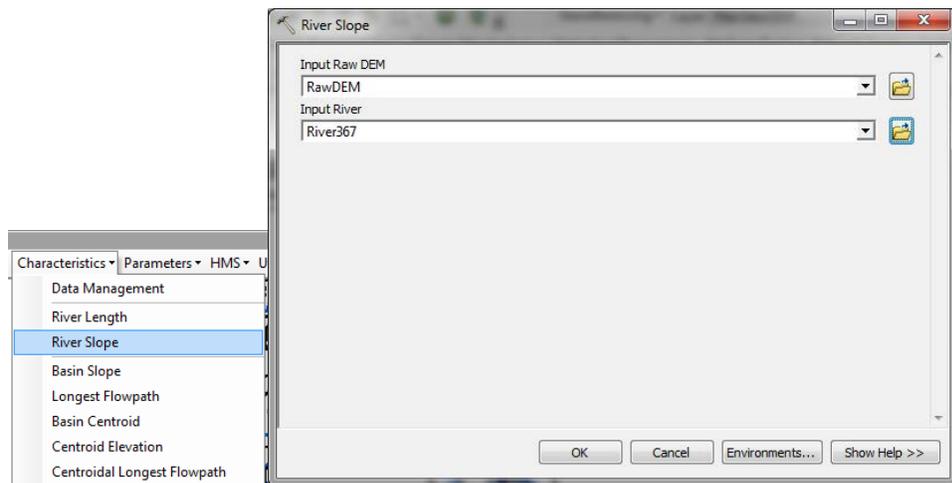


Figura 121. River Slope

Pendiente de la cuenca (Basin Slope)

- Con esta función el programa determina la pendiente de las subcuencas, para una en particular o para todas las contenidas en la capa de cuencas. Esta característica es necesaria para calcular posteriormente el parámetro CN Lag Time.
- Para el Basin Slope es necesario tener agregada en el proyecto la capa de WshSlope, esta se agrega mediante la herramienta de Add Data.

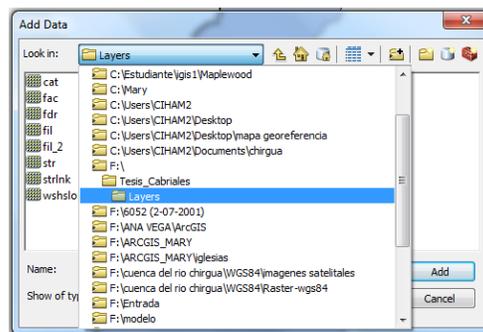


Figura 122. Capa del WhsSlope

- Luego se chequea nuevamente en el Data Management que reconozca como Slope Grid a la capa de WhsSlope.
-

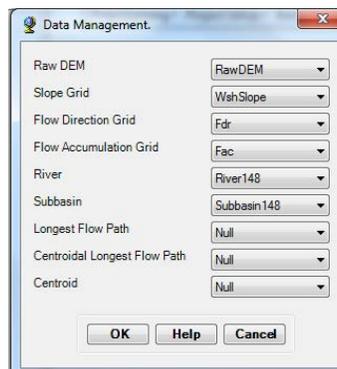


Figura 123. Verificación del Slope Grid

- Finalmente se hace el procedimiento para el cálculo del BasinSlope, se selecciona en Characteristics / BasinSlope y se despliega la

siguiente ventana donde en Input SlopeGrid debe reconocer el WhsSlope y en el Input Subbasin la cuenca del proyecto.

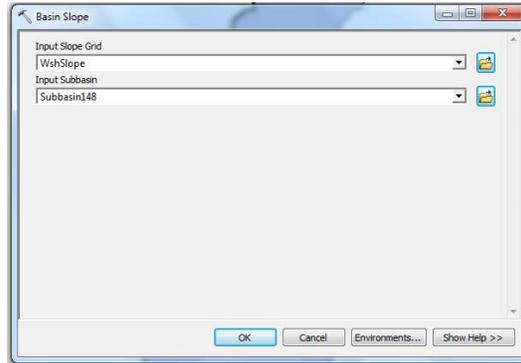


Figura 124. Ventana del Basin Slope

Longitud del tributario más largo (Longest Flow Path)

Con esta función el programa determina la longitud del tributario más largo, la elevación aguas arriba y aguas abajo y la pendiente entre esos puntos.

- Se seleccionó Basin Characteristics y luego Longest Flow Path, se verifico que las capas correspondientes y se presionó Ok.

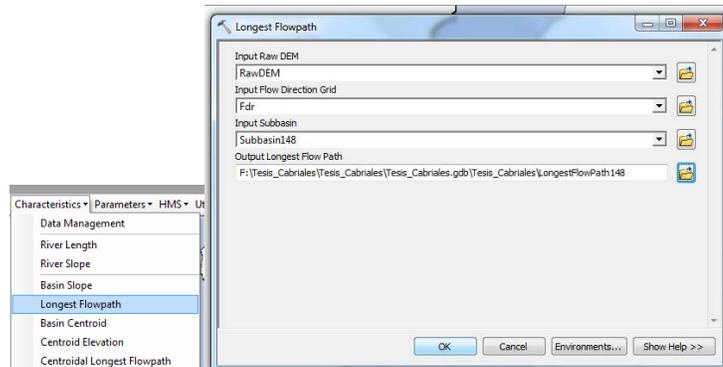


Figura 125. Longest Flow Path.

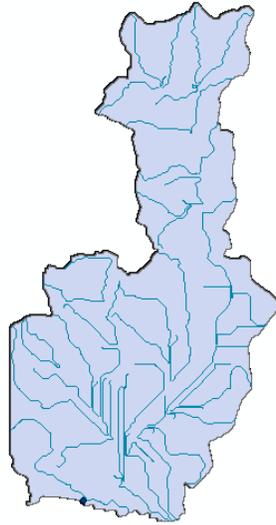


Figura 126. Resultado del Longest Flowpath

Centroide de las subcuencas (Basin Centroid)

La herramienta identifica el centroide de cada subcuenca.

- Se selecciona Basin Characteristics y luego Basin Centroid, se selecciona el método Center of Gravity. Se le da un nombre al archivo generado, se aceptó el nombre por defecto y se presionó Ok.

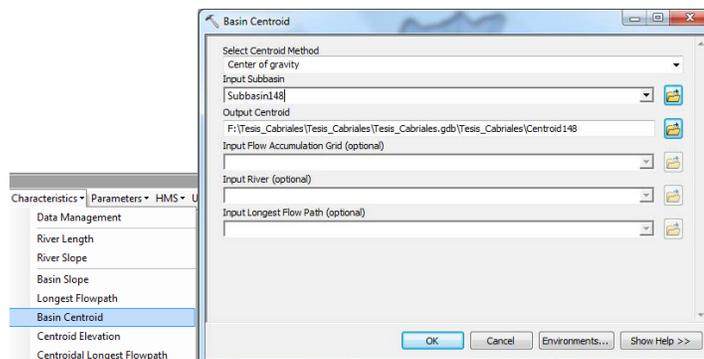


Figura 127. Basin Centroid

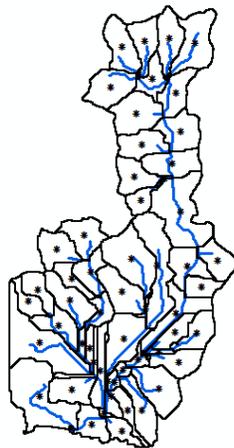


Figura 128. Resultado del Basin Centroid

Elevación del centroide (Centroid Elevation)

Esta opción computa la elevación del centroide.

- Se seleccionó Basin Characteristics y luego Centroid Elevation. Se presionó Ok.

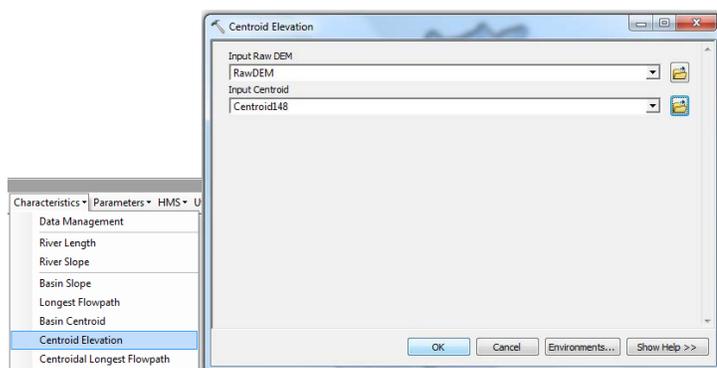


Figura 129. Centroid Elevation.

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 largo.

- Se selecciona Basin Characteristics y luego Centroid Flow Path. Se selecciona las capas de subcuencas, centroide y longitud del tributario más largo y se pulso Ok.

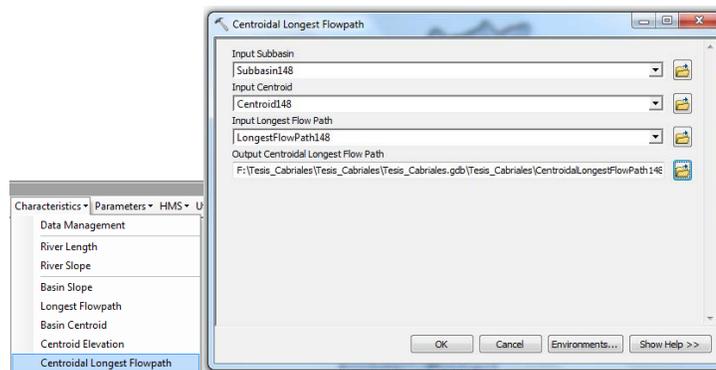


Figura 130. Centroidal Longest Flowpath.

Estimación de Parámetros Hidrológicos

Luego de extraer las características físicas de las corrientes y subcuencas, el siguiente paso es estimar los parámetros hidrológicos disponibles en el menú Hydrologic Parameters los cuales son:

Selección de los procesos HMS (Select HMS Processes)

Esta herramienta permite elegir los métodos de modelación que van a ser usados en la creación del proyecto en HEC-HMS.

- Se selecciona Hydrologic Parameters y luego Select HMS Processes. Se despliega la ventana del Select HMS Processes donde se

selecciona como parámetros de entrada la subcuencas del proyecto y el rio del mismo. Para subbasin – Loss Method se selecciona el método de SCS, para el subbasin – Transform Method el método y para el Subbasin – Base flow Method; finalmente para el River – Route Method se selecciona el método Muskingum. Se presiona Ok.

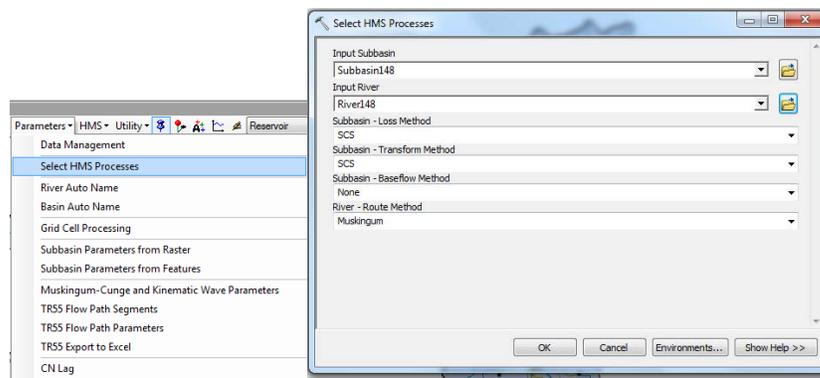


Figura 131. Select HMS Processes.

Dar nombre automáticamente a los ríos (River Auto Name)

Este otorga automáticamente nombres de forma secuencial desde aguas arriba hasta aguas abajo en la red hídrica.

- Se selecciona Hydrologic Parameters y luego River Auto Name. Se despliega la ventana de River Auto Name donde se deja el nombre por defecto. Se presionó Ok.

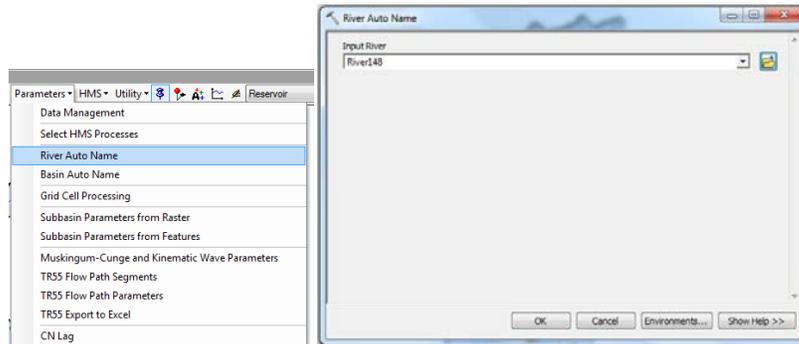


Figura 132. River Auto Name.

Dar nombre automáticamente a las subcuencas (Basin Auto Name)

Este proceso otorga automáticamente nombres de forma secuencial desde aguas arriba hasta aguas abajo en la red hídrica.

- Se selecciona Hydrologic Parameters y luego Basin Auto Name. Se despliega la ventana de Basin Auto Name donde se deja el nombre por defecto. Se presiona Ok.

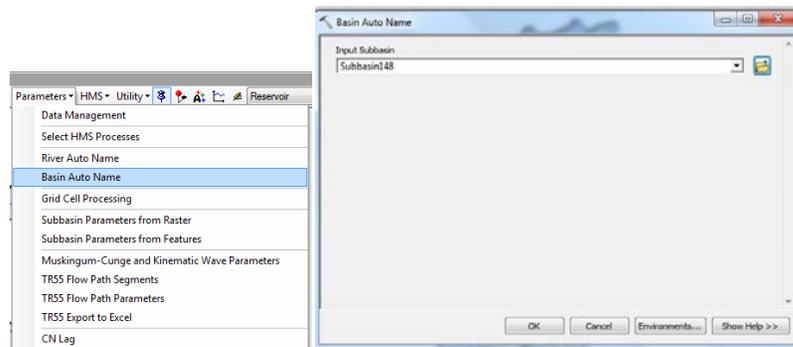


Figura 133. Basin Auto Name.

Esta herramienta crea una capa de polígonos en formato GRID, que divide el área del proyecto en una grilla, esta se cruza con la capa de

subcuencas para determinar las ubicaciones de cada celda y áreas dentro de cada subcuenca.

- Se selecciona Hydrologic Parameters y luego Grid Cell Processing. Al desplegarse la ventana de Grid Cell Processing se selecciona SHG como el método de conversión de las cuadrícula. Se selecciona, su valor por defecto. Se presiona Ok.

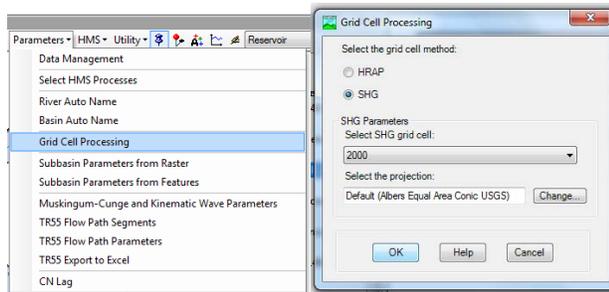


Figura 134. Grid Cell Processingy.

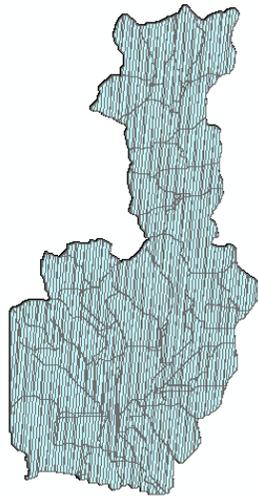


Figura 135. Resultado del Grid Cell Processing.

Estimación del Número de Curva para las subcuencas

- El Número de Curva para la subcuenca será estimado mediante la construcción de un tema Grid. Para comenzar es necesario tener dos capas una de vegetación y otra del tipo suelo, ambas de todo el estado Carabobo, estas fueron proporcionadas por el CIHAM-UC. Estas capas se agregan al proyecto mediante la herramienta de Add Data.

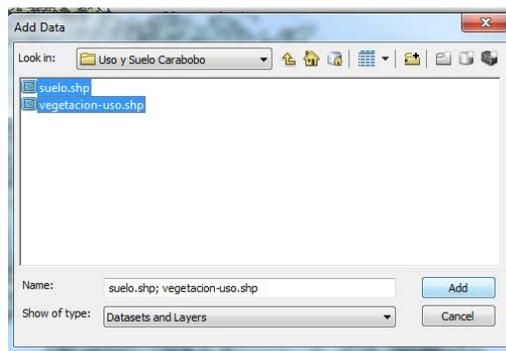


Figura 136. Agregado las capas de vegetación y suelo.

- También se debe agregar la imagen clasificada ERDAS IMAGINE 2014, quedando la capa de clasificación primero, luego las capas de vegetación y por último la desuelo, de manera opcional se puede colocar encima la capa de cuenca para que ubiquemos la misma, como indica la siguiente figura.

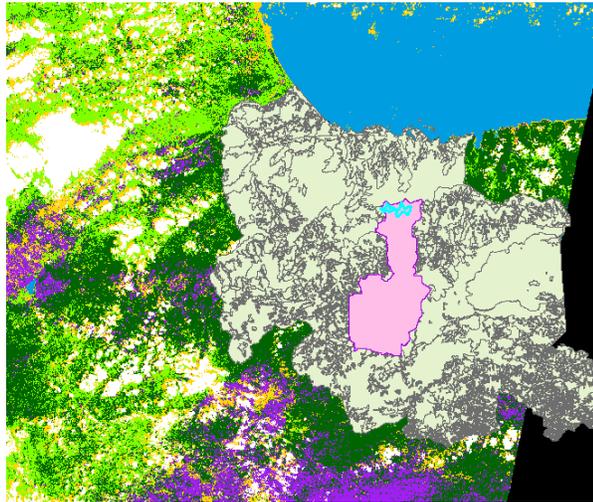


Figura 137. Visualización de las capas para la obtención del CN

- Procedemos a cortar las capas vegetación y suelo de manera que quede del tamaño de la cuenca, esto se logra mediante la herramienta Geoprocessing/Intersect. Se despliega otra ventana de Intersect donde en los Input Features se seleccionan el área de la cuenca y la capa de vegetación, continuo se repite el proceso con la capa del suelo.

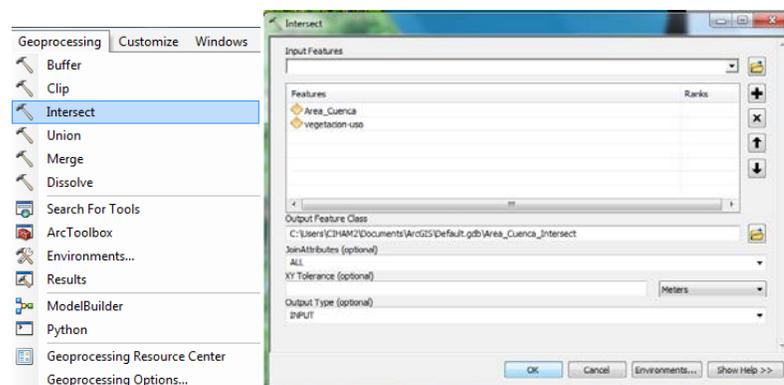


Figura 138. Herramienta Intersect para vegetación.

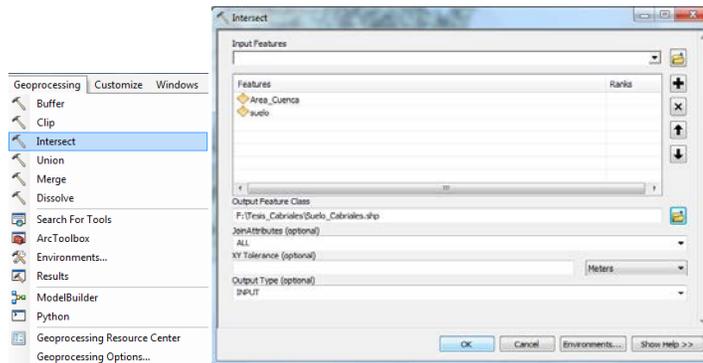


Figura 139. Herramienta Intersect para suelo.

Luego se procede a revisar de las capas cortadas en las tablas de atributos, con la finalidad de modificar el archivo original de la capa vegetación y capa suelo del Estado Carabobo. Para acceder a la tabla de atributos se le da click derecho sobre la capa en el Table of Contents y se selecciona la opción Open Attribute Table. De la capa de Vegetación solo se le dejan los siguientes campos disponibles: FID, SHAPE*, AREA, PERIMETER y TIP_D_V; Y de la capa del tipo de suelo: FID, SHAPE*, AREA, PERIMETER Y TOPONIMIA, tal como se visualiza en las siguientes figura.

FID	Shape *	AREA	PERIMETER	TIP_D_V
0	Polygon	207611296	303873.844	1
1	Polygon	40859976	155912.641	1
2	Polygon	33728248	112185.141	2
3	Polygon	284970.625	4449.805	2
4	Polygon	1338663.875	18360.531	2
5	Polygon	322205.813	2906.925	2
6	Polygon	7440955	34461.516	2
7	Polygon	300332.219	7861.302	2
8	Polygon	47337.102	1366.06	2
9	Polygon	40551.164	1490.57	2
10	Polygon	70858.383	2084.492	2
11	Polygon	143123056	293791.156	0
12	Polygon	42197328	110549.891	1
13	Polygon	39243164	76676.227	1
14	Polygon	105950.766	2936.678	2
15	Polygon	422170.313	4250.26	0
16	Polygon	119319.719	2955.514	2
17	Polygon	344856640	445003.375	0
18	Polygon	795514.563	5780.569	1
19	Polygon	196752.938	2330.903	1
20	Polygon	790452.688	5617.955	2
21	Polygon	746636.125	6727.594	2
22	Polygon	486908.094	4981.604	0
23	Polygon	11680704	93499.742	4
24	Polygon	4622292.5	24585.482	1
25	Polygon	18867282	137933.906	2
26	Polygon	1252624.25	15830.444	2
27	Polygon	176583.5	3216.398	2

Figura 140. Tabla de atributos de la capa de vegetación de la cuenca del Río Cabrales.

FID	Shape *	AREA	PERIMETER	TOPONIMIA
0	Polygon	1864422912	1837975	Vlies
1	Polygon	496915328	386270.281	Vlie
2	Polygon	213370112	199159.234	Vlie
3	Polygon	136946064	186559.469	ZU
4	Polygon	1587022.125	9420.899	Vlies
5	Polygon	1076281.875	6471.395	lis
6	Polygon	3025806	13566.356	lis
7	Polygon	420745.063	3247.04	lis
8	Polygon	12365370	27092.461	lis
9	Polygon	2954387.25	9548.554	IVs
10	Polygon	2148316.5	12438.378	CA
11	Polygon	8380542	21490.941	Vlies
12	Polygon	2376056	10977.787	I
13	Polygon	15981645	31872.027	llise
14	Polygon	509256.375	4805.881	Vlies
15	Polygon	1247656.375	6083.556	llsd
16	Polygon	3243593.5	10913.628	IVs
17	Polygon	469193.563	4150.28	Vsd
18	Polygon	856096.313	5787.832	IVse
19	Polygon	72501464	106340.18	IVsd
20	Polygon	228452.203	2014.465	IVs
21	Polygon	313453.594	2790.128	Vlies
22	Polygon	22856762	37007.523	Vlies
23	Polygon	402011.25	3313.598	IVsd
24	Polygon	644591.75	3884.587	IVse
25	Polygon	351620.969	2736.638	lis
26	Polygon	1821913.375	6847.229	Vlies
27	Polygon	1162229.875	7092.211	IVsd

Figura 141. Tabla de atributos de la capa de vegetación de la cuenca del Rio Cabriales.

- Antes de unir las capas de vegetación y suelo es necesario crear una nueva capa, la cual será un shape de polígonos creada por el ArcCatalog 10.0; este shape tiene la finalidad de que en la unión de las tres capas se incluya el uso de la tierra. Para esto se dibujan polígonos sobre la imagen exportada de ERDAS IMAGINE, una vez finalizados se procede a editar la tabla de atributos de esta nueva capa, en las cuales por cada polígono se le agrega un campo donde especifique el uso para la cual fue anteriormente clasificada.



Figura 142. Subdivisión de los polígonos del uso de la tierra.

poligonos_uso			
FID	Shape *	Id	Tipo
0	Polygon	0	Agricultura
1	Polygon	0	Bosque
2	Polygon	0	Vegetacion
3	Polygon	0	Agricultura
4	Polygon	0	Bosque
5	Polygon	0	Bosque
6	Polygon	0	Agricultura
7	Polygon	0	Bosque
8	Polygon	0	Bosque
9	Polygon	0	Vegetacion
10	Polygon	0	Bosque
11	Polygon	0	Vegetacion
12	Polygon	0	Bosque
13	Polygon	0	Agricultura
14	Polygon	0	Agricultura
15	Polygon	0	Bosque
16	Polygon	0	Agua
17	Polygon	0	Agricultura
18	Polygon	0	Bosque
19	Polygon	0	Bosque
20	Polygon	0	Urbano
21	Polygon	0	Agricultura
22	Polygon	0	Bosque
23	Polygon	0	Bosque
24	Polygon	0	Vegetacion

Figura 143. Tabla de atributos de la subdivisión de los polígonos de tierra

Combinación del uso de la tierra, tipo de suelos y la vegetación con la tabla de búsqueda del Número de Curva

- Se procede a unir las tres capas mediante la herramienta de Geoprocessing/Union, en los Input Features se selecciona la capa de vegetación, suelo y polígonos de uso.

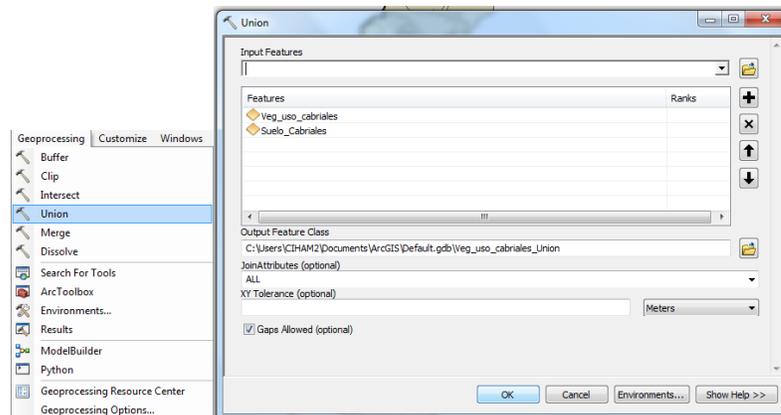


Figura 144. Herramienta Union.

- Si la unión se realiza de forma exitosa se verá en la tabla de atributos, donde se visualizarán los campos antes exigidos para las tres capas.

Adicionalmente se le agregan cuatro campos más correspondientes al “PctA”, “PctB”, “PctC” y “PctD”, es importante que se conserven esos nombres ya que el ArcGIS los reconoce de esa forma, también se agrego un último campo con el nombre de “LandUse”, tal como se muestra en la Figura.

FID	Shape *	F	Id	Class_Top	Image Analysis	PERIMETER	TOPONI	FID_V	AREA_1	PERIMETE_1	TIP_D_V	PctA	PctB	PctC	PctD	LandUse		
0	Polygon	-	0	1	1	496915328	386270.281	Vile	12	42197328	110549.891	1	0	0	90	10	1	
1	Polygon	-	0	1	1	496915328	386270.281	Vile	13	38243164	76676.227	1	0	0	90	10	1	
2	Polygon	0	0	1	Agricultura	3	136946064	186559.469	ZU	11	143123056	293791.156	0	0	0	100	1	
3	Polygon	0	0	1	Agricultura	3	136946064	186559.469	ZU	17	344856640	445003.375	0	0	0	100	1	
4	Polygon	0	0	1	Agricultura	3	136946064	186559.469	ZU	72	627330.875	4162.527	0	0	0	100	1	
5	Polygon	0	0	1	Agricultura	3	136946064	186559.469	ZU	79	1113074.375	10630.14	2	0	0	100	1	
6	Polygon	0	0	1	Agricultura	3	136946064	186559.469	ZU	80	468917.219	3890.809	0	0	0	100	1	
7	Polygon	0	0	1	Agricultura	3	136946064	186559.469	ZU	90	1094320.625	11705.78	2	0	0	100	1	
8	Polygon	0	0	1	Agricultura	3	136946064	186559.469	ZU	96	145306.531	2612.056	0	0	0	100	1	
9	Polygon	0	0	7	Agricultura	13	15981645	31872.027	lIse	11	143123056	293791.156	0	40	50	10	0	7
10	Polygon	0	0	7	Agricultura	13	15981645	31872.027	lIse	17	344856640	445003.375	0	40	50	10	0	7
11	Polygon	0	0	7	Agricultura	13	15981645	31872.027	lIse	72	627330.875	4162.527	0	40	50	10	0	7
12	Polygon	0	0	7	Agricultura	19	72501464	106340.18	Nvd	11	143123056	293791.156	0	0	0	60	40	7
13	Polygon	0	0	7	Agricultura	19	72501464	106340.18	Nvd	17	344856640	445003.375	0	0	0	60	40	7
14	Polygon	0	0	7	Agricultura	19	72501464	106340.18	Nvd	95	2729025.5	16119.927	1	0	0	60	40	7
15	Polygon	0	0	7	Agricultura	19	72501464	106340.18	Nvd	101	10299868	139948.703	2	0	0	60	40	7
16	Polygon	0	0	7	Agricultura	27	1162229.875	7092.211	Nvd	11	143123056	293791.156	0	0	0	60	40	7
17	Polygon	0	0	7	Agricultura	27	1162229.875	7092.211	Nvd	17	344856640	445003.375	0	0	0	60	40	7
18	Polygon	0	0	7	Agricultura	27	1162229.875	7092.211	Nvd	79	1113074.375	10630.14	2	0	0	60	40	7
19	Polygon	0	0	7	Agricultura	27	1162229.875	7092.211	Nvd	80	468917.219	3890.809	0	0	0	60	40	7
20	Polygon	0	0	7	Agricultura	28	12897292	22362.301	lIs	11	143123056	293791.156	0	50	30	20	0	7
21	Polygon	0	0	7	Agricultura	28	12897292	22362.301	lIs	17	344856640	445003.375	0	50	30	20	0	7
22	Polygon	0	0	7	Agricultura	28	12897292	22362.301	lIs	79	1113074.375	10630.14	2	50	30	20	0	7
23	Polygon	0	0	7	Agricultura	28	12897292	22362.301	lIs	101	10299868	139948.703	2	50	30	20	0	7
24	Polygon	0	0	7	Agricultura	31	13846036	24882.791	IVs	11	143123056	293791.156	0	0	0	70	30	7
25	Polygon	0	0	7	Agricultura	31	13846036	24882.791	IVs	17	344856640	445003.375	0	0	0	70	30	7
26	Polygon	0	0	7	Agricultura	31	13846036	24882.791	IVs	79	1113074.375	10630.14	2	0	0	70	30	7
27	Polygon	0	0	7	Agricultura	31	13846036	24882.791	IVs	90	1094320.625	11705.78	2	0	0	70	30	7

Figura 145. Tabla de atributos de la unión.

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), el tipo de vegetación, el uso de la tierra y la descripción de los grupos de suelo (Cartaya y Guevara) 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. Y se le asignaron valores al LandUse dependiendo de estos mismos criterios.

Tablas de búsqueda del Número de Curva

- Mediante el ArcToolBox/Data Management Tools/Table/ Create Table, se crea una tabla para una condición de humedad del suelo CNIII. Se le asignaron valores teóricos de CNIII según los tipos de suelo A, B, C y D y el uso respectivamente de la tierra. Es importante agregar un campo de nombre

“LuValue”, el cual debe coincidir con los valores de “LandUse” de la tabla de atributos de la unión.

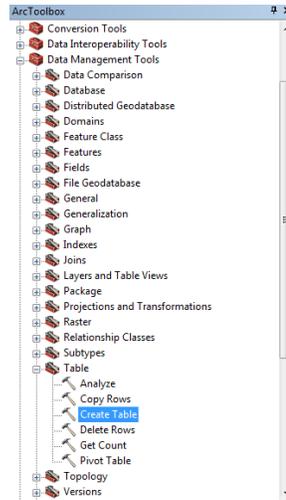


Figura 146. Creación de una tabla.

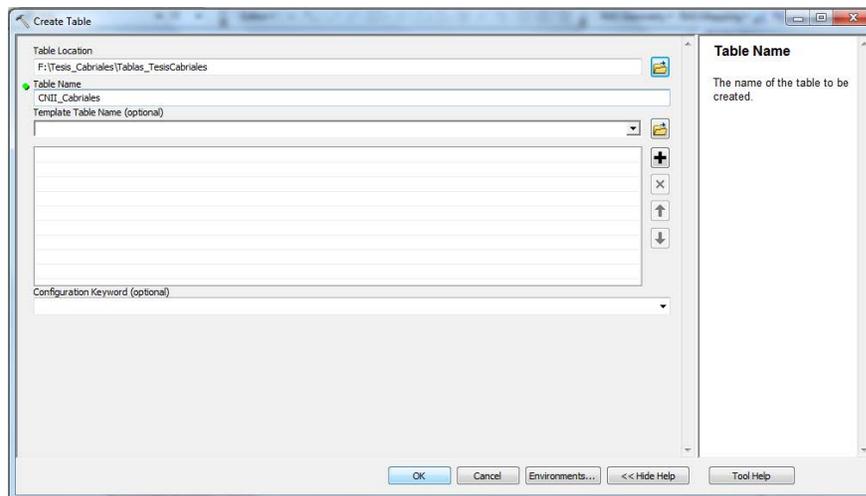


Figura 147. Ventana de tabla.

Rowid	OBJECTID	FIELD1	DESCRIPCION	LUVALUE	A	B	C	D
1	0	0	Bosques y Pastos Mal Drenados	1	45	66	77	83
2	0	0	Zonas Urbanas de buena cobertura	6	51	68	79	84
4	0	0	Cultivable Buena	7	62	71	78	81

Figura 148. Tabla generada para el estimar el numero de curva.

Generacion de un CN Grid

- Para generar un CN Grid, se utiliza la herramienta Utility/ Generate CN Grid, de la cual se despliega una ventana de Generate CN Grid, en los cuales se va a seleccionar en el Input Hydro DEM el Fil, en el Input Soil LandUse Polygon, la capa de unión de la capa vegetación, uso y suelo y finalmente en el Input Curve Number Lookup la tabla con el CN, se ubica la ruta y se deja el nombre por defecto. Se pulsa la opción Ok.

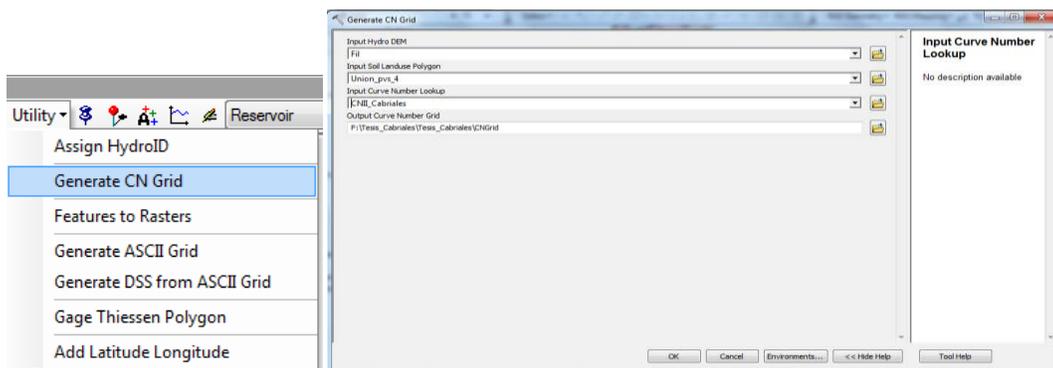


Figura 149. Herramienta Generate CN Grid.

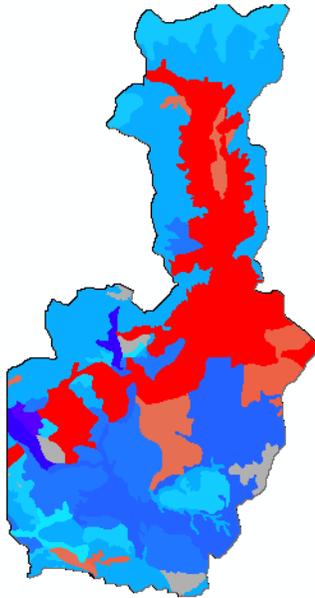


Figura 150. Resultado del CN Grid.

Parámetros de la subcuenca desde un archivo Raster. (Subbasin Parameters from Raster)

- Esta herramienta opera sobre una capa de formato Raster y calcula los parámetros hidrológicos promedio para cada subcuenca, estos se añaden a la tabla de atributos de la capa de subcuencas basado en los procesos HMS seleccionados. Se selecciona Hydrologic Parameters y luego Subbasin Parameter from Raster, se despliega una ventana donde en el Input Subbasin se escoge la cuenca del proyecto y por ultimo en el Input Curve Number Grid se selecciona el CN Grid antes generado.

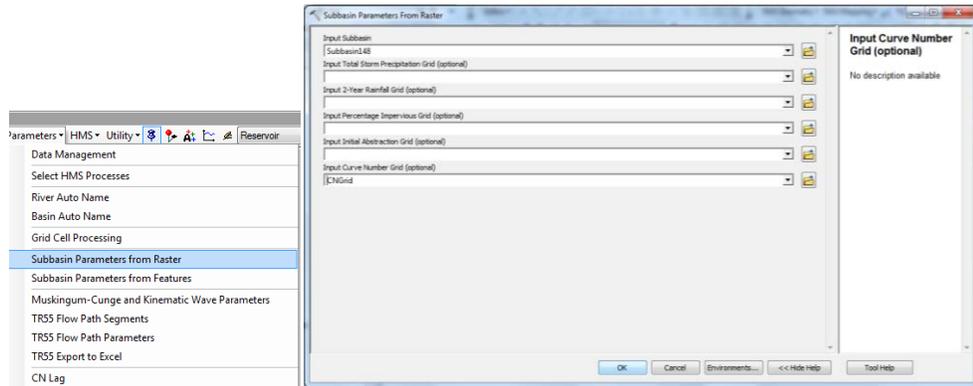


Figura 151. Herramienta Subbasin Parameters from Raster.

Método de cálculo del tiempo de retardo de la cuenca basado en el número de curva (CN lag method)

- Esta herramienta calcula de forma automática el tiempo de retardo de la cuenca. Se selecciona Hydrologic Parameters y luego CN Lag. Se presiona Ok.

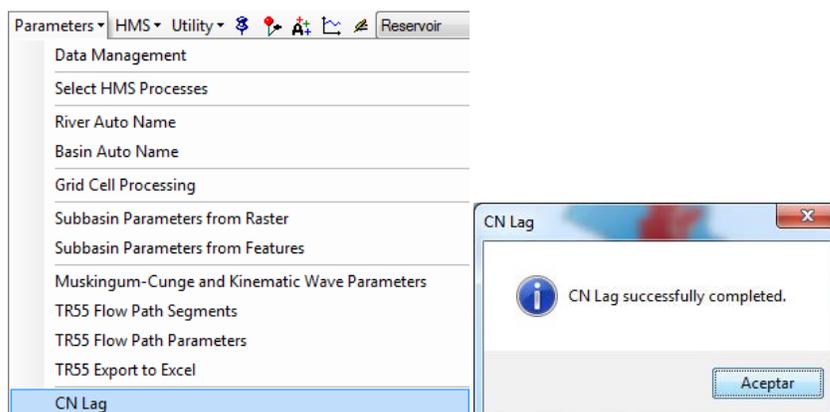


Figura 152. Herramienta CN Lag.

Preprocesamiento para trabajar con el HEC-HMS

Conversión de Unidades de Mapa en HMS (Map to HMS Units)

- Esta conversión agrega a algunas columnas de las tablas de atributos la terminación “HMS”, convirtiendo las características físicas de los tramos y subcuencas desde las unidades del mapa a las unidades de HMS. Para ello se utiliza la herramienta en HMS y luego Map to HMS Units, y en editor de conversión se selecciona el sistema Internacional de unidades (SI).

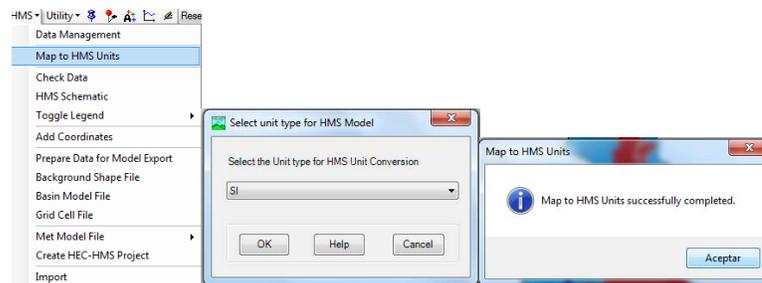


Figura 153. Conversión de Unidades de Mapa en HMS

Revisión de Datos del HMS (HMS Check Data)

- En esta parte se verifica los conjuntos de datos para la consistencia en la descripción de la estructura del modelo hidrológico. Para ejecutar la función mencionada anteriormente, se selecciona del menú HMS la opción HMS Check Data. El archivo generado “SkelConstChek.txt”, contiene el resultado de la revisión de datos; en la parte inferior del mismo se comprueba que el resultado de la revisión diga “no problems”.

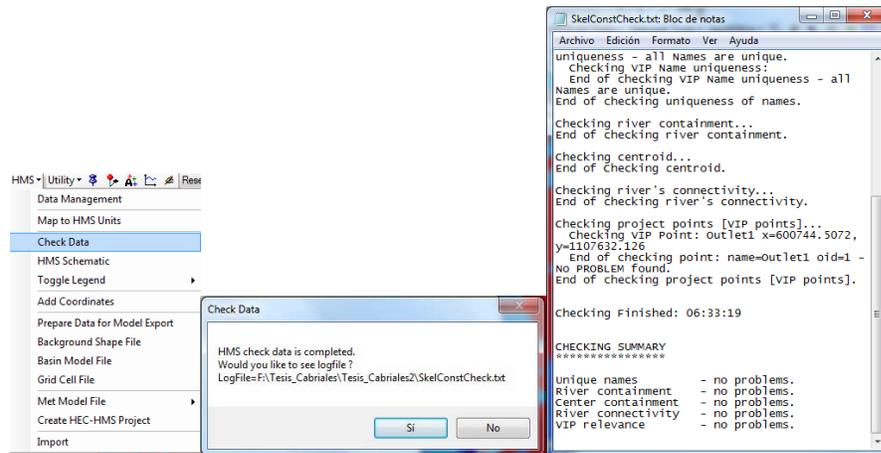


Figura 154. Chequeo de la Data.

Esquema de la Cuenca HEC-HMS (HMS Schematic)

- El esquema de la cuenca es una representación del sistema de información geográfico (SIG) de los modelos HEC-HMS. Esta herramienta es una simple estructura para las redes hidrológicas que contienen elementos de los modelos HMS y muestra su conexión. Para este proceso se selecciona del menú HMS la opción HMS Schematic. Se dejan los nombres asignados por defecto en las salidas generadas “HMSLink1” y “HMSNode1”.

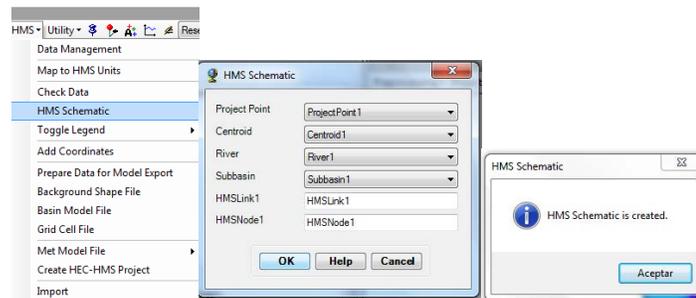


Figura 155. Procedimiento para elaborar el esquema de la cuenca HEC-HMS.

Leyenda HMS (HMS Tooggle HMS Legend)

- El HEC-HMS usa esta herramienta para representar íconos de elementos, puntos y líneas de elementos en los nodos y enlaces de capas del HMS. Para ello, se selecciona en la pestaña HMS la opción HMS Toogle Legend y luego HMS legend.

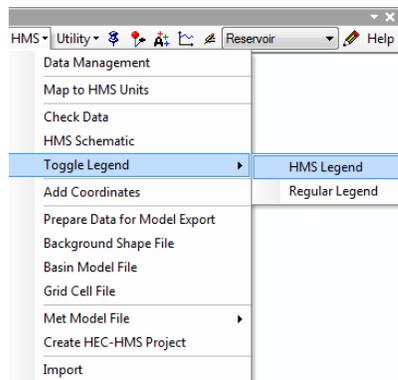


Figura 156. HMS legend.

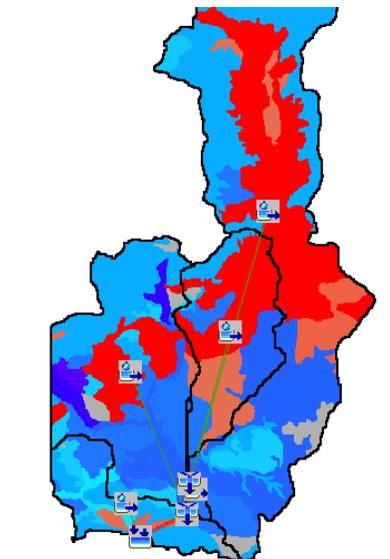


Figura 157. Resultado de la red hídrica.

Agregar Coordenadas (Add coordinates)

- Esta función une las coordenadas geográficas a los elementos en el nodo y en las capas de enlace del HMS. Se despliega la pestaña del menú HMS y se selecciona Add Coordinates, se comprueba que las capas asignadas correspondan a los campos solicitados, y finalmente se pulsa OK.



Figura 158. Procedimiento para agregar coordenadas.

Preparar Datos para Exportar el Modelo (Prepare for Model Export Editor)

- El archivo del modelo de cuenca en HMS que contiene la estructura de datos hidrológicos que incluye los elementos hidrológicos y sus conexiones, relaciona los parámetros HEC-GeoHMS exportando algún parámetro para el archivo del modelo de la cuenca del HMS. De la pestaña HMS se selecciona la opción Prepare Data for Model Export y se pulsa ok.

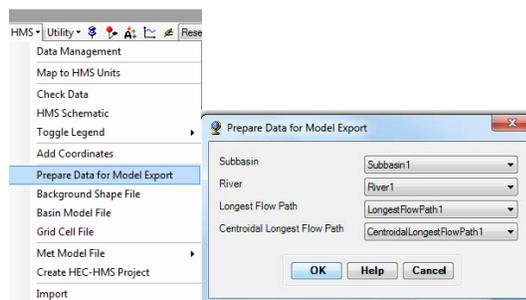


Figura 159. Prepare for Model Export Editor.

Archivo de Respaldo de Mapa (Background Maps Shape File)

- Las capas de respaldo de mapas capturan la información geográfica de los límites de subcuencas y extensiones de corrientes. Para esto se selecciona del menú HMS la opción Background Maps ShapeFile.



Figura 160. Background Maps Shape File.

Archivo de Cuenca (Basin Model File)

- El archivo del modelo de la cuenca captura elementos hidrológicos, sus conexiones, y relaciona la información geográfica con un archivo de texto ASCII que será leído por el HMS. Para ello, se selecciona del menú HMS la opción Basin Model File.

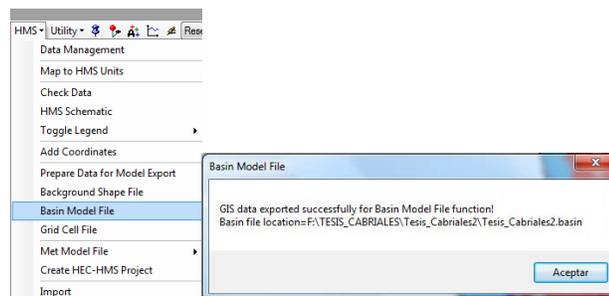


Figura 161. Basin Model File.

Archivo de Modelo Meteorológico (Met Model file)

- El archivo del modelo meteorológico se crea a partir del “met model file” Sólo se va a crear un archivo vacío que podemos llenar en el interior de HMS.
- Se Selecciona HMS, Met Model File y seguidamente Specified hyetograph.

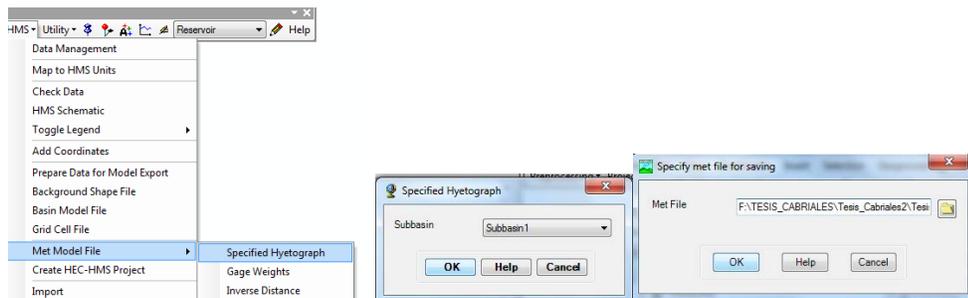


Figura 162. Met Model file.

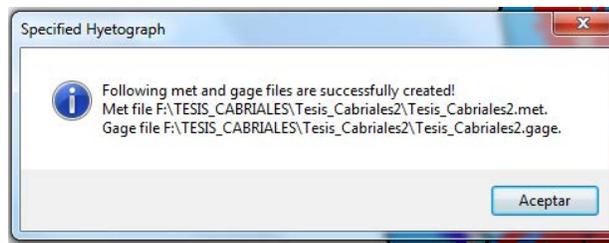


Figura 163. Creación exitosa del Met Model file.

Procesamiento con HEC-HMS

Ahora se procede a trabajar con el software HEC-HMS. Para el mismo se requieren tres componentes básicos que son: el modelo de la cuenca, el modelo meteorológico y el modelo de las especificaciones de control.

Creando un New Project

- Para la creación de un nuevo proyecto solo le damos a la herramienta New y se despliega la siguiente ventana donde especificamos el nombre, el cual se identifica como CNIII con la propiedad de que se está trabajando con una condición de humedad antecedente, se da una breve descripción, la ruta de localización y el sistema de unidades.

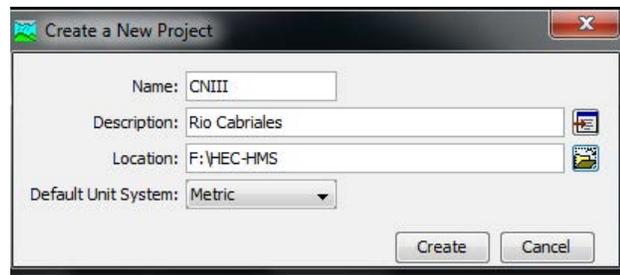


Figura 164. New Project en HEC-HMS.

Importando el archivo

- Para el proyecto en HEC-HMS se debe comenzar por importa el Basin Model creado de ArcGIS, para ello entramos en File/Import/Basin Model. Al abrirse la ventana se ubica el archivo del Basin Model y se presiona Select.

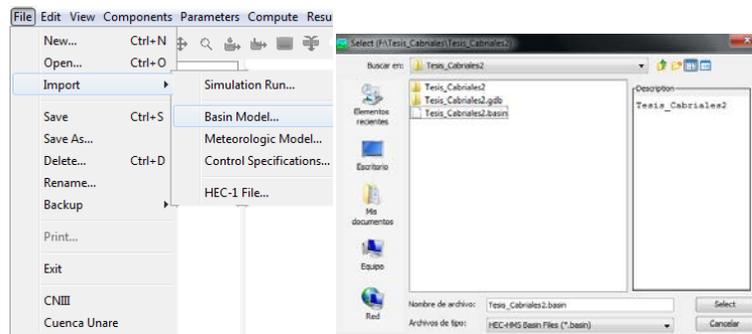


Figura 165. Importación del Basin model.

- Al importarse el Basin Model solo se visualiza la red hídrica, por esa razón es necesario importar los Background Maps correspondientes a la cuenca y al río para visualizar mejor el modelo, para ello se va a la opción de View Background Maps y en la ventana que se despliega añadimos uno a unos los mapas de cuenca y río.

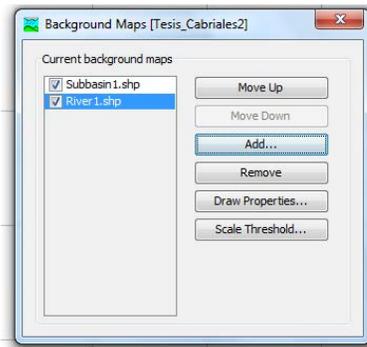


Figura 166. Ventana de Background Maps.

Importando datos de precipitación y caudal

Para importar los datos medidos por las estaciones Tecnum Electronica es necesario usar el software HEC-DSSVue, en el cual cada evento se debe introducir de manera manual, para esto se tomó en cuenta dos eventos significativos ocurridos en el periodo de tiempo de estudio.

Anteriormente se procesaron los datos de la estación del Parque Fernando Peñalver de variable niveles para que a partir de esas mediciones se obtuvieran datos de caudal. El procedimiento para la obtención de la curva de gasto que me relacionara ambas variables fue descrito anteriormente, obteniendo una ecuación que con solo tener datos de nivel se pueda calcular datos de caudal, para así finalmente ingresar esta data al HEC-DSSVue.

El procedimiento para importar los datos se describe a continuación:

- Para crear un nuevo evento se ubica en la barra de herramientas Data Entry y se selecciona la opción Manual Time Series. Al desplegarse la ventana de Time Series Data Entry se especifica en la ventana A que es a la Cuenca, en la ventana B la estación ya sea CIHAM-UC o PARQUE FP, en la ventana C el tipo de variable si es PRECIPITACION o CAUDAL, en el la lista desplegable E se selecciona eventos que se registran cada 5 MIN y en la ventana F el número del evento que se está ingresando. En Start Date se especifica la fecha exacta de inicio y en Start Time el tiempo exacto de inicio del evento, en las unidades se debe especificar la que el evento y en el type el tipo de grafico para representar el evento. En las pestañas de abajo se selecciona Automatic Generation donde especificamos la fecha y las horas exactas en las que termina el evento y pulsamos Generate.

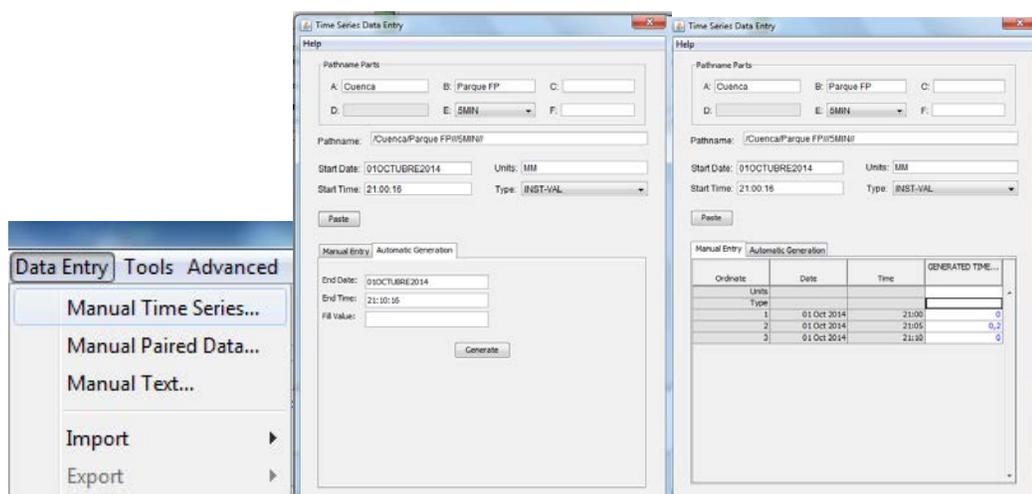


Figura 167. Manual Time Entry y Time Series Data Entry.

- Una vez generado el espacio de tiempo para ingresar la data se debe posicionar el pulsor en la primera pestaña donde se indica Manual Entry e ingresar manualmente la data del evento. Este proceso se repite para las variables de precipitación de la estación del Parque FP y del CIHAM-UC y el

caudal solo de la estación del Parque FP. Se pulsa save para terminar de registrar el evento.

Number	Part A	Part B	Part C	Part D / range	Part E	Part F
1	CUENCA	CIHAMUC	PRECIPITACION	01Oct2014 - 01Oct2014	SMN	UNO
2	CUENCA	PARQUE FP	CAUDAL	01Oct2014 - 01Oct2014	SMN	UNO
3	CUENCA	PARQUE FP	PRECIPITACION	01Oct2014 - 01Oct2014	SMN	UNO

Figura 168. Datos ingresados en HEC-DSSVue.

- Finalmente para ingresar los datos de precipitación y caudal en el HEC-HMS es necesario crear los pluviómetros dentro del HEC-HMS, para ello se accede a la herramienta Components/Time-Series Data Management. En Data Type se selecciona el tipo de data para precipitación, se escoge Precipitation Gages y para caudal Discharge Gages, se le agregan en la opción NEW tantas estaciones tengamos por variables asignadoles el nombre de la estación correspondiente para trabajar de manera coherente.

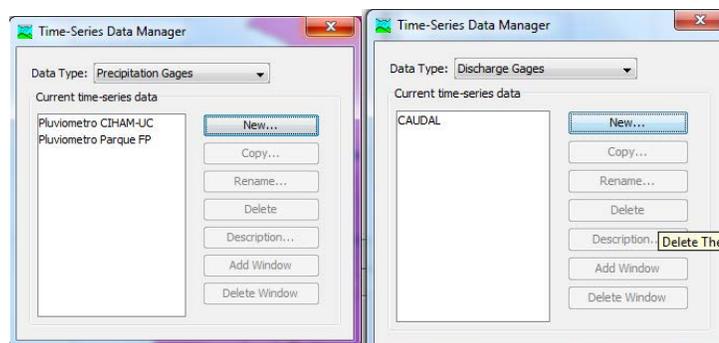


Figura 169. Creación de los Time-Series Data de precipitación y caudal.

- Una vez creada las estaciones se procede a ingresar la data mediante la creación de un Time Windows donde se ingresa la misma fecha y hora del evento, dentro de este time window en opción de Data Source se despliega la lista y se selecciona la opción Data Storage System (HEC-DSS),

en DSS Filename se selecciona el archivo donde se ingresaron los datos de los eventos y en DSS Pathname se escoge el evento se desea evaluar.

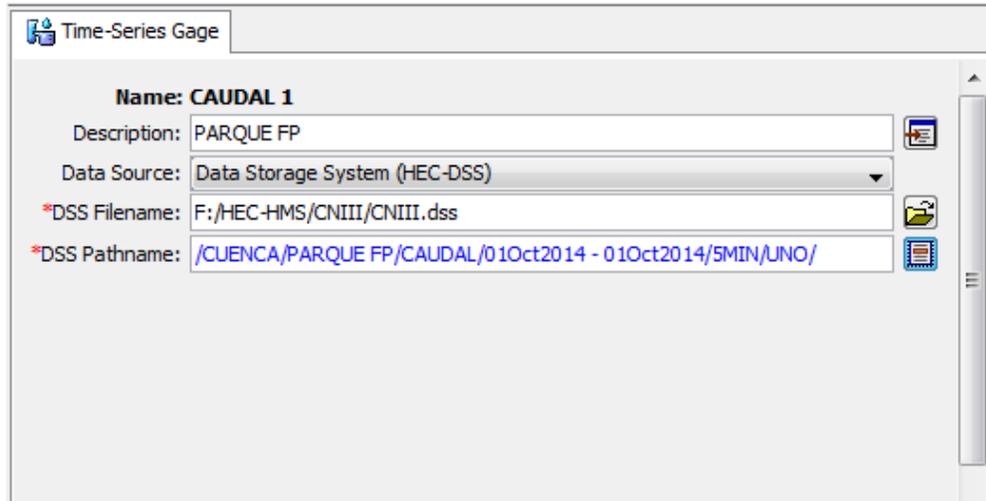


Figura 158. Ingreso de la data en la estaciones de Time-Series Gage.

Creación de un Meteorologic Model Manager

- Para la creación de un modelo meteorológico que defina la distribución de las lluvias dentro de la cuenca se accede a la herramienta de Components/Meteorologic Model Manager. Al desplegarse la ventana de Meteorologic Model Manager se le da a la opción New y se crea el primer modelo meteorológico.

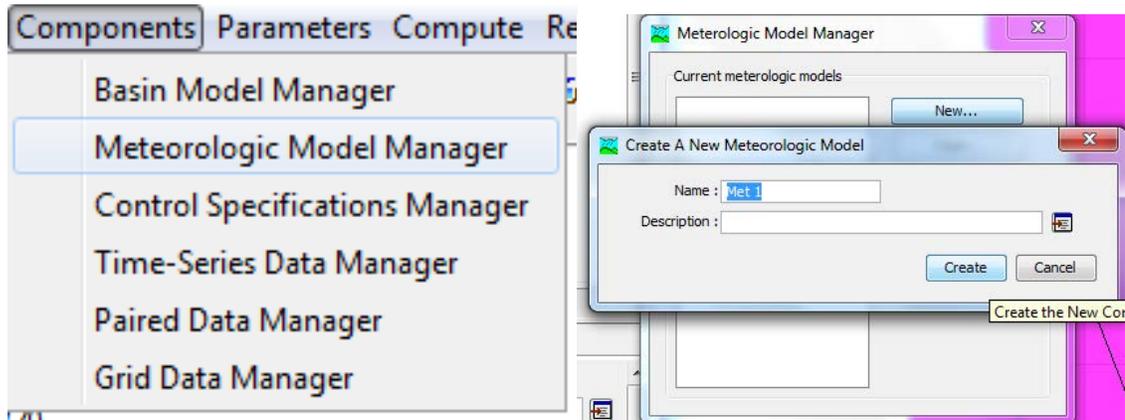


Figura 170. Herramienta Meteorologic Model Manager

- Luego de eso se busca en la ventana de trabajo el Met 1 y se le asignan la distribución de los pluviómetros dentro de la cuenca.

Subbasins	
Met Name: Met 1	
Subbasin Name	Gage
W 100	Pluviómetro Parque FP
W60	Pluviómetro CIHAM-UC
W70	Pluviómetro CIHAM-UC
W80	Pluviómetro CIHAM-UC
W90	Pluviómetro Parque FP

Figura 171. Distribución de los pluviómetros dentro de la cuenca.

Modelos de calibración aplicados

- Para realizar el estudio de la cuenca del río cabriales se aplicaron tres métodos de transformación de los datos de precipitación a datos de cuadal, los cuales fueron: SCS Unit Hydrograph, Snyder Unit Hydrograph y Clark Unit Hydrograph. Para entender de forma más precisa estos tres modelos se reviso el manual técnico de referencia del HEC-HMS, con el fin de acceder a las ecuaciones de los parámetros de los modelos.

SCS Unit Hydrograph

El manual de referencia técnico establece que el modelo se basa en promedios de hidrogramas unitarios derivado de las precipitaciones y la escorrentía para un gran número de cuencas agrícolas con áreas pequeñas. Uno de los parámetros solicitados para el estudio en el SCS UH es el lag time, el tiempo de retardo en minutos definido en el manual con la siguiente ecuación:

$$t_{lag} = \text{basin lag}$$

Al definir la ecuación de esa forma el tiempo de retardo de la cuenca resulta ser demasiado elevado para el tiempo de retardo real que ocurre en la cuenca; para ajustarlo el manual lo define como la diferencia de tiempo entre el centro de masa del exceso de lluvia y el pico del hidrograma unitario, pero éste se debe introducir de forma manual.

Snyder Unit Hydrograph

El manual técnico de referencia puntualiza que Snyder se basaba en recoger datos de precipitación y escorrentía de las cuencas, derivadas del hidrograma unitario, para parametrizarlo e maual propone la siguiente ecuación.

$$t_p = C C_t (L L_c)^{0.3}$$

Dónde:

C_t es un coeficiente de la cuenca

L es la longitud de la corriente principal

L_c es la longitud del punto de salida hasta el centroide de la cuenca

C es un factor de conversión de unidades. Para un sistema de unidades S.I. $C = 0.75$.

Para ajustar este modelo es necesario establecer un coeficiente de cuenca que se ajuste al mismo, el cual varía desde 1.8 a 2.2 según el manual, pero se han visto caso donde el relieve de montaña es tan fuerte que Ct toma valores de 0.4 y otro caso extremo como el Golfo de Mexico donde toma valores de 8.0.

El otro coeficiente de la cuenca a calibrar seria el Cp, peaking coefficient (coeficiente de pico), que el manual lo define entre un rango de valores que puede ir desde el 0.4 hasta el 0.8, donde a mayores valores de Cp están asociados a menores valores de Ct.

Clark Unit Hydrograph

El Modelo de Hidrograma Unitario de Clark se fundamenta básicamente en el tiempo de concentración de la cuenca que puede ser estimado como lo describe el Modelo de Hidrograma Unitario SCS o puede ser calibrado dentro de un rango de valores muy amplio, aunque está ampliamente definido el tiempo de concentración puede ser estimado por diferentes formas, para el caso de esta investigación se aplica que el tiempo de concentración está fundamentado en la siguiente ecuación.

$$T_b = D + T_c$$

Donde

Tb es el tiempo base del Hidrograma Unitario,

D es la duración del evento de precipitación

Tc es el tiempo de concentración,

Este estudio permite obtener el Tc de forma gráfica al tener mediciones directas de precipitación y escorrentía.

El otro parámetro en el que se fundamenta Clark es el coeficiente de almacenamiento de la cuenca, R, como índice de almacenamiento temporal de exceso de precipitación en la cuenca, ya que drena por el punto de salida. También se puede estimar a través de la calibración si se dispone de datos de precipitación y caudal al ser computado como el flujo en el punto de inflexión en la extremidad descendente del hidrograma dividido a la derivada del tiempo de flujo.

Corridas de los modelos

Una vez definidos los parámetros a ingresar se hace una corrida en HEC-HMS para el mismo se va al menú de herramientas Compute / Create a Simulation Run, en donde se despliega una ventana donde se tiene que dar un nombre a la corrida de simulación.

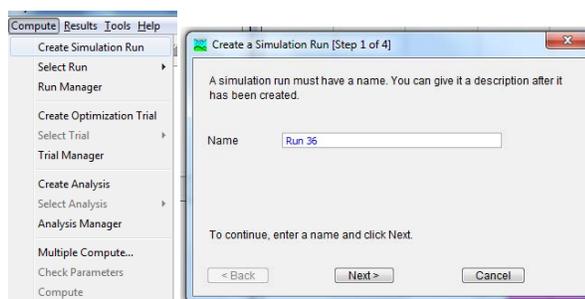


Figura 172. Corrida de la simulación.

Si todo esta correcto se le da al icono Compute Current Run, al realizar la corrida se localiza la “W60” correspondiente a la cuenca del rio Cabriales, se le da click derecho y se busca la opción de ver el grafico para visualizar los resultados.

CAPITULO IV

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Análisis de resultado

En esta sección se presentan los resultados obtenidos de la investigación, agrupados de la siguiente forma: 1. Caracterizar la variación de los niveles y la escorrentía mediante una curva de gastos del río Cabriales, 2. Describir las características del proceso lluvia-escorrentía mediante obtención de datos de las red de estaciones de monitoreo hidrometeorológicas de la cuenca del rio Cabriales, 3. Calibrar modelos del proceso lluvia-escorrentía adaptados a la cuenca del rio Cabriales, 4. Comparar modelos del proceso lluvia-escorrentía adaptados a la cuenca del rio Cabriales, 5. Validar modelos del proceso lluvia-escorrentía adaptados a la cuenca del rio Cabriales.

Caracterizar la variación de los niveles y la escorrentía mediante una curva de gastos del Río Cabriales.

Los resultados obtenidos de las mediciones en el puente “A” del parque Fernando Peñalver durante el mes de Octubre del 2014 y hasta el mes de Febrero del 2015, se muestran en la Tabla 2; donde se encuentran los niveles compensados con respecto a los caudales medidos, y se puede observar que el nivel 0,31 m está vinculado con el caudal 0,42 m³/s siendo este el menor valor del rango y el nivel de 3,53 m está vinculado con un caudal de 75,47 m³/s siendo este el mayor valor del rango.

NIVEL (m)	CAUDAL (m³/s)
0,31	0,42
0,32	1,1
0,33	0,73
0,37	0,91
0,37	0,89
0,39	0,72
0,42	0,61
0,44	0,69
0,45	3,43
0,45	0,85
0,58	2,03
3,53	75,47

Tabla 2. Niveles compensados correspondientes a los caudales medidos, en el puente "A" del Parque Fernando Peñalver.

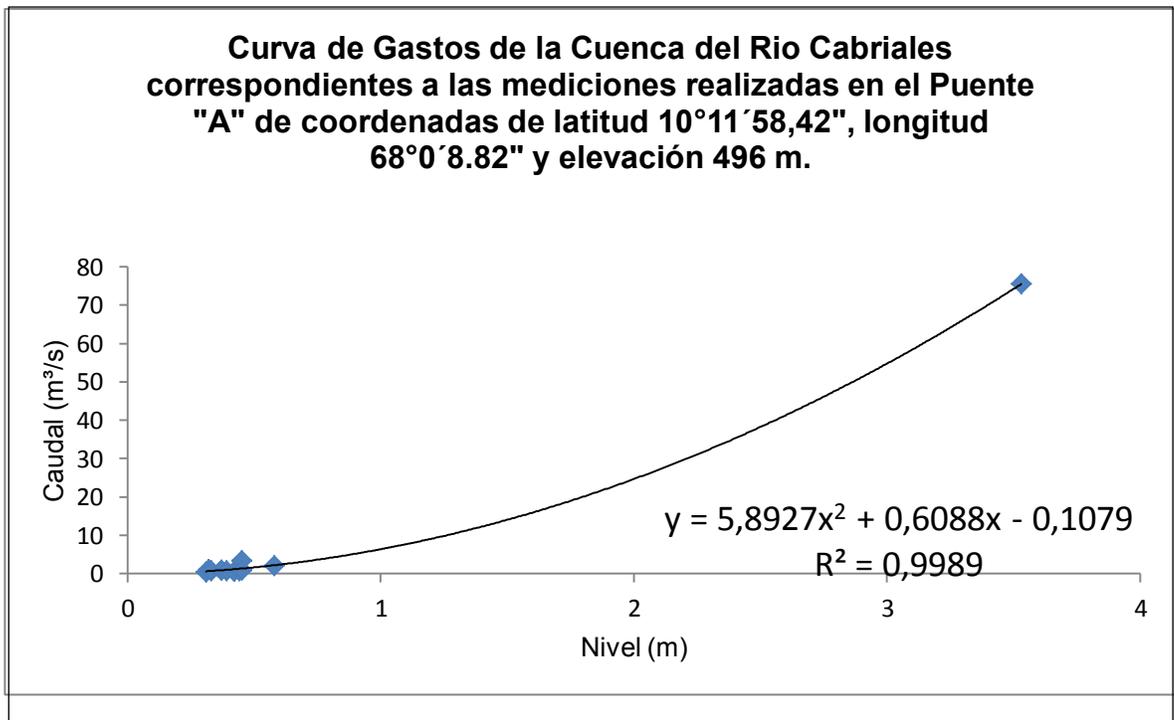


Figura 173. Curva de Gastos de la cuenca del rio Cabriales.

En la Figura 173 correspondiente a la curva de gastos se observa que su variable independiente vendría dada por los niveles y la misma se caracterizó con la siguiente expresión:

$$y = 5,8927x^2 + 0,6088x - 0,1079$$

Observando esta expresión se puede analizar que la curva de tendencia tiene una relación polinómica de grado 2 con un coeficiente de determinación conocido como el valor de R cuadrado de 0.9989 que indica que hay una estrecha relación entre las variables de gasto y niveles.

Además se puede acotar que el rango de valores observados en la Tabla 2 no posee valores medios debido a que en el periodo de estudio no acontecieron eventos donde se pudieran observar estos fenómenos. Esto se refleja en la Figura 174 donde se puede visualizar que en el periodo de estudio solo ocurrieron eventos extremos.

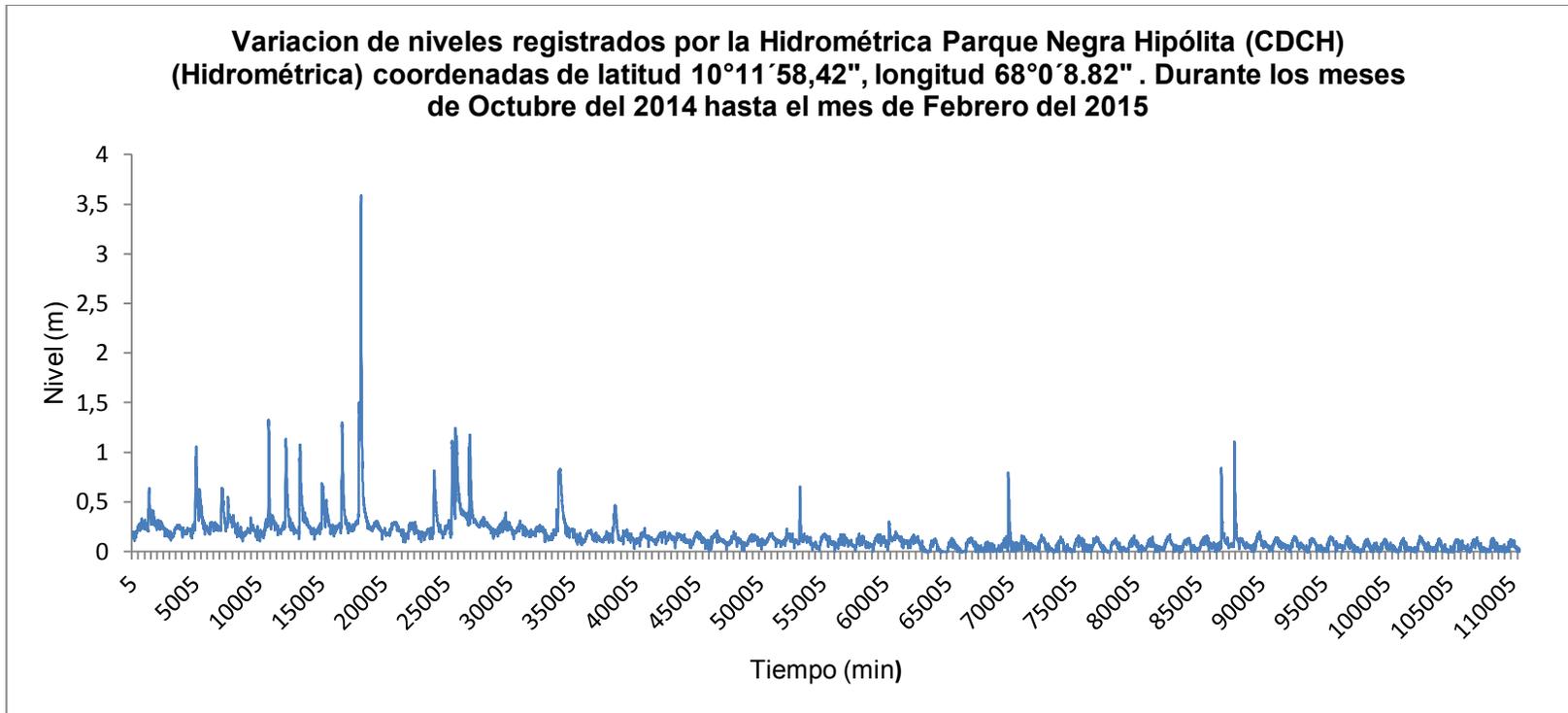


Figura 174. Variación de niveles con respecto al tiempo de estudio.

Describir las características del proceso lluvia-escorrentía mediante obtención de datos de las red de estaciones de monitoreo hidrometeorológicas de la Cuenca del Rio Cabriales.

Para la obtención de un proceso de lluvia escorrentía se dispuso de dos estaciones hidrometeorológicas proporcionadas e instaladas por TECNUM ELECTRONICA, ubicadas tales como se muestra en la Figura 175.

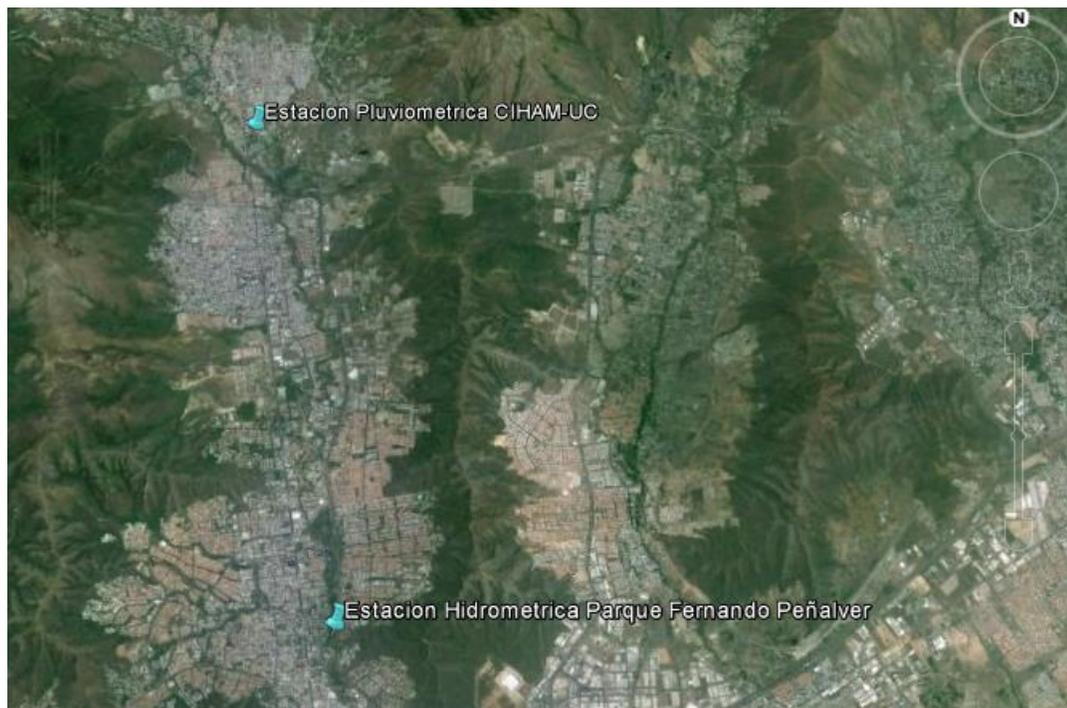


Figura 175. Ubicación de las Estaciones hidrometeorologicas.

- La hidrométrica de Carabobo (CDCH) (Pluviometrica) ubicada en el CIHAM-UC con coordenadas de latitud de $10^{\circ}16'39.62''N$ longitud de $68^{\circ}1'2.36''O$ y elevación de 516 m. En Esta estación solo se registraron datos de precipitación acumulada a cada 5 min en mm. En la cuenca del Rio

Cabriales los datos que se registraron en la estación corresponden a las precipitaciones aguas arriba. Si ocurría un evento de proceso lluvia-escorrentía se registraría la lluvia en la estación del CIHAM-UC antes que en la estación del Parque Fernando Peñalver.

- Hidrométrica Parque Negra Hipólita (CDCH) (Hidrométrica) ubicada en el Parque Fernando Peñalver, adyacente a las instalaciones de la dirección del parque por seguridad, mantenimiento y resguardo de los equipos; con coordenadas de latitud $10^{\circ}11'58.42''N$, longitud $68^{\circ}0'8.82''$ y elevación 496 m. En esta estación hidrometeorológica se registraban datos de precipitación acumulada cada 5 min en mm y a su vez se registraban datos de nivel de agua en el aforo ubicado en el puente "A" del parque Fernando Peñalver, estos niveles de agua también se registraban cada 5 min con unidad de metros (m). A su vez se tiene presente que un sensor de niveles siempre se debe calibrar por debajo del fondo de aforo por la interacción de los sedimentos con el fondo; por lo cual el encerado de este fue a 0,5 m por debajo del fondo del nivel. Para el proceso de lluvia escorrentía se tomó el criterio de que esta estación vendría siendo los registros de cuenca aguas abajo.

El proceso de lluvia-escorrentía experimentado a lo largo del estudio se caracterizó por ser eventos con precipitaciones y caudales muy bajos, tales como se muestran en el hidrograma reflejado en la Figura 176 y los hietogramas reflejados en las Figuras 177 y 178, debido a que el mismo fue realizado durante la época de sequía del año. Los eventos más característicos para poder realizar los objetivos se ubicaron en el mes de octubre correspondiente a las fechas 12 de octubre del 2014 y el 13 de octubre del 2014.

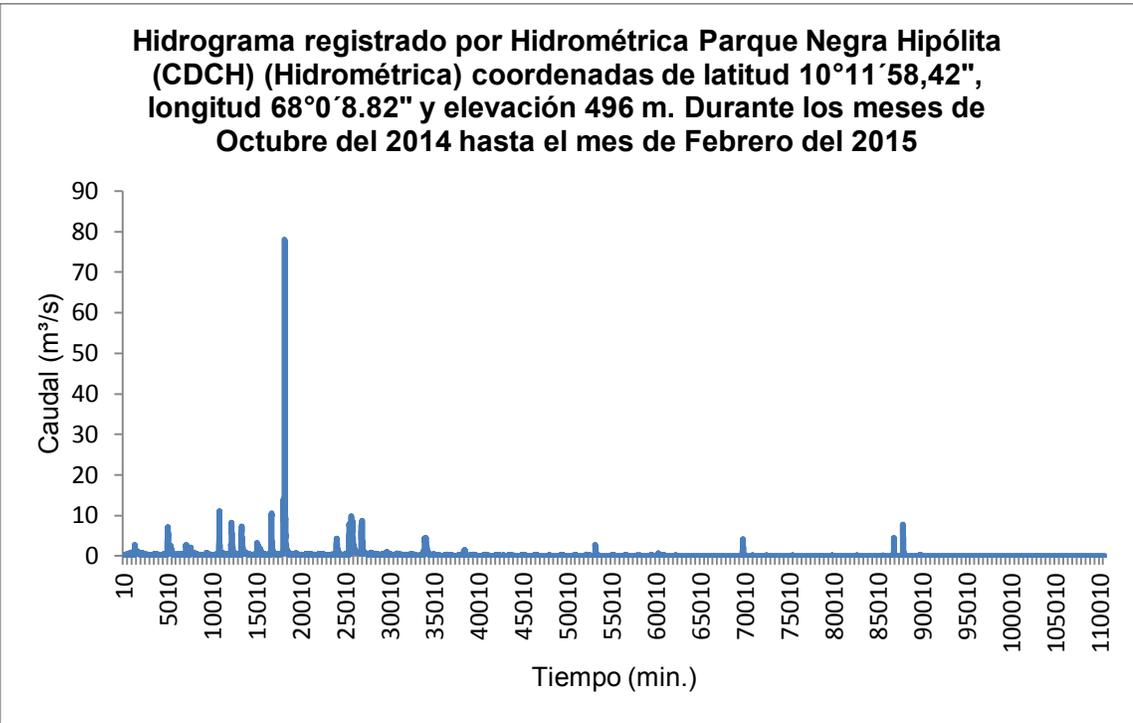


Figura 176. Hidrograma del periodo de estudio.

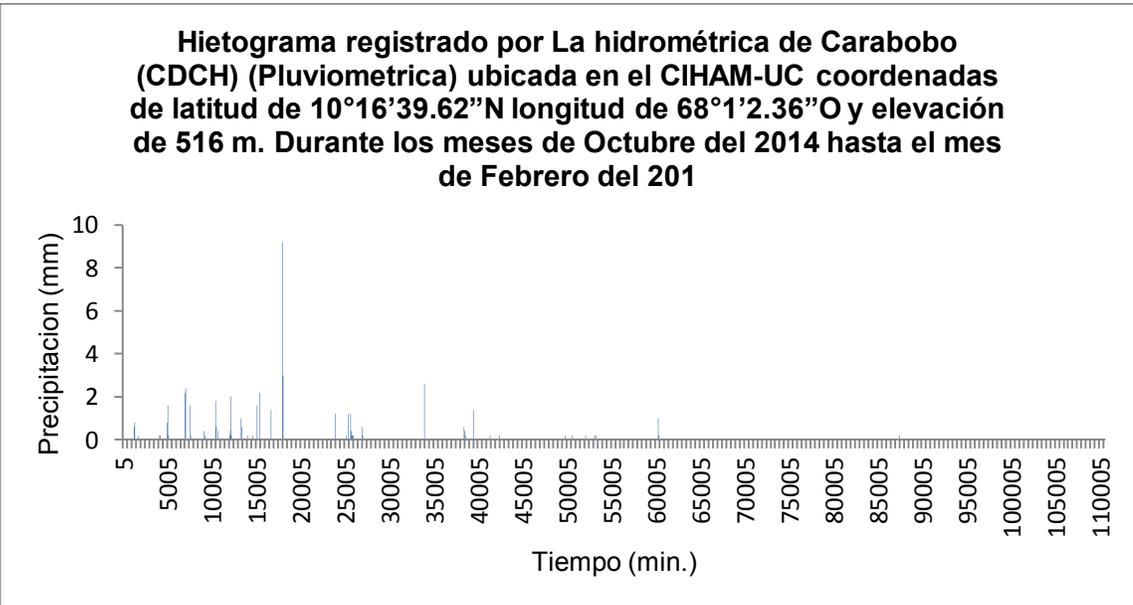


Figura 177. Hietograma del periodo de estudio estación ubicada en el Parque Fernando Peñalver.

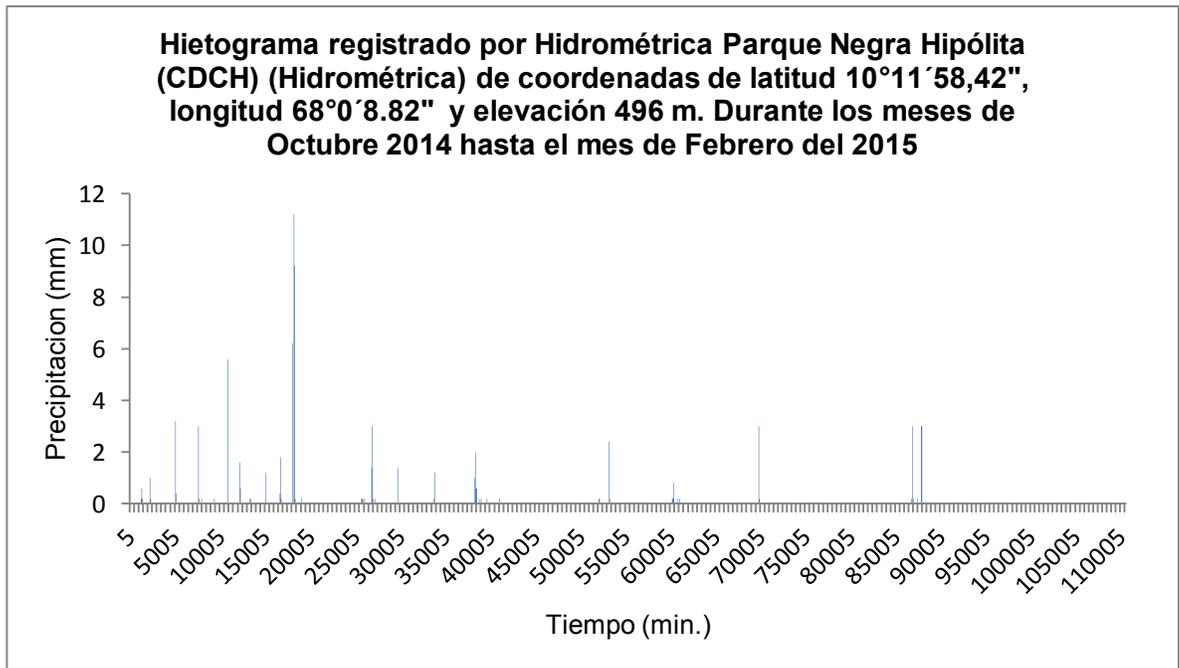


Figura 178. Hietograma del periodo de estudio estación ubicada en el Parque Fernando Peñalver.

- Evento del 12 de Octubre del 2014

Lluvia registrada en la hidrométrica de Carabobo (CDCH) (Pluviométrica) ubicada en el CIHAM-UC. (Ver Figura 179).

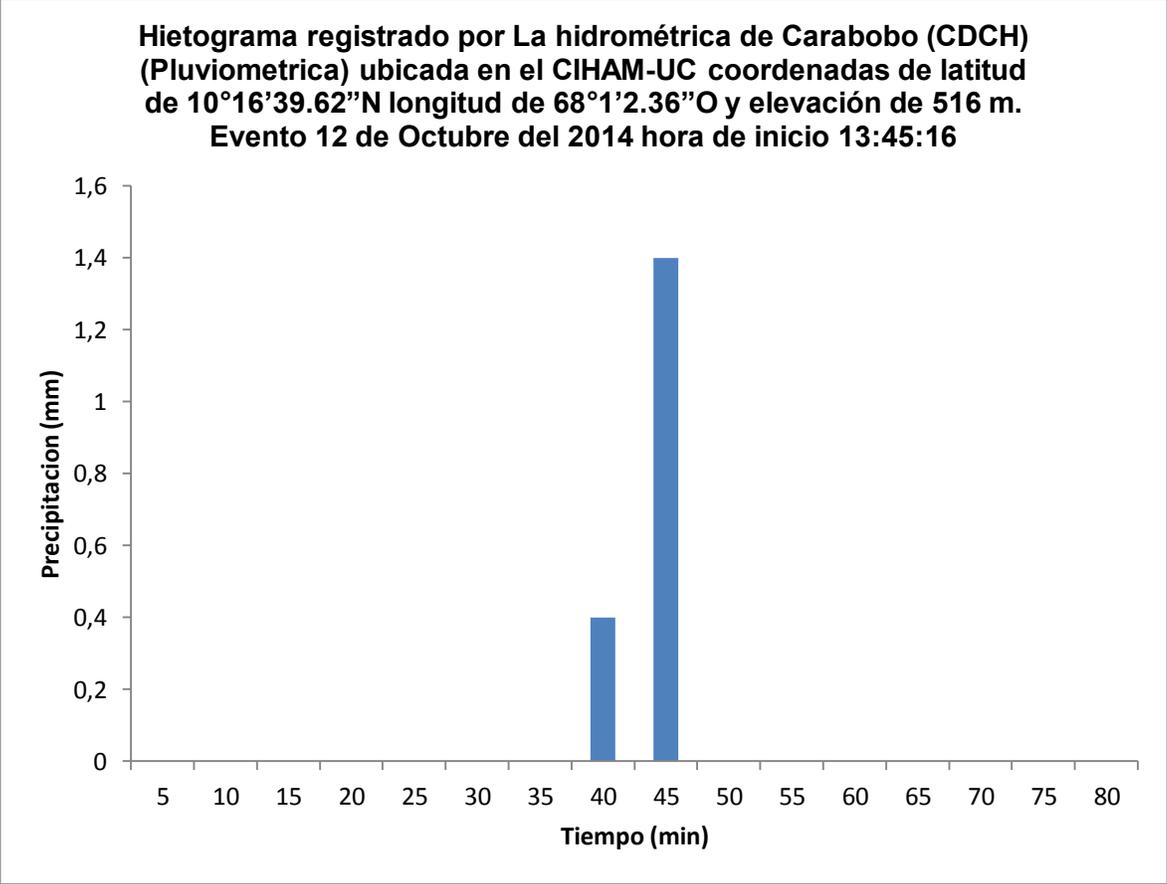


Figura 179. Hietograma de lluvia registrado en el CIHAM-UC fecha 12 de Octubre del 2014.

Lluvia registrada en la Hidrométrica Parque Negra Hipólita (CDCH) (Hidrométrica) ubicada en el Parque Fernando Peñalver. (Ver Figura 180).

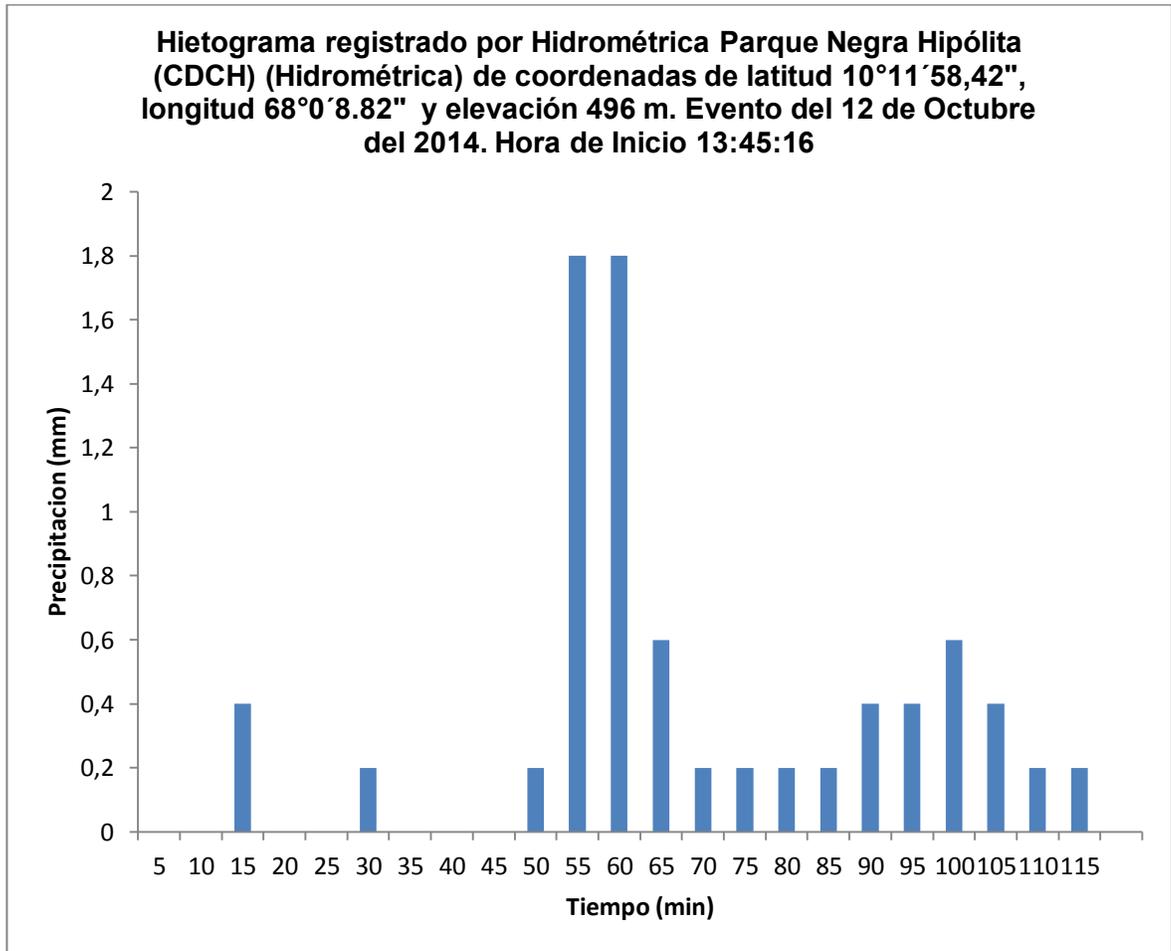


Figura 180. Hietograma de lluvia registrado en el Parque Fernando Peñalver fecha 12 de Octubre del 2014.

Hidrograma en la Hidrométrica Parque Negra Hipólita (CDCH) (Hidrométrica) ubicado en el Parque Fernando Peñalver, luego de realizar la relación de los niveles con los caudales mediante la curva de gastos. (Ver Figura 181).

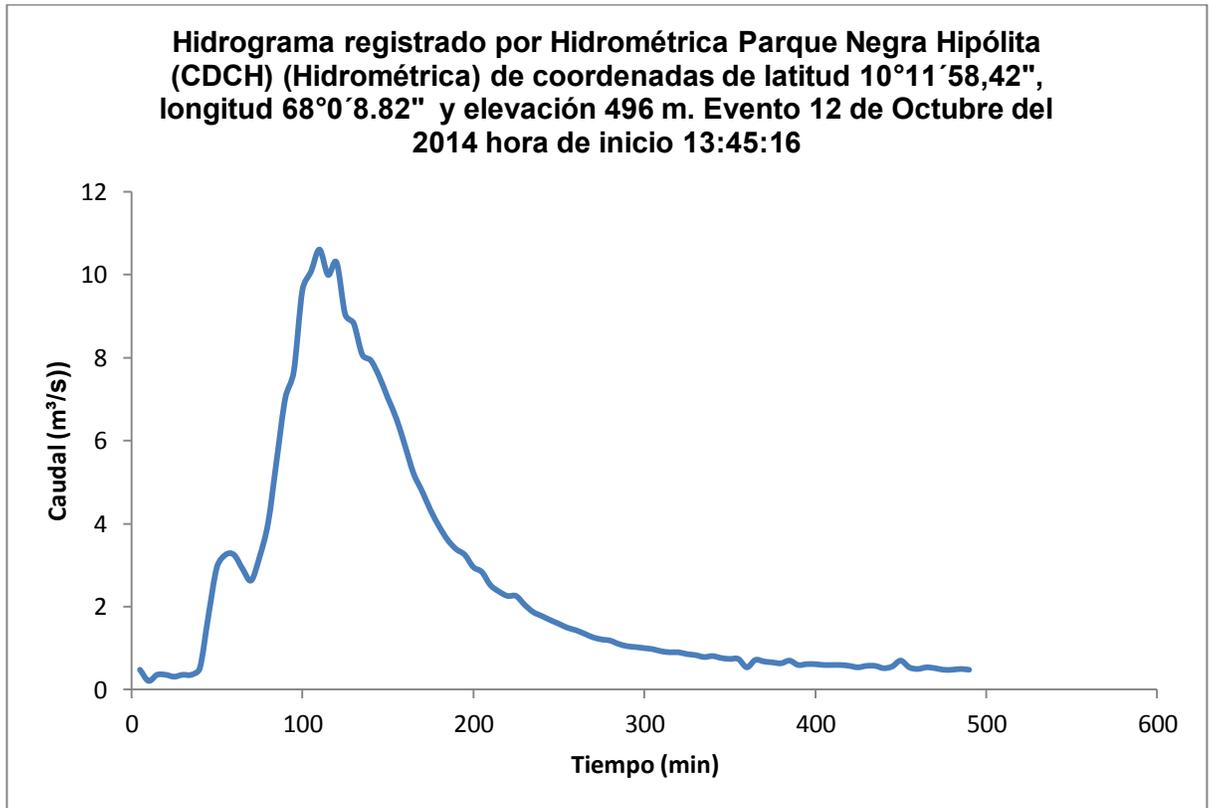


Figura 181. Hidrograma en el Parque Fernando Peñalver fecha 12 de Octubre del 2014.

- Evento del 13 de Octubre del 2014

Lluvia registrada en la hidrométrica de Carabobo (CDCH) (Pluviométrica) ubicada en el CIHAM-UC. (Ver Figura 182).

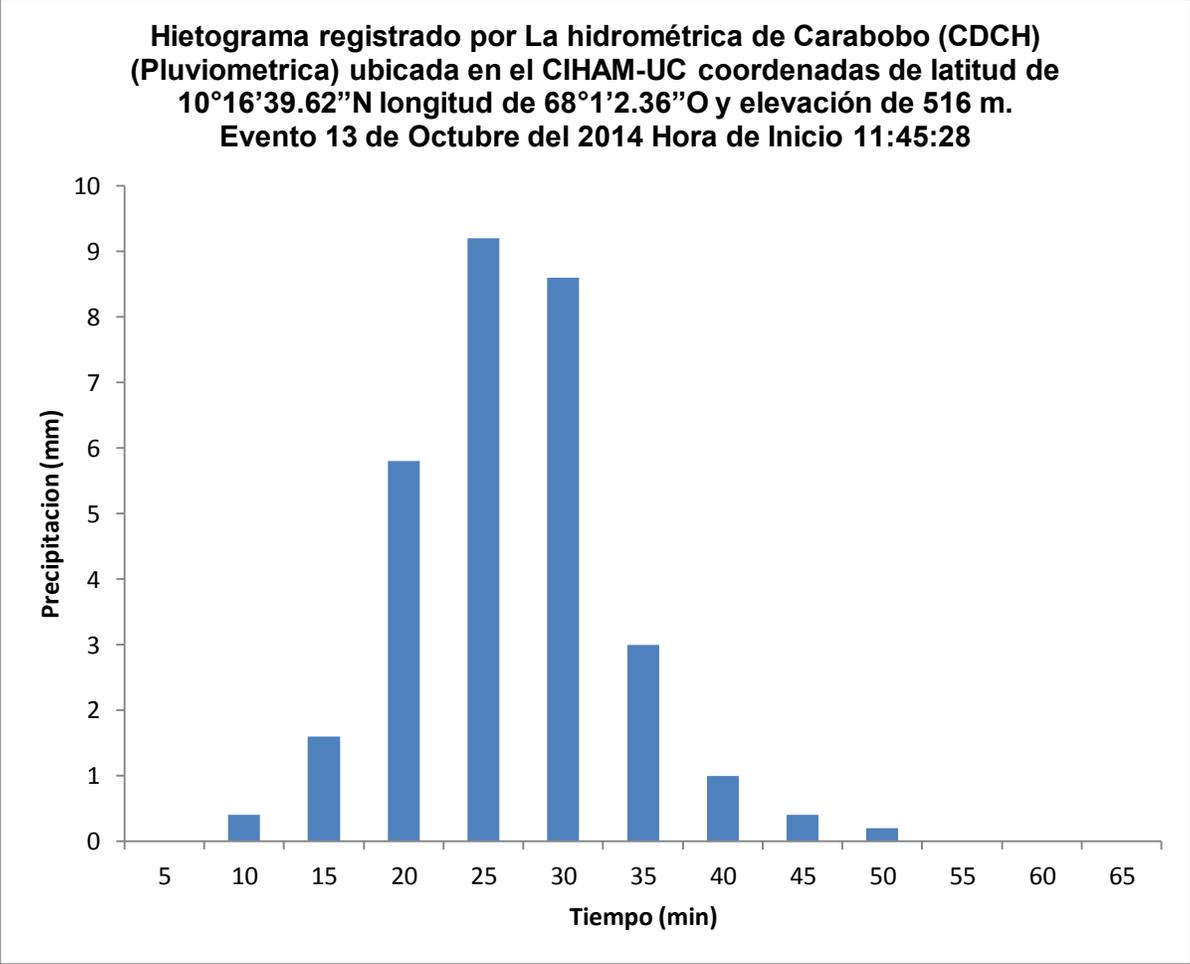


Figura 182. Hietograma de lluvia registrado en el CIHAM-UC fecha 13 de Octubre del 2014.

Lluvia registrada en la Hidrométrica Parque Negra Hipólita (CDCH) (Hidrométrica) ubicada en el Parque Fernando Peñalver. (Ver Figura 183).

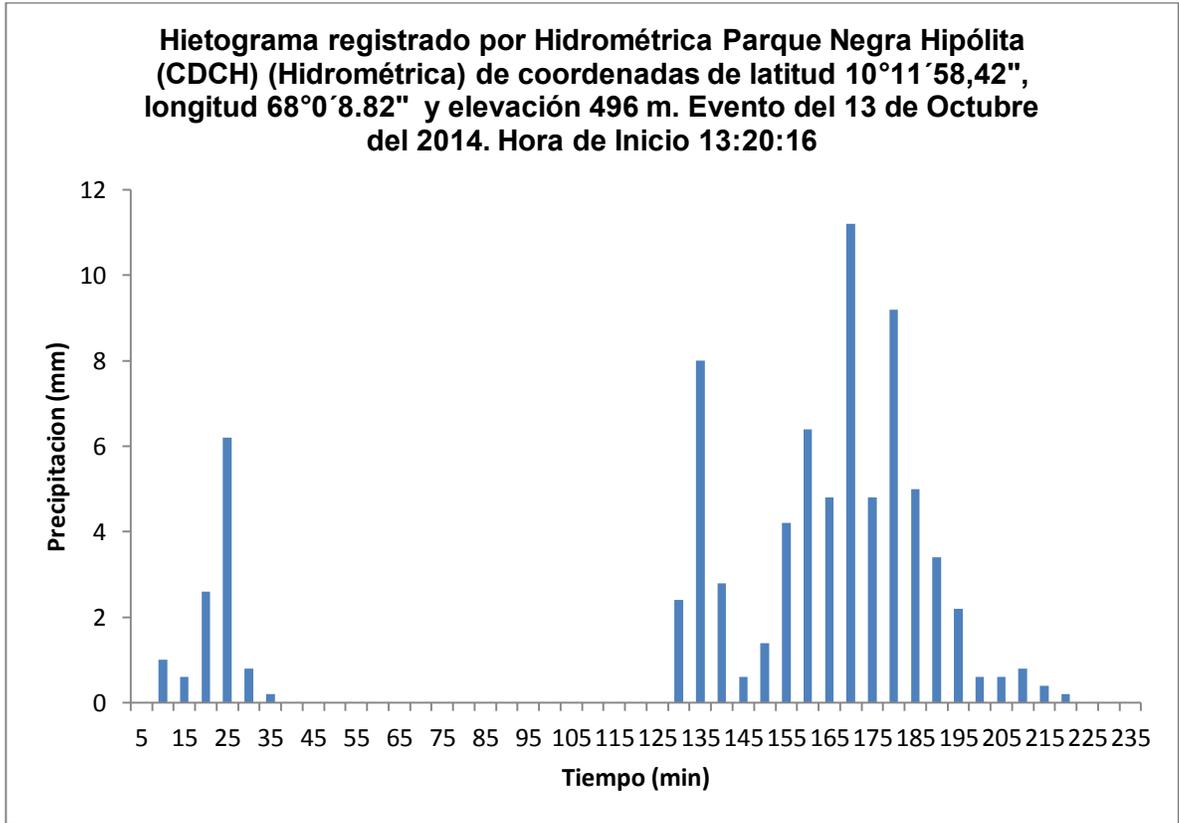


Figura 183. Hietograma de lluvia registrado en el Parque Fernando Peñalver fecha 13 de Octubre del 2014.

Hidrograma en la Hidrométrica Parque Negra Hipólita (CDCH) (Hidrométrica) ubicado en el Parque Fernando Peñalver, luego de realizar la relación de los niveles con los caudales mediante la curva de gastos. (Ver Figura 184).

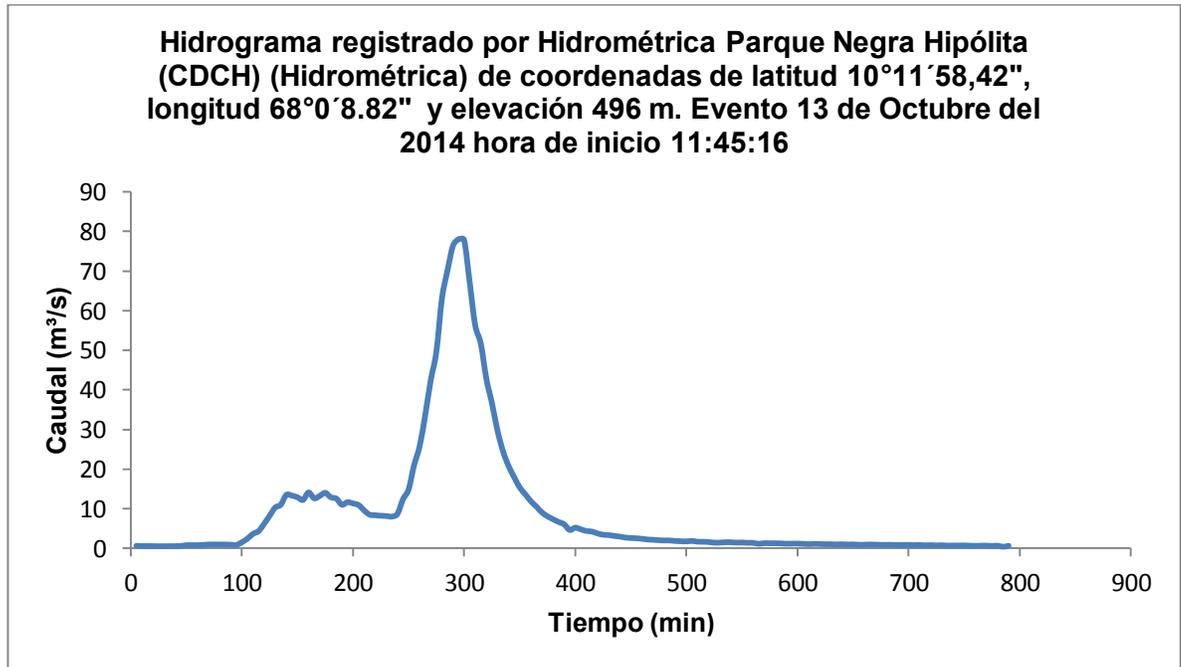


Figura 184. Hidrograma en el Parque Fernando Peñalver fecha 13 de Octubre del 2014.

Se observa que ambos eventos del proceso de lluvia-escorrentia de la cuenca del rio Cabriales se registraron primero en la estación del CIHAM-UC, cuenca arriba, y luego se registraron en la estación del Parque Fernando Peñalver, cabe destacar que la magnitud de las lluvias ocurridas no son similares siendo más representativas las ocurridas en el Parque Fernando Peñalver asumiendo así que estas influyeron de manera directa en los hidrogramas observados.

Estos eventos descritos fueron los introducidos dentro del software HEC-HMS para dar respuesta a los siguientes objetivos.

Calibrar modelos del proceso lluvia-escorrentía adaptados a la Cuenca del Rio Cabriales

En el estudio realizado se aplicaron tres modelos que fueron sometidos a calibración: SCS Unit Hydrograph, Snyder Unit Hydrograph y Clark Unit Hydrograph. Previamente se extrajo la siguiente información del software ArcGIS 10.0 para realizar los cálculos pertinentes y se definió la nomenclatura exportada al modelo HEC-HMS 3.5, tales como se muestran en las Tablas 3 y 4

Tabla 3. Parametros obtenidos de la Cuenca del Rio Cabriales.

PARÁMETRO	VALOR
Área de la Cuenca del Rio Cabriales	2125,79 km ²
Perímetro de la Cuenca del Rio Cabriales	135,42 km
Longitud del Rio Cabriales	32,42 km
Elevación de Aguas Arriba	435,59 msnm
Elevación de Aguas Abajo	422,89 msnm
Longitud del tributario más largo	42,24 km
Coordenadas del Centroide	608352,11 ; 1127011,75

Tabla 4. Cuencas correspondientes a la nomenclatura del HEC-HMS.

NOMENCLATURA HEC-HMS	CUENCA CORRESPONDIENTE
W60	Cuenca del Rio Cabriales
W70	Cuenca del Dique de Guataparo
W80	Cuenca del embalse de Guataparo
W90	Cuenca del Rio Pao
W100	Subdivisión de Cuenca

- SCS Unit Hydrograph.

Luego de calibrar el modelo de Hidrograma Unitario SCS se obtuvo los siguientes resultados reflejados en la Figura 185.

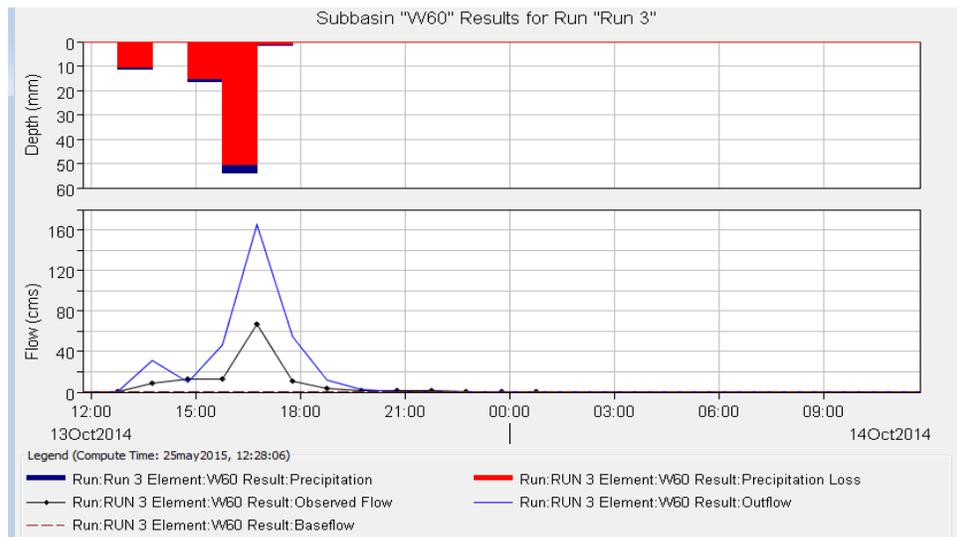


Figura 185. Hidrogramas observado y estimado luego de la calibración.

Para llegar a este resultado, fue necesario ingresar ciertos parámetros de entrada en la “W60”, los cuales fueron: número de curva de 78.842 el cual

fue calculado por el software ArcGIS 10.0 anteriormente, a partir de esto se asumió que se tiene un índice de pérdidas del 100%, y una impermeabilidad del 6.3%. Se calculó un Lag Time (min) de 10 min con el método gráfico, debido a que el Tiempo de Retardo que el HEC-HMS calcula es de 10046 min aproximadamente, resultando un valor erróneo y sometido a calibración. Se demuestro que el Tiempo de Retardo estimado de 10 min arrojo resultados más congruentes con el hidrograma observado.

Para el flujo base de este estudio se tomó en cuenta que era época de sequía colocando para los meses secos de 0.01 m³/seg y en los meses que donde se experimenta mayores precipitaciones de 0.2 m³/seg. Para la calibración se adoptó el criterio de usar el evento más significativo durante el periodo de estudio, el cual coincide con el proceso lluvia-escorrentia ocurrido el 13 de octubre del 2014, el hidrograma de salida y modelo meteorológico que se ingresaron fueron los observados ese día.

De igual forma se tomó el criterio para la precipitación y se tomaron los datos de lluvia del 13 de Octubre del 2014 en el parque Fernando Peñalver.

Los resultados cuantitativos del modelo se reflejan en las Figuras 186 y 187:



Figura 186. Resultados obtenidos por el método SCS Unit Hydrograph.

Project: Proyecto Final Simulation Run: Run 4 Subbasin: W60								
Start of Run: 13oct2014, 11:45			Basin Model: Tesis_Cabriales2					
End of Run: 14oct2014, 01:45			Meteorologic Model: Met 1					
Compute Time: 25may2015, 12:31:15			Control Specifications: Control 1					
Date	Time	Precip (MM)	Loss (MM)	Excess (MM)	Direct Flow (M3/S)	Baseflow (M3/S)	Total Flow (M3/S)	Obs Flow (M3/S)
13oct2014	11:45				0.0	0.2	0.2	0.6
13oct2014	12:45	0.00	0.00	0.00	0.0	0.2	0.2	0.9
13oct2014	13:45	11.20	10.49	0.71	31.0	0.2	31.2	8.2
13oct2014	14:45	0.20	0.19	0.01	9.2	0.2	9.4	12.5
13oct2014	15:45	16.20	15.18	1.02	46.6	0.2	46.8	12.3
13oct2014	16:45	53.80	50.32	3.48	165.4	0.2	165.6	67.2
13oct2014	17:45	1.40	1.19	0.21	54.2	0.2	54.4	10.5
13oct2014	18:45	0.00	0.00	0.00	11.4	0.2	11.6	3.4
13oct2014	19:45	0.00	0.00	0.00	2.2	0.2	2.4	2.0
13oct2014	20:45	0.00	0.00	0.00	0.1	0.2	0.3	1.4
13oct2014	21:45	0.00	0.00	0.00	0.0	0.2	0.2	1.1
13oct2014	22:45	0.00	0.00	0.00	0.0	0.2	0.2	1.0
13oct2014	23:45	0.00	0.00	0.00	0.0	0.2	0.2	0.7
14oct2014	00:45	0.00	0.00	0.00	0.0	0.2	0.2	0.4
14oct2014	01:45	0.00	0.00	0.00	0.0	0.2	0.2	

Figura 187. Resultados tabulados obtenidos por el método SCS Unit Hydrograph.

El pico estimado da un valor de 165.6 m³/s mientras que el valor observado de 67,17 m³/s, dando un porcentaje de excedencia del 146,5%. Cabe resaltar que mediante la calibración del modelo se logró que el pico estimado coincidiera con el pico observado.

- Snyder Unit Hydrograph

Luego de calibrar el modelo de Hidrograma Unitario Snyder se obtuvo los resultados observados en la Figura 188:

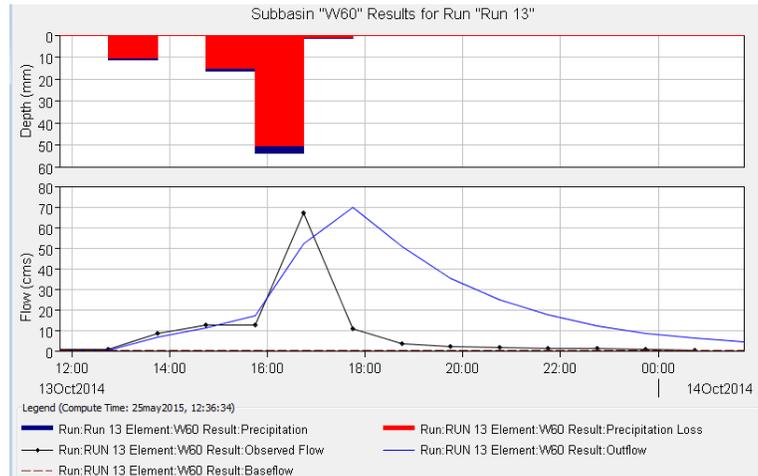


Figura 188. Hidrograma observado y estimado luego de la calibración del modelo.

Para el método de Snyder Unit Hydrograph se introdujeron los siguientes datos de entrada en la cuenca “W60”, correspondiente a la cuenca del río Cabriales. Se trabajó con un número de curva de 78.842 el cual fue calculado por el software ArcGIS 10.0 anteriormente, a partir de esto se asumió un índice de pérdidas del 100%, y una impermeabilidad del 6.3%.

Para los parámetros de calibración propios del método el Tiempo de Retardo (HR) y el Coeficiente de Pico; se tomaron los valores de $C_t = 0,15$ con el que se calculó un Tiempo de Retardo (HR) = 0.86 y Coeficiente de Pico = 0,42. El flujo base para este estudio se tomó en base a época de sequía asumiendo en los meses secos de $0.01 \text{ m}^3/\text{seg}$ y en los meses que donde se experimenta mayores precipitaciones de $0.2 \text{ m}^3/\text{seg}$.

Para la calibración se adoptó el criterio de usar el evento más significativo durante el periodo de estudio, el cual coincide con el proceso lluvia-escorrentía ocurrido el 13 de octubre del 2014, para el hidrograma de salida y para el modelo meteorológico se ingresaron los datos el observado ese día. De

igual forma se tomo el criterio para la precipitación y se tomaron los datos de lluvia del 13 de Octubre del 2014 en el parque Fernando Peñalver.

Los resultados cuantitativos del modelo se muestran en las Figuras 189 y 190:

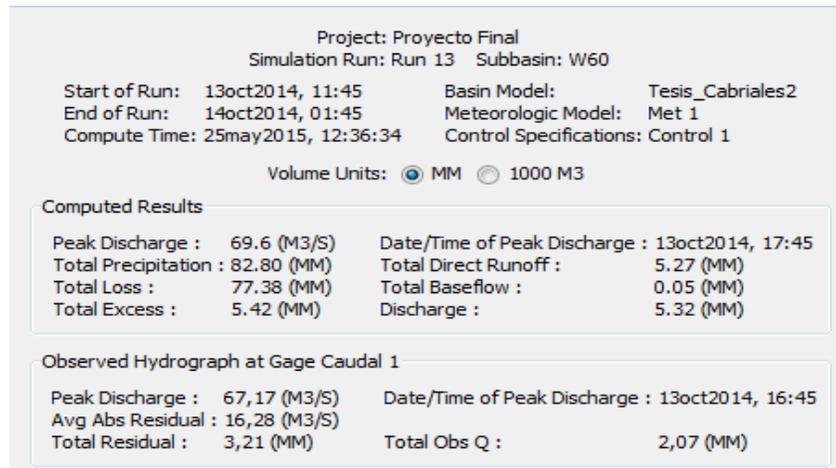


Figura 189. Resultados obtenidos por el método Snyder Unit Hydrograph.

Project: Proyecto Final
Simulation Run: Run 13 Subbasin: W60

Start of Run: 13oct2014, 11:45 Basin Model: Tesis_Cabriales2
End of Run: 14oct2014, 01:45 Meteorologic Model: Met 1
Compute Time: 25may2015, 12:36:34 Control Specifications: Control 1

Date	Time	Precip (MM)	Loss (MM)	Excess (MM)	Direct Flow (M3/S)	Baseflow (M3/S)	Total Flow (M3/S)	Obs Flow (M3/S)
13oct2014	11:45				0.0	0.2	0.2	0.6
13oct2014	12:45	0.00	0.00	0.00	0.0	0.2	0.2	0.9
13oct2014	13:45	11.20	10.49	0.71	6.3	0.2	6.5	8.2
13oct2014	14:45	0.20	0.19	0.01	10.9	0.2	11.1	12.5
13oct2014	15:45	16.20	15.18	1.02	16.8	0.2	17.0	12.3
13oct2014	16:45	53.80	50.32	3.48	52.1	0.2	52.3	67.2
13oct2014	17:45	1.40	1.19	0.21	69.4	0.2	69.6	10.5
13oct2014	18:45	0.00	0.00	0.00	50.3	0.2	50.5	3.4
13oct2014	19:45	0.00	0.00	0.00	35.2	0.2	35.4	2.0
13oct2014	20:45	0.00	0.00	0.00	24.6	0.2	24.8	1.4
13oct2014	21:45	0.00	0.00	0.00	17.2	0.2	17.4	1.1
13oct2014	22:45	0.00	0.00	0.00	12.0	0.2	12.2	1.0
13oct2014	23:45	0.00	0.00	0.00	8.4	0.2	8.6	0.7
14oct2014	00:45	0.00	0.00	0.00	5.9	0.2	6.1	0.4
14oct2014	01:45	0.00	0.00	0.00	4.1	0.2	4.3	

Figura 190. Resultados tabulados obtenidos por el método Snyder Unit Hydrograph.

El pico estimado da un valor de 69,6 m³/s mientras que el valor observado de 67,17 m³/s, dando un porcentaje de excedencia del 3,6%. La ocurrencia de los picos varía por 5 minutos.

- Clark Unit Hydrograph.

Finalmente luego de calibrar el modelo de Hidrograma Unitario Snyder se obtuvo el resultado que se visualiza en la Figura 191.

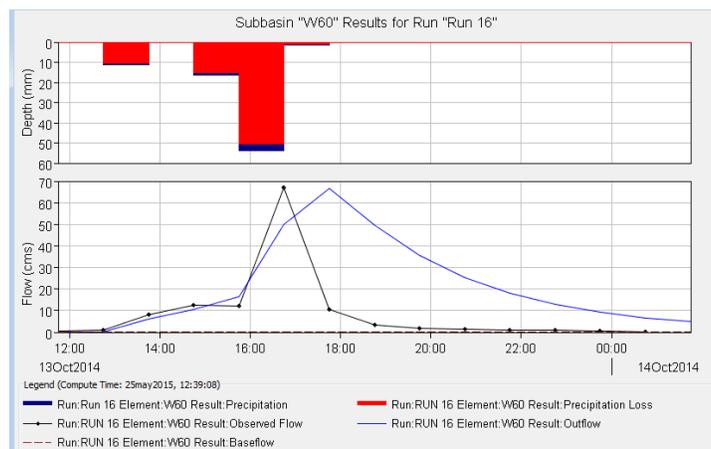


Figura 191. Hidrograma observado y estimado luego de la calibración del modelo.

Para la calibración del modelo se introdujeron los siguientes datos de entrada en la cuenca "W60", correspondiente a la cuenca del río Cabriales, un número de curva de 78.842 el cual fue calculado por el software ArcGIS 10.0 anteriormente, a partir de esto se asumió que se tiene un índice de pérdidas del 100%, y una impermeabilidad del 6.3%.

Para los parámetros de calibración del modelo se rigió por la premisa de que se tienen valores de proceso lluvia-escorrentia observados para poder estimar los parámetros. Siendo el tiempo de concentración el tiempo que

transcurre entre el pico del hietograma y el cambio de pendiente en el hidrograma, este valor corresponde a 1 hora; y el Storage Coefficient un valor medido en el hidrograma desde el momento de la crecida hasta que ocurre un cambio de cóncavo a convexo, siendo un valor de 5 horas en el.

Para el flujo base se tomó en cuenta que se trabajo en época de sequía asumiendo en los meses secos de 0.01 m³/seg y en los meses en donde se experimenta mayores precipitaciones de 0.2 m³/seg. Para la calibración se adoptó el criterio de usar el evento más significativo durante el periodo de estudio, el cual coincide con el proceso lluvia-escorrentía ocurrido el 13 de octubre del 2014, para el hidrograma de salida y para el modelo meteorológico se ingresaron los datos el observado ese día. De igual forma se tomo el criterio para la precipitación y se tomaron los datos de lluvia del 13 de Octubre del 2014 en el parque Fernando Peñalver.

Los resultados cuantitativos se reflejan en la Figuras 192 y 193.

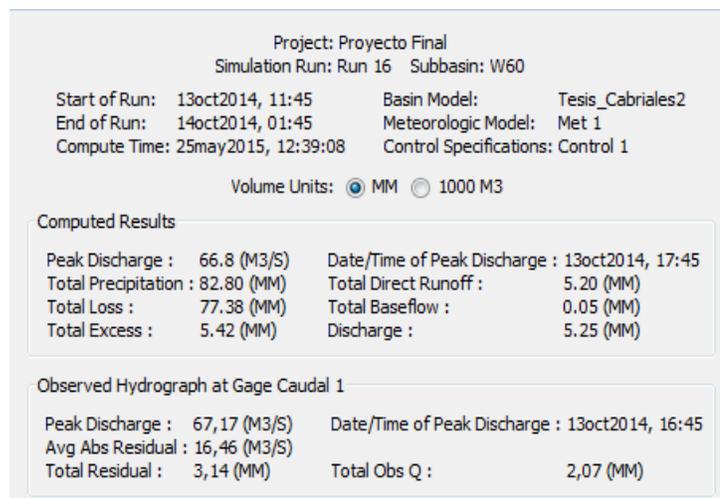


Figura 192. Resultados obtenidos por el método Clark Unit Hydrograph.

Project: Proyecto Final								
Simulation Run: Run 16 Subbasin: W60								
Start of Run: 13oct2014, 11:45			Basin Model: Tesis_Cabriales2			End of Run: 14oct2014, 01:45		
Compute Time: 25may2015, 12:39:08			Meteorologic Model: Met 1			Control Specifications: Control 1		
Date	Time	Precip (MM)	Loss (MM)	Excess (MM)	Direct Flow (M3/S)	Baseflow (M3/S)	Total Flow (M3/S)	Obs Flow (M3/S)
13oct2014	11:45				0.0	0.2	0.2	0.6
13oct2014	12:45	0.00	0.00	0.00	0.0	0.2	0.2	0.9
13oct2014	13:45	11.20	10.49	0.71	6.0	0.2	6.2	8.2
13oct2014	14:45	0.20	0.19	0.01	10.4	0.2	10.6	12.5
13oct2014	15:45	16.20	15.18	1.02	16.1	0.2	16.3	12.3
13oct2014	16:45	53.80	50.32	3.48	49.6	0.2	49.8	67.2
13oct2014	17:45	1.40	1.19	0.21	66.6	0.2	66.8	10.5
13oct2014	18:45	0.00	0.00	0.00	49.3	0.2	49.5	3.4
13oct2014	19:45	0.00	0.00	0.00	35.2	0.2	35.4	2.0
13oct2014	20:45	0.00	0.00	0.00	25.2	0.2	25.4	1.4
13oct2014	21:45	0.00	0.00	0.00	18.0	0.2	18.2	1.1
13oct2014	22:45	0.00	0.00	0.00	12.8	0.2	13.0	1.0
13oct2014	23:45	0.00	0.00	0.00	9.2	0.2	9.4	0.7
14oct2014	00:45	0.00	0.00	0.00	6.5	0.2	6.7	0.4
14oct2014	01:45	0.00	0.00	0.00	4.7	0.2	4.9	

Figura 193. Resultados tabulados obtenidos por el método Clark Unit Hydrograph.

El pico estimado da un valor de 66,8 m³/s mientras que el valor observado de 67,17 m³/s, dando déficit porcentual del 1,5%. La ocurrencia de los picos varía por 5 minutos.

Comparar modelos del proceso lluvia-escorrentía adaptados a la Cuenca del Rio Cabriales

Luego de observar los modelos calibrados mediante la comparación del hidrograma estimado con el hidrograma observado se puede concluir que bajo la metodología aplicada en este estudio los modelos que mejor se le aplican son Snyder Unit Hydrograph y Clark Unit Hydrograph, debido a que en el primer caso se tiene un porcentaje de excedencia del 3,6% y en el segundo caso un déficit porcentual del 1,5%; mientras que en el modelo SCS Unit Hydrograph se tiene un porcentaje de excedencia del 146,5%. Al obtenerse valores similares de pico se puede estimar el mismo siendo este un dato importante para otros estudios de obras hidráulicas.

Validar modelos del proceso lluvia-escorrentía adaptados a la Cuenca del Rio Cabriales

Para la validación de los modelos aplicados y calibrados a la Cuenca del Rio Cabriales fue necesario aplicarlos a otro evento significativo ocurrido durante el periodo de estudio, para ello se escogió el evento antes descrito del 12 de Octubre del 2014. Se introdujeron los mismos parámetros de entrada en los tres modelos cuyos resultados se reflejan en las figuras 194, 195 y 196.

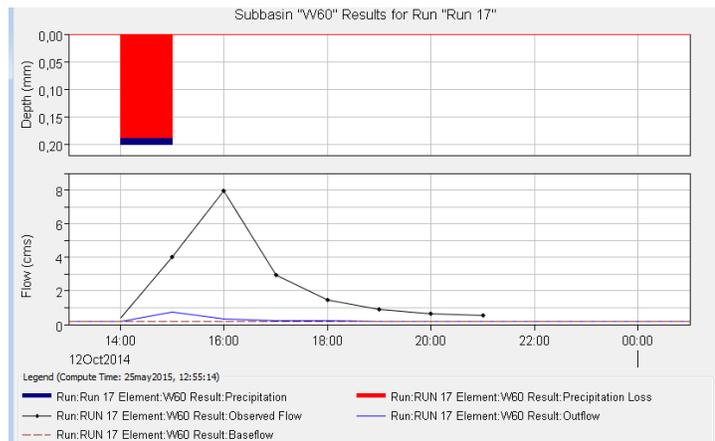


Figura 194. Resultados obtenidos por el método SCS Unit Hydrograph, con los mismos parámetros calibrados anteriormente.

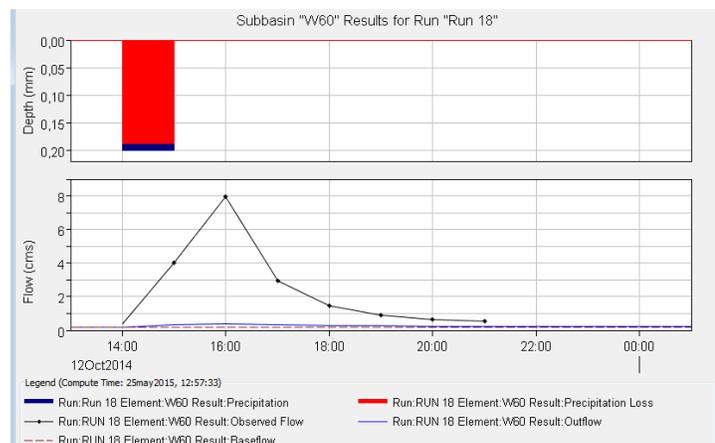


Figura 195. Resultados obtenidos por el método Snyder Unit Hydrograph, con los mismos parámetros calibrados anteriormente.

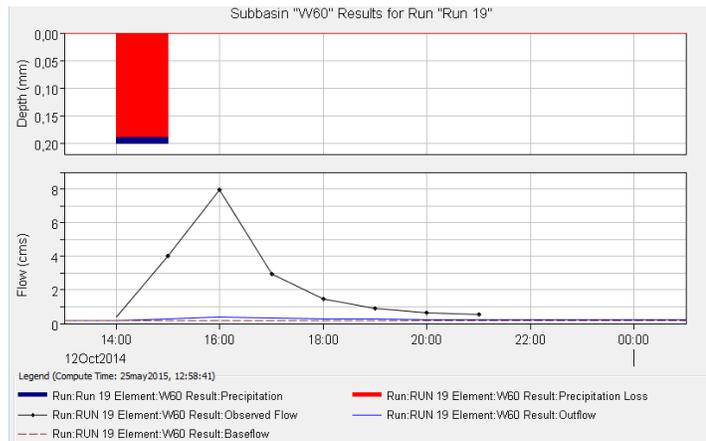


Figura 196. Resultados obtenidos por el método Clark Unit Hydrograph, con los mismos parámetros calibrados anteriormente.

En la Figura 194 correspondiente al Hidrograma Unitario SCS se obtuvo un pico estimado de $0,8 \text{ m}^3/\text{s}$, mientras que el observado es de $7,94 \text{ m}^3/\text{s}$ generando un error de 89,9%. Mientras que en las Figuras 195 y 196 correspondientes al los Hidrogramas unitarios de Snyder y Clark se obtuvo un pico estimado de $0,4 \text{ m}^3/\text{s}$ lo que comparándolo con el observado nos da un error de 95%.

Finalmente luego de efectuado el proceso de validación se observó que el método de SCS Unit Hydrograph, estima un hidrograma que se ajusta más al real que los métodos de Snyder y Clark.

Discusión de Resultados

Luego de haber concluido el estudio se obtuvo una primera aproximación de la Curva de Gastos de la Cuenca del Rio Cabrales a partir de datos de lluvia-escorrentía medidos directamente en sitio, correspondiente a los meses de Octubre del 2014 hasta Febrero del 2015, coincidiendo con la temporada de sequía del año. Con todas las limitantes se logró el objetivo deseado con un

coeficiente de correlación de 0,998, mientras que en estudios anteriores como Valencia, (2011) se obtiene un coeficiente de correlación de 0,28; asegurando que la curva de gastos de la cuenca del Rio Cabriales tiene una relación entre las variables de niveles con caudales medidos más precisa.

Adicionalmente cumpliendo con los objetivos establecidos se obtuvieron unos parámetros propios de la Cuenca a partir de tres modelos de hidrograma unitario aplicados mediante el software HEC-HMS v3.5. Estos parámetros obtenidos se muestran en la Tabla 5:

Tabla 5. Parámetros obtenidos de la Cuenca del Rio Cabriales

MODELO DE HIDROGRAMA UNITARIO SCS	
Tiempo de Retardo	10 min
MODELO DE HIDROGRAMA UNITARIO SNYDER	
Tiempo de Retardo	0,86 h
Coeficiente de Pico	0,42
MODELO DE HIDROGRAMA UNITARIO CLARK	
Tiempo de Concentración	1 h
Coeficiente de Almacenamiento	3 h

De acuerdo con Peraza (2014), el cual efectúa un estudio en la Cuenca del Rio Borburata, Patanemo; cuenca que se ubica en el mismo estado que la Cuenca del Rio Cabriales y tiene condiciones similares, obtiene parámetros de calibración bajo los siguientes rangos: un tiempo de concentración que varía de 1 – 2 horas, un porcentaje de impermeabilidad del 3 – 10% y un tiempo de retardo de 30 min – 1 hora. Comparando estos valores con los obtenidos en la presente investigación se puede concluir que el tiempo de concentración se encuentra dentro de los valores propuestos por Peraza, el porcentaje de impermeabilidad que se manejó en la Cuenca del Rio Cabriales es del 6,3% lo

cual coincide dentro de los valores que se tienen de impermeabilidad de la Cuenca del Rio Borburata y finalmente se trabajo en un rango de valores de tiempo de retardo entre 10 min – 52 min mientras que Peraza estableció un rango de 30 min – 1 hora. Se llega a la conclusión que todos los valores obtenidos se encuentran dentro de un criterio aceptable mas es necesario repetir el estudio en la Cuenca del Rio Cabriales para obtener valores más adecuados para los parámetros que definen la cuenca.

Sin embargo los mismos no pueden ser validados bajo la calidad de parámetros definitivos dentro de la cuenca debido a la poca variedad de eventos disponibles en el periodo de estudio; conjuntamente de que los porcentajes de déficit obtenidos en la validación son altamente diferentes se propone repetir el estudio en un periodo de tiempo con eventos representativos, donde se puedan comparar los parámetros obtenidos en la presente investigación. Con esto se puede concluir que el método no es tan eficiente como el meto que Carvajal 2007 aplica el cual es un modelo GRJ4 con una eficiencia del 50% - 100%; se recomienda trabajar con otros modelos donde se puedan determinar una eficiencia más satisfactoria.

CONCLUSIONES

En base a los resultados obtenidos en el presente estudio se pueden extraer las siguientes conclusiones:

- Se puede concluir que la curva de gastos obtenida para la Cuenca del Rio Cabriales es una primera aproximación a la curva real. La curva de gastos obtenida está caracterizada por una línea de tendencia de grado dos con un coeficiente de determinación igual a uno.
- Se llegó a la conclusión que la estación pluviométrica ubicada en el CIHAM-UC representa la estación aguas arriba de la cuenca y la estación hidrométrica ubicada en el Parque Fernando Peñalver representa la estación aguas abajo de la cuenca. Sin embargo en los eventos representativos ocurridos durante el periodo de estudio se comprobó que los eventos registrados en el Parque Fernando Peñalver inciden directamente sobre el hidrograma de salida de la Cuenca.
- De la calibración de los modelos se concluye lo siguiente: En el modelo de Hidrograma Unitario SCS se debe tener presente que para poder estimar el valor calibrado hay que tener la data correspondiente al proceso de lluvia-escorrentía, en el modelo de Hidrograma Unitario Snyder se deduce que la topografía de la Cuenca del Rio Cabriales tiene pendientes suaves y se desarrolla en su mayor extensión en planicie, finalmente en el modelo de Hidrograma Unitario Clark se definió que sus parámetros están sujetos más al evento que al modelo de la cuenca de estudio.

- Al momento de comparar los modelos aplicados en este estudio se concluye que los modelos que mejor se adaptan luego de la calibración son el Hidrograma Unitario Snyder y Clark.

- Para la validación se llegó a la deducción de que el modelo que mejor se adapta a la Cuenca es el Hidrograma Unitario SCS donde el porcentaje de error reflejado es de 90%.

RECOMENDACIONES

En base al estudio realizado se recomienda lo siguiente:

- Se recomienda que el periodo de mediciones debe extenderse con el fin de obtener valores medio de caudal y a si reconstruir una curva de gastos más representativa para la Cuenca del Rio Cabriales, ya que esto es un dato necesario para la calibración de la interacción lluvia-escorrentía.
- Es necesario tener eventos representativos de lluvia para definir un buen proceso de lluvia-escorrentia, como el presente estudio se realizo mayoritariamente en la época de sequía del año solo se tenían disponibilidad de dos eventos realmente significativos. Se recomienda disponer de data donde ocurran más eventos representativos para poder dar una descripción más apropiada del mismo proceso. También se ve en la necesidad de disponer de estaciones hidrométricas en otros puntos más alejados de las que actualmente se disponen para así extender el estudio y que el mismo se califique como un estudio acertado de la Cuenca.
- Se recomienda repetir la calibración de los modelos expuestos en este estudio con una nueva data con el fin de establecer parámetros y coeficientes de la cuenca definitivos. En la repetición de la calibración se recomienda que el modelo de Hidrograma Unitario Clark se realice con la estación hidrométrica del CIHAM-UC ya que el mismo está regido por el tiempo de concentración de la cuenca; al ser sometido el modelo a una estación aguas arriba de la cuenca se puede predecir un valor de tiempo de concentración mejor que al someterlo con la estación hidrométrica del parque Negra Hipólita.

- Se recomienda que en el proceso de comparación de los modelos se tome en cuenta los errores que arroja cada modelo para que las deducciones realizadas por el usuario sean de carácter cuantitativo y no cualitativo. También es recomendable que se apliquen otros modelos como el observado en la discusión de resultados GRJ4 aplicado por Carvajal, (2007) con el fin de corroborar una mejor eficiencia del modelo.

- Se recomienda realizar nuevos estudios con eventos significativos del periodo de lluvia del año para ajustar los valores validados en los modelos aplicados en este estudio, ya que estos dependen principalmente de valores como: el número de curvas, tiempo de concentración entre otros parámetros, con el fin de compararlos con otras calibraciones del mismo y finalmente obtener los parámetros y coeficientes que definen a la cuenca del Rio Cabriales por el software de HEC-HMS, donde se aprecien valores de error menor al obtenido en la presente investigación.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. Guevara E. y Cartaya H. (2004) "Hidrologia Ambiental". Facultad de Ingeniería de la Universidad de Carabobo.
2. US Army Corps of Engineers, (2008) "Applications-Guide Hydrologic Modeling System HEC-GeoHMS version 4.2". User's Manual.
3. US Army Corps of Engineers, (2000) Hydrologic Modeling System HEC-HMS Technical Reference Manual". User's Manual.
4. Corredor B. y Uribe A. (2015) "Simulacion hidraulica con el software HEC de la oferta hídrica de la cuenca del rio Paito, Estado Carabobo" Estado Carabobo. Universidad de Carabobo.
5. Quintero y Acero (2014). "Nivel de riesgo de inundación de la cuenca del rio tocuyo usando un sistema de información geográfica" Facultad de Ingeniería de la Universidad de Carabobo.
6. Guevara E y Valencia F. (2014). "Validación del modelo HEC-HMS en la cuenca del rio Cabriales para el análisis hidrológico" Revista INGENIERIA UC. Vol21, N°1. Valencia Venezuela.
7. CIHAM-UC. (2014) "Mapa de uso de suelo y tipo de tierra". Valencia-Estado Carabobo.
8. Instituto Geográfico de Venezuela Simón Bolívar (2008) Ortofotomapas 6547-II-SE, 6546-I-NE, 6546-I-SE, 6546-II-NE, 6546-II-SE, 6647-III-SO, 6646-IV-NO, 6646-IV-SO, 6646-III-NO, 6646-III-SO.
9. Carvajal y Roldán (2007) "Calibración del modelo lluvia-escorrentia agregado GR4J aplicación Cuenca del Rio Aburra", Medellin-Colombia.
10. Peraza y Trujillo, (2014). "Simulación hidráulica de la oferta hídrica en la cuenca de los ríos Goagoaza, San Esteban, Borburata y Patanemo, San Esteban mediante el uso del software HEC" Puerto Cabello-Carabobo.