

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTENOR ORREGO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**“PROPUESTA DE SOLUCIÓN PARA EVITAR INUNDACIONES
PROVENIENTES DE LA QUEBRADA SAN ILDEFONSO”**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO CIVIL**

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: HIDRÁULICA

AUTORES: Bach. LLECLLISH HERNÁNDEZ, Kevin Anthony.
Bach. LOAYZA BRIONES, Luis Eduardo.

ASESOR: ING. JUAN PABLO GARCÍA RIVERA

TRUJILLO - PERÚ
2017

JURADO DICTAMINADOR

PRESIDENTE:

Ing. Ricardo Narváez Aranda

SECRETARIO:

Ing. Guillermo Cabanillas Quiroz

VOCAL:

Ing. Oswaldo Hurtado Zamora

ASESOR:

Ing. Juan Pablo García Rivera

DEDICATORIA

A Dios, por haberme dado la fortaleza y entereza durante todo este caminar.

A mí querida madre y abuelita, por su amor y compañía en cada nuevo desafío.

A mi tío, por siempre apoyar mi formación profesional y ser mi ejemplo a seguir.

Kevin Lleclish

DEDICATORIA

Este documento es el resultado de la instrucción y trabajo durante esos últimos años.

A mis padres y hermana por sus consejos y apoyo para seguir adelante

A mi familia y amigos que no negaron su ayuda cuando acudí a ellos.

Luis Loayza

AGRADECIMIENTO

Gracias a Dios por brindarnos la posibilidad de realizar y culminar satisfactoriamente esta tesis.

A mi familia, por todo su apoyo, amor, comprensión y mucha paciencia durante todo este tiempo y sobre todo en aquellas épocas difíciles en todo este proceso. En especial a nuestros padres por su gran esfuerzo de enseñarnos a dar lo mejor de nosotros mismos para nuestro desarrollo profesional.

A nuestro asesor por su constante apoyo para el desarrollo de la presente tesis.

ÍNDICE

JURADO DICTAMINADOR	ii
DEDICATORIA	iii
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTO	v
ÍNDICE	vi
ÍNDICE DE TABLAS	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	x
RESUMEN	xvi
ABSTRACT.....	xvii
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	18
1.1. Realidad problemática	18
1.2. Enunciado del problema	19
1.3. Antecedentes	20
1.4. Hipótesis y variables	21
1.5. Objetivos	22
1.6. Justificación	22
1.7. Marco Teórico	23
CAPITULO II: MATERIALES Y METODOS.....	106
CAPÍTULO III: RESULTADOS	233
CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN DE RESULTADOS	235
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES	241
CAPÍTULO VI: RECOMENDACIONES.....	243
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	244
ANEXOS.....	248

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Máximo Caudales en las microcuencas en m ³ /seg	21
Tabla 2: Clasificación de suelos según potencial de escurrimiento	28
Tabla 3: Clasificación de los usos del suelo según los efectos hidrológicos	29
Tabla 4: Condiciones de humedad para la determinación del CN	29
Tabla 5: Valores de CN para las diferentes combinaciones hidrológicas suelo-vegetación para las cuencas en Condición II.....	30
Tabla 6: Tabla adicional de valores de CN, para las cuencas en Condición II...31	
Tabla 7: Valores de CN de escorrentía para área forestales en condiciones medias de humedad previa y para $I_a = 0.2 * S$ (Tragsa y Tragsatec, 1998).	32
Tabla 8: Valores de CN de escorrentía para zonas de montañas áridas y semiáridas (1) en condiciones medias de humedad previa y para $I_a = 0.2 * S$	33
Tabla 9: Valores de CN de escorrentía para áreas urbanas (1) en condiciones medias de humedad previa y para $I_a = 0.2 * S$	34
Tabla 10: Transformación de CN para diferentes condiciones de humedad antecedente del suelo	35
Tabla 11: Condición precedente de humedad según la lluvia total caída durante los 5 días anteriores.....	36
Tabla 12: Mínimo valor de velocidad de infiltración en mm/hora	36
Tabla 13: Resumen de ecuaciones del método del SCS.....	69
Tabla 14: Se muestra el tipo de presas y sus características principales.	72
Tabla 15: Taludes recomendados en materia homogénea.....	80
Tabla 16: Tabla resumen de las características de métodos para determinación de factores de seguridad de taludes.....	81
Tabla 17: Factores de Seguridad en función de las combinaciones de carga	85
Tabla 18: Relaciones promedio de deslizamiento de capacidad de carga de los materiales de cimentación	87
Tabla 19: Radio mínimo en función al caudal.....	92
Tabla 20: Radio mínimo en canales abiertos para $Q < 20$ m ³ /s	92
Tabla 21: Radio mínimo en canales abiertos en función del espejo de agua	92
Tabla 22: Índice de elementos de una curva circular.....	93
Tabla 23: Relación plantilla vs tirante para, máxima eficiencia, mínima infiltración y el promedio de ambas.	95
Tabla 24: Valores de rugosidad “n” de Manning.....	97

Tabla 25: Relaciones geométricas de las secciones transversales más frecuentes	98
Tabla 26: Taludes apropiados para distintos tipos de material	98
Tabla 27: Pendientes laterales en canales según tipo de suelo	98
Tabla 28: Máxima velocidad permitida en canales no recubiertos de vegetación	99
Tabla 29: Velocidades máximas en hormigón en función de su resistencia.	99
Tabla 30: Borde libre en función del caudal	100
Tabla 31: Borde libre en función de la plantilla del canal	100
Tabla 32: Números de curva SCS. Fuente: Elaboración Propia	113
Tabla 33: Resumen de resultados para cálculo de tiempo de concentración	168
Tabla 34: Relación y detalle de escenarios de solución	180
Tabla 35: Sección mínima requerida para la canalización en las rutas 1	190
Tabla 36: Sección Mínima requerida para tubería en ruta 1	191
Tabla 37: Sección mínima requerida para la canalización en las rutas 2 y 3 en microcuenca 1	195
Tabla 38: Sección mínima requerida para la canalización en las rutas 2 y 3 en microcuenca 2	196
Tabla 39: Ingreso y salida de datos en Modelamiento SLOPE/W	198
Tabla 40: Factores de Seguridad en función de las combinaciones de carga ...	204
Tabla 41: Calculo de Factor de Seguridad al Volteo, de la Presa de gravedad en la microcuenca 1 (Q=5m ³ /seg).	204
Tabla 42: Calculo de Factor de Seguridad al Volteo, de la Presa de gravedad en la microcuenca 1 (Q=20m ³ /seg).	205
Tabla 43: Calculo de Factor de Seguridad al Volteo, de la Presa de gravedad en la microcuenca 1 (Q=45m ³ /seg)	205
Tabla 44: Calculo de Factor de Seguridad al Volteo, de la Presa de gravedad en la microcuenca 2 (Q=5m ³ /seg).	206
Tabla 45: Calculo de Factor de Seguridad al Volteo, de la Presa de gravedad en la microcuenca 2 (Q=20m ³ /seg).	207
Tabla 46: Calculo de Factor de Seguridad al Volteo, de la Presa de gravedad en la microcuenca 2 (Q=39m ³ /seg)	207
Tabla 47: Calculo de Factor de Seguridad al Deslizamiento, de la Presa de gravedad en la microcuenca 1 (Q=5m ³ /seg).	208
Tabla 48: Calculo de Factor de Seguridad al Deslizamiento, de la Presa de gravedad en la microcuenca 1 (Q=20m ³ /seg)	208
Tabla 49: Calculo de Factor de Seguridad al Deslizamiento, de la Presa de gravedad en la microcuenca 1 (Q=45m ³ /seg)	209

Tabla 50: Calculo de Factor de Seguridad al Deslizamiento, de la Presa de gravedad en la microcuenca 2 (Q=5m ³ /seg)	209
Tabla 51: Calculo de Factor de Seguridad al Deslizamiento, de la Presa de gravedad en la microcuenca 2 (Q=20m ³ /seg)	209
Tabla 52: Calculo de Factor de Seguridad al Deslizamiento, de la Presa de gravedad en la microcuenca 2 (Q=39m ³ /seg)	210
Tabla 53: Calculo de Factor de Seguridad a los esfuerzos, de la Presa de gravedad en la microcuenca 1 (Q=5m ³ /seg).....	210
Tabla 54: Calculo de Factor de Seguridad a los esfuerzos, de la Presa de gravedad en la microcuenca 1 (Q=20m ³ /seg).....	211
Tabla 55: Calculo de Factor de Seguridad a los esfuerzos, de la Presa de gravedad en la microcuenca 1 (Q=45m ³ /seg).....	212
Tabla 56: Calculo de Factor de Seguridad a los esfuerzos, de la Presa de gravedad en la microcuenca 2 (Q=5m ³ /seg).....	213
Tabla 57: Calculo de Factor de Seguridad a los esfuerzos, de la Presa de gravedad en la microcuenca 2 (Q=20m ³ /seg).....	214
Tabla 58: Calculo de Factor de Seguridad a los esfuerzos, de la Presa de gravedad en la microcuenca 2 (Q=39m ³ /seg).....	215
Tabla 59: Primera depuración de escenarios y justificación o comentario	216
Tabla 60: Tabla Resumen de resultados	233
Tabla 61: Tabla de comentarios por Escenario	235

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1:	Variables del método del SCS –CN.....	24
Figura 2:	Otra representación de las variables del método del S.C. S - CN ...	24
Figura 3:	Relación precipitación total vs precipitación efectiva usando valores de CN.	26
Figura 4:	Valores de CN en condición II	31
Figura 5:	Esquema de la arquitectura de ArcGIS	38
Figura 6:	Red de drenaje según Horton- Strahler.....	44
Figura 7:	Red de drenaje según Shreve (Ferro, 2002)	45
Figura 8:	Tiempo de retraso	61
Figura 9:	Paso de una onda o transito.....	63
Figura 10:	Obtención de la gráfica N-O	65
Figura 11:	Embalses controlados	66
Figura 12:	Hidrograma Unitario adimensional (curvilíneo) y su equivalencia con el hidrograma triangular	66
Figura 13:	Componentes de una sección transversal de una presa de tierra ...	77
Figura 14:	Esquema de una presa de sección homogénea.....	78
Figura 15:	Esquema de una presa de sección heterogénea.....	78
Figura 16:	Esquema de una presa mixta con escollera	79
Figura 17:	Esquema de una Presas con núcleo de arcilla	79
Figura 18:	Elementos de una curva horizontal	93
Figura 19:	Esquema de sección de tubería	104
Figura 20:	Servidor Alaska Satellite Facility	107
Figura 21:	Selección del área de estudio en el Servidor Alaska Satellite Facility	107
Figura 22:	Selección del DEM en el Servidor Alaska Satellite Facility	108
Figura 23:	Descarga del DEM desde el servidor Alaska Satellite Facility	108
Figura 24:	Ubicación de estación pluviométrica Quebrada León Rio Seco. Fuente: Visor Pluviométrico del ANA.....	109
Figura 25:	Quebrada San Ildefonso en SAS.Planet.....	110
Figura 26:	Obtención de imágenes georreferenciadas en SAS.Planet	110
Figura 27:	Ortofoto georreferenciada de la quebrada san Ildefonso.....	114

Figura 28:	Clasificación no supervisada	115
Figura 29:	Ráster de Numero de curva de la clasificación no supervisada	116
Figura 30:	Clasificar un ráster en ArcMap	117
Figura 31:	Clasificación de las clases del área de estudio mediante puntos ..	118
Figura 32:	Generación de la firma espectral.....	118
Figura 33:	Firma espectral generada con la herramienta Create Signatures ..	119
Figura 34:	Clasificación supervisada.....	119
Figura 35:	Ráster de la clasificación supervisada.....	120
Figura 36:	Conversión del Ráster de la clasificación supervisada a shapefile	120
Figura 37:	Shapefile de la clasificación supervisada	121
Figura 38:	Tabla de atributos del Shapefile de la clasificación supervisada ...	121
Figura 39:	Ingreso de datos a Tabla de atributos del Shapefile de la clasificación supervisada.....	122
Figura 40:	Shapefile de los usos de suelo en la clasificación supervisada	122
Figura 41:	Conversión del Shapefile de la clasificación supervisada a Raster	123
Figura 42:	Ráster del número de curva de la clasificación supervisada	123
Figura 43:	Shapefile de la clasificación manual.....	124
Figura 44:	Clasificación de las clases del área de estudio mediante polígonos	125
Figura 45:	Ingreso de datos a Tabla de atributos del Shapefile de la clasificación manual	125
Figura 46:	Shapefile de los usos de suelo en la clasificación Manual.....	126
Figura 47:	Ráster del número de curva de la clasificación manual	126
Figura 48:	Ráster del número de curva para modelo hidrológico.....	127
Figura 49:	Creación del proyecto en ArcMap	128
Figura 50:	Modelo de Elevación Digital (DEM) en ArcMap	128
Figura 51:	Ortofotos Georreferenciadas en ArcMap	129
Figura 52:	Recortar un DEM (raster) en ArcMap	129
Figura 53:	Selección del área de recorte.....	130
Figura 54:	Recorte del DEM con la herramienta Extract by Mask.....	130
Figura 55:	DEM recortado para el modelamiento con HEC- GeoHMS	131
Figura 56:	Eliminación de imperfecciones del DEM.....	132
Figura 57:	Ráster generado con la herramienta Fill Sinks	132

Figura 58:	Dirección de flujo.....	133
Figura 59:	Ráster generado con la herramienta Flow Direction.....	133
Figura 60:	Acumulación de flujo	134
Figura 61:	Ráster generado con la herramienta Flow Accumulation.....	135
Figura 62:	Definición de la corriente de la red hídrica.....	135
Figura 63:	Ráster generado con la herramienta Stream Definition	136
Figura 64:	Segmentación de corrientes.....	136
Figura 65:	Ráster generado con la herramienta Stream Segmentation	137
Figura 66:	Delineación de corrientes.....	138
Figura 67:	Ráster generado con la herramienta Catchment Grid Delineation .	138
Figura 68:	Procesamiento de las líneas de drenaje.....	139
Figura 69:	Ráster generado con la herramienta Drainage Line Processing....	140
Figura 70:	Procesamiento de los Polígonos	140
Figura 71:	Ráster generado con la herramienta Catchment Polygon Processing	141
Figura 72:	Procesamiento de microcuencas adjuntas	142
Figura 73:	Ráster generado con la herramienta Adjoint Catchment Processing	142
Figura 74:	Definición del nuevo proyecto	143
Figura 75:	Generación del nuevo proyecto.....	144
Figura 76:	Delimitación de la cuenca	144
Figura 77:	Calculo de la longitud del rio	145
Figura 78:	Tabla de Atributos de la longitud del rio.....	146
Figura 79:	Calculo de la pendiente del rio	147
Figura 80:	Tabla de Atributos de la pendiente del rio	147
Figura 81:	Cálculo del recorrido del flujo más largo.....	148
Figura 82:	Tabla de Atributos del recorrido más largo del flujo.....	148
Figura 83:	Cálculo del centroide de la cuenca.....	149
Figura 84:	Método del centro de gravedad para el centroide de la cuenca.....	149
Figura 85:	Calculo de la elevación del centroide de la cuenca	150
Figura 86:	Tabla de atributos de la elevación del centroide de la cuenca.....	150
Figura 87:	Calculo de la trayectoria centroidal del flujo más largo	151

Figura 88:	Tabla de atributos de la trayectoria centroidal del flujo más largo .	151
Figura 89:	Selección de procesos para HMS	152
Figura 90:	Nombre automático del río	153
Figura 91:	Nombre automático de la cuenca	153
Figura 92:	Adición de la data del ráster de Numero de curva de la clasificación manual	154
Figura 93:	Ráster de Numero de curva de la clasificación manual	154
Figura 94:	Cálculo del Parámetro de Numero de curva.....	155
Figura 95:	Conversión de Unidades para el modelo HMS	156
Figura 96:	Esquemático de la Cuenca para el modelo HMS	157
Figura 97:	Leyenda para el modelo HMS	157
Figura 98:	Adicionar coordenadas para el modelo HMS	158
Figura 99:	Preparar los datos para exportar el modelo HMS.....	158
Figura 100:	Exportando archivos shape de fondo	159
Figura 101:	Modelo de cuenca	159
Figura 102:	Modelo meteorológico	160
Figura 103:	Proyecto HMS	160
Figura 104:	Registro de precipitación de la estación quebrada león rio seco. ..	161
Figura 105:	Precipitación Registrada por la estación león rio seco correspondiente al 14 de marzo del 2017.....	162
Figura 106:	Precipitación Registrada por la estación león rio seco correspondiente al 19 de marzo del 2017.....	162
Figura 107:	Selección del proyecto en HEC-HMS.....	171
Figura 108:	Conversión del modelo.....	171
Figura 109:	Importación de Background Maps a HEC-HMS.....	171
Figura 110:	Selección del método del SCS en HEC-HMS.....	172
Figura 111:	Numero de curva.....	172
Figura 112:	Tiempo de Retraso.....	173
Figura 113:	Modelo Meteorológico	173
Figura 114:	Especificaciones de control	174
Figura 115:	Datos de precipitación.....	175
Figura 116:	Ejecución de la simulación del modelo en HEC-HMS.....	175
Figura 117:	Caudal y Volumen para Avenida de Diseño	176

Figura 118: Resumen de resultados de la simulación	176
Figura 119: Serie de tiempo de la simulación en HEC-HMS	177
Figura 120: Hidrograma y Hietograma resultante de la simulación.....	178
Figura 121: Ruta 1, por cultivos hacia el Río Moche	179
Figura 122: Ruta 2, cruzando por El Porvenir y Trujillo hacia el mar	179
Figura 123: Ruta 3, por El Porvenir y rodeando Trujillo hacia el mar	180
Figura 124: Hidrograma de entrada de la microcuenca 1	182
Figura 125: Hidrograma de entrada de la microcuenca 2	182
Figura 126: Curva de Cota Área Volumen de la microcuenca 1.	184
Figura 127: Curva de Cota Área Volumen de la microcuenca 2.	185
Figura 128: Relación Capacidad de embalse – caudal de descarga, en microcuenca 1.....	186
Figura 129: Relación Capacidad de embalse – caudal de descarga, en microcuenca 2.....	186
Figura 130: Hidrograma de Entrada y Salida en microcuenca 1 (Q=20m ³ /seg).	187
Figura 131: Hidrograma de Entrada y Salida en microcuenca 1 (Q=45m ³ /seg).	188
Figura 132: Hidrograma de Entrada y Salida en microcuenca 2 (Q=20m ³ /seg).	188
Figura 133: Hidrograma de Entrada y Salida en microcuenca 2 (Q=39m ³ /seg).	189
Figura 134: Hidrograma de Entrada y Salida en microcuenca 1 (Q=5m ³ /seg). 192	
Figura 135: Hidrograma de Entrada y Salida en microcuenca 2 (Q=5m ³ /seg). 193	
Figura 136: Captura no escalada del perfil y rasante de la Ruta 2.	194
Figura 137: Captura no escalada del perfil y rasante de la Ruta 3.	194
Figura 138: Esquema post análisis del software SLOPE/W de la microcuenca 1	200
Figura 139: Diseño preliminar de la presa de gravedad para la microcuenca 1, con una descarga de 5m ³ /seg.....	201
Figura 140: Diseño preliminar de la presa de gravedad para la microcuenca 1, con una descarga de 20m ³ /seg	201
Figura 141: Diseño preliminar de la presa de gravedad para la microcuenca 1, con una descarga de 45m ³ /seg	202

Figura 142: Diseño preliminar de la presa de gravedad para la microcuenca 2, con una descarga de 5m ³ /seg	202
Figura 143: Diseño preliminar de la presa de gravedad para la microcuenca 2, con una descarga de 20m ³ /seg	202
Figura 144: Diseño preliminar de la presa de gravedad para la microcuenca 2, con una descarga de 39m ³ /seg	203
Figura 145: Área de trabajo, visto desde Google Earth.	218
Figura 146: Importación del Área de trabajo a curvas de nivel desde AutoCAD Civil 3D	219
Figura 147: Captura no escalada del perfil y rasante de la Ruta 1.	219
Figura 148: Superficie editada y recortada del área de trabajo	220
Figura 149: Creación del proyecto para IBER en ArcMap	221
Figura 150: Conversión del proyecto LandXML a TIN	222
Figura 151: Conversión del proyecto TIN a Raster.....	222
Figura 152: Conversión del proyecto Ráster a ASCII	222
Figura 153: Creación del proyecto en IBER	223
Figura 154: Importación del MDT en IBER.....	224
Figura 155: Malla irregular generada tras la importación de un MDT	224
Figura 156: Ingreso de hidrograma al modelo en IBER.....	225
Figura 157: Salida del flujo de agua en IBER.....	226
Figura 158: Selección del coeficiente de rugosidad de Manning	226
Figura 159: Parámetros para la simulación del modelo en IBER.....	227
Figura 160: Simulación del modelo en IBER	228
Figura 161: Ingreso al postproceso en IBER	228
Figura 162: Acceso a la ventana de resultados de IBER.....	229
Figura 163: Simulación de resultados de la velocidad en IBER.....	230
Figura 164: Visualización de los vectores de movimiento de la velocidad	230
Figura 165: Hidrograma del Caudal en IBER	231
Figura 166: Simulación de resultados del Calado en IBER	232
Figura 167: Simulación de resultados de la cota de agua en IBER	232
Figura 168: Selección de Escenario para propuesta	239

RESUMEN

El fenómeno del niño es un acontecimiento natural, que se presenta en temporadas de verano en la costa de Perú y Ecuador, este fenómeno puede traer consigo un importante impacto económico social y cultural-preventivo. A finales de marzo del 2017 se registraron índices de precipitaciones mayores a los acostumbrados, de tal manera que las medidas de seguridad para un fenómeno del niño habitual quedasen inservibles; según se muestra en los registros fotográficos de diversas zonas en la ciudad de Trujillo y alrededores, Perú. Acompañado de este fenómeno de magnitud anormal, se produjo el desplome de varios diques (estructuras de contención del agua de lluvia) en la Quebrada San Ildefonso, Quebrada León Dormido y Quebrada San Carlos, una inadecuada distribución de viviendas, producto de las invasiones y autoconstrucción, en las zonas más afectadas de la provincia de El Porvenir y falta de Sistemas de alcantarillado de agua fluvial. Hoy, meses después de acontecido el suceso y sin mayores factores que empeoren la situación actual, es notable ver que aún se siguen viendo las consecuencias traídas por este fenómeno. Esta Tesis intenta proponer estructuras que garantice que un fenómeno con las mismas características no perjudique a los pobladores afectados. Estas estructuras consisten en: una estructura de embalse y un canal de excedencia, hacia diversos puntos de control, vale decir: hacia el mar, hacia el río Moche.

Palabras Clave: Fenómeno del Niño, Sistemas de Información Geográfica, Precipitación Extraordinaria, Diseño de Presa, Diseño de Canal, Modelamientos en Software.

ABSTRACT

The phenomenon of the child, (fenómeno del niño, in Spanish) is a natural event, which occurs in summer seasons on the coast of Peru and Ecuador, this phenomenon can bring with it an important social economic and cultural-preventive impact. In addition to this, at the end of March 2017, rainfall rates higher than usual were recorded, so that safety measures for a habitual child phenomenon would be unusable; as shown in the photographic records of various areas in the city of Trujillo, Peru. Accompanied by this phenomenon of abnormal magnitude, several dams (rainwater containment structures) collapsed in the San Ildefonso Gorge, Quebrada León Dormido and Quebrada San Carlos, inadequate urban planning in the most affected areas of the province Of El Porvenir and lack of river water sewer systems. Today, months after the event happened and without major factors that worsen the current situation, it is notable to see that the consequences of this phenomenon are still being seen. This thesis tries to propose a system that guarantees that a phenomenon with the same characteristics does not harm the affected population. This system consists of a reservoir structure and a channel of exceedance, towards several points of discharge towards the sea, towards the River Moche.

Keywords: Child Phenomenon (Fenómeno del Niño, in Spanish), Geographic Information Systems, Extraordinary Precipitation, Dam Design, Channel Design, Software Modeling.

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

Durante finales de marzo y el mes de abril del 2017, diversos medios periodísticos regionales, nacionales e internacionales, he incluso se han realizado investigaciones científicas a fin de investigar la elevada precipitación y sus consecuencias.

Según los datos presentados por el Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI), el distrito más afectado en la región es El Porvenir, seguidas por La Esperanza Florencia de Mora, Moche y Laredo.

Las precipitaciones muy intensas han producido inundaciones de las viviendas aledañas a las Quebradas San Ildefonso, San Carlos y León Dormido, tornándose intransitable y dañando todo tipo de construcciones existentes, producto del arrastre de residuos que suponen ser focos infecciosos.

Estos residuos compuestos en su mayoría por sedimentos provenientes de la erosión del cementerio de mampuesto, las canteras ubicadas en la zona y el desprendimiento del dique, ocasionando un elevado volumen de sedimentos en las zonas más urbanas, recurriendo a contratar equipo de maquinaria pesada necesaria para la remoción del material.

Habiendo transcurrido algunos meses desde ese suceso varias entidades públicas y privadas tienen el interés de evaluar alguna medida de solución:

El 22 de abril 2017, La Republica cito que La ANA desviara aguas de la quebrada San Ildefonso para evitar inundaciones; mencionando el interés de este organismo, el ministerio de agricultura y riego y el gobierno regional en beneficio de los más de 4000 pobladores.

El 23 de abril 2017, La Republica cito que El colegio de ingeniero desaprobó la alternativa del ANA para dirigir el agua hacia el rio moche, adjuntando: “si el rio moche se ha desbordado sin tener los afluentes de las quebradas ¿Qué pasara

cuando lleguen esas aguas?” e instó a realizar estudios previos y mediciones ante la alternativa de la canalización de 10 kilómetros desde la quebrada hasta el río Moche, valorizado en 82 millones de soles.

En julio los investigadores tuvieron la oportunidad de ver la propuesta de Cementos Pacasmayo para canalizar el agua hacia el mar a través de Trujillo.

El 21 de julio 2017, El Comercio citó que canalizarán aguas de la quebrada San Ildefonso; mencionando el interés de la empresa Backus AB Invev al generar esta obra por impuesto valorizado en 120 millones de soles, para la construcción de tres canales subterráneos de once kilómetros cada uno para llevar las aguas de la quebrada San Ildefonso desde el distrito de El Porvenir hasta el de Víctor Larco para que desemboquen en el mar.

En los párrafos anteriores se corrobora lo antes mencionado: el interés de entidades públicas y privadas, desde luego con diferencias con respecto a la ruta de descarga, coincidiendo estas alternativas en una canalización.

A través de diversas ponencias con respecto al tema, profesionales muestran intención al poder emplear el agua con fines agrícolas, justificando que la elevada precipitación producida por el fenómeno del niño puede proveer del recurso hídrico necesario para los cultivos por varios meses.

Es necesario mencionar que una propuesta es una alternativa de solución planteada por los investigadores, más no un modelo definitivo y sin puntos a observar o de mejora:

1.2. Enunciado del problema

¿Qué criterios debe considerar una propuesta técnica, que busca evitar inundaciones provenientes de la quebrada San Ildefonso?

1.3. Antecedentes

Según Gustavo Campero Sánchez (2003) en Canalización de la Quebrada Auri y del drenaje pluvial; Para el dimensionamiento de la sección de la canalización, el autor consideró lo siguiente:

- No profundizar en exceso para no elevar el costo
- La velocidad de diseño no supere el máximo permisible el cual permita el control de la sedimentación
- Reducir al mínimo el movimiento de tierras
- La selección del trazo de la rasante del fondo del canal de acuerdo con la pendiente del terreno
- Captar el volumen de agua en una lluvia de intensidad promedio, El caudal de agua promedio que desemboca de la cuenca.

Según Jorge Julián Vélez Upegui y Adriana Botero Gutiérrez en estimación del tiempo de concentración y tiempo de rezago en la cuenca experimental urbana de la quebrada San Luis, Manizales (2011), los autores consideraron veintidós ecuaciones para la determinación del tiempo de concentración y 6 ecuaciones para el período de retardo, para estimar estadísticamente a través de variables como la desviación estándar típica y el coeficiente de variabilidad, optando por los métodos de Passini y del Soil Conservation Service.

Según el Ministerio de Ambiente en Evaluación probabilística de la peligrosidad y la vulnerabilidad frente a desastres naturales basados en proyecciones de cambio climático en el área metropolitana de Trujillo (Perú) en su capítulo 6, aporta datos interesantes a considerar para el desarrollo de la presente investigación, orientada a indicar parámetros de la zona como el caudal suponiendo una elevada precipitación durante los meses del fenómeno del niño en la cuenca del Río Moche y algunas microcuencas, dentro de ellas la cuenca de la Quebrada San Ildefonso, con diferentes periodos de retorno

Tabla 1: *Máximo Caudales en las microcuencas en m³/seg*

	Periodo de Retorno			
	10	25	50	100
Quebrada de Sal Ildelfonso	10.02	32.78	52.7	76.54
Quebrada 1. Sector Norte	8.1	26.5	42.61	61.88
Quebrada 2. Sector Norte	9.3	30.76	49.36	71.68
Quebrada 3. Sector Norte	7.95	26.01	41.83	60.74

Según Torres, Domínguez y González en estudios básicos para el aprovechamiento hídrico en las comunidades contiguas a la margen del Río Chinapa, Michoacán (2015).

En la metodología de desarrollo de esta investigación se pretende aprovechar una cantidad de agua embalsada en una presa de tierra para consumo agrícola, para ello se ha determinado el escurrimiento local, así como un estudio de demanda de consumo posteriormente plantear alternativas de riego para la dotación o consumo del recurso hídrico.

1.4. Hipótesis y variables

1.4.1. General

Esta investigación presenta hipótesis nula o vacía, pero por razones académicas, presentamos la siguiente hipótesis: Es posible diseñar una estructura de embalse y un sistema para canalizar el agua y los sedimentos que garantice sin generar su desbordamiento y sin perjudicar a los pobladores.

1.4.1.1. Operacionalización de las variables

VI: Precipitación, topografía.

VD: Ubicación, capacidad y tipo de estructura de embalse y, ruta de desfogue de

agua y sedimentos,

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo general

Indicar una propuesta técnica que permita una adecuada manera de evitar inundaciones de la Quebrada San Ildefonso.

1.5.2. Objetivos específicos

- Generar el ráster de número de curva, para estimar la infiltración a través del método del Soil Conservation Service.
- Estimar la cantidad de agua proveniente de la Quebrada San Ildefonso, empleando métodos hidrológicos.
- Plantear el predimensionamiento y su verificación de los factores de seguridad de las estructuras de embalse.
- Analizar escenarios de solución para el transporte de agua.

1.6. Justificación

La presente investigación toma importancia en el alto impacto social que ha desarrollado en los últimos días, siendo esta investigación tema de interés para diversas entidades gubernamentales y empresas privadas.

Al desarrollar esta investigación lograremos sentar las bases para posibles investigaciones y posibles mejoras al diseño planteado al final de esta investigación en beneficio integral de las poblaciones aledañas.

Los investigadores cuentan con numerosas fuentes entre libros, tesis locales y extranjeras, publicaciones, noticias, papers, etc.

Estos recursos mencionados crean un conjunto de herramientas que los investigadores están dispuestos a emplear para cumplir con los objetivos planteados.

Los investigadores, por factores relacionados al tiempo, limitan su investigación a plantear una propuesta técnica donde se busca el desfogue de la Quebrada San Ildelfonso, habiendo otras quebradas de interés similar que no se evaluarán en esta investigación como es el caso de la Quebrada de León Dormido y la Quebrada de San Carlos.

1.7. MARCO TEÓRICO

Fundamentos del Soil Conservation Service (SCS)

Método del servicio de conservación de suelos (SCS-CN)

La metodología desarrollada por el Soil Conservation Service. SCS (hoy Natural Resources Conservation Service – NRCS) ocupa un lugar en el “diseño hidrológico” por su practicidad, capacidad operativa y aceptables resultados. a medida que ha sido usada con más frecuencia y en un mayor número de escenarios. Los primeros trabajos del SCS se refieren principalmente a áreas cultivadas, luego se ha extendido a áreas naturales y urbanas.

La determinación del volumen de escurrimiento (precipitación efectiva) como resultado de una precipitación caída en un área dada, es función de numerosas variables: tipo y uso del suelo, pendiente, vegetación, porcentaje de cobertura, grado de humedad, temperaturas precedentes, etc.

El SCS ha elaborado una metodología para la estimación de dicho escurrimiento comprobada en un gran número de cuencas de los Estados Unidos, Europa y América.

El método del SCS, depende de las siguientes relaciones básicas:

$$\frac{F}{S} \text{ y } \frac{P_e}{P_T} \quad (\text{Ec 1})$$

Donde:

F: Es la retención real de agua en la cuenca durante la lluvia excluyendo I_a . Su valor máximo es S

S: Es la máxima capacidad de retención de agua en la cuenca excluyendo I_a .

P_T : Es la precipitación total de la tormenta.

P_e : Es la precipitación directa o efectiva.

I_a : Es la pérdida inicial.

Cuando la lluvia se prolonga:

$F \rightarrow S$ y $P_e \rightarrow P_T$ y ambas relaciones tienden a 1

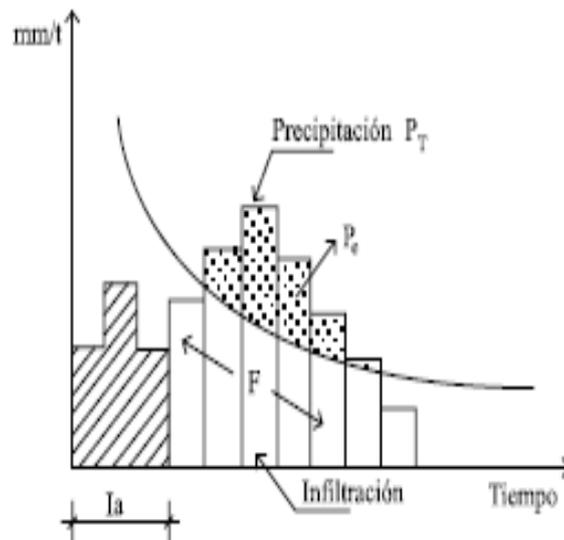


Figura 1: Variables del método del SCS -CN

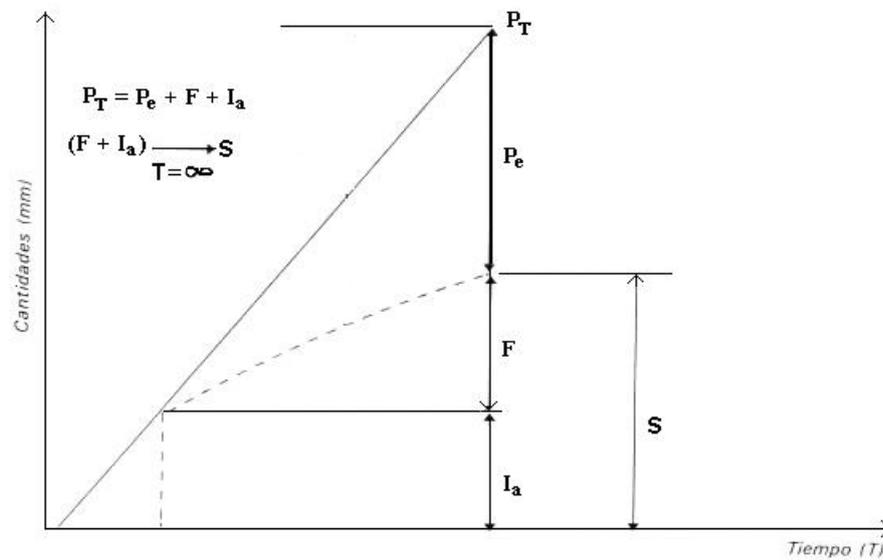


Figura 2: Otra representación de las variables del método del S.C. S - CN

Ahora bien, si F se hace igual a S , cuando la cantidad de precipitación es razonablemente grande, el suelo se satura y la precipitación directa, P_e , se hace igual a P_T , entonces las relaciones anteriores se hacen:

$$\frac{F}{S} = \frac{P_e}{P_T} \quad (\text{Ec 2})$$

$$F = P_T - P_e \quad (\text{Ec 3})$$

Sustituyendo la ecuación 3 en la 2 resulta:

$$\frac{P_T - P_e}{S} = \frac{P_e}{P_T} \quad (\text{Ec 4})$$

$$\frac{P_T - P_e}{P_e} = \frac{S}{P_T} \quad ; \quad \frac{P_T * (P_T - P_e)}{P_e} = S$$

Operando la ecuación anterior y despejando P_e queda:

$$P_e = \frac{P_T^2}{P_T + S} \quad (\text{Ec 5})$$

Donde P_e es la relación precipitación – escorrentía ignorando I_a

La pérdida inicial, I_a , se la puede incluir, en la ecuación 5 restándola de la precipitación P_T , obteniendo así la ecuación de la lámina del exceso de precipitación (escorrentía directa):

$$P_e = \frac{(P_T - I_a)^2}{(P_T - I_a) + S} \quad (\text{Ec 6})$$

El método de SCS no incorpora el tiempo (t) explícitamente en la ecuación 6. Por lo tanto, se requiere incluirlo en la aplicación del método a un histograma de lluvia, así:

$$P_e(t) = \frac{(P_T(t) - I_a)^2}{[(P_T(t) - I_a) + S]} \quad (\text{Ec 7})$$

Donde

$P_e(t)$: Es la precipitación efectiva (escorrentía directa) acumulada en el tiempo t ,

$P_T(t)$: Es la lluvia total acumulada en el tiempo t .

Considerando que

$$\Delta t = t_2 - t_1$$

Se tiene:

$$\Delta P_e = P_e * (t_2) - P_e * (t_1) \quad (\text{Ec } 8)$$

Por lo tanto, el cálculo de la precipitación efectiva (escorrentía directa) acumulada hasta un tiempo dada por la ecuación 8 es dependiente de la precipitación acumulada hasta el mismo tiempo. A partir de los resultados de estudios realizados en pequeñas cuencas experimentales, se estableció una relación entre I_a y S :

$$I_a = 0.2 * S \quad (\text{Ec } 9)$$

Sustituyendo la ecuación 9, la ecuación 7 queda:

$$P_e = \frac{(P_T - 0.2 * S)^2}{(P_T + 0.8 * S)} \quad (\text{Ec } 10)$$

Al representar gráficamente la relación entre P_e y P_T de la ecuación 10 el SCS definió un número adimensional (CN) correspondiente a una curva determinada (Curvas CN).

La ecuación 10 se usa para calcular las curvas del número de curva, CN, de la Figura siguiente. Con la precipitación total de la tormenta, en la abscisa y la precipitación efectiva o escorrentía directa, en la ordenada. En base al estudio del complejo hidrológico suelo-vegetación se determina el escurrimiento directo. Entrando en la abscisa con el valor de la lámina total (P_T) de lluvia hasta la curva de CN y leyendo el valor de escorrentía directa en la ordenada (P_e).

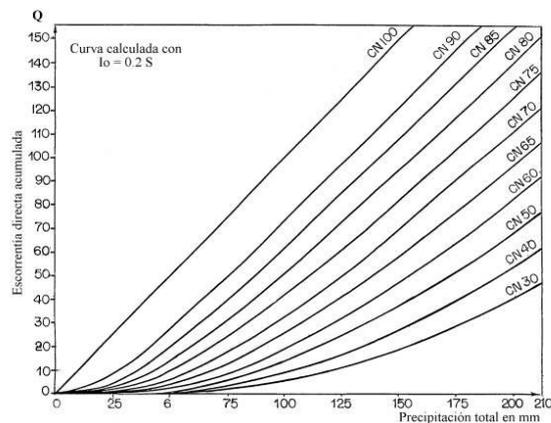


Figura 3: Relación precipitación total vs precipitación efectiva usando valores de CN.

El parámetro CN (número de curva de escorrentía o complejo hidrológico suelo y cobertura vegetal) es en realidad una transformación empírica del parámetro S.

La ecuación de CN en milímetros es:

$$CN = \frac{25400}{S+254} \quad (\text{Ec 11})$$

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (\text{Ec 12})$$

La relación entre S y CN es matemática, no obstante, se puede, basado en la interpretación de la ecuación 12, obtener los límites de CN para diferentes condiciones de saturación del suelo (S). Cuando el suelo está saturado o es impermeable CN es igual a 100 y entonces S es cero.

De igual forma si $CN \rightarrow 0$ se tiene $S \rightarrow \infty$. Si el suelo se va secando, la capacidad de retención de humedad (S) aumenta. Siendo S la máxima capacidad de retención de agua en el perfil del suelo, el valor de S para un determinado suelo hasta una profundidad z está dado también por la ecuación:

$$S = \frac{\omega_{SAT} - \omega_{SECO}}{100} * \delta_a * Z \quad (\text{Ec 13})$$

Donde

- ω_{SAT} : Es el porcentaje de humedad en el suelo saturado
- ω_{SECO} : Es el porcentaje de humedad en el suelo seco
- δ_a : Es la densidad relativa del suelo
- Z: Es la profundidad por considerar del perfil del suelo

Desde el punto de vista hidrológico los suelos se clasifican en 4 grupos principales según las siguientes premisas:

La pendiente del terreno incrementa el potencial de escurrimiento.

Suelos con perfiles de características semejantes responden en forma semejante al efecto de una tormenta de gran intensidad.

La clasificación debe basarse siempre en una misma técnica de medición.

El criterio formado por los especialistas en base a numerosas observaciones es fundamental en la clasificación del suelo.

Tabla 2: Clasificación de suelos según potencial de escurrimiento

Tipo de suelo	Potencial de escurrimiento
A	Mínimo
B	Medio
C	Alto
D	Máximo

Teniendo en cuenta que a medida que el uso o el tratamiento del suelo aumentan, se incrementa la retención y se disminuye la producción de avenidas por el escurrimiento, se han clasificado dichos usos desde el punto de vista de los efectos hidrológicos.

Tabla 3: Clasificación de los usos del suelo según los efectos hidrológicos

Tipo	Descripción
Rotaciones	Se consideran las rotaciones malas o buenas en función de la densidad de vegetación de la rotación. Así aquellas rotaciones con alfalfa que mejora la textura del suelo y aumenta sus condiciones de infiltración es considerada una buena rotación.
Praderas naturales y pastizales	Malas: exceso de pastoreo, cobertura menor al 50% del área Regulares: pastoreo regular, cobertura entre el 50% y el 75% del área Buenas: pastoreo ligero, cobertura mayor del 75%
Lotes de bosques	Malos: pastoreo excesivo, se queman regularmente, árboles pequeños. Regulares: algo de pastoreo, no se queman pero no están protegidos. Buenos: protegidos, sin pastoreo y con arbustos
Bosque comercial	Se considera un caso particular para el que el Servicio Forestal ha realizado determinaciones especiales.
Tipos varios de terrenos	Incluye cascos de estancias, caminos y áreas urbanas. Estas áreas se consideran dentro de algunos de los tipos de cubierta analizados. Cuando el área impermeable es grande y la cuenca pequeña, se la considera una clase individual con el 100% de escurrimiento.
Cultivo en hileras	Son aquellos que se siembran siguiendo las curvas de nivel, la tabla de valores de CN es para tamaños de surcos en condiciones medias.
Terrazas	La tabla incluye el caso de terrazas con pendiente y con extremos abiertos. Las terrazas a nivel y con extremos cerrados deben considerarse como surcos a nivel.

Las condiciones de humedad antecedente indican el estado de la humedad del perfil del suelo en la cuenca al producirse una tormenta determinada, como son: precipitación en el período anterior de 5 a 30 días, efectos de la infiltración y la evapotranspiración, hacen variar el valor de CN. Debido a las dificultades para determinar las condiciones precedentes con los datos normalmente disponibles éstas han sido reducidas a 3 casos.

Tabla 4: Condiciones de humedad para la determinación del CN

Condición	Tipo suelo	Descripción
I	Suelo seco	Los suelos están secos, pero no hasta el punto de marchitamiento.
II	Suelo con capacidad de campo	Condición promedio. Normalmente es la condición que se considera en el diseño como precedente a las crecientes (suelo en capacidad de campo)
III	Suelo en saturación	Cuando ha llovido mucho el suelo está con muy baja infiltración inicial (sólo es posible la infiltración básica)

Tabla 5: Valores de CN para las diferentes combinaciones hidrológicas suelo-vegetación para las cuencas en Condición II

Uso del Suelo y Cubierta	Tratamiento ó Método	Condición para la Infiltración	Grupo Hidrológico del Suelo			
			A	B	C	D
Barbecho	SR		77	86	91	94
Cultivos en hileras	SR	Mala	72	81	88	91
	SR	Buena	67	78	85	89
	C	Mala	70	79	84	88
	C	Buena	65	75	82	86
	CyT	Mala	66	74	80	88
	CyT	Buena	62	71	78	88
Granos pequeños	SR	Mala	65	76	84	88
	SR	Buena	63	75	83	87
	C	Mala	63	74	82	85
	C	Buena	61	73	81	84
	CyT	Mala	61	72	79	82
	CyT	Buena	59	70	78	81
Legumbres tupidas o rotación de pradera	SR	Mala	66	77	85	89
	SR	Buena	58	72	81	85
	C	Mala	64	75	83	85
	C	Buena	55	69	78	83
	CyT	Mala	63	73	80	83
	CyT	Buena	51	67	76	80
Pradera o pastizal		Mala	68	79	86	89
		Regular	49	69	79	84
	C	Mala	47	67	81	88
	C	Buena	10	35	70	79
	C	Regular	25	59	75	83
Pradera (permanente)			30	58	71	70
Bosques (lotes de bosques)		Mala	45	66	77	83
		Regular	36	60	73	79
		Buena	25	55	70	77
Cascos de estancias			59	74	82	86
Camino (revestidos)			72	82	87	89
(Con pavimentos duros)			74	84	90	92

Donde:

SR: Son hileras rectas.

T : Son terrazas.

C : Son líneas de nivel.

C y T: Son terrazas a nivel.

Tabla 6: Tabla adicional de valores de CN, para las cuencas en Condición II

Uso y Cubierta del Suelo	Grupo Hidrológico del Suelo			
	A	B	C	D
Suelo desnudo	77	85	91	93
Pasto (matas de pasto o baja densidad de siembra)	51	70	80	84
Cultivos menores (jardines o huertas)	45	66	77	83
Caña de azúcar (quema de residuos)	43	65	77	82
Caña de azúcar (surcos en contorno)	42	58	72	79
Vegetación natural	25-30	41-45	57-63	66
Matorral de hoja caduca (roble o natural con piso de gramilla)	29-33	43-48	69-65	67
Pasturas irrigadas	32-37	46-51	62-68	70
Frutales con verdeo anual	37-41	50-55	64-69	71
Pastos anuales	46-49	57-60	68-72	74
Cereales de cosecha fina	61-64	69-71	76-80	81
Cereales de cosecha gruesa	67-69	74-76	80-83	84
Áreas urbanas				
Baja densidad (15 al 18% de la sup.)	69-71	75-78	82-84	86
Media densidad (21 al 27% de la sup.)	71-73	77-80	84-86	88
Alta densidad (50 al 75% de la sup.)	73-75	79-82	86-88	90

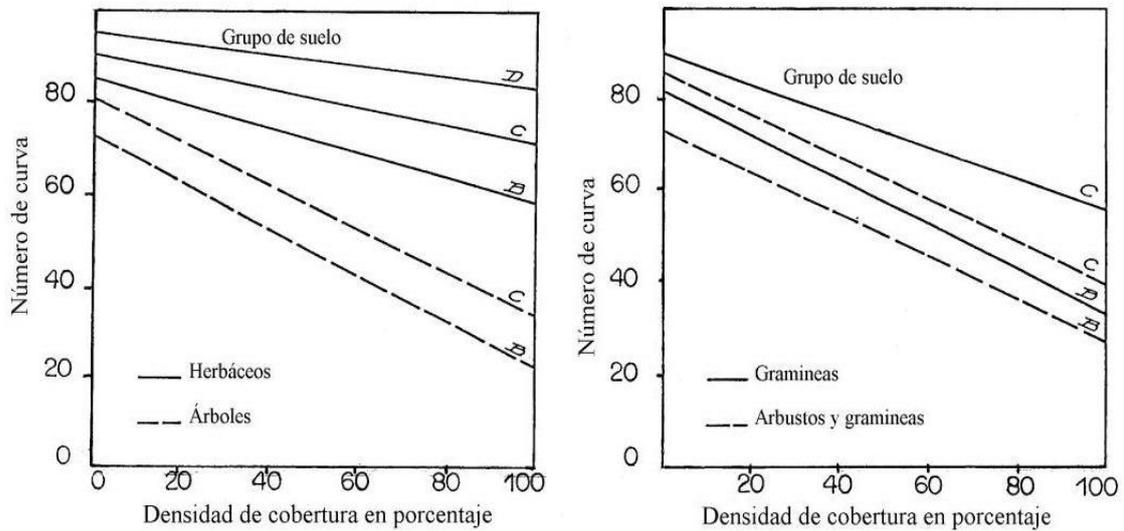


Figura 4: Valores de CN en condición II

Tabla 7: Valores de CN de escorrentía para área forestales en condiciones medias de humedad previa y para $I_a = 0.2 * S$ (Tragsa y Tragsatec, 1998).

Descripción de la cubierta	Estado hidrológico	Número de curva para cada grupo hidrológico de suelo			
		A	B	C	D
Tipo de cubierta					
Pastos, prados o forraje permanente para pastoreo (1)	Malo	68	79	86	89
	Medio	49	69	79	84
	Bueno	39	61	74	80
Prados cubiertos permanentemente con hierba, protegidos del pastoreo y normalmente segados para heno (prados de siega)	---	30	58	71	78
Matorral, mezcla de matorral y maleza siendo el matorral el elemento prioritario (2)	Malo	48	67	77	83
	Medio	35	56	70	77
	Bueno	30 ⁽³⁾	48	65	73
Mezcla de bosques y hierba (huerto o árboles frutales)	Malo	57	73	82	86
	Medio	43	65	76	82
	Bueno	32	58	72	79
Bosques	Malo	45	66	77	83
	Medio	36	60	73	79
	Bueno	30 ⁽³⁾	55	70	77
Granjas, construcciones, caminos, carreteras y alrededores	---	59	74	82	86

Notas:

- Malo: Menos del 50% de cubierta del suelo en sitios muy pastoreados sin cubierta de residuos.
- Medio: Entre el 50-75% de cubierta del suelo y no muy pastoreadas
- Bueno: Más del 75% de cubierta del suelo y muy poco u ocasionalmente pastoreada.
- (2) Malo: Menos del 50% de cubierta del suelo
- Medio: Entre el 50-75% de cubierta del suelo
- Bueno: Más del 75% de cubierta del suelo
- (3) Si el CN real es < 30; utilizar CN = 30 para cálculos de escorrentías

Tabla 8: Valores de CN de escorrentía para zonas de montañas áridas y semiáridas (1) en condiciones medias de humedad previa y para $I_a = 0.2 * S$

Descripción de la cubierta	Estado hidrológico ⁽²⁾	Número de curva para cada grupo hidrológico de suelo			
		A ⁽³⁾	B	C	D
Herbácea: Mezcla de hierba, maleza matorral de bajo crecimiento, siendo el matorral el elemento de menor importancia	Malo Medio Bueno		80 71 62	87 81 74	93 89 85
Roble/álamo: Mezcla de álamo caoba de montaña, "bitter brush", arce y otros arbustos	Malo Medio Bueno		66 48 30	74 57 41	79 63 48
Pináceas/Juniperus: Pináceas, Juniperus o ambas con hierba bajo cubierta	Malo Medio Bueno		75 58 41	85 73 61	89 80 71
Labiadas con hierba bajo cubierta	Malo Medio Bueno		67 51 35	80 63 47	85 70 55
Mata desértica: La mayoría de las plantas incluyen plantas halófilas, plantas crasas, plantas con aceites esenciales	Malo Medio Bueno	63 55 49	77 72 68	85 81 79	88 86 84

Para regiones húmedas utilizar cuadro de áreas forestales

- Malo: < 30% de cobertura de suelo (hierbas y arbustos).
- Medio: 30-70% de cobertura de suelo.
- Bueno: > 70% de cobertura de suelo.
- (3) Los números de curva del grupo A sólo se han desarrollado para matas desérticas.

Tabla 9: Valores de CN de escorrentía para áreas urbanas (1) en condiciones medias de humedad previa y para $I_a = 0.2 * S$

Descripción de la cubierta	% medio de superficie impermeable ⁽²⁾	N° de curva para cada grupo hidrológico de suelo			
		A	B	C	D
Áreas urbanas completamente desarrolladas (vegetación establecida)					
Espacios abiertos (césped, parques, campos de golf, cementerios, etc) ⁽³⁾					
Malas condiciones (cubiertas <50%)		69	79	86	89
Condición media (regular) (50<Fcc<75%)		49	69	79	84
Buenas condiciones (F>75%)		39	61	74	80
Superficies impermeables:					
Aparcamientos pavimentados, tejados, carreteras, etc.		98	98	98	98
Calles asfaltadas y alcantarillas		98	98	98	98
Cunetas asfaltadas		83	89	92	93
Gravas		76	85	89	91
Lodos		72	82	87	89
Áreas desérticas urbanas:					
Paisajes naturales desérticos (sólo superficies permeables) ⁽⁴⁾		63	77	85	88
Paisaje desértico artificial (maleza impermeable leñosas rastreras) (2.4cm), capas de arena o grava)		96	96	96	96
Districtos urbanos:					
Comercial y de negocios	85	89	92	94	95
Industrial	72	81	88	91	93
Districtos residenciales según tamaño medio					
≤ 500 m ²	65	77	85	90	92
1.000m ²	38	61	75	83	87
1.350m ²	30	57	72	81	86
2.000m ²	25	54	70	80	85
4.000m ²	20	51	78	79	84
8.000m ²	12	46	65	77	82
Áreas urbanas en desarrollo					
Superficies recientemente catalogadas (sólo superficies permeables, sin vegetación) ⁽³⁾		77	86	91	94

Notas:

- Condiciones medias de humedad previa $I_a = 0.2 * S$
- El porcentaje medio de superficie impermeable que aparece en la tabla se usó para desarrollar los números de curva compuestos. Las otras suposiciones son las siguientes: las superficies impermeables están relacionadas directamente con el sistema de drenaje; las superficies impermeables tienen un CN = 98 y las permeables se consideran equivalentes a espacios abiertos en buenas condiciones hidrológicas.
- Estos CN son equivalentes a los de los pastos. Los CN compuestos se calculan para otras combinaciones de tipo de cubierta en espacios abiertos.
- Los CN compuestos para paisajes naturales desérticos deben calcularse utilizando los % de superficie impermeable (CN=98) y superficie permeable. El

CN de las superficies permeables se supone equivalente a matorral desértico en malas condiciones hidrológicas.

Tabla 10: Transformación de CN para diferentes condiciones de humedad antecedente del suelo

CN para la Condición II	CN correspondientes para las Condiciones	
	I	III
100	100	100
95	87	99
90	78	98
85	70	97
80	63	94
75	57	91
70	51	87
65	45	83
60	40	79
55	35	75
50	31	70
45	27	65
40	23	60
35	19	55
30	15	50
25	12	45
20	9	39
15	7	33
10	4	26
5	2	17
0	0	0

La condición de humedad antecedente del suelo resulta un elemento importante no sólo para el caso de la construcción de hidrogramas sintéticos sino para obtener una buena calibración de modelos usando crecientes aforadas. Considerando el período de 5 días anteriores al de la lluvia que produce la creciente se ha determinado, la condición precedente de humedad en el suelo

Tabla 11: Condición precedente de humedad según la lluvia total caída durante los 5 días anteriores.

Condición	Período de reposo vegetativo	Período vegetativo
I seco	Menos de 12.5 mm	Menos de 35.5 mm
II capacidad de campo	De 12.5 a 28 mm	De 35.5 a 53 mm
III saturado	Más de 28mm	Más de 53mm

La velocidad de infiltración está relacionada con los grupos hidrológicos de suelos definidos para la determinación de CN.

Valores mínimos de velocidad de infiltración a usar para cada grupo hidrológico de suelos. Para cada grupo de suelos es aconsejable usar los valores mínimos al menos que se puedan justificar valores mayores (USDA, 1969).

Tabla 12: Mínimo valor de velocidad de infiltración en mm/hora

Grupo de suelo	Mínimo valor de velocidad de infiltración en mm/hora
A	7.5 a 11.5
B	4.0 a 7.5
C	1.3 a 4.0
D	0.0 a 1.3

Consideraciones adicionales referentes al uso del Método SCS-CN

Como se ha mencionado el método SCS-CN, no obstante ser bastante criticado por su cierto grado de empirismo, ha sido ampliamente usado y ello le ha dado un grado aceptable de solidez, sobre todo en el diseño hidrológico. Como se ha indicado en el método original de SCS-CN, se toma $I_a = 0.2 * S$, sin embargo, investigaciones posteriores y el uso del método han ampliado este concepto (Hawkins et. al., 2001), generalizando la ecuación 9 de la siguiente manera:

$$I_a = \lambda * S \therefore \lambda = \frac{I_a}{S} \quad (\text{Ec 14})$$

Reemplazando la ecuación 14 en la ecuación 10 queda:

Cuando $P_T \geq \lambda * S$

$$P_e = \frac{(P_T - \lambda * S)^2}{(P_T - \lambda * S + S)} \quad (\text{Ec 15})$$

Cuando $P_T < \lambda * S$

$$P_e = 0$$

Es decir, hay escorrentía directa cuando la precipitación es mayor o igual a la pérdida inicial. El índice de almacenamiento, S, tiene los valores de 0 e ∞ que corresponden a CN = 100 y 0 respectivamente. La ecuación 15, por una transformación algebraica se puede expresar como:

$$P_e = \frac{(P_T - \lambda * S)^2}{(P_T + (1 - \lambda) * S)} \quad (\text{Ec 16})$$

La ecuación 16 se usa para determinar diferentes valores de λ con numerosos ensayos de tormentas, en los cuales se ha encontrado que, en ciertos casos, proporcionan un mejor ajuste para $\lambda = 0.05$ que con $\lambda = 0.20$. Así, tomando $\lambda = 0.05$ la ecuación 16 queda:

$$P_e = \frac{(P_T - 0.05 * S)^2}{(P_T + 0.95 * S)} \quad (\text{Ec 17})$$

Hawkins (2001) sugiere en este caso el recalcu de las curvas de CN, con la ecuación 17, en lugar de la ecuación 10 aunque expresa que las mayores diferencias se observan en valores bajos de CN y de lluvias no muy intensas.

Sistemas Información Geográfica (SIG)

Introducción a ArcGis

ArcGIS Desktop

Es una arquitectura integrada de los productos SIG de la casa ESRI que incluye ArcReader, ArcView, ArcEditor y ArcInfo. Estos cuatro productos comparten una misma interface, por lo tanto, tienen el mismo aspecto y trabajan de la misma manera. La diferencia está en la funcionalidad de cada uno de estos productos, que

va desde la más básica ArcReader hasta la de altas prestaciones de ArcInfo (Orduña, 2007).

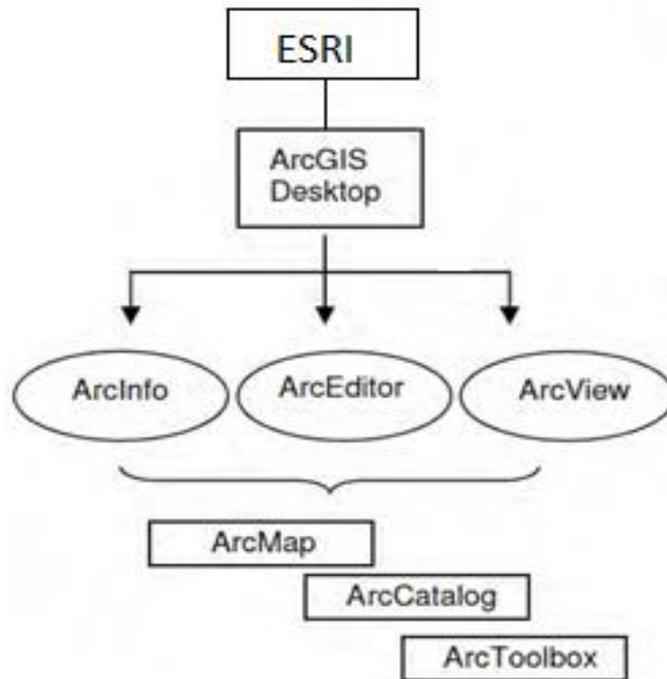


Figura 5: Esquema de la arquitectura de ArcGIS

ArcGIS

Es un sistema de información geográfica, el cual posee una interface gráfica de usuario, de manejo sencillo con el ratón, posibilita cargar con facilidad datos espaciales y taburales para ser mostrados en forma de mapas, tablas y gráficos, también provee las herramientas necesarias para consultar y analizar los datos y presentar los resultados como mapas con calidad de presentación. Algunos ejemplos de lo que se puede obtener es cartografía temática, creación y edición de datos, análisis espacial, geocodificación de direcciones, etc. ArcGIS se compone de tres aplicaciones que están incluidas en ArcInfo, ArcEditor y ArcView, las cuales son ArcMap, ArcCatalog y ArcToolbox (Orduña, 2007).

ArcInfo

Es el producto funcionalmente más rico en la familia de ArcGIS. Incluye todo el potencial que puede dar ArcView y ArcEditor, de forma adicional ArcInfo añade el

entorno de geoprocésamiento de ArcGIS Desktop, más de 100 herramientas nuevas válidas para trabajar con cualquier formato vectorial de los soportados por ArcGIS, y unas 50 herramientas específicas para formato cobertura. Dispone de funcionalidades de conversión de datos a otros formatos y sistemas de proyección, así como toda la funcionalidad aportada por el entorno de comandos de ArcInfo Workstation (Orduña, 2007).

ArcEditor

Diseñado principalmente para crear y editar geodatabases. Se puede crear y modificar bases de datos y esquemas de bases de datos para ficheros shape, coberturas, geodatabases personales, y corporativas o multiusuario; así como la posibilidad de implementar topología basada en reglas. (Orduña, 2007).

ArcView

Incorpora funciones avanzadas de visualización, análisis y consulta de datos, así como la capacidad de crear y editar datos geográficos y alfanuméricos. Asimismo, contiene ArcMap, ArcCatalog y ArcToolbox (Orduña, 2007).

ArcMap

Permite realizar mapas a partir de capas o datos espaciales, elegir colores y simbología, interrogar a las bases de datos, analizar relaciones espaciales y diseñar mapas o salidas impresas. La interfaz de ArcMap se compone de una tabla de contenidos donde se listan todas las capas que forman el mapa, una ventana donde se muestra el mapa, y una serie de menús y herramientas para trabajar con las capas y mapas (Orduña, 2007).

ArcCatalog

Permite manipular y acceder la información geográfica de un modo fácil. Se puede agregar las conexiones de la información geográfica con que se está trabajando al Catálogo; también, se pueden conectar los fólderes con los discos locales y compartir fólderes y bases de datos que están disponibles en la red de trabajo.

Después de construir el Catálogo, es posible observar diferentes vistas para ver las fuentes de información geográfica que están disponibles con su respectiva conexión y explorar los contenidos individuales de las fuentes de datos. Es permisible explorar toda la información del mismo modo en que fue guardada. Además, el programa posee herramientas para organizar y darle mantenimiento a la información. Los datos son presentados en una estructura de árbol y a la derecha de la pantalla se pueden observar los archivos espaciales en miniatura, (Orduña, 2007).

ArcToolbox

Permite convertir los datos espaciales de un formato a otro, así como introducir un sistema de referencia o cambiar proyecciones de los datos. Las herramientas se encuentran organizadas temáticamente y mediante el empleo de intuitivos asistentes, permiten realizar dichas funciones de forma sencilla e inmediata; su poder radica en funciones para análisis espacial (Orduña, 2007).

Teoría y Generación de Numero de curva con sistemas de Información Geográfica

Aspectos generales sobre los SIG

La mayor utilidad de un sistema de información geográfica está íntimamente relacionada con la capacidad que posee éste de construir modelos o representaciones del mundo real a partir de las bases de datos digitales, esto se logra aplicando una serie de procedimientos específicos que generan aún más información para el análisis. La construcción de modelos de simulación se convierte en una valiosa herramienta para analizar fenómenos que tengan relación con tendencias y así poder lograr establecer los diferentes factores influyentes. (Chuvieco, 1990).

Método del número de curva (CN)

Este método fue desarrollado por el Servicio de Conservación de Recursos Naturales de EE. UU. (Natural Resources Conservation Service - NRCS), originalmente llamado Servicio de Conservación de Suelos (Soil Conservation

Service - SCS) para calcular la precipitación efectiva como una función de la lluvia acumulada, la cobertura del suelo, el uso del suelo y las condiciones de humedad. La metodología del número de la curva (**CN**), es la más empleada para transformar la precipitación total en precipitación efectiva, surgió de la observación del fenómeno hidrológico en distintos tipos de suelo en varios estados y para distintas condiciones de humedad antecedente. La representación gráfica de la profundidad de precipitación y la profundidad de exceso de precipitación o escorrentía directa permitió obtener una familia de curvas que fueron estandarizadas a partir de un número adimensional de curva **CN**, que varía de 1 a 100, según sea el grado del escurrimiento directo. Así un número de la curva $CN = 100$, indica que toda la lluvia escurre y un $CN = 1$, indica que toda la lluvia se infiltra.

Determinación de CN con imágenes del satélite

Las imágenes de satélite en el apoyo de los estudios de cobertura vegetal y clasificación de suelos se usan como técnica de diseño para el método del SCS-CN desde la década del 70 del siglo pasado. Con el perfeccionamiento de las imágenes satelitales (Lansat) en relación con su resolución y color esta técnica es hoy de uso corriente en diseño hidrológico, no sólo para ayudar la determinación de cobertura vegetal y uso del suelo, sino en aplicaciones hidrológicas como: índices de infiltración, índices de erosión, evaporación y entre otras. (Menenti, Pilgrim, et al.,1988).

Cuenca

- **Aparicio M., F. (1992):** Una cuenca es una zona de la superficie terrestre en donde (si fuera impermeable) las gotas de lluvia que caen sobre ella tienden a ser drenadas por el sistema de corrientes hacia un mismo punto de salida
- **Chereque M., W. (1990):** Se define cuenca el área de terreno donde todas las aguas caídas por precipitación se unen para formar un solo curso de agua, cada curso de agua tiene una cuenca bien definida para cada punto de su recorrido.
- **Guevara P., E. (1997):** Una cuenca hidrográfica es una unidad física bien definida y comprende toda el área que aporta a un sistema de drenaje común

en un punto, a partir del cual hacia aguas arriba, la cuenca es bordeada por una divisoria o línea de separación de la precipitación (divortium aquarum) que cae sobre las cuencas vecinas.

- **Monsalve S., G. (1999):** Una cuenca hidrográfica es un área definida por una divisoria topográfica de aguas, drenada por un curso de agua o un sistema conectado de cursos de agua tal que todo el caudal afluente es descargado a través de una salida simple. Se llama cuenca hidrográfica o cuenca receptora de un río en un punto dado, al área limitada por el divortium aquarum que define un contorno en cuyo interior el agua precipitada se acumula en ese punto del río. Si el terreno es impermeable los límites de la cuenca están definidos topográficamente por la curva que separan las vertientes.
- **Vásquez V., A. (1998):** Es el área natural o unidad de territorio, delimitada por una divisoria topográfica (divortium aquarum), que capta la precipitación y drena el agua de escorrentía hasta un colector común, denominado río principal.

Delimitación de Cuenca

- **Chereque Moran., W. (1990):** La delimitación de una cuenca se hace sobre un plano a curvas de nivel, siguiendo las líneas del divortium aquarum o líneas de las altas cumbres.
- **Villon B., M. (2011):** La delimitación de una cuenca, se hace sobre un plano o mapa a curvas de nivel, siguiendo las líneas del divortium aquarum (parteaguas), la cual es una línea imaginaria, que divide a las cuencas adyacentes y distribuye el escurrimiento originado por la precipitación, que, en cada sistema de corriente, fluye hacia el punto de salida de la cuenca. El parteaguas está formado por los puntos de mayor nivel topográfico y cruza las corrientes en los puntos de salida, llamado estación de aforo.

La Cuenca y sus Características Geomorfológicas clasificación de los cursos de agua

Con base en la constancia de la esorrentía, los cursos de agua se pueden dividir en:

- **Perennes:**

Corrientes con agua permanente

El flujo subterráneo mantiene una alimentación continúa produciendo un flujo base que es permanente, salvo situaciones extremadamente secas.

- **Intermitentes:**

Corrientes que presentan un flujo base sólo en estaciones de lluvia.

El nivel de agua subterránea supera el nivel del lecho del río en la época lluviosa. En épocas de lluvias escasas o nulas ese nivel baja manteniendo un flujo subterráneo.

- **Efímeros o ríos secos**

Carecen generalmente de flujo base. Los escurrimientos superficiales se generan solamente ante la presencia de una lluvia (generalmente de alta intensidad) sobre la cuenca. En zonas áridas, por ejemplo, en los torrentes se producen crecientes súbitas.

Red de drenaje

La red de drenaje está constituida por el río principal y sus tributarios.

Orden de la red de drenaje

Refleja el grado de ramificación o bifurcación dentro de una red de drenaje. Puede determinarse de acuerdo con criterios expuestos por diferentes autores, entre ellos se tiene:

- **Horton-Strahler:** consiste en atribuirle el número de orden a los canales
- **Corrientes de primer orden:** Pequeños canales que no tienen tributarios.
- **Corrientes de segundo orden:** Cuando dos corrientes de primer orden se unen.
- **Corrientes de tercer orden:** Cuando dos corrientes de segundo orden se unen.
- **Corrientes de orden $n + 1$:** Cuando dos corrientes de orden n se unen

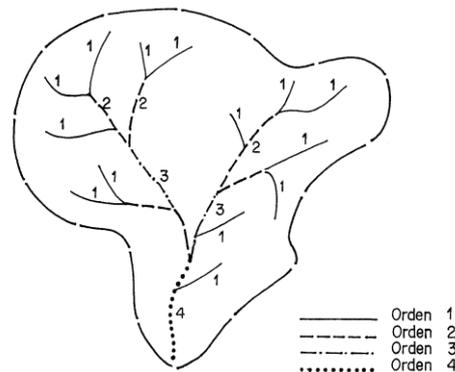


Figura 6: Red de drenaje según Horton- Strahler

- **Shreve:** es otro esquema de organización planimétrica de la red hidrográfica en la que se obtiene un árbol de bifurcación donde el orden o “magnitud” de un segmento de corriente formado en una unión, es la suma de las magnitudes de los dos tributarios, así:
- **Corrientes de primer orden:** Pequeños canales que no tienen tributarios.
- **Corrientes de segundo orden:** Cuando dos corrientes de primer orden se unen.
- **Corrientes de tercer orden:** Cuando se unen una corriente de segundo orden y una de primer orden.

- **Corrientes de orden n + m:** Cuando se unen dos corrientes de orden n y m. La magnitud de cualquier segmento de corriente iguala el número de la magnitud de sus fuentes, lo cual significa que la magnitud Shreve es una de las relaciones más simples para predecir el flujo de corriente que otros sistemas de ordenamiento.

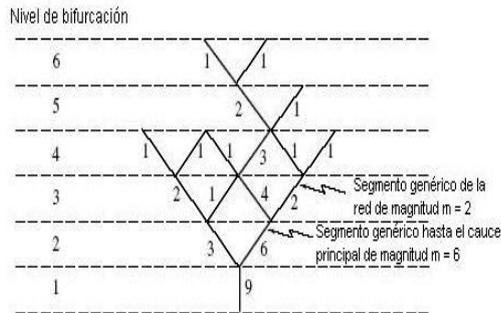


Figura 7: Red de drenaje según Shreve (Ferro, 2002)

Densidad de drenaje

Es un importante indicador de la forma del terreno y el grado de erosión que puede tener la cuenca en función de los factores geológicos, de vegetación y de tipo de suelo. Un buen mapa topográfico base de una cuenca debe reflejar adecuadamente la densidad del drenaje.

Cuantitativamente es la relación entre la longitud de los cursos de agua de la cuenca y su área total, así:

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

Donde:

L: Es la longitud total de las corrientes de agua, en km

A: Es el área total de la cuenca, en km²

La densidad de drenaje, D_d , usualmente toma valores entre 0.5 km/km² para cuencas con drenaje pobre, hasta 3.5 km/km² para cuencas excepcionalmente bien drenadas.

Parámetros geomorfológicos básicos

Los parámetros geomorfológicos básicos para establecer una afinidad hidrológica entre cuencas comparables son: área, perímetro, altura máxima, mínima y desnivel, índice de compacidad, radio de elongación, curva hipsométrica, curva de frecuencias altimétricas, altitud media, longitud del cauce principal, pendiente media del cauce principal, pendiente ponderada del cauce principal, rectángulo equivalente, índice de pendiente, pendiente, pendiente media total o pendiente neta total, coeficiente de masividad o de Martone, coeficiente orográfico. Dichos parámetros geomorfológicos pueden ser calculados fácilmente haciendo uso de sistemas de información geográfica (SIG) integrados a modelos hidrológicos. (INCTH et. al., 1976).

○ **Área de la cuenca**

La delimitación exacta de las cuencas se efectúa sobre los planos correspondientes a las restituciones planialtimétricas a escala adecuada. De acuerdo con los órdenes de magnitud de las escalas de los planos base en trabajos de hidrología, suelen considerarse como suficientes las escalas de trabajo recién mencionadas en todos los casos se determina primero la línea de contorno de cada cuenca coincidente con la divisoria topográfica.

○ **Perímetro**

Sobre los mismos planos se mide el contorno de cada cuenca. En la medición del perímetro, en los casos en que la divisoria sigue una trayectoria muy sinuosa, se sigue el criterio, a los efectos de la medición, de interpolar una línea sustituyendo a la auténtica divisoria. Con ello las características de la cuenca no se alterarán fundamentalmente, el área no se modifica ya que se puede suponer que está compensada y en cuanto al perímetro sufre un cierto acortamiento. En definitiva, la forma de la cuenca en su aspecto hidrológico no se altera por esta sustitución y el valor que se adopta no es el resultante de

recorrer todo el contorno rigurosamente, sino un contorno simplificado de su forma.

- **Altura máxima, mínima y desnivel**

En general la elevación máxima, en conjunción con la altitud media, es un índice de la medida en que deben elevarse las masas de aire para pasar sobre la cuenca. La altura máxima se obtiene por lectura directa en las planimetrías, de la cota del cerro de mayor altura, ubicado dentro de la cuenca o en su contorno. La altura mínima se determina en correspondencia con la cota del cauce principal en la sección de control. El desnivel corresponde a la diferencia entre la altura máxima y la altura mínima.

- **Índice de compacidad**

Una cuenca vertiente está definida en primer lugar por su contorno, que tiene una forma determinada y encierra una cierta área, A. Es evidente que esta forma tendrá una gran influencia sobre la configuración del hidrograma resultante de una lluvia dada. El Índice utilizado para representar esta característica es el coeficiente de compacidad de Gravelius, o simplemente, índice de compacidad, y que es igual a la relación entre el perímetro de la cuenca (P) y el perímetro de un círculo de igual área.

$$I_C = \frac{P}{2\sqrt{\pi * A}} \quad (\text{Ec 18})$$

En términos del área, el círculo es la figura de menor perímetro, por tanto, en cualquier caso, este coeficiente será mayor que la unidad. Así, mientras más cercano a la unidad sea el coeficiente de compacidad, la forma de la cuenca se aproxima a la circular, y entre más alejado de ella, más irregular es su forma en relación con el círculo.

Efectuando operaciones con los valores constantes resulta:

$$I_C = \frac{0.282 * P}{\sqrt{A}} \quad (\text{Ec 19})$$

En cierto modo, el significado del índice de compacidad es similar al del radio hidráulico, en hidráulica, sólo que, en este caso, es una relación entre perímetro (P) y la raíz cuadrada del área (A).

Radio de elongación

Otro de los parámetros que se han introducido en los estudios hidrológicos para definir numéricamente la forma de la cuenca, lo constituye el radio de elongación, que se establece como la relación entre el diámetro de un círculo de igual área que la cuenca y la longitud máxima de la misma medida desde la sección de control (B), o sea que:

$$R_e = \frac{1,1284 \cdot \sqrt{A}}{B} \quad (\text{Ec 20})$$

Esta relación alcanzará evidentemente, como valor máximo la unidad, para una figura perfectamente circular, disminuyendo luego, a medida que la forma de la cuenca se aleje de dicha configuración.

Curvas hipsométricas

La mayor parte de los fenómenos meteorológicos e hidrológicos (precipitaciones, temperatura, caudales específicos, etc.) se presentan en función de la altitud, por lo tanto, es muy importante calcular la distribución de la cuenca vertiente, en km² y en porcentaje del área total, por intervalos constantes de altura. Para determinar la equidistancia entre curvas de nivel en que se deben medir las áreas, se parte del cálculo de la relación:

$$N = \frac{H_M - H_m}{n} \quad (\text{Ec 21})$$

Siendo H_M la cota máxima de la cuenca, H_m la cota mínima y n el número de curvas de nivel. Si se están estudiando varias cuencas simultáneamente, se obtienen así valores máximos y mínimos de N para todas las cuencas en estudio. Luego, para

homogeneizar el estudio se considera una equidistancia entre curvas de nivel que no sea menor que el N mínimo ni mayor que el N máximo. Así si se tiene por ejemplo N mínimo de las cuencas de 90 y N máximo de 205, se puede seleccionar para todas las cuencas una equidistancia ente curvas de nivel de 100 metros.

Las áreas entre curvas de nivel se obtienen por planimetría de los planos en escala adecuada disponibles para todas las cuencas. Se puede considerar a esta curva como una especie de perfil de la cuenca que representa las áreas dominadas por encima de cada cota. Otra curva similar a la hipsométrica, es la curva de frecuencias altimétricas o curva de distribución de altitudes, que representa en un diagrama escalonado, los porcentajes del área total de la cuenca que se hallan comprendidos entre intervalos constantes de altitud (de 100 en 100 m, por ejemplo).

Altitud media

Dado que la precipitación es básicamente el resultado del ascenso y enfriamiento de masas de aire, existe generalmente una correlación entre la misma y la altitud media, en cuencas de zonas montañosas. En consecuencia, la elevación media de una cuenca sobre el nivel del mar es un indicador general de las cantidades de precipitación. Por otra parte, a alturas mayores, debido al descenso de las temperaturas, se produce una disminución general de la evapotranspiración potencial.

La altitud media de las cuencas se obtiene mediante la relación:

$$Alt_m = \frac{\sum h_i * A_i}{A} \quad (Ec 22)$$

En donde las sub áreas A_i , corresponden a las áreas comprendidas entre curvas de nivel consecutivas h_i y A es el área total de la cuenca.

Características del cauce principal

Otro de los factores que resulta representativo del comportamiento hidrológico de una cuenca es aquél que se relaciona con las características del cauce principal de la misma. Si bien este factor no resulta generalmente significativo en lo que se

refiere al valor medio de precipitación y de la escurrentía, es decisivo en la determinación de la configuración del hidrograma de las crecidas. Por lo general, en la mayoría de las fórmulas para el cálculo del tiempo de concentración de una cuenca intervienen parámetros derivados de las características físicas del cauce principal, como lo son:

Longitud del cauce principal. Se determina por medición directa de la longitud del cauce más importante de cada cuenca. En la elección de dicho cauce, se tiene en cuenta en cada caso, tanto la longitud del mismo, como su desnivel, buscando siempre el curso que presenta en lo posible, el máximo para ambos valores.

Pendiente media del cauce principal. Se calcula directamente por la media aritmética, considerando las elevaciones extremas del cauce principal.

Pendiente ponderada del cauce principal. Para su determinación se grafica el perfil longitudinal del cauce principal de cada cuenca, trazando luego la recta de compensación, cuya pendiente indica la pendiente ponderada del cauce.

Rectángulo equivalente

Se suele admitir que una cuenca se comporta, hidrológicamente, de un modo análogo a un rectángulo que tuviera la misma área y perímetro y, por tanto, igual índice de compacidad, distribución de alturas curva hipsométrica, y distribución de terreno por su naturaleza, rocas, cultivos, etc. En este rectángulo, las curvas de nivel están dadas por rectas paralelas a la base menor, y se supone que las pendientes de la cuenca quedan sustituidas por las pendientes del rectángulo y el desagüe de la cuenca, que era un punto, queda convertido en el lado menor. Para el cálculo del rectángulo equivalente se parte del perímetro, del área y del índice de compacidad; se determinan los valores de los dos lados del rectángulo que resultan de las expresiones:

$$L = \frac{I_c \sqrt{A}}{1.12} * \left[1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{I_c} \right)^2} \right] \quad (\text{Ec 23})$$

$$l = \frac{I_c \sqrt{A}}{1.12} * \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{I_c} \right)^2} \right] \quad (\text{Ec 24})$$

Siendo:

I_c : es el índice de compacidad de la cuenca

A: es el área de la cuenca

L: es el lado mayor

l: es el lado menor

Además, en todos los casos debe verificarse que:

$$L + l = \frac{P}{2} \quad (\text{Ec 25})$$

$$L * l = A \quad (\text{Ec 26})$$

Donde P es el perímetro de la cuenca.

A partir de estos valores se dibuja un rectángulo de base L, y de altura l. Para ubicar las rectas equivalentes de las curvas de nivel, se calculan los cocientes $\frac{A_1}{l}, \frac{A_2}{l}, \frac{A_3}{l}, \dots, \frac{A_n}{l}$, siendo A_i , los valores correspondientes a las áreas parciales entre curvas de nivel consecutivos. Estas magnitudes se llevan sobre el lado mayor del rectángulo equivalente, trazando luego las paralelas al lado menor.

Índice de pendiente

El gradiente de pendiente de una cuenca tiene importancia en el comportamiento hidrológico de la misma, dado que, indirectamente, a través de la velocidad, incide en el tiempo de concentración. Por ello, en lugar de definir todo el relieve a través de una curva o de un rectángulo, se lo puede definir por un determinado índice que sintetice la pendiente de la cuenca. Se define la pendiente media de la cuenca, como la media ponderada de todas las pendientes correspondientes a áreas elementales en las que se puede considerar constante la máxima pendiente. Si se supone que la superficie del terreno es sustituida por un poliedro que se adapta suficientemente bien al terreno natural, cada cara de éste tendría una cierta pendiente, la que, ponderada por el área correspondiente, permite obtener un valor que se considera como un índice de la pendiente o pendiente media. La determinación del índice de pendiente atendiendo al significado anteriormente dicho, resulta en extremo laboriosa dado que intervienen para su determinación las

áreas comprendidas entre curvas de nivel inmediatas, la longitud total de cada una de ellas y su equidistancia. Es por ello que este índice suele calcularse partiendo del rectángulo equivalente, mediante la expresión:

$$I_P = \frac{1}{L^2} * \sum_{i=1}^N \sqrt{\frac{(\Delta H_i)^2 * B_i}{1000}} \quad (\text{Ec 27})$$

Donde:

L: Es la longitud del lado mayor del rectángulo equivalente. (km)

ΔH_i : Son los intervalos de altura considerados en el rectángulo equivalente. (m)

B_i: Es la fracción del área total de la cuenca comprendida entre el intervalo de altura (km²)

N: Es el número de curvas de nivel del rectángulo incluidos los extremos.

Pendiente general del terreno

La pendiente general del terreno de la cuenca constituye otro de los factores cuya consideración puede resultar de sumo interés, pues, por una parte, indica en qué grado deben ascender las masas de aire en su desplazamiento sobre la cuenca y por otra parte, influenciar la forma en la que el agua ya precipitada, se dirige hacia una sección de control determinada. La pendiente del terreno natural tiene una relación directa con la velocidad del escurrimiento sobre la cuenca, pero, además, presenta una dependencia muy compleja, con el fenómeno de la escorrentía superficial propiamente dicha, dada su marcada interrelación con la infiltración, el contenido de humedad del suelo, las irregularidades localizadas y el crecimiento de la vegetación. Las pendientes del terreno se determinan mediante un procedimiento gráfico-analítico, que consiste en colocar sobre la planialtimetría de la cuenca una cuadrícula ortogonal, contando el número de veces que las rectas de la misma son cortadas por curvas de nivel. La pendiente general del terreno se calcula por la fórmula:

$$P = 1.571 * \left(\frac{D * N}{L} \right) \quad (\text{Ec 28})$$

Donde:

D: Es la separación entre líneas de la cuadrícula (km)

N: Es el número de intersecciones entre las curvas de nivel con las líneas de la cuadrícula, en la dirección considerada, adimensional.

L: Es la longitud total de todas las líneas de la cuadrícula en la dirección considerada (Km)

El valor de la constante 1.571 es el valor promedio de las secantes de todos los ángulos comprendidos entre 0° y 90°. Este valor fue sugerido por Horton, para ser usado en la integración del efecto de los cruces entre las cuadrículas y las curvas de nivel para ángulos que varían de 0° a 90°.

Otros parámetros geomorfológicos

Además de los parámetros calculados y descritos, se pueden analizar algunos otros coeficientes geomorfológicos, de aplicación usual en estudios hidrológicos. Ellos son el coeficiente de masividad, el coeficiente orográfico y el factor de forma.

El coeficiente de masividad o de Martone, consiste en dividir la altura media de la cuenca por su área proyectada. En este caso se entiende por altura media la mitad del desnivel total de la cuenca, así:

$$C_M = \frac{(H_{\max} - H_{\min})}{2 \cdot A} \quad (\text{Ec 29})$$

Resulta evidente que, dada su expresión, el coeficiente de masividad aumenta con la altura media de la cuenca y disminuye con su superficie, tomando valores muy elevados para cuencas pequeñas con grandes desniveles y valores reducidos para cuencas extensas.

El coeficiente orográfico, por su parte, resulta de multiplicar el coeficiente de masividad por la altura media. Tiene un significado similar, pero la relación resultante es adimensional. Los valores obtenidos adolecen de iguales defectos que el anterior.

El factor de forma es un índice adimensional que relaciona la superficie de la cuenca, A, con el cuadrado de la longitud mayor de la cuenca, Lm. El inverso de

esta relación, L_m^2/A se usa en aplicaciones del hidrograma unitario (capítulo 7). Se calcula con la ecuación:

$$F_f = \frac{A}{L_m^2} \quad (\text{Ec 30})$$

Consecuentemente, los dos primeros coeficientes son representativos sólo en caso de compararse cuencas de áreas semejantes y numéricamente pequeñas.

Introducción a HEC HMS

Medición de Precipitaciones

La lluvia se mide con dos tipos de instrumentos: medidores sin registro (pluviómetros) y medidores con registro (fluviógrafos). En realidad, cualquier recipiente (de cualquier tamaño) es conveniente para medir la lámina total de la lluvia caída. Sea esta de cualquier duración y simplemente midiendo con una regla la altura de la lluvia caída, pero debido a las variaciones que se pueden producir por efectos diversos (viento, influencia del tamaño y forma del recipiente) y a la necesidad de estandarizar la medida se han establecido medidores estándar. En cuanto a los fluviógrafos los hay de distinto tipo y todos registran en papel o digitalmente la lluvia caída y sus variaciones a través del tiempo. Debido a la importancia de este dato, se debe tener especial cuidado en la elección del sitio para la instalación del aparato de medición, en cuanto a su facilidad de acceso, como de evitar factores que distorsionan la medición como cercanías de árboles o edificios y cumplir las normas que se han establecido.

Tiempo de Concentración y Tiempo de Retraso

Tiempo de concentración

Tiempo necesario para que todo el sistema (toda la cuenca) contribuya eficazmente a la generación de flujo en el desagüe. Comúnmente el tiempo de concentración se

define como, el tiempo que tarda una partícula de agua caída en el punto más alejado de la cuenca hasta la salida del desagüe. Además, debe tenerse en claro que el tiempo de concentración de una cuenca no es constante; según Marco y Reyes (1992) aunque muy ligeramente depende, de la intensidad y la precipitación.

Por tener el concepto de tiempo de concentración una cierta base física, han sido numerosos los autores que han obtenido formulaciones del mismo, a partir de características morfológicas y geométricas de la cuenca. A continuación, se muestran algunas de esas fórmulas empíricas:

ASC Modificada

$$T_c = \frac{0.007 * n^{0.8} * L_p^{0.8}}{S^{0.4} * P^{2.5}} \quad (\text{Ec. 31})$$

Donde:

n: coeficiente de rugosidad del cauce

L_p: longitud del cauce (pies)

S: pendiente promedio del cauce principal (m/m)

P₂: precipitación con un período de retorno de 2 años para una lluvia de duración de 24 horas (pulg)

T_c: tiempo de concentración (horas)

Bransby-Williams

$$t_c = 14.6 * L * A^{-0.1} * S^{-0.2} \quad (\text{Ec. 32})$$

Donde:

L: longitud del curso de agua más largo (km)

A: área de la cuenca (km²)

S: pendiente promedio del cauce principal (m/m)

t_c: tiempo de concentración (min)

California Culvert Practice

$$t_c = 60 * \left[\frac{0.87075 * L^3}{H} \right]^{0.385} \quad (\text{Ec. 33})$$

Donde:

L: longitud de curso de agua (m.)
H: Diferencia de Nivel (m.)
tc: Tiempo de Concentración (min.)

Clark

$$T_c = 0.335 * \left[\frac{A}{S^{0.3}} \right]^{0.593} \quad (\text{Ec. 34})$$

Donde:

A: área de la cuenca (km²)
S: pendiente promedio del cauce principal (m/m)
Tc: tiempo de concentración (horas)

Ecuación de Retardo SCS

$$T_c = \frac{0.0136 * L^{0.8} * \left[\left(\frac{1000}{CN} \right) - 9 \right]^{0.7}}{S^{0.5}} \quad (\text{Ec. 35})$$

Donde:

L: Longitud de curso de agua (metros)
CN: Numero de Curva
S: Pendiente (m/m)
tc: Tiempo de Concentración (min)

Federal Aviation Agency FAA

$$tc = 3.26 * (1.1 - C) \frac{(1000 * L)^{0.5}}{(100 * S)^{0.333}} \quad (\text{Ec. 36})$$

Donde:

C: Coeficiente de escorrentía
L: Longitud de curso de agua (metros)
S: Pendiente (m/m)
tc: Tiempo de Concentración (min)

George Rivero

$$t_c = \frac{16*L}{[(1.05-0.2*p)*(100*S)]^{0.04}} \quad (\text{Ec. 37})$$

Donde:

L: longitud del curso de agua más largo (km)

p: relación entre el área cubierta de vegetación y el área de la cuenca

S: pendiente promedio del cauce principal (m/m)

t_c: tiempo de concentración (min)

Giandotti

$$TC = \frac{4*\sqrt{A}+1.5*L}{25.3*\sqrt{S}*L} \quad (\text{Ec. 38})$$

Donde:

A: área de la cuenca (km²)

L: longitud del curso de agua más largo (km)

S: pendiente promedio del cauce principal (m/m)

T_c: tiempo de concentración (horas)

Henderson y Woodin

$$t_c = 0.94 * i^{-0.4} * \left[\frac{n*L_p}{\sqrt{S}} \right]^{0.6} \quad (\text{Ec. 39})$$

Donde:

i: intensidad de la lluvia (mm/hr)

n: coeficiente de rugosidad del cauce

L_p: longitud del cauce (pies)

S: pendiente promedio del cauce principal (m/m)

t_c: tiempo de concentración (min)

Izzard

$$t_c = \frac{41.025*(0.0007*i_p^{0.8}+c)*L_p^{0.333}*n^{0.605}}{i_p^{0.667}*S^{0.333}} \quad (\text{Ec. 40})$$

Donde:

i_p: intensidad de lluvia (mm/hr)

c: Coeficiente de Retardo

L: Longitud de curso de agua (metros)

S: Pendiente (m/m)

tc: Tiempo de Concentración (min)

Johnstone Cross

$$Tc = 5 * \left(\frac{Lm}{\sqrt{s}}\right)^{0.5} \quad (\text{Ec. 41})$$

Donde:

Lm: longitud del canal desde aguas arriba hasta la salida (mi)

s: pendiente promedio de la cuenca (pies/mi)

tc: tiempo de concentración (min)

Kerby-Hathaway

$$tc = \left[\frac{0.67 * n * Lp}{\sqrt{s}}\right]^{0.467} \quad (\text{Ec. 42})$$

Donde:

n: coeficiente de rugosidad del cauce

Lp: longitud del cauce (pies)

S: pendiente promedio del cauce principal (m/m)

tc: tiempo de concentración (min)

Kirpich

$$tc = 0.06628 * \frac{L^{0.77}}{S^{0.385}} \quad (\text{Ec. 43})$$

Donde:

L: Longitud del Canal en (metros)

S: Pendiente (m/m)

tc: Tiempo de Concentración (min)

Método Racional Generalizado

$$Tc = \left[\frac{60 * n * L}{H^{0.3}}\right] \quad (\text{Ec. 44})$$

Donde:

n: coeficiente de rugosidad del cauce

L: longitud del curso de agua más largo (km)

H: diferencia de nivel entre la divisorio de aguas y la salida (metros)

Tc: tiempo de concentración (horas)

Morgali y Linsley (Ecuaciones de Onda Cinética)

$$tc = \frac{0.933 * Lp^{0.6} * n^{0.6}}{i^{0.4} * S^{0.3}} \quad (\text{Ec. 45})$$

Donde:

Lp: longitud del cauce (pies)

n: Coeficiente de Rugosidad

i: intensidad de lluvia (mm/hr)

S: Pendiente (m/m)

tc: Tiempo de Concentración (min)

Passini

$$Tc = \frac{\left[0.108 * (A * L)^{\frac{1}{3}} \right]}{S^{0.3}} \quad (\text{Ec. 46})$$

Donde:

A: área de la cuenca (km²)

L: longitud del curso de agua más largo (km)

S: pendiente promedio del cauce principal (m/m)

Tc: tiempo de concentración (horas)

Pérez

$$Tc = \frac{L}{72 * \left(\frac{H}{L}\right)^{0.6}} \quad (\text{Ec. 47})$$

Donde:

L: longitud del curso de agua más largo (km)

H: diferencia de nivel entre la divisorio de aguas y la salida (m)

Tc: tiempo de concentración (horas)

Pilgrin y McDermott

$$T_c = 0.76 * A^{0.38} \quad (\text{Ec. 48})$$

Donde:

A: área de la cuenca (km²)

T_c: tiempo de concentración (horas)

Snyder

$$T_c = 1.2 * (L * Lcg)^{0.3} \quad (\text{Ec. 49})$$

Donde:

L: longitud del curso de agua más largo (km)

Lcg: distancia desde la salida hasta el centro de gravedad de la cuenca (mi)

T_c: tiempo de concentración (horas)

Temez

$$T_c = 0.3 * \left[\frac{L}{S^{0.25}} \right]^{0.76} \quad (\text{Ec. 50})$$

Donde:

L: longitud del curso de agua más largo (km)

S: pendiente promedio del cauce principal (m/m)

T_c: tiempo de concentración (horas)

Valencia y Zuluaga

$$T_c = 1.7594 * A^{0.325} * L^{-0.096} * S_0^{-0.290} \quad (\text{Ec. 51})$$

Donde:

A: área de la cuenca (km²)

L: longitud del curso de agua más largo (km)

S₀: pendiente en porcentaje

T_c: tiempo de concentración (horas)

Ventura – Heras

$$T_c = \alpha * \frac{A^{0.5}}{S} \quad (\text{Ec. 52})$$

Donde:

α : Coeficiente que depende de la pendiente

A: área de la cuenca (km²)

S: pendiente promedio del cauce principal (m/m)

T_c: tiempo de concentración (horas)

Ven Te Chow

$$T_c = 0.273 * \left(\frac{L}{S^{0.5}}\right)^{0.64} \quad (\text{Ec. 53})$$

Donde:

L: longitud del curso de agua más largo (km)

S: pendiente promedio del cauce principal (m/m)

T_c: tiempo de concentración (horas)

Tiempo de retraso

El tiempo de retraso se define como el tiempo que transcurre entre el centroide del hidrograma de lluvia efectiva y el tiempo pico del hidrograma de escurrimiento directo

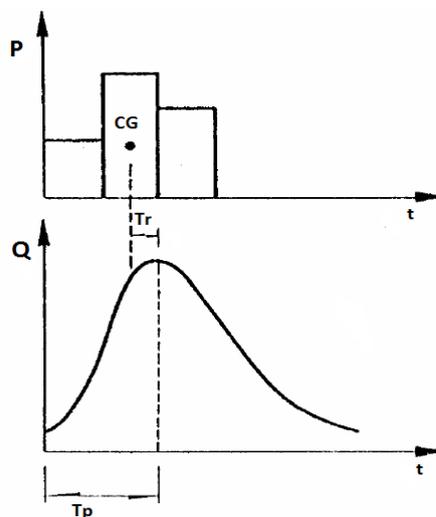


Figura 8: Tiempo de retraso

Definición del tiempo de retraso

El tiempo de retraso depende, principalmente, de las características fisiográficas de la cuenca y de la forma del hidrograma y es independiente de la lluvia. Para calcular el tiempo de retraso, Chow (1962) propone la ecuación:

$$Tr = 0.0050 * \left[\frac{L}{\sqrt{S}} \right]^{0.64} \quad (\text{Ec. 54})$$

Donde

L: es la longitud del cauce principal (m)

S: es la pendiente del cauce principal (%)

Tr: es el tiempo de retraso (horas)

Linsley y colaboradores (1975) recomiendan calcular el tiempo de retraso Tr con la expresión:

$$Tr = 0.75174 * (C_t) * \left[\frac{L * L_{ca}}{\sqrt{S}} \right]^n \quad (\text{Ec. 55})$$

Donde

L: es la longitud de la corriente principal (km)

L_{ca} : es la longitud de la corriente principal desde la salida de la cuenca, hasta el punto más cercano al centro de gravedad de la cuenca (km)

S: es la pendiente de la cuenca

n: es una constante (para montañas, pie de montes y valles, el valor de $n = 0.38$)

C_t : es el coeficiente que representa las variaciones de la pendiente y el almacenamiento en la cuenca (para cuencas naturales varía entre 1.35 y 1.65 y para zonas urbanas, de acuerdo con las mediciones realizadas por Eagleson, se obtuvo que oscila entre 0.16 y 0.24).

En tanto que Snyder (1938) propone determinar el valor de Tr mediante la ecuación siguiente:

$$Tr = C_t * (L * L_{ca})^{0.3} \quad (\text{Ec. 56})$$

Bien, se puede utilizar la ecuación:

$$Tr = 0.60 * Tc \quad (\text{Ec. 57})$$

Donde

Tc: es el tiempo de concentración (horas).

Tránsito de Avenidas

Concepto de Tránsito

Un hidrograma de crecida refleja en realidad el movimiento de una onda al pasar por una estación. Es necesario tener presente que conforme la onda se mueve hacia aguas abajo su forma cambia. Estos cambios en la onda se deben a la adición de agua de los tributarios y a que las velocidades en los diversos puntos a lo largo de la onda no son las mismas

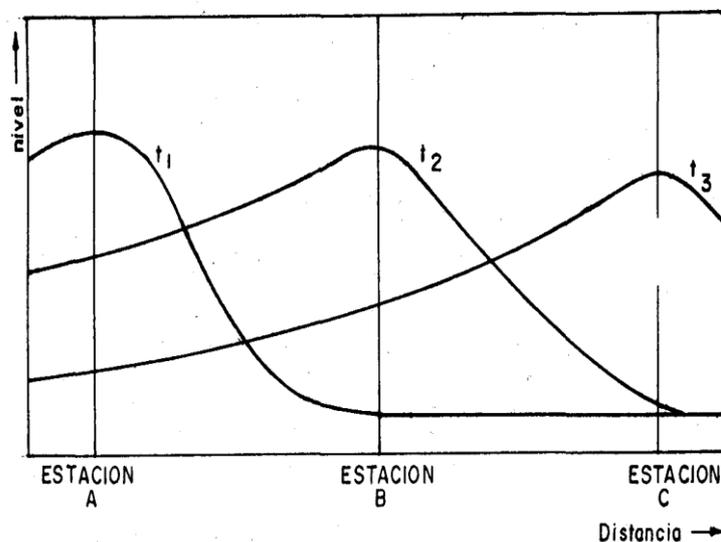


Figura 9: paso de una onda o tránsito

Las ondas de avenidas se forman por aumento no uniforme del caudal del río por efecto de una tormenta importante. Para su estudio hay disponibles dos métodos: el método hidráulico y el hidrológico. Ambos intentan describir los cambios que en el tiempo experimenta la onda de avenida. El análisis del paso de estas ondas de avenida constituye materia de estudio del "tránsito de avenidas" o "flood routing".

El método hidráulico de análisis es bastante complejo por cuanto las condiciones naturales a que se aplica también lo son: el flujo es no permanente, la sección transversal es no uniforme, la rugosidad es variable, etc. El método hidrológico está basado en hipótesis simplificadoras y consiste básicamente en plantear la ecuación de continuidad en un tramo corto de la corriente.

La ecuación de continuidad, referida a un tramo corto del cauce, puede escribirse, para un tiempo corto:

Volumen que ingresa - volumen que sale = cambio en el almacenamiento

$$V_i - V_o = \Delta S \quad (\text{Ec. 58})$$

$$\frac{V_i}{\Delta t} - \frac{V_o}{\Delta t} = \frac{\Delta S}{\Delta t}$$

$$\bar{I} - \bar{O} = \frac{\Delta S}{\Delta t} \quad (\text{Ec. 59})$$

Tránsito en Embalses

Se supone aquí, por simplicidad, que el embalse es no controlado, es decir sin compuertas de descarga, de manera que la descarga se efectúa por un vertedero de desborde o aliviadero. En general, el almacenamiento en el embalse hace que se modifique más marcadamente la forma de onda que en un cauce natural de longitud equivalente.

La ecuación 59 se puede escribir:

$$\frac{I_1 + I_2}{2} - \frac{O_1 + O_2}{2} = \frac{S_2 - S_1}{\Delta t} \quad (\text{Ec. 60})$$

$$\frac{I_1 + I_2}{2} - O_1 = \frac{O_1 + O_2}{2} + \frac{S_2 - S_1}{\Delta t} - O_1$$

$$\frac{I_1 + I_2}{2} - O_1 = \left(\frac{O_2}{2} + \frac{S_2}{\Delta t} \right) - \left(\frac{O_1}{2} + \frac{S_1}{\Delta t} \right)$$

$$\frac{I_1 + I_2}{2} - O_1 = N_2 - N_1 \quad (\text{Ec. 61})$$

Siendo:

$$N = \frac{O}{2} + \frac{S}{\Delta t}$$

El valor Δt se llama período de tránsito, y su valor se fija de antemano en la forma que se indica después.

Como la descarga tiene lugar por un aliviadero, O es función de la carga H sobre la cresta del aliviadero; pero una carga H define una cota de la superficie libre, por lo que la curva de descarga $C-O$ es conocida. Por otro lado, un nivel de agua define un valor del almacenamiento, es decir la curva $C-S$ es también conocida. De donde se concluye que la curva $N-O$ se puede siempre construir para un embalse (basta ver que cada par de valores O, S están relacionados; en efecto a un valor de O corresponde un valor de C , a ese valor de C corresponde un S , con lo que el par de valores O, S definen un único valor de N).

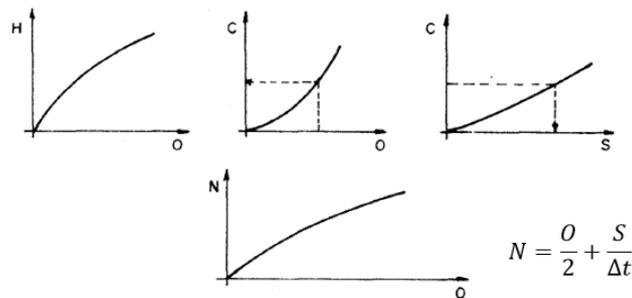


Figura 10: obtención de la gráfica $N-O$

Tránsito en embalses controlados

Para un embalse con compuertas en el vertedero el gasto de salida depende del número de compuertas que estén abiertas. Entonces la curva $N-O$ debe ser sustituida por una familia de curvas, en las que el número de 1 a 3 indica el número de compuertas abiertas.

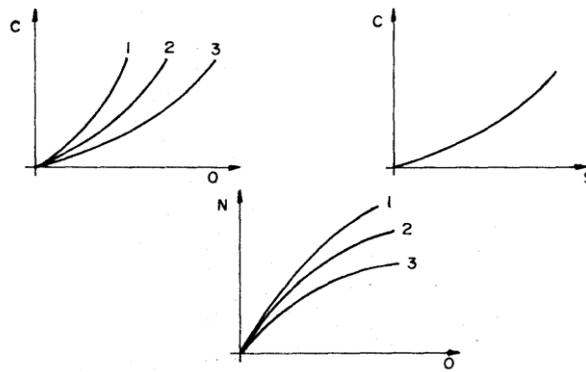


Figura 11: embalses controlados

Hidrogramas

Hidrograma unitario sintético triangular del SCS

El hidrograma unitario triangular del SCS es una simplificación que resulta muy útil para el cálculo de hidrogramas sintéticos en cuencas de tamaños reducidos.

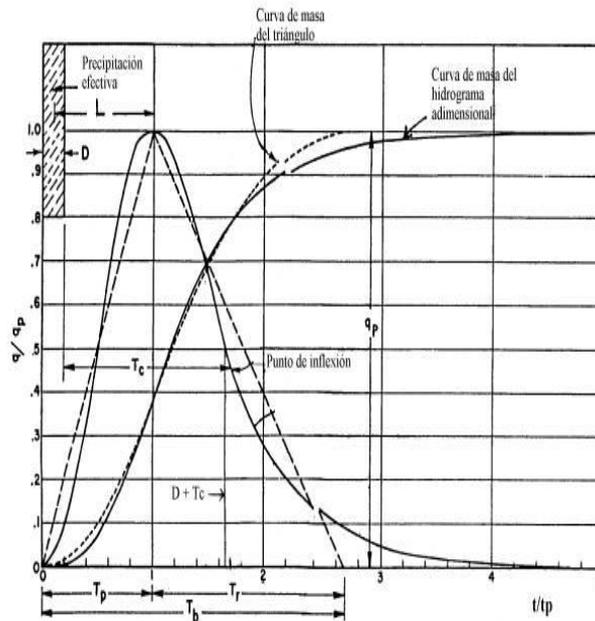


Figura 12: Hidrograma Unitario adimensional (curvilíneo) y su equivalencia con el hidrograma triangular

Donde:

D : es la duración de la precipitación efectiva

T_R : es el tiempo de retraso ("Lag time") centro de masa de precipitación efectiva al centro de masa de escorrentía directa o al pico del Hidrograma Unitario Triangular.

T_p : es el tiempo al pico, en horas y fracción.

T_r : es el tiempo de recesión, en horas y fracción.

T_b : es el tiempo base del hidrograma triangular en horas y fracción.

q_p : es la escorrentía pico en mm/hora.

P_e : es la Lámina total de escorrentía efectiva en mm (no se indica en la figura).

T_c : es el Tiempo de concentración de la cuenca.

El Hidrograma unitario adimensional (curvilíneo) se puede también representar por su hidrograma triangular equivalente que tenga las mismas unidades de tiempo y de descarga (NEH, 1972).

$$P_e = \frac{q_p * T_p}{2} + \frac{q_p * T_r}{2} = \frac{q_p * (T_p + T_r)}{2} \quad (\text{Ec. 62})$$

Despejando q_p

$$q_p = \frac{2 * P_e}{(T_p + T_r)} = \frac{2 * P_e}{T_b} \quad (\text{Ec. 63})$$

Ahora bien:

Como se expresó ese hidrograma curvilíneo se representa también por uno triangular equivalente que tiene igual porcentaje de volumen en el lado de ascenso de los caudales. Esto permite expresar el tiempo de base, T_b en función del tiempo al pico, T_p . Si para una unidad de tiempo T_p el volumen es igual a 0.375, entonces:

$$T_b = \frac{1.00}{0.375} = 2.67 \text{ Unidades de tiempo} \quad (\text{Ec. 64})$$

$$T_b = T_p + T_r$$

$$T_r = T_b - T_p = 2.67 - 1.00 = 1.67 T_p$$

$$\text{sea: } T_r = 1.67 * T_p \quad (\text{Ec. 65})$$

$$\text{Y: } T_b = 2.67 * T_p \quad (\text{Ec. 66})$$

Igualmente, el punto de inflexión de la rama descendente está aproximadamente a 1.7 unidades de tiempo.

Reemplazando la ecuación 66 en la 63 se tiene:

$$q_p = \frac{2 * P_e}{2.67 * T_p} = 0.75 * \left(\frac{P_e}{T_p} \right) \quad (\text{Ec. 67})$$

Para expresar la escorrentía total en función de áreas y en m³/s el caudal pico, Q_p, es:

$$Q_p = \frac{0.75 * P_e * A}{T_p} * \left[\frac{\text{mm} * \text{km}^2}{\text{horas}} \right] * \frac{10^6 * \left[\frac{\text{m}^2}{\text{km}^2} \right]}{1000 * \left[\frac{\text{mm}}{\text{m}} \right] * 3600 \left[\frac{\text{segundos}}{\text{horas}} \right]} \quad (\text{Ec. 68})$$

Simplificando, resulta la ecuación del caudal pico dado por el método del SCS

$$Q_p = \frac{0.75 * P_e * A * 10^6}{3600000 * T_p} = 0.208 * \left(\frac{P_e * A}{T_p} \right) \quad (\text{Ec. 69})$$

Una vez calculado el caudal pico puede también hacerse una estimación del volumen del hidrograma

$$V = 1000 * P_e * A \quad (\text{Ec. 70})$$

Donde:

V: es el volumen, en m³

P: es la precipitación efectiva (escorrentía directa), en mm.

A: es el área de la cuenca en km²

Luego:

$$T_p = 0.5 * D + T_R \quad (\text{Ec. 71})$$

Cuando la escorrentía es uniforme (o casi uniforme) en una cuenca o microcuenca es suficiente estimar TR de la relación empírica (NEH, 1972):

$$T_R = 0.6 * T_C \quad (\text{Ec. 72})$$

Por lo tanto, la ecuación 71 queda:

$$T_p = 0.5 * D + 0.6 * T_C \quad (\text{Ec. 73})$$

El tiempo al pico se puede obtener gráficamente en términos de la duración del exceso de lluvia unitario (D) y del tiempo de concentración de la cuenca, T_c

$$1.7 * T_p = D + T_c \quad (\text{Ec. 74})$$

$$\frac{D}{2} + T_R = T_P \quad (\text{Ec. 75})$$

$$\frac{D}{2} + 0.6 \cdot T_C = T_P \quad (\text{Ec. 76})$$

Resolviendo las ecuaciones para D y para T_P es:

$$D = 0.1333 \cdot T_C \quad (\text{Ec. 77})$$

y

$$T_P = 1.113 \cdot T_R \quad (\text{Ec. 78})$$

Para que el hidrograma resultante tenga adecuada definición, se debe cumplir que el intervalo de tiempo del hidrograma debe ser:

$$Dt \leq 0.25 \cdot T_p \quad (\text{Ec. 79})$$

y

$$Dt \leq (0.25)(1.113)L \quad (\text{Ec. 80})$$

$$Dt \leq 0.28 \cdot T_R \quad (\text{Ec. 81})$$

Tabla 13: Resumen de ecuaciones del método del SCS.

Ecuación	Definición
$q_p = \frac{2 \cdot P_e}{(T_p + T_r)}$	Escorrentía pico unitaria en mm/hora. P_e se obtiene del gráfico de CN
$Q_p = 0.208 \cdot \left(\frac{P_e \cdot A}{T_p} \right)$	Caudal pico en m^3/s para área A en km^2
$T_C = \left(\frac{0.87 \cdot L^3}{H} \right)^{0.385}$	Tiempo de concentración en horas y fracción L en km; H en metros.
$T_p = \frac{D}{2} + 0.6 \cdot T_C$	Tiempo al pico en horas y fracción.
$V = 1000 \cdot P_e \cdot A$	Volumen de la escorrentía directa en m^3 .
$T_r = 1.67 \cdot T_p$	Tiempo de recesión en horas y fracción.
$T_b = 2.67 \cdot T_p$	Tiempo de base en horas y fracción.
$T_p = \frac{D}{2} + T_R$	Tiempo al pico en horas y fracción.
$T_R = 0.6 \cdot T_C$	D es la duración de precipitación efectiva unitaria.
$T_p = 1.113 \cdot T_R$	T_R es Tiempo de retardo ("Lag time") en horas.
$D_t \leq 0.25 \cdot T_p$	
$D_t \leq 0.28 \cdot T_R$	Condiciones necesarias para definir el pico

Estructuras de Embalse

Ventaja y Desventaja de Embalses

Ventajas

- Mejoramiento en el suministro de agua, en épocas de sequía.
- Aumento de las posibilidades y superficie de riegos.
- Desarrollo de la industria pesquera.
- Control de crecientes de los ríos y daños causados por inundaciones.

Desventajas:

- Pérdidas en la actividad agroindustrial por inundación de zonas con alto índice de desarrollo.
- Cambios en la ecología de la zona.
- Posible incremento de la actividad sísmica, especialmente durante el llenado de embalses muy grandes.
- Pérdidas de hábitats naturales, poblaciones de especies y de degradación de las cuencas arriba.
- Desaparición y desplazamiento por inundación del embalse.
- Emisión de gases por efecto invernadero.
- Interferencia en migración reproductiva de los peces.

Cota Área Volumen

La curva denominada también como cota área volumen, es la combinación de dos curvas, en realidad es la unión de la curva área vs cota, y de a curva volumen vs

cota. Como es de suponerse, permite relacionar los valores del área inundada y la capacidad de almacenamiento, cuando el nivel del agua ha alcanzado determinada altura con respecto a la presa. Su utilidad reside en que mediante esta grafica se puede obtener fácilmente las relaciones entre estos tres parámetros.

La curva área cota volumen se obtiene utilizando un levantamiento topográfico del sitio del vaso para el embalse agua arriba del eje de la presa que permita una precisión aceptable en las medidas e iteraciones; como referencia, se puede utilizar una cartografía con curvas de nivel a cada metro.

Selección Tipo de Presa

Se determina con las estimaciones de costo y el programa de construcción para todas las soluciones que sean técnicas validadas.

A continuación, se detallan 4 consideraciones de gran importancia:

- Gradiente hidráulico(i)
- Esfuerzo en la cimentación
- Deformación de la cimentación
- Excavación de la cimentación

Tabla 14: Se muestra el tipo de presas y sus características principales.

	Tipo	Notas y características
Relleno	De relleno de tierra	Apropiado para cimentaciones en rocas o para suelos en valles anchos, puede aceptar asentamientos diferentes limitados todo un núcleo relativamente ancho y plástico. Se requiere rastrillos para horizontes más sólidos, es decir menos permeables, esfuerzos de contacto bajo. Requiere diversas clases de materiales, por ejemplo para el núcleo, para las zonas de los espaldones, para los filtros etc.
	De enrocado	Preferible en cimentaciones de roca: puede aceptar calidad variable y meteorización limitada. Se requieren rastrillos para horizontes sólidos. El enrocado es apropiado para colocar en todo tipo de climas. Requiere material para el núcleo, filtros, etc.
Concreto	De gravedad	Apropiado para valles anchos, siempre y cuando la excavación en la roca sea menor a 5 m. Meteorización limitada de la roca es aceptable. Hay que verificar discontinuidades en la roca con respecto al deslizamiento. Esfuerzos de contacto moderado. Requiere llevar concreto al sitio de la obra.
	De contrafuerte	Como la presa de gravedad, pero con esfuerzos de contacto más altos, requiere una roca más firme. Ahorro relativo del concreto con respecto a las presas de gravedad entre 30 a 60 %.
	De arco y bóveda	Apropiado para cañones angostos, sujeta a roca firme o uniforme con una resistencia alta y con deformación limitada en su cimentación y, de manera especial, en los estribos. Carga alta en los estribos. El ahorro de concreto con respecto a la presa de gravedad está entre 50 % a 85%.

Ubicación de una Presa

Al ubicar una presa se deberá considerar:

- Fundación: Depende de la forma del valle, en donde está ubicado la presa.
- Disponibilidad de materiales: Canteras.
- Vertedero: Ubicarse de acuerdo con la topografía, la conexión al río, aguas bajo y a la distancia disponible.
- Orillas superiores y vasos no infiltrables: La máxima curva de nivel deberá ser lo más uniforme posible, esto para evitar rellenos.
- Área de inundación

- transporte, acceso e instalación de faenas: Acceso a la construcción y conservación presa

Fuerzas Actuantes

- **Peso propio:** Es la primera fuerza obligada en toda estructura. En una presa actúa como fuerza pasiva, fundamental y permanente que colabora con la estabilidad. Al hacer el proyecto está relativamente bien definida. El peso depende de la forma y dimensiones de la presa y del peso específico de los materiales. La forma y dimensiones se definen en el proyecto, pero a profundidad de cimentaciones puede variar al hacer la obra, y con ella el peso propio. En cuanto al otro componente hay que distinguir si se trata de concreto o de material suelto o relleno
- **Empuje hidrostático:** Es la fuerza fundamental en una presa: en una sección transversal a ella tiene dos componentes: horizontal y vertical, siendo la primera la más importante en las presas de concreto y la segunda en materiales de relleno. Filtración y presión intersticial. Al estar la presa en inmediato contacto con el agua del embalse, esta se filtra a través de sus huecos, grietas y poros y como consecuencia se producen los siguientes efectos:
 - Una pérdida de agua por filtración
 - Un posible arrastre de material fino por el agua filtrada
 - Unas presiones hidrostáticas en el interior de la presa que se añade al sistema tensional debido a las fuerzas exteriores
- **Efectos térmicos y de fraguado:** Estos efectos solo afectan a las presas de hormigón. El segundo, por razones obvias y el primero porque los cambios de volúmenes debidos a las variaciones de temperatura no operan más que en estructuras cuya dilatación o contracción está coaccionada. La deformabilidad y la baja o nula cohesión de las presas de materiales sueltos minimizan o anulan esos efectos; y, por otra parte, sus grandes espesores y la baja transmisibilidad

térmica amortiguan considerable la penetración de las variables de la temperatura ambiental al interior de la presa

- Seísmos: Un movimiento sísmico produce estos efectos en la presa:
 - La oscilación del terreno de apoyo se trasmite a la base y los estribos de la presa y produce en ella unas tensiones suplementarias.
 - Los desplazamientos de la presa por este motivo actúan sobre el agua del embalse lo que, por reacción, da lugar a un empuje suplementario sobre el paramento
- Empuje de sedimentos: Al quedar remansada el agua en el embalse, los sólidos que lleva sus suspensiones se van a depositando lentamente en el fondo. Al cabo del tiempo (en general, varios años) el depósito formado al pie de la presa puede alcanzar en algunos casos cierta importancia y dar un empuje su magnitud y momentos son bastantes menores que los hidrostáticos. En muchas presas este depósito es muy lento y a no llegar magnitud significativa, pero en tras la sedimentación puede ser importante
- Oleaje: El viento, al actuar con cierta intensidad y continuidad sobre la superficie, produce olas de mayor menor altura, que impactan sobre el paramento: Además si la altura de la ola fuera lo que sería grave si esta fuera de materiales sueltos
- Empuje del hielo: La consideración de este empuje puede limitarse a los casos en que sea previsible la formación de una capa de más de 20centímetros de espesor y se sobreentiende que se continua, no en bloques aislados, que no se empujan
- Otras sollicitaciones: En algunos casos habrá que tener en cuenta los efectos de frenado de vehículos en el paso sobre coronación, el viento, en algunos casos se han producido entumecimientos tardíos del concreto por procesos químicos, lo que solo citamos como información

Niveles del embalse

Respecto al nivel de embalse que define la sobrecara fundamental, que es el empuje hidrostático, cabe considerar cuatro situaciones típicas que comprende todas las intermedias y que son:

- Embalse vacío: situación que corresponde fundamentalmente al periodo de construcción o aun límite de embalse para que el empuje puede considerarse como nulo: Esta situación puede ser simultánea con el seísmo y con variaciones térmicas, según los casos compresiones internas residuales
- Nivel máximo normal: que es el máximo en explotación con caudales normales, en ausencia de avenidas. Se definirá justificadamente en el proyecto y en las normas de explotación del embalse
- Nivel para la Avenida de proyecto: esta avenida es la entrada al embalse para que él se dimensiona el aliviadero, teniendo en cuenta la laminación producida por aquel. Esta suele producir una sobreelevación del embalse por encima del NAMO
- Nivel Para la Avenida extrema: Ante la posibilidad, aunque remota de que una avenida supere a la del proyecto, se define otra extrema de comprobación de la seguridad de la presa en estas condiciones límite

Estudios Previos

- Estribos y cimientos de la presa
- Impermeabilidad del embalse y de la cerrada
- Estabilidad del vaso
- Estudios geológicos
- Estudios Geofísicos
- Ensayos In situ

- Datos Topográficos
- Problemas inducidos por el embalse
- Planteamiento general de los efectos de un embalse
- Efectos directos de la inundación
- Sedimentación en el embalse
- Efectos en la biota del embalse y del río
- Efectos térmicos en el embalse
- Estudios ecológicos
- Seísmos inducidos por el embalse

Teoría Presas de Tierra

En la actualidad se emplea este tipo de presas en casos de valle abierto, en los casos en que una presa de otro tipo, o no encontraría un buen suelo para fundar a una profundidad practicable para resultar más barata que una presa de suelo, o por un menor costo de los materiales usados para las de suelo. Las presas de suelo tienen algunas partes a destacar:

- Altura: variable, desde unos pocos metros hasta más de 100 m.
- Perfil transversal: el perfil tipo es el trapecial, con taludes con reducida pendiente, y con un ancho de coronación que es el lado menor del trapecio. La impermeabilización se fía al macizo total, a un espaldón construido aguas arriba, o a un núcleo central de material casi impermeable o de hormigón.
- Taludes: varían según su ubicación sea aguas arriba o aguas abajo y dependen de la altura de la presa.
- Ancho de coronación: se fija este ancho para dar mayor volumen a la presa y como camino.

- Resguardo: es un margen, de por lo menos 1,00 m, entre la cúspide de la máxima ola que se pueda formar y la coronación. Garantiza que el agua no pueda verter por encima de la presa.
- Protección del paramento de agua arriba contra la erosión del oleaje: se realiza vertiendo piedra sobre la cara interna de la presa y acomodándola hasta lograr una mampostería en seco en espesores de 25 a 15cm. No se emplean tipos de protección rígidos por los grandes asentamientos que se suelen tener.
- Banquetas: se disponen en el talud de aguas abajo, con 2 a 6 m de ancho, para hacer mínimos los efectos de erosión por las lluvias. Poseen junto a ellas, una cuneta para recoger el agua que caiga sobre el talud

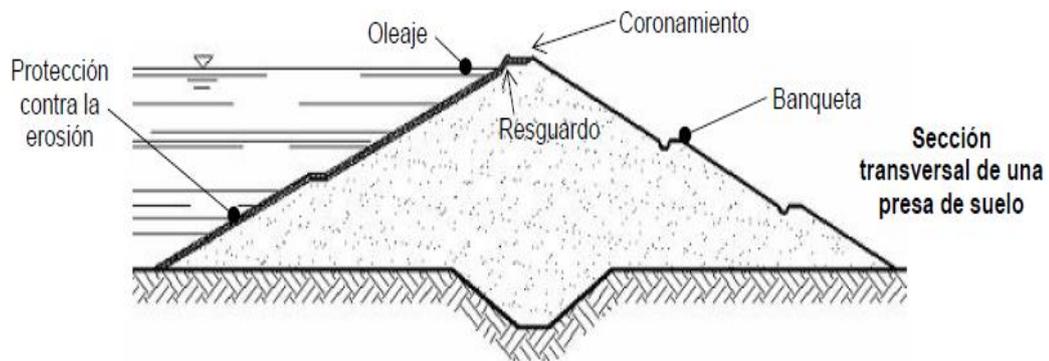


Figura 13: componentes de una sección transversal de una presa de tierra

Tipos de presas de suelo

- Presas de sección homogénea: Hay materiales que pueden reunir en un grado suficiente las dos condiciones básicas. El caso más frecuente lo constituyen mezclas bien proporcionadas de grava y arena. Es el tipo más simple y también más antiguo.

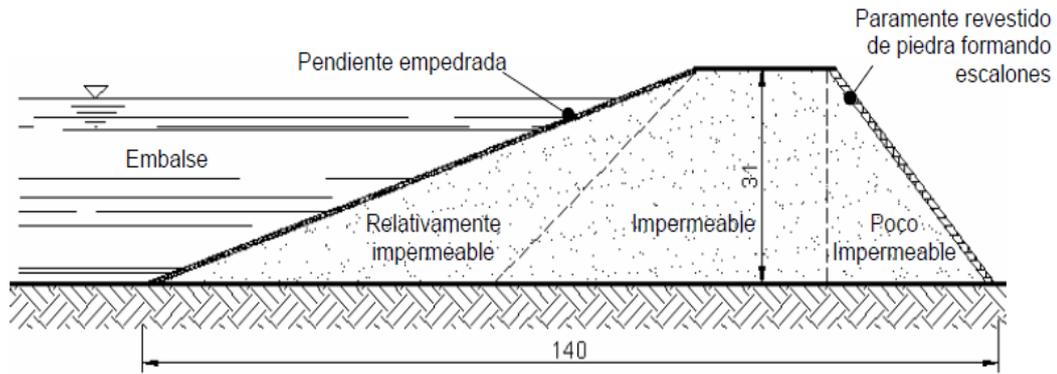


Figura 14: Esquema de una presa de sección homogénea

- Presas heterogéneas, en zonas: Esta clase de presa es una evolución de la anterior, que mejora algunos inconvenientes de aquella. Con las zonas, de características distintas pero complementarias, se busca una división de funciones, formando un conjunto armónico que se adapta a una variedad de situaciones y aprovecha los materiales disponibles. Los materiales arcillosos en cambio aseguran la impermeabilidad desde el interior, protegidos a ambos lados por los espaldones más estables y permeables.

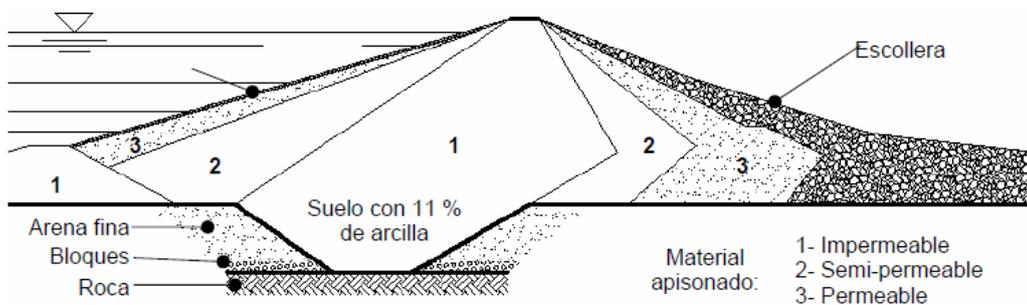


Figura 15: Esquema de una presa de sección heterogénea

- Presas mixtas con escollera: Son una extensión del principio anterior, aplicable en casos en que no abundan arenas o gravas que puedan servir para las zonas permeables, y sí se localice roca sana próxima al emplazamiento

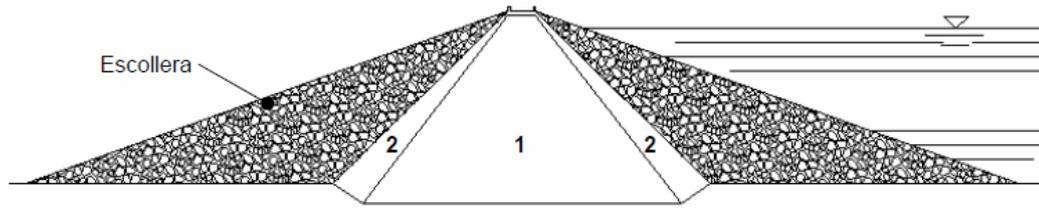


Figura 16: Esquema de una presa mixta con escollera

- Presas con núcleo de arcilla: Son presas en las que la impermeabilidad es brindada por una pantalla interior núcleo delgado de material especial, con gran contenido de arcilla (60 a 70 %).

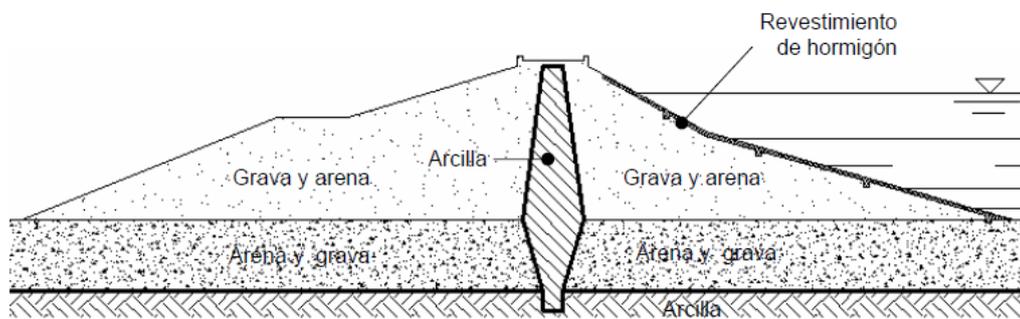


Figura 17: Esquema de una Presas con núcleo de arcilla

- Presas con núcleo de hormigón: Las características son las mismas que el tipo antepuesto, solo que el medio es diferente. El núcleo o la pantalla son de hormigón.

Diseño Preliminar Presa de Tierra

- Cimentación. En el caso de la cimentación los aspectos a diseñar son; la capacidad de soporte, estabilidad general, asentamientos y filtraciones, con el objeto de definir el material que se debe remover, y poder garantizar la capacidad de soporte y la estabilidad de la presa, con la presencia de asentamientos aceptables, lo cual en algunas ocasiones obliga a mejorar la calidad del suelo de cimentación.

- Ancho de la corona. Depende directamente del uso que se le pretenda dar, ya sea como vialidad o solo para mantenimiento. La recomendación del cuerpo de ingenieros de la armada de e. U. Es que no sea menor de 7.5 m para lograr una compactación adecuada del material que conforma la cortina.
- Zonificación de materiales. El terraplén debe zonificarse para utilizar la mayor cantidad de materiales posibles de las excavaciones en la obra y de la explotación de canteras cercanas al sitio.
- Diseño de las capas de materiales. El espesor mínimo del núcleo, filtros o zonas de transición debe ser de 3.0 metros y en todas las transiciones de materiales finos a gruesos se debe construir un filtro de 1.0 a 3.0 metros de espesor, para pasar de forma gradual del material fino al grueso.
- Diseño de los taludes. Para presas homogéneas se puede utilizar las siguientes recomendaciones:

Tabla 15: Taludes recomendados en materia homogénea

Altura (m)	Talud Agua Arriba	Talud Agua Abajo
5	2.00 H: 1V	1.50 H: 1V
5 a 10	2.50 H: 1V	2.00 H: 1V
12 a 15	2.75 H: 1V	2.50 H: 1V
20 a 30	3.00 H: 1V	2.50 H: 1V

Métodos para determinación de Factor de Seguridad

Tabla 16: Tabla resumen de las características de métodos para determinación de factores de seguridad de taludes.

Método	Superficies de falla	Equilibrio	Características
Ordinario de Fellenius (Fellenius 1927)	Circulares	De Fuerzas	Este método no tiene en cuenta las fuerzas entre las dovelas y no satisface equilibrio de fuerzas, tanto para la masa deslizada como para dovelas individuales. Sin embargo, este método es muy utilizado por su procedimiento simple. Muy impreciso para taludes planos con alta presión de poros. Factores de seguridad bajos.
Bishop simplificado (Bishop 1955)	Circulares	De momentos	Asume que todas las fuerzas de cortante entre dovelas son cero. Reduciendo el número de incógnitas. La solución es sobre determinada debido a que no se establecen condiciones de equilibrio para una dovela.
Janbú simplificado (Janbú 1968)	Cualquier forma de superficie de falla	De fuerzas	Al igual que Bishop asume que no hay fuerzas de cortante entre dovelas. La solución es sobre determinada que no satisface completamente las condiciones de equilibrio de momentos. Sin embargo, Janbú utiliza un factor de corrección F_0 para tener en cuenta
Sueco Modificado (U.S. Army Corps of Engieres 1970)	Cualquier forma de superficie de falla	De fuerzas	Supone que las fuerzas tienen la misma dirección que la superficie del terreno. Los factores de seguridad son generalmente altos.
Lowe y Karafiath (1960)	Cualquier forma de superficie de falla	De fuerzas	Asume que las fuerzas entre partículas están inclinadas a un ángulo igual al promedio de la superficie del terreno y las bases de las dovelas. Esta simplificación deja una serie de incógnitas y no satisface el equilibrio de momentos. Se considera el más preciso de los métodos de equilibrio de fuerzas.

Spencer (1967)	Cualquier forma de la superficie de falla	Momentos y fuerza	Asume que la inclinación de las fuerzas laterales son las mismas para cada tajada. Rigurosamente satisface el equilibrio estático suponiendo que la fuerza resultante entre tajadas tiene una inclinación constante pero desconocida.
Morgenstern y Price (1965)	Cualquier forma de la superficie de falla	Momentos y fuerza	Asume que las fuerzas laterales siguen un sistema predeterminado. El método es muy similar al método de Spencer con la diferencia que la inclinación de la resultante de las fuerzas entre dovelas se asume que varía de acuerdo con una función arbitraria.
Sarma (1973)	Cualquier forma de la superficie de falla	Momentos y fuerza	Asume que las magnitudes de las fuerzas verticales siguen un sistema predeterminado. Utiliza el método de las dovelas para calcular la magnitud de un coeficiente sísmico requerido para producir la falla. Esto permite desarrollar una relación entre el coeficiente sísmico y el factor de seguridad. El factor de seguridad estático corresponde al caso de cero coeficientes sísmicos. Satisface todas las condiciones de equilibrio; sin embargo, la superficie de falla correspondiente es muy diferente a la determinada utilizando otros procedimientos más convencionales.

Introducción a GeoStudio

El programa en su versión 2007 las siguientes características:

Métodos de cálculo:

El programa permite realizar los cálculos de estabilidad a través de una gran variedad de métodos:

- Ordinario (Fellenius).
- Bishop simplificado.

- Janbu simplificado.
- Spencer.
- Morgentern-Price.
- Cuerpo de Ingenieros Americanos. (I y II)
- Lowe-Karafiath.
- Sarma
- Método de equilibrio límite generalizado. (GLE)
- Método de los elementos finitos

En la versión reducida con licencia de estudiante no todas están opciones están disponibles.

Softwares Incluidos

El paquete de programas GeoStudio está compuesto de varias herramientas con distintos usos y funcionalidades:

- Slope/W para cálculo de estabilidad de taludes
- Seep/W para cálculo de redes de flujo.
- Sigma/W orientado al cálculo tensodeformacional.
- Queque/W para cálculo de los efectos de sismos en suelos y estructuras de suelos (presas, terraplenes, etc.)
- Temp/W aplicación de la ecuación del calor sobre estructuras de suelos.
- Ctran/W aplicado a fenómenos de contaminación de suelos
- Vadose/W usado en la modelización de acuíferos.

Teoría de Presas de Gravedad

Las presas de gravedad son estructuras de hormigón de sección triangular o no; la base es ancha y se va estrechando hacia la parte superior; la cara que da al embalse es prácticamente vertical. Vistas desde arriba son rectas o de curva suave.

La estabilidad de estas presas radica en su propio peso. Es el tipo de construcción más duradero y el que requiere menor mantenimiento. Su altura suele estar limitada por la resistencia del terreno. Debido a su peso las presas de gravedad de más de 20 m de altura se construyen sobre roca.

- Perfil triangular: Proviene del perfil triangular producido por la presión hidrostática, la cual es linealmente creciente con la profundidad.
- Perfil no triangular o trapecial: En este caso se parte de un ancho determinado desde el coronamiento y se va calculando el ancho necesario del perfil a medida que se avanza hacia el lecho de la presa, según se cumplan condiciones de estabilidad.

Diseño Preliminar de Presas de Gravedad

Para el ancho de coronamiento se recomienda que este ancho pueda permitir el traslado de por lo menos un vehículo.

La altura de la presa es la resultante del análisis de la capacidad que se tiene proyectada al embalse, sin embargo debe considerar un margen libre, que está en función a la magnitud de importancia de la estructura.

Para la cara inclinada posterior se recomienda una inclinación de 7-8:10

El paramento vertical posterior queda a criterio de diseñador para poder equilibrar la cara producida por el peso propio y el cumplimiento de los factores de seguridad dadas como sollicitación, dependiendo de la combinación de cargas.

Estos paramentos representan las dimensiones para un Predimensionamiento, sujetas a cambio después de análisis técnicos y económicos

Combinaciones de Carga en Estructura de Embalse

Las combinaciones de cargas aplicables son:

- Usual: Peso Propio + Presión Agua (NAMO) + Supresión + Presión Sedimentos + Fuerza Hielo + Fuerza Hidrodinámica
- Inusual A: Usual + Presión Agua (NAME)
- Inusual B: Usual + Sismo Severo
- Extrema A: Inusual A (con drenes no operativos)
- Extrema B: Inusual B (con sismo máximo probable)

Tabla 17: Factores de Seguridad en función de las combinaciones de carga

	USUAL	INUSUAL	EXTREMA
Volteo	1.5	1.2	1
Deslizamiento	4	2.7	1.3
Esfuerzo	4	2.7	1.3

Teoría de FS Volteo

En general los coeficientes de seguridad contra el vuelco oscilan entre 1 y 3. En las presas pequeñas es a menudo mayor. Si éste es inferior a 1, la sección de la presa deberá modificarse para aumentar el margen de seguridad. Una presa de gravedad rara vez falla por vuelco, ya que cualquier tendencia al volcamiento da una mayor oportunidad a la presa para que falle por deslizamiento. El coeficiente de seguridad contra vuelco es la relación del momento que tiende a enderezar la presa al momento, que tiende a volcarla alrededor del pie de la presa.

Teoría FS Deslizamiento

Se aceptan tres procedimientos para evaluar la seguridad de una presa contra el deslizamiento en dirección de la corriente. Los tres tienen algunos méritos y, en

general, se utilizan las mismas relaciones entre las fuerzas. Aunque los valores calculados son seguros, son muy diferentes. Los tres procedimientos son:

- El coeficiente de seguridad contra deslizamiento
- El coeficiente de seguridad
- Coeficiente de seguridad por corte y rozamiento.

El coeficiente de deslizamiento de una presa de gravedad con base horizontal es igual a la tangente del ángulo entre la perpendicular a la base y la resultante de la reacción de la cimentación. El coeficiente de deslizamiento para las presas pequeñas se calcula tomando la relación de la suma de las fuerzas horizontales (P) a la suma de las fuerzas verticales (W) incluyendo la Subpresion (R U), o sea:

$$\frac{\Sigma P}{\Sigma W-U} = \tan\theta = f \quad (\text{Ec. 82})$$

Si al calcular f de esta manera, es igual o menor que el coeficiente de rozamiento estática f' la presa se considera segura: Al hacer estos cálculos se supone una faja de 1 m de anchura

El factor de seguridad fs o FSS, contra deslizamiento se define como la relación del coeficiente de rozamiento estático f', a la tangente del ángulo entre una perpendicular a la base y la reacción de la cimentación, expresado como:

$$f_s = \frac{f'}{\tan\theta} = \frac{f'(\Sigma W-U)}{\Sigma P} = \tan\theta = f \quad (\text{Ec. 83})$$

En este procedimiento se supone también que las fuerzas de corte se suman a las medidas de seguridad. El coeficiente de seguridad contra deslizamiento tiene un valor entre 1 y 1.5 para las presas de gravedad sobre roca en las que se utiliza una sección transversal conservadora. La inclusión de la Subpresion y de las fuerzas sísmicas en los cálculos puede reducir el coeficiente de seguridad a aproximadamente la unidad.

Teoría FS a los Esfuerzos

Los esfuerzos unitarios en el concreto y en los materiales de la cimentación deben mantenerse dentro de los valores máximos prescritos, para evitar fallas. En las presas pequeñas normalmente se desarrollan esfuerzos dentro del concreto que son menores que la resistencia real que puede desarrollarse si se usa la mezcla adecuada en el concreto. Las mezclas que producen un concreto durable, normalmente tienen resistencia suficiente para proporcionar un coeficiente de seguridad adecuado contra el exceso de esfuerzos.

En el material de la cimentación debe investigarse también si existen excesos en los esfuerzos. Cuando se trata de presas pequeñas es pertinente hacerlo en las rocas fisuradas y en las cimentaciones blandas, como en las de grava o arena. El proyectista debe consultar los reglamentos locales para ver las presiones de apoyo admisibles y conversar con ingenieros especializados para evaluar los materiales de la cimentación.

Tabla 18: Relaciones promedio de deslizamiento de capacidad de carga de los materiales de cimentación

MATERIAL	Relación de deslizamiento promedio, según Lane (*)	Coefficiente de Bligh (*)	Capacidades de carga admisibles (tn/m ²)
Arena muy fina o limo	8.5	18	29.3 densa
Arena fina	7.0	15	9.8 suelta
Arena media	6.0	-	29.3
Arena gruesa	5.0	12	29.3
Grava fina	4.0	-	48.8
Grava media	3.5	-	48.8
Grava y arena	3.0	9	48.8
Grava gruesa incluyendo cantos	3.0	-	48.8
Boleo con algo de cantos y grava	2.5	-	97.6
Boleo, grava y arena	-	4 - 6	48.8
Arcilla blanda	3.0	-	9.8
Arcilla media	2.0	-	39.06
Arcilla dura	1.8	-	58.6
Arcilla muy dura o toba	1.6	-	97.6
Roca buena	-	-	976.5
Roca laminada	-	-	341.8

(*) Para usarse en el análisis de las cimentaciones blandas.

Rotura de presas

Causas de la rotura de las presas:

Insuficiencia de aliviadero: Esta causa es fatalmente catastrófica en las presas de suelo y escollera. Al ser el aliviadero insuficiente, vuelca el agua por encima de aquellas y son arruinadas, y aún antes de volcar las aguas, la rompiente de las olas puede abrir brechas en la coronación que determinen el paso de las aguas y el arrastre de la presa.

En las de hormigón, al volcar las aguas sobre el aliviadero insuficiente, puede no resistir los esfuerzos que origina la caída de tal altura del agua y abrirse grietas facilitando el deslizamiento o el vuelco.

Filtraciones de agua por debajo de la presa, con arrastre de suelo, o a través de grietas en los apoyos.

Sifonamiento: consiste en lo siguiente: en una presa apoyada sobre terreno permeable, al aumentar la carga de agua, ésta, en su paso por debajo de la presa puede adquirir velocidad de erosión del terreno.

Empieza por arrastrar el material tenue, aumentando el tamaño de los huecos. Con la disminución de la resistencia que determina menor pérdida de carga y aumento de la sección de paso, crece la velocidad y el poder erosivo, y van siendo arrastrados elementos más gruesos. Se forman cavernas bajo la presa, aumenta el arrastre y llega a determinarse un paso de agua que lleva consigo el material suelto subyacente de la presa, causando la rotura de esta o la formación de un boquete en su parte inferior, quedando la superior a modo de puente.

Por insuficiencia de perfil: Cuando la línea de saturación corta al paramento aguas abajo, el flujo sobre el paramento puede erosionar el suelo e iniciar el proceso de rotura de la presa. También por la falta de peso que actúa sobre la base de apoyo puede ocasionar que sea escaso el rozamiento entre estructura y suelo y se origine el desplazamiento.

Por deficiente resistencia del terreno de cimientos.

Por defectos de construcción.

Por desintegración del hormigón: Puede ser por efecto de intensas variaciones de temperatura que se produzcan grietas. Por ellas penetra el agua, que al solidificarse aumenta de volumen y desintegra el hormigón. Por más impermeable que sea, siempre absorbe agua por capilaridad. Por efectos de compuestos químicos disueltos en el agua.

Grietas en contrafuertes de presas de pantalla.

Por acciones violentas causadas por voladuras o sabotaje.

Impacto Ambiental de Estructuras de Embalse

Impactos negativos:

Efectos hidrológicos: Al represar un río y crear un lago, se producen cambios dramáticos en el flujo, la calidad, cantidad, y uso del agua, los organismos bióticos y la sedimentación de la cuenca del río.

Efectos sociales: Las personas que viven lejos disfrutan de los beneficios de las presas, pero los que soportan la mayor parte de los costos ambientales y sociales, y se benefician en un grado menor, son los habitantes del área inundada por el embalse, y los que viven en los terrenos aluviales.

Efectos sobre pesca y fauna: La pesca usualmente se deteriora debido a los cambios en las condiciones del agua como la degradación de su calidad, la pérdida de los sitios de desove y las barreras que impiden la migración de los peces. Si bien existen sistemas para que los peces puedan continuar no siempre son exitosos.

En los ríos biológicamente productivos, los peces y moluscos sufren debido a los cambios en el flujo, la temperatura, y la calidad del agua. Las variaciones en el caudal de agua dulce, y, por tanto, en la salinidad del estuario, cambia la distribución de las especies y sus modelos de reproducción.

El mayor impacto para la fauna se originará por modificaciones en el hábitat, que pueden afectar los modelos de migración, y la desaparición de especies

autóctonas, debido al llenado del embalse y el desarrollo que se relaciona con éste y al producirse cambios en el uso del terreno de la cuenca.

Amenaza sísmica: Los embalses grandes pueden alterar la actividad tectónica. Los terremotos, acentuados por el peso del agua, pueden causar desprendimientos de suelo, daños a la infraestructura de la presa, y la posible falla de la misma.

Peligro ante desastres: La zona situada aguas abajo de las presas se halla expuesta a consecuencias catastróficas para los bienes y vidas de los pobladores. Un desembalse rápido, originado por una operación de emergencia, o una crecida que podría provocar la rotura individual o encadenada de las presas construidas en la parte superior de la cuenca, son las causas.

Impactos positivos:

Los beneficios de la construcción de grandes obras de almacenamiento de agua son la generación electricidad, el riego, y como instrumento para controlar las crecidas de los ríos protegiendo habitantes y propiedades aguas abajo. Las presas pueden crear alternativas para las actividades que tienen el potencial para causar impactos negativos mayores. La energía hidroeléctrica, por ejemplo, es una alternativa para la energía termoeléctrica a base del carbón, o la energía nuclear.

Un gran almacenamiento de agua puede construirse para que cumpla con una de estas funciones o todas a la vez. Como ocurre con las presas de la región del Comahue que además de aportar energía para el país controlan los caudales de los ríos Limay y Neuquén, reteniendo las crecidas y liberándolas lentamente, protegiendo a todas las ciudades que hay en el valle.

territorios y localidades ribereñas. Toda la parte baja de la ciudad de Neuquén hubiese estado bajo agua, toda la ciudad de Cipolletti, Roca, y todas las demás ciudades del Valle.

Efectos hidrológicos: El fenómeno de “aguas claras” también tiene ventajas. Al decantar los sedimentos, disminuye la turbidez, y en el embalse produce agua de más alta calidad para riego, y consumo humano e industrial. Esto permite a los sistemas destinados al abastecimiento de poblaciones captar agua con

propiedades más cercanas al producto final, lo que seguramente redundará en economía en el proceso de potabilización (por esta razón la planta Patagonia que potabiliza el agua bahiense no tiene piletas de decantación, mientras que la planta Grünbein, que potabiliza el agua para Punta Alta sí las tiene pues fue proyectada para tomas de agua no embalsadas).

La regulación que posibilitan las presas evita carencias de agua para riego, aumentando la garantía de disponibilidad de caudales en época de estiaje (caudales mínimos) de los ríos, coincidente con altas demandas de los cultivos. Además, facilita la capacitación de agua en las tomas libres destinadas al riego y en los sistemas de abastecimiento de agua potable a las poblaciones.

Efectos sobre pesca y fauna: Se crean recursos de pesca en el reservorio que a veces resultan más productivos que los que hubo anteriormente en el río. La fauna y las aves acuáticas, los reptiles y los anfibios pueden prosperar gracias al embalse.

Diseño de Canales Abiertos

Trazo de canales

Cuando se trata de trazar un canal o un sistema de canales es necesario recolectar la siguiente información básica:

Fotografías aéreas, imágenes satelitales, para localizar los poblados, caseríos, áreas de cultivo, vías de comunicación, etc.

Planos topográficos y catastrales.

Estudios geológicos, salinidad, suelos y demás información que pueda conjugarse en el trazo de canales.

Radio mínimo

Tabla 19: Radio mínimo en función al caudal

Capacidad del canal	Radio mínimo
Hasta 10 m ³ /s	3 * ancho de la base
De 10 a 14 m ³ /s	4 * ancho de la base
De 14 a 17 m ³ /s	5 * ancho de la base
De 17 a 20 m ³ /s	6 * ancho de la base
De 20 m ³ /s a mayor	7 * ancho de la base
Los radios mínimos deben ser redondeados hasta el próximo metro superior	

Fuente: "International Institute For Land Reclamation And Improvement" ILRI, Principios y Aplicaciones del Drenaje, Tomo IV, Wageningen The Netherlands 1978.

Tabla 20: Radio mínimo en canales abiertos para $Q < 20 \text{ m}^3/\text{s}$

Capacidad del canal	Radio
20 m ³ /s	100 m
15 m ³ /s	80 m
10 m ³ /s	60 m
5 m ³ /s	20 m
1 m ³ /s	10 m
0,5 m ³ /s	5 m

Tabla 21: Radio mínimo en canales abiertos en función del espejo de agua

Canal de riego		Canal de drenaje	
Tipo	Radio	Tipo	Radio
Sub – canal	4T	Colector	5T
Lateral	3T	Colector	5T
Sub – lateral	3T	Sub –	5T
Siendo T el ancho superior del espejo de agua			

Elementos de una curva

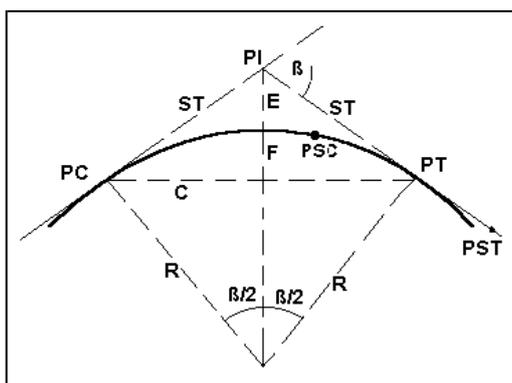


Figura 18: Elementos de una curva horizontal

Tabla 22: Índice de elementos de una curva circular

A	=	Arco, es la longitud de curva medida en cuerdas de 20 m
C	=	Cuerda larga, es la cuerda que sub – tiende la curva desde PC
β	=	Ángulo de deflexión, formado en el PI.
E	=	External, es la distancia de PI a la curva medida en la bisectriz.
F	=	Flecha, es la longitud de la perpendicular bajada del punto
G	=	Grado, es el ángulo central.
LC	=	Longitud de curva que une PC con PT.
P	=	Principio de una curva.
PI	=	Punto de inflexión.
PT	=	Punto de tangente.
P	=	Punto sobre curva.
P	=	Punto sobre tangente.
R	=	Radio de la curva.
ST	=	Sub tangente, distancia del PC al PI.

Rasante de un canal

Una vez definido el trazo del canal, se proceden a dibujar el perfil longitudinal de dicho trazo, las escalas más usuales son de 1:1000 ó 1:2000 para el sentido horizontal y 1:100 ó 1:200 para el sentido vertical, normalmente la relación entre la escala horizontal y vertical es de 1 a 10. El procesamiento de la información y dibujo se puede efectuar empleando el software AUTOCAD CIVIL 3D (AUTOCAD clásico, AUTOCAD LAND, AUTOCAD MAP o AUTOCAD CIVIL).

Para el diseño de la rasante se debe tener en cuenta:

- La rasante se debe trabajar sobre la base de una copia del perfil longitudinal del trazo
- Tener en cuenta los puntos de captación cuando se trate de un canal de riego y los puntos de confluencia si es un dren u obra de arte.
- La pendiente de la rasante de fondo debe ser en lo posible igual al pendiente natural promedio del terreno (optimizar el movimiento de tierras), cuando esta no es posible debido a fuertes pendientes, se proyectan caídas o saltos de agua.

Para definir la rasante del fondo se prueba con el caudal especificado y diferentes cajas hidráulicas, chequeando la velocidad obtenida en relación con el tipo de revestimiento a proyectar o si va ser en lecho natural, también se tiene la máxima eficiencia o mínima infiltración.

El plano final del perfil longitudinal de un canal debe presentar como mínimo la siguiente información.

- Kilometraje
- Cota de terreno
- BMs (cada 500 ó 1000 m)
- Cota de rasante
- Pendiente
- Indicación de las deflexiones del trazo con los elementos de curva
- Ubicación de las obras de arte
- Sección o secciones hidráulicas del canal, indicando su kilometraje
- Tipo de suelo
- Cuadro con elementos geométricos e hidráulicos del diseño

Determinación de Máxima Eficiencia Hidráulica

Se dice que un canal es de máxima eficiencia hidráulica cuando para la misma área y pendiente conduce el mayor caudal posible, esta condición está referida a un perímetro húmedo mínimo, la ecuación que determina la sección de máxima eficiencia hidráulica es:

$$\frac{b}{y} = 2x \tan\left(\frac{\theta}{2}\right) \quad (\text{Ec. 84})$$

Siendo:

Θ : el ángulo que forma el talud con la horizontal

b: plantilla del canal

y: tirante o altura de agua.

Determinación de Mínima Infiltración

Se aplica cuando se quiere obtener la menor pérdida posible de agua por infiltración en canales de tierra, esta condición depende del tipo de suelo y del tirante del canal, la ecuación que determina la mínima infiltración es:

La siguiente tabla presenta estas condiciones, además del promedio el cual se recomienda.

$$\frac{b}{y} = 4x \tan\left(\frac{\theta}{2}\right) \quad (\text{Ec. 85})$$

Tabla 23: Relación plantilla vs tirante para, máxima eficiencia, mínima infiltración y el promedio de ambas.

Talud	Angulo	Máxima Eficiencia	Mínima Infiltración	Promedio
Vertical	90°00'	2.0000	4.0000	3.0000
1 / 4 : 1	75°58'	1.5616	3.1231	2.3423
1 / 2 : 1	63°26'	1.2361	2.4721	1.8541
4 / 7 : 1	60°15'	1.1606	2.3213	1.7410
3 / 4 : 1	53°08'	1.0000	2.0000	1.5000
1:1	45°00'	0.8284	1.6569	1.2426

1 ¼ : 1	38°40'	0.7016	1.4031	1.0523
1 ½ : 1	33°41'	0.6056	1.2111	0.9083
2 : 1	26°34'	0.4721	0.9443	0.7082
3 : 1	18°26'	0.3246	0.6491	0.4868

De todas las secciones trapezoidales, la más eficiente es aquella donde el ángulo a que forma el talud con la horizontal es 60°, además para cualquier sección de máxima eficiencia debe cumplirse: $R = y/2$

Donde:

R = Radio hidráulico

y = Tirante del canal

No siempre se puede diseñar de acuerdo con las condiciones mencionadas, al final se imponen una serie de circunstancias locales que imponen un diseño propio para cada situación.

Diseño de secciones hidráulicas

Se debe tener en cuenta ciertos factores, tales como: tipo de material del cuerpo del canal, coeficiente de rugosidad, velocidad máxima y mínima permitida, pendiente del canal, taludes, etc.

La ecuación más utilizada es la de Manning o Strickler, y su expresión es:

$$Q = \frac{AR^{2/3}S^{1/2}}{n} \quad (\text{Ec. 86})$$

Donde:

Q = Caudal (m³/s)

n = Rugosidad

A = Área (m²)

R = Radio hidráulico = Área de la sección húmeda / Perímetro húmedo

Criterios de diseño

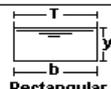
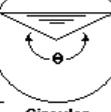
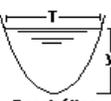
Se tienen diferentes factores que se consideran en el diseño de canales, los cuales tendrán en cuenta: el caudal a conducir, factores geométricos e hidráulicos de la sección, materiales de revestimiento, la topografía existente, la geología y geotecnia de la zona, los materiales disponibles en la zona o en el mercado más cercano, costos de materiales, disponibilidad de mano de obra calificada, tecnología actual, optimización económica, socioeconomía de los beneficiarios, climatología, altitud, etc. Si se tiene en cuenta todos estos factores, se llegará a una solución técnica y económica más conveniente.

Rugosidad

Tabla 24: Valores de rugosidad “n” de Manning

n	Superficie
0.010	Muy lisa, vidrio, plástico, cobre.
0.011	Concreto muy liso.
0.013	Madera suave, metal, concreto frotachado.
0.017	Canales de tierra en buenas condiciones.
0.020	Canales naturales de tierra, libres de vegetación.
0.025	Canales naturales con alguna vegetación y piedras esparcidas en el fondo
0.035	Canales naturales con abundante vegetación.
0.040	Arroyos de montaña con muchas piedras.

Tabla 25: Relaciones geométricas de las secciones transversales más frecuentes

Sección	Area hidráulica A	Perímetro mojado P	Radio hidráulico R	Espejo de agua T
 Rectangular	by	$b+2y$	$\frac{by}{b+2y}$	b
 Trapezoidal	$(b+zy)y$	$b+2y\sqrt{1+z^2}$	$\frac{(b+zy)y}{b+2y\sqrt{1+z^2}}$	$b+2zy$
 Triangular	zy^2	$2y\sqrt{1+z^2}$	$\frac{zy}{2\sqrt{1+z^2}}$	$2zy$
 Circular	$\frac{(\theta-\text{sen}\theta)D^2}{8}$	$\frac{\theta D}{2}$	$(1-\frac{\text{sen}\theta}{\theta})\frac{D}{4}$	$(\frac{\text{sen}\theta}{2})D$ ó $2\sqrt{y(D-y)}$
 Parabólica	$\frac{2}{3}Ty$	$T + \frac{8y^2}{3T}$	$\frac{2T^2y}{3T+8y^2}$	$\frac{3A}{2y}$

Talud apropiado según el tipo de material

Tabla 26: Taludes apropiados para distintos tipos de material

MATERIAL	TALUD (h : v)
Roca	Prácticamente vertical
Suelos de turba y detritos	0.25 : 1
Arcilla compacta o tierra con recubrimiento de concreto	0.5 : 1 hasta 1:1
Tierra con recubrimiento de piedra o tierra en grandes	1:1
Arcilla firme o tierra en canales pequeños	1.5 : 1
Tierra arenosa suelta	2:1
Greda arenosa o arcilla porosa	3:1

Tabla 27: Pendientes laterales en canales según tipo de suelo

MATERIAL	CANALES POCO PROFUNDOS	CANALES PROFUNDOS
Roca en buenas condiciones	Vertical	0.25 : 1
Arcillas compactas o conglomerados	0.5 : 1	1 : 1

Limos arcillosos	1 : 1	1.5 : 1
Limos arenosos	1.5 : 1	2 : 1
Arenas sueltas	2 : 1	3 : 1
Concreto	1 : 1	1.5 : 1

Velocidades máximas y mínima permisible

Tabla 28: Máxima velocidad permitida en canales no recubiertos de vegetación

MATERIAL DE LA CAJA DEL CANAL	"n" Manning	Velocidad (m/s)		
		Agua limpia	Agua con partículas coloidales	Agua transportando arena, grava o fragmentos
Arena fina coloidal	0.020	1.45	0.75	0.45
Franco arenoso no	0.020	0.53	0.75	0.60
Franco limoso no coloidal	0.020	0.60	0.90	0.60
Limos aluviales no	0.020	0.60	1.05	0.60
Franco consistente	0.020	0.75	1.05	0.68
Ceniza volcánica	0.020	0.75	1.05	0.60
Arcilla consistente muy	0.025	1.13	1.50	0.90
Limo aluvial coloidal	0.025	1.13	1.50	0.90
Pizarra y capas duras	0.025	1.80	1.80	1.50
Grava fina	0.020	0.75	1.50	1.13
Suelo franco clasificado no coloidal	0.030	1.13	1.50	0.90
Suelo franco clasificado	0.030	1.20	1.65	1.50
Grava gruesa no coloidal	0.025	1.20	1.80	1.95
Gravas y guijarros	0.035	1.80	1.80	1.50

Tabla 29: Velocidades máximas en hormigón en función de su resistencia.

RESISTENCIA, (kg/cm ²)	PROFUNDIDAD DEL TIRANTE (m)				
	0.5	1	3	5	10
50	9.6	10.6	12.3	13.0	14.1
75	11.2	12.4	14.3	15.2	16.4
100	12.7	13.8	16.0	17.0	18.3

150	14.0	15.6	18.0	19.1	20.6
200	15.6	17.3	20.0	21.2	22.9

Borde libre

La U.S. BUREAU OF RECLAMATION recomienda estimar el borde libre con la siguiente fórmula:

Donde:

$$\text{Borde Libre} = \sqrt{CY} \quad (\text{Ec. 87})$$

Borde libre: en pies

C = 1.5 para caudales menores a 20 pies³ / seg., y hasta 2.5 para caudales del orden de los 3000 pies³/seg.

Y = Tirante del canal en pies

Tabla 30: Borde libre en función del caudal

Caudal m ³ /seg	Revestido (cm)	Sin revestir (cm)
0.05	7.5	10.0
0.05 – 0.25	10.00	20.0
0.25 – 0.50	20.0	40.0
0.50 – 1.00	25.0	50.0
1.00	30.0	60.0

Tabla 31: Borde libre en función de la plantilla del canal

Ancho de la plantilla (m)	Borde libre (m)
Hasta 0.8	0.4
0.8 – 1.5	0.5
1.5 – 3.0	0.6
3.0 – 20.0	1.0

Criterios de espesor de revestimiento

- No existe una regla general para definir los espesores del revestimiento de concreto, sin embargo, según la experiencia acumulada en la construcción de canales en el país, se puede usar un espesor de 5 a 7.7 cm para canales pequeños y medianos, y 10 a 15 cm para canales medianos y grandes, siempre que estos se diseñen sin armadura.
- En el caso particular que se quiera proyectar un revestimiento con geomembranas, se tiene que tener en cuenta las siguientes consideraciones:
- Para canales pequeños se debe usar geomembrana de PVC y para canales grandes geomembrana de polietileno - HDP.
- Los espesores de la geomembrana varían entre 1 a 1.5 mm
- Si el canal se ubica en zonas en donde puede ser vigilado permanentemente, por lo tanto, no puede ser afectada la membrana.
- Características y cuidado en la actividad de operación y mantenimiento
- Técnica y cuidados de instalación de la geomembrana
- El grupo social que servir tiene que capacitado para el manejo de dicho tipo de revestimiento.
- También se puede usar asociada la geomembrana con un revestimiento de concreto; la geomembrana actúa como elemento impermeabilizante (el concreto se deteriora con las bajas temperaturas) y el concreto como elemento de protección, sobre todo cuando se trata de obras ubicadas por encima de los 4, 000 m.s.n.m. o zonas desoladas.

Tipos de flujo en un canal

○ **Flujo permanente**

Un flujo permanente es aquel en el que las propiedades fluidas permanecen constantes en el tiempo, aunque pueden no ser constantes en el espacio.

Las características del flujo, como son: velocidad (V), caudal (Q), y calado (h), son independientes del tiempo, si bien pueden variar a lo largo del canal. Siendo x la abscisa de una sección genérica (un tramo del canal), se tiene que:

$$V = fv(x)$$

$$Q = fq(x)$$

$$h = fh(x)$$

○ **Flujo transitorio o no permanente**

Un flujo transitorio presenta cambios en sus características a lo largo del tiempo para el cual se analiza el comportamiento del canal. Las características del flujo son función del tiempo. En este caso, se tiene que:

$$V = fv(x, t)$$

$$Q = fq(x, t)$$

$$h = fh(x, t)$$

Las situaciones de transitoriedad se pueden dar tanto en el flujo subcrítico como en el supercrítico.

○ **Flujo uniforme**

Es el flujo que se da en un canal recto, con sección y pendiente constante, a una distancia considerable (20 a 30 veces la profundidad del agua en el canal) de un punto singular, es decir, un punto donde hay una mudanza de sección transversal ya sea de forma o de rugosidad, un cambio de pendiente o una

variación en el caudal. En el tramo considerado, las funciones arriba mencionadas asumen la forma:

$$V = fv(x) = \text{Constante}$$

$$Q = fq(x) = \text{Constante}$$

$$h = fh(x) = \text{Constante}$$

- **Flujo variado**

El flujo es variado si la profundidad de flujo cambia a lo largo del canal. El flujo variado puede ser permanente o no permanente. Debido a que el flujo uniforme no permanente es poco frecuente, el término “flujo no permanente” se utilizará de aquí para adelante para designar exclusivamente el flujo variado no permanente.

- **Flujo crítico**

El flujo crítico se da cuando el número de Froude es igual a 1 o cuando la velocidad es igual que la raíz cuadrada de la gravedad por la profundidad.

- **Flujo subcrítico**

En el caso de flujo subcrítico, también denominado flujo lento, el nivel efectivo del agua en una sección determinada está condicionado al nivel de la sección aguas abajo.

- **Flujo supercrítico**

En el caso de flujo supercrítico, también denominado flujo veloz, el nivel del agua efectivo en una sección determinada está condicionado a la condición de contorno situada aguas arriba.

Rugosidad, Diámetros, y Procesos de Instalación en Tuberías

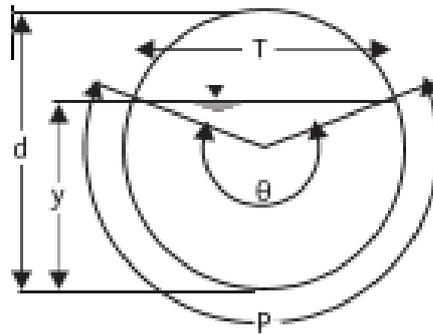


Figura 19: esquema de sección de tubería

$$y = 1/2 \left(1 - \cos \left(\frac{1}{2\theta} \right) \right) d \quad (\text{Ec. 88})$$

$$a = 1/8(\theta - \text{sen}\theta)d \quad (\text{Ec. 89})$$

$$p = 1/2\theta d \quad (\text{Ec. 90})$$

$$r = 1/4(1 - \text{sen}\theta)/\theta d \quad (\text{Ec. 91})$$

$$T = \text{sen} \left(\frac{1}{2\theta} \right) d \quad (\text{Ec. 92})$$

$$D = (1/8(\theta - \text{sen}\theta)d)/(\text{sen}(1/2\theta)) \quad (\text{Ec. 93})$$

Introducción IBER

El paquete computacional Iber, corresponde a un modelo numérico que simula el flujo turbulento en lámina en régimen no permanente. Tiene aplicaciones en campos de estudio como: Hidrodinámica fluvial, simulación de presas y canales abiertos, evaluación de zonas inundables.

Las versiones actuales de Iber constan de tres módulos principales, mismos que trabajan sobre una malla no estructurada de volúmenes finitos que pueden ser triangulares o cuadrangulares.

Módulos principales del programa IBER

- Módulo Hidrodinámico: Resuelve las ecuaciones de aguas poco profundas bidimensionales promedias en profundidad (ecuaciones de St. Venant 2D).
- Módulo de Turbulencia: Permite incluir las tensiones turbulentas en el cálculo hidrodinámico.
- Módulo de Transporte de sedimentos: resuelve las ecuaciones de transporte de fondo y transporte turbulento en suspensión.

Limitaciones de IBER

El costo computacional llega a ser demasiado elevado al usar una malla demasiado fina, lo cual a su vez se ve reflejado en el tiempo de cálculo del modelo.

Requiere de información de calidad, para la obtención de resultados confiables, misma que en ocasiones resulta demasiado compleja su obtención.

Ventajas de IBER

IBER al ser un modelo bidimensional garantiza una mayor precisión en la simulación de presas y canales.

A continuación, se presenta una serie de ventajas de Iber.

- Esquema de trabajo de alta resolución.
- Presencia de mallas irregulares que se adaptan de mejor manera al modelo digital del terreno.
- Mayor precisión en la simulación de presas y canales.

CAPITULO II: MATERIALES Y METODOS

2.1. Población

Inundación y desastre producido por el Fenómeno del niño en la Región La Libertad.

2.2. Muestra

La muestra para esta investigación es el desfogue de agua y sedimentos, provenientes de la Quebrada San Ildefonso, excluyendo otras quebradas de alto impacto social por razones relacionadas al manejo de información y la exigencia de esta investigación que puede generar, los investigadores desean concentrar sus esfuerzos para brindar una alternativa de solución para la Quebrada de San Ildefonso.

2.3. Unidad de Análisis

Se evaluarán salidas que permita el transporte de agua y sedimentos desde la Quebrada San Ildefonso, así como se diseñarán estructuras que aporten al mismo fin.

2.4. Metodología

2.4.1. Obtención de datos

2.4.1.1. Obtención de DEM de terreno

El modelo de elevación digital (DEM) del área de estudio, se descarga del servidor de la Nasa **Alaska Satellite Facility**.

Se ingresa a la página <https://vertex.daac.asf.alaska.edu/> | **Earthdata Login**, se registra y en el cuadro de dialogo se ingresa el nombre del usuario y la contraseña para acceder a la información.

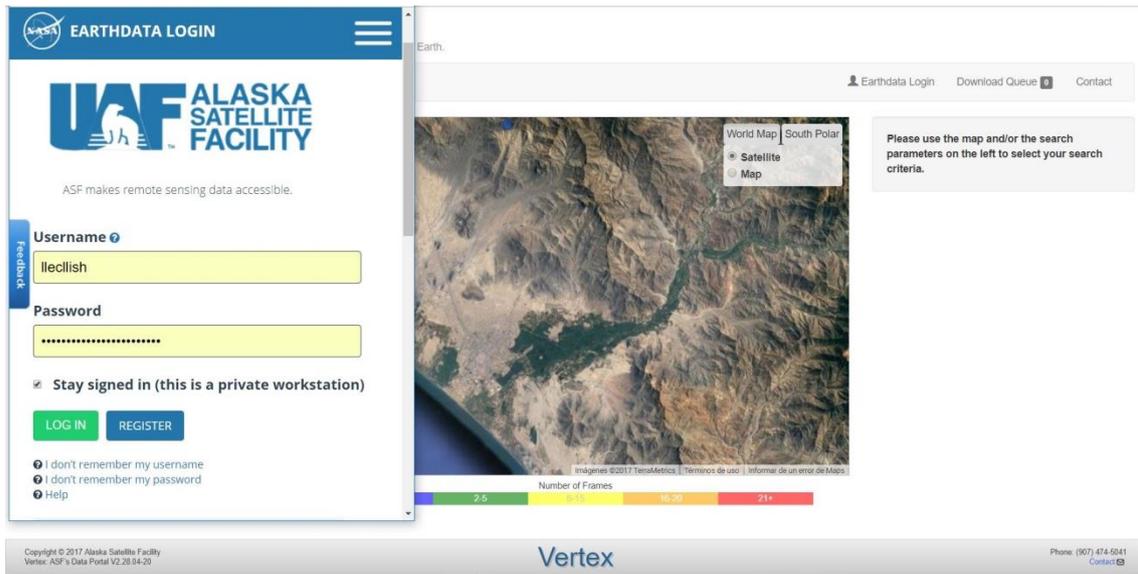


Figura 20: Servidor Alaska Satellite Facility

En el mapa con el cursor se selecciona el area de estudio y en **Geospatial | Geographic Region** automaticamente se introducen las coordenadas.

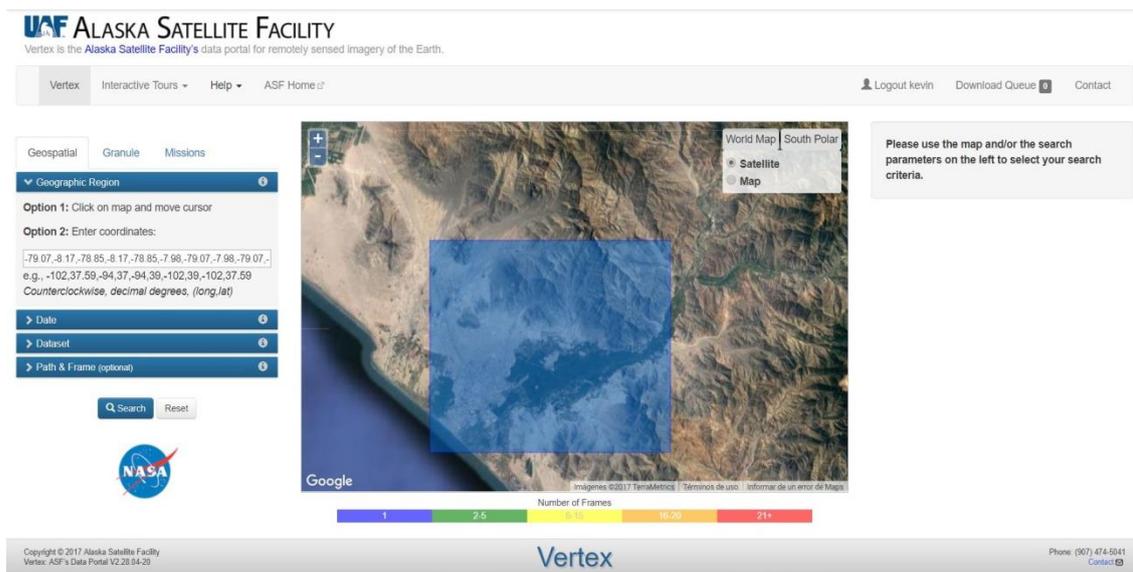


Figura 21: Selección del área de estudio en el Servidor Alaska Satellite Facility

Se selecciona en **Geospatial | Dataset |ALOS PALSAR |Search**, en el mapa se revisa la información proporcionada por el satélite y se escoge **ALPSRP264037020**.

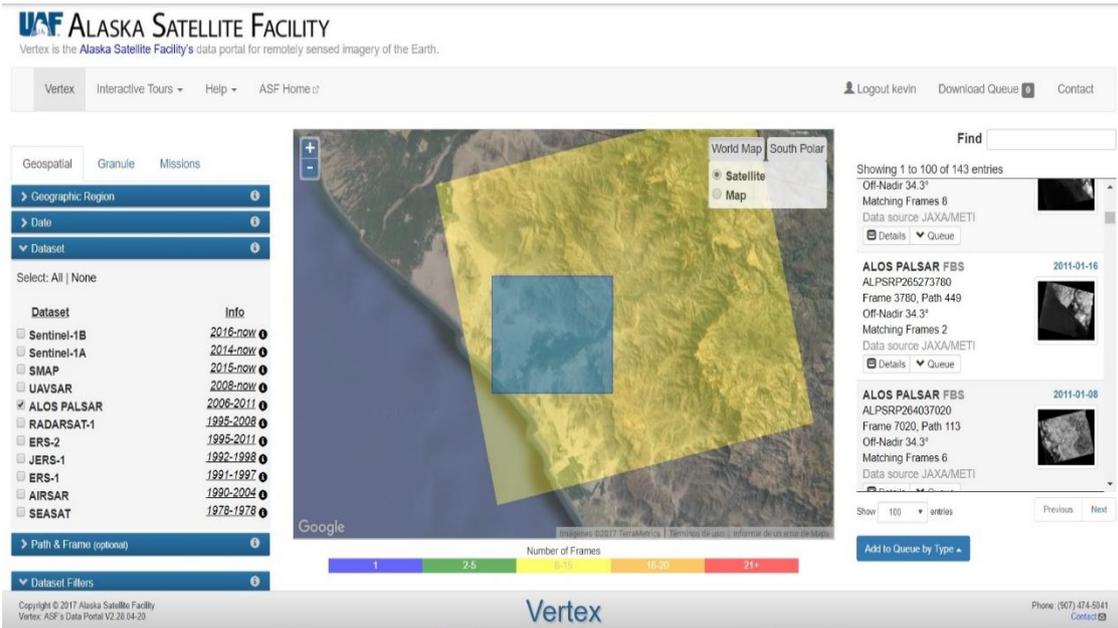


Figura 22: Selección del DEM en el Servidor Alaska Satellite Facility

Se selecciona la información **ALPSRP264037020** ; se descarga y se descomprime el **producto Hi-Res Terrain Corrected** , el archivo se guarda de manera automática con el nombre **AP_26403_FBS_F7020_RT1**

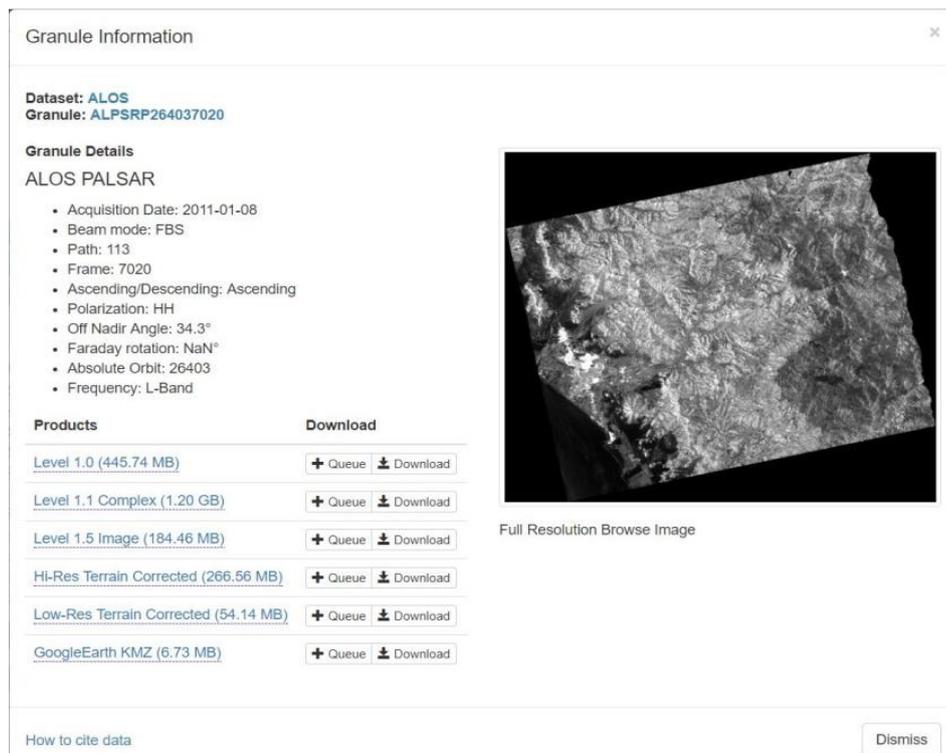


Figura 23: Descarga del DEM desde el servidor Alaska Satellite Facility

2.4.1.2. Obtención de Data de precipitaciones

Al intentar obtener data de precipitaciones, No se pudo tener acceso a registros de precipitaciones confiables en la zona de estudio, sin embargo, se ha optado por considerar el registro de la estación León Río Seco, siendo la más cercana a la quebrada San Ildefonso, según se muestra.

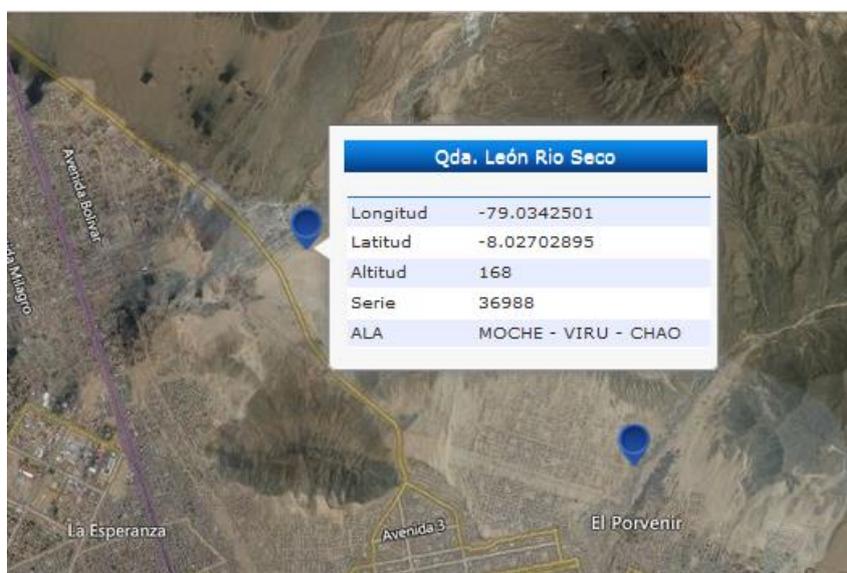


Figura 24: Ubicación de estación pluviométrica Quebrada León Río Seco. Fuente: Visor Pluviométrico del ANA

Esta data proporciona un registro a cada hora, cada día, cada mes que se considere descargar desde el visor pluviométrico del ANA, que se presentara más adelante.

2.4.1.3. Obtención de Imágenes Georreferenciadas

Las imágenes georreferenciadas del área de estudio se obtienen del programa **SAS.Planet** de la plataforma **ESRI**. Se selecciona la herramienta **ArcGIS. Imagery** |**ESRI** y se escoge el mapa **ArcGIS.Imagery**.

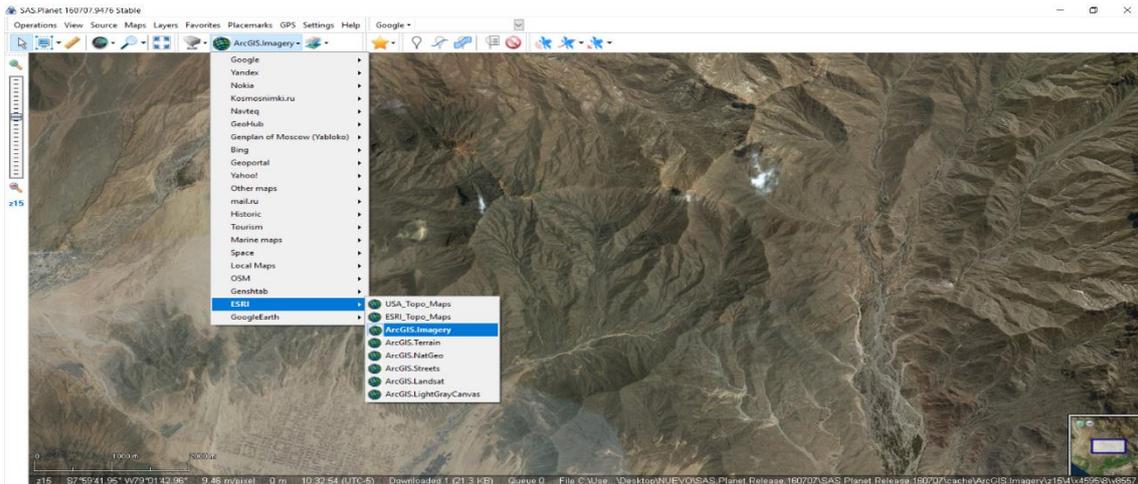


Figura 25: Quebrada San Ildefonso en SAS.Planet

Se selecciona la herramienta **Selection manager |Rectangular Selection** y en el mapa con el cursor se selecciona el area de estudio .En el cuadro de dialogo se ingresa el formato de salida de la imagen, se escoge la ruta y el nombre del archivo de salida, se confirma el mapa , no se le agregan capas adicionales de informacion ,se indica la proyeccion para descargar la imagen , la informacion de georreferenciacion queda almacenada en un archivo **.W** y se aumenta la alidad de la imagen .

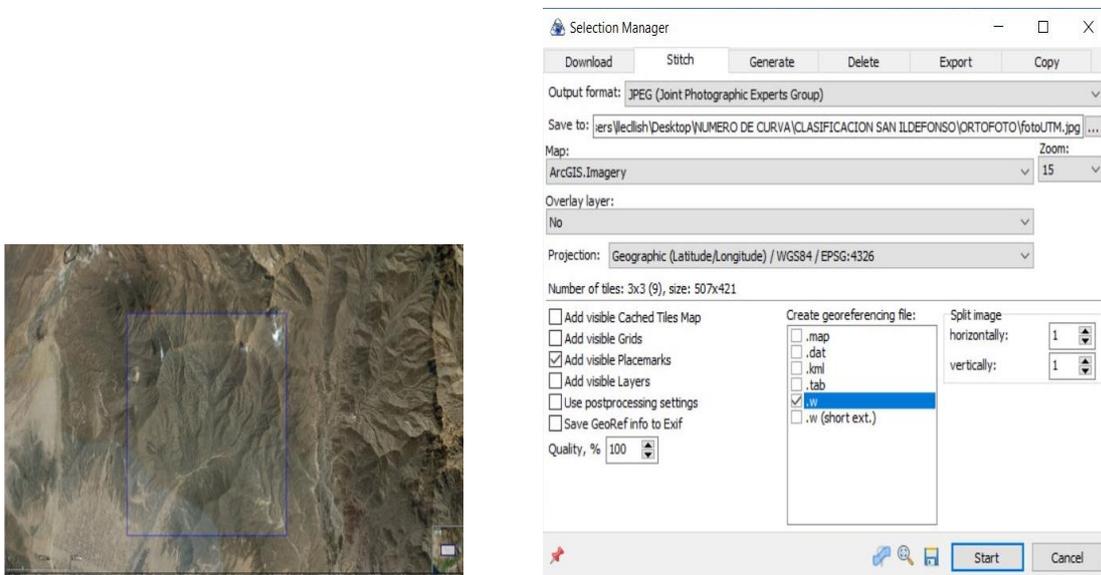


Figura 26: Obtención de imágenes georreferenciadas en SAS.Planet

2.4.1.4. Visita Técnica

2.4.1.4.1. Ubicación Punto de Descarga de Cuenca

Con apoyo de un GPS se han realizado lecturas de dichos puntos, considerando la estrechez de la topografía

Coordenada de punto de control de la microcuenca 1:

Latitud: -8.043842°

Longitud: -78. 987083°

Coordenada de punto de control de la microcuenca 2:

Latitud: -8.0500662°

Longitud: -78. 991054°

2.4.1.4.2. Tipo de Suelo

En esta zona predomina una elevada cantidad de material granular: arena, confitillo y piedras de canto rodado y en zonas de mayor elevación rocas meteorizadas.

Estas características hacen que actualmente sea empleada como cantera.

2.4.1.4.3. Socavación

Se aprovecha la visita técnica para medir la socavación y profundidad de desplante del material a nivel del terreno natural:

Para el punto de control en la microcuenca 1 la altura estaba en el rango de 0.80 a 1.00 metros y,

Para el punto de control en la microcuenca 2 la altura estaba en el rango de 1.50 a 1.00 metros.

2.4.1.5. Obtención de Plano Topográfico

Para este proceso, se requirió obtener el plano de curvas de nivel de lo cual se puede extraer o importar desde:

- DEM descargado, sin obtener resultados satisfactorios.
- Cartas Nacionales 17e y 17f, existiendo una considerable diferencia en el registro de elevación, en comparación al DEM
- Google Earth: a través del complemento CadEarth que permite ubicar los puntos representados para el perímetro del área de trabajo y los puntos de los ruteos expuestos más adelante.

Como desventaja, al usar la versión gratuita solo tenemos un límite de 50000 puntos en la triangulación para hacer el levantamiento.

Como ventaja, la diferencia entre elevación entre esta aplicación y el DEM descargado desde ALOS PALSAR es menor en comparación a la diferencia entre el DEM y las cartas Nacionales 17e y 17f

2.4.2. Procesamiento de datos

2.4.2.1. Generación del ráster Numero de Curva

2.4.2.1.1. Reconocimiento de Suelo del Área de Trabajo

Se realiza el reconocimiento del suelo del área de trabajo y se define los usos de suelo; la zona en estudio se encuentra en el grupo **A** de usos de suelo y las pendientes son superiores al 3 %, las clases de suelo en el área de estudio son roca permeable con un numero de curva de 94 y suelo arenoso con un numero de curva de 75.

Tabla 32: Números de curva SCS. Fuente: Elaboración Propia

Usos de suelo	Pendiente	NC para el grupo de suelo			
	(%)	A	B	C	D
Agua Continental		98			
Acumulacion de Nieve		98			
Infraestructuras Viarias		98			
Urbanizaciones		98			
Nucleos Urbanos		98			
Zonas industriales y Comerciales		98			
Cultivos herbáceos de secano	≥ 3	61	72	81	83
	< 3	60	70	78	81
Cultivos herbáceos de regadío	≥ 3	54	68	78	82
	< 3	52	67	76	79
Frutas de secano	≥ 3	45	64	77	83
	< 3	40	60	72	78
Frutas de Regadío	≥ 3	38	60	72	78
	< 3	34	54	69	77
Viñeros	≥ 3	45	64	77	83
	< 3	40	60	72	78
Prados Superforestados	≥ 3	68	78	86	89
	< 3	46	67	81	88
Bosques y Prados		40	60	69	76
Bosques de esclerofilas		36	52	62	68
Bosques de caducifolias		36	52	62	68
Bosques de aciculifolis		36	52	62	68
Vegetacion de Zonas húmedas	≥ 3	94			
	< 3	91			
suelos con vegetacion escasa o nula	≥ 3	75	82	86	89
	< 3	71	78	82	86
Zonas quemadas	≥ 3	75	81	86	89
	< 3	71	78	82	86
suelo arenosos	≥ 3	75	82	86	89
	< 3	71	78	82	86
Rocas permeables	≥ 3	94	94	94	94
	< 3	91	91	91	91
Rocas Impermeables	≥ 3	96	96	96	96
	< 3	93	93	93	93

2.4.2.1.2. Clasificación de tipo de Suelo

Esta Clasificación de los usos de suelo, se realiza con la información de la ortofoto georreferenciada descargada de **SAS.Planet**, con esta información, se intenta obtener una clasificación de uso de suelo con la finalidad de poder obtener los números de curva, coeficiente de escorrentía, coeficiente de manning o alguno de estos parámetros, no es del todo suficiente con una fotografía y lo adecuado es hacer un reconocimiento de la zona de estudio con la finalidad de determinar mejor

estos parámetros, se tiene tres métodos para hacer esto, una clasificación no supervisada, una clasificación supervisada y una clasificación manual .

Estos tres métodos permiten explorar diferentes tipos de atributos o clases por medio del análisis estadístico multivariado, este proceso identifica los valores de cada píxel de una o varias bandas de una imagen raster, crea y evalúa las clases o clúster (firmas), finalmente reclasifica de acuerdo con las probabilidades de cada clase. Este procedimiento es muy práctico para crear de forma automática un mapa de uso del suelo, para ello se hace uso de **ArcGIS**



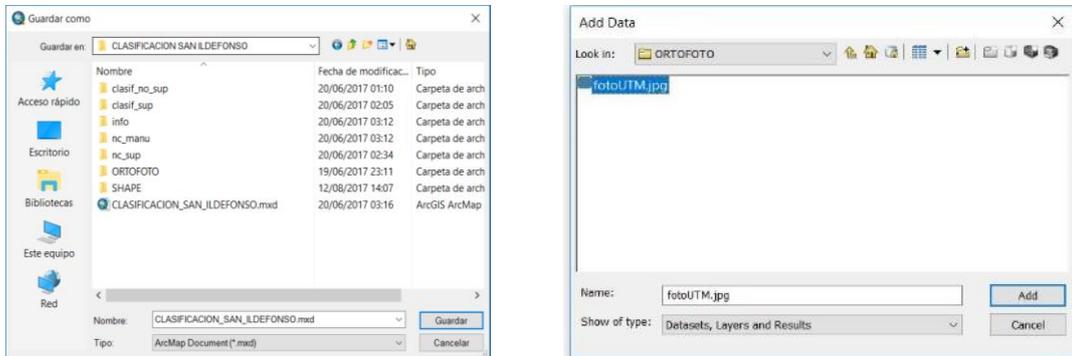
Figura 27: Ortofoto georreferenciada de la quebrada san Ildefonso

2.4.2.1.3. Clasificación No Supervisada

La clasificación no supervisada en ArcGis no determina ninguna prioridad para obtener las clases, es decir, lo realiza con base a probabilidades, el resultado es una imagen ráster reclasificada y opcionalmente genera un archivo con su respectiva firma, para efectuar este procedimiento se usa la herramienta Iso Cluster Unsupervised Classification.

La sesión de **ArcMap** se georreferencia y se guarda con el nombre **CLASIFICACION_SAN_ILDEFONSO.mxd** en la carpeta creada para almacenar el

proyecto. Se selecciona en el icono **Save As |CLASIFICACION SAN ILDEFONSO**. Se selecciona en el icono **Add Date**; se adiciona y se georreferencia (**WGS 194 UTM Zone 17S**) la ortofoto (**FotoUTM.jpg**) descargada del programa **SAS.Planet**.



Creación del proyecto para la clasificación en ArcMap

Se selecciona en **ArcToolbox | Spatial Analyst Tools | Multivariate | Iso Cluster Unsupervised Classification**. Se ingresa el ráster o la banda a utilizar (**foto UTM.jpg**) para hacer la clasificación, se ingresa también el número de usos de suelo para dividir la fotografía; del reconocimiento de la zona de estudio se clasifica en dos usos de suelo como son **roca permeable y suelo arenoso**.

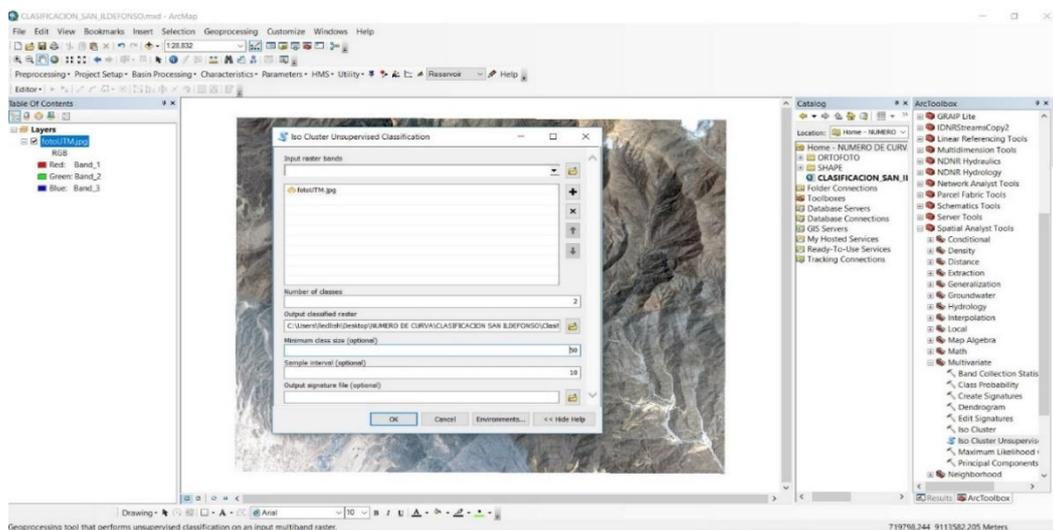


Figura 28: Clasificación no supervisada

En la tabla de contenidos se muestra el resultado de la clasificación no supervisada (**Clasif_no_Sup**), la clasificación se realiza de acuerdo con la interpretación que hace el propio programa y debido a la reflectancia de la propia imagen. Esta

clasificación no supervisada en la mayoría de los casos no es aplicable, solamente funciona cuando la fotografía tiene un gran contraste de colores, cuando casi no hay sombras o si las hay en porciones pequeñas.

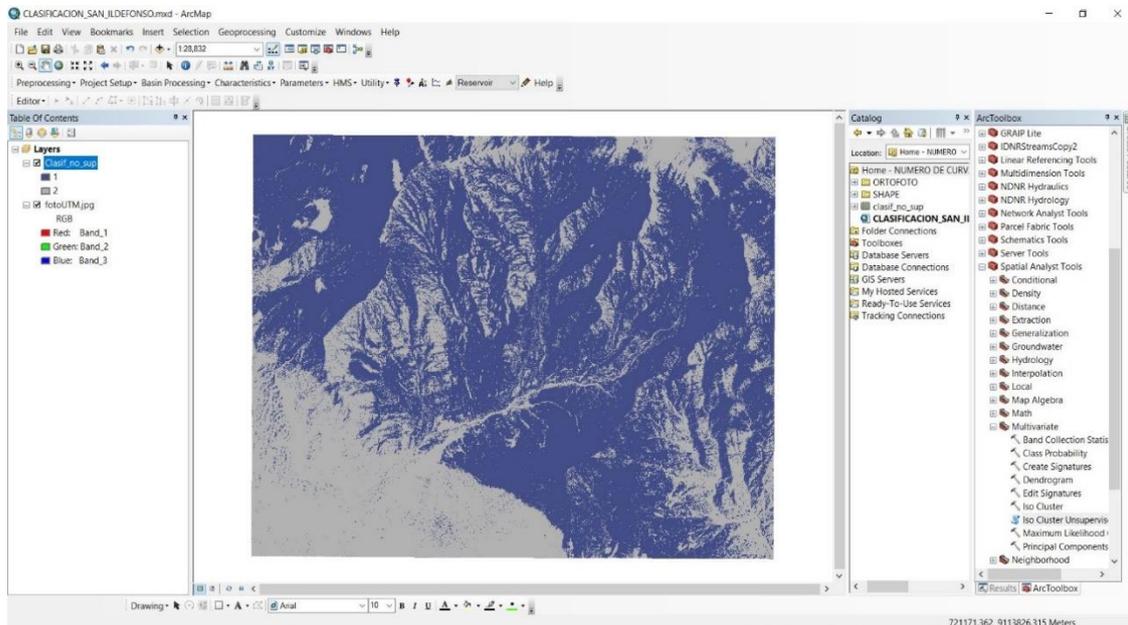


Figura 29: Ráster de Numero de curva de la clasificación no supervisada

Se clasifico en dos clases, pero con errores, en la zona donde es roca permeable la interpretación que realizo el programa es que lo dividió en dos clases una parte que tiene sombra y la otra que no tiene sombra y eso no es correcto porque la fotografía tiene una parte más oscura y otra más clara pero no es porque cambie el uso de suelo sino porque hay el efecto de la sombra de la foto y esto lo ha dividido en dos.

2.4.2.1.4. Clasificación Supervisada

La clasificación supervisada en ArcGis permite clasificar el ráster por medio de cada píxel de una celda, es necesario tener conocimiento previo de las clases del área de estudio (uso actual del suelo). Se debe marcar puntos y asignar un valor numérico para cada clase.

Se indica al programa las clases del área de estudio como son la roca permeable y el suelo arenoso, esto se hace mediante puntos, Se debe marcar puntos y asignar un valor numérico para cada clase, de esta manera el programa automáticamente

de todos estos puntos estadísticamente va a sacar una firma espectral y esa firma espectral de todos los puntos lo va a extrapolar a otros puntos para hacer la clasificación.

En la sesión de ArcMap en el proyecto “**CLASIFICACION_SAN_ILDEFONSO**”, se asigna la información de las clases del área de estudio, para darle esta información es necesario hacerlo mediante puntos, se selecciona en **Catalog | SHAPE | Create New Shapefile**.

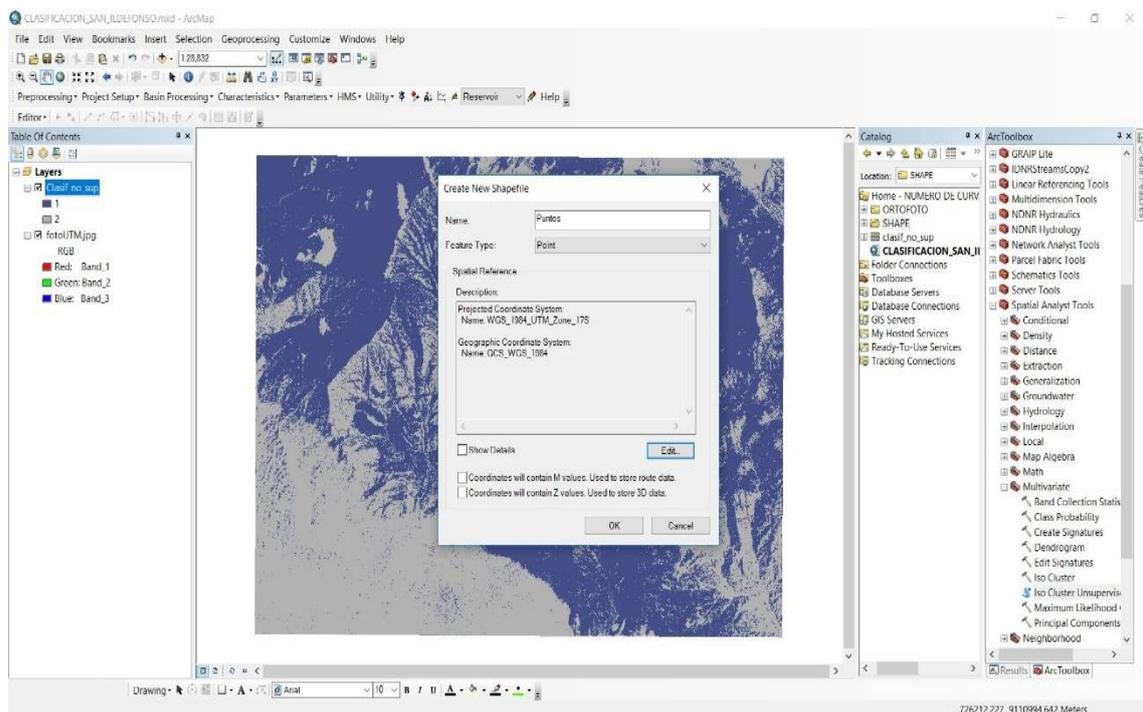


Figura 30: Clasificar un ráster en ArcMap

En la sesión de ArcMap se selecciona en **Editor | Start Editing | Puntos | Create Features | Open Attribute Table | Id | Field Calculator**. Se asigna 1 para el suelo arenoso y 2 para la roca permeable | **Stop Editing**.

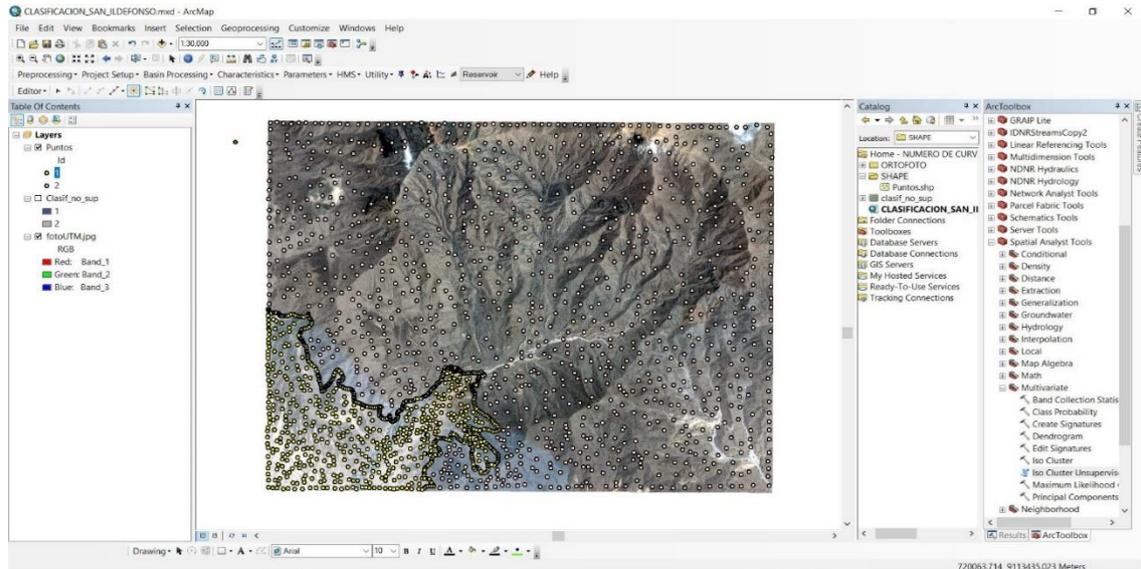


Figura 31: Clasificación de las clases del área de estudio mediante puntos

En la sesión de **ArcMap** se genera y guarda una firma espectral con la herramienta **Create Signatures**. Se selecciona en **ArcToolbox | Spatial Analyst Tools | Multivariate | Create Signatures**. Se ingresa el ráster o la banda a utilizar (**foto UTM.jpg**), se ingresa también donde está el ráster o los puntos donde se va a clasificar, la característica donde está la información y donde va a guardar la firma espectral.

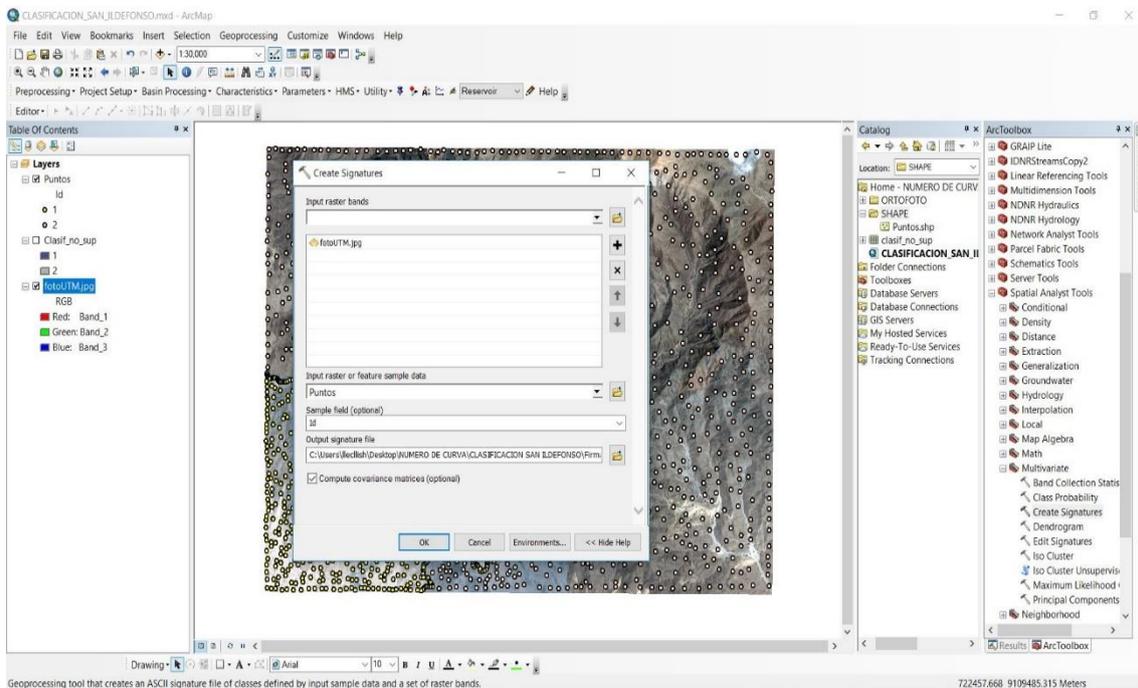


Figura 32: Generación de la firma espectral

Se crea el archivo **firma_Sup.GSG** donde se almacenan los datos de la firma espectral de las diferentes categorías que se especificaron.

```

firma_sup.gsg: Bloc de notas
Archivo Edición Formato Ver Ayuda
# Class-Grid _1000001
# and Stack _1000000

# Number of selected grids
/*
# Layer-Number Band-name
/* 1 fotoUTM.jpg\Band_1
/* 2 fotoUTM.jpg\Band_2
/* 3 fotoUTM.jpg\Band_3

# Type Number of Classes Number of Layers Number of Parametric Layers
# 1 2 3 3
# -----
# Class ID Number of Cells Class Name
# 1 924 1
# Layers 1 2 3
# Means
# Covariance
# 1 122.56602 120.34307 106.87662
# 2 660.10073 569.40257 514.06232
# 3 569.40257 503.12486 464.34682
# 514.06232 464.34682 444.86017
# -----
# Class ID Number of Cells Class Name
# 2 1052 2
# Layers 1 2 3
# Means
# Covariance
# 1 91.78707 89.35361 74.61597
# 2 387.52265 353.10486 311.82396
# 3 353.10486 334.85486 306.47846
# 311.82396 306.47846 296.86665

```

Figura 33: Firma espectral generada con la herramienta Create Signatures

En la sesión de **ArcMap** con la herramienta **Maximum Likelihood Classification** se usa la imagen ráster **foto UTM.jpg** y el shapefile con el campo de los valores numéricos de cada clase (**firma_Sup.GSG**). se selecciona en **ArcToolbox | Spatial Analyst Tools | Multivariate | Maximum Likelihood Classification**.

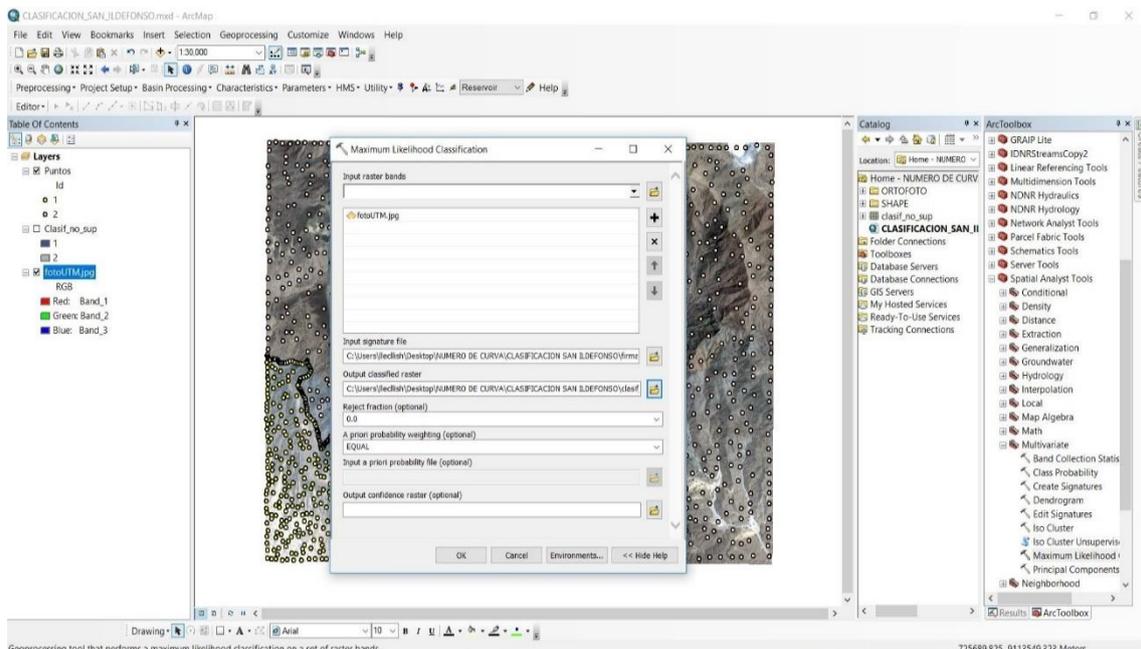


Figura 34: Clasificación supervisada

Se guarda el resultado de la clasificación supervisada como **Clasif_Sup** y en la tabla de contenidos se muestra el resultado.

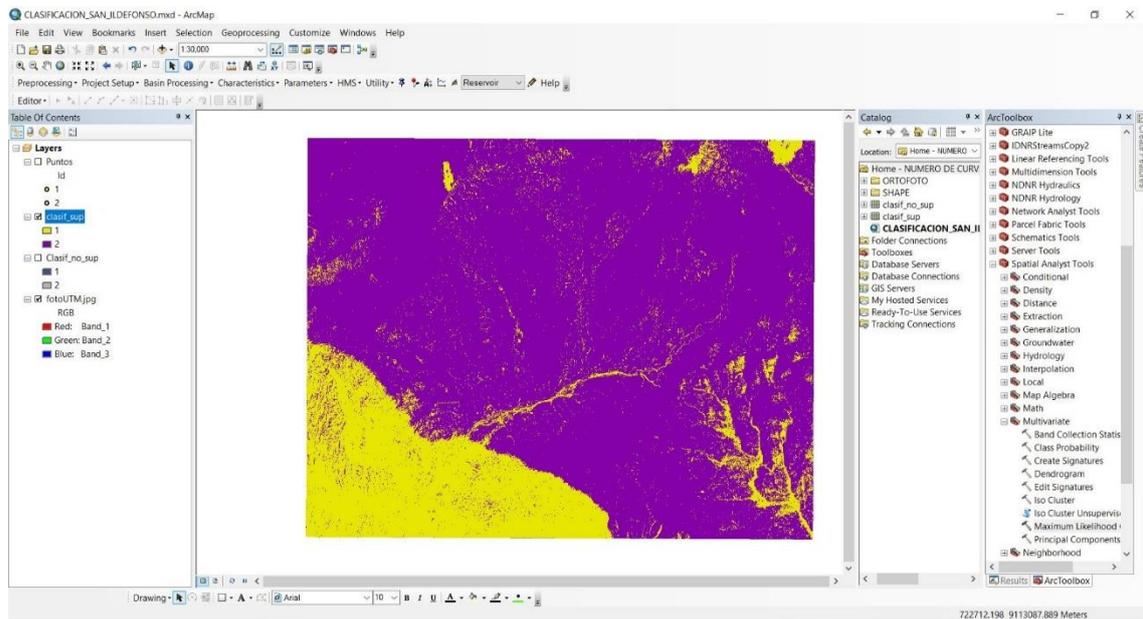


Figura 35: Ráster de la clasificación supervisada

En la sesión de **ArcMap** se convierte la imagen ráster (**Clasif_Sup**) a shapefile (**Pol_Clas_Sup**) (sea a partir de la clasificación supervisada o no supervisada) se usa la herramienta **Ráster to Polygon**. Se selecciona en **ArcToolbox | Conversion Tools | From Ráster | Ráster to Polygon**.

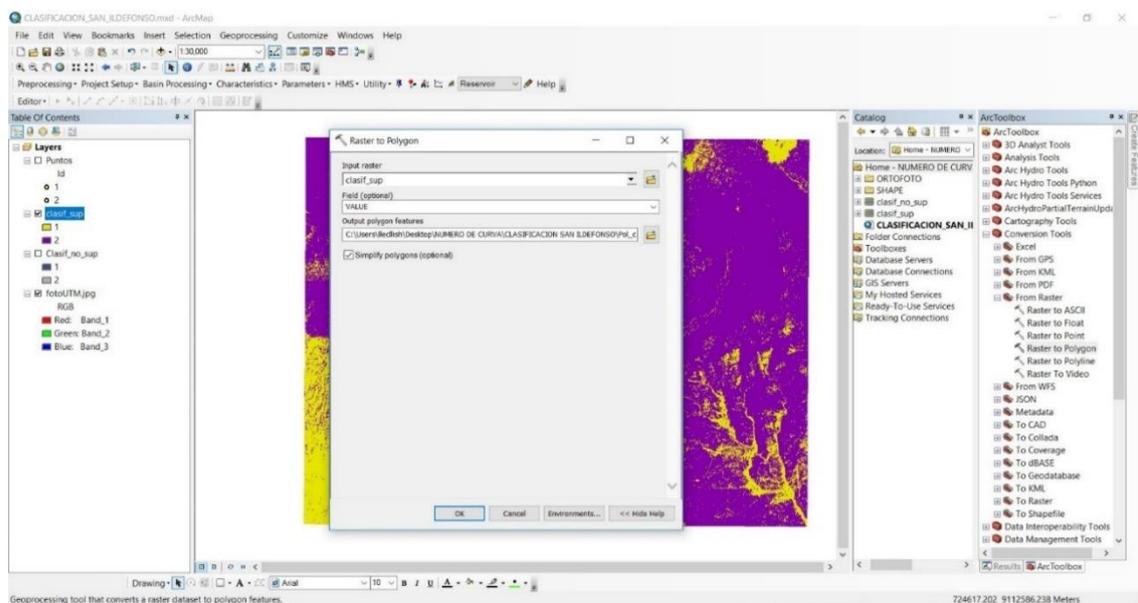


Figura 36: Conversión del Ráster de la clasificación supervisada a shapefile

Se guarda el archivo (**PoI_Clas_Sup**) tipo poligonal obtenido a partir de un ráster y en la tabla de contenidos se muestra el resultado.

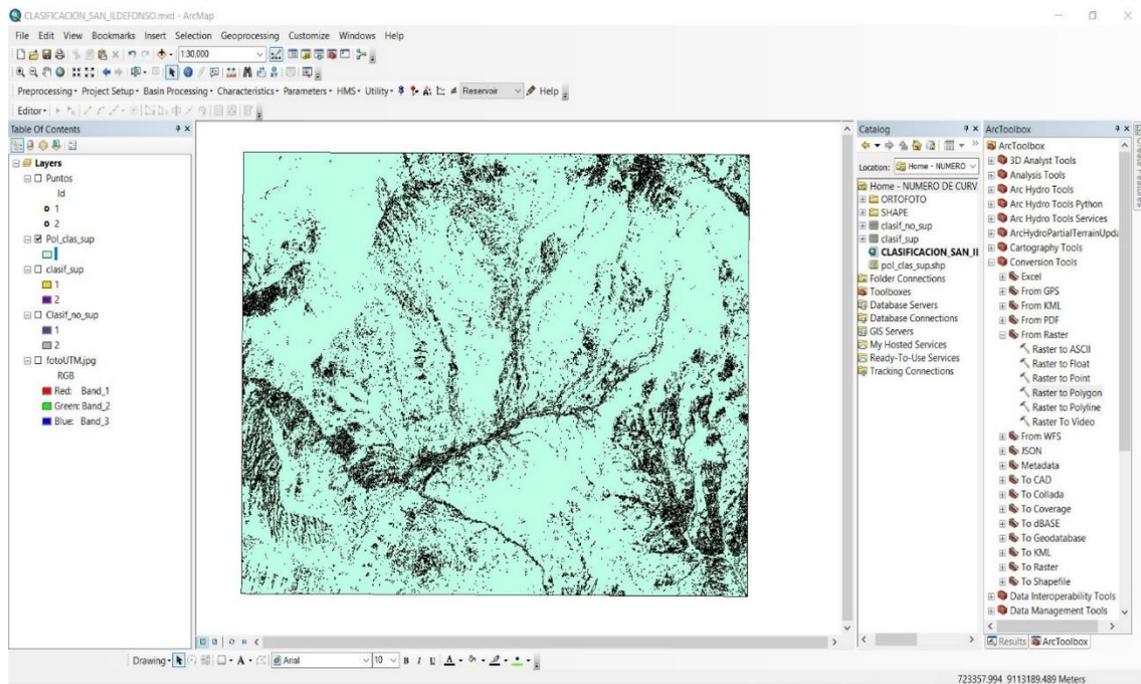


Figura 37: Shapefile de la clasificación supervisada

En la tabla de contenidos se selecciona en **PoI_Clas_Sup | Open Attribute Table | Add Field** se crean las columnas **Area**, **Usos_S**, **NC**.

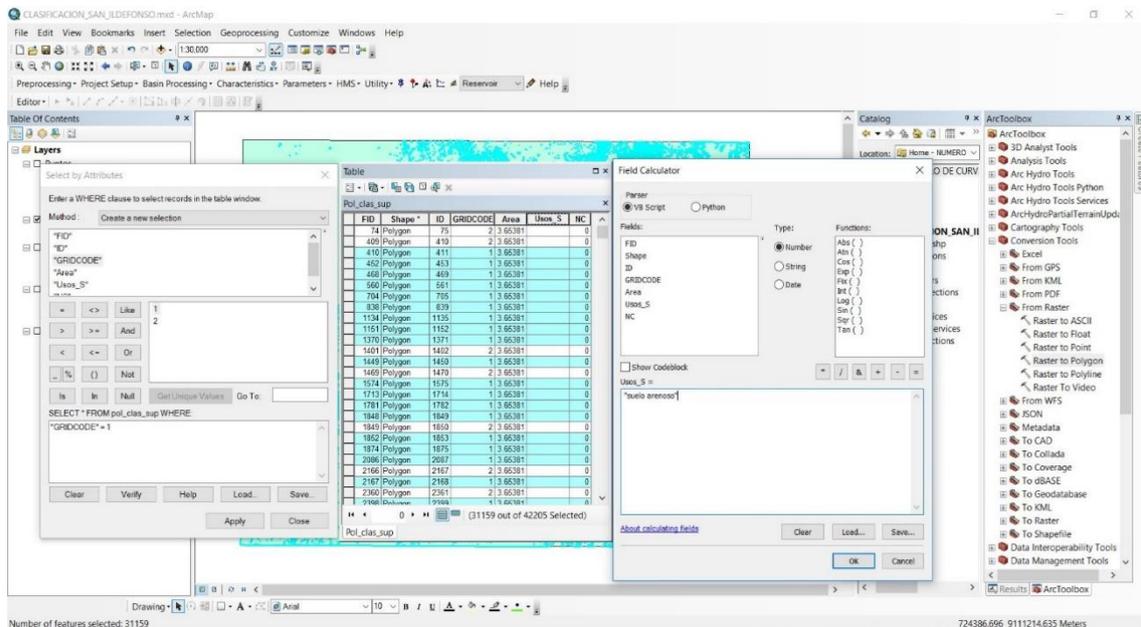


Figura 38: Tabla de atributos del Shapefile de la clasificación supervisada

Se selecciona en Area | **calculate Geometry**, luego se ingresa en Usos_S | **Select by Attributes** | “GRICODE =1” | **Field Calculator**, se asigna “suelo arenoso”, | **Select by Attributes** | “GRICODE =2” | **Field Calculator**, se asigna “roca permeable” y finalmente se selecciona NC | **Select by Attributes** | “GRICODE =1” | **Field Calculator** se asigna 75, | **Select by Attributes** | “GRzCODE =2” | **Field Calculator** se asigna 94.

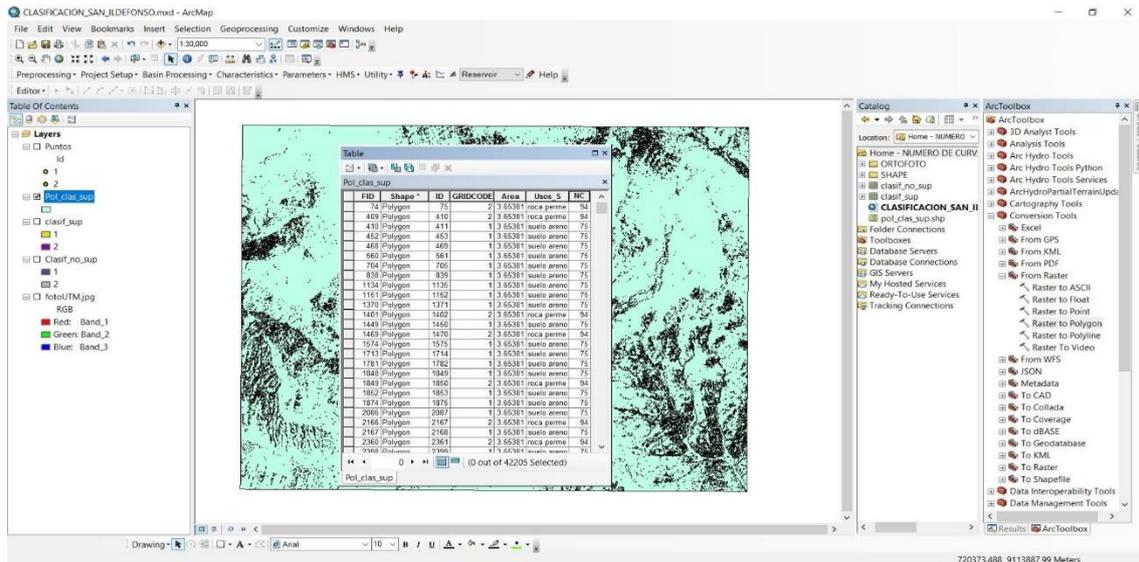


Figura 39: Ingreso de datos a Tabla de atributos del Shapefile de la clasificación supervisada

En la tabla de contenidos se selecciona en Pol_Clas_Sup | **Layer Properties** | **Symbology** | **Categories**, se puede graficar por Usos_S o NC

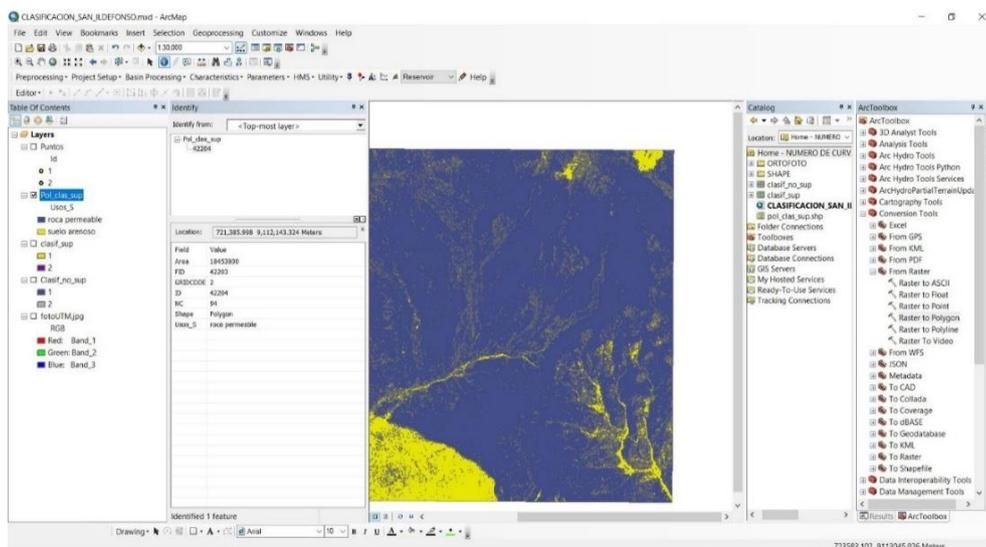


Figura 40: Shapefile de los usos de suelo en la clasificación supervisada

Se convierte el shapefile (**PoI_Clas_Sup**) a ráster (**NC_Sup**) se usa la herramienta **Polygon to Raster**. Se selecciona en ArcToolbox | **Conversion Tools** | **To Ráster** | **Polygon to Raster**.

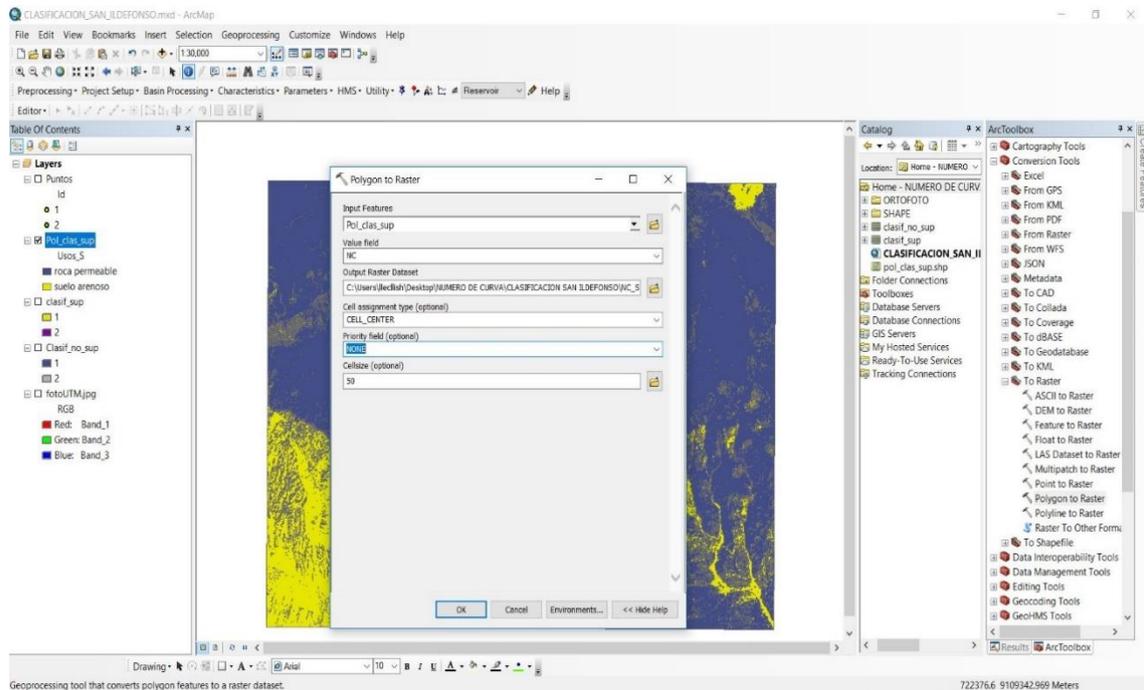


Figura 41: Conversión del Shapefile de la clasificación supervisada a Raster

En la sesión de ArcMap se guarda el archivo ráster (**NC_Sup**), obtenido a partir de un archivo tipo poligonal (**PoI_Clas_Sup**).

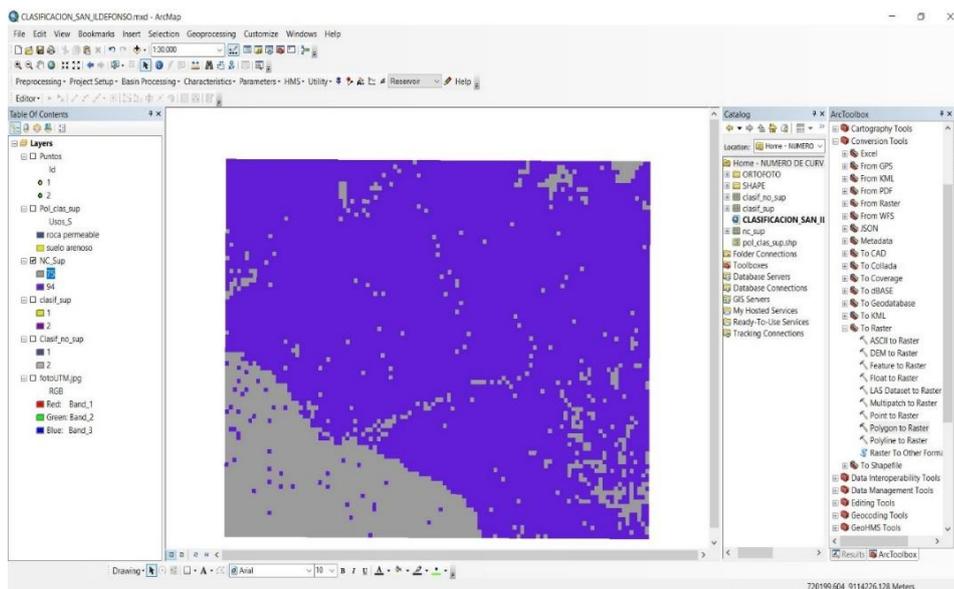


Figura 42: Ráster del número de curva de la clasificación supervisada

2.4.2.1.5. Clasificación Manual

La clasificación manual en ArcGis permite clasificar el ráster por medio de polígonos, es necesario tener conocimiento previo de las clases del área de estudio (uso actual del suelo). Se debe graficar manualmente polígonos y asignar un valor numérico para cada clase.

En la sesión de ArcMap en el proyecto “**CLASIFICACION_SAN_ILDEFONSO**”, se asigna la información de las clases del área de estudio como son la roca permeable y el suelo arenoso, para darle esta información es necesario hacerlo mediante polígonos los cuales se grafican manualmente.

A partir de la **fotoUTM.jpg** se crea un polígono de toda la zona de trabajo y luego se convierte en un Shapefile (**pol_clas_manu**), se selecciona la herramienta **Rectangle | Convert Graphics To Features**.

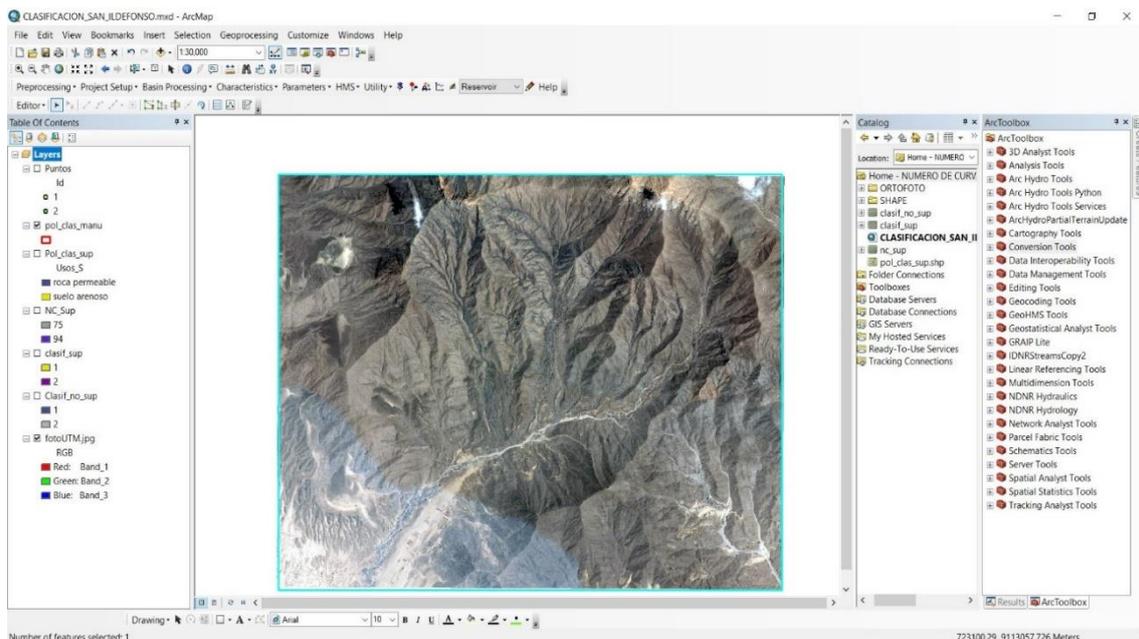


Figura 43: Shapefile de la clasificación manual

Se divide manualmente el polígono (**pol_clas_manu**) en dos zonas; la zona de la roca permeable y el suelo arenoso.

En la tabla de contenidos se selecciona en **pol_clas_manu | Editor | Start Editing | Cut Polygons Tool**, luego se selecciona la herramienta **Create Features |**

Polygon| Straight Segment | Trace| Straight Segment |Editor | Clip | Stop Editing.

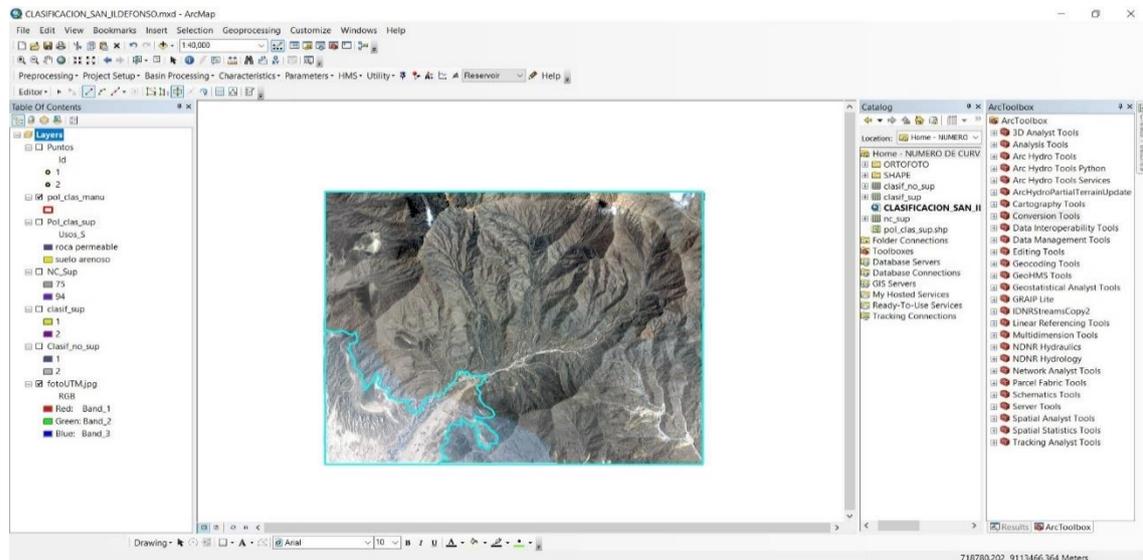


Figura 44: Clasificación de las clases del área de estudio mediante polígonos

En la sesión de **ArcMap** se selecciona en **pol_clas_manu | Open Attribute Table | Add Field** se debe crear las columnas **Id, Usos_S, NC| Start Editing**. Se selecciona en (**Id**), se coloca 1 para suelo arenoso y 2 para roca permeable; luego se ingresa en (**Usos_S**), en 1 se asigna suelo arenoso y en 2 roca permeable y finalmente se selecciona en (**NC**), en 1 se asigna 75 y en 2 se asigna 94 **|Stop Editing**.

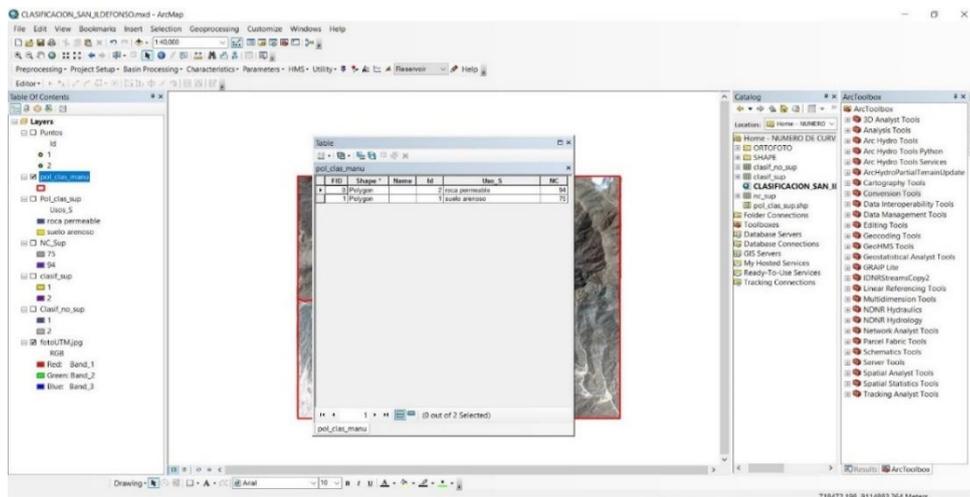


Figura 45: Ingreso de datos a Tabla de atributos del Shapefile de la clasificación manual

En la tabla de contenidos se selecciona en **Pol_Clas_Sup | Layer Properties | Symbology | Categories**, se puede graficar por Usos_S o NC

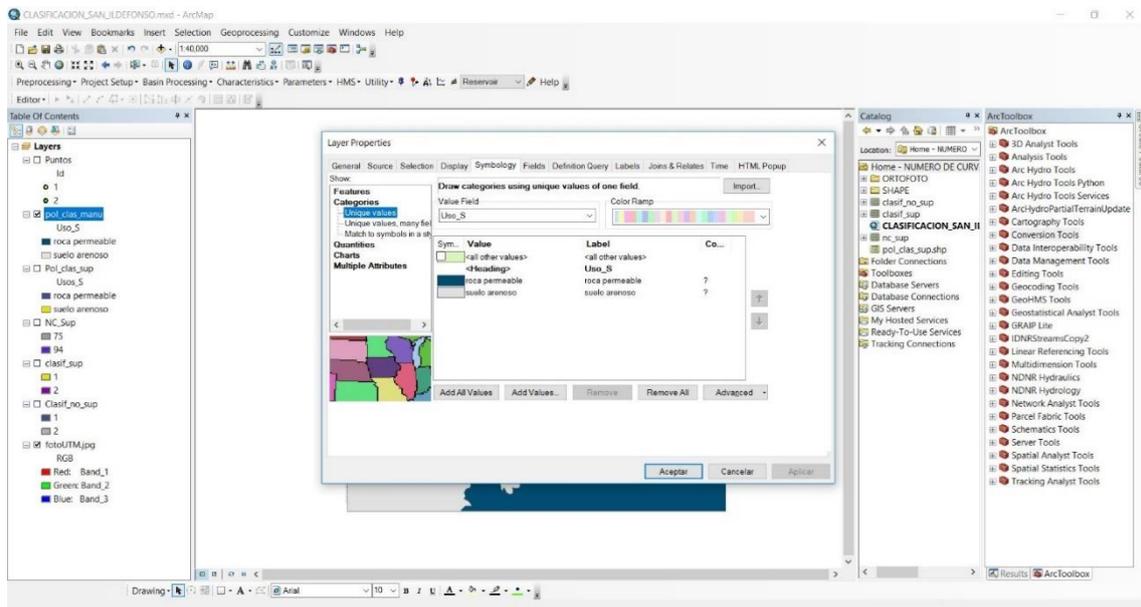


Figura 46: Shapefile de los usos de suelo en la clasificación Manual

En la sesión de ArcMap se convierte el shapefile (**pol_clas_manu**) a ráster (**nc_manu**) se usa la herramienta **Polygon to Raster**. Se selecciona en **ArcToolbox | Conversion Tools | To Raster | Polygon to Raster**.

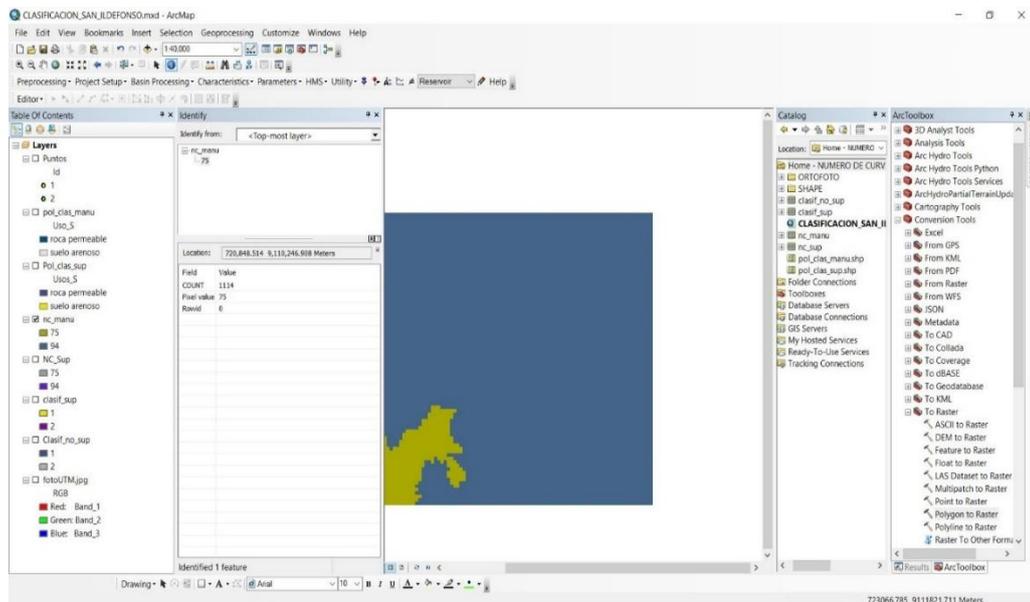


Figura 47: Ráster del número de curva de la clasificación manual

2.4.2.2. Selección de Ráster de Numero de Curva a Emplear

De los ráster de número de curva, de las clasificaciones realizadas en el modelo en **ArcMap**, se selecciona el ráster de número de curva obtenido de la clasificación manual.

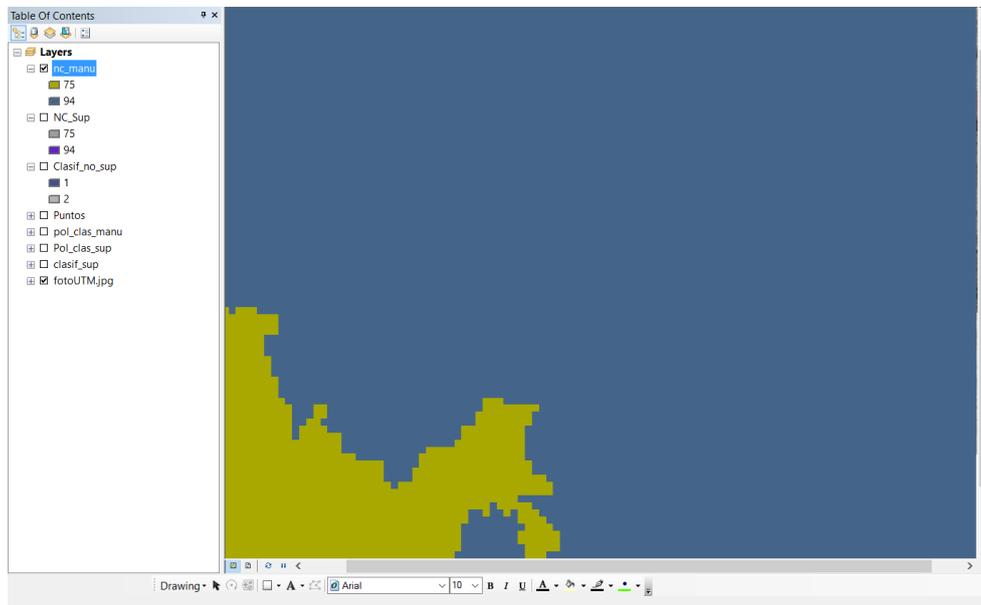


Figura 48: Ráster del número de curva para modelo hidrológico

2.4.2.3. Preparación del DEM para trabajo en aplicativo Hec Geo HMS

Para delimitar automáticamente una microcuenca hidrográfica a partir de un **Modelo de Elevación Digital (DEM)**, es necesario realizar el siguiente procedimiento.

La sesión de **ArcMap** se georreferencia y se guarda con el nombre **SAN_ILDEFONSO 1.mxd** en la carpeta creada para almacenar el proyecto. Se selecciona en el icono **Save As |SAN ILDEFONSO 1**.

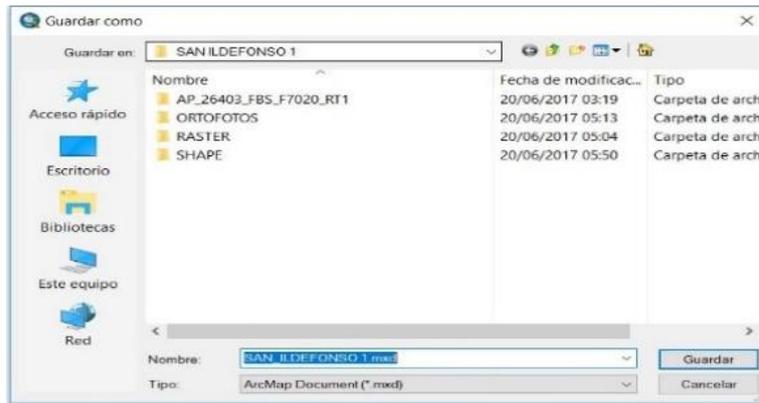


Figura 49: Creación del proyecto en ArcMap

En la sesión de **ArcMap** se selecciona en el icono **Add Data**; se adiciona el Modelo de Elevación Digital (**DEM**); **AP_26403_FBS_F7020_RT1.dem.tif**, el cual se obtiene del servidor **Alaska Satellite Facility** con resolución espacial de 12.5 x 12.5 m en coordenadas geográficas.

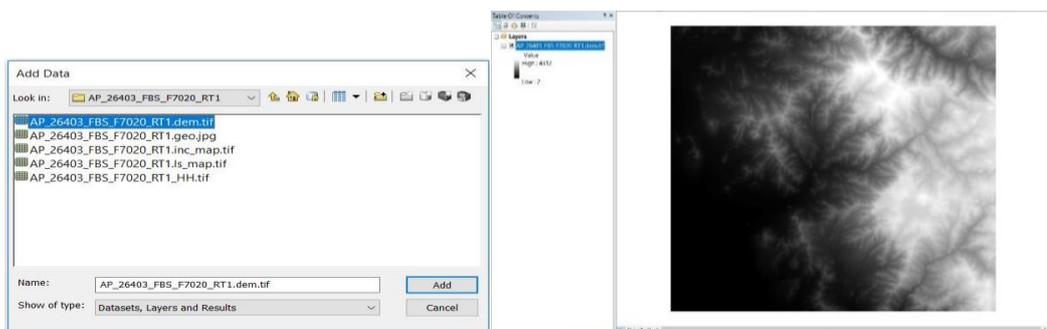


Figura 50: Modelo de Elevación Digital (DEM) en ArcMap

En la sesión de **ArcMap** se selecciona en el icono **Add Data**; se adicionan y se georreferencian (**WGS 194 UTM Zone 17S**) las ortofotos descargadas del programa **SAS.Planet**.

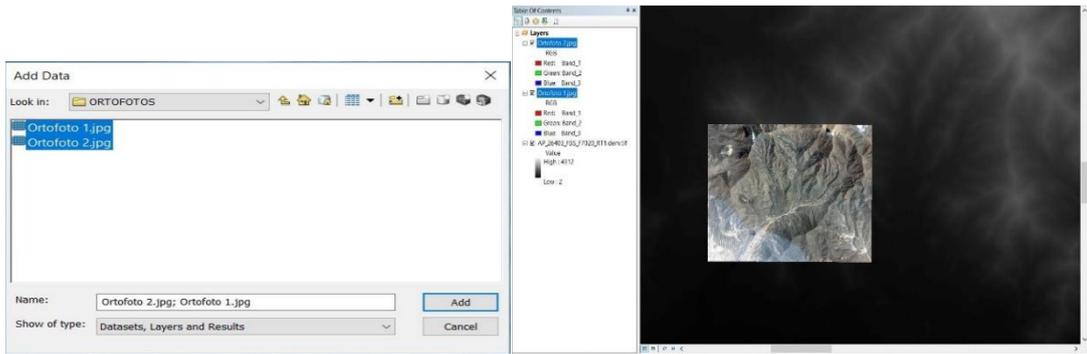


Figura 51: Ortofotos Georreferenciadas en ArcMap

En la sesión de **ArcMap** debido a que el **DEM** (raster) es muy grande se recorta, esto se realiza a partir de un polígono (área de interés); se selecciona en **Catalog [SHAPE] Create New Shapefile**, en el cuadro de dialogo se adiciona los campos y se ingresa en **Edit| Spatial Reference Properties| XY Coordinate System**. se georreferencia **WGS 194 UTM Zone 17S**.

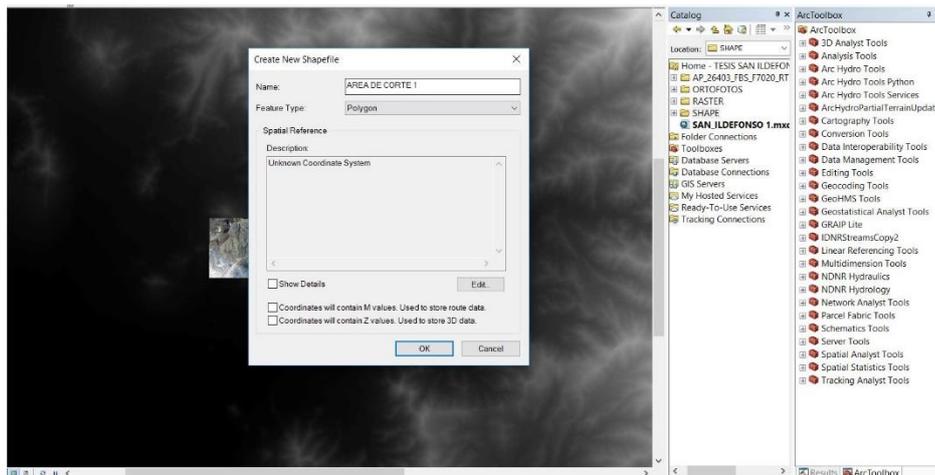


Figura 52: Recortar un DEM (raster) en ArcMap

En la tabla de contenidos el programa automáticamente crea un archivo tipo poligonal con el nombre **AREA DE CORTE 1** se ingresa a **Create Features | AREA DE CORTE 1 | Rectangle**, con la ayuda de las ortofotos georreferenciadas se selecciona el área de interés a recortar.

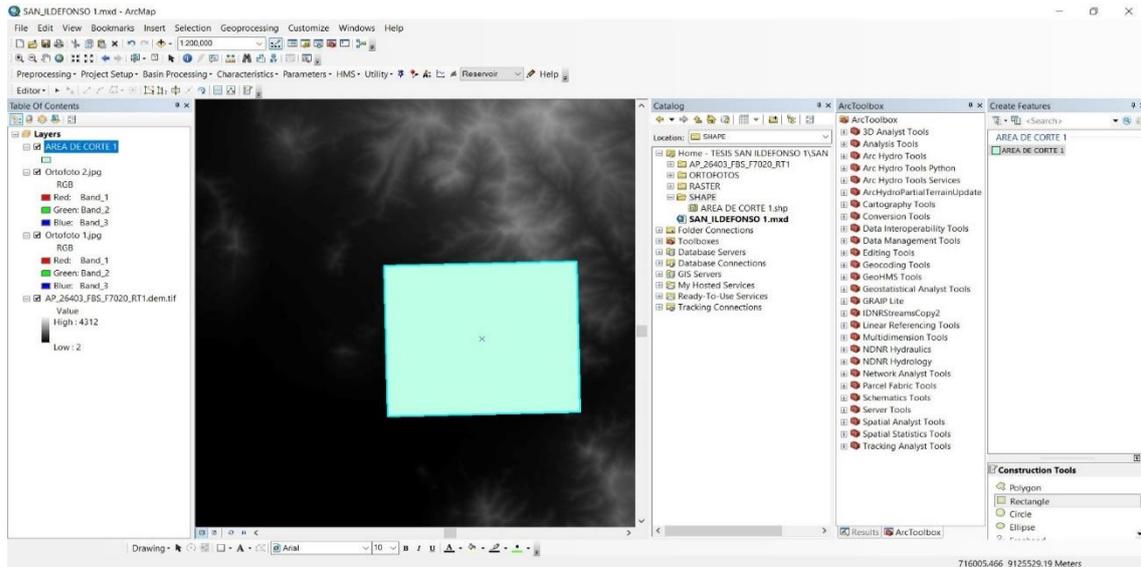


Figura 53: Selección del área de recorte

En la sesión de ArcMap, se selecciona en ArcToolbox | Spatial Analyst Tools | Extraction | Extract by Mask. En el cuadro de dialogo en Input ráster se ingresa el archivo ráster (AP_26403_FBS_F72020_RT1.dem.tif), asimismo en Input ráster or feature mask data se adiciona el polígono (AREA DE CORTE 1) y en Output ráster se selecciona la ruta y el nombre del ráster de salida (DEM)

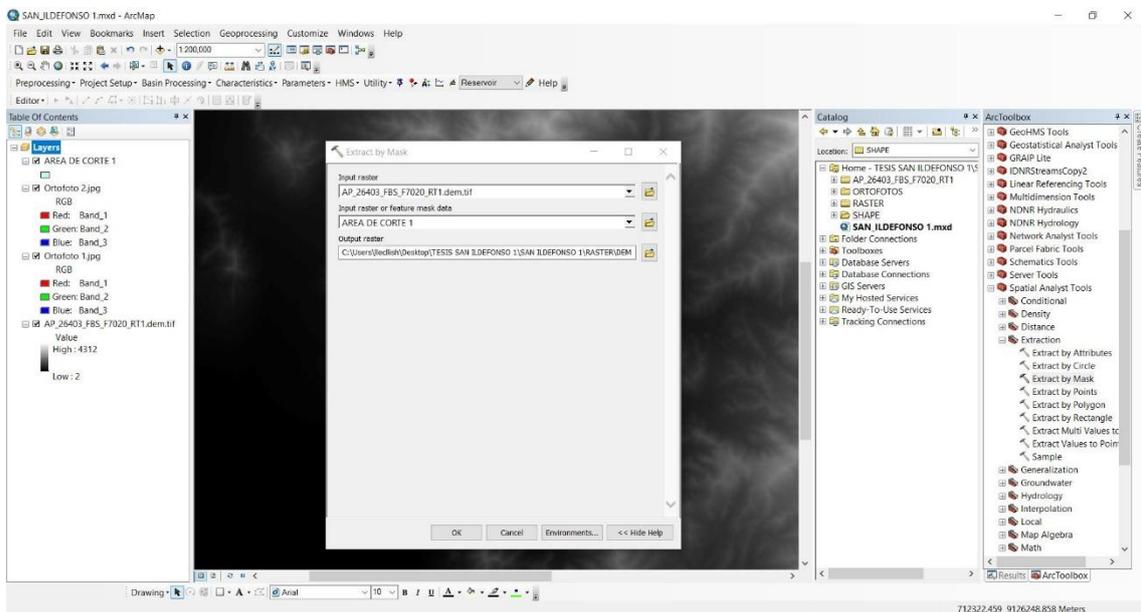


Figura 54: Recorte del DEM con la herramienta Extract by Mask

En la tabla de contenidos se muestra el archivo ráster DEM recortado con la herramienta Extract by Mask el cual será utilizado para el trabajo con HEC-GeoHMS

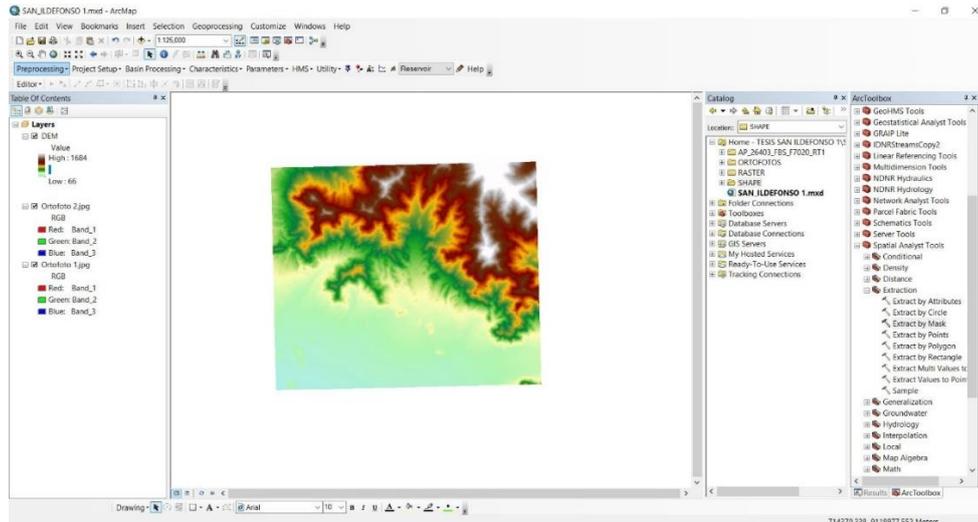


Figura 55: DEM recortado para el modelamiento con HEC- GeoHMS

2.4.2.4. Ubicación de Descarga de Microcuenca

2.4.2.4.1.1. Pre procesamiento

El menú de pre procesamiento en **HEC-GeoHMS** proporciona herramientas para crear las microcuencas y la red de ríos del sistema hidrológico. Este proceso involucra usar el Modelo de Elevación Digital (**DEM**).

2.4.2.4.1.1.1. Fill Sinks (Fill)

Se usa la herramienta **Fill Sinks**, que permite rellenar vacíos en la superficie del ráster para quitar imperfecciones en la información del **DEM**. Se selecciona **Preprocessing | Fill Sinks**.

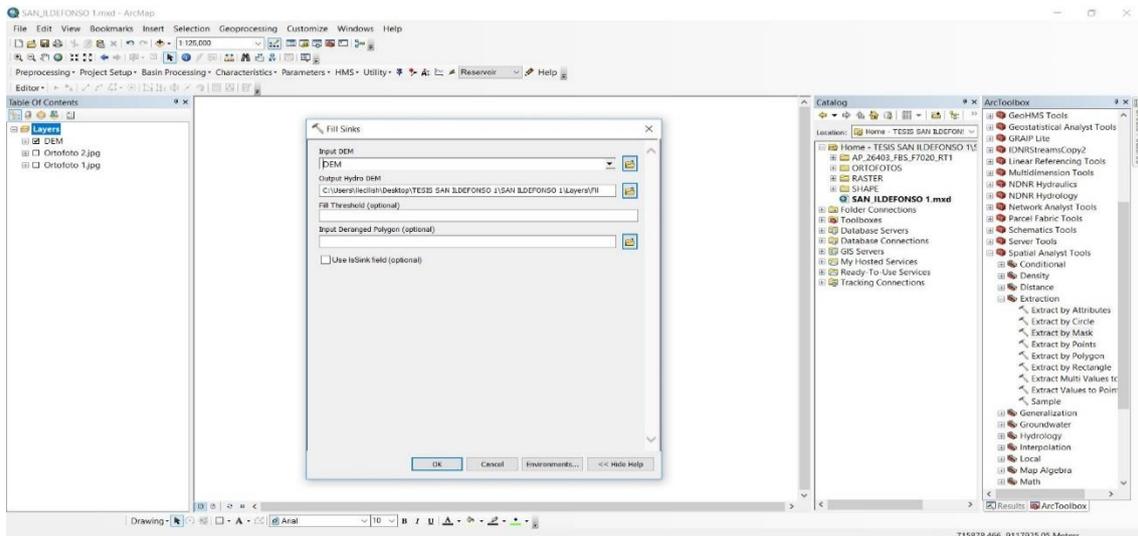


Figura 56: Eliminación de imperfecciones del DEM.

En el cuadro de dialogo se ingresa el ráster **DEM**, se selecciona la ruta y el nombre del archivo de salida; el programa por defecto crea la carpeta Layers donde se almacenará el archivo ráster “**Fil**”.

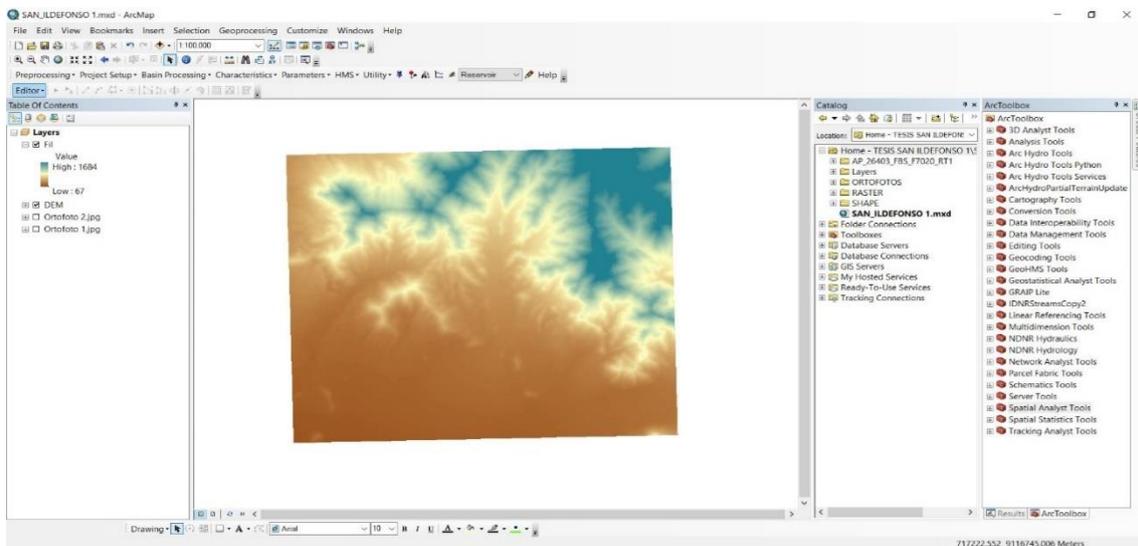


Figura 57: Ráster generado con la herramienta Fill Sinks

2.4.2.4.1.1.2. Flow Direction (Fdr)

Por medio de la herramienta **Flow Direction**, se crea un ráster con la dirección de flujo de cada una de sus celdas hasta su vecina cuesta abajo. Se selecciona Preprocessing | **Flow Direction**.

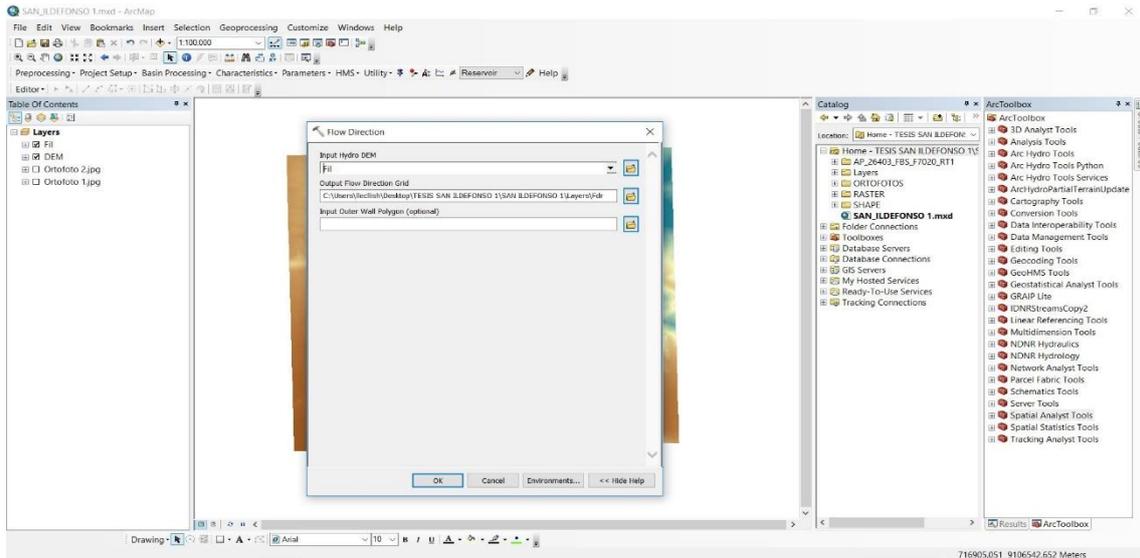


Figura 58: Dirección de flujo

En el cuadro de diálogo se ingresa el ráster generado con la herramienta **Fill**, se selecciona la ruta y el nombre del archivo de salida; el programa por defecto crea la carpeta Layers donde se almacenará el archivo ráster “Fdr”.

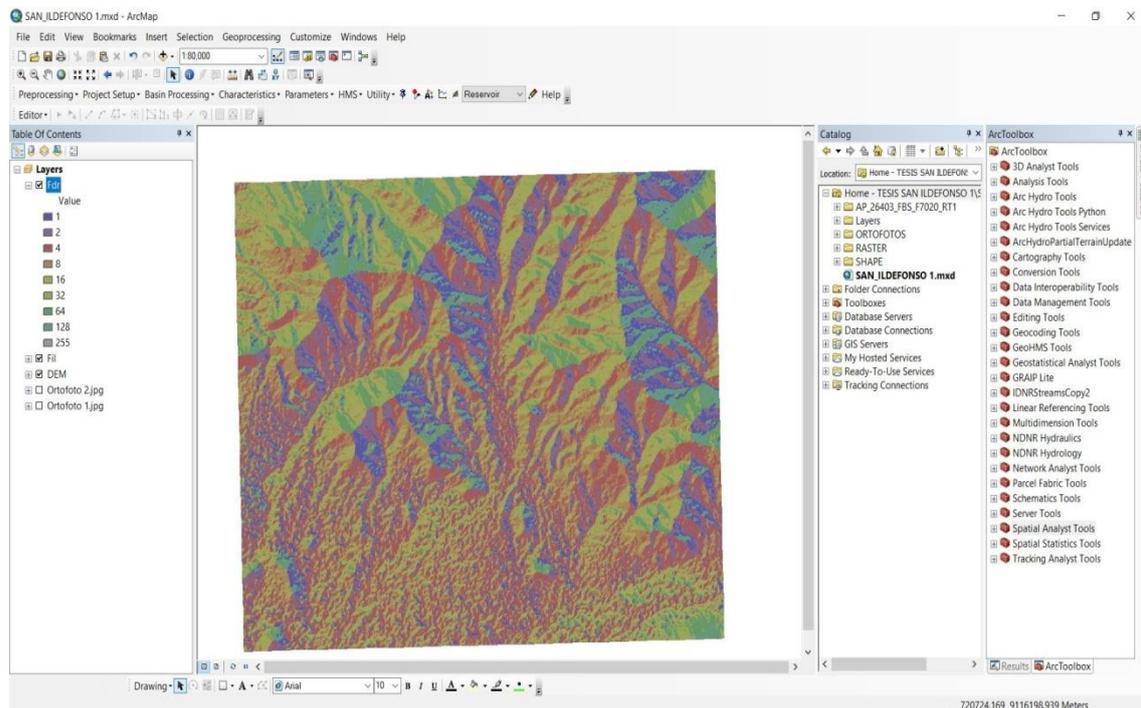


Figura 59: Ráster generado con la herramienta Flow Direction

2.4.2.4.1.1.3. Flow Accumulation (Fac)

Con la herramienta **Flow Accumulation**, se crea un ráster del flujo acumulado para cada una de sus celdas, calcula para cada celda la cantidad de agua que fluye dentro de la celda desde todas las celdas que drenan hacia ella. Se selecciona **Preprocessing | Flow Accumulation**.

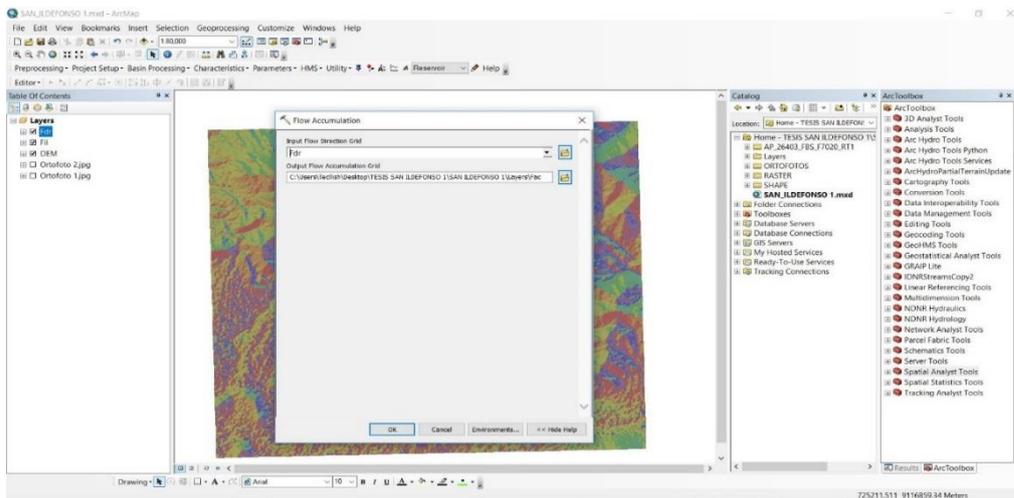


Figura 60: Acumulación de flujo

En el cuadro de dialogo, la entrada de esta herramienta es el archivo ráster generado con la herramienta **Flow Direction**. Se selecciona la ruta y el nombre del archivo de salida; el programa por defecto crea la carpeta Layers donde se almacenará el archivo ráster “**Fac**”.

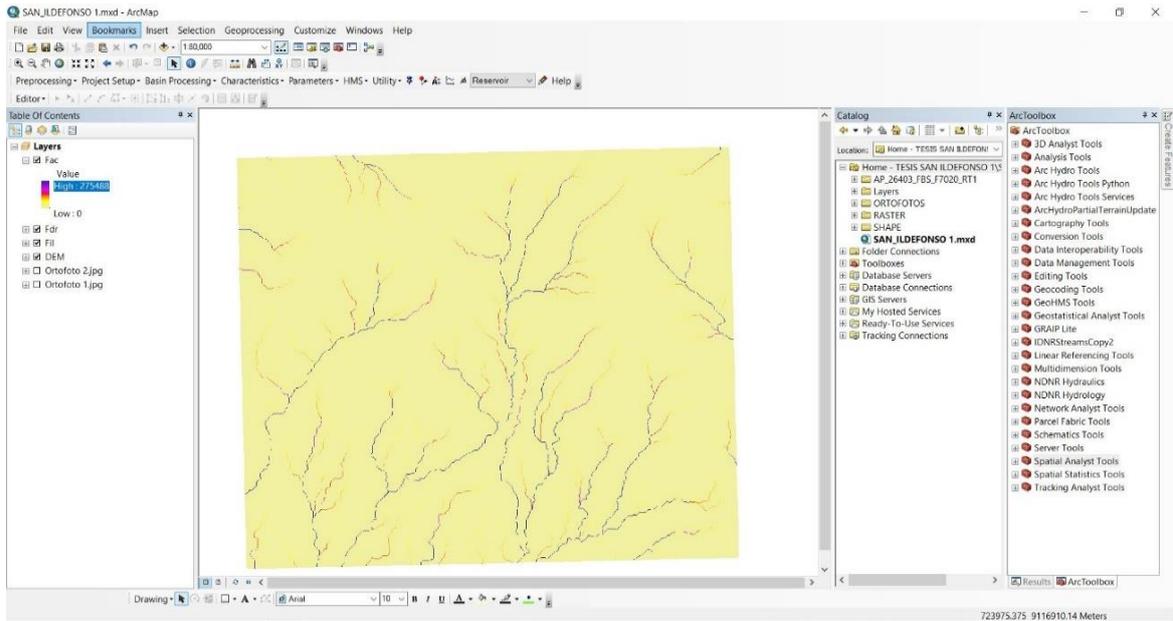


Figura 61: Ráster generado con la herramienta Flow Accumulation

2.4.2.4.1.1.4. Stream Definition (Str)

Con la herramienta **Stream Definition**, se crea un ráster en donde se clasifican todas las celdas con acumulación de flujo superior a un umbral especificado como celdas pertenecientes a la red de flujo. se selecciona **Preprocessing | Stream Definition**.

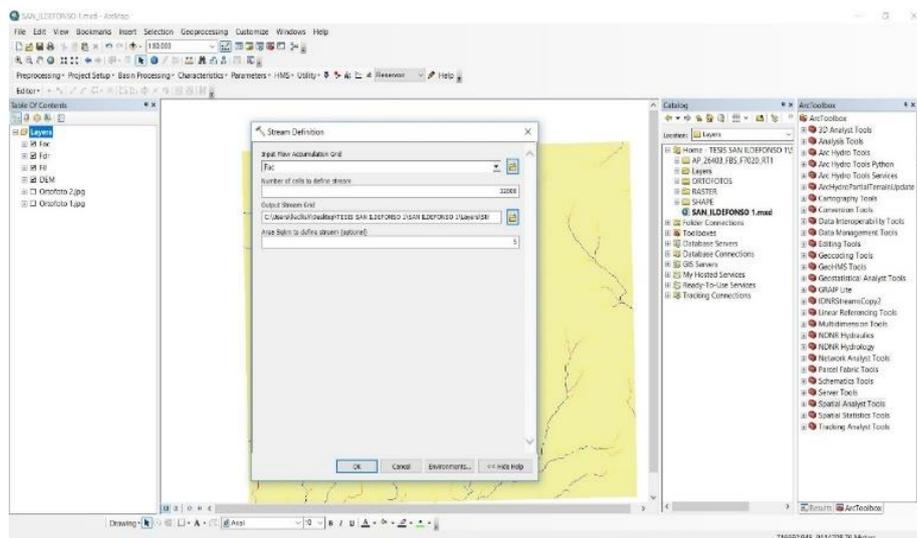


Figura 62: Definición de la corriente de la red hídrica

En el cuadro de dialogo, la entrada de esta herramienta es el archivo ráster generado con la herramienta **Flow Accumulation**. Se selecciona la ruta y el nombre del archivo de salida; el programa por defecto crea la carpeta Layers donde se almacenará el archivo ráster “**Str**”.

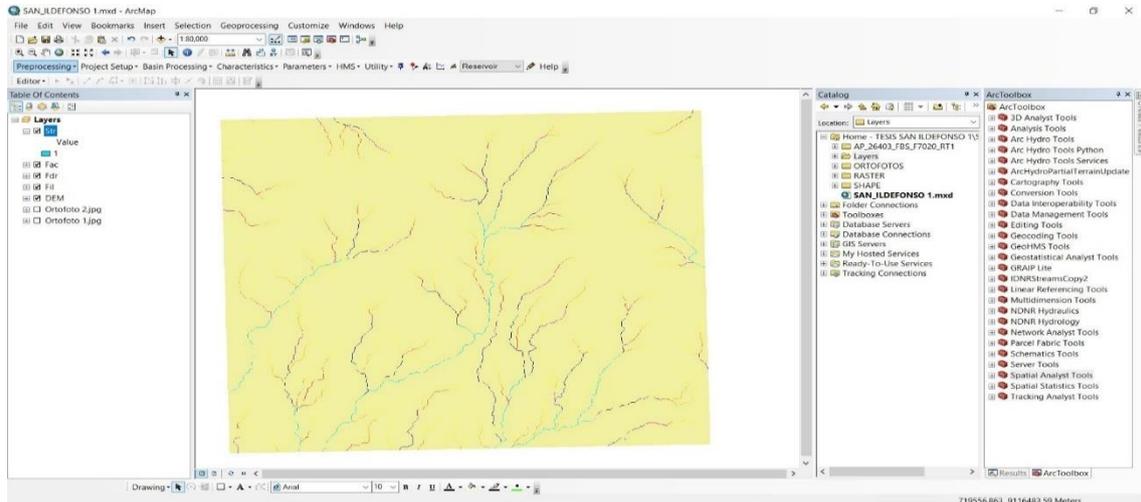


Figura 63: Ráster generado con la herramienta Stream Definition

2.4.2.4.1.1.5. Stream Segmentation (StrLnk)

Con la herramienta **Stream Segmentation** se crea un ráster donde se dividen las corrientes en segmentos. La segmentación de corrientes o enlaces son las secciones de una corriente que conecta dos uniones sucesivas, una unión y una salida, o una unión y división de drenajes. Se selecciona **Preprocessing | Stream Segmentation**.

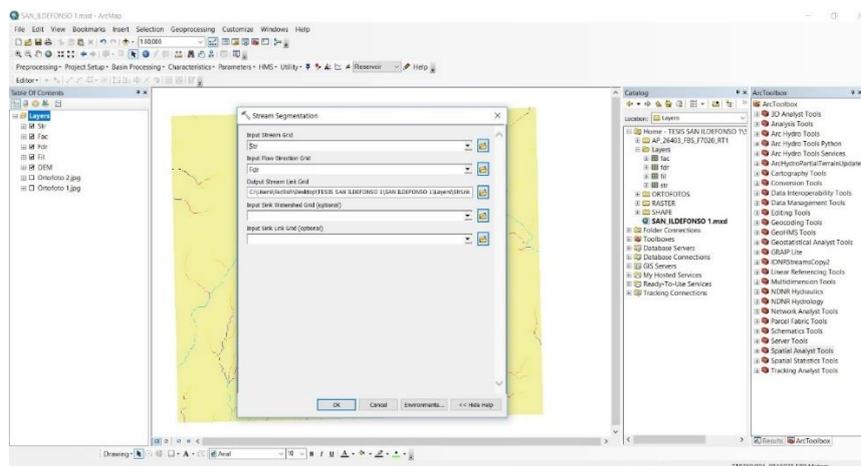


Figura 64: Segmentación de corrientes

En el cuadro de dialogo, la entrada de esta herramienta son los archivos ráster generados con las herramientas **Stream Definition y Flow Direction**. Se selecciona la ruta y el nombre del archivo de salida; el programa por defecto crea la carpeta Layers donde se almacenará el archivo ráster “**StrLnK**”.

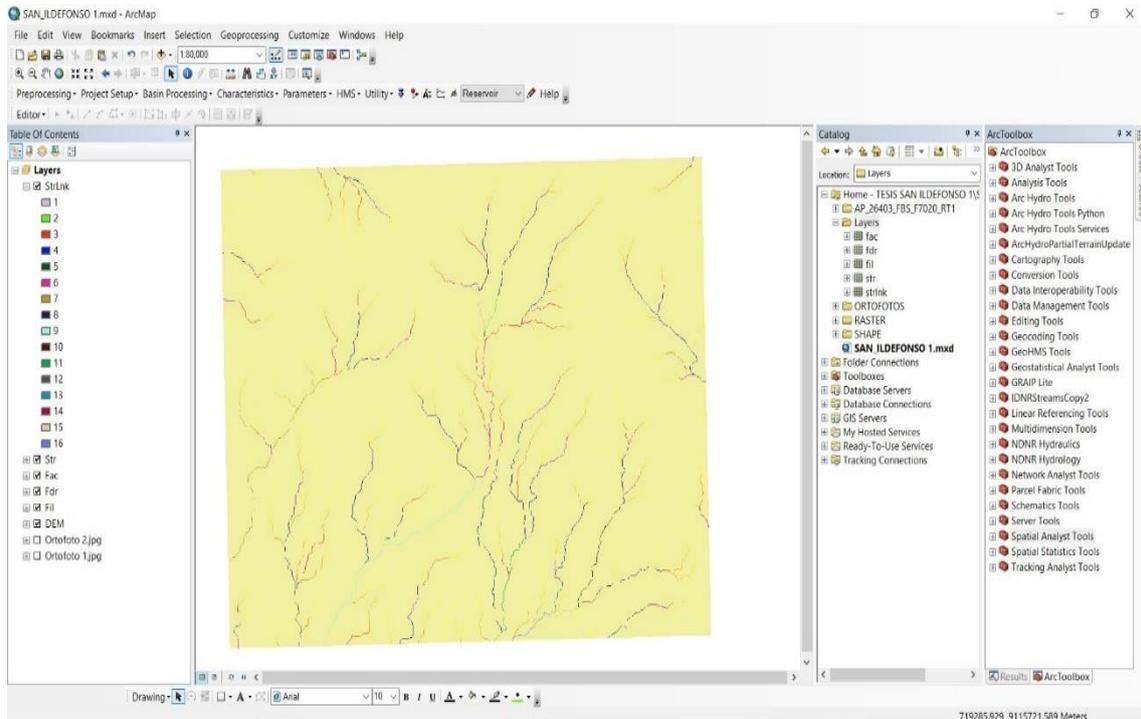


Figura 65: Ráster generado con la herramienta Stream Segmentation

2.4.2.4.1.1.6. Catchment Grid Delineation (Cat)

Con la herramienta **Catchment Grid Delineation** se crea un ráster en donde se delinea la microcuenca para todos los segmentos de las corrientes. Se selecciona **Preprocessing | Catchment Grid Delineation**.

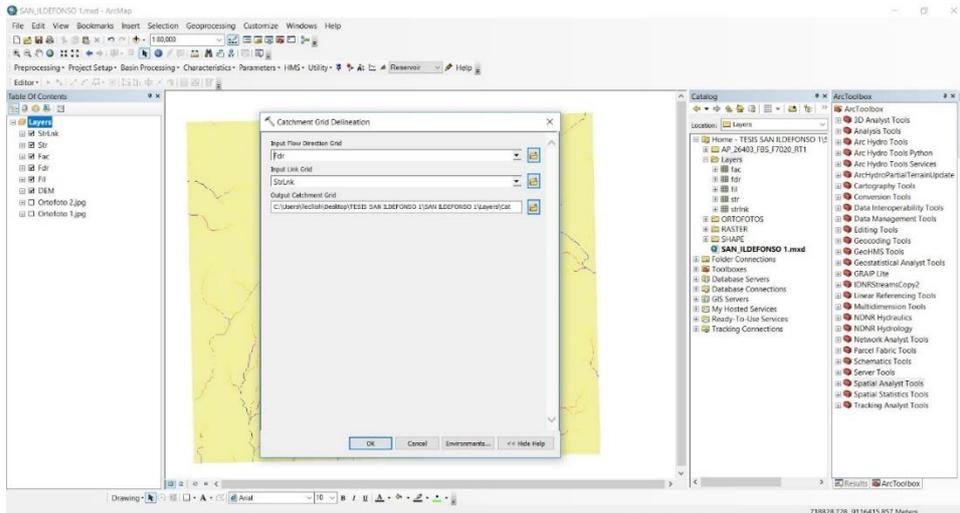


Figura 66: Delineación de corrientes

En el cuadro de dialogo, la entrada de esta herramienta son los archivos ráster generados con las herramientas **Flow Direction** y **Stream Segmentation**. Se selecciona la ruta y el nombre del archivo de salida; el programa por defecto crea la carpeta Layers donde se almacenará el archivo ráster “Cat”.

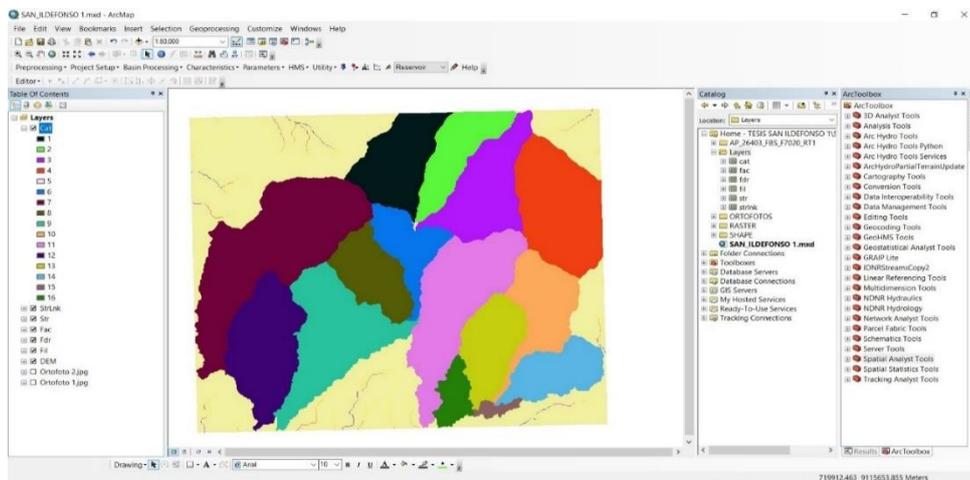


Figura 67: Ráster generado con la herramienta *Catchment Grid Delineation*

2.4.2.4.1.1.7. Drainage Line Processing

Con la herramienta **Drainage Line Processing** se crea un ráster en donde se procesan las líneas de drenaje de la microcuenca. Se selecciona **Preprocessing | Drainage Line Processing**.

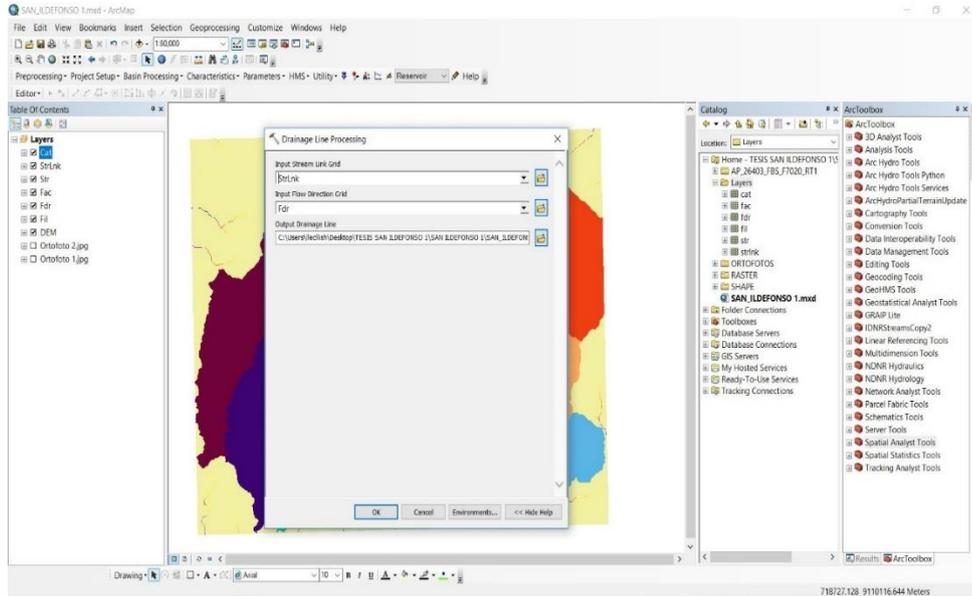


Figura 68: Procesamiento de las líneas de drenaje

En el cuadro de dialogo, la entrada de esta herramienta son los archivos ráster generados con las herramientas **Stream Segmentation y Flow Direction**. Se selecciona la ruta y el nombre del archivo de salida; el programa por defecto crea la carpeta Layers donde se almacenará el archivo ráster **“DrainageLine”**.

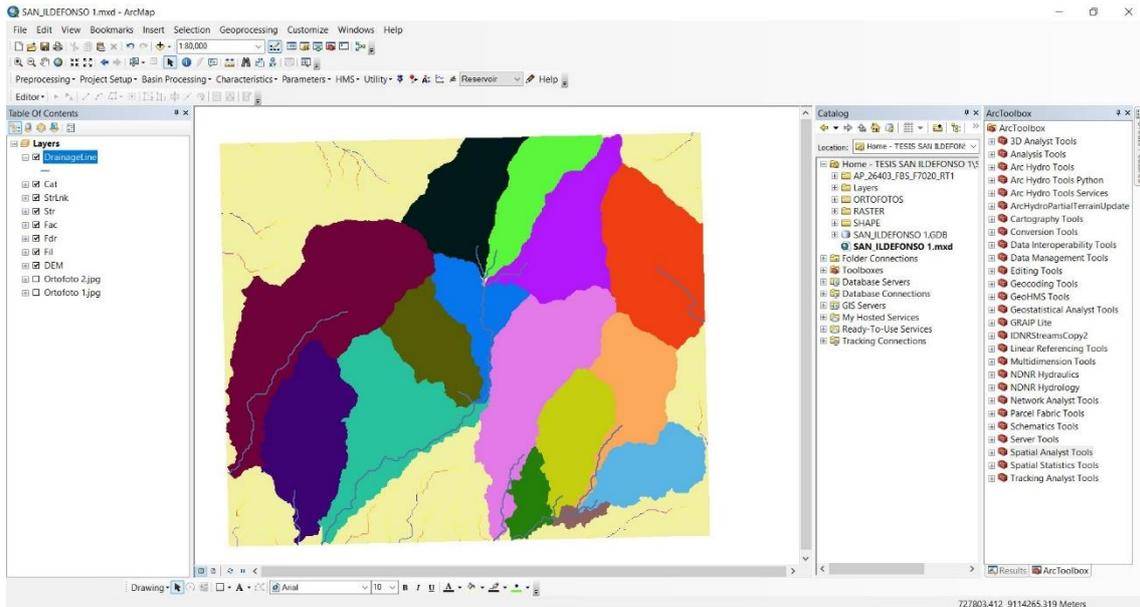


Figura 69: Ráster generado con la herramienta Drainage Line Processing

2.4.2.4.1.1.8. Catchment Polygon Processing

Con la herramienta **Catchment Polygon Processing** se crea un ráster en donde, se convierte las microcuencas de representación grid a una representación vectorial. Se selecciona **Processing| Catchment Polygon Processing**.

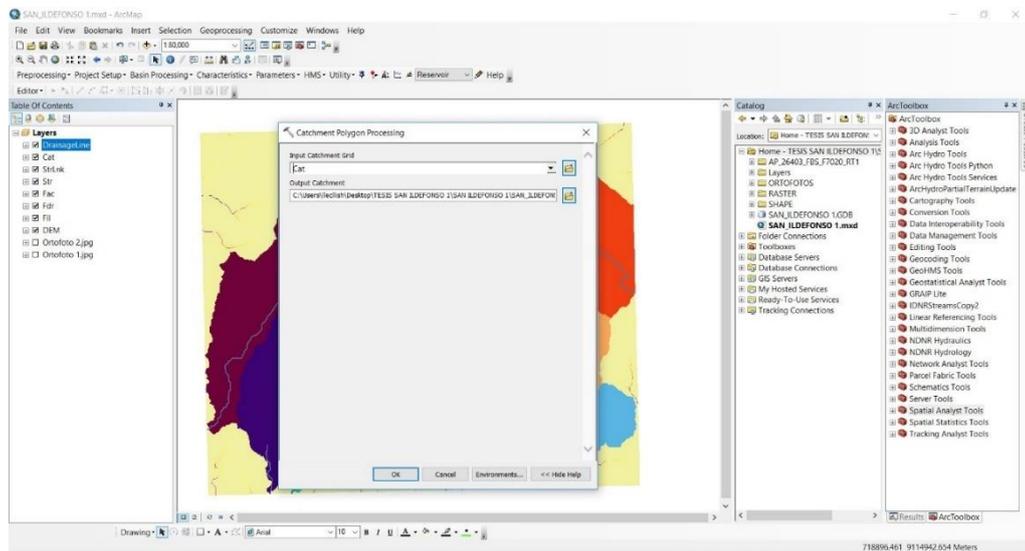


Figura 70: Procesamiento de los Polígonos

En el cuadro de dialogo Ingresamos el ráster generado con la herramienta **Catchment Grid Delineation**, se selecciona la ruta y el nombre del archivo de salida; el programa por defecto crea la carpeta Layers donde se almacenará el archivo ráster “**Catchment**”.

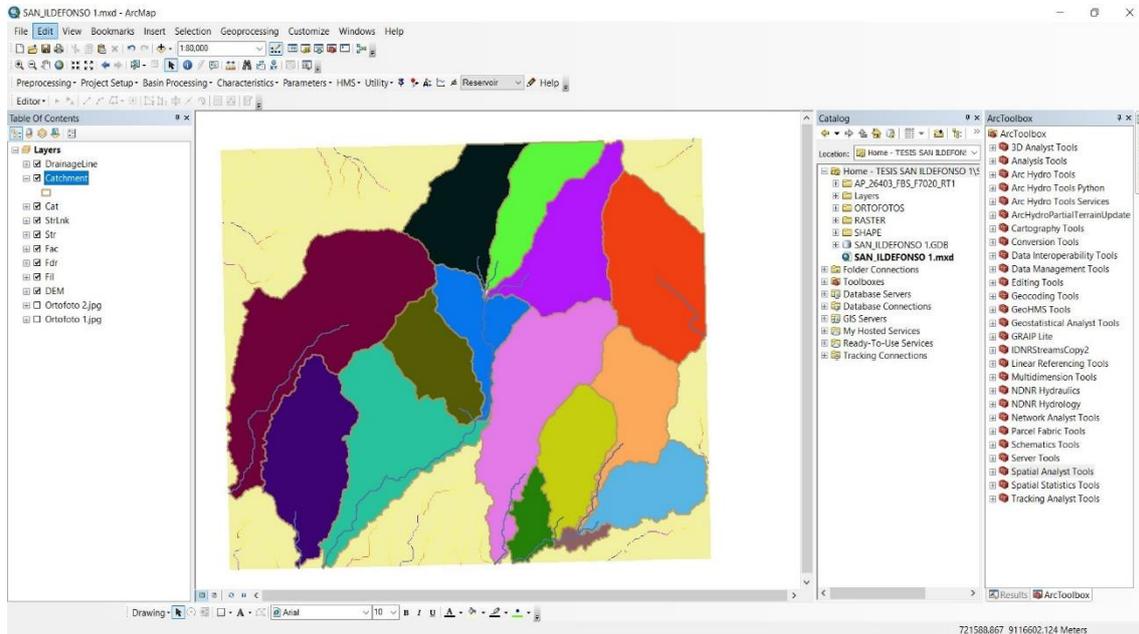


Figura 71: Ráster generado con la herramienta *Catchment Polygon Processing*

2.4.2.4.1.1.9. Adjoint Catchment Processing

Con la herramienta **Adjoint Catchment Processing** se agrega la microcuenca desde aguas arriba en cada confluencia, sirve para mejorar la ejecución de los cálculos en la delimitación de las microcuencas y extracción de los datos. Se selecciona **Processing| Adjoint Catchment Processing**.

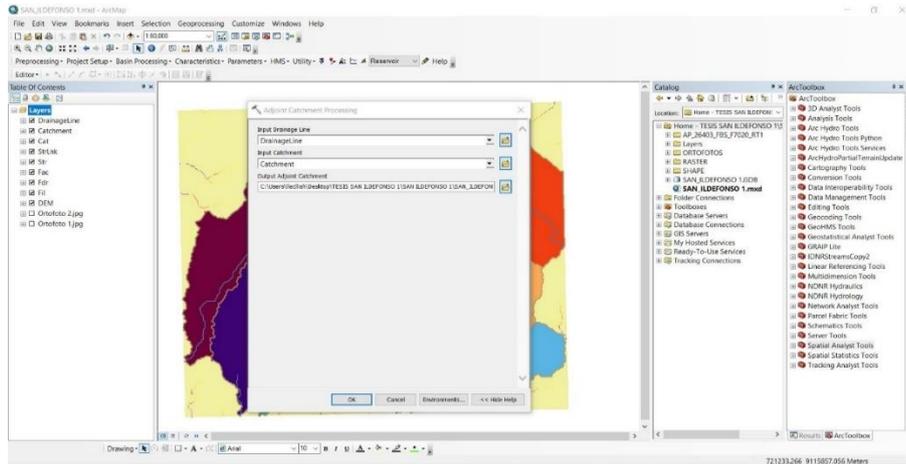


Figura 72: Procesamiento de microcuencas adjuntas

En el cuadro de diálogo Ingresamos el ráster generado con la herramienta **Drainage Line Processing** y **Catchment Polygon Processing**, se selecciona la ruta y el nombre del archivo de salida; el programa por defecto crea la carpeta **Layers** donde se almacenará el archivo ráster “**AdjointCatchment**”.

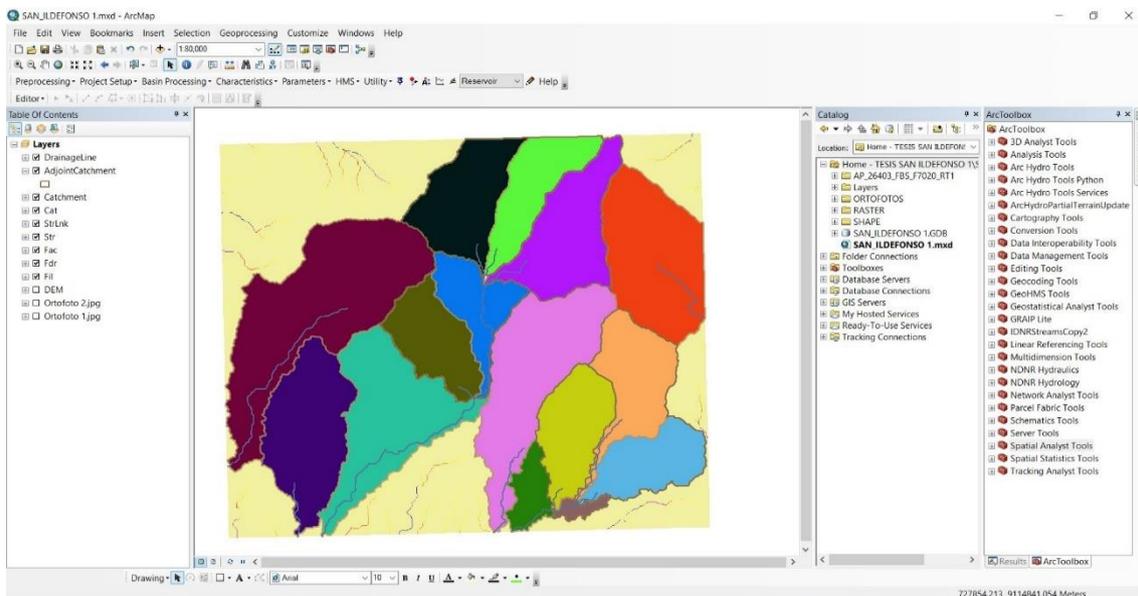


Figura 73: Ráster generado con la herramienta Adjoint Catchment Processing

2.4.2.4.1.2. Start/ Generate New Project

En el menú del **HEC-GeoHMS**, Con la herramienta **Projec Setup**, se extraen los datos necesarios que serán utilizados para crear un nuevo proyecto en HMS. Se selecciona **Projec Setup| Start New Project**, se ingresa el nombre del nuevo proyecto y la descripción.

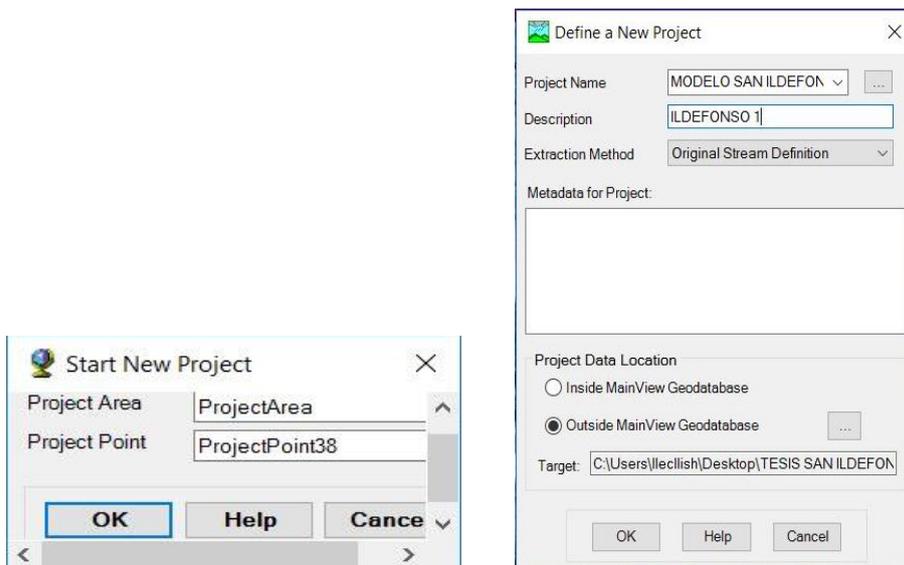


Figura 74: Definición del nuevo proyecto

Con la herramienta **Add Project Points**, se especifica el punto de descarga y en el cuadro de dialogo se le da nombre y la descripción al punto de descarga. se selecciona **Project Setup| Generate Project**, generando así el nuevo proyecto.

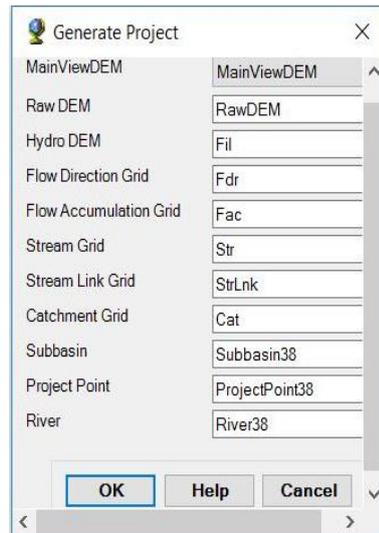
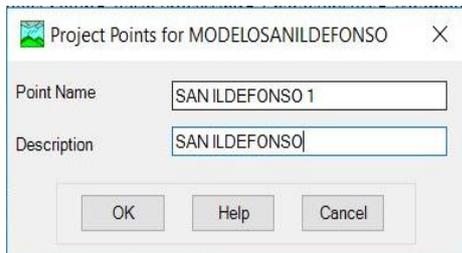


Figura 75: Generación del nuevo proyecto

Los datos de interés se obtienen del área de descarga y se agregan a la estructura de datos del nuevo proyecto **“MODELOSANILDEFONSO”**.

En la sesión de ArcMp en el proyecto **“SAN_ILDEFONSO 1”** se puede ver la data adicionada en la tabla de contenidos.

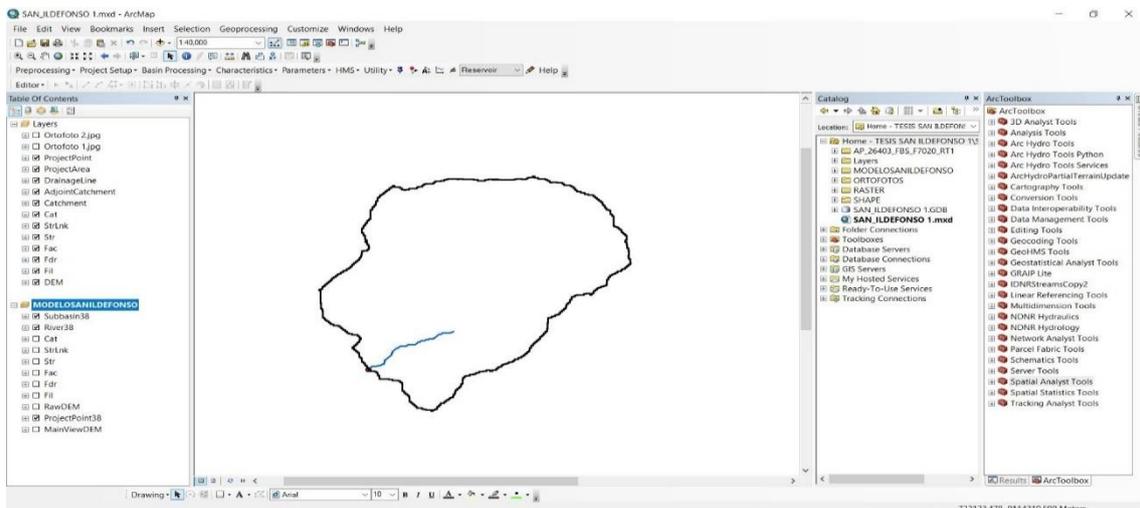


Figura 76: Delimitación de la cuenca

2.4.2.4.1.3. Características

La lista de “Characteristics” en **HEC-GeoHMS** proporciona herramientas para la extracción de las características físicas de la cuenca y tributarios dentro de tablas de atributos, las cuales son utilizadas posteriormente para determinar los parámetros útiles para la modelación hidrológica.

2.2.2.1.1.1.1. River Length

Con la herramienta **River Length** se obtiene el cálculo de la longitud del río. Se selecciona **Characteristics| River Length**. En el cuadro de dialogo se ingresa **River 38**

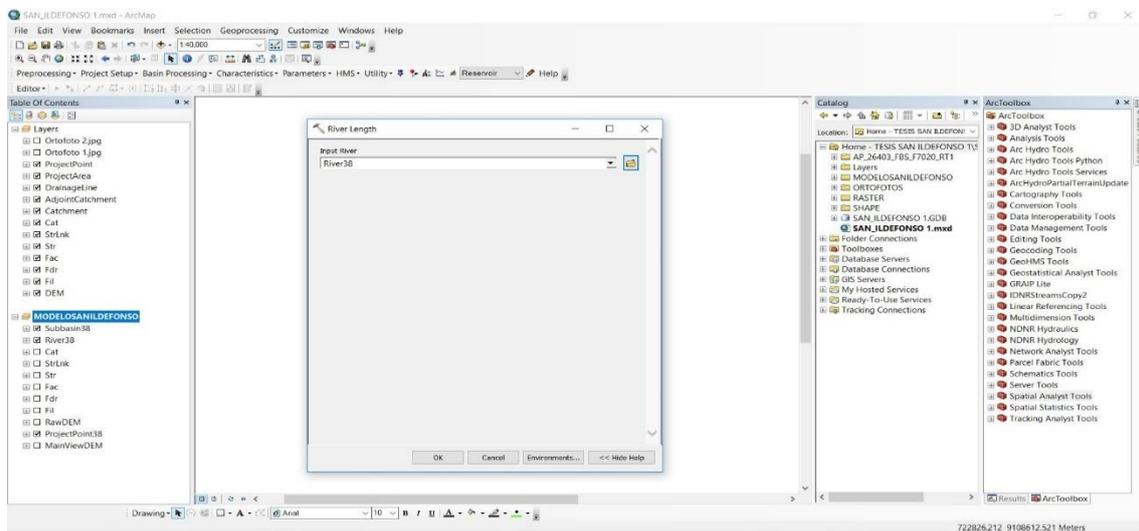


Figura 77: Calculo de la longitud del rio

Se selecciona **River 38| Open Attribute Table** se muestra una tabla de atributos donde se estimó la longitud del río “**RivLen**”.

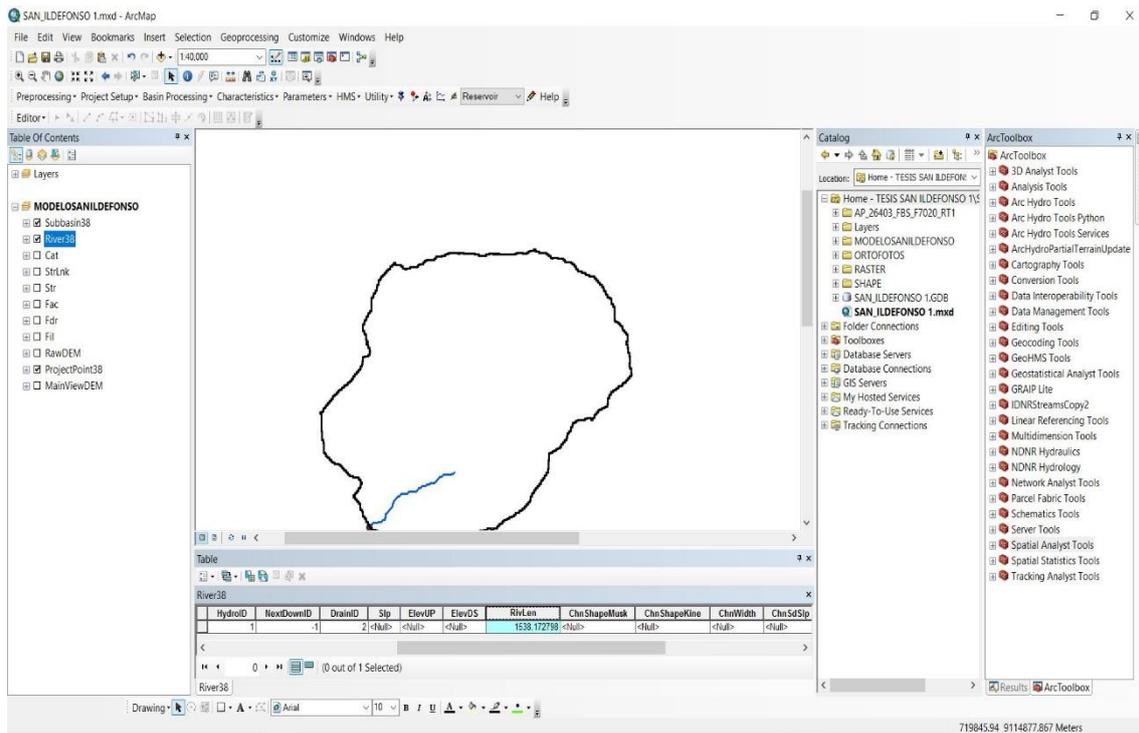


Figura 78: Tabla de Atributos de la longitud del rio

2.4.2.4.1.3.1. River Slope

Con la herramienta **River Slope** el programa determina la elevación de los tramos del rio aguas arriba y aguas abajo y en base a ello calcula la pendiente del rio. Se selecciona **Characteristics| River Slope**. En el cuadro de dialogo se ingresa **RawDEM** y **River 38**

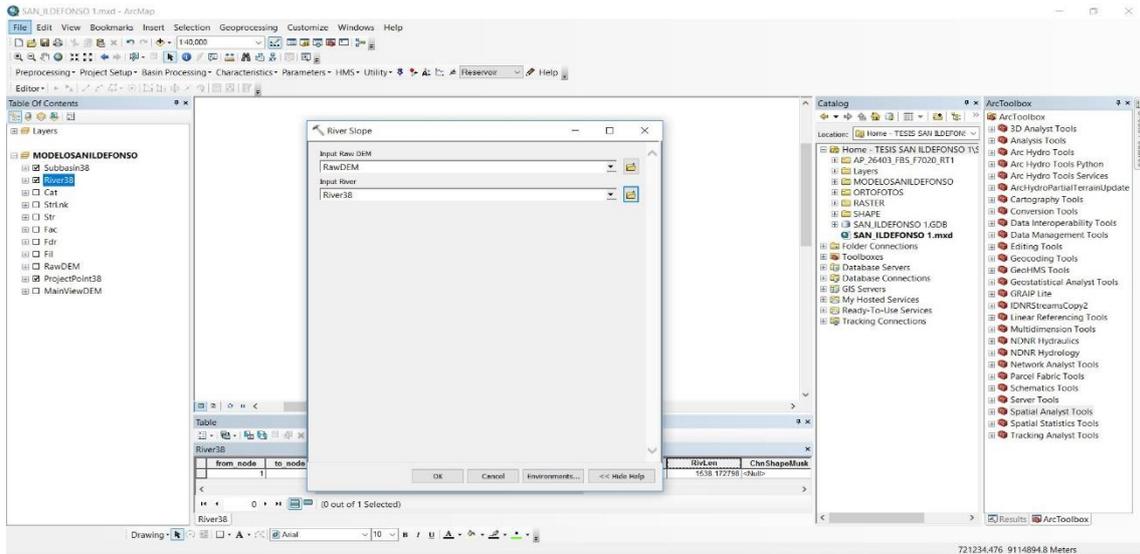


Figura 79: Calculo de la pendiente del rio

Se selecciona **River 38| Open Attribute Table** se muestra una tabla de atributos donde se estimó la pendiente del rio “Slp”.

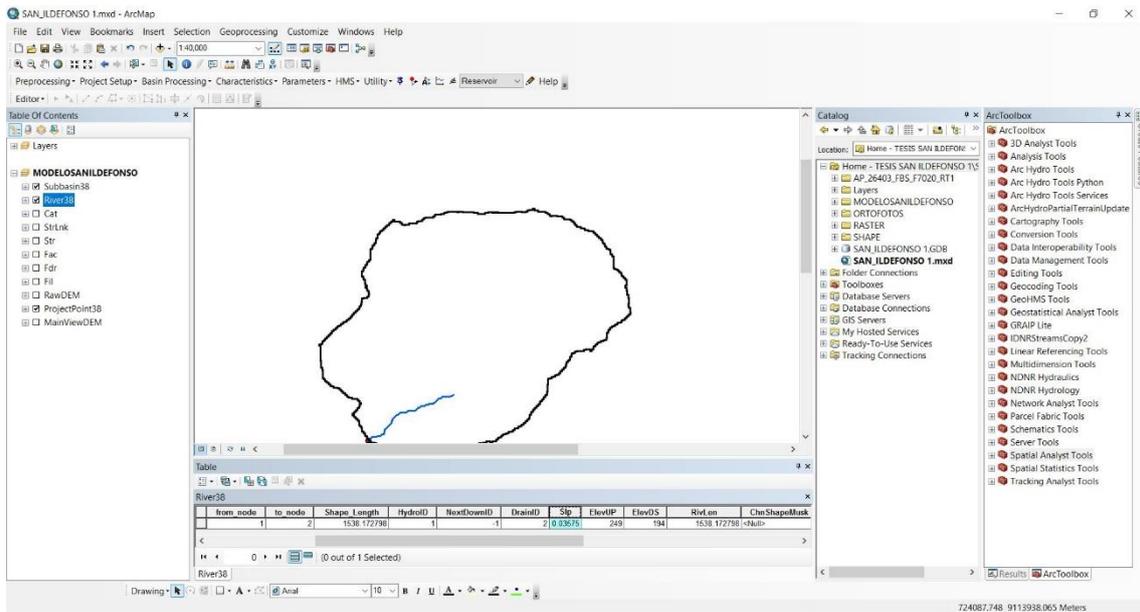


Figura 80: Tabla de Atributos de la pendiente del rio

2.4.2.4.1.3.2. Longest Flow Path

Con la herramienta **Longest Flow Path** se obtiene el cálculo de la longitud del recorrido más largo del flujo que va desde la salida de la cuenca hasta la divisoria

de aguas. Se selecciona **Characteristics| Longest Flow Path**. En el cuadro de dialogo se ingresa **RawDEM, Fdr y Subbasin38**

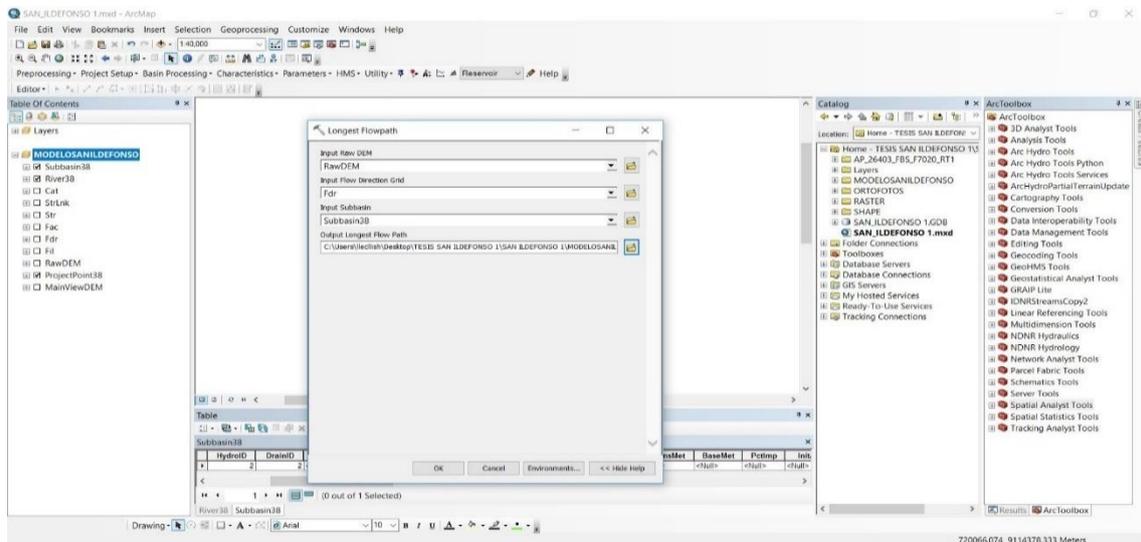


Figura 81: Cálculo del recorrido del flujo más largo

Se selecciona **LongestFlowPath 38| Open Attribute Table** se muestra una tabla de atributos donde se estimó la longitud del recorrido más largo del flujo “LongestFL”.

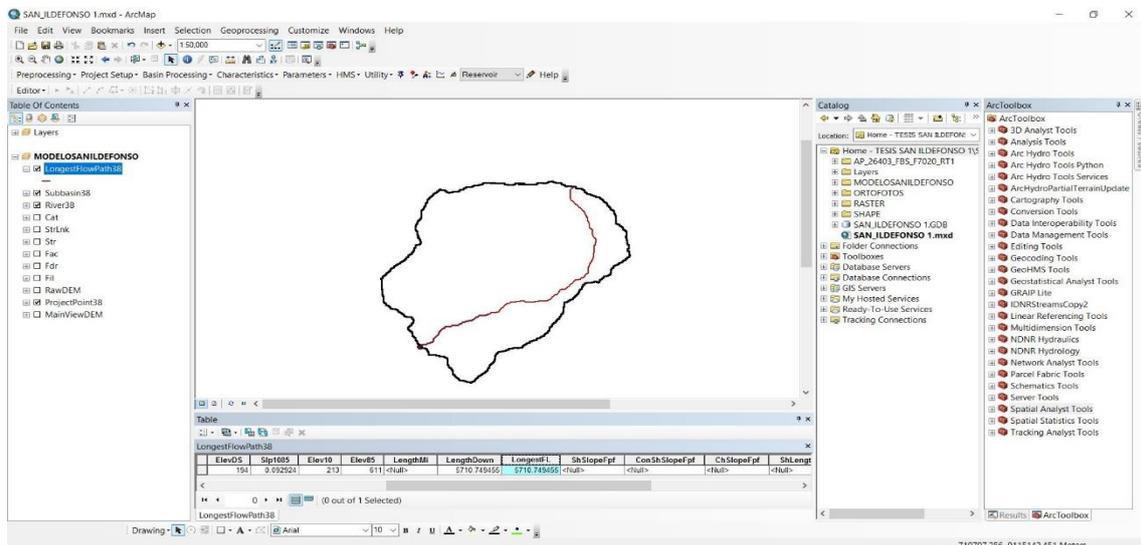


Figura 82: Tabla de Atributos del recorrido más largo del flujo

2.4.2.4.1.3.3. Basin Centroid

Con la herramienta **Basin Centroid** se estima el centroide de la cuenca esto se realiza mediante el método del centro de gravedad. Se selecciona **Characteristics|Basin Centroid**. En el cuadro de dialogo se ingresa **Center of gravity y Subbasin38**.

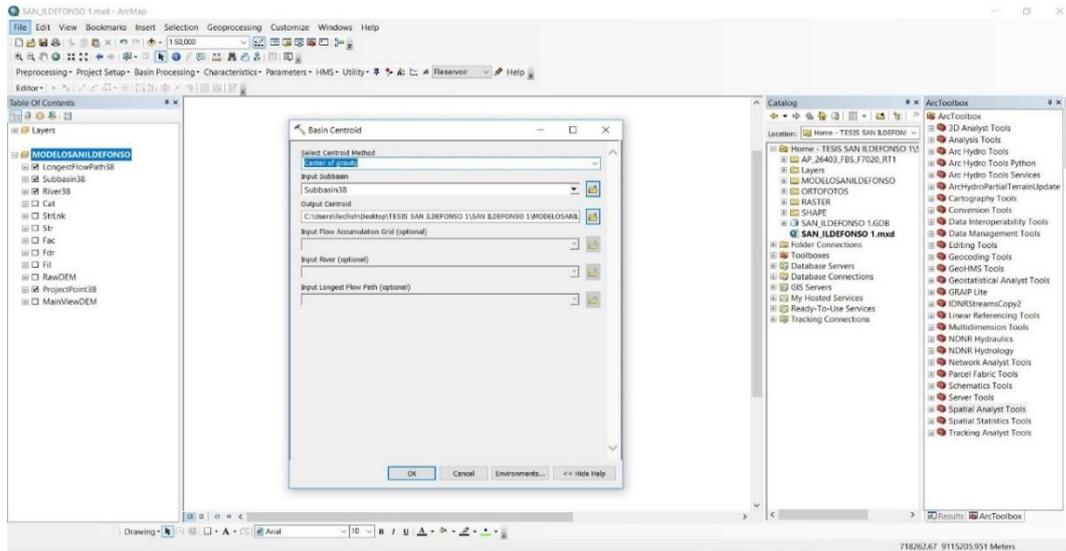


Figura 83: Cálculo del centroide de la cuenca

Se selecciona **Centroid38**, se muestra el centroide de la cuenca estimado por el método del centro de gravedad

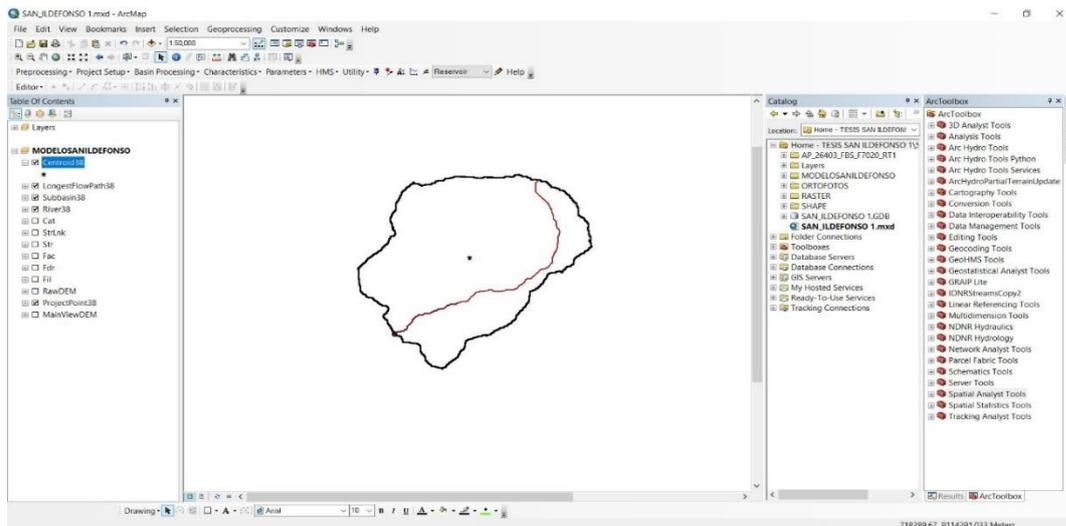


Figura 84: Método del centro de gravedad para el centroide de la cuenca

2.4.2.4.1.3.4. Centroid Elevation

Con la herramienta **Centroid Elevation** se calcula la elevación para cada punto del centroide usando el **DEM**. Se selecciona **Characteristics | Centroid Elevation**. En el cuadro de dialogo se ingresa **RawDEM** y **Centroid38**

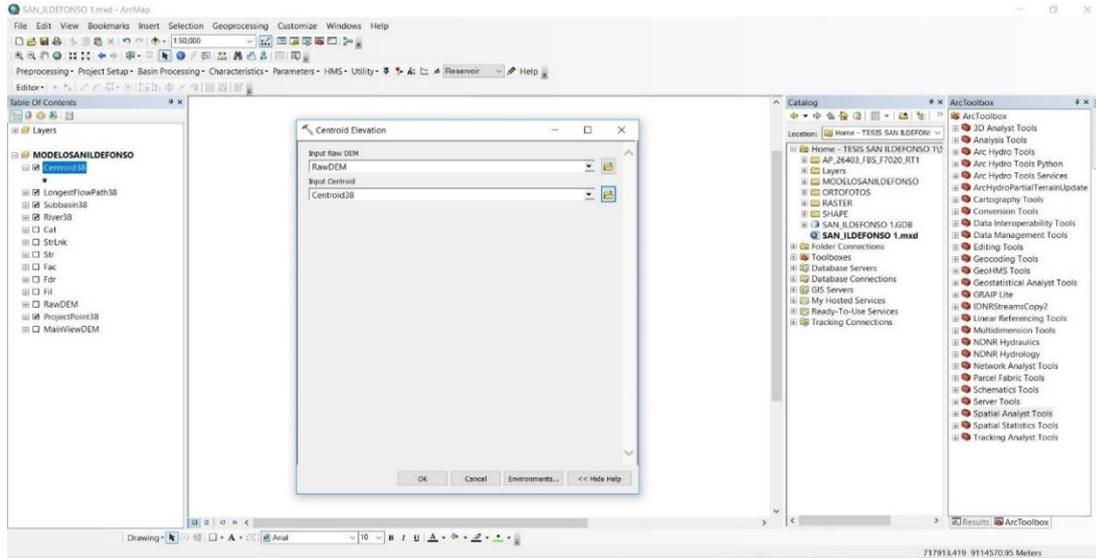


Figura 85: Calculo de la elevación del centroide de la cuenca

Se selecciona **Centroid38 | Open Attribute Table** se muestra una tabla de atributos donde se estimó la elevación del centroide **“Elevation”**.

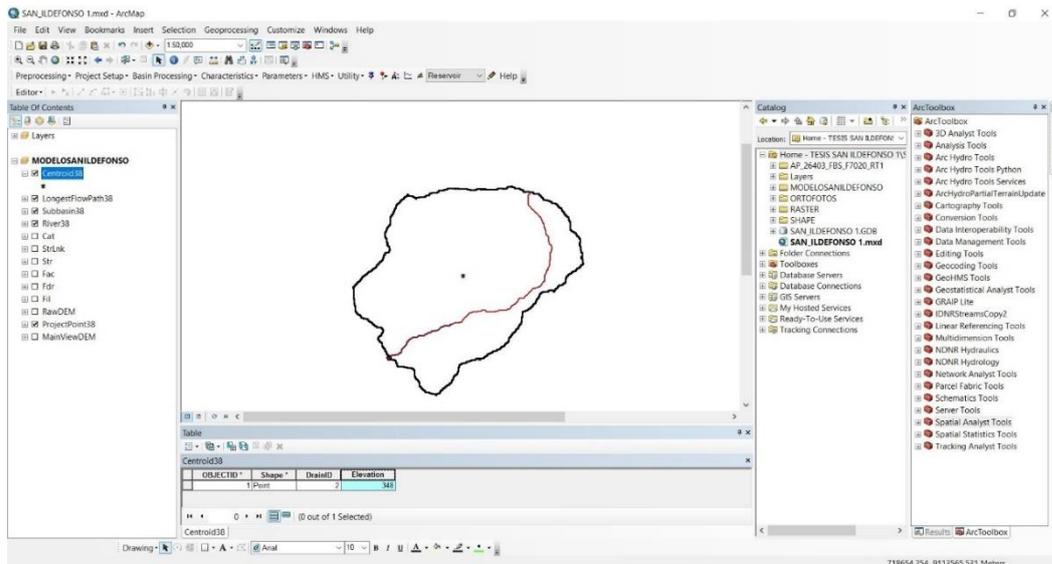


Figura 86:Tabla de atributos de la elevación del centroide de la cuenca

2.4.2.4.1.3.5. Centroid Longest Flow Path

Con la herramienta **Centroid Longest Flow Path** se calcula el recorrido del flujo para cada punto de centroide sobre la trayectoria de flujo más largo. Se selecciona **Characteristics | Centroid Longest Flow Path**. En el cuadro de dialogo se ingresa **Centroid38, Subbasin38 y LongestFlowPath 38**.

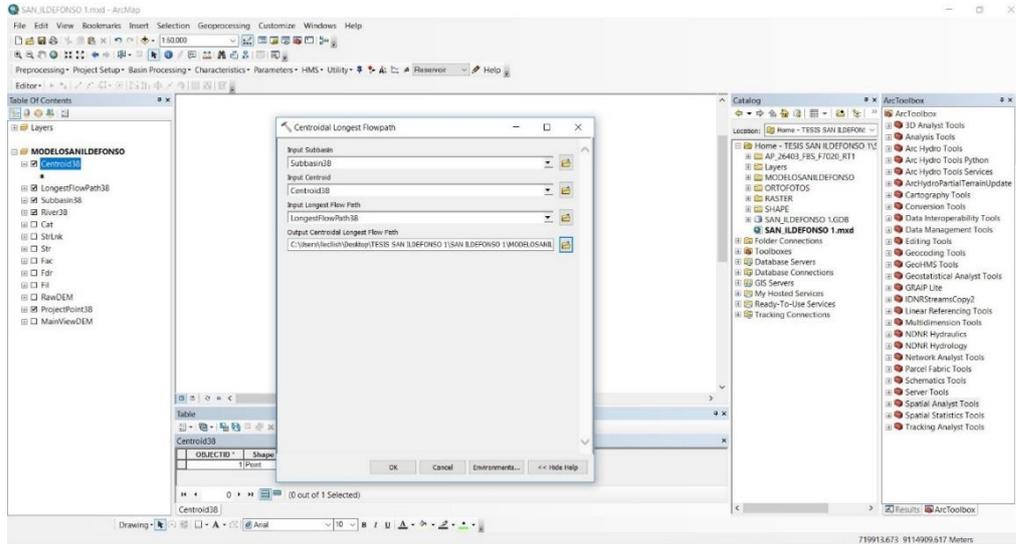


Figura 87: Calculo de la trayectoria centroidal del flujo más largo

Se selecciona **CentroidLongestFlowPath38 | Open Attribute Table** se muestra una tabla de atributos donde se estimó la trayectoria centroidal del flujo más largo **“CentroidalFL”**.

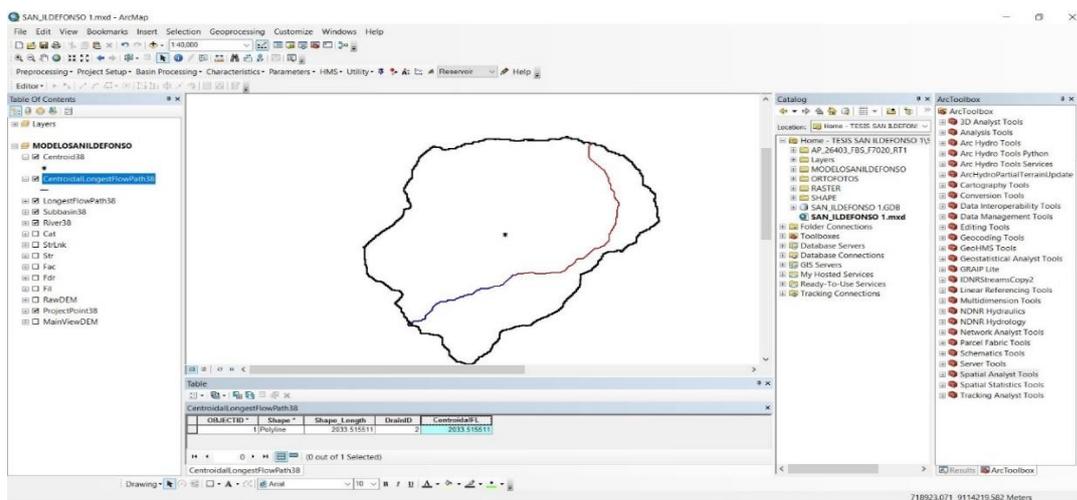


Figura 88:Tabla de atributos de la trayectoria centroidal del flujo más largo

2.4.2.4.1.4. Parámetros

El menú de parámetros hidrológicos en **HEC-GeoHMS** nos proporciona herramientas para calcular y asignar parámetros a la corriente y cuenca de la zona de estudio que serán usados en el modelo **HMS**. Estos parámetros incluyen el número de curva.

2.4.2.4.1.4.1. Select HMS Processes

Con la herramienta **Select HMS Processes** se especifican los métodos que **HMS** debe utilizar para transformar la lluvia en escorrentía y el tránsito del río. Estos métodos son propuestos, que se pueden modificar o asignar dentro del modelo **HMS**. Se selecciona **Parameters | Select HMS Processes**.

En el cuadro de dialogo se ingresa **Subbasin38** y **River 38**. Como método para obtener el exceso de lluvia de la lluvia total, se selecciona en **Loss Method | SCS**; asimismo para convertir el exceso de lluvia a escorrentía directa, se escoge en **Transform Method |SCS**; finalmente no se selecciona ningún método para calcular el flujo base **baseflow Method|None** y para el tránsito del flujo en el río **Route Method|None**.

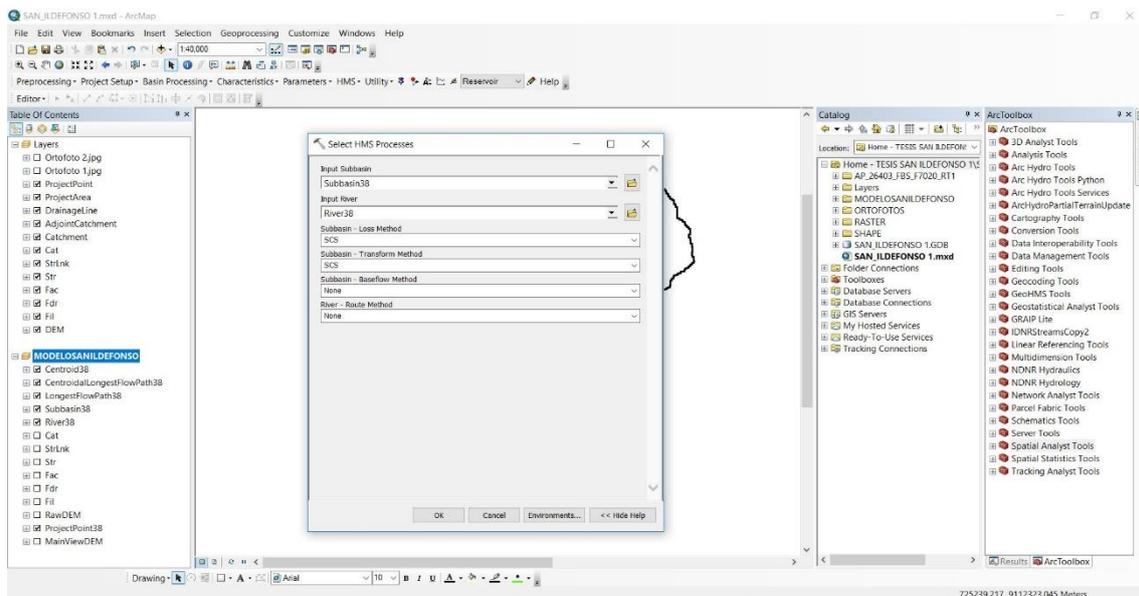


Figura 89: Selección de procesos para HMS

2.4.2.4.1.4.2. River Auto Name

La herramienta **River Auto Name** asigna el nombre a los segmentos del río. Se selecciona **Parameters | River Auto Name**. En el cuadro de dialogo se ingresa **River 38**.

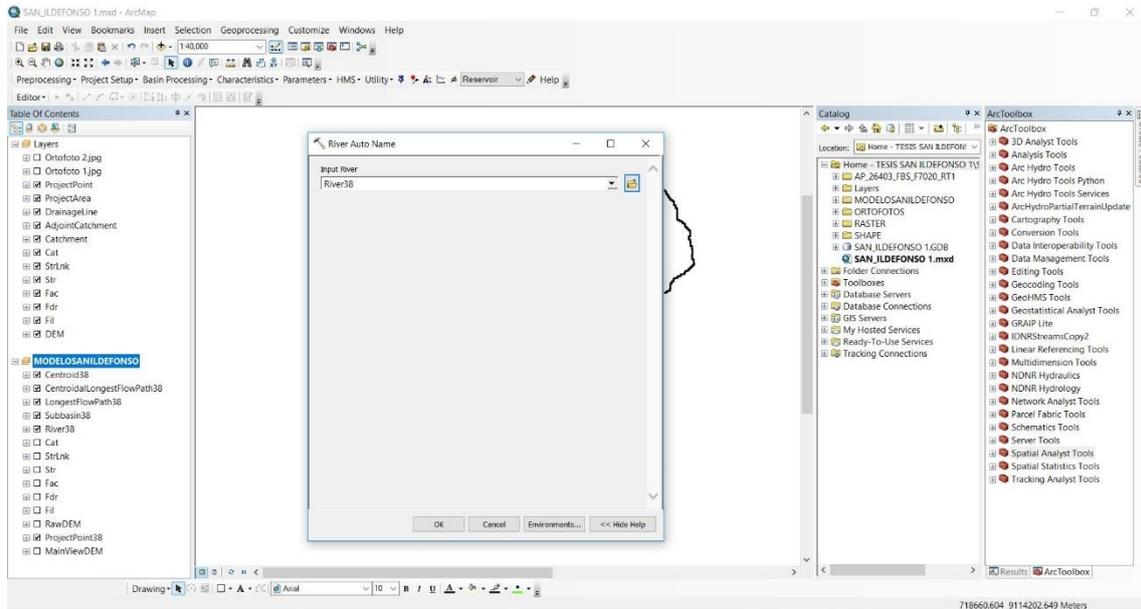


Figura 90: Nombre automático del río

2.4.2.4.1.4.3. Basin Auto Name

La herramienta **Basin Auto Name** asigna el nombre a la cuenca en forma automática. Se selecciona **Parameters | Basin Auto Name**. En el cuadro de dialogo se ingresa **Subbasin38**.

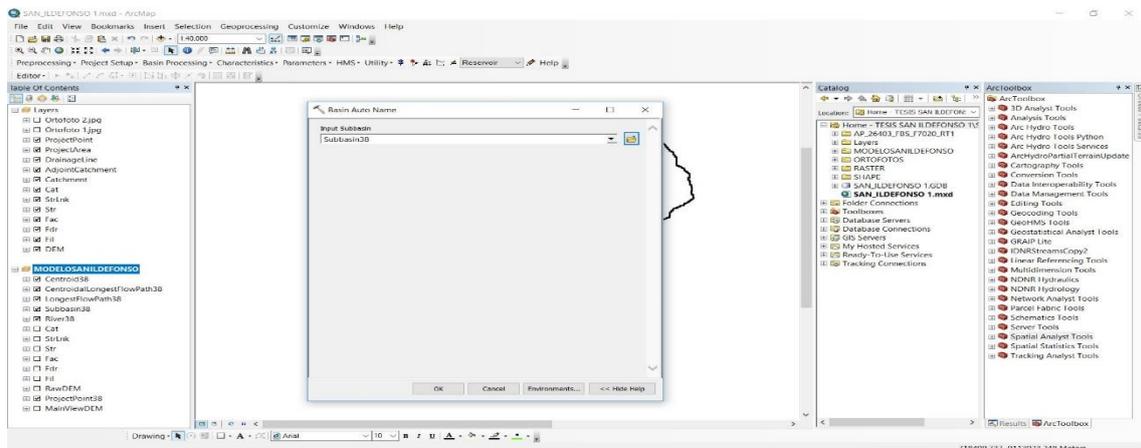


Figura 91: Nombre automático de la cuenca

2.4.2.4.1.4.4. Subbasin Parameters from ráster

Con la herramienta **Subbasin Parameters From Ráster** se calcula, el parámetro de número de curva para la cuenca, usando un raster, Esta función superpone la cuenca sobre el grid y calcula el valor promedio para la cuenca.

En la sesión de ArcMap en el proyecto “**SAN_ILDEFONSO 1**” Con el icono Add Data se adiciona el ráster de numero de curva obtenido de la clasificación manual. En el cuadro de dialogo, seleccionamos el archivo ráster **nc_manu| Add**.

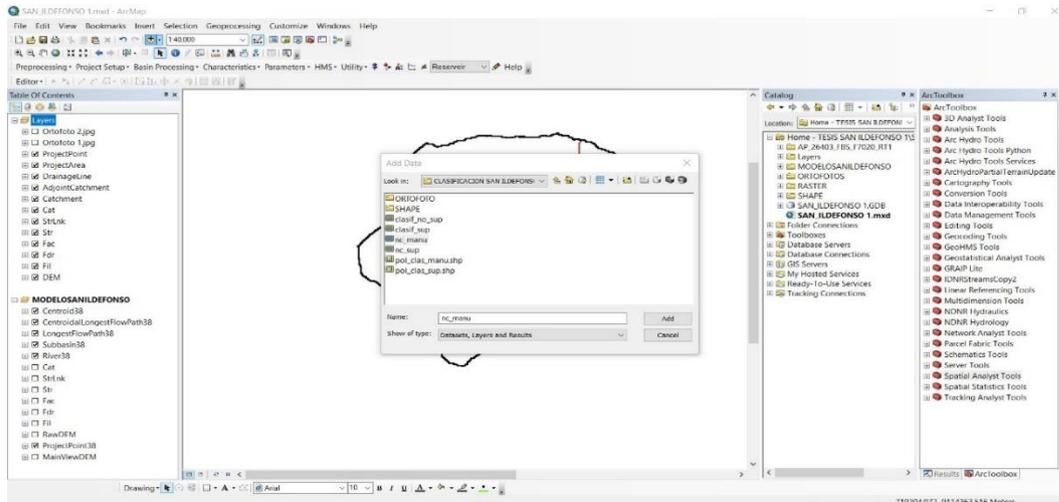


Figura 92: Adición de la data del ráster de Numero de curva de la clasificación manual

En la sesión de ArcMap; en la tabla de contenidos, se puede ver el ráster de número de curva de la clasificación manual “**nc_manu**”

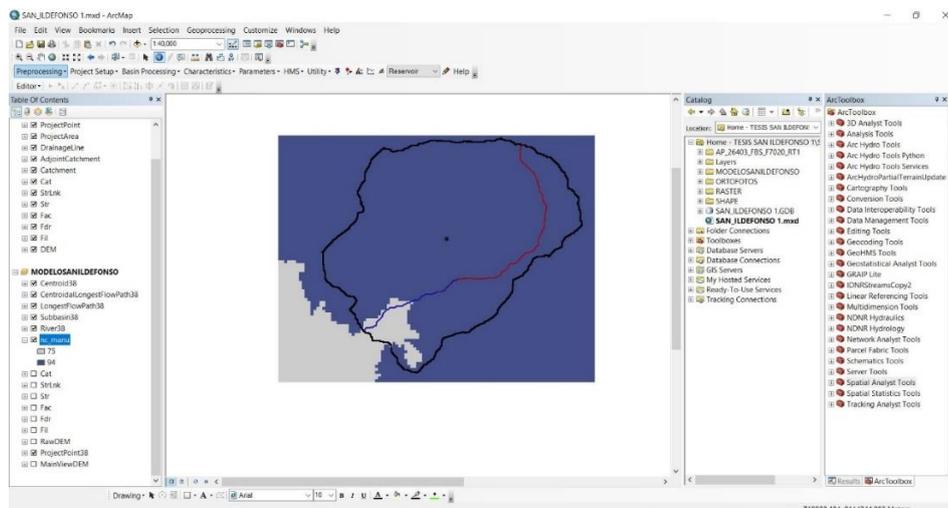


Figura 93: Ráster de Numero de curva de la clasificación manual

Previamente se escoge el método del **SCS** para el modelo **HMS**, se selecciona **Parameters | Subbasin Parameters From Raster**.

En el cuadro de dialogo se ingresa **Subbasin38**, asimismo también se selecciona **en Input Curve Number Grid | nc_manu** y así se obtiene el parámetro de número de curva de la cuenca a partir del ráster de numero de curva obtenido de la clasificación manual

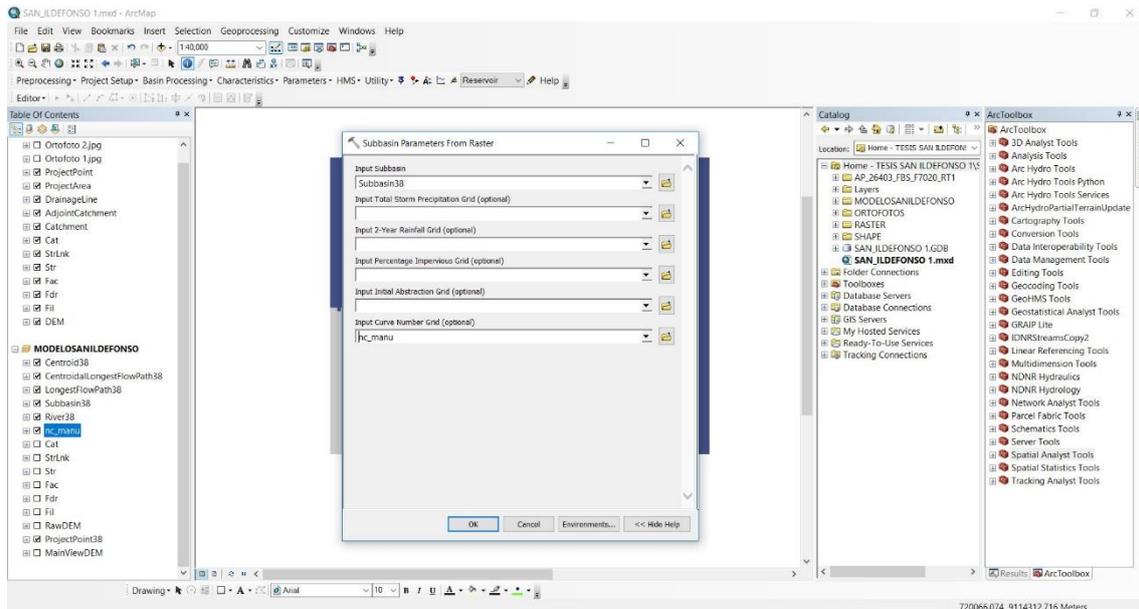


Figura 94: Cálculo del Parámetro de Numero de curva

2.4.2.4.1.5. Desarrollo de entradas para HMS

En el menú de **HEC-GeoHMS** en **ArcGIS**. Con la herramienta **HMS** se preparan las entradas para el modelo **HMS**

2.4.2.4.1.5.1. Map to HMS Units

Con herramienta **Map to HMS Units** se convierte unidades para el modelo **HMS**. Se selecciona **HMS | Map to HMS Units**, en el cuadro de dialogo automáticamente el programa asigna las entradas. Una nueva ventana se muestra, la misma que permite seleccionar el sistema de unidades correspondientes. Se selecciona **SI** (Sistema Internacional).

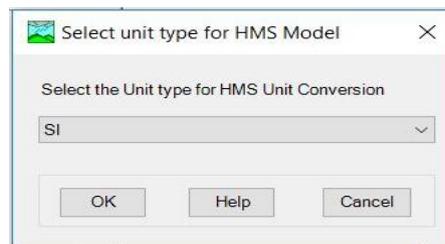
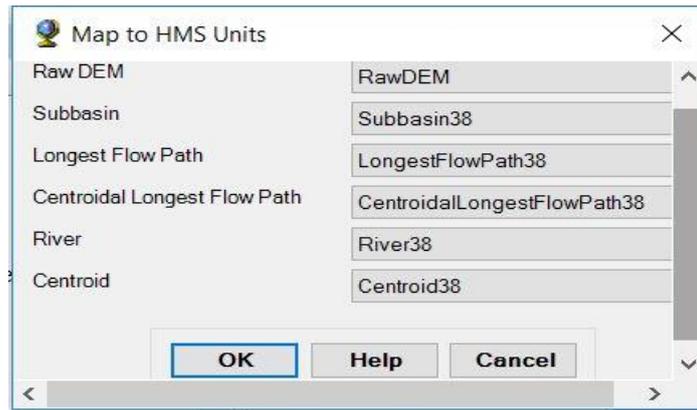
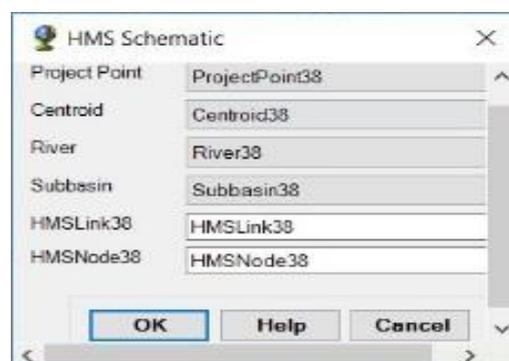


Figura 95: Conversión de Unidades para el modelo HMS

2.4.2.4.1.5.2. HMS Schematic

Con la herramienta **HMS Schematic** creamos una representación **SIG** del sistema hidrológico utilizando una red esquemática con los elementos de la cuenca, tales como nodos, enlaces, uniones o bordes, y su conectividad. Se selecciona **HMS | HMS Schematic**, en el cuadro de dialogo el programa en forma automática asigna el grupo de datos de entrada. En la sesión de **ArcMap**; en la tabla de contenidos, se agregan dos nuevas clases de entidad **HMSNode38** y **HMSLink38**.



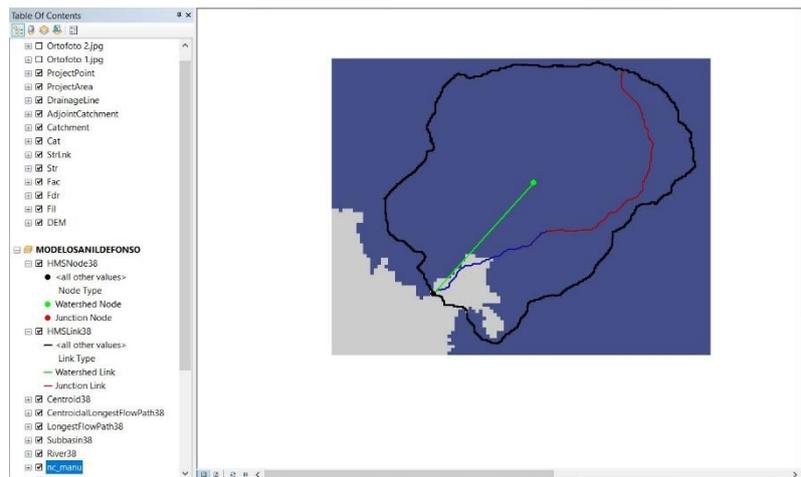


Figura 96: Esquemático de la Cuenca para el modelo HMS

2.4.2.4.1.5.3. Toogle Legend

La herramienta **Toogle Legend** determina como el modelo puede verse en **HEC-HMS**, se selecciona **HMS| Toogle Legend| HMS Legend**.

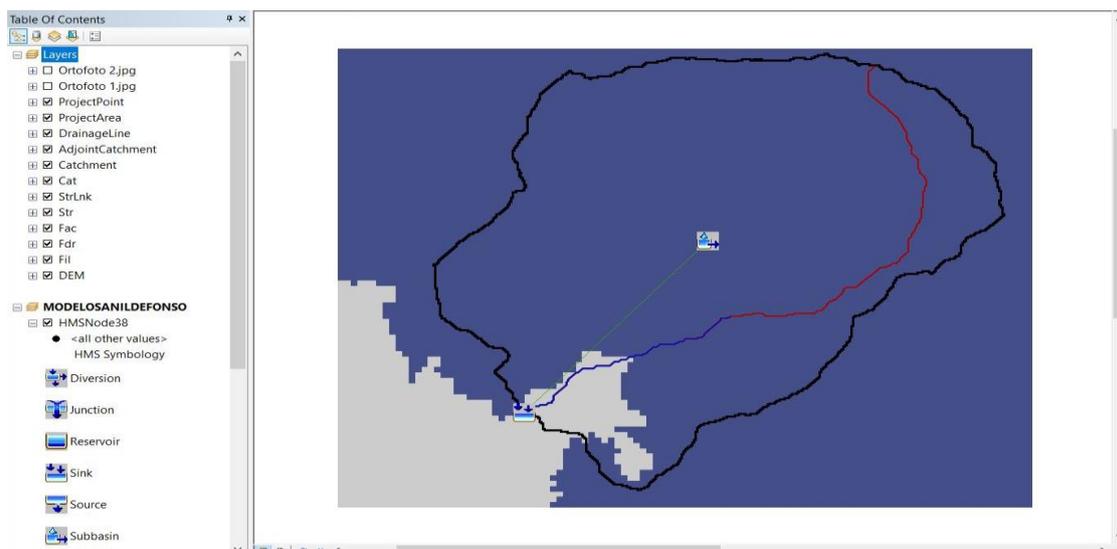
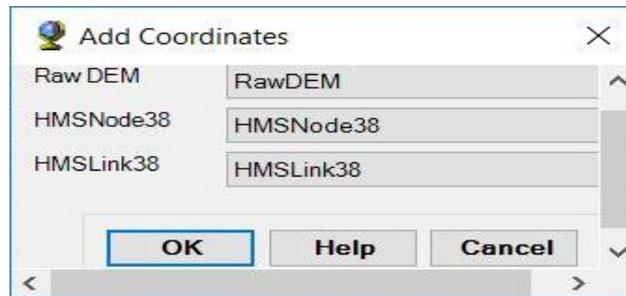


Figura 97: Leyenda para el modelo HMS

2.4.2.4.1.5.4. Add Coordinates

La herramienta **Add Coordinates** nos permitió agregar las coordenadas geográficas a las entidades **HMSNode38** y **HMSLink38**. Las coordenadas se almacenaron en las tablas de atributos y fueron útiles para exportar el esquemático a **HEC-HMS** conservando la información geoespacial. Se selecciona **HMS|Add**

Coordinates, en el cuadro de dialogo el programa en forma automática asigna el grupo de datos de entrada.



Shape *	OID *	HydroID	FeatureID	SrcType	CanvasX	CanvasY	Elevation	DownElemID	HyElemType
Point	1	5	3	0	721859.4728	9110282.145	194	-1	Sink
Point	2	6	2	1	723289.2148	9111872.7308	348	5	Subbasin

Shape *	OID *	Shape_Length	HydroID	LinkType	CanvasX	CanvasY	FromCanvasX	FromCanvasY	FeatureID	DownElemID
Polyline	1	2138.720499	7	1	721859.4728	9110282.145	723289.2148	9111872.7308	2	5

Figura 98: Adicionar coordenadas para el modelo HMS

2.4.2.4.1.5.5. Prepare Data for Model Export

Con la herramienta **Prepare Data for Model Export** se organizan los datos para la exportación del modelo **HMS**. Se selecciona **HMS | Prepare Data for Model Export**. en el cuadro de dialogo el programa en forma automática asigna los datos de entrada.

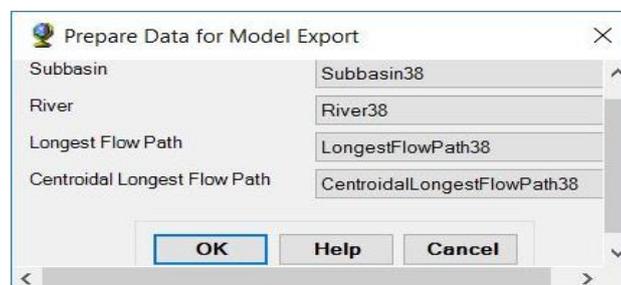


Figura 99: Preparar los datos para exportar el modelo HMS

2.4.2.4.1.5.6. Background Shape File

Con herramienta **Background Shape File** se captura la información geográfica (x, y) de los límites de las microcuencas y de la red de corrientes en un archivo de texto que es mostrado dentro del modelo **HMS**. Se selecciona **HMS | Background Shape File**. en el cuadro de dialogo el programa en forma automática asigna los archivos de entrada.

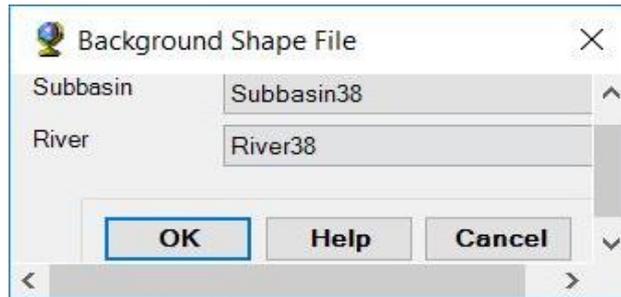


Figura 100: Exportando archivos shape de fondo

2.4.2.4.1.5.7. Basin Model File

La herramienta **Basin Model File** permite exportar la información geográfica relacionada a nodos, links y su conectividad a un archivo de texto con la extensión. **basin**. El archivo de salida (**MODELOSANILDEFONSO.basin**) es localizado en la carpeta del proyecto “**TESIS SAN ILDEFONSO 1**”.

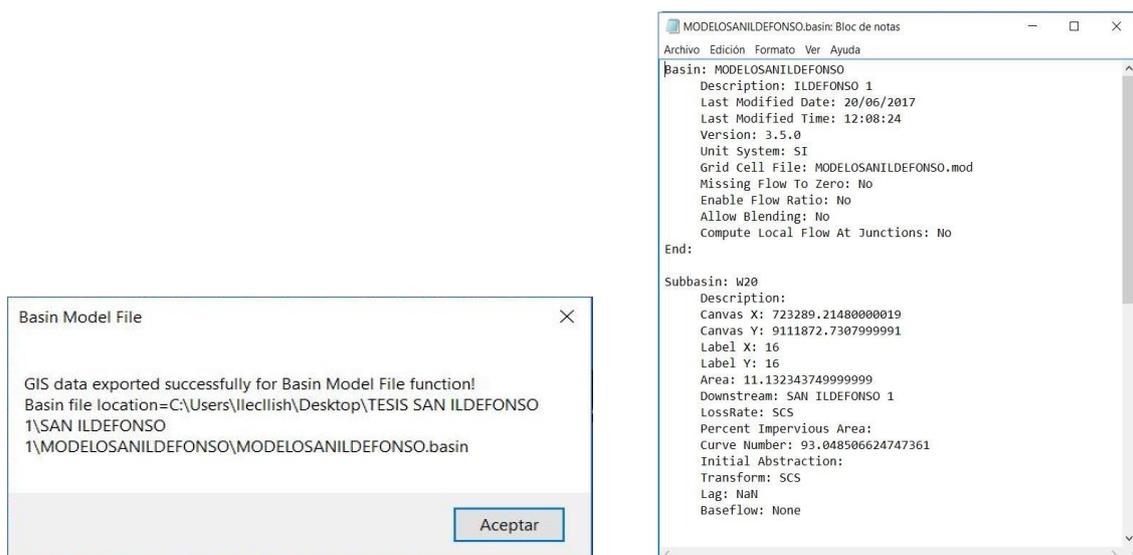


Figura 101: Modelo de cuenca

2.4.2.4.1.5.8. Met Model File

Con la herramienta **Met Model File** se crea un archivo vacío que pueda ser llenado dentro de **HMS**. Se selecciona **HMS | Met Model File| Specified Hyetograph**. Un archivo de salida es creado con el nombre de **MODELOSANILDEFONSO.met**.

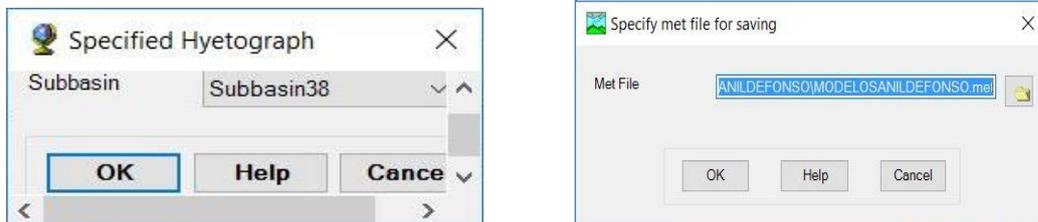


Figura 102: Modelo meteorológico

2.4.2.4.1.5.9. Create HEC-HMS Project

La herramienta **Create HEC-HMS Project** copia todos los archivos específicos del proyecto creados hacia un directorio especificado y crea el archivo **"MODELOSANILDEFONSO. hms"** que contiene información sobre otros archivos para **HMS**. Se selecciona **HMS | Create HMS Project**. En el cuadro de dialogo se ingresa la localización de todos los archivos. Asimismo, se asigna el nombre **CALCULO 1** para correr el modelo y se configura el tiempo e intervalo de acuerdo al evento que se va a simular. Esta configuración puede ser cambiada dentro de **HEC-HMS**.

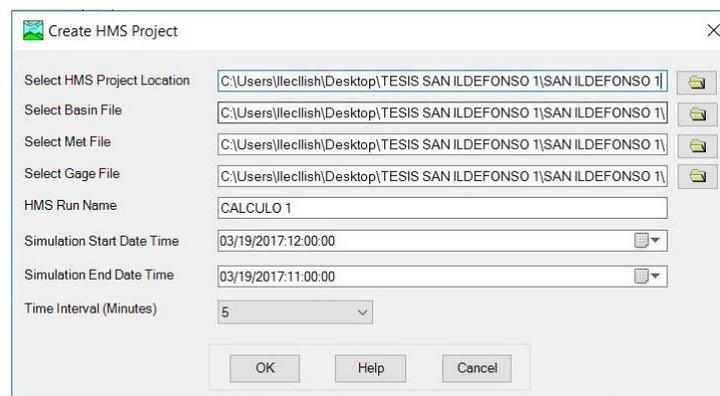


Figura 103: Proyecto HMS

2.4.2.5. Modelamiento en HEC-HMS

2.4.2.5.1. Preparación de datos iniciales

2.4.2.5.1.1. Interpretación de Datos de Precipitaciones

Al desarrollar esta investigación se ha identificado al fenómeno como anormal o poco usual, que se corrobora con los registros de precipitaciones proporcionados por la Autoridad Nacional del Agua (ANA).

Esta data proporciona un registro a cada hora, cada día, cada mes que se considere descargar desde el visor pluviométrico del ANA

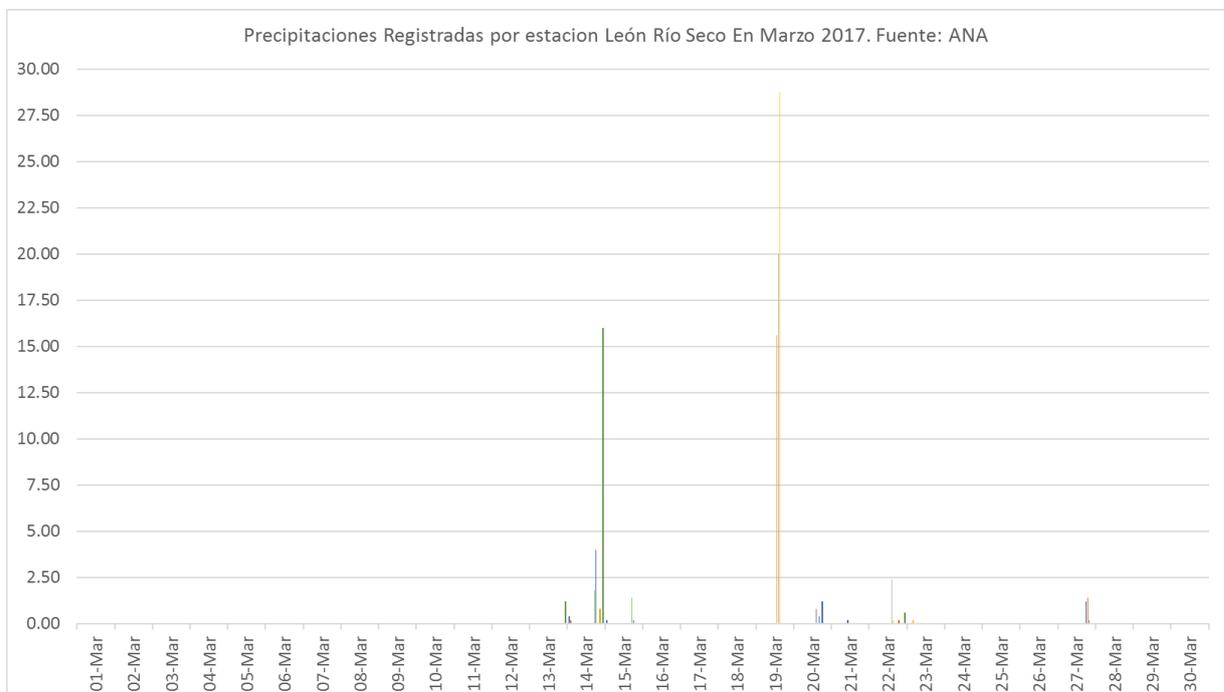


Figura 104: Registro de precipitación de la estación quebrada león rio seco.

Fuente ANA.

Elaboración Propia

Como se muestra en la Grafica anterior, se ha registrado 2 intervalos de precipitación considerables o picos en comparación al resto de días correspondientes a los días 14 y 19 de marzo, del cual se presentará un mayor detalle por cuestiones de visualización y desarrollo



Figura 105: Precipitación Registrada por la estación león rio seco correspondiente al 14 de marzo del 2017.

Fuente ANA.

Elaboración propia



Figura 106: Precipitación Registrada por la estación león rio seco correspondiente al 19 de marzo del 2017.

Fuente ANA.

Elaboración propia

2.4.2.5.1.2. Tiempo de Concentración y Tiempo de Retraso (Tlag)

Para obtener el cálculo de ambos resultados se ha considerado diversos autores que a través de algún método o ecuación han estimado un resultado al tiempo de concentración, aplicados a diversas situaciones, condiciones o restricciones

Métodos o Ecuaciones

ASC Modificada

$$Tc = \frac{0.007 * n^{0.8} * Lp^{0.8}}{S^{0.4} * P2^{0.5}}$$

Para la microcuenca 1:

n = 0.050
Lp = 6837.000
S = 0.130
P2 = 0.870
Tc = 1.806

Bransby-Williams

$$tc = 14.6 * L * A^{-0.1} * S^{-0.2}$$

Para la microcuenca 1:

L = 5.763
A = 11.100
S = 0.130
tc = 99.467

California Culvert Practice

$$tc = 60 * \left[\frac{0.87075 * L^3}{H} \right]^{0.385}$$

Para la microcuenca 1:

L = 5763.000
H = 853.000
tc = 32.001

Clark

$$Tc = 0.335 * \left[\frac{A}{S^{0.3}} \right]^{0.593}$$

Para la microcuenca 1:

A = 11.100
S = 0.130
Tc = 2.556

Ecuación de Retardo SCS

$$Tc = \frac{0.0136 * L^{0.8} * \left[\left(\frac{1000}{CN} \right) - 9 \right]^{0.7}}{S^{0.5}}$$

Para la microcuenca 1:

$$L = 1538.173$$

$$CN = 93.049$$

$$S = 0.036$$

$$tc = 37.708$$

Federal Aviation Agency FAA

$$tc = 3.26 * (1.1 - C) \frac{(1000 * L)^{0.5}}{(100 * S)^{0.333}}$$

Para la microcuenca 1:

$$C = 0.750$$

$$L = 2084.000$$

$$S = 0.130$$

$$tc = 22.174$$

George Rivero

$$tc = \frac{16 * L}{[(1.05 - 0.2 * p) * (100 * S)]^{0.04}}$$

Para la microcuenca 1:

$$L = 5.763$$

$$p = 0.000$$

$$S = 0.130$$

$$tc = 79.254$$

Giandotti

$$TC = \frac{4 * \sqrt{A} + 1.5 * L}{25.3 * \sqrt{S} * L}$$

Para la microcuenca 1:

$$A = 11.100$$

$$L = 5.763$$

$$S = 0.130$$

$$Tc = 0.418$$

Henderson y Woodin

$$tc = 0.94 * i^{-0.4} * \left[\frac{n * Lp}{\sqrt{S}} \right]^{0.6}$$

Para la microcuenca 1:

i = 14.520
 n = 0.050
 Lp = 6837.000
 S = 0.130
 tc = 19.700

Izzard

$$tc = \frac{41.025 * (0.0007 * ip^{0.8} + c) * Lp^{0.333} * n^{0.605}}{ip^{0.667} * S^{0.333}}$$

Para la microcuenca 1:

ip = 14.520
 c = 0.007
 L = 5763.000
 S = 0.130
 tc = 22.412

Johnstone Cross

$$Tc = 5 * \left(\frac{Lm}{\sqrt{s}} \right)^{0.5}$$

Para la microcuenca 1:

Lm = 3581.000
 s = 2166.255
 tc = 43.858

Kerby-Hathaway

$$tc = \left[\frac{0.67 * n * Lp}{\sqrt{S}} \right]^{0.467}$$

Para la microcuenca 1:

n = 0.050
 Lp = 6837.000
 S = 0.130
 tc = 20.369

Kirpich

$$tc = 0.06628 * \frac{L^{0.77}}{S^{0.385}}$$

Para la microcuenca 1:

L = 5763.000
 S = 0.130
 tc = 33.589

Metodo Racional Generalizado

$$Tc = \left[\frac{60 * n * L}{H^{0.3}} \right]$$

Para la microcuenca 1:

$$\begin{aligned} n &= 0.050 \\ L &= 5.763 \\ H &= 853.000 \\ Tc &= 2.283 \end{aligned}$$

Morgali y Linsley (Ecuaciones de Onda Cinética)

$$tc = \frac{0.933 * Lp^{0.6} * n^{0.6}}{i^{0.4} * S^{0.3}}$$

Para la microcuenca 1:

$$\begin{aligned} Lp &= 6837.000 \\ n &= 0.050 \\ i &= 14.520 \\ S &= 0.130 \\ tc &= 19.553 \end{aligned}$$

Passini

$$Tc = \frac{\left[0.108 * (A * L)^{\frac{1}{3}} \right]}{S^{0.3}}$$

Para la microcuenca 1:

$$\begin{aligned} A &= 11.100 \\ L &= 5.763 \\ S &= 0.130 \\ Tc &= 1.198 \end{aligned}$$

Pérez

$$Tc = \frac{L}{72 * \left(\frac{H}{L} \right)^{0.6}}$$

Para la microcuenca 1:

$$\begin{aligned} L &= 5.763 \\ H &= 853.000 \\ Tc &= 0.591 \end{aligned}$$

Pilgrin y McDermott

$$Tc = 0.76 * A^{0.38}$$

Para la microcuenca 1:

$$A = 11.100$$
$$T_c = 1.897$$

Snyder

$$T_c = 1.2 * (L * Lcg)^{0.3}$$

Para la microcuenca 1:

$$L = 5.763$$

$$Lcg = 1.360$$

$$TC = 2.226$$

Temez

$$T_c = 0.3 * \left[\frac{L}{S^{0.25}} \right]^{0.76}$$

Para la microcuenca 1:

$$L = 5.763$$

$$S = 0.130$$

$$T_c = 1.673$$

Ventura – Heras

$$T_c = \alpha * \frac{A^{0.5}}{S}$$

Para la microcuenca 1:

$$\alpha = 0.040$$

$$A = 11.100$$

$$S = 0.130$$

$$T_c = 1.025$$

Ven Te Chow

$$T_c = 0.273 * \left(\frac{L}{S^{0.5}} \right)^{0.64}$$

Para la microcuenca 1:

$$L = 5.763$$

$$S = 0.130$$

$$T_c = 1.609$$

De la información presentada, se resume:

Tabla 33: Resumen de resultados para cálculo de tiempo de concentración

Método o Ecuación	tc (min.)	TC (horas)
ASC Modificada	108.39	1.81
Bransby-Williams	99.47	1.66
California Culvert Practicó	32.00	0.53
Clark	153.39	2.56
Ecuación de Retardo SCS	37.71	0.63
Federal Aviation Agency FAA	22.17	0.37
George Rivero	79.25	1.32
Giandotti	79.25	1.32
Henderson y Woodin	19.70	0.33
Izzard	22.41	0.37
Johnstone Cross	43.86	0.73
Kerby-Hathaway	20.37	0.34
Kirpich	33.59	0.56
Método Racional Generalizado	136.97	2.28
Morgali y Linsley (Ecuaciones de Onda Cinética)	19.55	0.33
Passini	71.88	1.20
Pérez	35.45	0.59
Pilgrin y McDermott	113.81	1.90
Snyder	133.53	2.23
Temez	100.40	1.67
Valencia y Zuluaga	93.25	1.55
Ventura – Heras	61.51	1.03
Ven Te Chow	96.53	1.61
Valor Máximo	153.39	2.56
Valor Mínimo	19.55	0.33
Promedio	70.19	1.17

De los cuales que se encuentran por debajo de la media, optando por trabajar por un resultado conservador son:

- California Culvert Practice: se recomienda para cuencas menores a 75 km²
- Ecuación de retardo de SCS: desarrolló su ecuación como la suma de tiempos de viaje individual para diferentes regiones, desde zonas boscosas con cauces pendientes a planicies con escorrentía lenta y zonas impermeables
- Federal Aviation Agency FAA: se emplea para cuencas urbanas asociadas a aeropuertos de los Estados Unidos
- Henderson y Woodin: extraen su expresión de la onda cinemática para longitudes del orden de 100 m.
- Izzard: utiliza su expresión en cuencas asociadas a autopistas y carreteras
- Johnstone Cross: recomiendan su ecuación para cuencas menores a 0,1 km²
- Kirpich: se estimó originalmente para cuencas de Tennessee y Pensilvania en los Estados Unidos entre áreas de 0.004 y 0.45 Km² con pendientes entre 3% y 12% y con significativo flujo de canales
- Morgalla y Linsley (ecuación de Onda Cinética): la suma del mayor tiempo de escurrimiento laminar superficial con el mayor tiempo de escurrimiento
- Pérez: sugieren el uso de su ecuación para cuencas menores a 250 km²
- Ventura – Heras: una lluvia constante y uniforme que cae sobre la cuenca de estudio producirá un gasto de descarga el cual alcanza su valor máximo cuando todos los puntos de la cuenca están contribuyendo al mismo tiempo en el punto de diseño

Por lo expuesto en la aplicabilidad de estos métodos y considerando la aceptación que tiene el Soil Conservation Service SCS en la mayoría de expedientes locales y

la sencillez del cálculo para determinar el tiempo de retardo, o rezago por este método.

$$Tr = 0.6 * Tc, \text{ en horas}$$

$$tr = 0.6 * tc, \text{ en minutos.}$$

Se ha considerado trabajar con los siguientes resultados:

Para la microcuenca 1:

Ecuación de Retardo SCS

L(m) =	1538.172798
CN =	93.0485
S(m/m) =	0.0357
Tc(min) =	37.70756314
t lag(min) =	22.62453789

Para la microcuenca 2:

Ecuación de Retardo SCS

L(m) =	2391.802397
CN =	91.994
S(m/m) =	0.0347
Tc(min) =	57.1068359

2.4.2.5.1.3. Basin Models

En la sesión de **HEC-HMS** Se importa el modelo de cuenca creado en **ArcMap**, Con el icono **Open a Project** se selecciona el proyecto **MODELOSANILDEFONSO.hms**.

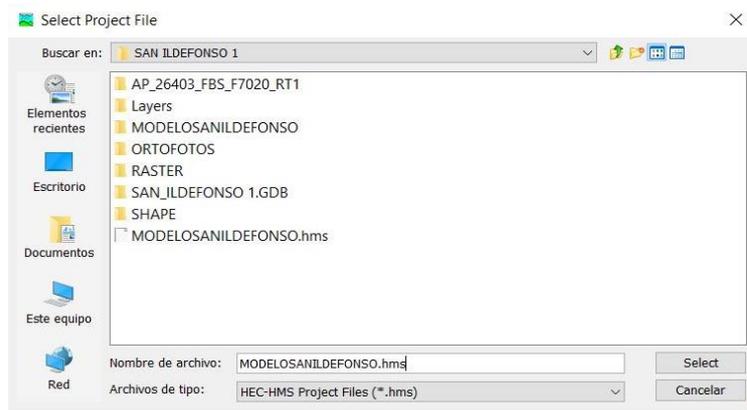


Figura 107: Selección del proyecto en HEC-HMS

Se convierte el modelo HEC-HMS version 3.5.0 a la version 4.0

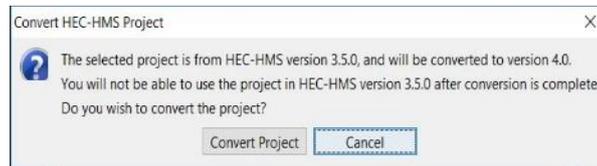


Figura 108: Conversión del modelo

Se adicionan los archivos shape **River38.shp** y **Subbasin38.shp** generados con la herramienta **Background Shape File** en **ArcMap**. se selecciona **View |BackgroundMaps | Add.**

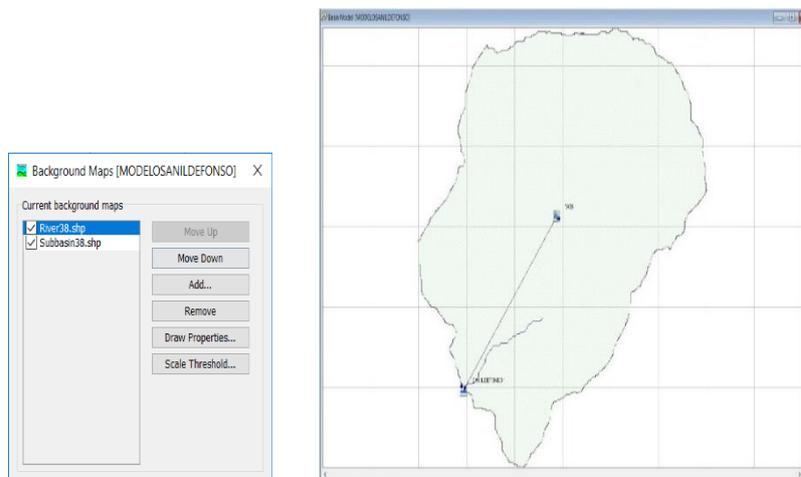


Figura 109: Importación de Background Maps a HEC-HMS

En la sesión de **HEC-HMS** el área de la cuenca es importada de **ArcMap** y se adiciona automáticamente en la ventana de datos. los elementos **SAN ILDEFONSO 1** y **W20** que representan la salida y la parte física de la cuenca, se adicionan automáticamente en el diagrama de información, en la ventana de dibujo. En la ventana de datos como método para obtener las pérdidas de la precipitación total, se selecciona en **Subbasin |Loss Method | SCS Curve Number**; asimismo, para transformar la precipitación neta en caudal, se escoge en **Subbasin |Transform Method |SCS Unit Hydrograph**,

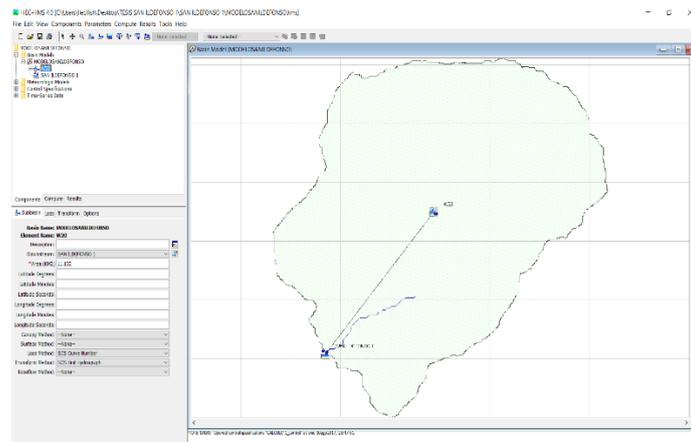


Figura 110: Selección del método del SCS en HEC-HMS

Se selecciona en **Loss|Curve Number**, el numero de curva es de 93.049 es calculado e importado desde **ArcMap** y se ingresa de manera automática en la ventana de datos del modelo en **HEC-HMS**.

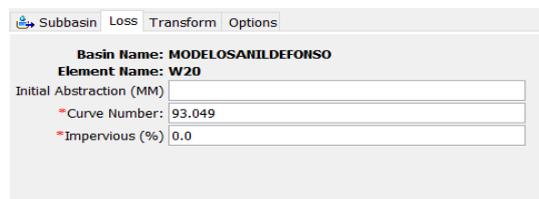


Figura 111: Numero de curva

Se selecciona en **Transform | Lag Time(MIN)**, de acuerdo con los datos obtenidos del análisis es de 22.6 min.

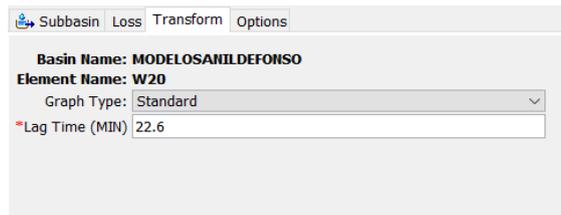


Figura 112: Tiempo de Retraso

2.4.2.5.1.4. Meteorologic Models

En la sesión de **HEC-HMS** ; en el diagrama de información del modelo se ingresa en **MODELOSANILDEFONSO | Meteorology Model |Replace Missing** se selecciona **Set To Defaut** . En la ventana de datos se ingresa a **Basins|Include subbasins** se escoge **Yes** ; asimismo en **Options|Total Override** se elige **No**. En el diagrama de información del modelo ,se selecciona en **Specified Hyetograph|Gage** se ingresa **Precip Gage 1**.

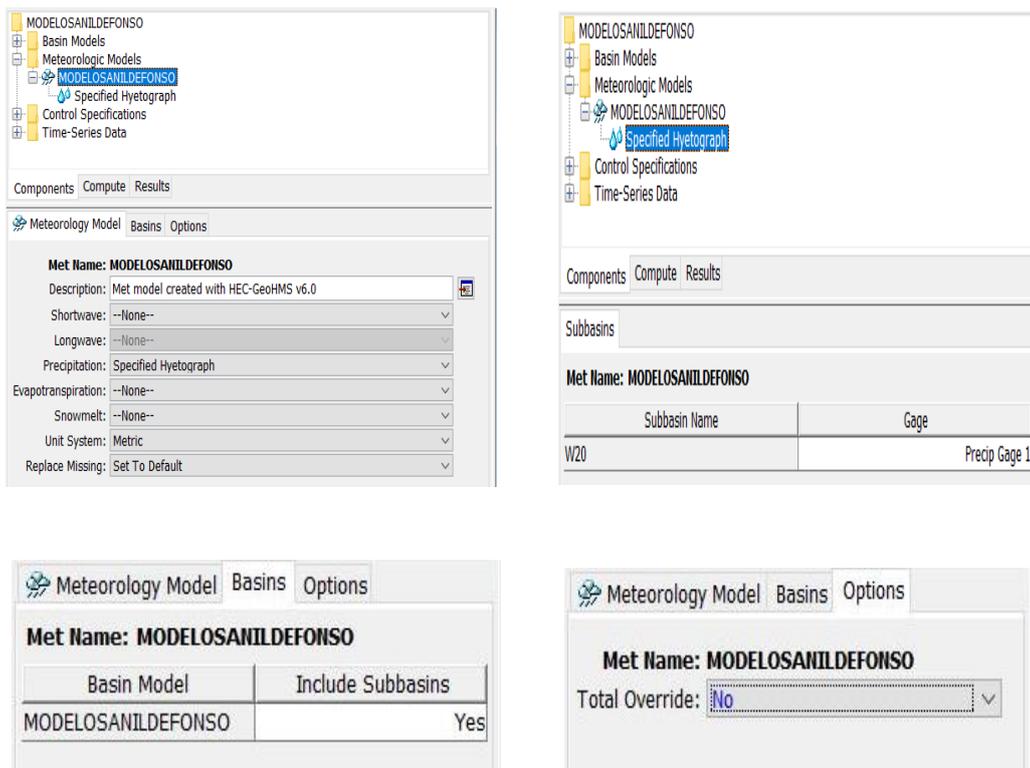


Figura 113: Modelo Meteorológico

2.4.2.5.1.5. Control Specifications

En la sesión de **HEC-HMS** en la ventana de datos se selecciona en **Control Specifications**, Se le indica al programa el periodo de tiempo que se usará en la simulación. El tiempo de simulación tiene que estar acorde con la duración de la precipitación. Generalmente se simula el flujo de corriente, desde el inicio de la precipitación hasta un tiempo después de que esta ha finalizado. Aquí también se especifica el intervalo de tiempo, el cual determina la resolución del hidrograma resultante, producto de los cálculos obtenidos durante la corrida del programa, estos datos son importados desde **ArcMap** y completados de manera automática en los campos de la ventana de datos del modelo en **HEC-HMS**

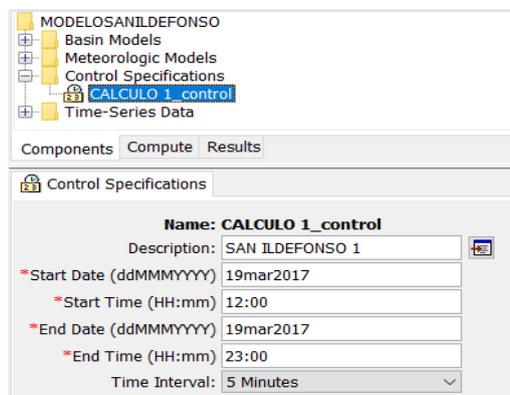


Figura 114: Especificaciones de control

2.4.2.5.1.6. Time – Series Data

En la sesión de **HEC-HMS** en **Time- Series Gage**, se selecciona el ingreso manual de datos (**Manual Entry**) y para el ingreso del registro de la precipitación en **mm** se selecciona en forma incremental (**Incremental Millimeters**); Se adiciona el intervalo de tiempo del registro de la precipitación que en este caso es 1 hora. En la ventana de datos se selecciona en **Time Window** se ingresa la fecha y hora del inicio, termino de la precipitación. Asimismo, En **Table** se adiciona el registro de la precipitación en **mm** y en **Graph** se visualiza el hietograma ingresado.

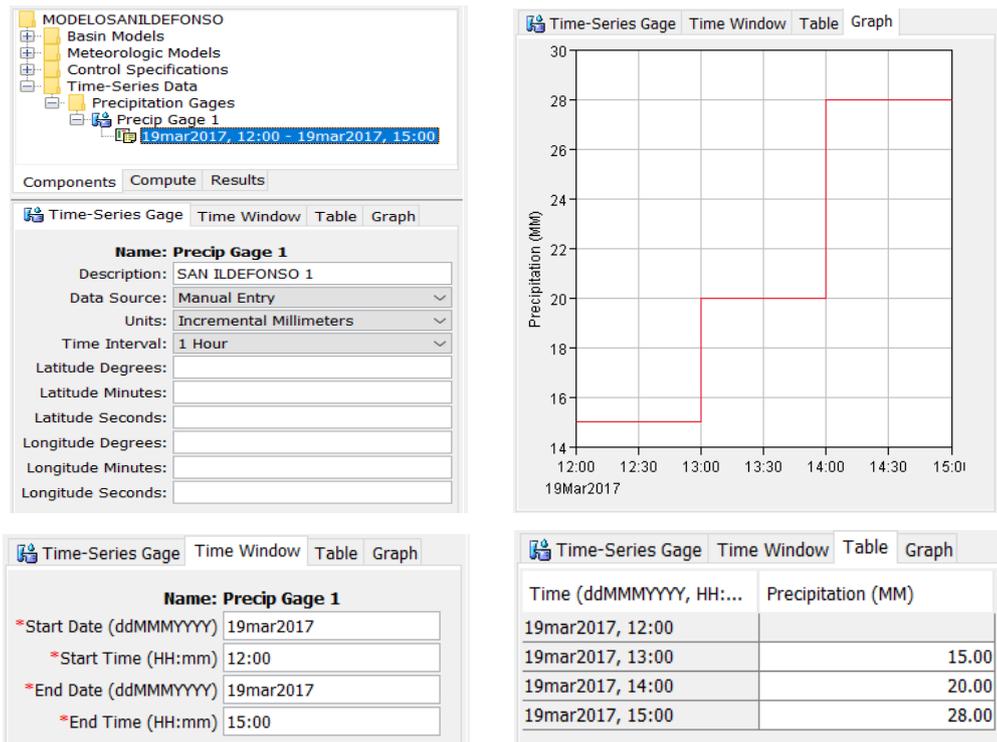


Figura 115: Datos de precipitación

2.4.2.5.1.7. Ejecución de la Simulación

En la sesión de **HEC-HMS** en la barra de herramientas se selecciona el icono **Compute Current Run** Con lo cual se realiza los cálculos de la simulación y en la ventana de presentación de mensajes se debe asegurar que no existe ningún error. se obtienen los resultados parciales y el resultado final.

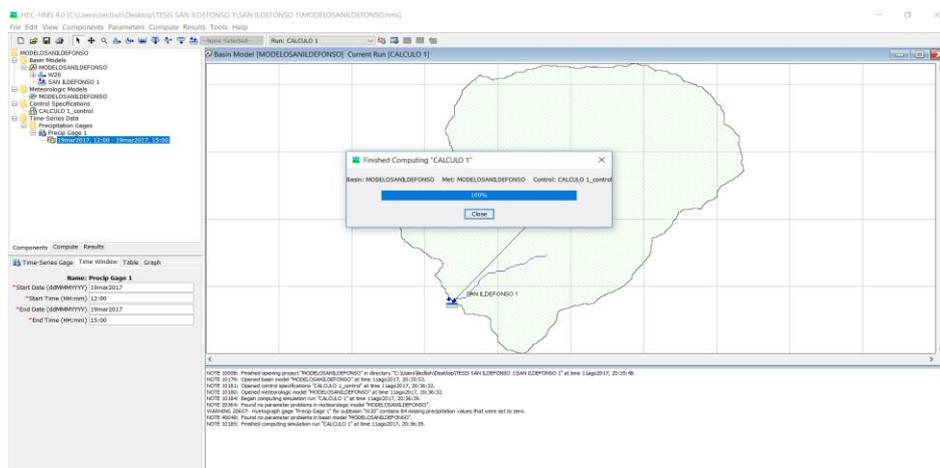


Figura 116: Ejecución de la simulación del modelo en HEC-HMS

2.4.2.5.1.8. Análisis de resultados

En la sesión de **HEC-HMS** se selecciona en el elemento que representa la parte física de la cuenca **W20| View Global Summary Table** Se muestra un cuadro de resumen de los resultados globales de la simulación para la cuenca y la salida.

Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (MM)
W20	11.132	77.5	19mar2017, 15:00	44.84
SAN ILDEFONSO 1	11.132	77.5	19mar2017, 15:00	44.84

Figura 117: Caudal y Volumen para Avenida de Diseño

En la sesión de **HEC-HMS** se selecciona en el elemento **W20| View Summary Table for selected Element(s)** Se muestra un cuadro de resumen de los resultados de la simulación.

Computed Results	
Peak Discharge:	77.5 (M3/S)
Precipitation Volume:	63.00 (MM)
Loss Volume:	18.16 (MM)
Excess Volume:	44.84 (MM)
Date/Time of Peak Discharge:	19mar2017, 15:00
Direct Runoff Volume:	44.84 (MM)
Baseflow Volume:	0.00 (MM)
Discharge Volume:	44.84 (MM)

Caudal punta	77.5 (M3/S)	fecha y hora en el que se produce el caudal punta	19mar2017,15:00
Precipitacion total	63.00 (MM)	volumen total de escorrentia superficial (mm o 1000 mm3)	44.84 (MM)
lluvia retenida en el suelo	18.16 (MM)	volumen total de agua por el caudal base (mm o 1000 mm3)	0.00 (MM)
lluvia neta	44.84 (MM)	volumen total de agua (mm o 1000 mm3)	44.84 (MM)

Figura 118: Resumen de resultados de la simulación

En el diagrama de información se selecciona en el elemento **W20| View Time-Series Table for selected Element(s)** Se muestra la tabla de Serie de tiempo de la simulación

Project: MODELOSANILDEFONSO Simulation Run: CALCULO 1
Subbasin: W20

Start of Run: 19mar2017, 12:00 Basin Model: MODELOSANILDEFONSO
End of Run: 19mar2017, 23:00 Meteorologic Model: MODELOSANILDEFONSO
Compute Time: 11ago2017, 21:02:09 Control Specifications: CALCULO 1_control

Date	Time	Precip (MM)	Loss (MM)	Excess (MM)	Direct Flow (M3/S)	Baseflow (M3/S)	Total Flow (M3/S)
19mar2017	12:00				0.0	0.0	0.0
19mar2017	12:05	1.25	1.25	0.00	0.0	0.0	0.0
19mar2017	12:10	1.25	1.25	0.00	0.0	0.0	0.0
19mar2017	12:15	1.25	1.25	0.00	0.0	0.0	0.0
19mar2017	12:20	1.25	1.18	0.07	0.0	0.0	0.0
19mar2017	12:25	1.25	1.04	0.21	0.2	0.0	0.2
19mar2017	12:30	1.25	0.93	0.32	0.8	0.0	0.8
19mar2017	12:35	1.25	0.83	0.42	1.9	0.0	1.9
19mar2017	12:40	1.25	0.75	0.50	3.6	0.0	3.6
19mar2017	12:45	1.25	0.68	0.57	5.9	0.0	5.9
19mar2017	12:50	1.25	0.62	0.63	8.5	0.0	8.5
19mar2017	12:55	1.25	0.56	0.69	11.3	0.0	11.3
19mar2017	13:00	1.25	0.52	0.73	14.0	0.0	14.0
19mar2017	13:05	1.67	0.62	1.04	16.8	0.0	16.8
19mar2017	13:10	1.67	0.56	1.10	19.7	0.0	19.7
19mar2017	13:15	1.67	0.51	1.16	23.0	0.0	23.0
19mar2017	13:20	1.67	0.46	1.20	26.5	0.0	26.5
19mar2017	13:25	1.67	0.42	1.24	30.1	0.0	30.1
19mar2017	13:30	1.67	0.39	1.28	33.5	0.0	33.5
19mar2017	13:35	1.67	0.36	1.31	36.6	0.0	36.6
19mar2017	13:40	1.67	0.33	1.34	39.3	0.0	39.3
19mar2017	13:45	1.67	0.31	1.36	41.5	0.0	41.5
19mar2017	13:50	1.67	0.28	1.38	43.5	0.0	43.5
19mar2017	13:55	1.67	0.26	1.40	45.2	0.0	45.2
19mar2017	14:00	1.67	0.25	1.42	46.7	0.0	46.7
19mar2017	14:05	2.33	0.32	2.01	48.3	0.0	48.3
19mar2017	14:10	2.33	0.29	2.04	50.4	0.0	50.4
19mar2017	14:15	2.33	0.27	2.07	53.6	0.0	53.6
19mar2017	14:20	2.33	0.25	2.09	57.5	0.0	57.5
19mar2017	14:25	2.33	0.23	2.11	61.6	0.0	61.6
19mar2017	14:30	2.33	0.21	2.12	65.5	0.0	65.5
19mar2017	14:35	2.33	0.20	2.14	68.8	0.0	68.8
19mar2017	14:40	2.33	0.18	2.15	71.5	0.0	71.5
19mar2017	14:45	2.33	0.17	2.16	73.5	0.0	73.5
19mar2017	14:50	2.33	0.16	2.17	75.1	0.0	75.1
19mar2017	14:55	2.33	0.15	2.18	76.4	0.0	76.4
19mar2017	15:00	2.33	0.14	2.19	77.5	0.0	77.5
19mar2017	15:05	0.00	0.00	0.00	77.2	0.0	77.2
19mar2017	15:10	0.00	0.00	0.00	74.1	0.0	74.1
19mar2017	15:15	0.00	0.00	0.00	66.8	0.0	66.8
19mar2017	15:20	0.00	0.00	0.00	56.0	0.0	56.0
19mar2017	15:25	0.00	0.00	0.00	44.2	0.0	44.2
19mar2017	15:30	0.00	0.00	0.00	32.1	0.0	32.1

Figura 119: Serie de tiempo de la simulación en HEC-HMS

En el diagrama de información del modelo se selecciona en el elemento **W20| View Graph for selected Element(s)** Se muestra el hidrograma resultante de la simulación para el flujo base y flujo de salida., además se puede apreciar el Hietograma de la precipitación e infiltración.

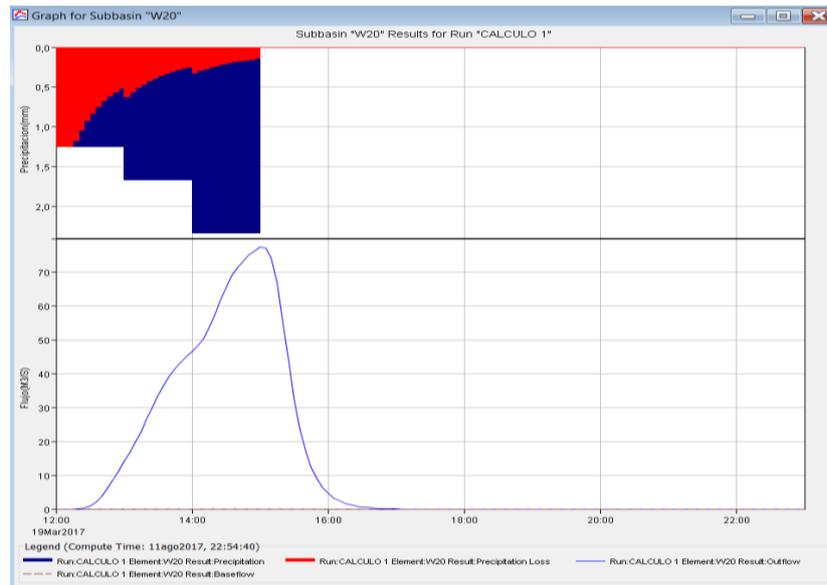


Figura 120: Hidrograma y Hietograma resultante de la simulación

Se se realizo el mismo procedimiento para el punto de control 2 , obteniendose como resultado una area de 12.47 (Km2) para la sub cuenca , un caudal punta de 79.5(m3/s) y un volumen total de agua de 42.53(mm)

2.4.2.6. Modelamiento de Ruta de Descarga

Durante el proceso de elaboración y redacción del proyecto de tesis se evaluó la posibilidad que la descarga se realizara por el rio Moche o por el Mar. Es necesario mencionar que profesionales consideran conveniente poder retener o conversar esta agua para fines agrícolas, sin embargo, el planteamiento expuesto en el proyecto de tesis y en el presente documento, destina el agua para drenaje.

2.4.2.6.1. Por cultivos hacia el Rio Moche

Se planteó la ruta teniendo como referencia la pendiente local y considerando en la medida de los posible las zonas pobladas por invasiones, zonas de cultivo y el residencial Los Sauces de Barraza, esta ruta parte de la descarga de microcuenca 1 y/o descarga de microcuenca 2 y consta de 10.9 Km

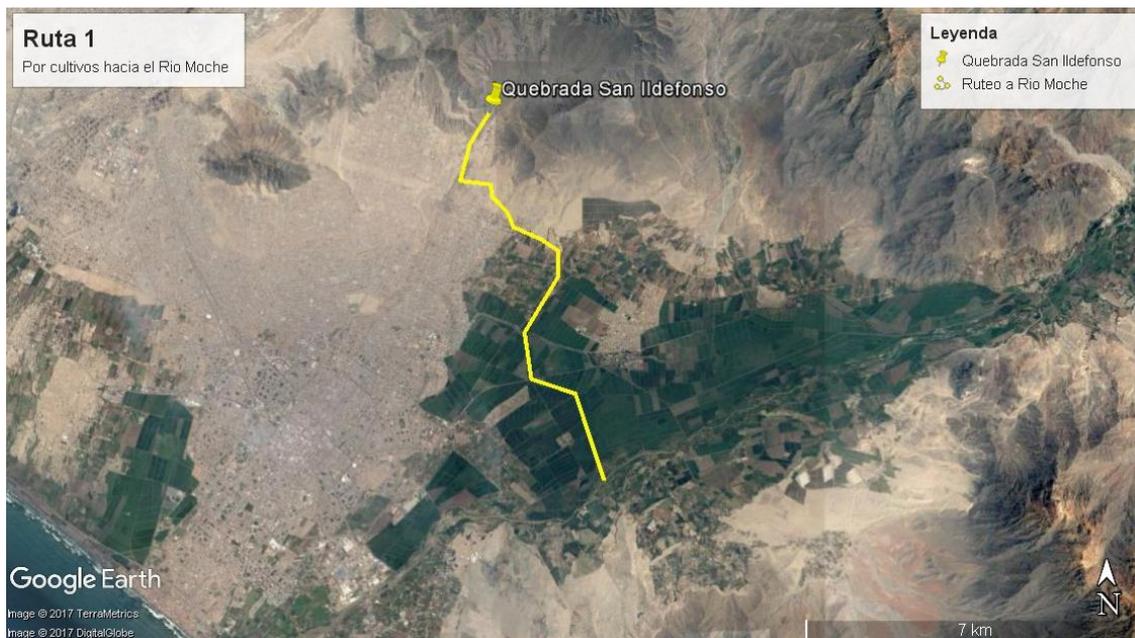


Figura 121: Ruta 1, por cultivos hacia el Río Moche

2.4.2.6.2. Por El Porvenir y Trujillo al Mar

Se planteó la ruta teniendo como referencia el curso natural del agua durante el fenómeno, esta ruta parte de la descarga de microcuenca 1 y/o descarga de microcuenca 2 de la quebrada San Ildefonso cruzando por El Porvenir, la avenida Miraflores, la Avenida España y la Avenida Juan Pablo II, consta de 14.6 Km

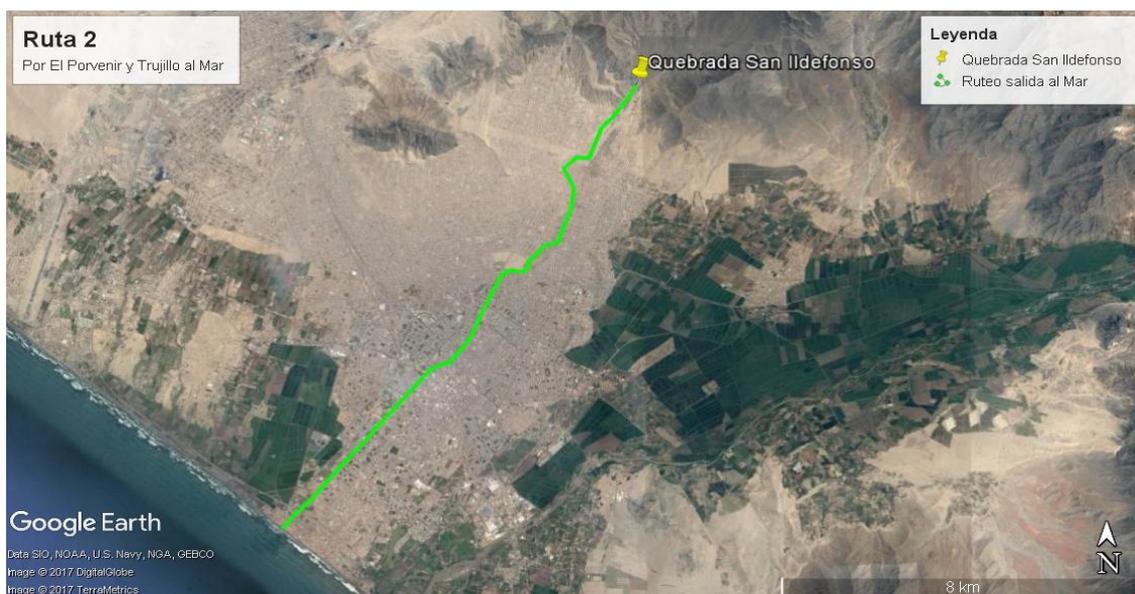


Figura 122: Ruta 2, cruzando por El Porvenir y Trujillo hacia el mar

2.4.2.6.3. Por el Porvenir y rodeando Trujillo al Mar

Se planteó la ruta teniendo como referencia el curso natural del agua durante el fenómeno producido por la quebrada San Ildefonso y la quebrada Las Cabras, esta ruta parte de la descarga de microcuenca 1 y/o descarga de microcuenca 2 de la quebrada San Ildefonso cruzando por El Porvenir y Trujillo, consta de 16.7 Km



Figura 123: Ruta 3, por El Porvenir y rodeando Trujillo hacia el mar

2.4.2.6.4. Presentación de Escenarios que evaluar

Tabla 34: Relación y detalle de escenarios de solución

Cuenca	Ruta	Descarga	Presa	Drenaje	Escenario
Cuenca 1	A Rio Moche	20	Tierra	Canal	E1
		20	Gravedad	Canal	E2
		20	Tierra	Tubería	E3
		20	Gravedad	Tubería	E4
		45	Tierra	Canal	E5
		45	Gravedad	Canal	E6
		45	Tierra	Tubería	E7
		45	Gravedad	Tubería	E8
	Por Trujillo	5	Tierra	Pavimento Rígido	E9
		5	Gravedad	Pavimento Rígido	E10

	Rodeando Trujillo	5	Tierra	Pavimento Rígido	E11
		5	Gravedad	Pavimento Rígido	E12
Cuenca 2	A Rio Moche	20	Tierra	Canal	E13
		20	Gravedad	Canal	E14
		20	Tierra	Tubería	E15
		20	Gravedad	Tubería	E16
		39	Tierra	Canal	E17
		39	Gravedad	Canal	E18
		39	Tierra	Tubería	E19
		39	Gravedad	Tubería	E20
	Por Trujillo	5	Tierra	Pavimento Rígido	E21
		5	Gravedad	Pavimento Rígido	E22
	Rodeando Trujillo	5	Tierra	Pavimento Rígido	E23
		5	Gravedad	Pavimento Rígido	E24

2.4.2.7. Creación de Hidrograma de Entrada

Los datos de precipitación con la cual se ha desarrollado esta investigación indican un resultado por cada hora, siendo la mayoría de estos registros igual a cero (0.00) el intervalo de lluvia de diseño es de un rango corto de 4 horas (4 registros según lo explicado anteriormente), sin embargo esa data se ha introducido al software HEC-HMS donde uno de los resultados obtenidos es una estimación de la precipitación en intervalos de 1, 5, 10, 15 a más minutos, optando por trabajar con intervalos de cada 5 min. Donde se ha procedido a graficar en la hoja de cálculo el hidrograma de entrada

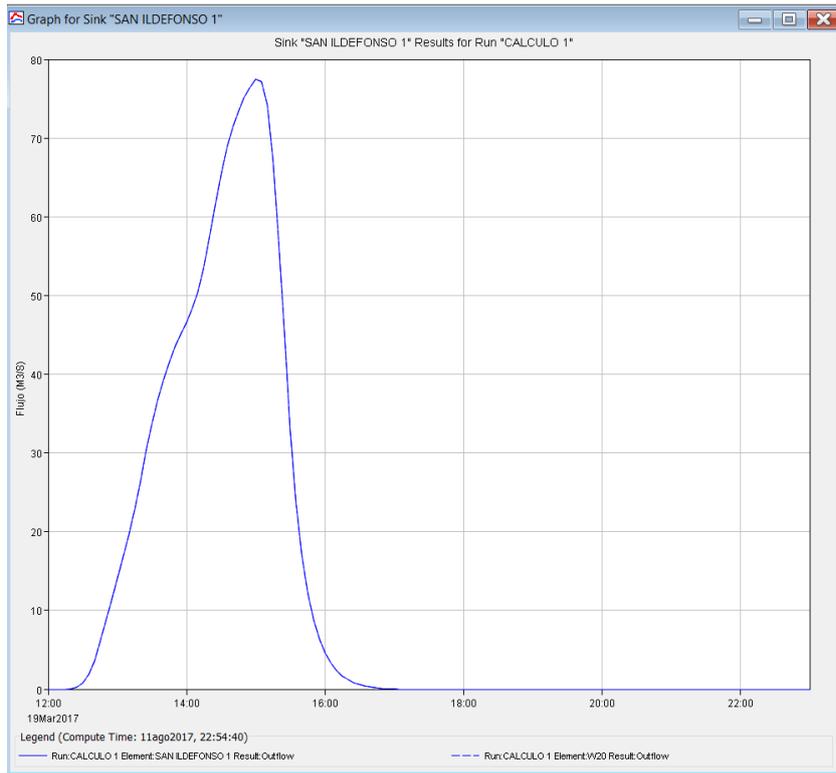


Figura 124: Hidrograma de entrada de la microcuenca 1

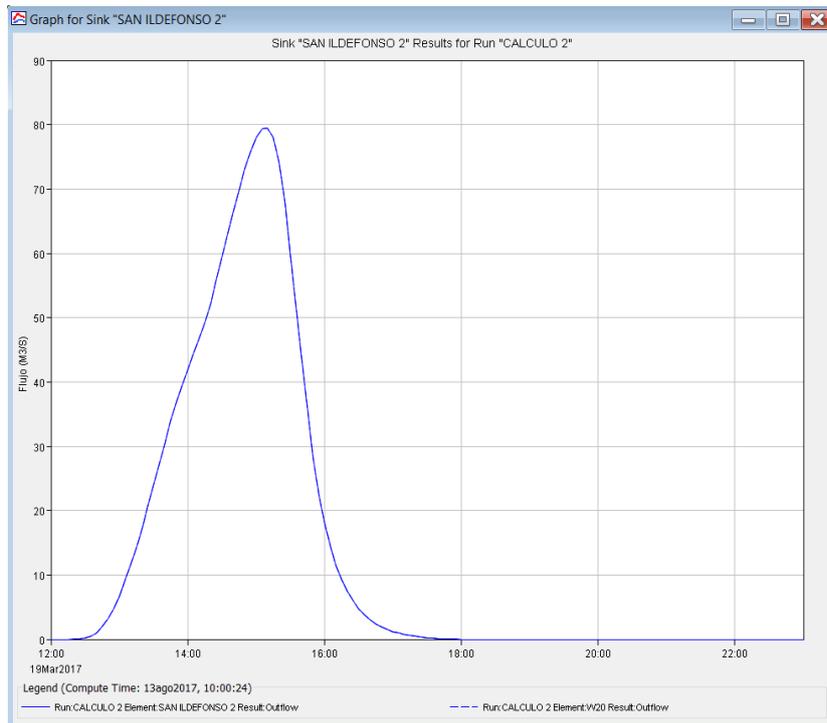


Figura 125: Hidrograma de entrada de la microcuenca 2

2.4.2.7.1. Planteamiento de Estructura de Embalse

Para el desarrollo de esta investigación se ha planteado diseñar presas, en zonas donde los investigadores consideran adecuadas debidas a la topografía del lugar, previa visita técnica.

Es importante mencionar que el punto de descarga de microcuenca 1 parece indicar la mejor opción en comparación a la descarga de microcuenca 2, ya que en campo se observó que su dimensión es más angosta y de mayor altura en la ladera, desde luego se comprobará esta afirmación en el plano topográfico

2.4.2.7.1.1. Creación de Curva Cota Área Volumen

Para graficar la curva de cota área volumen es necesario poder medir el área por cada metro de elevación desde el punto de descarga de microcuenca que se ha considerado, para dicha información se ha empleado la herramienta RECLASS del software ArcGis, es necesario considerar el tamaño de la celda del ráster, con los datos de elevación o cota y el área al inicio y termino de cada intervalo, se procede a calcular el área media, para mayor exactitud en el cálculo para posteriormente calcular el volumen en función del área, multiplicándolo por la unidad (ya que el intervalo que considerado es igual a la unidad por cuestiones a visibilidad y convencionalismo se grafica en un eje vertical principal y secundario, para más adelante evaluar la capacidad de embalse, la altura de la presa, y la elevación para el canal de excedencia

Para Descarga de microcuenca 1:

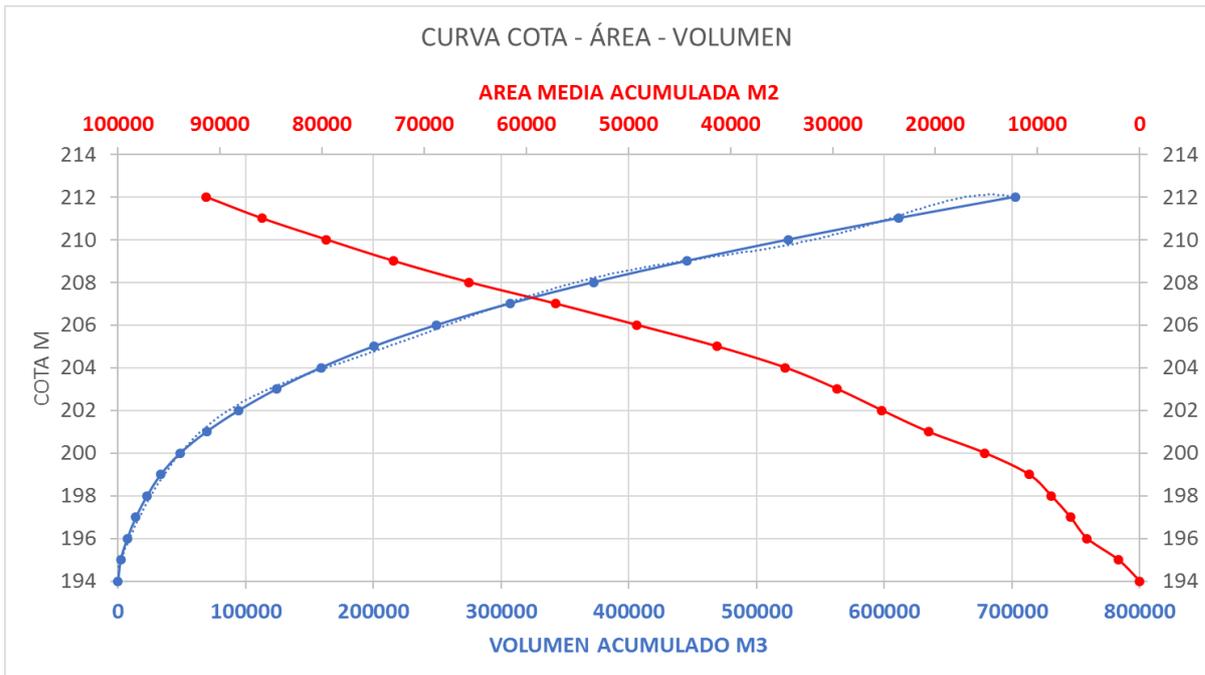


Figura 126: Curva de Cota Área Volumen de la microcuenca 1.

Elaboración Propia

Se ha intentado representar la curva Cota Volumen en una línea de tendencia Polinómica de grado 7 con un $R^2 = 0.998$, a través de la ecuación:

$$y = -7E-33x^6 + 1E-26x^5 - 1E-20x^4 + 6E-15x^3 - 1E-09x^2 + 0.0002x + 194.68$$

Sin embargo, existe una elevada diferencia en lo que respecta a resultado, ya que la topografía es irregular

Para Descarga de microcuenca 2:

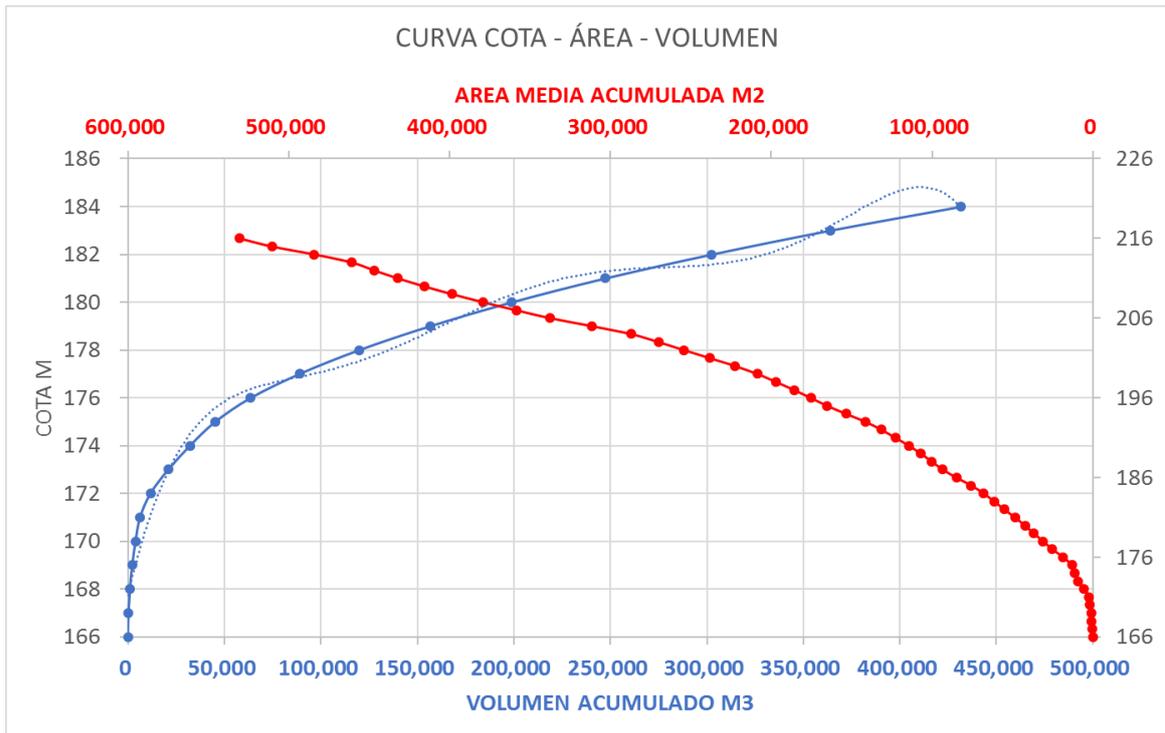


Figura 127: Curva de Cota Área Volumen de la microcuenca 2.

Elaboración Propia

Se ha intentado representar la curva Cota Volumen en una línea de tendencia Polinómica de grado 7 con un $R^2 = 0.9845$, a través de la ecuación:

$$y = -2E-31x^6 + 3E-25x^5 - 2E-19x^4 + 4E-14x^3 - 5E-09x^2 + 0.0003x + 167.75$$

Sin embargo, existe una elevada diferencia en lo que respecta a resultado, ya que la topografía es irregular

2.4.2.7.2. Planteamiento de Estructura de Descarga

Para el hidrograma de salida se ha considerado un flujo constante y regulado por una compuerta, la magnitud de ese caudal, indica la capacidad de embalse y a su vez la altura y dimensionamiento de las presas.

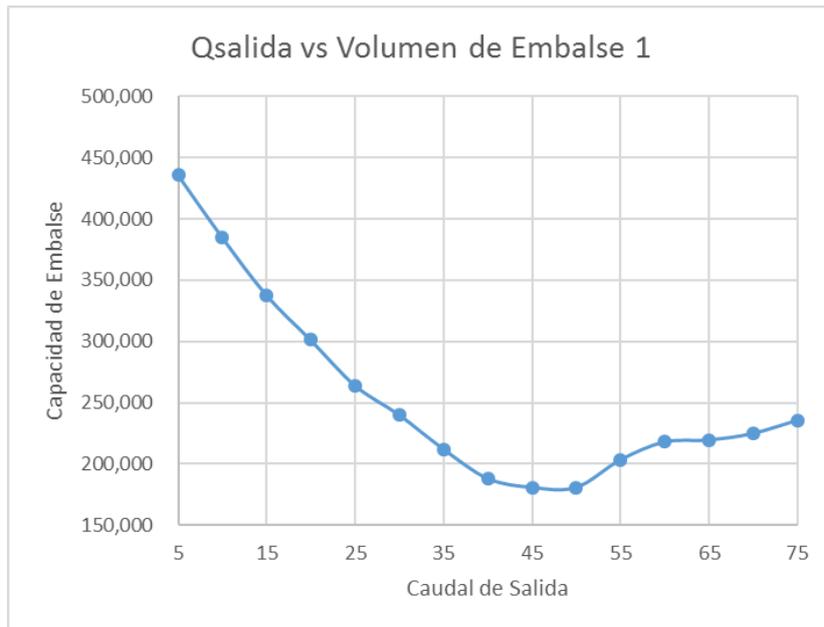


Figura 128: Relación Capacidad de embalse – caudal de descarga, en microcuenca 1.

Elaboración Propia

Para el embalse 1 se diseñará el canal para una descarga de 5, 20 y 45 m/seg, para poder satisfacer los escenarios presentados

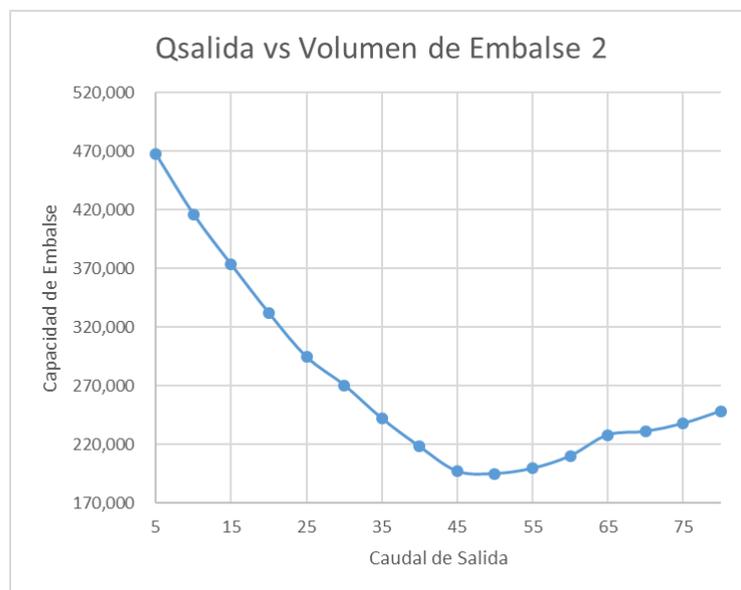


Figura 129: Relación Capacidad de embalse – caudal de descarga, en microcuenca 2.

Elaboración Propia

Para el embalse 2 se diseñará el canal para una descarga de 5, 20 y 39 m/seg, para poder satisfacer los escenarios presentados

2.4.2.7.2.1. Canal

2.4.2.7.2.1.1. Determinación de Caudal de Descarga en canal

Identificando que la cantidad del agua de salida (caudal) puede aumentar o disminuir las dimensiones de la presa a diseñar, por lo tanto, influye inversamente en la capacidad de embalse de la presa, por lo expresado anteriormente solo se proseguirá el diseño en el punto de cierre de la microcuenca 1 con los caudales de descarga de 20 y 45 m³/seg

Tras haber evaluado las descargas de cada microcuenca se presenta los hidrogramas de entrada (Inflow) y Salida (Outflow)

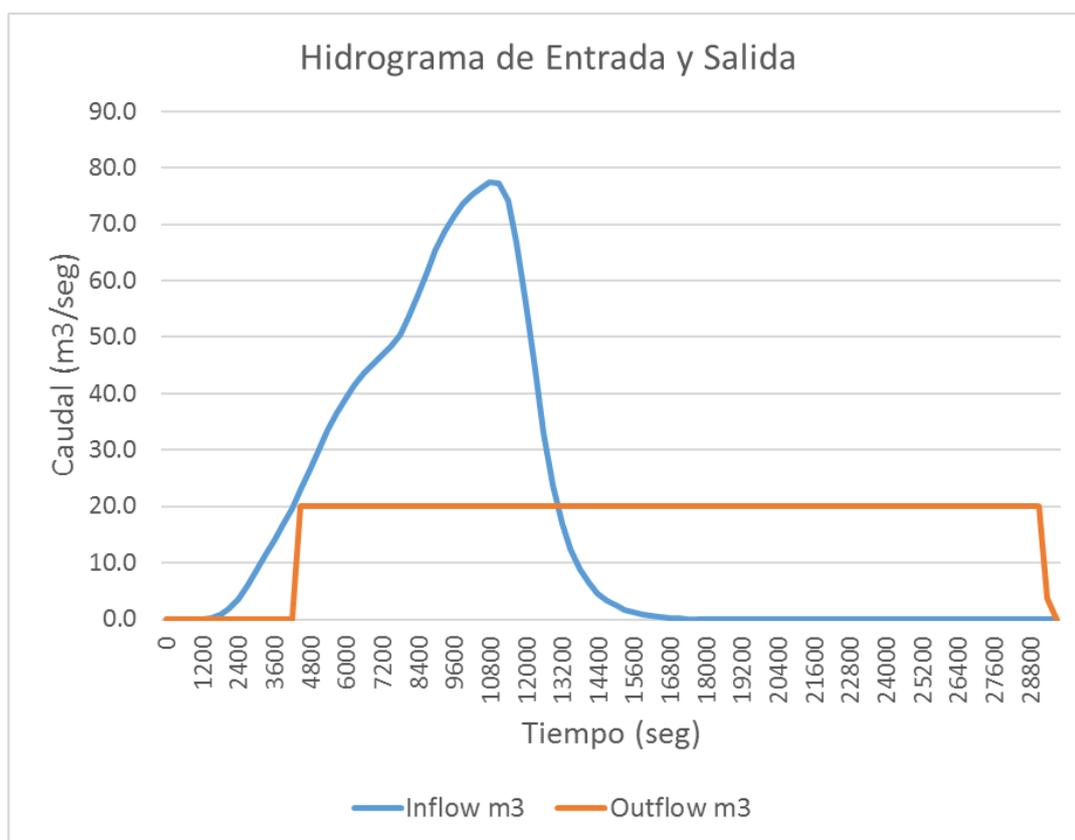


Figura 130: Hidrograma de Entrada y Salida en microcuenca 1 (Q=20m³/seg).

Elaboración Propia

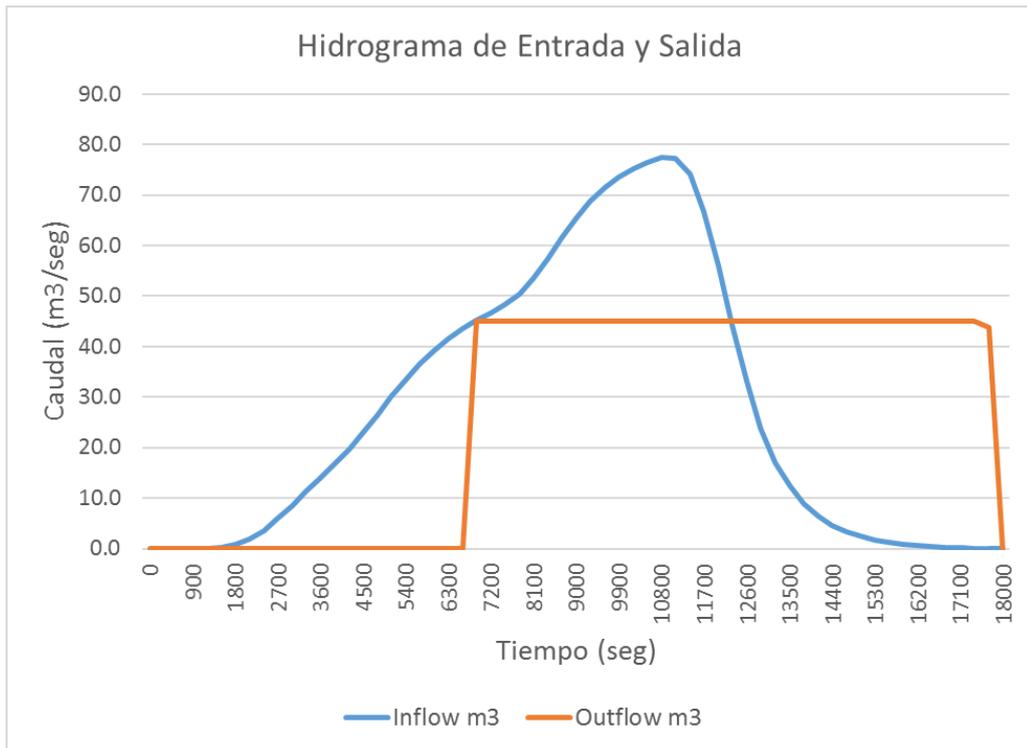


Figura 131: Hidrograma de Entrada y Salida en microcuenca 1 ($Q=45\text{m}^3/\text{seg}$).

Elaboración Propia

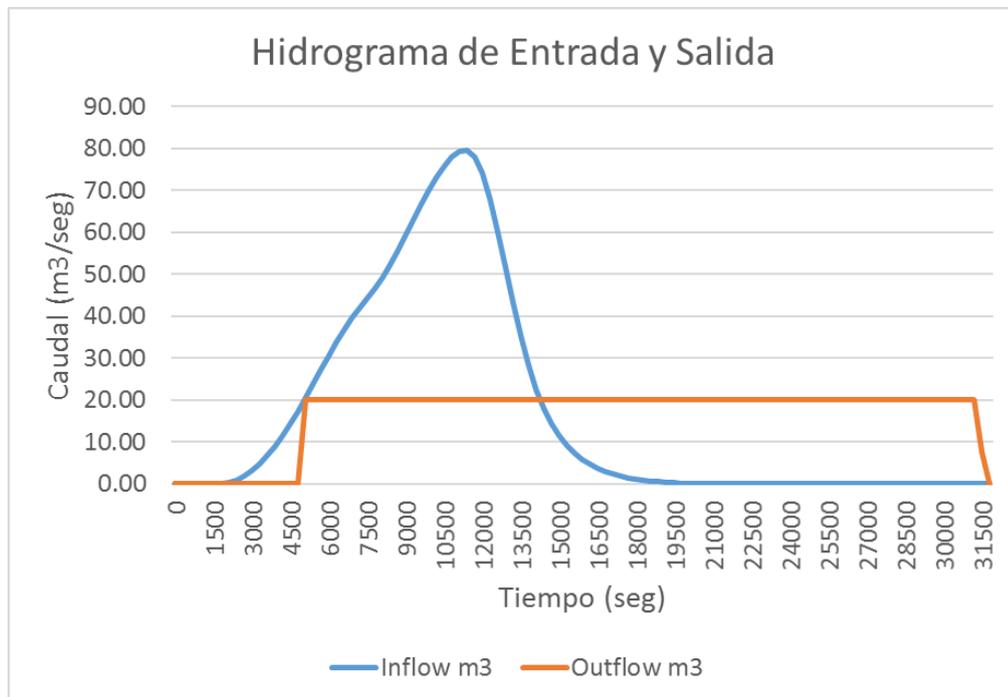


Figura 132: Hidrograma de Entrada y Salida en microcuenca 2 ($Q=20\text{m}^3/\text{seg}$).

Elaboración Propia

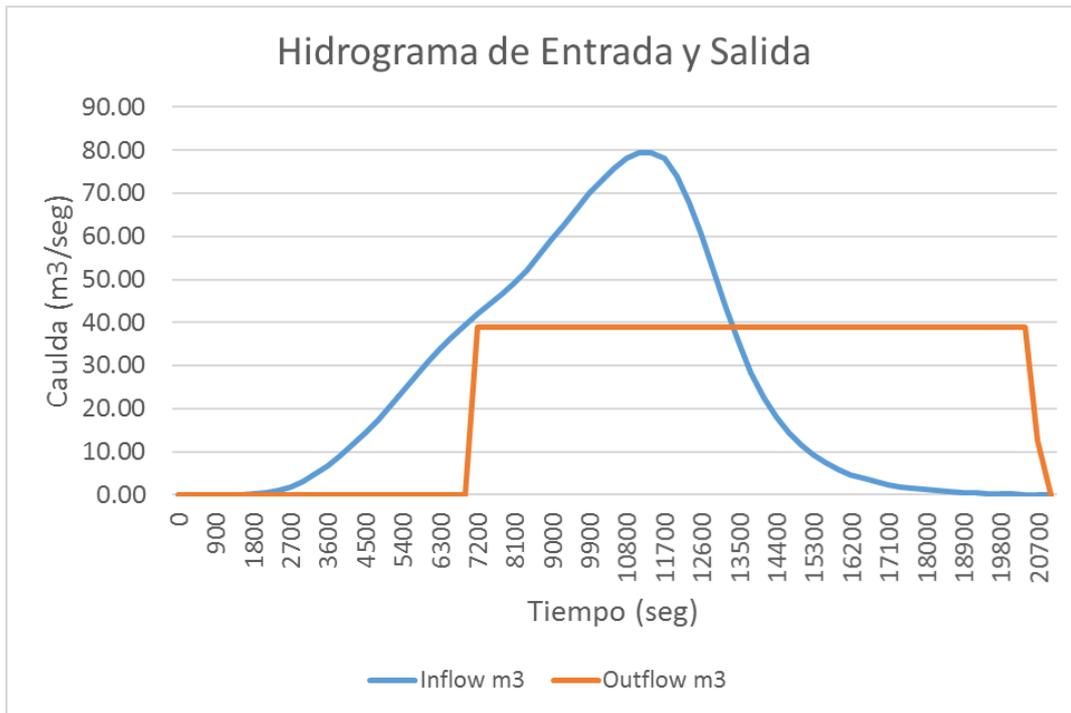


Figura 133: Hidrograma de Entrada y Salida en microcuencia 2 ($Q=39\text{m}^3/\text{seg}$).

Elaboración Propia

2.4.2.7.3. Predimensionamiento de canal de sección Trapezoidal

Para la microcuencia 1, ruteo de salida a Rio Moche para caudales de diseño de 20 y 45 m^3/seg y para la microcuencia2, ruteo de salida a Rio Moche para caudales de diseño de 20 y 39 m^3/seg

2.4.2.7.4. Aporte de Normativa de Diseño Autoridad Nacional del Agua (ANA)

- Radio Mínimo en función al Caudal
- Radio mínimo en canales abiertos para $Q < 20 \text{ m}^3/\text{s}$
- Valores de la rugosidad “n” de Manning
- Taludes apropiados para distintos tipos de material
- Pendientes laterales en canales según tipo de suelo
- Velocidades máximas en hormigón en función de su resistencia
- Velocidad del fluido y la resistencia del concreto

2.4.2.8. Tubería

2.4.2.8.1. Predimensionamiento de Diámetros de Tubería

Tabla 36: Sección Mínima requerida para tubería en ruta 1

nº	Ruta	Cuenca	Tramo	Inicio	Final	Q	D	n	s	Yc	θ	Yc/D	AO	A	PO	P	R	T	V
E3 E4	1	1	I	0+000	2+00	20	3.50	0.014	2.04%	1.77	181.12	0.50	9.62	4.87	11.00	5.53	0.26	3.50	4.11
			II	2+00	7+300	20	3.50	0.014	1.76%	1.82	184.36	0.52	9.62	5.04	11.00	5.63	0.27	3.50	3.97
			III	7+300	10+503.42	20	3.50	0.014	0.46%	3.49	347.51	1.00	9.62	9.62	11.00	10.61	0.28	0.38	2.08
E7 E8	1	1	I	0+000	2+00	45	3.50	0.014	2.04%	3.46	335.74	0.99	9.62	9.60	11.00	10.25	0.31	0.74	4.69
			II	2+00	7+300	45	3.50	0.014	1.76%	3.39	319.66	0.97	9.62	9.53	11.00	9.76	0.35	1.21	4.72
			III	7+300	10+503.42	45	4.50	0.014	0.46%	4.00	282.12	0.89	15.90	14.94	14.14	11.08	0.47	2.83	3.01
E15 E16	1	2	I	0+000	1+900	20	3.50	0.014	2.04%	1.77	181.12	0.50	9.62	4.87	11.00	5.53	0.26	3.50	4.11
			II	1+900	7+200	20	3.50	0.014	1.76%	1.82	184.36	0.52	9.62	5.04	11.00	5.63	0.27	3.50	3.97
			III	7+200	10403.42	20	3.50	0.014	0.46%	3.49	347.51	1.00	9.62	9.62	11.00	10.61	0.28	0.38	2.08
E19 E20	1	2	I	0+000	1+900	39	3.50	0.014	2.04%	2.39	222.98	0.68	9.62	7.00	11.00	6.81	0.40	3.26	5.57
			II	1+900	7+200	39	3.50	0.014	1.76%	2.50	230.85	0.71	9.62	7.36	11.00	7.05	0.42	3.16	5.30
			III	7+200	10+403.42	39	4.50	0.014	0.46%	3.43	243.31	0.76	15.90	13.01	14.14	9.55	0.49	3.83	3.00

2.4.2.9. Pavimento Rígido

2.4.2.9.1. Determinación del Caudal de Descarga en pavimento rígido

Para la microcuenca1:

Se planta una descarga regulada de 5 m³/seg, aunque sigue siendo un caudal elevado, al reducir aún más este valor retarda el proceso de descarga, suponiendo que la probabilidad de otro evento de lluvia sea nula.

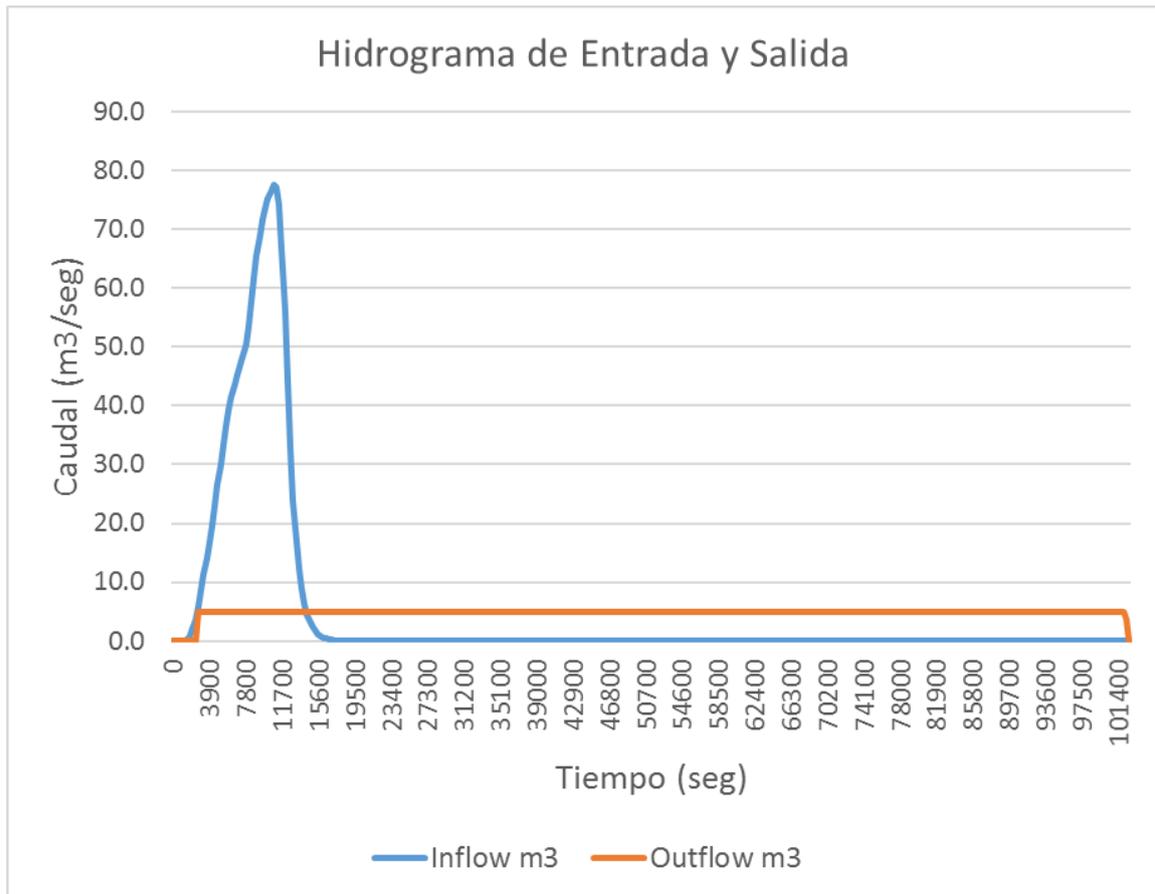


Figura 134: Hidrograma de Entrada y Salida en microcuenca 1 (Q=5m³/seg).

Elaboración Propia

Para la microcuenca2:

Se planta una descarga regulada de 5 m³/seg, aunque sigue siendo un caudal elevado, al reducir aún más este valor retarda el proceso de descarga, suponiendo que la probabilidad de otro evento de lluvia sea nula.

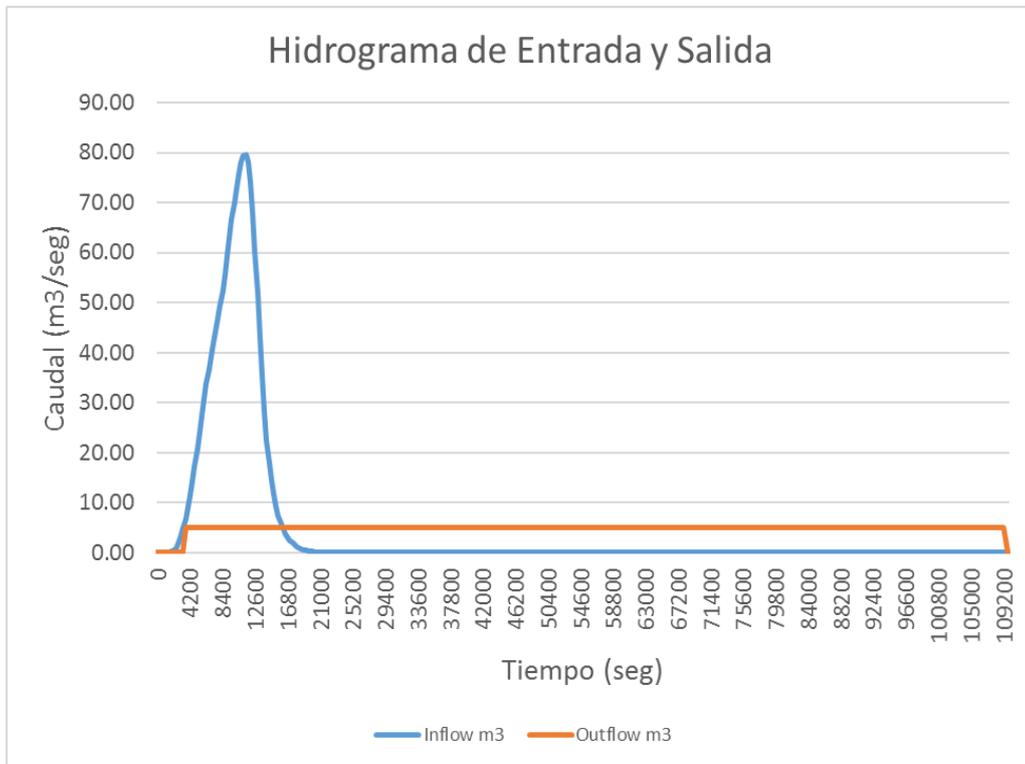


Figura 135: Hidrograma de Entrada y Salida en microcuenca 2 (Q=5m³/seg).

Elaboración Propia

2.4.2.9.2. Predimensionamiento de la sección de vía

Ruta 2: Cruzando Trujillo

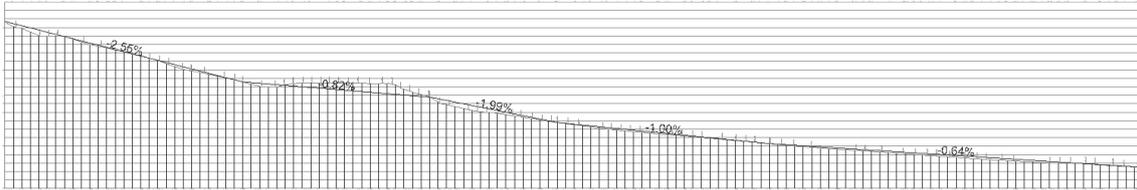


Figura 136: Captura no escalada del perfil y rasante de la Ruta 2.

Para la Ruta 3: Rodeando Trujillo



Figura 137: Captura no escalada del perfil y rasante de la Ruta 3.

En ambos casos se tiene pensado emplear secciones de pavimento rígido, con características similares en cuanto a pendiente actualmente, al realizar la rasante para esta ruta se determina 5 secciones diferentes

En los ruteos cruzando Trujillo y rodeando Trujillo, se ha simulado un pavimento rígido como canal para caudal de diseño de 5 m³/seg divididos en 2 vías de 2 carriles de ancho mínimo teórico de 3.60 metros cada uno.

2.4.2.10. Selección de Tipo de Presa

Considerando la cantidad de escenarios que se espera desarrollar en esta investigación, se ha considerado realizar el pre diseño o Predimensionamiento de dos tipos de presas: presa de tierra homogénea y presa de gravedad

Se ha tenido en cuenta diseñar una presa de tierra, por la existencia de material y la cercanía a canteras, se ha considerado que esta presa sea homogénea, para posibles rediseños u optimizaciones a la propuesta planteada en la que posiblemente se considere algún enrocado, un núcleo de material más resistente, implementación de filtros de arena, etc. Que suponga una reducción de las dimensiones, disminuya el volumen de la presa o mejore su comportamiento hidráulico.

Para la presa de gravedad se ha considerado, por la cercanía al agregado que podría emplearse para el mezclado in situ, es necesario considerar un estudio de suelo para evaluar la viabilidad de una presa de gravedad en los puntos de control de la microcuenca 1 y 2, por capacidad portante

2.4.2.10.1. Presa de Tierra

Al realizar el plantear los modelos para estas estructuras, los investigadores optan por diseños sencillos que pueden y deben considerarse un rediseño que mejore su comportamiento hídrico o con mejoras en el proceso constructivo, tecnologías o alguna reducción del metrado y presupuesto. Vale decir que no se ha diseñado con las condiciones más favorables, que deja abierta para próximas investigaciones

Alunas de mejoras que se pueden considerar: la implementación de un núcleo de un material más resistente, otros materiales, enrocados, filtro de material granular, etc.

2.4.2.10.1.1. Predimensionamiento de Presa de Tierra

Para el Predimensionamiento de las presas de tierra que serán evaluadas más adelante según los escenarios planteados en el ítem 2.4.4. se ha planteado tres descargas de efecto retardador corto, medio y prolongado (45, 20 y 5 o 39, 20, 5

para la microcuenca1 y 2 respectivamente) de los cuales se ha asociado características comunes en cada diseño

Al considerar un material de relleno predominante de arena y grava se ha diseñado con un talud anterior de 2.5:1 y un talud posterior de 2:1

Con respecto al ancho de la corona, se ha considerado un ancho de 4 metros para las presas de mayor altura y 3.6 metros para las de menor altura.

Las alturas de las presas, incluyen la altura útil en la que se espera que sea el máximo nivel de agua de tal manera que no perjudique la estructura; mas no incluye la socavación local, a que en el de control de la microcuenca1 la socavación medida fue de 1 metro y en el punto de control de la microcuenca2 es variable entre 1.5 a 2.0 metros, como proceso constructivo o elaboración del metrado se debe verificar la socavación como una altura adicional a la presentada más adelante para así lograr que la corono llegue a la cota según diseño.

2.4.2.10.1.2. Factores de Seguridad en presa de tierra

Para evaluar las presas de tierras diseñadas se ha empleado el software SLOPE/W en su versión 2012

Tabla 39: Ingreso y salida de datos en Modelamiento SLOPE/W

		Cuenca 1			Cuenca 2		
INGRESO	Descarga	Q5	Q20	Q45	Q5	Q20	Q39
	Talud anterior	2.5:1	2.5:1	2.5:1	2.5:1	2.5:1	2.5:1
	Talud posterior	2.0:1	2.0:1	2.0:1	2.0:1	2.0:1	2.0:1
	Altura útil	15.00	13.00	10.50	18.50	16.50	14.50
	Altura de la presa	16.00	14.00	11.50	19.50	17.50	15.50
	Ancho de la corona	4	4	3.6	4	4	3.6
	Coefficiente de sismicidad horizontal	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
	Coefficiente de sismicidad vertical	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05

	Socavación local	NO											
	Homogénea	SI											
	Filtro	NO											
	Material Predominante	Arena y Grava											
	Peso específico	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17
	Cohesión	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Angulo de Fricción interna (Phi)	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34
SALIDA	Modelamiento Sísmico	SI	NO										
	Morgenstern-Price	1.03	1.59	1.03	1.58	1.07	1.67	1.09	1.74	1.01	1.60	0.97	1.57
	Spencer	1.03	1.59	1.03	1.58	1.07	1.67	1.09	1.74	1.01	1.60	0.98	1.57
	Cuerpo de Ingenieros #1	0.81	1.00	0.81	1.00	0.81	1.01	0.81	1.02	0.81	1.01	0.82	1.02
	Cuerpo de Ingenieros #2	0.79	0.98	0.79	0.98	0.80	0.99	0.80	1.00	0.80	1.00	0.75	0.99
	Lowe Karafiath	0.77	0.83	0.77	0.96	0.78	0.96	0.76	0.85	0.76	0.84	0.78	0.97
	Janbu Generalizado	1.06	1.66	1.06	1.65	1.23	2.17	1.30	2.43	1.04	1.67	1.01	1.65
	Bishop	1.03	1.59	1.03	1.58	1.06	1.67	1.08	1.74	1.01	1.60	0.97	1.57
	Janbu	1.02	1.59	1.01	1.58	1.01	1.59	1.03	1.66	1.00	1.59	0.97	1.57
	Ordinario	1.13	1.78	1.11	1.75	1.14	1.76	1.15	1.87	1.14	1.85	1.14	1.86

Como se puede visualizar en los resultados obtenidos de los modelamientos de las presas prediseñadas los métodos más conservadores son: El cuerpo de ingenieros #1 y el cuerpo de ingenieros #2, y Lowe Karafiath, según comentarios de diversos diseñadores de este tipo de estructuras, se espera que el factor de seguridad considerando un coeficiente de reducción por sismicidad sea mayor a la unidad.

Con respecto a la lectura del factor de seguridad, los softwares especializados en este desarrollo y calculo, realizan un serie de iteración, en las que manejan diversas sub variables como la superficie de deslizamiento y la ubicación del punto O, que representa el centro y desde donde se realizan las mediciones de radio y Angulo, presentando el menor valor de estar iteraciones dentro del rango de respuestas, en la siguiente figura se presenta una representación de la presa tal y como el software lo proporciona, en la que para el casi de la microcuenca1 de descarga de 20 m3/seg. Por el método de Bishop (obispo), sin considerar sismo; en la que se

muestra un factor de seguridad de 1.582, sin embargo su rango de resultados esta entre 2.582 y 1.582

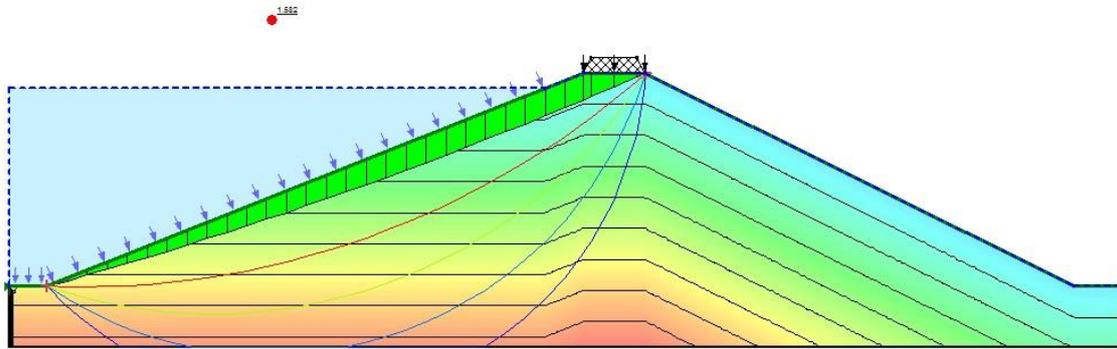


Figura 138: Esquema post análisis del software SLOPE/W de la microcuenca 1

2.4.2.10.2. Presa de Gravedad

2.4.2.10.2.1. Predimensionamiento de Presa de Gravedad

Para el Predimensionamiento de las presas gravedad que serán evaluadas más adelante según los escenarios planteados en el ítem 2.4.4. se ha planteado tres descargas de efecto retardador corto, medio y prolongado (45, 20 y 5 o 39, 20, 5 para la microcuenca1 y 2 respectivamente) de los cuales se ha asociado características comunes en cada diseño:

Como las dimensiones de la altura será la misma que el dimensionamiento de las presas de tierra, ya que provienen de del mismo análisis de las curvas de cota área volumen

Con respecto al ancho de la corona, se ha considerado un ancho de 4 metros para las presas de mayor altura y 3.6 metros para las de menor altura.

La cara inclinada de presa solo se aplicará de manera posterior, ya que la cara anterior será vertical

La cara inclinada tendrá una razón de 80%

Se diseñará considerando una línea de drenes a una distancia igual al ancho de la corona

No se considerará algún paramento vertical posterior

Las alturas de las presas, incluyen la altura útil en la que se espera que sea el máximo nivel de agua de tal manera que no perjudique la estructura; mas no incluye la socavación local, a que en el punto de control de la microcuenca1 la socavación medida fue de 1 metro y en el punto de control de la microcuenca2 es variable entre 1.5 a 2.0 metros, como proceso constructivo o elaboración del metrado se debe verificar la socavación como una altura adicional a la presentada más adelante para así lograr que la corona llegue a la cota según diseño.

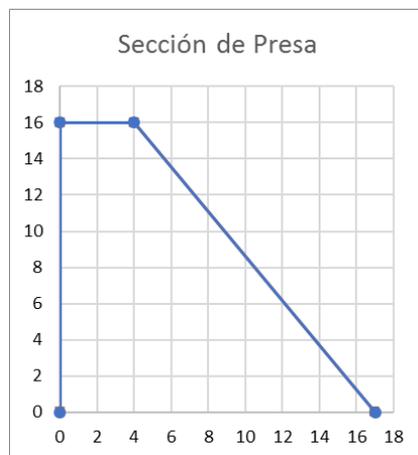


Figura 139: Diseño preliminar de la presa de gravedad para la microcuenca 1, con una descarga de 5m³/seg



Figura 140: Diseño preliminar de la presa de gravedad para la microcuenca 1, con una descarga de 20m³/seg

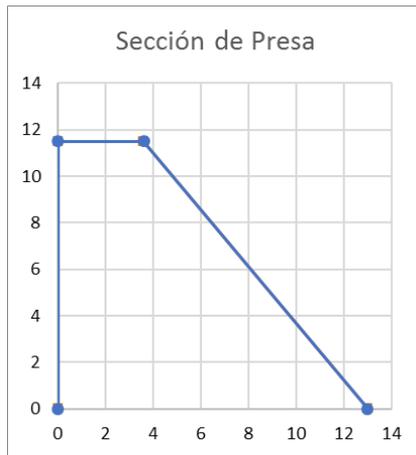


Figura 141: Diseño preliminar de la presa de gravedad para la microcuenca 1, con una descarga de 45m³/seg

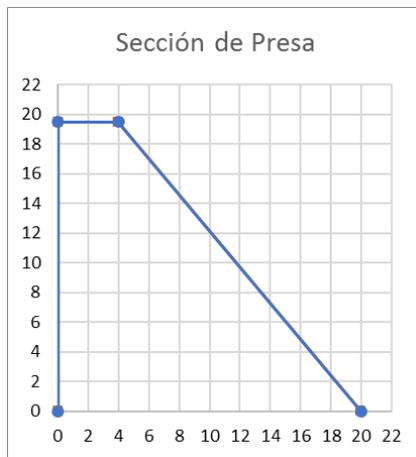


Figura 142: Diseño preliminar de la presa de gravedad para la microcuenca 2, con una descarga de 5m³/seg

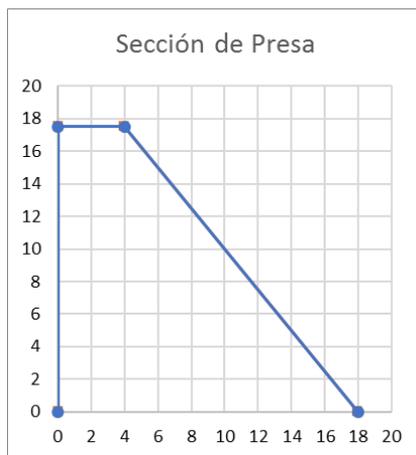


Figura 143: Diseño preliminar de la presa de gravedad para la microcuenca 2, con una descarga de 20m³/seg



Figura 144: Diseño preliminar de la presa de gravedad para la microcuenca 2, con una descarga de 39m³/seg

2.4.2.10.2.2. Combinaciones de Carga

Las combinaciones de cargas aplicables son:

- Usual: Peso Propio + Presión Agua (NAMO) + Supresión + Presión Sedimentos + Fuerza Hielo + Fuerza Hidrodinámica
- Inusual A: Usual + Presión Agua (NAME)
- Inusual B: Usual +Sismo Severo
- Extrema A: Inusual A (con drenes no operativos)
- Extrema B: Inusual B (con sismo máximo probable)

De lo cual se harán las contrastaciones para la combinación de carga Inusual A, en la que se esperan que los valores mínimos sean:

Tabla 40: Factores de Seguridad en función de las combinaciones de carga

	USUAL	INUSUAL	EXTREMA
Volteo	1.5	1.2	1
Deslizamiento	4	2.7	1.3
Esfuerzo	4	2.7	1.3

2.4.2.10.2.3. Factor de Seguridad al Volteo

Tabla 41: Calculo de Factor de Seguridad al Volteo, de la Presa de gravedad en la microfrecuencia 1 ($Q=5m^3/seg$).

Carga	Nomenclatura	Fuerza (ton)	brazo (m)	Mo. Opuesto	Mo. Activo
Peso Propio	W1	153.60	15.00	2304.00	--
Peso Propio	W2	249.60	8.67	2163.20	--
Presión Agua	Fa	98.00	5.67	--	555.33
Subpresion	U1	20.00	15.00	--	300.00
Subpresion	U2	20.00	15.67	--	313.33
Subpresion	U3	32.50	8.67	--	281.67
Sedimentos	F Lodo1	14.00	0.50	--	7.00
Sedimentos	F Lodo2	0.70	0.33	--	0.23
Sismo	F IH1	15.36	8.00	--	122.88
Sismo	F IH2	24.96	5.33	--	133.12
Fuerza Hidrodinámica	F hidro	11.96	6.18	--	73.88
			Suma	4467.20	1787.45
			FSV	2.499	

Tabla 42: Calculo de Factor de Seguridad al Volteo, de la Presa de gravedad en la microcuenca 1 (Q=20m3/seg).

Carga	Nomenclatura	Fuerza (ton)	brazo (m)	Mo. Opuesto	Mo. Activo
Peso Propio	W1	134.40	14.00	1881.60	--
Peso Propio	W2	201.60	8.00	1612.80	--
Presión Agua	Fa	72.00	5.00	--	360.00
Subpresion	U1	17.33	14.00	--	242.67
Subpresion	U2	17.33	14.67	--	254.22
Subpresion	U3	26.00	8.00	--	208.00
Sedimentos	F Lodo1	12.00	0.50	--	6.00
Sedimentos	F Lodo2	0.70	0.33	--	0.23
Sismo	F IH1	13.44	7.00	--	94.08
Sismo	F IH2	20.16	4.67	--	94.08
Fuerza Hidrodinámica	F hidro	8.98	5.35	--	48.09
	Suma			3494.40	1307.38
	FSV			2.673	

Tabla 43: Calculo de Factor de Seguridad al Volteo, de la Presa de gravedad en la microcuenca 1 (Q=45m3/seg)

Carga	Nomenclatura	Fuerza (ton)	brazo (m)	Mo. Opuesto	Mo. Activo
Peso Propio	W1	99.36	11.20	1112.83	--
Peso Propio	W2	129.72	6.27	812.91	--
Presión Agua	Fa	45.13	4.17	--	188.02
Subpresion	U1	12.60	11.20	--	141.12
Subpresion	U2	12.60	11.80	--	148.68
Subpresion	U3	16.45	6.27	--	103.09
Sedimentos	F Lodo1	9.50	0.50	--	4.75

Sedimentos	F Lodo2	0.70	0.33	--	0.23	
Sismo	F IH1	9.94	5.75	--	57.13	
Sismo	F IH2	12.97	3.83	--	49.73	
Fuerza Hidrodinámica	F hidro	5.86	4.32	--	25.34	
				Suma	1925.74	718.09
				FSV	2.682	

Tabla 44: Calculo de Factor de Seguridad al Volteo, de la Presa de gravedad en la microcuenca 2 (Q=5m3/seg).

Carga	Nomenclatura	Fuerza (ton)	brazo (m)	Mo. Opuesto	Mo. Activo	
Peso Propio	W1	187.20	18.00	3369.60	--	
Peso Propio	W2	374.40	10.67	3993.60	--	
Presión Agua	Fa	153.13	6.83	--	1046.35	
Subpresion	U1	24.67	18.00	--	444.00	
Subpresion	U2	24.67	18.67	--	460.44	
Subpresion	U3	49.33	10.67	--	526.22	
Sedimentos	F Lodo1	17.50	0.50	--	8.75	
Sedimentos	F Lodo2	0.70	0.33	--	0.23	
Sismo	F IH1	18.72	9.75	--	182.52	
Sismo	F IH2	37.44	6.50	--	243.36	
Fuerza Hidrodinámica	F hidro	18.19	7.62	--	138.60	
				Suma	7363.20	3050.49
				FSV	2.414	

Tabla 45: Calculo de Factor de Seguridad al Volteo, de la Presa de gravedad en la microcuenca 2 (Q=20m3/seg).

Carga	Nomenclatura	Fuerza (ton)	brazo (m)	Mo. Opuesto	Mo. Activo
Peso Propio	W1	168.00	16.00	2688.00	--
Peso Propio	W2	294.00	9.33	2744.00	--
Presión Agua	Fa	120.13	6.17	--	740.77
Subpresion	U1	22.00	16.00	--	352.00
Subpresion	U2	22.00	16.67	--	366.67
Subpresion	U3	38.50	9.33	--	359.33
Sedimentos	F Lodo1	15.50	0.50	--	7.75
Sedimentos	F Lodo2	0.70	0.33	--	0.23
Sismo	F IH1	16.80	8.75	--	147.00
Sismo	F IH2	29.40	5.83	--	171.50
Fuerza Hidrodinámica	F hidro	14.47	6.80	--	98.34
Suma				5432.00	2243.59
FSV				2.421	

Tabla 46: Calculo de Factor de Seguridad al Volteo, de la Presa de gravedad en la microcuenca 2 (Q=39m3/seg)

Carga	Nomenclatura	Fuerza (ton)	brazo (m)	Mo. Opuesto	Mo. Activo
Peso Propio	W1	133.92	14.20	1901.66	--
Peso Propio	W2	230.64	8.27	1906.62	--
Presión Agua	Fa	91.13	5.50	--	501.19
Subpresion	U1	17.40	14.20	--	247.08
Subpresion	U2	17.40	14.80	--	257.52
Subpresion	U3	29.97	8.27	--	247.72
Sedimentos	F Lodo1	13.50	0.50	--	6.75

Sedimentos	F Lodo2	0.70	0.33	--	0.23
Sismo	F IH1	13.39	7.75	--	103.79
Sismo	F IH2	23.06	5.17	--	119.16
Fuerza Hidrodinámica	F hidro	11.18	5.97	--	66.74
Suma				3808.29	1550.18
FSV				2.457	

2.4.2.10.2.4. Factor de Seguridad al Deslizamiento

Tabla 47: Calculo de Factor de Seguridad al Deslizamiento, de la Presa de gravedad en la microcuenca 1 (Q=5m3/seg).

Cálculo del factor de deslizamiento "f":		
Σ (FH)	164.98	ton
Σ (FV)	330.70	ton
f	0.499	
Factor de fricción por corte, "SFF":		
c	14	kg/cm2
phi	32	°
fi	0.625	°
SFF	15.679	

Tabla 48: Calculo de Factor de Seguridad al Deslizamiento, de la Presa de gravedad en la microcuenca 1 (Q=20m3/seg)

Cálculo del factor de deslizamiento "f":		
Σ (FH)	127.28	ton
Σ (FV)	275.33	ton
f	0.462	
Factor de fricción por corte, "SFF":		
c	14	kg/cm2
phi	32	°
fi	0.625	°
SFF	18.950	

Tabla 49: Calculo de Factor de Seguridad al Deslizamiento, de la Presa de gravedad en la microcuenca 1 (Q=45m3/seg)

Cálculo del factor de deslizamiento "f":		
Σ (FH)	84.09	ton
Σ (FV)	187.43	ton
F	0.449	
Factor de fricción por corte, "SFF":		
C	14	kg/cm2
Phi	32	°
Fi	0.625	°
SFF	23.035	

Tabla 50: Calculo de Factor de Seguridad al Deslizamiento, de la Presa de gravedad en la microcuenca 2 (Q=5m3/seg)

Cálculo del factor de deslizamiento "f":		
Σ (FH)	245.68	Ton
Σ (FV)	462.93	Ton
F	0.531	
Factor de fricción por corte, "SFF":		
C	14	kg/cm2
Phi	32	°
Fi	0.625	°
SFF	12.575	

Tabla 51: Calculo de Factor de Seguridad al Deslizamiento, de la Presa de gravedad en la microcuenca 2 (Q=20m3/seg)

Cálculo del factor de deslizamiento "f":		
Σ (FH)	197.00	ton
Σ (FV)	379.50	ton
F	0.519	
Factor de fricción por corte, "SFF":		
C	14	kg/cm2
Phi	32	°
fi	0.625	°
SFF	13.996	

Tabla 52: Calculo de Factor de Seguridad al Deslizamiento, de la Presa de gravedad en la microcuenca 2 (Q=39m3/seg)

Cálculo del factor de deslizamiento "f":		
Σ (FH)	152.96	ton
Σ (FV)	299.79	ton
f	0.510	
Factor de fricción por corte, "SFF":		
c	14	kg/cm ²
phi	32	°
fi	0.625	°
SFF	15.869	

2.4.2.10.2.5. Factor de Seguridad a los esfuerzos

Tabla 53: Calculo de Factor de Seguridad a los esfuerzos, de la Presa de gravedad en la microcuenca 1 (Q=5m3/seg)

Carga	Nomenclatura	Fuerza (ton)	Brazo (m)	M (ton.m)	Sentido
Peso Propio	W1	153.60	6.50	-998.40	Antihorario
Peso Propio	W2	249.60	0.17	-41.60	Antihorario
Presión Agua	Fa	98.00	5.67	555.33	Horario
Subpresion	U1	20.00	6.50	130.00	Horario
Subpresion	U2	20.00	7.17	143.33	Horario
Subpresion	U3	32.50	0.17	5.42	Horario
Sedimentos	F Lodo1	14.00	0.50	7.00	Horario
Sedimentos	F Lodo2	0.70	0.33	0.23	Horario
Sismo	F IH1	15.36	8.00	122.88	Horario
Sismo	F IH2	24.96	5.33	133.12	Horario
Fuerza Hidrodinámica	F hidro	11.96	6.18	73.88	Horario
			Suma	131.20	

En ton/m ²		
δ_{max}	22.18	ton/m ²
δ_{min}	16.73	ton/m ²
En kg/cm ² :		
δ_{max}	2.22	kg/cm ²
δ_{min}	1.67	kg/cm ²
FS esf	2.53	

Tabla 54: Calculo de Factor de Seguridad a los esfuerzos, de la Presa de gravedad en la microcuenca 1 (Q=20m3/seg)

Carga	Nomenclatura	Fuerza (ton)	Brazo (m)	M (ton.m)	Sentido
Peso Propio	W1	134.40	6.00	-806.40	Antihorario
Peso Propio	W2	201.60	0.00	0.00	Horario
Presión Agua	Fa	72.00	5.00	360.00	Horario
Subpresion	U1	17.33	6.00	104.00	Horario
Subpresion	U2	17.33	6.67	115.56	Horario
Subpresion	U3	26.00	0.00	0.00	Horario
Sedimentos	F Lodo1	12.00	0.50	6.00	Horario
Sedimentos	F Lodo2	0.70	0.33	0.23	Horario
Sismo	F IH1	13.44	7.00	94.08	Horario
Sismo	F IH2	20.16	4.67	94.08	Horario
Fuerza Hidrodinámica	F hidro	8.98	5.35	48.09	Horario
			Suma	15.64	

En ton/m²

δ_{max} 17.57 ton/m²

$\delta_{mín}$ 16.84 ton/m²

En kg/cm²:

δ_{max} 1.76 kg/cm²

$\delta_{mín}$ 1.68 kg/cm²

FS esf 3.19

Tabla 55: Calculo de Factor de Seguridad a los esfuerzos, de la Presa de gravedad en la microcuenca 1 (Q=45m3/seg)

Carga	Nomenclatura	Fuerza (ton)	Brazo (m)	M (ton.m)	Sentido
Peso Propio	W1	99.36	4.70	-466.99	Antihorario
Peso Propio	W2	129.72	-0.23	30.27	Horario
Presión Agua	Fa	45.13	4.17	188.02	Horario
Subpresion	U1	12.60	4.70	59.22	Horario
Subpresion	U2	12.60	5.30	66.78	Horario
Subpresion	U3	16.45	-0.23	-3.84	Antihorario
Sedimentos	F Lodo1	9.50	0.50	4.75	Horario
Sedimentos	F Lodo2	0.70	0.33	0.23	Horario
Sismo	F IH1	9.94	5.75	57.13	Horario
Sismo	F IH2	12.97	3.83	49.73	Horario
Fuerza Hidrodinámica	F hidro	5.86	4.32	25.34	Horario
			Suma	10.64	

En ton/m2

δ_{max} 14.80 ton/m2

$\delta_{mín}$ 14.04 ton/m2

En kg/cm2:

δ_{max} 1.48 kg/cm2

$\delta_{mín}$ 1.40 kg/cm2

FS esf 3.78

Tabla 56: Calculo de Factor de Seguridad a los esfuerzos, de la Presa de gravedad en la microcuenca 2 (Q=5m3/seg)

Carga	Nomenclatura	Fuerza (ton)	Brazo (m)	M (ton.m)	Sentido
Peso Propio	W1	187.20	8.00	- 1497.60	Antihorario
Peso Propio	W2	374.40	0.67	-249.60	Antihorario
Presión Agua	Fa	153.13	6.83	1046.35	Horario
Subpresion	U1	24.67	8.00	197.33	Horario
Subpresion	U2	24.67	8.67	213.78	Horario
Subpresion	U3	49.33	0.67	32.89	Horario
Sedimentos	F Lodo1	17.50	0.50	8.75	Horario
Sedimentos	F Lodo2	0.70	0.33	0.23	Horario
Sismo	F IH1	18.72	9.75	182.52	Horario
Sismo	F IH2	37.44	6.50	243.36	Horario
Fuerza Hidrodinámica	F hidro	18.19	7.62	138.60	Horario
			Suma	316.62	

En ton/m2

δ_{max} 27.90 ton/m2

$\delta_{mín}$ 18.40 ton/m2

En kg/cm2:

δ_{max} 2.79 kg/cm2

$\delta_{mín}$ 1.84 kg/cm2

FS esf 2.01

Tabla 57: Calculo de Factor de Seguridad a los esfuerzos, de la Presa de gravedad en la microcuenca 2 (Q=20m3/seg)

Carga	Nomenclatura	Fuerza (ton)	Brazo (m)	M (ton.m)	Sentido
Peso Propio	W1	168.00	7.00	- 1176.00	Antihorario
Peso Propio	W2	294.00	0.33	-98.00	Antihorario
Presión Agua	Fa	120.13	6.17	740.77	Horario
Subpresion	U1	22.00	7.00	154.00	Horario
Subpresion	U2	22.00	7.67	168.67	Horario
Subpresion	U3	38.50	0.33	12.83	Horario
Sedimentos	F Lodo1	15.50	0.50	7.75	Horario
Sedimentos	F Lodo2	0.70	0.33	0.23	Horario
Sismo	F IH1	16.80	8.75	147.00	Horario
Sismo	F IH2	29.40	5.83	171.50	Horario
Fuerza Hidrodinámica	F hidro	14.47	6.80	98.34	Horario
			Suma	227.09	

En ton/m2

δ_{max} 25.29 ton/m2

$\delta_{mín}$ 16.88 ton/m2

En kg/cm2:

δ_{max} 2.53 kg/cm2

$\delta_{mín}$ 1.69 kg/cm2

FS esf 2.21

Tabla 58: Calculo de Factor de Seguridad a los esfuerzos, de la Presa de gravedad en la microcuenca 2 (Q=39m3/seg)

Carga	Nomenclatura	Fuerza (ton)	Brazo (m)	M (ton.m)	Sentido
Peso Propio	W1	133.92	6.20	-830.30	Antihorario
Peso Propio	W2	230.64	0.27	-61.50	Antihorario
Presión Agua	Fa	91.13	5.50	501.19	Horario
Subpresion	U1	17.40	6.20	107.88	Horario
Subpresion	U2	17.40	6.80	118.32	Horario
Subpresion	U3	29.97	0.27	7.99	Horario
Sedimentos	F Lodo1	13.50	0.50	6.75	Horario
Sedimentos	F Lodo2	0.70	0.33	0.23	Horario
Sismo	F IH1	13.39	7.75	103.79	Horario
Sismo	F IH2	23.06	5.17	119.16	Horario
Fuerza Hidrodinámica	F hidro	11.18	5.97	66.74	Horario
			Suma	140.24	

En ton/m²

δ_{max} 22.02 ton/m²

$\delta_{mín}$ 15.45 ton/m²

En kg/cm²:

δ_{max} 2.20 kg/cm²

$\delta_{mín}$ 1.55 kg/cm²

FS esf 2.54

2.4.2.11. Modelamiento Bidimensional en Software IBER

El Software IBER, permite realizar el análisis bidimensional a partir de una superficie, como desventaja es que el procesamiento suele tardar varias horas, dependiendo de la extensión de la superficie y el tamaño de la grilla o malla.

Por esta razón nos vemos obligados a poder hacer una depuración definitiva a los escenarios mostrados en el ítem 2.4.4., en base a diversos criterios:

Tabla 59: Primera depuración de escenarios y justificación o comentario

Escenario	Justificación o Comentario	Descartado
E1	Diseño de presa y canal orientado a un volumen de presa seleccionado por los investigadores	NO
E2	Diseño de presa y canal orientado a un volumen de presa seleccionado por los investigadores	NO
E3	Diseño de presa y canal orientado a un volumen de presa seleccionado por los investigadores	NO
E4	Diseño de presa y canal orientado a un volumen de presa seleccionado por los investigadores	NO
E5	Diseño de presa y canal orientado a un mínimo volumen de presa	NO
E6	Diseño de presa y canal orientado a un mínimo volumen de presa	NO
E7	Diseño de presa y tubería orientado a un mínimo volumen de presa	NO
E8	Diseño de presa y canal orientado a un mínimo volumen de presa	NO
E9	Elevado efecto retardador de descarga, presa de elevado volumen	SI
E10	Elevado efecto retardador de descarga, presa de elevado volumen	SI
E11	Se busca preservar la zona arqueológica de Chan-Chan	SI

E12	Se busca preservar la zona arqueológica de Chan-Chan	SI
E13	Elevado Volumen de presa de Tierra en comparación a E1	SI
E14	Elevado Volumen de presa de gravedad en comparación a E2	SI
E15	Elevado Volumen de presa de Tierra en comparación a E3	SI
E16	Elevado Volumen de presa de gravedad en comparación a E4	SI
E17	Elevado Volumen de presa de Tierra en comparación a E5	SI
E18	Elevado Volumen de presa de gravedad en comparación a E6	SI
E19	Elevado Volumen de presa de Tierra en comparación a E7	SI
E20	Elevado Volumen de presa de gravedad en comparación a E8	SI
E21	Elevado Volumen de presa de Tierra en comparación a E9	SI
E22	Elevado Volumen de presa de gravedad en comparación a E10	SI
E23	Elevado Volumen de presa de Tierra en comparación a E11	SI
E24	Elevado Volumen de presa de gravedad en comparación a E12	SI

De esta manera excluimos la microcuenca2 como alternativa de solución para evitar inundaciones provenientes de la quebrada San Ildefonso

De esta manera excluimos la descarga lenta o efecto retardador prolongado, como alternativa de solución porque supone un considerable aumento de estructura de embalse

Para poder crear la superficie se ha realizado el modelamiento en el software civil 3D: con ayuda del complemento de AutoCAD CadEarth se ha descargado las curvas de nivel del área de trabajo, no se empleó el mismo ráster ya que Google Earth Proporciona información de con fecha actual a diferencial del ráster descariado desde ALOS PALSAR elaborado en el 2011.

El Complemento CadEarth en su versión gratuita tiene un límite de 50000 puntos en la triangulación para la creación de las curvas a nivel.

Habiendo realizado la descarga de la información desde Google Earth a AutoCAD Civil 3D, se procede a importar los puntos correspondientes al ruteo con salida al rio moche.



Figura 145: Área de trabajo, visto desde Google Earth.



Figura 146: Importación del Área de trabajo a curvas de nivel desde AutoCAD Civil 3D

A partir del software se permite crear una superficie preliminar en la cual se identifica el ruteo seleccionado como alineamiento, la cual se modifica los puntos que componen el ruteo para minimizar el movimiento de tierra y los radios, de acuerdo con la normativa presentada en el manual de diseño del ANA

Posteriormente se ha procedido a realizar el perfil longitudinal del dicho ruteo, la cual se ha diseñado también la rasante que tendrá el canal, se consideró la pendiente del canal para su dimensionamiento.

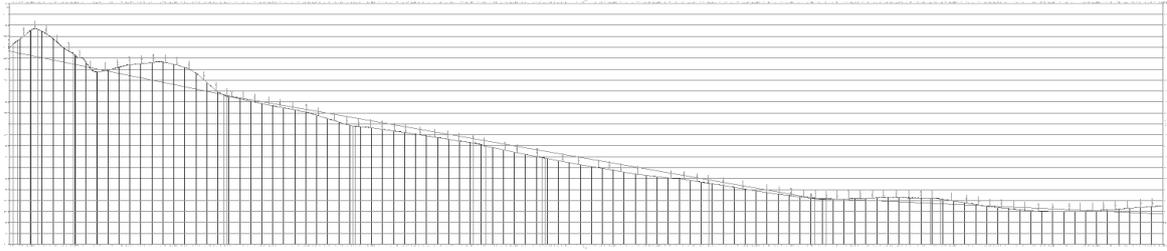


Figura 147: Captura no escalada del perfil y rasante de la Ruta 1.

Luego se procede a crear la superficie del canal y de la presa con los parámetros con que han sido pre diseñados, a manera de corredor

Como se mencionó el Software IBER suele tardar su procesamiento debido a la extensión de la superficie que se importará, el tamaño de la grilla asignada y el intervalo de análisis, sabiendo esto se realiza un recorte de la superficie para agilizar este proceso Creación de Superficies

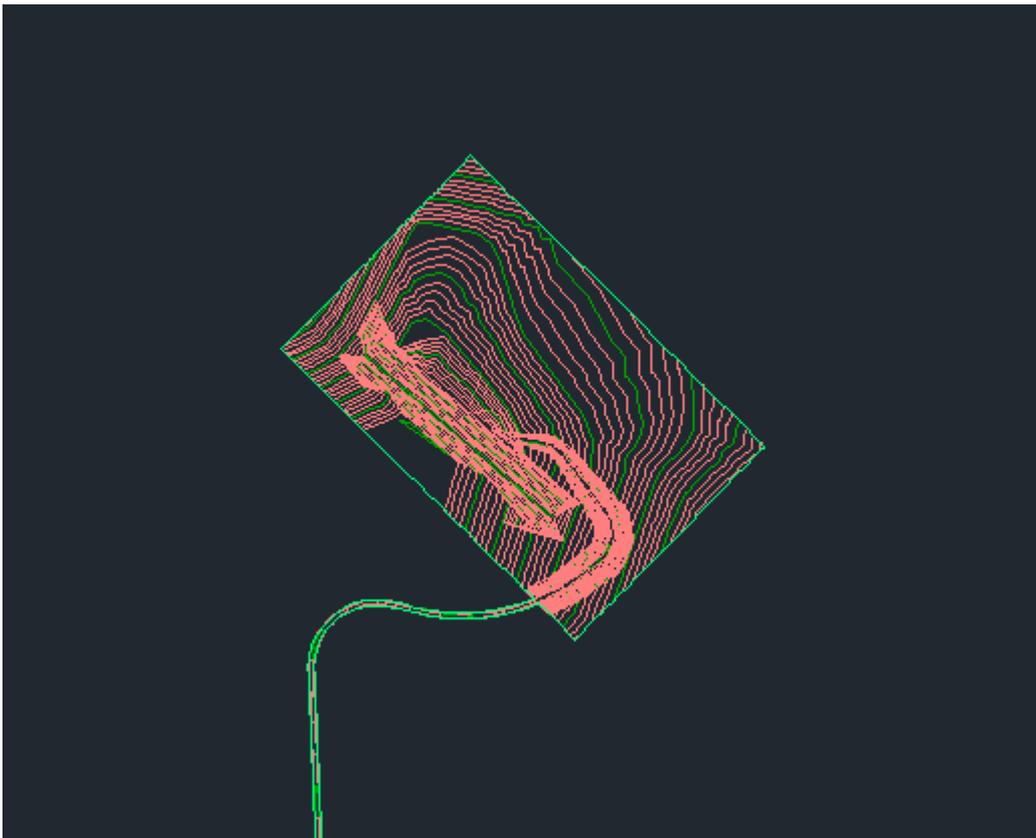


Figura 148: Superficie editada y recortada del área de trabajo

Creada la superficie del canal y de la presa con los parámetros con que han sido pre diseñados, a manera de corredor. Se procede a exportar las superficies de AutoCAD Civil 3D a LandXML, (**presa_canal.xml**).

En la sesión de **ArcMap** se georreferencia y se guarda con el nombre **SAN_ILDEFONSO_PRESA_CANAL.mxd** en la carpeta creada para almacenar el proyecto. Se selecciona en el icono **Save As |TESIS SAN ILDEFONSO-PRESA Y CANAL**.

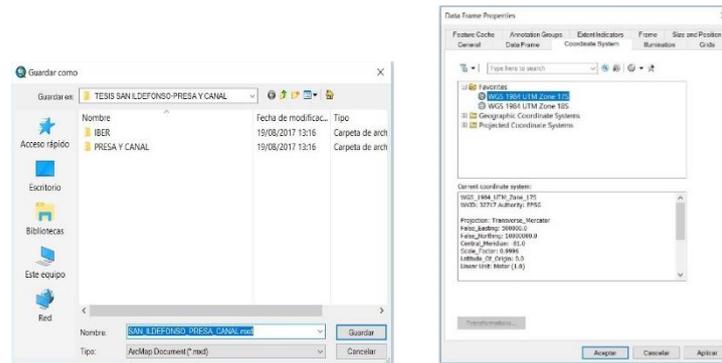


Figura 149: Creación del proyecto para IBER en ArcMap

En la sesión de ArcMap se convierte el archivo presa_canal.xml a TIN, desde ArcToolbox| 3D Analyst Tools| Conversion | From File|LandXML to TIN. En el cuadro de dialogo se ingresa presa_canal.xml, se selecciona la ruta y el nombre del archivo de salida, (presa_canal).

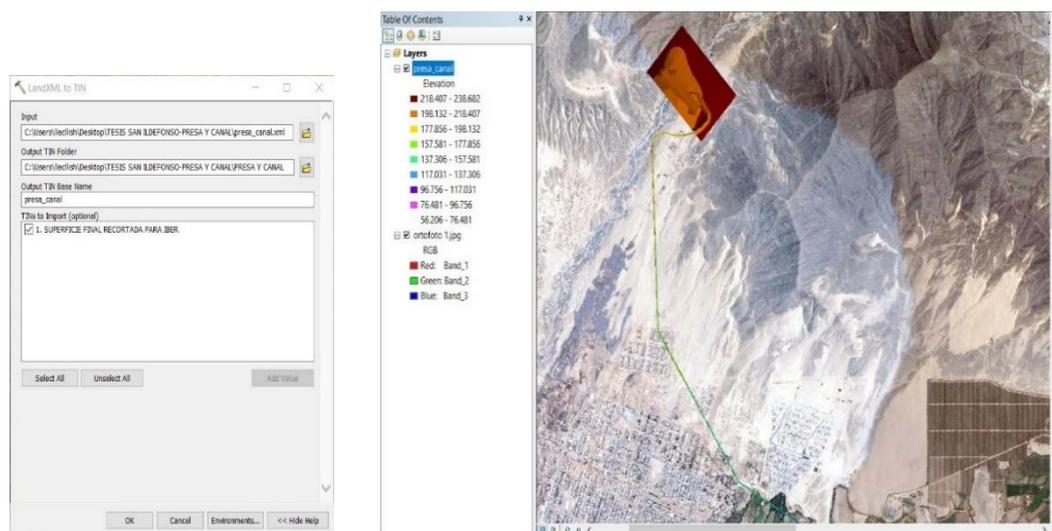


Figura 150: Conversión del proyecto LandXML a TIN

Se convierte el proyecto TIN a Raster, desde ArcToolbox| 3D Analyst Tools| Conversion | From TIN | TIN to Raster. En el cuadro de dialogo se ingresa presa_canal, se selecciona la ruta y el nombre del archivo de salida, (presa_canal_1).

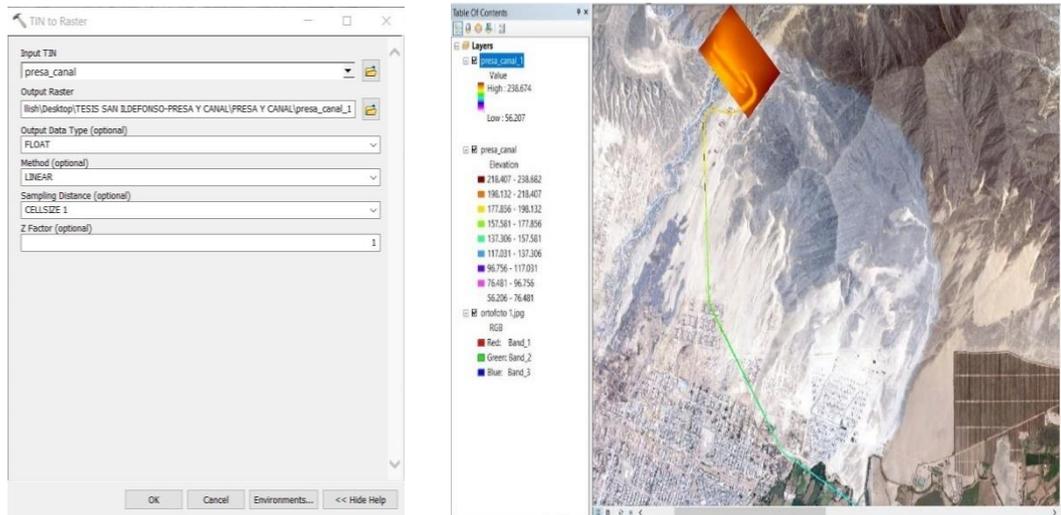


Figura 151: Conversión del proyecto TIN a Ráster

En ArcMap, se convierte el proyecto Ráster a ASCII, desde ArcToolbox| Conversion Tools | From Ráster |Ráster to ASCII. En el cuadro de dialogo se ingresa presa_canal_1, se selecciona la ruta y el nombre del archivo de salida, (presa_canal.TXT).

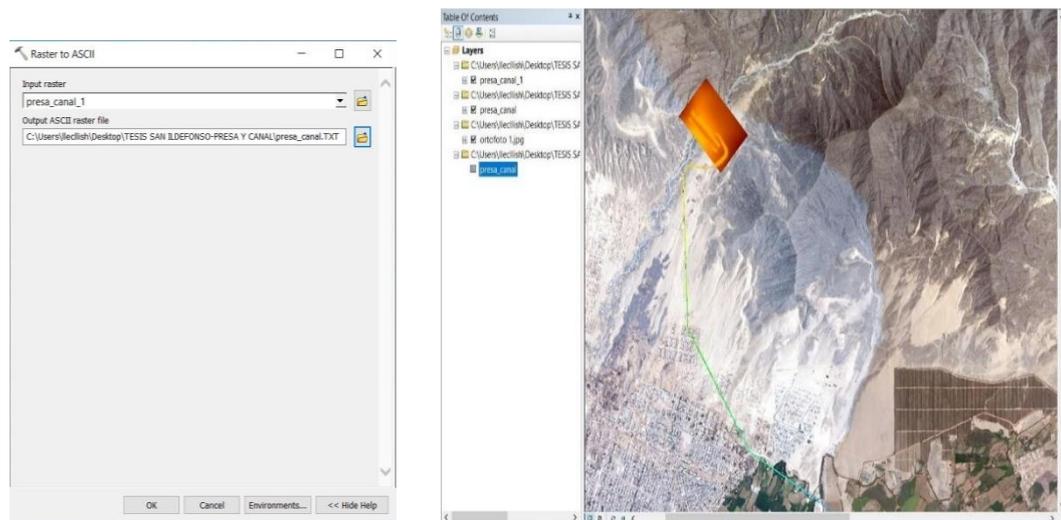


Figura 152: Conversión del proyecto Ráster a ASCII

2.4.2.11.1. Preproceso de IBER

2.4.2.11.1.1. Creación e importación de malla RTIN

La sesión de **IBER** se guarda con el nombre **presa_canal.gid** en la carpeta creada para almacenar el proyecto. Se selecciona en el icono **salvar proyecto GID |IBER**.

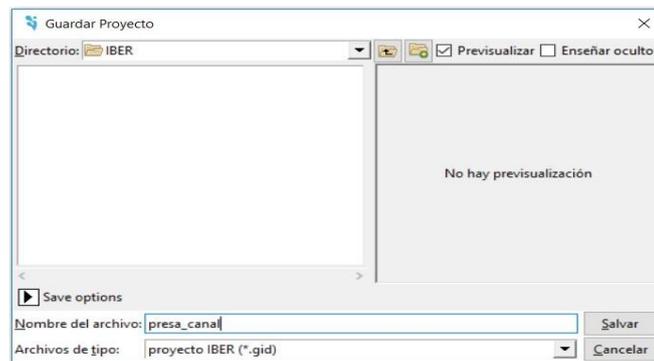


Figura 153: Creación del proyecto en IBER

En la sesión de **IBER** se crea e importa una malla formada por una red irregular de triángulos rectángulos. Desde **herramientas Iber |RTIN | Crear RTIN**. En el cuadro de dialogo se selecciona el archivo **MDT** (modelo digital del terreno) original (**presa_canal.TXT**); se escoge Malla, se ingresa la tolerancia que viene ser la máxima distancia en vertical entre el MDT y la malla creada, además se adiciona la longitud mínima y máxima de lado de los triángulos que se forman.

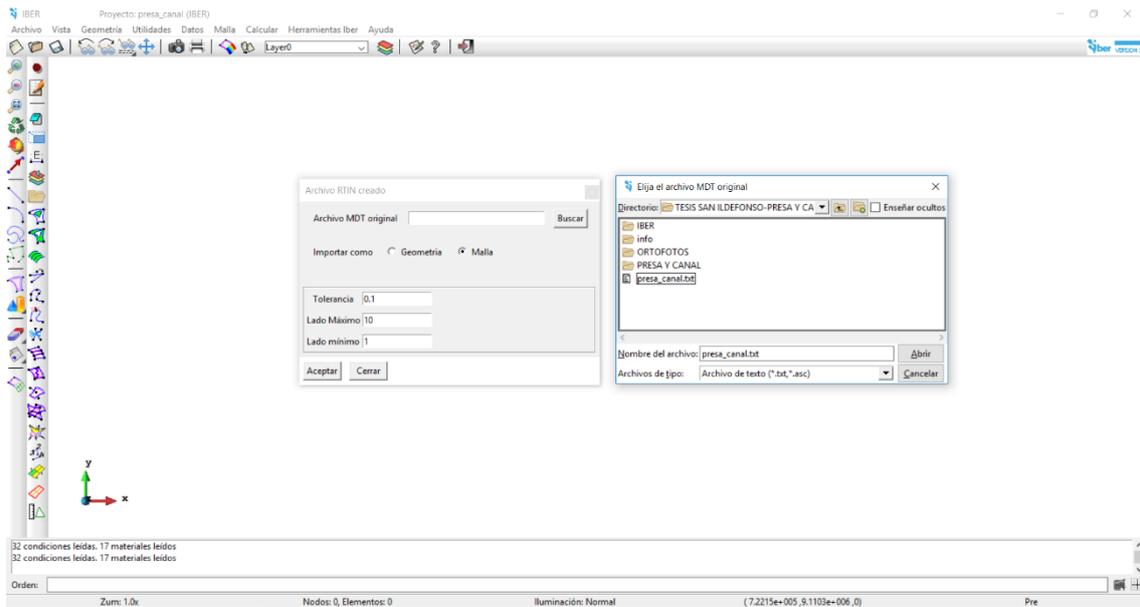


Figura 154: Importación del MDT en IBER

En la sesión de **IBER**. Se muestra la malla formada por una red irregular de triángulos rectángulos importada, donde se aprecia la topografía, la presa y el canal.

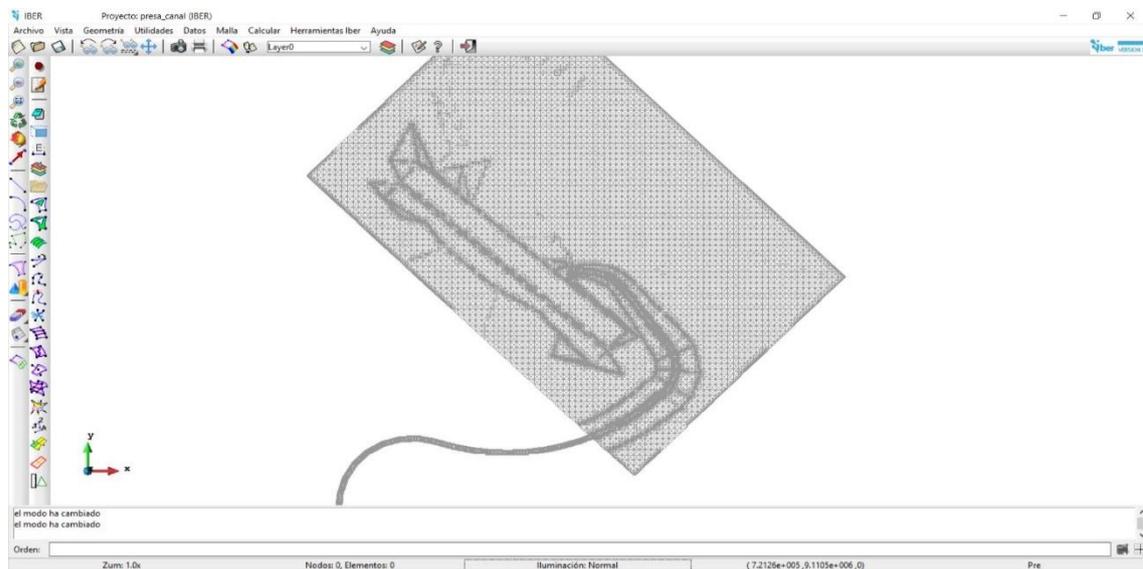


Figura 155: Malla irregular generada tras la importación de un MDT

2.4.2.11.1.2. Condición de contorno

2.4.2.11.1.3. Condición de entrada

Esta condición de contorno sirve para visualizar el ingreso de caudal al embalse; en la sesión de IBER .se tiene como condición de entrada al hidrograma generado a partir de la modelación en HEC-HMS para la microcuenca1. Desde la herramienta **Datos |Hidrodinámica |Condiciones de Contorno**. En el cuadro de dialogo en caudal total se ingresa el hidrograma y se asigna la **Entrada 2D** se selecciona el icono **Dibujar |Colores**, se debe asegurar que la entrada se haya asignado correctamente.

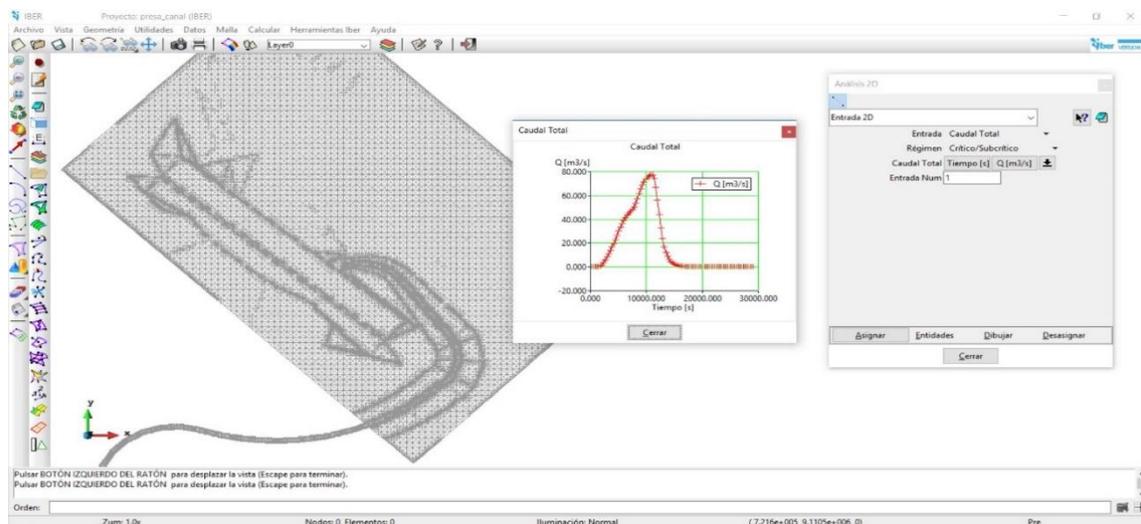


Figura 156: Ingreso de hidrograma al modelo en IBER

2.4.2.11.1.4. Condición de salida

Esta condición de contorno sirve para visualizar el transporte de agua a través del canal. Desde la herramienta **Datos |Hidrodinámica |Condiciones de Contorno**. En el cuadro de dialogo, se asigna la **Salida 2D** y se selecciona el icono **Dibujar |Colores**, se debe asegurar que la salida se haya asignado correctamente.

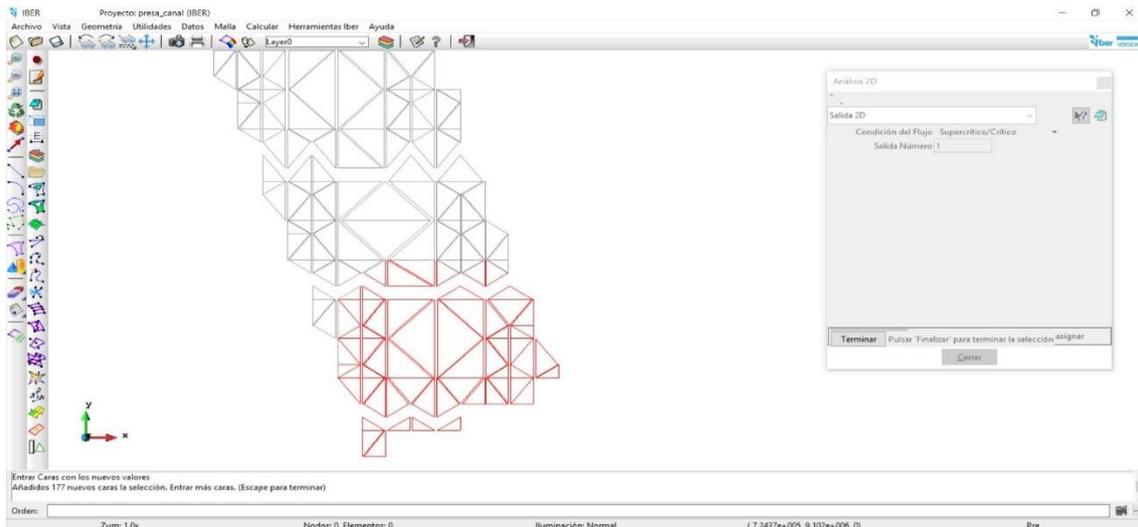


Figura 157: Salida del flujo de agua en IBER

2.4.2.11.1.5. Rugosidad

En la sesión de IBER, la rugosidad se asigna a través de un coeficiente de rugosidad de Manning, debe ser asignado a todos los elementos de la malla. Desde la herramienta

Datos |Rugosidad |Uso del Suelo. En la ventana de dialogo se genera un nuevo uso de suelo el cual es concreto, con un coeficiente de rugosidad de Manning 0.014 y se asigna a todos los elementos de la malla, desde el icono **Dibujar |Colores**, se debe asegurar que se haya asignado correctamente.

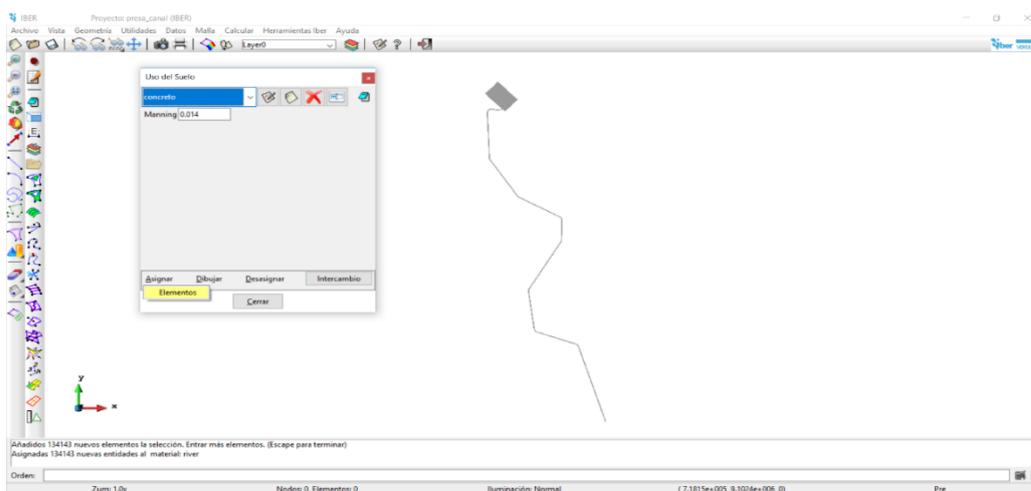


Figura 158: Selección del coeficiente de rugosidad de Manning

2.4.2.11.1.6. Datos del Problema

Con la condición de contorno y la rugosidad, se han ingresado todos los datos necesarios para correr el modelo. Desde la herramienta **Datos| Datos del Problema| Parámetros de Tiempo**, en la ventana de dialogo se ingresa el instante inicial, que por lo general es 0, el tiempo máximo de simulación el cual debe tener un valor mayor al hidrograma de entrada de 29400 s, el tiempo en el que se quiere ver los resultados de 300 s , además en la pestaña **General**, se selecciona como número de procesadores 4, esto con el objeto de optimizar los tiempos de cálculo y finalmente en la pestaña **Resultados** se seleccionan los resultados que se desean obtener , como son la velocidad , el caudal , el calado, cota de agua.

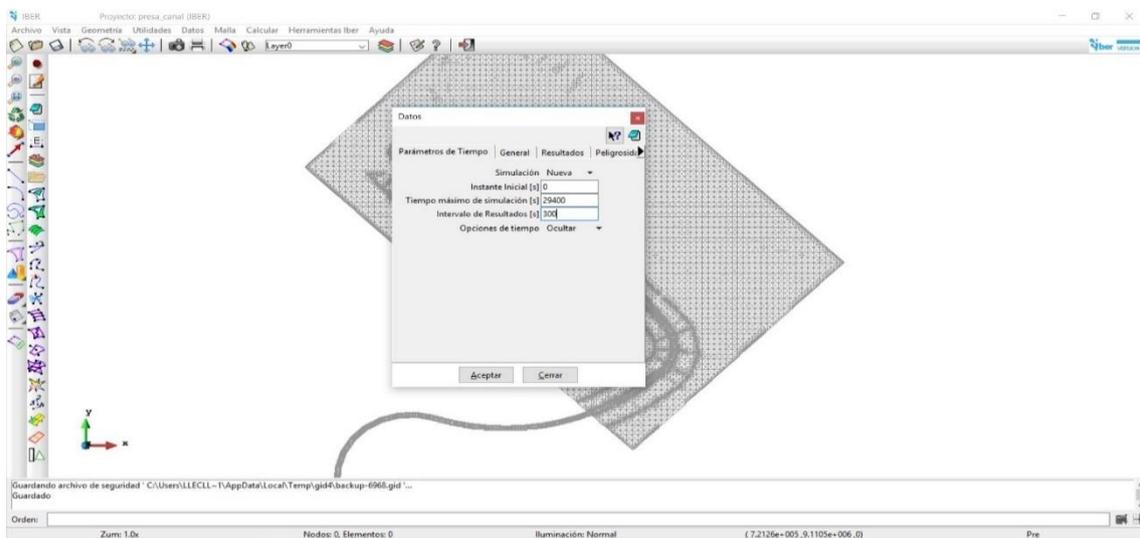


Figura 159: Parámetros para la simulación del modelo en IBER

En la sesión de IBER. se observa el avance del proceso mediante una ventana de cálculo la cual permite conocer, el caudal de entrada, el caudal de salida, el tiempo de simulación. Finalizada la simulación o durante el cálculo se puede acceder al postproceso, para visualizar los resultados obtenidos.

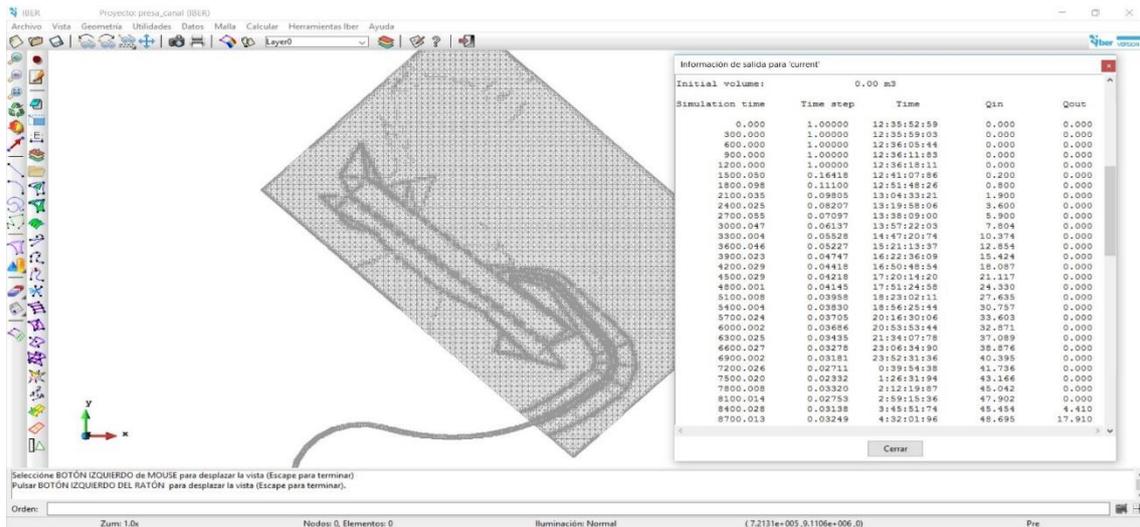


Figura 160: Simulación del modelo en IBER

2.4.2.11.2. Postproceso de IBER

2.4.2.11.2.1. Cambiar entre preproceso y Postproceso

En la sesión de **IBER**, en la barra de herramientas se selecciona en cambiar **entre pre y postproceso**, se visualiza un entorno muy amigable en donde se muestran los resultados de la modelación.

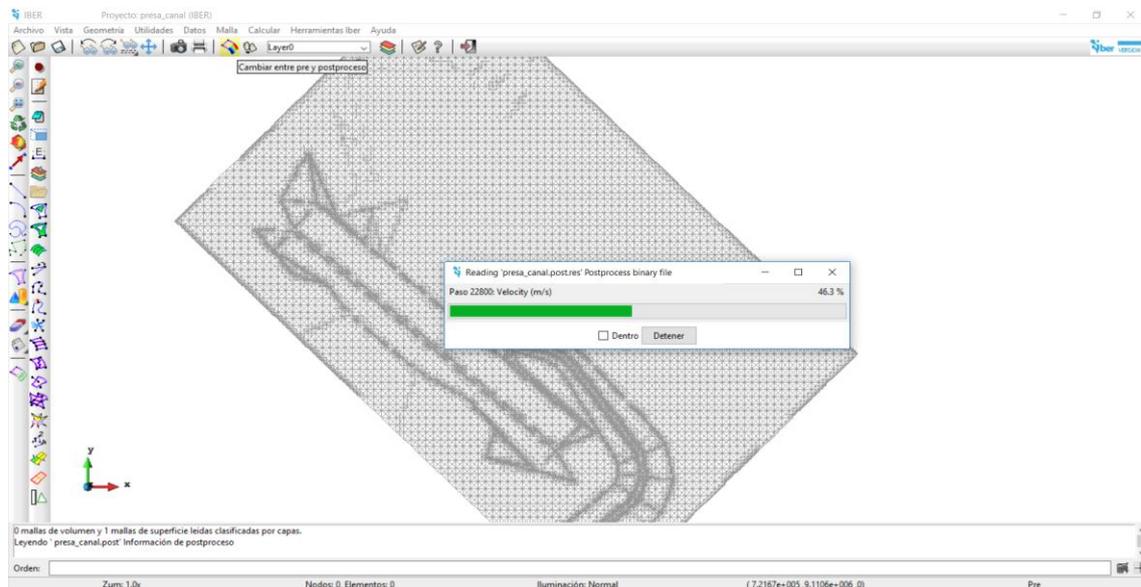


Figura 161: Ingreso al postproceso en IBER

2.4.2.11.2.2. Visualización de resultados

2.4.2.11.2.2.1. Ventana de resultados

En la sesión de **IBER**. Para visualizar los mapas de resultados, Se selecciona en **Ventana de Resultados**.

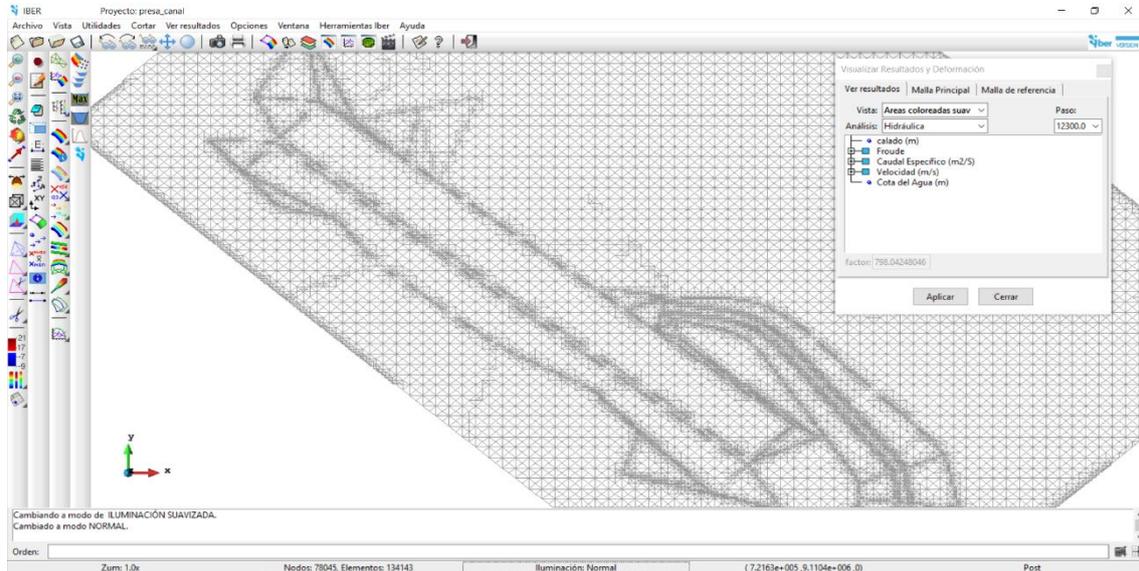


Figura 162: Acceso a la ventana de resultados de IBER

2.4.2.11.2.2.2. Velocidad (m/s)

En la barra de herramientas de IBER, seleccionamos el icono **ventana de resultados y deformación| hidrodinámica|Velocidad**, a través de la ventana de animación de resultados se pueden visualizar la velocidad que es variable para cada uno de los instantes de tiempo de la simulación, del ingreso de agua a la presa y la descarga hacia el canal. en este caso la velocidad máxima es de 5.3m/s para el ingreso hacia la presa y 3m/s para la descarga en el canal.

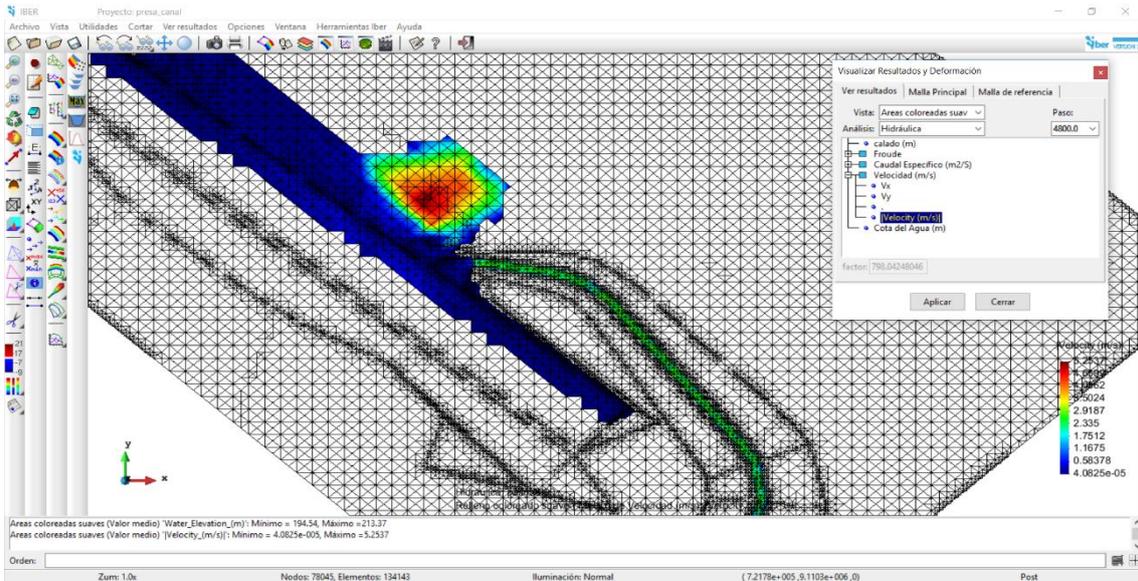


Figura 163: Simulación de resultados de la velocidad en IBER

Desde la Ventana de animación de resultados, se puede visualizar los vectores de movimiento de la velocidad, cada uno de los vectores tiene un módulo proporcional a su tamaño.

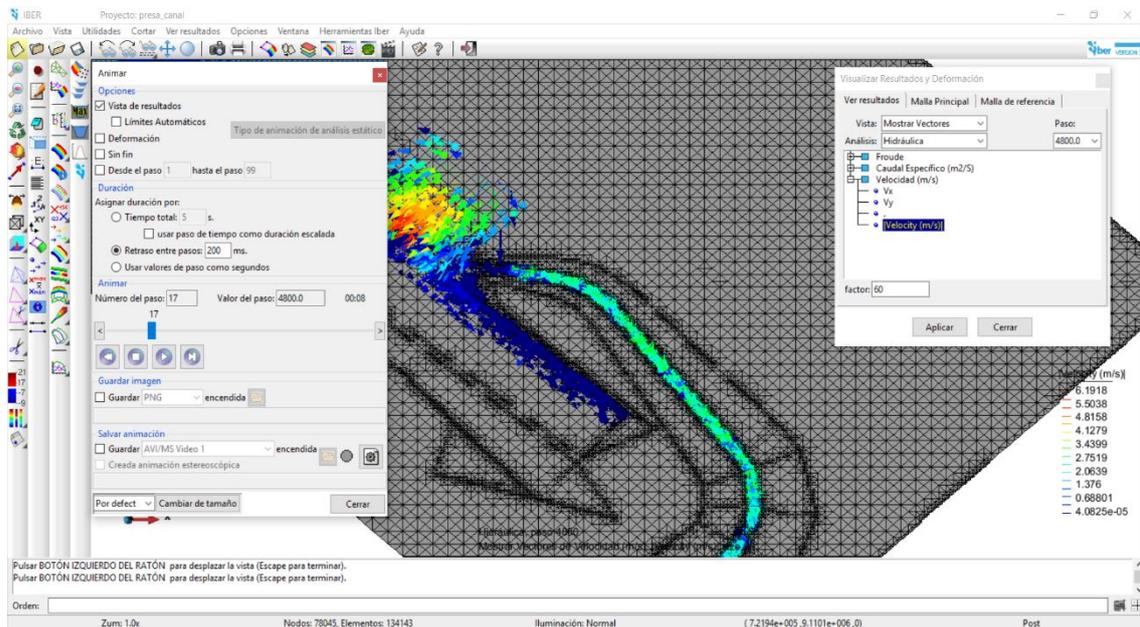


Figura 164: Visualización de los vectores de movimiento de la velocidad

2.4.2.11.2.3. Caudal

En la sesión de IBER, se selecciona el icono **ventana de resultados y deformación] hidrodinámica] Caudal**, a través de la ventana de animación de resultados se pueden visualizar el caudal que es variable para cada uno de los instantes de tiempo de la simulación, del ingreso de agua a la presa y la descarga hacia el canal. en este caso el caudal máximo es de 21.6m³/s para el ingreso hacia la presa y 8.75 m³/s para la descarga en el canal.

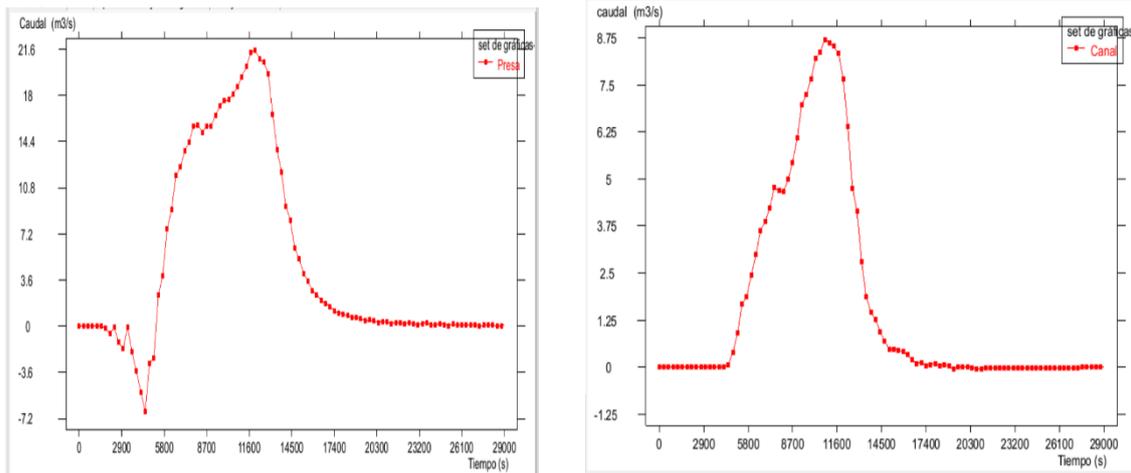


Figura 165: Hidrograma del Caudal en IBER

2.4.2.11.2.4. Calado

En la barra de herramientas de IBER, seleccionamos el icono **ventana de resultados y deformación] hidrodinámica] Calado**, a través de la ventana de animación de resultados se pueden visualizar el calado (parte sumergida de la presa y el canal) que es variable para cada uno de los instantes de tiempo de la simulación, del ingreso de agua a la presa y la descarga hacia el canal. en este caso el calado máximo es de 6 m para el ingreso hacia la presa y 1.2m para la descarga en el canal.

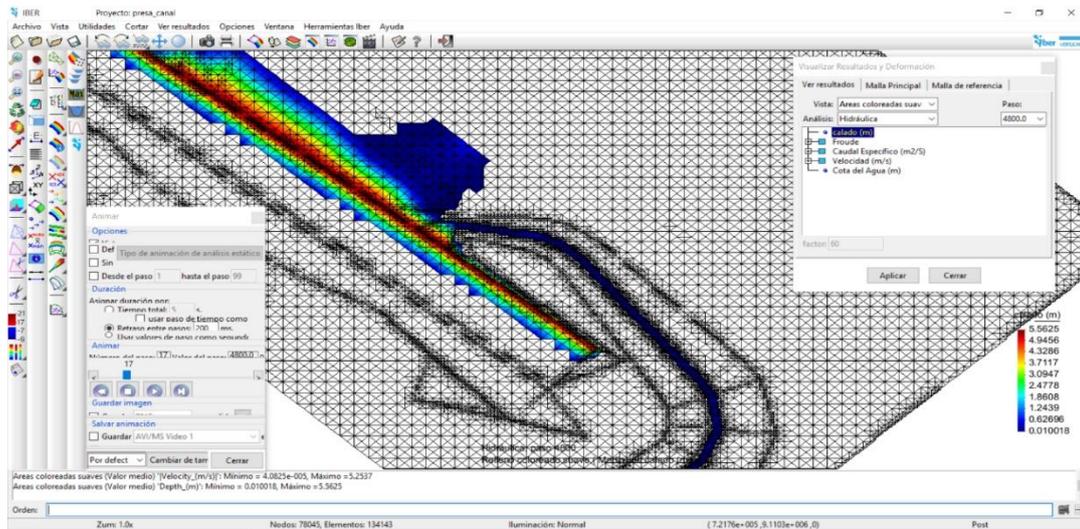


Figura 166: Simulación de resultados del Calado en IBER

2.4.2.11.2.5. Cota de agua

En la sesión de **IBER**, seleccionamos el icono **ventana de resultados y deformación** | **hidrodinámica** | **Cota de agua**, a través de la ventana de animación de resultados se pueden visualizar la cota de agua, que es variable para cada uno de los instantes de tiempo de la simulación, del ingreso de agua a la presa y la descarga hacia el canal. en este caso la cota de agua máxima es 213.37m para el ingreso hacia la presa y 202.91 m para la descarga en el canal.

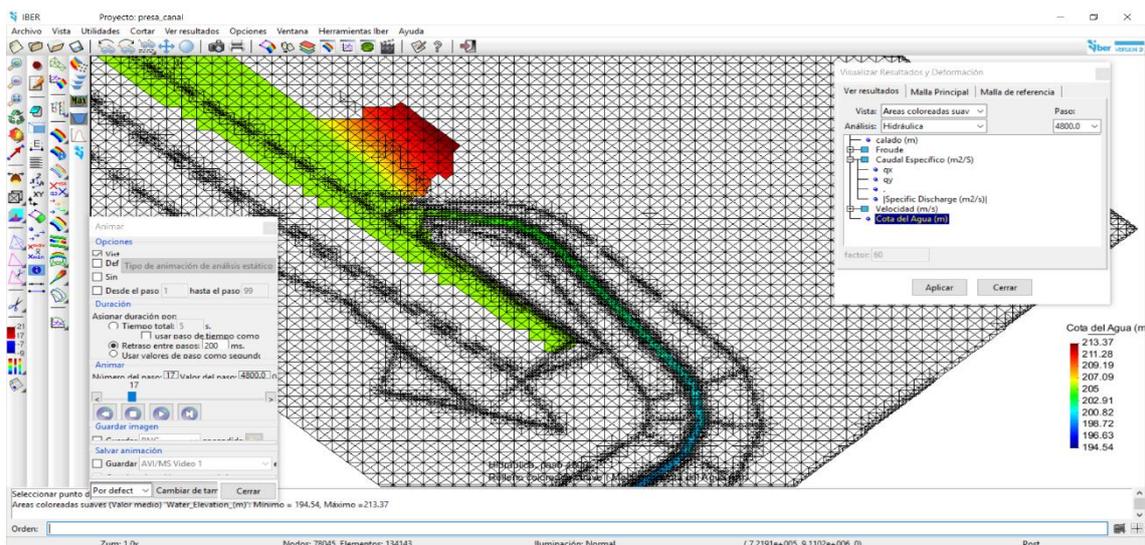


Figura 167: Simulación de resultados de la cota de agua en IBER

CAPÍTULO III: RESULTADOS

A continuación, se presentará los resultados de los escenarios planteados en la siguiente tabla, para después proceder a discutir estos resultados y presentar la propuesta o escenario más favorable, seguido de otras opciones que a criterio propio también pueden ser viables, esto se analizará en el siguiente capítulo.

Tabla 60: Tabla Resumen de resultados

E	Resultados Generales						Presa de Gravedad			Presa de Tierra	Canal		Tubería	Pavimento Rígido	
	Q Canal	L Km.	T(hr).	Vol	H Presa	L Presa	FSV >1.2	FSF >2.7	FSS >2.7	FS >1	y	b	Φ	y	B
E1	20	10.9	8.25	307050	14	180	-	-	-	SI	0.57 - 5.25	5	3.5	-	-
E2	20	10.9	8.25	307050	14	180	SI	SI	SI	-	0.57 - 5.25	5	3.5	-	-
E3	20	10.9	8.25	307050	14	180	-	-	-	SI	0.57 - 5.26	5	3.5	-	-
E4	20	10.9	8.25	307050	14	180	SI	SI	SI	-	0.57 - 5.27	5	3.5	-	-
E5	45	10.9	3.64	207720	11.5	120	-	-	-	SI	0.70 - 1.10	8	3.5-4.3	-	-
E6	45	10.9	3.64	207720	11.5	120	SI	SI	SI	-	0.70 - 1.10	8	3.5-4.4	-	-
E7	45	10.9	3.64	207720	11.5	120	-	-	-	SI	0.70 - 1.11	8	3.5-4.5	-	-
E8	45	10.9	3.64	207720	11.5	120	SI	SI	SI	-	0.70 - 1.12	8	3.5-4.5	-	-

E9	5	14.6	28.5	435930	16	470	-	-	-	SI	-	-	-	0.12-0.19	7.2
E10	5	14.6	28.5	435930	16	470	SI	SI	NO	-	-	-	-	0.12-0.19	7.2
E11	5	16.7	28.5	435930	16	470	-	-	-	SI	-	-	-	0.11-0.18	7.2
E12	5	16.7	28.5	435930	16	470	SI	SI	NO	-	-	-	-	0.11-0.18	7.2
E13	20	10.8	8.83	317700	17.5	230	-	-	-	SI	0.57 - 0.89	5	3.5	-	-
E14	20	10.8	8.83	317700	17.5	230	SI	SI	NO	-	0.57 - 0.89	5	3.5	-	-
E15	20	10.8	8.83	317700	17.5	230	-	-	-	SI	0.57 - 0.90	5	3.5	-	-
E16	20	10.8	8.83	317700	17.5	230	SI	SI	NO	-	0.57 - 0.91	5	3.5	-	-
E17	39	10.8	5.83	232080	15.5	190	-	-	-	SI	0.65 - 1.01	8	3.5-4.3	-	-
E18	39	10.8	5.83	232080	15.5	190	SI	SI	NO	-	0.65 - 1.01	8	3.5-4.4	-	-
E19	39	10.8	5.83	232080	15.5	190	-	-	-	SI	0.65 - 1.02	8	3.5-4.5	-	-
E20	39	10.8	5.83	232080	15.5	190	SI	SI	NO	-	0.65 - 1.03	8	3.5-4.5	-	-
E21	5	14.5	30.5	460680	19.5	-	-	-	-	SI	-	-	-	0.12-0.19	7.2
E22	5	14.5	30.5	460680	19.5	-	SI	SI	NO	-	-	-	-	0.12-0.19	7.2
E23	5	16.6	30.5	460680	19.5	-	-	-	-	SI	-	-	-	0.11-0.18	7.2
E24	5	16.6	30.5	460680	19.5	-	SI	SI	NO	-	-	-	-	0.11-0.18	7.2

CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Tabla 61: Tabla de comentarios por Escenario

Escenario	Comentario
E1	<ul style="list-style-type: none"> ○ Diseño de presa y canal orientado a una capacidad de embalse seleccionado por los investigadores. ○ La zona permite tener disponibilidad de materiales y agregado. ○ Supone una duración de descarga media ○ Supone un dimensionamiento moderado de presa y canal ○ Se requiere evaluar la capacidad portante del suelo para las cimentaciones de la presa.
E2	<ul style="list-style-type: none"> ○ Diseño de presa y canal orientado a una capacidad de embalse seleccionado por los investigadores. ○ La zona permite tener disponibilidad de materiales y agregado. ○ Supone una duración de descarga media ○ Supone un dimensionamiento moderado de presa y canal ○ Se requiere evaluar la capacidad portante del suelo para las cimentaciones de la presa.
E3	<ul style="list-style-type: none"> ○ Diseño de presa y tubería orientado a una capacidad de embalse seleccionado por los investigadores. ○ Supone una duración de descarga media ○ Supone un dimensionamiento moderado de presa pero un diámetro considerable para la tubería ○ Se requiere evaluar la capacidad portante del suelo para las cimentaciones de la presa.
E4	<ul style="list-style-type: none"> ○ Diseño de presa y tubería orientado a una capacidad de embalse seleccionado por los investigadores. ○ Supone una duración de descarga media ○ Supone un dimensionamiento moderado de presa pero un diámetro considerable para la tubería ○ Se requiere evaluar la capacidad portante del suelo para las cimentaciones de la presa.
E5	<ul style="list-style-type: none"> ○ Diseño de presa y canal orientado a un mínimo capacidad de embalse ○ Supone una duración de descarga corta ○ Supone un volumen de presa bajo, pero, pero mayor a la altura del dique que existía en la zona ○ Gran sección de canal es recomendable poder considerar reducir la sección en tramos de mayor pendiente.

E6	<ul style="list-style-type: none"> ○ Diseño de presa y canal orientado a un mínimo capacidad de embalse ○ Supone una duración de descarga corta ○ Supone un volumen de presa bajo. ○ Gran sección de canal es recomendable poder considerar reducir la sección en tramos de mayor pendiente.
E7	<ul style="list-style-type: none"> ○ Diseño de presa y tubería orientado a una mínima capacidad de embalse ○ Supone una duración de descarga corta. ○ Cercanía a canteras ○ Supone un volumen de presa bajo, pero de mayor a la altura del dique que existía en la zona ○ Gran diámetro de tubería es recomendable poder considerar reducir la sección en tramos de mayor pendiente.
E8	<ul style="list-style-type: none"> ○ Diseño de presa y tubería orientado a una mínima capacidad de embalse ○ Supone una duración de descarga corta ○ Supone un volumen de presa bajo, pero de mayor a la altura del dique que existía en la zona ○ Gran diámetro de tubería es recomendable poder considerar reducir la sección en tramos de mayor pendiente.
E9	<ul style="list-style-type: none"> ○ Diseño de presa y tubería orientado a un mínimo caudal de descarga ○ Supone una duración de descarga alta (elevado efecto retratador y atenuador) ○ Supone un volumen de presa elevado, pero de mayor a la altura del dique que existía en la zona
E10	<ul style="list-style-type: none"> ○ Diseño de presa y tubería orientado a un mínimo caudal de descarga ○ Supone una duración de descarga alta (elevado efecto retratador y atenuador) ○ Supone un volumen de presa elevado, pero de mayor a la altura del dique que existía en la zona ○ Se requiere de otro planteamiento de la sección de la presa a fin de cumplir con el factor de desplazamiento
E11	<ul style="list-style-type: none"> ○ Se busca preservar la zona arqueologica de Chan Chan ○ Diseño de presa y tubería orientado a un mínimo caudal de descarga ○ Supone una duración de descarga alta (elevado efecto retratador y atenuador) ○ Supone un volumen de presa elevado, pero de mayor a la altura del dique que existía en la zona
E12	<ul style="list-style-type: none"> ○ Se busca preservar la zona arqueológica de Chan Chan ○ Diseño de presa y tubería orientado a un mínimo caudal de descarga ○ Supone una duración de descarga alta (elevado efecto retratador y atenuador) ○ Supone un volumen de presa elevado, pero de mayor a la altura del dique que existía en la zona ○ Se requiere de otro planteamiento de la sección de la presa a fin de cumplir con el factor de desplazamiento

E13	<ul style="list-style-type: none"> ○ Elevado Volumen de presa de Tierra en comparacion a E1 ○ Diseño de presa y canal orientado a una capacidad de embalse seleccionado por los investigadores. ○ La zona permite tener disponibilidad de materiales y agregado. ○ Supone una duración de descarga media ○ Supone un dimensionamiento moderado de presa y canal ○ Se requiere evaluar la capacidad portante del suelo para las cimentaciones de la presa.
E14	<ul style="list-style-type: none"> ○ Elevado Volumen de presa de gravedad en comparacion a E2 ○ Se requiere de otro planteamiento de la sección de la presa a fin de cumplir con el factor de a los esfuerzos ○ Diseño de presa y canal orientado a una capacidad de embalse seleccionado por los investigadores. ○ La zona permite tener disponibilidad de materiales y agregado. ○ Supone una duración de descarga media ○ Supone un dimensionamiento moderado de presa y canal ○ Se requiere evaluar la capacidad portante del suelo para las cimentaciones de la presa.
E15	<ul style="list-style-type: none"> ○ Elevado Volumen de presa de Tierra en comparacion a E3 ○ Diseño de presa y tubería orientado a una capacidad de embalse seleccionado por los investigadores. ○ Supone una duración de descarga media ○ Supone un dimensionamiento moderado de presa pero un diámetro considerable para la tubería ○ Se requiere evaluar la capacidad portante del suelo para las cimentaciones de la presa.
E16	<ul style="list-style-type: none"> ○ Elevado Volumen de presa de gravedad en comparacion a E4 ○ Se requiere de otro planteamiento de la sección de la presa a fin de cumplir con el factor de a los esfuerzos ○ Diseño de presa y tubería orientado a una capacidad de embalse seleccionado por los investigadores. ○ Supone una duración de descarga media ○ Supone un dimensionamiento moderado de presa pero un diámetro considerable para la tubería ○ Se requiere evaluar la capacidad portante del suelo para las cimentaciones de la presa.
E17	<ul style="list-style-type: none"> ○ Elevado Volumen de presa de Tierra en comparacion a E5 ○ Diseño de presa y canal orientado a un mínimo capacidad de embalse ○ Supone una duración de descarga corta ○ Supone un volumen de presa bajo, pero, pero mayor a la altura del dique que existía en la zona

	<ul style="list-style-type: none"> ○ Gran sección de canal es recomendable poder considerar reducir la sección en tramos de mayor pendiente.
E18	<ul style="list-style-type: none"> ○ Elevado Volumen de presa de gravedad en comparacion a E6 ○ Se requiere de otro planteamiento de la sección de la presa a fin de cumplir con el factor de a los esfuerzos ○ Diseño de presa y canal orientado a un mínimo capacidad de embalse ○ Supone una duración de descarga corta ○ Supone un volumen de presa bajo. ○ Gran sección de canal es recomendable poder considerar reducir la sección en tramos de mayor pendiente.
E19	<ul style="list-style-type: none"> ○ Elevado Volumen de presa de Tierra en comparacion a E7 ○ Diseño de presa y tubería orientado a una mínima capacidad de embalse ○ Supone una duración de descarga corta. ○ Cercanía a canteras ○ Supone un volumen de presa bajo, pero de mayor a la altura del dique que existía en la zona ○ Gran diámetro de tubería es recomendable poder considerar reducir la sección en tramos de mayor pendiente
E20	<ul style="list-style-type: none"> ○ Elevado Volumen de presa de gravedad en comparacion a E8 ○ Se requiere de otro planteamiento de la sección de la presa a fin de cumplir con el factor de a los esfuerzos ○ Diseño de presa y tubería orientado a una mínima capacidad de embalse ○ Supone una duración de descarga corta ○ Supone un volumen de presa bajo, pero de mayor a la altura del dique que existía en la zona ○ Gran diámetro de tubería es recomendable poder considerar reducir la sección en tramos de mayor pendiente
E21	<ul style="list-style-type: none"> ○ Presa con altura difícilmente viable por su topografía
E22	<ul style="list-style-type: none"> ○ Presa con altura difícilmente viable por su topografía
E23	<ul style="list-style-type: none"> ○ Presa con altura difícilmente viable por su topografía
E24	<ul style="list-style-type: none"> ○ Presa con altura difícilmente viable por su topografía

Los doce primeros escenarios pueden entenderse como mejores escenarios: ya que al comprarlos con los doce último se logra una importante reducción del material de las presas ya sea de tierra o de gravedad

Es necesario considerar que el reducir el caudal de descarga, supone un mayor embalse, que, con mayores dimensiones y carga, así que es necesario evaluar esos indicadores.

Al evaluar los pro y contras de los escenarios, se procede a graficar:

E1	E7	E13	E19
E2	E8	E14	E20
E3	E9	E15	E21
E4	E10	E16	E22
E5	E11	E17	E23
E6	E12	E18	E24

Figura 168: Selección de Escenario para propuesta

Cada celda hace referencia a un escenario en donde:

Las celdas de color rojo representan escenarios poco viables por razones económicas o la poca posibilidad de acuerdo con la topografía.

Las celdas de color amarillo representan escenarios medianamente viables, ya que por lo menos una de las variables que lo compone representa un valor mínimo: la capacidad del embalse y del dimensionamiento de la presa, pero con tendencia a ser elevado en una de sus dimensiones, generando un presupuesto elevado, con opciones a rediseñar y/o reevaluar.

Las celdas de color verde representan las alternativas o escenarios más viables según los investigadores.

Siendo el escenario E1 el más favorable ya que a diferencia de E2, la presa de tierra presenta menor peso a la superficie arenosa, y con respecto al escenario E3 consideramos que como proceso constructivo es mejor la instalación de un canal trapezoidal que la obtención de una tubería de diámetro considerable.

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES

Una de las metodologías más extendidas y experimentadas para la cuantificación de la escorrentía es el modelo empírico del número de curva, del Servicio de Conservación de Suelos (SCS). Una ventaja que presenta la metodología propuesta es que a través de una ortofoto georreferenciada descargada de SAS.Planet y procesada en ArcMap, se logra realizar la clasificación de los usos de suelo de la Quebrada San Ildefonso de manera rápida y precisa. Esto se realiza aplicando tres métodos como son la clasificación no supervisada, supervisada y manual. Estos métodos son muy prácticos y económicos que se realizan con la finalidad de poder generar de forma automática el ráster de número de curva de la zona de estudio; entre estos tres métodos destaca el ráster de número de curva de la clasificación manual, la cual fue seleccionada para el modelo hidrológico, debido a que es un proceso rápido y más preciso en relación con los otros dos métodos.

Se realizó el modelamiento hidrológico geoespacial de la Quebrada San Ildefonso utilizando la herramienta HEC-GeoHMS en ArcMap. como dato se requirió de un Modelo de Elevación Digital (DEM) con una resolución de (12.5 x12.5 m) de la zona de estudio obtenido del servidor de la Nasa Alaska Satellite Facility, producto del procesamiento del modelo de elevación digital se logró delimitar las cuencas para dos escenarios de trabajo, obtener sus características y sus parámetros geomorfológicos, además se logró determinar su número de curva. El objetivo final fue crear archivos de entrada para el modelamiento en HEC-HMS en el cual se ingresan los registros de precipitaciones proporcionados por la Autoridad Nacional del Agua (ANA) , se importan de manera automática los datos obtenidos del modelamiento con la herramienta HEC-GeoHMS en ArcMap y se asigna el método del servicio de conservación de suelos (SCS) para el cálculo del modelo, a través del procesamiento de estos datos en el modelo en HEC-HMS se logra estimar la cantidad de agua proveniente de la Quebrada San Ildefonso para los dos escenarios planteados., teniendo así una cantidad de agua de 77.5m³/s para el punto de control 1 y 79.5 m³/s para el punto de control 2 .

Al plantear estas tres estructuras: canal, tubería y pavimento rígido, que actué a manera de canal, se analiza que el canal deberá contar con diversas secciones, por esta razón es conveniente evaluar transiciones debidos al cambio de pendiente, que permita abaratar costos; para la tubería es necesario poder trabajar con diámetros de por lo menos 3.5 metros, siendo dimensiones no comerciales; para el pavimento rígido dispuesto como canal, se requiere una reorganización urbana de calles, avenidas, sardineles, etc. que supone un elevado costo, pero con ventajas de contar con pavimento rígido en las vías principales de Trujillo

Al haber realizado una permutación de muestras variables, hemos obtenido 24 escenarios de los cuales a criterio propio la mejor opción o propuesta es:

- Ruta de descarga a Rio Moche.
- Construcción de una presa en el punto de control 1, ubicado en:
 - Latitud: -8.043842°
 - Longitud: -78. 987083°
- En la que se ha diseñado una presa homogénea de tierra sin filtro de estas características, compuesta por materiales granulares:
 - Talud Anterior: 2.5:1
 - Talud Posterior: 2.0:1
 - Altura útil 13 metros
 - Altura de Presa 14 metros
 - Ancho de corona: 4 metros
- Y el canal trapezoidal de concreto con estas características:
 - Talud $Z=1$
 - Longitud: de 9.6 kilómetros
 - Altura: 1 metro
 - Ancho de Solera: 5 metros

CAPÍTULO VI: RECOMENDACIONES

Obtener un DEM actualizado y de menor tamaño de celda, o en mejor situación obtener data de topografía a través de dron.

Es ideal contar con registros de precipitaciones de mayor confianza en la zona donde se desee estudiar.

Es importante poder considerar estructuras que permitan el transporte de agua y sedimentos como el uso de mallas dinámicas, sin embargo, hemos optado con soluciones más convencionales.

El Complemento CadEarth solo permitió 50000 puntos de triangulación para la versión gratuita, así que se tuvo que reducir lo más posible el área de trabajo, se recomienda solicitar la versión de paga o en el mejor de los casos realizar el levantamiento

Con el fin de reducir costos, se debe diseñar transiciones por cada cambio significativo de la pendiente en la rasante del canal.

Cada proceso de análisis en IBER tardo en promedio 48 horas, y por razones justificadas al tiempo solo se realizó el modelamiento del Escenario E1, que hasta ese momento representaba o indicaba valores más aceptables para los tesisistas, en próximas investigaciones es importante tomar el tiempo para realizar el modelamiento de los escenarios planteados.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aparicio, F. (1992). *Fundamentos de hidrología de superficie*. Editorial Limusa, S.A. Balderas 95, México, D.F.
- Atalaya (2014). *Evaluación probabilística de la peligrosidad y la vulnerabilidad frente a desastres naturales basados en proyecciones de cambio climático en el área metropolitana de Trujillo (Perú)*, RPP. 16 de marzo de 2017. Consultado el 28 de marzo de 2017. Por qué ocurre el fenómeno el niño costero y sus consecuencias.
- Breña, A. & Jacobo, M. (2006). *Principios y fundamentos de la hidrología superficial*. Universidad Autónoma Metropolitana. Tlalpan - D.F. México.
- Cahuana, A. & Yugar, W. (s/a). *Material de apoyo didáctico para la enseñanza y aprendizaje de la asignatura de hidrología civil* 233.
- Chereque, W. (1999). *Hidrología para estudiantes de Ingeniería civil*. Escuela Colombiana de Ingeniería. Santa Fe de Bogotá, Colombia.
- Fernández, P. & Fattorelli, S. (2011). *Diseño hidrológico*. 2da Edición digital publicada en la biblioteca virtual WASA-GN.
- Ferrer, M.; Rodríguez, J. & Estrella, T. (1995). *Generación automática del número de curva con sistemas de información geográfica*. Universidad Politécnica de Valencia. Valencia, España.
- Flores, V. (2014). *Manual de prácticas de sistemas de información geográfica*. Universidad de Guanajuato, división de ingenierías. Guanajuato, México.
- Guevara, E. (1997). *Manejo Integrado de Cuencas*. Documento de referencia para los países de América Latina. Santiago, Chile.
- Ingol, E. (2016). *Modelamiento Hidrológico Geoespacial Usando HEC-GeoHMS Aplicación a la microcuenca del Río Chilca*. Autoridad Nacional del Agua. Lima, Perú.

- Linsley-Kohler-Paulhus. (1977). *Hidrología para Ingenieros*. Editorial McGraw-Hill Latinoamericana, S.A. Bogotá, Colombia.
- López, G. (s/a). Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Departamento de Mecánica Área de Mecánica de los Medios Continuos y Teoría de Estructuras.
- Monsalve, G. (s/a). *Hidrología en la Ingeniería*. 2da Edición Editorial
- Obras hidráulicas de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo Facultad de Ingeniería Civil Departamento de Hidráulica 201 pagina 252-253.
- Olaya, V. (2004). *Hidrología computacional y modelos digitales del terreno*. Universidad Politécnica de Madrid. Madrid, España.
- Orduña, F. (2007). *Aplicaciones de software SIG: ArcGIS 9.2. Lección 1: Introducción a ArcGIS Desktop. UNIGIS Girona*. Universitat de Girona. 9ª edición. Cataluña - España.
- Ortiz, E. (2015). *Definición de las Reglas de Operación Hidráulica del Embalse La Esperanza*. Quito.
- Pablo Daniel Benedicti /02/201 Presas, diques Y embalses Departamento de Ingeniería Civil Facultad Regional Bahía Blanca Universidad Tecnológica Nacional Pagina 15-20.
- Palavecino, A. (2015). *Modelación bidimensional del flujo generado por la rotura de una presa de tierra, utilizando el programa Iber*. (Tesis de grado). Escuela Politécnica Nacional. Quito, Ecuador.
- Pérez, G. (2016). *Manual de obras hidráulicas*. Lima, páginas 23, 24.
- Pontificia Universidad Católica del Perú - CONCYTEC. (1990). Lima, Perú.

Ramos, P. (2016). *Descripción del proceso de transporte de sedimentos en túneles de aliviadero con fines de purga*, La república (Perú).

16 de marzo de 2017. Consultado el 28 de marzo de 2017. El niño costero es un desafío para los científicos del Perú y del mundo.

El país (España) 16 de marzo de 2017. Consultado el 28 de marzo de 2017. El temporal se extiende por Perú con deslizamientos e inundaciones.

Sánchez, F. & Mateo del Horno, M. (2006). *Modelación hidrológica mediante HEC-HMS*. Escuela de organización industrial. Master en ingeniería y gestión del agua. Madrid, España.

Sánchez, H. (2015). *Modelación bidimensional del flujo en lámina libre en aguas poco profundas*. Manual básico del usuario. Madrid, España.

Sanhueza, C. & Rodríguez, L. *Análisis Comparativo de métodos de cálculo de estabilidad de taludes finitos aplicados a laderas naturales*. Disponible en: http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-915X2013000100003

Terrazas, A. (2011). *Evaluación de riesgo de inundación de la quebrada el monte de la ciudad de Tarija*. (Tesis de grado). Universidad autónoma Juan Misael Saracho. Tarija, Bolivia.

Torres, Domínguez & González. (2016). *Estudios básicos para el aprovechamiento hídrico en las comunidades contiguas a la margen del Río Chinapa*, Michoacán.

Universidad Mayor de San Simón. (2009). Cochabamba, Bolivia.

Vallarino, C. (1998). *Tratado Básico de presas*, Tomo I Cuarta Edición. Página 95-99.

Vásquez, A. (1998). *Manejo de Cuencas Alto Andinas 1 y 11*. Universidad Nacional La Agraria. Lima, Perú.

Vásquez, C.; Herrera, D. & Gutiérrez, Y. (2014). *Caracterización morfométrica de la microcuenca de la quebrada tatamaco, del municipio villa vieja del departamento del Huila, mediante el uso de la herramienta HEC-GeoHms*. (Tesis de grado). Universidad Católica de Colombia. Bogotá, Colombia.

Vélez, B. (2011). *Estimation of the time of concentration and the lag time at San Luis creek basin Manizales*.

Villón, M. (2002). *Hidrología*. Instituto Tecnológico de Costa Rica-Escuela de Ingeniería Agrícola, 2da Edición. Editorial villón. Lima, Perú.

ANEXOS

TABLA: Inflow y Outflow de microcuenca 1, considerando un caudal de descarga de 45 m3/seg

Tiempo seg	Q salida	Volumen m3	Inflow m3	Descarga m3	Volumen m3	Outflow m3	diferencia
0	0.0	0	0	0.0	0	0	0
300	0.0	0	0	0.0	0	0	0
600	0.0	0	0	0.0	0	0	0
900	0.0	0	0	0.0	0	0	0
1200	0.0	0	0	0.0	0	0	0
1500	0.2	60	60	0.0	0	0	60
1800	0.8	240	300	0.0	0	0	300
2100	1.9	570	870	0.0	0	0	870
2400	3.6	1080	1950	0.0	0	0	1950
2700	5.9	1770	3720	0.0	0	0	3720
3000	8.5	2550	6270	0.0	0	0	6270
3300	11.3	3390	9660	0.0	0	0	9660
3600	14.0	4200	13860	0.0	0	0	13860
3900	16.8	5040	18900	0.0	0	0	18900
4200	19.7	5910	24810	0.0	0	0	24810
4500	23.0	6900	31710	0.0	0	0	31710
4800	26.5	7950	39660	0.0	0	0	39660
5100	30.1	9030	48690	0.0	0	0	48690
5400	33.5	10050	58740	0.0	0	0	58740
5700	36.6	10980	69720	0.0	0	0	69720
6000	39.3	11790	81510	0.0	0	0	81510
6300	41.5	12450	93960	0.0	0	0	93960
6600	43.5	13050	107010	0.0	0	0	107010
6900	45.2	13560	120570	45.0	13500	13500	107070
7200	46.7	14010	134580	45.0	13500	27000	107580
7500	48.3	14490	149070	45.0	13500	40500	108570
7800	50.4	15120	164190	45.0	13500	54000	110190
8100	53.6	16080	180270	45.0	13500	67500	112770
8400	57.5	17250	197520	45.0	13500	81000	116520
8700	61.6	18480	216000	45.0	13500	94500	121500
9000	65.5	19650	235650	45.0	13500	108000	127650
9300	68.8	20640	256290	45.0	13500	121500	134790
9600	71.5	21450	277740	45.0	13500	135000	142740
9900	73.5	22050	299790	45.0	13500	148500	151290
10200	75.1	22530	322320	45.0	13500	162000	160320
10500	76.4	22920	345240	45.0	13500	175500	169740
10800	77.5	23250	368490	45.0	13500	189000	179490
11100	77.2	23160	391650	45.0	13500	202500	189150
11400	74.1	22230	413880	45.0	13500	216000	197880
11700	66.8	20040	433920	45.0	13500	229500	204420
12000	56.0	16800	450720	45.0	13500	243000	207720
12300	44.2	13260	463980	45.0	13500	256500	207480

12600	33.1	9930	473910	45.0	13500	270000	203910
12900	23.8	7140	481050	45.0	13500	283500	197550
13200	17.0	5100	486150	45.0	13500	297000	189150
13500	12.3	3690	489840	45.0	13500	310500	179340
13800	8.9	2670	492510	45.0	13500	324000	168510
14100	6.4	1920	494430	45.0	13500	337500	156930
14400	4.6	1380	495810	45.0	13500	351000	144810
14700	3.3	990	496800	45.0	13500	364500	132300
15000	2.4	720	497520	45.0	13500	378000	119520
15300	1.7	510	498030	45.0	13500	391500	106530
15600	1.2	360	498390	45.0	13500	405000	93390
15900	0.8	240	498630	45.0	13500	418500	80130
16200	0.6	180	498810	45.0	13500	432000	66810
16500	0.4	120	498930	45.0	13500	445500	53430
16800	0.3	90	499020	45.0	13500	459000	40020
17100	0.2	60	499080	45.0	13500	472500	26580
17400	0.1	30	499110	45.0	13500	486000	13110
17700	0.0	0	0	43.7	13110	499110	0
18000	0.0	0	0	0.0	0	0	0
Máximo			499110				

TABLA: Inflow y Outflow de microcuena 1, considerando un caudal de descarga de 20 m3/seg

Tiempo seg	Q salida	Volumen m3	Inflow m3	Descarga m3	Volumen m3	Outflow m3	diferencia
0	0.0	0	0	0.0	0	0	0
300	0.0	0	0	0.0	0	0	0
600	0.0	0	0	0.0	0	0	0
900	0.0	0	0	0.0	0	0	0
1200	0.0	0	0	0.0	0	0	0
1500	0.2	60	60	0.0	0	0	60
1800	0.8	240	300	0.0	0	0	300
2100	1.9	570	870	0.0	0	0	870
2400	3.6	1080	1950	0.0	0	0	1950
2700	5.9	1770	3720	0.0	0	0	3720
3000	8.5	2550	6270	0.0	0	0	6270
3300	11.3	3390	9660	0.0	0	0	9660
3600	14.0	4200	13860	0.0	0	0	13860
3900	16.8	5040	18900	0.0	0	0	18900
4200	19.7	5910	24810	0.0	0	0	24810
4500	23.0	6900	31710	20.0	6000	6000	25710
4800	26.5	7950	39660	20.0	6000	12000	27660
5100	30.1	9030	48690	20.0	6000	18000	30690
5400	33.5	10050	58740	20.0	6000	24000	34740
5700	36.6	10980	69720	20.0	6000	30000	39720
6000	39.3	11790	81510	20.0	6000	36000	45510
6300	41.5	12450	93960	20.0	6000	42000	51960
6600	43.5	13050	107010	20.0	6000	48000	59010

6900	45.2	13560	120570	20.0	6000	54000	66570
7200	46.7	14010	134580	20.0	6000	60000	74580
7500	48.3	14490	149070	20.0	6000	66000	83070
7800	50.4	15120	164190	20.0	6000	72000	92190
8100	53.6	16080	180270	20.0	6000	78000	102270
8400	57.5	17250	197520	20.0	6000	84000	113520
8700	61.6	18480	216000	20.0	6000	90000	126000
9000	65.5	19650	235650	20.0	6000	96000	139650
9300	68.8	20640	256290	20.0	6000	102000	154290
9600	71.5	21450	277740	20.0	6000	108000	169740
9900	73.5	22050	299790	20.0	6000	114000	185790
10200	75.1	22530	322320	20.0	6000	120000	202320
10500	76.4	22920	345240	20.0	6000	126000	219240
10800	77.5	23250	368490	20.0	6000	132000	236490
11100	77.2	23160	391650	20.0	6000	138000	253650
11400	74.1	22230	413880	20.0	6000	144000	269880
11700	66.8	20040	433920	20.0	6000	150000	283920
12000	56.0	16800	450720	20.0	6000	156000	294720
12300	44.2	13260	463980	20.0	6000	162000	301980
12600	33.1	9930	473910	20.0	6000	168000	305910
12900	23.8	7140	481050	20.0	6000	174000	307050
13200	17.0	5100	486150	20.0	6000	180000	306150
13500	12.3	3690	489840	20.0	6000	186000	303840
13800	8.9	2670	492510	20.0	6000	192000	300510
14100	6.4	1920	494430	20.0	6000	198000	296430
14400	4.6	1380	495810	20.0	6000	204000	291810
14700	3.3	990	496800	20.0	6000	210000	286800
15000	2.4	720	497520	20.0	6000	216000	281520
15300	1.7	510	498030	20.0	6000	222000	276030
15600	1.2	360	498390	20.0	6000	228000	270390
15900	0.8	240	498630	20.0	6000	234000	264630
16200	0.6	180	498810	20.0	6000	240000	258810
16500	0.4	120	498930	20.0	6000	246000	252930
16800	0.3	90	499020	20.0	6000	252000	247020
17100	0.2	60	499080	20.0	6000	258000	241080
17400	0.1	30	499110	20.0	6000	264000	235110
17700	0.0	0	0	20.0	6000	270000	0
18000	0.0	0	0	20.0	6000	276000	0
18300	0.0	0	0	20.0	6000	282000	0
18600	0.0	0	0	20.0	6000	288000	0
18900	0.0	0	0	20.0	6000	294000	0
19200	0.0	0	0	20.0	6000	300000	0
19500	0.0	0	0	20.0	6000	306000	0
19800	0.0	0	0	20.0	6000	312000	0
20100	0.0	0	0	20.0	6000	318000	0
20400	0.0	0	0	20.0	6000	324000	0
20700	0.0	0	0	20.0	6000	330000	0
21000	0.0	0	0	20.0	6000	336000	0
21300	0.0	0	0	20.0	6000	342000	0
21600	0.0	0	0	20.0	6000	348000	0
21900	0.0	0	0	20.0	6000	354000	0
22200	0.0	0	0	20.0	6000	360000	0
22500	0.0	0	0	20.0	6000	366000	0
22800	0.0	0	0	20.0	6000	372000	0

23100	0.0	0	0	20.0	6000	378000	0
23400	0.0	0	0	20.0	6000	384000	0
23700	0.0	0	0	20.0	6000	390000	0
24000	0.0	0	0	20.0	6000	396000	0
24300	0.0	0	0	20.0	6000	402000	0
24600	0.0	0	0	20.0	6000	408000	0
24900	0.0	0	0	20.0	6000	414000	0
25200	0.0	0	0	20.0	6000	420000	0
25500	0.0	0	0	20.0	6000	426000	0
25800	0.0	0	0	20.0	6000	432000	0
26100	0.0	0	0	20.0	6000	438000	0
26400	0.0	0	0	20.0	6000	444000	0
26700	0.0	0	0	20.0	6000	450000	0
27000	0.0	0	0	20.0	6000	456000	0
27300	0.0	0	0	20.0	6000	462000	0
27600	0.0	0	0	20.0	6000	468000	0
27900	0.0	0	0	20.0	6000	474000	0
28200	0.0	0	0	20.0	6000	480000	0
28500	0.0	0	0	20.0	6000	486000	0
28800	0.0	0	0	20.0	6000	492000	0
29100	0.0	0	0	20.0	6000	498000	0
29400	0.0	0	0	3.7	1110	499110	0
29700	0.0	0	0	0.0	0	0	0
Máximo			499110				307050

TABLA: Inflow y Outflow de microcuencia 1, considerando un caudal de descarga de 5 m3/seg

Tiempo seg	Q salida	Volumen m3	Inflow m3	Descarga m3	Volumen m3	Outflow m3	Diferencia
0	0.0	0	0	0.0	0	0	0
300	0.0	0	0	0.0	0	0	0
600	0.0	0	0	0.0	0	0	0
900	0.0	0	0	0.0	0	0	0
1200	0.0	0	0	0.0	0	0	0
1500	0.2	60	60	0.0	0	0	60
1800	0.8	240	300	0.0	0	0	300
2100	1.9	570	870	0.0	0	0	870
2400	3.6	1080	1950	0.0	0	0	1950
2700	5.9	1770	3720	5.0	1500	1500	2220
3000	8.5	2550	6270	5.0	1500	3000	3270
3300	11.3	3390	9660	5.0	1500	4500	5160
3600	14.0	4200	13860	5.0	1500	6000	7860
3900	16.8	5040	18900	5.0	1500	7500	11400
4200	19.7	5910	24810	5.0	1500	9000	15810
4500	23.0	6900	31710	5.0	1500	10500	21210
4800	26.5	7950	39660	5.0	1500	12000	27660
5100	30.1	9030	48690	5.0	1500	13500	35190
5400	33.5	10050	58740	5.0	1500	15000	43740
5700	36.6	10980	69720	5.0	1500	16500	53220

6000	39.3	11790	81510	5.0	1500	18000	63510
6300	41.5	12450	93960	5.0	1500	19500	74460
6600	43.5	13050	107010	5.0	1500	21000	86010
6900	45.2	13560	120570	5.0	1500	22500	98070
7200	46.7	14010	134580	5.0	1500	24000	110580
7500	48.3	14490	149070	5.0	1500	25500	123570
7800	50.4	15120	164190	5.0	1500	27000	137190
8100	53.6	16080	180270	5.0	1500	28500	151770
8400	57.5	17250	197520	5.0	1500	30000	167520
8700	61.6	18480	216000	5.0	1500	31500	184500
9000	65.5	19650	235650	5.0	1500	33000	202650
9300	68.8	20640	256290	5.0	1500	34500	221790
9600	71.5	21450	277740	5.0	1500	36000	241740
9900	73.5	22050	299790	5.0	1500	37500	262290
10200	75.1	22530	322320	5.0	1500	39000	283320
10500	76.4	22920	345240	5.0	1500	40500	304740
10800	77.5	23250	368490	5.0	1500	42000	326490
11100	77.2	23160	391650	5.0	1500	43500	348150
11400	74.1	22230	413880	5.0	1500	45000	368880
11700	66.8	20040	433920	5.0	1500	46500	387420
12000	56.0	16800	450720	5.0	1500	48000	402720
12300	44.2	13260	463980	5.0	1500	49500	414480
12600	33.1	9930	473910	5.0	1500	51000	422910
12900	23.8	7140	481050	5.0	1500	52500	428550
13200	17.0	5100	486150	5.0	1500	54000	432150
13500	12.3	3690	489840	5.0	1500	55500	434340
13800	8.9	2670	492510	5.0	1500	57000	435510
14100	6.4	1920	494430	5.0	1500	58500	435930
14400	4.6	1380	495810	5.0	1500	60000	435810
14700	3.3	990	496800	5.0	1500	61500	435300
15000	2.4	720	497520	5.0	1500	63000	434520
15300	1.7	510	498030	5.0	1500	64500	433530
15600	1.2	360	498390	5.0	1500	66000	432390
15900	0.8	240	498630	5.0	1500	67500	431130
16200	0.6	180	498810	5.0	1500	69000	429810
16500	0.4	120	498930	5.0	1500	70500	428430
16800	0.3	90	499020	5.0	1500	72000	427020
17100	0.2	60	499080	5.0	1500	73500	425580
17400	0.1	30	499110	5.0	1500	75000	424110
17700	0.0	0	0	5.0	1500	76500	0
18000	0.0	0	0	5.0	1500	78000	0
18300	0.0	0	0	5.0	1500	79500	0
18600	0.0	0	0	5.0	1500	81000	0
18900	0.0	0	0	5.0	1500	82500	0
19200	0.0	0	0	5.0	1500	84000	0

19500	0.0	0	0	5.0	1500	85500	0
19800	0.0	0	0	5.0	1500	87000	0
20100	0.0	0	0	5.0	1500	88500	0
20400	0.0	0	0	5.0	1500	90000	0
20700	0.0	0	0	5.0	1500	91500	0
21000	0.0	0	0	5.0	1500	93000	0
21300	0.0	0	0	5.0	1500	94500	0
21600	0.0	0	0	5.0	1500	96000	0
21900	0.0	0	0	5.0	1500	97500	0
22200	0.0	0	0	5.0	1500	99000	0
22500	0.0	0	0	5.0	1500	100500	0
22800	0.0	0	0	5.0	1500	102000	0
23100	0.0	0	0	5.0	1500	103500	0
23400	0.0	0	0	5.0	1500	105000	0
23700	0.0	0	0	5.0	1500	106500	0
24000	0.0	0	0	5.0	1500	108000	0
24300	0.0	0	0	5.0	1500	109500	0
24600	0.0	0	0	5.0	1500	111000	0
24900	0.0	0	0	5.0	1500	112500	0
25200	0.0	0	0	5.0	1500	114000	0
25500	0.0	0	0	5.0	1500	115500	0
25800	0.0	0	0	5.0	1500	117000	0
26100	0.0	0	0	5.0	1500	118500	0
26400	0.0	0	0	5.0	1500	120000	0
26700	0.0	0	0	5.0	1500	121500	0
27000	0.0	0	0	5.0	1500	123000	0
27300	0.0	0	0	5.0	1500	124500	0
27600	0.0	0	0	5.0	1500	126000	0
27900	0.0	0	0	5.0	1500	127500	0
28200	0.0	0	0	5.0	1500	129000	0
28500	0.0	0	0	5.0	1500	130500	0
28800	0.0	0	0	5.0	1500	132000	0
29100	0.0	0	0	5.0	1500	133500	0
29400	0.0	0	0	5.0	1500	135000	0
29700	0.0	0	0	5.0	1500	136500	0
30000	0.0	0	0	5.0	1500	138000	0
30300	0.0	0	0	5.0	1500	139500	0
30600	0.0	0	0	5.0	1500	141000	0
30900	0.0	0	0	5.0	1500	142500	0
31200	0.0	0	0	5.0	1500	144000	0
31500	0.0	0	0	5.0	1500	145500	0
31800	0.0	0	0	5.0	1500	147000	0
32100	0.0	0	0	5.0	1500	148500	0
32400	0.0	0	0	5.0	1500	150000	0
32700	0.0	0	0	5.0	1500	151500	0

33000	0.0	0	0	5.0	1500	153000	0
33300	0.0	0	0	5.0	1500	154500	0
33600	0.0	0	0	5.0	1500	156000	0
33900	0.0	0	0	5.0	1500	157500	0
34200	0.0	0	0	5.0	1500	159000	0
34500	0.0	0	0	5.0	1500	160500	0
34800	0.0	0	0	5.0	1500	162000	0
35100	0.0	0	0	5.0	1500	163500	0
35400	0.0	0	0	5.0	1500	165000	0
35700	0.0	0	0	5.0	1500	166500	0
36000	0.0	0	0	5.0	1500	168000	0
36300	0.0	0	0	5.0	1500	169500	0
36600	0.0	0	0	5.0	1500	171000	0
36900	0.0	0	0	5.0	1500	172500	0
37200	0.0	0	0	5.0	1500	174000	0
37500	0.0	0	0	5.0	1500	175500	0
37800	0.0	0	0	5.0	1500	177000	0
38100	0.0	0	0	5.0	1500	178500	0
38400	0.0	0	0	5.0	1500	180000	0
38700	0.0	0	0	5.0	1500	181500	0
39000	0.0	0	0	5.0	1500	183000	0
39300	0.0	0	0	5.0	1500	184500	0
39600	0.0	0	0	5.0	1500	186000	0
39900	0.0	0	0	5.0	1500	187500	0
40200	0.0	0	0	5.0	1500	189000	0
40500	0.0	0	0	5.0	1500	190500	0
40800	0.0	0	0	5.0	1500	192000	0
41100	0.0	0	0	5.0	1500	193500	0
41400	0.0	0	0	5.0	1500	195000	0
41700	0.0	0	0	5.0	1500	196500	0
42000	0.0	0	0	5.0	1500	198000	0
42300	0.0	0	0	5.0	1500	199500	0
42600	0.0	0	0	5.0	1500	201000	0
42900	0.0	0	0	5.0	1500	202500	0
43200	0.0	0	0	5.0	1500	204000	0
43500	0.0	0	0	5.0	1500	205500	0
43800	0.0	0	0	5.0	1500	207000	0
44100	0.0	0	0	5.0	1500	208500	0
44400	0.0	0	0	5.0	1500	210000	0
44700	0.0	0	0	5.0	1500	211500	0
45000	0.0	0	0	5.0	1500	213000	0
45300	0.0	0	0	5.0	1500	214500	0
45600	0.0	0	0	5.0	1500	216000	0
45900	0.0	0	0	5.0	1500	217500	0
46200	0.0	0	0	5.0	1500	219000	0

46500	0.0	0	0	5.0	1500	220500	0
46800	0.0	0	0	5.0	1500	222000	0
47100	0.0	0	0	5.0	1500	223500	0
47400	0.0	0	0	5.0	1500	225000	0
47700	0.0	0	0	5.0	1500	226500	0
48000	0.0	0	0	5.0	1500	228000	0
48300	0.0	0	0	5.0	1500	229500	0
48600	0.0	0	0	5.0	1500	231000	0
48900	0.0	0	0	5.0	1500	232500	0
49200	0.0	0	0	5.0	1500	234000	0
49500	0.0	0	0	5.0	1500	235500	0
49800	0.0	0	0	5.0	1500	237000	0
50100	0.0	0	0	5.0	1500	238500	0
50400	0.0	0	0	5.0	1500	240000	0
50700	0.0	0	0	5.0	1500	241500	0
51000	0.0	0	0	5.0	1500	243000	0
51300	0.0	0	0	5.0	1500	244500	0
51600	0.0	0	0	5.0	1500	246000	0
51900	0.0	0	0	5.0	1500	247500	0
52200	0.0	0	0	5.0	1500	249000	0
52500	0.0	0	0	5.0	1500	250500	0
52800	0.0	0	0	5.0	1500	252000	0
53100	0.0	0	0	5.0	1500	253500	0
53400	0.0	0	0	5.0	1500	255000	0
53700	0.0	0	0	5.0	1500	256500	0
54000	0.0	0	0	5.0	1500	258000	0
54300	0.0	0	0	5.0	1500	259500	0
54600	0.0	0	0	5.0	1500	261000	0
54900	0.0	0	0	5.0	1500	262500	0
55200	0.0	0	0	5.0	1500	264000	0
55500	0.0	0	0	5.0	1500	265500	0
55800	0.0	0	0	5.0	1500	267000	0
56100	0.0	0	0	5.0	1500	268500	0
56400	0.0	0	0	5.0	1500	270000	0
56700	0.0	0	0	5.0	1500	271500	0
57000	0.0	0	0	5.0	1500	273000	0
57300	0.0	0	0	5.0	1500	274500	0
57600	0.0	0	0	5.0	1500	276000	0
57900	0.0	0	0	5.0	1500	277500	0
58200	0.0	0	0	5.0	1500	279000	0
58500	0.0	0	0	5.0	1500	280500	0
58800	0.0	0	0	5.0	1500	282000	0
59100	0.0	0	0	5.0	1500	283500	0
59400	0.0	0	0	5.0	1500	285000	0
59700	0.0	0	0	5.0	1500	286500	0

60000	0.0	0	0	5.0	1500	288000	0
60300	0.0	0	0	5.0	1500	289500	0
60600	0.0	0	0	5.0	1500	291000	0
60900	0.0	0	0	5.0	1500	292500	0
61200	0.0	0	0	5.0	1500	294000	0
61500	0.0	0	0	5.0	1500	295500	0
61800	0.0	0	0	5.0	1500	297000	0
62100	0.0	0	0	5.0	1500	298500	0
62400	0.0	0	0	5.0	1500	300000	0
62700	0.0	0	0	5.0	1500	301500	0
63000	0.0	0	0	5.0	1500	303000	0
63300	0.0	0	0	5.0	1500	304500	0
63600	0.0	0	0	5.0	1500	306000	0
63900	0.0	0	0	5.0	1500	307500	0
64200	0.0	0	0	5.0	1500	309000	0
64500	0.0	0	0	5.0	1500	310500	0
64800	0.0	0	0	5.0	1500	312000	0
65100	0.0	0	0	5.0	1500	313500	0
65400	0.0	0	0	5.0	1500	315000	0
65700	0.0	0	0	5.0	1500	316500	0
66000	0.0	0	0	5.0	1500	318000	0
66300	0.0	0	0	5.0	1500	319500	0
66600	0.0	0	0	5.0	1500	321000	0
66900	0.0	0	0	5.0	1500	322500	0
67200	0.0	0	0	5.0	1500	324000	0
67500	0.0	0	0	5.0	1500	325500	0
67800	0.0	0	0	5.0	1500	327000	0
68100	0.0	0	0	5.0	1500	328500	0
68400	0.0	0	0	5.0	1500	330000	0
68700	0.0	0	0	5.0	1500	331500	0
69000	0.0	0	0	5.0	1500	333000	0
69300	0.0	0	0	5.0	1500	334500	0
69600	0.0	0	0	5.0	1500	336000	0
69900	0.0	0	0	5.0	1500	337500	0
70200	0.0	0	0	5.0	1500	339000	0
70500	0.0	0	0	5.0	1500	340500	0
70800	0.0	0	0	5.0	1500	342000	0
71100	0.0	0	0	5.0	1500	343500	0
71400	0.0	0	0	5.0	1500	345000	0
71700	0.0	0	0	5.0	1500	346500	0
72000	0.0	0	0	5.0	1500	348000	0
72300	0.0	0	0	5.0	1500	349500	0
72600	0.0	0	0	5.0	1500	351000	0
72900	0.0	0	0	5.0	1500	352500	0
73200	0.0	0	0	5.0	1500	354000	0

73500	0.0	0	0	5.0	1500	355500	0
73800	0.0	0	0	5.0	1500	357000	0
74100	0.0	0	0	5.0	1500	358500	0
74400	0.0	0	0	5.0	1500	360000	0
74700	0.0	0	0	5.0	1500	361500	0
75000	0.0	0	0	5.0	1500	363000	0
75300	0.0	0	0	5.0	1500	364500	0
75600	0.0	0	0	5.0	1500	366000	0
75900	0.0	0	0	5.0	1500	367500	0
76200	0.0	0	0	5.0	1500	369000	0
76500	0.0	0	0	5.0	1500	370500	0
76800	0.0	0	0	5.0	1500	372000	0
77100	0.0	0	0	5.0	1500	373500	0
77400	0.0	0	0	5.0	1500	375000	0
77700	0.0	0	0	5.0	1500	376500	0
78000	0.0	0	0	5.0	1500	378000	0
78300	0.0	0	0	5.0	1500	379500	0
78600	0.0	0	0	5.0	1500	381000	0
78900	0.0	0	0	5.0	1500	382500	0
79200	0.0	0	0	5.0	1500	384000	0
79500	0.0	0	0	5.0	1500	385500	0
79800	0.0	0	0	5.0	1500	387000	0
80100	0.0	0	0	5.0	1500	388500	0
80400	0.0	0	0	5.0	1500	390000	0
80700	0.0	0	0	5.0	1500	391500	0
81000	0.0	0	0	5.0	1500	393000	0
81300	0.0	0	0	5.0	1500	394500	0
81600	0.0	0	0	5.0	1500	396000	0
81900	0.0	0	0	5.0	1500	397500	0
82200	0.0	0	0	5.0	1500	399000	0
82500	0.0	0	0	5.0	1500	400500	0
82800	0.0	0	0	5.0	1500	402000	0
83100	0.0	0	0	5.0	1500	403500	0
83400	0.0	0	0	5.0	1500	405000	0
83700	0.0	0	0	5.0	1500	406500	0
84000	0.0	0	0	5.0	1500	408000	0
84300	0.0	0	0	5.0	1500	409500	0
84600	0.0	0	0	5.0	1500	411000	0
84900	0.0	0	0	5.0	1500	412500	0
85200	0.0	0	0	5.0	1500	414000	0
85500	0.0	0	0	5.0	1500	415500	0
85800	0.0	0	0	5.0	1500	417000	0
86100	0.0	0	0	5.0	1500	418500	0
86400	0.0	0	0	5.0	1500	420000	0
86700	0.0	0	0	5.0	1500	421500	0

87000	0.0	0	0	5.0	1500	423000	0
87300	0.0	0	0	5.0	1500	424500	0
87600	0.0	0	0	5.0	1500	426000	0
87900	0.0	0	0	5.0	1500	427500	0
88200	0.0	0	0	5.0	1500	429000	0
88500	0.0	0	0	5.0	1500	430500	0
88800	0.0	0	0	5.0	1500	432000	0
89100	0.0	0	0	5.0	1500	433500	0
89400	0.0	0	0	5.0	1500	435000	0
89700	0.0	0	0	5.0	1500	436500	0
90000	0.0	0	0	5.0	1500	438000	0
90300	0.0	0	0	5.0	1500	439500	0
90600	0.0	0	0	5.0	1500	441000	0
90900	0.0	0	0	5.0	1500	442500	0
91200	0.0	0	0	5.0	1500	444000	0
91500	0.0	0	0	5.0	1500	445500	0
91800	0.0	0	0	5.0	1500	447000	0
92100	0.0	0	0	5.0	1500	448500	0
92400	0.0	0	0	5.0	1500	450000	0
92700	0.0	0	0	5.0	1500	451500	0
93000	0.0	0	0	5.0	1500	453000	0
93300	0.0	0	0	5.0	1500	454500	0
93600	0.0	0	0	5.0	1500	456000	0
93900	0.0	0	0	5.0	1500	457500	0
94200	0.0	0	0	5.0	1500	459000	0
94500	0.0	0	0	5.0	1500	460500	0
94800	0.0	0	0	5.0	1500	462000	0
95100	0.0	0	0	5.0	1500	463500	0
95400	0.0	0	0	5.0	1500	465000	0
95700	0.0	0	0	5.0	1500	466500	0
96000	0.0	0	0	5.0	1500	468000	0
96300	0.0	0	0	5.0	1500	469500	0
96600	0.0	0	0	5.0	1500	471000	0
96900	0.0	0	0	5.0	1500	472500	0
97200	0.0	0	0	5.0	1500	474000	0
97500	0.0	0	0	5.0	1500	475500	0
97800	0.0	0	0	5.0	1500	477000	0
98100	0.0	0	0	5.0	1500	478500	0
98400	0.0	0	0	5.0	1500	480000	0
98700	0.0	0	0	5.0	1500	481500	0
99000	0.0	0	0	5.0	1500	483000	0
99300	0.0	0	0	5.0	1500	484500	0
99600	0.0	0	0	5.0	1500	486000	0
99900	0.0	0	0	5.0	1500	487500	0
100200	0.0	0	0	5.0	1500	489000	0

100500	0.0	0	0	5.0	1500	490500	0
100800	0.0	0	0	5.0	1500	492000	0
101100	0.0	0	0	5.0	1500	493500	0
101400	0.0	0	0	5.0	1500	495000	0
101700	0.0	0	0	5.0	1500	496500	0
102000	0.0	0	0	5.0	1500	498000	0
102300	0.0	0	0	3.7	1110	499110	0
102600	0.0	0	0	0.0	0	0	0
MÁXIMO			499110				435930

TABLA: Inflow y Outflow de microcuena 2, considerando un caudal de descarga de 39 m3/seg

Tiempo seg	Q salida	Volumen m3	Inflow m3	Descarga m3	Volumen m3	Outflow m3	Outflow m3	Diferencia
0	0.00	0	0	0.0	0	0	0	0
300	0.00	0	0	0.0	0	0	0	0
600	0.00	0	0	0.0	0	0	0	0
900	0.00	0	0	0.0	0	0	0	0
1200	0.00	0	0	0.0	0	0	0	0
1500	0.00	0	0	0.0	0	0	0	0
1800	0.20	60	60	0.0	0	0	0	60
2100	0.50	150	210	0.0	0	0	0	210
2400	1.00	300	510	0.0	0	0	0	510
2700	1.90	570	1080	0.0	0	0	0	1080
3000	3.20	960	2040	0.0	0	0	0	2040
3300	4.80	1440	3480	0.0	0	0	0	3480
3600	6.80	2040	5520	0.0	0	0	0	5520
3900	9.00	2700	8220	0.0	0	0	0	8220
4200	11.50	3450	11670	0.0	0	0	0	11670
4500	14.30	4290	15960	0.0	0	0	0	15960
4800	17.30	5190	21150	0.0	0	0	0	21150
5100	20.60	6180	27330	0.0	0	0	0	27330
5400	23.90	7170	34500	0.0	0	0	0	34500
5700	27.30	8190	42690	0.0	0	0	0	42690
6000	30.60	9180	51870	0.0	0	0	0	51870
6300	33.80	10140	62010	0.0	0	0	0	62010
6600	36.70	11010	73020	0.0	0	0	0	73020
6900	39.50	11850	84870	0.0	0	0	0	84870
7200	41.90	12570	97440	39.0	11700	11700	11700	85740
7500	44.30	13290	110730	39.0	11700	23400	23400	87330
7800	46.70	14010	124740	39.0	11700	35100	35100	89640
8100	49.20	14760	139500	39.0	11700	46800	46800	92700
8400	52.20	15660	155160	39.0	11700	58500	58500	96660
8700	55.60	16680	171840	39.0	11700	70200	70200	101640
9000	59.30	17790	189630	39.0	11700	81900	81900	107730
9300	63.00	18900	208530	39.0	11700	93600	93600	114930

9600	66.60	19980	228510	39.0	11700	105300	105300	123210
9900	70.00	21000	249510	39.0	11700	117000	117000	132510
10200	73.00	21900	271410	39.0	11700	128700	128700	142710
10500	75.70	22710	294120	39.0	11700	140400	140400	153720
10800	78.00	23400	317520	39.0	11700	152100	152100	165420
11100	79.40	23820	341340	39.0	11700	163800	163800	177540
11400	79.50	23850	365190	39.0	11700	175500	175500	189690
11700	78.00	23400	388590	39.0	11700	187200	187200	201390
12000	74.10	22230	410820	39.0	11700	198900	198900	211920
12300	67.90	20370	431190	39.0	11700	210600	210600	220590
12600	60.20	18060	449250	39.0	11700	222300	222300	226950
12900	51.80	15540	464790	39.0	11700	234000	234000	230790
13200	43.30	12990	477780	39.0	11700	245700	245700	232080
13500	35.50	10650	488430	39.0	11700	257400	257400	231030
13800	28.40	8520	496950	39.0	11700	269100	269100	227850
14100	22.50	6750	503700	39.0	11700	280800	280800	222900
14400	18.00	5400	509100	39.0	11700	292500	292500	216600
14700	14.40	4320	513420	39.0	11700	304200	304200	209220
15000	11.60	3480	516900	39.0	11700	315900	315900	201000
15300	9.30	2790	519690	39.0	11700	327600	327600	192090
15600	7.40	2220	521910	39.0	11700	339300	339300	182610
15900	5.90	1770	523680	39.0	11700	351000	351000	172680
16200	4.70	1410	525090	39.0	11700	362700	362700	162390
16500	3.80	1140	526230	39.0	11700	374400	374400	151830
16800	3.00	900	527130	39.0	11700	386100	386100	141030
17100	2.40	720	527850	39.0	11700	397800	397800	130050
17400	1.90	570	528420	39.0	11700	409500	409500	118920
17700	1.50	450	528870	39.0	11700	421200	421200	107670
18000	1.20	360	529230	39.0	11700	432900	432900	96330
18300	0.90	270	529500	39.0	11700	444600	444600	84900
18600	0.70	210	529710	39.0	11700	456300	456300	73410
18900	0.60	180	529890	39.0	11700	468000	468000	61890
19200	0.40	120	530010	39.0	11700	479700	479700	50310
19500	0.30	90	530100	39.0	11700	491400	491400	38700
19800	0.20	60	530160	39.0	11700	503100	503100	27060
20100	0.20	60	530220	39.0	11700	514800	514800	15420
20400	0.10	30	530250	39.0	11700	526500	526500	3750
20700	0.10	30	530280	12.6	3780	530280	530280	0
21000	0.00	0	0	0.0	0	530280	530280	0
			530280					232080

TABLA: Inflow y Outflow de microcuenca 2, considerando un caudal de descarga de 20 m3/seg

Tiempo seg	Q salida	Volumen m3	Inflow m3	Descarga m3	Volumen m3	Outflow m3	Diferencia
0	0.00	0	0	0.0	0	0	0

300	0.00	0	0	0.0	0	0	0
600	0.00	0	0	0.0	0	0	0
900	0.00	0	0	0.0	0	0	0
1200	0.00	0	0	0.0	0	0	0
1500	0.00	0	0	0.0	0	0	0
1800	0.20	60	60	0.0	0	0	60
2100	0.50	150	210	0.0	0	0	210
2400	1.00	300	510	0.0	0	0	510
2700	1.90	570	1080	0.0	0	0	1080
3000	3.20	960	2040	0.0	0	0	2040
3300	4.80	1440	3480	0.0	0	0	3480
3600	6.80	2040	5520	0.0	0	0	5520
3900	9.00	2700	8220	0.0	0	0	8220
4200	11.50	3450	11670	0.0	0	0	11670
4500	14.30	4290	15960	0.0	0	0	15960
4800	17.30	5190	21150	0.0	0	0	21150
5100	20.60	6180	27330	20.00	6000	6000	21330
5400	23.90	7170	34500	20.00	6000	12000	22500
5700	27.30	8190	42690	20.00	6000	18000	24690
6000	30.60	9180	51870	20.00	6000	24000	27870
6300	33.80	10140	62010	20.00	6000	30000	32010
6600	36.70	11010	73020	20.00	6000	36000	37020
6900	39.50	11850	84870	20.00	6000	42000	42870
7200	41.90	12570	97440	20.00	6000	48000	49440
7500	44.30	13290	110730	20.00	6000	54000	56730
7800	46.70	14010	124740	20.00	6000	60000	64740
8100	49.20	14760	139500	20.00	6000	66000	73500
8400	52.20	15660	155160	20.00	6000	72000	83160
8700	55.60	16680	171840	20.00	6000	78000	93840
9000	59.30	17790	189630	20.00	6000	84000	105630
9300	63.00	18900	208530	20.00	6000	90000	118530
9600	66.60	19980	228510	20.00	6000	96000	132510
9900	70.00	21000	249510	20.00	6000	102000	147510
10200	73.00	21900	271410	20.00	6000	108000	163410
10500	75.70	22710	294120	20.00	6000	114000	180120
10800	78.00	23400	317520	20.00	6000	120000	197520
11100	79.40	23820	341340	20.00	6000	126000	215340
11400	79.50	23850	365190	20.00	6000	132000	233190
11700	78.00	23400	388590	20.00	6000	138000	250590
12000	74.10	22230	410820	20.00	6000	144000	268820
12300	67.90	20370	431190	20.00	6000	150000	281190
12600	60.20	18060	449250	20.00	6000	156000	293250
12900	51.80	15540	464790	20.00	6000	162000	302790
13200	43.30	12990	477780	20.00	6000	168000	309780
13500	35.50	10650	488430	20.00	6000	174000	314430

13800	28.40	8520	496950	20.00	6000	180000	316950
14100	22.50	6750	503700	20.00	6000	186000	317700
14400	18.00	5400	509100	20.00	6000	192000	317100
14700	14.40	4320	513420	20.00	6000	198000	315420
15000	11.60	3480	516900	20.00	6000	204000	312900
15300	9.30	2790	519690	20.00	6000	210000	309690
15600	7.40	2220	521910	20.00	6000	216000	305910
15900	5.90	1770	523680	20.00	6000	222000	301680
16200	4.70	1410	525090	20.00	6000	228000	297090
16500	3.80	1140	526230	20.00	6000	234000	292230
16800	3.00	900	527130	20.00	6000	240000	287130
17100	2.40	720	527850	20.00	6000	246000	281850
17400	1.90	570	528420	20.00	6000	252000	276420
17700	1.50	450	528870	20.00	6000	258000	270870
18000	1.20	360	529230	20.00	6000	264000	265230
18300	0.90	270	529500	20.00	6000	270000	259500
18600	0.70	210	529710	20.00	6000	276000	253710
18900	0.60	180	529890	20.00	6000	282000	247890
19200	0.40	120	530010	20.00	6000	288000	242010
19500	0.30	90	530100	20.00	6000	294000	236100
19800	0.20	60	530160	20.00	6000	300000	230160
20100	0.20	60	530220	20.00	6000	306000	224220
20400	0.10	30	530250	20.00	6000	312000	218250
20700	0.10	30	530280	20.00	6000	318000	212280
21000	0.00	0	0	20.00	6000	324000	0
21300	0.00	0	0	20.00	6000	330000	0
21600	0.00	0	0	20.00	6000	336000	0
21900	0.00	0	0	20.00	6000	342000	0
22200	0.00	0	0	20.00	6000	348000	0
22500	0.00	0	0	20.00	6000	354000	0
22800	0.00	0	0	20.00	6000	360000	0
23100	0.00	0	0	20.00	6000	366000	0
23400	0.00	0	0	20.00	6000	372000	0
23700	0.00	0	0	20.00	6000	378000	0
24000	0.00	0	0	20.00	6000	384000	0
24300	0.00	0	0	20.00	6000	390000	0
24600	0.00	0	0	20.00	6000	396000	0
24900	0.00	0	0	20.00	6000	402000	0
25200	0.00	0	0	20.00	6000	408000	0
25500	0.00	0	0	20.00	6000	414000	0
25800	0.00	0	0	20.00	6000	420000	0
26100	0.00	0	0	20.00	6000	426000	0
26400	0.00	0	0	20.00	6000	432000	0
26700	0.00	0	0	20.00	6000	438000	0
27000	0.00	0	0	20.00	6000	444000	0

27300	0.00	0	0	20.00	6000	450000	0
27600	0.00	0	0	20.00	6000	456000	0
27900	0.00	0	0	20.00	6000	462000	0
28200	0.00	0	0	20.00	6000	468000	0
28500	0.00	0	0	20.00	6000	474000	0
28800	0.00	0	0	20.00	6000	480000	0
29100	0.00	0	0	20.00	6000	486000	0
29400	0.00	0	0	20.00	6000	492000	0
29700	0.00	0	0	20.00	6000	498000	0
30000	0.00	0	0	20.00	6000	504000	0
30300	0.00	0	0	20.00	6000	510000	0
30600	0.00	0	0	20.00	6000	516000	0
30900	0.00	0	0	20.00	6000	522000	0
31200	0.00	0	0	20.00	6000	528000	0
31500	0.00	0	0	7.60	2280	530280	0
31800	0.00	0	0	0.00	0	530280	0
MÁXIMO			530280				317700

TABLA: Inflow y Outflow de microcuenca 2, considerando un caudal de descarga de 5 m3/seg

Tiempo seg	Q salida	Volumen m3	Inflow m3	Descarga m3	Volumen m3	Outflow m3	Diferencia
0	0.00	0	0	0.0	0	0	0
300	0.00	0	0	0.0	0	0	0
600	0.00	0	0	0.0	0	0	0
900	0.00	0	0	0.0	0	0	0
1200	0.00	0	0	0.0	0	0	0
1500	0.00	0	0	0.0	0	0	0
1800	0.20	60	60	0.0	0	0	60
2100	0.50	150	210	0.0	0	0	210
2400	1.00	300	510	0.0	0	0	510
2700	1.90	570	1080	0.0	0	0	1080
3000	3.20	960	2040	0.0	0	0	2040
3300	4.80	1440	3480	0.0	0	0	3480
3600	6.80	2040	5520	5.0	1500	1500	4020
3900	9.00	2700	8220	5.0	1500	3000	5220
4200	11.50	3450	11670	5.0	1500	4500	7170
4500	14.30	4290	15960	5.0	1500	6000	9960
4800	17.30	5190	21150	5.0	1500	7500	13650
5100	20.60	6180	27330	5.0	1500	9000	18330
5400	23.90	7170	34500	5.0	1500	10500	24000
5700	27.30	8190	42690	5.0	1500	12000	30690
6000	30.60	9180	51870	5.0	1500	13500	38370
6300	33.80	10140	62010	5.0	1500	15000	47010
6600	36.70	11010	73020	5.0	1500	16500	56520

6900	39.50	11850	84870	5.0	1500	18000	66870
7200	41.90	12570	97440	5.0	1500	19500	77940
7500	44.30	13290	110730	5.0	1500	21000	89730
7800	46.70	14010	124740	5.0	1500	22500	102240
8100	49.20	14760	139500	5.0	1500	24000	115500
8400	52.20	15660	155160	5.0	1500	25500	129660
8700	55.60	16680	171840	5.0	1500	27000	144840
9000	59.30	17790	189630	5.0	1500	28500	161130
9300	63.00	18900	208530	5.0	1500	30000	178530
9600	66.60	19980	228510	5.0	1500	31500	197010
9900	70.00	21000	249510	5.0	1500	33000	216510
10200	73.00	21900	271410	5.0	1500	34500	236910
10500	75.70	22710	294120	5.0	1500	36000	258120
10800	78.00	23400	317520	5.0	1500	37500	280020
11100	79.40	23820	341340	5.0	1500	39000	302340
11400	79.50	23850	365190	5.0	1500	40500	324690
11700	78.00	23400	388590	5.0	1500	42000	346590
12000	74.10	22230	410820	5.0	1500	43500	367320
12300	67.90	20370	431190	5.0	1500	45000	386190
12600	60.20	18060	449250	5.0	1500	46500	402750
12900	51.80	15540	464790	5.0	1500	48000	416790
13200	43.30	12990	477780	5.0	1500	49500	428280
13500	35.50	10650	488430	5.0	1500	51000	437430
13800	28.40	8520	496950	5.0	1500	52500	444450
14100	22.50	6750	503700	5.0	1500	54000	449700
14400	18.00	5400	509100	5.0	1500	55500	453600
14700	14.40	4320	513420	5.0	1500	57000	456420
15000	11.60	3480	516900	5.0	1500	58500	458400
15300	9.30	2790	519690	5.0	1500	60000	459690
15600	7.40	2220	521910	5.0	1500	61500	460410
15900	5.90	1770	523680	5.0	1500	63000	460680
16200	4.70	1410	525090	5.0	1500	64500	460590
16500	3.80	1140	526230	5.0	1500	66000	460230
16800	3.00	900	527130	5.0	1500	67500	459630
17100	2.40	720	527850	5.0	1500	69000	458850
17400	1.90	570	528420	5.0	1500	70500	457920
17700	1.50	450	528870	5.0	1500	72000	456870
18000	1.20	360	529230	5.0	1500	73500	455730
18300	0.90	270	529500	5.0	1500	75000	454500
18600	0.70	210	529710	5.0	1500	76500	453210
18900	0.60	180	529890	5.0	1500	78000	451890
19200	0.40	120	530010	5.0	1500	79500	450510
19500	0.30	90	530100	5.0	1500	81000	449100
19800	0.20	60	530160	5.0	1500	82500	447660
20100	0.20	60	530220	5.0	1500	84000	446220

20400	0.10	30	530250	5.0	1500	85500	444750
20700	0.10	30	530280	5.0	1500	87000	443280
21000	0.00	0	0	5.0	1500	88500	0
21300	0.00	0	0	5.0	1500	90000	0
21600	0.00	0	0	5.0	1500	91500	0
21900	0.00	0	0	5.0	1500	93000	0
22200	0.00	0	0	5.0	1500	94500	0
22500	0.00	0	0	5.0	1500	96000	0
22800	0.00	0	0	5.0	1500	97500	0
23100	0.00	0	0	5.0	1500	99000	0
23400	0.00	0	0	5.0	1500	100500	0
23700	0.00	0	0	5.0	1500	102000	0
24000	0.00	0	0	5.0	1500	103500	0
24300	0.00	0	0	5.0	1500	105000	0
24600	0.00	0	0	5.0	1500	106500	0
24900	0.00	0	0	5.0	1500	108000	0
25200	0.00	0	0	5.0	1500	109500	0
25500	0.00	0	0	5.0	1500	111000	0
25800	0.00	0	0	5.0	1500	112500	0
26100	0.00	0	0	5.0	1500	114000	0
26400	0.00	0	0	5.0	1500	115500	0
26700	0.00	0	0	5.0	1500	117000	0
27000	0.00	0	0	5.0	1500	118500	0
27300	0.00	0	0	5.0	1500	120000	0
27600	0.00	0	0	5.0	1500	121500	0
27900	0.00	0	0	5.0	1500	123000	0
28200	0.00	0	0	5.0	1500	124500	0
28500	0.00	0	0	5.0	1500	126000	0
28800	0.00	0	0	5.0	1500	127500	0
29100	0.00	0	0	5.0	1500	129000	0
29400	0.00	0	0	5.0	1500	130500	0
29700	0.00	0	0	5.0	1500	132000	0
30000	0.00	0	0	5.0	1500	133500	0
30300	0.00	0	0	5.0	1500	135000	0
30600	0.00	0	0	5.0	1500	136500	0
30900	0.00	0	0	5.0	1500	138000	0
31200	0.00	0	0	5.0	1500	139500	0
31500	0.00	0	0	5.0	1500	141000	0
31800	0.00	0	0	5.0	1500	142500	0
32100	0.00	0	0	5.0	1500	144000	0
32400	0.00	0	0	5.0	1500	145500	0
32700	0.00	0	0	5.0	1500	147000	0
33000	0.00	0	0	5.0	1500	148500	0
33300	0.00	0	0	5.0	1500	150000	0
33600	0.00	0	0	5.0	1500	151500	0

33900	0.00	0	0	5.0	1500	153000	0
34200	0.00	0	0	5.0	1500	154500	0
34500	0.00	0	0	5.0	1500	156000	0
34800	0.00	0	0	5.0	1500	157500	0
35100	0.00	0	0	5.0	1500	159000	0
35400	0.00	0	0	5.0	1500	160500	0
35700	0.00	0	0	5.0	1500	162000	0
36000	0.00	0	0	5.0	1500	163500	0
36300	0.00	0	0	5.0	1500	165000	0
36600	0.00	0	0	5.0	1500	166500	0
36900	0.00	0	0	5.0	1500	168000	0
37200	0.00	0	0	5.0	1500	169500	0
37500	0.00	0	0	5.0	1500	171000	0
37800	0.00	0	0	5.0	1500	172500	0
38100	0.00	0	0	5.0	1500	174000	0
38400	0.00	0	0	5.0	1500	175500	0
38700	0.00	0	0	5.0	1500	177000	0
39000	0.00	0	0	5.0	1500	178500	0
39300	0.00	0	0	5.0	1500	180000	0
39600	0.00	0	0	5.0	1500	181500	0
39900	0.00	0	0	5.0	1500	183000	0
40200	0.00	0	0	5.0	1500	184500	0
40500	0.00	0	0	5.0	1500	186000	0
40800	0.00	0	0	5.0	1500	187500	0
41100	0.00	0	0	5.0	1500	189000	0
41400	0.00	0	0	5.0	1500	190500	0
41700	0.00	0	0	5.0	1500	192000	0
42000	0.00	0	0	5.0	1500	193500	0
42300	0.00	0	0	5.0	1500	195000	0
42600	0.00	0	0	5.0	1500	196500	0
42900	0.00	0	0	5.0	1500	198000	0
43200	0.00	0	0	5.0	1500	199500	0
43500	0.00	0	0	5.0	1500	201000	0
43800	0.00	0	0	5.0	1500	202500	0
44100	0.00	0	0	5.0	1500	204000	0
44400	0.00	0	0	5.0	1500	205500	0
44700	0.00	0	0	5.0	1500	207000	0
45000	0.00	0	0	5.0	1500	208500	0
45300	0.00	0	0	5.0	1500	210000	0
45600	0.00	0	0	5.0	1500	211500	0
45900	0.00	0	0	5.0	1500	213000	0
46200	0.00	0	0	5.0	1500	214500	0
46500	0.00	0	0	5.0	1500	216000	0
46800	0.00	0	0	5.0	1500	217500	0
47100	0.00	0	0	5.0	1500	219000	0

47400	0.00	0	0	5.0	1500	220500	0
47700	0.00	0	0	5.0	1500	222000	0
48000	0.00	0	0	5.0	1500	223500	0
48300	0.00	0	0	5.0	1500	225000	0
48600	0.00	0	0	5.0	1500	226500	0
48900	0.00	0	0	5.0	1500	228000	0
49200	0.00	0	0	5.0	1500	229500	0
49500	0.00	0	0	5.0	1500	231000	0
49800	0.00	0	0	5.0	1500	232500	0
50100	0.00	0	0	5.0	1500	234000	0
50400	0.00	0	0	5.0	1500	235500	0
50700	0.00	0	0	5.0	1500	237000	0
51000	0.00	0	0	5.0	1500	238500	0
51300	0.00	0	0	5.0	1500	240000	0
51600	0.00	0	0	5.0	1500	241500	0
51900	0.00	0	0	5.0	1500	243000	0
52200	0.00	0	0	5.0	1500	244500	0
52500	0.00	0	0	5.0	1500	246000	0
52800	0.00	0	0	5.0	1500	247500	0
53100	0.00	0	0	5.0	1500	249000	0
53400	0.00	0	0	5.0	1500	250500	0
53700	0.00	0	0	5.0	1500	252000	0
54000	0.00	0	0	5.0	1500	253500	0
54300	0.00	0	0	5.0	1500	255000	0
54600	0.00	0	0	5.0	1500	256500	0
54900	0.00	0	0	5.0	1500	258000	0
55200	0.00	0	0	5.0	1500	259500	0
55500	0.00	0	0	5.0	1500	261000	0
55800	0.00	0	0	5.0	1500	262500	0
56100	0.00	0	0	5.0	1500	264000	0
56400	0.00	0	0	5.0	1500	265500	0
56700	0.00	0	0	5.0	1500	267000	0
57000	0.00	0	0	5.0	1500	268500	0
57300	0.00	0	0	5.0	1500	270000	0
57600	0.00	0	0	5.0	1500	271500	0
57900	0.00	0	0	5.0	1500	273000	0
58200	0.00	0	0	5.0	1500	274500	0
58500	0.00	0	0	5.0	1500	276000	0
58800	0.00	0	0	5.0	1500	277500	0
59100	0.00	0	0	5.0	1500	279000	0
59400	0.00	0	0	5.0	1500	280500	0
59700	0.00	0	0	5.0	1500	282000	0
60000	0.00	0	0	5.0	1500	283500	0
60300	0.00	0	0	5.0	1500	285000	0
60600	0.00	0	0	5.0	1500	286500	0

60900	0.00	0	0	5.0	1500	288000	0
61200	0.00	0	0	5.0	1500	289500	0
61500	0.00	0	0	5.0	1500	291000	0
61800	0.00	0	0	5.0	1500	292500	0
62100	0.00	0	0	5.0	1500	294000	0
62400	0.00	0	0	5.0	1500	295500	0
62700	0.00	0	0	5.0	1500	297000	0
63000	0.00	0	0	5.0	1500	298500	0
63300	0.00	0	0	5.0	1500	300000	0
63600	0.00	0	0	5.0	1500	301500	0
63900	0.00	0	0	5.0	1500	303000	0
64200	0.00	0	0	5.0	1500	304500	0
64500	0.00	0	0	5.0	1500	306000	0
64800	0.00	0	0	5.0	1500	307500	0
65100	0.00	0	0	5.0	1500	309000	0
65400	0.00	0	0	5.0	1500	310500	0
65700	0.00	0	0	5.0	1500	312000	0
66000	0.00	0	0	5.0	1500	313500	0
66300	0.00	0	0	5.0	1500	315000	0
66600	0.00	0	0	5.0	1500	316500	0
66900	0.00	0	0	5.0	1500	318000	0
67200	0.00	0	0	5.0	1500	319500	0
67500	0.00	0	0	5.0	1500	321000	0
67800	0.00	0	0	5.0	1500	322500	0
68100	0.00	0	0	5.0	1500	324000	0
68400	0.00	0	0	5.0	1500	325500	0
68700	0.00	0	0	5.0	1500	327000	0
69000	0.00	0	0	5.0	1500	328500	0
69300	0.00	0	0	5.0	1500	330000	0
69600	0.00	0	0	5.0	1500	331500	0
69900	0.00	0	0	5.0	1500	333000	0
70200	0.00	0	0	5.0	1500	334500	0
70500	0.00	0	0	5.0	1500	336000	0
70800	0.00	0	0	5.0	1500	337500	0
71100	0.00	0	0	5.0	1500	339000	0
71400	0.00	0	0	5.0	1500	340500	0
71700	0.00	0	0	5.0	1500	342000	0
72000	0.00	0	0	5.0	1500	343500	0
72300	0.00	0	0	5.0	1500	345000	0
72600	0.00	0	0	5.0	1500	346500	0
72900	0.00	0	0	5.0	1500	348000	0
73200	0.00	0	0	5.0	1500	349500	0
73500	0.00	0	0	5.0	1500	351000	0
73800	0.00	0	0	5.0	1500	352500	0
74100	0.00	0	0	5.0	1500	354000	0

74400	0.00	0	0	5.0	1500	355500	0
74700	0.00	0	0	5.0	1500	357000	0
75000	0.00	0	0	5.0	1500	358500	0
75300	0.00	0	0	5.0	1500	360000	0
75600	0.00	0	0	5.0	1500	361500	0
75900	0.00	0	0	5.0	1500	363000	0
76200	0.00	0	0	5.0	1500	364500	0
76500	0.00	0	0	5.0	1500	366000	0
76800	0.00	0	0	5.0	1500	367500	0
77100	0.00	0	0	5.0	1500	369000	0
77400	0.00	0	0	5.0	1500	370500	0
77700	0.00	0	0	5.0	1500	372000	0
78000	0.00	0	0	5.0	1500	373500	0
78300	0.00	0	0	5.0	1500	375000	0
78600	0.00	0	0	5.0	1500	376500	0
78900	0.00	0	0	5.0	1500	378000	0
79200	0.00	0	0	5.0	1500	379500	0
79500	0.00	0	0	5.0	1500	381000	0
79800	0.00	0	0	5.0	1500	382500	0
80100	0.00	0	0	5.0	1500	384000	0
80400	0.00	0	0	5.0	1500	385500	0
80700	0.00	0	0	5.0	1500	387000	0
81000	0.00	0	0	5.0	1500	388500	0
81300	0.00	0	0	5.0	1500	390000	0
81600	0.00	0	0	5.0	1500	391500	0
81900	0.00	0	0	5.0	1500	393000	0
82200	0.00	0	0	5.0	1500	394500	0
82500	0.00	0	0	5.0	1500	396000	0
82800	0.00	0	0	5.0	1500	397500	0
83100	0.00	0	0	5.0	1500	399000	0
83400	0.00	0	0	5.0	1500	400500	0
83700	0.00	0	0	5.0	1500	402000	0
84000	0.00	0	0	5.0	1500	403500	0
84300	0.00	0	0	5.0	1500	405000	0
84600	0.00	0	0	5.0	1500	406500	0
84900	0.00	0	0	5.0	1500	408000	0
85200	0.00	0	0	5.0	1500	409500	0
85500	0.00	0	0	5.0	1500	411000	0
85800	0.00	0	0	5.0	1500	412500	0
86100	0.00	0	0	5.0	1500	414000	0
86400	0.00	0	0	5.0	1500	415500	0
86700	0.00	0	0	5.0	1500	417000	0
87000	0.00	0	0	5.0	1500	418500	0
87300	0.00	0	0	5.0	1500	420000	0
87600	0.00	0	0	5.0	1500	421500	0

87900	0.00	0	0	5.0	1500	423000	0
88200	0.00	0	0	5.0	1500	424500	0
88500	0.00	0	0	5.0	1500	426000	0
88800	0.00	0	0	5.0	1500	427500	0
89100	0.00	0	0	5.0	1500	429000	0
89400	0.00	0	0	5.0	1500	430500	0
89700	0.00	0	0	5.0	1500	432000	0
90000	0.00	0	0	5.0	1500	433500	0
90300	0.00	0	0	5.0	1500	435000	0
90600	0.00	0	0	5.0	1500	436500	0
90900	0.00	0	0	5.0	1500	438000	0
91200	0.00	0	0	5.0	1500	439500	0
91500	0.00	0	0	5.0	1500	441000	0
91800	0.00	0	0	5.0	1500	442500	0
92100	0.00	0	0	5.0	1500	444000	0
92400	0.00	0	0	5.0	1500	445500	0
92700	0.00	0	0	5.0	1500	447000	0
93000	0.00	0	0	5.0	1500	448500	0
93300	0.00	0	0	5.0	1500	450000	0
93600	0.00	0	0	5.0	1500	451500	0
93900	0.00	0	0	5.0	1500	453000	0
94200	0.00	0	0	5.0	1500	454500	0
94500	0.00	0	0	5.0	1500	456000	0
94800	0.00	0	0	5.0	1500	457500	0
95100	0.00	0	0	5.0	1500	459000	0
95400	0.00	0	0	5.0	1500	460500	0
95700	0.00	0	0	5.0	1500	462000	0
96000	0.00	0	0	5.0	1500	463500	0
96300	0.00	0	0	5.0	1500	465000	0
96600	0.00	0	0	5.0	1500	466500	0
96900	0.00	0	0	5.0	1500	468000	0
97200	0.00	0	0	5.0	1500	469500	0
97500	0.00	0	0	5.0	1500	471000	0
97800	0.00	0	0	5.0	1500	472500	0
98100	0.00	0	0	5.0	1500	474000	0
98400	0.00	0	0	5.0	1500	475500	0
98700	0.00	0	0	5.0	1500	477000	0
99000	0.00	0	0	5.0	1500	478500	0
99300	0.00	0	0	5.0	1500	480000	0
99600	0.00	0	0	5.0	1500	481500	0
99900	0.00	0	0	5.0	1500	483000	0
100200	0.00	0	0	5.0	1500	484500	0
100500	0.00	0	0	5.0	1500	486000	0
100800	0.00	0	0	5.0	1500	487500	0
101100	0.00	0	0	5.0	1500	489000	0

101400	0.00	0	0	5.0	1500	490500	0
101700	0.00	0	0	5.0	1500	492000	0
102000	0.00	0	0	5.0	1500	493500	0
102300	0.00	0	0	5.0	1500	495000	0
102600	0.00	0	0	5.0	1500	496500	0
102900	0.00	0	0	5.0	1500	498000	0
103200	0.00	0	0	5.0	1500	499500	0
103500	0.00	0	0	5.0	1500	501000	0
103800	0.00	0	0	5.0	1500	502500	0
104100	0.00	0	0	5.0	1500	504000	0
104400	0.00	0	0	5.0	1500	505500	0
104700	0.00	0	0	5.0	1500	507000	0
105000	0.00	0	0	5.0	1500	508500	0
105300	0.00	0	0	5.0	1500	510000	0
105600	0.00	0	0	5.0	1500	511500	0
105900	0.00	0	0	5.0	1500	513000	0
106200	0.00	0	0	5.0	1500	514500	0
106500	0.00	0	0	5.0	1500	516000	0
106800	0.00	0	0	5.0	1500	517500	0
107100	0.00	0	0	5.0	1500	519000	0
107400	0.00	0	0	5.0	1500	520500	0
107700	0.00	0	0	5.0	1500	522000	0
108000	0.00	0	0	5.0	1500	523500	0
108300	0.00	0	0	5.0	1500	525000	0
108600	0.00	0	0	5.0	1500	526500	0
108900	0.00	0	0	5.0	1500	528000	0
109200	0.00	0	0	5.0	1500	529500	0
109500	0.00	0	0	2.6	780	530280	0
109800	0.00	0	0	0.0	0	530280	0
MÁXIMO			530280				460680

FOTOGRAFÍAS



Fotografía: Investigadores en la Quebrada San Ildefonso, abril 2017



Fotografía: Deterioro de dique después del fenómeno ocurrido en marzo 2017, abril 2017



Fotografía: Quebrada San Ildefonso, abril 2017



Fotografía: Medición de la altura de huella de agua, en ingreso al El Porvenir,
abril 2017

PLANO