

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTENOR ORREGO

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



“ANÁLISIS HIDROLOGICO E HIDRÁULICO DE LA QUEBRADA DEL RÍO CAJAS UBICADO JUNTO AL CAMPO DEPORTIVO EN EL ANEXO DE HUARICHACA, DISTRITO DE TAYABAMBA, PROVINCIA DE PATAZ, REGION LA LIBERTAD”

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

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: HIDRÁULICA

AUTORES: BACH. RODRÍGUEZ MONTALVÁN, MANUEL VÍCTOR
BACH. VERA QUIPUSCOA, LUIS ENRIQUE

ASESOR: ING. GUILLERMO JUAN CABANILLAS QUIROZ

TRUJILLO - PERÚ

2018

JURADO DICTAMINADOR

PRESIDENTE:

Ing. Narvaez Aranda Ricardo Andres

SECRETARIO:

Ing. Sagastegui Plasencia German Fidel

VOCAL:

Ing. Geldres Sanchez Carmen Lucia

ASESOR:

Ing. Cabanillas Quiroz Guillermo Juan

DEDICATORIA

A mis padres que son los pilares de mi vida personal y profesional; a quienes este trabajo se debe debido a su gran empuje para que pueda desarrollarlo.

Manuel Rodríguez

DEDICATORIA

A mi familia y amigos que no negaron su ayuda cuando acudí a ellos. Este documento es el resultado de la instrucción y trabajo durante esos últimos años.

Luis Vera

AGRADECIMIENTO

Gracias a Dios por darnos la posibilidad de consolidar esta tesis.

A nuestras familias, por brindarnos el apoyo durante los meses de desarrollo de la tesis. Nuestros padres por enseñarnos a siempre crecer en la vida y luchar por nuestros sueños, lo que se refleja en esta tesis y el logro que se vierte en esta.

A nuestros profesores por compartirnos sus conocimientos durante nuestro andar como estudiantes de la carrera de Ingeniería Civil.

ÍNDICE

CARATULA.....	i
JURADO DICTAMINADOR.....	ii
DEDICATORIA.....	iii
DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTO.....	v
ÍNDICE.....	vi
ÍNDICE DE TABLAS.....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	ix
RESUMEN.....	xiii
ABSTRACT.....	xiv
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....	15
1.1. Realidad problemática.....	15
1.2. Enunciado del problema.....	16
1.3. Antecedentes.....	16
1.4. Hipótesis y variables.....	18
1.5. Objetivos.....	18
1.6. Justificación.....	19
1.7. MARCO TEÓRICO.....	20
CAPITULO II: MATERIALES Y METODOS.....	70
CAPÍTULO III: RESULTADOS.....	148
CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	150
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES.....	152
CAPÍTULO VI: RECOMENDACIONES.....	153
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	154

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Clasificación de suelos según potencial de escurrimiento.....	34
Tabla 2: Clasificación de los usos del suelo según los efectos hidrológicos	34
Tabla 3: Condiciones de humedad para la determinación del CN.....	35
Tabla 4: Valores de CN para las diferentes combinaciones hidrológicas suelo-vegetación para las cuencas en Condición II	35
Tabla 5: Tabla adicional de valores de CN, para las cuencas en Condición II.....	36
Tabla 6: Valores de CN de escorrentía para área forestales en condiciones medias de humedad previa y para $Ia = 0.2 * S$ (Tragsa y Tragsatec, 1998).....	37
Tabla 7: Valores de CN de escorrentía para zonas de montañas áridas y semiáridas (1) en condiciones medias de humedad previa y para $Ia = 0.2 * S$	38
Tabla 8: Valores de CN de escorrentía para áreas urbanas (1) en condiciones medias de humedad previa y para $Ia = 0.2 * S$	39
Tabla 9: Transformación de CN para diferentes condiciones de humedad antecedente del suelo	40
Tabla 10: Condición precedente de humedad según la lluvia total caída durante los 5 días anteriores.....	41
Tabla 11: Mínimo valor de velocidad de infiltración en mm/hora	41
Tabla 32: Resumen de ecuaciones del método del SCS.	52
Tabla 13: Relaciones geométricas de las secciones transversales más frecuentes.....	63
Tabla 14: Máxima velocidad permitida en canales no recubiertos de vegetación.....	64
Tabla 15: Velocidades máximas en hormigón en función de su resistencia.	65
Tabla 16: Grupos hidrológicos del suelo (SCS) Fuente: Bradbury 200	75
Tabla 17: Números de curva SCS. Fuente: Elaboración Propia.....	76
Tabla 18: Registro de precipitación de la estación Quebrada Colpa – Chirimoyo	109
Tabla 19: Distribución de probabilidades pluviométricas mediante Gumbel	111
Tabla 20: Calculo de variables probabilísticas y precipitaciones diarias para distintas frecuencias	113
Tabla 21: Coeficientes para las relaciones a la lluvia de duración de 24 horas	113
Tabla 22: Precipitaciones máximas para diferentes tiempos de duración de lluvias.....	114
Tabla 23: Intensidades de lluvia a partir de Pd, según duración de precipitación y frecuencia de la misma	114
Tabla 24: Valores de intensidad de precipitación según Duración de la misma y frecuencia de repetición.....	122
Tabla 25: Valores para determinación de Hietograma en un periodo de retorno de 50 años.....	123

Tabla 26: Parámetros morfométricos determinados para Cuenca Huarichaca.....	126
Tabla 27: Tabla Resumen de resultados.....	149

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Hietograma de precipitación	26
Figura 2: Interceptaciones de las precipitaciones.....	28
Figura 3: Tipos de precipitaciones	29
Figura 4: representación de las variables del método del S.C. S - CN	29
Figura 5: Relación precipitación total vs precipitación efectiva usando valores de <i>CN</i>	32
Figura 6: Valores de CN en condición II.....	36
Figura 7: Paso de una onda o transito	43
Figura 8: Hidrógrama anual	44
Figura 9: Hidrograma de tormenta	45
Figura 10: Componentes del Hidrograma	45
Figura 11: Tiempo de retraso.....	47
Figura 12: Hidrógrama Unitario adimensional (curvilíneo) y su equivalencia con el hidrógrama triangular.....	49
Figura 13: Esquema de la arquitectura de ArcGIS	54
Figura 14: Red de drenaje según Horton- Strahler.....	59
Figura 15: Red de drenaje según Shreve (Ferro, 2002).....	60
Figura 16: Velocidades de flujo.....	64
Figura 17: Selección del área de estudio en el Servidor Alaska Satellite Facility	71
Figura 18: Descarga del DEM desde el servidor Alaska Satellite Facility	72
Figura 19: Ubicación de estación pluviométrica Qda. Colpa - Chirimoyo. Fuente: Visor Pluviométrico del ANA	72
Figura 20: Campo Deportivo Huarichaca – Río Cajas.....	73
Figura 21: Obtención de imágenes georreferenciadas en SAS.Planet.....	74
Figura 22: Creación del proyecto en ArcMap	77
Figura 23: Modelo de Elevación Digital (DEM) en ArcMap.....	77
Figura 24: Ortofotos Georreferenciadas en ArcMap.....	78
Figura 25: Recortar un DEM (raster) en ArcMap.....	79
Figura 26: Selección del área de recorte.....	79
Figura 27: Corte de mde_cuenca - HEC- GeoHMS.....	80
Figura 28: DEM recortado para el modelamiento con HEC- GeoHMS	80
Figura 29: Eliminación de imperfecciones del DEM.	81
Figura 30: Ráster generado con la herramienta Fill Sinks.....	82
Figura 31: Dirección de flujo	82
Figura 32: Ráster generado con la herramienta Flow Direction.....	83
Figura 33: Acumulación de flujo.....	84

Figura 34: Ráster generado con la herramienta Flow Accumulation	84
Figura 35: Definición de la corriente de la red hídrica	85
Figura 36: Ráster generado con la herramienta Stream Definition	86
Figura 37: Segmentación de corrientes.....	86
Figura 38: Ráster generado con la herramienta Stream Segmentation	87
Figura 39: Delineación de corrientes.....	87
Figura 40: Ráster generado con la herramienta Catchment Grid Delineation.....	88
Figura 41: Procesamiento de las líneas de drenaje	89
Figura 42: Ráster generado con la herramienta Drainage Line Processing.....	89
Figura 43: Procesamiento de los Polígonos.....	90
Figura 44: Ráster generado con la herramienta Catchment Polygon Processing.....	91
Figura 45: Procesamiento de microcuencas adjuntas	92
Figura 46: Ráster generado con la herramienta Adjoint Catchment Processing.....	92
Figura 47: Definición del nuevo proyecto	93
Figura 48: Generación del nuevo proyecto	94
Figura 49: Delimitación de la cuenca	94
Figura 50: Calculo de la longitud del rio	95
Figura 51: Tabla de Atributos de la longitud del rio	96
Figura 52: Calculo de la pendiente del rio	96
Figura 53: Tabla de Atributos de la pendiente del rio	97
Figura 54: Cálculo del recorrido del flujo más largo	98
Figura 55: Tabla de Atributos del recorrido más largo del flujo.....	98
Figura 56: Cálculo del centroide de la cuenca	99
Figura 57: Método del centro de gravedad para el centroide de la cuenca	99
Figura 58: Calculo de la elevación del centroide de la cuenca.....	100
Figura 59:Tabla de atributos de la elevación del centroide de la cuenca.....	101
Figura 60: Selección de procesos para HMS	102
Figura 61: Nombre automático del río.....	102
Figura 62: Nombre automático de la cuenca.....	103
Figura 63: Conversión de Unidades para el modelo HMS.....	104
Figura 64: Esquemático de la Cuenca para el modelo HMS	104
Figura 65: Leyenda para el modelo HMS.....	105
Figura 66: Adicionar coordenadas para el modelo HMS	106
Figura 67: Preparar los datos para exportar el modelo HMS.....	107
Figura 68: Exportando archivos shape de fondo.....	107
Figura 69: Modelo meteorológico.....	108
Figura 70: Proyecto HMS.....	109

Figura 71: Máximas precipitaciones Registradas por la estación Quebrada Colpa – Chirimoyo por periodo anual	111
Figura 72: Grafico periodo de retorno vs corriente de regresión d	119
Figura 73: Grafico periodo de retorno vs corriente de regresión d	121
Figura 74: Curva IDF para el periodo de retorno de 50 años	121
Figura 75: Curva IDF – Según periodo de retorno y tiempo de duración.....	123
Figura 76: Curva IDF T50.	124
Figura 77: Hietograma para determinación de caudal de diseño.	124
Figura 78: Selección del proyecto en HEC-HMS.....	127
Figura 79: Importación de Background Maps a HEC-HMS	127
Figura 80: Selección del método del SCS en HEC-HMS	128
Figura 81: Numero de curva	129
Figura 82: Tiempo de Retraso	129
Figura 83: Modelo Meteorológico.....	130
Figura 84: Especificaciones de control.....	131
Figura 85: Datos de precipitación.....	132
Figura 86: Ejecución de la simulación del modelo en HEC-HMS	133
Figura 87: Caudal y Volumen para Avenida de Diseño	134
Figura 88: Resumen de resultados de la simulación	134
Figura 89: Serie de tiempo de la simulación en HEC-HMS	135
Figura 90: Hidrógrama obtenido a partir del Hietograma en la simulación.	136
Figura 91: Creación de curvas de nivel en AutoCAD Civil 3D	137
Figura 92: Creación de breacklines para definir superficies.	137
Figura 93: Creación de zonas para importación de geometría.	138
Figura 94: Proyecto Arcmap – MODELO IBER.mxd.	139
Figura 95: Creación del proyecto en IBER	139
Figura 96: Importación del DXF en IBER	140
Figura 97: Ingreso de condición de entrada	141
Figura 98: Selección del coeficiente de rugosidad de Manning	141
Figura 99: Asignación completa de rugosidades.	142
Figura 100: Geometría completada en todas sus capas	142
Figura 101: Ruta para asignación de malla.....	143
Figura 102: Malla generada para el proyecto MODELO FINAL PRUEBA.	143
Figura 103: Tamaño de malla generada	144
Figura 104: corrección de malla con asignación de MDE.....	144
Figura 105: Proceso de cálculo en simulación IBER finalizado	145
Figura 106: Ventana de resultados de IBER	146

Figura 107: Simulación de resultados de la cota de agua en IBER	146
Figura 108: Simulación de resultados de la cota de agua en IBER	147
Figura 109: Caudal pico en Hec-HMS.....	148
Figura 110: Simulación de resultados del Calado en IBER	148
Figura 111: Simulación de resultados de la velocidad en IBER	149

RESUMEN

El presente estudio permitió determinar mediante modelación hidrológica e hidráulica de la quebrada del río cajas, el riesgo de inundación del campo deportivo de Huarichaca, ubicado en el margen derecho del río cajas.

Los registros de precipitaciones de la Quebrada Colpa – Chirimoyo dados por la Autoridad Nacional del Agua (ANA), sirvió como base para aplicar la ley de distribución de frecuencias para valores extremos de Gumbel y con las curvas IDF se llegó a elaborar el Hietograma para un periodo de retorno de 50 años; El procesamiento de la información para el modelamiento hidrológico fue utilizando la extensión HEC-GeoHMS en ArcMap. A partir del servidor de la Nasa Alaska Satellite Facility se obtuvo el Modelo de Elevación Digital (DEM), lo que permitió delimitar la cuenca, obtener parámetros geomorfológicos y asignar el método del servicio de conservación de suelos (SCS), permitiéndonos obtener el modelo de entrada para el modelamiento en HEC-HMS. Con el programa informático HEC-HMS se logra estimar la hidrógrafa de escurrimiento de la cuenca y el caudal pico de 72,9 m³/s, de la Quebrada del río cajas.

Se realizó el levantamiento topográfico con la estación total GOWIN TKS 202 de la zona de estudio, creándose la superficie y la geometría en el software AutoCAD Civil 3D, posteriormente se importó al Software IBER en el cual se desarrolló el modelamiento Hidráulico, en una simulación para el caudal pico de 200 segundos de recorrido, obteniendo un calado máximo de 4.60 metros y velocidad máxima de 9.01 m/s., apreciándose inundación en el campo deportivo en su sección adjunta al del canal y muro de contención para el periodo de retorno de 50 años, debido a que la sección del canal es angosta ocasionando acumulación del caudal en la entrada y velocidades altas a la salida del canal.

Palabras Clave: Sistemas de Información Geográfica, Precipitación Extraordinaria, Modelamientos hidrológico – hidráulico, inundación.

ABSTRACT

The present study allowed to determine by hydrological and hydraulic modeling of the bank of the Cajas river, the danger of flooding of the Huarichaca sports field, located on the right bank of the Cajas river.

The rainfall records of the Ravine Colpa - Chirimoyo given by the National Water Authority (ANA), served as a basis to apply the law of frequency distribution for extreme values of Gumbel and with the IDF curves the Hietogram was elaborated for a return period of 50 years; The processing of the information for hydrological modeling was using the HEC-GeoHMS extension in ArcMap. The Digital Elevation Model (DEM) was obtained from the Nasa Alaska Satellite Facility, which allowed delimiting the basin, obtaining geomorphological parameters and assigning the soil conservation service (SCS) method, allowing us to obtain the model of entry for modeling in HEC-HMS. With the software HEC-HMS it is possible to estimate the drainage hydrology of the basin and the peak flow of 72.9 m³ / s of the ravine to Cajas river.

The topographic survey was carried out with the total station GOWIN TKS 202 in the study area, creating the surface and the geometry in the AutoCAD Civil 3D software, later it was imported into the IBER Software in which the Hydraulic modeling was developed, in a simulation for the peak flow of 200 seconds of travel, obtaining a maximum draft of 4.60 meters and maximum speed of 9.01 m / s., appreciating flood in the sports field in its section attached to the channel and retaining wall for the return period of 50 years, because the section of the canal is narrow causing accumulation of the flow at the entrance and high speeds at the exit of the channel.

Keywords: Geographic Information Systems, Extraordinary Precipitation, Hydrological - Hydraulic Modeling, Flooding.

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

La degradación de una cuenca hidrográfica se define como la pérdida de valor en el tiempo, incluyendo el potencial productivo de tierras y aguas, acompañadas de cambios hidrológicos de un sistema fluvial. La degradación ambiental de una cuenca hidrográfica se explica por la acción del agua en su expresión hidrocínética al modificar el paisaje, aparecen diversos fenómenos erosivos que provocan una degradación intensa de la tierra y producen una modificación sustancial del régimen hidrológico; estos efectos notables los percibe la población rural por medio de sequías e inundaciones, (Morales, 2003).

Una inundación sucede cuando una tormenta genera gran cantidad de escorrentía y esta sobrepasa la capacidad de carga de los ríos. El resultado obtenido de este fenómeno es el rebalse de los bancos en determinado curso del río y por lo tanto la inundación de las tierras aledañas conocidas como llanuras de inundación. “Las llanuras de inundación son, en general, aquellos terrenos sujetos a inundaciones recurrentes con mayor frecuencia, y ubicados en zonas adyacentes a los ríos y cursos de agua” (Organización de los Estados Americanos OEA 1993).

El efecto del rebalse de un río sobre una zona depende de las características hidráulicas e hidrológicas desde el punto de vista natural, aun que a éstas es importante agregar las modificaciones realizadas por el ser humano como por ejemplo: “La urbanización de una llanura de inundación o de áreas adyacentes, aumentan la descarga y la tasa de descarga, pues se reduce el área de superficie disponible para absorber la lluvia y canaliza mucho más rápidamente el flujo hacia alcantarillados y vías de drenaje” (OEA 1993).

En el Perú, el daño causado por los aumentos de caudal producto de las avenidas extremas del Fenómeno del niño es un problema que afecta directamente a todas las comunidades, causando inundaciones y en algunos casos el colapso total de estructuras, trayendo consigo grandes pérdidas económicas para el pueblo. En el norte del país, se nota una estrecha relación entre el Fenómeno El Niño (Los más

intensos y catalogados como catastróficos se registraron en 1925, 1982-83 y 1997-98), las precipitaciones extremas y las inundaciones, sin embargo, no siempre pueden ser atribuidas a este Fenómeno, sino a procesos naturales meteorológicos o acciones antrópicas. (Alvaro, 2014)

El campo deportivo del anexo de Huarichaca ubicado junto al río Cajas es una infraestructura construida durante del periodo del año 2016, nos plantea la discusión si esta obra podría sufrir inundación debido a estar en contacto directo con el río Cajas, debido al aumento del caudal en épocas de lluvias; siendo la población del anexo en mención la afectada directamente por el uso de esta infraestructura.

Es posible realizar el análisis de los datos hidráulicos e hidrológicos para una cuenca por motivo de una inundación de manera pronta gracias a los avances tecnológicos en el campo de la computación. Actualmente los softwares desarrollados para estos análisis contienen expresiones matemáticas de rápido calculo y con relevancia en las investigaciones. Permitiendo el uso del historial de precipitaciones de estaciones meteorológicas para delimitar cuencas hidrográficas y complementado con el levantamiento topográfico de la zona de estudio permite el cálculo de caudal de diseño, tirantes de agua y velocidad de caudal para el modelamiento en estos softwares.

1.2. Enunciado del problema

¿En qué medida las características hidrológicas e hidráulicas de la quebrada del río Cajas ubicado junto al campo deportivo en el Anexo de Huarichaca, Distrito de Tayabamba, Provincia de Patate, Región la Libertad, permiten determinar posibles zonas de riesgo?

1.3. Antecedentes

Según Morris, G. (2006). Respecto a la Modelación hidráulica e hidrológica del río Guápiles para determinar la vulnerabilidad a inundaciones en un tramo comprendido entre los poblados de Guápiles y la Rita; el autor considero los modelamientos con los softwares HEC-HMS para los parámetros Hidrológicos e

IBER para la modelación Hidráulica; lo que le permitió determinar la vulnerabilidad de los terrenos al anegamiento. La simulación Hidráulica permitió dar con los tramos de desborde de río causando inundación y su distribución de velocidades. Los escenarios estudiados fueron el actual y proyectado, siendo inundaciones de las planicies aledañas en tres tramos los resultados para ambos escenarios; esto se producto al crecimiento poblacional urbano que ocasiona menos áreas de infiltración de precipitaciones.

Según Pérez, A. y Vanegas, L. (2016) en Estudio hidrológico e hidráulico en la zona baja de la cuenca del río Frio en el Municipio de Chía; el autor utiliza para sus estudios los softwares SMDA y HEC-RAS. El fenómeno de la niña durante el año 2011 afecto por inundación este Municipio, lo cual fue motivo de construcción de estructuras de defensa; con este estudio se logró concluir que estas estructuras (gaviones y jarillones) cumplen su función de contención para un periodo de retorno de 100 años minimizando riesgos de inundación.

Según Ayala, J. (2014); para la determinación de planos de inundación de Quillacollo, siendo en este Municipio que se presentaron eventos de inundación en el año 2013 y 2014 por el Río Rocha; a lo que el autor evalúa estos eventos con las herramientas informáticas bidimensionales HEC-RAS e IBER; cuyos resultados fue la obtención de los planos de inundación; en la que se visualizan la dinámica del flujo y tramos del evento.

Según Llorente, I.; Diez, A. & Lain, L. (2009) en Aplicaciones de los SIG al análisis y gestión del riesgo de inundaciones: Avances recientes. Evaluaron la aplicación de estos Sistemas Información Geográfico para el análisis de gestión de riesgo de inundaciones fluviales; desde la peligrosidad y regionalización de datos de precipitación, parámetros morfométricos, parámetros hidrológicos, delimitación de áreas inundables entre otros. Determinación que el empleo de los SIG permite ahorrar tiempo, esfuerzo y ofrece garantía de objetividad y precisión.

Según Diaz, V. (2012) en análisis hidrológico e hidráulico mediante técnicas SIG de la peligrosidad por inundaciones en la cuenca de Pla de Sant Jorde (Mallorca), la autora utilizamos los programas informativos ArcGis para la elaboración de las

capas geomorfológicas de cuenca, delimitación con la extensión HEC-GeoHMS; para luego realizar análisis Hidrológico con HEC-HMS y el modelamiento hidráulico con software HEC-RAS e IBER. El fin fue obtener una cartografía de la zona de estudio donde aparezcan las áreas susceptibles a ser inundadas; lo que servirá para la toma de decisiones por parte de organismos públicos o privados para la proyección de la población ante estos desastres.

1.4. Hipótesis y variables

1.4.1. General

El estudio de las características hidrológicas e hidráulicas de la quebrada del río Cajas ubicado junto al campo deportivo en el anexo de Huarichaca, distrito de Tayabamba, provincia de Pataz, permitirá realizar un modelamiento para determinar posibles zonas de riesgo.

1.4.2. Operacionalización de las variables

VI: Precipitación máxima, topografía.

VD: Tirante de agua, caudal de diseño y velocidad de caudal.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo general

Determinar las características hidráulicas de la quebrada del río Cajas ubicado junto al campo deportivo en el Anexo de Huarichaca, Distrito de Tayabamba, Provincia de Pataz, Región La Libertad; para determinar posibles zonas de riesgo.

1.5.2. Objetivos específicos

- Realizar el estudio topográfico de la zona donde se ubica el campo deportivo en el Anexo de Huarichaca, Distrito de Tayabamba, Provincia de Pataz, Región La Libertad, como preliminar para determinar las características hidrológicas e hidráulicas.
- Realizar la modelación hidrológica del sistema mediante la aplicación de la herramienta HEC-HMS (Hydrologic Modeling System) para obtener el caudal máximo.

- Realizar el modelamiento hidráulico mediante análisis bidimensional de cuenca usando el programa IBER, ante el aumento de caudal del Río Colindante al complejo deportivo en el Anexo de Huarichaca, Distrito de Tayabamba, Provincia de Pataz, Región La Libertad, para determinar las características hidráulicas y posible zonas de riesgo.

1.6. Justificación

1.6.1. Justificación Académica:

Se justifica académicamente porque el desarrollo de la presente tesis permitirá la aplicación de las teorías y fundamentos teóricos relacionados a los métodos hidrológicos e hidráulicos para el modelamiento de la quebrada del río cajas en la zona de estudio.

1.6.2. Justificación Social:

La presente tesis sirve como base a la solución de problemas como inundabilidad y deterioro de estructuras de protección; debido a detección de zonas de riesgo como consecuencia del crecimiento poblacional, los cambios en el uso del suelo, además el poco estudio realizado frente a eventos de daño en las actividades de crecimiento de la zona adyacente al río Cajas.

1.6.3. Justificación Técnica:

Se justifica técnicamente mediante la aplicación diversos softwares (HEC- HMS e IBER), para simulaciones hidráulicas e hidrológicas; con el fin de obtener información que nos permita determinar medidas de mitigación de posibles consecuencias que una inundación del río Cajas podría ocasionar.

1.7. MARCO TEÓRICO

1.7.1. Hidrología

Según Villón, 2002. La hidrología viene a estudiar los fenómenos naturales y sus componentes natural que son el agua, su ocurrencia, circulación y distribución en la superficie, delimitando y determinando las propiedades químicas y físicas al igual que su relación con el medio ambiente, incluyendo a los seres vivos

1.7.2. Rio

Es una corriente de agua que fluye con continuidad con un caudal determinado y desembocado en el mar, en un lago o en otro río, en cuyo caso se denomina afluente. La variación de caudal lo define el régimen hidrológico. En casos extremos se puede producir la crecida cuando el aporte de agua es mayor que la capacidad del río para evacuarla, desbordándose y cubriendo las zonas llanas próximas. El agua que circula bajo tierra (caudal basal) tarda mucho más en alimentar el caudal del río y puede llegar a él en días, semanas o meses después de la lluvia que generó la esorrentía.

Los desbordamientos en los tramos bajos de las corrientes naturales donde la pendiente del cauce es pequeña y la capacidad de transporte de sedimentos es reducida, puede provocar inundaciones, las cuales pueden traer consecuencias socioeconómicas graves en la medida que afecten asentamientos humanos, centros de producción agrícola o industrial e infraestructuras.

1.7.3. Cuencas Hidrográficas

Es la porción de territorio drenada por un único sistema de drenaje natural. Una cuenca hidrográfica se define por la sección de río al cual se hace referencia y es delimitada por la línea de las cumbres, también llamada “divisor de aguas” a partir de la sección de referencia. En la medida en que se avanza hacia aguas abajo, la superficie de la cuenca va aumentando.

A. Elementos de la cuenca

- El río principal

El río principal actúa como el único colector de las aguas. A menudo la elección del río es arbitraria pues se pueden seguir distintos criterios para la elección (el curso fluvial más largo, el de mayor caudal medio, el de mayor caudal máximo, el de mayor superficie de cuenca, etc.).

- Los afluentes

Son los ríos secundarios que desaguan en el río principal. Cada afluente tiene su respectiva cuenca, denominada sub-cuenca.

- El relieve de la cuenca

El relieve de la cuenca es variado. Está formado por las montañas y sus flancos; por las quebradas, valles y mesetas.

- Las obras humanas

Las obras construidas por el hombre, también denominadas intervenciones antrópicas, que se observan en la cuenca suelen ser viviendas, ciudades, campo de cultivo y vías de comunicación. El factor humano es siempre el causante de muchos desastres dentro de la cuenca, ya que se sobreexplota la cuenca quitándole recursos o “desnudándola” de vegetación y trayendo inundaciones en las partes bajas.

B. Clasificación de la Cuenca Hidrográfica

Según Aristizabal, M (2013), basa la clasificación de una cuenca en concordancia con los lineamientos de Instituto de Promoción para la Gestión de Agua (IPROGA, 1996); siendo esta la siguiente:

- Cuenca: Zona terrestre a partir de la cual toda la escorrentía superficial fluye a través de una serie de corrientes, ríos y, en ocasiones, lagos, hasta el mar por una única desembocadura

(estuario o delta) y por las aguas subterráneas y costeras asociadas.

- Subcuenca: Unidad del área o parte de una cuenca a partir de la cual toda la escorrentía superficial fluye a través de una serie de corrientes, ríos y, en ocasiones, lagos hacia un punto particular de un curso de agua que, por lo general, es un lago o una confluencia de ríos.
- Microcuenca: Unidad del área o parte de la Subcuenca que drena a ésta. Es una pequeña cuenca de primer o segundo orden, donde vive un cierto número de familias (comunidad) utilizando y manejando los recursos del área, principalmente el suelo, agua, vegetación –incluyendo cultivos y vegetación nativa y fauna, incluyendo animales domésticos y silvestres.

1.7.4. Geomorfología de la Cuenca

Según Aristizabal, M (2013) indica que toda cuenca en estudio debe estar delimitada en cuanto a su río principal tanto aguas abajo como aguas arriba. Aguas abajo idealmente por la estación de aforo más cercana a los límites de la cuenca en que se está interesado. (Siendo el punto de la estación el punto más bajo en el perfil del río y en el borde de la cuenca de interés). Aguas arriba por otra estación que sea el punto más alto en el perfil del río donde se incluya el área en estudio, o por las cabeceras del río si es el caso del estudio de la cuenca desde el nacimiento.

Las características geomorfológicas son:

Área, longitud de la cuenca y su perímetro, pendiente promedio de la cuenca, curva hipsométrica, histograma de frecuencias altimétricas, altura y elevación promedio, relación de bifurcación de los canales, densidad de drenaje, perfil y pendiente promedio del cauce principal. Dichos parámetros geomorfológicos pueden ser calculados fácilmente haciendo

uso de sistemas de información geográfica (SIG) integrados a modelos hidrológicos. (INCTH et. al., 1976).

a) Área

Es el parámetro más importante para la determinación de sus parámetros hidrológicos, pues existe una relación directa entre la magnitud del área y la magnitud de los volúmenes generados (caudales) por la precipitación en ella. Puede ser generada en forma automática por diversos programas de ingeniería con aplicaciones en hidrología. El área de la cuenca, A, se relaciona con la media de los caudales máximos, Q, así:

$$Q = C A^n$$

C y n son constantes. Al graficar esta relación en papel doblemente logarítmico se obtiene una recta de pendiente n. A representa el área de la cuenca en km² y “Q” es igual a la media de los caudales máximos instantáneos en m³/s.

b) Perímetro

El perímetro se corresponde con la longitud del polígono que define los límites de la cuenca y depende de la superficie y forma de ésta.

c) Longitud de la cuenca

La longitud, L, de la cuenca puede estar definida como la distancia horizontal del río principal entre un punto aguas abajo (estación de aforo) y otro punto aguas arriba donde la tendencia general del río principal corte la línea de contorno de la cuenca.

d) Longitud de la corriente

Es la longitud de la línea, medida sobre el cauce principal entre el punto de afluencia y un punto sobre la divisoria de aguas que sea de máxima distancia

e) Pendiente de la cuenca

Pendiente ponderada para toda la cuenca, la cual depende de la configuración topográfica del terreno y el área de la cuenca.

f) Pendiente de la corriente principal

Es un parámetro importante, en el estudio del comportamiento del recurso hídrico como, por ejemplo, para la determinación de las características óptimas de sus aprovechamientos hidroeléctricos o para un abastecimiento de agua, o en la solución de problemas de inundaciones.

g) Densidad de drenaje

Horton definió la densidad de drenaje de una cuenca como el cociente entre la longitud total de los canales del flujo pertenecientes a su red de drenaje y la superficie de la cuenca.

$$D = L_t / A$$

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.

h) 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:

$$Alt_m = \frac{\sum h_i * A_i}{A}$$

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.

1.7.5. Precipitación

La principal fuente de agua de la que dispone la cuenca, la precipitación. Según Villón, M. (2002) define a la precipitación como toda agua que en el ciclo del agua precipita ya sea en estado líquido (lluvia) o sólido (nieve o granizo); igualmente la clasifica en precipitaciones por convección, orográfica y ciclónica.

La precipitación de convección es explicada como aquellas que se dan comúnmente en zonas tropicales, donde se produce intenso calor provocando movimientos verticales de aire.

Según Ven Te Chow (1994), La precipitación orográfica se produce, cuando la masa de aire se eleva para poder sobrepasar una cadena de montañas.

La precipitación ciclónica es producida cuando se encuentran dos masas de aire con diferentes, pero aproximadas, temperaturas. De este modo, la masa con mayor temperatura es elevada bruscamente a las zonas más altas, debido a su baja densidad, logrando así la condensación de los cuerpos de agua.

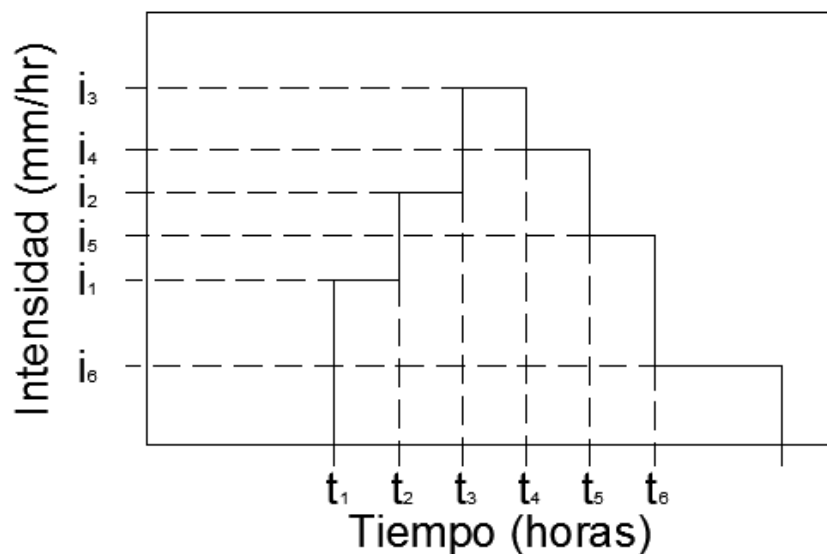
1.7.5.1. Medición

Para determinar la altura de lámina de agua que se encuentra en la superficie terrestre, su unidad de medida será en milímetros, la medición se realiza con un *pluviómetro* y el *pluviógrafo*.

Según Ven Te Chow (1994). El pluviógrafo es considerado un medidor con registro, el cual es un aparato que archiva de forma automática las láminas

de agua caídas en intervalos de tiempo pequeños de hasta un minuto de duración. Del registro resultante, se desprende el concepto de intensidad, la que se define como cantidad de agua caída en un determinado tiempo. La información que debe tener más énfasis en el análisis del registro pluviográfico es la intensidad máxima, que mayormente se encuentra en unidades de mm/hr. Así también, se obtienen los hietogramas, que relacionan la intensidad o precipitación contra el tiempo.

Figura 1: Hietograma de precipitación



Fuente: Monsalve 1999

1.7.5.2. Escorrentía

Es la precipitación siendo transportada por la superficie del suelo, originando los caudales de ríos. Tenemos escorrentía superficial, escorrentía subsuperficial y flujo de agua subterránea, los cuales dependerá de la geomorfología de la cuenca.

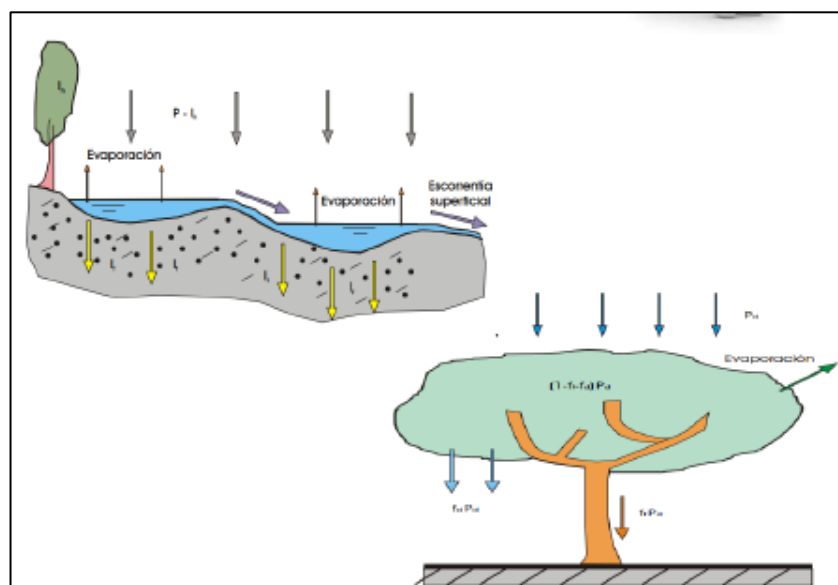
La escorrentía superficial es una parte de la precipitación que fluye, superficialmente y, que no infiltra ni se retiene superficialmente. La cantidad dependerá de la permeabilidad del suelo, mientras esta sea de considerable magnitud se tendrá menor cantidad de agua superficial. Además, escurre por gravedad, formando corrientes de agua, en las

depresiones o canales naturales, los cuales vendrían a ser las quebradas, arroyos o ríos. La escorrentía subsuperficial es una porción de la escorrentía que se infiltra por el suelo y fluye en los estratos superiores del suelo. Este tipo de escorrentía suele tener velocidades bajas a comparación de la escorrentía superficial por el hecho de tener que circular por las capas de poca profundidad del suelo. La aparición de esta dependerá del tipo de suelo, siendo favorecido por estratos rocosos o conglomerados cementados. Entonces, su destino final será en una de las depresiones existentes, siendo así un aporte para diferentes cursos naturales. Por otro lado, el flujo de agua subterránea o flujo base es el aporte de agua, que, por percolación, avanza a través de los estratos porosos del suelo hasta llegar al nivel freático. Entonces, si el suelo es permeable, la intensidad de las lluvias recargará considerablemente el volumen de los acuíferos, los cuales descargarán en las corrientes más bajas de la cuenca.

1.7.5.3. Abstracciones

Son parte de la precipitación que no forma parte de la escorrentía superficial entre ellas se encuentra la infiltración y la retención superficial. La infiltración es la acción que permite al agua ingresar entre las paredes del suelo por gravedad, llenando los vacíos naturales y, a la vez, creándose así una especie de canal natural. Además, la retención superficial, se divide en evaporación, interceptación, almacenamiento por detención superficial y almacenamiento por depresiones. La interceptación es el agua de lluvia que se deposita y retiene en la cobertura vegetal. Además, se pierde por evapotranspiración de las plantas. Por otro lado, el almacenamiento superficial es el agua que se deposita en las depresiones de las superficies, perdiéndose por infiltración o por evaporación; y el almacenamiento por detención superficial es proporcional a la escorrentía superficial.

Figura 2: Interceptaciones de las precipitaciones



1.7.6. Fundamentos del Soil Conservation Service (SCS)

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

La metodología desarrollada por el Soil Conservation Service. SCS (hoy Natural Resources Conservation Service – NRCS) por su practicidad, operatividad y resultados es una metodología aceptable. Aplicable inicialmente a tierras de cultivo y posteriormente a extensiones naturales y urbanas haciendo que su uso se amplíe en gran número de escenarios

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 desarrollo la metodología para determinar las abstracciones y variables que se dan durante la precipitación.

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.

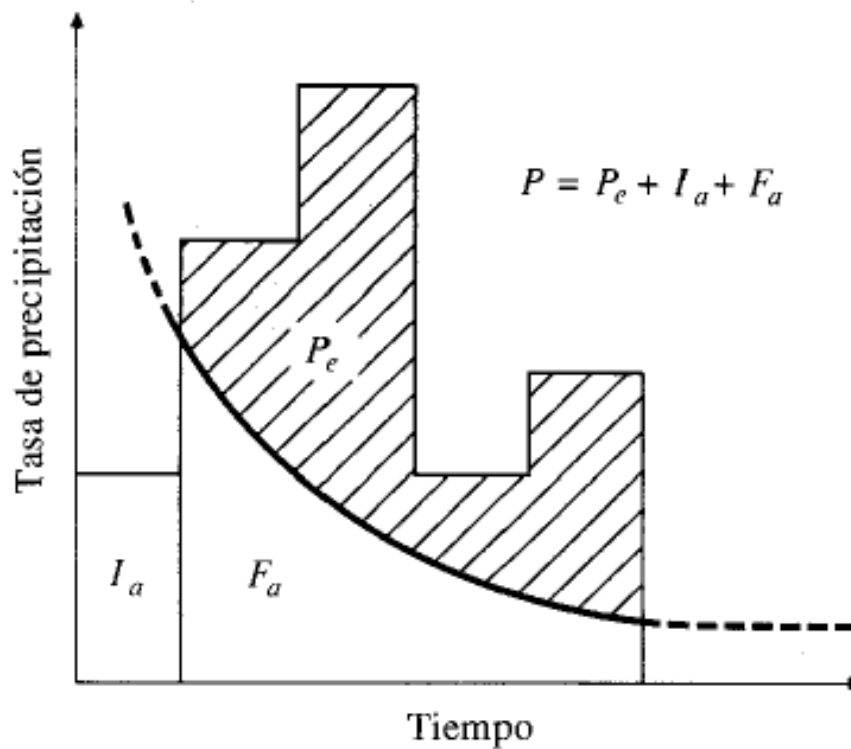
P_e : Es la precipitación directa o efectiva.

I_a : Es la pérdida inicial.

Cuando la lluvia se prolonga:

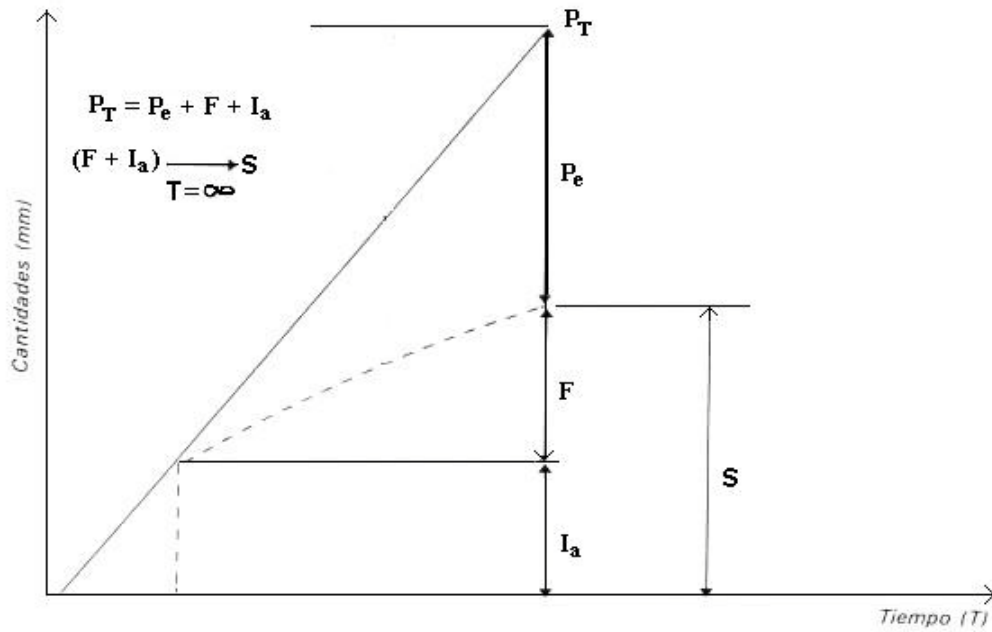
$F \rightarrow S$ y $P_e \rightarrow P_T$ y ambas relaciones tienden a 1

Figura 3: Tipos de precipitaciones



Fuente: Chow, Maidment y Mays 1994

Figura 4: representación de las variables del método del S.C. S - CN



Fuente: Chow, Maidment y Mays 1994

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 :

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

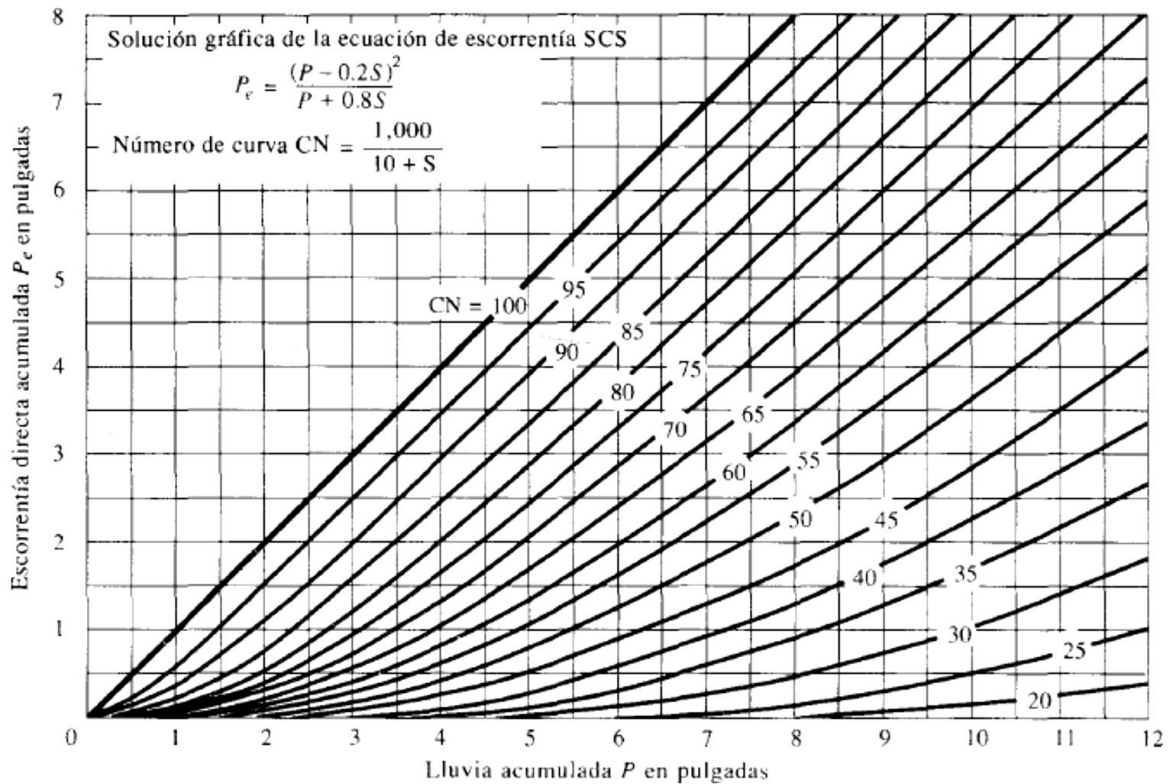
Sustituyendo la ecuación 9, la ecuación 7 queda:

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

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 5: Relación precipitación total vs precipitación efectiva usando valores de CN.



Fuente: Chow, Maidment y Mays 1994

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 1: 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 2: 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 3: 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 4: 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 5: 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 6: Valores de CN en condición II

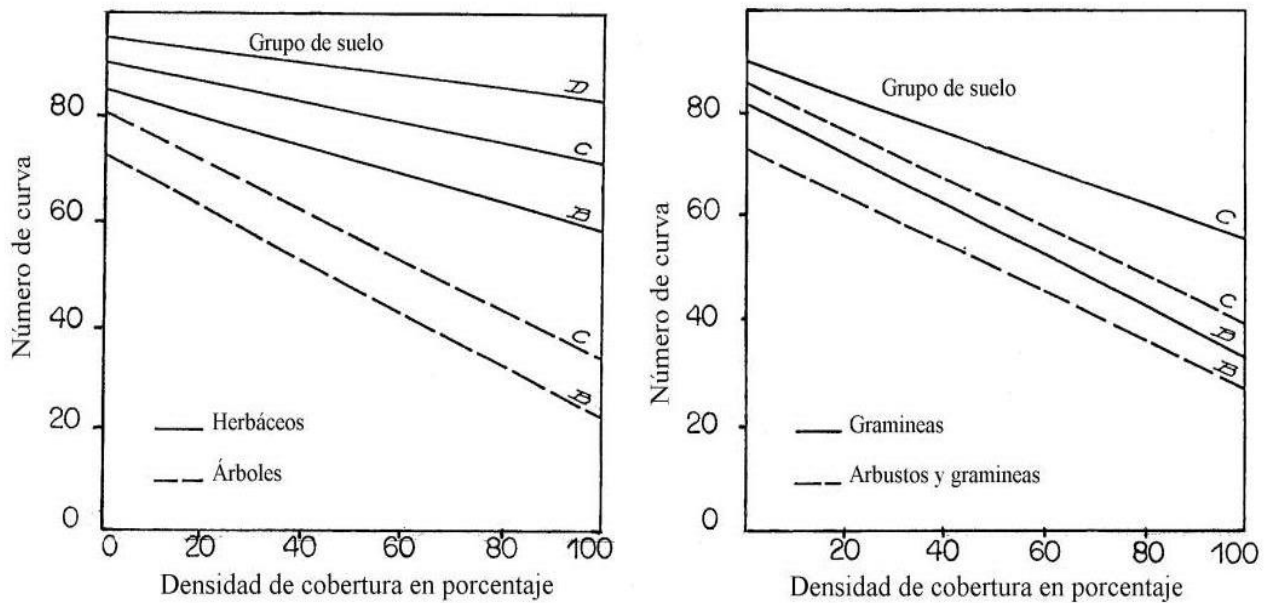


Tabla 6: Valores de CN de escorrentía para área forestales en condiciones medias de humedad previa y para $I_a = 0.2 * S$ (Tragsa y Tragsatec, 1998).

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 Medio Bueno	68 49 39	79 69 61	86 79 74	89 84 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 Medio Bueno	48 35 30 ⁽³⁾	67 56 48	77 70 65	83 77 73
Mezcla de bosques y hierba (huerto o árboles frutales)	Malo Medio Bueno	57 43 32	73 65 58	82 76 72	86 82 79
Bosques	Malo Medio Bueno	45 36 30 ⁽³⁾	66 60 55	77 73 70	83 79 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 7: 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
Tipo de cubierta					
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 8: 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 Tipo de 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
Distritos urbanos:					
Comercial y de negocios	85	89	92	94	95
Industrial	72	81	88	91	93
Distritos 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) ⁽⁵⁾		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 9: 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 hidrógramas 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 10: 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 11: 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

Según Hawkins, 2001. 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, 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:

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

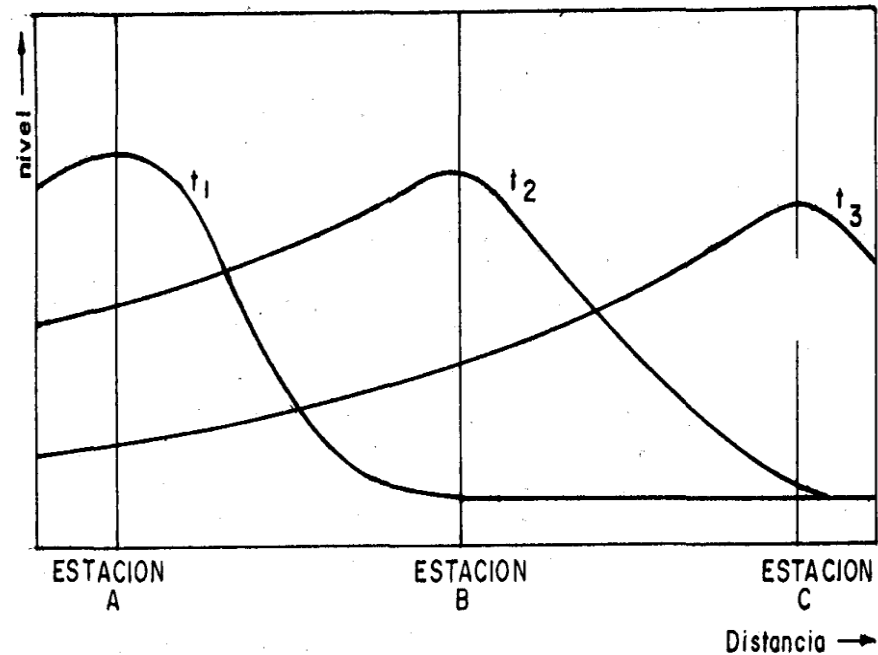
Hawkins (2001) sugiere en este caso el recalcu de las curvas de CN, con la ecuación 17, en lugar de la ecuación 10 aunque expresa que las mayores diferencias se observan en valores bajos de CN y de lluvias no muy intensas.

1.7.7. Tránsito de Avenidas

Concepto de Tránsito

Un hidrógrama 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 7: Paso de una onda o transito



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

$$V_i - V_o = \Delta S$$

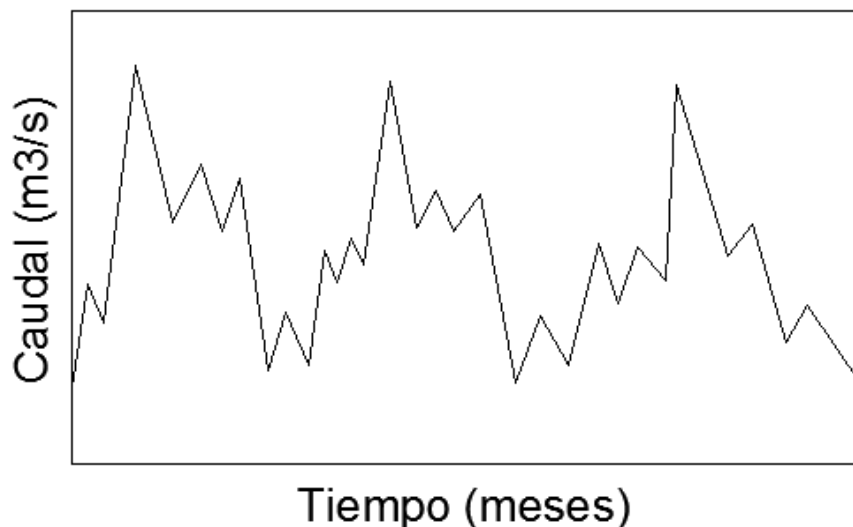
$$\frac{V_i}{\Delta t} - \frac{V_o}{\Delta t} = \frac{\Delta S}{\Delta t}$$

$$\bar{I} - \bar{O} = \frac{\Delta S}{\Delta t}$$

1.7.8. Hidrógramas

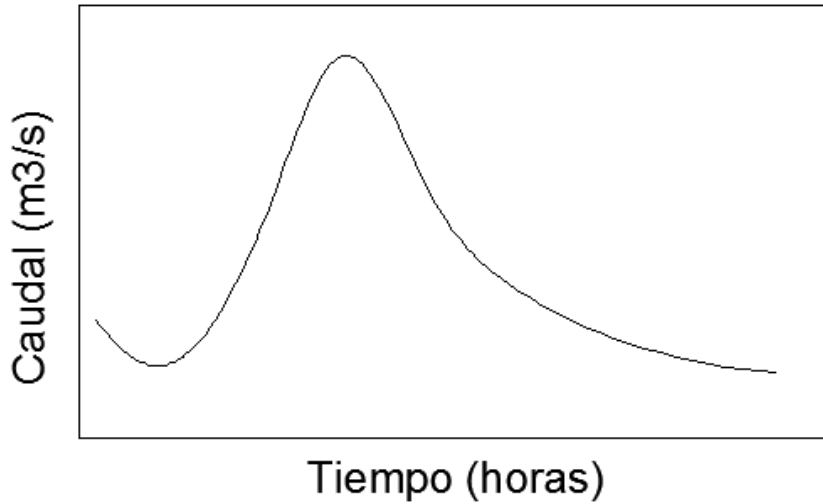
Según Monsalve (1999) indica que el hidrógrama es una forma de expresar gráficamente el caudal de un cauce natural en el tiempo. Por lo general, los intervalos de tiempo pueden variar entre horas hasta años, dependiendo del uso de la información. Además, la curva que presente esta gráfica dependerá del clima y la morfología existente en una determinada cuenca. Existen dos tipos, el hidrógrama anual y el hidrógrama de tormenta. El hidrógrama anual muestra el régimen de flujo u oferta que tiene una corriente natural a lo largo del año, este tipo de hidrógrama es muy útil para proyectos de irrigación. Por otro lado, el hidrógrama de tormenta, es para conocer los caudales picos de las crecidas poco frecuentes que se pueden producir anualmente en un periodo de retorno dado, por lo general, es implementado para prevención de inundaciones.

Figura 8: **Hidrógrama anual**



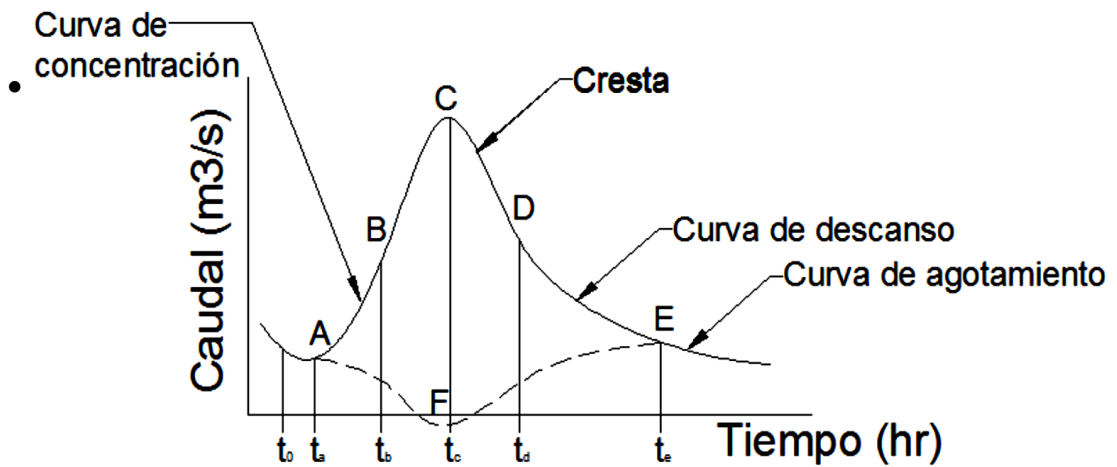
Fuente: Monsalve 1999

Figura 9: **Hidrógrama de tormenta**



Fuente: Monsalve 1999

Figura 10: **Componentes del Hidrógrama**



- Curva de concentración (tramo AB)
- Cresta (tramo BCD)
- Curva de descenso (tramo DE)
- Curva de agotamiento (antes del punto A y desde el punto E hacia el fin de la curva)
- Curva de flujo base (tramo AFE)
- Tiempo pico (tramo de tiempo t_a - t_c)
- Tiempo de receso (tramo de tiempo t_c - t_e)

- Tiempo base (tramo de tiempo t_a-t_e)

1.7.8.1. 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:

Kirpich

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

Donde:

L: Longitud del Canal en (metros)

S: Pendiente (m/m)

t_c : Tiempo de Concentración (min)

Ecuación de Retardo SCS

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

Donde:

L: Longitud de curso de agua (metros)

CN: Numero de Curva

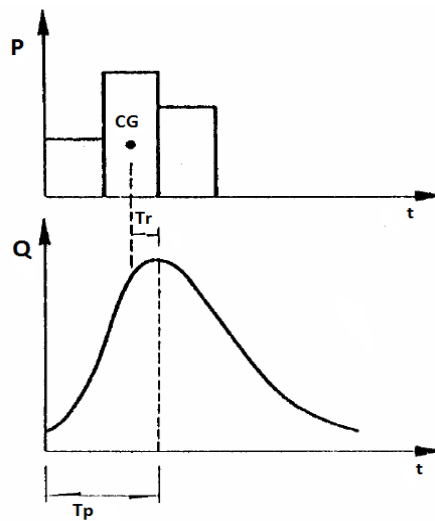
S: Pendiente (m/m)

t_c : Tiempo de Concentración (min)

1.7.8.2. Tiempo de retraso

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

Figura 11: 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 hidrógrama y es independiente de la lluvia. Para calcular el tiempo de retraso, Ven Te Chow (1994) propone la ecuación:

$$Tr = 0.0050 * \left[\frac{L}{\sqrt{S}} \right]^{0.64}$$

Donde

L: es la longitud del cauce principal (m)

S: es la pendiente del cauce principal (%)

Tr: es el tiempo de retraso (horas)

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

$$Tr = C_t * (L * L_{ca})^{0.3}$$

Bien, se puede utilizar la ecuación:

$$Tr = 0.60 * Tc$$

Donde para la SCS:

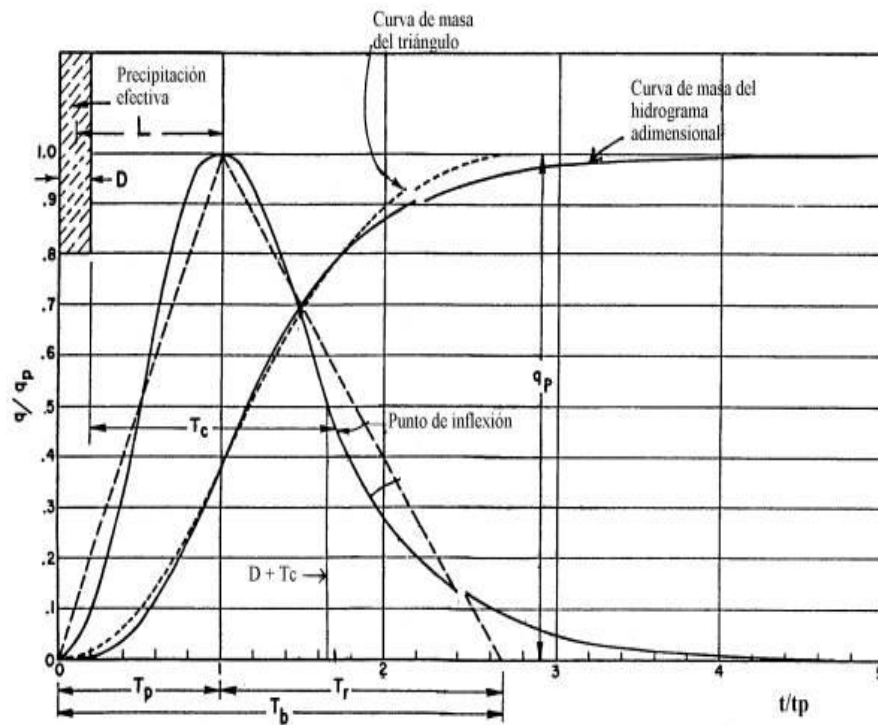
Tc: es el tiempo de concentración (horas).

$$T_{lag} = 0,35 * Tc$$

1.7.8.3. Hidrógrama unitario sintético triangular del SCS

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

Figura 12: Hidrógrama Unitario adimensional (curvilíneo) y su equivalencia con el hidrógrama 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 Hidrógrama 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 hidrógrama 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 Hidrógrama unitario adimensional (curvilíneo) se puede también representar por su hidrógrama triangular equivalente que tenga las mismas unidades de tiempo y de descarga (NEH, 1972).

$$P_e = \frac{q_p * T_p}{2} + \frac{q_p * T_r}{2} = \frac{q_p * (T_p + T_r)}{2}$$

Despejando q_p

$$q_p = \frac{2 * P_e}{(T_p + T_r)} = \frac{2 * P_e}{T_b}$$

Ahora bien:

Como se expresó ese hidrógrama 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:

$$T_b = \frac{1.00}{0.375} = 2.67 \text{ Unidades de tiempo}$$

$$T_b = T_p + T_r$$

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

$$\text{sea: } T_r = 1.67 * T_p$$

$$\text{Y: } T_b = 2.67 * T_p$$

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

Reemplazando las ecuaciones

$$q_p = \frac{2 * P_e}{2.67 * T_p} = 0.75 * \left(\frac{P_e}{T_p} \right)$$

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

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

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

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

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

$$V = 1000 * P_e * A$$

Donde:

V: es el volumen, en m³

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

A: es el área de la cuenca en km

Luego:

$$T_p = 0.5 * D + T_R$$

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

$$T_R = 0.6 * T_C$$

Por lo tanto, la ecuación queda:

$$T_p = 0.5 * D + 0.6 * T_C$$

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

$$1.7 * T_p = D + T_C$$

$$\frac{D}{2} + T_R = T_p$$

$$\frac{D}{2} + 0.6 * T_C = T_p$$

Resolviendo las ecuaciones para D y para T_p es:

$$D = 0.1333 * T_C \quad y \quad T_p = 1.113 * T_R$$

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

$$Dt \leq 0.25 * T_p \text{ y } Dt \leq (0.25)(1.113)L$$

$$Dt \leq 0.28 * T_R$$

Tabla 122: 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
$T_C = \left(\frac{0.87 \cdot L^2}{H} \right)^{0.385}$	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. D es la duración de precipitación efectiva unitaria.
$T_R = 0.6 \cdot T_C$	T_R es Tiempo de retardo ("Lag time") en horas.
$T_p = 1.113 \cdot T_R$	
$D_t \leq 0.25 \cdot T_p$	
$D_t \leq 0.28 \cdot T_R$	Condiciones necesarias para definir el pico

Para obtener la avenida de diseño o el caudal máximo en la sección de interés de un cauce natural (río o quebrada) además de los métodos de análisis regional e hidráulico (sección-pendiente y modelamientos), existen dos formas de más comunes de obtenerlo; la primera consiste en la aplicación de teorías estadísticas a series históricas de caudales máximos (método hidrológico) registrados en el tramo fluvial de interés o cercano a él; la segunda forma, se refiere a los métodos indirectos mediante el uso de relaciones precipitación escorrentía (método hidrometeorológico), a partir de información pluviométrica registrada en el área o cuenca hidrográfica de interés.

La avenida de diseño o caudal máximo está asociado a un período de retorno específico y este a su vez depende del riesgo de falla y vida útil de la obra.

- Para obtener el caudal de diseño en el tramo fluvial para probable zona de inundación, sobre un río de amplios terrenos llanos, el período de retorno debe ser superior a 100 años.

- Para la estimación de la profundidad de socavación, el período de retorno mínimo deberá ser no más de 500 años de periodo de retorno que es el caudal. En ese caso, se considera que se trata de un evento extremo.

1.7.10. HEC-HMS

Es un programa de simulación hidrológica tipo evento, lineal y semi distribuido, desarrollado para estimar los hidrógramas de salidas de una cuenca o varias cuencas a partir de condiciones extremas de lluvias, aplicando para ello algunos de los métodos de cálculo como hietogramas de diseño, pérdidas por infiltración, flujo base y conversión de escorrentía directa entre otras (Cañon, 2003).

Los hidrógramas producidos puede ser utilizados en conjunto con otros programas de cómputo para realizar estudio de disponibilidad de agua, drenaje urbano, predicción de caudales, impacto de proceso de urbanización, diseño de vertederos de embalses, reducción de daños por inundación, regulación de planicies de inundación entre otros

Para analizar el comportamiento del río ante el emplazamiento de alguna estructura, sea una presa, una bocatoma o un puente, se debe conocer el caudal necesario para el diseño que escurrirá por su tramo. Para estimar dicho caudal, se realiza una modelación hidrológica, teniendo en cuenta diferentes metodologías. En la presente tesis, se plantea el uso del software HEC-HMS, el cual facilita la obtención de resultados. Este programa nos permite simular la respuesta hidrológica de la cuenca ante una tormenta u otro proceso hidrológico suscitado a partir del procesamiento de datos físicos que la caractericen (área de drenaje,

longitud de cauce, características del suelo, etc), dando como resultado el hidrógrama.

1.7.11. Sistemas Información Geográfica (SIG)

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).

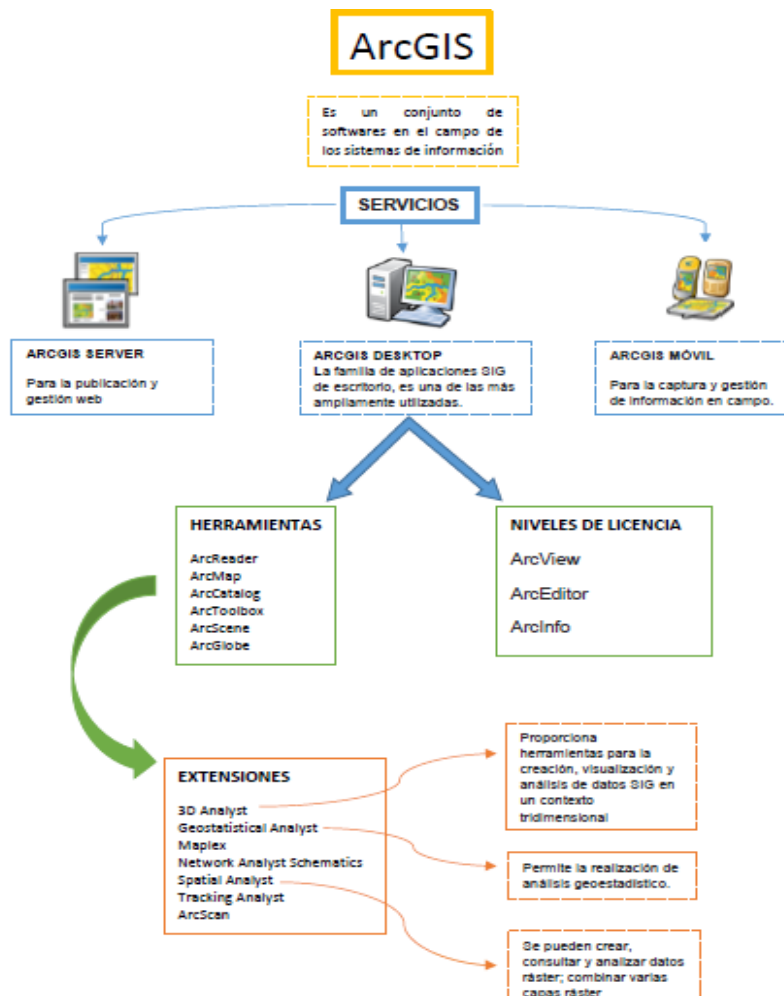


Figura 13: Esquema de la arquitectura de ArcGIS.

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 tabulares 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).

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.

Cuenca

- **Chereque M., W. (1999):** 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.

Delimitación de Cuenca

- **Chereque Moran., W. (1999):** 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 escorrentía, 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

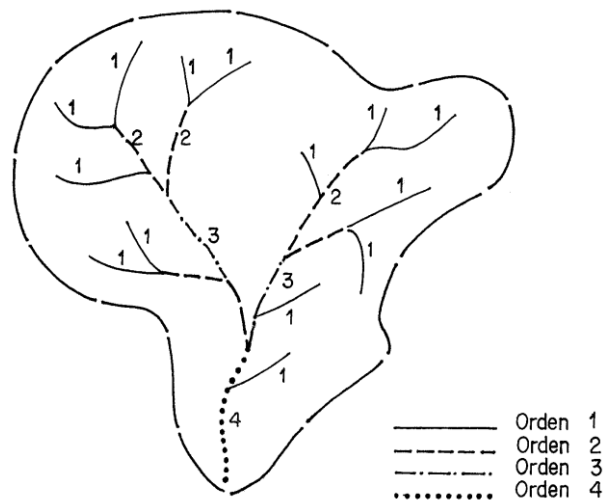
La red de drenaje está constituida por el río principal y sus tributarios.

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:

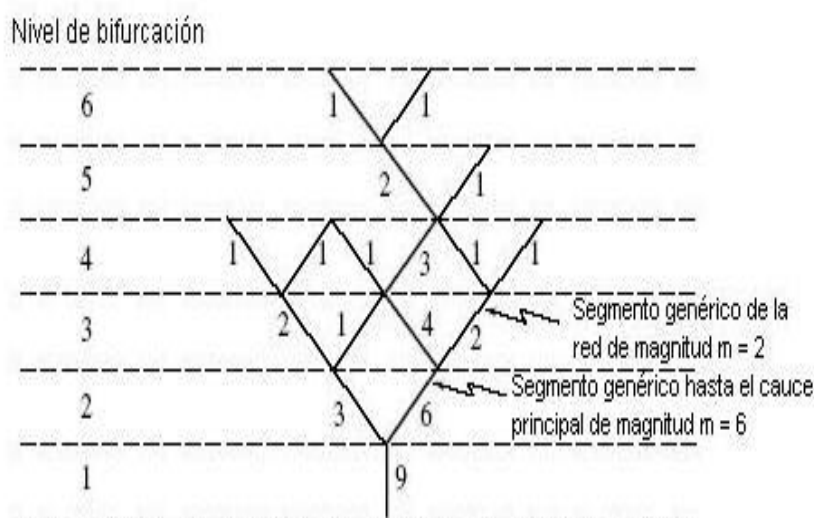
- **Horton-Strahler:** consiste en atribuirle el número de orden a los canales
- **Corrientes de primer orden:** Pequeños canales que no tienen tributarios.
- **Corrientes de segundo orden:** Cuando dos corrientes de primer orden se unen.
- **Corrientes de tercer orden:** Cuando dos corrientes de segundo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

Figura 14: 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 15: Red de drenaje según Shreve (Ferrer 199)



1.7.12. Estudio Hidráulico

1.7.12.1. Canales

Los distintos flujos que recorren los cauces naturales como arroyos y ríos son canales naturales, formados en las diferentes depresiones superficiales y al transcurrir el tiempo establecen cauces constantes. Para el cálculo de las alturas de un río se consideran la hidráulica fluvial, necesitando previamente conocer sobre tipos de flujos, elementos geométricos, distribución de velocidades, la estimación de rugosidad.

A. Tipo de flujo

Según Ven Te Chow, 1994. La clasificación se determina en base a la profundidad del agua con respecto al espacio y tiempo

a) Efecto del tiempo

- *Flujo Permanente*

Se dice que el flujo en un canal abierto es permanente si la profundidad del flujo no cambia o puede suponerse constante durante el intervalo de tiempo en consideración.

- *Flujo No permanente*

Si la profundidad del flujo cambia en el tiempo

b) Efecto del espacio

- *Flujo Uniforme*

Cuando la profundidad del flujo es la misma en cada tramo del canal, puede ser permanente o no permanente

- *Flujo No Uniforme*

Cuando la profundidad del flujo cambia a lo largo del canal. El flujo variado puede clasificarse además como rápidamente variado o gradualmente variado

B. Comportamiento del Flujo

a) Efecto de la Viscosidad:

Dependiendo del efecto de la viscosidad relativa a la inercia pueden ser:

- **Flujo Laminar**

si las fuerzas viscosas son tan fuertes comparadas con las fuerzas de inercia, jugando un papel importante para determinar el comportamiento del flujo. Las partículas del fluido parecen moverse en recorridos calmados definidos, o líneas de corriente, y las capas infinitésimamente delgadas del fluido parecen deslizarse sobre las capas adyacentes.

- **Flujo Turbulento**

si las fuerzas viscosas son débiles comparadas con las fuerzas de inercia. Estas partículas del fluido se mueven en recorridos irregulares, los cuales no son ni calmados ni determinados, pero en su conjunto todavía representan el movimiento hacia adelante de la corriente total.

Entre los estados laminar y turbulento de la corriente, hay un estado mixto o estado de transición.

El efecto de viscosidad relativo al de inercia puede representarse por el número de Reynolds. En la mayor parte de los canales abiertos el flujo laminar ocurre muy raramente. El flujo laminar en canales abiertos existe, por ejemplo, donde

delgadas láminas de agua fluyen sobre el suelo o en canales de laboratorio.

b) Efecto de la gravedad

El efecto de la gravedad sobre el estado del flujo se representa por una relación entre las fuerzas de inercia y las fuerzas de gravedad. Esta relación es conocida como el Número de Froude.

- **Flujo Supercrítico**

Si el Número de Froude es mayor a la unidad ($F > 1$), este se da probablemente en pendientes pronunciadas.

- **Flujo Subcrítico**

Si el Número de Froude es menor a la unidad ($F < 1$), este se da probablemente en pendientes suaves.

- **Flujo Crítico**

Si el Número de Froude es igual a la unidad ($F = 1$)

C. Elementos geométricos

Un río varía sus elementos en toda su sección debido a procesos erosivos constantes y su forma irregular en lo largo de su cauce.

a) Tirante de agua (y)

la altura de agua desde el fondo del canal hasta la superficie libre de agua, donde la pendiente influye en la variación de altura. Este *nivel* de agua se puede expresar como una cota de elevación definida por un sistema geográfico cartesiano dado por un estudio topográfico-batimétrico. En planta, formará un espejo de agua, que tendrá un ancho llamado *ancho superficial* (**T**). En el mismo sentido, esta mancha de agua

moja toda la superficie de suelo, que se encuentra por debajo de esta, obteniendo, desde una sección transversal, un *área mojada* (**A**) y un *perímetro mojado* (**P**). Estos dos últimos elementos se relacionan entre sí formando el *radio hidráulico* (**R_H**)

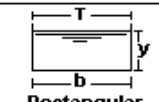

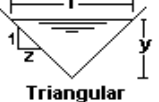
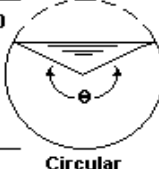

Otra expresión, que relaciona **A** con **T**, es la *profundidad hidráulica (D)* y por último, el *factor de sección* para un flujo uniforme es $AR^{2/3}$ y para un flujo crítico (**Z**) se muestra en la ecuación

$$RH = \frac{A}{P}$$

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

$$Z = A\sqrt{D} = A\sqrt{\frac{A}{T}}$$

Tabla 13: Relaciones geométricas de las secciones transversales más

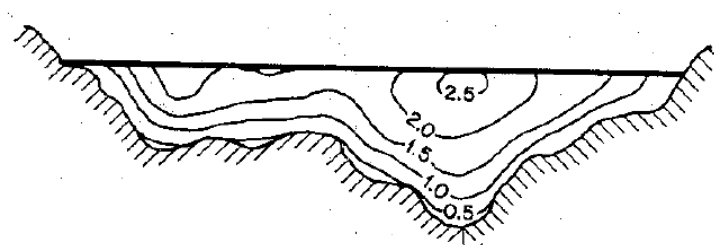
Sección	Area hidráulica A	Perímetro mojado P	Radio hidráulico R	Espejo de agua T
 Rectangular	by	$b+2y$	$\frac{by}{b+2y}$	b
 Trapezoidal	$(b+zy)y$	$b+2y\sqrt{1+z^2}$	$\frac{(b+zy)y}{b+2y\sqrt{1+z^2}}$	$b+2zy$
 Triangular	zy^2	$2y\sqrt{1+z^2}$	$\frac{zy}{2\sqrt{1+z^2}}$	$2zy$
 Circular	$\frac{(\theta-\text{sen}\theta)D^2}{8}$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

frecuentes

b) Velocidad

La distribución de velocidades en una sección de canal dependerá de los elementos geométricos y la rugosidad que se presente. Por lo general, las velocidades más bajas se encuentran en las zonas más profundas, ya que la rugosidad de la superficie obstruye de cierta manera el paso del agua generando reducción en las velocidades; mientras que las en las zonas más alejadas de la superficie se producen las velocidades más altas.

Figura 16: Velocidades de flujo



Fuente: Ven Te Chow 1994

Velocidades máximas y mínima permisible

Tabla 14: 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	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	0.025	1.13	1.50	0.90
Limo aluvial coloidal	0.025	1.13	1.50	0.90

Pizarra y capas	0.025	1.80	1.80	1.50
Grava fina	0.020	0.75	1.50	1.13
Suelo franco clasificado no	0.030	1.13	1.50	0.90
Suelo franco	0.030	1.20	1.65	1.50
Grava gruesa no	0.025	1.20	1.80	1.95
Gravas y guijarros	0.035	1.80	1.80	1.50

Tabla 15: 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

D. Coeficiente de Rugosidad

Parámetro que estima el grado de resistencia al flujo en un canal o superficie, valores propuestos por Robert E. Horton en 1933 a la ecuación de Manning, su mayor dificultad de esta ecuación es la determinación de estos coeficientes de rugosidad n , ya que no existe un método exacto para la selección de estos. (Chow 1994).

$$V = \frac{R^{2/3} S^{1/2}}{n}$$

Donde, V es la velocidad media, R radio hidráulico, S la pendiente de la línea de energía y n coeficiente de rugosidad de Manning.

1.7.12.2. IBER

Es un modelo matemático bidimensional para la simulación de flujos en ríos y estuarios promovido por el Centro de Estudios Hidrográficos del

CEDEX y desarrollado en colaboración con el Grupo de Ingeniería del Agua y del Medio Ambiente, GEAMA (de la Universidad de A Coruña), los campos de aplicación son: simulación del flujo en lámina libre en cauces naturales, evaluación de zonas inundables, cálculo hidráulico de encauzamientos, cálculo hidráulico de redes de canales en lámina libre, cálculo de corrientes de marea en estuarios, estabilidad de los sedimentos del lecho, procesos de erosión y sedimentación por transporte de material granular.

1.7.12.3. Inundación

Es la ocupación por el agua de zonas o áreas que en condiciones normales se encuentran secas. Se producen debido al efecto del ascenso temporal del nivel del río. En cierta medida, las inundaciones pueden ser eventos controlables por el hombre, dependiendo del uso de la tierra cercana a las causas de los ríos.

A. Causas de las inundaciones

a) Causas naturales

- Meteorológicas

Las grandes lluvias son la causa natural principal de inundaciones, pero además hay otros factores importantes, entre ellos se encuentran:

Exceso de precipitación:

Los temporales de lluvias son el origen principal de las avenidas. Cuando el terreno no puede absorber o almacenar toda el agua que cae esta resbala por la superficie (escorrentía) y sube el nivel de los ríos.

- No meteorológicas

Invasión del mar, deshielo.

b) Causas no naturales (antrópicas)

- Rotura de presas

Cuando se rompe una presa toda el agua almacenada en el embalse es liberada bruscamente y se forman grandes inundaciones muy peligrosas.

- Actividades humanas

Los efectos de las inundaciones se ven agravados por algunas actividades humanas como, por ejemplo:

- Al asfaltar cada vez mayores superficies se impermeabiliza el suelo, lo que impide que el agua se desborda por la tierra y facilita el que con gran rapidez las aguas lleguen a los cauces de los ríos a través de desagües y cunetas.

- Las canalizaciones solucionan los problemas de inundación en algunos tramos del río, pero lo agravan en otros a los que el agua llega mucho más rápidamente.

- La ocupación de los cauces por construcciones reduce la sección útil para evacuar el agua y reduce la capacidad de la llanura de inundación del río. La consecuencia es que las aguas suben a un nivel más alto y que llega mayor cantidad de agua a los siguientes tramos del río, porque no ha podido ser embalsada por la llanura de inundación, provocando mayores desbordamientos.

c) Causas mixtas

En algunas ocasiones puede producirse una inundación por la rotura de una obra hidráulica, por causas meteorológicas.

B. Tipos de inundaciones

Las inundaciones pueden clasificarse de acuerdo con:

a) Por el tiempo de duración:

Estas pueden ser:

- *Inundaciones muy rápidas producidas por lluvia de intensidad muy fuerte (superior a 180 mm/h) pero muy cortas (menos de 1 hora).*

La cantidad de lluvia totalizada no supera los 80 mm. Usualmente producen inundaciones locales en las ciudades y pueblos (inundaciones de plazas, garajes, sótanos, etc., debido a problemas de drenaje) o en pequeñas cuencas con mucha pendiente, produciéndose las llamadas inundaciones súbitas.

- *Inundaciones producidas por lluvia de intensidad fuerte o moderada (superior a 60 mm/h) y duración inferior a 72 horas.*

Cuando estas lluvias afectan los ríos con mucha pendiente o con mucho transporte sólido, las inundaciones pueden ser catastróficas.

Es posible distinguir entre dos categorías:

- Inundaciones catastróficas producidas por lluvias de fuerte intensidad durante dos o tres horas, y una duración total del episodio inferior a 24 horas.
- Las inundaciones catastróficas producidas por lluvias de intensidad fuerte y moderada durante dos o tres días.

b) Según el origen que las genere

- Pluviales (por exceso de lluvia)

Ocurren cuando el agua de lluvia satura la capacidad del terreno y no puede ser drenada, acumulándose por horas o días sobre el terreno.

- Fluviales (por desbordamiento de ríos)

La causa de los desbordamientos de los ríos y los arroyos hay que atribuirla en primera instancia a un excedente de agua, igual que la sequía se atribuye el efecto contrario, la carencia de recursos hídricos. El aumento brusco del volumen de agua que un lecho o cauce es capaz de transportar sin desbordarse produce lo que se denomina como avenida o riada. Una avenida es el paso por tramos de un río, de caudales

superiores a los normales, que dan lugar a elevaciones de los niveles de agua.

- Antecedentes topográficos y geomorfológicos

Para esto se requiere de estudios realizados de levantamiento Aero fotogramétrico y planos topográficos. El estudio geomorfológico caracteriza el suelo y determina su composición, granulometría y grado de compactación. Este estudio junto con el hidrológico, permitirá determinar los principales parámetros de escurrimiento, velocidad y niveles, para los diferentes caudales.

- Áreas de inundación

Las verificaciones hidráulicas teóricas, permiten realizar el pronóstico de los ejes hidráulicos bajo diferentes condiciones de caudales. Se deberá delimitar las posibles áreas de inundaciones en el sector de interés, asociando los períodos de recurrencia de los eventos señalados en el análisis hidrológico con las probabilidades de ocurrencia de estos.

CAPITULO II: MATERIALES Y METODOS

2.1. Población

Para la presente Investigación el Universo está dado por la delimitación geográfica del Rio Cajas en el Distrito de Tayabamba, Provincia de Pataz, Región La Libertad.

2.2. Muestra

Constituida por el tramo del Rio Cajas concerniente al Campo deportivo de Huarichaca en el Anexo de Huarichaca, Distrito de Tayabamba.

2.3. Metodología

2.3.1. Obtención de datos

2.3.1.1. 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>**

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

Figura 17: 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 **ALPSRP270017010**.

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_27001_FBS_F7010_RT1**

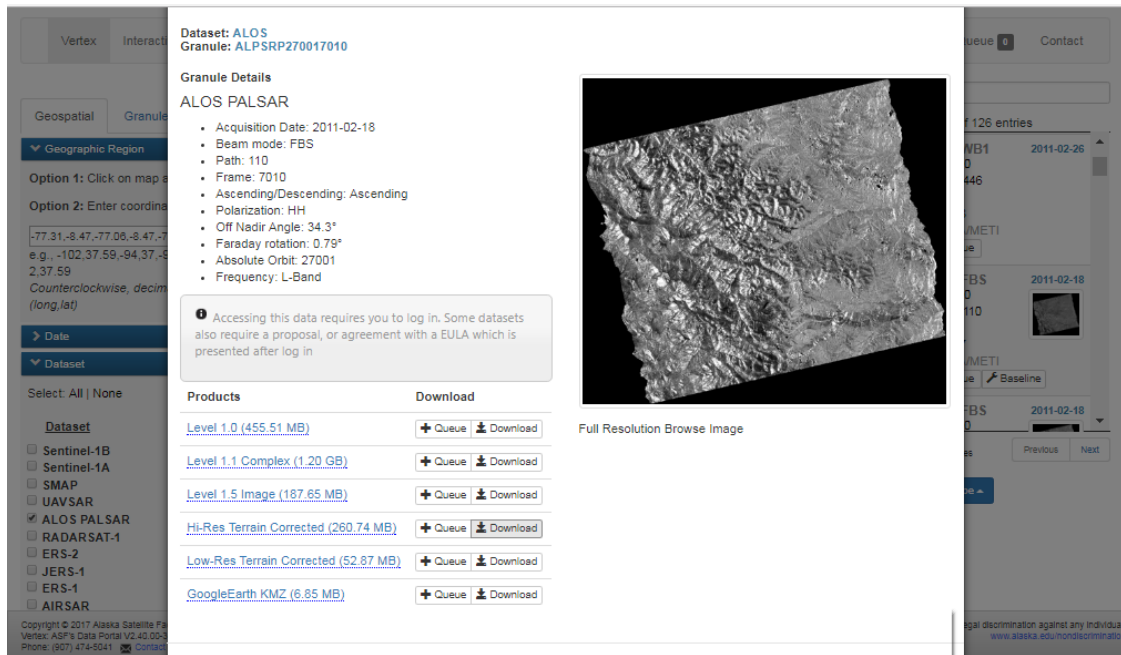


Figura 18: Descarga del DEM desde el servidor Alaska Satellite Facility

2.3.1.2. Obtención de Data de precipitaciones

Debido al desfase de los datos pluviométricos de la zona exacta de estudio (Pataz – La Libertad), siendo muy antigua su data, se opta por considerar el registro de la estación pluviométrica Quebrada Colpa - Chirimoyo, siendo la más cercana y activa a la zona de la cuenca del Rio Cajas, según se muestra.



Figura 19: Ubicación de estación pluviométrica Qda. Colpa - Chirimoyo. Fuente: Visor Pluviométrico del ANA

2.3.1.3. Obtención de Imágenes Georreferenciadas

Para la obtención de la georreferenciación del lugar de estudio se utilizó el software **SAS.Planet** de la plataforma **ESRI**. Se selecciona **Google/Satellite(Google maps)**

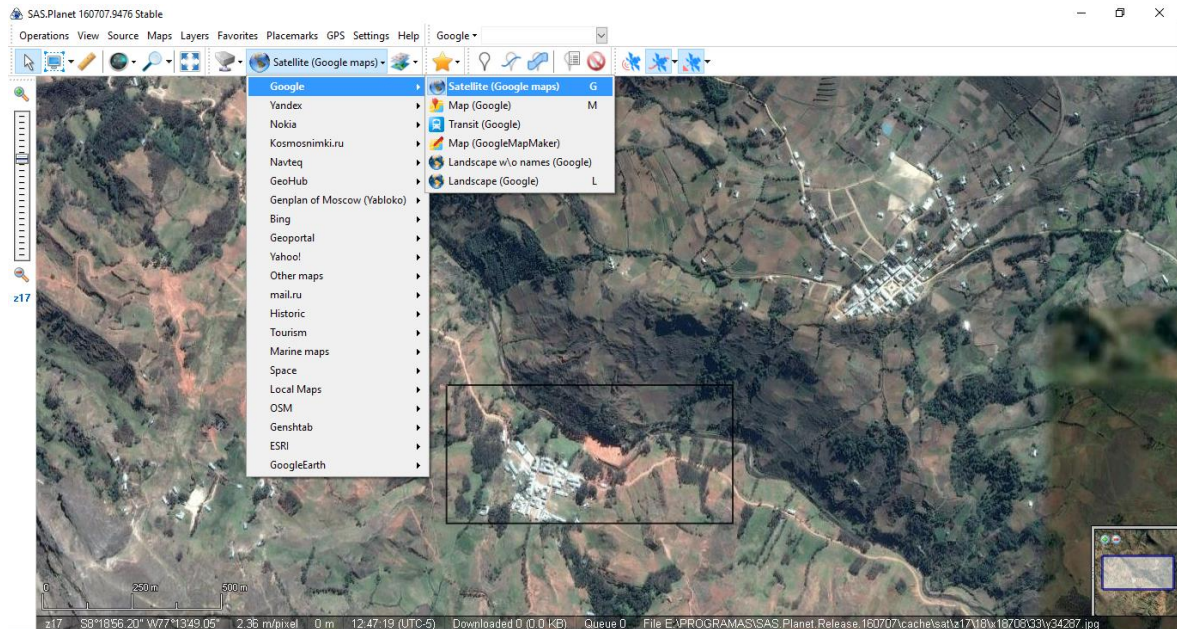


Figura 20: Campo Deportivo Huarichaca – Río Cajas

Se utiliza la herramienta **Selection manager /Rectangular Selection** y se forma el rectángulo con el cursor en el área de estudio. En el cuadro de dialogo se ingresa a la pestaña **Stitch**, el formato de salida de la imagen **ECW**, que nos permite obtener la imagen referenciada.

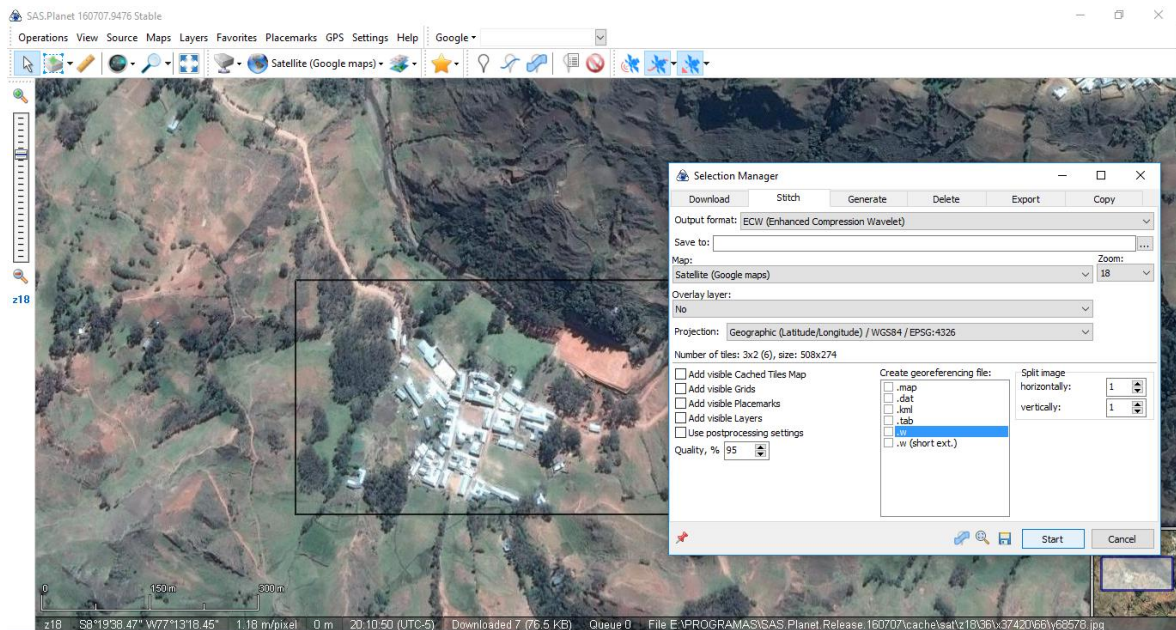


Figura 21: Obtención de imágenes georreferenciadas en SAS.Planet

2.3.1.4. Estudio Técnico

2.3.1.4.1. 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.

2.3.1.5. Obtención de Plano Topográfico

Para del desarrollo de la Hidráulica, se tuvo que realizar el levantamiento topográfico del Tramo del Rio Cajas que comprende al Campo Deportivo de Huarichaca.

Para el levantamiento topográfico se utilizó la estación total GOWIN TKS 202. Además de un GPS etrex 30 Garmin. Obteniéndose un total de 1025 puntos (Anexo 01)

2.3.2. Procesamiento de datos

2.3.2.1.1. Reconocimiento de Suelo del Área de Trabajo

Se procedió al reconocimiento del tipo y uso del suelo del lugar de la investigación, encontrado que este se categoriza en el grupo **C (Lenta)** siendo un suelo de textura arcillo limosa, además el tipo de suelo en el área de estudio contiene bosques (en predios agrícolas) con condición hidrológica mala asignado con número de curva de 77.

Tabla 16: Grupos hidrológicos del suelo (SCS) Fuente: Bradbury 200

Grupo hidrológico del suelo	Infiltración cuando están muy húmedos	Características	Textura
A	Rápida	Alta capacidad de Infiltración > 76 mm/h	Arenosa Arenosa-limosa
B	Moderada	Capacidad de infiltración 76-38 mm/h	Franca Franco-arcillosa-arenosa Franco-limosa
C	Lenta	Capacidad de infiltración 36-13 mm/h	Franco-arcillosa Franco-arcillo-limosa Arcillo-arenosa
D	Muy Lenta	Capacidad de infiltración <13 mm/h	Arcillosa

Tabla 17: Números de curva SCS. Fuente: Elaboración Propia

CURVAS NUMERO (CN) PARA LOS COMPLEJOS SUELO-COBERTURA EN CUENCAS EN CONDICION DE HUMEDAD MEDIA.

Uso del suelo o Cubierta	Tratamiento o práctica	Condición hidrológica	Grupo de suelo Hidrológico			
			A	B	C	D
Barbecho	Surco recto	Mala	77	86	91	94
Cultivos en surcos	Surco recto	Mala	72	81	88	91
	Surco recto	Buena	67	78	4.48*2.4/48	89
	En contorno	Mala	70	79	84	88
	En contorno	Buena	65	75	82	86
	En contorno y terraceado	Mala	66	74	80	82
	En contorno y terraceado	Buena	62	71	78	81
Granos pequeños	Surco recto	Mala	65	76	84	88
	Surco recto	Buena	63	75	83	87
	En contorno	Mala	63	74	82	85
	En contorno	Buena	61	73	81	84
	En contorno y terraceado	Mala	61	72	79	82
	En contorno y terraceado	Buena	59	70	78	81
Leguminosas de siembra densa o praderas de rotación	Surco recto	Mala	66	77	85	89
	Surco recto	Buena	58	72	81	85
	En contorno	Mala	64	75	83	85
	En contorno	Buena	55	69	78	83
	En contorno y terraceado	Mala	63	73	80	83
	En contorno y terraceado	Buena	51	67	76	80
Praderas o pastizales	En contorno	Mala	68	79	86	89
		Aceptable	49	69	79	84
		Buena	39	61	74	80
		Mala	47	67	81	88
		Aceptable	25	59	75	83
		Buena	6	35	70	79
Praderas (permanente)		Buena	30	58	71	78
Bosques (en predios agrícolas)		Mala	45	66	77	83
		Aceptable	36	60	73	79
		Buena	25	55	70	77
Parques, patios			59	74	82	86

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

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

Al iniciar el proyecto de **ArcMap** se georreferencia y se guarda con el nombre **MODELO HIDROLOGICO.mxd** en la carpeta creada para almacenar el proyecto. Se selecciona en el icono **Save As /TESIS**.

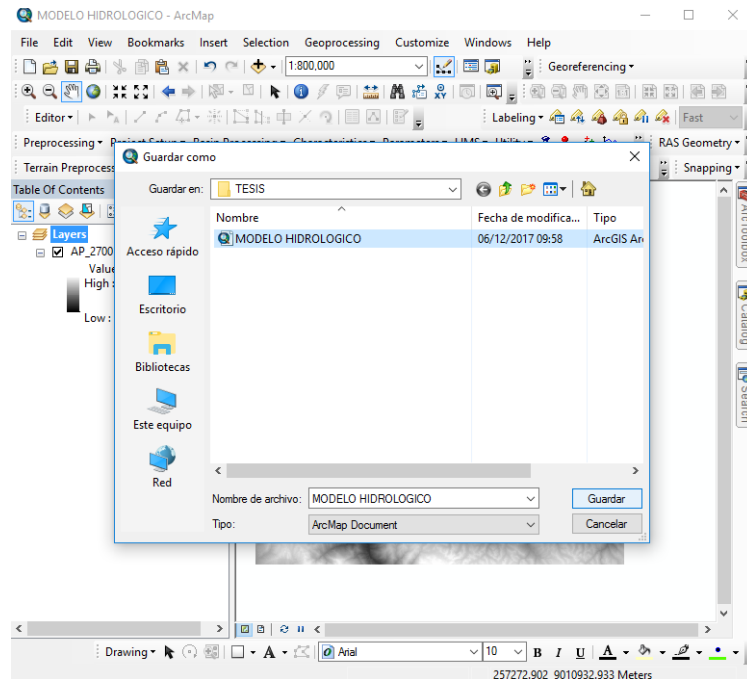


Figura 22: Creación del proyecto en ArcMap

En el proyecto de **ArcMap** se selecciona en el icono **Add Data**; se adiciona el Modelo de Elevación Digital (**DEM**); **AP_27001_FBS_F7010_RT1.dem.tif**, el cual se obtiene del servidor **Alaska Satellite Facility**.

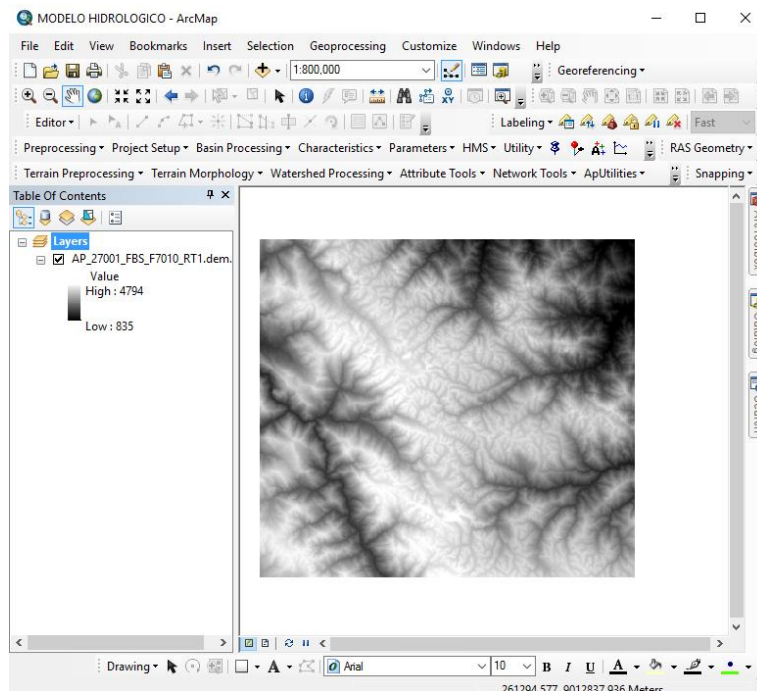
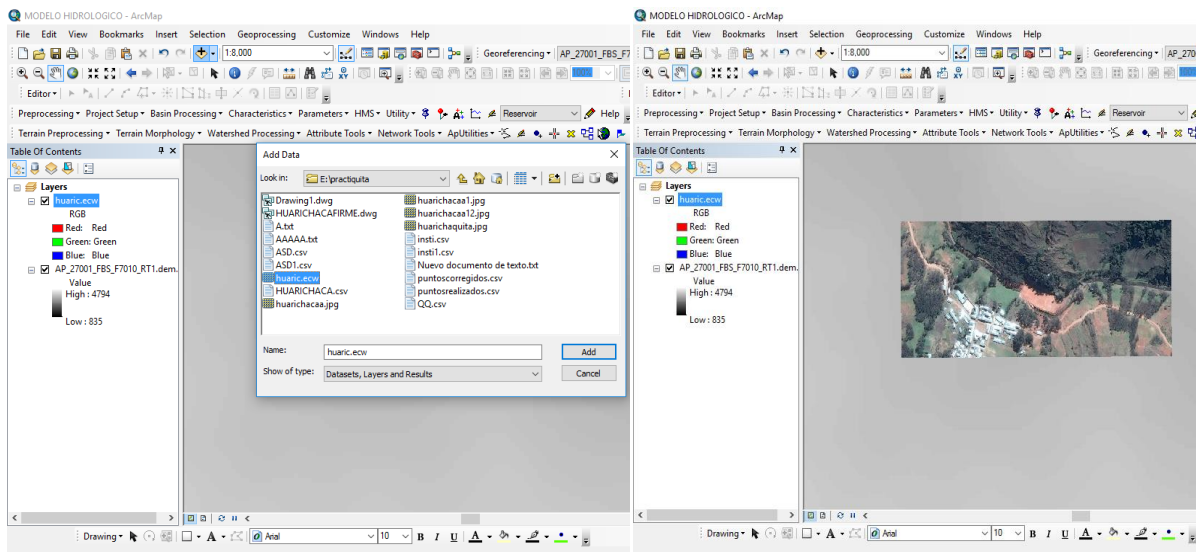


Figura 23: Modelo de Elevación Digital (DEM) en ArcMap

En el proyecto **MODELO HIDROLOGICO** de **ArcMap** se selecciona en el icono **Add Data**; se adicionan y se georreferencian (**WGS 194 UTM Zone 18S**) las



ortofotos descargadas del programa **SAS.Planet**.

Figura 24: Ortofotos Georreferenciadas en ArcMap

En el proyecto **MODELO HIDROLOGICO** 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 18S**.

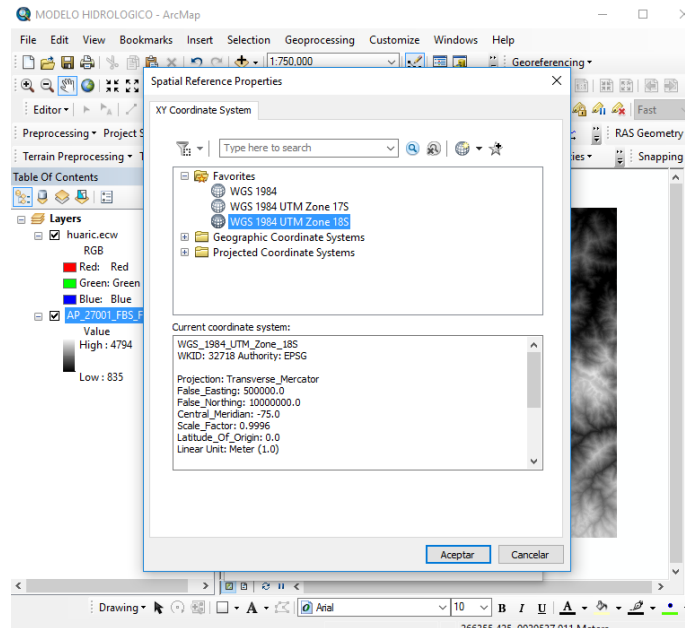


Figura 25: Recortar un DEM (raster) en ArcMap

se crea un archivo tipo poligonal con el nombre **FIL** se ingresa a **Create Features / FIL / Rectangle**, con la ayuda de las ortofotos georreferenciadas se selecciona el área de interés a recortar.

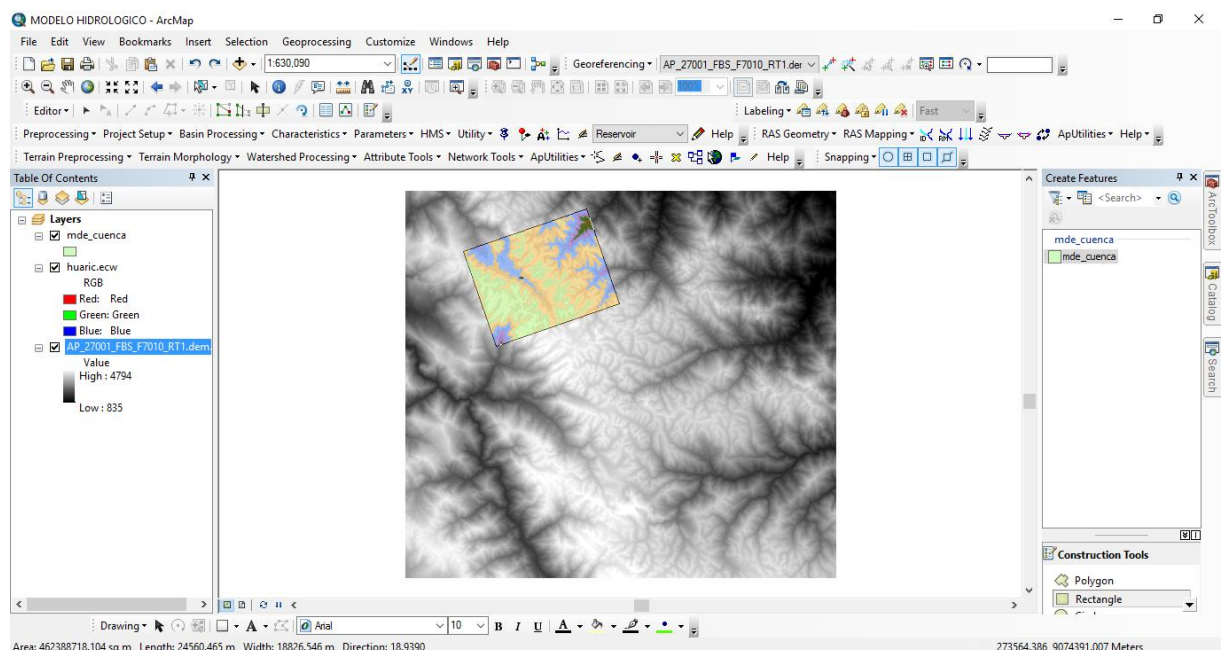


Figura 26: Selección del área de recorte

En el proyecto 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_27001_FBS_F7010_RT1.dem.tif**), en **Input ráster** or **feature mask data** se adiciona el polígono (**mde_cuenca**).

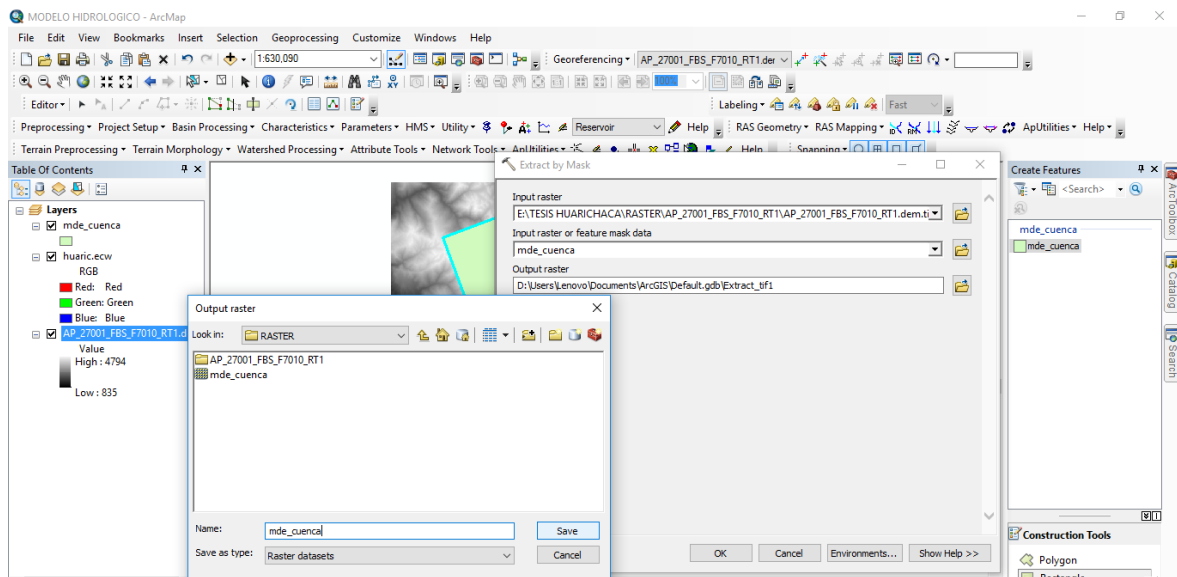


Figura 27: Corte de mde_cuenca - HEC- GeoHMS

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**

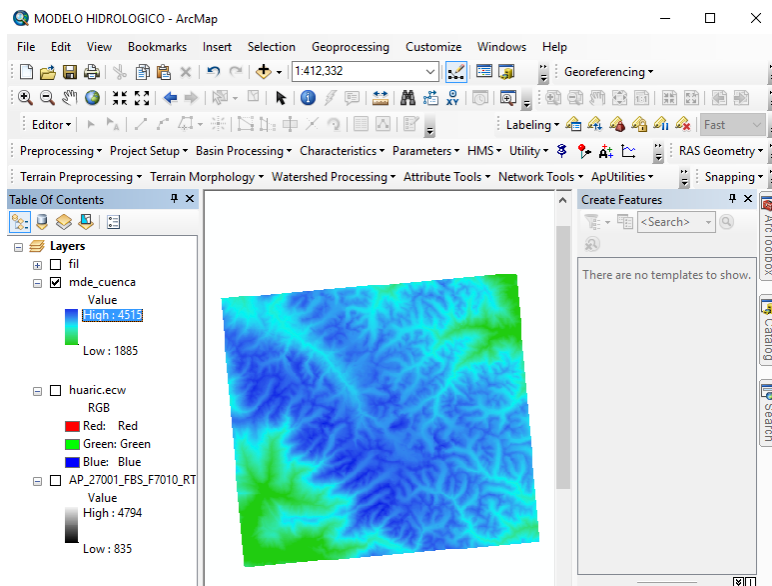


Figura 28: DEM recortado para el modelamiento con HEC- GeoHMS

2.3.2.3. Ubicación de Descarga de Microcuenca

2.3.2.3.1.1. Pre procesamiento

La extensión **HEC-GeoHMS** nos proporciona herramientas para crear las microcuencas y la red de ríos del sistema hidrológico. Este proceso involucra usar el Modelo de Elevación Digital (**DEM**).

2.3.2.3.1.1.1.Fill Sinks (Fill)

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

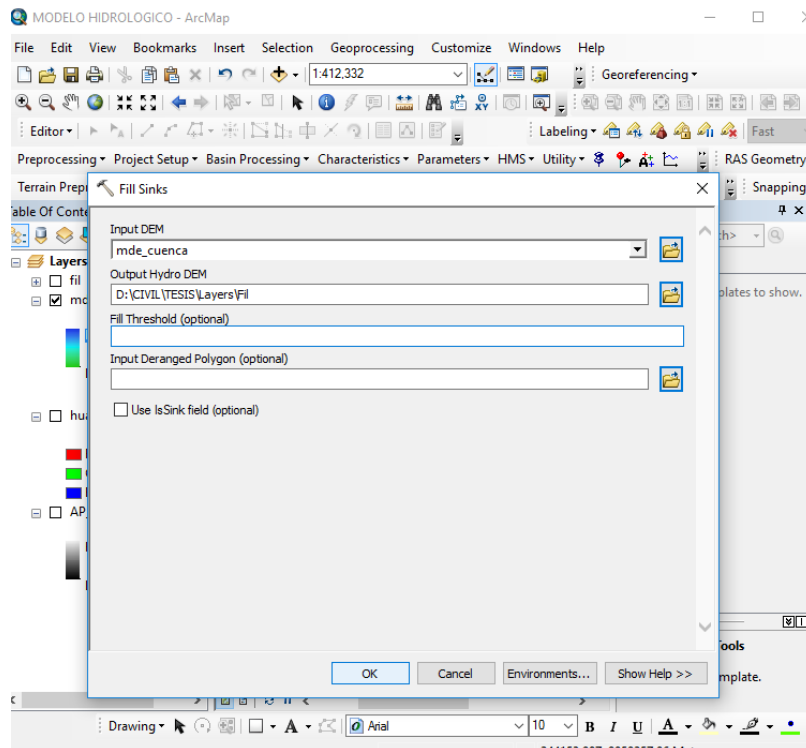


Figura 29: Eliminación de imperfecciones del DEM.

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"**.

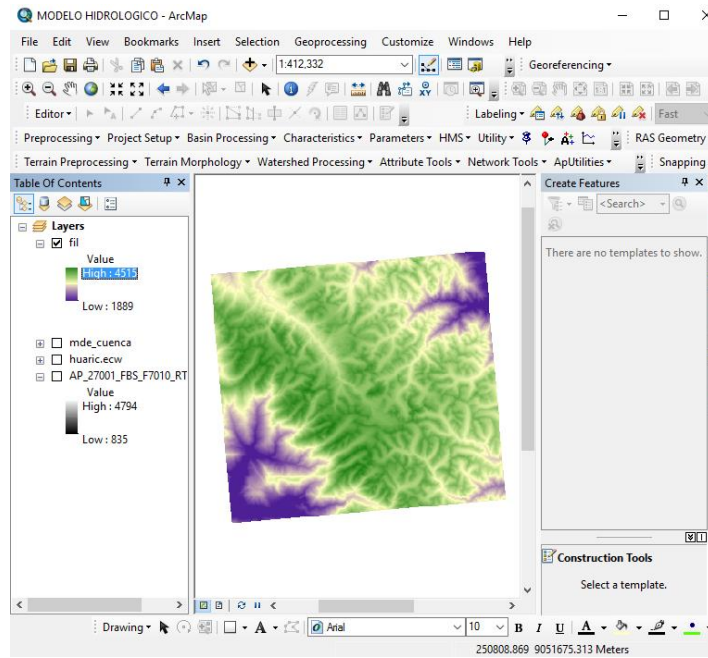


Figura 30: Ráster generado con la herramienta Fill Sinks

2.3.2.3.1.1.2. 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**.

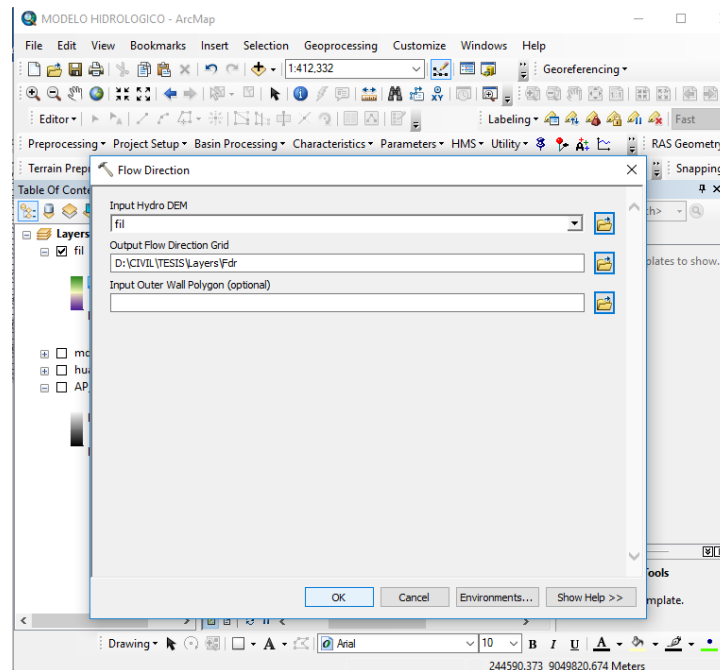


Figura 31: Dirección de flujo

En el cuadro de dialogo 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**”.

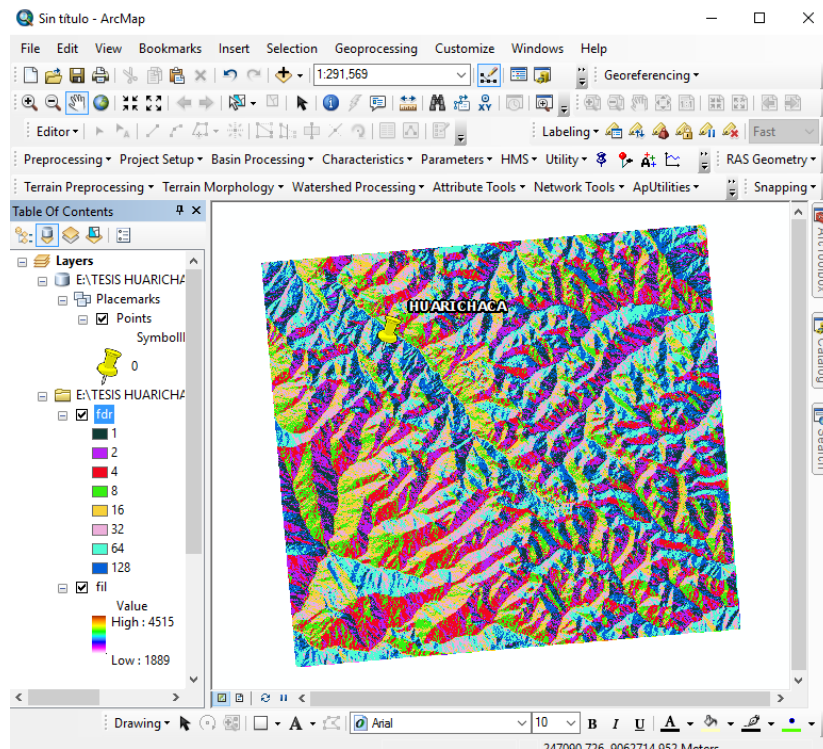


Figura 32: Ráster generado con la herramienta Flow Direction

2.3.2.3.1.1.3. 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**.

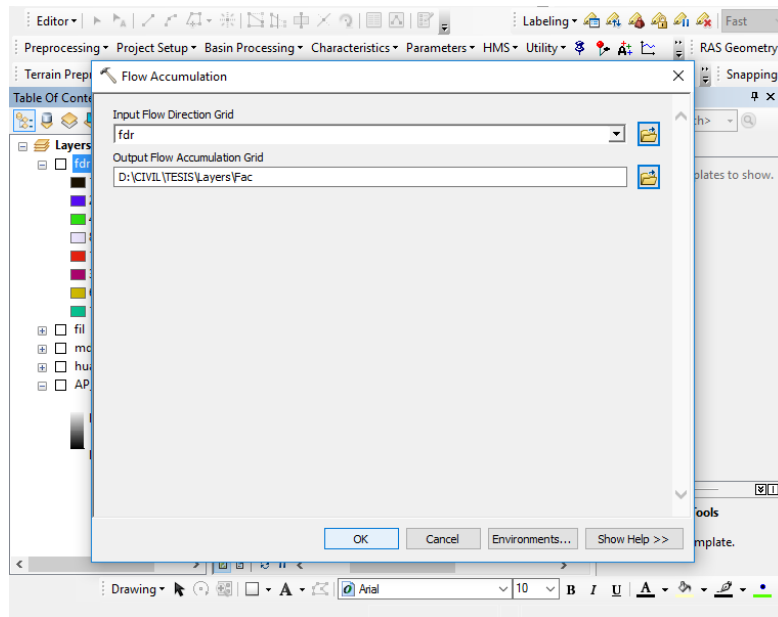


Figura 33: Acumulación de flujo

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”**.

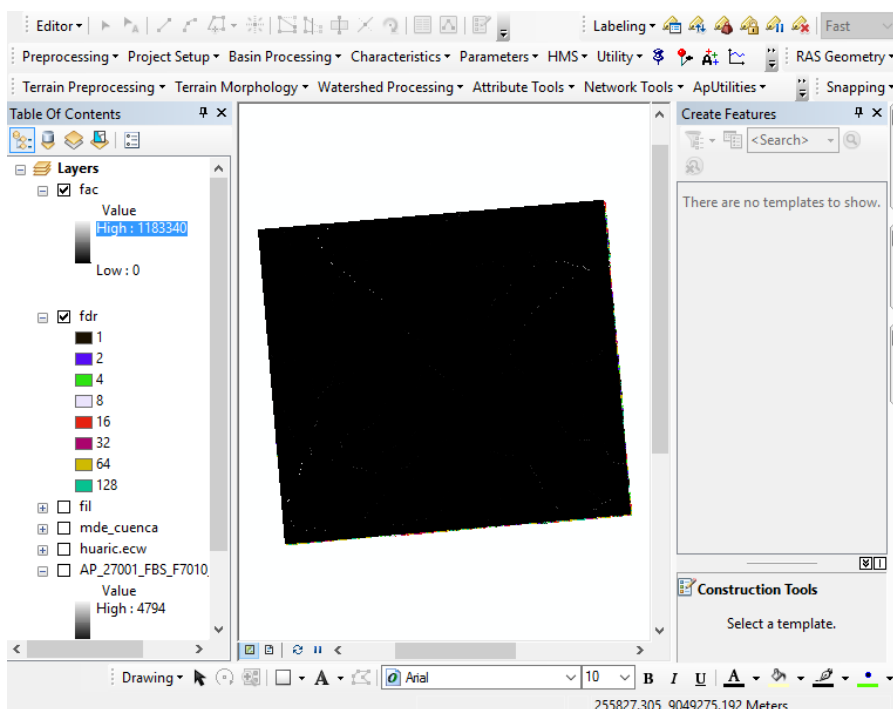


Figura 34: Ráster generado con la herramienta Flow Accumulation

2.3.2.3.1.1.4. 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**.

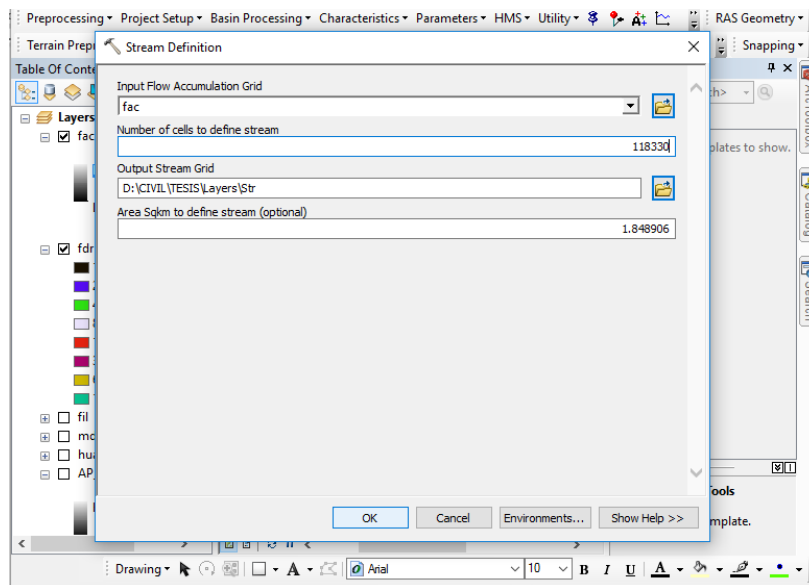


Figura 35: Definición de la corriente de la red hídrica

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**”.

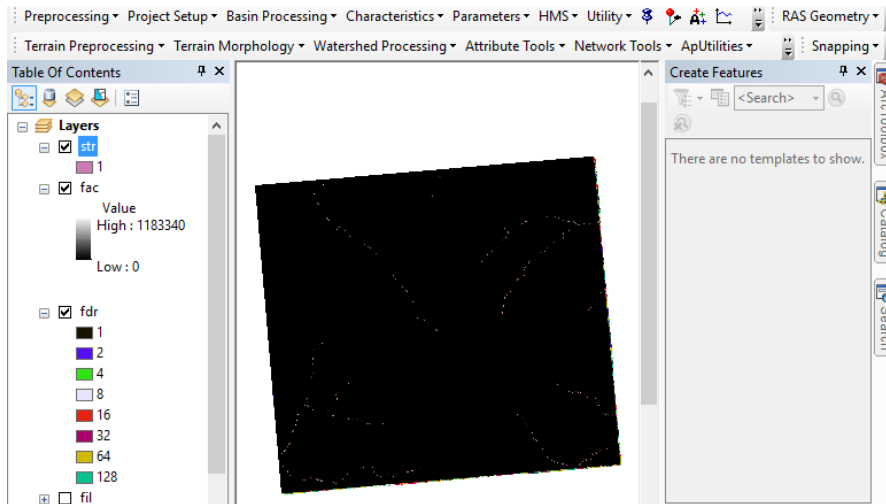


Figura 36: Ráster generado con la herramienta Stream Definition

2.3.2.3.1.1.5. Stream Segmentation (StrLnk)

Stream Segmentation 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**.

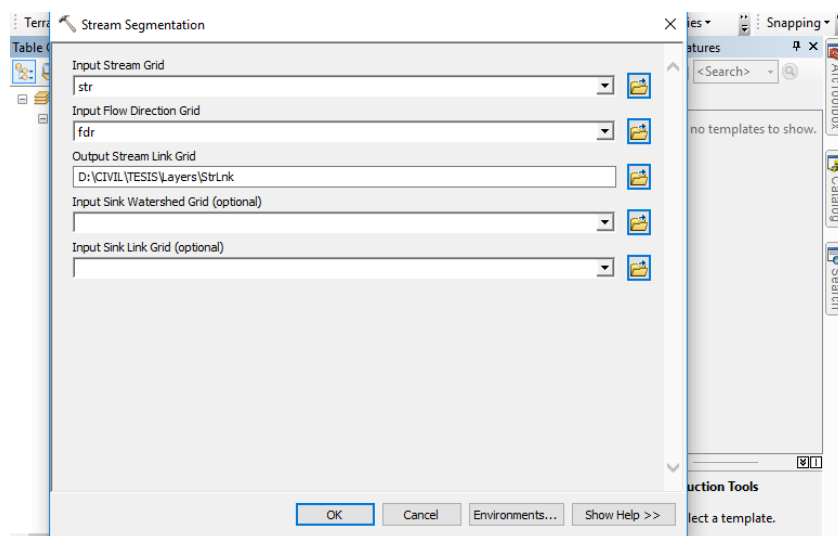


Figura 37: Segmentación de corrientes

En el cuadro de diálogo, 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"**.

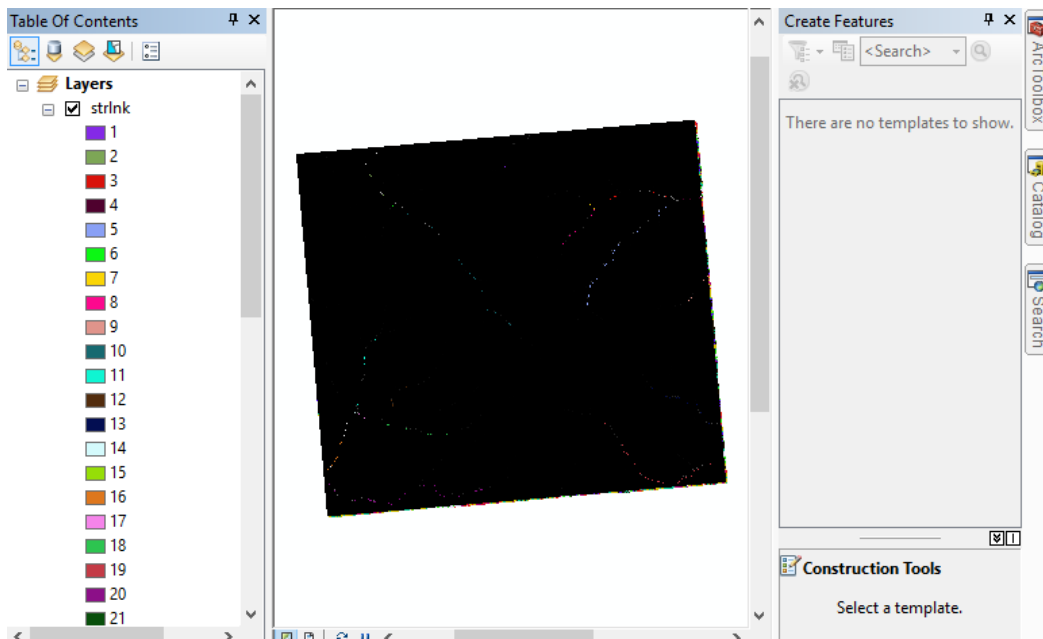


Figura 38: Ráster generado con la herramienta Stream Segmentation

2.3.2.3.1.1.6. 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**.

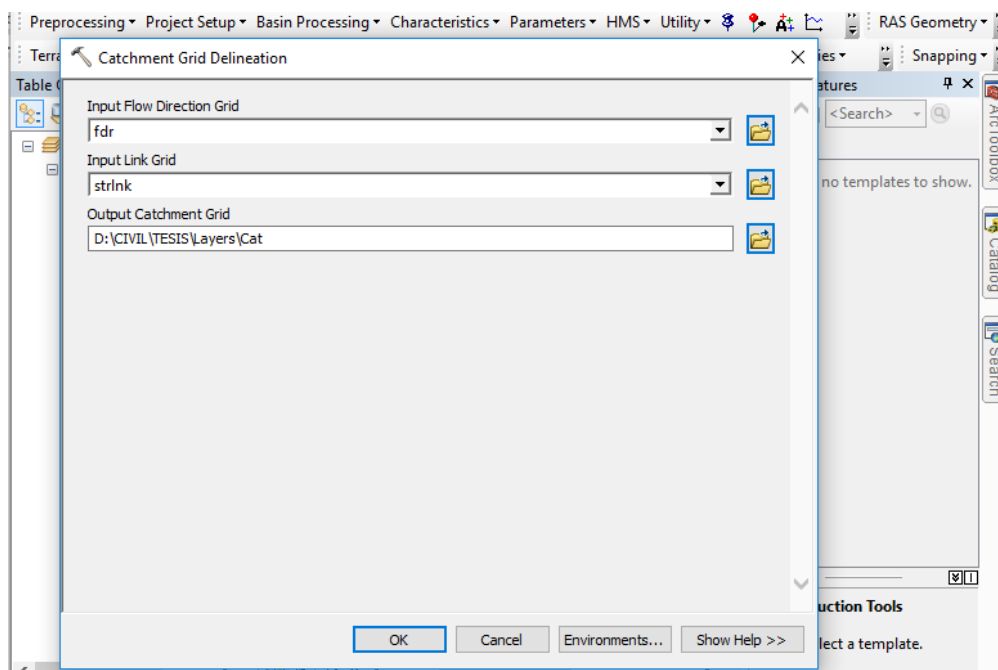


Figura 39: Delineación de corrientes

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**”.

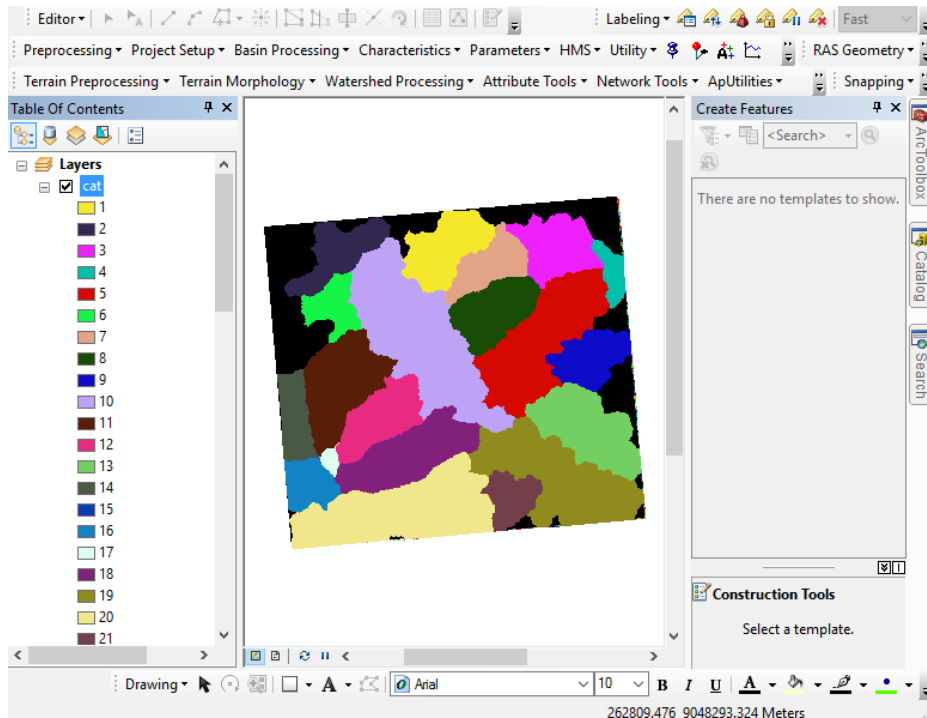


Figura 40: Ráster generado con la herramienta Catchment Grid Delineation

2.3.2.3.1.1.7. 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**.

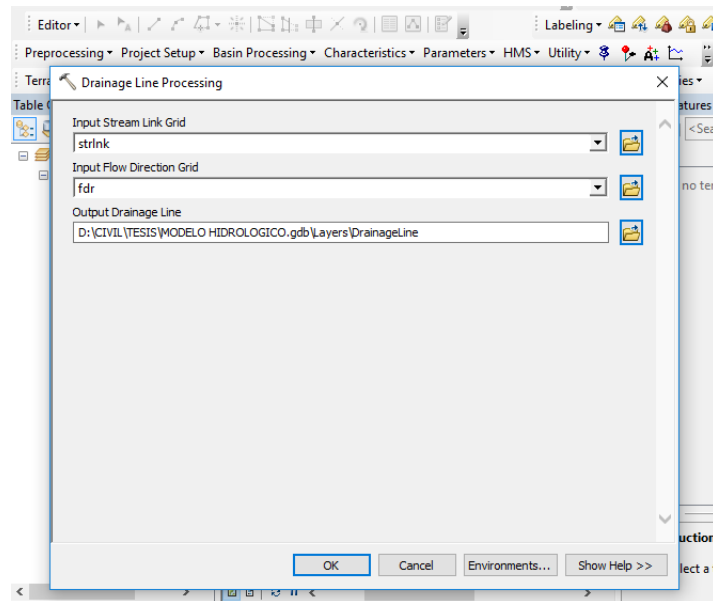


Figura 41: Procesamiento de las líneas de drenaje

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”**.

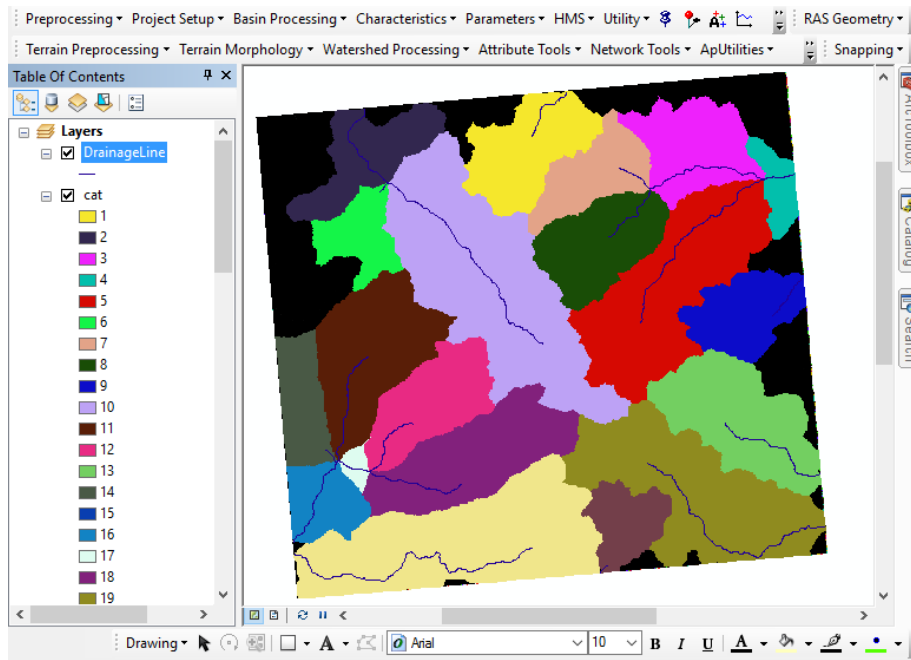


Figura 42: Ráster generado con la herramienta Drainage Line Processing

2.3.2.3.1.1.8. 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**.

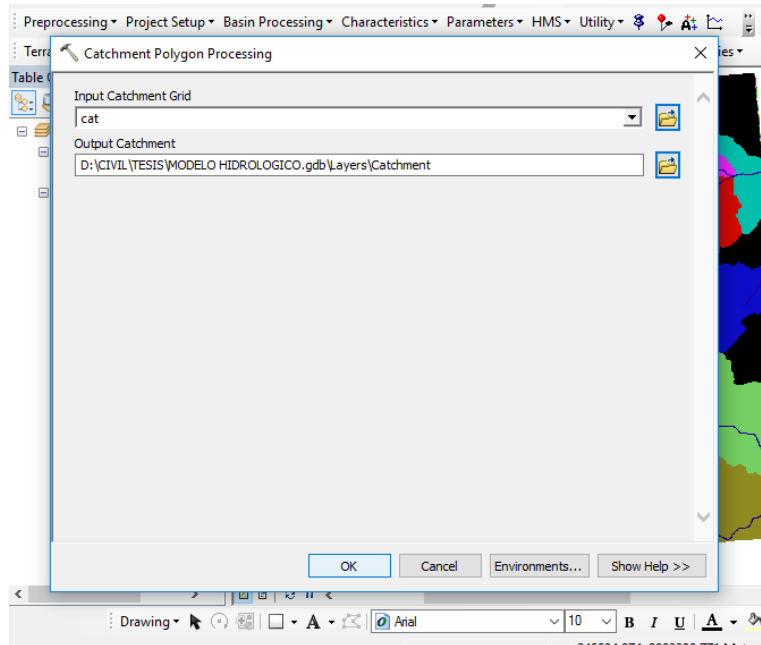


Figura 43: Procesamiento de los Polígonos

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**”.

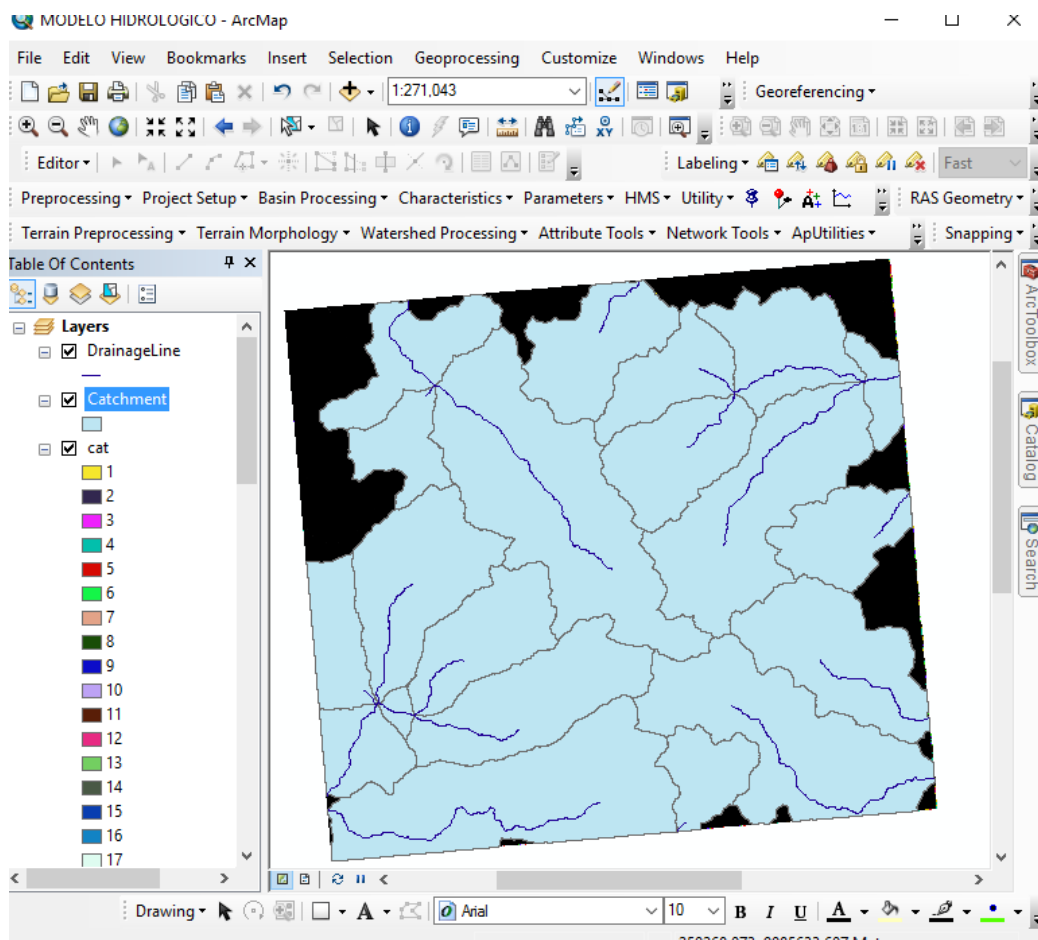


Figura 44: Ráster generado con la herramienta *Catchment Polygon Processing*

2.3.2.3.1.1.9. 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**.

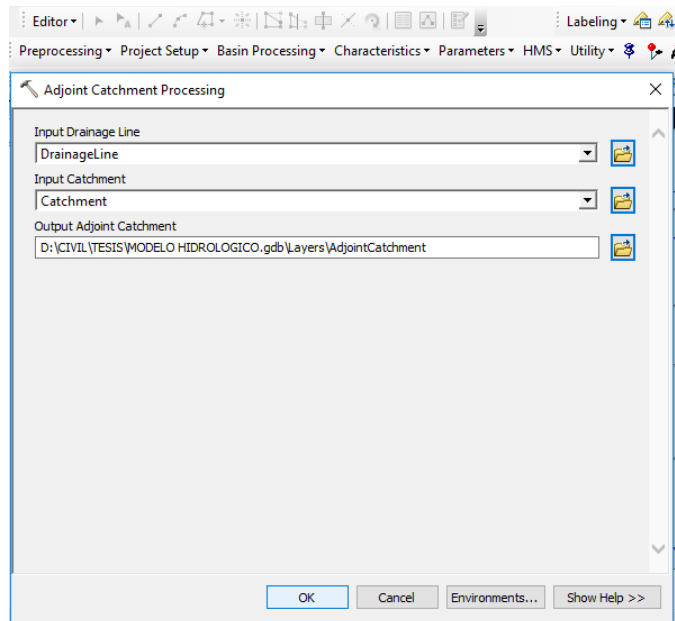


Figura 45: Procesamiento de microcuencas adjuntas

En el cuadro de dialogo 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”**.

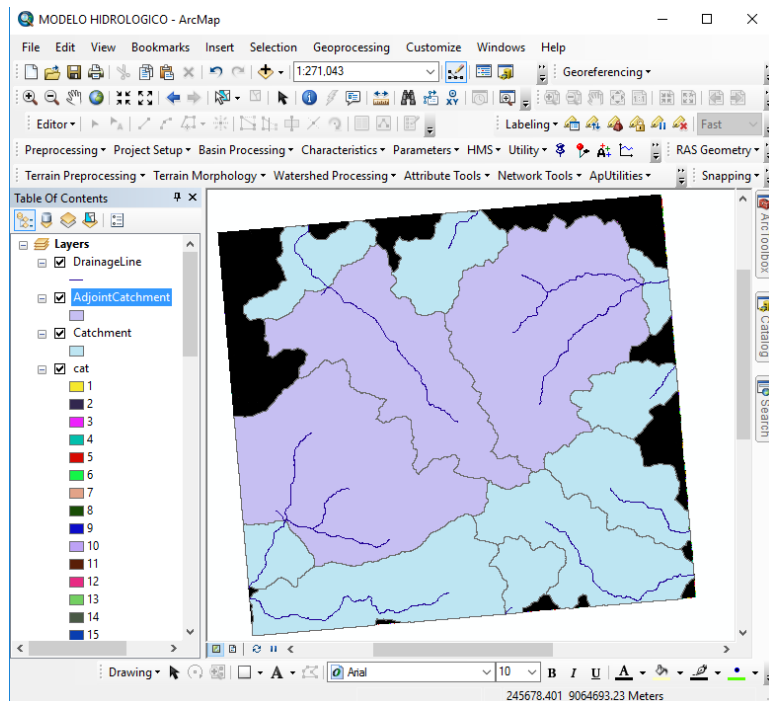


Figura 46: Ráster generado con la herramienta Adjoint Catchment Processing

2.3.2.3.1.2. 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.

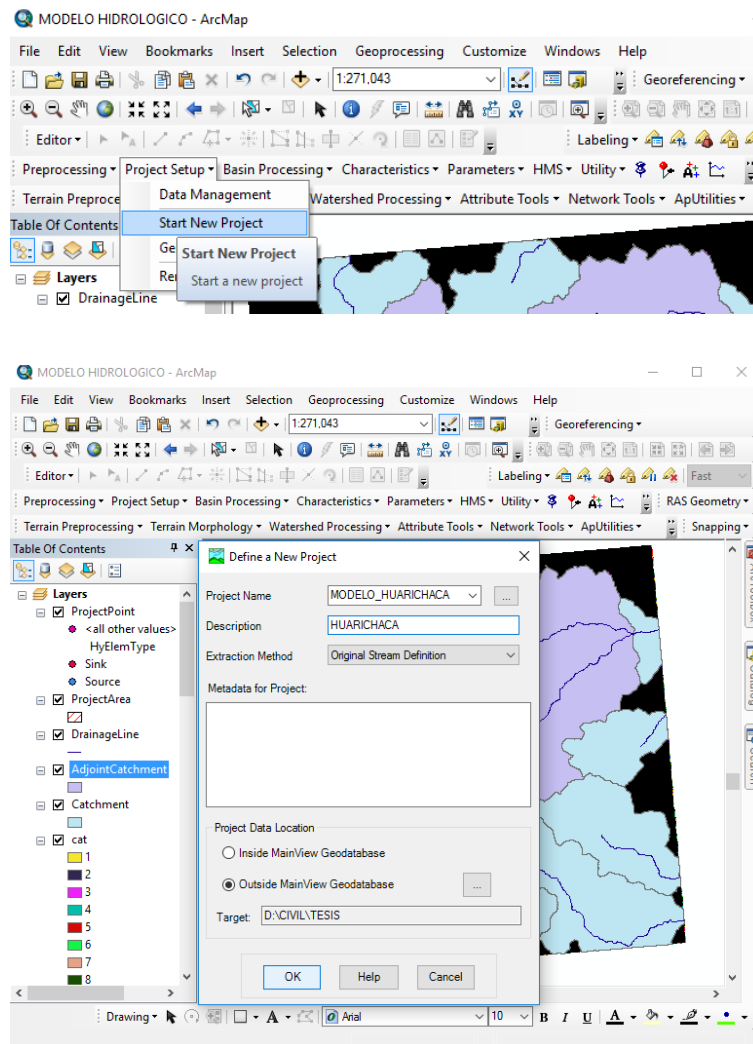


Figura 47: Definición del nuevo proyecto

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.

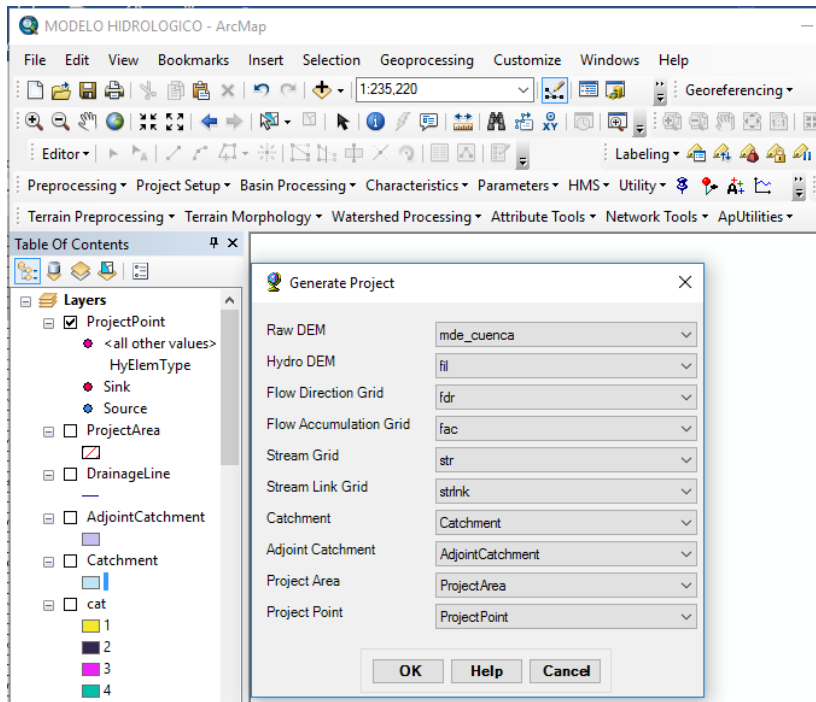


Figura 48: Generación del nuevo proyecto

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

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

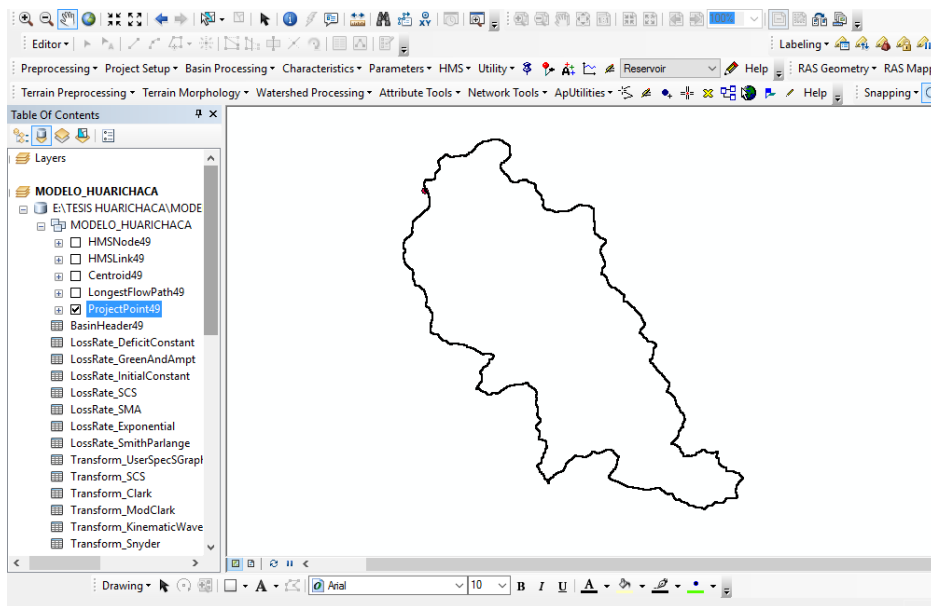


Figura 49: Delimitación de la cuenca

2.3.2.3.1.3. 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 49**

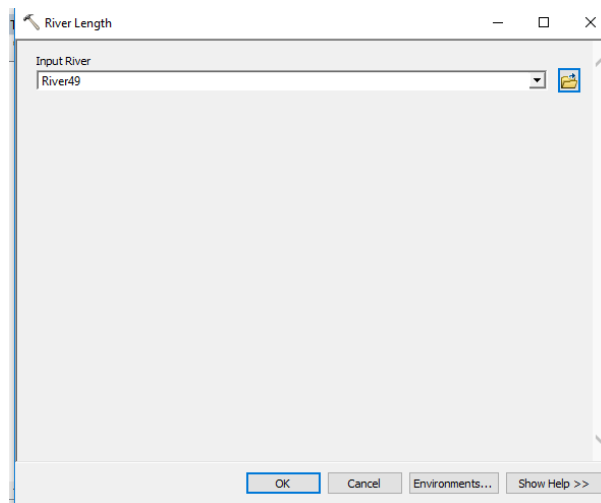


Figura 50: Calculo de la longitud del rio

Se selecciona **River 49/ Open Attribute Table** se muestra una tabla de atributos donde se estimó la longitud del río “**RivLen**”.

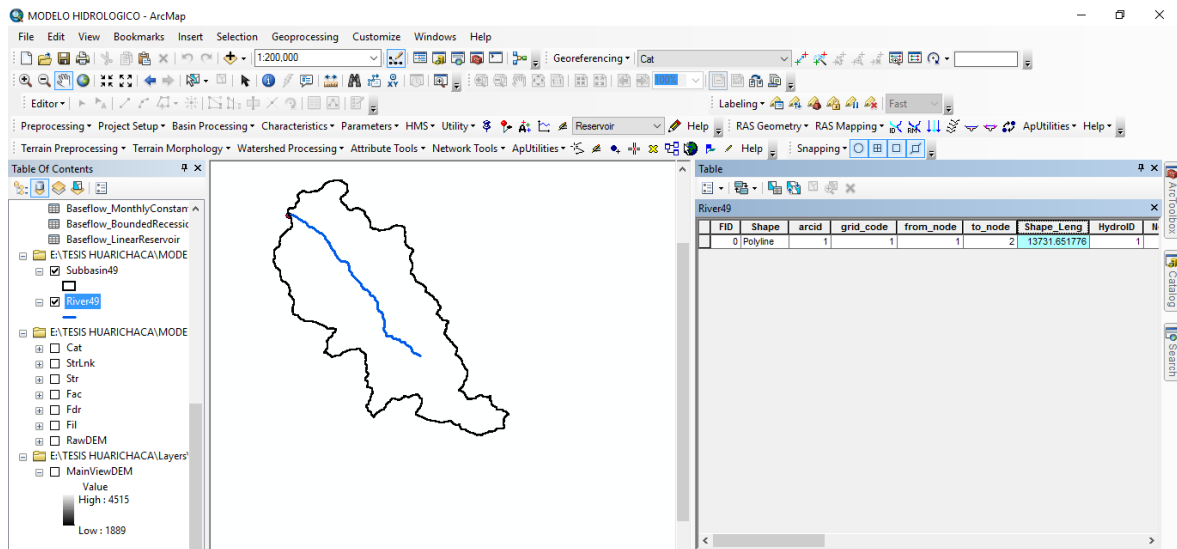


Figura 51: Tabla de Atributos de la longitud del rio

2.3.2.3.1.3.1. 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 49**

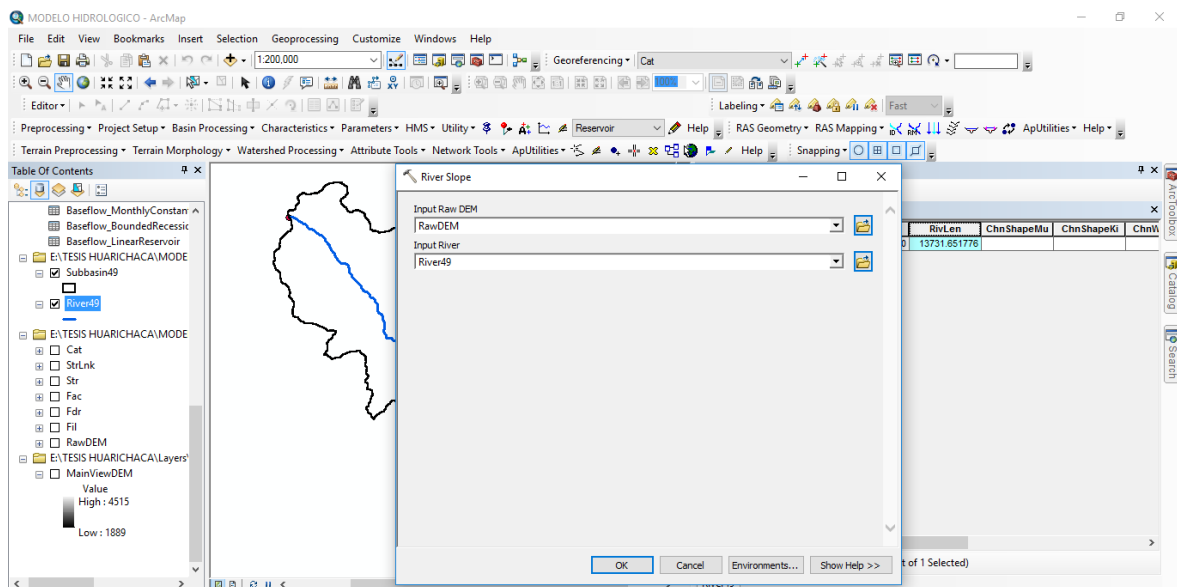


Figura 52: Calculo de la pendiente del rio

Se selecciona **River 49/ Open Attribute Table** se muestra una tabla de atributos donde se estimó la pendiente del río “Slp”.

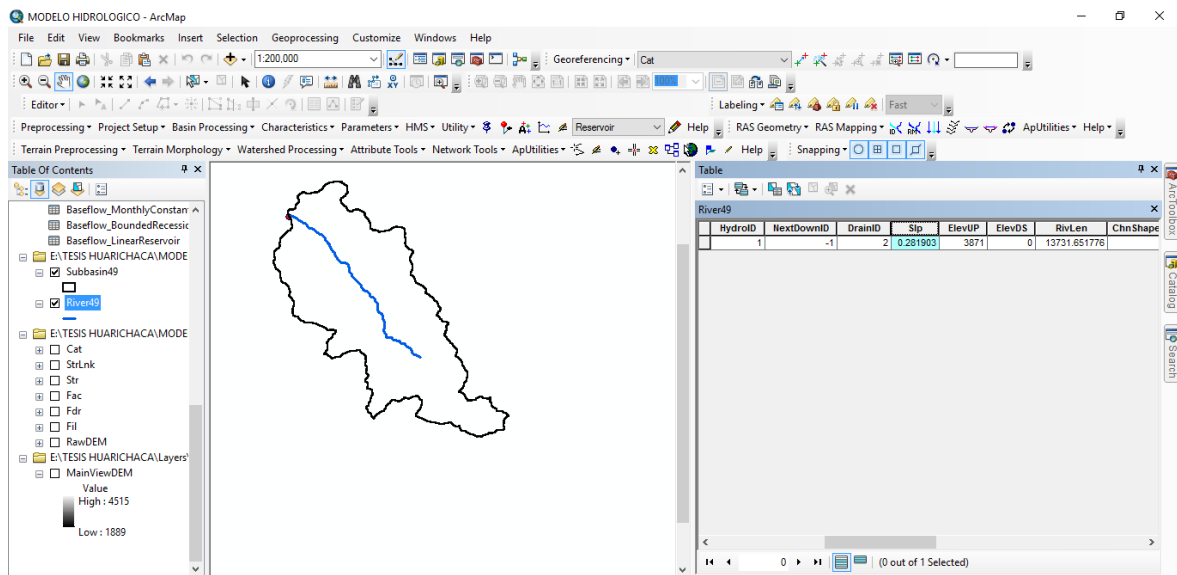


Figura 53: Tabla de Atributos de la pendiente del río

2.3.2.3.1.3.2.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 Subbasin49**

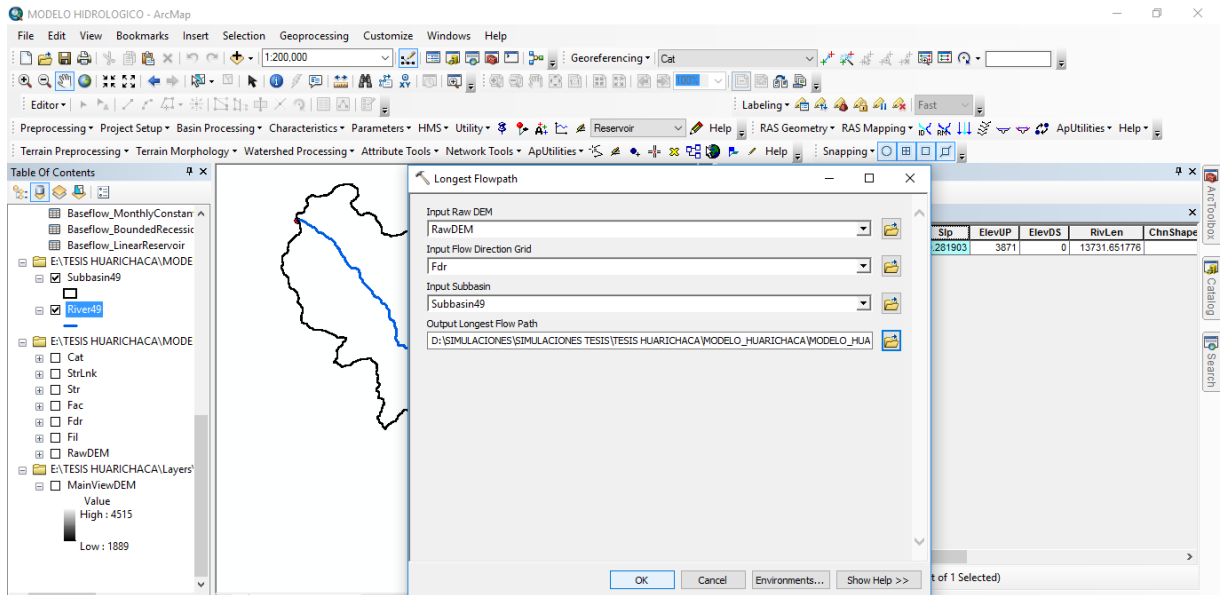


Figura 54: Cálculo del recorrido del flujo más largo

Se selecciona **LongestFlowPath 49/ Open Attribute Table** se muestra una tabla de atributos donde se estimó la longitud del recorrido más largo del flujo “LongestFL”.

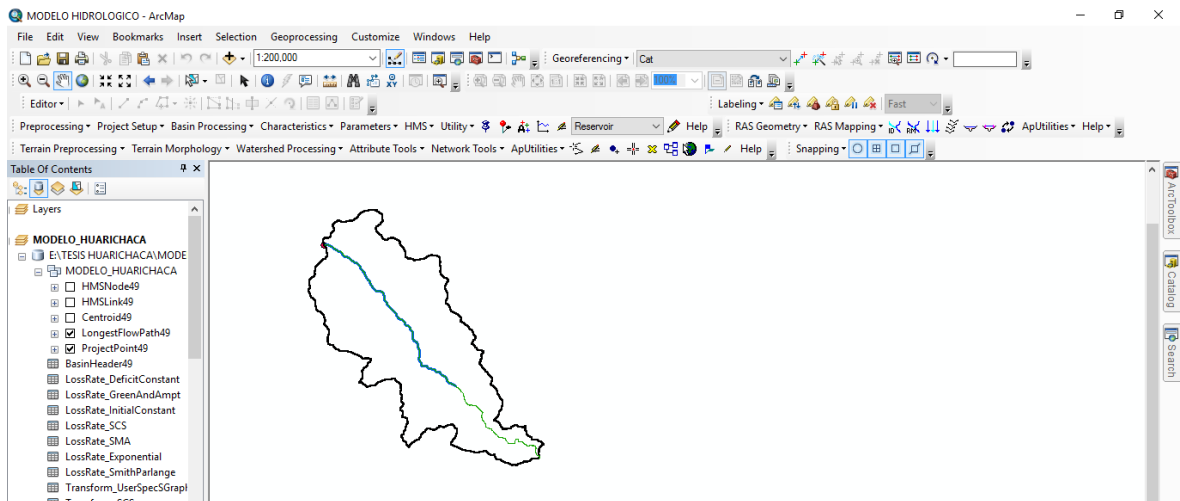


Figura 55: Tabla de Atributos del recorrido más largo del flujo

2.3.2.3.1.3.3. 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 **Subbasin49**.

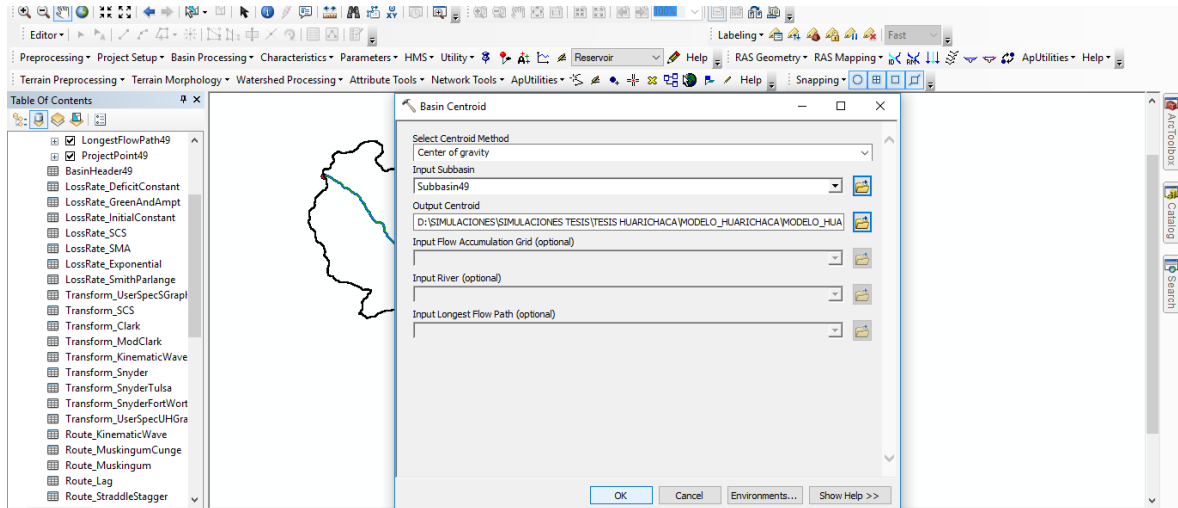


Figura 56: Cálculo del centroide de la cuenca

Se selecciona **Centroid49**, se muestra el centroide de la cuenca estimado por el método del centro de gravedad

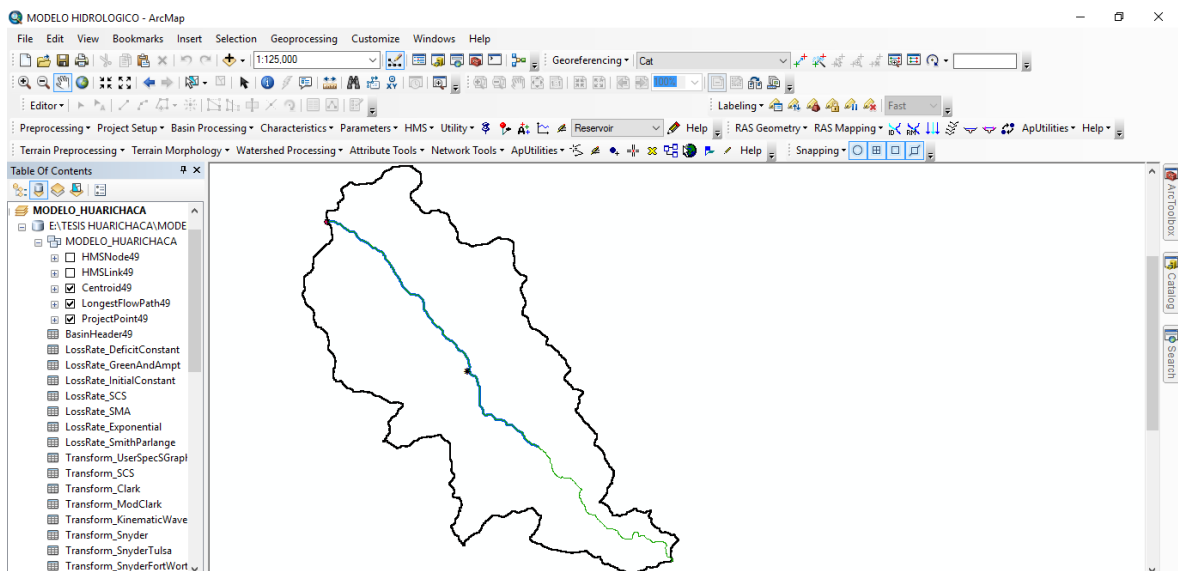


Figura 57: Método del centro de gravedad para el centroide de la cuenca

2.3.2.3.1.3.4. 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 **Centroid49**

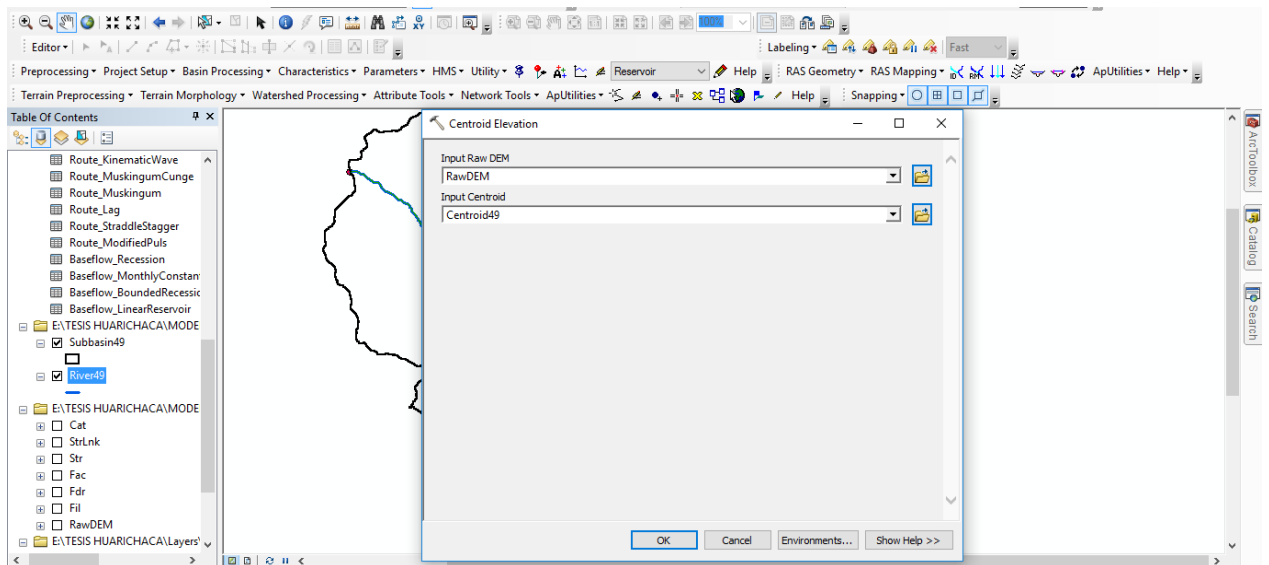


Figura 58: Calculo de la elevación del centroide de la cuenca

Se selecciona **Centroid49 / Open Attribute Table** se muestra una tabla de atributos donde se estimó la elevación del centroide “**Elevation**”.

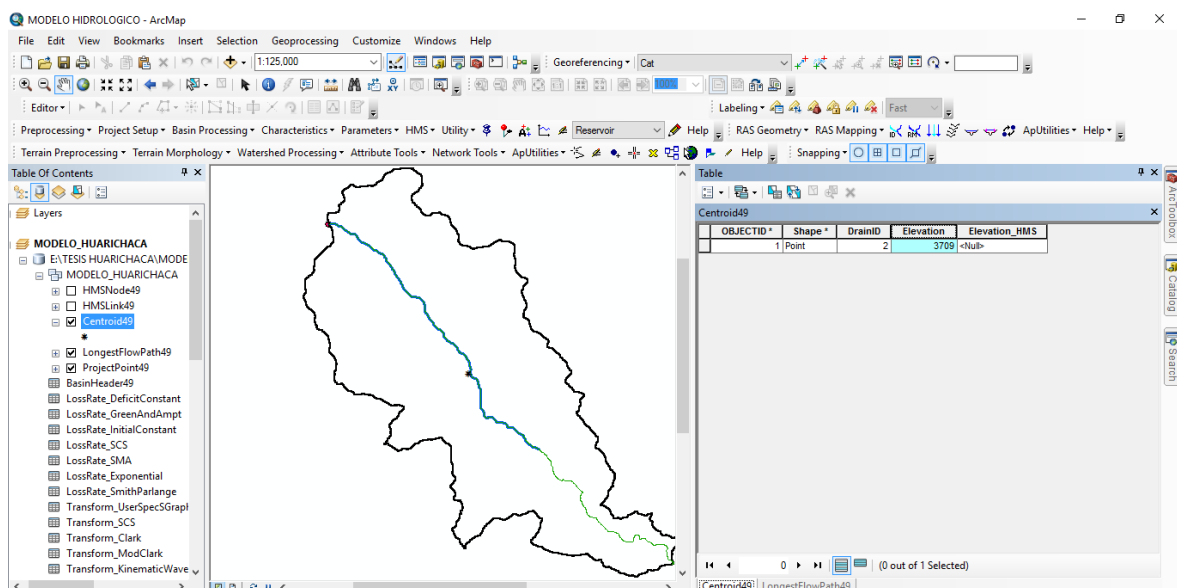


Figura 59:Tabla de atributos de la elevación del centroide de la cuenca

2.3.2.3.1.4. 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.

2.3.2.3.1.4.1. 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 **Subbasin49 y River 49**. 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**.

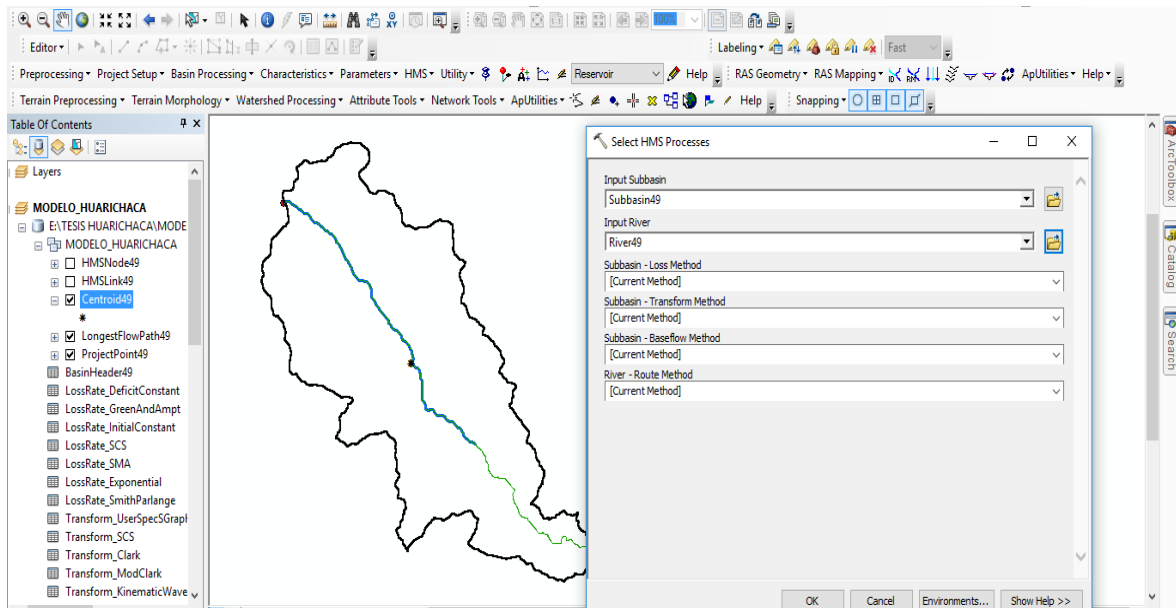


Figura 60: Selección de procesos para HMS

2.3.2.3.1.4.2. 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 49**.

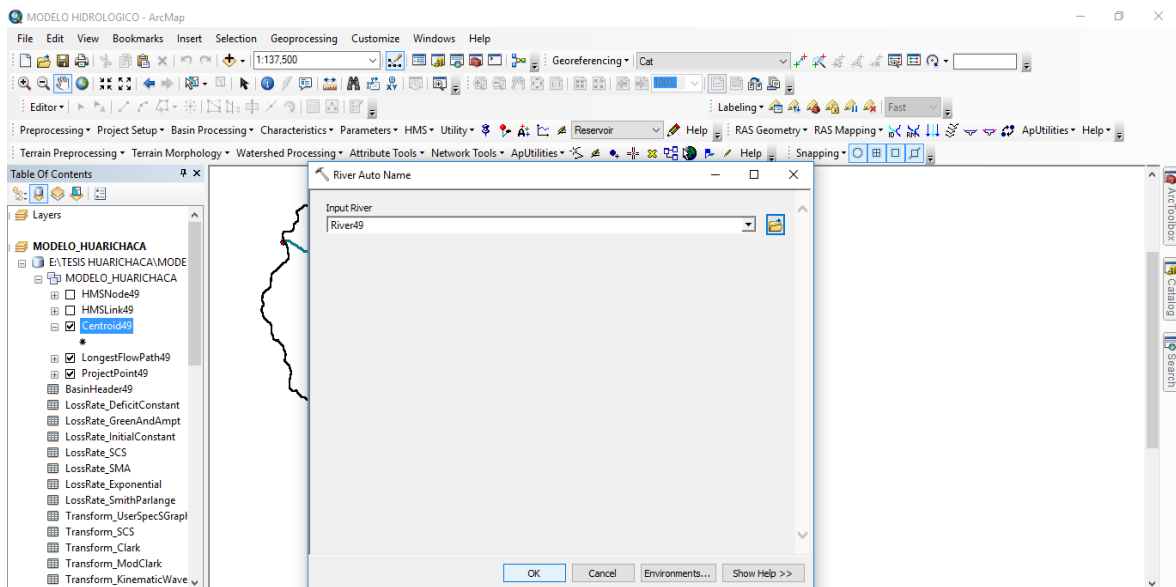


Figura 61: Nombre automático del río

2.3.2.3.1.4.3. 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 **Subbasin49**.

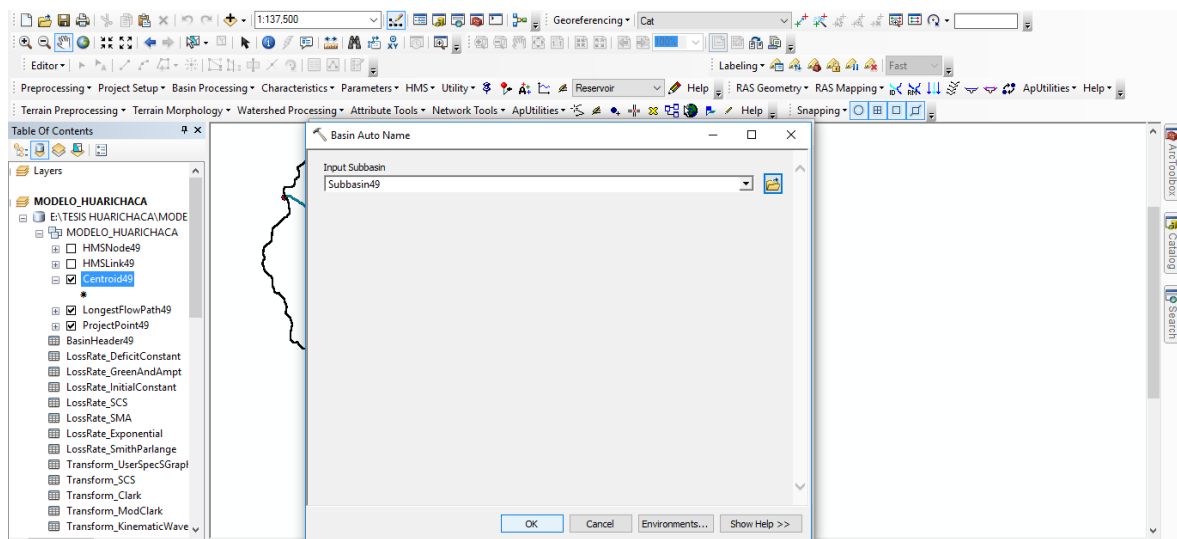


Figura 62: Nombre automático de la cuenca

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**

2.3.2.3.1.4.4.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).

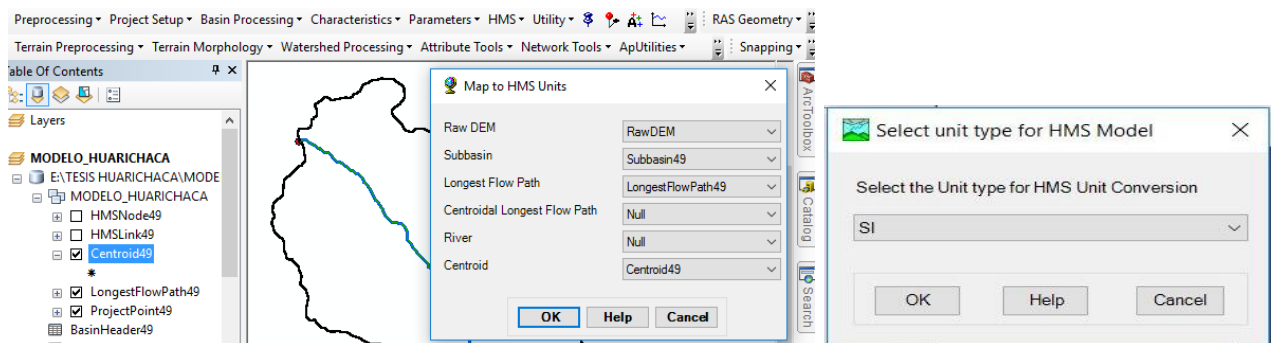


Figura 63: Conversión de Unidades para el modelo HMS

2.3.2.3.1.4.5.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 el proyecto de **ArcMap**; en la tabla de contenidos, se agregan dos nuevas clases de entidad **HMSNode49** y **HMSLink49**.

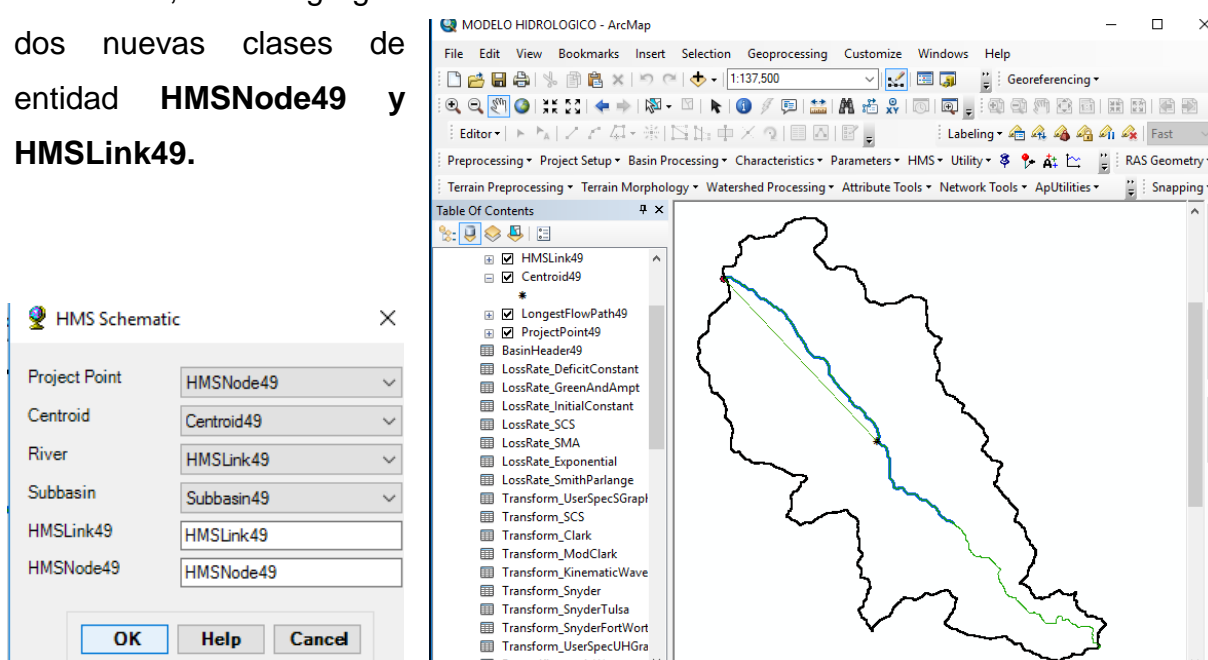


Figura 64: Esquemático de la Cuenca para el modelo HMS

2.3.2.3.1.4.6.Toogle Legend

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

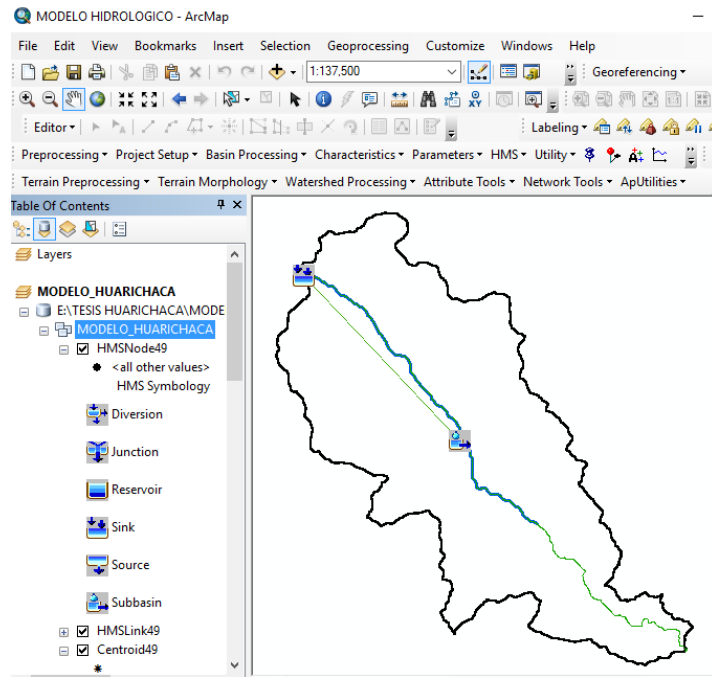
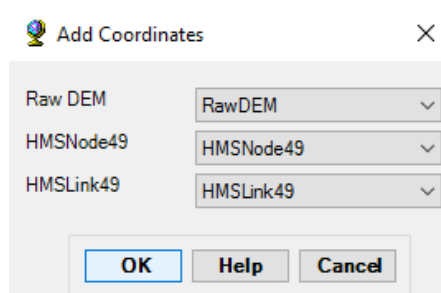


Figura 65: Leyenda para el modelo HMS

2.3.2.3.1.4.7. Add Coordinates

La herramienta **Add Coordinates** nos permitió agregar las coordenadas geográficas a las entidades **HMSNode49** y **HMSLink49**. 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.



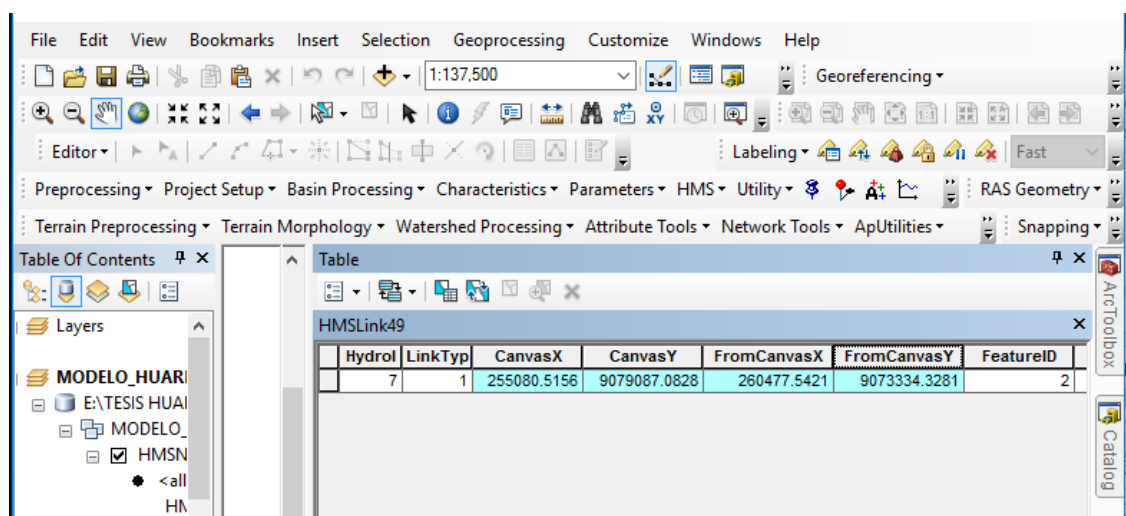
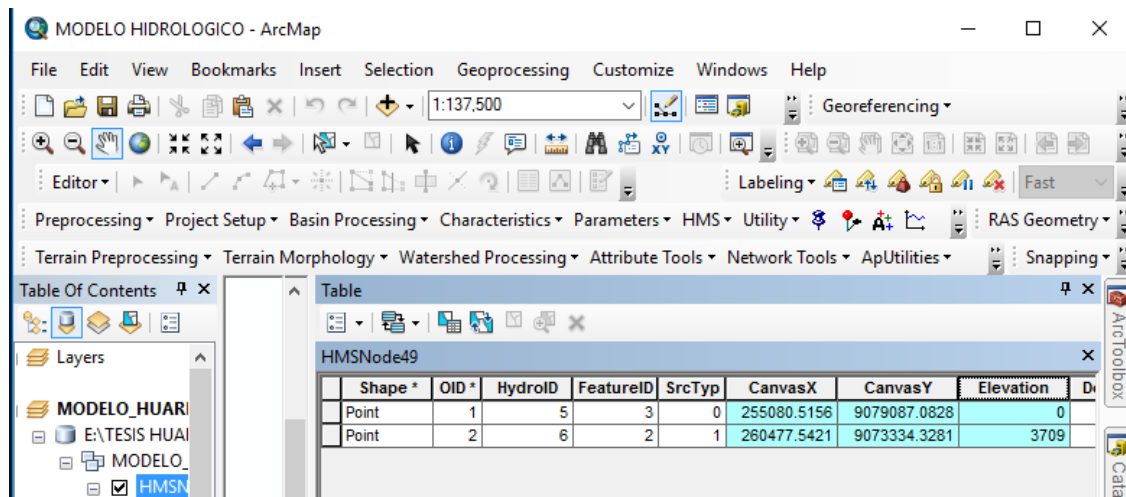


Figura 66: Adicionar coordenadas para el modelo HMS

2.3.2.3.1.4.8. 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.

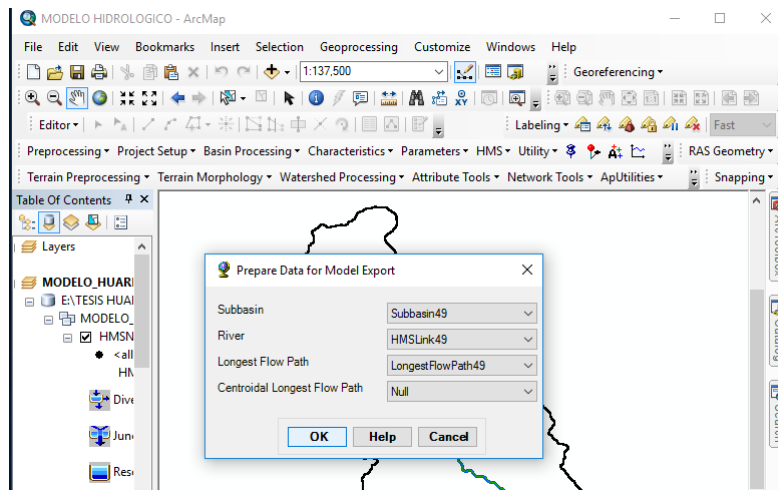


Figura 67: Preparar los datos para exportar el modelo HMS

2.3.2.3.1.4.9. 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.

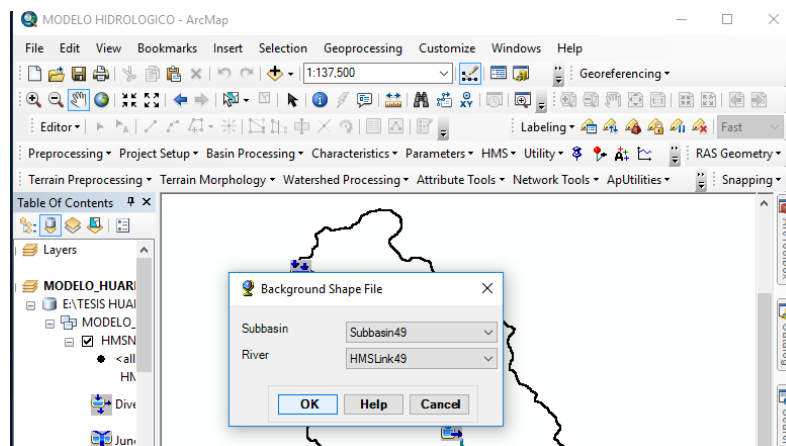


Figura 68: Exportando archivos shape de fondo

2.3.2.3.1.4.10. 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 (**MODELO_HUARICHACA.basin**) es localizado en la carpeta del proyecto “**TESIS HUARICHACA**”.

2.3.2.3.1.4.11. 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 **MODELO_HUARICHACA.met**.

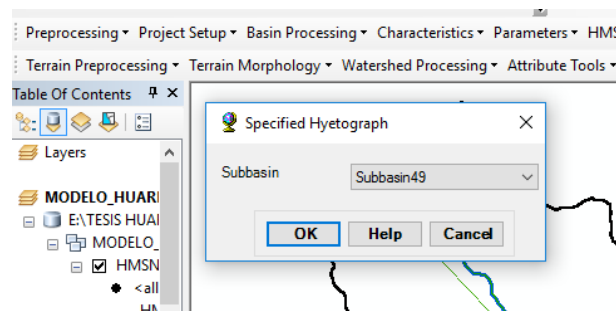


Figura 69: Modelo meteorológico

2.3.2.3.1.4.12. 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 **"MODELO_HUARICHACA. 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 **RUN** 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**.

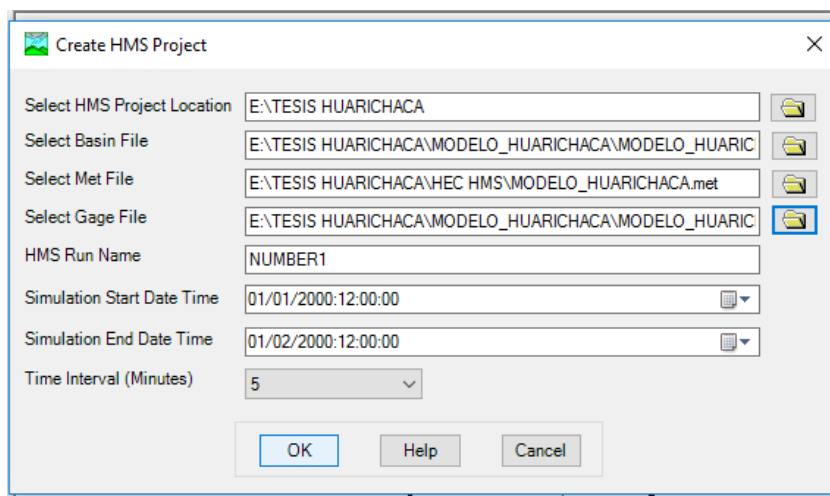


Figura 70: Proyecto HMS

2.3.2.4. Modelamiento en HEC-HMS

2.3.2.4.1. Preparación de datos iniciales

2.3.2.4.1.1. Interpretación de Datos de Precipitaciones

Para determinar el caudal pico de diseño, en la investigación se descarga la data de precipitaciones de la estación pluviométrica más cercana al lugar de la investigación y que este actualmente activa, como fuente de la información es la Autoridad Nacional del Agua (ANA).

Esta data proporciona un registro a cada hora, cada día, cada mes. Por lo tanto, para el análisis utilizares el máximo valor de precipitación de forma anual.

Tabla 18: Registro de precipitación de la estación Quebrada Colpa – Chirimoyo

Fuente ANA.

Elaboración Propia

Items	Etiquetas de fila	Máx. de PP
1	1963	20.3
2	1964	23.7
3	1965	27.6
4	1966	29.4
5	1967	27.3
6	1968	21.9
7	1969	30.4
8	1970	49.1
9	1971	46.3
10	1972	28.1
11	1973	31
12	1974	24
13	1975	20.8
14	1976	20.8
15	1977	30.1
16	1978	24.3
17	1979	27
18	1980	26.6

19	1981	42
20	1982	24.1
21	1983	23.4
22	1984	26
23	1985	12.5
24	1986	19.5
25	1987	20.4
26	1988	28.2
27	1989	-99.9
28	1990	-99.9
29	1991	17.7
30	1992	30.8
31	1993	32.4
32	1994	52.5
33	1995	35.3
34	1996	26.9
35	1997	38.3
36	1998	46.9
37	1999	68.3
38	2000	25.2
39	2001	25.8
40	2002	25
41	2003	20.6
42	2004	34.4
43	2005	31.8
44	2006	27.7
45	2007	34.3
46	2008	23.6
47	2009	31
48	2010	23.3
49	2011	21.7
50	2012	34.6
51	2013	26.9
52	2014	32.6
	Total general	68.3

Como se muestra en la Grafica siguiente, de las precipitaciones diarias en cada año, desde al año 1963, solo se considera aquella con el valor más alto de cualquier día de cualquier mes, que representara a su año.

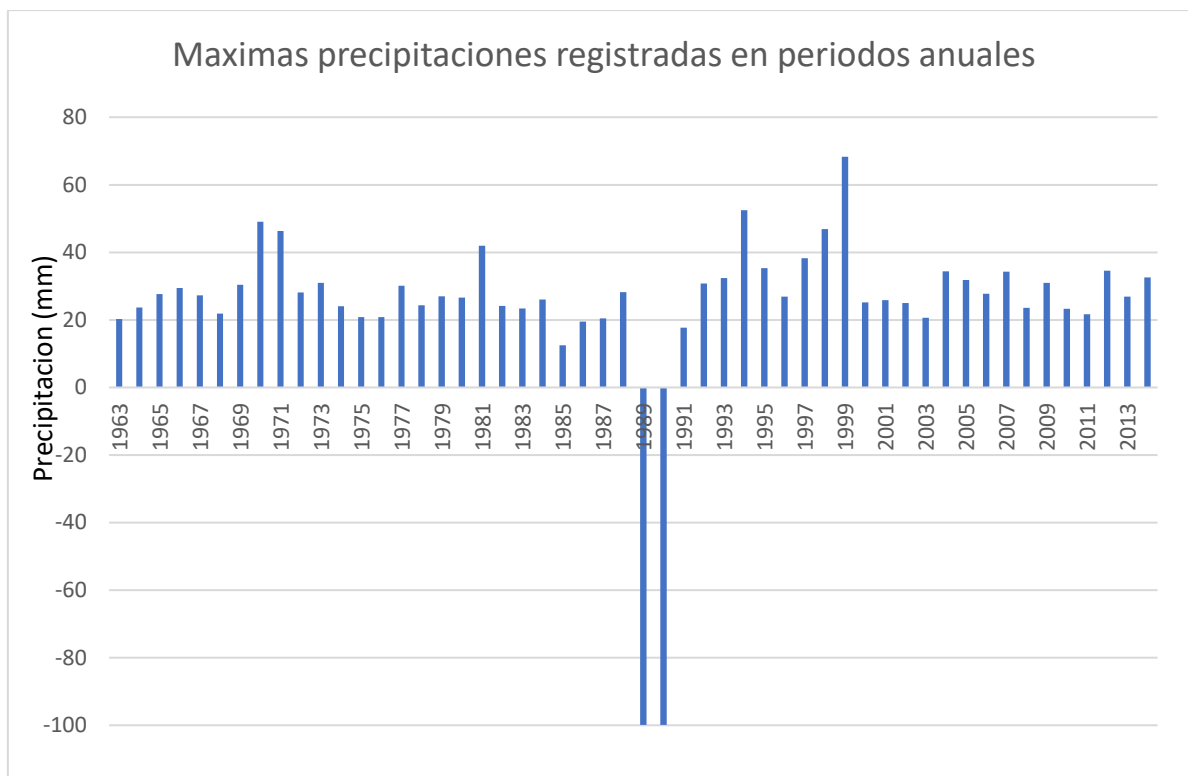


Figura 71: Máximas precipitaciones Registradas por la estación Quebrada Colpa – Chirimoyo por periodo anual .

Fuente ANA.

Elaboración propia

2.3.2.4.1.2. Determinación de Hietograma

A) Calculo de precipitaciones diarias máximas

Tabla 19: Distribución de probabilidades pluviométricas mediante Gumbel.

Nº	Año	Precipitación (mm)	
		x_i	$(x_i - x)^2$
1	1963	20.30	17.414571
2	1964	23.70	0.59764793
3	1965	27.60	9.77764793
4	1966	29.40	24.274571
5	1967	27.30	7.99149408
6	1968	21.90	6.62072485
7	1969	30.40	35.1284172
8	1970	49.10	606.48534
9	1971	46.30	476.414571
10	1972	28.10	13.154571
11	1973	31.00	42.6007249

12	1974	24.00	0.22380178
13	1975	20.80	13.4914941
14	1976	20.80	13.4914941
15	1977	30.10	31.6622633
16	1978	24.30	0.02995562
17	1979	27.00	6.38534024
18	1980	26.60	4.52380178
19	1981	42.00	307.193033
20	1982	24.10	0.13918639
21	1983	23.40	1.15149408
22	1984	26.00	2.33149408
23	1985	12.50	143.354571
24	1986	19.50	24.7314941
25	1987	20.40	16.5899556
26	1988	28.20	13.8899556
27	1989	-99.90	15468.6623
28	1990	-99.90	15468.6623
29	1991	17.70	45.874571
30	1992	30.80	40.0299556
31	1993	32.40	62.8361095
32	1994	52.50	785.508417
33	1995	35.30	117.222263
34	1996	26.90	5.88995562
35	1997	38.30	191.183802
36	1998	46.90	502.966879
37	1999	68.30	1920.79919
38	2000	25.20	0.52841716
39	2001	25.80	1.76072485
40	2002	25.00	0.27764793
41	2003	20.60	15.0007249
42	2004	34.40	98.5438018
43	2005	31.80	53.6838018
44	2006	27.70	10.4130325
45	2007	34.30	96.5684172
46	2008	23.60	0.76226331
47	2009	31.00	42.6007249
48	2010	23.30	1.37610947
49	2011	21.70	7.68995562
50	2012	34.60	102.554571
51	2013	26.90	5.88995562
52	2014	32.60	66.0468787
52		1272.6	36933.0

Tabla 22: Precipitaciones máximas para diferentes tiempos de duración de lluvias

Tiempo de Duración	Cociente	Precipitación máxima Pd (mm) por tiempos de duración						
		2 años	5 años	10 años	25 años	50 años	100 años	500 años
24 hr	X24	22.6592	49.5325	67.3249	89.8057	106.4832	123.0375	161.2922
18 hr	X18 = 91%	20.3933	44.5792	60.5924	70.9465	95.8349	110.7338	145.1630
12 hr	X12 = 80%	17.9008	39.1307	53.1867	70.9465	84.1217	97.1997	127.4208
8 hr	X8 = 68%	14.5019	31.7008	43.0879	57.4756	68.1492	78.7440	103.2270
6 hr	X6 = 61%	12.6892	27.7382	37.7019	50.2912	59.6306	68.9010	90.3236
5 hr	X5 = 57%	11.3296	24.7662	33.6624	44.9028	53.2416	61.5188	80.6461
4 hr	X4 = 52%	9.9701	21.7943	29.6230	39.5145	46.8526	54.1365	70.9686
3 hr	X3 = 46%	8.6105	18.8223	25.5835	34.1262	40.4636	46.7543	61.2910
2 hr	X2 = 39%	7.0244	15.3551	20.8707	27.8398	33.0098	38.1416	50.0006
1 hr	X1 = 30%	5.6648	12.3831	16.8312	22.4514	26.6208	30.7594	40.3230

Tabla 23: Intensidades de lluvia a partir de Pd, según duración de precipitación y frecuencia de la misma

Tiempo de duración		Intensidad de la lluvia (mm /hr) según el Periodo de Retorno						
Hr	min	2 años	5 años	10 años	25 años	50 años	100 años	500 años
24 hr	1440	0.9441	2.0639	2.8052	3.7419	4.4368	5.1266	6.7205
18 hr	1080	1.1330	2.4766	3.3662	3.9415	5.3242	6.1519	8.0646
12 hr	720	1.4917	3.2609	4.4322	5.9122	7.0101	8.1000	10.6184
8 hr	480	1.8127	3.9626	5.3860	7.1845	8.5187	9.8430	12.9034
6 hr	360	2.1149	4.6230	6.2837	8.3819	9.9384	11.4835	15.0539
5 hr	300	2.2659	4.9532	6.7325	8.9806	10.6483	12.3038	16.1292
4 hr	240	2.4925	5.4486	7.4057	9.8786	11.7131	13.5341	17.7421
3 hr	180	2.8702	6.2741	8.5278	11.3754	13.4879	15.5848	20.4303
2 hr	120	3.5122	7.6775	10.4354	13.9199	16.5049	19.0708	25.0003
1 hr	60	5.6648	12.3831	16.8312	22.4514	26.6208	30.7594	40.3230

$$I = \frac{P [mm]}{t_{duración} [hr]}$$

Representación matemática de las curvas Intensidad – Duración – Periodo de retorno

$$I = \frac{K \cdot T^m}{t^n}$$

En la cual:

I = Intensidad (mm/hr)

t = Duración de la lluvia (min)

T = Período de retorno (años)

K,m,n = Parámetros de ajuste

Realizando un cambio de variable: $d = K \cdot T^m$

Con lo que de la anterior expresión se obtiene:

$$I = \frac{d}{t^n} \Rightarrow I = d \cdot t^{-n}$$

Periodo de retorno para T = 2 años						
Nº	x	y	ln x	ln y	ln x*ln y	(lnx)^2
1	1440	0.9441	7.2724	-0.0575	-0.4181	52.8878
2	1080	1.1330	6.9847	0.1248	0.8719	48.7863
3	720	1.4917	6.5793	0.3999	2.6313	43.2865
4	480	1.8127	6.1738	0.5948	3.6724	38.1156
5	360	2.1149	5.8861	0.7490	4.4086	34.6462
6	300	2.2659	5.7038	0.8180	4.6656	32.5331
7	240	2.4925	5.4806	0.9133	5.0054	30.0374
8	180	2.8702	5.1930	1.0544	5.4753	26.9668
9	120	3.5122	4.7875	1.2562	6.0142	22.9201
10	60	5.6648	4.0943	1.7343	7.1007	16.7637
10	4980	24.3020	58.1555	7.5873	39.4275	346.9435
Ln (d) =	3.8847	d =	48.6528	n =	-0.5375	

Periodo de retorno para T = 5 años						
Nº	x	y	ln x	ln y	ln x*ln y	(lnx)^2
1	1440	2.0639	7.2724	0.7246	5.2694	52.8878
2	1080	2.4766	6.9847	0.9069	6.3344	48.7863
3	720	3.2609	6.5793	1.1820	7.7767	43.2865
4	480	3.9626	6.1738	1.3769	8.5007	38.1156
5	360	4.6230	5.8861	1.5311	9.0119	34.6462
6	300	4.9532	5.7038	1.6000	9.1263	32.5331
7	240	5.4486	5.4806	1.6954	9.2916	30.0374
8	180	6.2741	5.1930	1.8364	9.5365	26.9668
9	120	7.6775	4.7875	2.0383	9.7583	22.9201
10	60	12.3831	4.0943	2.5163	10.3027	16.7637
10	4980	53.1236	58.1555	15.4079	84.9086	346.9435
Ln (d) = 4.6668		d = 106.3536		n = -0.5375		

Periodo de retorno para T = 10 años						
Nº	x	y	ln x	ln y	ln x*ln y	(lnx)^2
1	1440	2.8052	7.2724	1.0315	7.5013	52.8878
2	1080	3.3662	6.9847	1.2138	8.4780	48.7863
3	720	4.4322	6.5793	1.4889	9.7959	43.2865
4	480	5.3860	6.1738	1.6838	10.3954	38.1156
5	360	6.2837	5.8861	1.8380	10.8184	34.6462
6	300	6.7325	5.7038	1.9069	10.8768	32.5331
7	240	7.4057	5.4806	2.0023	10.9736	30.0374
8	180	8.5278	5.1930	2.1433	11.1302	26.9668
9	120	10.4354	4.7875	2.3452	11.2276	22.9201
10	60	16.8312	4.0943	2.8232	11.5593	16.7637
10	4980	72.2059	58.1555	18.4769	102.7566	346.9435
Ln (d) = 4.9737		d = 144.5566		n = -0.5375		

Periodo de retorno para T = 25 años						
Nº	x	y	ln x	ln y	ln x*ln y	(lnx)^2
1	1440	3.7419	7.2724	1.3196	9.5966	52.8878
2	1080	3.9415	6.9847	1.3716	9.5799	48.7863
3	720	5.9122	6.5793	1.7770	11.6915	43.2865
4	480	7.1845	6.1738	1.9719	12.1742	38.1156
5	360	8.3819	5.8861	2.1261	12.5143	34.6462
6	300	8.9806	5.7038	2.1951	12.5202	32.5331
7	240	9.8786	5.4806	2.2904	12.5527	30.0374
8	180	11.3754	5.1930	2.4315	12.6264	26.9668
9	120	13.9199	4.7875	2.6333	12.6070	22.9201
10	60	22.4514	4.0943	3.1114	12.7390	16.7637
10	4980	95.7678	58.1555	21.2277	118.6017	346.9435
Ln (d) = 5.3502		d = 210.6496		n = -0.5550		

Periodo de retorno para T = 50 años						
Nº	x	y	ln x	ln y	ln x*ln y	(lnx)^2
1	1440	4.4368	7.2724	1.4899	10.8354	52.8878
2	1080	5.3242	6.9847	1.6723	11.6802	48.7863
3	720	7.0101	6.5793	1.9474	12.8122	43.2865
4	480	8.5187	6.1738	2.1423	13.2258	38.1156
5	360	9.9384	5.8861	2.2964	13.5169	34.6462
6	300	10.6483	5.7038	2.3654	13.4917	32.5331
7	240	11.7131	5.4806	2.4607	13.4863	30.0374
8	180	13.4879	5.1930	2.6018	13.5110	26.9668
9	120	16.5049	4.7875	2.8037	13.4225	22.9201
10	60	26.6208	4.0943	3.2817	13.4364	16.7637
10	4980	114.2032	58.1555	23.0615	129.4184	346.9435
Ln (d) = 5.4321		d = 228.6353		n = -0.5375		

Periodo de retorno para T = 100 años						
Nº	x	y	ln x	ln y	ln x*ln y	(lnx)^2
1	1440	5.1266	7.2724	1.6344	11.8863	52.8878
2	1080	6.1519	6.9847	1.8168	12.6895	48.7863
3	720	8.1000	6.5793	2.0919	13.7629	43.2865
4	480	9.8430	6.1738	2.2868	14.1180	38.1156
5	360	11.4835	5.8861	2.4409	14.3675	34.6462
6	300	12.3038	5.7038	2.5099	14.3159	32.5331
7	240	13.5341	5.4806	2.6052	14.2782	30.0374
8	180	15.5848	5.1930	2.7463	14.2614	26.9668
9	120	19.0708	4.7875	2.9482	14.1143	22.9201
10	60	30.7594	4.0943	3.4262	14.0280	16.7637
10	4980	131.9578	58.1555	24.5065	137.8220	346.9435
Ln (d) = 5.5766		d = 264.1800		n = -0.5375		

Periodo de retorno para T = 500 años						
Nº	x	y	ln x	ln y	ln x*ln y	(lnx)^2
1	1440	6.7205	7.2724	1.9052	13.8551	52.8878
2	1080	8.0646	6.9847	2.0875	14.5805	48.7863
3	720	10.6184	6.5793	2.3626	15.5441	43.2865
4	480	12.9034	6.1738	2.5575	15.7894	38.1156
5	360	15.0539	5.8861	2.7116	15.9610	34.6462
6	300	16.1292	5.7038	2.7806	15.8601	32.5331
7	240	17.7421	5.4806	2.8759	15.7620	30.0374
8	180	20.4303	5.1930	3.0170	15.6673	26.9668
9	120	25.0003	4.7875	3.2189	15.4104	22.9201
10	60	40.3230	4.0943	3.6969	15.1365	16.7637
10	4980	172.9859	58.1555	27.2138	153.5663	346.9435
Ln (d) = 5.8474		d = 346.3183		n = -0.5375		

Resumen de aplicación de regresión potencial		
Periodo de Retorno (años)	Término ctte. de regresión (d)	Coef. de regresión [n]
2	48.65278110565	-0.53752143702
5	106.35361350320	-0.53752143702
10	144.55658526547	-0.53752143702
25	210.64964176494	-0.55496493933
50	228.63525550781	-0.53752143702
100	264.17996077653	-0.53752143702
500	346.31834847651	-0.53752143702
Promedio =	192.76374091430	-0.54001336592

En función del cambio de variable realizado, se realiza otra regresión de potencia entre las columnas del periodo de retorno (T) y el termino constante de regresión (d), para obtener valores de la ecuación.

$$d = K \cdot T^m$$

Regresión potencial						
Nº	x	y	ln x	ln y	ln x*ln y	(lnx)^2
1	2	48.6528	0.6931	3.8847	2.6927	0.4805
2	5	106.3536	1.6094	4.6668	7.5109	2.5903
3	10	144.5566	2.3026	4.9737	11.4523	5.3019
4	25	210.6496	3.2189	5.3502	17.2216	10.3612
5	50	228.6353	3.9120	5.4321	21.2506	15.3039
6	100	264.1800	4.6052	5.5766	25.6813	21.2076
7	500	346.3183	6.2146	5.8474	36.3390	38.6214
7	692	1349.3462	22.5558	35.7315	122.1485	93.8667
Ln (K) = 4.0380		K = 56.7107		m = 0.3310		

Termino constante de regresión (K) = 56.7107
Coef. de regresión (m) = 0.330989

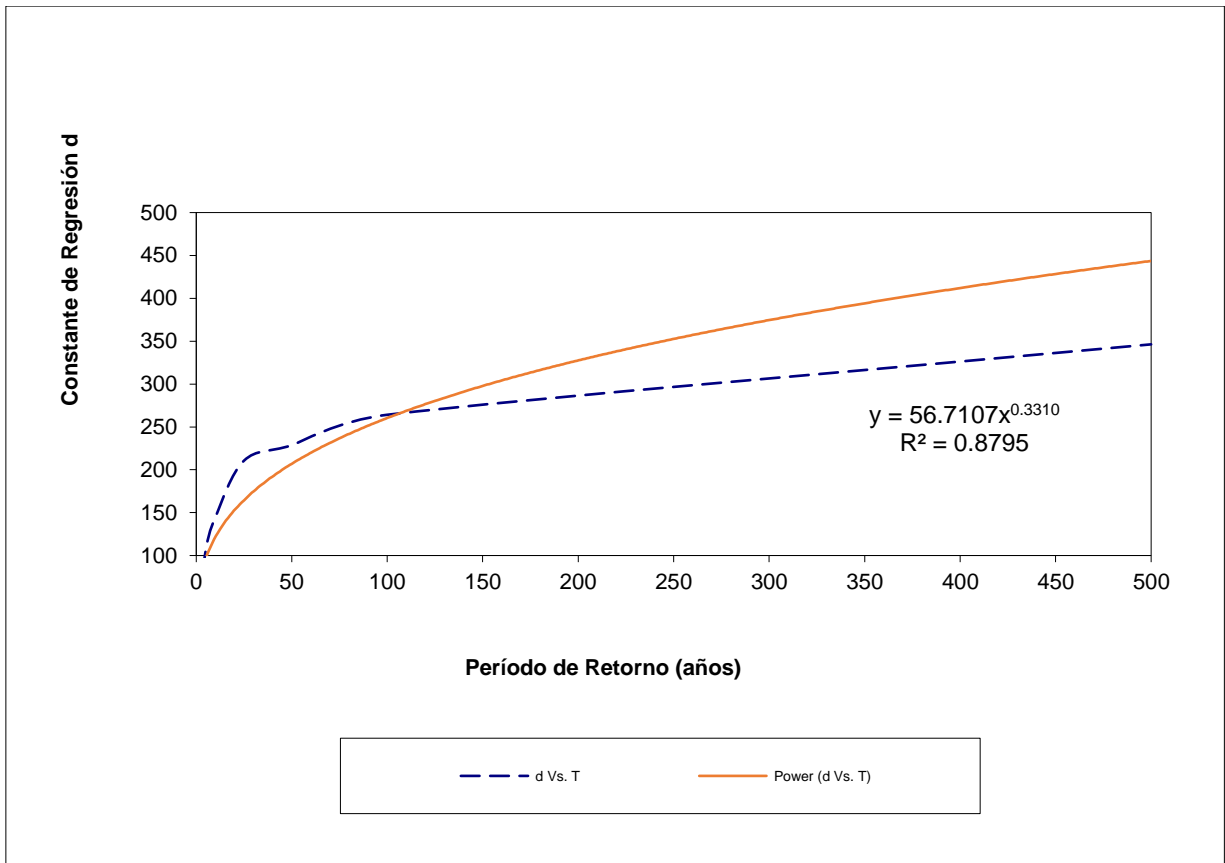


Figura 72: Gráfico periodo de retorno vs corriente de regresión d .

La ecuación válida para la cuenca resulta:

$$I = \frac{56.7107 * T^{0.330989}}{0.54001 t}$$

Donde:

I = intensidad de preicpitacion (mm/hr)

T = Periodo de retorno (años)

t = tiempo de duración de precipitación (min)

Tabla de intensidades - Tiempo de duración												
Frecuencia años	Duración en minutos											
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
2	29.91	20.57	16.53	14.15	12.54	11.37	10.46	9.73	9.13	8.63	8.19	7.82
5	40.51	27.86	22.38	19.16	16.99	15.39	14.16	13.18	12.37	11.68	11.10	10.59
10	50.96	35.05	28.15	24.10	21.37	19.36	17.82	16.58	15.56	14.70	13.96	13.32
25	69.01	47.46	38.13	32.64	28.94	26.22	24.13	22.45	21.07	19.90	18.90	18.04
50	86.81	59.70	47.96	41.06	36.40	32.99	30.35	28.24	26.50	25.03	23.78	22.69
100	109.19	75.10	60.33	51.65	45.79	41.49	38.18	35.52	33.33	31.49	29.91	28.54
500	186.01	127.93	102.78	87.99	78.00	70.69	65.04	60.51	56.79	53.64	50.95	48.61

Curvas IDF de la cuenca

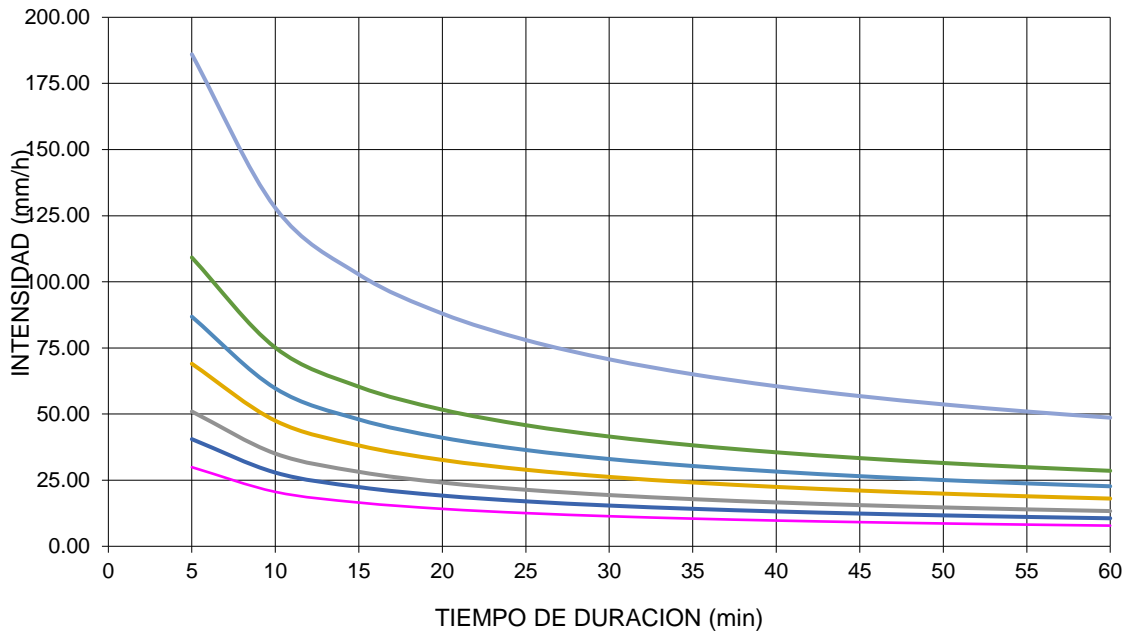


Figura 73: Grafico periodo de retorno vs corriente de regresión d .

Curvas IDF de la cuenca 50 Años Periodo de Retorno

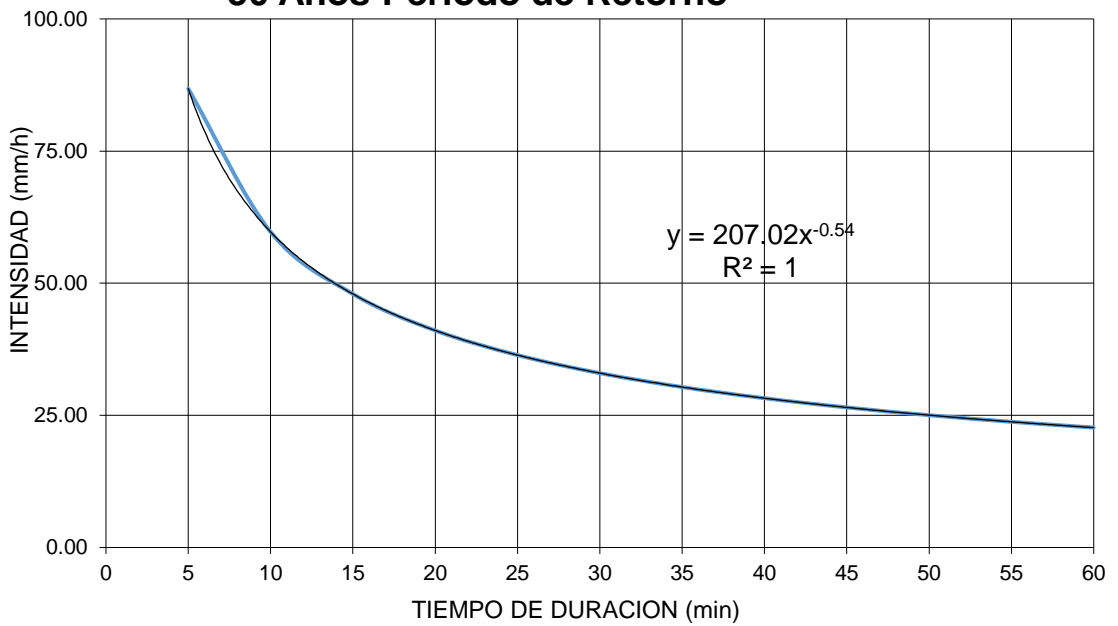


Figura 74: Curva IDF para el periodo de retorno de 50 años .

Tabla 24: Valores de intensidad de precipitación según Duración de la misma y frecuencia de repetición

Duración (minutos)	Periodo de retorno (años)						
	2	5	10	25	50	100	500
5	29.91	40.51	50.96	69.01	86.81	109.19	186.01
10	20.57	27.86	35.05	47.46	59.70	75.10	127.93
15	16.53	22.38	28.15	38.13	47.96	60.33	102.78
20	14.15	19.16	24.10	32.64	41.06	51.65	87.99
25	12.54	16.99	21.37	28.94	36.40	45.79	78.00
30	11.37	15.39	19.36	26.22	32.99	41.49	70.69
35	10.46	14.16	17.82	24.13	30.35	38.18	65.04
40	9.73	13.18	16.58	22.45	28.24	35.52	60.51
45	9.13	12.37	15.56	21.07	26.50	33.33	56.79
50	8.63	11.68	14.70	19.90	25.03	31.49	53.64
55	8.19	11.10	13.96	18.90	23.78	29.91	50.95
60	7.82	10.59	13.32	18.04	22.69	28.54	48.61
65	7.49	10.14	12.75	17.27	21.73	27.33	46.56
70	7.19	9.74	12.25	16.60	20.88	26.26	44.73
75	6.93	9.39	11.81	15.99	20.11	25.30	43.10
80	6.69	9.06	11.40	15.44	19.42	24.43	41.62
85	6.48	8.77	11.03	14.94	18.80	23.64	40.28
90	6.28	8.51	10.70	14.49	18.23	22.93	39.05
95	6.10	8.26	10.39	14.07	17.70	22.27	37.93
100	5.93	8.04	10.11	13.69	17.22	21.66	36.89
105	5.78	7.83	9.84	13.33	16.77	21.09	35.94
110	5.64	7.63	9.60	13.00	16.35	20.57	35.04
115	5.50	7.45	9.37	12.69	15.97	20.08	34.21
120	5.38	7.28	9.16	12.40	15.60	19.63	33.44
125	5.26	7.12	8.96	12.13	15.26	19.20	32.71
130	5.15	6.97	8.77	11.88	14.94	18.80	32.02
135	5.05	6.83	8.59	11.64	14.64	18.42	31.38
140	4.95	6.70	8.43	11.41	14.36	18.06	30.76
145	4.85	6.57	8.27	11.20	14.09	17.72	30.19
150	4.77	6.46	8.12	11.00	13.83	17.40	29.64
155	4.68	6.34	7.98	10.80	13.59	17.09	29.12
160	4.60	6.23	7.84	10.62	13.36	16.80	28.62
165	4.53	6.13	7.71	10.44	13.14	16.53	28.15
170	4.45	6.03	7.59	10.28	12.93	16.26	27.70
175	4.39	5.94	7.47	10.12	12.73	16.01	27.27
180	4.32	5.85	7.36	9.97	12.54	15.77	26.86

Figura 75: Curva IDF – Según periodo de retorno y tiempo de duración.

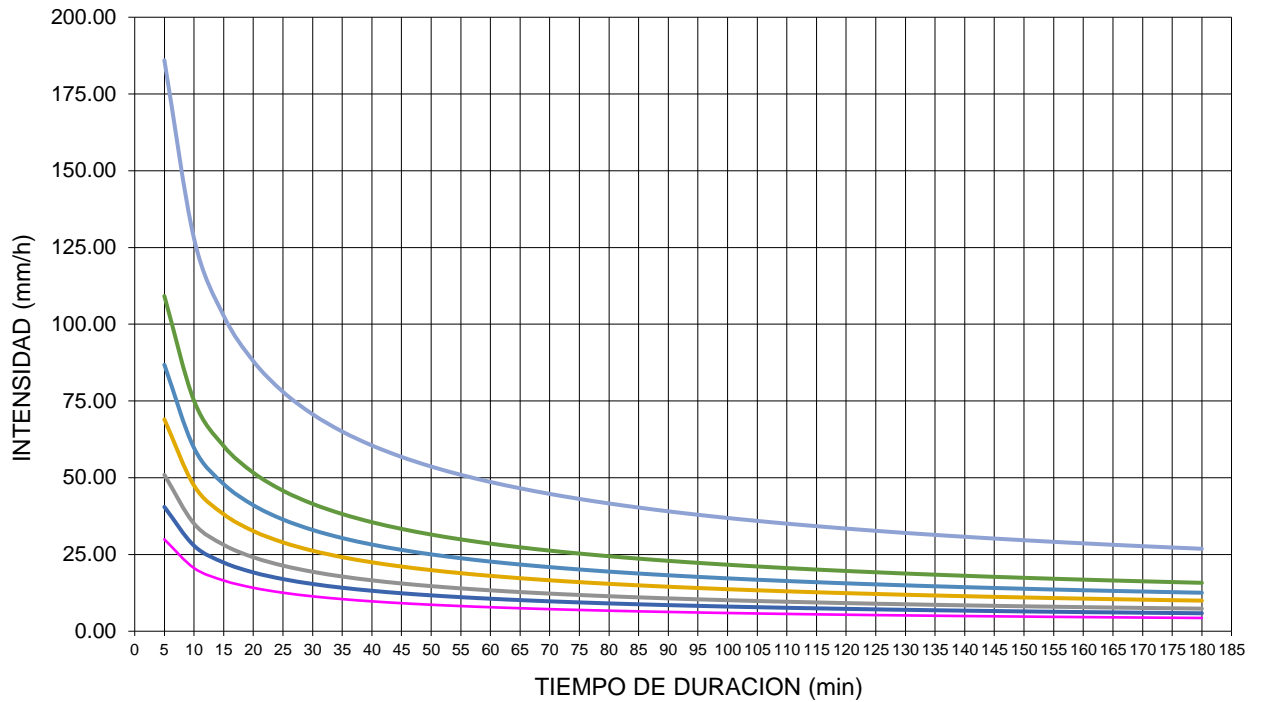


Tabla 25: Valores para determinación de Hietograma en un periodo de retorno de 50 años

HIETOGRAMA PARA PERIODO RETORNO 50 AÑOS						
Duración de la tormenta (h)		2.512142167	150.72853	min		
Intensidad de lluvia (mm/h)		12.54				
Precipitación en 24 horas (mm)		31.49				
Intervalos de tiempo (min)		5				
Instante (min)	Intensidad (mm/h)	Precipitación acumulada (mm)	Precipitación (mm)	Intensidad parcial (mm/h)	Precipitación Alternada (mm)	Int. Parcial Alternada (mm)
5	86.81	7.23	7.23	86.81	0.49	5.90
10	59.70	9.95	2.72	32.60	0.51	6.09
15	47.96	11.99	2.04	24.48	0.53	6.31
20	41.06	13.69	1.70	20.36	0.55	6.54
25	36.40	15.17	1.48	17.75	0.57	6.80
30	32.99	16.49	1.33	15.92	0.59	7.10
35	30.35	17.71	1.21	14.54	0.62	7.43
40	28.24	18.83	1.12	13.46	0.65	7.82
45	26.50	19.88	1.05	12.58	0.69	8.26

50	25.03	20.86	0.99	11.84	0.73	8.79
55	23.78	21.80	0.93	11.22	0.79	9.42
60	22.69	22.69	0.89	10.68	0.85	10.21
65	21.73	23.54	0.85	10.21	0.93	11.22
70	20.88	24.35	0.82	9.79	1.05	12.58
75	20.11	25.14	0.79	9.42	1.21	14.54
80	19.42	25.90	0.76	9.09	1.48	17.75
85	18.80	26.63	0.73	8.79	2.04	24.48
90	18.23	27.34	0.71	8.51	7.23	86.81
95	17.70	28.03	0.69	8.26	2.72	32.60
100	17.22	28.70	0.67	8.03	1.70	20.36
105	16.77	29.35	0.65	7.82	1.33	15.92
110	16.35	29.98	0.63	7.62	1.12	13.46
115	15.97	30.60	0.62	7.43	0.99	11.84
120	15.60	31.21	0.60	7.26	0.89	10.68
125	15.26	31.80	0.59	7.10	0.82	9.79
130	14.94	32.38	0.58	6.95	0.76	9.09
135	14.64	32.94	0.57	6.80	0.71	8.51
140	14.36	33.50	0.56	6.67	0.67	8.03
145	14.09	34.05	0.55	6.54	0.63	7.62
150	13.83	34.58	0.54	6.42	0.60	7.26
155	13.59	35.11	0.53	6.31	0.58	6.95
160	13.36	35.62	0.52	6.20	0.56	6.67
165	13.14	36.13	0.51	6.09	0.54	6.42
170	12.93	36.63	0.50	5.99	0.52	6.20
175	12.73	37.12	0.49	5.90	0.50	5.99
180	12.54	37.61	0.48	5.81	0.48	5.81

Figura 76: Curva IDF T50.

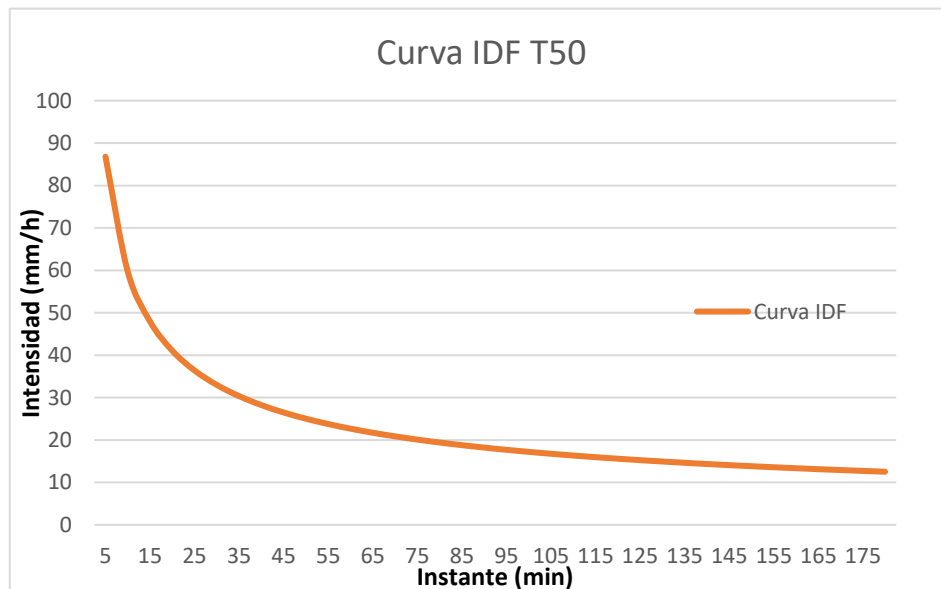
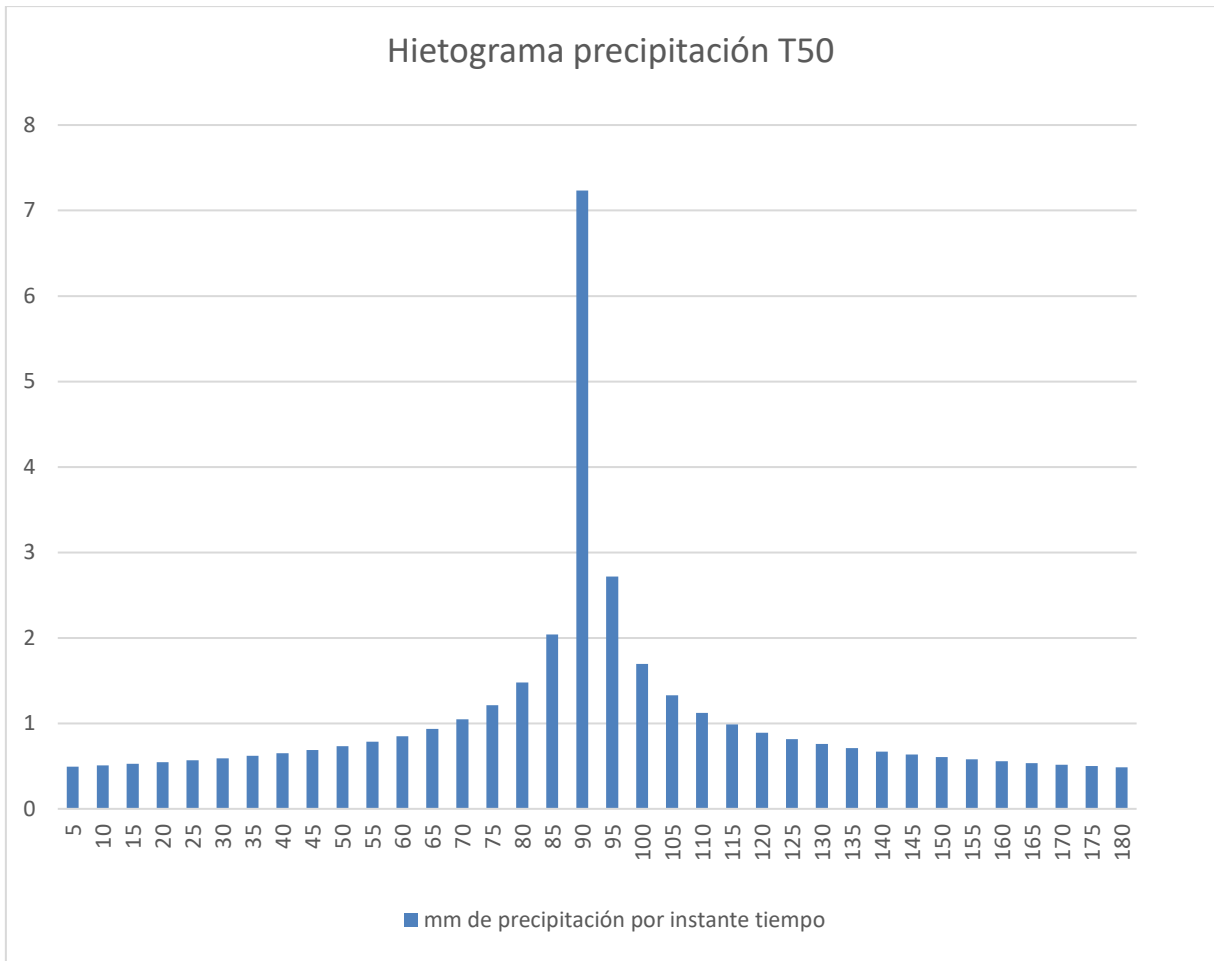


Figura 77: Hietograma para determinación de caudal de diseño.



2.3.2.4.1.3. 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

Tabla 26: Parámetros morfométricos determinados para Cuenca Huarichaca

Area Aportante	Longitud del Afluente (L) (m)	Cota Máxima (m.s.n.m.)	Cota mínima (m.s.n.m.)	Desnivel máximo (m)	Pendiente (S) (m/m)	Pendiente (%)	Área (Km2)	Perímetro (Km.)
	22575.7774	4365	3454	911	0.040	4.0	98.232187	79.35

Fuente: Elaboración Propia

Kirpich

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

$$Tc = 2.5143 \text{ hr} = 150.86 \text{ min}$$

SCS

$$Tlag = 0.35 * Tc = 0.35 * 150.86 = 52.80$$

2.3.2.4.1.4. Basin Models

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

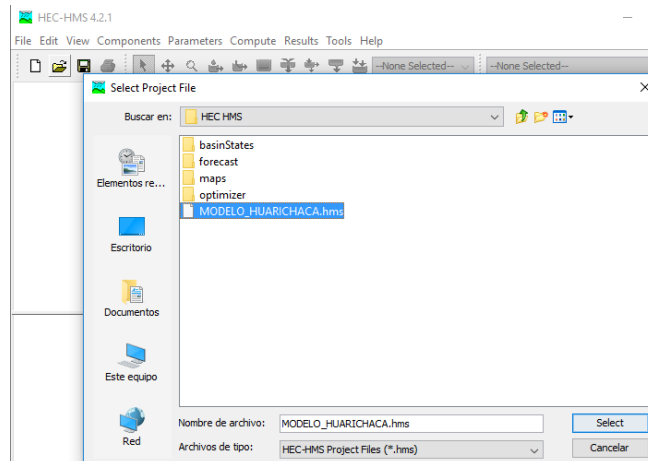


Figura 78: Selección del proyecto en HEC-HMS

Se adicionan los archivos shape **River49.shp** y **Subbasin49.shp** generados con la herramienta **Background Shape File** en **ArcMap**. se selecciona **View /BackgroundMaps / Add**.

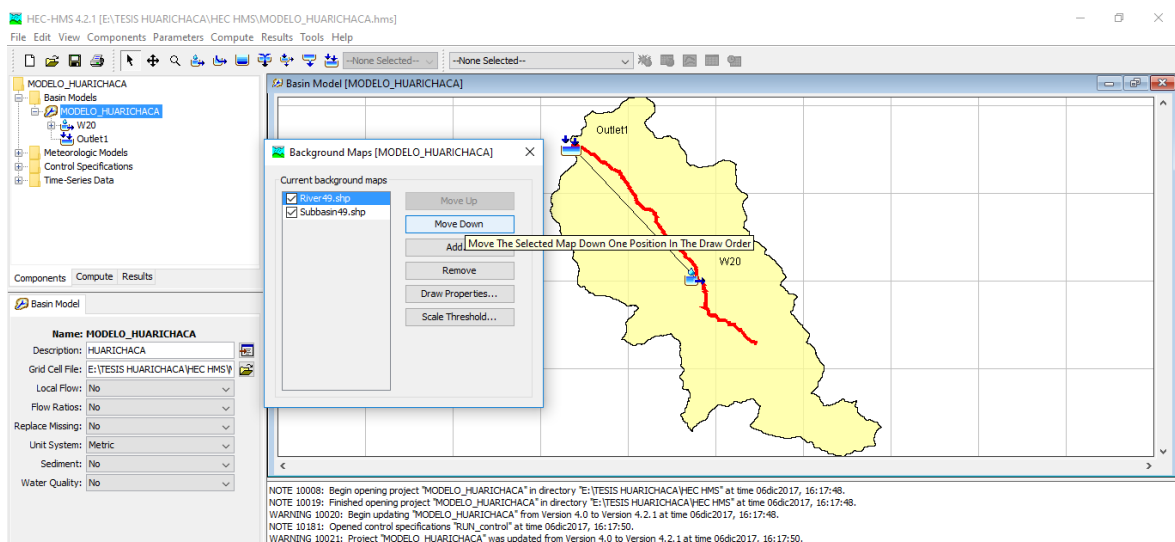


Figura 79: Importación de Background Maps a HEC-HMS

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 **Outlet 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. **Subbasin /Loss Method / SCS Curve Number**; asimismo, para transformar la precipitación neta en caudal, se escoge en **Subbasin /Transform Method /SCS Unit Hydrograph**,

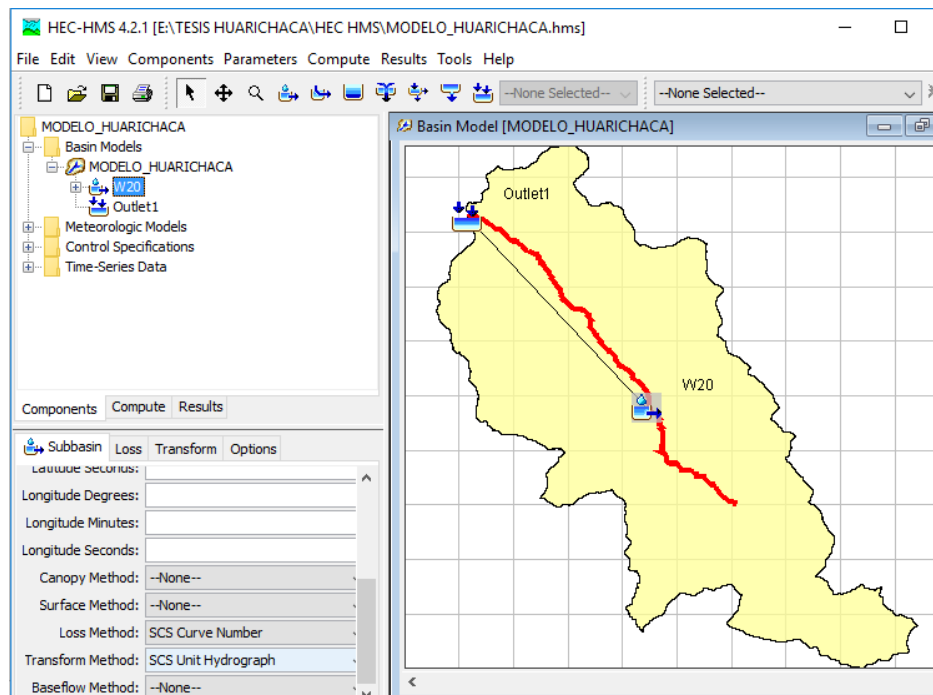


Figura 80: Selección del método del SCS en HEC-HMS

Se selecciona en **Loss/Curve Number**, el número de curva es de 77 es calculado e importado desde **ArcMap** y se ingresa de manera automática en **HEC-HMS**.

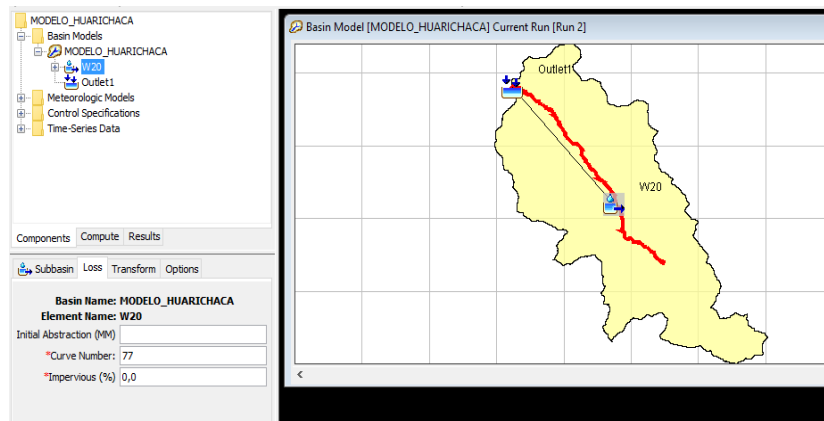


Figura 81: Numero de curva

Se selecciona en **Transform / Lag Time(MIN)**, de acuerdo con los datos obtenidos del análisis es de 52,8 min.

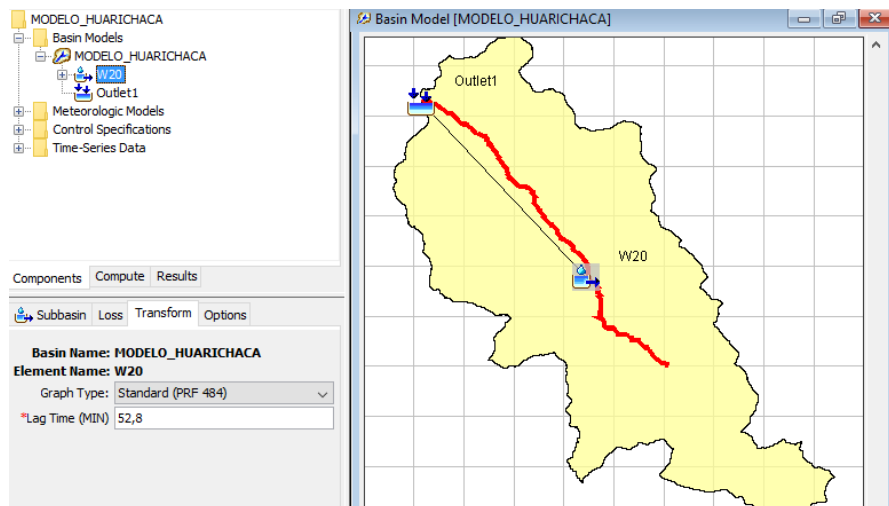


Figura 82: Tiempo de Retraso

2.3.2.4.1.5. Meteorologic Models

En la sesion de **HEC-HMS** ; en el diagrama de informacion del modelo se ingresa en **MODELO_HUARICHACA / Meteorology Model /Replace Missing** se selecciona **Set To Default** . 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 informacion del modelo ,se selecciona en **Specified Hyetograph/Gage** se ingresa **Precip Gage 1**.

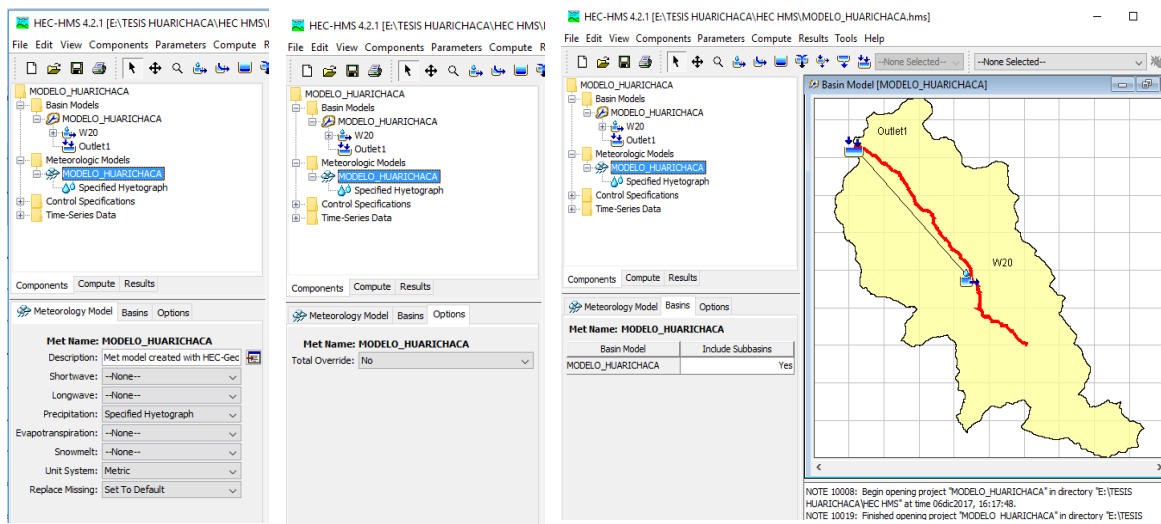


Figura 83: Modelo Meteorológico

2.3.2.4.1.6. Control Specifications

En el proyecto 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. Aquí también se especifica el intervalo de tiempo, el cual determina la resolución del hidrógrama 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**

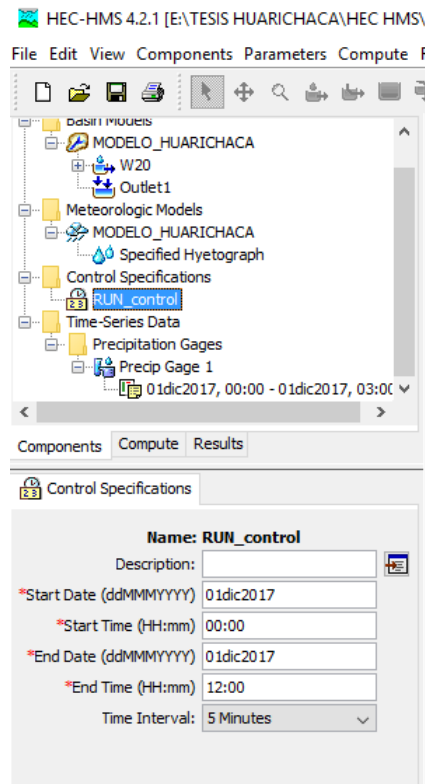


Figura 84: Especificaciones de control

2.3.2.4.1.7. Time – Series Data

En el proyecto 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.

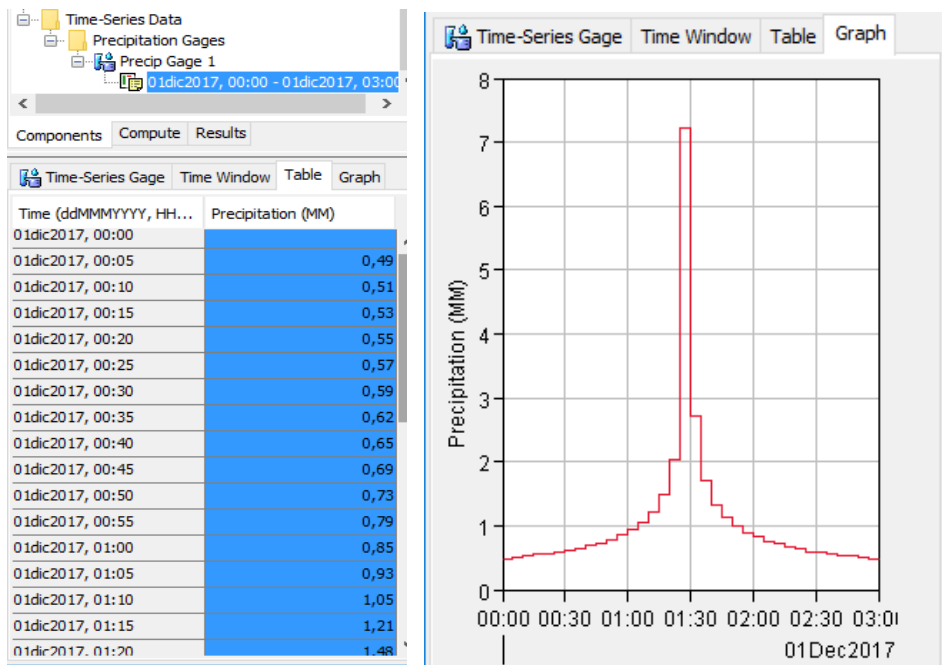
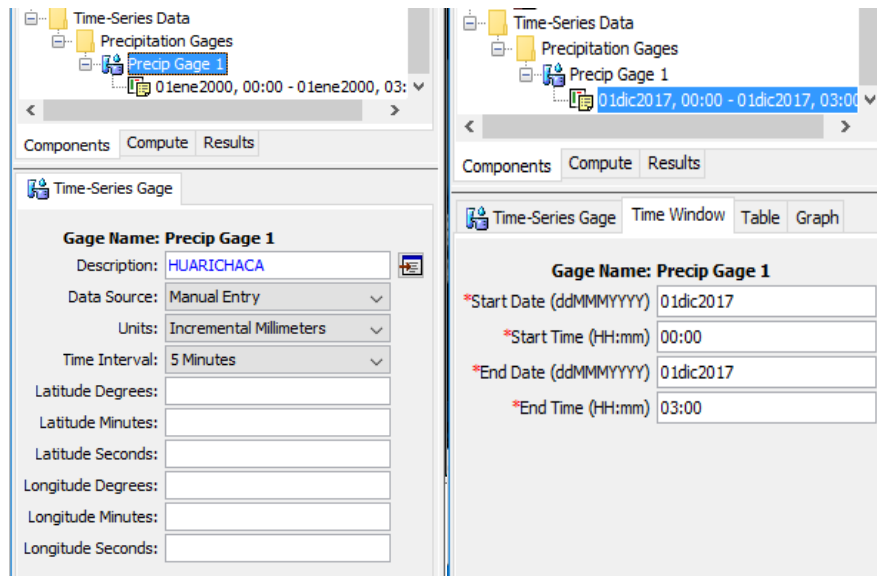


Figura 85: Datos de precipitación

2.3.2.4.1.8. 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.

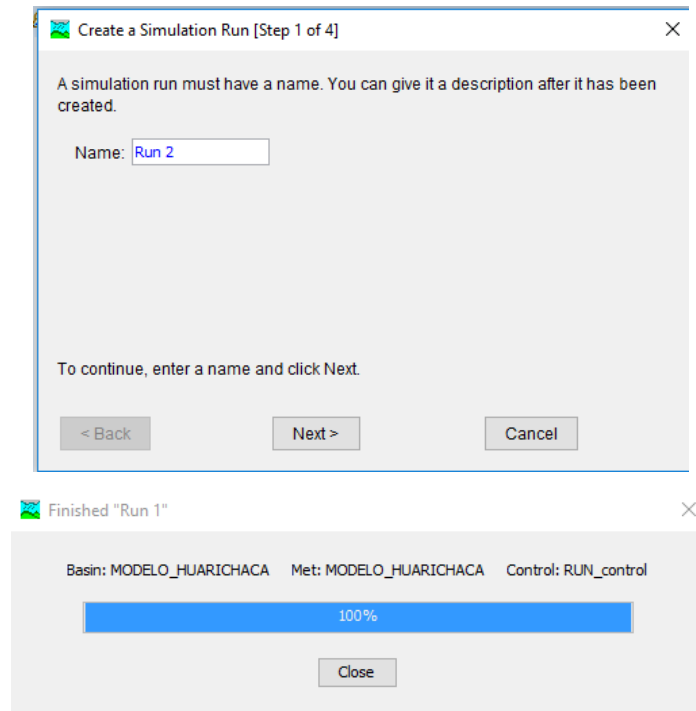


Figura 86: Ejecución de la simulación del modelo en HEC-HMS

2.3.2.4.1.9. Análisis de resultados

En el proyecto 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.

Project: MODELO_HUARICHACA Simulation Run: Run 2

Start of Run: 01dic2017, 00:00 Basin Model: MODELO_HUARICHACA
 End of Run: 01dic2017, 12:00 Meteorologic Model: MODELO_HUARICHACA
 Compute Time: 12dic2017, 15:19:13 Control Specifications: RUN_control

Show Elements: All Elements Volume Units: MM 1000 M3 Sorting: Hydrologic

Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (MM)
W20	98,232	72,9	01dic2017, 03:00	5,13
Outlet1	98,232	72,9	01dic2017, 03:00	5,13

Figura 87: Caudal y Volumen para Avenida de Diseño

En el proyecto 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.

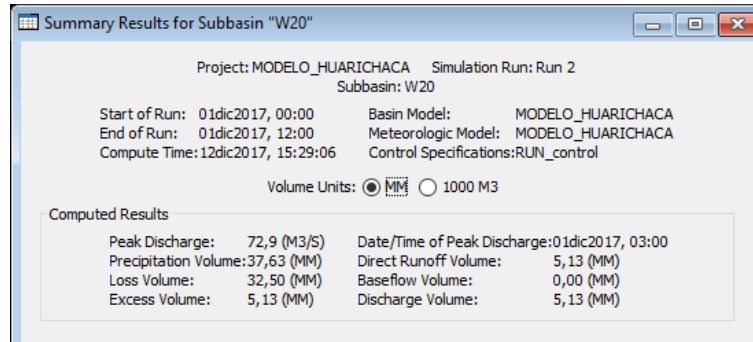


Figura 88: Resumen de resultados de la simulación

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

Time-Series Results for Subbasin "W20"

Project: MODELO_HUARICHACA Simulation Run: Run 2
Subbasin: W20

Start of Run: 01dic2017, 00:00 Basin Model: MODELO_HUARICHACA
End of Run: 01dic2017, 12:00 Meteorologic Model: MODELO_HUARICHACA
Compute Time: 06dic2017, 16:56:07 Control Specifications: RUN_control

Date	Time	Precip (MM)	Loss (MM)	Excess (MM)	Direct Flow (M3/S)	Baseflow (M3/S)	Total Flow (M3/S)
01dic2017	00:00				0,0	0,0	0,0
01dic2017	00:05	0,49	0,49	0,00	0,0	0,0	0,0
01dic2017	00:10	0,51	0,51	0,00	0,0	0,0	0,0
01dic2017	00:15	0,53	0,53	0,00	0,0	0,0	0,0
01dic2017	00:20	0,55	0,55	0,00	0,0	0,0	0,0
01dic2017	00:25	0,57	0,57	0,00	0,0	0,0	0,0
01dic2017	00:30	0,59	0,59	0,00	0,0	0,0	0,0
01dic2017	00:35	0,62	0,62	0,00	0,0	0,0	0,0
01dic2017	00:40	0,65	0,65	0,00	0,0	0,0	0,0
01dic2017	00:45	0,69	0,69	0,00	0,0	0,0	0,0
01dic2017	00:50	0,73	0,73	0,00	0,0	0,0	0,0
01dic2017	00:55	0,79	0,79	0,00	0,0	0,0	0,0
01dic2017	01:00	0,85	0,85	0,00	0,0	0,0	0,0
01dic2017	01:05	0,93	0,93	0,00	0,0	0,0	0,0
01dic2017	01:10	1,05	1,05	0,00	0,0	0,0	0,0
01dic2017	01:15	1,21	1,17	0,04	0,0	0,0	0,0
01dic2017	01:20	1,48	1,36	0,12	0,1	0,0	0,1
01dic2017	01:25	2,04	1,75	0,29	0,5	0,0	0,5
01dic2017	01:30	7,23	5,22	2,01	2,3	0,0	2,3
01dic2017	01:35	2,72	1,65	1,07	6,4	0,0	6,4
01dic2017	01:40	1,70	0,96	0,74	12,8	0,0	12,8
01dic2017	01:45	1,33	0,72	0,61	21,7	0,0	21,7
01dic2017	01:50	1,12	0,58	0,54	33,7	0,0	33,7
01dic2017	01:55	0,99	0,50	0,49	49,1	0,0	49,1
01dic2017	02:00	0,89	0,43	0,46	66,8	0,0	66,8
01dic2017	02:05	0,82	0,39	0,43	84,7	0,0	84,7
01dic2017	02:10	0,76	0,35	0,41	101,4	0,0	101,4
01dic2017	02:15	0,71	0,32	0,39	116,0	0,0	116,0
01dic2017	02:20	0,67	0,30	0,37	128,1	0,0	128,1
01dic2017	02:25	0,63	0,28	0,35	138,1	0,0	138,1
01dic2017	02:30	0,60	0,26	0,34	145,1	0,0	145,1
01dic2017	02:35	0,58	0,25	0,33	149,6	0,0	149,6
01dic2017	02:40	0,56	0,23	0,33	152,2	0,0	152,2
01dic2017	02:45	0,54	0,22	0,32	152,6	0,0	152,6
01dic2017	02:50	0,52	0,21	0,31	150,7	0,0	150,7
01dic2017	02:55	0,50	0,20	0,30	147,0	0,0	147,0
01dic2017	03:00	0,48	0,19	0,29	142,8	0,0	142,8
01dic2017	03:05	0,00	0,00	0,00	138,8	0,0	138,8
01dic2017	03:10	0,00	0,00	0,00	134,4	0,0	134,4
01dic2017	03:15	0,00	0,00	0,00	129,6	0,0	129,6
01dic2017	03:20	0,00	0,00	0,00	124,4	0,0	124,4
01dic2017	03:25	0,00	0,00	0,00	118,6	0,0	118,6
01dic2017	03:30	0,00	0,00	0,00	111,8	0,0	111,8
01dic2017	03:35	0,00	0,00	0,00	104,1	0,0	104,1
01dic2017	03:40	0,00	0,00	0,00	95,8	0,0	95,8
01dic2017	03:45	0,00	0,00	0,00	87,2	0,0	87,2
01dic2017	03:50	0,00	0,00	0,00	78,6	0,0	78,6
01dic2017	03:55	0,00	0,00	0,00	70,1	0,0	70,1
01dic2017	04:00	0,00	0,00	0,00	61,9	0,0	61,9
01dic2017	04:05	0,00	0,00	0,00	54,2	0,0	54,2
01dic2017	04:10	0,00	0,00	0,00	47,1	0,0	47,1
01dic2017	04:15	0,00	0,00	0,00	40,7	0,0	40,7
01dic2017	04:20	0,00	0,00	0,00	34,9	0,0	34,9
01dic2017	04:25	0,00	0,00	0,00	29,9	0,0	29,9

Figura 89: 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 hidrógrama resultante de la

simulación para el flujo base y flujo de salida., además se puede apreciar el Hietograma de la precipitación e infiltración.

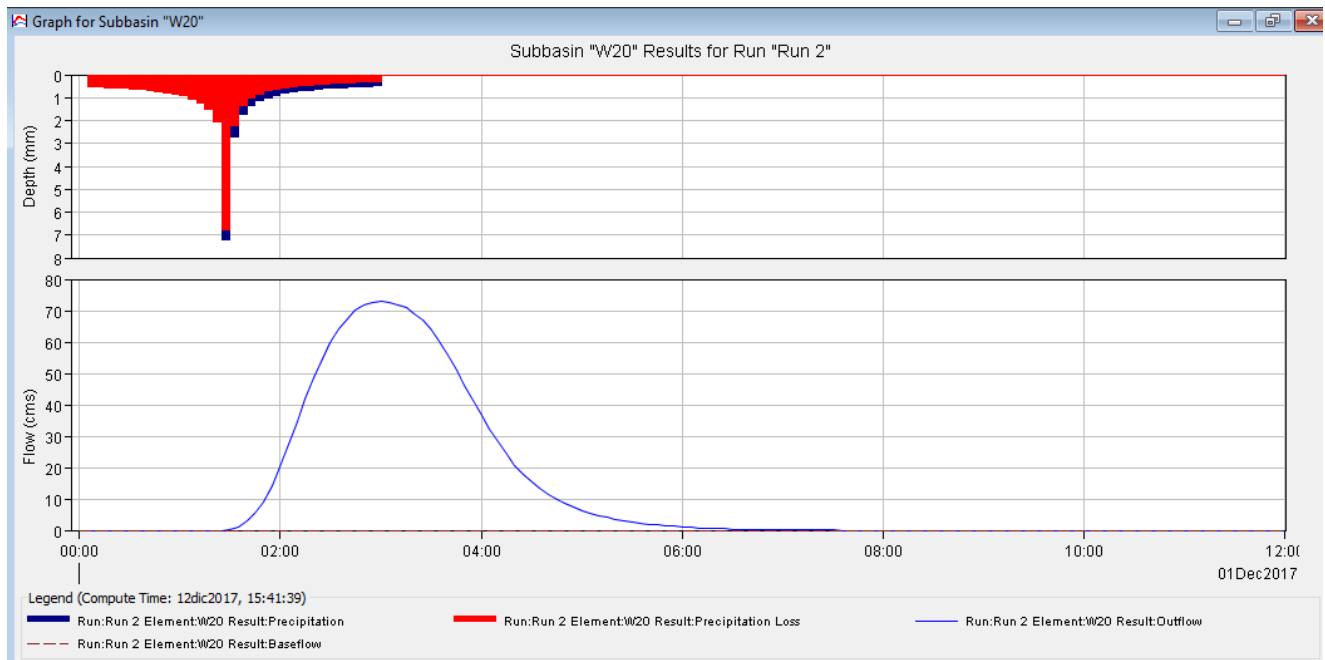


Figura 90: Hidrógrama obtenido a partir del Hietograma en la simulación.

2.3.2.5. Desarrollo de superficie en Autocad Civil 3D

Se descargó e importo los puntos topográficos obtenidos en campo (Anexo 01) al programa Autocad Civil 3D. posteriormente se obtiene las curvas de nivel creándose la superficie del área de estudio.

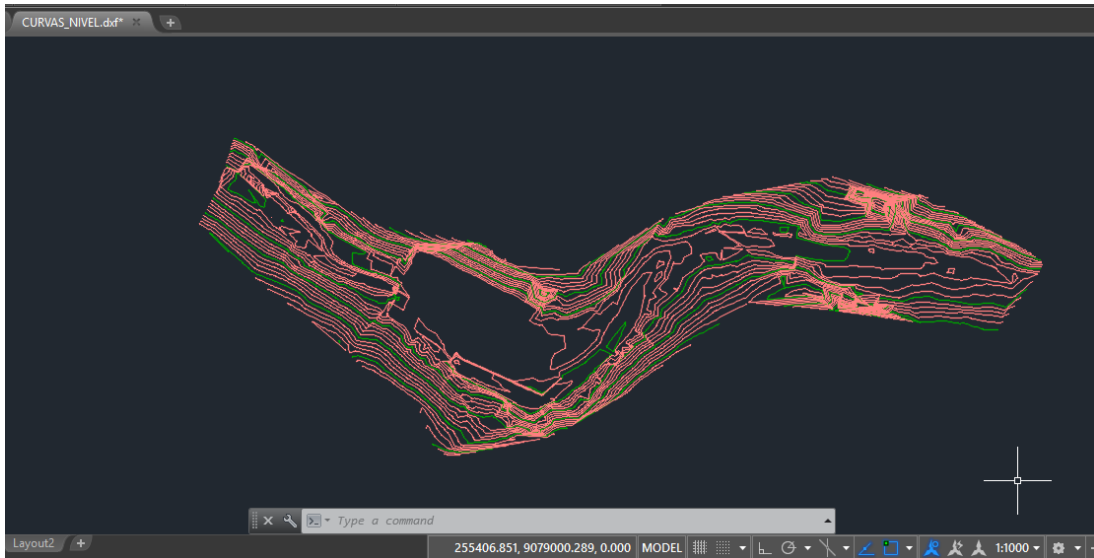


Figura 91: Creación de curvas de nivel en AutoCAD Civil 3D

Se procede realizar la creación de breacklines para definir superficies en el software Autocad Civil 3D, para su posterior importación en IBER para la definición de su geometría.

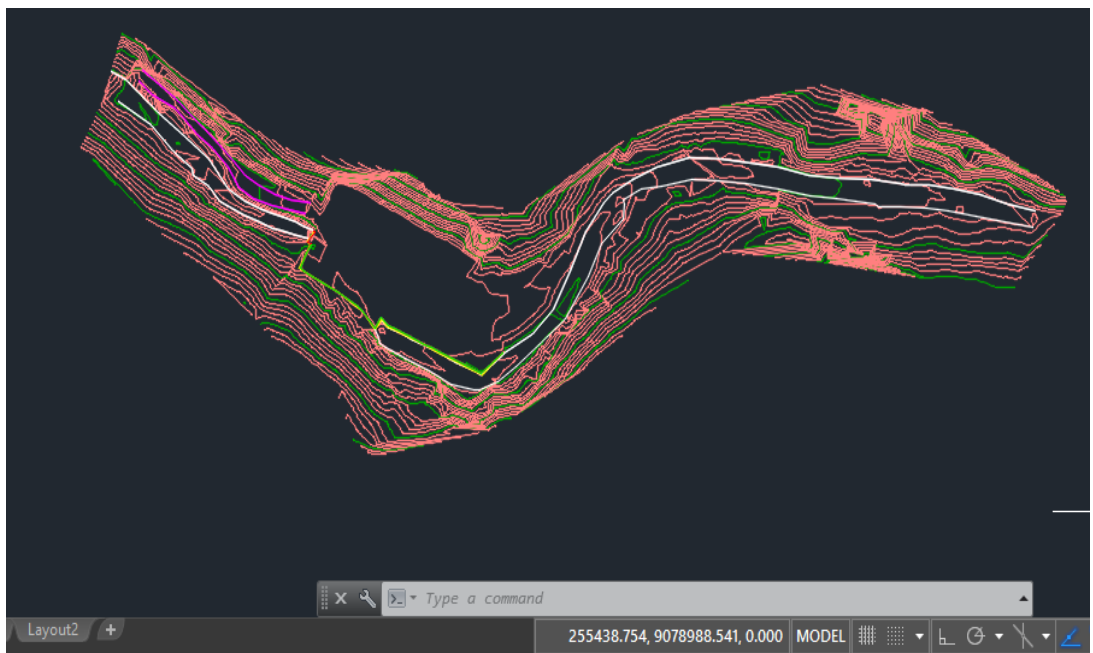


Figura 92: Creación de breacklines para definir superficies.

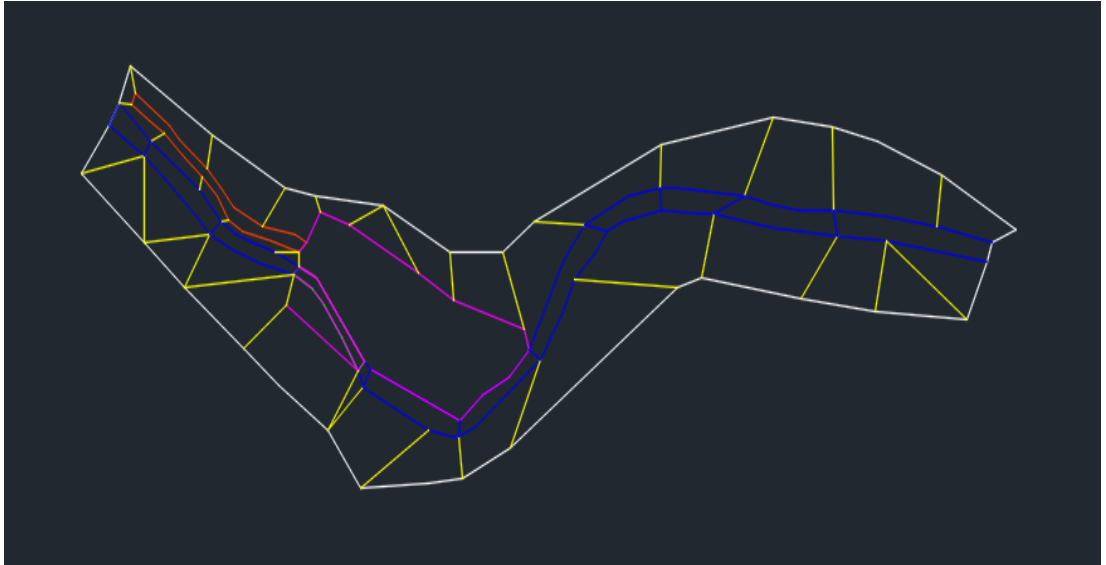


Figura 93: Creación de zonas para importación de geometría.

2.3.2.6. Modelamiento Bidimensional en Software IBER

Desarrolla la superficie y breacklines del área de estudio en Autocad Civil 3D, se procede a exportar al format LandXML Se crea el nuevo proyecto ArcMap MODELO IBER.mxd, se georreferencia a la zona WGS84-18S; luego se convierte el archivo de formato Landxml a TIN; el proyecto TIN a Raster, desde ArcToolbox from TIN to Raster, y finalmente se convierte el proyecto **Ráster** a **ASCII**, que es el formato aceptado por el software IBER.

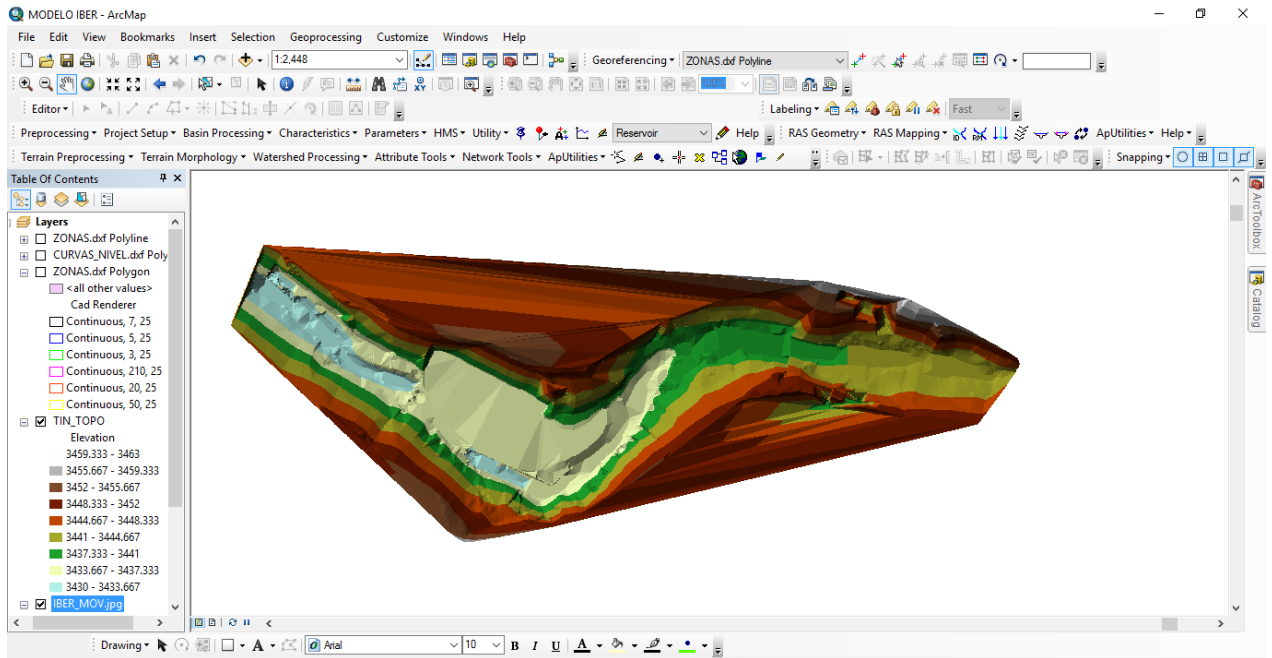


Figura 94: Proyecto Arcmap – MODELO IBER.mxd.

2.4.1.1.1. Preproceso de IBER

2.4.1.1.1.1. Creación de proyecto

Se abre el software **IBER** se guarda el nuevo proyecto con el nombre **MODELO FINAL PRUEBA.gid**.

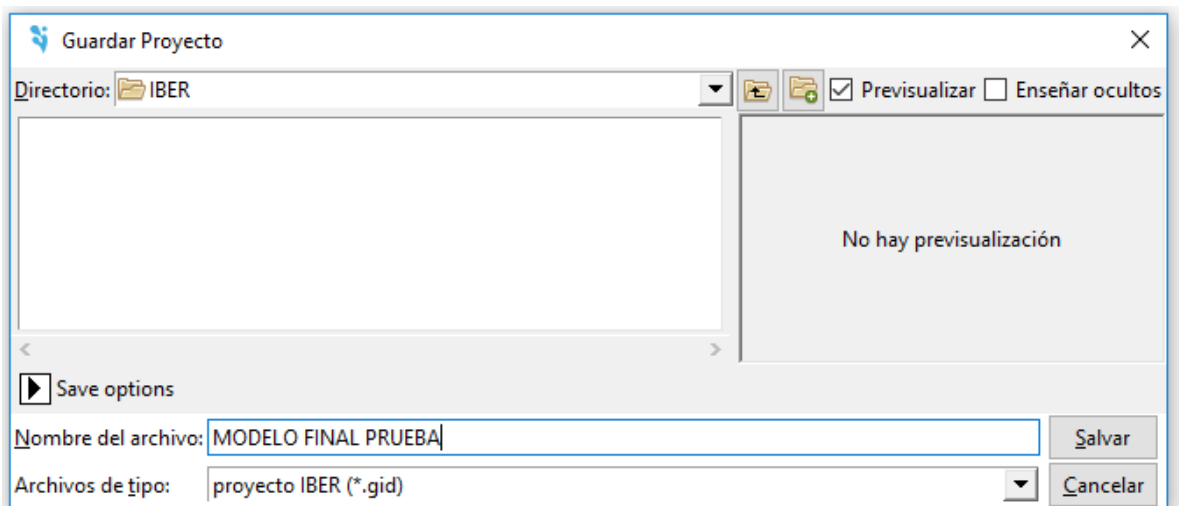


Figura 95: Creación del proyecto en IBER

En el proyecto **MODELO FINAL PRUEBA.gid** se importará el archivo **zonas.dxf** (Figura 93). Desde **Archivo / Importar / DXF** (Figura 96).

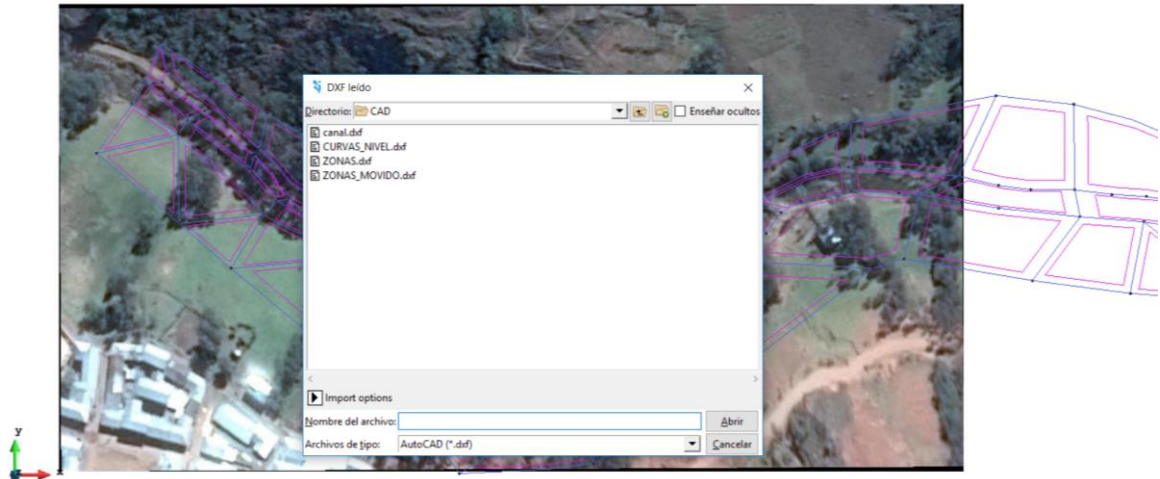


Figura 96: Importación del DXF en IBER

2.4.1.1.1.2. Condición de contorno

2.4.1.1.1.3. Condición de entrada y salida

Nos sirve para asignar el ingreso de caudal al río; en el modelo. Se genera la entrada ingresando el hidrógrama obtenido en la modelación en HEC-HMS para la cuenca. Para asignar al modelo se utiliza la herramienta **Datos /Hidrodinámica /Condiciones de Contorno**, se asigna la **Entrada 2D** se selecciona el icono **Dibujar /Colores**, y se asigna la entrada.

En la condición de salida, se verifica el transporte de agua a través del río. Se asigna con la barra **Datos /Hidrodinámica /Condiciones de Contorno**. Para finalmente colocar **Salida 2D**.

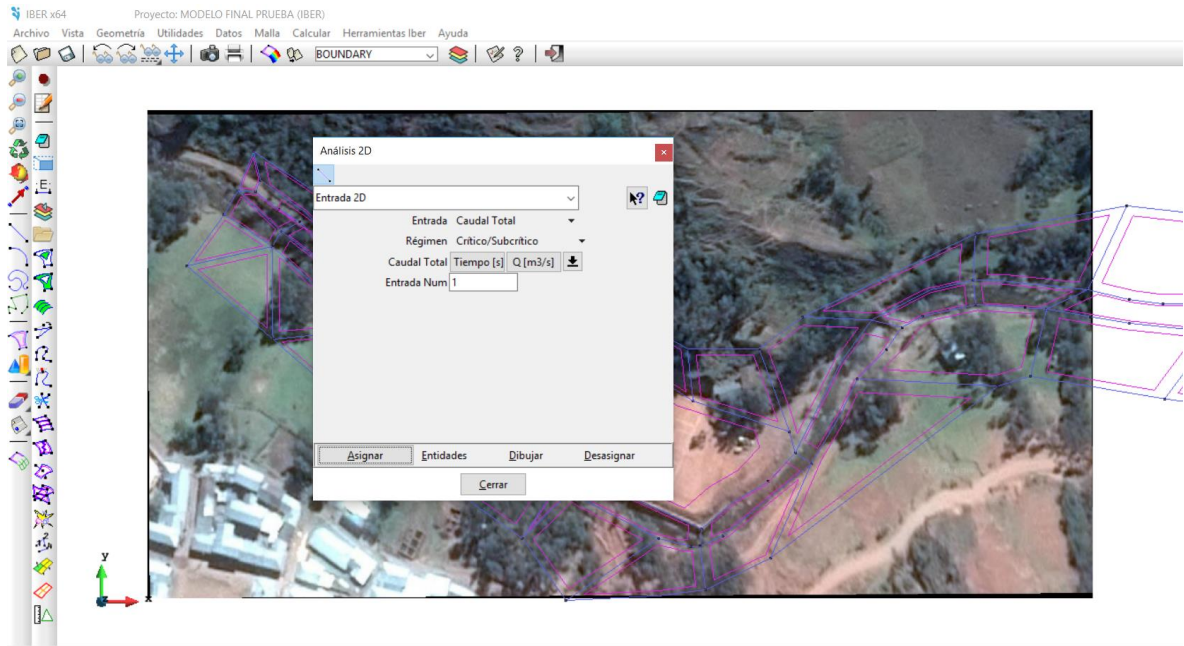


Figura 97: Ingreso de condición de entrada

2.4.1.1.1.4. Rugosidad

Se asigna el coeficiente de rugosidad de Manning, a todos los elementos creados en el proyecto Modelo Final Prueba en IBER. Estos elementos son río, suelo desnudo, arbustos, arboles, hormigón.

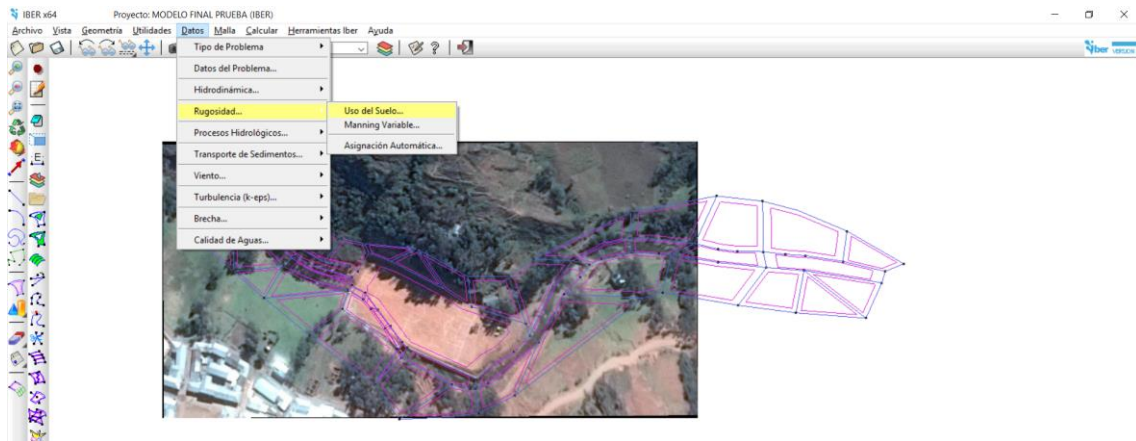


Figura 98: Selección del coeficiente de rugosidad de Manning

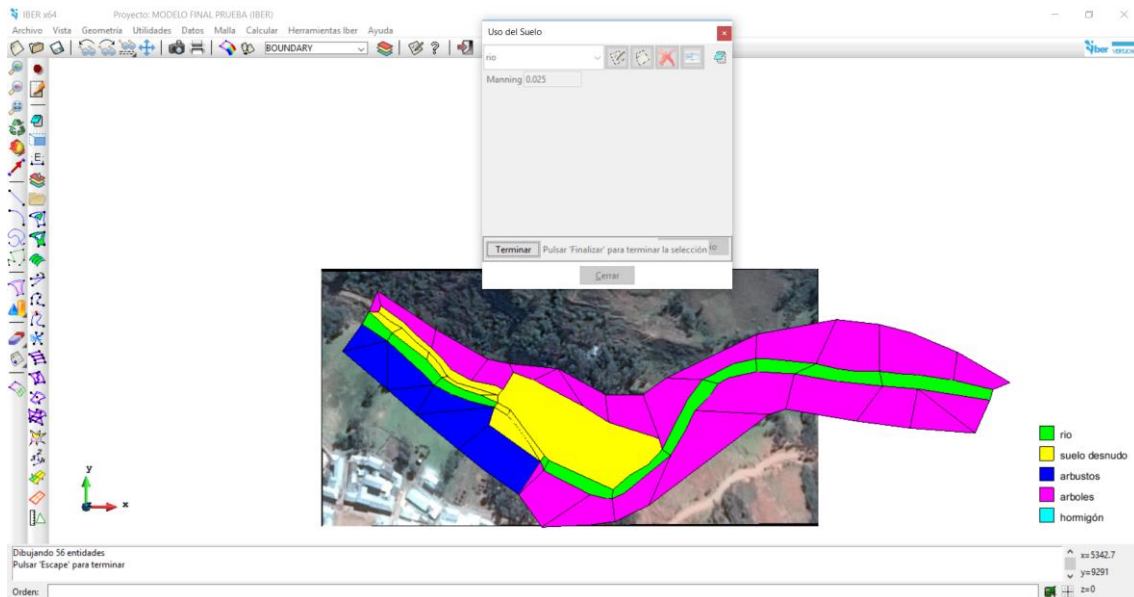


Figura 99: Asignación completa de rugosidades.

2.4.1.1.1.5. Creación de geometría

Se procede a realizar la asignación de los distintos usos de la geometría de acuerdo a las características del lugar de estudio, los cuales fueron río, canal, camino, cancha, cerro, río2; se selecciona la geometría y se le asigna la capa correspondiente.

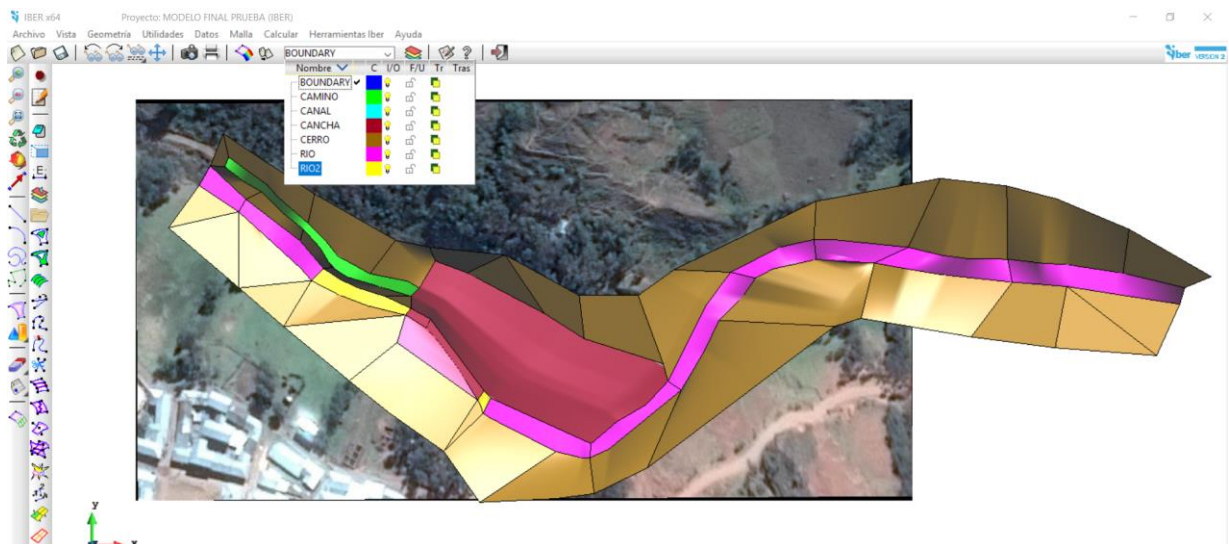


Figura 100: Geometría completada en todas sus capas

2.4.1.1.1.6. Generación de malla

En la barra superior, en el comando **Malla / Generar malla**; se escoge Malla, se asigna la tolerancia y la longitud mínima y máxima de lado de los triángulos que se forman.

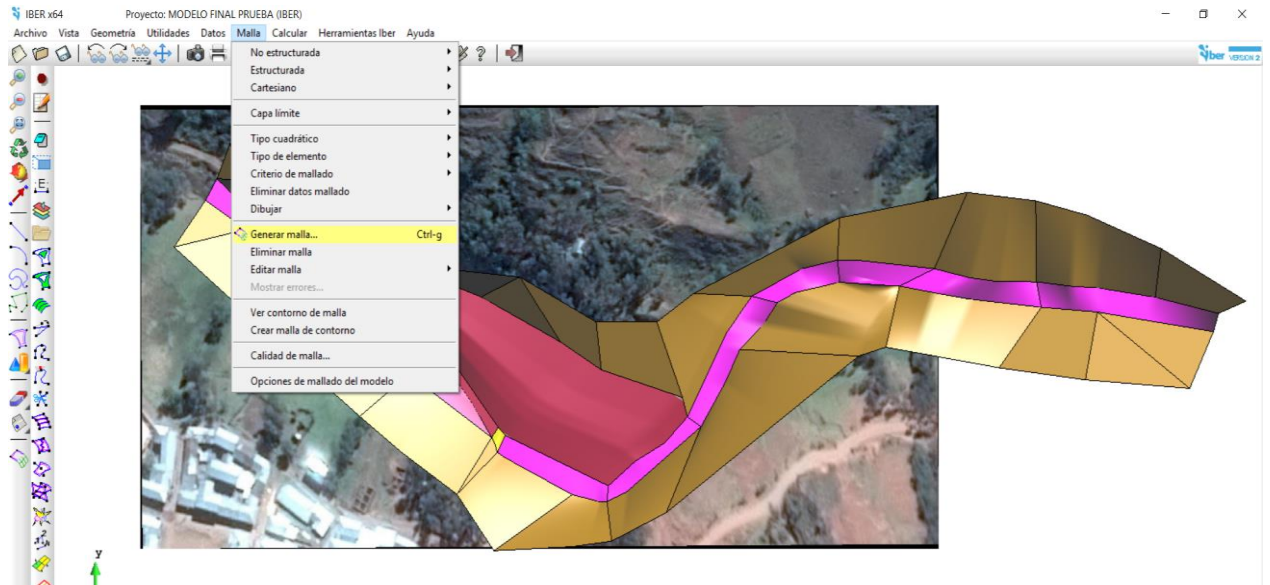


Figura 101: Ruta para asignación de malla

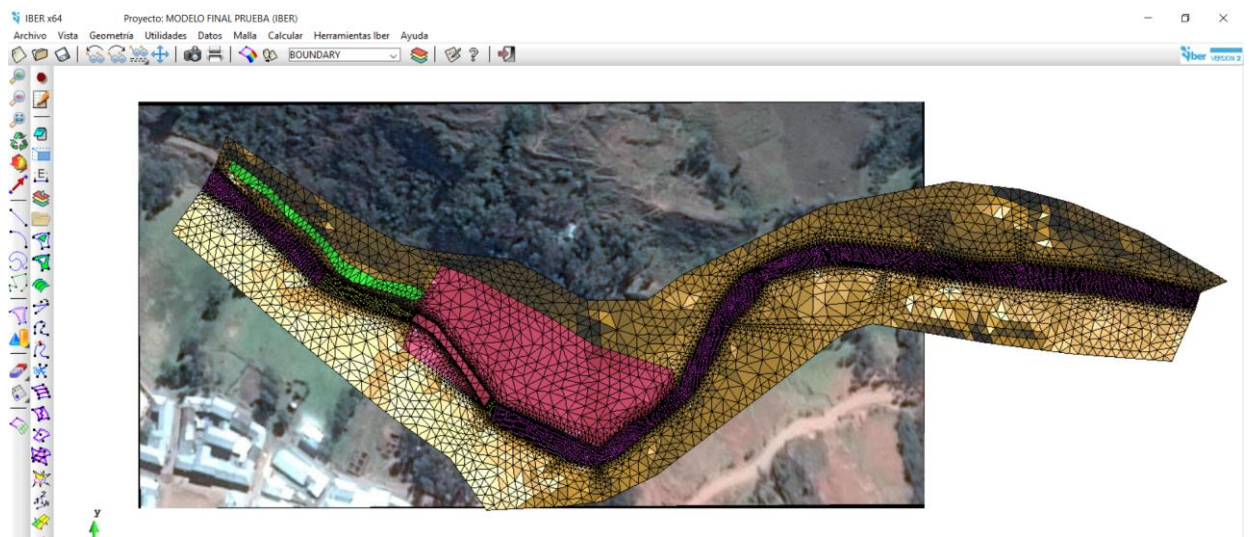


Figura 102: Malla generada para el proyecto MODELO FINAL PRUEBA.

Al seguir la ruta **Dibujar / Tamaños / Superficies**. Podremos observar la malla generada en cuanto a su tamaño de malla.

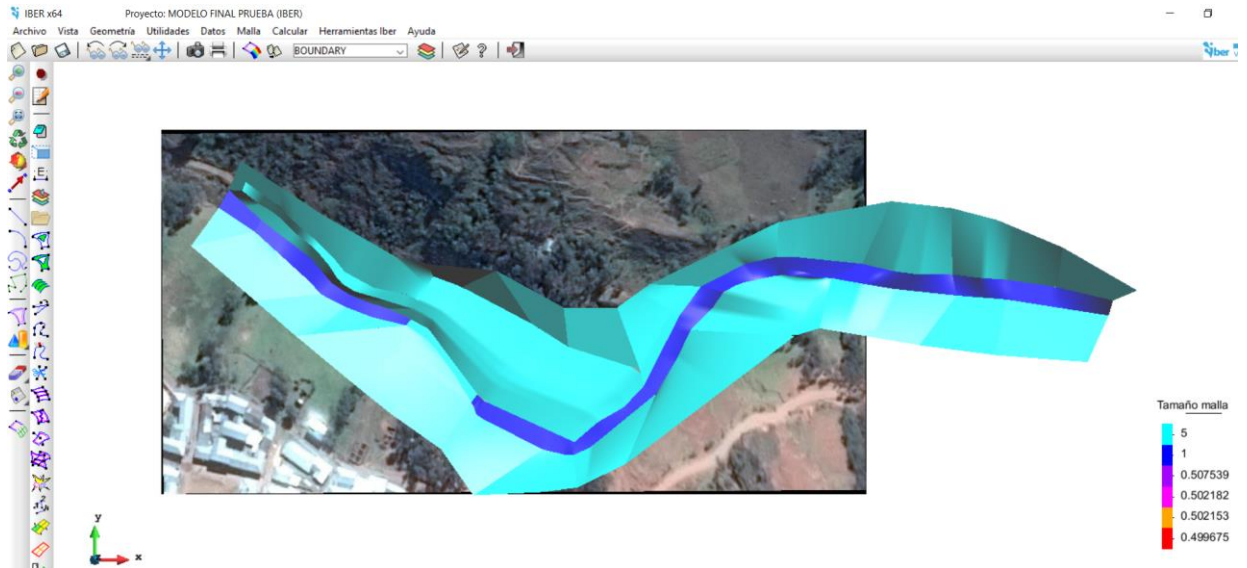


Figura 103: Tamaño de malla generada

Posteriormente para mejorar la malla generada se procede realizar la asignación del **MDE_MOVIDO.txt**. con la ruta **Herramientas Iber / Malla / Editar / Asignar elevación desde archivo**. Lo que permite que el mallado tenga una menor distribución entre su geometría y una mayor definición en la elevación.

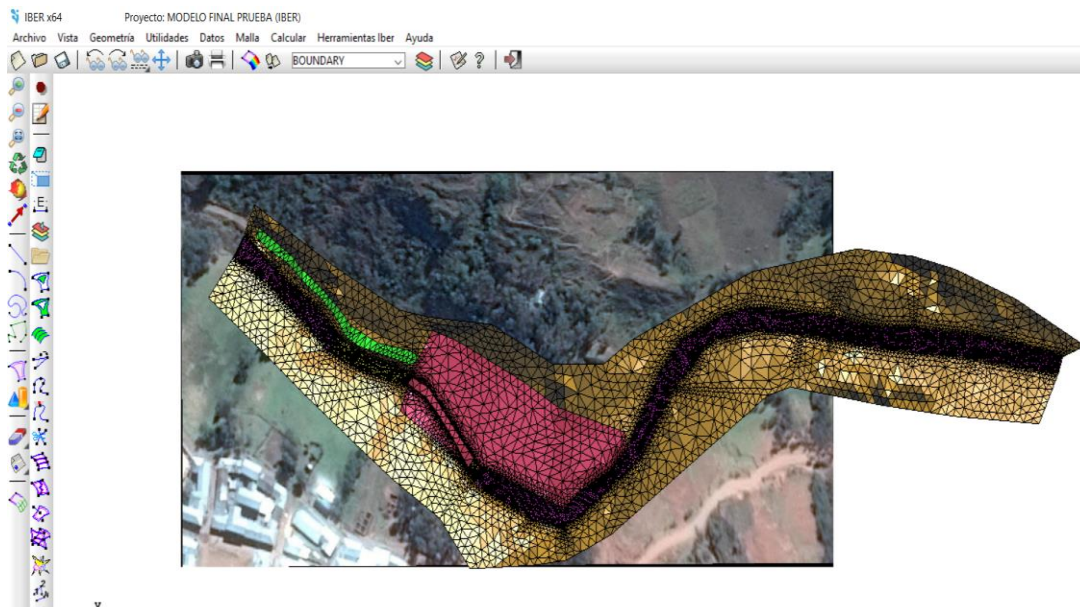


Figura 104: corrección de malla con asignación de MDE

2.4.1.1.1.7. CALCULOS

Asignado la rugosidad, condición de contorno y generado la malla, se procede a realizar los cálculos en el menú **herramienta / Datos / Datos del Problema/ Parámetros de Tiempo**, con un instante inicial 0 y un máximo de 200 segundos, luego en el menú **Calcular / Calcular** se seleccionan los resultados que se desean obtener, como son la velocidad, el caudal, el calado, cota de agua.

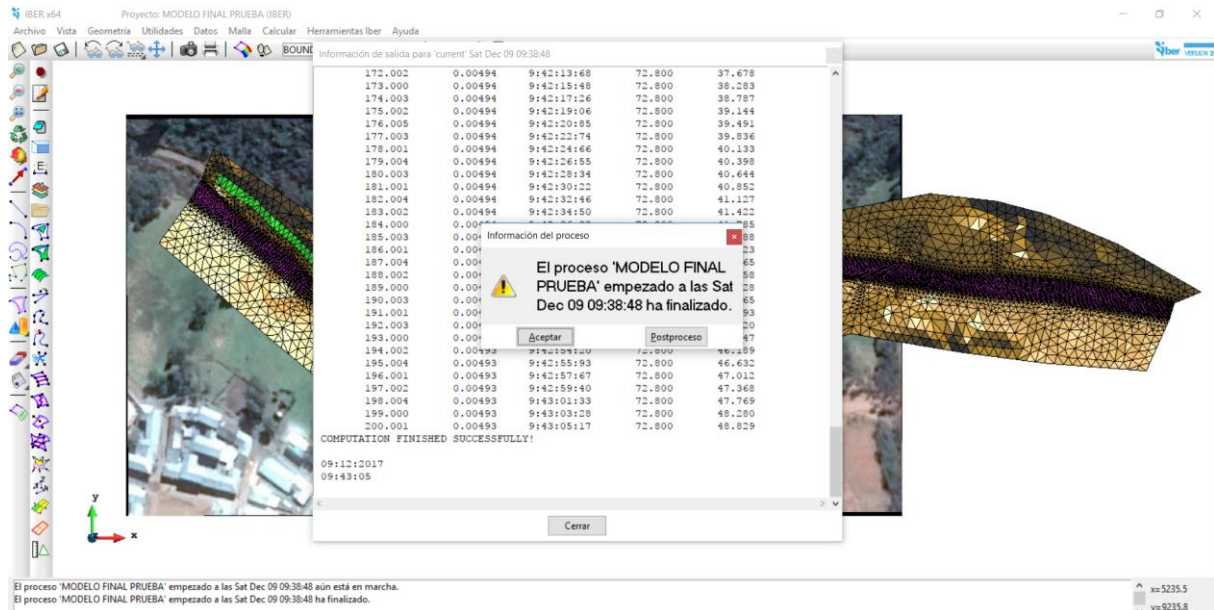


Figura 105: Proceso de cálculo en simulación IBER finalizado

2.4.1.1.2. Postproceso de IBER

2.4.1.1.2.1. Visualización de resultados

2.4.1.1.2.1.1. Ventana de resultados

Para visualizar los mapas de resultados, Se abre **Ventana de Resultados**.

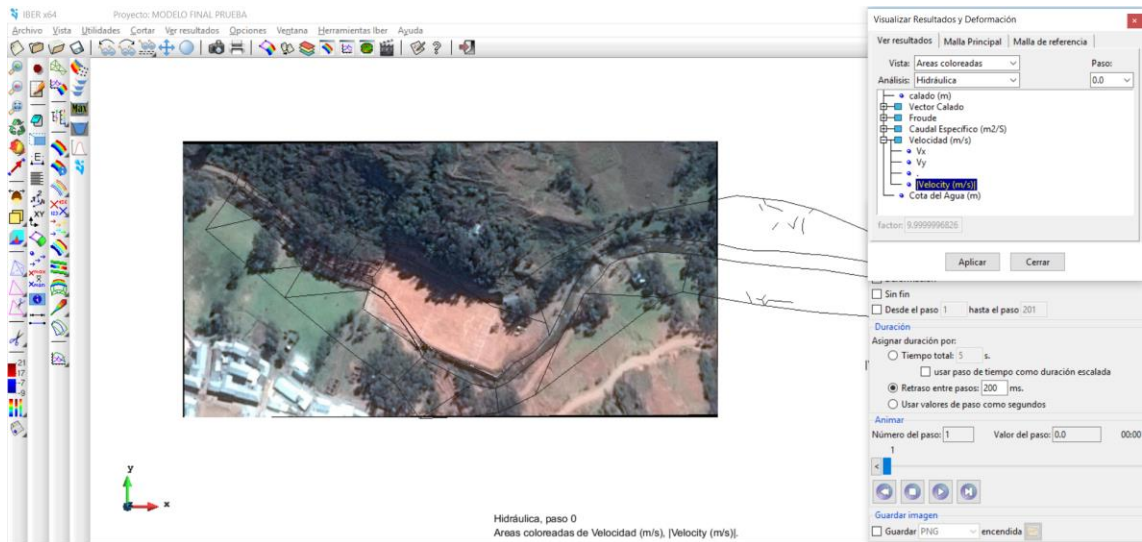


Figura 106: Ventana de resultados de IBER

2.4.1.1.2.2. Cota de agua

En la **ventana de resultados y deformación/ hidráulica /Cota de agua**, se visualiza la cota de agua, en este caso la cota de agua máxima es 3444.14m durante todo el recorrido del agua en el tramo de estudio.

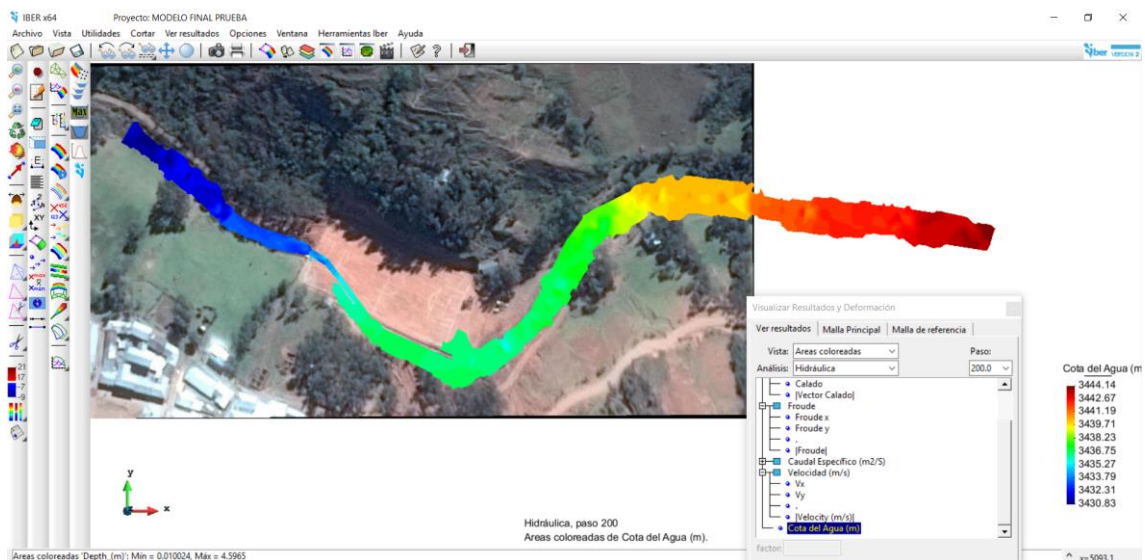


Figura 107: Simulación de resultados de la cota de agua en IBER

2.4.1.1.2.3. Numero de Froude

En la **ventana de resultados y deformación/ hidráulica /Cota de agua**, se visualiza la cota de agua, en este caso la cota de agua máxima es 3444.14m durante todo el recorrido del agua en el tramo de estudio.

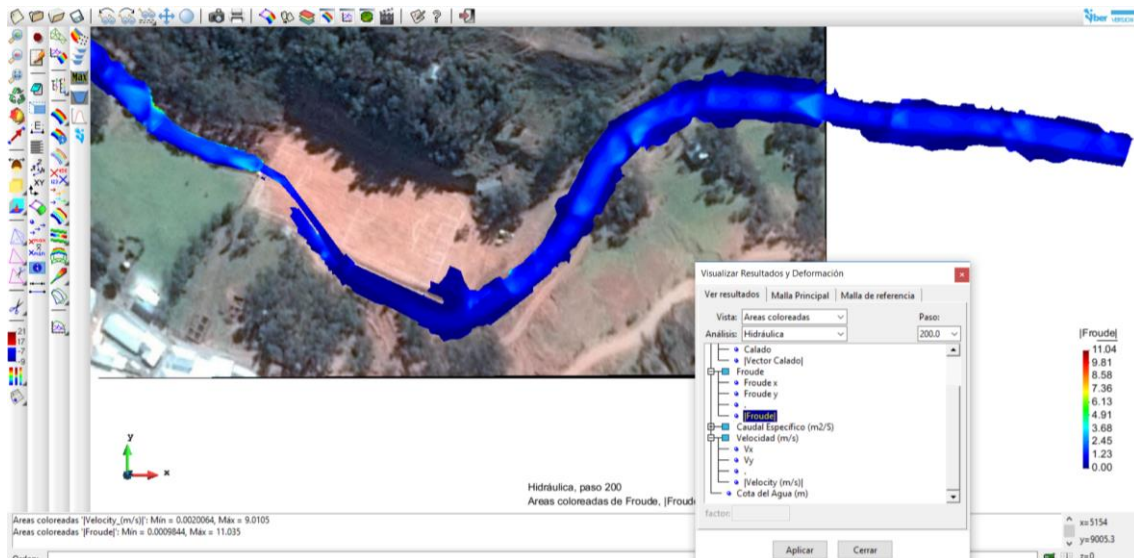


Figura 108: Simulación de resultados de Numero de Froude IBER

2.4.1.1.2.4. Calado

Seleccionamos el icono **ventana de resultados y deformación/ Hidráulica / hidrodinámica /Calado**.

2.4.1.1.2.5. Velocidad

Se selecciona el icono **ventana de resultados y deformación/ hidráulica/Velocidad**,

CAPÍTULO III: RESULTADOS

3.1. Caudal pico (m3/s)

Se obtuvo mediante programa Hec-HMS el Caudal pico.

Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (MM)
W20	98,232	72,9	01dic2017, 03:00	5,13
Outlet1	98,232	72,9	01dic2017, 03:00	5,13

Figura 109: Caudal pico en Hec-HMS

3.2. Calado (m)

Viene a representar los tirantes en los distintos tramos y secciones del río que es variable para cada uno de los instantes de tiempo de la simulación, en esta simulación el calado máximo es de 4.60 m en el instante 200s.

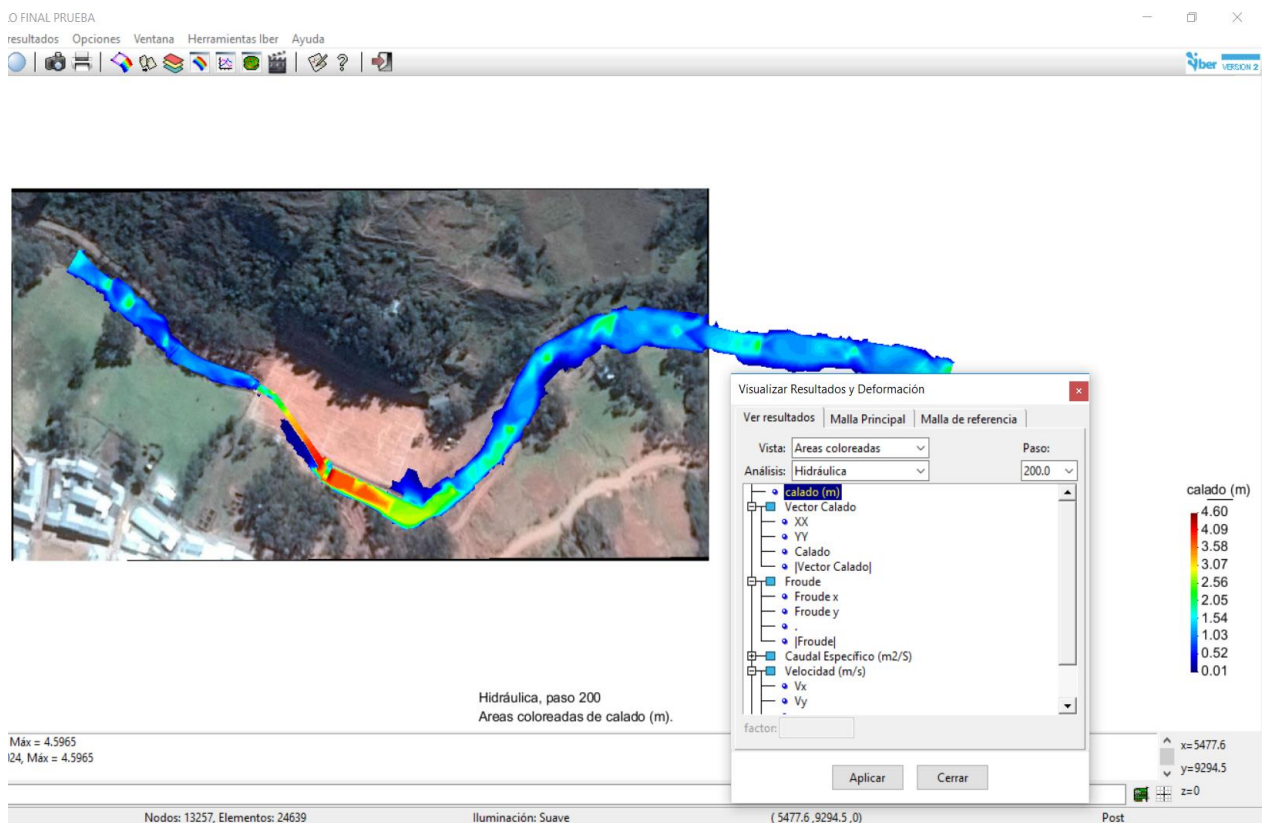


Figura 110: Simulación de resultados del Calado en IBER

3.3. Velocidad (m/s)

se puede observar como la velocidad es variable y se identifica por los distintos colores asignados en el mapa, la velocidad máxima determinada es de 9.1m/s.

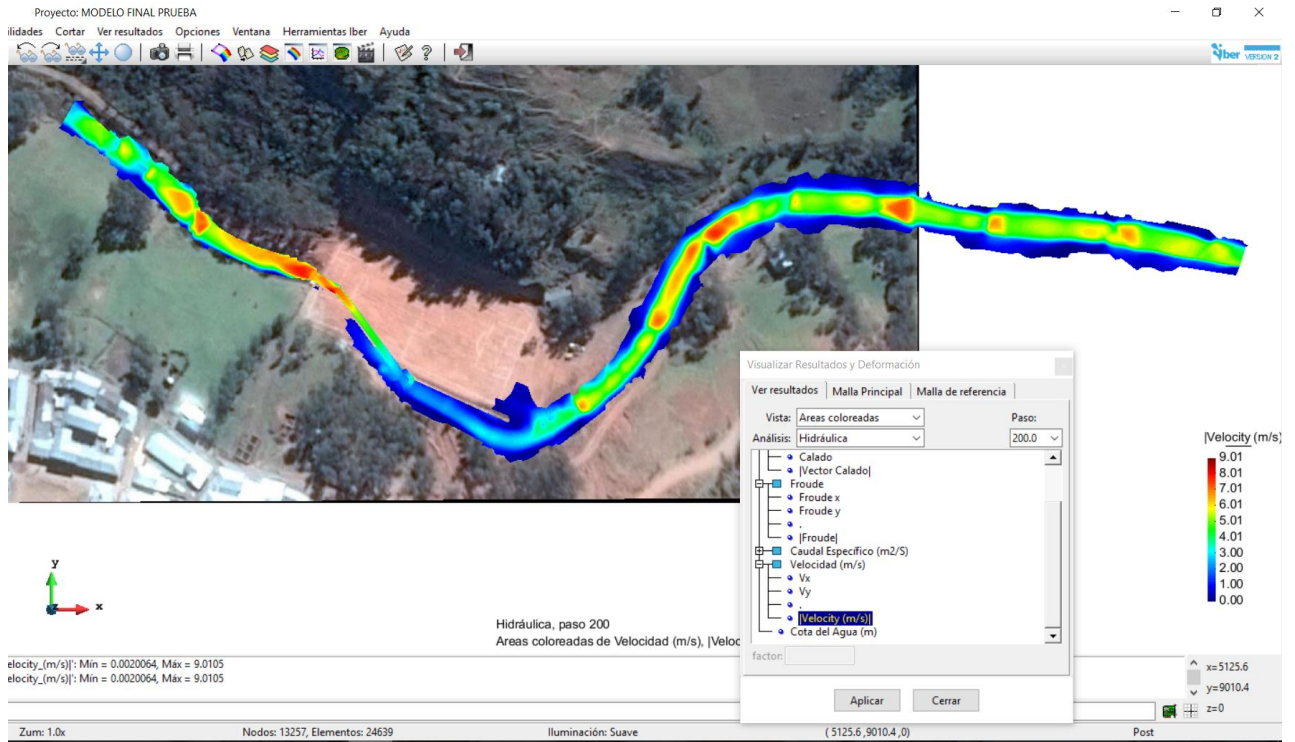


Figura 111: Simulación de resultados de la velocidad en IBER

Tabla 27: Tabla Resumen de resultados

Parámetro	Unidad de medida	Valor
Caudal "Q"	(m ³ /s)	72,9
Velocidad "V"	(m ² /s)	0.00 - 9.01
Calado "Y" (tirante)	(m)	0.01 – 4.60

CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Se opta por el análisis estadístico de distribución Gumbel, que nos permite realizar la evaluación de máximos valores, en este caso máximo valor de precipitaciones diarias anuales y es ideal para evaluaciones por inundaciones, lo cual concuerda con Triviño, A. y Ortiz, S. (2004), indicamos además que se trabajó con la información de una sola estación pluviométrica ubicada en la Quebrada Colpa – Chirimoyo – Sihuas – Ancash, siendo la estación más cercana a la zona de estudio Huarichaca – Pataz – La Libertad.

Los distintos usos de suelo que presenta el área de estudio es variado como pastos naturales, pastos cultivados, arbustos, bosques, otros. Para determinar el tiempo de concentración se utilizó Kirpich, que relaciona la longitud del cauce y la pendiente de la cuenca, nos dio un valor de 150.86 min, además para pendientes de cuencas mayores a 3%; otros métodos como California Culvert Practice no se consideró debido que se recomienda para cuencas menores a 75 km², Federal Aviation Agency FAA, Izzard fundamenta su expresión para cuencas cercanas a autopistas y carreteras, utiliza su ecuación para cuencas urbanizadas y aeropuertos.

Centeno, M. (2015) indica que números de curva entre 73 a 84 presenta menos escorrentía en las partes altas respecto a las partes bajas de su estudio debido a la presencia bosques y cultivos respectivamente, en nuestro caso tenemos un CN de 77, efectivamente coincidente debido a presencia de bosques y arbustos en las zonas altas y bajas.

Respecto al pico de caudal de 72,9 m³/s calculado con Hec-Hms (Figura 109) y comparándolo con el hidrógrama (Figura 90) podemos observar un tiempo de escurrimiento de aproximadamente 4 horas lo cual es lo esperado, debido a que la zona de estudio pertenece a la región sierra y esta sobre los 3200 m.s.n.m, además las pendientes son mayores a 4%, con tierras plásticas, lo que facilita el escurrimiento; lo cual concuerda con el estudio realizado por Centeno, M. (2015).

Respecto al diseño hidráulico a través del software IBER, por la modelación del Rio Cajas, fue muy importante el desarrollo de la topografía en campo para obtener una superficie más real y precisa del área de estudio, por lo tanto para el periodo de retorno de T50 años se observa para el calado (figura 110) con

asignación de color azul para valores de menores de 1.00 metro; y rojo para el máximo valor alcanzado de 4.60 metros; se observa como aguas arriba y abajo del río en referencia al campo deportivo presenta velocidades bajas y es llegando a la curva de entrada al campo deportivo, en el inicio del muro de contención donde el calado aumenta hasta llegar al sección del canal donde alcanza su valor máximo de 4.60 metros, el caudal pico de 72,9 m³/s, durante los 200 segundos de recorrido, cuando circula por el canal la sección es angosta y el caudal se comienza a desbordar y se produce la inundación en parte de la sección del campo deportivo. La velocidad (Figura 111) durante este recorrido presenta velocidades bajas de color azul, menores a 2.00 m/s, durante su recorrido para entrar al canal y es en esa sección y la salida donde debido al alto caudal la velocidad aumenta hasta valores de 9.01 m/s color naranja, por lo cual el agua forma remansos al ingreso del canal aumentando su tirante y por lo tanto se produce la inundación en una pequeña sección del campo deportivo.

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES

Se obtuvieron satisfactoriamente las características hidráulicas de la quebrada del río cajas en la zona de estudio, lo que permite concluir vulnerabilidad de inundación en parte del Campo Deportivo de Huarichaca para un Periodo de retorno de T50 años, lo que nos permitirá poder tomar medidas preventivas y realizar diseños para contención ante esta eventual emergencia.

Se realizó el levantamiento topográfico del lugar de estudio, lo que permitió obtener 1025 puntos topográficos geo referenciados, referentes al río, talud, campo deportivo, bosques, caminos. Lo que mejoró los resultados del modelamiento hidráulico con mayor precisión.

El registro de las precipitaciones máximas en 24 horas del estudio fue determinado para un periodo de retorno T50 años, con un valor pico de precipitación 7.23 mm y una intensidad de 86.81 mm/h.

Se realizó el modelamiento hidrológico de la Quebrada del Río Cajas, obteniéndose el hidrógrama para la cuenca por medio del programa computacional HEC-HMS, además fue estimando un caudal pico de 72,9 m³/s.

Por medio del programa IBER, se desarrolló el modelamiento hidráulico de la quebrada del Río Cajas en el tramo de estudio del campo deportivo de Huarichaca, en el cual se pudo observar el desborde del río en el tramo del campo deportivo, con un calado máximo de 4.60 metros y una velocidad de caudal máxima de 9.01 m/s respectivamente.

CAPÍTULO VI: RECOMENDACIONES

Sería recomendable trabajar con información de precipitaciones de un pluviómetro activo dentro de la región en la que se ejecuta la evaluación.

A partir de los resultados obtenidos en este estudio, complementarlos con determinación de grado de socavación de las estructuras existentes.

Aumentar la sección del canal debajo del campo deportivo e implementar un muro de contención en el margen descubierto del río,

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Breña, A. & Jacobo, M. (2006). *Principios y fundamentos de la hidrología superficial*. Universidad Autónoma Metropolitana. Tlalpan - D.F. México.

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.

Centeno, M. (2015). *Análisis hidrológico – hidráulico para los puentes en zonas de inundación generadas por el proyecto “PACALORI”*. Tesis para la obtención el título de Ingeniero Civil. Universidad de Cuenca. Cuenca – Ecuador.

Triviño, A. y Ortiz, S. (2004). *Metodología para la modelación distribuida de la escorrentía superficial y la delimitación de zonas inundables en ramblas y ríos-rambla mediterráneos*. Investigaciones geográficas. Instituto universitario de Geografía. Universidad de Alicante. Vol 35: pp 67-83.

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.

Alvaro, L. & Henríquez, L. (2014).; *Diseño Hidráulico y Estructural de defensa ribereña del río Chicama tramo puente Punta Moreno – Pampas de Jaguey, aplicando el programa River*. Trabajo de tesis para obtener el título de Ingeniero Civil. Universidad Privada Antenor Orrego. Trujillo – Perú.

Morris, H. (2006); *“Modelación hidráulica e hidrológica del río Guápiles para determinar la vulnerabilidad a inundaciones en un tramo comprendido entre los poblados de Guápiles y la Rita”*. Trabajo de tesis para obtener el grado de Licenciatura en Ingeniería Agrícola. Universidad de Costa Rica. Costa Rica.

Ayala, J. (2014).; *“Modelamiento hidráulico bidimensional, para la determinación de planos de inundación de Quillacollo” Cochabamba, Bolivia*. Centro de Levantamientos Aeroespaciales y Aplicaciones SIG para el Desarrollo Sostenible de los Recursos Naturales. Universidad Mayor de San Simón. Cochabamba – Bolivia.

Llorente, M.; Díez, A.; & Laín, A. (2009). Aplicaciones de los SIG al análisis y gestión del riesgo de inundaciones avances recientes. Instituto geológico y minero de España – MEC. Sociedad Española de Ciencias Forestales. Vol. 29:29-37.

Castillo, G. & Ramírez, S. (2017).; *Estudio hidrológico e hidráulico para el diseño del puente Pucayacu, localizado en el tramo: Mayocc – Huanta en la progresiva 3+200, aplicando los softwares HEC-HMS e Iber V2.0*. Trabajo de tesis para obtener el título de Ingeniero Civil. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas. Lima – Perú.

Organización de los Estados Americanos OEA (1993). *Manual sobre el Manejo de Peligros Naturales en la Planificación para el desarrollo regional integrado*. Washington DC

Morales, J. (2003). *Metodología de planificación ambiental participativa para formular el plan rector de producción y conservación (PRPC) de la cuenca del río Jucuapa Matagalpa – Nicaragua*. Turrialba, Costa Rica. Tesis de la escuela de postgrado del CATIE.

Pérez, A. & Vanegas, L. (2016). *Estudio hidrológica e hidráulico en la zona baja de la cuenca del río Frio en el Municipio de Chía. Tesis para obtener el*

título de Ingeniero Civil. Universidad Católica de Colombia. Bogotá – Colombia

Díaz, V. (2012). Análisis hidrológico e hidráulico mediante técnicas SIG de la peligrosidad por inundaciones en la cuenca del Pla de Sant Jodri (Mallorca). Tesis para optar el Master en Tecnologías de la Información Geográfica (TIG). España.

Aristizabal, V. (2013). Modelos hidrológicos e hidráulicos de zonificación de la amenaza por inundación en el municipio de La Dorada Caldas. Contrato 163-2012. Corpocaldas. Colombia.

Chow, Ven Te (1994). Hidráulica de canales abiertos. Santa Fé de Bogotá – Colombia, Editorial McGraw – Hill Interamericana. Traducción de Juan G. Bogotá: Nomos.

Chow, Ven Te; MAIDMENT, David R. y MAYS, Larry W. (1994) Hidrología Aplicada. Traducción de Juan G. Saldarriaga. Bogotá: Nomos.

Cañon, J. (2005). Taller de aplicación de HEC-HMS. Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Colombia.

Villon Bejar, MAXIMO. (2011). Hidrología. Editorial Tecnológica de Costa Rica. Cartago, Costa Rica.

Monsalve, G. (s/a). *Hidrología en la Ingeniería*. 2da Edición Editorial

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.

Bastidas, C. (2014). *Manual para el uso del modelo hidrológico HEC-HMS*.

Sánchez, H. (2015). *Modelación bidimensional del flujo en lámina libre en aguas poco profundas*. Manual básico del usuario. Madrid, España.

Vásquez, C.; Herrera, D. & Gutiérrez, Y. (2014). *Caracterización morfológica 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.

Villón, M. (2002). *Hidrología*. Instituto Tecnológico de Costa Rica-Escuela de Ingeniería Agrícola, 2da Edición. Editorial villón. Lima, Perú.

ANEXOS

ANEXO 01

PUNTOS TOPOGRAFICOS

PUNTO	NORTE	ESTE	COTA	DESCRIPCION
1	9079118.53	255106.117	3444.006	E01
2	9079115.73	255096.436	3443.651	AUX1
3	9079068.2	255078.245	3437.408	CD
4	9079075.97	255081.559	3437.478	CD
5	9079069.79	255070.503	3437.365	CD
6	9079084.28	255085.785	3437.519	CD
7	9079078.48	255073.706	3437.4	CD
8	9079092.95	255089.56	3437.593	CD
9	9079087.35	255077.609	3437.425	CD
10	9079101.36	255092.59	3437.64	CD
11	9079095.64	255081.622	3437.454	CD
12	9079108.51	255094.368	3439.911	CD
13	9079104.49	255084.887	3437.549	CD
14	9079112.62	255090.752	3437.578	CD
15	9079117.73	255082.538	3437.487	CD
16	9079122.67	255073.804	3437.422	CD
17	9079108.79	255078.101	3437.464	CD
18	9079113.37	255069.59	3437.332	CD
19	9079099.92	255074.492	3437.459	CD
20	9079104.71	255065.905	3437.376	CD
21	9079090.9	255070.904	3437.401	CD
22	9079095.8	255062.324	3437.261	CD
23	9079085.05	255060.092	3437.186	CD
24	9079085.05	255060.093	3437.23	CD
25	9079072.66	255062.945	3437.396	CD
26	9079075.33	255056.658	3437.296	CD
27	9079079.27	255047.739	3437.168	CD
28	9079083.93	255039.014	3437.174	CD
29	9079088.16	255051.849	3437.188	CD
30	9079092.09	255044.295	3437.126	CD
31	9079097.41	255055.188	3437.245	CD
32	9079100.93	255048.286	3437.233	CD
33	9079107.02	255058.174	3437.336	CD
34	9079109.93	255052.605	3437.33	CD
35	9079118.98	255056.532	3437.299	CD
36	9079118.98	255056.531	3437.299	CD

37	9079128.23	255061.09	3437.397	CD
38	9079124.02	255069.386	3437.424	CD
39	9079133.02	255052.306	3437.366	CD
40	9079137.85	255042.416	3437.406	CD
41	9079123.63	255047.593	3437.336	CD
42	9079128.35	255038.473	3437.312	CD
43	9079114.72	255043.152	3437.304	CD
44	9079119.5	255033.402	3437.168	CD
45	9079105.55	255039.17	3437.171	CD
46	9079096.39	255035.053	3437.06	CD
47	9079096.4	255035.053	3437.064	CD
48	9079100.88	255026.484	3437.024	CD
49	9079089.57	255029.993	3436.901	CD
50	9079092.56	255023.132	3436.723	CD
51	9079097.22	255015.596	3436.742	CD
52	9079101.81	255006.997	3436.955	CD
53	9079105.84	255020.493	3437.043	CD
54	9079110.21	255012.116	3436.915	CD
55	9079114.16	255024.589	3437.014	CD
56	9079123.07	255028.504	3437.13	CD
57	9079118.62	255017.298	3437.059	CD
58	9079132.1	255033.024	3437.333	CD
59	9079140.7	255036.834	3437.457	CD
60	9079140.7	255036.831	3437.456	CD
61	9079136.13	255025.076	3437.432	CD
62	9079145.58	255029.066	3437.563	CD
63	9079149.41	255020.737	3437.725	CD
64	9079151.89	255012.336	3437.928	CD
65	9079139.31	255015.639	3437.381	CD
66	9079142.88	255008.854	3437.534	CD
67	9079129.72	255012.181	3437.154	CD
68	9079134.07	255003.18	3437.227	CD
69	9079120.62	255007.542	3436.972	CD
70	9079125.08	254999.441	3436.861	CD
71	9079112.18	255003.095	3436.917	CD
72	9079117.04	254993.781	3436.933	CD
73	9079105.52	254998.628	3436.94	CD
74	9079110.32	254989.657	3437.021	CD
75	9079124.77	254998.365	3437.485	MURO
76	9079124.62	254998.582	3437.467	MURO
77	9079124.64	254998.596	3436.682	MURO
78	9079116.39	254995.795	3437.433	MURO
79	9079116.26	254995.985	3437.446	MURO

80	9079116.25	254995.983	3436.922	MURO
81	9079111.08	254987.698	3437.455	CD
82	9079109.02	254991.558	3437.481	MURO
83	9079109.2	254992.027	3437.112	MURO
84	9079106.12	254996.504	3437.492	MURO
85	9079106.39	254996.681	3437.503	MURO
86	9079106.4	254996.69	3436.898	MURO
87	9079101.34	255004.997	3437.448	MURO
88	9079101.53	255005.163	3437.461	MURO
89	9079101.54	255005.162	3436.942	MURO
90	9079096.43	255013.684	3437.444	MURO
91	9079096.57	255013.782	3437.452	MURO
92	9079096.57	255013.786	3436.85	MURO
93	9079089.44	255024.748	3437.46	MURO
94	9079089.7	255024.927	3437.479	MURO
95	9079089.7	255024.928	3436.695	MURO
96	9079086.97	255027.305	3436.648	MURO
97	9079086.94	255027.356	3437.467	MURO
98	9079087.07	255027.539	3437.474	MURO
99	9079087.08	255027.537	3436.659	MURO
100	9079078.72	255034.211	3437.466	MURO
101	9079079.15	255034.226	3437.482	MURO
102	9079079.16	255034.229	3436.769	MURO
103	9079083.65	255037.296	3437.487	MURO
104	9079083.52	255037.423	3438	MURO
105	9079083.98	255037.782	3438.045	MURO
106	9079084.36	255037.798	3437.503	MURO
107	9079079.99	255041.399	3437.989	MURO
108	9079080.3	255041.611	3437.988	MURO
109	9079080.3	255041.613	3437.183	MURO
110	9079078.39	255045.185	3437.97	MURO
112	9079078.78	255045.311	3437.969	MURO
113	9079078.78	255045.32	3437.523	MURO
114	9079078.85	255045.381	3437.1	MURO
115	9079074.55	255053.76	3437.969	MURO
116	9079074.95	255053.967	3438.013	MURO
117	9079074.97	255053.926	3437.269	MURO
118	9079070.87	255061.903	3437.922	MURO
119	9079071.22	255062.067	3437.985	MURO
120	9079071.25	255062.078	3437.529	MURO
121	9079068.99	255066.187	3437.938	MURO
122	9079069.32	255066.283	3437.983	MURO
123	9079069.33	255066.262	3437.955	MURO

124	9079069.57	255066.398	3437.393	MURO
125	9079067.23	255070.172	3437.991	MURO
126	9079067.5	255070.284	3438.009	MURO
127	9079067.51	255070.282	3437.343	MURO
128	9079060.47	255085.199	3437.983	MURO
129	9079060.72	255085.238	3438.011	MURO
130	9079060.73	255085.285	3435.666	MURO
133	9079056.59	255094.154	3435.699	MURO
134	9079056.33	255094.323	3437.391	MURO
135	9079056.58	255094.153	3437.428	MURO
136	9079066.76	255106.259	3437.377	MURO
137	9079067.03	255106.163	3437.475	MURO
138	9079067.03	255106.139	3436.593	MURO
139	9079089.35	255024.588	3436.326	CAM
140	9079086.91	255027.282	3436.367	CAM
141	9079088.36	255021.7	3436.294	CAM
142	9079089.89	255020.473	3436.42	CAM
143	9079096.2	255013.774	3437.034	CAM
144	9079093.06	255009.424	3437.205	CAM
145	9079088.95	255019.447	3437.222	CAM
146	9079086.11	255016.041	3437.82	CAM
147	9079078.51	255026.848	3438.19	CAM
148	9079076.65	255024.513	3438.528	CAM
149	9079069	255035.008	3439.164	CAM
150	9079067.03	255032.199	3439.241	CAM
151	9079059.02	255043.459	3441.032	CAM
152	9079055.9	255040.705	3441.228	CAM
153	9079051.82	255048.688	3442.917	CAM
154	9079049.46	255046.523	3443.078	CAM
155	9079040.96	255055.68	3446.158	CAM
156	9079037.71	255052.94	3446.917	CAM
157	9079040.76	255061.364	3446.692	CAM
158	9079042	255071.573	3443.705	CAM
159	9079049.65	255071.531	3442.021	TALUD
160	9079049.85	255071.022	3438.052	TALUD
161	9079051.92	255069.434	3440.628	TALUD
162	9079053.53	255070.913	3435.946	TALUD
163	9079056.43	255066.243	3435.655	TALUD
164	9079055.74	255062.359	3440.057	TALUD
165	9079057.8	255063.902	3435.651	TALUD
166	9079058.48	255052.756	3439.941	TALUD
167	9079060.69	255046.737	3438.901	TALUD
168	9079060.63	255058.022	3435.358	TALUD

169	9079063.46	255050.978	3435.684	TALUD
170	9079064.61	255042.826	3438.193	TALUD
171	9079067	255044.906	3435.447	TALUD
172	9079069.41	255040.143	3435.423	TALUD
173	9079068.27	255039.476	3437.778	TALUD
174	9079072.55	255033.518	3437.632	TALUD
175	9079073.3	255036.653	3435.969	TALUD
176	9079078.64	255028.5	3436.873	TALUD
177	9079082.11	255024.595	3437.417	TALUD
178	9079109.57	254987.604	3438.821	TALUD
179	9079104.74	254995.809	3439.254	TALUD
180	9079102.42	254982.088	3442.648	TALUD
181	9079102.42	254982.116	3442.649	TALUD
182	9079096.26	255003.184	3440.123	TALUD
183	9079089.92	254997.718	3443.711	TALUD
184	9079096.69	254989.894	3443.586	TALUD
185	9079088.04	254971.139	3448.981	TALUD
186	9079090.49	254984.769	3446.71	TALUD
187	9079083.62	254991.965	3447.522	TALUD
188	9079080.78	254986.937	3449.713	TALUD
189	9079084.04	254979.567	3449.55	TALUD
190	9079087.76	254971.049	3449.075	TALUD
191	9079122.81	255095.457	3453.289	TALUD
192	9079076.1	254974.7	3452.805	TALUD
193	9079071.43	254983.214	3453.232	TALUD
194	9079066.08	254991.921	3453.463	TALUD
195	9079061.39	255002.367	3452.141	TALUD
196	9079065.88	255004.634	3449.632	TALUD
197	9079072.32	254995.198	3449.992	TALUD
198	9079076.52	254999.488	3447.368	TALUD
199	9079071.15	255009.217	3446.505	TALUD
200	9079082.84	255003.015	3444.326	TALUD
201	9079075.71	255012.195	3443.738	TALUD
202	9079081.97	255018.162	3440.057	TALUD
203	9079089.44	255011.092	3439.777	TALUD
204	9079072.31	255025.175	3441.383	TALUD
205	9079065.9	255031.816	3441.014	TALUD
206	9079066.83	255020.302	3444.995	TALUD
207	9079059.05	255026.4	3445.917	TALUD
208	9079060.14	255013.619	3449.773	TALUD
209	9079053.27	255019.956	3450.197	TALUD
210	9079053.88	255010.572	3452.992	TALUD
211	9079047.7	255015.809	3453.941	TALUD

212	9079042.58	255020.962	3453.656	TALUD
213	9079035.85	255025.368	3453.6	TALUD
214	9079040.63	255033.01	3449.832	TALUD
215	9079047	255027.141	3450.105	TALUD
216	9079052.84	255033.034	3445.918	TALUD
217	9079047.75	255040.009	3446.468	TALUD
218	9079054.79	255041.26	3442.601	TALUD
219	9079057.51	255037.963	3441.768	TALUD
220	9079047.79	255043.568	3446.123	TALUD
221	9079041.08	255045.485	3448.432	TALUD
222	9079041.42	255038.831	3447.96	TALUD
223	9079032.65	255042.994	3450.464	TALUD
224	9079032.99	255032.008	3452.617	TALUD
225	9079028.3	255025.598	3454.647	CAM
226	9079023.55	255022.312	3455.914	CAM
227	9079022.99	255037.014	3452.645	CAM
228	9079029.62	255041.233	3451.083	CAM
229	9079029.34	255041.434	3451.091	CAM
230	9079023.29	255041.554	3451.781	CAM
231	9079033.29	255049.682	3449.103	CAM
232	9079027.04	255051.049	3449.662	CAM
233	9079040.6	255061.109	3446.636	CAM
234	9079033.25	255060.803	3446.754	CAM
235	9079036.8	255073.206	3443.59	CAM
236	9079041.11	255073.583	3443.403	CAM
237	9079036.28	255089.065	3442.218	CAM
238	9079033.37	255090.499	3442.271	CAM
239	9079042.23	255095.846	3441.623	CAM
240	9079038.44	255097.186	3442.06	CAM
241	9079046.45	255108.857	3440.554	CAM
242	9079048.16	255112.151	3440.155	CAM
243	9079054.09	255124.74	3439.792	CAM
244	9079057.39	255124.535	3439.513	CAM
245	9079068.51	255130.42	3438.773	CAM
246	9079065.64	255132.586	3438.952	CAM
247	9079068.45	255129.793	3438.811	TALUD
248	9079071.51	255128.617	3435.81	TALUD
249	9079067.37	255123.56	3435.558	TALUD
250	9079059.89	255121.917	3438.677	TALUD
251	9079059.86	255121.863	3438.676	TALUD
252	9079062.53	255119.138	3435.777	TALUD
253	9079058.05	255116.641	3437.611	TALUD
254	9079054.9	255118.294	3439.985	TALUD

255	9079049.18	255113.554	3440.017	TALUD
256	9079052.19	255112.714	3438.007	TALUD
257	9079055.14	255110.761	3436.203	TALUD
258	9079050.63	255098.981	3435.729	TALUD
259	9079049.04	255100.028	3438.903	TALUD
260	9079046.3	255101.122	3441.06	TALUD
261	9079041.84	255095.166	3441.607	TALUD
262	9079037.13	255090.543	3441.987	TALUD
263	9079040.97	255088.068	3438.678	TALUD
264	9079047.4	255092.618	3434.923	TALUD
265	9079047.39	255092.615	3434.922	TALUD
266	9079044.28	255086.198	3435.457	TALUD
267	9079051.44	255074.12	3435.049	TALUD
268	9079047.71	255073.721	3439.081	TALUD
269	9079041.11	255072.443	3443.605	TALUD
270	9079065.25	255133.843	3441.097	TALUD
271	9079061.51	255136.496	3444.654	TALUD
272	9079058.44	255133.281	3444.673	TALUD
273	9079060.83	255130.424	3441.233	TALUD
274	9079056.52	255126.194	3440.46	TALUD
275	9079053.67	255129.605	3443.956	TALUD
276	9079049.25	255126.142	3445.23	TALUD
277	9079050.87	255123.831	3442.561	TALUD
278	9079046.73	255120.124	3442.781	TALUD
279	9079043.45	255122.227	3446.394	TALUD
280	9079040.72	255118.43	3446.272	TALUD
281	9079044.46	255116.093	3442.604	TALUD
282	9079044.06	255107.825	3443.189	TALUD
283	9079040.68	255110.991	3446.553	TALUD
284	9079035.62	255113.178	3450.563	TALUD
285	9079032.98	255104.804	3451.485	TALUD
286	9079036.4	255103.366	3448.733	TALUD
287	9079040.75	255101.118	3445.025	TALUD
288	9079032.6	255094.001	3446.933	TALUD
289	9079028.38	255098.235	3452.341	TALUD
290	9079033.46	255090.67	3444.852	TALUD
291	9079029.77	255078.919	3452.213	TALUD
292	9079037.5	255077.244	3444.521	TALUD
293	9079026.77	255070.857	3451.752	TALUD
294	9079034.92	255069.958	3446.175	TALUD
295	9079023.76	255063.637	3452.199	TALUD
296	9079022.31	255041.63	3452.273	TALUD
297	9079021.02	255034.081	3454.659	TALUD

298	9079016.66	255031.684	3458.272	TALUD
299	9079016.3	255036.991	3458.191	TALUD
300	9079040.06	254698.406	3441.814	TALUD
301	9079125.23	255104.541	3446.702	TALUD
302	9079132.58	255106.559	3449.892	TALUD
303	9079126.62	255095.823	3446.326	TALUD
304	9079133.46	255098.79	3449.771	TALUD
305	9079131.12	255087.528	3446.579	TALUD
306	9079134.63	255089.562	3451.422	TALUD
307	9079135.52	255083.278	3448.894	TALUD
308	9079137.87	255083.575	3452.475	TALUD
309	9079135.84	255076.818	3448.085	TALUD
310	9079140.84	255078.435	3452.878	TALUD
311	9079140.11	255069.872	3449.247	TALUD
312	9079143.84	255071.774	3453.733	TALUD
313	9079142.75	255064.243	3449.687	TALUD
314	9079146.45	255066.198	3454.449	TALUD
315	9079150.75	255061.587	3454.887	TALUD
316	9079156.52	255054.246	3456.769	TALUD
317	9079127.43	255107.081	3447.975	TALUD
318	9079136.4	255107.852	3452.467	TALUD
319	9079138.03	255116.247	3452.867	TALUD
320	9079133.11	255120.721	3449.938	TALUD
321	9079115.44	255107.83	3443.856	CASA
322	9079116.11	255111.637	3444.265	CASA
323	9079119.57	255123.973	3443.706	CASA
324	9079119.6	255104.308	3443.925	TALUD
325	9079114.75	255105.131	3443.255	TALUD
326	9079112.82	255103.774	3441.512	TALUD
327	9079109.1	255102.278	3439.335	TALUD
328	9079107.01	255104.458	3439.022	TALUD
329	9079105.46	255108.976	3438.401	TALUD
330	9079110.43	255110.339	3441.956	TALUD
331	9079106.96	255117.187	3438.173	TALUD
332	9079112.25	255116.622	3441.539	TALUD
333	9079115.52	255126.623	3441.067	TALUD
334	9079110.99	255126.751	3437.946	TALUD
335	9079118.22	255136.028	3438.503	TALUD
336	9079122.65	255135.197	3442.475	TALUD
337	9079127.48	255141.092	3443.536	TALUD
338	9079124.46	255144.412	3438.257	TALUD
339	9079115.85	255140.094	3437.778	TALUD
340	9079113.35	255143.286	3437.737	TALUD

341	9079105.09	255135.71	3437.597	CD
342	9079109.28	255133.135	3437.772	CD
343	9079100.8	255121.052	3437.867	CD
344	9079095.56	255123.508	3438.003	CD
345	9079095.3	255109.062	3437.88	CD
346	9079087.82	255111.905	3437.918	CD
347	9079094.22	255097.614	3437.617	CD
348	9079084.31	255098.195	3437.635	CD
349	9079071.63	255090.12	3437.632	CD
350	9079071.3	255095.793	3437.613	CD
351	9079075.47	255104.173	3438.154	CD
352	9079080.35	255113.015	3438.471	CD
353	9079086.36	255122.551	3438.155	CD
354	9079093.06	255129.11	3438.148	CD
355	9079102.86	255148.867	3435.793	RIO
356	9079076.85	255134.742	3437.296	TALUD
357	9079080.77	255138.427	3437.191	TALUD
358	9079085.19	255142.452	3436.958	TALUD
359	9079085.12	255142.445	3436.924	TALUD
360	9079089.11	255147.064	3436.956	TALUD
361	9079101.03	255154.643	3436.745	TALUD
362	9079107.83	255158.063	3436.738	TALUD
363	9079079.9	255139.546	3438.273	TALUD
364	9079077.26	255142.314	3438.414	CAM
365	9079082.18	255146.566	3438.044	CAM
366	9079084.54	255143.877	3438.133	CAM
367	9079090.87	255149.633	3437.927	CAM
368	9079087.94	255152.308	3437.894	CAM
369	9079096.73	255158.155	3437.596	CAM
370	9079098.88	255155.027	3437.514	CAM
371	9079109.82	255164.658	3437.451	CAM
372	9079110.69	255161	3437.391	CAM
373	9079120.7	255169.304	3437.85	CAM
374	9079121.72	255164.466	3437.154	CAM
375	9079135.36	255172.172	3438.357	CAM
376	9079132.53	255176.283	3438.84	CAM
377	9079141.42	255180.634	3439.051	CAM
378	9079139.32	255187.686	3439.455	CAM
379	9079075.72	255143.05	3442.31	CAM
380	9079081.63	255148.311	3441.207	CAM
381	9079067.56	255148.513	3447.509	CAM
382	9079073.35	255154.719	3447.257	CAM
383	9079060.03	255154.07	3453.772	CAM

384	9079066.59	255161.104	3453.43	CAM
385	9079072.52	255168.73	3453.127	TALUD
386	9079078.53	255177.345	3452.672	TALUD
387	9079081.22	255162.443	3447.354	TALUD
388	9079087.11	255169.845	3446.807	TALUD
389	9079088.29	255155.811	3441.506	TALUD
390	9079097.96	255160.054	3440.358	TALUD
391	9079105.82	255163.821	3439.739	TALUD
392	9079115.82	255168.739	3438.963	TALUD
393	9079098.05	255175.414	3444.005	TALUD
394	9079106.18	255180.752	3444.468	TALUD
395	9079089.92	255181.679	3449.237	TALUD
396	9079097.16	255189.655	3449.082	TALUD
397	9079103.23	255199.58	3449.4	TALUD
398	9079109.75	255208.734	3449.511	TALUD
399	9079114.79	255191.858	3444.48	TALUD
400	9079121.97	255199.287	3444.655	TALUD
401	9079125.42	255183.831	3439.948	TALUD
402	9079133.19	255186.274	3439.721	TALUD
403	9079128.9	255174.77	3439.693	TALUD
404	9079154.04	255168.129	3439.478	TALUD
405	9079155.64	255162.931	3439.442	TALUD
406	9079156.57	255173.376	3439.518	TALUD
407	9079161.61	255167.65	3439.941	TALUD
408	9079159.37	255169.251	3439.925	TALUD
409	9079150.8	255165.566	3439.201	TALUD
410	9079148.91	255162.977	3439.241	TALUD
411	9079152.15	255163.163	3439.47	TALUD
412	9079149.99	255160.851	3439.242	TALUD
413	9079147.41	255158.815	3439.355	TALUD
414	9079146.67	255160.291	3438.944	TALUD
415	9079138.41	255153.379	3439.097	TALUD
416	9079139.29	255152.079	3439.553	TALUD
417	9079130.18	255149.406	3438.099	TALUD
418	9079131.37	255147.436	3438.635	TALUD
419	9079173.58	255215.112	3442.285	TALUD
420	9079146.25	255191.974	3439.624	TALUD
421	9079140.22	255195.964	3439.774	TALUD
422	9079149.61	255201.654	3439.694	TALUD
423	9079142.66	255203.196	3440.144	TALUD
424	9079152.16	255211.061	3439.015	TALUD
425	9079143.56	255211.656	3440.041	TALUD
426	9079152.58	255219.864	3439.105	TALUD

427	9079145.06	255222.13	3440.626	TALUD
428	9079151.17	255231.712	3439.128	TALUD
429	9079145.27	255232.324	3441.606	TALUD
430	9079149.33	255242.988	3439.178	TALUD
431	9079144.48	255241.482	3441.702	TALUD
432	9079146.55	255250.337	3439.698	TALUD
433	9079142.07	255250.237	3442.743	TALUD
434	9079142.1	255250.29	3442.735	TALUD
435	9079145.56	255260.353	3439.624	TALUD
436	9079141.14	255259.886	3442.113	TALUD
437	9079127.03	255253.48	3450.735	TALUD
438	9079134.34	255248.035	3448.766	TALUD
439	9079140.04	255244.455	3443.5	TALUD
440	9079121.17	255236.044	3450.175	TALUD
441	9079116.99	255229.737	3449.82	TALUD
442	9079139.88	255234.053	3443.545	TALUD
443	9079127.61	255225.148	3446.723	TALUD
444	9079130.61	255231.582	3447.204	TALUD
445	9079136.16	255222.873	3443.097	TALUD
446	9079138.58	255229.338	3443.442	TALUD
447	9079140.35	255216.563	3442.416	TALUD
448	9079140.35	255216.536	3442.416	TALUD
449	9079139.12	255212.613	3442.575	TALUD
450	9079139.04	255206.987	3442.359	TALUD
451	9079137.75	255203.095	3442.7	TALUD
452	9079135.52	255199.47	3442.498	TALUD
453	9079131	255211.434	3443.201	TALUD
454	9079114.58	255315.701	3441.419	TALUD
455	9079114.59	255311.19	3439.798	TALUD
456	9079114.33	255301.757	3440.192	TALUD
457	9079112.99	255289.049	3440.329	TALUD
458	9079117.45	255300.534	3441.021	TALUD
459	9079117.5	255288.964	3441.075	TALUD
460	9079111.91	255286.142	3440.335	TALUD
461	9079113.42	255285.889	3440.96	TALUD
462	9079166.92	255194.955	3441.163	TALUD
463	9079165.29	255197.424	3440.465	TALUD
464	9079166.83	255190.541	3441.21	TALUD
465	9079162.7	255191.478	3440.536	TALUD
466	9079161.37	255185.45	3440.608	TALUD
467	9079163.4	255183.9	3441.374	TALUD
468	9079160.5	255178.895	3440.732	TALUD
469	9079162.51	255177.084	3441.619	TALUD

470	9079166.74	255181.571	3441.622	TALUD
471	9079166.12	255174.777	3445.499	TALUD
472	9079168.05	255189.564	3441.901	TALUD
473	9079171.07	255171.808	3446.995	TALUD
474	9079168.43	255198.319	3441.468	TALUD
475	9079174.04	255177.899	3446.652	TALUD
476	9079175.99	255186.774	3446.205	TALUD
477	9079171.73	255188.421	3444.054	TALUD
478	9079173.08	255198.064	3443.003	TALUD
479	9079178.81	255197.887	3444.879	TALUD
480	9079173.63	255203.467	3442.591	TALUD
481	9079168.32	255203.879	3441.084	TALUD
482	9079178.73	255203.76	3444.269	TALUD
483	9079174.68	255209.781	3442.615	TALUD
484	9079169.85	255209.55	3441.455	TALUD
485	9079168.13	255208.043	3440.121	TALUD
486	9079164.91	255208.014	3438.608	TALUD
487	9079165.23	255213.031	3439.036	TALUD
488	9079168.97	255213.817	3439.895	TALUD
489	9079169.43	255219.479	3440.449	TALUD
490	9079165.61	255219.12	3438.901	TALUD
491	9079185.84	255210.084	3448.39	TALUD
492	9079186.82	255220.255	3448.248	TALUD
493	9079186.87	255226.812	3448.158	TALUD
494	9079184.42	255236.648	3447.237	TALUD
495	9079183.15	255244.035	3446.973	TALUD
496	9079179.73	255240.501	3445.079	TALUD
497	9079179.96	255235.352	3444.233	TALUD
498	9079178.99	255225.914	3443.604	TALUD
499	9079178.95	255219.11	3443.817	TALUD
500	9079178.61	255213.936	3443.654	TALUD
501	9079174.01	255218.991	3442.316	TALUD
502	9079170.56	255217.725	3441.498	TALUD
503	9079174.3	255225.342	3442.276	TALUD
504	9079175.27	255233.411	3442.679	TALUD
505	9079169.66	255233.262	3440.196	TALUD
506	9079171.71	255225.164	3440.707	TALUD
507	9079165.9	255233.305	3439.926	TALUD
508	9079167.57	255225.21	3439.888	TALUD
509	9079163.54	255224.917	3439.316	TALUD
510	9079163.5	255233.026	3439.122	TALUD
511	9079162.63	255238.942	3439.419	TALUD
512	9079162.2	255246.421	3439.602	TALUD

513	9079165.62	255239.148	3440.049	TALUD
514	9079164.48	255246.625	3440.286	TALUD
515	9079169.69	255239.774	3440.338	TALUD
516	9079168.77	255247.384	3440.429	TALUD
517	9079166.83	255262.475	3440.534	TALUD
518	9079167.97	255256.954	3440.614	TALUD
519	9079162.91	255261.269	3440.385	TALUD
520	9079163.84	255256.13	3440.302	TALUD
522	9079161.07	255255.222	3439.298	TALUD
524	9079102.94	254969.964	3445.043	AUX4
525	9079083.91	254967.299	3449.927	TALUD
526	9079091.52	254961.122	3450.925	TALUD
527	9079091.05	254971.805	3447.388	TALUD
528	9079097.13	254965.787	3448.022	TALUD
529	9079102.84	254969.688	3445.086	TALUD
530	9079096.56	254975.37	3444.638	TALUD
531	9079108.84	254973.859	3441.554	TALUD
532	9079103.83	254981.587	3441.009	TALUD
533	9079114.68	254979.247	3437.331	TALUD
534	9079109.11	254989.476	3437.075	TALUD
535	9079123.21	254983.741	3434.578	TALUD
536	9079121.71	254996.152	3434.976	TALUD
537	9079121.92	254996.434	3435.158	MURO
538	9079122.16	254996.198	3435.132	MURO
539	9079121.84	254996.177	3435.027	MURO
540	9079122.16	254996.343	3436.313	MURO
541	9079126.69	255000.148	3436.296	MURO
542	9079127.02	255000.132	3435.817	MURO
543	9079126.78	255000.02	3435.813	MURO
544	9079126.98	254999.83	3435.799	MURO
545	9079127.16	254999.982	3435.797	MURO
546	9079120.93	254998.243	3436.343	MURO
547	9079120.76	254998.07	3435.563	MURO
548	9079120.79	254998.103	3435.48	MURO
549	9079116.35	254995.755	3435.602	MURO
550	9079120.93	254992.913	3435.123	MURO
551	9079121.2	254992.778	3435.156	MURO
552	9079126.29	254973.906	3434.884	TALUD
553	9079129.7	254964.644	3435.452	TALUD
554	9079119.09	254969.36	3438.666	TALUD
555	9079123.33	254960.593	3439.135	TALUD
556	9079113.58	254965.308	3441.91	TALUD
557	9079118.97	254957.234	3441.641	TALUD

558	9079108.35	254961.286	3445.368	TALUD
559	9079112.59	254953.421	3445.45	TALUD
560	9079101.79	254956.405	3448.956	TALUD
561	9079105.07	254948.541	3448.845	TALUD
562	9079111.13	254937.301	3448.788	TALUD
563	9079115.17	254928.834	3449.022	TALUD
564	9079118.08	254941.093	3445.69	TALUD
565	9079122.79	254934.264	3446.263	TALUD
566	9079125.97	254944.993	3442.035	TALUD
567	9079129.99	254938.856	3442.229	TALUD
568	9079134.44	254947.881	3437.224	TALUD
569	9079136.43	254942.872	3437.554	TALUD
570	9079138.93	254949.973	3433.427	TALUD
571	9079143.84	254945.199	3433.995	TALUD
572	9079141.95	254942.974	3434.165	TALUD
573	9079150.75	254939.201	3432.29	TALUD
574	9079156.98	254930.805	3432.299	TALUD
575	9079144.34	254934.546	3436.731	TALUD
576	9079140.66	254932.245	3437.942	TALUD
577	9079148.86	254926.309	3437.297	TALUD
578	9079137.17	254930.081	3440.948	TALUD
579	9079142.29	254923.87	3441.259	TALUD
580	9079131.27	254925.601	3445.054	TALUD
581	9079134.37	254918.577	3444.979	TALUD
582	9079123.71	254921.785	3447.539	TALUD
583	9079127.32	254913.691	3447.509	TALUD
584	9079130.28	254908.319	3447.42	TALUD
585	9079137.34	254902.633	3446.133	TALUD
586	9079137.41	254914.437	3444.438	TALUD
587	9079141.85	254907.657	3443.778	TALUD
588	9079143.44	254919.909	3441.532	TALUD
589	9079147.33	254911.857	3441.154	TALUD
590	9079149.2	254924.352	3437.68	TALUD
591	9079154.37	254916.28	3437.224	TALUD
592	9079159.74	254919.811	3434.287	TALUD
593	9079153.78	254928.119	3434.789	TALUD
594	9079165.15	254922.91	3432.375	TALUD
595	9079172.89	254916.223	3431.874	TALUD
596	9079178.36	254908.875	3431.782	TALUD
597	9079165.67	254909.865	3434.278	TALUD
598	9079172.75	254902.794	3433.948	TALUD
599	9079163.83	254897.511	3438.638	TALUD
600	9079159.35	254904.863	3438.412	TALUD

601	9079154.4	254899.827	3441.706	TALUD
602	9079159.09	254892.496	3442.027	TALUD
603	9079149.23	254894.377	3445.147	TALUD
604	9079154.6	254887.236	3445.398	TALUD
605	9079162.43	254876.388	3445.911	TALUD
606	9079167.91	254868.282	3445.512	TALUD
607	9079173.54	254871.416	3442.218	TALUD
608	9079168.42	254879.75	3442.523	TALUD
609	9079174.62	254884.092	3438.635	TALUD
610	9079180.98	254875.464	3438.542	TALUD
611	9079180	254888.579	3435.007	TALUD
612	9079188.54	254879.425	3434.445	TALUD
613	9079185.95	254897.923	3431.287	TALUD
614	9079193.1	254883.335	3431.864	TALUD
615	9079130.31	255002.435	3437.229	TALUD
616	9079144.84	255007.865	3438.047	TALUD
617	9079135.79	254995.073	3437.873	TALUD
618	9079141.61	254997.473	3437.95	TALUD
619	9079138.3	254985.726	3437.237	TALUD
620	9079143.15	254986.925	3437.192	CAM
621	9079140.33	254975.943	3436.265	CAM
622	9079145.51	254977.77	3436.534	CAM
623	9079143.7	254965.911	3435.609	CAM
624	9079150.26	254968.913	3435.804	CAM
625	9079148.89	254957.712	3435.092	CAM
626	9079154.76	254960.902	3435.141	CAM
627	9079159.33	254951.349	3434.497	CAM
628	9079162.72	254954.483	3435.053	CAM
629	9079168.87	254942.745	3434.613	CAM
630	9079172.14	254945.112	3434.794	CAM
631	9079175.43	254934.259	3434.099	CAM
632	9079179.27	254936.836	3434.686	CAM
633	9079182.59	254927.094	3434.654	CAM
634	9079185.9	254929.284	3435.105	CAM
635	9079188.5	254921.617	3434.754	CAM
636	9079192.56	254923.355	3435.125	CAM
637	9079195.21	254909.21	3433.707	CAM
638	9079201.84	254901.342	3433.621	CAM
639	9079206.92	254903.381	3434.58	CAM
640	9079204.31	254896.955	3432.278	TALUD
641	9079199.9	254902.901	3432.537	TALUD
642	9079191.99	254910.928	3431.487	TALUD
643	9079188.29	254919.296	3433.049	TALUD

644	9079181.03	254927.319	3433.226	TALUD
645	9079176.03	254931.834	3432.732	TALUD
646	9079170.9	254937.621	3433.025	TALUD
647	9079164.85	254943.659	3432.689	TALUD
648	9079158.44	254948.536	3432.509	TALUD
649	9079152.6	254950.45	3433.082	TALUD
650	9079147.74	254955.929	3433.931	TALUD
651	9079148.84	254952.326	3432.844	TALUD
652	9079144.53	254961.551	3434.26	TALUD
654	9079140.97	254968.983	3434.81	TALUD
656	9079138.26	254976.644	3435.15	TALUD
658	9079136.44	254983.018	3435.391	TALUD
660	9079135.07	254989.401	3435.872	TALUD
662	9079133.16	254996.741	3436.607	TALUD
664	9079129.53	255001.582	3436.527	TALUD
665	9079127.64	254999.522	3434.262	TALUD
666	9079145.52	255000.324	3439.142	TALUD
667	9079145.72	255004.528	3442.23	TALUD
668	9079146.26	255000.127	3440.644	TALUD
669	9079150.92	255006.891	3444.162	TALUD
670	9079146.83	254992.801	3438.78	TALUD
671	9079155.74	255010.571	3448.072	TALUD
672	9079147.69	254993.281	3440.165	TALUD
673	9079152.72	254997.111	3443.668	TALUD
674	9079160.14	255002.454	3450.214	TALUD
675	9079157.07	255001.542	3446.895	TALUD
676	9079164.09	254995.057	3450.467	TALUD
677	9079159.4	254992.591	3447.121	TALUD
678	9079154.61	254989.381	3443.111	TALUD
679	9079167.91	254985.774	3450.054	TALUD
680	9079150.94	254987.201	3440.44	TALUD
681	9079149.22	254985.918	3438.501	TALUD
682	9079159.75	254982.383	3444.575	TALUD
683	9079155.92	254981.456	3442.456	TALUD
684	9079152.17	254978.136	3437.417	TALUD
685	9079150.11	254977.342	3435.617	TALUD
686	9079163.57	254980.544	3446.03	TALUD
687	9079167.92	254975.48	3446.235	TALUD
688	9079154.11	254968.937	3434.92	TALUD
689	9079163.52	254972.901	3443.78	TALUD
690	9079158.86	254971.388	3439.681	TALUD
691	9079168.22	254966.491	3443.464	TALUD
692	9079162.32	254964.865	3440.014	TALUD

693	9079174.86	254967.405	3446.135	TALUD
694	9079159.61	254964.243	3437.358	TALUD
695	9079158.07	254962.836	3435.517	TALUD
696	9079181.18	254960.588	3446.838	TALUD
697	9079157.63	254962.487	3434.958	TALUD
698	9079175.55	254955.219	3442.882	TALUD
699	9079163.06	254954.698	3435.542	TALUD
700	9079168.31	254957.498	3439.763	TALUD
701	9079187.21	254945.88	3448.257	TALUD
702	9079184.04	254943.663	3442.131	TALUD
703	9079180.77	254943.32	3438.807	TALUD
704	9079176.1	254943.246	3435.556	TALUD
705	9079193.37	254938.54	3446.216	TALUD
706	9079177.55	254932.093	3435.147	TALUD
707	9079189.16	254935.824	3441.76	TALUD
708	9079187.14	254931.771	3437.757	TALUD
709	9079189.88	254914.472	3435.649	TALUD
710	9079196.3	254925.22	3441.172	TALUD
711	9079202.42	254919.331	3442.002	TALUD
712	9079196.68	254920.566	3438.552	TALUD
713	9079206.44	254909.712	3444.73	TALUD
714	9079204.16	254912.061	3439.243	TALUD
715	9079212.92	254900.645	3440.957	TALUD
716	9079220.47	254905.62	3447.554	TALUD
717	9079219.17	254892.742	3441.795	TALUD
718	9079225.46	254891.865	3446.036	TALUD
719	9079206.64	254886.066	3435.452	TALUD
720	9079203.66	254894.236	3436.409	TALUD
721	9079195.26	254903.323	3435.541	TALUD
722	9079190.46	254912.881	3435.634	TALUD
723	9079123.76	254996.554	3432.687	RIO
724	9079125.22	254990.061	3432.83	RIO
725	9079127.66	254995.986	3432.225	RIO
726	9079128.94	254990.828	3432.235	RIO
727	9079130.13	254993.96	3433.021	RIO
728	9079127.76	254999.106	3433.219	RIO
729	9079132.29	254989.737	3432.833	RIO
730	9079134.11	254983.52	3432.697	RIO
731	9079132.3	254982.958	3432.157	RIO
732	9079136.04	254977.003	3432.477	RIO
733	9079127.81	254981.053	3432.565	RIO
734	9079128.56	254976.648	3433.121	RIO
735	9079133.89	254977.706	3432.01	RIO

736	9079131.7	254969.342	3432.468	RIO
737	9079138.06	254970.672	3432.529	RIO
738	9079135.88	254969.435	3431.568	RIO
739	9079142.28	254961.122	3432.258	RIO
740	9079138.84	254959.492	3431.665	RIO
741	9079135.11	254960.468	3432.614	RIO
742	9079148.27	254951.581	3431.924	RIO
743	9079141.86	254946.953	3432.955	RIO
744	9079144.65	254949.176	3431.499	RIO
745	9079154.8	254932.032	3431.698	RIO
746	9079162.83	254941.013	3431.632	RIO
747	9079158.33	254937.283	3431.007	RIO
748	9079167.54	254920.306	3431.263	RIO
749	9079175.61	254925.812	3431.315	RIO
750	9079171.07	254923.099	3430.819	RIO
751	9079185.32	254912.983	3430.942	RIO
752	9079180.09	254908.532	3431.008	RIO
753	9079182.09	254909.92	3430.534	RIO
754	9079202.49	254893.994	3430.727	RIO
755	9079196.34	254893.324	3430.254	RIO
756	9079191.37	254889.652	3430.448	RIO
757	9079125.86	254999.528	3437.8	
758	9079171.88	254950.202	3442.225	AUX5
759	9079078.49	255034.214	3433.371	RIO
760	9079083.14	255037.842	3433.765	RIO
761	9079078.84	255037.906	3432.602	RIO
762	9079078.68	255038.13	3432.609	RIO
763	9079076.05	255035.954	3433.184	RIO
764	9079078.38	255044.565	3433.83	RIO
765	9079071.94	255037.268	3433.562	RIO
766	9079073.42	255042.934	3433.292	RIO
767	9079076.85	255048.264	3433.833	RIO
768	9079069.68	255040.663	3433.43	RIO
769	9079071.28	255046.77	3433.496	RIO
770	9079064.31	255051.392	3434.227	RIO
771	9079064.94	255051.758	3434.015	RIO
772	9079073.99	255054.668	3433.486	RIO
773	9079066.68	255053.638	3433.559	RIO
774	9079068.01	255067.99	3434.131	RIO
775	9079058.18	255064.521	3434.219	RIO
776	9079060.95	255066.657	3433.748	RIO
777	9079062.23	255079.779	3434.575	RIO
778	9079051.28	255076.863	3434.621	RIO

779	9079056.29	255078.446	3433.96	RIO
780	9079057.77	255090.259	3434.698	RIO
781	9079052.66	255089.76	3434.027	RIO
782	9079048.39	255089.753	3434.599	RIO
783	9079048.42	255093.221	3434.793	RIO
784	9079052.16	255094.068	3434.168	RIO
785	9079055.96	255094.176	3434.719	RIO
786	9079052.97	255103.383	3434.954	RIO
787	9079061.78	255100.706	3434.705	RIO
788	9079057.33	255103.12	3434.667	RIO
789	9079067.88	255108.279	3435.366	RIO
790	9079060.13	255113.635	3435.266	RIO
791	9079063.28	255111.386	3434.737	RIO
792	9079076.42	255123.06	3435.455	RIO
793	9079071.26	255126.241	3435.437	RIO
794	9079074.64	255124.792	3435.097	RIO
795	9079084.17	255141.626	3435.965	RIO
796	9079088.82	255134.639	3436.04	RIO
797	9079086.97	255139.742	3435.601	RIO
798	9079107.4	255144.014	3436.481	RIO
799	9079104.98	255153.954	3436.588	RIO
800	9079108.51	255149.308	3436.094	RIO
801	9079121.23	255161.528	3436.857	RIO
802	9079127.28	255153.157	3436.878	RIO
803	9079125.4	255158.187	3436.421	RIO
804	9079141.35	255162.829	3437.081	RIO
805	9079133.6	255174.106	3437.257	RIO
806	9079138.2	255167.564	3436.916	RIO
807	9079140.99	255174.605	3437.119	RIO
808	9079142.82	255173.93	3436.77	RIO
809	9079146.3	255167.632	3436.99	RIO
810	9079145.96	255203.727	3441.326	E06,AUX7
811	9079163.74	255255.112	3441.452	AUX6
812	9079146.87	255181.605	3438.677	RIO
813	9079147.32	255181.506	3438.426	RIO
814	9079148.12	255183.8	3438.074	RIO
815	9079153.17	255179.585	3438.201	RIO
816	9079148.54	255183.982	3437.995	RIO
817	9079084.35	255037.793	3438.03	
818	9079159.39	255193.152	3439.215	RIO
819	9079156.07	255194.85	3439.191	RIO
820	9079149.44	255195.463	3439.156	RIO
821	9079153.99	255195.178	3439.115	RIO

822	9079152.99	255212.643	3439.844	RIO
823	9079153.63	255212.539	3439.668	RIO
824	9079163.84	255211.209	3439.895	RIO
825	9079162.28	255211.539	3439.559	RIO
826	9079158.17	255212.795	3439.412	RIO
827	9079152.2	255227.766	3440.103	RIO
828	9079152.94	255227.789	3439.987	RIO
829	9079163.38	255228.563	3440.081	RIO
830	9079162.64	255228.214	3439.847	RIO
831	9079156.83	255228.808	3439.523	RIO
832	9079161.31	255245.481	3440.334	RIO
833	9079160.47	255245.373	3440.003	RIO
834	9079155.45	255244.596	3439.736	RIO
835	9079159.43	255261.155	3440.515	RIO
836	9079158.5	255261.009	3440.408	RIO
837	9079151.16	255243.313	3440.255	RIO
838	9079151.94	255243.346	3440.015	RIO
839	9079154.45	255260.748	3440.23	RIO
840	9079148.21	255261.252	3440.632	RIO
841	9079149.19	255261.357	3440.385	RIO
842	9079155.18	255278.485	3440.741	RIO
843	9079153.97	255278.229	3440.359	RIO
844	9079144.96	255278.968	3440.824	RIO
845	9079145.74	255278.974	3440.482	RIO
846	9079150.68	255278.741	3440.264	RIO
847	9079143.44	255294.154	3441.012	RIO
848	9079144.05	255294.239	3440.931	RIO
849	9079153.34	255294.019	3440.882	RIO
850	9079153.19	255294.099	3440.858	RIO
851	9079150.7	255294.983	3440.738	RIO
852	9079141.04	255315.915	3441.465	RIO
853	9079142.09	255315.751	3441.303	RIO
854	9079153.19	255313.446	3441.391	RIO
855	9079152.17	255313.376	3441.068	RIO
856	9079146.5	255316.322	3440.989	RIO
857	9079150.55	255332.67	3441.61	RIO
858	9079149.98	255332.077	3441.352	RIO
859	9079146.82	255332.804	3441.454	RIO
860	9079140.9	255335.683	3441.458	RIO
861	9079145.57	255334.055	3441.163	RIO
862	9079168.94	255328.579	3441.584	TALUD
863	9079173.89	255328.739	3442.526	TALUD
864	9079182.44	255326.644	3446.256	TALUD

865	9079183.56	255320.538	3445.477	TALUD
866	9079178.86	255318.276	3442.87	TALUD
867	9079181.48	255313.485	3442.82	TALUD
868	9079186.33	255314.608	3445.797	TALUD
869	9079186.02	255311.036	3445.98	TALUD
870	9079187.09	255305.779	3444.004	TALUD
871	9079190.11	255306.825	3446.986	TALUD
872	9079191.69	255301.56	3446.829	TALUD
873	9079187.99	255300.773	3444.526	TALUD
874	9079135.32	255331.061	3443.075	TALUD,E07
875	9079139.74	255317.871	3441.702	RIO
876	9079140.76	255317.976	3441.61	RIO
877	9079150.98	255317.874	3441.588	RIO
878	9079149.48	255318.003	3441.451	RIO
879	9079143.81	255320.37	3441.02	RIO
880	9079150.97	255329.509	3441.858	RIO
881	9079149.78	255329.681	3441.495	RIO
882	9079139.18	255329.77	3441.891	RIO
883	9079139.93	255329.937	3441.8	RIO
884	9079145.63	255329.523	3441.536	RIO
885	9079138.77	255344.665	3442.185	RIO
886	9079139.47	255344.46	3441.921	RIO
887	9079150.16	255345.872	3442.102	RIO
888	9079148.99	255345.625	3441.84	RIO
889	9079145.49	255346.54	3441.69	RIO
890	9079137.45	255357.067	3442.383	RIO
891	9079138.02	255357.221	3442.212	RIO
892	9079148.31	255360.063	3442.306	RIO
893	9079147.52	255360.045	3442.157	RIO
894	9079141.81	255358.929	3441.964	RIO
895	9079145.82	255374.273	3442.352	RIO
896	9079145.31	255374.232	3442.29	RIO
897	9079134.87	255372.479	3442.362	RIO
898	9079140.03	255373.879	3442.138	RIO
899	9079134.88	255372.52	3442.376	RIO
900	9079140.78	255390.006	3442.815	RIO
901	9079139.62	255390.016	3442.553	RIO
902	9079135.87	255389.888	3442.132	RIO
903	9079129.3	255391.935	3443.105	RIO
904	9079137.15	255405.636	3443.1	RIO
905	9079135.83	255405.338	3442.826	RIO
906	9079132.44	255405.303	3442.697	RIO
907	9079129.42	255404.115	3442.919	RIO

908	9079127.69	255391.996	3444.287	BOSQUE
909	9079123.93	255403.084	3444.566	BOSQUE
910	9079118.11	255390.156	3445.346	BOSQUE
911	9079115.57	255399.772	3445.276	BOSQUE
912	9079108.21	255388.065	3449.163	BOSQUE
913	9079107.25	255396.606	3449	BOSQUE
914	9079098.21	255393.007	3451.104	BOSQUE
915	9079098	255385.703	3451.112	BOSQUE
916	9079101.86	255370.588	3451.321	BOSQUE
917	9079104.44	255359.317	3451.092	BOSQUE
918	9079112.88	255360.705	3447.995	BOSQUE
919	9079109.02	255374.315	3449.53	BOSQUE
920	9079122.02	255362.325	3444.479	BOSQUE
921	9079115.69	255376.685	3445.965	BOSQUE
922	9079136.87	255362.234	3443.074	BOSQUE
923	9079131.89	255380.236	3443.358	BOSQUE
924	9079137.86	255352.148	3442.655	BOSQUE
925	9079138.54	255341.8	3442.492	BOSQUE
926	9079125.94	255349.916	3444.542	BOSQUE
927	9079126.33	255339.794	3444.167	BOSQUE
928	9079114.64	255347.154	3447.705	BOSQUE
929	9079114.57	255337.12	3447.54	BOSQUE
930	9079103.81	255343.666	3450.974	BOSQUE
931	9079106.65	255334.287	3451.66	BOSQUE
932	9079109.64	255323.786	3452.048	BOSQUE
933	9079111.11	255313.229	3452.659	BOSQUE
934	9079115.13	255325.487	3447.981	BOSQUE
935	9079115.4	255315.409	3448.356	BOSQUE
936	9079121.69	255327.15	3444.168	BOSQUE
937	9079121.78	255316.416	3445.043	BOSQUE
938	9079130.73	255327.958	3443.344	BOSQUE
939	9079129.96	255316.516	3443.318	BOSQUE
940	9079138.6	255328.081	3442.376	BOSQUE
941	9079139.75	255315.454	3442.114	BOSQUE
942	9079140.29	255304.089	3442.128	BOSQUE
943	9079141.4	255292.27	3441.75	BOSQUE
944	9079129.6	255302.442	3443.399	BOSQUE
945	9079129.03	255290.835	3443.753	BOSQUE
946	9079123.28	255300.166	3446.222	BOSQUE
947	9079124.43	255292.362	3449.648	BOSQUE
948	9079119.57	255300.274	3450.218	BOSQUE
949	9079118.72	255290.866	3453.079	BOSQUE
950	9079116.25	255298.274	3453.567	BOSQUE

951	9079120.35	255278.047	3453.133	TALUD
952	9079123.22	255266.886	3452.941	TALUD
953	9079128.47	255278.902	3449.282	TALUD
954	9079131.97	255268.067	3449.89	TALUD
955	9079131.51	255279.815	3445.092	TALUD
956	9079136.44	255268.899	3446.795	TALUD
957	9079134.72	255279.647	3442.635	TALUD
958	9079139.62	255269.957	3444.529	TALUD
959	9079142.21	255281.189	3441.669	TALUD
960	9079144.51	255271.761	3441.389	TALUD
961	9079146.43	255261.606	3442.345	TALUD
962	9079142.26	255261.254	3444.899	TALUD
963	9079137.42	255260.171	3447.487	TALUD
964	9079133.55	255252.574	3451.637	TALUD
965	9079083.64	255037.287	3438.019	
966	9079161.81	255263.964	3442.369	TALUD
967	9079109.21	254992.03	3436.86	MURO
968	9079159.31	255270.723	3442.329	TALUD
969	9079155.03	255282.886	3441.639	TALUD
970	9079157.58	255283.78	3442.963	TALUD
971	9079154.12	255296.304	3441.884	TALUD
972	9079157.37	255296.454	3442.481	TALUD
973	9079152.11	255311.827	3442.038	TALUD
974	9079156.59	255312.303	3442.429	TALUD
975	9079151.3	255327.674	3442.412	TALUD
976	9079155.22	255327.524	3442.923	TALUD
977	9079151.03	255338.2	3442.653	TALUD
978	9079155.03	255339.115	3443.36	TALUD
979	9079149.91	255350.542	3442.704	TALUD
980	9079153.45	255351.563	3443.34	TALUD
981	9079147.81	255371.332	3443.269	TALUD
982	9079150.74	255377.464	3444.085	TALUD
983	9079142.59	255385.776	3443.004	TALUD
984	9079149.11	255389.218	3444.284	TALUD
985	9079138.81	255398.267	3443.432	TALUD
986	9079144.37	255399.11	3445.537	TALUD
987	9079141.68	255414.878	3447.375	TALUD
988	9079136.38	255413.046	3443.427	TALUD
989	9079135.87	255420.288	3443.883	TALUD
990	9079146.54	255416.386	3450.291	TALUD
991	9079141.95	255423.152	3447.475	TALUD
992	9079147.89	255410.17	3450.029	TALUD
993	9079144.7	255422.604	3450.67	TALUD

994	9079151.46	255412.703	3454	TALUD
995	9079150.67	255403.86	3449.94	TALUD
996	9079146.35	255401.257	3446.276	TALUD
997	9079156.75	255396.893	3452.155	BOSQUE
998	9079153.26	255389.594	3446.817	BOSQUE
999	9079160.27	255388.181	3452.457	BOSQUE
1000	9079156.6	255379.252	3448.377	BOSQUE
1001	9079163.19	255376.343	3453.282	BOSQUE
1002	9079157.16	255365.237	3450.118	TALUD
1003	9079161.47	255367.855	3455.232	TALUD
1004	9079155.91	255360.78	3446.79	TALUD
1005	9079159.18	255354.412	3446.567	TALUD
1006	9079168.12	255361.111	3454.553	TALUD
1007	9079164.29	255358.102	3451.132	TALUD
1008	9079153.41	255354.8	3443.543	TALUD
1009	9079153.58	255354.826	3444.311	TALUD
1010	9079153.94	255354.934	3444.212	CERCO
1011	9079154	255354.888	3444.032	CERCO
1012	9079154.31	255346.901	3443.141	CERCO
1013	9079154.65	255347.039	3444.157	CERCO
1014	9079155.17	255347.043	3444.233	CERCO
1015	9079155.34	255338.073	3443.339	CERCO
1016	9079155.47	255338.065	3444.254	CERCO
1017	9079155.76	255338.038	3444.119	CERCO
1018	9079155.64	255324.888	3443.043	CERCO
1019	9079155.91	255324.946	3443.936	CERCO
1020	9079156.33	255324.869	3443.757	CERCO
1021	9079156.18	255315.251	3442.746	CERCO
1022	9079156.3	255315.282	3443.566	CERCO
1023	9079156.77	255315.252	3443.472	CERCO
1024	9079156.99	255303.21	3442.66	CERCO
1025	9079157.05	255303.235	3443.378	CERCO
1026	9079157.5	255303.26	3443.24	CERCO
1027	9079157.26	255292.052	3442.641	CERCO
1028	9079157.46	255291.986	3443.538	CERCO
1029	9079157.8	255292.022	3443.643	CERCO
1030	9079162.18	255290.557	3446.027	CERCO
1031	9079168.74	255277.745	3450.25	CERCO
1032	9079169.05	255289.319	3450.511	TALUD
1033	9079181.69	255279.79	3453.365	TALUD
1034	9079177.54	255291.247	3452.891	TALUD
1035	9079181.66	255279.822	3453.326	TALUD
1036	9079184.86	255292.921	3454.804	TALUD

1037	9079190.38	255282.054	3455.721	TALUD
1038	9079194.05	255296.954	3457.828	TALUD
1039	9079199.74	255285.164	3458.877	TALUD
1040	9079189.99	255307.954	3457.971	TALUD
1041	9079187.84	255320.043	3457.854	TALUD
1042	9079180.44	255306.243	3454.223	TALUD
1043	9079178.78	255320.778	3453.908	TALUD
1044	9079173.08	255306.787	3450.594	TALUD
1045	9079170.58	255322.175	3449.103	TALUD
1046	9079164.66	255307.928	3445.277	TALUD
1047	9079164	255322.534	3445.346	TALUD
1048	9079162.25	255334.815	3444.809	TALUD
1049	9079169.81	255336.427	3450.121	TALUD
1050	9079161.49	255345.362	3446.286	TALUD
1051	9079168.14	255348.606	3451.149	TALUD
1052	9079176.21	255335.819	3455.772	TALUD
1053	9079172.56	255349.365	3456.923	TALUD
1054	9079180.38	255352.368	3462.813	TALUD
1055	9079187.47	255345.071	3464.111	TALUD
1056	9079177.29	255365.319	3462.337	TALUD
1057	9079171.42	255363.419	3457.615	TALUD
1058	9079165.93	255361.234	3453.308	TALUD
1059	9079160.2	255356.942	3448.483	TALUD
1060	9079120.68	254998.265	3435.5	MURO
1061	9079126.89	255000.291	3436.35	MURO
1062	9079079.97	255041.37	3433.665	RIO