

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA



**“MODELACIÓN DE MÁXIMAS AVENIDAS EN LA CUENCA DEL RÍO
LURÍN UTILIZANDO MODELOS HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO”**

PRESENTADA POR:

KEVIN ALEXANDER CARDICH MOTTA

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE:

INGENIERO AGRÍCOLA

Lima-Perú

2017

DEDICATORIA

A Dios, a mis padres María y Alberto por su incondicional apoyo, esfuerzo y comprensión durante este tiempo de aprendizaje que inició con mis estudios en la carrera de Ingeniería Agrícola. A mis hermanos Alberto y Erick y sus respectivas familias. A mi novia Grace y amigos cercanos por su apoyo constante y buenos consejos.

AGRADECIMIENTO

Mis agradecimientos al Dr. Eduardo Chávarri, por su guía durante la realización de la presente tesis. Al Ingeniero Pablo Quispe e Ingeniero Miguel Canales. Asimismo, a todos los compañeros de la Universidad con quienes compartí inquietudes, conocimientos y momentos muy gratos. Finalmente, pero no por ello menos importante, a mis amigos y compañeros de promoción de la carrera por los conocimientos compartidos, las aventuras y el apoyo emocional durante esta experiencia.

RESUMEN

Los desbordes en el valle de la cuenca del río Lurín son un problema que se repite año tras año frente a los eventos de máximas avenidas, generándose inundaciones en los tramos del río más vulnerables y que acarrea cuantiosos daños materiales y económicos. Es por esta razón que el presente trabajo denominado “Modelamiento de máximas avenidas en la cuenca del río Lurín utilizando Sistemas de Información Geográfica”, tiene como objetivo modelar hidrológicamente la cuenca y modelar hidráulicamente 5.6 kilómetros del tramo más vulnerable del valle, con la finalidad de obtener los caudales de máximas avenidas y las áreas de inundación para flujos de régimen no estacionario. Ambos modelos para los periodos de retorno de 100 años, 200 años y 500 años. Para la elaboración del trabajo se realizó la recopilación y procesamiento de la información pluviométrica, así como de la información cartográfica, esta última sirvió para hacer el pre-proceso con HEC-GeoHMS y exportarlo a HEC-HMS. Los hietogramas de diseño generados de la pluviometría, los valores de curva número y el tiempo de concentración son los parámetros más relevantes de entrada para la simulación hidrológica. Como resultado de la simulación, fueron obtenidos caudales de máximas avenidas de 97.4 m³/s, 127.3 m³/s y 152.6 m³/s para los periodos de retorno de 100, 200 y 500 años respectivamente. Con respecto a la modelación hidráulica, ésta se realizó para un tramo de río de 5.6 km, para lo cual se contó con información topográfica obtenida de un levantamiento elaborado en época de estiaje. Dicha información se empleó en el pre-proceso con HEC-GeoRAS donde se obtuvo la geometría del río y sus secciones transversales, y además se obtuvo el Modelo Digital de Elevaciones. Con esos datos se realizó la simulación bidimensional con HEC-RAS 2D en flujo no estacionario, de ello se obtuvieron las áreas de inundación que fueron de 149 ha, 174 ha y 189 ha, para 100, 200 y 500 años, respectivamente. Se estimaron pérdidas económicas en función de la pérdida de terreno que alcanzaron valores de 2.9, 3.4 y 3.7 millones de dólares.

ABSTRACT

The overflows in the valley of the Lurín river basin are a problem that is repeated year after year in the face of the events of maximum floods, generating floods in the most vulnerable stretches of the river and causing considerable material and economic damage. It is for this reason that the present work called "Modeling of maximum avenues in the Lurín River basin using Geographic Information Systems", aims to hydrologically model the basin and hydraulically model 5.6 kilometers of the most vulnerable stretch of the valley, with the purpose of obtain the maximum flood flows and the flood areas for non-stationary regime flows. Both models for the return periods of 100 years, 200 years and 500 years. For the elaboration of the work, the collection and processing of the pluviometric information as well as the cartographic information was done, the latter served to pre-process with HEC-GeoHMS and export it to HEC-HMS. The design hietograms generated from rainfall, the number curve values and the concentration time are the most important input parameters for hydrological simulation. As a result of the simulation, maximum avenues flow rates of 97.4 m³ / s, 127.3 m³ / s and 152.6 m³ / s were obtained for the return periods of 100, 200 and 500 years respectively. With regard to hydraulic modeling, this was done for a stretch of river of 5.6 km, for which topographic information was obtained from an uprising drawn up during the dry season. This information was used in the pre-process with HEC-GeoRAS where the geometry of the river and its cross sections was obtained, and also the Digital Elevation Model was obtained. With these data, two-dimensional simulation was performed with 2D HEC-RAS in non-stationary flow, from which the flood areas were obtained, which were 149 ha, 174 ha and 189 ha, for 100, 200 and 500 years, respectively. Economic losses were estimated based on the loss of land that reached values of 2.9, 3.4 and 3.7 million dollars.

ÍNDICE GENERAL

I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. GENERALIDADES	1
1.2. OBJETIVOS	2
1.2.1 Objetivo Principal.....	2
1.2.2 Objetivos Específicos	2
II. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1 MARCO CONCEPTUAL PARA EL ESTUDIO DE LA CUENCA	3
2.1.1 Cuenca Hidrográfica.....	3
2.1.2 Caracterización Hidrográfica.....	4
2.1.3 Cobertura Vegetal.....	5
2.1.4 Escorrentía	5
2.1.5 Pérdidas	5
2.2 MARCO CONCEPTUAL PARA EL ESTUDIO DE MÁXIMAS AVENIDAS	6
2.2.1 Máximas Avenidas	6
2.2.2 Precipitación Máxima 24 horas	7
2.2.3 Hietograma de diseño	7
2.2.4 Hidrograma.....	8
2.2.5 Tiempo de Concentración.....	9
2.2.6 Periodo de Retorno	10
2.2.7 Inundaciones.....	10
2.2.8 Precipitación Media.....	11
2.3 ANÁLISIS DE PRECIPITACIÓN MÁXIMA 24 HORAS	11
2.3.1 Crítica de la información	11
2.3.2 Análisis de Frecuencia y Funciones de Distribución.....	13
2.3.3 Pruebas de Bondad de Ajuste	16
2.4 MODELACIÓN HIDROLÓGICA.....	18
2.4.1 Modelo Hidrológico	18
2.4.2 Modelación Hidrológica con HEC-HMS y HEC-GeoHMS.....	18
2.4.3 Modelo HMS	19
2.4.4 Calibración.....	22
2.5 MODELACIÓN HIDRÁULICA.....	27
2.5.1 Modelo Hidráulico.....	27
2.5.2 Modelación Hidráulica con HEC-RAS y HEC-GeoRAS.....	27
2.5.3 Modelación Hidráulica en 1D/2D.....	29

2.6	MOVIMIENTO INCIPIENTE DE PARTÍCULAS	30
2.6.1	Esfuerzo Cortante en el lecho de un cauce	30
III.	MATERIALES Y MÉTODOS	31
3.1	MATERIALES	31
3.1.1	Descripción de la cuenca	31
3.1.2	Información Cartográfica	42
3.1.3	Información Pluviométrica	44
3.1.4	Equipos y Programas de Cómputo	46
3.2	MODELACIÓN HIDROLÓGICA DE LA CUENCA.....	46
3.2.1	Análisis de la precipitación máxima 24 horas	47
3.2.2	Proceso HEC-GeoHMS	51
3.2.3	Proceso HEC-HMS.....	67
3.2.4	Calibración.....	71
3.3	MODELACIÓN HIDRÁULICA DEL TRAMO CRÍTICO	72
3.3.1	Pre-Proceso HEC-GeoRAS	72
3.3.2	Proceso HEC-RAS	76
3.3.3	Modelación Bidimensional (2D)	79
3.4	DETERMINACIÓN DEL MOVIMIENTO INICIAL DE PARTÍCULAS	85
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIONES	88
4.1	RESULTADOS DEL MODELAMIENTO HIDROLÓGICO	88
4.2	RESULTADOS DE MODELO HIDRÁULICO HEC-GeoRAS	91
4.3	RESULTADOS DEL MODELO HIDRÁULICO HEC-RAS 2D.....	93
4.3.1	Mapas de Profundidad del Nivel de Agua.....	93
4.3.2	Mapas de Velocidades y Flujos de Agua.....	96
4.3.3	Mapas de Esfuerzos Cortantes.....	99
4.3.4	Parámetros Hidráulicos de las Secciones Transversales	102
4.3.5	Variación de Tirantes en el eje del río.....	103
4.3.6	Variación de Velocidades en el eje del río	104
4.4	ÁREAS DE INUNDACIÓN DE PREDIOS	105
4.5	DIAGRAMA DE SHIELDS.....	109
4.6	DISCUSIONES	113
V.	CONCLUSIONES	121
VI.	RECOMENDACIONES	122
VII.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	123
VIII.	ANEXOS.....	125

INDICE DE TABLAS

Tabla N° 1: Parámetros físico-morfométricos de una cuenca.....	4
Tabla N° 2: Distribuciones de lluvia SCS.....	8
Tabla N° 3: Valores de Kn para la prueba de datos dudosos.....	12
Tabla N° 4: Valores críticos “d” para la prueba de Smirnov-Kolmogorov.....	17
Tabla N° 5: Valores de Curva Número.....	20
Tabla N°6:Métodos y data requerida para el modelo de precipitación en una cuenca....	23
Tabla N°7:Métodos y data requerida para el modelo de pérdidas en una cuenca.....	24
Tabla N°8:Métodos y data requerida para el modelo de transformación en una cuenca.	25
TablaN° 9: Métodos y data requerida para el modelo de tránsito en una cuenca.....	26
Tabla N° 10: Data geométrica requerida para el modelo hidráulico.....	28
Tabla N° 11: Data geométrica requerida para el modelo hidráulico.....	28
Tabla N° 12: Comparación de modelos 1D y 2D.....	29
Tabla N° 13: Demarcación política de la cuenca Lurín.....	34
Tabla N° 14: Características de la red hidrográfica de la cuenca.....	35
Tabla N° 15: Estaciones pluviométricas.....	44
Tabla N° 16: Longitud de las estaciones pluviométricas.....	45
Tabla N°17: Precipitación Máxima 24 horas (1965-2013).....	47
Tabla N° 18: Funciones y precipitaciones proyectadas.....	49
Tabla N° 19: Parámetros del Modelo Cuenca.....	69
Tabla N° 20: Tiempos de Concentración y Coeficiente de Almacenamiento.....	69
Tabla N° 21: Caudales Máximos del Estudio del MEF.....	71
Tabla N°22:Valores Curva Número y posibilidades de variación (-3 a +3 unidades)...	71
Tabla N° 23: Pesos específicos del material de río.....	85
Tabla N° 24: Tamaño de partículas.....	86
Tabla N° 25: Valores óptimos de Curva Número	90
Tabla N° 26: Comparación de Caudal Observado y Caudal Simulado.....	90
Tabla N° 27: Parámetros hidráulicos para TR 100, TR 200 y TR 500 años.....	102
Tabla N°28: Valores de τ^* , Re^* para la construcción del Diagrama de Shields.....	110

Tabla N° 29: Parámetros del Hidrograma.....	114
Tabla N° 30: Niveles de Intensidad de Inundación.....	115
Tabla N° 31: Zonas críticas de altas velocidades.....	116
Tabla N° 32: Secciones sometidas a movimiento de partículas.....	119

INDICE DE FIGURAS

Figura N° 1: Cuenca Hidrográfica.....	4
Figura N° 2: Componentes de un hidrograma durante una tormenta.....	9
Figura N° 3: Gráfico del método SCS.....	20
Figura N° 4: Diagrama de fuerzas actuantes en el flujo de agua.....	30
Figura N° 5: Mapa de Ubicación política provincial de la cuenca del Río Lurín.....	32
Figura N° 6: Mapa de Ubicación política distrital de la cuenca del Río Lurín.....	33
Figura N° 7: Sistema Hidrográfico del Río Lurín.....	35
Figura N° 8: Mapa Hidrográfico de la cuenca del Río Lurín.....	36
Figura N° 9: Curvas de nivel de las Cartas Nacionales 24j, 24k, 25.....	37
Figura N° 10: Mapa base de Topografía de la cuenca del Río Lurín.....	38
Figura N° 11: Mapa de cobertura vegetal de la cuenca del Río Lurín.....	40
Figura N° 12: Zonas delimitadas de Curva Número	41
Figura N° 13: Estación Total TOPCON GTS 102N.....	42
Figura N° 14: Puntos levantados del tramo crítico.....	43
Figura N° 15: Mapa de Estaciones Pluviométricas en la cuenca del río Lurín.....	48
Figura N° 16: Shape de estaciones meteorológicas.....	50
Figura N° 17: Proceso de Creación de los polígonos de Thiessen (a y b).....	51
Figura N° 18: Herramienta rellenar huecos del DEM.....	51
Figura N° 19: Herramienta dirección de flujo.....	52
Figura N° 20: Herramienta de acumulación de flujo.....	52
Figura N° 21: Herramienta definición de corrientes.....	53
Figura N° 22: Herramienta segmentación de corrientes.....	53
Figura N° 23: Herramienta delineación del Grid de subcuencas.....	54
Figura N° 24: Herramienta procesamiento polígono de subcuencas.....	54
Figura N° 25: Herramienta procesamiento de líneas de drenaje.....	54
Figura N° 26: Herramienta procesamiento de subcuencas adjuntas.....	55
Figura N° 27: Herramienta Configurar Proyecto.....	55
Figura N° 28: Herramienta Crear Nuevo Proyecto.....	56

Figura N° 29: Herramienta generación del área de proyecto.....	56
Figura N° 30: Herramienta combinar cuenca.....	57
Figura N° 31: Herramienta longitud del río.....	57
Figura N° 32: Herramienta creación de la pendiente de cuenca.....	58
Figura N° 33: Herramienta pendiente del río.....	58
Figura N° 34: Herramienta pendiente de la cuenca.....	59
Figura N° 35: Herramienta Ruta más largadel flujo.....	59
Figura N° 36: Herramienta centroide de la cuenca.....	60
Figura N° 37: Herramienta Elevación del centroide.....	60
Figura N° 38: Herramienta Centroidal del flujo más largo.....	61
Figura N° 39: Herramienta selección de procesos HMS.....	61
Figura N° 40: Herramienta nombre automático de ríos.....	62
Figura N° 41: Herramienta nombre automático de subcuencas.....	63
Figura N° 42: Herramienta Mapa de Unidades HMS.....	63
Figura N° 43: Herramienta Verificar Data.....	64
Figura N° 44: Herramienta Esquemático HMS.....	65
Figura N° 45: Herramienta Leyenda HMS.....	65
Figura N° 46: Herramienta Adicionar Coordenadas.....	66
Figura N° 47: Herramienta Modelo Meteorológico.....	66
Figura N° 48: Herramienta Crear Proyecto HMS	67
Figura N° 49: Apertura del archivo GeoHMS en HEC HMS.....	67
Figura N° 50: Características Hidrológicas de las subcuencas en HMS (a, b y c).....	68
Figura N° 51: Ingreso de Hietogramas en HMS.....	70
Figura N° 52: Especificaciones de Control.....	70
Figura N° 53: Generación del TIN	72
Figura N° 54: Herramienta Línea Central de río.....	73
Figura N° 55: Herramienta Banco del río.....	73
Figura N° 56: Herramienta Línea central del curso del flujo.....	74
Figura N° 57: Herramienta Corte de línea de secciones.....	74
Figura N° 58: Generación de atributos para datos 3D (a y b).....	75

Figura N° 59: Exportación de HecGeoRAS a HEC-RAS.....	76
Figura N° 60: Apertura de la Geometría en HEC-RAS.....	77
Figura N° 61: Introducción del Valor de Maning en el río.....	78
Figura N° 62: Generación del MDE.....	79
Figura N° 63: Apertura del MDE en RAS Mapper.....	80
Figura N° 64: Malla 2D Estructurada y Condiciones de Borde.....	81
Figura N° 65: Condiciones de Flujo Aguas Arriba y Aguas Abajo (a y b).....	82
Figura N° 66: Simulación del modelo Hidráulico (a y b).....	84
Figura N° 67: Diagrama de Shields (τ^* , Re^*)	87
Figura N° 68: Modelo cuenca (esquema HMS: subbasin, junction y reach).....	88
Figura N° 69: Gráfico y Tabla resumen del Hidrograma TR 100 años.....	88
Figura N° 70: Gráfico y Tabla resumen del Hidrograma TR 200 años.....	89
Figura N° 71: Gráfico y Tabla resumen del Hidrograma TR 500 años.....	89
Figura N° 72: Modelo Digital de Elevación (MDE).....	91
Figura N° 73: Secciones transversales en el eje del río (progresivas).....	92
Figura N° 74: Mapa de profundidades del nivel de agua, TR 100 años.....	93
Figura N° 75: Mapa de profundidades del nivel de agua, TR 200 años.....	94
Figura N° 76: Mapa de profundidades del nivel de agua, TR 500 años.....	95
Figura N° 77: Mapa de velocidades y líneas de flujo, TR 100 años.....	96
Figura N° 78: Mapa de velocidades y líneas de flujo, TR 200 años.....	97
Figura N° 79: Mapa de velocidades y líneas de flujo, TR 500 años.....	98
Figura N° 80: Mapa de esfuerzos cortantes, TR 100 años.....	99
Figura N° 81: Mapa de esfuerzos cortantes, TR 200 años.....	100
Figura N° 82: Mapa de esfuerzos cortantes, TR 500 años.....	101
Figura N° 83: Gráfico de variación de tirantes en el río.....	103
Figura N° 84: Gráfico de variación de velocidad en el río.....	104
Figura N° 85: Mapa de áreas inundadas, TR 100 años.....	105
Figura N° 86: Mapa de áreas inundadas, TR 200 años.....	106
Figura N° 87: Mapa de áreas inundadas, TR 500 años.....	107
Figura N° 88: Gráfico de áreas perdidas TR 100, TR 200 Y TR 500 años.....	108

Figura N° 89: Gráfico de porcentajes de áreas perdidas TR 100, TR 200 y TR 500 años.....	108
Figura N° 90: Gráfico de pérdidas económicas TR 100, TR 200 Y TR 500 años.....	109
Figura N° 91: Gráfico de puntos (τ^* , Re^*) para TR 100, TR 200 Y TR 500 años.....	111
Figura N° 92: Vista ampliada de puntos (τ^* , Re^*) para TR 100, TR 200 Y TR 500 años.....	112
Figura N° 93: Estación Puente Manchay después de las inundaciones del verano 2017.....	118
Figura N° 94: Zonas en movimiento de material para TR 500 años.....	120

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1: Información Pluviométrica.....	126
ANEXO 2: Test de Bondad Smirnov-Kolmogorov con HYDROGNOMON.....	139
ANEXO 3: Hietogramas de las subcuencas.....	142
ANEXO 4: Hidrogramas de las subcuencas en HEC-HMS.....	147
ANEXO 5: Secciones Transversales y Láminas de agua para TR100, TR200 y TR500.....	156
ANEXO 6: Panel Fotográfico.....	170

I. INTRODUCCIÓN

1.1. GENERALIDADES

Los desastres ocasionados cada año a causa de las crecidas y posterior desborde de los ríos están llegando a niveles cada vez más altos y esto a consecuencia del fuerte cambio climático que azota a todos los ecosistemas del mundo. En nuestro país es común ver que en los meses de diciembre a marzo se den desbordes en la mayoría de ríos de los ríos de la vertiente del Pacífico, esto porque la cantidad de lluvia se incrementa y más aún en épocas del Fenómeno del Niño. Este acontecimiento hace que los caudales aumenten su magnitud, generando problemas de desbordamientos e inundaciones cobrando vidas humanas y dejando cuantiosos daños materiales.

Las crecidas en los ríos sumados a la topografía y relieve de las cuencas de nuestro país llevan a un inminente fenómeno de inundación que trae consigo pérdidas de suelos agrícolas, daños en la infraestructura vial, infraestructura hidráulica y evidentemente una crisis económica. Es necesario conocer el comportamiento de los ríos ante eventos de máximas avenidas, estimando los niveles de inundación y el tiempo en que ésta se produce en diferentes periodos de retorno, de esa forma se podrá elaborar planes de prevención y protección de las zonas de riesgo.

Dentro de la cuenca del río Lurín, básicamente en el valle se encuentra un tramo del río que es altamente vulnerable a las avenidas que se presentan todos los años. El tramo en estudio se encuentra comprendido entre la bocatoma Mejorada y la bocatoma Jatosisa con una longitud de 5.6 kilómetros. En dicho tramo se presentan en ambas márgenes zonas agrícolas que por su baja pendiente son propensas a inundarse con mayor facilidad por las frecuentes crecidas del río. La población en esa zona subsiste con la agricultura y el comercio de sus productos a los principales mercados de la capital.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Principal

- Realizar la modelación de las máximas avenidas en la cuenca del río Lurín la cual incluye el modelamiento hidrológico de la cuenca y el modelamiento hidráulico del tramo crítico del río.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Calcular los caudales pico que originan los desbordes del río.
- Identificar y cuantificar las áreas inundables que se proyectan para caudales de 100, 200 y 500 años de periodo de retorno.
- Estimar las pérdidas económicas en función a la valorización de los terrenos.
- Estimar las zonas del río que pueden estar sometidas a erosión.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 MARCO CONCEPTUAL PARA EL ESTUDIO DE LA CUENCA

2.1.1 Cuenca Hidrográfica

Es un sistema complejo, abierto, donde ocurre el ciclo hidrológico y cuyos elementos naturales, sociales, económico, políticos e institucionales, son variables en el tiempo y se encuentran en estrecha interrelación.

Las cuencas hidrográficas pueden ser divididas en dos tipos principales: las cuencas endorreicas, aquellas que no llegan al mar, que tienen como resultado la formación de sistemas de agua estancada (como lagos o lagunas); y las cuencas exorreicas, aquellas que sí llegan al mar y que por lo tanto no quedan encerradas entre los diferentes conjuntos de montañas.

Es el área de alimentación de una red natural de drenaje cuyas aguas son recogidas por un colector común (Linsley 1975).

Dentro de una cuenca se pueden distinguir: la parte alta, la parte media y la parte baja. En las partes altas, la topografía normalmente es empinada y generalmente están cubiertas de bosque. Tanto en la parte alta como en la parte media se encuentran la gran mayoría de las nacientes y de los ríos; las partes bajas, a menudo tienen más importancia para la agricultura y los asentamientos humanos, porque ahí se encuentran las áreas más planas. En la **Figura N° 1** se observa la representación de una cuenca hidrográfica y sus respectivas zonas.



Figura N° 1: Cuenca Hidrográfica

FUENTE: Ordoñez, 2011

2.1.2 Caracterización Hidrográfica

Una cuenca puede variar desde tan pequeño como una hectárea a cientos de miles de kilómetros cuadrados. Cuenca pequeñas son aquellas donde la escorrentía es controlada por procesos de flujo sobre el terreno (overland flow). Cuenca grandes son aquellas donde la escorrentía es controlada por procesos de almacenamiento en los cauces de ríos. Entre cuencas pequeñas y grandes, hay un amplio rango de tamaños de cuencas con características de escorrentía que está entre aquella de cuencas pequeñas y grandes. (INRENA 2004)

En general, para estudiar una cuenca hidrológica se requieren métodos cuantitativos y cualitativos. En el primer caso, es fundamental definir parámetros que representen algunas características particulares importantes, que pueden ofrecer una información relevante acerca de las variables y los procesos hidrológicos. (Breña y Villa, 2006). La **Tabla N° 1** muestra los parámetros físico-morfométricos característicos de una cuenca.

Tabla N° 1: Parámetros físico-morfométricos de una cuenca

Parámetro	Simbología	Unidades
Área	A	km ²
Perímetro	P	km
Longitud del cauce principal	L	km
Pendiente	S	%
Densidad de drenaje	Lt, Id	-
Factor de forma	Kf	-
Coefficiente de compacidad	Kc	-
Cota máxima	-	msnm
Cota mínima	-	msnm
Altura mas frecuente	Hf	msnm
Altura media	Hm	msnm
Altura de frecuencia media	Hfm	msnm
Orden de río	N°	-
Rectángulo equivalente	L,l	km

FUENTE: INRENA, 2004

2.1.3 Cobertura Vegetal

La cobertura vegetal puede ser definida como la capa de vegetación natural que cubre la superficie terrestre, comprendiendo una amplia gama de biomásas con diferentes características fisonómicas y ambientales que van desde pastizales hasta las áreas cubiertas por bosques naturales. También se incluyen las coberturas vegetales inducidas que son el resultado de la acción humana como serían las áreas de cultivos.

Las coberturas vegetales previenen la desagregación del suelo y la formación de costras que reducen la infiltración de agua, disminuyen la velocidad de la escorrentía, la concentración y el tamaño de los sedimentos transportados y por lo tanto las tasas de pérdida de agua y suelo.

2.1.4 Escorrentía

La escorrentía superficial se refiere, en general, al agua que circula por la superficie terrestre y se concentra en los ríos. Una parte importante de la escorrentía generada por un evento lluvioso, sobre todo en áreas forestales, es realmente de flujo subsuperficial. Según Aparicio (1989) la escorrentía se define como el agua de la precipitación que circula sobre o bajo la superficie terrestre y que llega a una corriente para finalmente ser drenada hacia la salida de la cuenca.

2.1.5 Pérdidas

La precipitación está sometida a una serie de pérdidas, antes de que fluya como escorrentía superficial hacia un río o arroyo. En diseño hidrológico, las pérdidas se consideran como la diferencia entre la lluvia total caída (medida) y la lámina correspondiente a la escorrentía directa o superficial. La precipitación se puede perder por: intercepción por la vegetación, retención por depresiones topográficas, infiltración en el suelo, evaporación y evapotranspiración (Fattorelli 2011)

- **Intercepción**

Es el denomina volumen de agua, (expresado en mm o litros por unidad de superficie) que es atrapada por la vegetación en las hojas, ramas y tallos. Es evaporada devuelta a la atmósfera durante y después de eventos de lluvia. (Chereque 1989) plantea que la tasa

de intercepción es alta al comienzo de la lluvia, especialmente en una cobertura vegetal densa, y disminuye conforme se copa la capacidad de intercepción disponible.

- **Infiltración**

Es el proceso a través del cual el agua penetra desde la superficie de la Cuenca Hidrográfica en el suelo. Se puede entender como la velocidad con la que el agua penetra en el perfil del suelo, empezando esta penetración prácticamente desde el mismo momento en que empieza la lluvia en consideración, manteniéndose inclusive tiempo después de que ésta cesa.

- **Evaporación**

Se define como la cantidad de agua que se transforma en vapor desde superficies de agua libre, nieve o hielo, el suelo o la vegetación. La medida común de la evaporación está dada en milímetros por día. En el caso de la vegetación en el suelo, la transpiración se define como la parte de evaporación total que ingresa a la atmósfera desde el suelo a través de las plantas.

- **Evapotranspiración**

Se denomina evapotranspiración a la evaporación procedente de la superficie del agua, el suelo, la nieve, el hielo, la vegetación y de otras superficies, más la transpiración (OMM 1994).

2.2 MARCO CONCEPTUAL PARA EL ESTUDIO DE MÁXIMAS AVENIDAS

2.2.1 Máximas Avenidas

El estudio de máximas avenidas se realizará para conocer con cierto nivel de confianza, la máxima magnitud de la descarga en un determinado punto del cauce; esta descarga servirá a los ingenieros para que puedan realizar un adecuado diseño de las estructuras hidráulicas (presas, bocatomas, alcantarillas, puentes, etc.). La selección de un caudal de diseño menor a esta magnitud, traerá como consecuencia el colapso de la estructura; y, por el contrario, la selección de un caudal de diseño mayor a esta magnitud, implicará un sobre dimensionamiento de la misma. En consecuencia, con la selección de un adecuado caudal de diseño, se evitarán las fallas por defecto, y los gastos innecesarios

por sobre dimensionamiento. Según Molina (1975), la máxima descarga de un río es el caudal que ha superado a todas las demás observadas durante un periodo dado. Cuando este periodo de tiempo es anual, el conjunto de descargas máximas forma una serie anual.

2.2.2 Precipitación Máxima 24 horas

La relación entre las precipitaciones máximas en 24 horas y las precipitaciones máximas diarias puede considerarse lineal, independiente de la probabilidad de ocurrencia y constante para una región en específica (Wilches 2001).

Al utilizar series de información pluviométrica es necesario señalar que la precipitación máxima diarias obtenida sobre una base pluviométrica es menor que la obtenida en cualquier periodo de 24 horas (base pluviográfica), dado que una tormenta puede haberse registrado en dos días consecutivos.

Stedinger et al. (1993), señala que la verdadera precipitación máxima en 24 horas se estima en promedio, 1.13 veces mayor que la máxima de 1 día.

Estudios efectuados a partir de millares de años-estación de datos de precipitación de lluvia que, multiplicado por 1.13 las cantidades máximas anuales de lluvia horarias o diarias de un único intervalo de observación fijo comprendido entre 1 y 24 horas, obtendrán valores cercanos a los obtenidos mediante un análisis de máximos verdaderos (OMM 2011).

2.2.3 Hietograma de diseño

En ocasiones no es suficiente el dato de que (por ejemplo) la precipitación máxima para las 5 horas más lluviosas es de 100 mm. Es posible que necesitemos conocer la evolución de esos 100 mm. a lo largo de esas 5 horas. (MTC, 2008). Para la distribución de precipitación y construcción de hietogramas de diseño se emplean las tablas del Soil Conservation del U.S Department of Agriculture (1986) citado por Chow (1994). En la Tabla N° 2 se presentan los coeficientes de distribución de lluvias para tormentas de 6 y 24 horas.

Tabla N° 2: Distribuciones de lluvia SCS

Tormenta de 24 horas						Tormenta de 6 horas		
Hora t	t/24	Tipo I	Tipo IA	Tipo II	Tipo III	Hora t	t/6	Pt/P6
0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0.08	0.03	0.05	0.02	0.02	0.6	0.1	0.04
4	0.16	0.07	0.11	0.04	0.04	1.2	0.2	0.1
6	0.25	0.12	0.2	0.08	0.07	1.5	0.25	0.14
7	0.29	0.15	0.26	0.09	0.08	1.8	0.3	0.19
8	0.33	0.19	0.42	0.12	0.11	2.1	0.35	0.31
8.5	0.35	0.22	0.48	0.13	0.13	2.28	0.38	0.44
9	0.37	0.25	0.52	0.14	0.14	2.4	0.4	0.53
9.5	0.39	0.3	0.55	0.16	0.16	2.52	0.42	0.6
9.75	0.4	0.36	0.56	0.17	0.18	2.64	0.44	0.63
10	0.42	0.51	0.57	0.18	0.19	2.76	0.46	0.66
10.5	0.44	0.58	0.6	0.2	0.21	3	0.5	0.7
11	0.46	0.62	0.62	0.23	0.25	3.3	0.55	0.75
11.5	0.48	0.65	0.64	0.28	0.29	3.6	0.6	0.79
11.75	0.49	0.67	0.65	0.35	0.34	3.9	0.65	0.83
12	0.5	0.68	0.66	0.66	0.5	4.2	0.7	0.86
12.5	0.52	0.7	0.68	0.73	0.7	4.5	0.75	0.89
13	0.54	0.73	0.7	0.77	0.75	4.8	0.8	0.91
13.5	0.56	0.75	0.72	0.79	0.78	5.4	0.9	0.96
14	0.58	0.76	0.73	0.82	0.81	6	1	1
16	0.66	0.83	0.8	0.88	0.88			
20	0.83	0.92	0.9	0.95	0.95			
24	1	1	1	1	1			

FUENTE: Soil Conservation Del U.S Department of Agriculture (1986)

2.2.4 Hidrograma

Un hidrograma es una representación gráfica de los aumentos o disminuciones del caudal de un río a lo largo de un determinado período de tiempo. El hidrograma unitario de una cuenca se define como el hidrograma resultante de una unidad de escurrimiento directo (u otro componente) generado uniformemente (o de acuerdo con una configuración específica) sobre la cuenca a una velocidad uniforme durante un período de tiempo específico. En la práctica, se supone que el hidrograma unitario no varía en el tiempo. Además, se supone que los volúmenes de escurrimiento diferentes al volumen unitario producen hidrogramas que son proporcionales al hidrograma unitario (OMM, 2011). La **Figura N° 2** muestra la representación de un hidrograma, así como sus componentes.

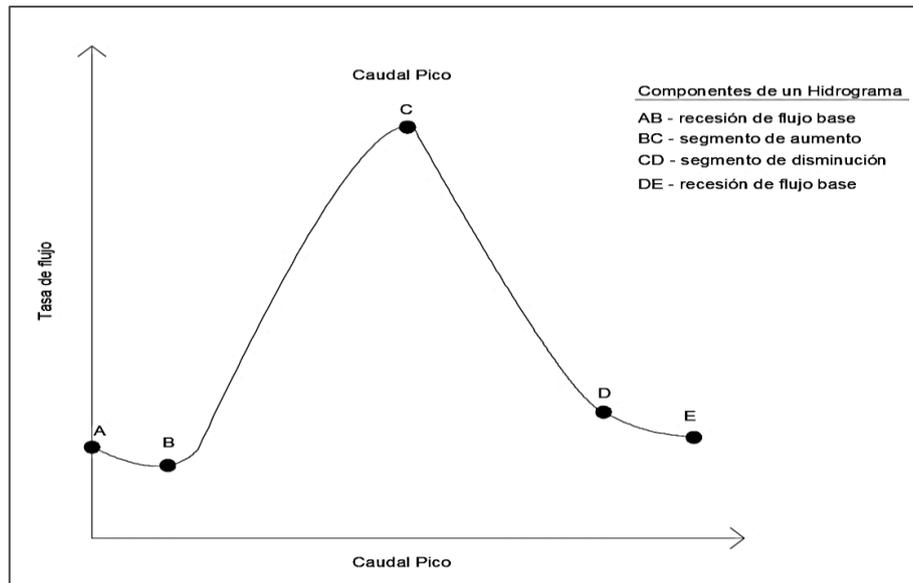


Figura N° 2: Componentes de un hidrograma durante una tormenta

FUENTE: Chow (1994)

2.2.5 Tiempo de Concentración

Chow (1994) lo define como el tiempo que tarda el flujo superficial en contribuir al caudal de salida, desde el punto más alejado hasta la desembocadura de la cuenca. López y Mintegui (1987) indican que el tiempo de concentración también depende de la forma de la cuenca.

El tiempo de concentración de una cuenca es muy importante porque en los modelos lluvia-escorrentía, la duración de la lluvia se asume igual al tiempo de concentración de la cuenca, puesto que es para esta duración cuando la totalidad de la cuenca está aportando al proceso de escorrentía, por lo cual se espera que se presenten los caudales máximos.

Fórmula de Kirpich

$$T_c = 0.0663 \left(\frac{L}{S^{0.5}} \right)^{0.77}$$

Donde:

Tc: Tiempo de concentración (hr)

L: Longitud del cauce principal de la cuenca (km)

S: Pendiente del cauce principal (m/m)

Fórmula de Temes

$$Tc = 0.3 * \left(\frac{L}{S^{0.25}} \right)^{0.76}$$

Donde:

Tc: Tiempo de concentración (hr)

L: Longitud del cauce principal de la cuenca (km)

S: Pendiente (m/m)

2.2.6 Periodo de Retorno

Es uno de los parámetros más significativos a ser tomado en cuenta en el momento de dimensionar una obra hidráulica destinada a soportar avenidas. Se define como el intervalo de recurrencia, al lapso promedio en años entre la ocurrencia de un evento igual o mayor a una magnitud dada. Supóngase que por definición un evento extremo ocurre si una variable aleatoria X es mayor o igual que un cierto nivel X_T . El intervalo de recurrencia τ es el tiempo entre ocurrencias de $X \geq X_T$ (Chow 1994).

2.2.7 Inundaciones

La inundación se define como la ocasión de daños por desbordamiento o derrame de las corrientes naturales, producto del escurrimiento de la lluvia y/o deshielo en cantidades tan grandes que no pueden alojarse en los cauces de las corrientes. (Martin, 2003)

Las causas más comunes de inundación son las crecientes de corrientes y de ríos y las mareas anormalmente altas que resultan de tormentas severas. La planicie de inundación puede incluir el ancho total de valles angostos o áreas amplias localizadas a lo largo de ríos en valles amplios y planos (Chow 1994).

La presencia de dos cauces, es decir, la existencia de áreas de inundación, se debe a los movimientos laterales que ha efectuado el río a lo ancho de una planicie aluvial a lo largo del tiempo (Rocha 1990).

2.2.8 Precipitación Media

La precipitación media en una zona o en una cuenca es motivo de considerable interés en el diseño hidrológico y su correcta evaluación es muy importante en la modelación de los procesos de lluvia y escorrentía, tanto en modelos de pronóstico como en diseño. Según sean las necesidades del estudio, puede usarse el valor de la precipitación media anual, mensual, diaria o de una tormenta distribuida sobre un área (Fattorelli 2011).

- **Polígonos de Thiessen**

Este método se emplea para delimitar las subregiones correspondientes a cada pluviómetro, primero se unen las estaciones adyacentes con segmentos de recta, y luego se construyen los bisectores perpendiculares a cada segmento, extendiéndolos hasta que se intersecten, formando polígonos irregulares. Esta metodología es objetiva y entrega resultados satisfactorios si se tiene una red adecuada de pluviómetros. Para obtener la precipitación media sobre una cuenca se aplica la siguiente ecuación:

$$P = \frac{\sum_{i=1}^n (P_i A_i)}{A} = \sum_{i=1}^n \left(P_i \cdot \frac{A_i}{A} \right)$$

Donde:

P_i = Precipitación observada en la Estación “i”

A_i = Área del polígono correspondiente a la Estación “i”

A = área total de la cuenca

n = Número de estaciones pluviométricas

2.3 ANÁLISIS DE PRECIPITACIÓN MÁXIMA 24 HORAS

2.3.1 Crítica de la información

Las informaciones de caudales máximos registrados y de precipitación máxima 24 horas en las estaciones hidrométricas y pluviométricas respectivamente son analizadas para evaluar su confiabilidad; esta evaluación se da a través de un análisis de datos dudosos (outliers). Según Buckland (1957) y Grubbs (1959) citados por la OMM (2011), los “outliers” son datos que se alejan significativamente de la tendencia de la información de la muestra y que dan lugar a cuestionar su procedencia en términos de que pueden

pertenecer a una población diferente. Fattorelli (2011) indica que estos datos pueden ser altos o bajos o ambos, consecuentemente, su inclusión sin un análisis previo puede llevar a una curva de frecuencias distorsionada con relación a la que la muestra podría indicar. La siguiente ecuación se utiliza para detectar datos dudosos altos:

$$Y_h = \hat{Y} + K_n S_y$$

Donde:

Y_h = umbral de dato dudoso alto en unidades logarítmicas

\hat{Y} = media del registro

K_n = constante que varía según el número de datos

S_y = desviación estándar del registro

Si los logaritmos de los valores en una muestra son mayores que Y_h en la anterior ecuación, entonces se consideran como datos dudosos altos. El valor de K_n , varía como se muestra en la **Tabla N° 3**.

Tabla N° 3: Valores de K_n para la prueba de datos dudosos

Tamaño de muestra n	K_n						
10	2.04	24	2.47	38	2.66	60	2.83
11	2.08	25	2.48	39	2.67	65	2.86
12	2.13	26	2.5	40	2.68	70	2.89
13	2.17	27	2.52	41	2.69	75	2.91
14	2.21	28	2.53	42	2.7	80	2.94
15	2.24	29	2.55	43	2.71	85	2.96
16	2.28	30	2.56	44	2.72	90	2.98
17	2.31	31	2.57	45	2.72	95	3
18	2.33	32	2.59	46	2.73	100	3.01
19	2.36	33	2.6	47	2.74	110	3.05
20	2.38	34	2.61	48	2.75	120	3.08
21	2.41	35	2.63	49	2.76	130	3.1
22	2.43	36	2.64	50	2.77	140	3.13
23	2.45	37	2.65	55	2.8		

FUENTE: U.S. Water Resources Council, 1981.

De acuerdo con el Water Resources Council (1981) citado Chow (1994), si existe información disponible que indica que un dato dudoso alto es el máximo sobre un periodo extendido, el dato dudoso es tratado como información histórica de crecientes y es excluido del análisis. Si no hay disponibilidad de información histórica útil para comparar con los datos dudosos altos, entonces éstos deben ser retenidos como parte del registro sistemático.

Para detectar datos dudosos bajos se aplica la siguiente ecuación:

$$Y_h = \hat{Y} - K_n S_y$$

Donde:

Y_h = umbral de dato dudoso bajo en unidades logarítmicas

\hat{Y} = media del registro

K_n = constante que varía según el número de datos

S_y = desviación estándar del registro

2.3.2 Análisis de Frecuencia y Funciones de Distribución

Los sistemas hidrológicos son afectados en ocasiones por eventos extremos, tales como tormentas severas, crecidas y sequías. La magnitud de un evento extremo está inversamente relacionada con su frecuencia de ocurrencia, es decir, eventos muy severos ocurren con menor frecuencia, que eventos más moderados. El objetivo del análisis de frecuencia de información hidrológica es, relacionar la magnitud de los eventos extremos con su frecuencia de ocurrencia, mediante el uso de “Funciones de Distribución de Probabilidad”.

Según la OMM (2011), el análisis de frecuencia tiene por objeto analizar registros históricos de variables hidrológicas con el fin de estimar las probabilidades de que vuelvan a ocurrir. Los datos utilizados para el análisis deben ser evaluados en términos de los objetivos, de la duración de los registros disponibles y de la completitud de estos. Deberán satisfacer también ciertos criterios estadísticos, como los de aleatoriedad, independencia, homogeneidad y estacionalidad.

Los datos pluviométricos utilizados para el análisis de frecuencia suelen estar disponibles en series de máximos anuales, o son convertidos a este formato a partir de registros continuos de datos de precipitación horarios o diarios. Estas series contienen el valor más alto de precipitación de lluvia para cada año de registro completo.

- **Distribución Normal**

La función de densidad de probabilidad normal se define como:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{(2\pi)}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2}$$

Válido para:

$$-\infty \leq x \leq +\infty$$

Donde:

$f(x)$ = función densidad normal de la variable x

x = variable independiente

μ = parámetro de localización, igual a la media aritmética de x

σ = parámetro de escala, igual a la desviación estándar de x

- **Distribución Log-Normal**

La función de densidad de probabilidad Log-normal se define como:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{(2\pi)}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2}$$

Válido para:

$$x > 0$$

Donde:

$$\gamma = \log x$$

- **Distribución Pearson III**

La distribución Pearson Tipo III se aplicó por primera vez en la hidrología por Foster (1924) para describir la distribución de probabilidad de picos de crecientes máximos anuales. Si la información es muy asimétrica positivamente, se utiliza una transformación Log para reducir la asimetría.

$$f(x) = \frac{(x - x_0)^{\gamma-1} e^{-\frac{(x-x_0)}{\beta}}}{\beta^\gamma \Gamma(\gamma)}$$

Válido para:

$$x_0 \leq x < \infty$$

$$-\infty < x_0 < \infty$$

$$0 < \beta < \infty$$

$$0 < \gamma < \infty$$

Donde

x_0 = origen de la variable x , parámetro de posición

β = parámetro de escala

γ = parámetro de forma

- **Distribución Log-Pearson III**

$$f(x) = \frac{(\ln x - x_0)^{\gamma-1} e^{-\frac{(\ln x - x_0)}{\beta}}}{x \beta^\gamma \Gamma(\gamma)}$$

Válido para:

$$x_0 \leq x < \infty$$

$$-\infty < x_0 < \infty$$

$$0 < \beta < \infty$$

$$0 < \gamma < \infty$$

Donde:

x_0 = parámetro de posición

β = parámetro de escala

γ = parámetro de forma

- **Distribución Gumbel**

Chow, 1994) indica que esta función es un caso especial del Log-Normal para cuando el coeficiente de variación es 0.364 y el coeficiente de sesgo es 1.139.

$$F(x) = e^{-e^{-\alpha(x-\beta)}}$$

Empleando el método de momentos, se obtienen las siguientes relaciones:

$$\alpha = \frac{1.2825}{\sigma}$$

$$\beta = \mu - 0.45\sigma$$

Donde:

α = parámetro de concentración

β = parámetro de localización

Según Ven Te Chow, la distribución puede expresarse de la siguiente forma:

$$x = \bar{x} + k\sigma_x$$

Donde:

x = valor con una probabilidad dada

\bar{x} = media de la serie

k = factor de frecuencia

Existen varias distribuciones de probabilidad que se usan en el diseño hidrológico. Teniendo en cuenta que en hidrología los registros disponibles son una pequeña muestra de la población, resulta lógico probar diferentes distribuciones para obtener aquella que mejor se ajuste. Se debe tener presente que una determinada distribución de probabilidad no necesariamente se aplica por igual a diferentes ríos (en el caso de análisis de caudales) o en diferentes tipos de lluvias (en el caso de análisis de precipitaciones) (Fattorelli, 2011)

2.3.3 Pruebas de Bondad de Ajuste

- **Prueba Kolmogorov-Smirnov**

Método por el cual se comprueba la bondad de ajuste de las distribuciones, asimismo permite elegir la más representativa, es decir la de mejor ajuste (MTC 2008).

Esta prueba consiste en comparar las diferencias existentes entre la probabilidad teórica, tomando el valor máximo del valor absoluto, de la diferencia entre el valor observado y el valor de la recta teórica del modelo.

La prueba requiere que el valor D_n calculado con la fórmula anterior sea menor que el valor tabulado D_α para un nivel de probabilidad requerido (Aparicio 1992)

$$D_n = \max (P(x) - P_o(x))$$

Donde:

D_n : Mayor diferencia absoluta observada entre $P(x)$ y $P_o(x)$

$P(x)$: Frecuencia acumulada observada

$P(o)$: Frecuencia acumulada teórica

Ventajas y Limitaciones

- No requiere un conocimiento a priori de la función de distribución teórica
- Es aplicable a distribuciones de datos no agrupados, es decir, no se requiere hacer intervalos de clase
- Se aplica en la función de distribución acumulada y no en la función densidad.
- Comparándola con la prueba de chi-cuadrado, no hay condición de que clase de frecuencia deba obtener un mínimo de 5 valores observados.
- No es una prueba exacta, sino una prueba aproximada.

En la **Tabla N° 4** se presentan los valores críticos del Test de Smirnov-Kolmogorov, dichos valores son representativos para distintos tamaños de muestra.

Tabla N° 4: Valores críticos “d” para la prueba de Smirnov-Kolmogorov

Tamaño de muestra	$\alpha = 0.10$	$\alpha = 0.05$	$\alpha = 0.01$
5	0.51	0.56	0.67
10	0.37	0.41	0.49
15	0.3	0.34	0.4
20	0.26	0.29	0.35
25	0.24	0.26	0.32
30	0.22	0.24	0.29
35	0.2	0.22	0.27
40	0.19	0.21	0.25

FUENTE: MTC, 2008

2.4 MODELACIÓN HIDROLÓGICA

La modelación hidrológica es una herramienta de gran importancia para el estudio de avenidas que se ha extendido por todo el mundo, fundamentalmente en países desarrollados. En la actualidad, con el empleo de estos modelos, se realiza el análisis y la prevención de las inundaciones; además, es posible manejar hipótesis suficientemente realistas o previsibles que ofrezcan un cierto grado de confianza para la toma de decisiones, ya sea en la ordenación del territorio en torno a los ríos o para exigir criterios de diseño de obras e infraestructuras capaces de soportar y funcionar adecuadamente en situaciones de emergencia. Incluso, alertar a los servicios de protección civil y establecer protocolos de actuación ante posibles situaciones de peligro por intensas lluvias (Dueñas 1997).

2.4.1 Modelo Hidrológico

Son varios los modelos hidrológicos que existen, siendo el Sistema de Modelación Hidrológico del Centro de Ingeniería Hidrológica del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los EE. UU. (HEC-HMS por sus siglas en inglés) el aplicado en la presente investigación, ya que es un programa computacional gratuito y de amplia utilización internacional en el estudio de avenidas, el cual provee una variedad de opciones para simular procesos de precipitación - escurrimiento y tránsito de caudales (Feldman 2000).

2.4.2 Modelación Hidrológica con HEC-HMS y HEC-GeoHMS

El modelo HEC-HMS es un modelo lluvia-escorrentía, que está diseñado para simular el hidrograma de escorrentía que se produce en un determinado punto de la red fluvial como consecuencia de un periodo de lluvia. Es un programa muy flexible que permite al usuario la selección de diferentes métodos para el cálculo de pérdidas, hidrogramas, flujo base y propagación en cauces. Posibilita realizar simulaciones de los procesos hidrológicos a nivel de eventos o en forma continua. Los primeros simulan el comportamiento de un sistema hídrico durante un evento de precipitación. La simulación continua puede comprender un período de tiempo con varios de estos eventos.

La funcionalidad de este modelo podrá acoplarse perfectamente con los SIG (Sistemas de Información Geográfica), permitiendo la integración de los resultados de la modelación hidrológica y las diferentes características físicogeográficas de las cuencas en un sistema de prevención hidrológica que posibilite el pronóstico de inundaciones y la correspondiente toma de decisiones. Los SIG constituyen un instrumento adecuado para responder a cuestiones relacionadas con la distribución espacial y las series temporales de la esorrentía. Estos sistemas facilitarán el tratamiento de la información hidrológica gracias a que incluyen procedimientos diseñados para realizar la captura, almacenamiento, manipulación, análisis, modelación y presentación de datos georreferenciados. El modelo HEC-HMS trabaja directamente con ArcGis y, más estrechamente con su extensión llamada HEC-GeoHMS.

HEC-GeoHMS extensión para ArcGIS ha sido desarrollada como un grupo de herramientas hidrológicas geoespaciales para ingenieros e hidrólogos con una limitada experiencia en sistemas de información geográfica (SIG). El programa permite visualizar la información espacial, documentar características de la cuenca, realizar análisis espaciales, delinear cuencas y ríos, construir las entradas para modelos hidrológicos y ayudar en la preparación de informes. Al trabajar con HEC-GeoHMS, se podrá crear entradas hidrológicas que puedan usarse directamente con HEC-HMS.

Esta extensión se usará para procesar los datos de la cuenca después de haber realizado una preparación y compilación inicial de los datos del terreno. La preparación de los datos SIG podrá ser realizado con cualquier software estándar de SIG (ArcGIS). Ejemplos de datos necesarios para trabajar con HEC-GeoHMS incluyen el modelo digital de elevaciones (DEM), la localización digital de los cauces y de las estaciones de aforo. Cuando la preparación de los datos está lista, HEC-GeoHMS procesa el terreno y la información espacial para generar una serie de entradas hidrológicas, que dan un modelo inicial para HEC-HMS.

2.4.3 Modelo HMS

Modelo Cuenca

a. Características hidrológicas y físicas

Estos factores vienen procedentes del proceso de HecGeoHMS de donde se consiguen por ejemplo longitudes, pendientes, áreas y otras características de la cuenca.

b. Determinación de pérdidas (Loss Determination)

El método del US Soil Conservation Service o más conocido como el método SCS es ampliamente utilizado para estimar avenidas producidas en pequeñas a medianas cuencas. La **Figura N° 3** presenta el esquema típico del método SCS.

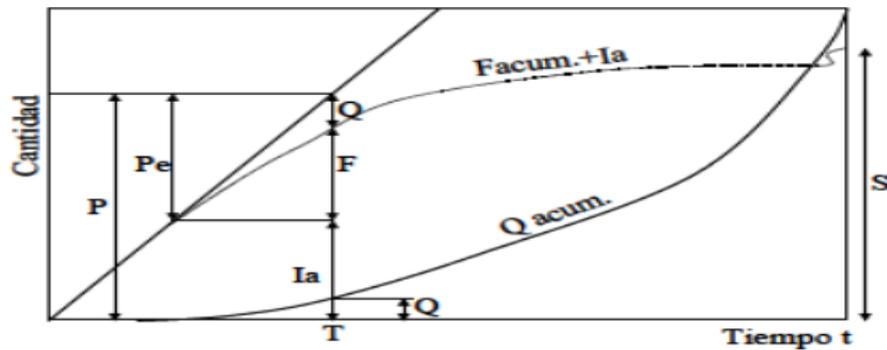


Figura N° 3: Gráfico del método SCS
FUENTE: US Soil Conservation Service

En general no ocurre escurrimiento hasta que el volumen de lluvia sea igual a la abstracción inicial I_a . Después de ello, el volumen de escurrimiento es la diferencia entre la precipitación 'P' y la infiltración 'F', excluyendo a 'Ia'. En la **Tabla N° 5** se muestran los valores de Curva Número para los distintos grupos hidrológicos de suelo.

Tabla N° 5: Valores de Curva Número

DESCRIPCIÓN DEL USO DE LA TIERRA	GRUPO HIDROLÓGICO DEL SUELO			
	A	B	C	D
Tierra cultivada ¹ : sin tratamientos de conservación	72	81	88	91
con tratamiento de conservación	62	71	78	81
Pastizales: condiciones pobres	68	79	86	89
condiciones óptimas	39	61	74	80
Vegas de ríos: condiciones óptimas	30	58	71	78
Bosques: troncos delgados, cubierta pobre, sin hierbas,	45	66	77	83
cubierta buena ²	25	55	70	77
Área abiertas, césped, parques, campos de golf, cementerios, etc.	39	61	74	80
óptimas condiciones: cubierta de pasto en el 75% o más	49	69	79	84
condiciones aceptables cubierta de pasto en el 50 al 75%				
Áreas comerciales de negocios (85% impermeables)	89	92	94	95
Distritos Industriales (72% impermeables)	81	88	91	93
Residencial ³ :				
Tamaño promedio del lote	Porcentaje promedio impermeable ⁴			
1/8 acre o menos	65			
1/4 acre	38	77	85	90
1/3 acre	30	61	75	83
1/2 acre	25	57	72	81
1 acre	20	54	70	80
		51	68	79
Parqueaderos pavimentados, techos, accesos, etc. ⁵	98	98	98	98
Calles y carreteras:				
Pavimentados con cunetas y alcantarillados ⁵	98	98	98	98
Grava	76	85	89	91
Tierra	72	82	87	89

FUENTE: Chow (1994)

c. Transformación precipitación-escorrentía (Runoff Transformation)

El método de Snyder Unit Hydrograph emplea dos variables que son el tiempo de retardo (TLag), el cual está en función del tiempo al pico (hr) y el coeficiente de pico de Snyder, el cual es adimensional y está en función del flujo máximo, tiempo al pico y área de la cuenca; además toma en cuenta las características del cauce y de las subcuencas como parámetros de cálculo del hidrograma, lo cual hace que sea más representativa.

d. Flujo Base

Es el caudal que se observa en un curso de agua al final de un período de estiaje. Se define también como la diferencia entre el caudal total y la escorrentía directa. La cuenca en estudio no presenta flujo base.

e. Tránsito de cauces (Channel Routing)

El tránsito del flujo en cauces es un proceso de cálculo del hidrograma de salida hacia el final aguas abajo del cauce, dado el hidrograma de ingreso al inicio del tramo aguas arriba.

Modelo Meteorológico

El análisis de los datos meteorológicos se ha realizado a través del modelo meteorológico, que incluye los datos de precipitación. Con el modelo meteorológico lo que se hace es asignar el valor de precipitación que le corresponde a cada subcuenca y como se distribuye en el tiempo. Para el Modelo Meteorológico se utilizó el método de Specified Hyetograph para la precipitación.

Especificaciones de Control

En especificaciones de control, se especifica el intervalo de tiempo de cálculo y la duración total de la simulación que incluyen las horas de inicio y fin de la simulación. En este proyecto se ha definido un intervalo de cálculo de 30 minutos.

Simulación del Modelo

Para la simulación de la cuenca se hizo la combinación de los parámetros del modelo de cuenca, modelo meteorológico y de las especificaciones de control. El área total de la

cuenca está dividida en subcuencas desde la parte superior hasta el punto de interés (estación de aforo Manchay) y el cauce en tramos, las cuales están codificados por números y letras como es el caso de las subcuencas (W) y cauce (R), cuyos códigos han sido definidos automáticamente desde HEC-Geo HMS.

2.4.4 Calibración

El modelo de cuenca debe ser calibrado con los parámetros del modelo; los procesos de escorrentía superficial y de tránsito no pueden ser calibrados sólo para estaciones de subcuencas sino para toda la cuenca utilizando datos de precipitación y de descargas observadas, esto dependiendo del propósito del estudio; el flujo pico es importante para el diseño de canales, y el volumen para el análisis de reservorios (U.S. Army Corps of Engineers Department of the Army 1994)

Para que un modelo pueda ser útil, los valores de los parámetros necesitan reflejar con precisión las propiedades invariantes de los componentes del sistema que representan. Pero, en las cuencas hidrográficas, muchos de los parámetros no se pueden medir directamente, sino que pueden ser derivadas a través de la calibración y a través de la información histórica de la respuesta dinámica (el caudal).

A continuación de la **Tabla N° 6** a la **N° 9** se detalla los métodos de entrada y la información requerida para la simulación en HEC-HMS.

Tabla N° 6: Métodos y data requerida para el modelo de precipitación en una cuenca

Método	Información requerida
Hietograma especificado por el usuario	<ol style="list-style-type: none"> 1. Registros de tormentas (día de inicio y finalización e intervalo de medición en minutos) en las estaciones pluviográficas localizadas dentro de la cuenca. 2. Identificación de las estaciones y sus correspondientes subcuencas
Datos de estaciones, ponderados por el usuario	<ol style="list-style-type: none"> 1. Registros de tormentas (día de inicio y finalización e intervalo de medición en minutos) en las estaciones pluviográficas localizadas dentro de la cuenca. 2. Ponderación espacial y temporal de los datos de las estaciones para cada subcuenca 3. Índice de precipitación para cada subcuenca
Ponderación con el inverso de la distancia	<ol style="list-style-type: none"> 1. Localización coordinada de las estaciones dentro de la cuenca (latitud y longitud) 2. Especificación de los nodos para cada subcuenca 3. Para cada uno de los nodos, definición del índice de precipitación, la ponderación y su localización coordinada (latitud y longitud)
Precipitación no uniforme, evaluada en celdas o grillas	<ol style="list-style-type: none"> 1. Registros de precipitación codificados por celdas en un archivo DSS 2. Determinación del tiempo local
Tormenta hipotética basada en análisis de frecuencias	<ol style="list-style-type: none"> 1. Probabilidad de excedencia de la lluvia 2. Área de cubrimiento de la tormenta 3. Origen de los datos (serie anuañ o parcial) 4. Intervalo de tiempo de cálculo para la máxima intensidad de la lluvia (entre 5 minutos y 6 horas) 5. Duración de la tormenta (entre 1 hora y 10 días) 6. Registro de la tormenta con periodo de retorno de un año

Tabla N° 7: Métodos y data requerida para el modelo de pérdidas en una cuenca

Método	Información requerida
Pérdidas iniciales y constantes	<ol style="list-style-type: none"> 1. Pérdidas iniciales (mm) 2. Tasa de infiltración constante 3. Porcentaje de área impermeabilizada
Número de Curva	<ol style="list-style-type: none"> 1. Pérdidas iniciales (mm) 2. Número de curva, calculado como promedio sobre la subcuenca respectiva 3. Porcentaje de área impermeabilizada
Número de Curva asociados a celdas o grillas	<ol style="list-style-type: none"> 1. Relación de abstracción inicial Sderivada del mismo método del SCS 2. Factor de escala para la retención potencial
Green y Ampt	<ol style="list-style-type: none"> 1. Pérdidas iniciales (mm) 2. Volumen de déficit de humedad 3. Succión del frente húmedo (mm) 4. Conductividad hidráulica (mm/h) 5. Porcentaje de área impermeable
Déficit y pérdidas constantes en simulaciones continuas	<ol style="list-style-type: none"> 1. Déficit inicial de humedad en el suelo (mm) para simulación continua 2. Máximo déficit de humedad del suelo en periodos sin lluvia (mm) 3. Tasa de pérdida constante (mm/h) cuando déficit es cero 4. Tasas de recuperación mensual del déficit (mm/h) 5. Porcentaje de área impermeable
Ninguna pérdida	Considera que toda la cuenca es impermeable

Tabla N° 8: Métodos y data requerida para el modelo de transformación en una cuenca

Método	Tipo	Información requerida
Hidrograma unitario definido por el usuario	Hidrológico, empírico	Abscisas y ordenadas del hidrograma unitario de entrada cuya duración no necesariamente debe coincidir con la del intervalo de cálculo del program, pero debe ser constante
Hidrograma unitario sintético de Clark	Hidrológico, semiempírico	<ol style="list-style-type: none"> 1. Tiempo de concentración (h) 2. Coeficiente de almacenamiento R (h) general para cada subcuenca 3. Diagrama área tiempo estándar o definido por el usuario
Hidrograma unitario sintético modificado de Clark	Hidrológico, semiempírico	<ol style="list-style-type: none"> 1. Tiempo de concentración (h) para cada subcuenca 2. Coeficiente de almacenamiento R (h) general para cada subcuenca 3. Archivos con los parámetros asociados a cada celda o grilla como sus coordenadas y el índice de tiempo de viaje
Hidrograma unitario sintético de Snyder	Hidrológico, semiempírico	<ol style="list-style-type: none"> 1. Tiempo de retardo Tlag (h) 2. Coeficiente al pico en función del caudal, el tiempo al pico y el área de la subcuenca Cp (h) 3. Diagrama área tiempo estándar o definido por el usuario
Hidrograma unitario sintético del SCS	Hidrológico, semiempírico	Tiempo de retardo Tlag (h, minutos)

TablaN° 9: Métodos y data requerida para el modelo de tránsito en una cuenca

Método	Tipo	Información requerida
Muskingum	Hidrológico, empírico	<ol style="list-style-type: none"> 1. Factor de tiempo de viaje K (h), constante para todo el tramo 2. Factor adimensional de ponderación del amortiguamiento o retardo (entre 0 y 0.5) 3. Número de subdivisiones para los tramos
Puls Modificado	Hidrológico, semiempírico	<ol style="list-style-type: none"> 1. Número de subdivisiones para cada tramo 2. Condición inicial de flujo (entradas=salidas o definición del caudal de salida) 3. Tabla de valores del almacenamiento (en miles de m³) en función de la descarga (m³/s)
Muskingum-Cunge	Hidrológico, semiempírico	<ol style="list-style-type: none"> 1. Tipo de sección transversal (prismática o circular) 2. Longitud del tramo (m) 3. Pendiente de la línea de energía en el tramo 4. Ancho del fondo (m) 5. Coeficiente de rugosidad de Manning
Onda Cinemática	Hidráulico, teórico	<ol style="list-style-type: none"> 1. Tipo de sección transversal (prismática, trapezoidal o circular) 2. Longitud del tramo (m) 3. Pendiente de la línea de energía en el tramo 4. Ancho del fondo (m) 5. Talud lateral de la sección transversal (xH: 1V) 6. Coeficiente de rugosidad de Manning 7. Número mínimo de tramos o subdivisiones para realizar los cálculos

2.5 MODELACIÓN HIDRÁULICA

La modelación hidráulica cuando logra representar el flujo (tridimensional) de un río o a través de una estructura con mayor fidelidad y detalle que un simple cálculo teórico, aumenta la confiabilidad de las estructuras proyectadas. Esto significa que los diseños se ajustan más a las solicitaciones reales del flujo, lo cual tiene un importante impacto económico. Por un lado, se disminuye el riesgo de diseñar una obra poco resistente que colapse fácilmente con las consecuentes pérdidas económicas o lo que es peor, en vidas humanas; mientras que por otro lado también se reduce la posibilidad de un diseño sobredimensionado que requiera de inversiones innecesarias.

2.5.1 Modelo Hidráulico

Los modelos hidráulicos son usados para resolver problemas de regulación de ríos o desarrollos hidroenergéticos, determinar el tiempo de desplazamiento de ondas de inundación por los cauces de los ríos, métodos para el mejoramiento de canales para la transmisión de inundaciones con menos riesgo de desbordamiento sobre las orillas, los efectos de los acortamientos de los ríos, efecto de diques, paredes de contención sobre la erosión de los lechos, altura de los remansos provocados por estructuras permanentes o temporales, construidas en medio de un cauce; dirección y fuerzas de corriente en ríos y puertos y sus efectos sobre la navegación etc.

2.5.2 Modelación Hidráulica con HEC-RAS y HEC-GeoRAS

El programa HEC-RAS fue diseñado de manera que por medio de la elaboración de modelos, se pueda realizar cálculos hidráulicos en una dimensión con régimen permanente para una red completa de cauces abiertos, canales, ríos ya sean naturales o artificiales. El objetivo del programa HEC-RAS es calcular las elevaciones de las superficies de agua en cualquier ubicación de interés ya sea para un conjunto dado de datos de flujo (simulación de flujo permanente) o a través del tránsito de hidrogramas por medio del sistema. (Simulación de flujo no permanente).

Actualmente el modelo HEC-RAS trabaja en forma bidimensional, es decir, cuando se modelan ríos que discurren en extensas planicies de muy baja pendiente el programa admite las direcciones de velocidades laterales o transversales cuando éstas llegan a ser predominantes sobre aquellas velocidades longitudinales en la dirección del río.

Hec-GeoRAS es una extensión de ArcGIS y que contiene un conjunto de procedimientos, herramientas y utilidades especialmente diseñadas para procesar datos georeferenciados que permiten bajo el entorno de los Sistemas de Información Geográfica (SIG), facilitar y complementar el trabajo con HEC-RAS.

Data Geométrica

La **Tabla N° 10** presenta el tipo de información geométrica requerida para el modelo hidráulico.

Tabla N° 10: Data geométrica requerida para el modelo hidráulico

Data	Tipo de información
Esquema de río	Morfología de la red
	Conectividad entre cauces
	Puntos de intersección
	Nomenclatura (Cauces, tramos e intersecciones)
Secciones transversales	Topografía del cauce
	Distancia entre secciones
	Singularidades
	Coefficientes de pérdida de energía

Data De Flujo

La **Tabla N° 11** se detallan el tipo de información de flujo tanto en régimen subcrítico y régimen supercrítico que son necesarios para el modelo hidráulico.

Tabla N° 11: Data geométrica requerida para el modelo hidráulico

Data	Condiciones	
	Régimen Subcrítico	Régimen Supercrítico
Régimen de flujo	El modelo restringe como resultados correctos valores mayores a la altura crítica.	El modelo restringe como resultados correctos valores menores a la altura crítica.
Condiciones de borde	Se requieren condiciones de borde en la última sección de aguas abajo.	Se requieren condiciones de borde en la primera sección de aguas arriba.
Caudales del sistema	Registro de caudales para diferentes periodos de retorno	Registro de caudales para diferentes periodos de retorno

2.5.3 Modelación Hidráulica en 1D/2D

La modelación hidráulica en HEC-RAS 2D para flujo no permanente involucra dos fases que se ejecutan de manera simultánea. Una fase es el modelo unidimensional que se ejecuta en el eje del río y la otra fase es el modelo bidimensional en sí el cual incluye a las planicies de inundación.

Modelación en 1D

Este tipo de modelamiento requiere de información topográfica e hidráulica se introduce mediante secciones transversales ortogonales a lo largo del río o canal, situados en los puntos donde mejor se define la geometría del cauce y sus márgenes, presenta una serie de limitaciones derivadas de la condición esta dimensionalidad, solamente es capaz de analizar un flujo constante descendente y siempre perpendicular a las secciones transversales seleccionadas para la modelización.

Modelación en 2D

Esta modelación emplea las ecuaciones de conservación de la masa y momento expresadas en dos dimensiones y los resultados se calculan en cada punto de la malla en el dominio de solución. Los modelos bidimensionales pueden resolverse usando el método de los elementos finitos. Tienen la desventaja de requerir un mayor tiempo de implementación. En la **Tabla N° 12** se presenta la comparación entre el modelo unidimensional y el modelo bidimensional.

Tabla N° 12: Comparación de modelos 1D y 2D

	Unidimensional (HecRas 1D)	Bidimensional (HecRas 2D)
Método de cálculo	Ecuación de la energía	Ecuaciones de Full Sain Venant
Proceso de cálculo	Solo en las secciones asignadas	En toda la superficie definida
Detalle de secciones	Secciones limitadas al número de puntos topográficos	Depende del detalle topográfico
Coefficientes de rugosidad	Número limitado de coeficientes por sección	Requiere mayor detalle
Condiciones de Borde	Limitado a la geometría digitalizada	Se puede definir ingresos y salidas en cualquier borde del modelo
Superficie del modelo	Se debe digitalizar el cauce del río, sus secciones transversales	Se genera automáticamente a partir del modelo digital de terreno disponible
Hidrodinámica	Caudales Pico	Requiere el hidrograma completo de entrada
Estado de Flujo	Laminar	Turbulento
Sección Transversal	Canales trapezoidales	Cauce de ríos, irregular
Llanuras de Inundación	Asume terreno plano	Terreno variable
Tiempo de cálculo	Rápido	Según el tamaño de celda
Resultados	Solo un mapa de inundación	Secuencia que describe el proceso de inundación
Usos	Modelación Unidimensional	Implementación de Sistema de Alerta Temprana

2.6 MOVIMIENTO INCIPIENTE DE PARTÍCULAS

A lo largo de su curso, los ríos pueden ser erosionados por el paso de las aguas, porque los materiales que los constituyen no siempre son capaces de resistir la fuerza de arrastre, la cual se genera por el movimiento de las aguas, ya que dicha fuerza crece conforme aumenta la velocidad de flujo. La situación que define las condiciones necesarias para que un flujo de agua inicie el movimiento, arrastre o transporte de las partículas que forman el material de un cauce, se denomina inicio de movimiento. Sin embargo, la condición de movimiento incipiente es diferente de la de transporte incipiente, pues la primera describe una situación instantánea en que una o varias partículas comienzan a moverse, pero ello no significa que una vez que se han movido continúen haciéndolo, como ocurre en las situaciones de arrastre o transporte incipientes.

2.6.1 Esfuerzo Cortante en el lecho de un cauce

Supóngase que el canal representado en la siguiente figura y supóngase que las secciones 1 y 2 están lo suficientemente cercanas para aceptar que entre ellas el flujo se puede considerar uniforme. Si, además, se acepta que en el canal la relación B/h es suficientemente grande como sucede en la mayoría de los cauces naturales, puede deducirse que es la fricción en el fondo la que realmente opone al flujo y ésta no es otra cosa que un esfuerzo cortante. En la Figura N° 4 se observan las fuerzas actuantes sobre una sección de control.

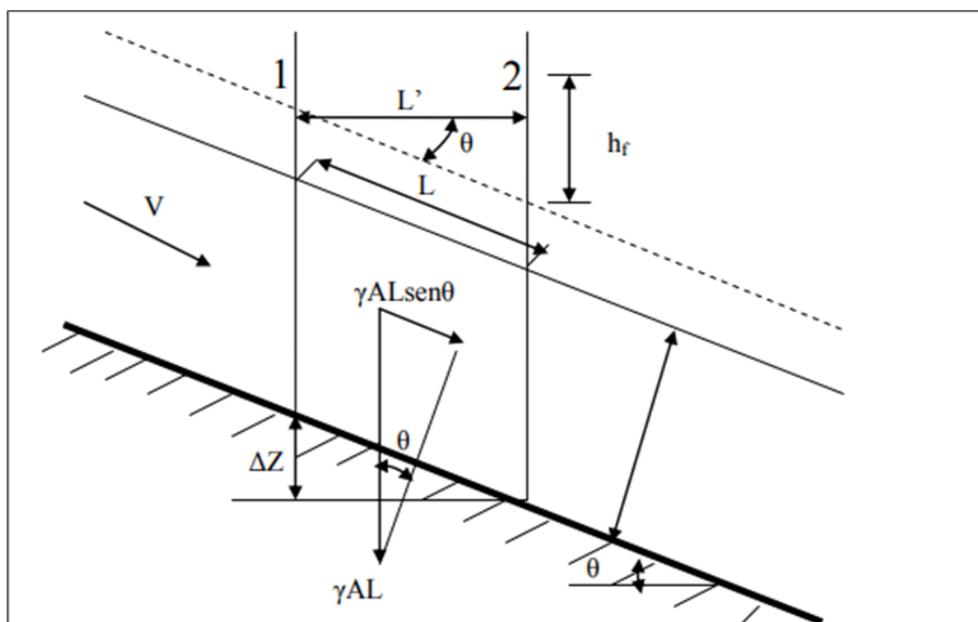


Figura N° 4: Diagrama de fuerzas actuantes en el flujo de agua.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 MATERIALES

3.1.1 Descripción de la cuenca

Ubicación

La cuenca del río Lurín, está situada en parte central del territorio peruano y su ubicación geográfica, demarcación hidrográfica, demarcación política y administrativa es la siguiente:

Ubicación Geográfica

Coord. UTM Norte: 8642892 m - 8690915 m

Coord. UTM Este: 292340 m - 359851 m

Latitud Sur: 11°50'31" - 12°16'34"

Longitud Oeste: 76°17'11" - 76°54'33"

Demarcación Hidrográfica

La cuenca del río Lurín tiene como límites:

Por el Norte: Cuenca del Río Rímac

Por el Este: Cuenca del Río Mala

Por el Sur: Cuenca del Río Chilca

Por el Oeste: Océano Pacífico.

Demarcación Política

Políticamente la cuenca abarca dos provincias y 14 distritos, los mismos que se aprecian en la **Figura N° 5** a nivel provincial, en el **Figura N° 6**, a nivel distrital; asimismo, se corrobora los distritos y provincias en la **Tabla N° 13**.

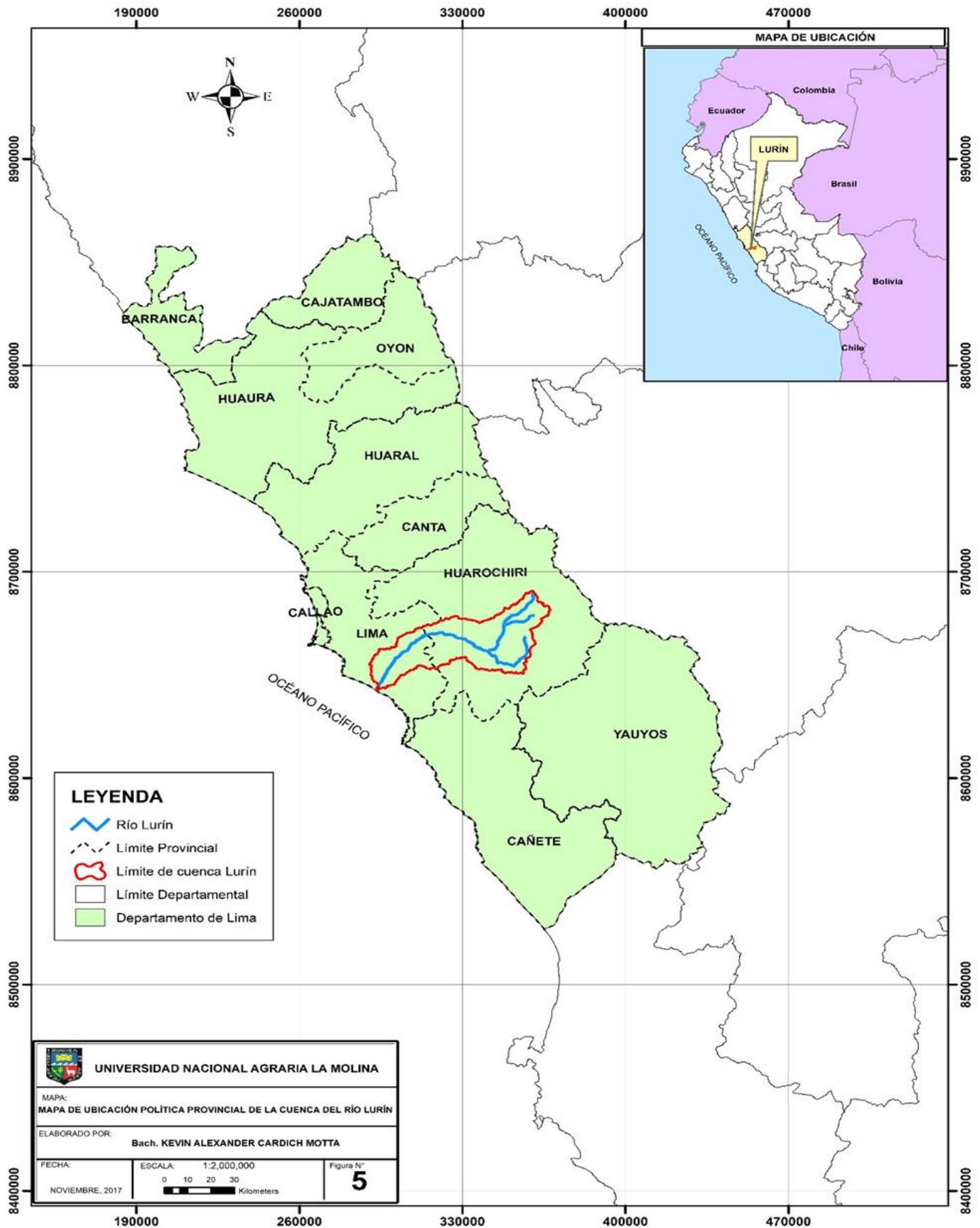


Figura N° 5: Mapa de Ubicación política provincial de la cuenca del Río Lurín

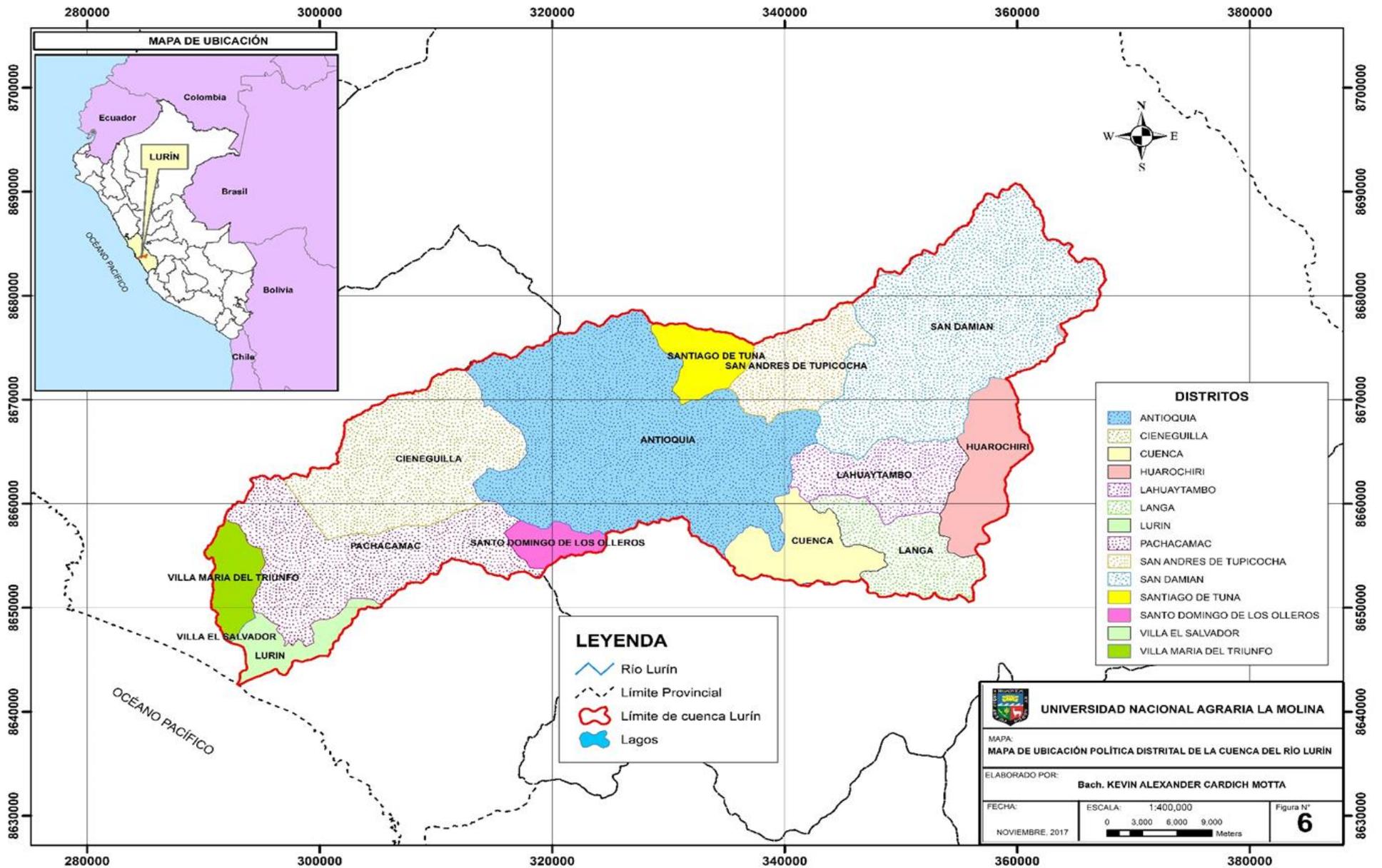


Figura N° 6: Mapa de Ubicación política distrital de la cuenca del Río Lurín

Tabla N° 13: Demarcación política de la cuenca Lurín

DEPARTAMENTO	PROVINCIAS	DISTRITOS
LIMA	LIMA	VILLA EL SALVADOR
		VILLA MARÍA DEL TRIUNFO
		CIENEGUILLA
		PACHACAMAC
		LURÍN
	HUAROCHIRÍ	ANTIOQUÍA
		LAHUAYTAMBO
		LANGA
		SAN DAMIÁN
		SANTIAGO DE TUNA
		SAN ANDRÉS DE TUPICOCHA
		HUAROCHIRÍ
		SANTO DOMINGO DE LOS OLLEROS
		CUENCA

Hidrografía

El río Lurín tiene su origen en los deshielos de los nevados Surococha a 5000 msnm se abastece con la precipitación que cae en la parte alta de su cuenca colectora y con deshielos que existen en la misma cuenca. Presenta un área de drenaje total de 1670 km², recorre una distancia total de 106 km y presenta una pendiente promedio de 4.76%, la superficie de la cuenca húmeda es de 833 km², es decir que el 50% del área contribuye al escurrimiento superficial. El río Lurín en su curso superior hasta el distrito de San Damián cuenta con una pendiente de 7.6%, en su curso medio, hasta el centro poblado de Manchay, es de 5% y en su curso inferior es de 1.1%.

El cauce principal en su inicio adopta el nombre de río Chalilla y al unirse éste con la quebrada Taquia cambia de nombre al de río Lurín. En la **Figura N° 7** se observa el diagrama fluvial de la cuenca.

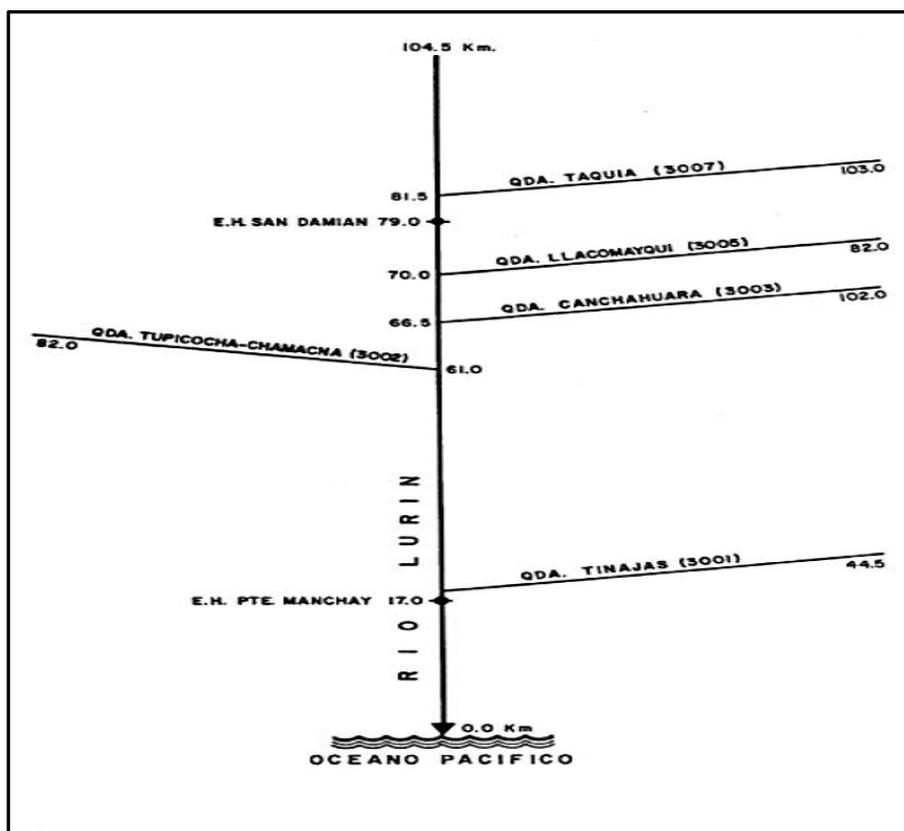


Figura N° 7: Sistema Hidrográfico del río Lurín

FUENTE: INRENA, 1994

En su recorrido el río Lurín recibe el aporte de diversos ríos o quebradas, siendo las más importantes: Taquia, Lahuaytambo, Langa, Sunicancha y Tinajas, por la margen izquierda y Chamacha, por la margen derecha. La **Tabla N° 14** presenta las características hidrográficas de la cuenca Lurín

Tabla N° 14: Características de la red hidrográfica de la cuenca.

Nombre del Río	Extensión de la Cuenca (km ²)		
	Húmeda	Seca	Total
1. Lurín	791.89	866.30	1658.19
a. Chalilla	125.14		125.14
b. Taquia	126.60		126.60
c. Numincancha	30.25		30.25
d. Llacomayqui	65.85	3.50	69.35
e. Canchahuara	165.00	8.55	173.55
f. Chamacna	73.84	15.10	88.94
g. Tinajas	3.48	160.77	164.25
2. Lurín en Puente Antapucro	788.41	233.39	1021.80
3. Lurín en Puente Manchay	791.89	651.64	1443.53

FUENTE: INRENA, 2004

Topografía

En la parte baja del Valle de Lurín, se presenta una superficie terrestre plana ondulada rodeada por montañas y con un curso de agua del río Lurín, esta imagen corresponde a un tipo de depresión relativa es decir un Valle. El relieve por su magnitud corresponde a formas menores de relieve, en el valle de Lurín está formado por terrazas aluviales o fluviales, conos de deyección.

Presenta cerros cuyas alturas oscilan entre 110m a 250 m cuyas pendientes son de 27° aproximadamente, asimismo el lugar abarca el río Lurín donde da lugar al cono de deyección del río formando terrazas en sus riberas. Los conos de deyección son formaciones similares a las terrazas que se forman a la salida de un torrente a una zona de llanuras.

Se preparó un mapa base, empleando la data en formato vectorial de las cartas nacionales 24j, 24k, 25j, y 25k a escala 1:100 000, publicados por el Instituto geográfico nacional (IGN). Dichas cartas se observan en la **Figura N° 9**.

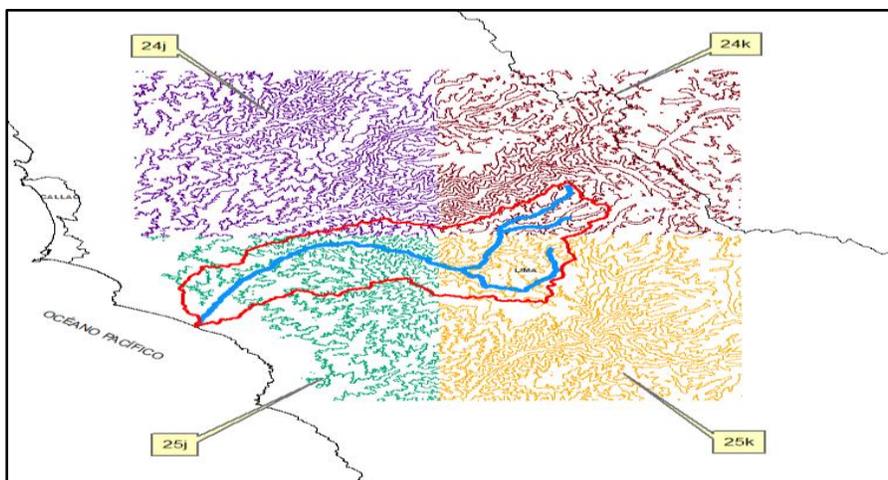


Figura N° 9: Curvas de nivel de las Cartas Nacionales 24j, 24k, 25

FUENTE: Instituto Geográfico Nacional

En la **Figura N° 10** se muestra el mapa topográfico donde se detallan las curvas de nivel de toda la cuenca. Dicho mapa se obtiene con el procesamiento de las 4 cartas nacionales que se mencionaron anteriormente.

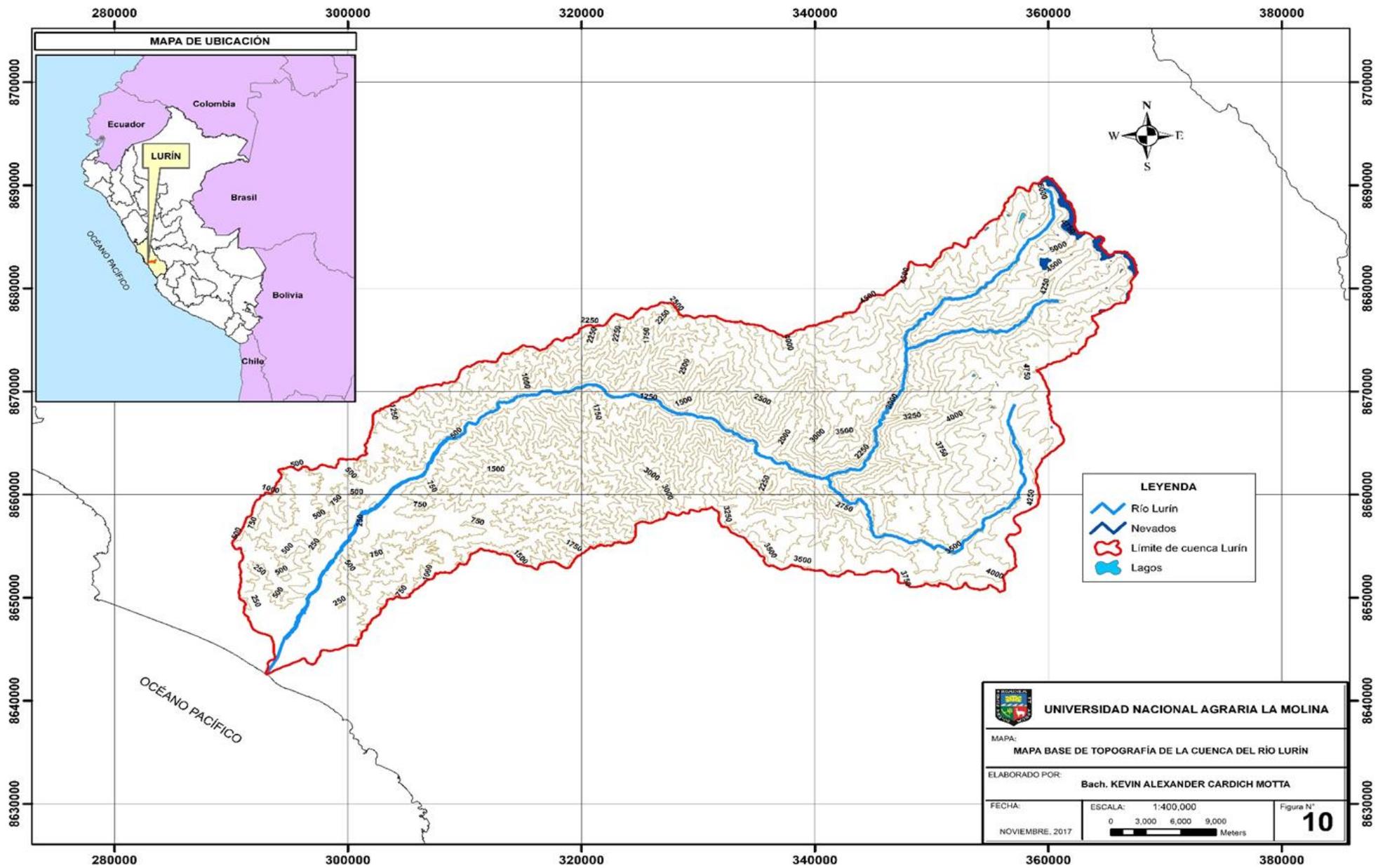


Figura N° 10: Mapa base de Topografía de la cuenca del Río Lurín

Cobertura Vegetal

La cuenca del río Lurín, tiene una cobertura vegetal que varía con las condiciones climáticas y niveles altitudinales, desde el nivel del mar hasta la parte más alta, cubierto con nieve. En el nivel más bajo, límite con el litoral, hay sectores de arenales que muestran una cobertura sobre la arena, cuya presencia obedece a las condiciones de humedad atmosférica. Se encuentra también afloramiento de agua del sub suelo que hace propicia la formación de ecosistemas especiales como el “Pantanos de Villa”, que se encuentra rodeado por viviendas.

En las primeras estribaciones del ande occidental existe cobertura vegetal que forma una alfombra verde propia de la estación de invierno conocido como “Lomas”. Las lomas son comunidades de vegetación que cambian su composición florística y densidad de acuerdo a condiciones de micro clima, condiciones de suelo y lo más importante es la exposición, esto es, los suelos con exposición de acuerdo a la dirección del viento reciben mayor humedad por tanto muestran una cobertura más densa, en tanto los suelos que tienen exposición opuesto a la dirección del viento tienen cobertura muy rala.

En el ascenso de nivel altitudinal por la cuenca, la vegetación cambia en su composición florística; la presencia de vegetación es muy escasa, compuesta por cactáceas propias de zonas áridas. En el nivel inmediato superior, existe un matorral seco, matorral sub húmedo, matorral húmedo, luego una gran extensión de vegetación de muy poco porte, asociado con pajonal conformado por especies del género estipa y finalmente existe una extensión de suelo rocoso con escasa vegetación, en el piso inferior a los nevados.

La vegetación de ambas márgenes del río Lurín; desde su desembocadura en el mar hasta los 4,000 metros sobre el nivel del mar; se hallan comunidades vegetales que varían en su composición florística con las condiciones micro climática y el nivel altitudinal; en la parte baja existe pájaro bobo, carrizos y caña brava, en la parte intermedia, entre los 1200 a 2500 msnm, se encuentran árboles de tara, molle, sauce, guarango, aliso, cactáceas, arbustos y matorrales. En la **Figura N° 11** se presenta el mapa de cobertura vegetal y sus distintos tipos.

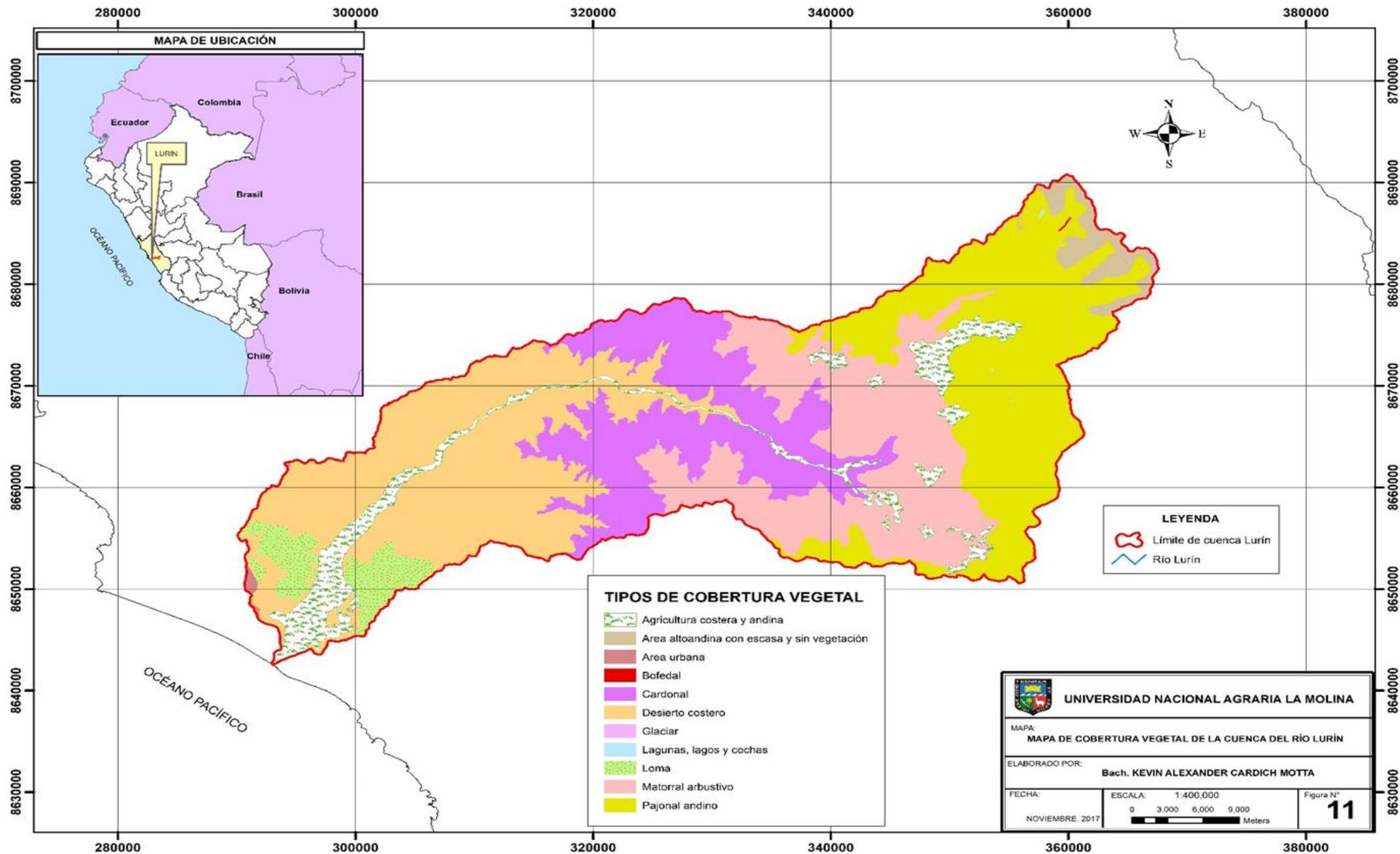


Figura N° 11: Mapa de cobertura vegetal de la cuenca del Río Lurín

Curva Número (CN)

Es el parámetro más sensible del modelo hidrológico y es usado para la calibración del mismo. Es por esa razón que el mapa Curva Número no se elaboró, sino que se adquirió del Geoportal de la Autoridad Nacional del Agua con el fin de obtener resultados confiables. El archivo en formato raster y vectorial se obtuvo con una extrapolación del mapa de curva número de todo el país. La **Figura N° 12** presenta las zonas delimitadas de Curva Número con sus respectivos valores.

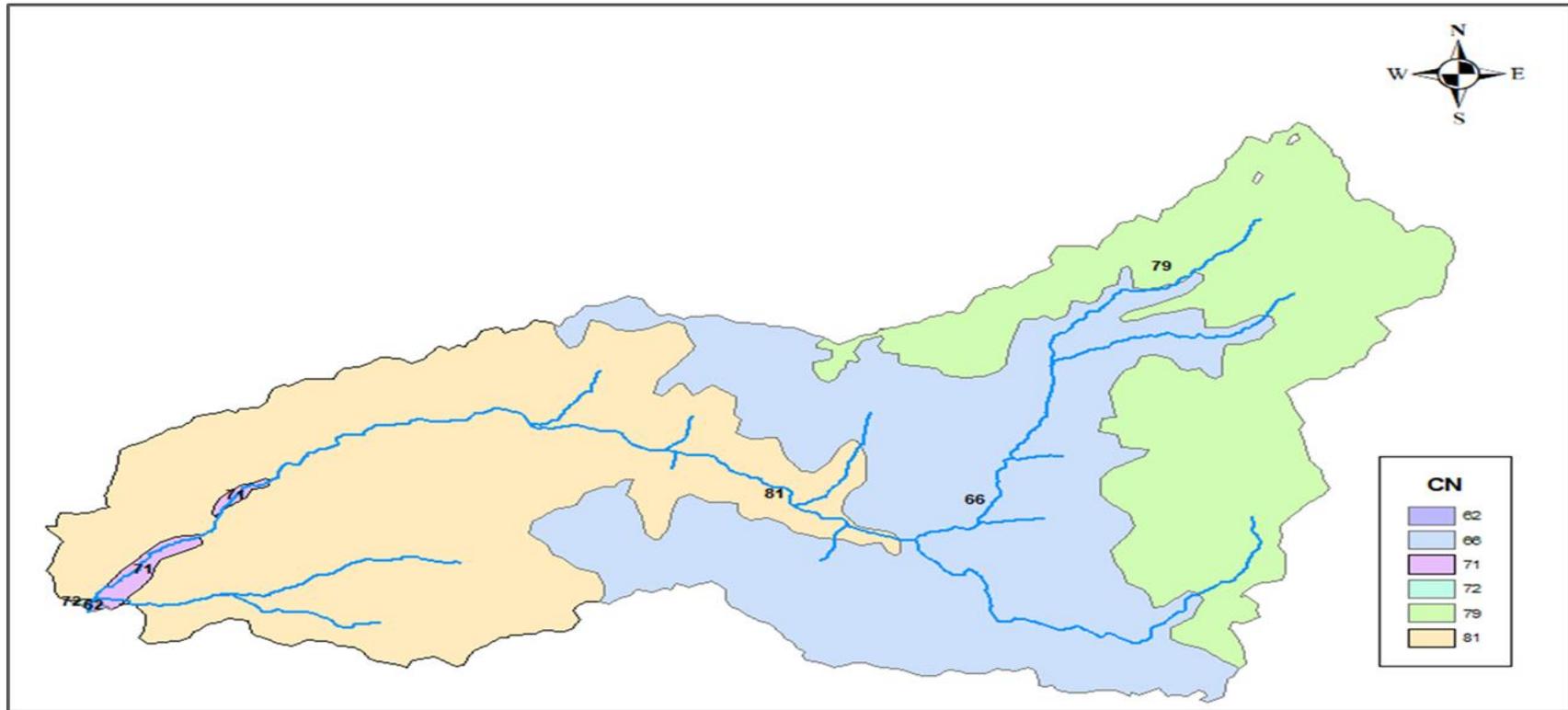


Figura N° 12: Zonas delimitadas de Curva Número

FUENTE: ANA (<http://geo2.ana.gob.pe:8080/geonetwork/srv/spa/catalog.search#/metadata>)

3.1.2 Información Cartográfica

La información cartográfica proviene de las Instituciones del Estado que por medio de sus Geoservidores web se puede extraer la data digital de las zonas de interés.

Geoservidor Ministerio de Educación (MINEDU)

Curvas de nivel (50 m. equidistancia) y red hidrográfica con nombre de ríos y quebradas.
Mapas de la Carta Nacional 1:100,000

- 24-J, 24-K, 25-J y 25-K

Geoservidor del Ministerio del Ambiente (MINAM)

- Límite Departamental, Límite Provincial y Límite Distrital

Junta de Usuario del Sector Hidráulico Lurín (JUSHL)

El levantamiento topográfico para una franja de río de 6.5 km, fue en coordinación con la JUSHL. Cabe mencionar que, según testimonios de los dirigentes de la Junta, dentro del río existe un tramo de 5.6 km altamente vulnerable a las crecidas anuales del río.

- Trabajo de campo: Levantamiento de una franja del río de 6.5 km comprendido entre la bocatoma Mejorada a la Bocatoma Jatosisa.
- Trabajo de gabinete: Procesamiento de puntos.

En la **Figura N° 13** se presenta el equipo con el que se realizó el levantamiento topográfico.



Figura N° 13: Estación Total TOPCON GTS 102N

Trabajo de levantamiento topográfico del cauce del río Lurín desde la Toma Mejorada (9+300) a la Toma Jatosisa (15+100). La **Figura N° 14** muestra el trabajo de campo, así como los puntos levantados.



Figura N° 14: Puntos levantados del tramo crítico

Los puntos para completar la topografía de la planicie de inundación se elaboraron con ayuda del Modelo Digital de Elevación (Geoservidor Minam) y de Google Earth Pro. El soporte informático para la interpolación de estos puntos es AutoCad Civil 3D.

3.1.3 Información Pluviométrica

La información pluviométrica ha sido obtenida a partir de las estaciones meteorológicas administradas por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI). Se ha recolectado información pluviométrica diaria de 10 estaciones meteorológicas. En la **Tabla N° 15** se muestran 6 estaciones ubicadas dentro de la cuenca y 4 estaciones ubicadas fuera de ella.

Tabla N° 15: Estaciones pluviométricas

RED DE ESTACIONES PLUVIOMETRICAS DE LA CUENCA DEL RIO LURIN										
CAT	NOMBRE	SIS_HIDRO	CUENCA	DPTO	PROVINCIA	DISTRITO	LONGITUD	LATITUD	ALTITUD	FUENTE
PLU	ANTIOQUIA	PACIFICO	LURIN	LIMA	HUAROCHIRI	ANTIOQUIA	76°30'	12°05'	1839	SENAMHI
PLU	CHALILLA	PACIFICO	LURIN	LIMA	HUAROCHIRI	SAN DAMIAN	76°20'	11°56'	4050	SENAMHI
PLU	LANGA	PACIFICO	LURIN	LIMA	HUAROCHIRI	LANGA	76°24'	12°06'	2860	SENAMHI
PLU	MANCHAY BAJO	PACIFICO	LURIN	LIMA	LIMA	PACHACAMAC	76°52'	12°10'	148	SENAMHI
PLU	ESCOMARCA	PACIFICO	LURIN	LIMA	HUAROCHIRI	LANGA	76°21'	12°11'	3600	SENAMHI
PLU	STGO DE TUNA	PACIFICO	LURIN	LIMA	HUAROCHIRI	STGO DE TUNA	76°31'	11°59'	2921	SENAMHI
PLU	HUAROCHIRI	PACIFICO	MALA	LIMA	HUAROCHIRI	HUAROCHIRI	76°14'	12°08'	3154	SENAMHI
PLU	MATUCANA	PACIFICO	RIMAC	LIMA	HUAROCHIRI	MATUCANA	76°22'	11°50'	2479	SENAMHI
PLU	SANTA EULALIA	PACIFICO	RIMAC	LIMA	HUAROCHIRI	SANTA EULALIA	76°40'	11°55'	982	SENAMHI
PLU	S.J DE PARAC	PACIFICO	RIMAC	LIMA	HUAROCHIRI	SAN MATEO	76°15'	11°48'	3866	SENAMHI

FUENTE: SENAMHI

El periodo de registro total de la información pluviométrica corresponde al periodo 1965-2013, cuyos periodos de registro por estación se detallan en el **Anexo 1**. La estación con la mayor cantidad de información anual completa es San Lázaro de Escamarca (47 años); mientras que las estaciones con menor cantidad de información anual completa son Mnachay Bajo y la Chalilla (15 años). La **Tabla N° 16** muestra la longitud de las 10 estaciones.

3.1.4 Equipos y Programas de Cómputo

En la presente investigación se han utilizado los siguientes equipos de gabinete y programas de cómputo:

a. Equipos de gabinete

- Laptop Toshiba Satellite S55-B5268, procesador Intel Core i7, Impresora HP Deskjet 1515

b. Programas de cómputo

- Microsoft Office, ArcGis 10.2, Hec-HMS, Hec-RAS, Hydrognomon, AutoCAD

3.2 MODELACIÓN HIDROLÓGICA DE LA CUENCA

La metodología y procedimiento empleado para la estimación las descargas máximas, se resume a continuación:

- Selección de estaciones pluviométricas existentes en el área del estudio y recopilación de registros históricos de precipitación máxima en 24 horas.
- Análisis de frecuencias de las precipitaciones máximas en 24 horas para cada estación y selección de la función de distribución con mejor ajuste.
- Cálculo de la precipitación media en cada subcuenca para los periodos de retorno de 100, 200 y 500 años; a partir de los polígonos de Thiessen y el registro de precipitaciones máxima 24 horas de las estaciones meteorológicas.
- Procesamiento con la extensión HEC-GeoHMS para caracterizar y obtener los parámetros morfométricos e hidrológicos de la cuenca.
- Mediante el modelo precipitación - escorrentía se generan los caudales de avenida para los periodos de retorno de 100, 200 y 500 años, utilizando el software HEC – HMS.
- Calibración del modelo precipitación escorrentía con el parámetro Curva Número y la comparación con los caudales establecidos en el “Estudio Hidrológico-Meteorológico en la Vertiente del Pacífico del Perú con fines de evaluación y pronóstico del Fenómeno El Niño para Prevención y Mitigación de desastres”.

3.2.1 Análisis de la precipitación máxima 24 horas

Para el análisis de máximas avenidas se dispone del registro de precipitación máxima 24 horas en cada una de las estaciones pluviométricas vistas en la **Tabla N° 17**.

Tabla N°17: Precipitación Máxima 24 horas (1965-2013)

	MANCHAY BAJO	SANTA EULALIA	ANTIOQUIA	MATUCANA	LANGA	STGO DE TUNA	HUAROCHIRI	S. J DE PARAC	S. I DE ESCOMARCA	CHALLILLA	
1965	1,5			14,9			34,0		26,0		
1966	1,2	26	20,0	16,4		45,0	18,5		37,5		
1967	2,3		20,0			67,6	21,4	24,0	32,7		
1968	1,5		1,1			13,5	9,8	12,0	16,4		
1969	2,8	10	32,0	12,4		27,6	17,2	22,0	25,0		
1970	16	39,8	29,4	19,2		81,0	14,8		38,6	24,8	
1971	4,4	11,5	5,5	18,5		36,2	14,6		21,4	28,1	
1972	6,3	20	14,2	20,3		35,4	14,6		42,4	40,7	
1973	3,2	19,2	37,0	29,2		43,1	19,2		31,6	22,8	
1974	2,6	6,01	12,5	10,4		18,1	13,6		19,2	22	
1975	1	8,8	18,0	11,7		24,0	9,8		19,8	35,4	
1976	10,5	38	21,0	16,2		21,5	10,2		25,9	37,8	
1977	2	5	21,0	24,9		40,7	13,4			25	
1978	1,5	6,8	2,5	7,2		24,5	10,7		33,3	29,6	
1979	2,2	10	35,0			35,0	10,2			23,4	24,7
1980		10,01	5,0	8,8		20,6			31,3	12,1	
1981		10	28,5	11,8	41,7	46,5		38,3	35,5	32,2	
1982			5,5						23,2	36,81	
1983			17,5		8,4	42,6		23,2	30,0	16,1	
1984		10,5	13,0	21,0	8,0	27,9		24,8	21,4	23,3	
1985		0,5	10,1	19,8	18,2	22,1	10,2	24,3	20,0		
1986		2,01	8,3	20,1	12,2	35,5	11,4	25,8	15,5		
1987			5,4				9,6	20,6	15,9		
1988		9,7	36,8	12,1	15,0	31,2	12,0	19,1	30,0		
1989		32,9	9,0	7,7	10,2	32,3		15,8	11,1		
1990		6,5	9,5	11,9	10,2	44,3	9,4	13,4	16,0		
1991		3	7,5	14,9	6,4	32,8		14,7	10,6		
1992		0,5	3,4	22,0	5,6	7,1	12,4	10,2	10,8		
1993		2,6	7,8	29,8	27,1	33,8		20,6	12,7		
1994		7,8	13,8	14,7	21,6	15,0		24,9	30,0		
1995		3,8	11,6	20,9	22,8	11,7	27,7	21,6	23,1		
1996		4,5	6,6	12,0	13,8	14,0		22,1	28,0		
1997		5,1	10,3	9,5	31,4	12,3	22,5	16,5	40,0		
1998		6,7	14,5	22,1	20,1	30,2	38,6	24,6	13,0		
1999		10,5	19,5	24,2	40,1	12,4	40,0	31,7	17,4		
2000		5,4	12,5	16,1	15,0	14,6	27,5	25,2	12,7		
2001		7,6	10,3	13,7	20,7	13,5		23,5	33,4		
2002		17	12,6		22,2	13,4		22,0	31,4		
2003			4,1	16,9	19,7	11,9	25,1	23,1	23,3		
2004		3,1	10,4		17,4	9,3	29,6	19,2	28,9		
2005		1,5	1,2	18,7	16,0		17,3	21,9	45,0		
2006		6,4	14,0	15,8	26,3		24,4	23,0	74,1		
2007		4,1	7,2		17,5	10,9	28,2	22,8	28,4		
2008		5,3	9,8		27,4		24,3	16,9			
2009		15,2	15,5	24,0	38,8	53,0	38,5	25,1	22,5		
2010		3,8	4,5	19,2	46,2	11,1	29,3	22,8	29,3		
2011		5			20,4	13,5	21,6	24,7	15,6		
2012		9,5		17,3		27,2		20,0	26,0		
2013		8,5	25,1	21,3	19,7	35,0	22,5	18,4	30,2		

En la **Figura N° 15** se muestra el mapa de estaciones pluviométricas empleadas para el desarrollo del modelamiento hidrológico HEC-HMS

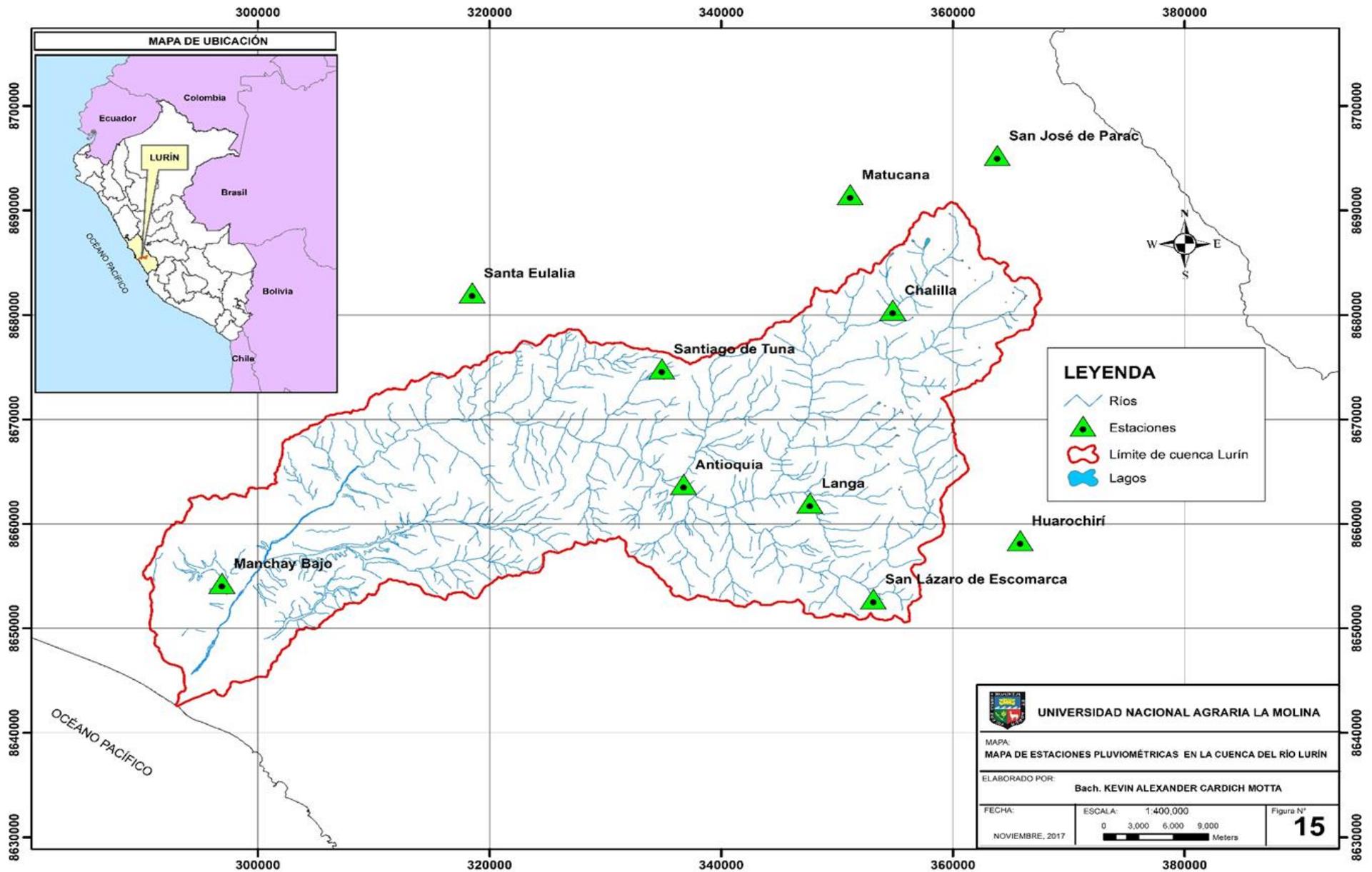


Figura N° 15: Mapa de Estaciones Pluviométricas en la cuenca del río Lurín

Función de Distribución y Ajuste

Cada serie de precipitación máxima anual de las diez estaciones pluviométricas serán ajustadas a un tipo de distribución, descritas en el ítem 2.4.2; a continuación, se describe el proceso para obtener las precipitaciones a los periodos de retorno de 100, 200 y 500 años; haciendo uso del software Hydrognomon. 4.1.0.

Primero se cargan los datos de precipitación máxima 24 horas anual, luego se emplea la herramienta Hydrology / Pythia-Statiltical Analysis que permitirá elegir la distribución más adecuada de la precipitación. En esa misma sección se conseguirá la mejor distribución gracias a la prueba de ajuste de Kolmogorov-Smirnov que se encuentra en la herramienta Test / Kolmogorov-Smirnov. Por último, se hace la proyección de las precipitaciones para los periodos de retorno, esto se obtiene con la herramienta Forecasts / To a return period (max). En la **Tabla N° 18** se presentan las funciones de distribución para cada estación, así como para los periodos de retorno de 100, 200 y 500 años. En el **Anexo 2** se detalla el Test de bondad para cada función de distribución.

Tabla N° 18: Funciones y precipitaciones proyectadas

	Función Distribuida	TR100	TR200	TR500
Manchay Bajo	Log Normal	20.2	25.1	32.6
Santa Eulalia	Log Pearson III	43.7	50.1	58.5
Antioquia	Gumbel	43.5	48.6	55.3
Matucana	Gumbel	34.5	37.5	41.5
Langa	Gumbel	53.8	59.5	67.1
Stgo.tuna	Pearson III	66.1	71.6	78.7
Huarochari	Gumbel	48.4	53.4	59.9
S.J Parac	Pearson III	36.1	38.1	40.6
Escomarca	Gumbel	61.5	67.7	75.7
Chalilla	Gumbel	52.8	57.1	62.9

Distribución de precipitación

- **Polígonos de Thiessen**

En primer lugar, se debe realizar un shape de puntos que represente a las estaciones meteorológicas. La Figura N° 16 muestra las estaciones pluviométricas en formato shape.

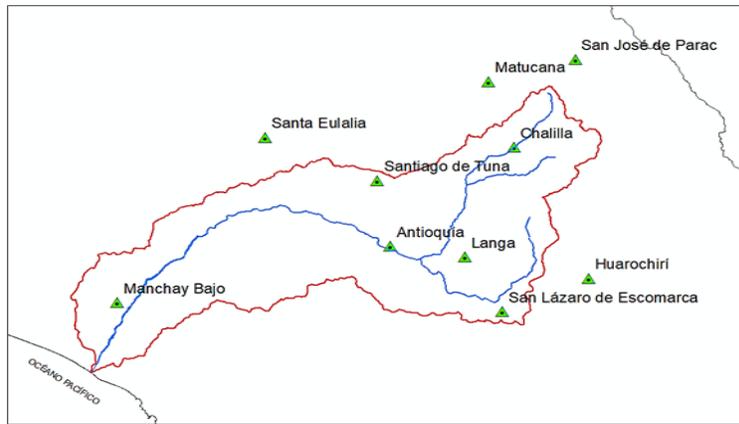


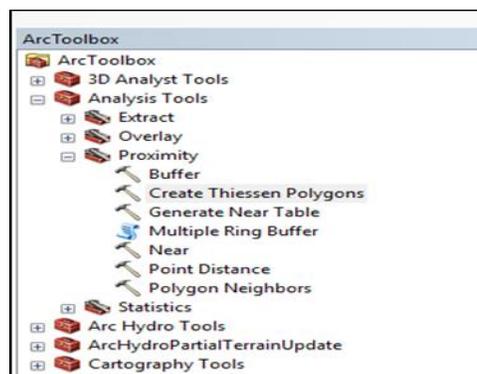
Figura N° 16: Shape de estaciones meteorológicas

En la caja de herramientas de Arcgis (Toolbox) dentro de Analysis Tools / Proximity se encuentra la herramienta Create Thiessen Polygons. Esta herramienta se utiliza para dividir el área cubierta por las entidades de puntos en zonas de Thiessen. Estas zonas representan áreas completas donde cualquier ubicación dentro de la zona está más cerca de su punto de entrada asociado que de cualquier otro punto de entrada.

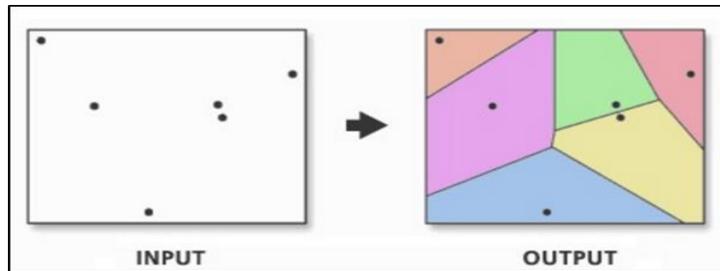
Los polígonos proximales de Thiessen se construyen de la manera siguiente:

- Todos los puntos se triangulan en una red irregular de triángulos (TIN) que cumple el criterio de Delaunay.
- Se generan mediatrices perpendiculares para cada borde de triángulo, formando los bordes de los polígonos de Thiessen. Las ubicaciones en las que se intersecan las mediatrices determinan las ubicaciones de los vértices de los polígonos de Thiessen.

En la **Figura N° 17** se muestra el proceso para generar los polígonos de Thiessen con las herramientas de ArcToolbox.



a. Herramienta Create Thiessen Polygons



b. Generación de polígonos de Thiessen

Figura N° 17: Proceso de Creación de los polígonos de Thiessen (a y b)

Determinación de los hietogramas de diseño

Con la información obtenida de la precipitación de diseño de cada subcuenca se procedió a generar loa hietogramas de diseño para una lluvia de 24 horas de duración. Para ello se empleó la Distribución de lluvias de la SCS descrita en la sección 2.2.3. En el **Anexo 3** se detallan los hietogramas para cada subcuenca.

3.2.2 Proceso HEC-GeoHMS

Llenar huecos del DEM (Fill the sinks)

En muchos casos, celdas con mayor elevación rodean una celda, permitiendo que agua atrapada quede sin salir y en consecuencia no pueda fluir. Por tanto, esta función en Geo-HMS permite llenar los huecos o depresiones del DEM, modificando el valor de elevación a fin de eliminar este problema. La **Figura N° 18** muestra el uso de la herramienta Fill.

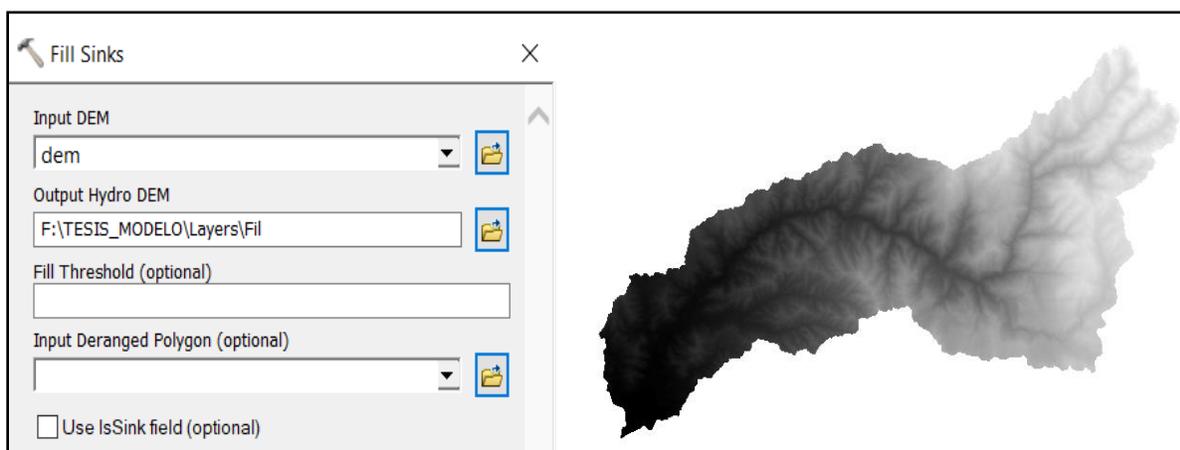


Figura N° 18: Herramienta rellenar huecos del DEM

Dirección del flujo (Flow Direction)

Esta función calcula la dirección del flujo de un GRID. Los valores de las celdas de la cuadrícula de la dirección del flujo indican la dirección de la máxima pendiente de esa celda. La **Figura N° 19** muestra el uso de la herramienta Flow Direction.

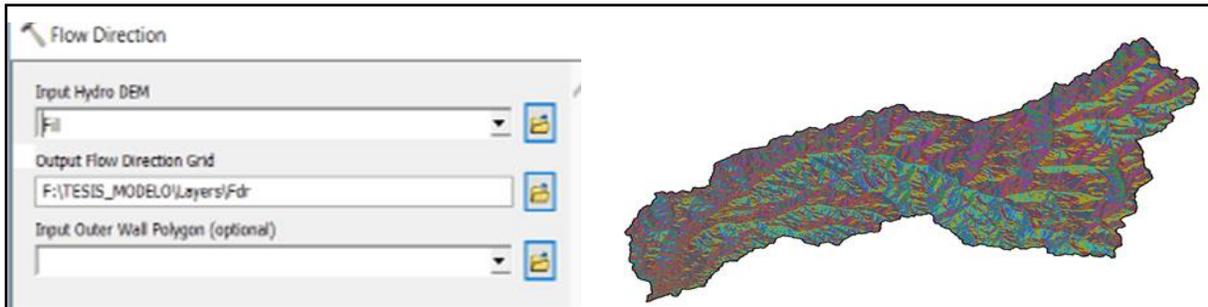


Figura N° 19: Herramienta dirección de flujo

Acumulación del flujo

Esta función en HEC-GeoHMS permite calcular la acumulación del flujo del grid que contiene los números acumulados de las celdas aguas arriba de una celda, para cada celda del grid de ingreso. La **Figura N° 20** muestra el uso de la herramienta Flow Accumulation.

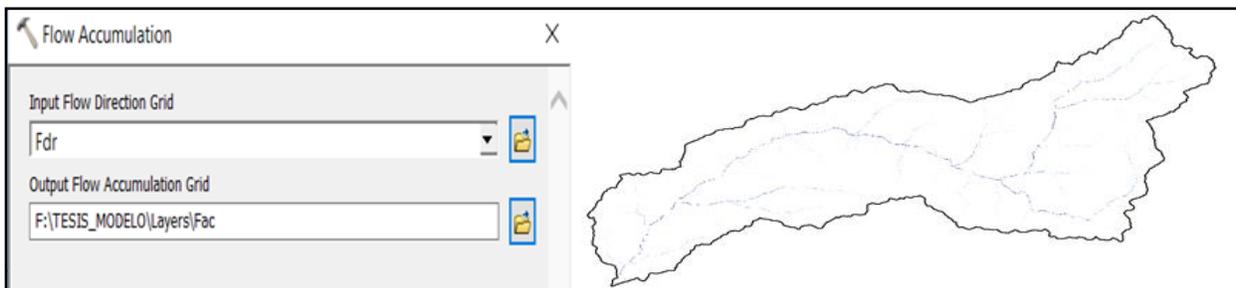


Figura N° 20: Herramienta de acumulación de flujo

Definición de corrientes

En la barra de herramientas de HEC-GeoHMS, se selecciona Preprocessing /Stream Definition. Se configura como entrada el Flow Accumulation Grid, Fac. La salida es el Stream Grid denominado Str. Existe un valor predeterminado que es mostrado para definir el umbral del río. Se debe tener en cuenta que un umbral más pequeño genera una mayor densidad de la red de corrientes y por tanto un mayor número de subcuencas delineadas. La **Figura N° 21** muestra el uso de la herramienta Stream Definition.

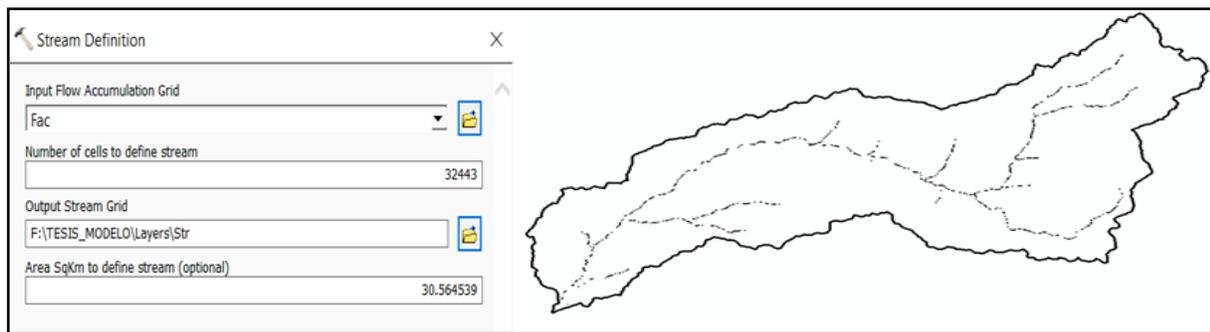


Figura N° 21: Herramienta definición de corrientes

Segmentación de corrientes

Esta función crea un grid de segmentos de ríos que tienen una identificación única. Un segmento puede ser principal, o definido entre dos uniones de segmento. Las celdas de un segmento tienen el mismo código de grid. La **Figura N° 22** muestra el uso de la herramienta Stream Segmentation.

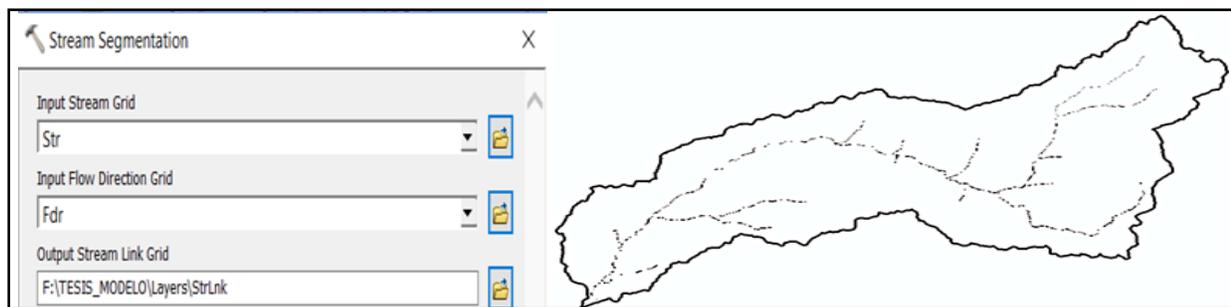


Figura N° 22: Herramienta segmentación de corrientes

Delineación del Grid de sub cuencas

Esta función crea un grid en la que cada celda tiene un valor indicando a cuál subcuenca pertenece. El valor corresponde aquel llevado por el segmento de corriente que drena esa área, y que son definidos en el enlace de la red de corriente. La **Figura N° 23** muestra el uso de la herramienta Catchment Grid Delineation.

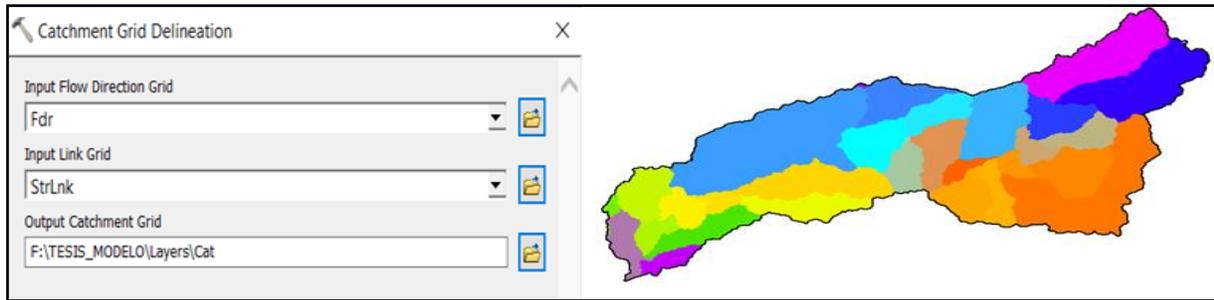


Figura N° 23: Herramienta delineación del Grid de subcuencas

Procesamiento polígono de las sub cuencas

En HEC-GeoHMS se selecciona Preprocessing/Catchment Polygon Processing. Esta función convierte Catchment grid dentro de una entidad de polígono de subcuenca. La **Figura N° 24** muestra el uso de la herramienta Catchment Polygon Processing.

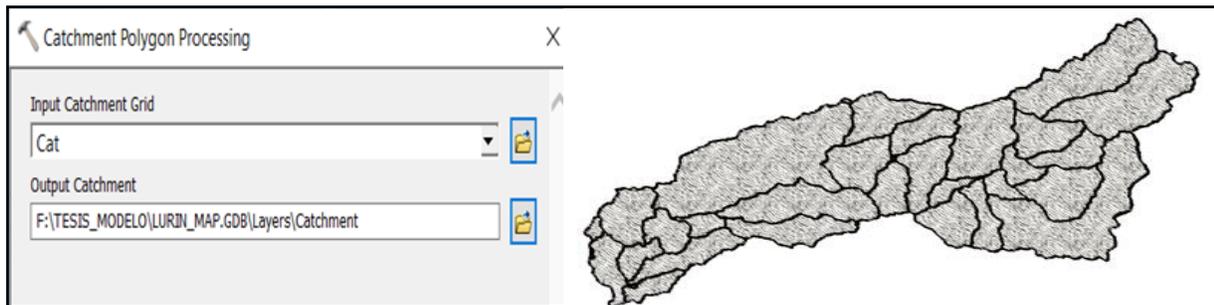


Figura N° 24: Herramienta procesamiento polígono de subcuencas

Procesamiento de líneas de drenaje

Esta función convierte el Grid de entrada Stream Link dentro de una clase entidad “Drainage Line. Por defecto el nombre de salida es “DrainageLine”. La **Figura N° 25** muestra el uso de la herramienta Drainage Line Processing.

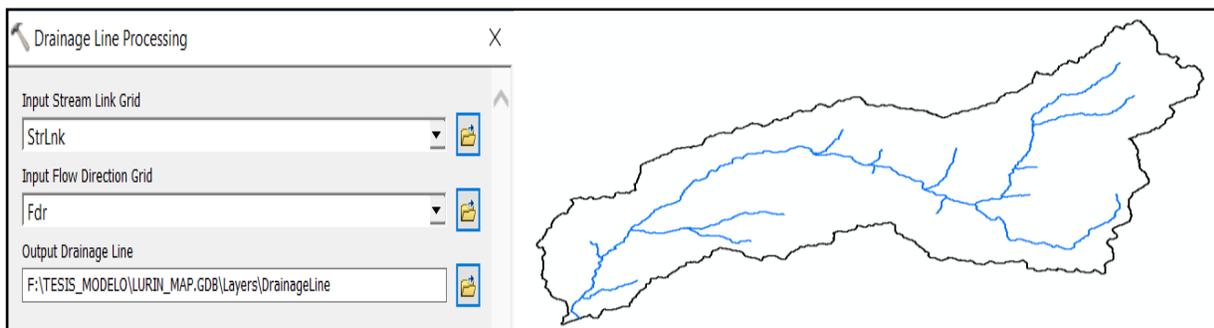


Figura N° 25: Herramienta procesamiento de líneas de drenaje

Procesamiento de sub cuencas adjuntas

Esta función genera subcuencas agregadas aguas arriba de la clase entidad de subcuencas (catchment) generada anteriormente. Se selecciona Preprocessing / Adjoint Catchment Processing, se configura como entradas DrainageLine y Catchment para el Input Drainage Line e Input Catchment, respectivamente. La salida es confirmada por defecto como “AdjointCatchment”. La **Figura N° 26** muestra el uso de la herramienta Adjoint Catchment Processing.

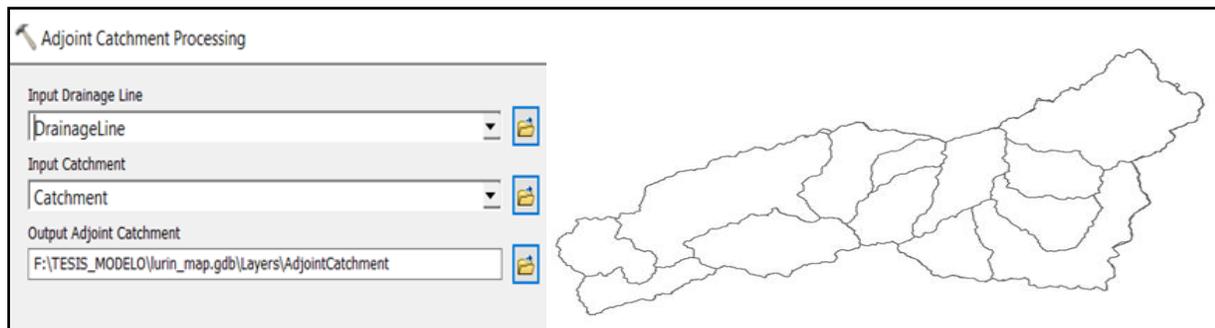


Figura N° 26: Herramienta procesamiento de subcuencas adjuntas

Configuración del proyecto

Para la gestión de datos se selecciona en HEC-GeoHMS, Project Setup / Data Management y luego se confirma las capas de los mapas correspondientes. La **Figura N° 27** muestra el uso de la herramienta Data Management.

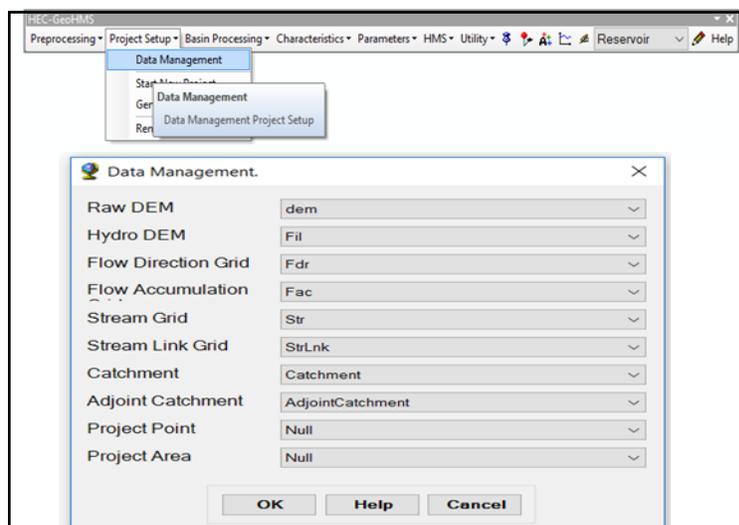


Figura N° 27: Herramienta Configurar Proyecto

Creando un nuevo proyecto HMS

En Project Setup/Start New Project, se configura el Project Área y el Project Point y se coloca el nombre y la descripción del proyecto. La **Figura N° 28** muestra el uso de la herramienta Start New Project.

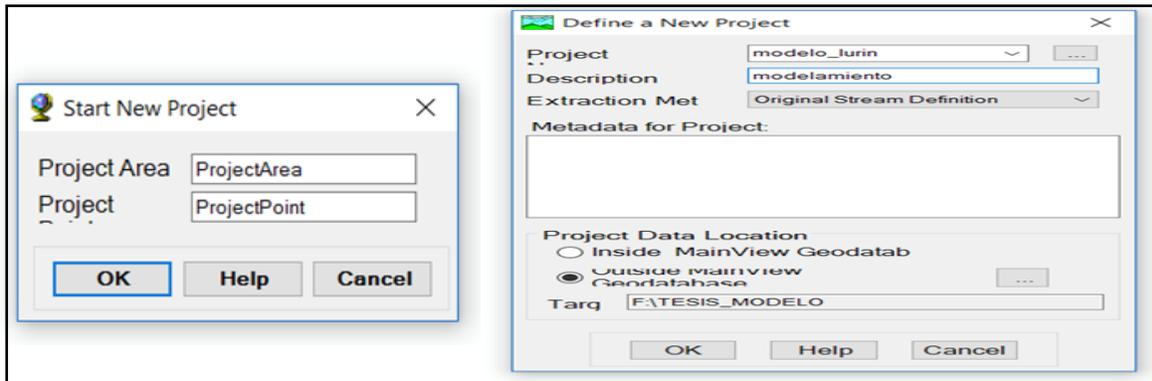


Figura N° 28: Herramienta Crear Nuevo Proyecto

Se ubica el punto de la salida de la cuenca desde donde se quiere modelar, en este caso desde la estación hidrométrica de Manchay (300579.00 m E, 8656694.00 m N). Se selecciona sobre la barra de herramientas de Hec-GeoHMS el comando “Add Project Point” y se coloca en el punto ya establecido de salida.

Generación del área de proyecto

Se selecciona, HMS Project Setup/ Generate Project y de esa manera se delimita el área de proyecto y a la vez se crea un nuevo Data Frame con el nombre del proyecto. La **Figura N° 29** muestra el uso de la herramienta Generate Project.

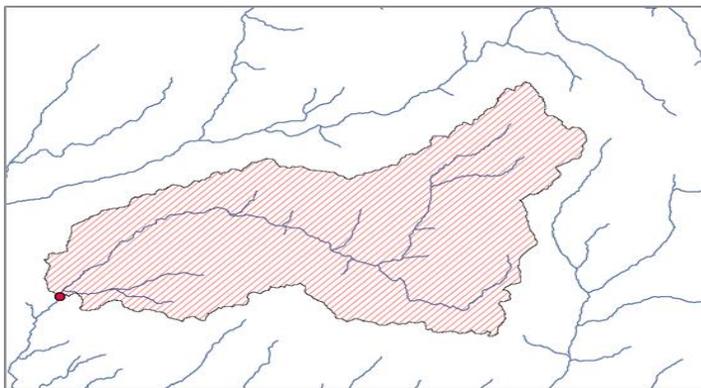


Figura N° 29: Herramienta generación del área de proyecto

Combinar cuencas

Con este proceso se une dos o más subcuencas adyacentes en sólo una. Se selecciona las dos subcuencas adyacentes usando la herramienta de selección del menú principal de ArcMap. Seguidamente se emplea la herramienta Basin Processing / Basin Merge y automáticamente se unen dos subcuencas. La **Figura N° 30** muestra el uso de la herramienta Basin Merge.

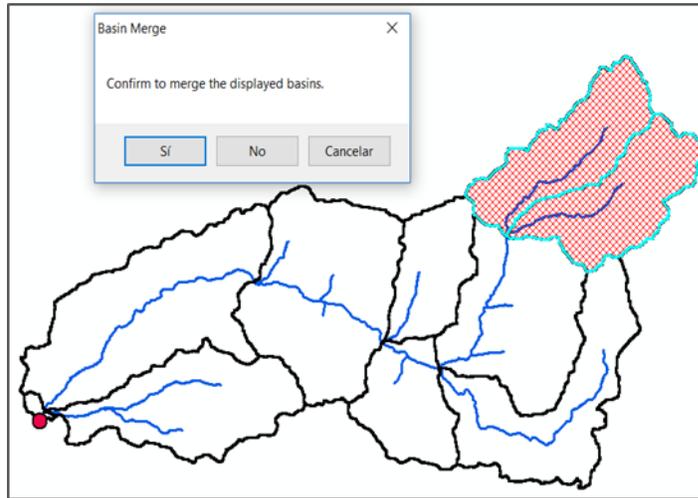


Figura N° 30: Herramienta combinar cuenca

Longitud del río

Esta herramienta calcula la longitud de los segmentos del río y los almacena en el campo RiverLen. La **Figura N° 31** muestra el uso de la herramienta River Length.

DrainID	Slp	ElevUP	ElevDS	RivLen	ChnShapeMusk	ChnShapeKine	C
24	0.074951	4278	2997	17.091266	<Null>	<Null>	<Nt
25	0.072849	4090	2997	15.003537	<Null>	<Null>	<Nt
33	0.067436	1404	996	6.050216	<Null>	<Null>	<Nt
33	0.098915	1537	1220	3.204775	<Null>	<Null>	<Nt
33	0.031055	1512	996	16.615857	<Null>	<Null>	<Nt
40	0.07064	2997	1765	17.440597	<Null>	<Null>	<Nt
40	0.144429	2938	2551	2.679524	<Null>	<Null>	<Nt
33	0.125479	1411	1240	1.362782	<Null>	<Null>	<Nt
29	0.102219	2395	1512	8.638298	<Null>	<Null>	<Nt
42	0.036462	1765	1512	6.93879	<Null>	<Null>	<Nt
40	0.230396	2827	2037	3.428885	<Null>	<Null>	<Nt
42	0.101635	1946	1622	3.187886	<Null>	<Null>	<Nt
44	0.050456	1251	218	13.597238	<Null>	<Null>	<Nt
28	0.025381	996	218	30.652918	<Null>	<Null>	<Nt
45	0.008	218	209	1.125771	<Null>	<Null>	<Nt
44	0.052374	970	475	9.451228	<Null>	<Null>	<Nt
38	0.078833	4100	1765	29.619416	<Null>	<Null>	<Nt

Figura N° 31: Herramienta longitud del río

Creación de la pendiente de la cuenca

Para calcular el grid de pendiente de la cuenca, se emplea la herramienta Arc Hydro que ha sido instalada automáticamente cuando se configuró Hec-GeoHMS. En ArcHydro se selecciona Terrain Preprocessing/Slope, se configura como entradas, “RawDEM”, “PERCENT_RISE” para el Raw DEM y Slope Type, respectivamente. La salida es un grid de pendiente, cuyo nombre por defecto es “WshSlope”. La **Figura N° 32** muestra el uso de la herramienta Slope.

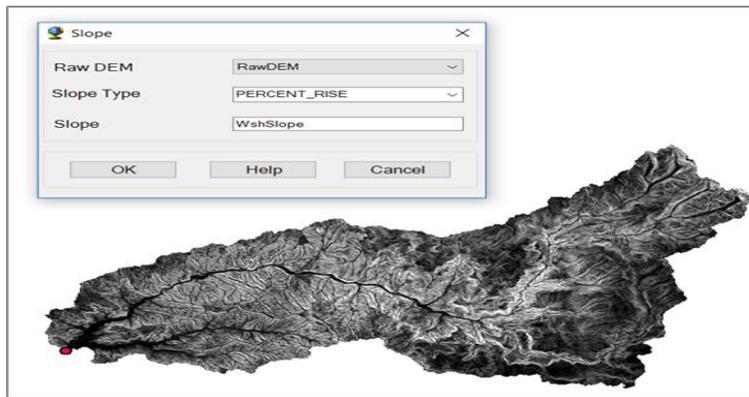


Figura N° 32: Herramienta creación de la pendiente de cuenca

Pendiente del río

Esta herramienta calcula la pendiente de los segmentos del río y los almacena en el campo Slp. Se selecciona Basin Characteristics /River Slope y se confirma como “RawDEM y “River787” como entradas, respectivamente. La **Figura N° 33** muestra el uso de la herramienta River Slope.

NextDownID	DrainID	Slp	ElevUP	ElevDS	RivLen
7	24	0.074951	4278	2997	17.091266
7	25	0.072849	4090	2997	15.003537
19	33	0.067436	1404	996	6.050216
5	33	0.098915	1537	1220	3.204775
19	33	0.031055	1512	996	16.615857
13	40	0.07064	2997	1765	17.440597
13	40	0.144429	2938	2551	2.679524
6	33	0.125479	1411	1240	1.362782
10	29	0.102219	2395	1512	8.638298
10	42	0.036462	1765	1512	6.93879
15	40	0.230396	2827	2037	3.428885
12	42	0.101635	1946	1622	3.187886
20	44	0.050456	1251	218	13.597238
21	28	0.025381	996	218	30.652918
-1	45	0.008	218	209	1.125771
20	44	0.052374	970	475	9.451228
16	38	0.078833	4100	1765	29.619416

Figura N° 33: Herramienta pendiente del río

Pendiente de la cuenca

Esta herramienta calcula la pendiente promedio para las sub cuencas usando el grid wshslope y la entidad de subcuencas. Se selecciona Characteristics / Basin Slope y se confirma WshSlope y Subbasin787 como las entradas respectivamente. La **Figura N° 34** muestra el uso de la herramienta Basin Slope.

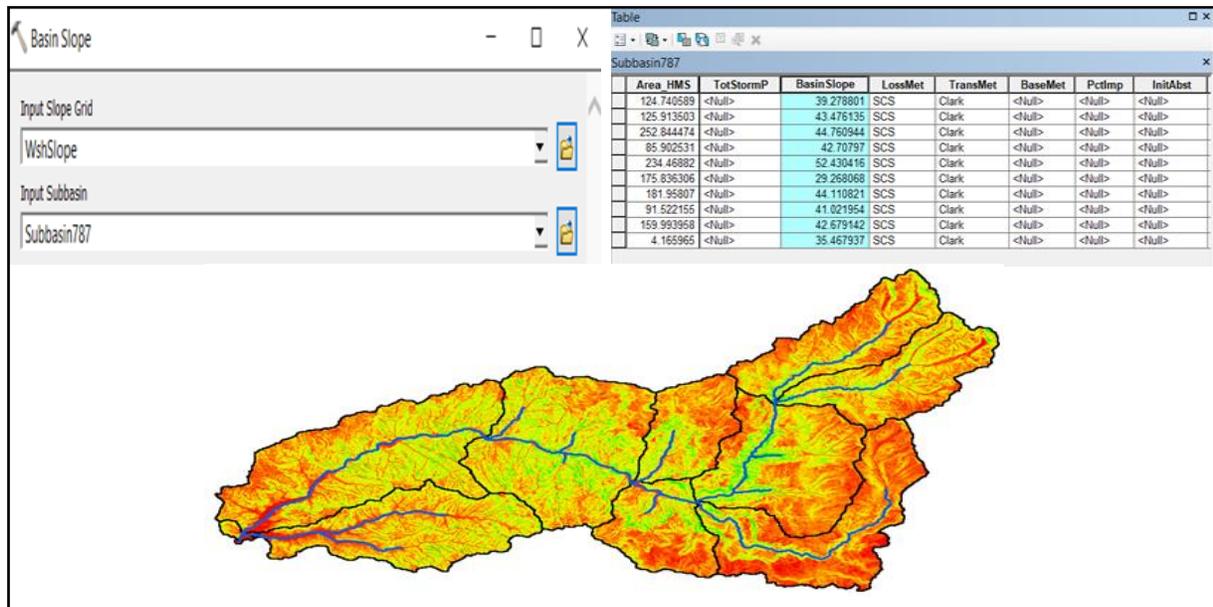


Figura N° 34: Herramienta pendiente de la cuenca

Ruta más larga de flujo

Esta herramienta crea una entidad de polígono que almacena la ruta más larga del flujo para cada subcuenca. Se selecciona Characteristics / Longest Flow Path y se *confirma* como entradas RawDEM, Fdr y Subbasin787; por defecto el nombre de salida es LongestFlowPath787. La **Figura N° 35** muestra el uso de la herramienta Longest Flow Path.

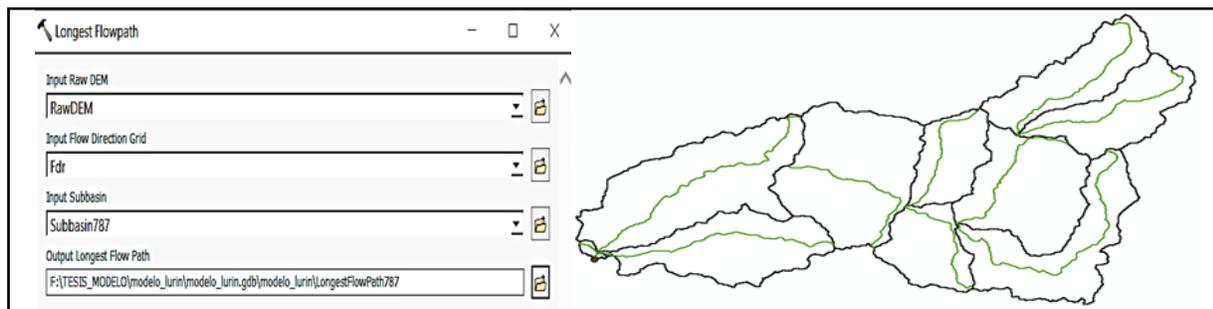


Figura N° 35: Herramienta Ruta más larga del flujo

Centroide de la cuenca

Esta herramienta crea una clase entidad punto de centroide para almacenar el centroide de cada subcuenca. Se selecciona Characteristics / Basin Centroid. Se emplea el método de “Center of gravity” y como entrada de subcuenca a “Subbasin787”. El nombre de salida por defecto es “Centroid787”. La **Figura N° 36** muestra el uso de la herramienta Basin Centroid.

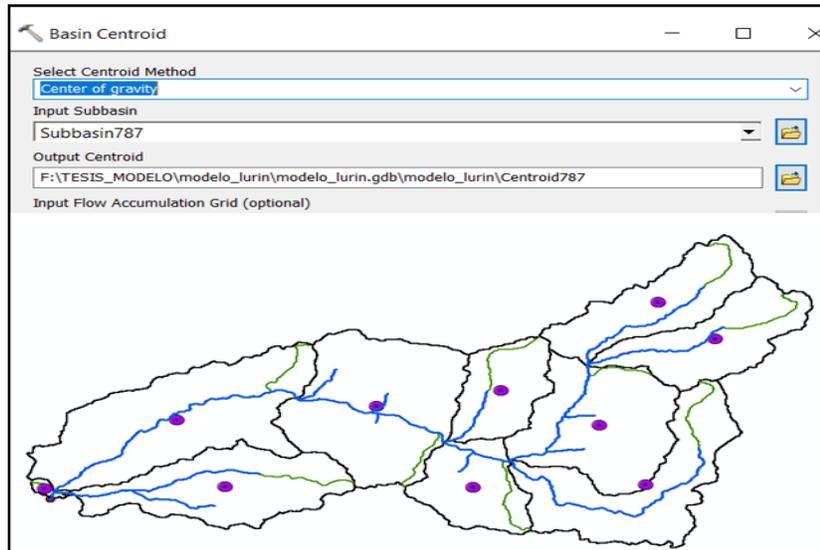


Figura N° 36: Herramienta centroide de la cuenca

Elevación del centroide de la cuenca

Esta herramienta calcula la elevación para cada punto de centroide usando el Modelo de Elevación Digital. Se selecciona Characteristics/ Centroid Elevation. Se configura como entradas RawDEM y Centroid787; luego de este proceso de cálculo las elevaciones de los centroides se visualizan en la tabla de atributos. La **Figura N° 37** muestra el uso de la herramienta Centroid Elevation.

OBJECTID *	Shape *	DrainID	Elevation	Elevation HMS
1	Point	24	4434	4434
2	Point	25	4146	4146
3	Point	28	931	931
4	Point	29	3062	3062
5	Point	33	1507	1507
6	Point	38	4141	4141
7	Point	40	3686	3686
8	Point	42	2856	2856
9	Point	44	1495	1495
10	Point	45	368	368

Figura N° 37: Herramienta Elevación del centroide

Trayectoria centroidal del flujo más largo

Esta herramienta crea una nueva clase entidad de polilíneas que muestra el recorrido del flujo para cada punto de centroide sobre la trayectoria de flujo más largo. Se selecciona Characteristics /Centroidal Longest Flow Path. La **Figura N° 38** muestra el uso de la herramienta Centroidal Longest Flow Path.

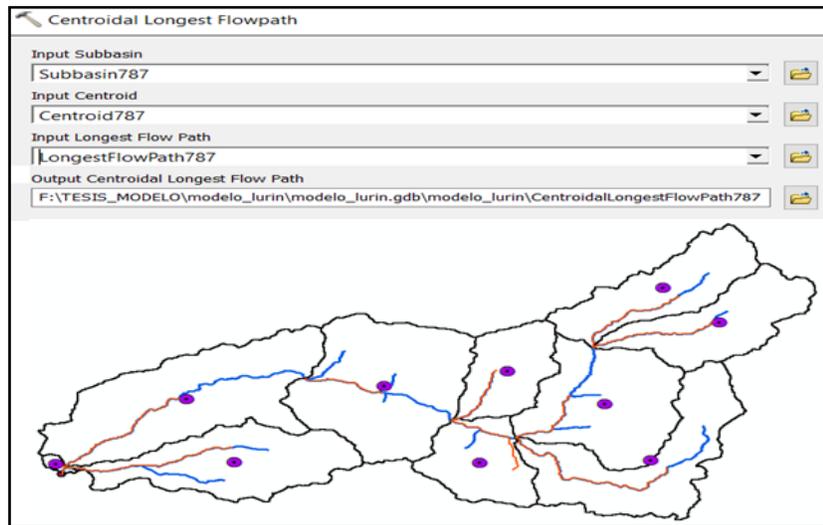


Figura N° 38: Herramienta Centroidal del flujo más largo

Selección de procesos para HMS

Esta herramienta permite especificar los métodos que HMS debe utilizar para transformar la lluvia en escorrentía y el tránsito del río. Se escoge como método para obtener el exceso de lluvia de la lluvia total, (“Loss Method”), SCS; asimismo para convertir el exceso de lluvia a escorrentía directa, se emplea Snyder / Clark. Para calcular el flujo base (baseflow) no se usa ningún método “None” y para el tránsito del flujo en el río los métodos de Muskingum y Kinematic Wave. La **Figura N° 39** muestra el uso de la herramienta Select HMS Processes.

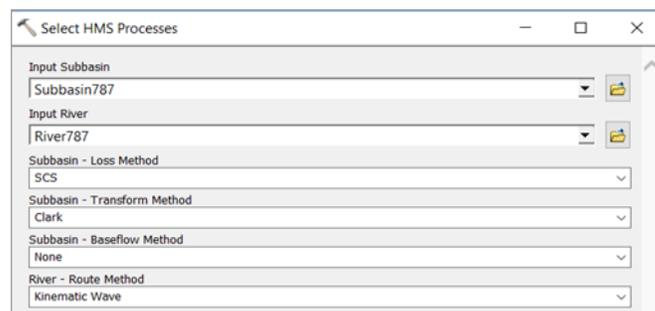


Figura N° 39: Herramienta selección de procesos HMS

Nombre automático de los ríos

Esta función permite asignar nombres a los segmentos de los ríos. Se selecciona Parameters/River Auto Name. Se confirma “River787” para la clase entidad de entrada. En la tabla de atributos correspondiente se visualiza que el campo “Name” se completa con nombres que tienen el formato R###, donde "R" significa río o tramo y "###" es un número entero. La **Figura N° 40** muestra el uso de la herramienta River Auto Name.

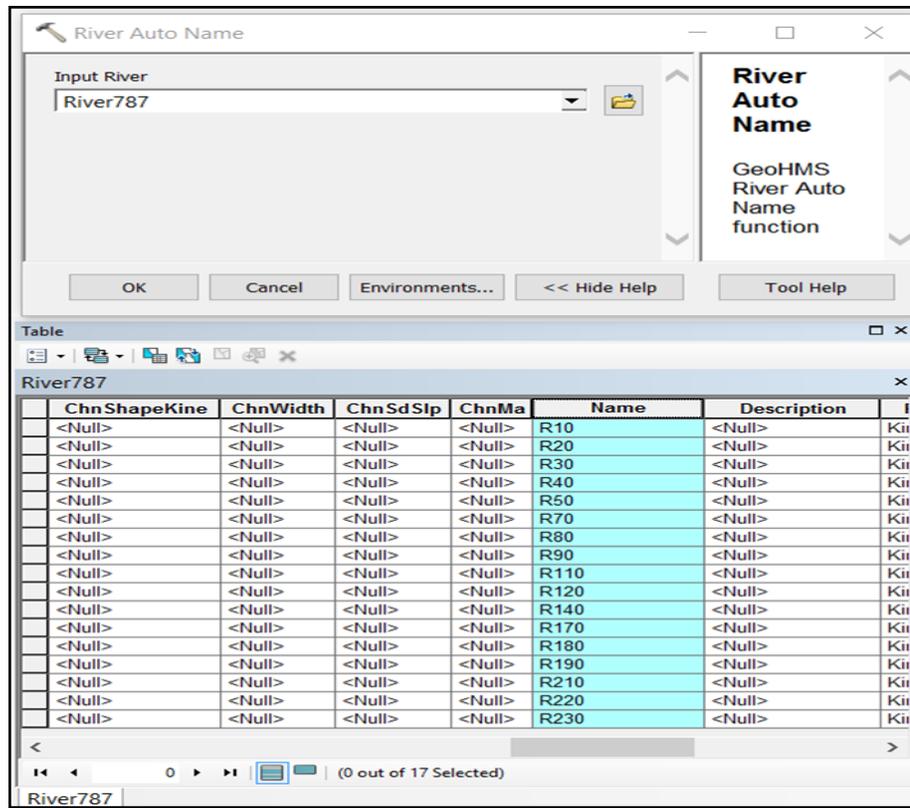


Figura N° 40: Herramienta nombre automático de ríos

Nombre automático de las sub cuencas

Esta función permite asignar nombre a la sub cuencas en forma automática. Se selecciona Parameters/ Basin Auto Name, luego se confirma la clase entidad de entrada “Subbasin787”. Se visualiza en la tabla de atributos que el campo “Name” se completa, con un formato W### donde W se refiere a la subcuenca. La **Figura N° 41** muestra el uso de la herramienta Basin Auto Name.

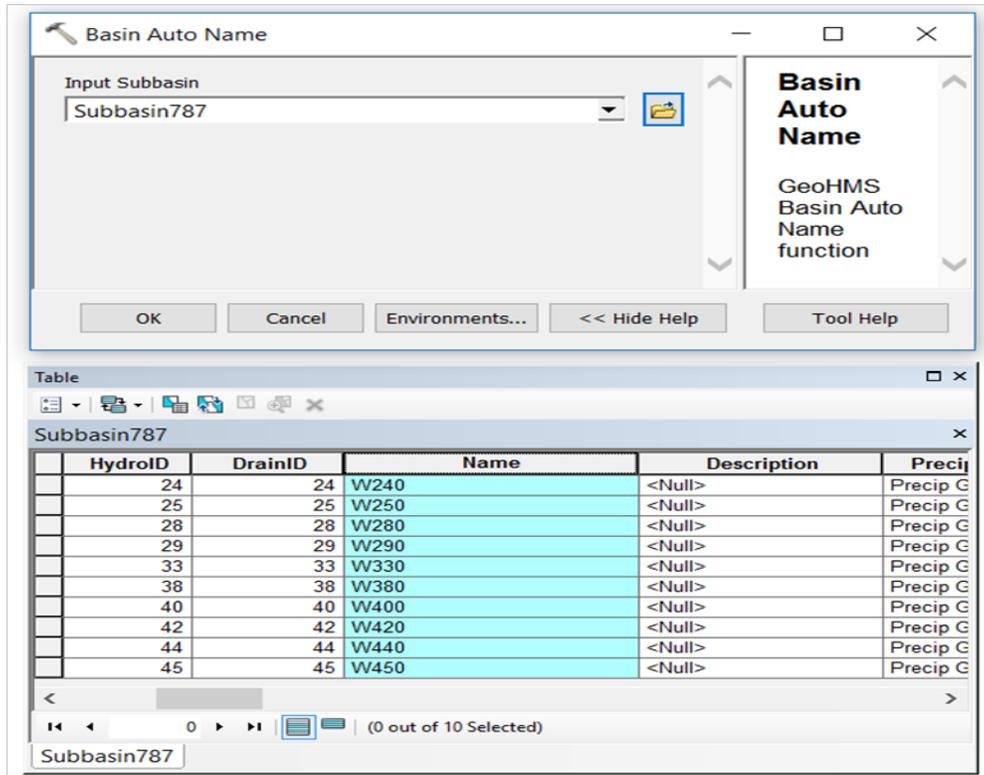


Figura N°41: Herramienta nombre automático de subcuencas

Mapa para las unidades de HMS

Esta herramienta convierte las unidades para el modelo HMS. Se selecciona HMS/Map to HMS Units y se configura las entradas. La **Figura N° 42** muestra el uso de la herramienta Map to HMS Units.

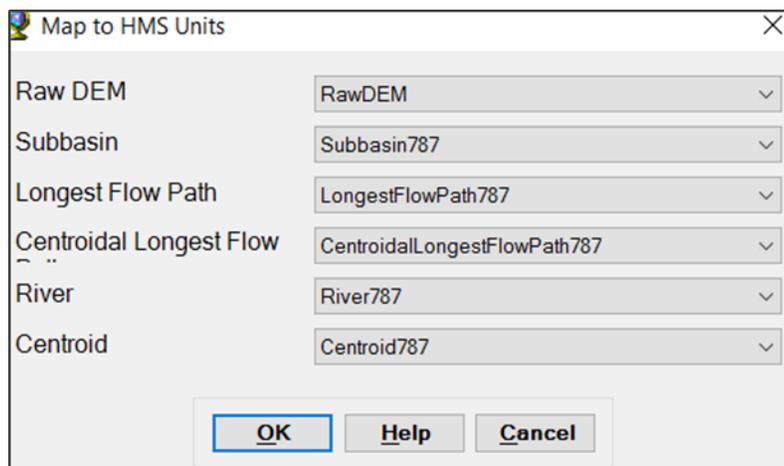


Figura N° 42: Herramienta Mapa de Unidades HMS

Verificar data

Esta herramienta verifica toda la data de entrada. Se selecciona HMS / Check Data y se confirma el grupo de datos a ser chequeados. Luego de chequear la data, se muestra un reporte que contiene la consistencia de la data chequeada. La **Figura N° 43** muestra el uso de la herramienta Check Data.

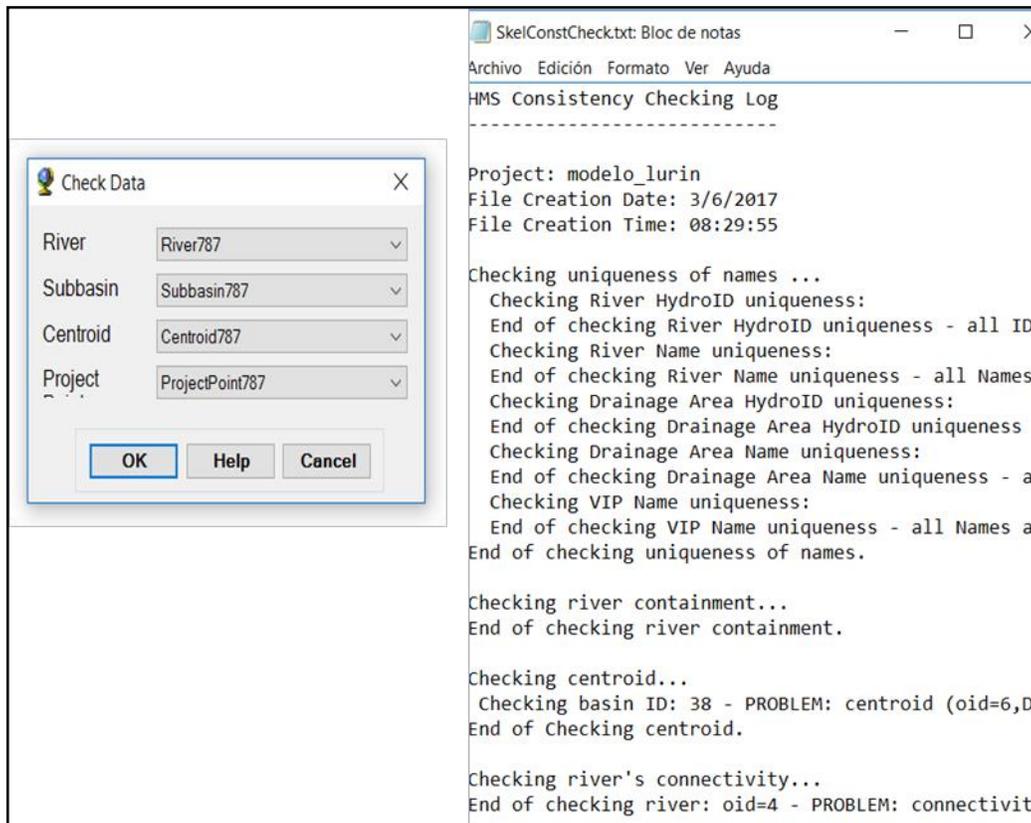


Figura N° 43: Herramienta Verificar Data

Esquemático HMS

Esta herramienta crea 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 y se confirma las entradas; además en la tabla de contenidos se visualiza dos clases de entidad HMSNode787 y HMSLink787. La **Figura N° 44** muestra el uso de la herramienta HMS Schematic.

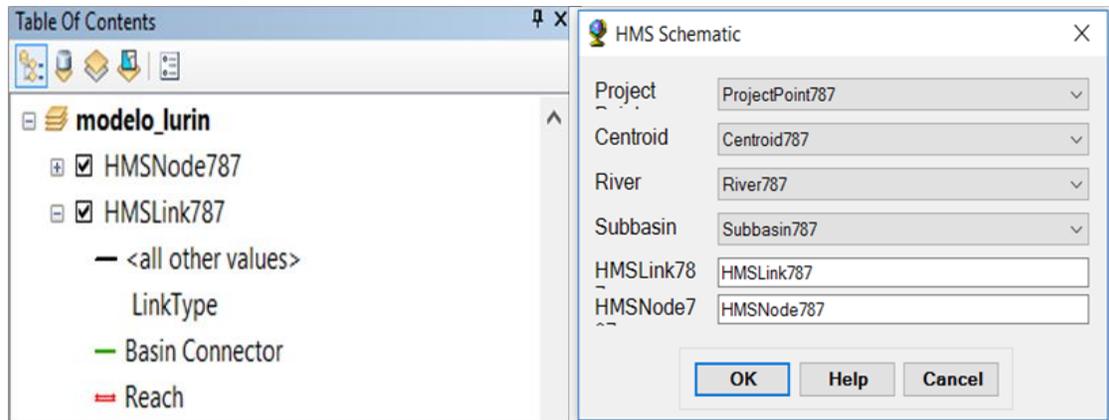


Figura N° 44: Herramienta Esquemático HMS

Leyenda HMS

Esta herramienta permite ver el modelo en HEC-HMS, para tal efecto se selecciona HMS/Toggle Legend/HMS Legend. La **Figura N° 45** muestra el uso de la herramienta HMS Legend.

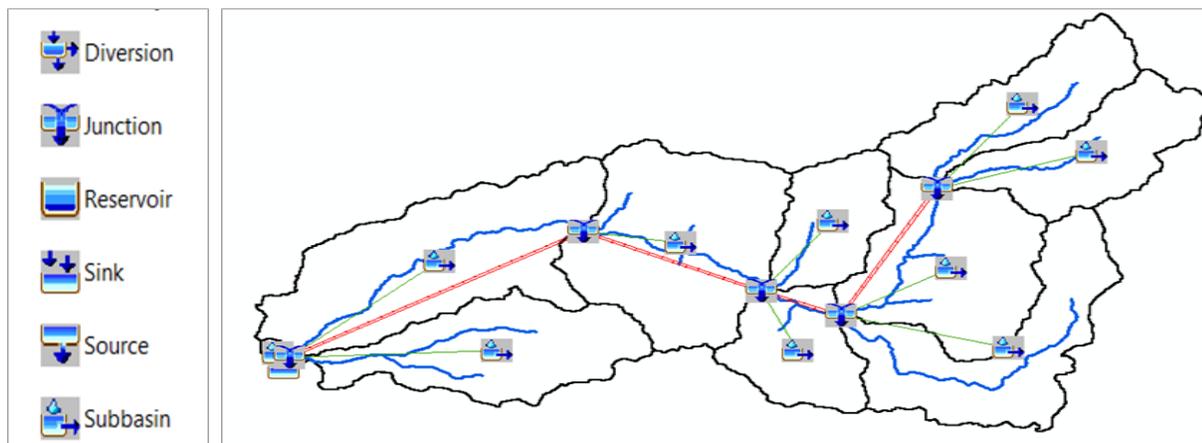


Figura N° 45: Herramienta Leyenda HMS

Adicionar coordenadas

Esta parte permite agregar las coordenadas geográficas a las entidades HMSNode y HMSLink. Las coordenadas son almacenadas en tabla de atributos y son útiles para exportar el esquema del modelo a otros modelos conservando la información geoespacial. Se selecciona HMS/Add Coordinates, y se confirma los archivos de entrada. La **Figura N° 46** muestra el uso de la herramienta Add Coordinates.

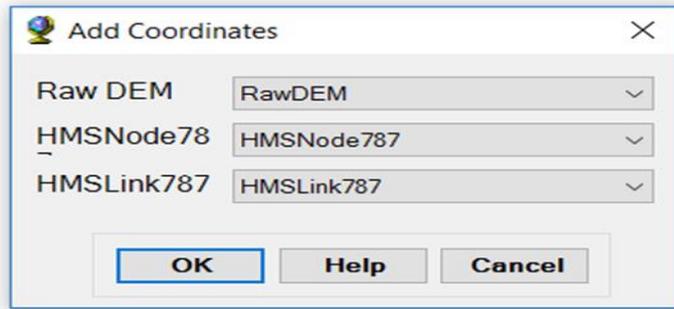


Figura N° 46: Herramienta Adicionar Coordenadas

Modelo de cuenca

Esta herramienta permite exportar la información geográfica relacionada a nodos, links y su conectividad a un archivo de texto con la extensión “basin”.

Modelo meteorológico

En esta parte sólo se crea un archivo vacío que pueda ser llenado dentro de HMS. Se selecciona HMS / Met Model File/Specified Hyetograph. El archivo de salida es creado con el nombre de modelo_lurin.met. La **Figura N° 47** muestra el uso de la herramienta Met Model.

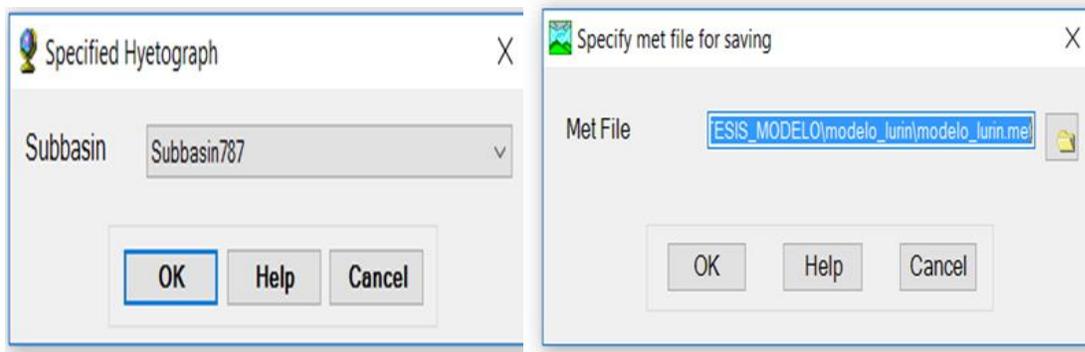


Figura N° 47: Herramienta Modelo Meteorológico

Creación del proyecto HMS para su exportación

Esta función copia todos los archivos específicos del proyecto que se ha creado hacia un directorio específico y crea un archivo “.hms” que contiene información sobre otros archivos para HMS. Se selecciona HMS/Create HMS Project. Luego se proporciona la localización de todos los archivos, se asigna un nombre para correr el modelo y por último se configura el tiempo e intervalo de acuerdo al evento de simulación. La **Figura N° 48** muestra el uso de la herramienta Create HMS Project.

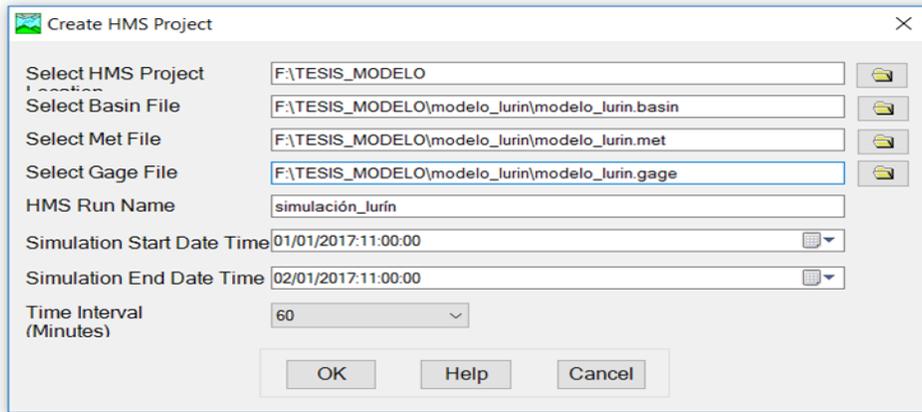


Figura N° 48: Herramienta Crear Proyecto HMS

3.2.3 Proceso HEC-HMS

Proyecto HMS

El proyecto generado se abre desde el software HEC-HMS en la secuencia File / Open, en el explorador se selecciona “modelo_lurin.hms” y automáticamente el proyecto se presenta conforme a la figura de abajo. La **Figura N° 49** muestra la apertura del archivo creado con HecGeoHMS.

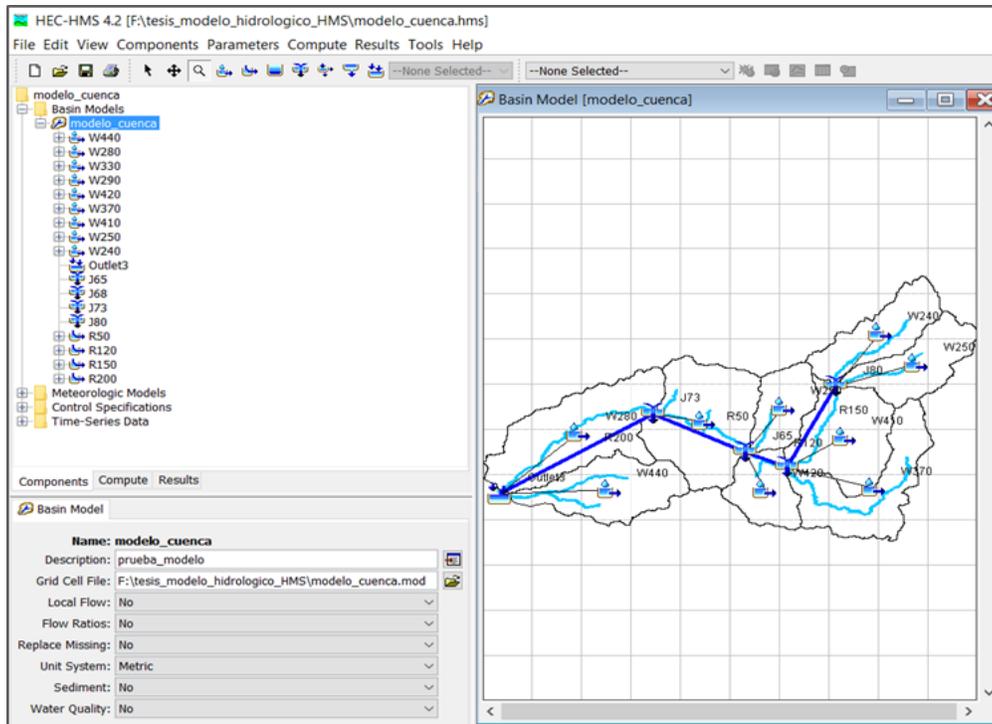


Figura N° 49: Apertura del archivo GeoHMS en HEC HMS

Modelo De Cuenca

El modelo de cuenca se obtiene del Pre-proceso con GeoHMS, así que sólo se debe vincular ese archivo a HMS para que se trabaje con las subcuencas y sus características. En HMS se trabaja con una serie de parámetros que se completan para definir las características físicas e hidrológicas de cada subcuenca. La **Figura N° 50** presenta las ventanas para la introducción de las características hidrológicas de cada subcuenca.

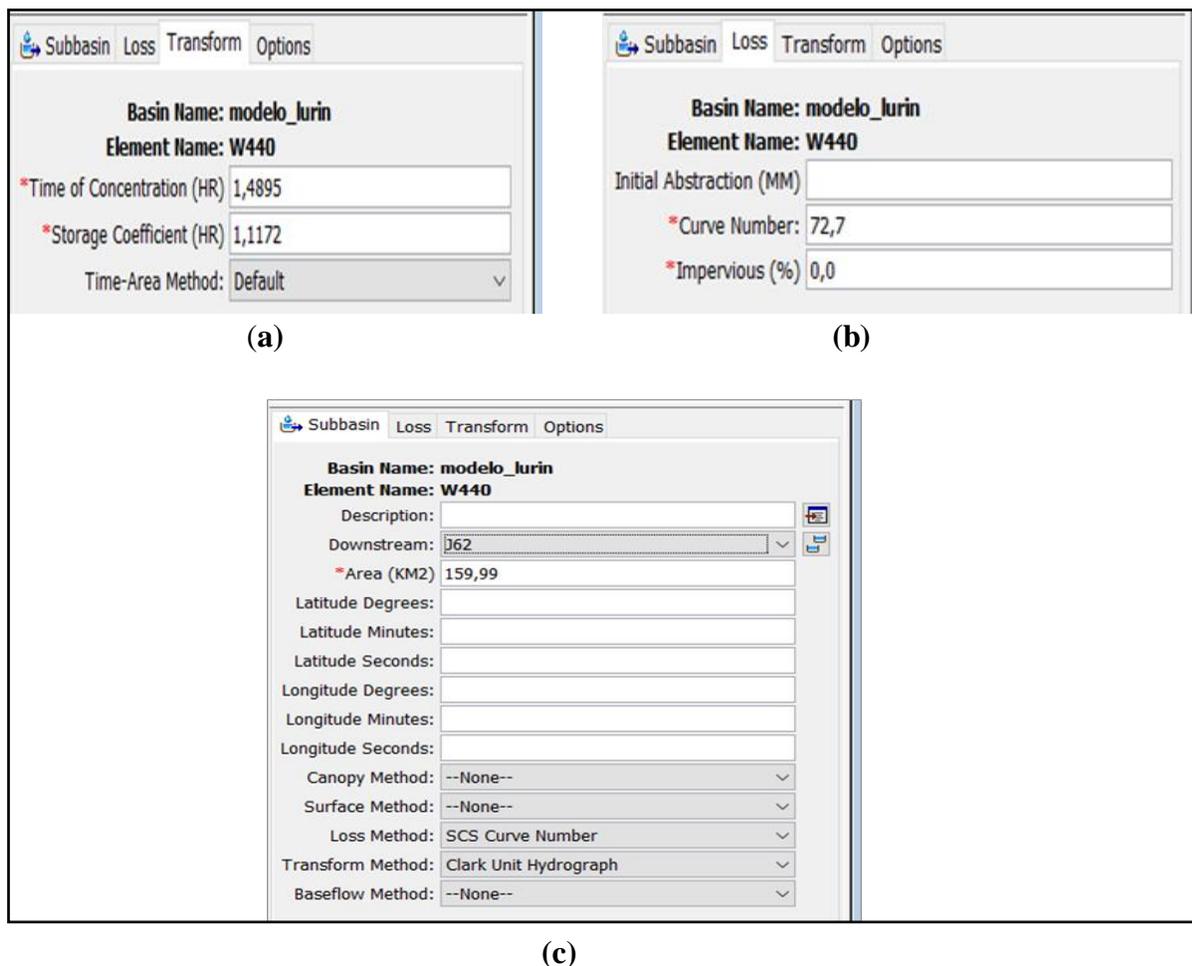


Figura N° 50: Características Hidrológicas de las subcuencas en HMS (a, b y c)

En la **Tabla N° 19** se presentan los métodos elegidos para el modelo cuenca de la simulación hidrológica; es decir, el parámetro subcuenca (subbasin), pérdida (loss) y transformación (transform).

Tabla N° 19: Parámetros del Modelo Cuenca

PARÁMETRO	MÉTODO	DESCRIPCIÓN
Subbasin	SCS Curve number	Comportamiento de la escorrentía según el número de curva
	Clark	Calcula el volumen de agua caído sobre la superficie de la cuenca y considera el retardo producido por el tránsito del agua
Loss	Initial Abstraction	Cantidad de agua (mm) que el terreno es capaz de infiltrar
	Curve Number	Número de curva de la subcuenca
	Impervious	Permeabilidad (%) de la subcuenca
Transform	Time of concentration	Tiempo máximo de circulación del agua hasta el punto de control
	Storage coefficient	Coefficiente de almacenamiento del suelo

Existen algunas variables que deben ser calculadas previamente tal es el caso del tiempo de concentración (T_c) y del coeficiente de almacenamiento (R). Para el tiempo de concentración se usa la fórmula de Kirpich mencionada en el ítem 2.2.5 y el coeficiente de almacenamiento, en horas, se estima como una fracción del T_c ; es decir, se multiplica el tiempo de concentración por un factor del orden de 0.75. En la **Tabla N° 20** se presentan los valores de Tiempo de concentración y coeficientes de almacenamiento.

Tabla N° 20: Tiempos de Concentración y Coeficiente de Almacenamiento

Subcuenca	Longitud	Pendiente	Tiempo de concentración	Coefficiente de almacenamiento
S_x	L	S	T_c	R
	m	m/m	Hr	Hr
W440	13.59	0.050	1.561	1.171
W280	30.65	0.025	3.805	2.853
W330	16.61	0.031	2.197	1.647
W290	8.638	0.102	0.839	0.629
W420	6.938	0.036	1.054	0.790
W370	29.619	0.078	2.395	1.796
W410	17.440	0.070	1.662	1.246
W250	15.003	0.072	1.462	1.097
W240	17.091	0.075	1.599	1.199

El modelo meteorológico

Este modelo presenta dos etapas, en la primera se introduce los hietogramas obtenidos del proceso que se describe en el ítem 3.2.2.2 y que se colocan en el apartado “Time-Series”. La

forma de los hietogramas indica la distribución de las precipitaciones en el tiempo. La segunda etapa consiste en introducir los datos de precipitación y de esa forma se crea los modelos meteorológicos para TR100, TR200 y TR500 con sus respectivos hidrogramas. En la **Figura N° 51** se muestra el ingreso de hietogramas en el modelo HMS.

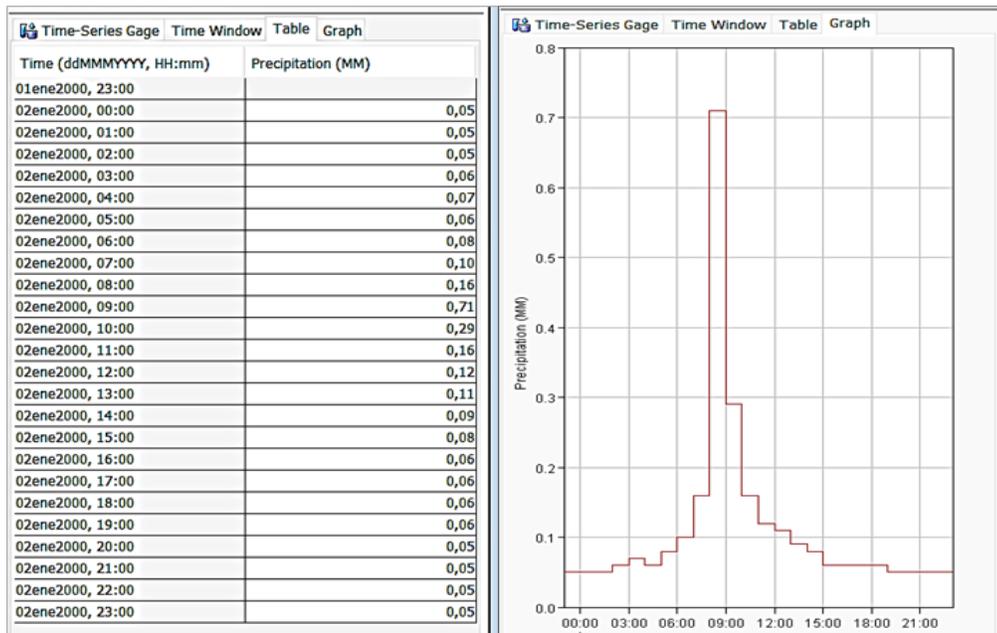


Figura N° 51: Ingreso de Hietogramas en HMS

Especificaciones de control

En esta parte del modelo HMS se indica al programa cuando debe empezar y terminar la simulación y el incremento de tiempo (Time interval) para efectuar los cálculos. El intervalo de tiempo será de 1 hora. Para este modelo se coloca como fecha de inicio las 23:00 horas del día 1 de marzo hasta las 23:00 del día siguiente (día 2 de marzo). La **Figura N° 52** presenta las especificaciones de control del modelo HMS.

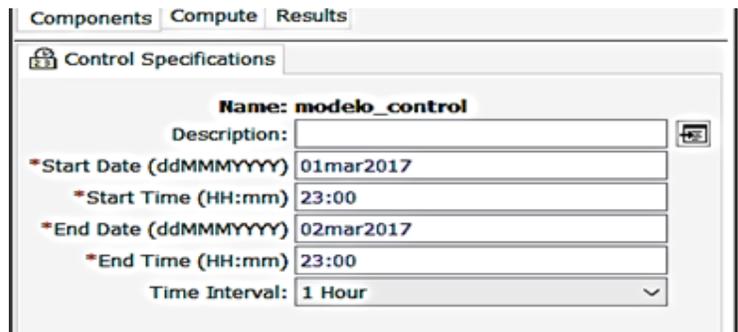


Figura N° 52: Especificaciones de Control

3.2.4 Calibración

Antes de iniciar el proceso de calibración se tendrá en cuenta la información proveniente del “Estudio Hidrológico-Meteorológico en la Vertiente del Pacífico del Perú con fines de Evaluación y Pronóstico del Fenómeno del Niño El Niño para Prevención y Mitigación de Desastres”, ejecutada por el Consorcio BCEOM-SOFI CONSULT S.A – ORSTOM y aprobada por el Ministerio de Economía y Finanzas (1999). Dicho estudio indica que se aplicó la Distribución de Probabilidades GEV a los caudales de un registro de 35 años y se ajustó con el método de Momentos Ponderados. Al ser un estudio detallado y de alta complejidad se considerará los caudales estimados para 100, 200 y 500 años de periodo de retorno como válidos y serán empleados para calibrar el modelo hidrológico. La **Tabla N° 21** muestra los caudales estimados por el MEF (1999).

Tabla N° 21: Caudales Máximos del Estudio del MEF

Periodo de retorno (años)	Caudal (m3/s)
100	104
200	120
500	143

FUENTE: Orstom

La calibración del modelo hidrológico se consigue con la variación del valor de Curva Número. Si los caudales simulados para TR100, TR200 y TR500 se asemejan en cierto grado a los caudales de la **Tabla N° 21** se dará por terminada la calibración. Para poder medir de diferencia entre ambos caudales se emplea un coeficiente de error simple. Se variará el valor de Curva Número hasta que el porcentaje de error sea menor al 10%. La **Tabla N° 22** presenta los valores mínimo y máximo de Curva Numero donde se variará de -3 a +3 unidades la CN original.

Tabla N° 22: Valores de Curva Número y posibilidades de variación (-3 a +3 unidades)

	CN	Valor Min	Valor Max
W440	79.613	76.613	82.613
W280	80.328	77.328	83.328
W330	74.143	71.143	77.143
W290	70.311	67.311	73.311
W420	67.450	64.450	70.450
W370	71.605	68.605	74.605
W410	70.371	67.371	73.371
W250	75.933	72.933	78.933
W240	76.154	73.154	79.154

3.3 MODELACIÓN HIDRÁULICA DEL TRAMO CRÍTICO

3.3.1 Pre-Proceso HEC-GeoRAS

El módulo Hec-GeoRAS consta de un conjunto de procedimientos, herramientas y utilidades específicamente diseñadas para procesar datos georreferenciados que permiten complementar el trabajo en HEC-RAS. El resultado de este pre-proceso es un archivo de datos sobre la geometría del área de, incluyendo el cauce del río y secciones transversales. Este archivo que se genera es exportado a HEC-RAS para continuar el proceso de modelamiento.

Generación del TIN

Mediante la importación de los puntos topográficos se procede a crear el TIN con la herramienta 3D Analysis/Create TIN. La **Figura N° 53** muestra la generación del TIN por medio de las herramientas de ArcToolbox.

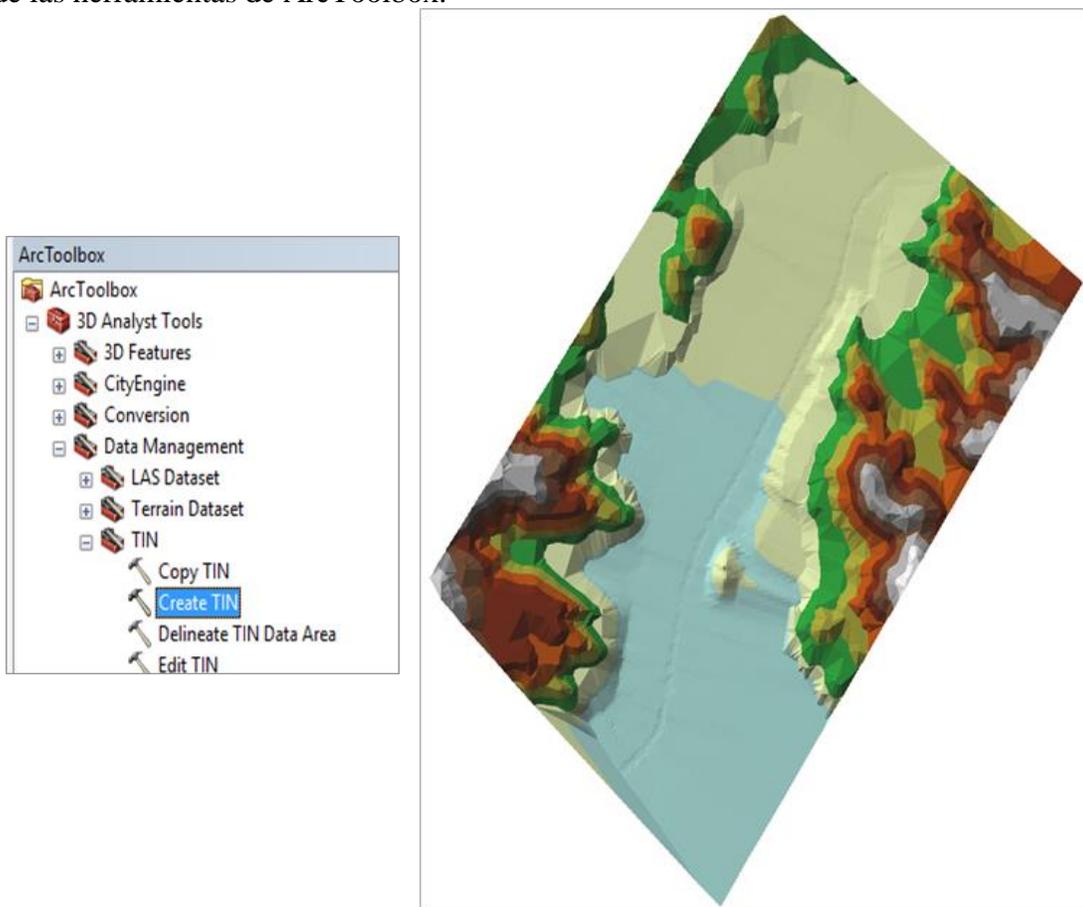


Figura N° 53: Generación del TIN

Línea Central del río (Stream Centerline)

Mediante esta herramienta se genera un shape de tipo línea y de nombre “River”, luego activando la edición se procede a delinear la línea central del río con ayuda del TIN. La **Figura N° 54** muestra la creación de la Línea central de río.

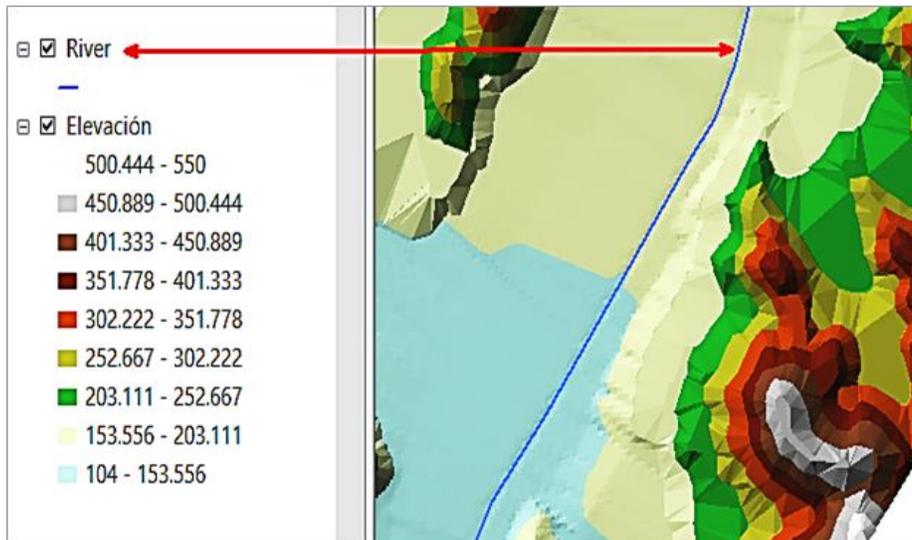


Figura N° 54: Herramienta Línea Central de río

Bancos del río (Bank Lines)

Mediante esta herramienta se genera un shape tipo línea con el nombre “Banks”, luego se activa la edición y se traza el banco de un margen del río desde aguas arriba hacia aguas abajo y el mismo procedimiento se hace con el otro margen. Los bancos indican la altura de agua que a la que normalmente está el río. La **Figura N° 55** muestra la creación de los bancos del río.

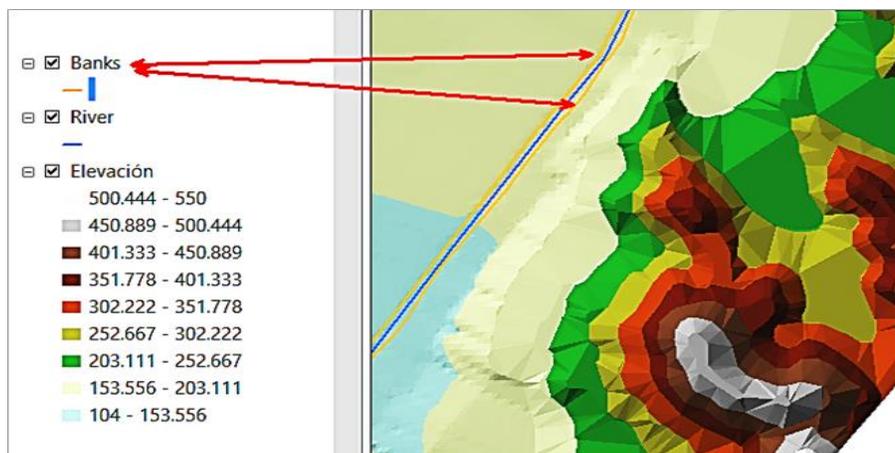


Figura N° 55: Herramienta Banco del río

Línea central del curso del flujo (Flow Path Centerlines)

Mediante esta herramienta se genera un shape de tipo línea con el nombre de “Flowpaths”, luego se procede a trazar la línea de inundación de un margen del río desde aguas arriba hacia aguas abajo y el mismo proceso se repite para el otro margen del río. La **Figura N° 56** muestra la creación de la Línea central del curso del flujo.

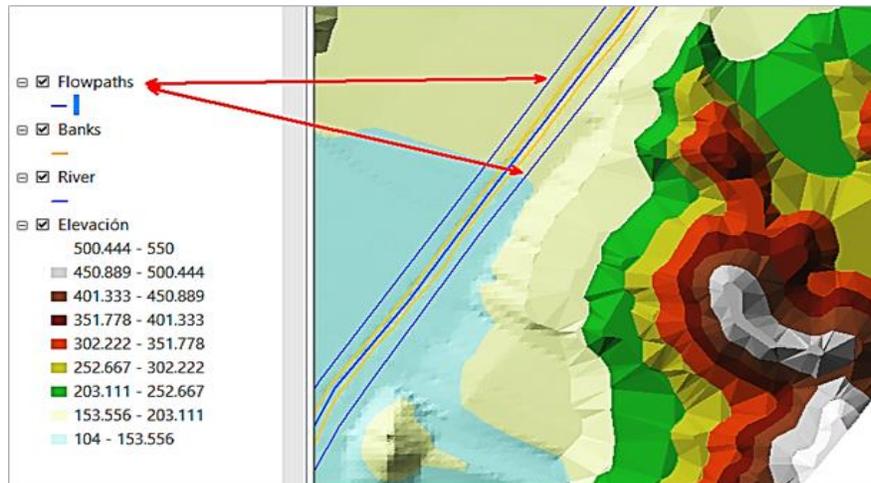


Figura N° 56: Herramienta Línea central del curso del flujo

Corte de la Líneas de Secciones Transversales (XS Cut Lines)

Con esta herramienta se crea un shape de tipo línea con el nombre “XSCutLines”, se activa la edición y por medio de la herramienta **Construct XS Cut Lines** se define el intervalo y la longitud de las secciones que se construyen automáticamente. La **Figura N° 57** muestra la creación de las secciones transversales.

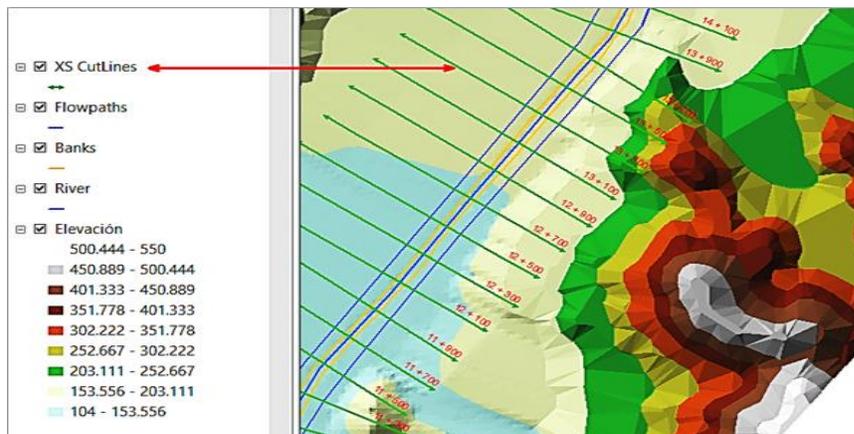
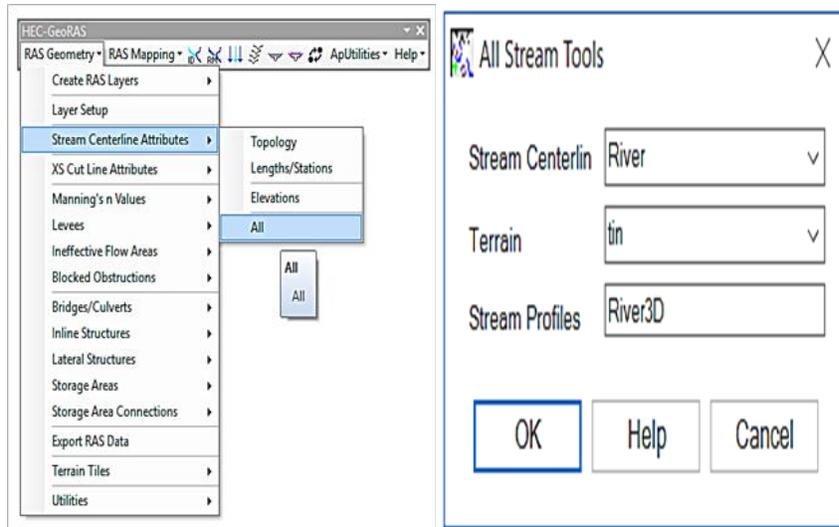


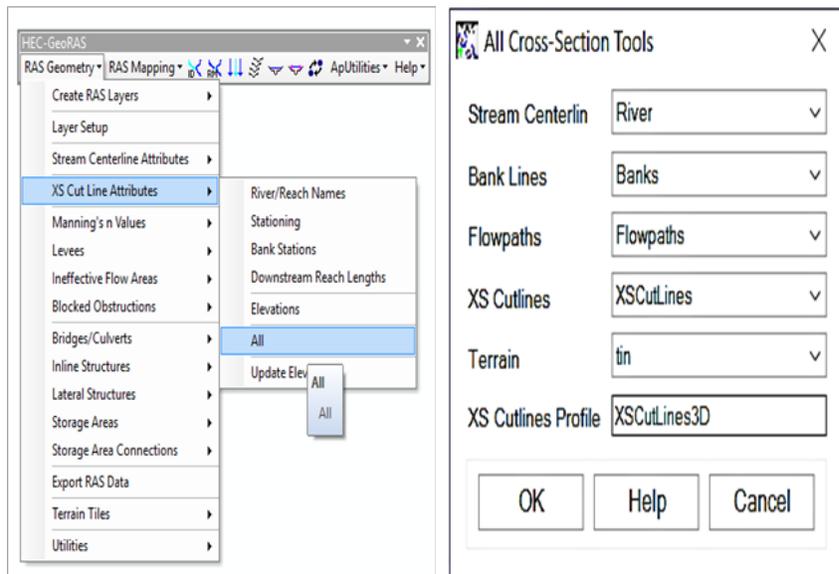
Figura N° 57: Herramienta Corte de línea de secciones

Generación de datos espaciales 3D

Esta base de datos se genera para dar un valor Z a las coordenadas de los elementos antes creados, es decir se otorga un valor de elevación a la faja del río y a las secciones transversales. Con las herramientas Stream Centerline Attributes y XS Cut Lines Attributes se crean los shapes River 3D y XSCutLines 3D respectivamente. La **Figura N° 58** muestra la generación de atributos 3d para línea central de río y secciones.



a. Stream Centerline (3D)



b. XS Cut Lines (3D)

Figura N° 58: Generación de atributos para datos 3D (a y b)

Exportación a HEC-RAS

Con la herramienta Export RAS data se crea un archivo de entrada HEC-RAS con formato de importación RAS, que incluye la elevación del terreno extraído del TIN, la línea central del río 3D y las secciones transversales 3D. En la **Figura N° 59** se muestra la herramienta para exportar la geometría de HecGeoRAS a HEC-RAS.

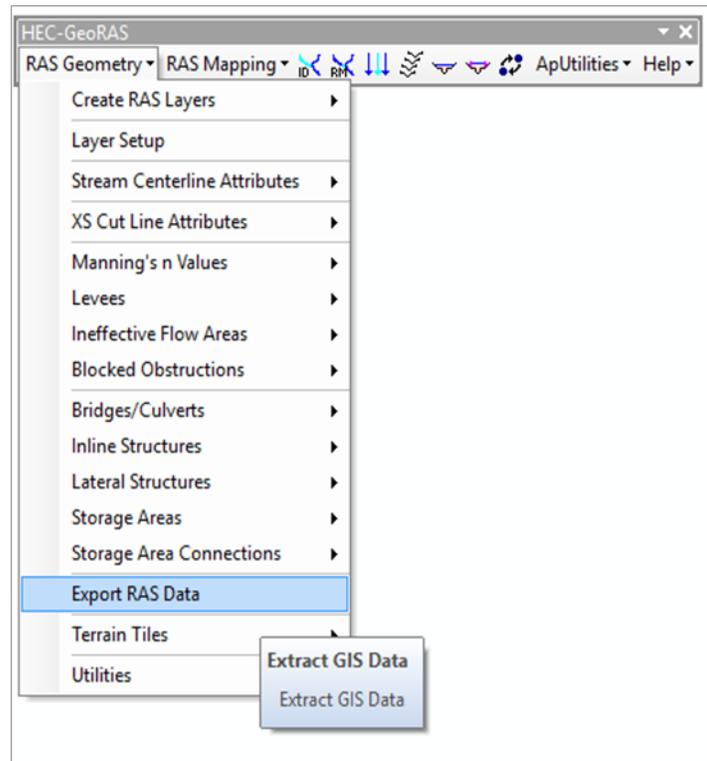


Figura N° 59: Exportación de HecGeoRAS a HEC-RAS

3.3.2 Proceso HEC-RAS

Edición de la Geometría (Edit Geometric)

Se importa la geometría generada en el módulo HecGeoRAS, se configura las unidades en el Sistema Internacional (SI). A continuación aparece una ventana que permite configurar algunos parámetros como el número de decimales que se quiere en las secciones, etc. Se deja por defecto así el programa funcionará correctamente. La **Figura N° 60** muestra la ventana de apertura de la geometría de río en HEC-RAS.

Import Geometry Data

Intro | River Reach Stream Lines | Cross Sections and IB Nodes | Storage Areas/2D Flow Areas and Connections |

Node Types in Table

Cross Sections (XS) Bridges and Culverts (BR/Culv) Inline Structures (IS) Lateral Structures (LS)

Import River: (All Rivers) Import As: # RS = 259 # New = 0 # Import = 259

Import Reach: Import As:

The imported RS can be edited here, change the import River and Reach names on the previous tab

	Import File	Import File	Import File	Import As	Import	Import
	River	Reach	RS	RS	Status	Data
1	rioLurin	cauce	5715.518	5715.518	exists	<input checked="" type="checkbox"/>
2	rioLurin	cauce	5696.065	5696.065	exists	<input checked="" type="checkbox"/>
3	rioLurin	cauce	5678.249	5678.249	exists	<input checked="" type="checkbox"/>
4	rioLurin	cauce	5660.8	5660.8	exists	<input checked="" type="checkbox"/>
5	rioLurin	cauce	5644.695	5644.695	exists	<input checked="" type="checkbox"/>
6	rioLurin	cauce	5623.442	5623.442	exists	<input checked="" type="checkbox"/>
7	rioLurin	cauce	5598.884	5598.884	exists	<input checked="" type="checkbox"/>
8	rioLurin	cauce	5574.487	5574.487	exists	<input checked="" type="checkbox"/>
9	rioLurin	cauce	5551.531	5551.531	exists	<input checked="" type="checkbox"/>
10	rioLurin	cauce	5528.219	5528.219	exists	<input checked="" type="checkbox"/>
11	rioLurin	cauce	5502.259	5502.259	exists	<input checked="" type="checkbox"/>
12	rioLurin	cauce	5476.417	5476.417	exists	<input checked="" type="checkbox"/>

Select Cross Section Properties to Import

Node Names Ineffective Areas
 Descriptions Blocked Obstructions
 Picture References XS Lids
 GIS Cut Lines Ice Data
 Station Elevation Data Rating Curves
 Reach Lengths Skew Angle
 Manning's n Value Fixed Sediment Elevation

Match Import File RS to Existing Geometry RS

Matching Tolerance: .01

Round Selected RS

2 decimal places

Generate RS Based on main channel lengths
(only available when looking at a single reach)

Figura N° 60: Apertura de la Geometría en HEC-RAS

En esta etapa también se hace la introducción de los valores “n” de Manning en el talud de margen derecha, lecho del río y talud de margen izquierda, estas superficies se simbolizan como n1, n2 y n3 respectivamente. Esta operación se hace desde Geometric Data / Tables / Manning’s n or k values. Los valores de manning se extrajeron del libro Hidráulica de Canales de Ven Te Chow, donde para anchos de río mayores a 30 metros y una sección regular el coeficiente de rugosidad máximo es de 0.06. De esta forma se establece para el fondo del río un coeficiente de rugosidad de 0.06 y para los taludes un coeficiente de 0.05. En la **Figura N° 61** se muestran los valores de manning en el río introducidos en HEC-RAS.

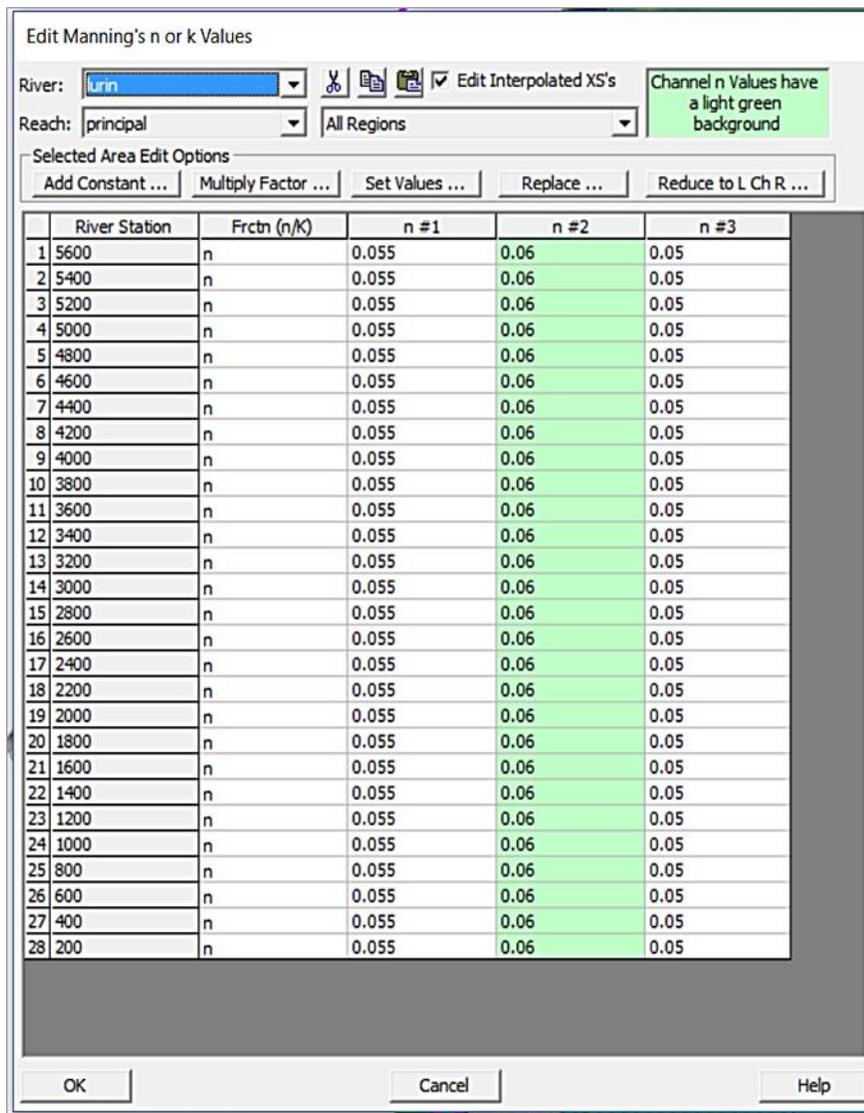


Figura N° 61: Introducción del Valor de Maning en el río

Edición del Flujo (Edit Flow Unsteady)

En esta parte del módulo RAS se introducen los datos necesarios para la simulación del río en régimen no permanente. En la condición de frontera aguas arriba se introduce el hidrograma generado en HMS (Flow Hydrograph) y en la condición de frontera aguas abajo se trabaja con la pendiente de energía (Normal Depth).

Simulación (Run)

Para la simulación del modelo hidráulico, HEC RAS solicita los datos de fecha y hora tanto del inicio como del fin de la simulación. Cabe decir que el evento de máxima avenida ocurre en un día, por tanto los resultados de la simulación serán representativos a dicho periodo.

3.3.3 Modelación Bidimensional (2D)

Generación del Modelo Digital de Elevación (DEM)

Para obtener del modelo digital de elevación se emplea el TIN generado en el pre-proceso GeoRAS. La manera más simplificada de convertir el TIN en un DEM es desde 3D Analyst Tools / Conversion / From TIN / TIN to Raster. La **Figura N° 62** presenta la herramienta de ArcToolbox para generar el MDE.

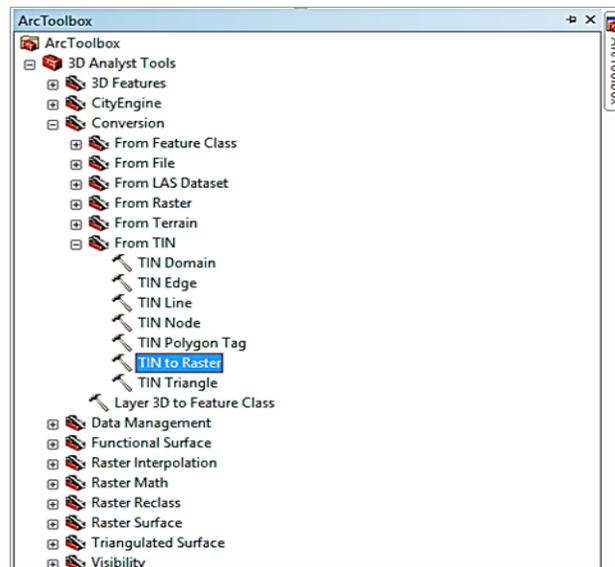


Figura N° 62: Generación del MDE

Interfaz RAS Mapper

Esta herramienta interactúa con los elementos geométricos usados en la modelización hidráulica., el modelo de digital del terreno, los resultados de la modelización hidráulica. Este interfaz realiza las tareas previas al modelamiento de otorgar el sistema de referencia espacial al entorno de trabajo e importar el modelo digital de elevación generado en Hec-GeoRAS.

La primera tarea que se realiza en RAS Mapper es la georreferenciación del modelo, pero para este estudio el MDE ya presenta un sistema de referencia definido por lo que este paso puede obviarse. La segunda tarea es cargar el modelo digital de terreno en los formatos admitidos por HEC-RAS, para este caso el MDE se encuentra en formato *GeoTIFF* (*.tif). Este tipo de formato le permite al programa ocupar un menor espacio de almacenamiento y mayor rapidez en la velocidad de cómputo al momento de generar mapas de inundación.

Para cargar el MDE se elige la opción *New Terrain* y posteriormente se escoge el archivo (*.tif) que contiene el modelo digital del terreno. En la figura N° se observa el proceso para importar el MDE del terreno. La **Figura N° 63** presenta la herramienta de RAS Mapper para aperturar el MDE.

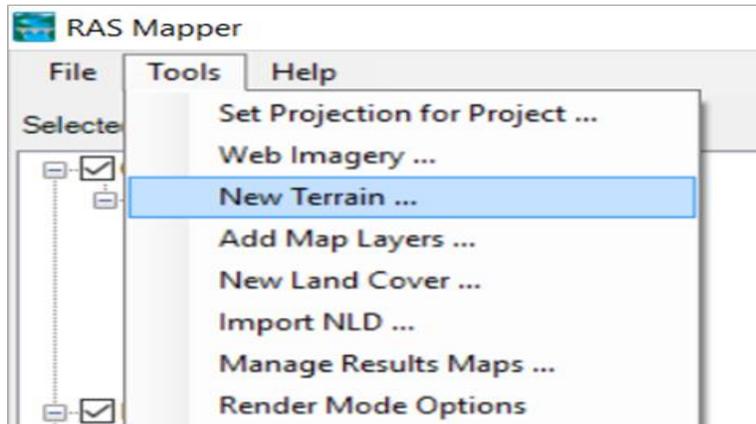


Figura N° 63: Apertura del MDE en RAS Mapper

Generación de la malla y Condiciones de Borde

HEC-RAS 5.0 permite generar una geometría de malla 2D. El proceso consiste en dibujar un polígono que encierre el área a evaluar e indicar el tamaño de malla. Para este procedimiento se trabaja en el entorno de Geometric Data y se hace uso de la herramienta 2D Flow Área. El tamaño de malla será de 25 metros con el fin de agilizar el proceso y que no colapse. En esta parte también se coloca el coeficiente de rugosidad que involucra una combinación entre cauce del río (0.06) y planicie de inundación (0.04), por lo que se asume un valor promedio de 0.05 en toda la malla. Luego se completa el proceso de generación del mallado 2D colocando las condiciones de contorno, dicha acción se hace con la herramienta dentro de Geometric Data la cual se denomina Boundary Conditions. Al seleccionar la opción Edit BC Line Name, se asigna el nombre a la condiciones de contorno tanto aguas arriba como aguas abajo. La **Figura N° 64** presenta la creación de la malla 2D así como las condiciones de borde aguas arriba y aguas abajo.

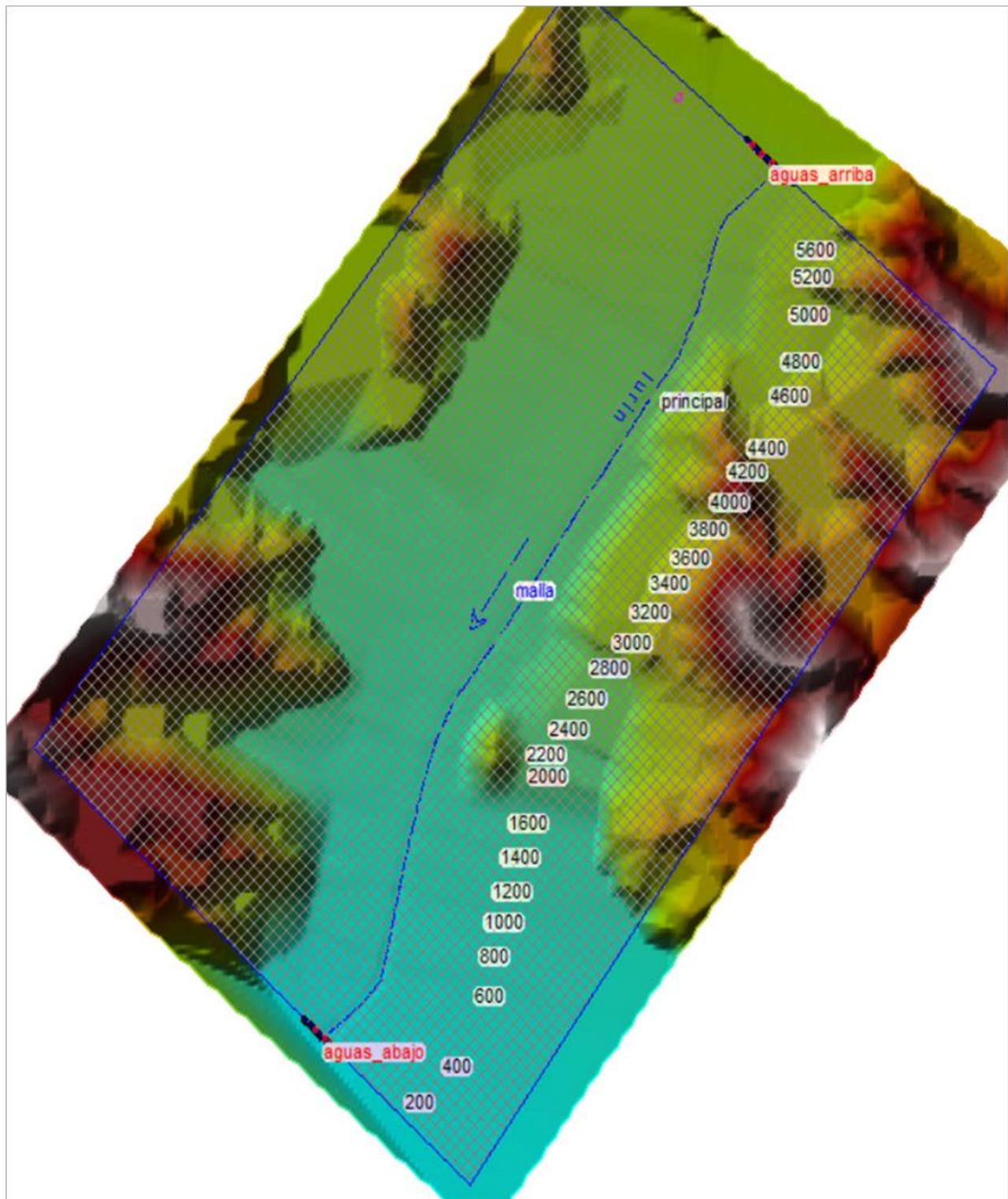
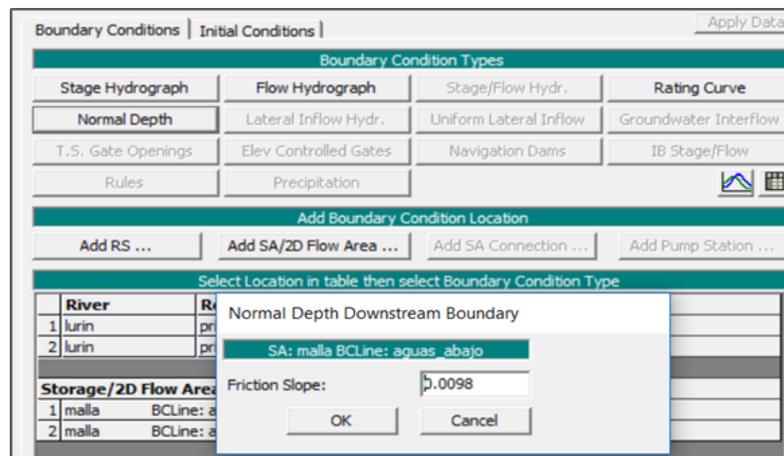


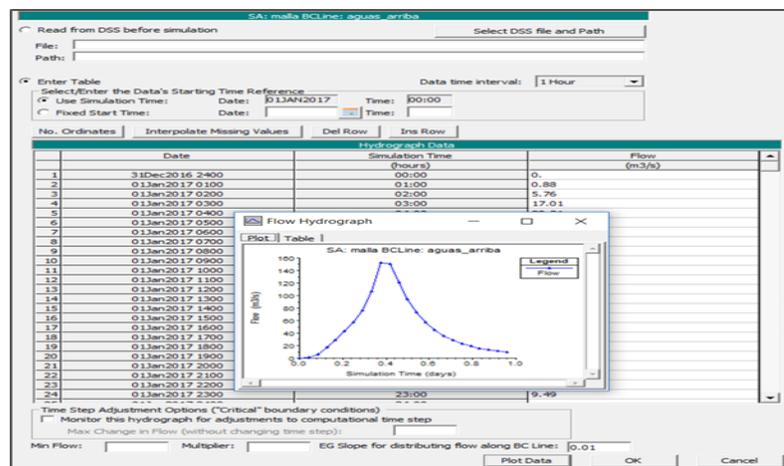
Figura N° 64: Malla 2D Estructurada y Condiciones de Borde

Dinámica del Flujo

Las condiciones de contorno empleadas por el modelo 2D son 4: Flow Hydrograph, Stage Hydrograph, Normal Depth y Rating Curve; de lo cual se sobreentiende que las dos primeras se emplean para ingresar flujo al área 2D, y las dos últimas permiten que el flujo abandone dicha área. Para este caso en la condición de borde aguas arriba se emplea el Flow Hydrograph, ya que se ingresará el hidrograma proveniente del modelamiento hidrológico y para la condiciones aguas abajo se usa el Normal Depth donde se especifica la pendiente de la línea de energía. La **Figura N° 65** presenta la ventana para la introducción de la data de flujo aguas abajo (a) y aguas arriba (b).



a. Normal Depth para Aguas abajo



b. Flow Hydrograph para Aguas arriba

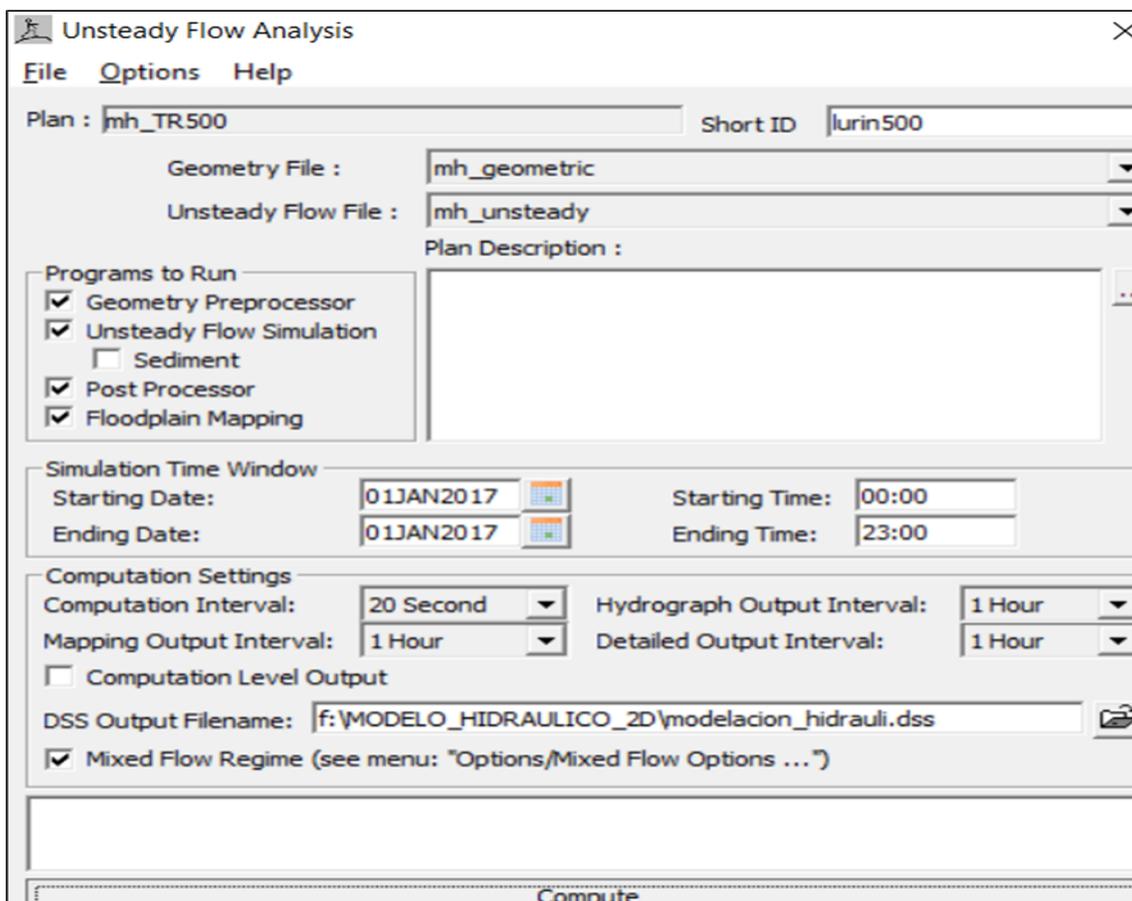
Figura N° 65: Condiciones de Flujo Aguas Arriba y Aguas Abajo (a y b)

Simulación

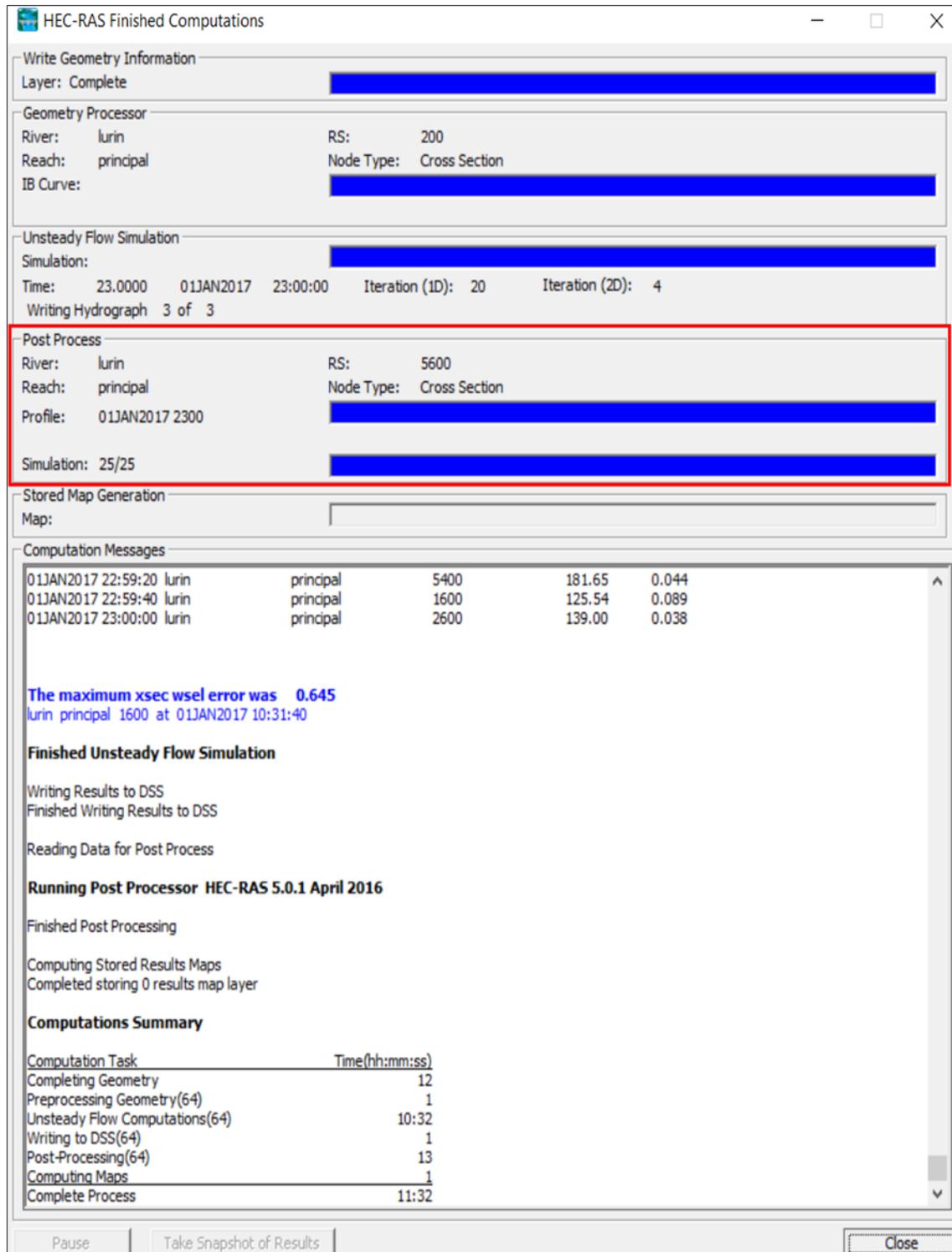
La ejecución del modelo 2D, requiere de una serie de configuraciones previas, que involucra establecer tolerancias de cálculo que permitan obtener resultados coherentes. El tamaño de malla y el paso de tiempo de cómputo son los principales parámetros a controlar. Para determinar el tiempo de cálculo se deberá cumplir la siguiente ecuación:

$$C = \frac{V \cdot t}{X} < 3$$

Donde V es la velocidad promedio de flujo, X el tamaño de malla, t el paso de cálculo y C es el Número de Courant. Suponiendo una velocidad de hasta 3 m/s, 25 m de tamaño de celda y 20 s como tiempo de cálculo; C es igual a 2.4 cumpliéndose así con la ecuación. La **Figura N° 66** presenta el plan de simulación 1D/2D del modelo hidráulico.



a. Plan de cálculo



b. Corrida 2D

Figura N° 66: Simulación del modelo Hidráulico (a y b)

3.4 DETERMINACIÓN DEL MOVIMIENTO INICIAL DE PARTÍCULAS

La acción del agua sobre el fondo puede caracterizarse por el esfuerzo cortante en el fondo τ . La resistencia de la partícula a ser movida se relaciona con su peso específico (ρ_s), peso específico del agua (ρ) y del tamaño D^* que caracteriza el volumen. Con esas tres variables se forma el parámetro adimensional τ^* por medio de la siguiente ecuación:

$$\tau^* = \frac{\tau}{(\rho_s - \rho)gD^*}, \text{ g: gravedad}$$

La acción del flujo sobre el fondo se representa también por una velocidad característica llamada velocidad de corte U^* . Esta velocidad se define convencionalmente a partir de la tensión τ en la siguiente ecuación:

$$U^* = \sqrt{\frac{\tau}{\rho g}}$$

Lo más interesante de U^* es que, como velocidad significativa para el fondo es la más indicada para constituir el Número de Reynolds, definido con la siguiente ecuación:

$$Re^* = \frac{U^* D^*}{\nu}, \text{ } \nu: \text{ viscosidad cinemática}$$

En la **Tabla N° 23** se presentan los pesos específicos de cada material presente en los ríos. El material presente en el río Lurín es arena mal graduada y grava.

Tabla N° 23: Pesos específicos del material de río

Tamaño de los granos	Peso Específico, en Kg/m ³	
	Sumergido	Aireado
Arcilla	480-960	960-1280
Limo	880-1200	1200-1360
Mezcla Arcilla-Limo	640-1040	1040-1360
Mezcla Limo-Arena	1200-1520	1520-1760
Mezcla Arcilla-Limo-Arena	800-1200	1280-1600
Arena	1360-1600	1360-1600
Grava	1360-2000	1360-1600
Arena mal graduada y grava	1520-2080	1520-2080

FUENTE: U.S. Soil Conservation Service

El tamaño de las partículas es uno de los parámetros más sensible tanto para el cálculo del parámetro adimensional como para el Número de Reynodls. En la **Tabla N° 24** se muestran los rangos de diámetro de cada material presente en los ríos.

Tabla N° 24: Tamaño de partículas

Nombre	Rango de tamaños
	Milímetros
Peñones muy grandes	4096-2048
Peñones grandes	2048-1024
Peñones medios'	1024-512
Peñones pequeños	512-256
Cantos rodados grandes	256-128
Cantos rodados pequeños	128-64
Grava muy gruesa	64-32
Grava gruesa	32-16
Grava media	16-8
Grava fina	8-4
Grava muy fina	4-2
Arena muy	2000-1000
Arena gruesa	1000-0.500
Arena media	0.500-0.250
Arena fina	0.250-0.125
Arena muy fina	0.125-0.062
Limo grueso	0.061-0.031
Limo medio	0.031-0.016
Limo fino	0.016-0.008
Limo muy fino	0.008-0.004
Arcilla gruesa	0.004-0.0020
Arcilla media	0.002-0.0010
Arcilla fina	0.0010-0.0005
Arcilla muy fina	0.0005-0.00024

FUENTE: American Geophysical Union

Los valores de peso específico y viscosidad cinemática para el agua estarán dados para una temperatura de 25 °C, es así que:

$$p = 997 \text{ Kg/m}^3$$

$$v = 8.93 \text{ E-07 m}^2/\text{s}$$

El diagrama de Shields relaciona el parámetro adimensional τ^* y el Número de Reynolds, los mismos que son obtenidos con las fórmulas descritas anteriormente. Para calcular estas dos incógnitas se usan las velocidades máximas y esfuerzos cortantes máximos en cada sección transversal; además de la elección de los parámetros físicos del material del río y del fluido. En la **Figura N° 67** se presenta el diagrama de Shields con el parámetro adimensional como ordenada (τ^*) y el Número de Reynolds como abscisa (Re^*).

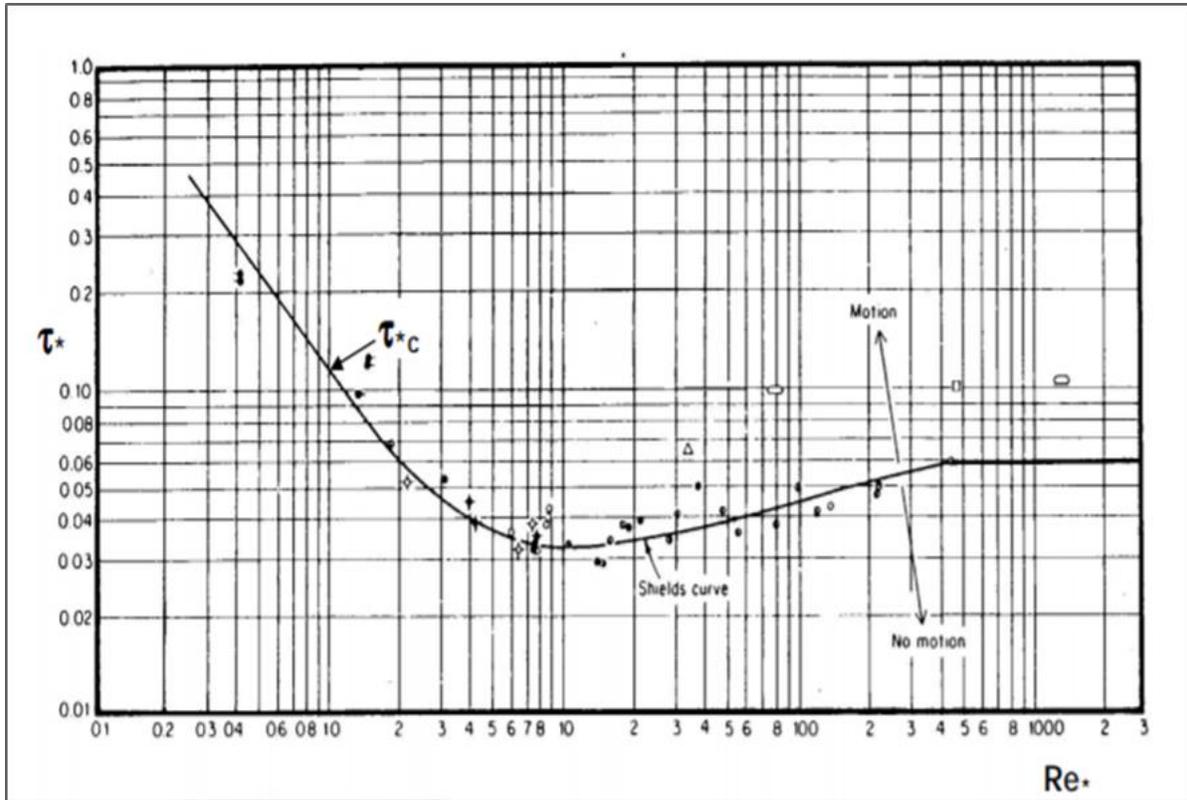


Figura N° 67: Diagrama de Shields (τ^* , Re^*)

IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1 RESULTADOS DEL MODELAMIENTO HIDROLÓGICO

Los resultados del modelo hidrológico generado de la extensión HEC-GeoHMS y post-procesado por el programa HEC-HMS se representan por medio de gráficas y curvas. Para el modelo cuenca que se observa en la **Figura N° 68** se tiene el esquema típico del HMS así como las subcuencas delimitadas. Los hidrogramas de cada subcuenca se detallan en el **Anexo 4**.

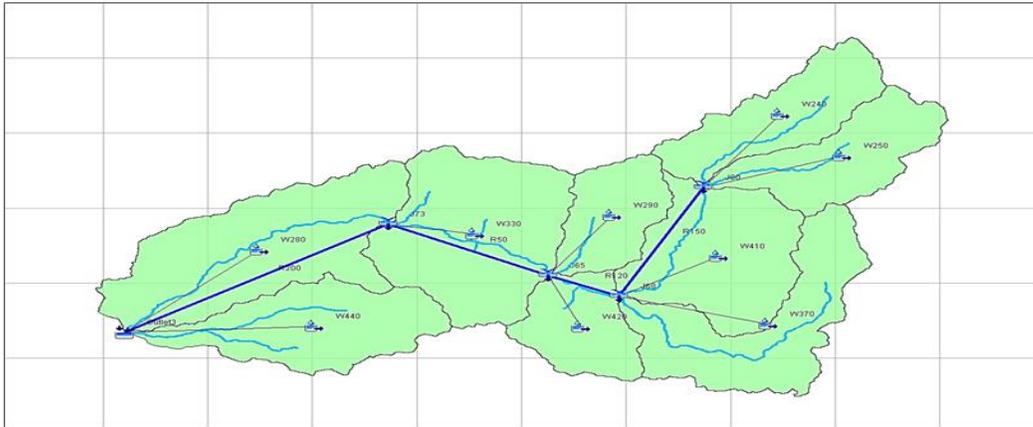


Figura N° 68: Modelo cuenca (esquema HMS: subbasin, junction y reach)

En la **Figura N° 69** se muestra el hidrograma de salida para el periodo de retorno de 100 años, donde el valor pico es de $97.4 \text{ m}^3/\text{s}$ y ocurre a las 10 horas de iniciada la simulación.

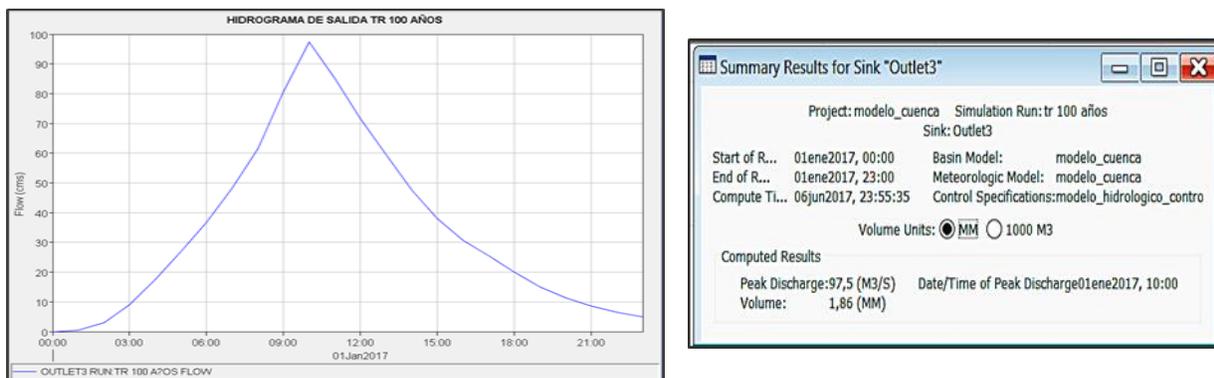


Figura N° 69: Gráfico y Tabla resumen del Hidrograma TR 100 años

En la **Figura N° 70** se muestra el hidrograma de salida para el periodo de retorno de 200 años. El valor pico es de $127.3 \text{ m}^3/\text{s}$ y según la simulación se da en un tiempo de 10 horas.

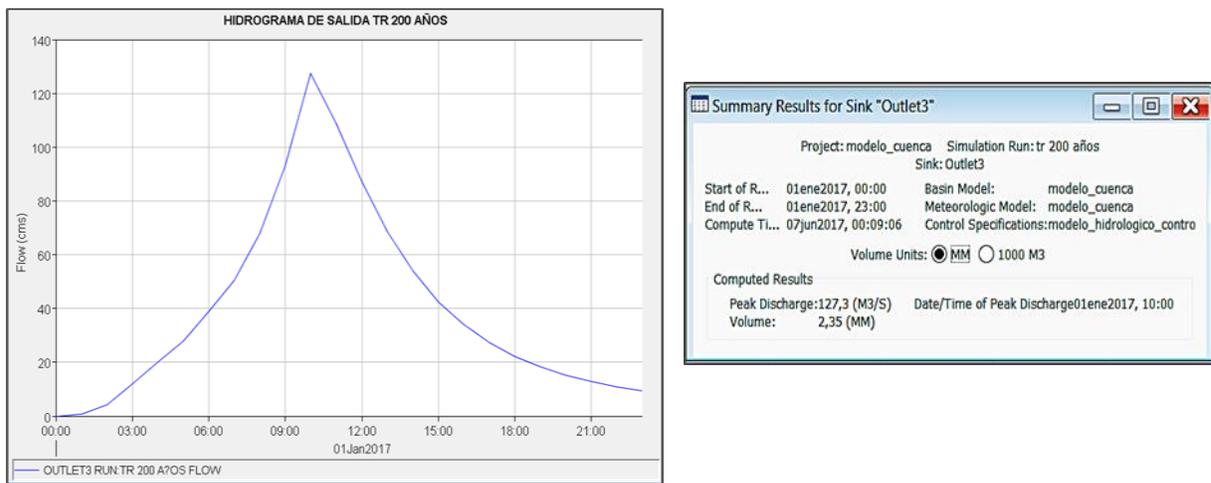


Figura N° 70: Gráfico y Tabla resumen del Hidrograma TR 200 años

La **Figura N° 71** muestra el hidrograma de salida para el periodo de retorno de 500 años. El caudal pico simulado es de $152.6 \text{ m}^3/\text{s}$ y el tiempo al pico es de 9 horas.

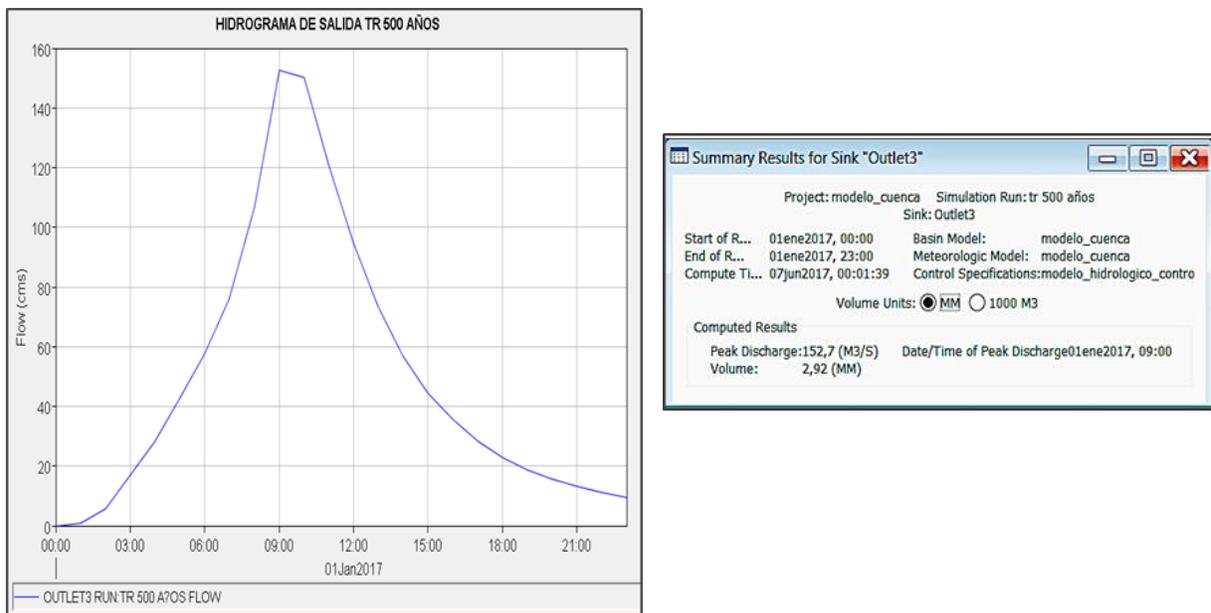


Figura N° 71: Gráfico y Tabla resumen del Hidrograma TR 500 años

En la **Tabla N° 25** se muestran los valores finales de Curva Número en cada subcuenca que permite calibrar el modelo hidrológico.

Tabla N° 25: Valores óptimos de Curva Número

	CN final
W440	81.6
W280	81.7
W330	76.3
W290	69.8
W420	66.5
W370	68.7
W410	67.3
W250	73.2
W240	74.2

La **Tabla N° 26** presenta la comparación de los caudales simulados y observados para los tres periodos de retorno, además se muestra el porcentaje de error simple que como corresponde es menor al 10 %.

Tabla N° 26: Comparación de Caudal Observado y Caudal Simulado

TR(años)	Q (m3/s)	Qs(m3/s)	%E
100	104	97.4	6.2
200	120	127.3	6.0
500	143	152.6	6.7

4.2 RESULTADOS DE MODELO HIDRÁULICO HEC-GeoRAS

Los resultados del pre-proceso con HecGeoRAS son el modelo digital de elevación y las secciones transversales. Estos dos resultados son esenciales para aplicar el modelo 2D de HEC-RAS. Dichos resultados se presentan a continuación.

En la **Figura N° 72** se muestra el modelo digital de elevación que se empleó en la simulación bidimensional. La elevación más baja es de 104 m mientras que la mayor elevación es de 550 m.

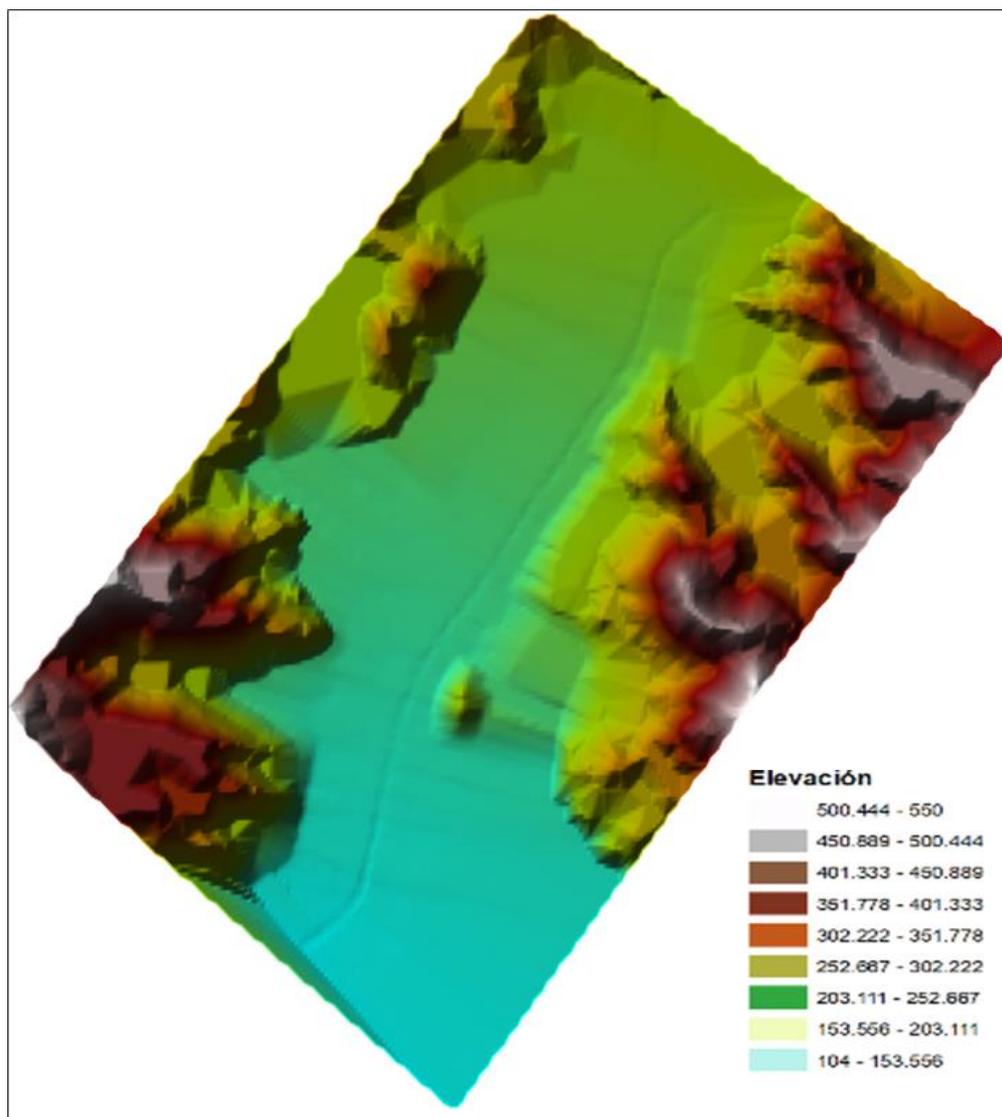


Figura N° 72: Modelo Digital de Elevación (MDE)

La **Figura N° 73** muestra el trazado de secciones transversales a lo largo del eje del río donde la primera sección del tramo es 9 + 500 y la última sección es 14 + 900. Estas secciones serán usadas para delimitar zonas críticas con los resultados de la simulación bidimensional (tirante, velocidad y esfuerzo de corte). Las secciones transversales se detallan en el **Anexo 5**.

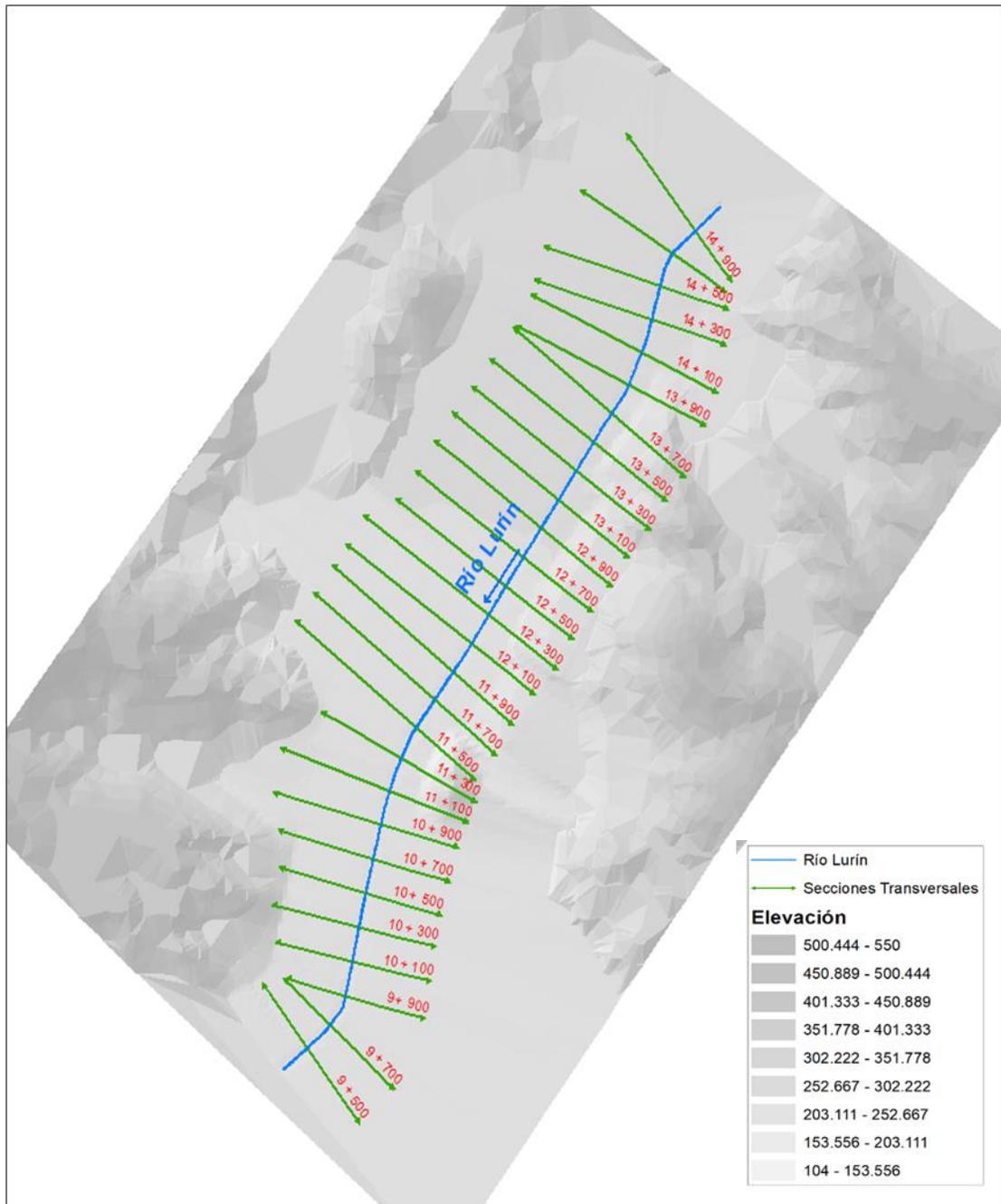


Figura N° 73: Secciones transversales en el eje del río (progresivas)

4.3 RESULTADOS DEL MODELO HIDRÁULICO HEC-RAS 2D

En este apartado se muestran mapas de profundidad de nivel de agua, de velocidades y de esfuerzos cortantes. También se presentan gráficos de variación del tirante y velocidad a lo largo del río, un resumen de los parámetros hidráulicos del modelo y mapas de áreas inundadas.

4.3.1 Mapas de Profundidad del Nivel de Agua

El mapa de profundidad para el periodo de retorno de 100 años se presenta en la **Figura N° 74**, la información se expresa en un rango de colores donde el tirante varía de 0 - 2.52 m.

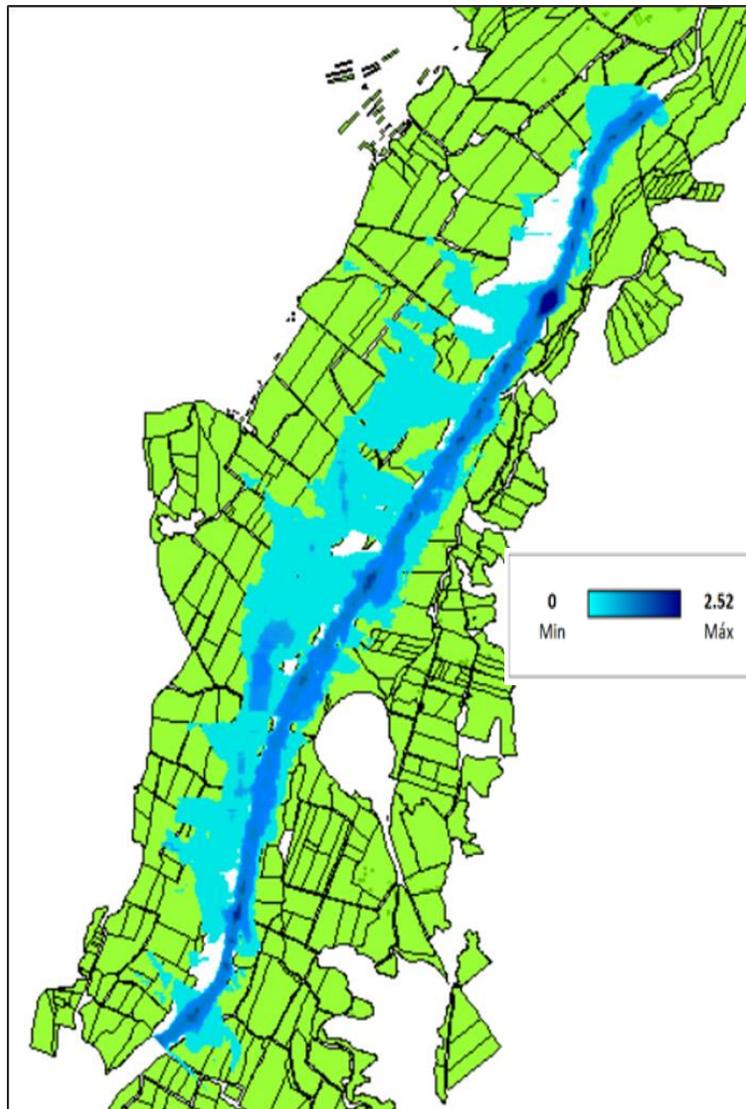


Figura N° 74: Mapa de profundidades del nivel de agua, TR 100 años

La **Figura N° 75** representa la variación de tirantes para el periodo de retorno de 200 años donde se observa que el agua ocupa mayor área en la margen derecha del río. Los valores de tirante para este periodo varían de 0 - 2.58 m.

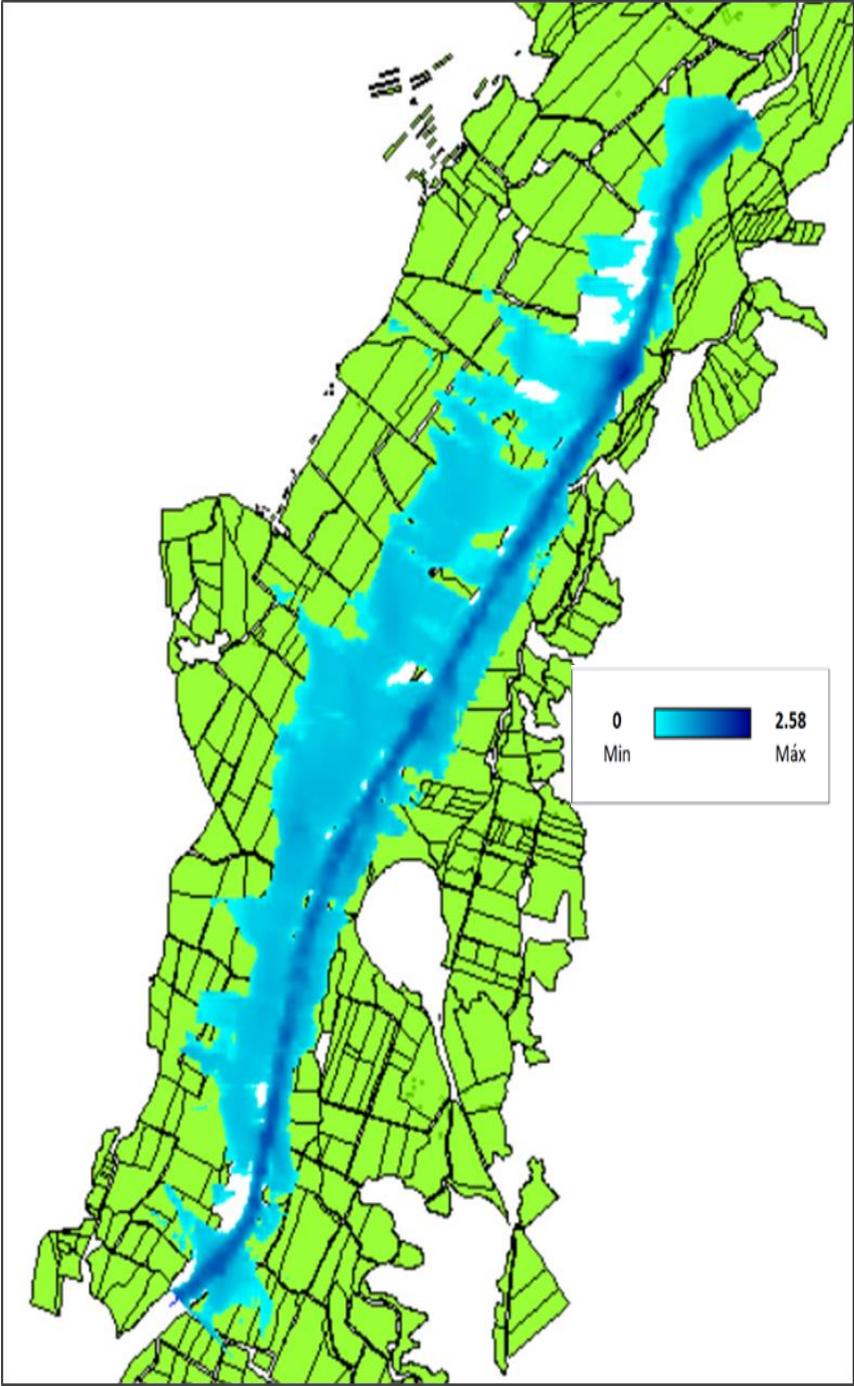


Figura N° 75: Mapa de profundidades del nivel de agua, TR 200 años

En la **Figura N° 76** se presenta las profundidades para el periodo de retorno de 500 años, como se observa el rango de colores se hace más intenso tanto en el cauce del río como en la planicie de inundación. Los tirantes para este periodo de retorno oscilan entre 0 - 2.67 m.

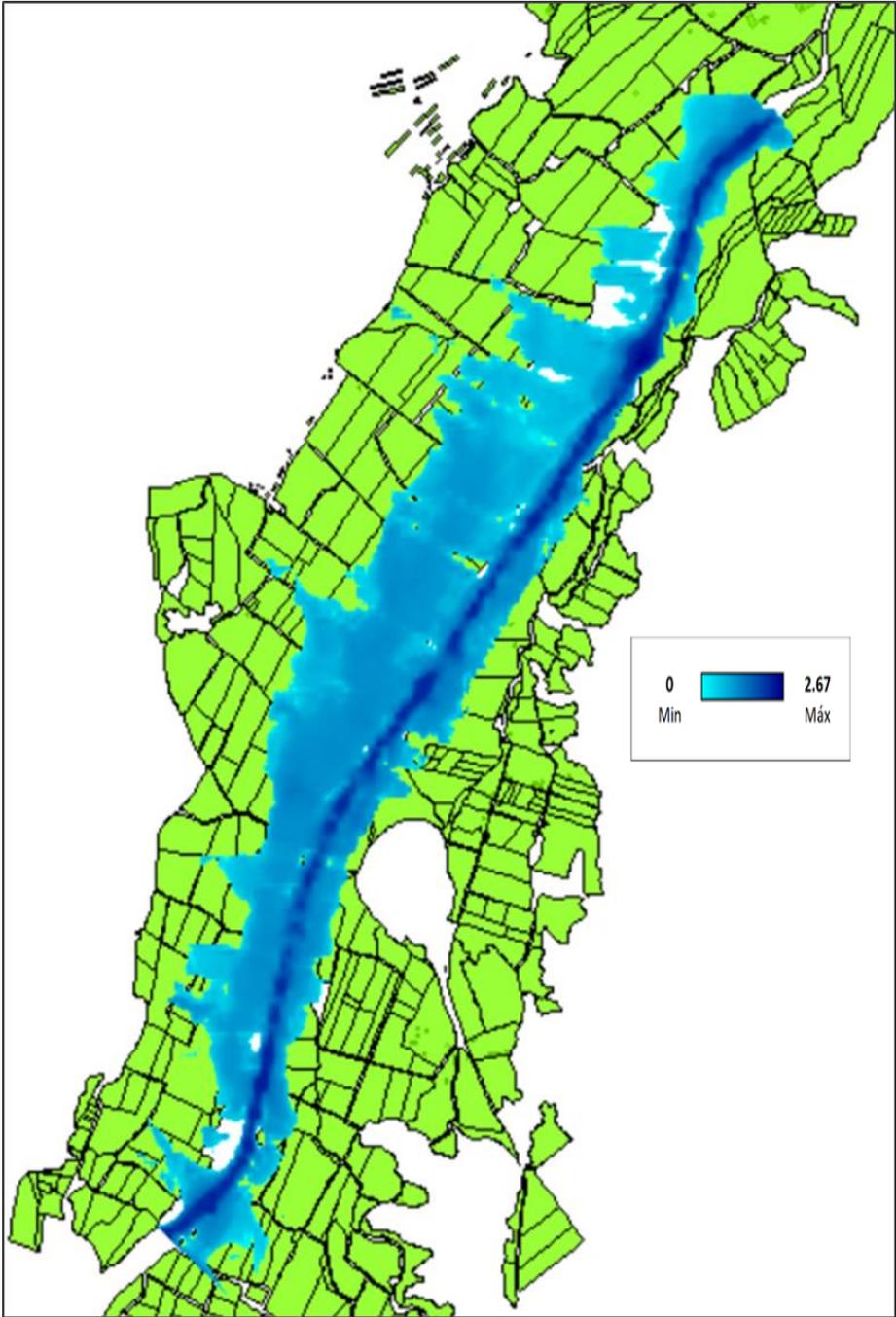


Figura N° 76: Mapa de profundidades del nivel de agua, TR 500 años

4.3.2 Mapas de Velocidades y Flujos de Agua

Los mapas de velocidad nos ayudarán a evaluar zonas de altas velocidades que originen esfuerzos de corte y por ende socavación del lecho natural. Además, con ayuda de las líneas de flujo se podrá conocer la trayectoria del mismo. El mapa de velocidades para el periodo de retorno de 100 años se presenta en la **Figura N°77**, donde se observa que el rango de velocidades va de 0 – 4.10 m/s,

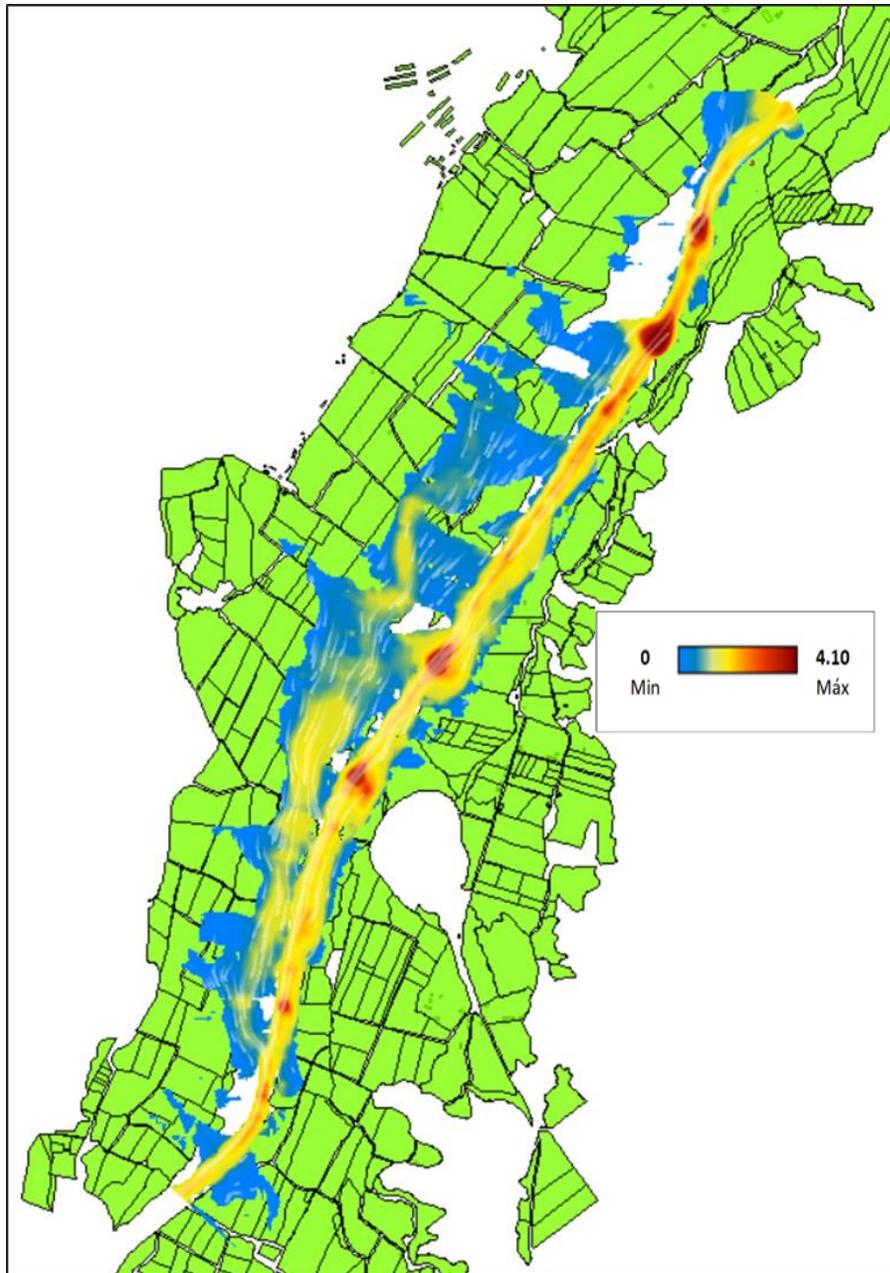


Figura N° 77: Mapa de velocidades y líneas de flujo, TR 100 años

En la **Figura N° 78** se presenta la distribución de velocidades para el período de 200 años donde la velocidad aumenta en ciertas zonas del cauce del río. Los valores de velocidad encontrados para este periodo van de 0 – 4.44 m/s.

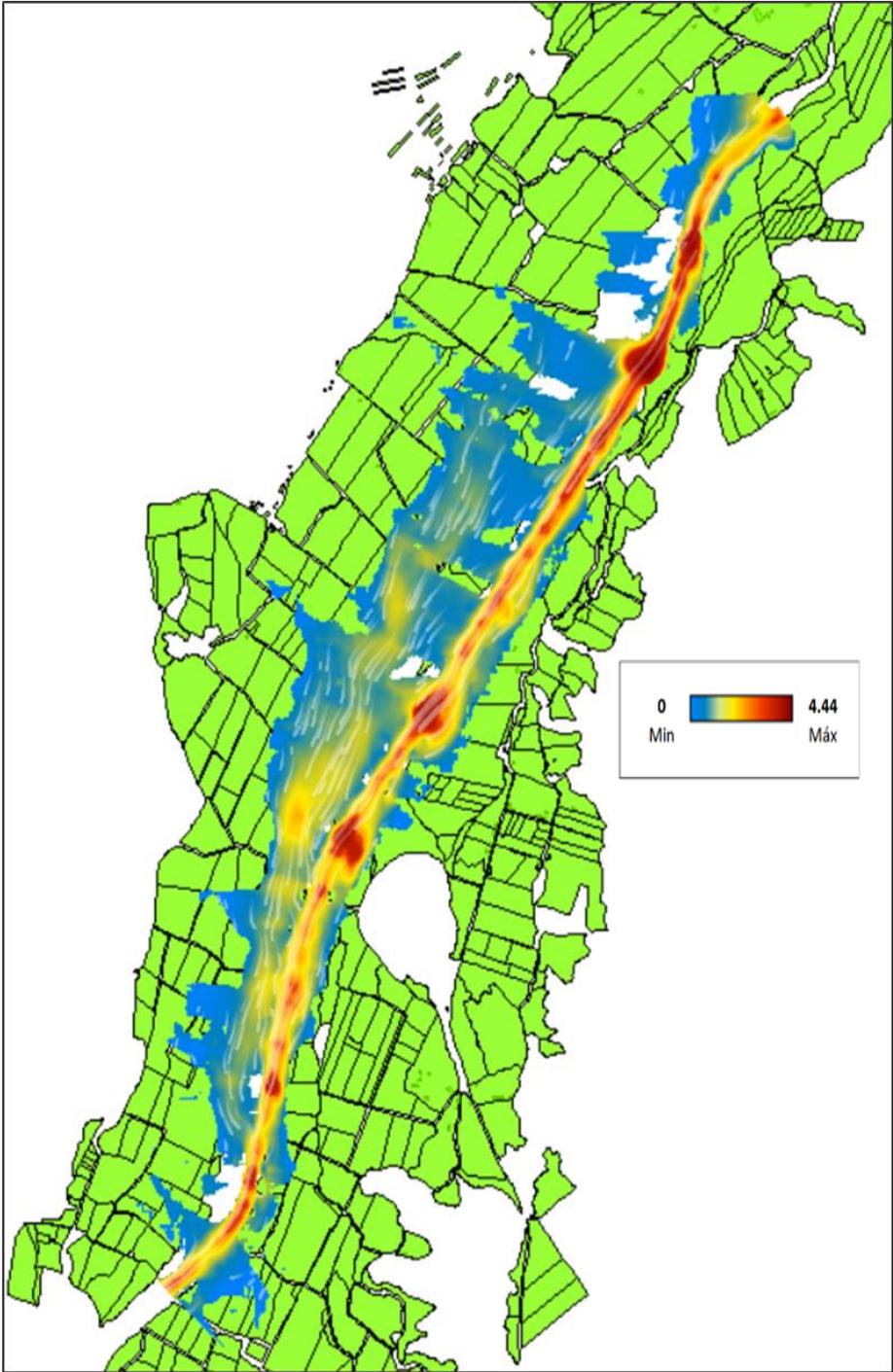


Figura N° 78: Mapa de velocidades y líneas de flujo, TR 200 años

Para el período de retorno de 500 años las velocidades se intensifican a lo largo del eje del río tal como lo muestra la **Figura N° 79**, también se observa un ligero aumento de velocidad en la margen derecha del río. El rango de variación de velocidad para este periodo va de 0 - 4.51 m/s.

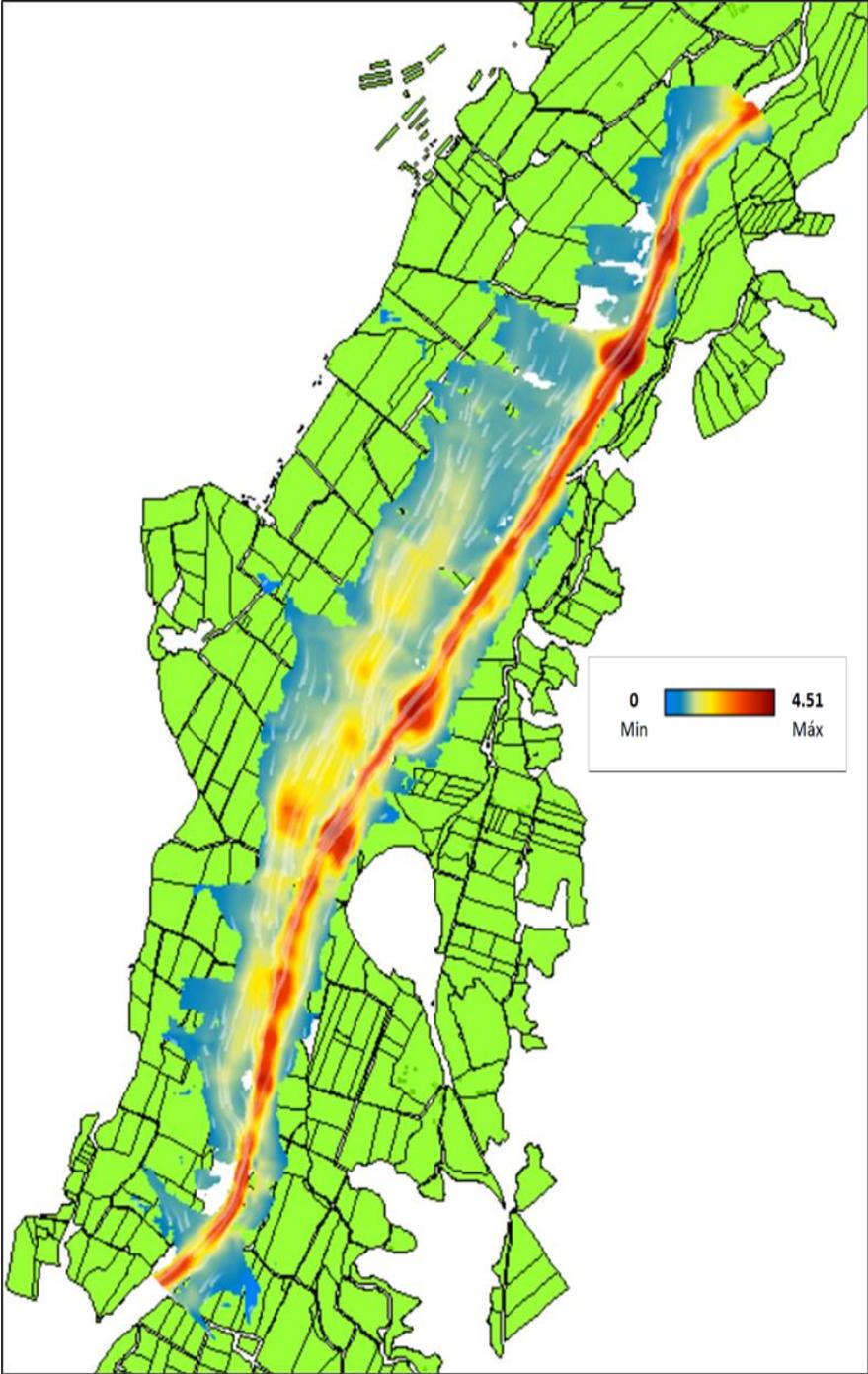


Figura N° 79: Mapa de velocidades y líneas de flujo, TR 500 años

4.3.3 Mapas de Esfuerzos Cortantes

Los mapas de esfuerzo cortante conjuntamente con los mapas de velocidades nos servirán para analizar el movimiento inicial de partículas y esto a su vez permitirá identificar posibles zonas de socavación en el lecho del río. En la **Figura N° 80** se presenta los resultados de los esfuerzos cortantes para el periodo de retorno de 100 años donde los valores van de 0 a 490.10 N/m²

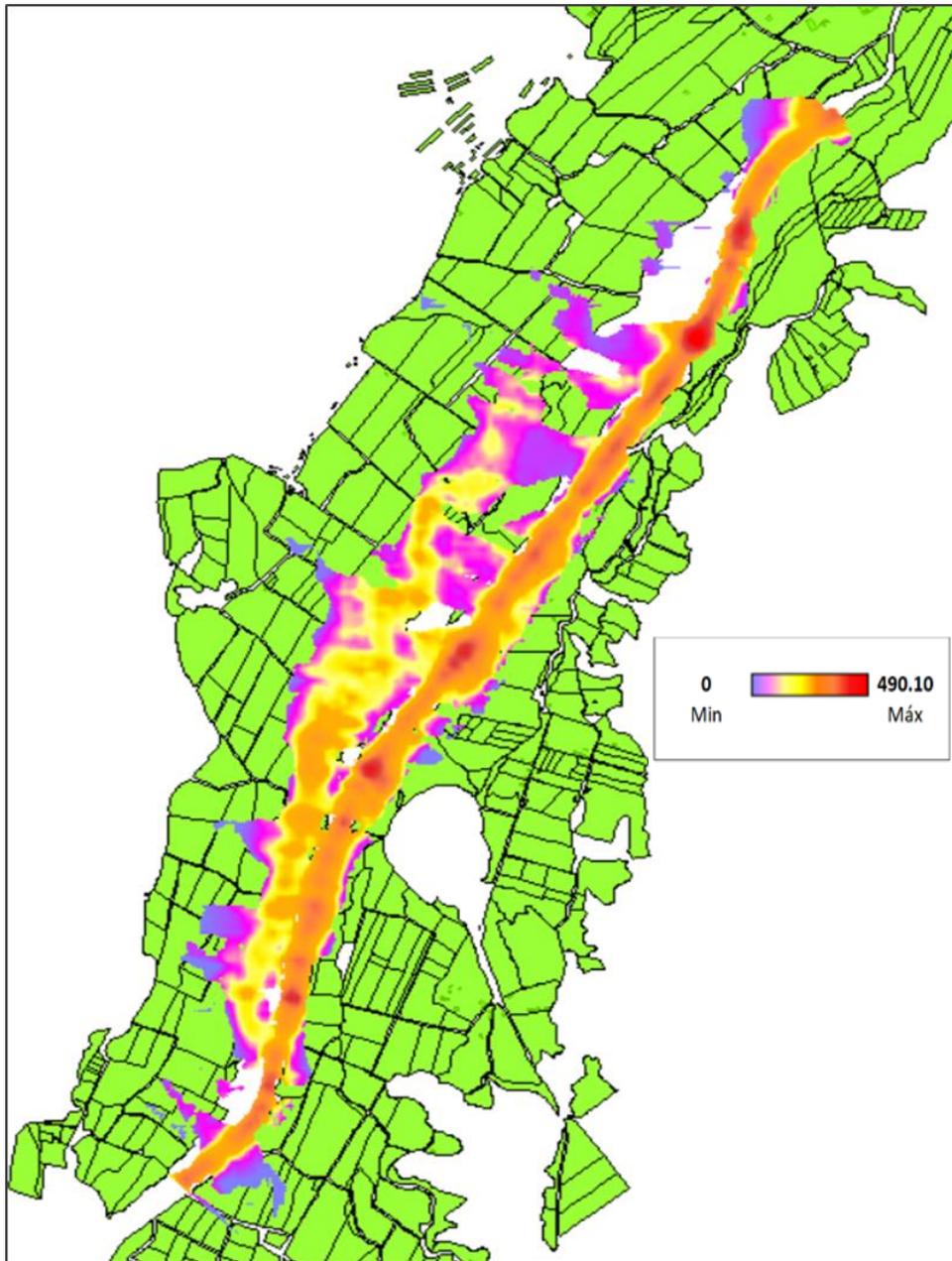


Figura N° 80: Mapa de esfuerzos cortantes, TR 100 años

En la **Figura N° 81** se presenta el mapa de esfuerzos de corte para el periodo de 200 años donde se observa el acelerado aumento de intensidad de los esfuerzos en la margen derecha del río. El rango de esfuerzos cortantes para este periodo varía de 0 a 550.70 N/m².

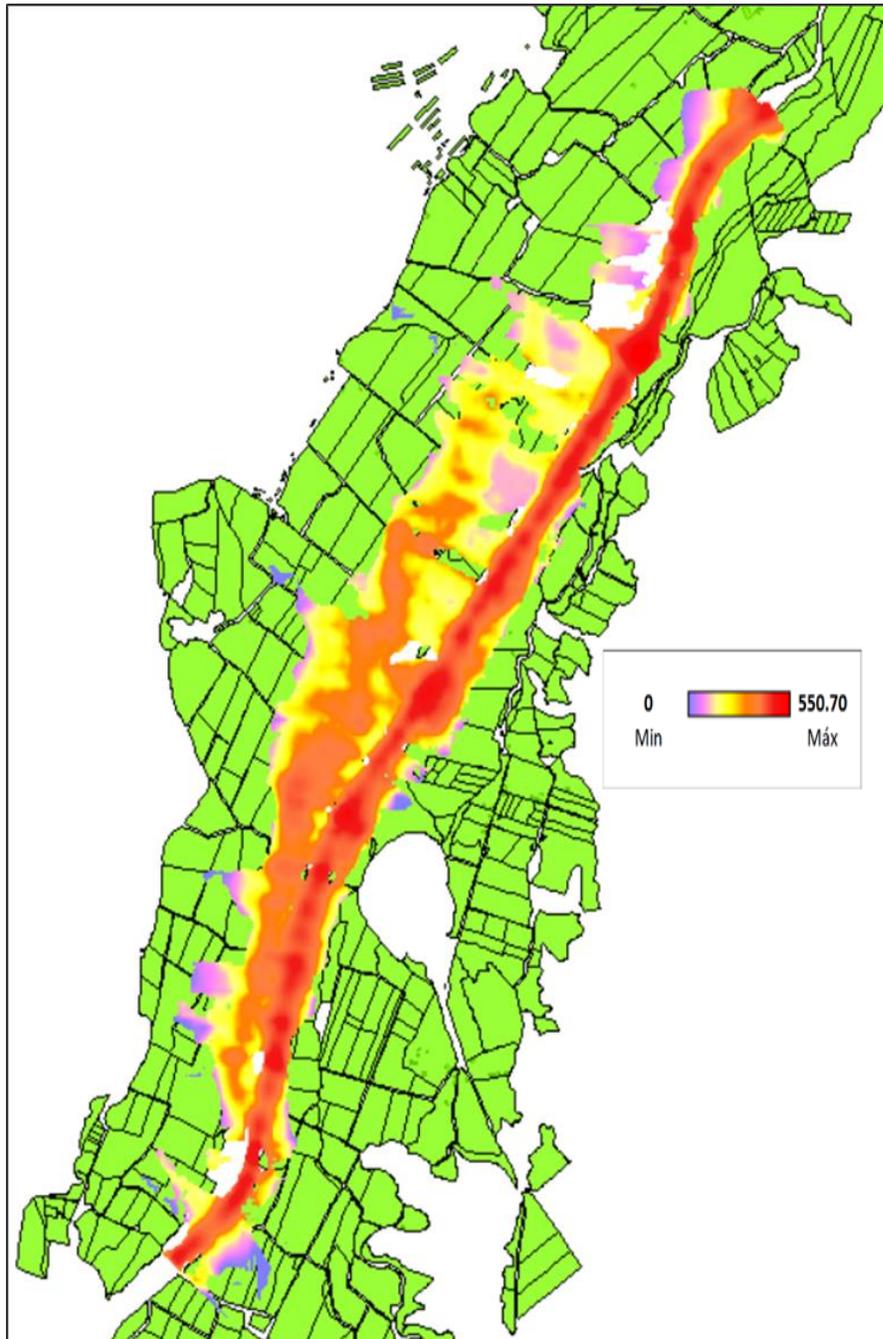


Figura N° 81: Mapa de esfuerzos cortantes, TR 200 años

La intensidad de esfuerzos de corte para el periodo de 500 años se acentúa lógicamente en el cauce del río y prácticamente en todo su eje. Esto se observa en la **Figura N° 82** donde además se presentan los valores de esfuerzo de corte que oscilan entre 0 y 630.17 N/m².

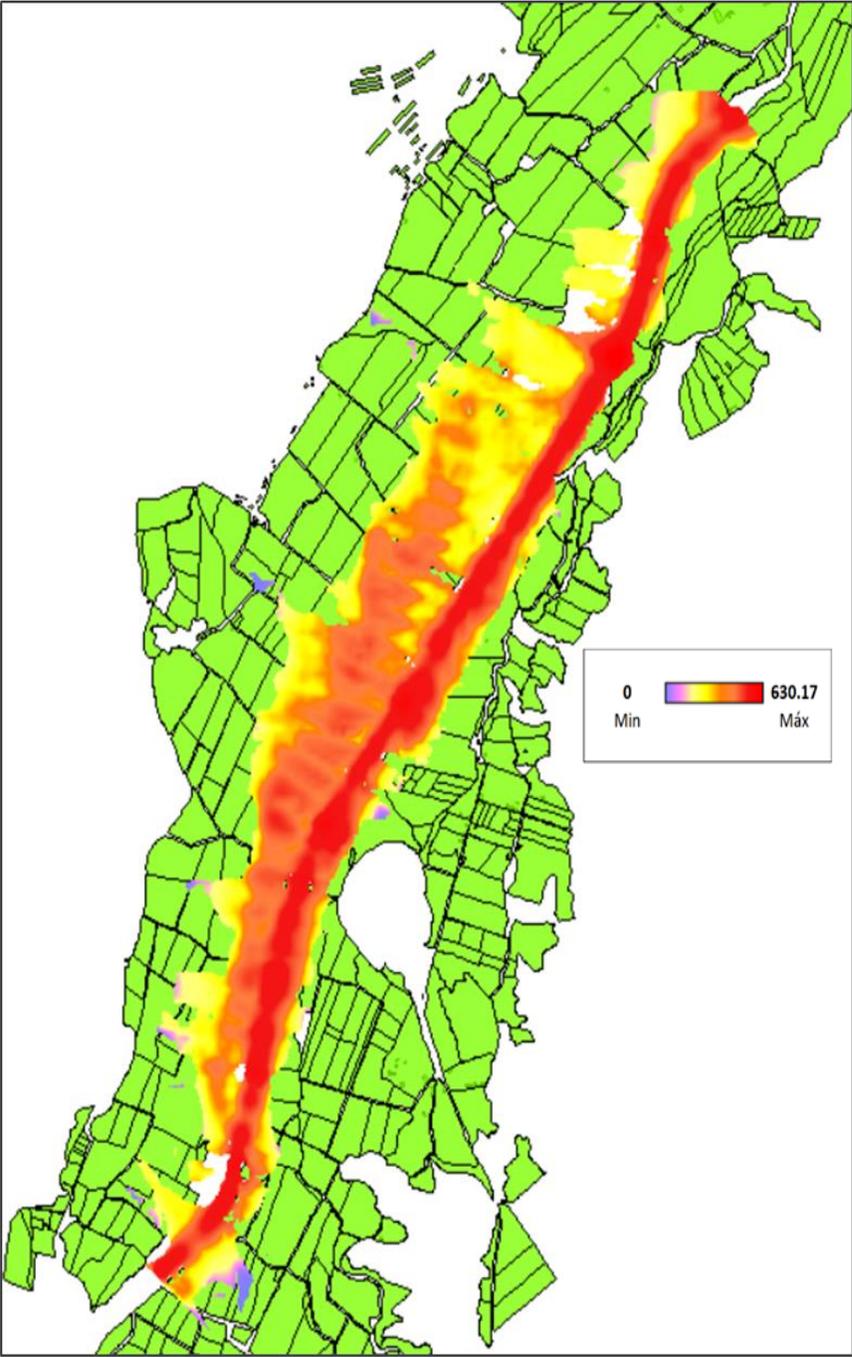


Figura N° 82: Mapa de esfuerzos cortantes, TR 500 años

4.3.4 Parámetros Hidráulicos de las Secciones Transversales

En la **Tabla N° 27** se presentan los parámetros hidráulicos de cada sección donde se registran los valores máximos de tirante, velocidad y esfuerzo cortante para cada periodo de retorno.

Tabla N° 27: Parámetros hidráulicos para TR 100, TR 200 y TR 500 años

PROGRESIVA	TR 100			TR 200			TR 500		
	Tirante Máximo (m)	Velocidad Máxima (m/s)	Cortante Máximo (N/m ²)	Tirante Máximo (m)	Velocidad Máxima (m/s)	Cortante Máximo (N/m ²)	Tirante Máximo (m)	Velocidad Máxima (m/s)	Cortante Máximo (N/m ²)
9 + 500	0.88	1.61	82.45	0.99	1.71	91.57	1.10	1.81	100.03
9 + 700	1.07	1.71	87.93	1.18	1.83	99.66	1.28	1.95	110.94
9 + 900	1.28	1.63	75.93	1.36	1.73	84.30	1.47	1.90	98.24
10 + 100	1.02	1.73	88.91	1.12	1.82	97.06	1.22	1.90	104.41
10 + 300	1.22	1.56	65.37	1.29	1.57	67.80	1.42	1.63	70.72
10 + 500	0.95	1.59	89.15	1.03	1.75	105.28	1.12	1.89	118.54
10 + 700	0.85	1.75	103.57	0.94	1.86	107.16	1.03	1.97	125.46
10 + 900	0.71	1.38	71.00	0.79	1.47	79.20	0.86	1.56	88.87
11 + 100	1.12	1.39	65.49	1.21	1.49	72.96	1.30	1.60	83.19
11 + 300	0.66	1.34	66.16	0.72	1.40	69.64	0.80	1.47	77.34
11 + 500	1.14	3.24	299.02	1.15	3.31	304.41	1.15	3.35	312.53
11 + 700	1.14	1.65	68.73	1.20	1.70	78.25	1.28	1.77	87.58
11 + 900	0.88	2.00	77.52	0.92	2.04	104.91	0.97	2.06	115.01
12 + 100	1.47	3.40	199.76	1.48	3.48	304.11	1.49	3.52	381.52
12 + 300	0.88	1.23	66.09	0.94	1.31	69.98	1.00	1.39	72.66
12 + 500	1.36	1.61	65.71	1.41	1.65	68.06	1.47	1.71	82.07
12 + 700	0.76	2.31	149.99	0.79	2.36	164.49	0.82	2.42	169.68
12 + 900	0.91	1.99	92.73	0.94	2.03	122.06	0.98	2.07	131.57
13 + 100	0.93	1.84	94.96	0.95	1.88	107.43	0.99	1.88	108.39
13 + 300	0.97	2.42	156.45	1.00	2.47	176.03	1.01	2.49	184.38
13 + 500	1.12	3.07	110.79	1.15	3.10	159.66	1.15	3.15	174.47
13 + 700	0.84	1.96	115.36	0.88	2.10	147.90	0.96	2.24	151.72
13 + 900	2.00	4.10	490.09	2.11	4.44	550.70	2.22	4.51	630.17
14 + 100	1.07	2.08	125.12	1.19	2.26	146.66	1.28	2.38	163.89
14 + 300	1.22	2.20	101.10	1.30	2.24	116.20	1.39	2.35	129.64
14 + 500	0.97	2.36	97.13	1.02	2.51	109.46	1.10	2.60	118.12
14 + 700	1.11	1.76	97.13	1.24	1.86	109.46	1.32	1.97	118.12
14 + 900	1.16	1.28	65.91	1.28	1.39	67.08	1.37	1.48	70.16

4.3.5 Variación de Tirantes en el eje del río

La variación de tirantes a lo largo del eje del río se muestra en la **Figura N° 83** donde se observa que existe una zona donde se presentan tirantes mayores a 2 m para los tres periodos de retorno.

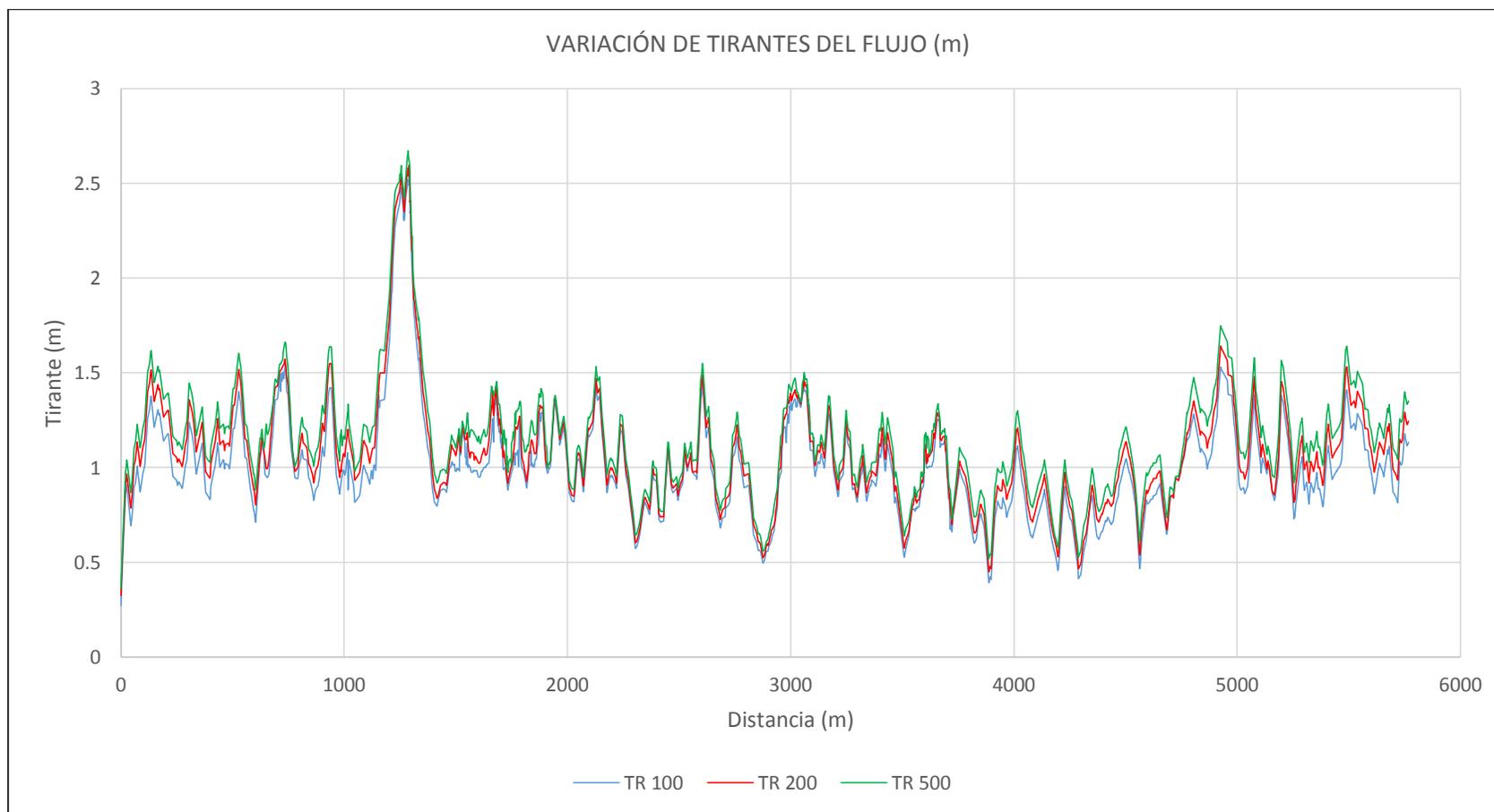


Figura N° 83: Gráfico de variación de tirantes en el eje del río

4.3.6 Variación de Velocidades en el eje del río

En la **Figura N° 84** se observa como varían las velocidades a lo largo del eje del río, existen cinco picos de velocidad bien marcados. Los valores máximos para los tres periodos de retorno superan los 8 m/s en una determinada zona del río.

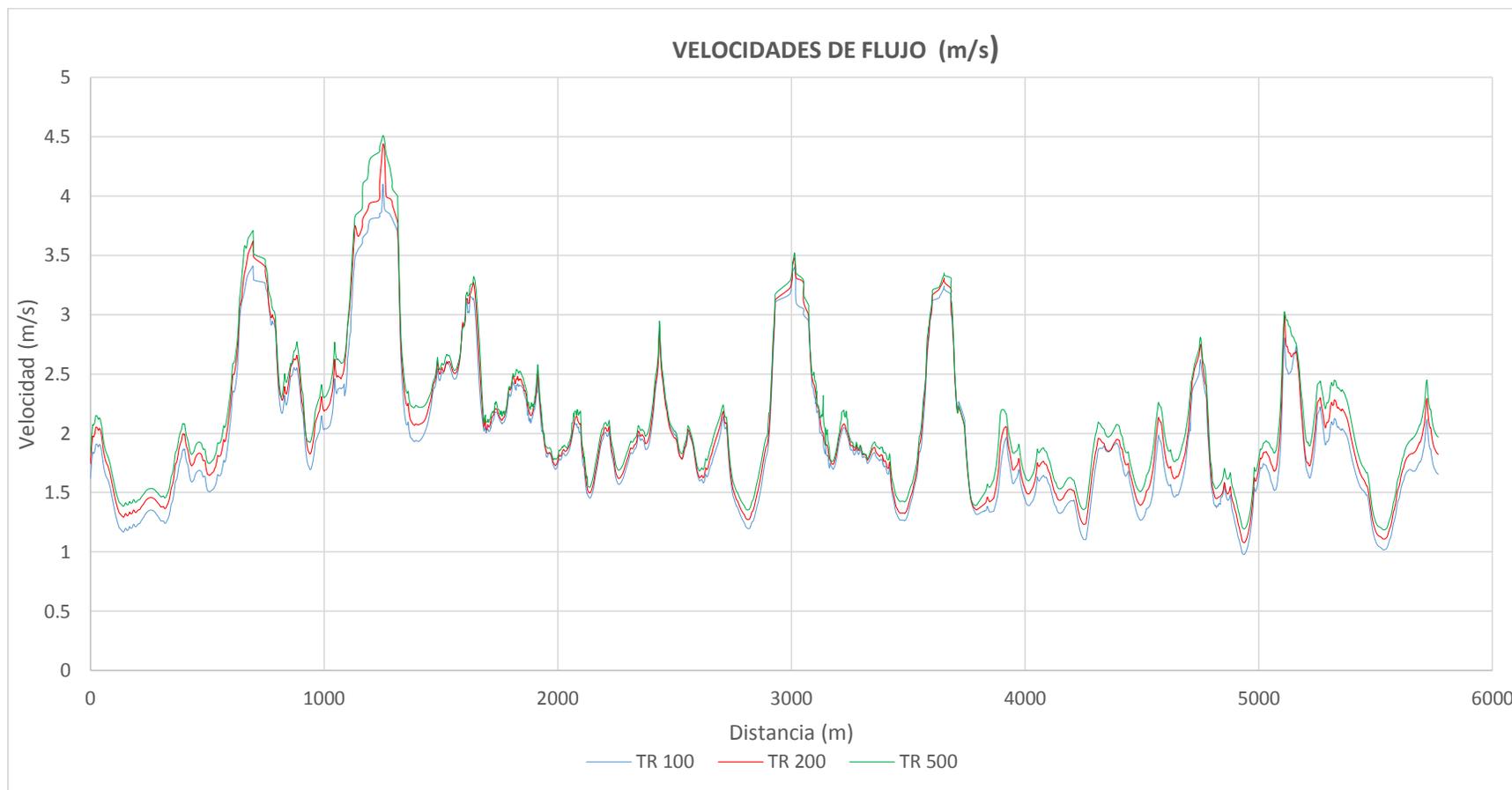


Figura N° 84: Gráfico de variación de velocidad en el eje del río

4.4 ÁREAS DE INUNDACIÓN DE PREDIOS

Los resultados de las áreas inundadas son estimados a través de un geo-proceso que permite delimitar solamente los predios codificados y de esta manera poder cuantificar las hectáreas perdidas. En la **Figura N° 85** se observan los predios inundados para el periodo de retorno de 100 años.

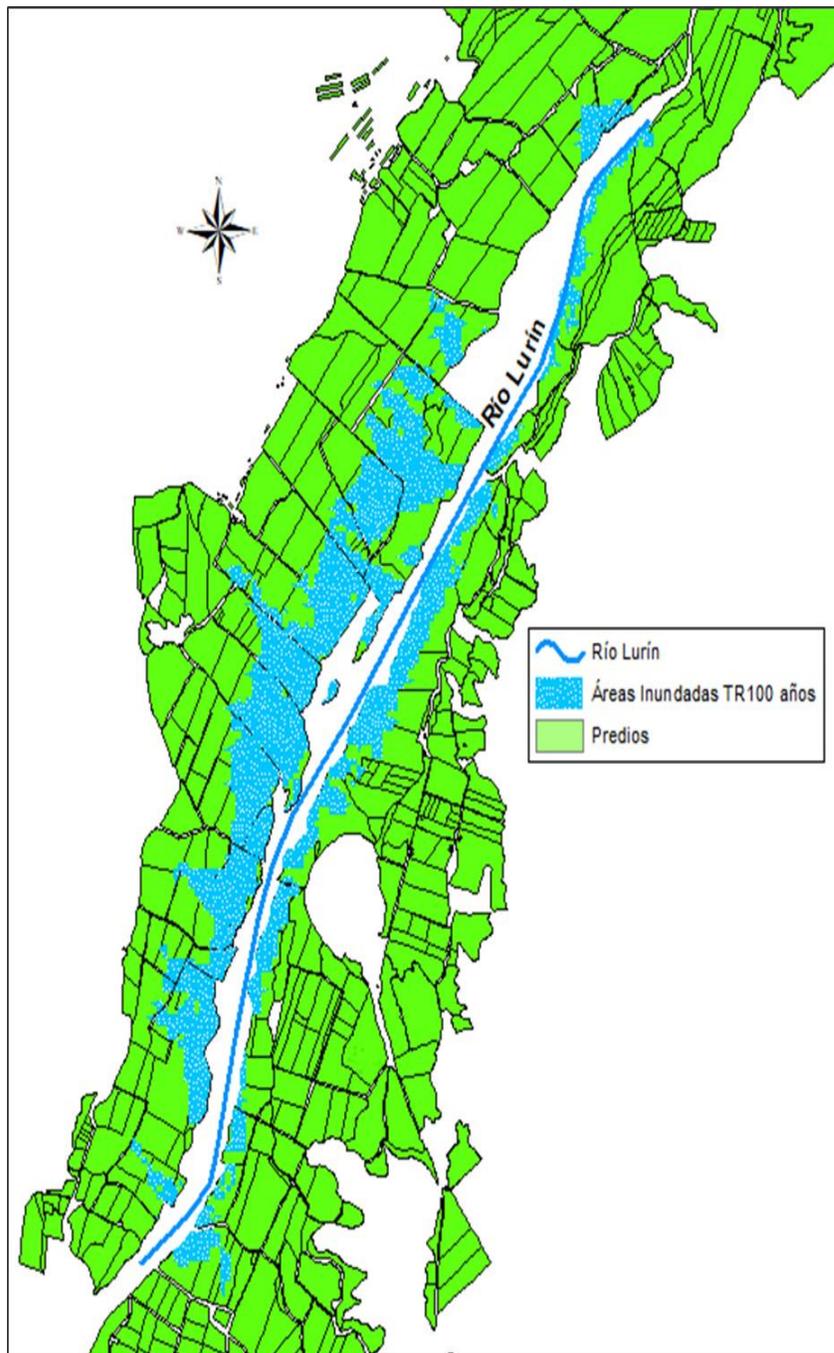


Figura N° 85: Mapa de áreas inundadas, TR 100 años

Para el período de retorno de 200 años las áreas inundadas se incrementan en la margen derecha del río, esto se observa en la **Figura N° 86**.

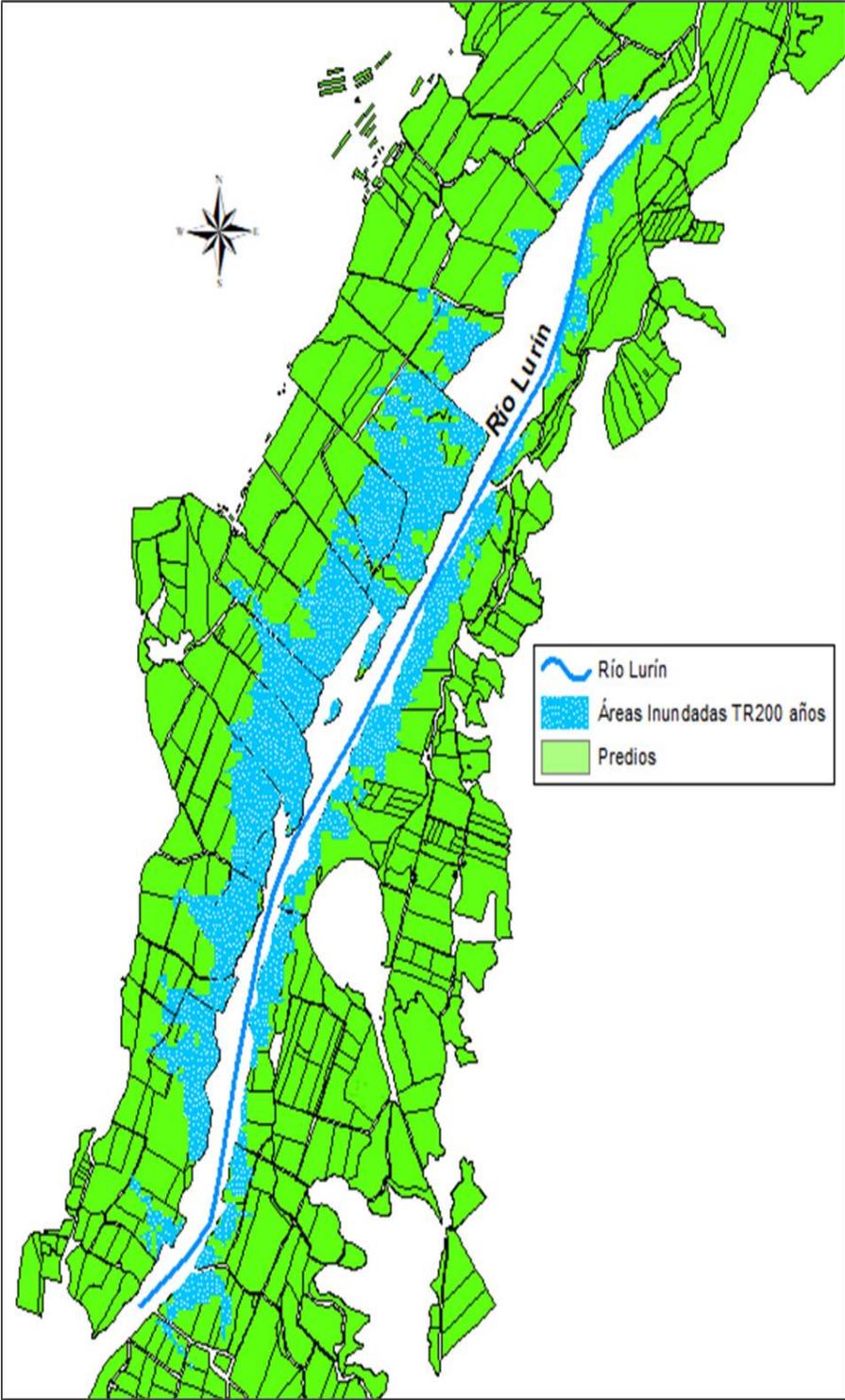


Figura N° 86: Mapa de áreas inundadas, TR 200 años

La **Figura N° 87** presenta los predios inundados para el período de retorno de 500 años. La margen derecha sigue siendo la más afectada pues la topografía de ese lado del río presenta pendientes muy bajas, mientras que en la margen izquierda en casi toda la longitud del tramo existen pendientes medias a altas que limita el avance y expansión del agua.

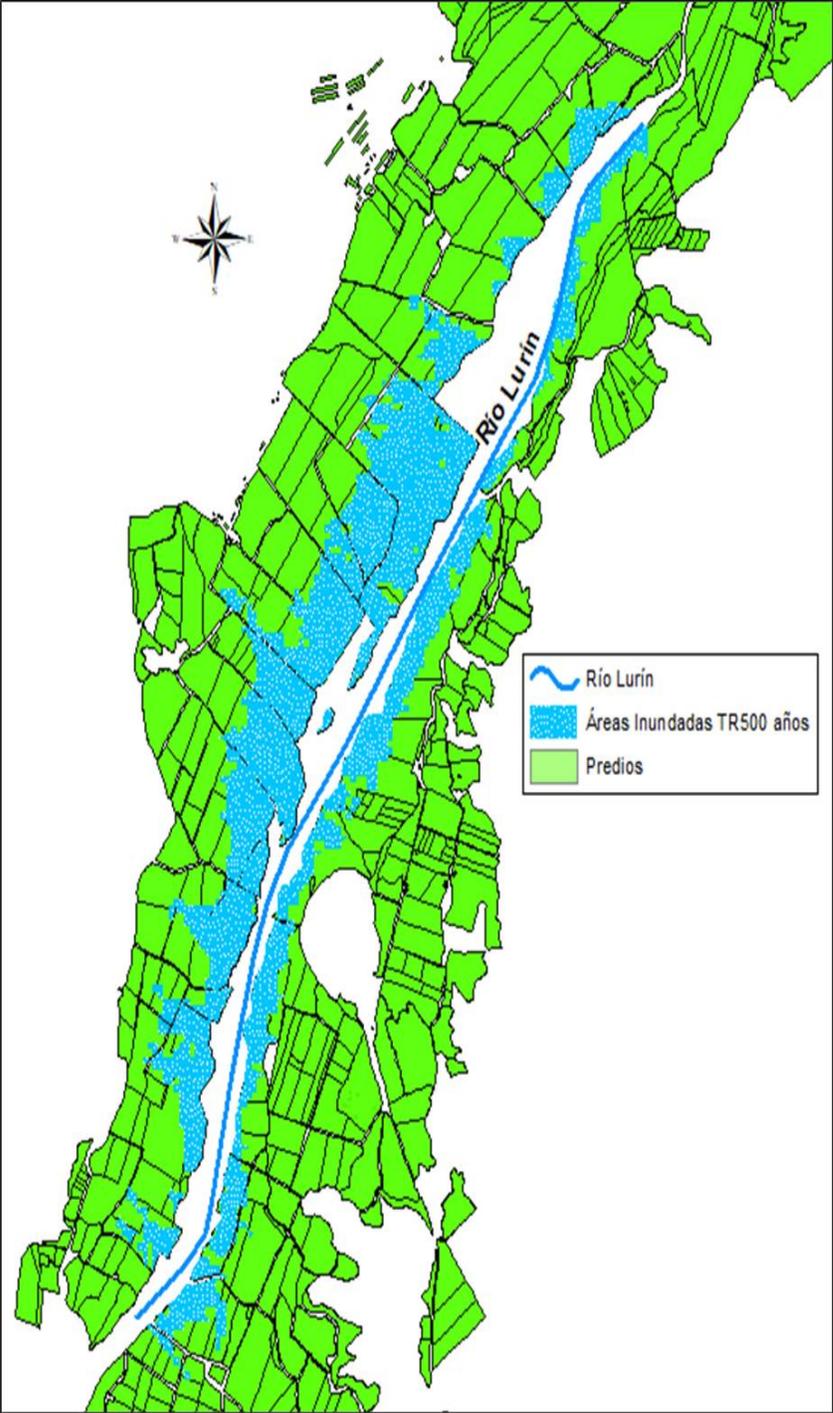


Figura N° 87: Mapa de áreas inundadas, TR 500 años

En la **Figura N° 88**, por medio de un gráfico, se relaciona la cantidad de áreas perdidas en función de cada periodo de retorno (TR 100, TR 200 y TR 500). El área total (predios codificados) suma un total de 527 Ha. En la gráfica se observa que, para los perfiles de 100, 200 y 500 años se pierden 149, 174 y 189 Ha respectivamente.

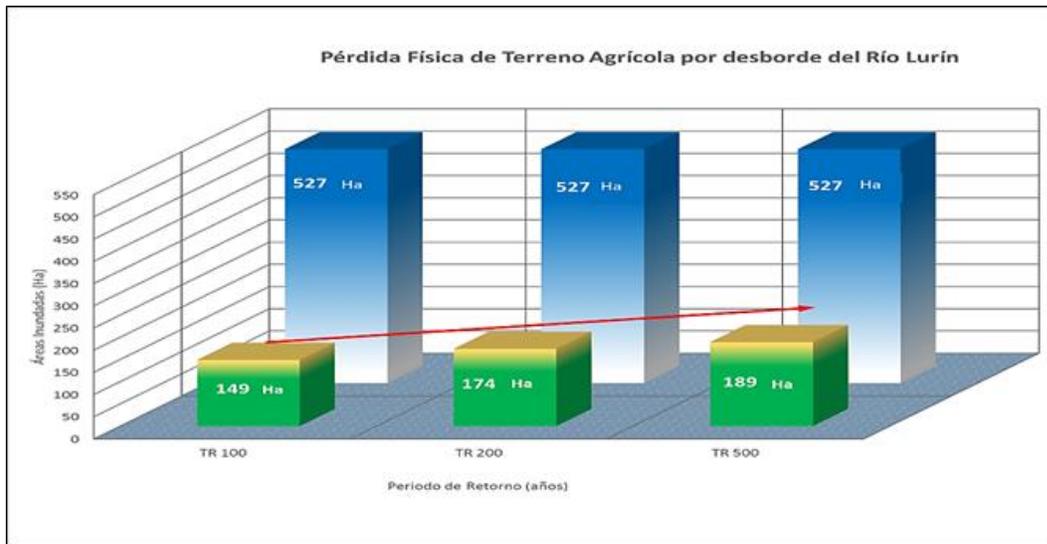


Figura N° 88: Gráfico de áreas perdidas TR 100, TR 200 Y TR 500 años

En la **Figura N° 89**, se representa por medio de un gráfico la relación porcentual entre las áreas perdidas y el área total para cada periodo de retorno (TR 100, TR 200 Y TR 500). La gráfica indica que se pierde el 28.33 % para el perfil de 100 años, 33.05 % para el perfil de 200 años y 35.76 % para el perfil de 500 años.

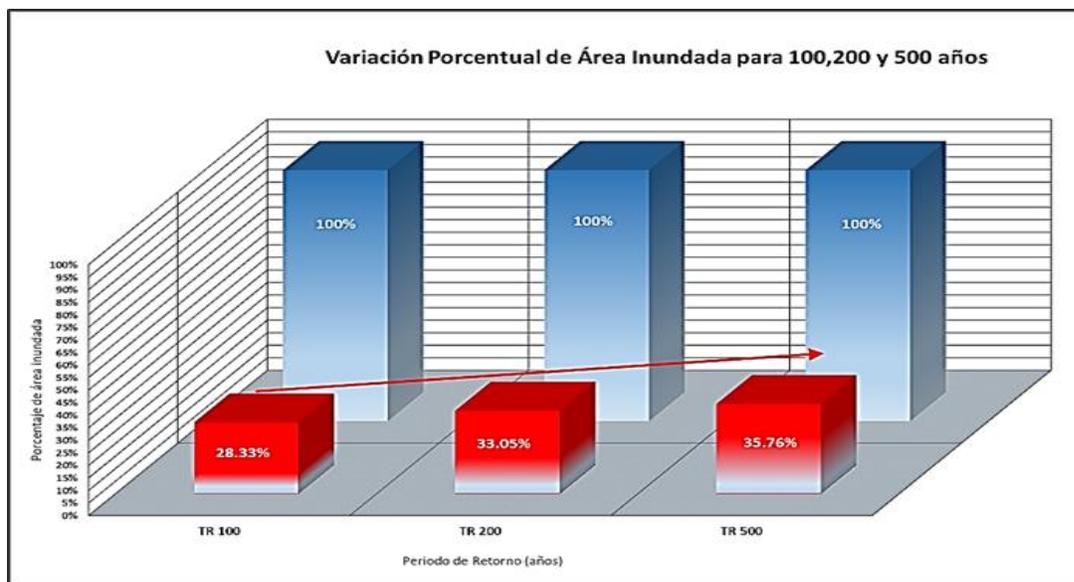


Figura N° 89: Gráfico de porcentajes de áreas perdidas TR 100, TR 200 Y TR 500 años

La **Figura N° 90**, muestra las pérdidas económicas (millones de dólares) para cada máxima avenida de 100, 200 y 500 años. El valor monetario por hectárea agrícola en la zona de estudio es de 20 000 dólares, dicho valor es estimado por la Junta de Usuarios del Sector Hidráulico de Lurín en conformidad al Título III, Capítulo I del Reglamento Nacional de Tasaciones (Tasación de predios rústicos, predios eriazos y otros bienes agropecuarios). A partir de ello se obtiene una pérdida de 2.9 M\$ para el perfil de 100 años, 3.4 M\$ para el perfil de 200 años y 3.7 M\$ para el perfil de 500 años.

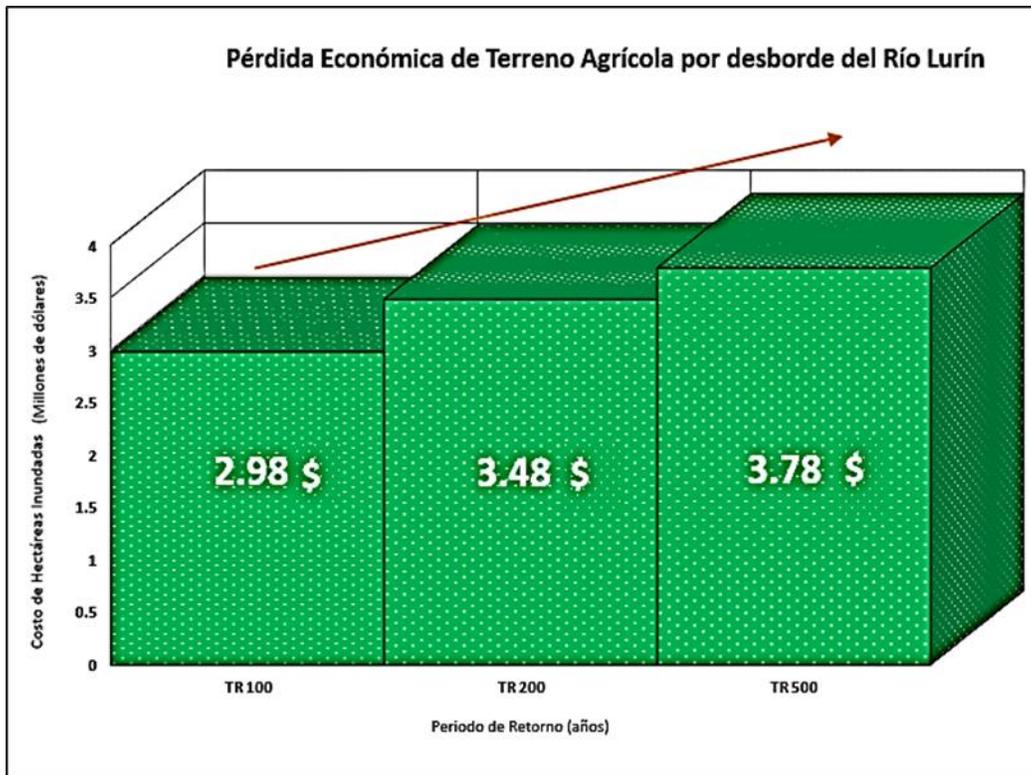


Figura N° 90: Gráfico de pérdidas económicas TR 100, TR 200 Y TR 500 años

4.5 DIAGRAMA DE SHIELDS

La disyuntiva de saber si hay o no movimiento de partículas en el lecho del río se resuelve con el diagrama de Shields. De la **Tabla N° 28** se establece el rango del parámetro adimensional que va de 0.01 a 0.88 para el perfil de 100 años, de 0.02 a 0.93 para el perfil de 200 años y de 0.04 a 0.99 para el perfil de 500 años.

Tabla N° 28: Valores de τ^* , Re^* para la construcción del Diagrama de Shields

τ^*			Re^*		
TR 100	TR 200	TR 500	TR 100	TR 200	TR 500
0.01	0.02	0.04	2.74	2.75	2.76
0.18	0.24	0.27	2.83	2.85	2.87
0.18	0.24	0.27	2.83	2.85	2.87
0.20	0.26	0.31	2.83	2.86	2.89
0.29	0.36	0.41	2.88	2.92	2.94
0.89	0.94	1.00	3.18	3.20	3.23
0.26	0.37	0.38	2.86	2.92	2.92
0.24	0.40	0.44	2.85	2.93	2.95
0.39	0.44	0.46	2.93	2.96	2.97
0.17	0.23	0.23	2.82	2.85	2.85
0.16	0.28	0.32	2.82	2.88	2.89
0.37	0.41	0.43	2.92	2.94	2.95
0.01	0.03	0.11	2.74	2.75	2.79
0.02	0.04	0.06	2.74	2.75	2.76
0.50	0.68	0.78	2.98	3.07	3.12
0.09	0.22	0.26	2.78	2.84	2.86
0.03	0.09	0.14	2.75	2.78	2.80
0.67	0.68	0.69	3.07	3.07	3.08
0.02	0.04	0.08	2.74	2.75	2.78
0.01	0.06	0.12	2.74	2.76	2.79
0.05	0.09	0.14	2.76	2.78	2.81
0.21	0.23	0.29	2.84	2.85	2.88
0.15	0.22	0.27	2.81	2.84	2.87
0.01	0.03	0.05	2.74	2.75	2.76
0.14	0.18	0.21	2.81	2.83	2.84
0.08	0.12	0.19	2.77	2.80	2.83
0.14	0.19	0.24	2.80	2.83	2.85
0.11	0.16	0.20	2.79	2.81	2.83

En la **Figura N° 91** se muestra el diagrama de Shields completo y en donde se plotean los puntos (τ^*, Re^*) . Se observa una verticalidad de los puntos ya que las abscisas varían en un rango muy corto.

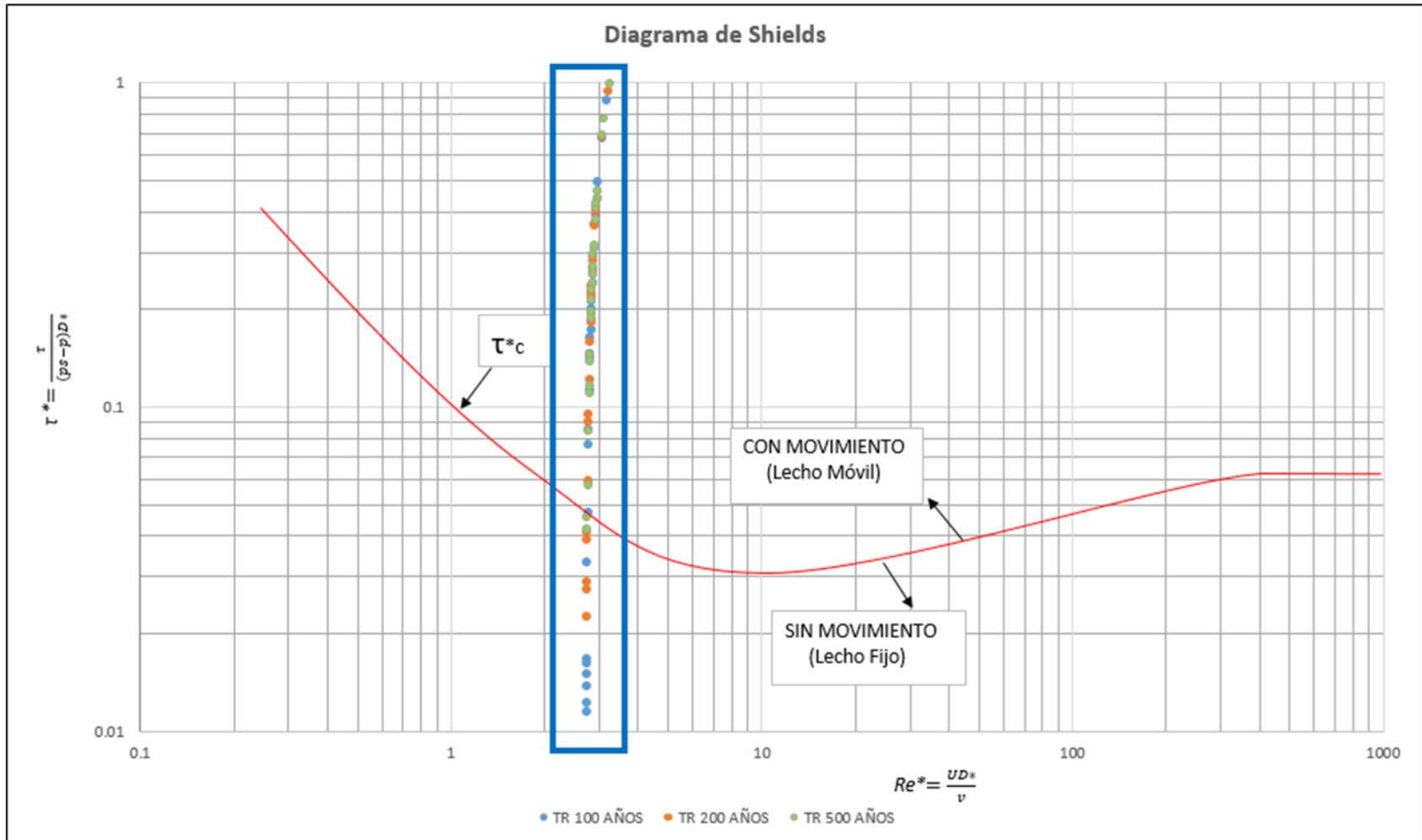


Figura N° 91: Gráfico de puntos (τ^*, Re^*) para TR 100, TR 200 Y TR 500 años

La **Figura N° 92** presenta una vista ampliada del diagrama en donde se observa claramente el rango de variación de las abscisas que van de 2 a 3.5; además se observa una mejor vista de la distribución de puntos.

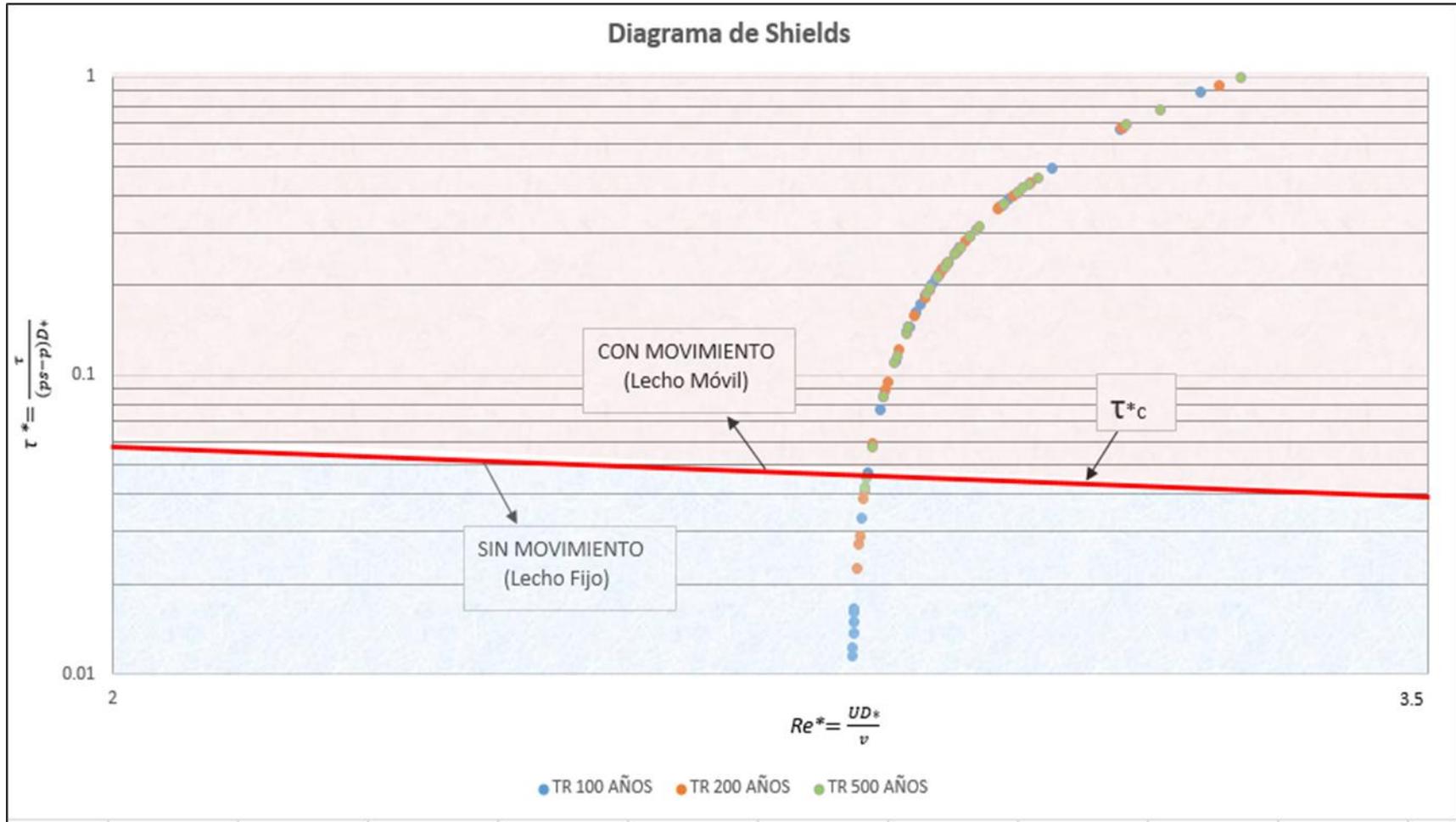


Figura N° 92: Vista ampliada de puntos (τ^* , Re^*) para TR 100, TR 200 Y TR 500 añ

4.6 DISCUSIONES

Análisis Hidrológico

El análisis de las precipitaciones máximas 24 horas indica que todas las estaciones meteorológicas pasaron satisfactoriamente el test de bondad de Smirnov-Kolmogorov. La función de Distribución Gumbel posee un mayor ajuste para las estaciones Antioquía, Matucana, Langa, Huarochirí, Escomarca y Chalilla; y lo mismo sucede con la función de Distribución Pearson III para las estaciones Santiago de Tuna y San José de Parac. Las estaciones Manchay Bajo y Santa Eulalia se ajustaron correctamente a las funciones Log Normal y Log Pearson II respectivamente. Con las precipitaciones debidamente ajustadas a distintas funciones se consiguió proyectarlas a los diferentes periodos de retorno establecidos para este estudio.

Para la distribución de la precipitación en cada subcuenca se implementó el método de Polígonos de Thiessen. La elección de este método se basó en dos características resaltantes, la primera es que la cuenca Lurín no es montañosa y la segunda, la más importante, es que las estaciones meteorológicas están distribuidas de forma homogénea sobre toda la cuenca. De este modo se consiguió que cada subcuenca tuviera datos fiables de precipitación para cada periodo de retorno, es decir, para 100, 200 y 500 años.

La elaboración de las capas vectoriales y capas raster (pendiente, cobertura vegetal, curva número, etc) que posteriormente se usaron en los procesos hidrológicos e hidráulicos se ha realizado con los Sistemas de Información Geográfica. Los programas de la plataforma ESRI-ArcGIS (ArcCatalog, ArcMap, ArcScene y extensiones) fueron los elegidos pues se ha considerado que este paquete informático es más potente a la hora de tratar, analizar e integrar la información geoespacial disponible en la zona de estudio.

Las características de los hidrogramas obtenidos con el programa HEC-HMS mostrados en los resultados, presentan una curva de ascenso lenta. Dicha curva que empieza a aumentar con la precipitación hasta alcanzar el caudal pico, lo que indica también que la función de transformación precipitación – escorrentía no es inmediata. Según los resultados del modelo de cuenca, en la Tabla N° 29 se muestra los parámetros del Hidrograma.

Tabla N° 29: Parámetros del Hidrograma

TR	Caudal Pico	Tiempo Pico	Volumen Precipitado (VP)	Volumen Escorrentía (VE)	VE/VP
años	m³/s	Hr	MMC	MMC	%
100	97.4	10	2.0	1.8	92.1
200	127.3	10	2.4	2.3	95.8
500	152.6	9	3.0	2.9	96.6

Debido a que durante los eventos simulados la cuenca se encuentra húmeda, se observa la similitud entre los tiempos al pico y la relación entre volumen precipitado con volumen de escorrentía. La razón fundamental por la que existe la similitud entre el VP y el VE es que el volumen infiltrado es mínimo y prácticamente toda la precipitación sobre la cuenca se transforma en escorrentía.

El valor mínimo y máximo de Curva Número en el proceso de calibración fue de 66.5 y 81.7 respectivamente. Los errores simples para los tres periodos de retorno son en promedio 6%, tal valor es menor al límite máximo establecido para hacer válido el proceso de calibración (10%). Los caudales máximos “observados” que se emplean en la etapa de calibración pertenecen al “Estudio Hidrológico-Meteorológico en la Vertiente del Pacífico del Perú con fines de evaluación y pronóstico del Fenómeno El Niño para Prevención y Mitigación de desastres” realizado por el Ministerio de Economía y Finanzas (1999). De esta manera los resultados del modelamiento hidrológico son aptos para introducirlos al modelamiento Hidráulico y de esa manera cumplir con los otros objetivos de la investigación.

Análisis Hidráulico

El software HEC-RAS 2D permite la modelización en una y dos dimensiones para condiciones permanentes y no permanentes. Dicho programa permite elegir entre las ecuaciones de Saint-Venant u Onda Difusa en 2D, aunque generalmente son las ecuaciones de Onda Difusa 2D las que permiten que el software procese rápidamente la información. El esquema numérico que emplea HEC-RAS 2D son los Volúmenes Finitos, este método

incrementa la estabilidad del modelo. Trabaja con mallas no estructuradas, pero también puede trabajar con mallas estructuradas (ortogonales). HEC RAS 2D ofrece óptimos resultados en llanuras de inundación muy amplias y planas, en las que el agua adopta diferentes direcciones de flujo y presenta diferentes cotas de lámina de agua y velocidades en diversas direcciones. Los cálculos que realiza el software una vez iniciada la simulación son muy complejos, puede tardar horas y en algunas ocasiones colgarse.

La elección del tamaño de malla es uno de los pasos importantes a considerar en el modelamiento. Se debe elegir una malla que se adecue al terreno que controlará el movimiento del flujo. El otro paso importante es elegir un paso de tiempo de cálculo que funcione adecuadamente con la malla. Con la topografía del cauce y de las zonas adyacentes se logró generar el Modelo Digital de Elevaciones y elaborar la malla estructurada. La elección de este tipo de malla permite un análisis numérico simplificado. Se empleó un mallado de 25 metros de lado máximo y un tiempo de cálculo de 20 segundos para los tres periodos de retorno. Ambos valores incrementaron la eficiencia en el proceso de cálculo.

El análisis de la inundación, en cuanto a alturas de agua, y su efecto en los desbordes se evalúa mediante un rango de intensidad que posee a su vez intervalos de profundidad. Los niveles y rangos se muestran en la **Tabla N° 30**.

Tabla N° 30: Niveles de Intensidad de Inundación

Nivel de Intensidad	Rango de Profundidad
Baja	< 0.50 m
Media	0.50 m - 1.00 m
Alta	1.00 m - 1.50 m
Muy Alta	>1.50 m

Con estos valores y conociendo la topografía del cauce basta con saber en qué porcentaje se presentan solo los niveles “alto” y “muy alto”. Para TR 100 años existe un 45.8 % de intensidad “alta” y 2.8 % de intensidad “muy alta”, para TR 200 años 57.5 % de intensidad “alta” y 4.2 % de intensidad “muy alta”; y por último para TR 500 años presenta 60.2 % de intensidad “alta” y 7.7 % de intensidad “muy alta”.

Los valores de velocidad más elevados se dan en 4 zonas a lo largo del cauce del río, en la **Tabla N° 31** se presentan dichas zonas.

Tabla N° 31: Zonas críticas de altas velocidades

ZONA	SECCIÓN
1	14 + 300 a 14 + 500
2	13 + 700 a 14 + 100
3	12 + 100
4	11 + 500

La zona 1 tiene un pico de velocidad es de 3.41 m/s, 3.62 m/s y 3.71 m/s para los perfiles de 100, 200 y 500 años respectivamente. En la zona 2 el mayor valor de velocidad es de 4.10 m/s para el perfil de 100 años, 4.44 m/s para el perfil de 200 años y 4.51 m/s para el perfil de 500 años. La zona 3 registra un valor pico de 3.40 m/s para el perfil de 100 años, 3.48 m/s para el perfil de 200 años y 3.52 m/s para el perfil de 500 años. En la última zona los valores de velocidad más altos son 3.24 m/s, 3.31 m/s y 3.35 m/s para las avenidas de 100, 200 y 500 años. Estas zonas identificadas con valores pico de velocidad obedecen a desniveles altos en distancias cortas; es decir, el flujo incrementa su velocidad en un corto tiempo por lo que estas zonas de alta velocidad funcionan como “caídas”.

La integración de la profundidad y la velocidad generan zonas de peligrosidad, es por eso y como es de esperarse las zonas con mayor peligro son las que se mencionaron en el párrafo anterior. La combinación de estos dos parámetros sumados a la duración de la inundación

tiene efectos importantes en los campos de cultivos, ya que si el agua permanece mucho tiempo se pierde más cosecha y es muy difícil recuperarla después. Ahora, esta investigación, apoyándose en sus resultados, estima un impacto muy grande de la inundación sobre el valle, esto hace que las pérdidas no solo se limiten a las hectáreas de cultivos sino al terreno en sí, pues éste quedará en condiciones no aptas para la agricultura. Es por eso que el cálculo de pérdidas económicas se ejecuta en función a la valorización del terreno y no a los cultivos presentes en la zona.

Las pérdidas físicas por inundación siguen una tendencia al crecimiento pues entre las máximas avenidas que se registra para TR 100 y TR 200 se deduce que con un aumento de $30.2 \text{ m}^3/\text{s}$ se pierden 25 hectáreas; y que entre TR 200 y TR 500 se pierden 15 hectáreas en $25.3 \text{ m}^3/\text{s}$ de aumento. La mayor parte de área inundada se da en la margen derecha en la sección con un alcance máximo perpendicular al eje del río de 880.5 m, 895.5 y m 905.1 m para TR 100, TR 200 Y TR 500 respectivamente. En la margen izquierda el alcance máximo para TR 100 el alcance es de 206.13 m, para TR 200 es 212,7 m y para TR 500 es 220.5 m.

En cuanto a las pérdidas económicas éstas son más elevadas entre TR 100 y TR 200 donde la tasa de crecimiento es de 16,7 %, mientras que entre TR 200 y TR 500 la tasa de aumento sólo es de 8.6 %. Las cantidades monetarias de estas pérdidas están sujetas sensiblemente al cambio en la normativa de Tasaciones, pues el terreno puede tender a desvalorizarse o revalorizarse.

En base los eventos ocurridos en el 2017 a causa del Fenómeno El Niño se pudo corroborar con visita en campo que la estación Puente Manchay quedó en pésimas condiciones, vale decir que el implemento rústico con el que se hacían las lecturas de los niveles del río ya no se encontraba en su lugar. En la **Figura N° 95** se muestra la estación hidrométrica meses después de ocurrido el desborde en el río Lurín.



Figura N° 93: Estación Puente Manchay después de las inundaciones del verano 2017

La calibración del modelo hidráulico no se pudo realizar a través de un proceso completo por la falta de información de las profundidades de agua del río. Es así que los resultados finales del modelo hidráulico fueron comparados con las marcas de las inundaciones ocurridas en el verano del 2017. Las marcas están registradas por medio de fotografías tomadas por dirigentes de la Junta de Usuarios del Sector Hidráulico Lurín y testificadas por comuneros de la zona; dichas imágenes se presentan en el **Anexo 6** y muestran las zonas que alcanzó la inundación.

Análisis de Movimiento de Partículas

El movimiento inicial de partículas se analiza con los esfuerzos máximos de corte de las secciones transversales, vale decir que hay movimiento cuando el parámetro adimensional τ^* está por encima de la línea de corte crítica (τ_c). En cuanto al Número de Reynolds, éste oscila solamente entre 2 y 3.5 lo que significa que se produce un movimiento turbulento liso. La **Tabla N° 32** muestra las zonas donde se producen estos movimientos.

Tabla N° 32: Secciones sometidas a movimiento de partículas

TR	SECCIÓN INICIAL	SECCIÓN FINAL
100 años	12 + 700	14 + 700
	11 + 900	12 + 100
	10 + 500	10 + 700
	9 + 500	10 + 100
200 años	12 + 700	14 + 700
	11 + 500	12 + 100
	10 + 500	11 + 100
	9 + 500	10 + 100
500 años	10 + 500	14 + 700
	9 + 500	10 + 100

Para el perfil de 100 años el porcentaje de movimiento del material de arrastre es de 71.4 %, para el perfil de 200 años es de 82.1 % y para el perfil de 500 años un porcentaje de 92.8 %. Como es de esperarse para el periodo de retorno de 500 años las zonas sometidas a movimiento de material se dan en casi todo el tramo en estudio. En la **Figura N° 96** se muestra las zonas sometidas a movimiento de material para el periodo de retorno crítico, en este caso TR 500 años.

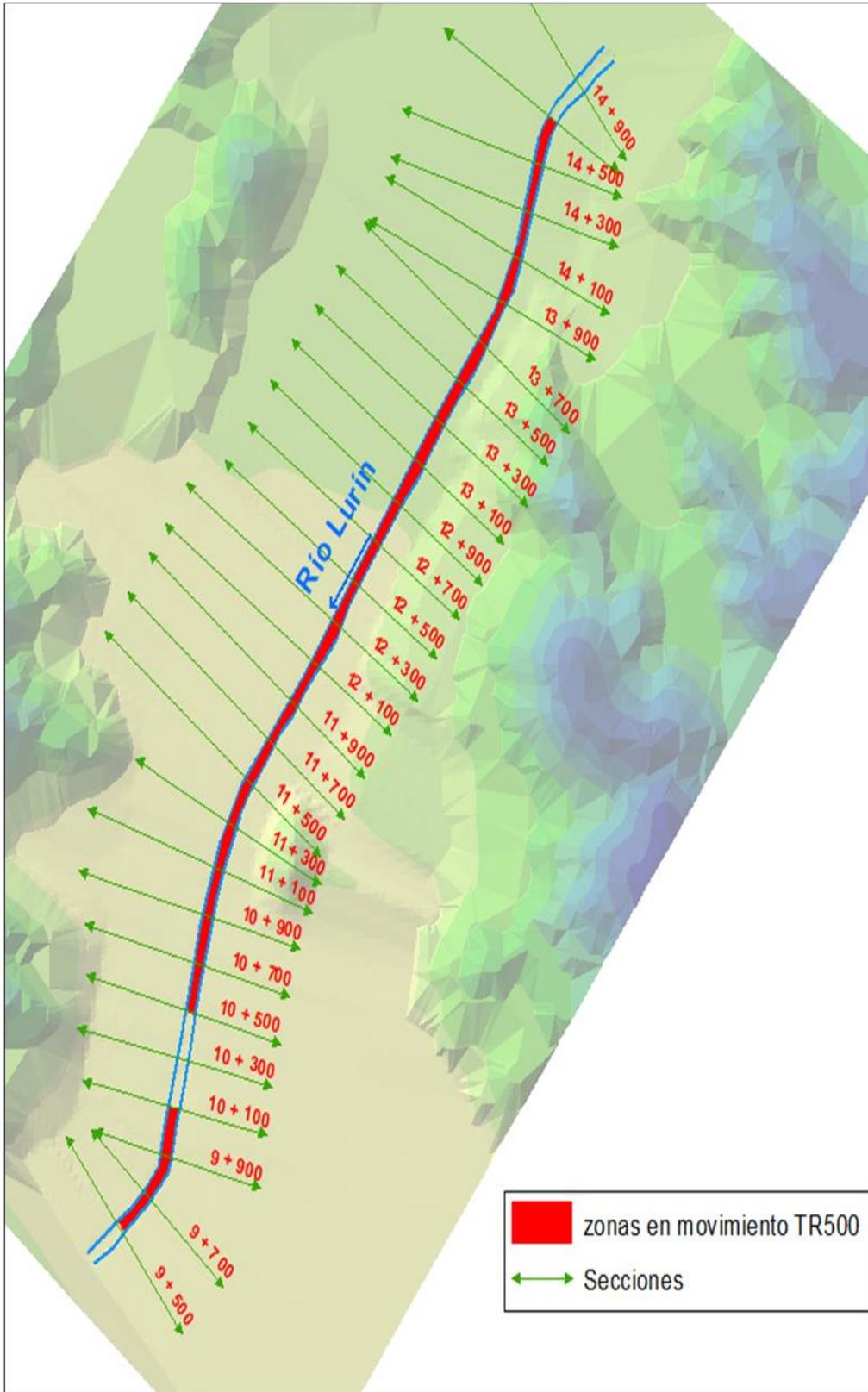


Figura N° 94: Zonas en movimiento de material para TR 500 años

V. CONCLUSIONES

- Se logró modelar de manera satisfactoria las máximas avenidas en el río Lurín, para los periodos de retomo de 100, 200 y 500 años.
- Los caudales simulados de máximas avenidas para los periodos de retorno de 100 años, 200 años y 500 años se asemejan a los caudales estimados en un estudio elaborado por el Ministerio de Economía y Finanzas (1999).
- La capacidad de conducción del río Lurín en el tramo comprendido entre la bocatoma Mejorada y Jatosisa es superada altamente por los caudales de los periodos de retorno de 100, 200 y 500 años. En consecuencia, los predios rurales en dicho tramo son susceptibles de amenaza por inundación para los tres caudales simulados.
- La cantidad de predios registrados en la Junta de Usuarios posiblemente inundados son 119, 134 y 139 para los periodos de retorno de 100, 200 y 500, respectivamente. Las superficies inundables para dichos periodos de retorno son 149 hectáreas, 174 hectáreas y 189 hectáreas.
- Se estimó que el costo económico por pérdidas de terreno oscila entre 2.9 y 3.7 millones de dólares.
- Las zonas comprendidas entre la progresiva 11 + 100 y 13 + 900 son las reciben mayor impacto de la inundación, ya que son las que presentan las cotas más bajas. En dichas zonas se concentra aproximadamente el 70 % de toda el área inundable.
- La intensidad de erosión del cauce del río Lurín crece para los periodos de retorno de 100, 200 y 500 años. La mayor erosión del cauce ocurre desde la progresiva 12 + 700 hasta la progresiva 14 + 700 y desde la progresiva 9 + 500 hasta la progresiva 10 + 100. Son 2.6 km de movimiento de material del río; es decir, más del 50 % del tramo total está expuesto a erosión.

VI. RECOMENDACIONES

- Se recomienda la instalación de una estación limnigráfica en el Puente Manchay para la lectura de niveles continuos del río que permitan realizar de manera óptima las calibraciones tanto del modelo hidrológico como del modelo hidráulico.
- Se recomienda al Gobierno Local dentro de la Cuenca Lurín y al Gobierno Regional de Lima, considerar dichos cálculos de caudales y parámetros hidráulicos de máximas avenidas para la construcción de defensas ribereñas en el tramo de estudio. A su vez integrar estas zonas de inundación en los estudios de vulnerabilidad de la cuenca del río Lurín.
- Cualquier obra que se proyecte para reducir la amenaza de inundación se tendrá que ajustar a las condiciones geotécnicas del lugar, vale decir que las cimentaciones y anclajes de las estructuras deberán considerar los niveles de socavación en el fondo del río.
- Se deben emplear softwares completamente libres y aplicaciones gratuitas para el desarrollo de modelos de inundación, de esta manera se disminuye el elevado costo que tiene la adquisición de paquetes informáticos especializados, así como dispositivos remotos, topográficos, etc.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANA (Autoridad Nacional del Agua, PE); MINAG (Ministerio de Agricultura, PE). 2010. Estudio de máximas avenidas en las cuencas de la zona centro de la vertiente del Pacífico. Lima, PE. 185 p.
- Aparicio, F. 1989. Fundamento de Hidrología de Superficie. México. Editorial Limusa S.A. 291 p.
- Breña y Jacobo. 2006. Principios y Fundamentos de la Hidrología Superficial. Universidad Autónoma Metropolitana. México. 287 p.
- Chereque W. 1989. Hidrología para Estudiantes de Ingeniería Civil. Pontificia Universidad Católica del Perú. 236 p.
- Chow, V.T. Maidment, D.R. Mays, L.W, 1996. Hidrología Aplicada. Bogotá. Ed McGraw – Hill. 583 p.
- Dueñas, C. 1997. Marco normativo vigente ante el riesgo de inundaciones, en Jornadas Parlamentarias sobre prevención de riesgos relacionados con el agua: VI- La protección civil ante el riesgo de inundaciones. Cámara del Senado. Madrid.
- Fattoreli, S. 2011. Diseño Hidrológico. México, 2º Edición en español, 548 p.
- Feldman, A.D. (ed.). 2000. Hydrologic Modelling System HEC-HMS. Technical Reference Manual. U.S. Army Corps of Engineers. Hydrologic Engineering Center. Davis. 155 p.
- INRENA (Instituto Nacional de Recursos Naturales) 2004. Estudio Hidrológico de la Cuenca del Río Lurín. Lima, PE. 200 p.
- Linsley, R (1975). Hidrología para Ingenieros. Bogotá. McGraw-Hill Latinoamérica S.A. Segunda Edición. 357 p.

- López y Mintegui. 1987. Hidrología de Superficie. Escuela de Técnica Superior de Ingenieros de Montes. Madrid, España. Editorial Salazar. 222 p.
- Martin, J. 2003. Ingeniería Fluvial. Barcelona. Ediciones UPC. 210 p.
- Molina, M. 1975. Hidrología UNA. Lima. Publidrat. 201 p.
- MTC (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, PE). 2008. Manual de hidrología, hidráulica y drenaje. Lima, PE. 222 p.
- OMM (Organización Meteorológica Mundial) 2011. Guía de prácticas Hidrológicas. De la medición a la Información Hidrológica. Ginebra. Volumen 1. 324 p.
- OMM (Organización Meteorológica Mundial) 2011. Guía de prácticas Hidrológicas. Gestión de Recursos Hídricos y aplicación de prácticas Hidrológicas. Ginebra. Volumen 2. 330 p.
- Rocha, A. 1990. Transporte de Sedimentos aplicado al Diseño de Estructuras Hidráulicas. Consejo Departamental de Lima del Colegio de Ingenieros del Perú. Colección del Ingeniero Civil. 30 p.
- Stedinger, J. 1993. Análisis de Frecuencia de Eventos Máximos. Manual de Hidrología. Nueva York. Ed McGraw-Hill. 18.1-18.66 p.
- Wilches, S. 2001. Estudio de las propiedades de invariancia de las precipitaciones puntuales en el departamento de Antioqía. Universidad Nacional de Colombia. 172 p.

VIII. ANEXOS

ANEXO 1: Información Pluviométrica

ESTACIÓN PLUVIOMÉTRICA ANTIOQUÍA												
Año	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1965		4.5	19.2	0.5	0	0	0.1	0	0.1	0	0	0
1966	3	0	20	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0
1967	20	20	19.7	0	0	0	0	0	0	0	0	1
1968	0	1.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1969	0	32	5	0	0	0	0	0	0	0	0	7
1970	29.4	1.5	3	2	0	0	0	0	2.2	0	0	11
1971	2	5.5	3.3	1	0	0	0	0	0	0.1	0	1
1972	5.5	10.5	14.2	0	0	0	0	0	0.2	0	0	10.4
1973	37	6	6.5	1	0.1	0	0	0	1.5	0	0.1	2
1974	5	6.5	12.5	0.8	0	0.2	0	0.8	0	0	0	2.3
1975	7.5	18	12.5	0	0	0	0	0	0	0.6	0	7
1976	18	21	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	4.1
1977	9.2	21	2.2	0	0	0	0	0	0	0	1.5	1.2
1978	2.5	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1979	0	1.1	35	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1980	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0.3	0.5	0
1981	0	1.5	28.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1982	0.9	5.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1983	12.6	10.3	17.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1984	0	13	0	0	0	0	0	0	0	0.8	1.6	2
1985	5.2	2	10.1	1.5	0	0	0	0	0	0	1	0.4
1986	3.5	1	4.1	0.8	1.2	0	0	0	0	0	0	8.3
1987	5.4	0.1	3.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1988	4.2	8.3	0	0	3.3	0	0	0	0	0	0	36.8
1989	6.3	9	2.3	0	0	0	0	0	0	1	0	0
1990	0.1	0	2	0	0.9	0	0	0	0	0	0.4	9.5
1991	7.2	2.4	7.5	0.7	0	0	0	0	0	0.3	0	0
1992	0	3.4	0.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1993	1.5	6.8	7.8	4	0	0	0	0	0	0	0.8	1.5
1994	13.8	11.6	12.6	3.4	0	0	0	0	0.1	0	0	1.6
1995	3.3	0.2	11.6	1.6	0	0	0	0	0.3	0.2	9.3	2.5
1996	5.3	6.6	5.1	4.1	0	0	0	0	0	0	0	0
1997	1.8	2	0.3	0	0	0	0	0.1	0	0.4	4.5	10.3
1998	4.9	14.5	9.6	0.3	0	0	0	0	0	0	0	3
1999	5	19.5	5.1	1	1.5	0	0	0	0	2.2	0.2	0.3
2000	6.8	12.5	3.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0.6
2001	10.3	4.3	4.5	1.6	0	0	0	0	0	0	2.8	0
2002	1.3	12.6	9.3	2.2	0.1	0	0	0	0.1	1.1	0.6	1.8
2003	2.3	4.1	3.5	0	0	0	0	0	0	0	0	3.9
2004	0	10.4	2.2	1.9	0	0	0	0	0	0	0	1
2005	1	1.2	0.2	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0.6
2006	14	6.3	7.5	1.4	0	0	0	0	0	0	0.2	4.4
2007	3.1	7.2	6.4	4.7	0	0	0	0	0	0	0	1
2008	6.2	7.2	9.8	0.6	0	0	0	0	0	0	1.2	0
2009	3.4	15.5	12.1	6.2	0	0	0	0	0	0.7	0.8	0.1
2010	4.2	4.1	4.5	1	0	0	0	0	0	0	0	3
2011	1.8	0.6	0.7	0		0		0	0	0	1.7	3.3
2012	2	3.3	4.6		0	0	0	0	0	1.6	1	1
2013	0.6	25.1	4.5	0	0	0	0	0	0	0	0.3	2.2
2014	4.3	2.4	11.1	0	0	0	0	0	0			

ESTACIÓN PLUVIOMÉTRICA LANGA												
Año	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1980		2	18.2	2	0	0	0	0	0	5	0	0
1981	15.2	18.2	41.7	0	0	0	0	0	18	0	0	18
1982	20	20	18	0	0	0	0	4.4				
1983	7.3	8.4	7.2	0	0	0	0	0	0	0	0	6.4
1984	7.2	8	7.2	6	0	0	0	0	0	7.2	0	6.3
1985	18.2	8	9	4	0	0	0	0	0	5	5	5.6
1986	8	7	9	7.3	0	0	0	2.3	0	1.5	6.7	12
1987	14.4	13.2	9.5		0	0	0	0	0	0	2	1.5
1988	3.5	7	6.2	3.5	0	0	0	0	0	0	0	15
1989	9.4	10	10.2	7.1	0	0	0	0	0	4	0	0
1990	0	0	5	1.5	0	0	0	0	0	2.2	6.7	10
1991	4.3	6.3	6.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1992	4.2	3.2	5.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1993	25.2	27.1	20.8	2.1	0	0	0	0	0	1.1	8.2	5.7
1994	21.6	12.6	13.4	7.3	1	0	0	0	7.3	0	2.6	5.6
1995	18.6	22.8	7.9	5.2	0	0	0	0	4.5	1.4	17	10
1996	6.6	13.8	9.2	3	0	0	0	0	0	0	0	1.2
1997	8.8	31.4	9.1	0.4	0	0	0	0.3	2	0.5	3.4	24
1998	20.1	16.9	16.4	6	0	0	0	0	0	0.2	1.2	6.6
1999	0	40.1	10.5	6.1	5.4	0	0	0	1.3	3	2.5	4.4
2000	8.4	15	8	3.7	0	0	0	0	0.8	0	0	11
2001	19.5	13.3	20.7	18.5	0	0	0	0	0	0.9	15	0
2002	4.3	22.2	19.5	6.1	1.1	0	0	0	3.7	2.3	8	3.4
2003	5.3	6.8	15.3	3.7	0	0	0	0	0	0.3	0.7	20
2004	2.3	17.4	6.2	7.8	0	0	0	0	0.6	0	2.2	6.4
2005	7.1	7	9.3	0	0	0	0	0	0	0.1	0	16
2006	26.3	22.8	17.2	5	0	0	0	0	0.3	0.9	5	13
2007	6.3	10	7.8	17.5	0	0	0	0	0	2	2.6	1.4
2008	13.8	26.9	27.4	2.7	0	0	0	0.3	0	0.3	2.8	1.7
2009	15.1	38.8	35.1	9.1	0	0	0	0	0	7.8	3.6	5.8
2010	2.7	46.2	12.3	8	0	0	0	0	0.4	0.6	3	5.3
2011	8.2	6.5	9.4	20.4	0	0	1	0	0	0	4.7	4.4
2012	9	20.7	17.3	14.8	0	0	0	0	0	2.8	1.7	
2013	3.9	19.7	13.6	0.7	1.6	0	0	0	0.5	1.1	2	6.5
2014	12.6	10.5	15.2	4.8	1.5	0	0	0	2.1			

ESTACIÓN PLUVIOMÉTRICA MATUCANA												
Año	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1964		12.7	10.5	12	3.8	0	0	0	0	0	4.6	15.9
1965	14.9	12.2	12.8	4	2.1	0	0	0	3.5	5.6	6.5	9.2
1966	11.9	10.4	16.4	13	0.2	0	0	0	0	4.2	0	11.5
1967	13.1	16.2	17.3	3.7	2.5	0			2.1	6.4	3	4.8
1968	8.7	12	8.7	6.5	4.5							
1969	4.5	11.3	8.6	7.4	0	0	0	0	0.9	7.8	12	9.9
1970	19.2	1.4	10.6	5.3	2.8	0	0	0	9.4	5.1	2.3	17.8
1971	18.5	15.9	13.2	8.7	0	0	0	0	0	2.7	1	8.6
1972	12.5	14.2	20.3	3.1	0	0	0	0	1.2	6.4	2.9	7.8
1973	14.9	17.1	8.4	2.6	0	0	0	0	29	5.3	3.3	9.1
1974	9.5	10.4	9.8	3.6	0	0	0	0	0.4	0.6	1.3	7.2
1975	6.8	9.4	11.7	3.5	5	0.8	0	0	1.3	2.6	6.8	6.3
1976	11.5	13.7	16.2	0.5	0.5	0.5	0	0	0.5	0	0	6.3
1977	5.4	24.9	20.1	2.2	3.3	0	0	0	1.1	0.6	8.3	10.4
1978	7.2	6.9	6.1	4.9	0	0	0	0	1.5	0	6.9	5.8
1979	5.6	12.3	8	0	0	0	0	0	0	1.7	0.9	
1980	4.8	1.6	4.9	8.8	0	0	0	0	0	2.4	0	3.2
1981	11.4	11.8	9.9	0	0	0	0	0	0	1	0.9	9.6
1982	2.3	4.3	2.9	0	0	0		0	0	0	8.9	0.9
1983	3.7	23.7	21.3	5.9	0	0	0	0	0			9.9
1984	6.4	21	13.6	2.5	1	1.8	0	0	0	12	8.2	13.9
1985	4.9	8.3	14.5	4.3	1.9	0	0	1	1.8	0.9	20	5.3
1986	20.1	8.2	10.3	11	4.9	0	0	4.1	0	3.7	7.8	7
1987	18.3	8.3	19.1	0	0	0	0	1	0.2	0		7.4
1988	11.8	12.1	5.8	8.6	2.8	0	0	0	0	0.5	0	9.5
1989	7.2	7.7	5.6	1	2.9	0	0	0	0	0	0	0
1990	6.5	2.4	6.5	1.3	3.2	0.3	0	0.6	0	4.8	12	10.6
1991	3.9	14.9	14.3	3.4	2.1	0	0	0	0	8	3.5	1.4
1992	13.8	11.8	22	13	0	0	0	0	0	13	3.7	5.2
1993	16.7	29.8	20.9	12	0	0	0	0	0	5.3	7.3	8.2
1994	11.9	9.8	5.8	15	2.6	0	0	0	0.5	0.3	4.6	8.3
1995	20.9	8.1	15.2	12	0	0	0	0	3.6	3.7	10	8.6
1996	11.7	12	9.9	5.8	0	0	0	0	0	0	2.3	3.4
1997	6.9	9.5	4.8	2.6	0	0	0	0	0	3.7	4.3	7.6
1998	14.5	22.1	20.4	3.5	0	0	0	2.1	0	2.2	0	5.7
1999	7.4	24.2	5.6	10	0	0	0	0	3.6	5.1	4.7	7.1
2000	10.6	16.1	11.8	6	2.5	0	0	0	0	5.9	0	6.9
2001	11	13.7	11.6	3.4	0	0	0	0	0	1.6	8.6	1.3
2002	5.8	14.5	8.7	7.5	6.2	0	0	0	3.7		7.9	10.9
2003	7.3	12.9	12.1	11	0	0	0	0	0	0	0.7	16.9
2004	3.9	10.2	15.3	8.9	0	3.6	0		0	6.3	6.2	18.7
2005	18.7	5.7	11.7	4.2	0	0	0	0	0	0	0	8.1
2006	14.4	11.1	15.8	11	0	0	0	0	0	1.2	5.7	13
2007	12.5	12.1	16.8	12	1.8			0		1.8	0	12.3
2008	7.9	16.1	9.3	6.3				0		2	7.7	10.6
2009	11.1	14.9	24	6.9	0	0	0	0	0	4.3	9.2	11.5
2010	9.2	19.2	15.3	11	0	0	0	0	0	7.6	3.7	10.3
2011	8.7	9.7	9.3	15	0	0		0	1.2	0	5.1	11
2012	3.9	14.2	17.3	9.8	0	0	0	0	3.7	8.2	5.8	7.8
2013	6.2	11.7	21.3	12	2.1	0	0	0.7	0.8	2.7	2.9	6.9
2014	7.4	8	8.8		0	0	0	1.7	1			

ESTACIÓN PLUVIOMÉTRICA SANTIAGO DE TUNA												
Año	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1965			26.2	7.5	1	0	0.3	0	0.3	7	0.2	0.2
1966	8.6	9.3	45	2.1	4.1	0	0	0	0	14	0.1	5
1967	33.4	67.6	23.1	3.7	1	0	0.8	0	0	3.9	5.6	13.2
1968	0.1	5.4	10	14	3	0.2	0	0	0.1	1.3	2.1	3
1969	6	18	27.6	3.8	0	0	0	0	0	6.3	3.2	9
1970	56.3	81	5.8	4.9	0	0	0	0	5.7	4	8	5.3
1971	13.3	36.2	19.8	3.1	0	0	0	0	0	0.2	0	7.8
1972	13.9	33.3	35.4	0	0	0	0	0	0	1	0	2.8
1973	19.7	13.7	43.1	4.9	0	0	0	0	3.1	2	2.9	5
1974	6.1	17	18.1	0	0	0	0	0	0	0	2.7	7.6
1975	9.6	9	24	0	0	0	0	0	0	0	0	14.7
1976	17.8	21.5	10.1	2.1	0	0	0	0	0	0	0	1.1
1977	9.8	40	40.7	7.1	0	0	0	0	0	0	4.3	19.1
1978	8.3	7.1	24.5	0	0	0	0	0	0	2.1	0.8	2.7
1979	1.3	3.1	35	2.1	0	0	0	0	0	0	0	1
1980	10.8	8.5	20.6	13	0	0	0	0	0	3.5	2.1	2.9
1981	16.2	24	46.5	4.1	0.4	0	0	0	0	0	0.9	18.3
1982	9.3	33.3	24.3	15	0	0	0.7	0.9		0.4	9.1	0
1983	31.1	22.1	42.6	1.8	3.1	0	0	0	0	0.3	5.1	36.5
1984	27.1	27.9	23.6	3.1	0.1	0	0	0	0	0.8	17	14.3
1985	7.7	9.2	14.6	3	4.1	0	0	0.2	0	0	9.2	22.1
1986	17.8	34.5	22.8	9.3	0	0	0	0	0	0	0	35.5
1987	13.1	8.1	22		0	0	0	0	0	0	0.4	18
1988	25.3	23.4	10	8	4.1	0	0	0	0	2.1	0	31.2
1989	30.8	32.3	27.2	16	0	0	0	0	0	6.3	0	2.3
1990	6.8	4.4	17.8	0.3	0	0	0	0	0	2.1	8.7	44.3
1991	18	2.3	32.8	2.9	0.3	0	0	0	0	2.3	12	8.4
1992	3.6	3	7.1	0	0	0	0	0.8	0	0	0	3.3
1993	4	33.8	10	7.3	0.8	0	0	0	0	0	0.2	13.2
1994	9.6	15	10.2	3.1	0.8	0	0	0	0	0	4.2	14
1995	8.1	7.7	11.7	5.1	0	0	0	0	0	1.9	8.2	7.2
1996	14	13	10.2	6.2	3.2	0	0	0	0	0	1	3.2
1997	5.4	12.3	7.4	8	0	0	0	0.9	7	3.2	5.7	12.2
1998	10.1	30.2	22.3	3.2	0.8	0	0	0	0	0	0.8	15.3
1999	11	12.4	8.3	6.5	3	0	0	0	0.6	4.1	5	5.9
2000	8.6	14.6	13.8	6	0	0	0	0	1.4	2.1	2.3	4.2
2001	10	13.5	10.5	7.3	0	0	0	0	0	0.6	4.8	1
2002	8.2	13.4	8.3	6.5	6.5	0	0	0	0	6.2	7.2	6.2
2003	6.8	5.9	6.2	0	0	0	2.1	0	0	1.7	0.7	11.9
2004	4	9.3	8.5	6.7	0	0	0	0	1.2	0.4	2	6.4
2005	8.4	14.3		1.8	0	0	0	0	0		0	6.8
2006	13.9	14	12	11	0.6	0	0	0		0.8	0	7
2007	4.5	9.4	10.9	7.4	0	0	0	0	0	1.2	6.4	10.2
2008	8	18	27.7	9.3	0	0	0					3
2009	16.4	39	53	17	0.2	0	0	0	0	6.5	3.3	6.5
2010	9	7	9.4	11	0	0	0	0	1	0	2.6	4.3
2011	13.5	11.8	9.5	3.5	0	0	3.2	0	0	0	6.3	2.1
2012	27.2	19.4	13.5	23	2.8	0	0	0	1.5	7.5	3.6	9.2
2013	5	35	11.5	1.7	4.2	0	0	0	0	0	4.1	1.5
2014	6.2	11	26.6	1.2	0	0	0	0	0			

ESTACIÓN PLUVIOMÉTRICA ESCOMARCA												
Año	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1964	5.1	26.5	12.2	9	2	0	0	0	0	0.3	0	0
1965	0	20.2	26	23	0	0	0	0	2.4	0	4.2	13
1966	26.4	5.5	37.5	8.3	1.3	0	0	0	4.8	13	1.9	15
1967	21.9	32.7	31.2	3.1	2.9	0	0	0	0	0	0	3.4
1968	15.1	5	16.4	10	2.9	0	0	0	0	4	4	11
1969	11.5	16.5	25	14	0	0	16	0	2.3	6.5	15	19.6
1970	38.6	9.1	9.5	23	7.1	0	0	25	11	1.9	13	16.6
1971	9	15.1	21.4	9.1	0	0	0	0	0	0	0	14.5
1972	12.6	30	31.5	16	0	0	3.9	0	0	6.7	11	42.4
1973	31.6	18.7	23.5	11	0	0	0	0	0	0	0	13.3
1974	19.2	16	18.2	6.1	0	2.9	0	0	0	0	4	4
1975	14.6	12.7	19.8	15	4.5	0	0	0	0	0	4.1	13
1976	16.5	21.5	25.9	3.1	0	0	0	0	0	0	2.1	4.2
1977	15.2	21.1	17.8	5	0	0	0	0	0		4.7	21
1978	15.5	12	21.6	33	0	0	0	0	0	7.5	0	5
1979	4.5	17.5	23.4	6.8	0	0	0	0	0	2	1.5	0
1980	23	4.5	31.3	1.4	0	0	0	0	0	7.5	3.3	8
1981	8	24	33.9	18	0	0	0	0	0	0	6.5	35.5
1982	8.8	21	7.7	7.9	0	0	0	0	0	8.5	23	7.7
1983	20	20	14.8	13	6.5	0	0	0	0	0	0	30
1984	9.7	20	21.4	5.1	4.4	0	0	0	0	9.9	6.1	13.6
1985	0	20	15.3	7.9	0	0	0	0	0	0	0	6.5
1986	11.9	12.3	15.5	7	10	0	0	0	0	0	0	8.1
1987	15.9	15.8	10.8	0	0	0	0	0	0	0	0	5.5
1988	9.2	30	8.4	9.6	3.5	0	0	0	0	0	22	15.1
1989	8.1	11.1	8.7	4.5	0	0	0	0	0	0	0	0
1990	16	14.6	15.7	10	0	0	0	0	0	4.5	16	9.6
1991	10.6	7.2	8	6.1	0	0	0	0	0	0	0	0
1992	5.6	8.5	10.8	6.1	0	0	0	0	0	0	0	0
1993	12.7	11.2	11.7	9.3	3.5	0	0	0	0	7	12	8
1994	17.8	30	24.2	15	20	0	0	0	7.1	0	7.5	10.2
1995	23.1	10	10.8	13	5	0	0	0	0	4	10	15
1996	15	28	13	10	1.5	0	0	1	0.1	6	10	12
1997	30	40	10	3	1	0	0	0.1	5	5	5	19
1998	13	9.3	10.4	6.2	0	0.2	0	0	0.3	2.1	5.2	9.6
1999	7.1	16.5	17.4	8.7	10	0	1.4	5.4	8.5	5.9	7.9	8
2000	7	11.5	9.6	7.3	2.6	0	0	0.3	3.6	8.5	7.2	12.7
2001	12.5	33.4	31.5	11	0.3	0	0	0	1.2	5.1	9.6	0
2002	13.1	31.4	9.4	17	2.4	0	1.9	0.3	14	7.6	26	5.2
2003	14	10	13.2	6.4	1.2	0	0	0	0	6.6	2.7	23.3
2004	5.6	18.2	28.9	17	0	1	0	0	4.5	1.4	1.7	13.5
2005	13.5	17.5	24	34	0	0	0	0	0	0	2	45
2006	50	74.1	16.3	4.5	0	0	0	0	0	3	7	22.8
2007	28.4	6.2	23.1	16	0	0	0	0	0	5	3	2.5
2008	10.4		18.6	2.5	0	0	0	0	0	4	3.8	4.8
2009	12.5	14.1	16.6	23	2	0	0	0.6	0	15	4.6	4.1
2010	9.6	29.3	19.5	11	0.8	0	0	0	12	1.5	3.2	12.6
2011	15.6	9.4	15.6	9.3	2.9	0	0	0	0.6	4.4	8.2	8.4
2012	12.8	15.4	26	12	0	0	0	0	1.8	14	5.4	10.4
2013	11.9	24.6	30.2	14	3.5	0	0	0.6	0	12	5.4	13
2014	43.8	9.3	20.6	11	4.2	0	0	3.8	2.8			

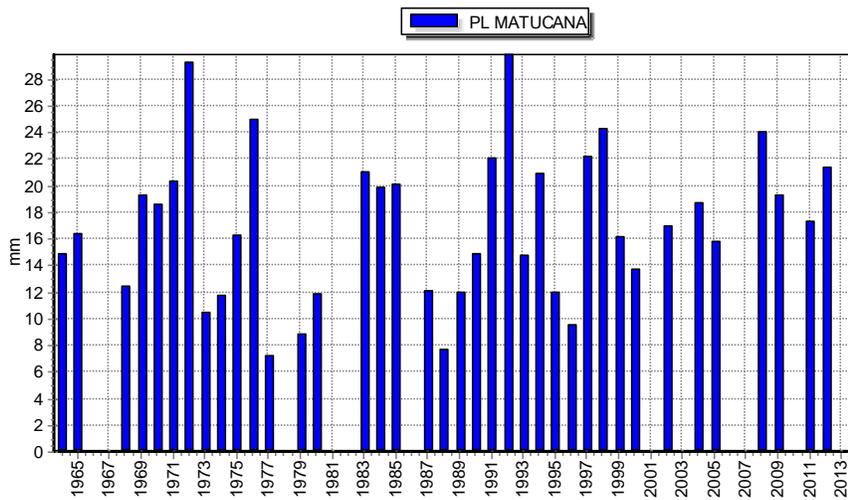
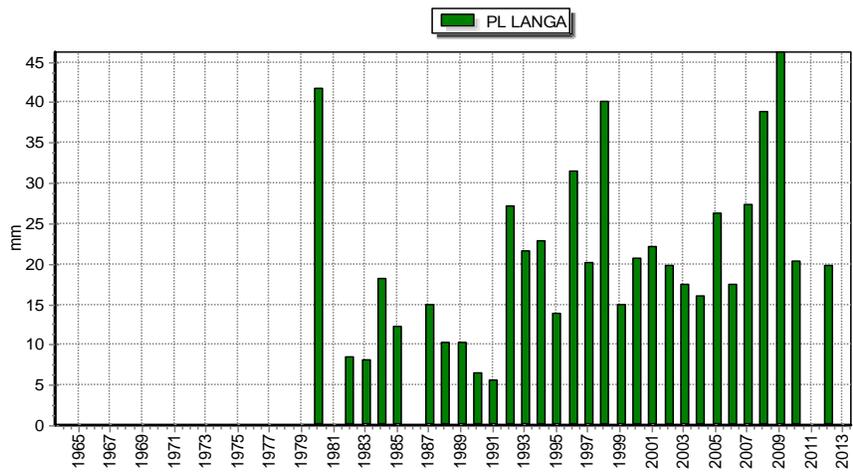
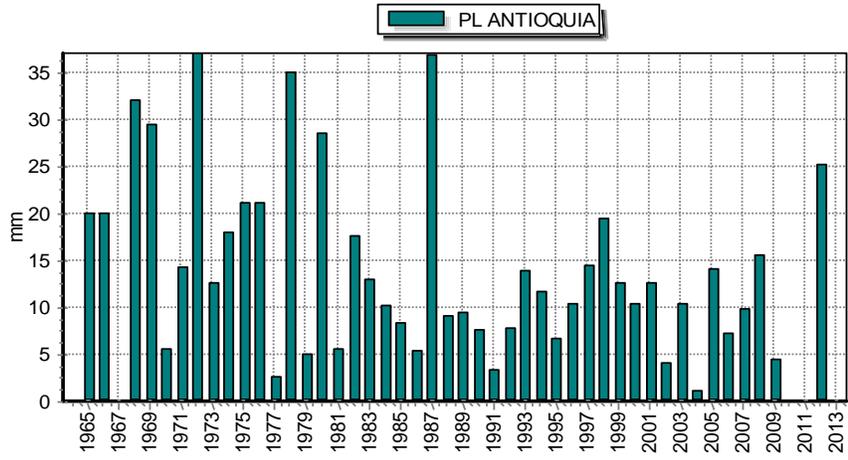
ESTACIÓN PLUVIOMÉTRICA HUAROCHIRÍ												
Año	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1964	11	16.5	21	8	2	0	0	0	0	3.9	8.8	8.8
1965	34	15.2	18	0	0	0	0	0	6.4	0	0	7.6
1966	14.6	18.5	18	5.3	2.4	0	0	0	0	12	6.8	6.2
1967	9.8	13	21.4	6.4	6.2	0	0	0	3.7	7.6	7.8	2.8
1968	9.8	8.8	6.8	5.6	8.8	0	0	0	0	3.8	3.4	3.8
1969	6.5	8.6	17.2	9.8	0	0	0	0	0	3.6	9.6	10.8
1970	14.8	9.2	9.3	9.8	6.6	0	0	0	6.2	6.2	2.6	4.6
1971	6.8	8.8	14.6	6.3	0	0	0	0	0	0.4	0	6.8
1972	10.2	10.2	14.6	6.6	2	0	0	0	0	3.6	3	6.2
1973	10.8	6.2	8.2	19	0	0	0	2.6	5.8	3.2	0	4.6
1974	5.2	8.4	13.6	7.6	0	0	0	0	2	0	2.8	4
1975	6.8	5.8	9.8	9.8	5.6	3.6	0	0	2.8	0	3.8	8.2
1976	10.2	6.2	6.2	5.2	0	0	0	0	0	0	1	2.6
1977	6.4	8.2	13.4	2.2	0	0	0	0	0	0	5.2	2.6
1978	5.8	8.8	7	6.2	0	0	0	0	2	1	1.2	10.7
1979	5.6	7.8	10.2	10	0	0	0	0	0	1.2	0	2.6
1980	25.5	3.2	8.6		0	0	0	0	2.2	5	0	0
1981				5								
1982												
1983												
1984												0
1985	3.6	10.2	7.2	8.4	2.8	0	0	0	0	0	2	3.6
1986	11.4	10.2	5	8.2	8.8	0	0	0	0	0	4.2	0
1987	9.6	8.6	2.8	6.2	0	0	0	0	0	1.6	1.6	3
1988	7.8	11	8.6	10	12	0	0	0	0	2.4	0	10.8
1989	13.6	10.1	19.4									1.9
1990	9.4	0	6.3	0	0	0	0	0	0	4.4	6	7.3
1991	6.7	2.4	12.5	2	0		0.8	1.5	2.6	3.9	1.8	5.5
1992	12.4	8.4	2.5	1.5	0	0	0	0	0	2.5	4.7	2.9
1993	13.4	9.3	13.1	6.5	3.9	0	0	0	1.5	3.5	9	
1994	15.5	15.3	8.5	2.5	1.5		0	0.1	1.5	1.5	1.5	5.1
1995	15	10.5	27.7	5	0	0	0	0	3.9	6.2	14	21.7
1996	20.6	20.7	19	4	0.8		0	3.5	0	2.3	9.5	9.1
1997	13	8.5	5.2	7.6	2	0	0	0	3.5	2.2	13	22.5
1998	23	38.6	31	23	1.5	0.8	0	0.6	1.8	0.4	4.8	24.6
1999	12.6	40	21.5	8.8	3.5	1.8	0	0	4.8	11	4.4	18.2
2000	18.6	25.5	27.5	19	0.8	0	0	0	1.5	10	6.8	22.3
2001	24.8	18.2	20.1		2.6	0	2.5	0	4.2	6.6	22	5.8
2002	12.4	18.6		11	4.3	0	0	0	3.8	8.2	15	8.8
2003	19.5	12.6	23	3.2	0	0	0	0	0	2.6	1.3	25.1
2004	7	23.9	29.6	7.4	0.6	1.8	0	0	3	2.9	8	26.1
2005	12.6	14.7	14.2	8.4	1.6	0	0	0	1.2	0	0	17.3
2006	15.2	24.4	18.6	13	0	1.2	0	1.2	1.5	1.8	8.6	20.4
2007	23.5	20.6	28.2	19	3.2	1.6	0	0	0	7.7	7.2	6.8
2008	20.4	24.3	13.4	9	0	0	0	2.8	0	3.6	7.8	8
2009	14.6	38.5	24.5	21	0	0	0	0	0.2	17	13	6.8
2010	23.5	29.3	20.4	8.6	0.3	0	0	0	5.2	2.4	8.5	16.2
2011	19.8	13.1	21.6	0	0	0	0.6	0	0.2	1.6	7.4	8.5
2012	7.5	24.3		13	4	0.5	0	0	8.2	7.8	16	10.1
2013	9.2	22.5	15.5	4.5	3	0	1.2	1.3	0	4.3	3.6	7.1
2014	16.6	14.2	20.4	7.8	0.4	0	0	1.1	0			

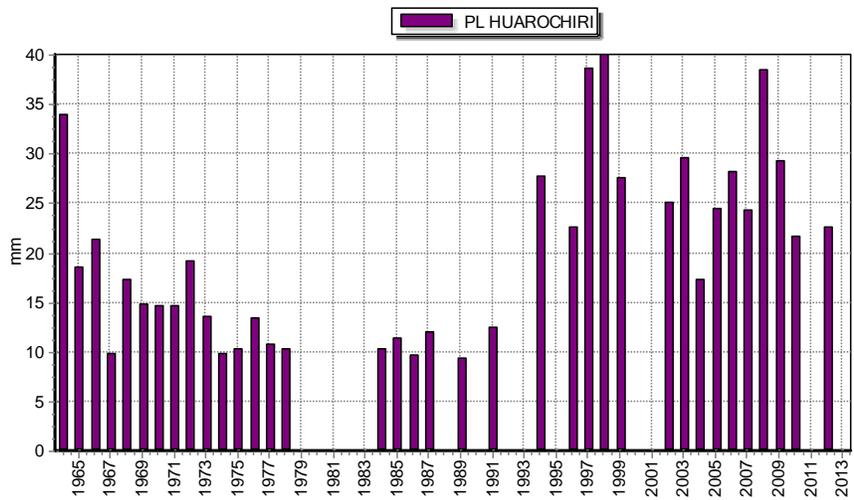
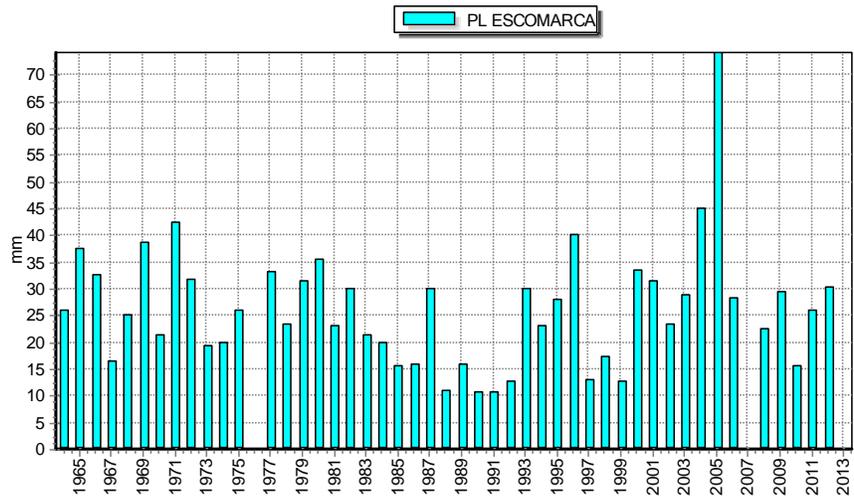
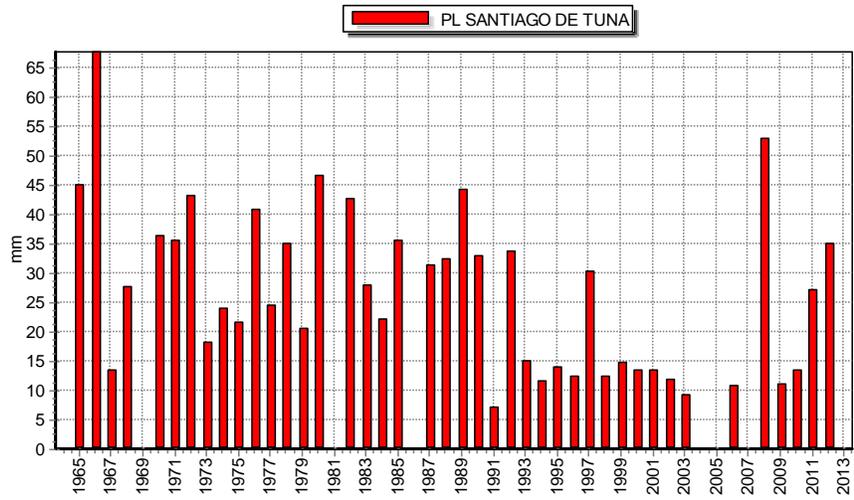
ESTACIÓN PLUVIOMÉTRICA SAN JOSÉ DE PARAC												
Año	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1965			16	8.7	0.6	0.1	4.2	0	1.1			14.3
1966	12.7	13.6	12.1		0	0	0	0	5.4	9	6	10.4
1967	14.4	14	10.2	2	0.5	0	2	0	0	24	8.3	2.4
1968	10	8	8	2	0	0	0	0	0	8	2	12
1969	10	22	15	6	0	0	0	0	0	7	15	6
1970												
1971												
1972												
1973												
1974												
1975												
1976												
1977												
1978												
1979												
1980		8	12.1	9.2	6.7	3.4		0	1.3	14	17	8.6
1981	38.3	14.7	23.3	6	0	0	0	8.1	10	15	9.2	26.3
1982	15.1	22.6	20.1	16	0	0	2.4	0.8	4.3	12	16	8.3
1983	16.2	23.2	20.2	11	5.3	5.4	0	0	11	7.2	13	16.7
1984	15.5	23.6	24.8	8.9	6.4	6.8	0	3.4	2.1	9.6	15	17.5
1985	11.5	24.3	21.7	8.6	6.4	5.3	0	5.9	11	6.8	8.9	15.3
1986	23.8	21.7	16.3	11	9.5	0	7.5	6.8	5.4	5.4	16	25.8
1987	12.1	20.6	14.1	9.8	5	0	1.8	5.9	6.4	4.1	17	13.5
1988	19.1	14.6	9.7	12	5.9	0	0	0.9	6.8	11	8.6	13.3
1989	15	15.3	15.8	5.4	4.4	4.3	0	1.3	6.6	9.9	11	5.8
1990	13.1	5.9	8.2	7.4	8.7	13	0.4	0.7	3.1	6.9	5.9	9.6
1991	6.2	9.4	14.7	6.9	2.7	1.1	1	0	6	6.9	6.6	4.9
1992	3.3	7.5	6.7	7	1.2	0.1	0	0.6	0	7.4	4.3	10.2
1993	13	13.5	20.6	6.2	2.3	0	0.6	0	5.7	8.6	18	14.1
1994	13.9	24.9	23.7	8.2	15	2.9	1.1	6.7	5.8	4.9	10	19.1
1995	14.1	7.1	13	6.2	1.7	0.7	0	1.7	3.4	7.4	9.1	21.6
1996	13.7	22.1	12.8	14	1.2	0.5	0.7	0.6	3.2	6.5	12	8.7
1997	13	12.3	11.4	4.6	1.1	0	0	3.4	17	9.8	11	14.6
1998	12.9	14.1	24.6	11	0	1.9	0.7	0.4	12	9.1	14	15.5
1999	13.3	31.7	11.8	12	8	1.7	0	1.4	11	15	13	18.3
2000	17	20	25.2	2.1	5.9	0	1.7	5.9	3	8.2	9.6	12.1
2001	18.9	12.8	13.5	14	4.3	0	0.6	0.9	9.2	11	24	8.3
2002	17.4	22	17.3	10	6.6	2.6	0.6	0	8.4	13	9.7	14.6
2003	23.1	12.6	16.1	15	1.3	0	0	0	1.2	18	2.6	19.4
2004	8.7	13.7	9.8	9.1	6.7	5.3	1.3	1.4	3.3	9.8	15	19.2
2005	21.9	12.8	14.6	6.3	0.7	0	0	0.3	1.6	3.7	4.3	13.6
2006	23	12.2	14.5	11	0.9	2.7	0	1.1	2.8	7.4	15	15.4
2007	12.8	17.2	22.8	9.9	0.7	0	0	1.8	1.5	10	4.8	11.1
2008	14.7	14.8	16.9	5.1	0.3	0	0	2.4	1.9	11	7.3	14.9
2009	17.6	21.6	20.4	8.9	7.8	0	7.2	2.6	3.9	25	16	21.2
2010	22.8	18.4	15	7.4	4.9	0.9	1.9	2.3	12	7.8	8	15.8
2011	24.7	18	19	14	11	0	0	1.7	6.3	7.5	12	14.6
2012	18.1	20	15.1	20	1.1	0	2.5	0	5.8	12	8.7	19
2013	13.1	17.8	18.4	13	9.4	0.8	0.8	8.4	2.4	7.5	11	9.4
2014	11.9	13.5	18	4.8	4.1	0	1.9	14	6.1			

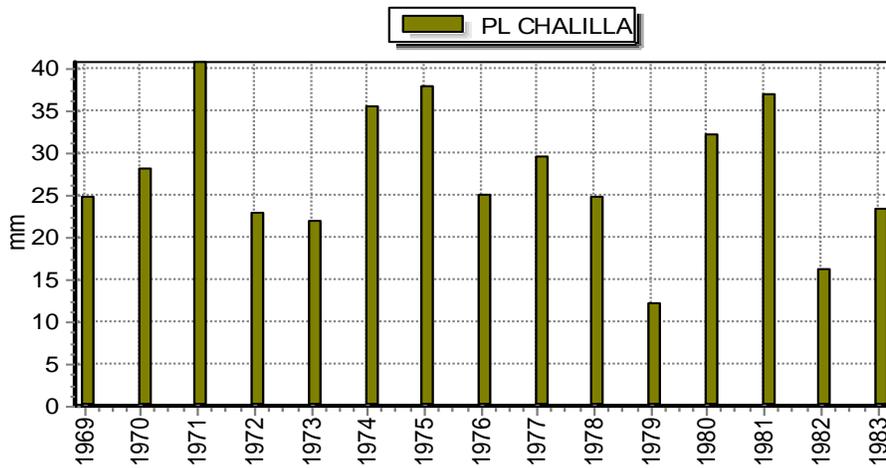
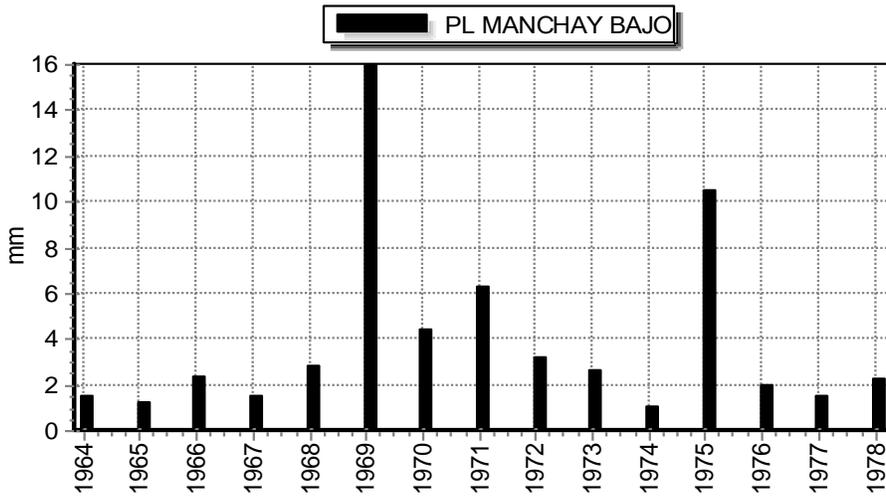
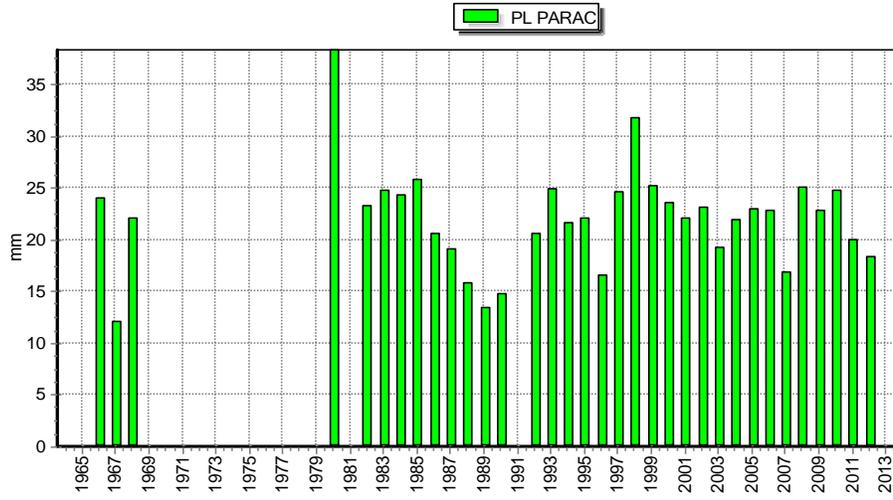
ESTACIÓN PLUVIOMÉTRICA MANCHAY BAJO												
Año	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1964	0	0	0	0			0	0	0	0.5	1	0.6
1965	0.1	0	0	0	1.2	0.5	0	1.5	1.2	0.6	0.5	1.4
1966	0.3	2.1	0.3	0	0	0.6	1	0.6	1.1	1	1.2	0.5
1967	0	0	0	0	0	0.4	0.5	0.7	1.5	0.3	0.1	2.3
1968	2	0	0.6	0.4	0	0	0.3	0.5	1.5	1.4	0.1	0
1969	16	1.7	0	0	2.8	1.1	0.8	1.6	1.4	0.7	1.3	1.3
1970	1.1	0	1.4	0	0.2	0.5	3.8	0.5	1.2	0.1	0.6	0
1971	0	0.3	1.2	0.4	0.2	1.4	0.6	4.4	1.2	0.8	0.5	0
1972	3.2	0.9	0.3	0	0.5	0.4	2	6.3	2.2	0.7	1.9	1.4
1973	0	1.6	0	1.8	0	0.5	0.6	0.2	0.6	0	0.6	1.1
1974	0.2	0	0.3	0	0.3	1.9	0.8	1.9	0.5	0.5	0	2.6
1975	0.3	1.3	0	0	1	0.5	0.6	1	0.5	0.4	0	0
1976	1.6	0	0	0	0.8	1	0.5	11	6.6	2.9	0.2	0.6
1977	0	0	1.5	0	0.4	0.8	2	0.8	2	0.6	1.2	0
1978	0	1	1	0	0.5	0.3	0.3	0.5	0.3	0	1	0
1979	0	0	0	0	0	0.8	0.7	2.2	0.6	0.9	0	1.2
1980								0.6	0.8	0.3		

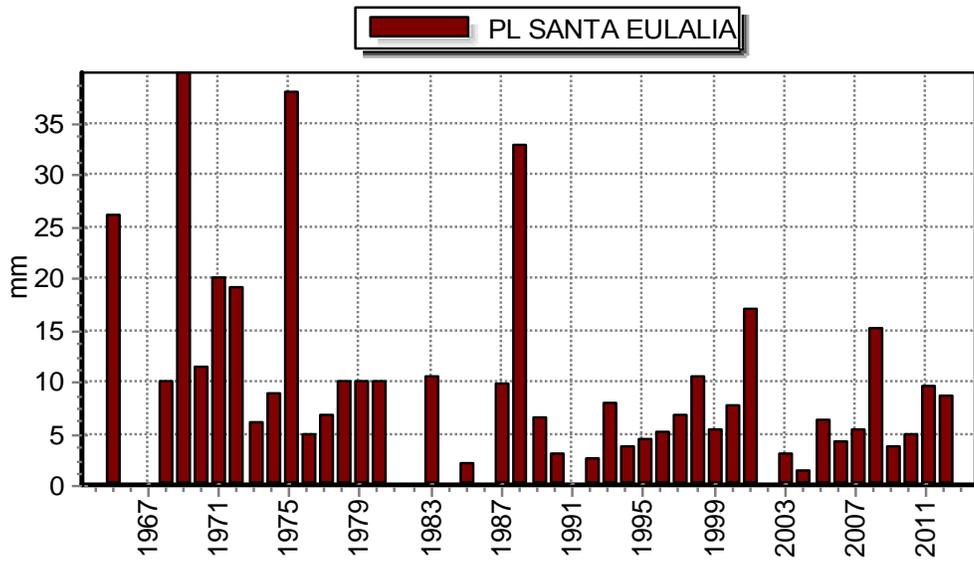
ESTACIÓN PLUVIOMÉTRICA CHALILLA												
Año	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1968		15.9	10.4	16								
1969	24.8	6.3	7.7	2	0	0	0	0	0	24	4.2	
1970	11.6	25.7	28.1	7	2.1	0	0	15	2.4	0.8	4	12.1
1971	25.7	21.4	27.3	8.6	3.1	0	0	1.4	0	4.5	4.2	5.3
1972	22.3	12.8	22.8	14	0	0	0	0	0.7	8.1	24	40.7
1973	19.1	17.1	22	3.5	3.9	0	0	1.3	7.9	6.1	3.9	8.7
1974	18.1	17.1	35.4	9.5	0	0	0	0	0	0	7.3	7.1
1975	5.6	37.8	20.6	0	0.2	0.2	0	0	0.2	0.6	10	10.6
1976	2.9	25	12.8	0	0	0	0	0	0	0	0	17.3
1977	29.6	3.3	7.4	9.3	0	0	0	0	0	0	10	1.2
1978	19.1	15.5	24.7	0	0	0	0	0	0	0	0	14.6
1979	2.4	9.7	12.1	0	0	0	0.1	0	0	0	0	12.7
1980	12.7	8.7	32.2	8.1	0	0	0	0	3.1	0	11	8.2
1981	36.8	31.5	15.7	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1982	2	4.5	16.1	4.6	0	0	0	0	0	8.4	2.3	0
1983	14.1	23.3	21.8	16	0	0	0	0	0	0	0	2

ESTACIÓN PLUVIOMÉTRICA SANTA EULALIA												
Año	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1964				0.2								
1965	26	0.3	25	0.2	0.3	0	0	0	0	1.1	0.6	1.2
1966	11.7	29.8	26	0	1.5	0	0	0	0	11	0	0
1967					0	0	0	0	0.2	0.2		0.2
1968	6	2.4	10	0	0.5							
1969	39.8	5	10	0	0	0	0	0	0	0.2	0.9	5
1970	0	10	11.5	0	0	0	0	0	10	1.5	1.5	0
1971	6.8	10	20	0	0	0	0	0	0	0	0	3.6
1972	19.2	0	10.2	0	0	0	0	0	0	0	0	3
1973	3	3.5	6	0	0	0	0	0	2	0.5	0	5
1974	1.8	8.8	8	0	0	0	0	0	0	0	0	5
1975	3	38	5.6	0.2	0	0	0	0	0	0	2	3.5
1976	5	3.8	5	0	0	0	0	0	0	0	0	1.8
1977	5	0	6.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1978	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1979	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1980	0.8	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1981		5.2	2.5	1.7	0	0	0	0	0	0	0	0.8
1982	0		6	0	0	0	0	0	0	0	0	5.6
1983	0	10.5	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1984	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1985	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5
1986			0.5	0.4	0	0	0	2	0	0	0	2
1987	9.7	4.5	2.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1988	3	32.9	3.2	0	0	0	0	0	0	0	0	4
1989	3	0	6.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1990	0	1.5	3	0	0	0	0	0	0	0	1	3
1991	0	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1992	0.5	0.3	2.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1993	5.7	7.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1994	3.8	0	2.5	0.5	3.9	0	0	0	0.3	0	0	1
1995	3	4.5	2.9	0.2	0.4	0	0	0	0.2	0.7	1.3	0
1996	2.2	2.5	0.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5
1997	6	6.7	3.9	0	0	0.2	0	0	0	0.4	0.6	5.1
1998	3.7	10.5	0.5	0.3	0	0	0	0	0	0	0.2	2.2
1999	5.4	3.8	1.6	0	0	0	0	0	0.2	0.1	0	1.3
2000	5.8	7.6	3.7	1	0	0	0	0	0	0	0	0.3
2001	0.7	17	1.5	0.1	0	0	0	0	0	0.1	1	0
2002					0.3	0	0	0	0.2	0	0.2	0.5
2003	0	3.1	2.7	1.4			0	0	0	0	0	2.9
2004	0.7	1.5	0	0	0	0	0	0	0.5	0	0	1.8
2005	3.8	6.4	3.3	0.6	0	0	0	0	0	0	0	1.1
2006	2.1	2.8	1.7	4.1	0	0	0	0	0	0.2	0.5	2.5
2007	3.6	3.7	5.3	0	0	0	0	0	0	0	0.6	1
2008	3.7	15.2	4.8	0.8	0	0	0	0	0	0	0.7	0
2009	3.8	0.5	1.3	0	0	0	0	0	0	0.9	0.6	1
2010	5	4.2	1.5	0.8	0	0	0	0	0.4	0.6	0	1.7
2011	0	9.5	3.1	5.5	0	0	0	0	0	0	2.5	3.8
2012	0	3.5	1	0	0.5	0	0	0	0	1.4	0.5	1.5
2013	3.5	2.6	1.4	0.6	0.5	0	0	0	0	0	0	8.5
2014	11.9	13.5	18	4.8	0	0	0	0	0			









ANEXO 2: Test de Bondad Smirnov-Kolmogorov con HYDROGNOMON

ESTACIÓN ANTIOQUÍA

Kolmogorov-Smirnov test	a=1%	a=5%	a=10%	Attained a	DMax
Normal	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	33.44%	0.1393
LogNormal	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	79.59%	0.09503
Pearson III	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	91.85%	0.07193
Log Pearson III	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	73.40%	0.10081
Gumbel	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	97.97%	0.06867

ESTACIÓN LANGA

Kolmogorov-Smirnov test	a=1%	a=5%	a=10%	Attained a	DMax
Normal	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	62.57%	0.12979
LogNormal	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	96.63%	0.0833
Pearson III	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	94.26%	0.07736
Log Pearson III	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	83.42%	0.10622
Gumbel	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	99.51%	0.06872

ESTACIÓN MATUCANA

Kolmogorov-Smirnov test	a=1%	a=5%	a=10%	Attained a	DMax
Normal	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	60.36%	0.1096
LogNormal	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	82.93%	0.0975
Pearson III	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	76.82%	0.0761
Log Pearson III	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	66.41%	0.1142
Gumbel	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	95.61%	0.0653

ESTACIÓN SANTIAGO DE TUNA

Kolmogorov-Smirnov test	a=1%	a=5%	a=10%	Attained a	DMax
Normal	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	45.04%	0.129
LogNormal	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	24.95%	0.15336
Pearson III	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	73.73%	0.10051
Log Pearson III	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	48.52%	0.12552
Gumbel	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	42.22%	0.13193

ESTACIÓN ESCOMARCA

Kolmogorov-Smirnov test	a=1%	a=5%	a=10%	Attained a	DMax
Normal	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	79.17%	0.09397
LogNormal	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	90.16%	0.08224
Pearson III	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	56.40%	0.11404
Log Pearson III	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	91.85%	0.07997
Gumbel	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	96.60%	0.07159

ESTACIÓN HUAROCHIRI

Kolmogorov-Smirnov test	a=1%	a=5%	a=10%	Attained a	DMax
Normal	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	42.10%	0.14199
LogNormal	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	77.04%	0.10596
Pearson III	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	68.87%	0.11424
Log Pearson III	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	86.85%	0.09479
Gumbel	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	90.67%	0.07246

ESTACIÓN SAN JOSÉ DE PARAC

Kolmogorov-Smirnov test	a=1%	a=5%	a=10%	Attained a	DMax
Normal	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	42.66%	0.14476
LogNormal	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	48.53%	0.13805
Pearson III	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	70.15%	0.10417
Log Pearson III	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	28.22%	0.1641
Gumbel	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	58.72%	0.12332

ESTACIÓN MANCHAY BAJO

Kolmogorov-Smirnov test	a=1%	a=5%	a=10%	Attained a	DMax
Normal	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	20.44%	0.25759
LogNormal	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	96.52%	0.1105
Pearson III	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	61.78%	0.17702
Log Pearson III	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	90.86%	0.12058
Gumbel	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	51.62%	0.19296

ESTACIÓN CHALILLA

Kolmogorov-Smirnov test	a=1%	a=5%	a=10%	Attained a	DMax
Normal	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	93.39%	0.11103
LogNormal	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	91.74%	0.11814
Pearson III	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	90.39%	0.12803
Log Pearson III	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	81.55%	0.14576
Gumbel	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	97.98%	0.10339

ESTACIÓN SANTA EULALIA

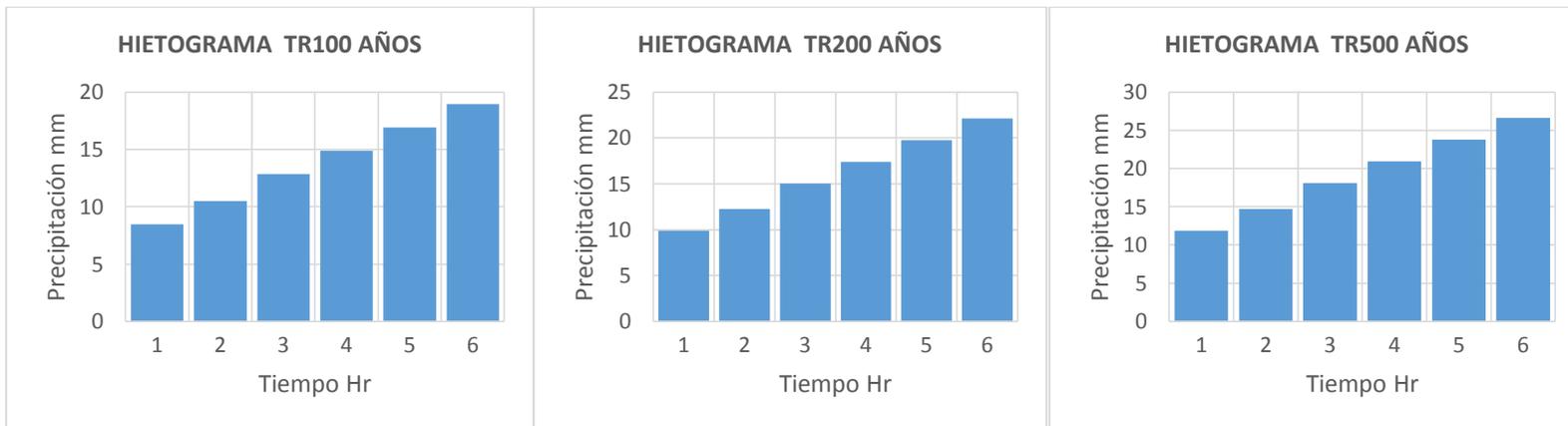
Kolmogorov-Smirnov test	a=1%	a=5%	a=10%	Attained a	DMax
Normal	REJECT	REJECT	REJECT	0.96%	0.25516
LogNormal	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	71.32%	0.10733
Pearson III	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	53.88%	0.12385
Log Pearson III	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	85.66%	0.09261
Gumbel	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	11.86%	0.18476

ANEXO 3: Hietogramas de las Subcuencas

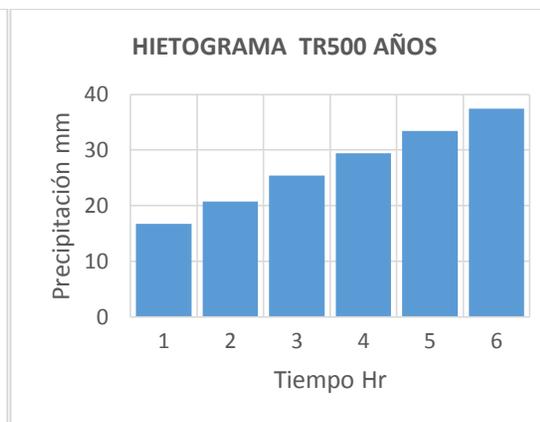
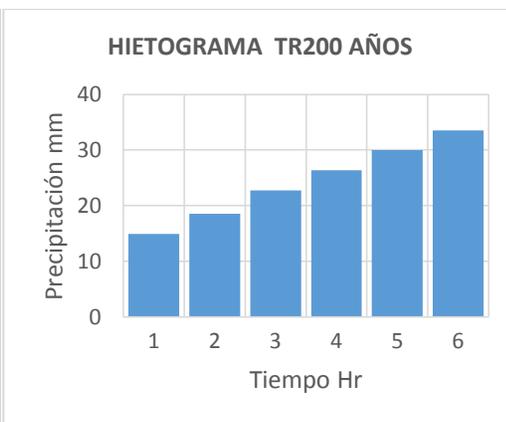
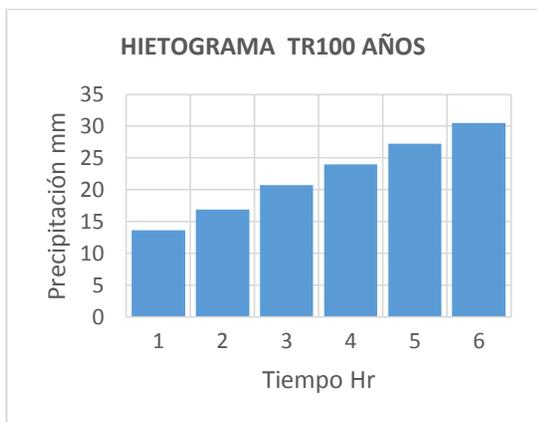
SUBCUENCA W440



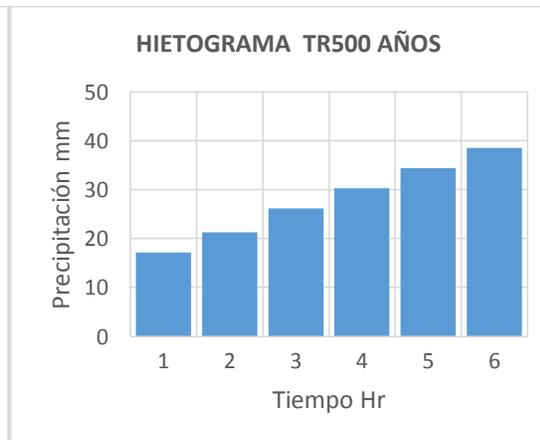
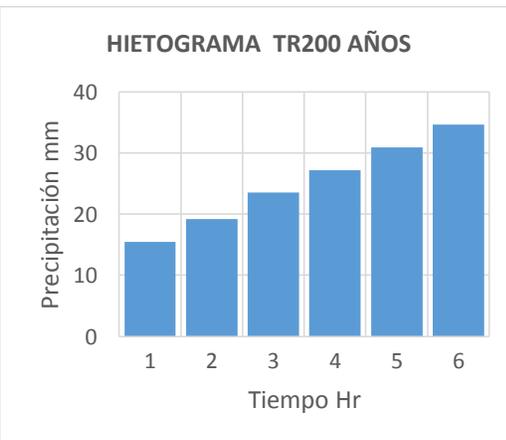
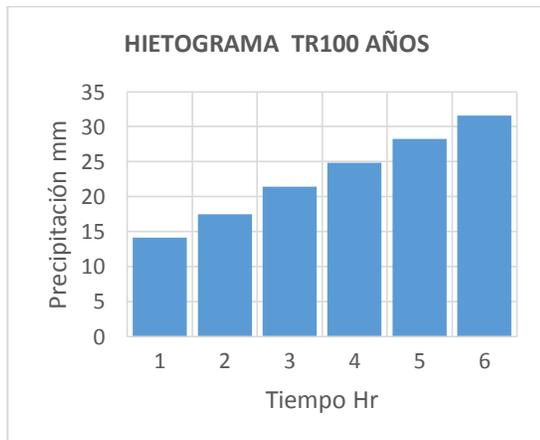
SUBCUENCA W280



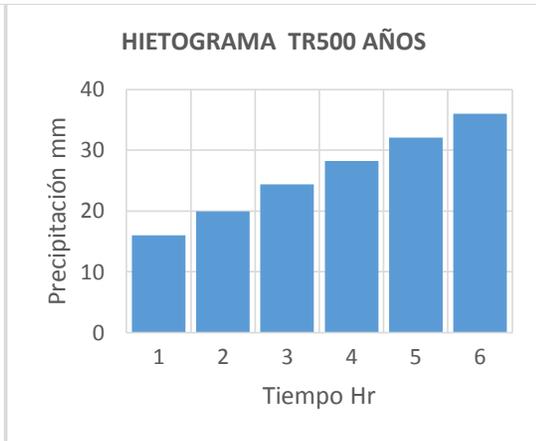
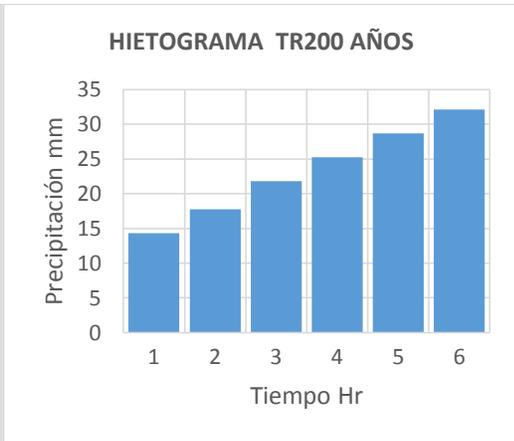
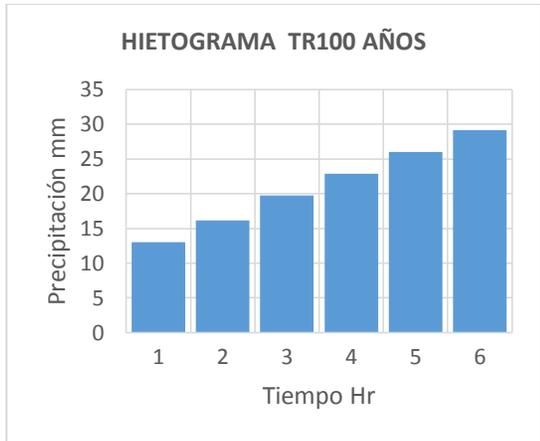
SUBCUENCA W330



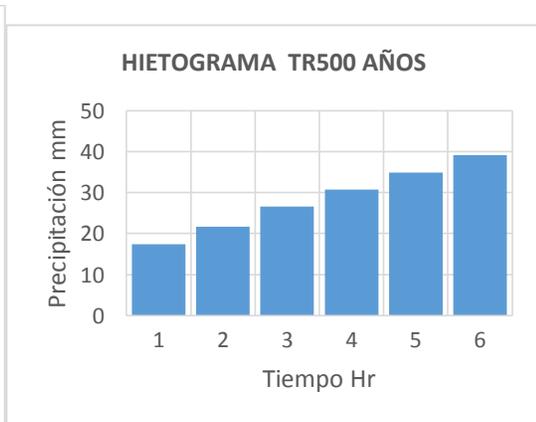
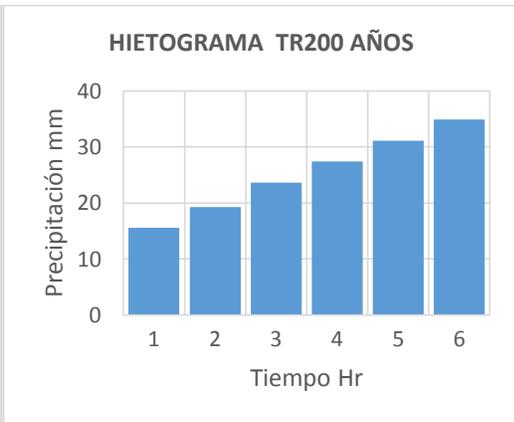
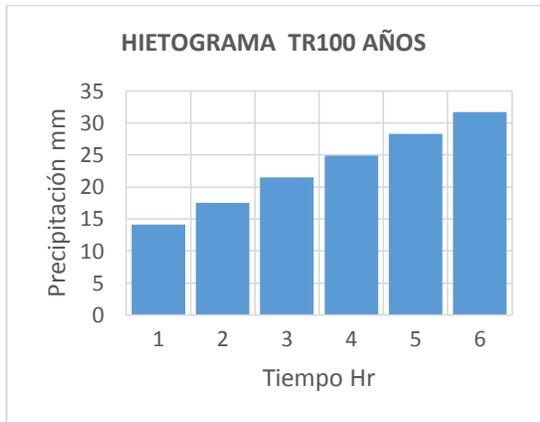
SUBCUENCA W290



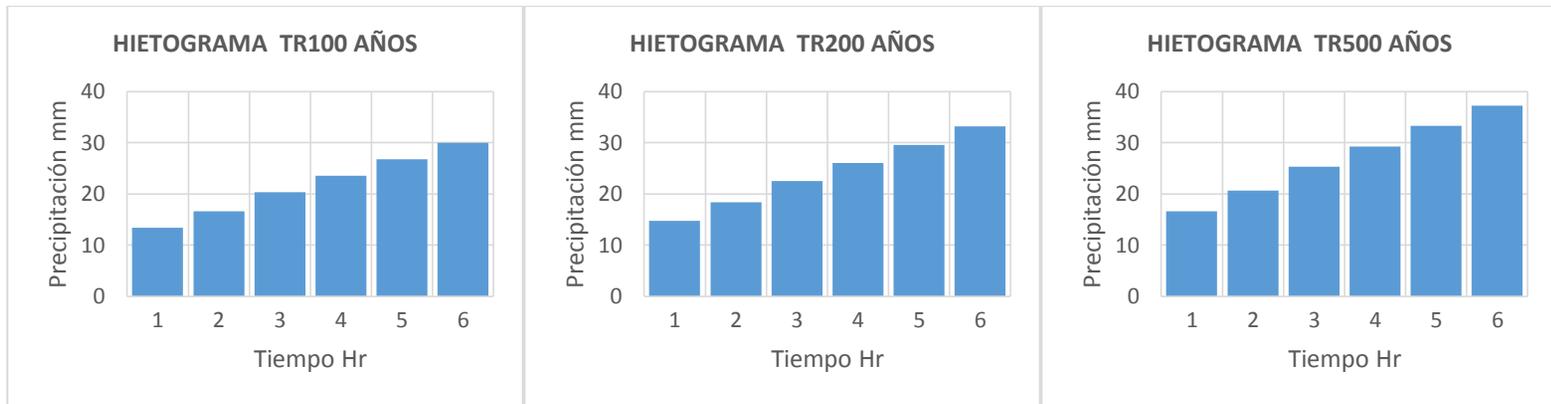
SUBCUENCA W420



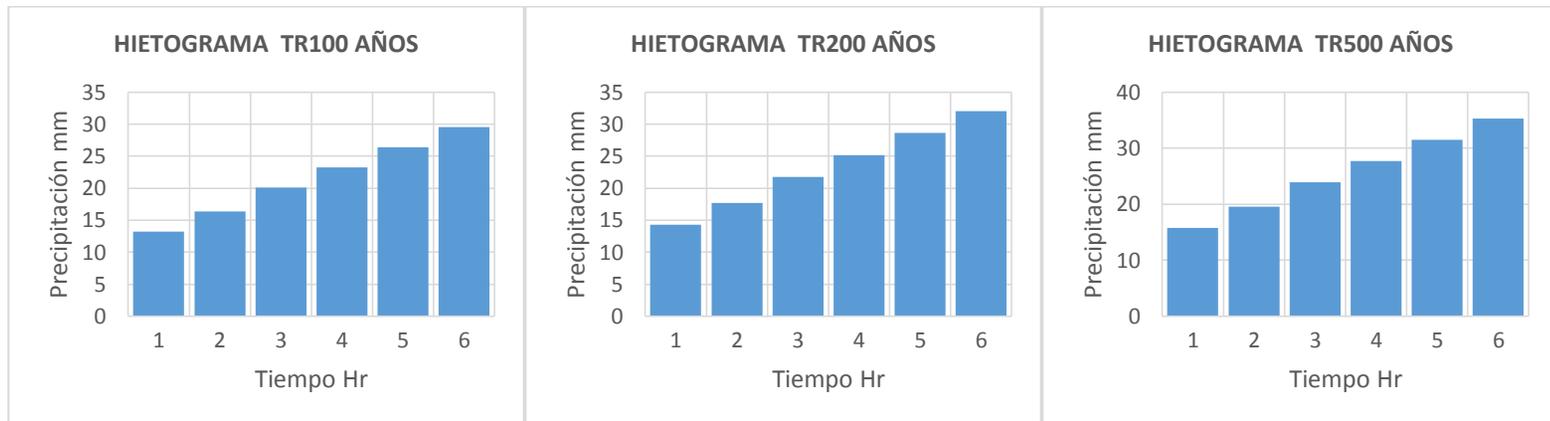
SUBCUENCA W370



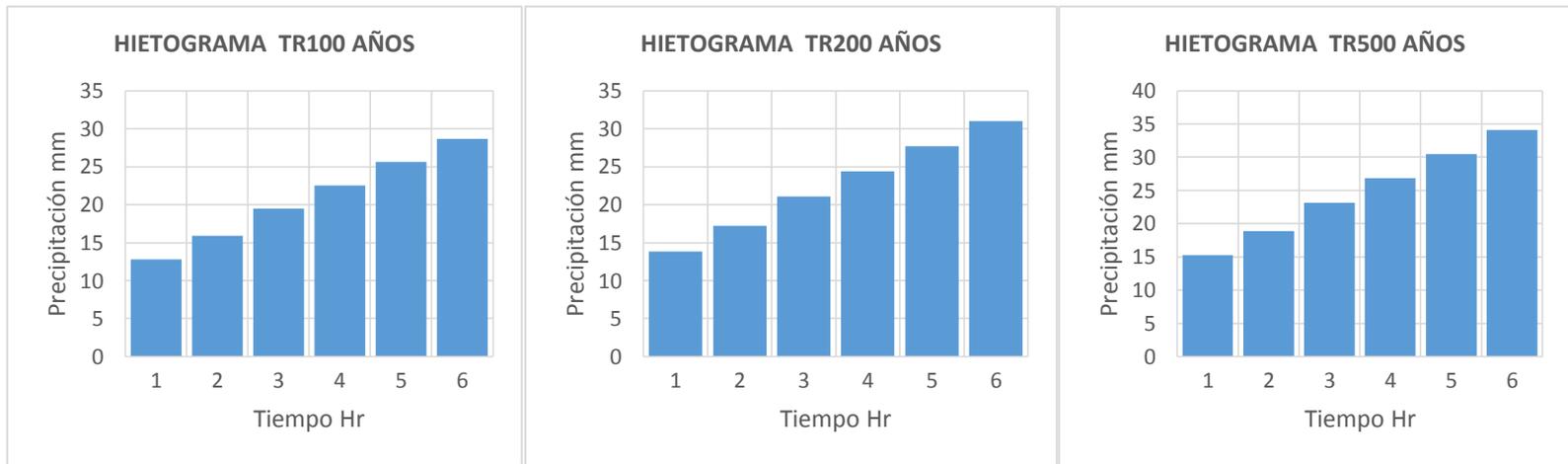
SUBCUENCA W410



SUBCUENCA W250

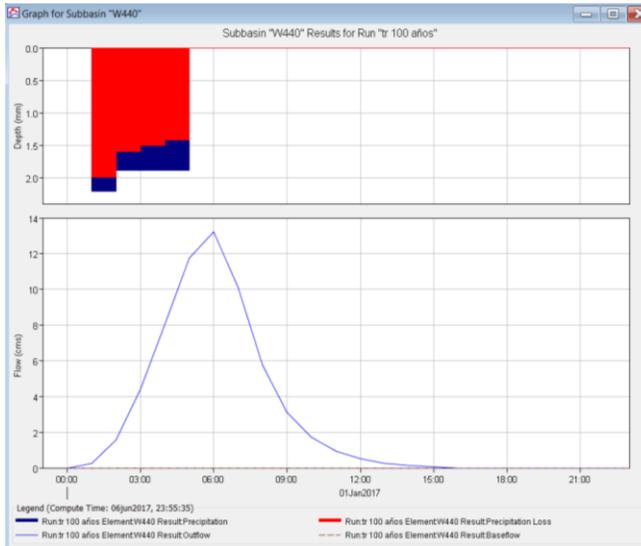


SUBCUENCA W240



ANEXO 4: Hidrogramas de las Subcuencas en HEC-HMS

SUBCUENCA W440

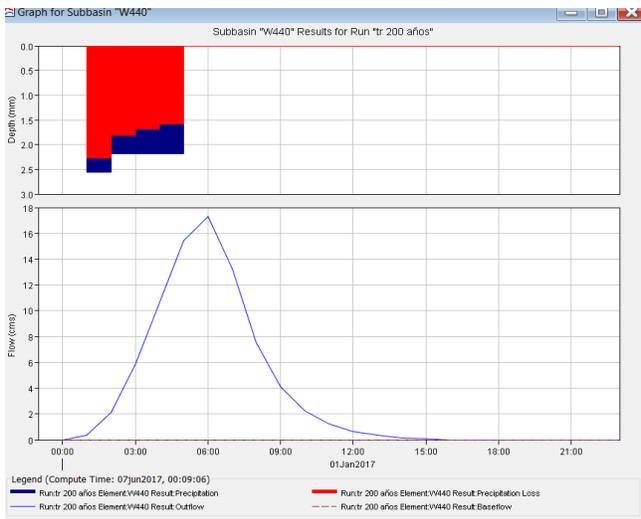


Time-Series Results for Subbasin "W440"

Project: modelo_cuenca Simulation Run: tr 100 años
Subbasin: W440

Start of Run: 01ene2017, 00:00 Basin Model: modelo_cuenca
End of Run: 01ene2017, 23:00 Meteorologic Model: modelo_cuenca
Compute Time: 06Jun2017, 23:55:35 Control Specifications: modelo_hidrologico_control

Date	Time	Precip (MM)	Loss (MM)	Excess (MM)	Direct Flow (M3/S)	Baseflow (M3/S)	Total Flow (M3/S)
01ene2017	00:00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
01ene2017	01:00	1,89	1,83	0,06	0,2	0,0	0,2
01ene2017	02:00	2,20	1,99	0,21	1,6	0,0	1,6
01ene2017	03:00	1,89	1,60	0,29	4,4	0,0	4,4
01ene2017	04:00	1,89	1,50	0,38	8,0	0,0	8,0
01ene2017	05:00	1,89	1,42	0,47	11,8	0,0	11,8
01ene2017	06:00	0,00	0,00	0,00	13,2	0,0	13,2
01ene2017	07:00	0,00	0,00	0,00	10,1	0,0	10,1
01ene2017	08:00	0,00	0,00	0,00	5,8	0,0	5,8
01ene2017	09:00	0,00	0,00	0,00	3,1	0,0	3,1
01ene2017	10:00	0,00	0,00	0,00	1,7	0,0	1,7
01ene2017	11:00	0,00	0,00	0,00	0,9	0,0	0,9
01ene2017	12:00	0,00	0,00	0,00	0,5	0,0	0,5
01ene2017	13:00	0,00	0,00	0,00	0,3	0,0	0,3
01ene2017	14:00	0,00	0,00	0,00	0,1	0,0	0,1
01ene2017	15:00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0
01ene2017	16:00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0
01ene2017	17:00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0
01ene2017	18:00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0
01ene2017	19:00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0
01ene2017	20:00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0
01ene2017	21:00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0
01ene2017	22:00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0
01ene2017	23:00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0

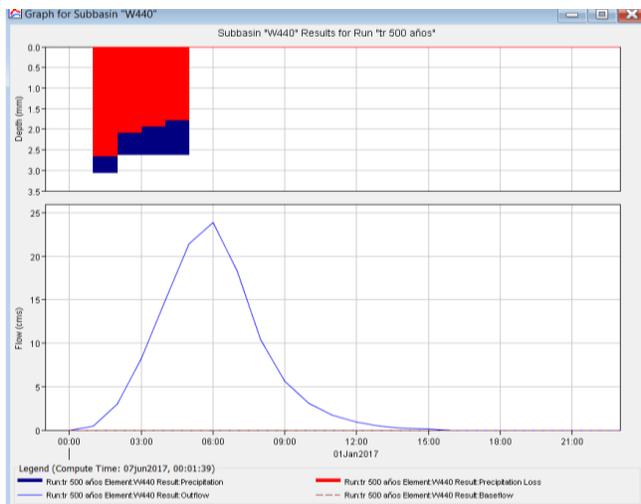


Time-Series Results for Subbasin "W440"

Project: modelo_cuenca Simulation Run: tr 200 años
Subbasin: W440

Start of Run: 01ene2017, 00:00 Basin Model: modelo_cuenca
End of Run: 01ene2017, 23:00 Meteorologic Model: modelo_cuenca
Compute Time: 07Jun2017, 00:09:06 Control Specifications: modelo_hidrologico_control

Date	Time	Precip (MM)	Loss (MM)	Excess (MM)	Direct Flow (M3/S)	Baseflow (M3/S)	Total Flow (M3/S)
01ene2017	00:00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
01ene2017	01:00	2,19	2,11	0,08	0,3	0,0	0,3
01ene2017	02:00	2,55	2,27	0,28	2,1	0,0	2,1
01ene2017	03:00	2,19	1,80	0,39	5,9	0,0	5,9
01ene2017	04:00	2,19	1,68	0,50	10,6	0,0	10,6
01ene2017	05:00	2,19	1,58	0,61	15,4	0,0	15,4
01ene2017	06:00	0,00	0,00	0,00	17,3	0,0	17,3
01ene2017	07:00	0,00	0,00	0,00	13,2	0,0	13,2
01ene2017	08:00	0,00	0,00	0,00	7,5	0,0	7,5
01ene2017	09:00	0,00	0,00	0,00	4,1	0,0	4,1
01ene2017	10:00	0,00	0,00	0,00	2,2	0,0	2,2
01ene2017	11:00	0,00	0,00	0,00	1,2	0,0	1,2
01ene2017	12:00	0,00	0,00	0,00	0,7	0,0	0,7
01ene2017	13:00	0,00	0,00	0,00	0,3	0,0	0,3
01ene2017	14:00	0,00	0,00	0,00	0,2	0,0	0,2
01ene2017	15:00	0,00	0,00	0,00	0,1	0,0	0,1
01ene2017	16:00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0
01ene2017	17:00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0
01ene2017	18:00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0
01ene2017	19:00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0
01ene2017	20:00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0
01ene2017	21:00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0
01ene2017	22:00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0
01ene2017	23:00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0



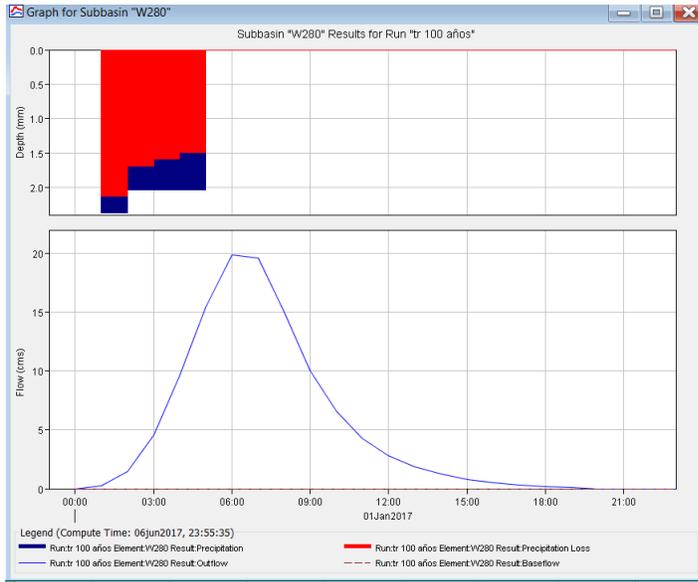
Time-Series Results for Subbasin "W440"

Project: modelo_cuenca Simulation Run: tr 500 años
Subbasin: W440

Start of Run: 01ene2017, 00:00 Basin Model: modelo_cuenca
End of Run: 01ene2017, 23:00 Meteorologic Model: modelo_cuenca
Compute Time: 07Jun2017, 00:01:39 Control Specifications: modelo_hidrologico_control

Date	Time	Precip (MM)	Loss (MM)	Excess (MM)	Direct Flow (M3/S)	Baseflow (M3/S)	Total Flow (M3/S)
01ene2017	00:00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
01ene2017	01:00	2,62	2,50	0,11	0,5	0,0	0,5
01ene2017	02:00	3,06	2,66	0,40	3,0	0,0	3,0
01ene2017	03:00	2,62	2,08	0,54	8,3	0,0	8,3
01ene2017	04:00	2,62	1,92	0,70	14,8	0,0	14,8
01ene2017	05:00	2,62	1,78	0,84	21,4	0,0	21,4
01ene2017	06:00	0,00	0,00	0,00	23,9	0,0	23,9
01ene2017	07:00	0,00	0,00	0,00	18,3	0,0	18,3
01ene2017	08:00	0,00	0,00	0,00	10,4	0,0	10,4
01ene2017	09:00	0,00	0,00	0,00	5,7	0,0	5,7
01ene2017	10:00	0,00	0,00	0,00	3,1	0,0	3,1
01ene2017	11:00	0,00	0,00	0,00	1,7	0,0	1,7
01ene2017	12:00	0,00	0,00	0,00	0,9	0,0	0,9
01ene2017	13:00	0,00	0,00	0,00	0,5	0,0	0,5
01ene2017	14:00	0,00	0,00	0,00	0,2	0,0	0,2
01ene2017	15:00	0,00	0,00	0,00	0,1	0,0	0,1
01ene2017	16:00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0
01ene2017	17:00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0
01ene2017	18:00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0
01ene2017	19:00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0
01ene2017	20:00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0
01ene2017	21:00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0
01ene2017	22:00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0
01ene2017	23:00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0

SUBCUENCA W280

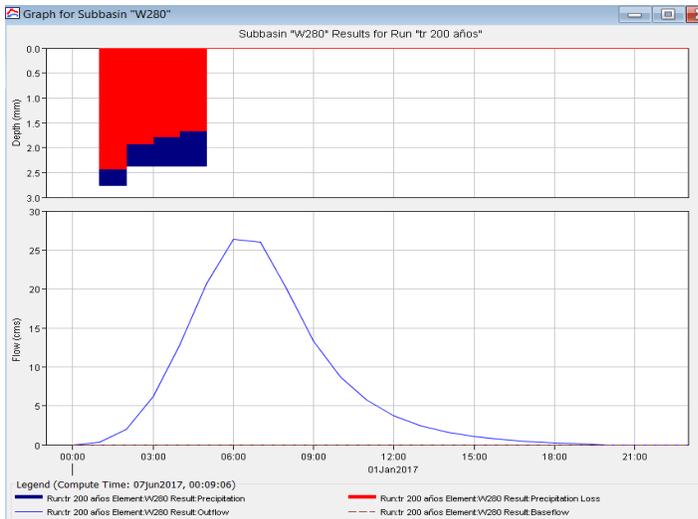


Time-Series Results for Subbasin "W280"

Project: modelo_cuenca Simulation Run:tr 100 años
Subbasin: W280

Start of Run: 01ene2017, 00:00 Basin Model: modelo_cuenca
End of Run: 01ene2017, 23:00 Meteorologic Model: modelo_cuenca
Compute Time:06Jun2017, 23:55:35 Control Specifications:modelo_hidrologica_control

Date	Time	Precp (MM)	Loss (MM)	Excess (MM)	Direct Flow (M3/S)	Baseflow (M3/S)	Total Flow (M3/S)
01ene2017	00:00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
01ene2017	01:00	2.03	1.96	0.07	0.2	0.0	0.2
01ene2017	02:00	2.37	2.12	0.25	1.4	0.0	1.4
01ene2017	03:00	2.03	1.69	0.34	4.6	0.0	4.6
01ene2017	04:00	2.03	1.59	0.44	9.5	0.0	9.5
01ene2017	05:00	2.03	1.49	0.54	15.4	0.0	15.4
01ene2017	06:00	0.00	0.00	0.00	19.8	0.0	19.8
01ene2017	07:00	0.00	0.00	0.00	19.6	0.0	19.6
01ene2017	08:00	0.00	0.00	0.00	15.1	0.0	15.1
01ene2017	09:00	0.00	0.00	0.00	10.0	0.0	10.0
01ene2017	10:00	0.00	0.00	0.00	6.6	0.0	6.6
01ene2017	11:00	0.00	0.00	0.00	4.3	0.0	4.3
01ene2017	12:00	0.00	0.00	0.00	2.8	0.0	2.8
01ene2017	13:00	0.00	0.00	0.00	1.9	0.0	1.9
01ene2017	14:00	0.00	0.00	0.00	1.2	0.0	1.2
01ene2017	15:00	0.00	0.00	0.00	0.8	0.0	0.8
01ene2017	16:00	0.00	0.00	0.00	0.5	0.0	0.5
01ene2017	17:00	0.00	0.00	0.00	0.3	0.0	0.3
01ene2017	18:00	0.00	0.00	0.00	0.2	0.0	0.2
01ene2017	19:00	0.00	0.00	0.00	0.1	0.0	0.1
01ene2017	20:00	0.00	0.00	0.00	0.0	0.0	0.0
01ene2017	21:00	0.00	0.00	0.00	0.0	0.0	0.0
01ene2017	22:00	0.00	0.00	0.00	0.0	0.0	0.0
01ene2017	23:00	0.00	0.00	0.00	0.0	0.0	0.0

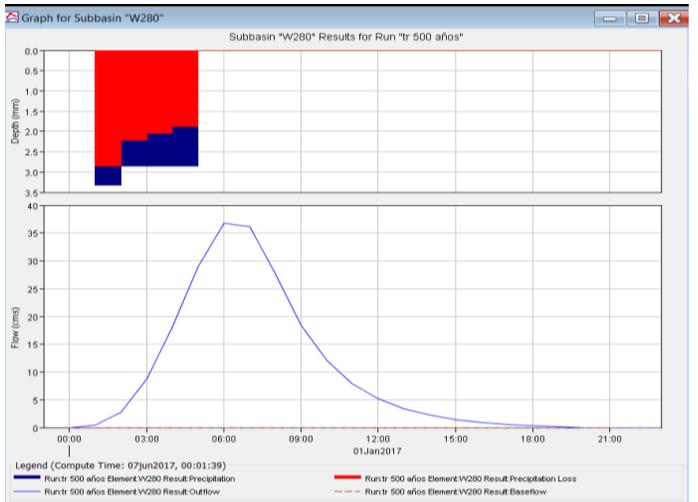


Time-Series Results for Subbasin "W280"

Project: modelo_cuenca Simulation Run:tr 200 años
Subbasin: W280

Start of Run: 01ene2017, 00:00 Basin Model: modelo_cuenca
End of Run: 01ene2017, 23:00 Meteorologic Model: modelo_cuenca
Compute Time:07Jun2017, 00:09:06 Control Specifications:modelo_hidrologica_control

Date	Time	Precp (MM)	Loss (MM)	Excess (MM)	Direct Flow (M3/S)	Baseflow (M3/S)	Total Flow (M3/S)
01ene2017	00:00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
01ene2017	01:00	2.37	2.28	0.09	0.3	0.0	0.3
01ene2017	02:00	2.77	2.44	0.33	2.0	0.0	2.0
01ene2017	03:00	2.37	1.92	0.45	6.2	0.0	6.2
01ene2017	04:00	2.37	1.79	0.59	12.8	0.0	12.8
01ene2017	05:00	2.37	1.66	0.71	20.6	0.0	20.6
01ene2017	06:00	0.00	0.00	0.00	26.4	0.0	26.4
01ene2017	07:00	0.00	0.00	0.00	26.0	0.0	26.0
01ene2017	08:00	0.00	0.00	0.00	20.0	0.0	20.0
01ene2017	09:00	0.00	0.00	0.00	13.3	0.0	13.3
01ene2017	10:00	0.00	0.00	0.00	8.7	0.0	8.7
01ene2017	11:00	0.00	0.00	0.00	5.7	0.0	5.7
01ene2017	12:00	0.00	0.00	0.00	3.7	0.0	3.7
01ene2017	13:00	0.00	0.00	0.00	2.5	0.0	2.5
01ene2017	14:00	0.00	0.00	0.00	1.6	0.0	1.6
01ene2017	15:00	0.00	0.00	0.00	1.1	0.0	1.1
01ene2017	16:00	0.00	0.00	0.00	0.7	0.0	0.7
01ene2017	17:00	0.00	0.00	0.00	0.4	0.0	0.4
01ene2017	18:00	0.00	0.00	0.00	0.2	0.0	0.2
01ene2017	19:00	0.00	0.00	0.00	0.1	0.0	0.1
01ene2017	20:00	0.00	0.00	0.00	0.0	0.0	0.0
01ene2017	21:00	0.00	0.00	0.00	0.0	0.0	0.0
01ene2017	22:00	0.00	0.00	0.00	0.0	0.0	0.0
01ene2017	23:00	0.00	0.00	0.00	0.0	0.0	0.0



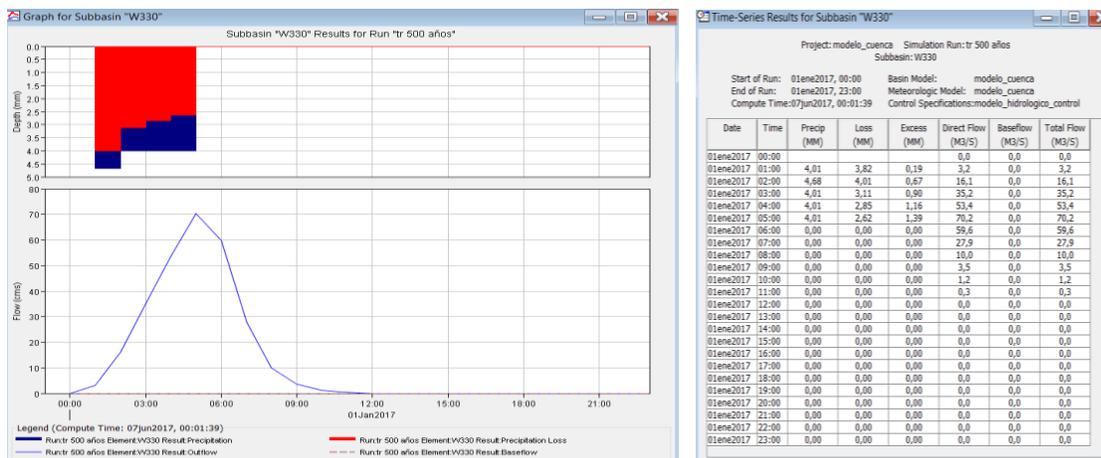
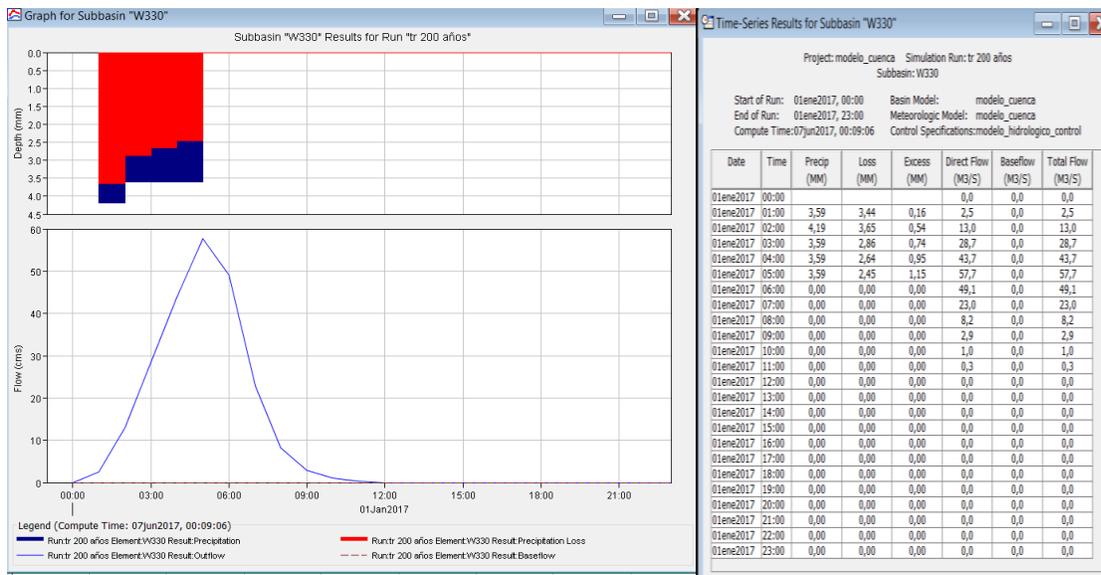
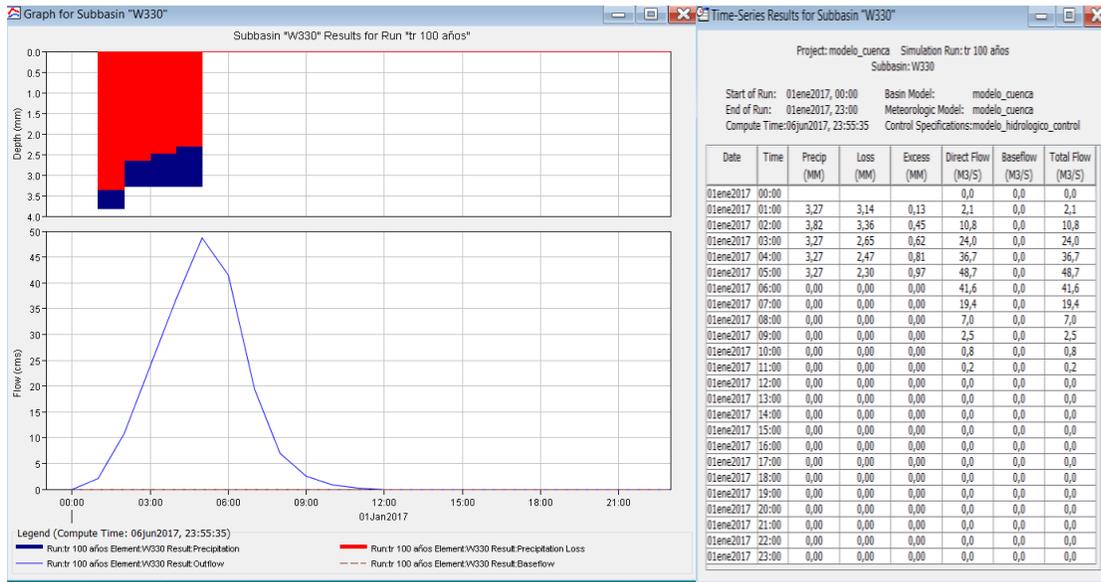
Time-Series Results for Subbasin "W280"

Project: modelo_cuenca Simulation Run:tr 500 años
Subbasin: W280

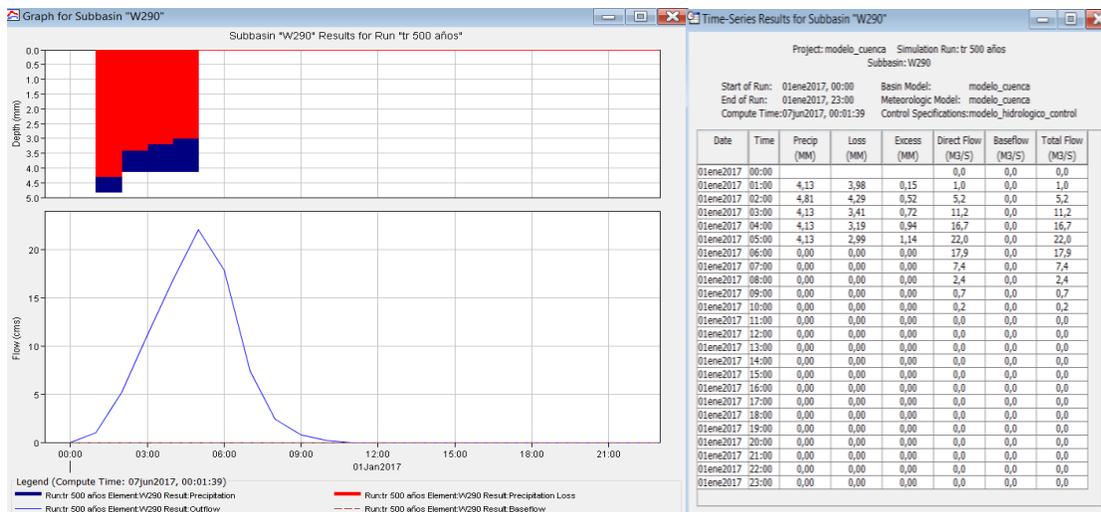
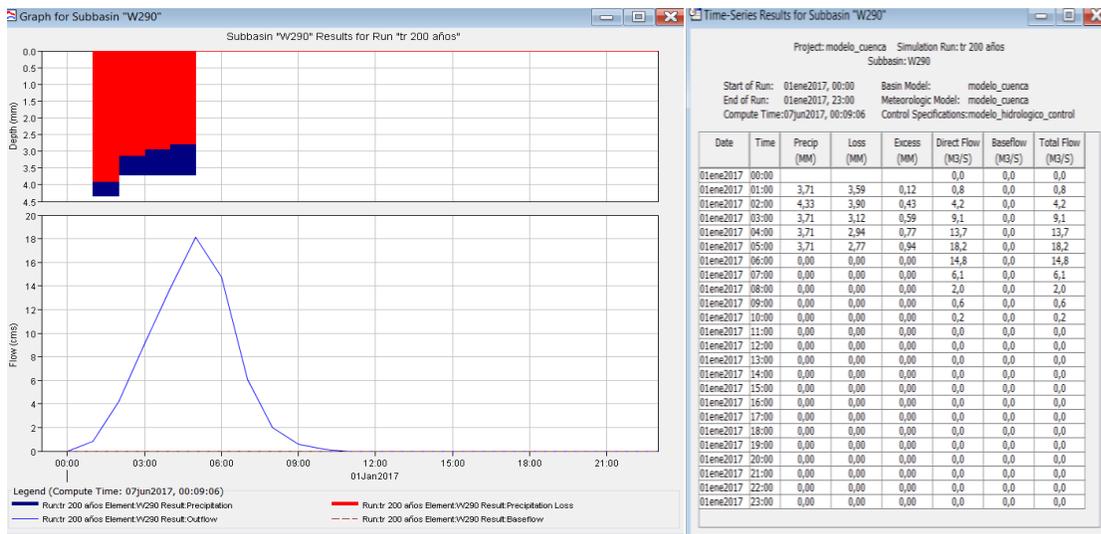
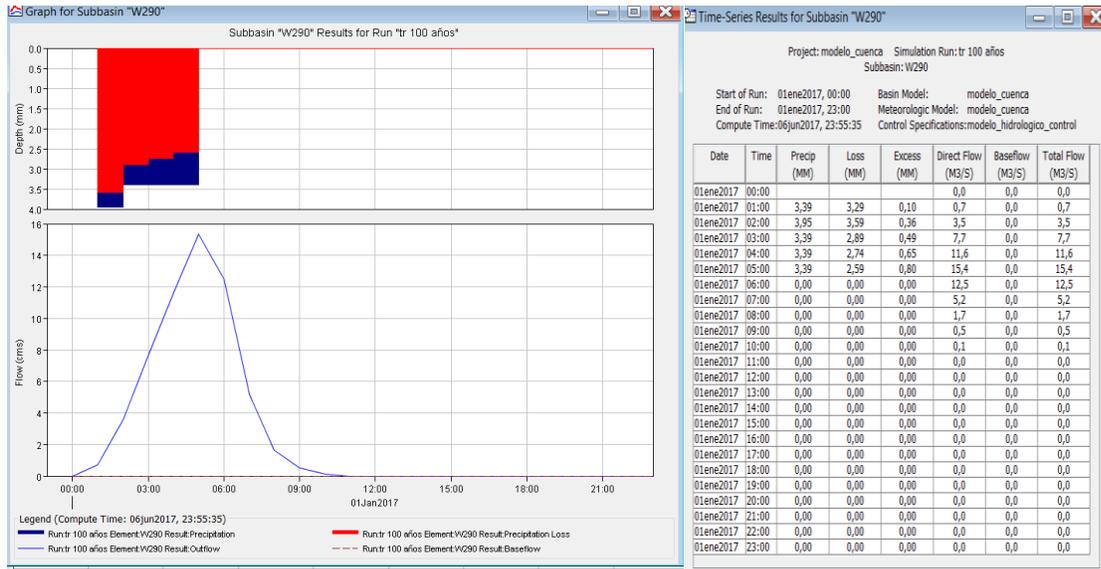
Start of Run: 01ene2017, 00:00 Basin Model: modelo_cuenca
End of Run: 01ene2017, 23:00 Meteorologic Model: modelo_cuenca
Compute Time:07Jun2017, 00:01:39 Control Specifications:modelo_hidrologica_control

Date	Time	Precp (MM)	Loss (MM)	Excess (MM)	Direct Flow (M3/S)	Baseflow (M3/S)	Total Flow (M3/S)
01ene2017	00:00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
01ene2017	01:00	2.85	2.72	0.14	0.4	0.0	0.4
01ene2017	02:00	3.33	2.86	0.47	2.8	0.0	2.8
01ene2017	03:00	2.85	2.22	0.63	8.8	0.0	8.8
01ene2017	04:00	2.85	2.04	0.82	18.0	0.0	18.0
01ene2017	05:00	2.85	1.87	0.98	28.9	0.0	28.9
01ene2017	06:00	0.00	0.00	0.00	36.8	0.0	36.8
01ene2017	07:00	0.00	0.00	0.00	36.2	0.0	36.2
01ene2017	08:00	0.00	0.00	0.00	27.8	0.0	27.8
01ene2017	09:00	0.00	0.00	0.00	18.5	0.0	18.5
01ene2017	10:00	0.00	0.00	0.00	12.1	0.0	12.1
01ene2017	11:00	0.00	0.00	0.00	7.9	0.0	7.9
01ene2017	12:00	0.00	0.00	0.00	5.2	0.0	5.2
01ene2017	13:00	0.00	0.00	0.00	3.4	0.0	3.4
01ene2017	14:00	0.00	0.00	0.00	2.2	0.0	2.2
01ene2017	15:00	0.00	0.00	0.00	1.5	0.0	1.5
01ene2017	16:00	0.00	0.00	0.00	0.9	0.0	0.9
01ene2017	17:00	0.00	0.00	0.00	0.6	0.0	0.6
01ene2017	18:00	0.00	0.00	0.00	0.3	0.0	0.3
01ene2017	19:00	0.00	0.00	0.00	0.1	0.0	0.1
01ene2017	20:00	0.00	0.00	0.00	0.0	0.0	0.0
01ene2017	21:00	0.00	0.00	0.00	0.0	0.0	0.0
01ene2017	22:00	0.00	0.00	0.00	0.0	0.0	0.0
01ene2017	23:00	0.00	0.00	0.00	0.0	0.0	0.0

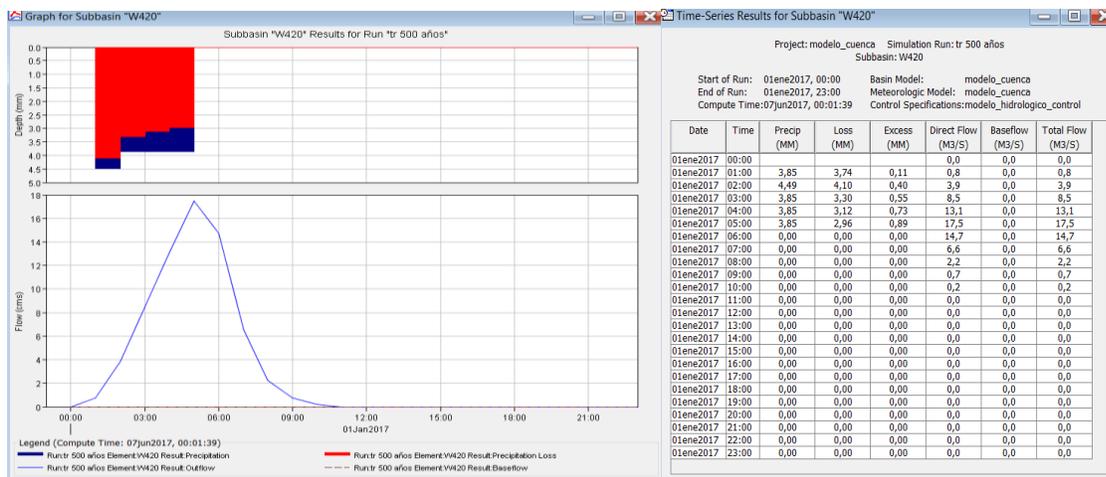
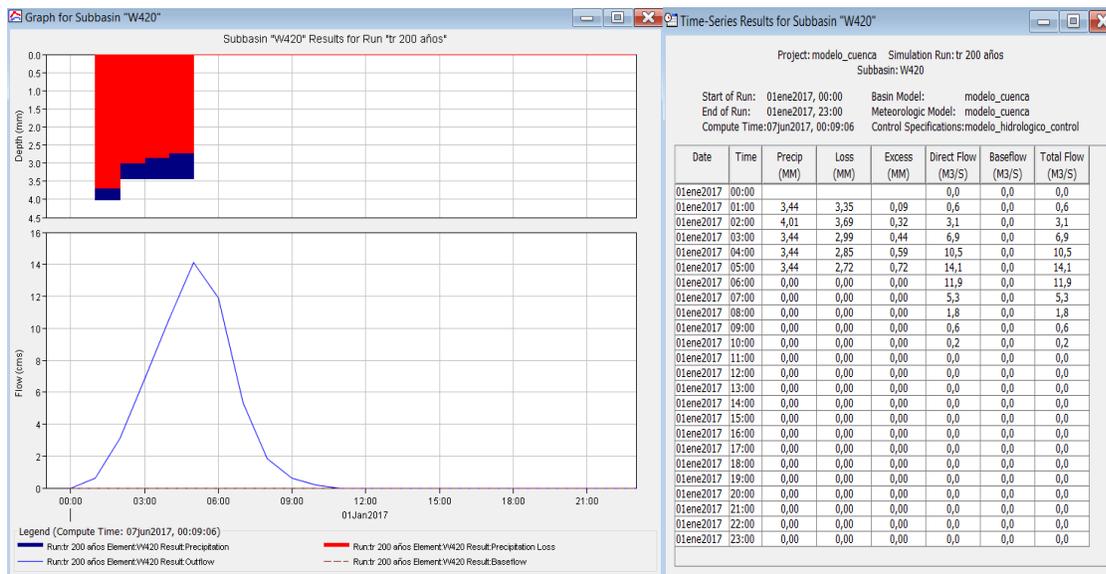
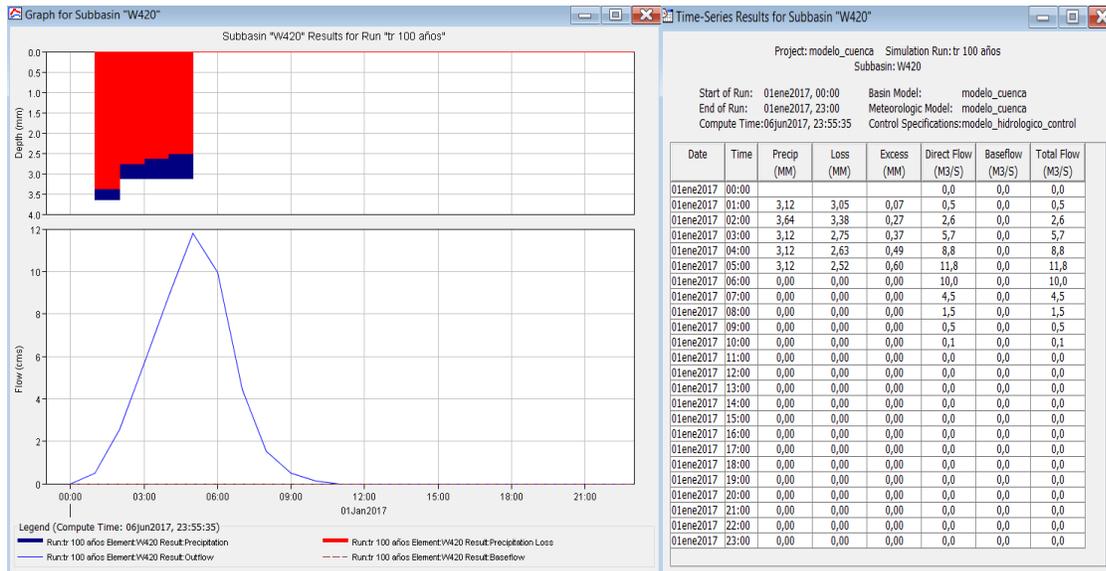
SUBCUENCA W330



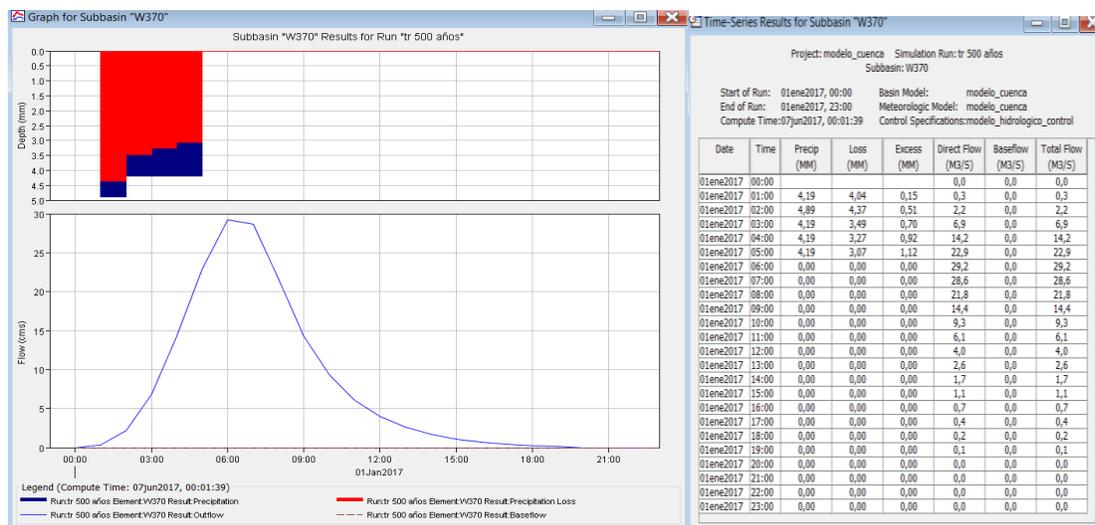
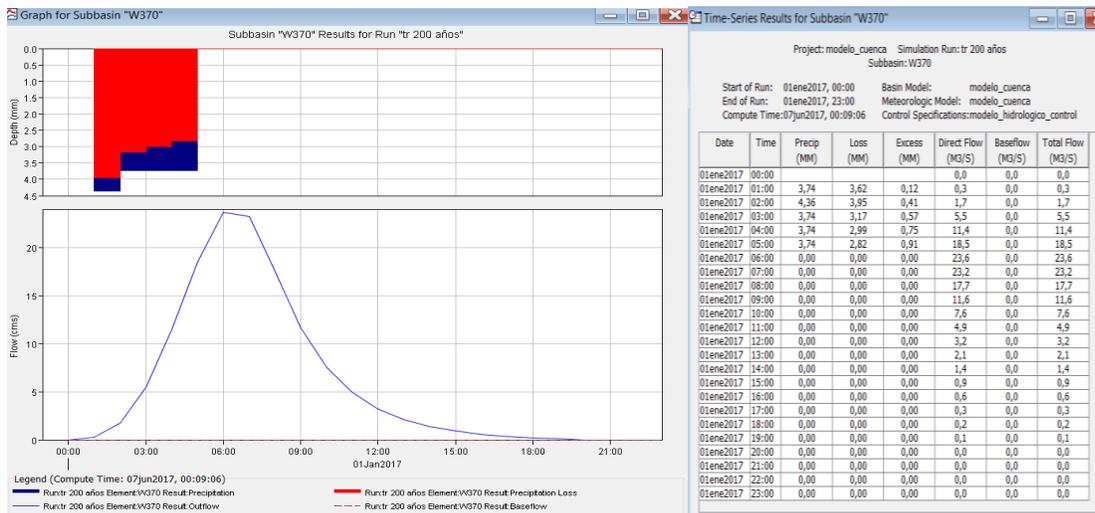
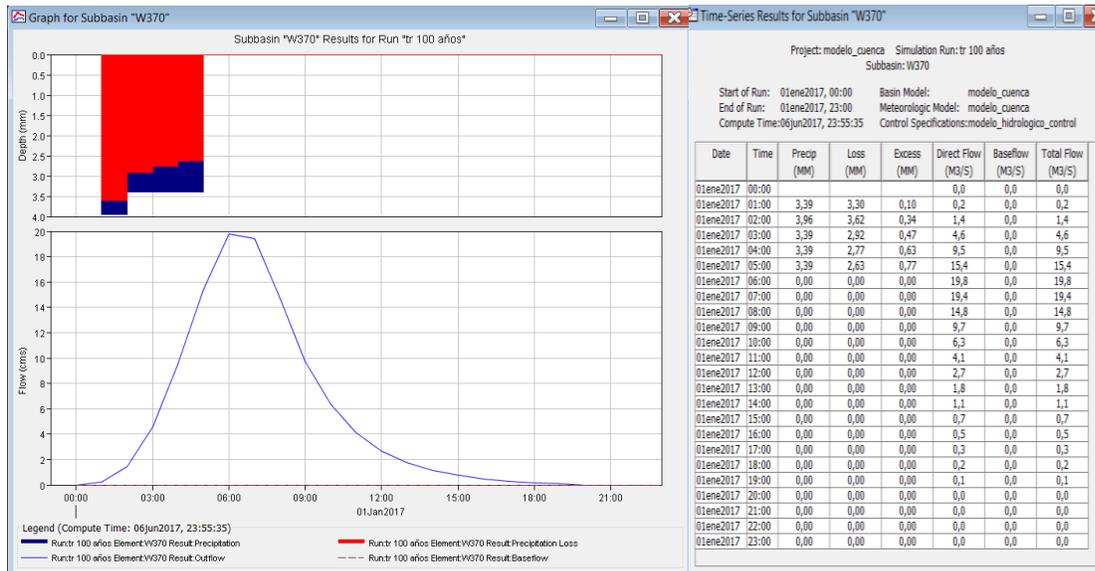
SUBCUENCA W290



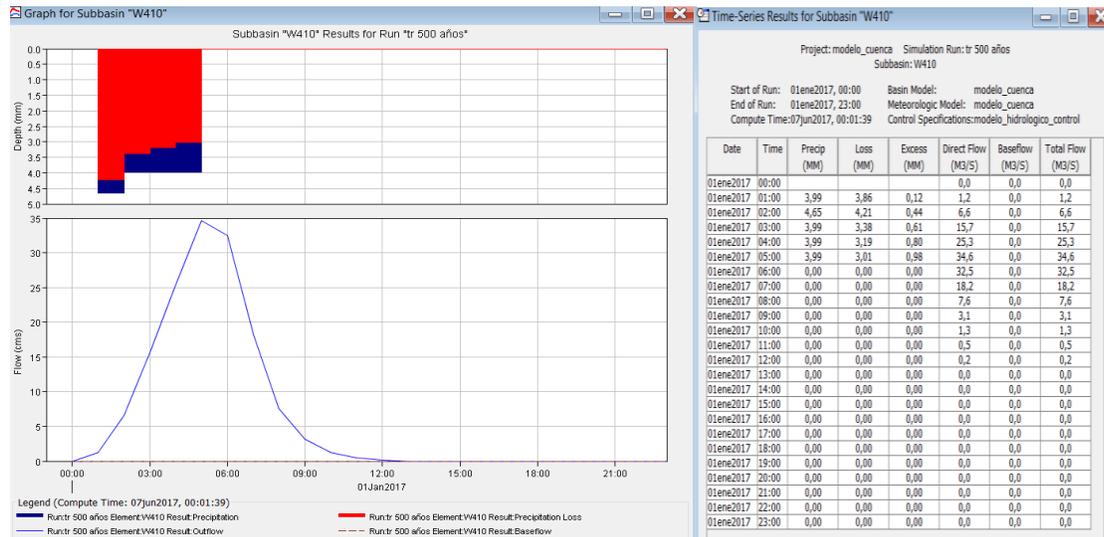
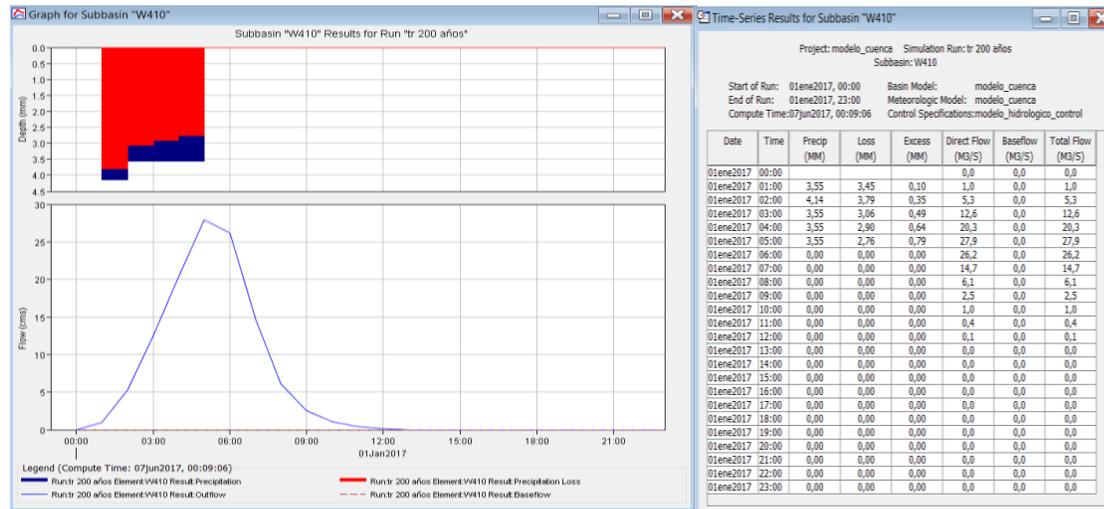
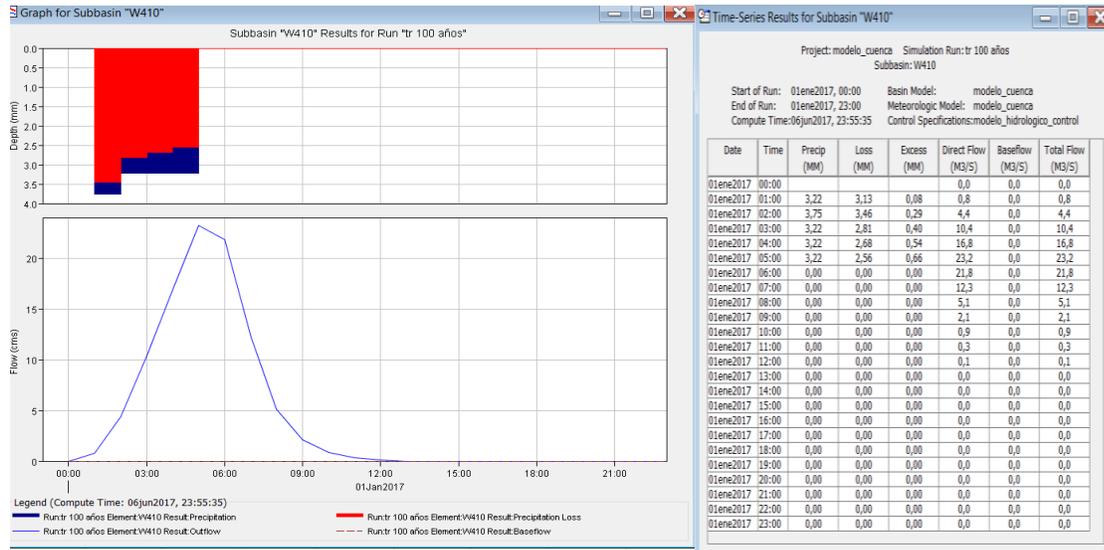
SUBCUENCA W420



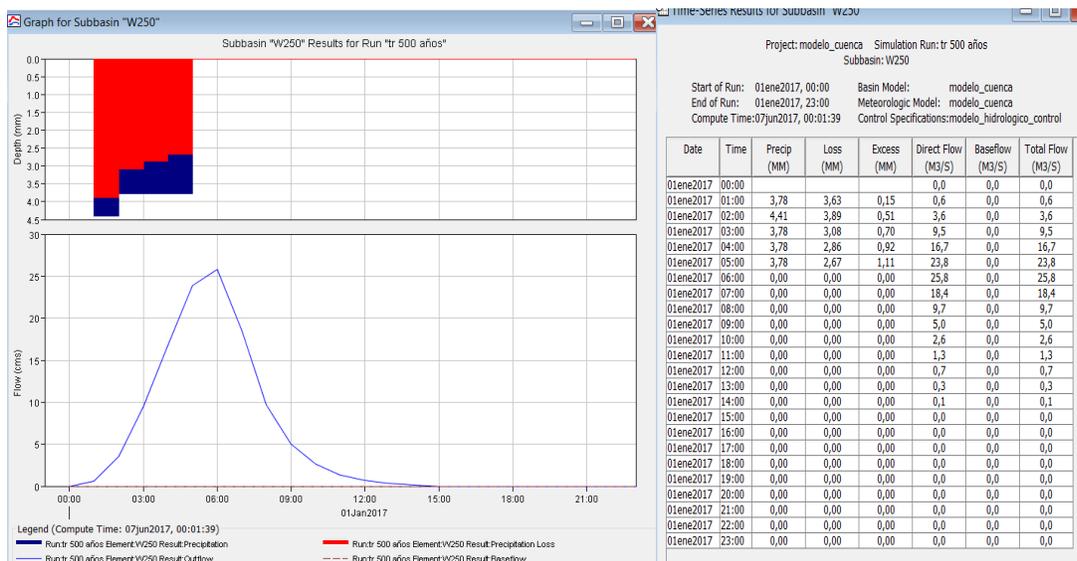
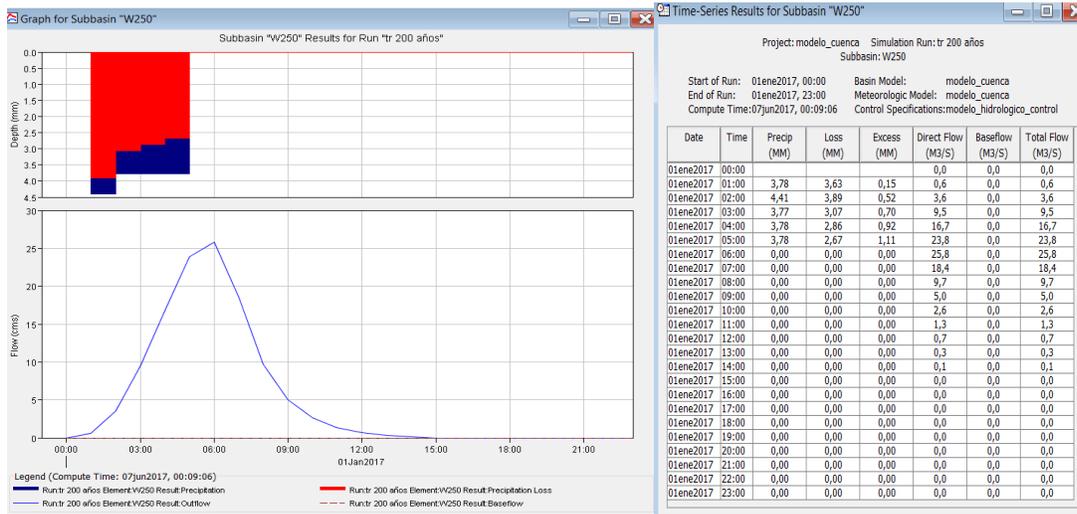
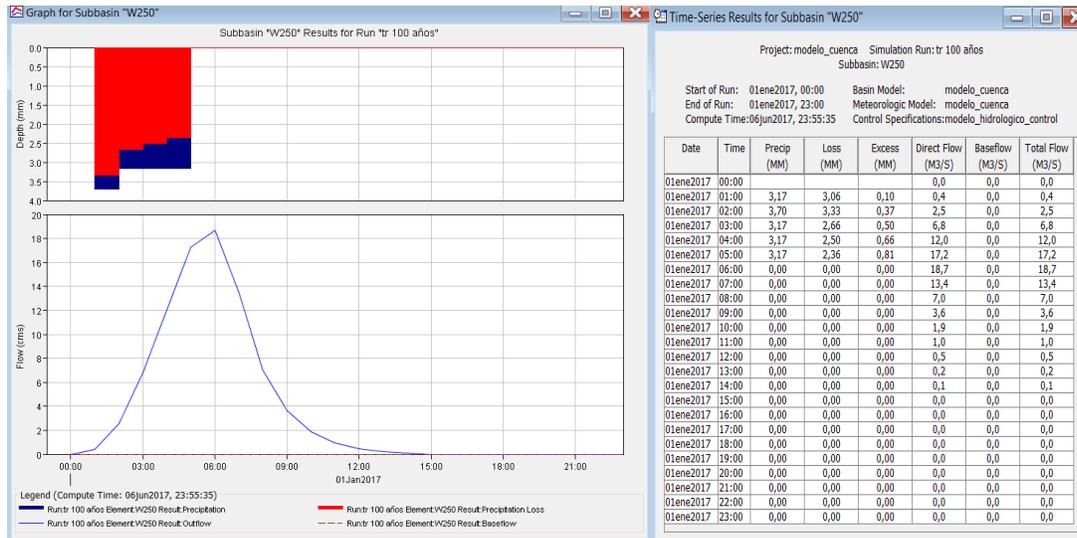
SUBCUENCA W370



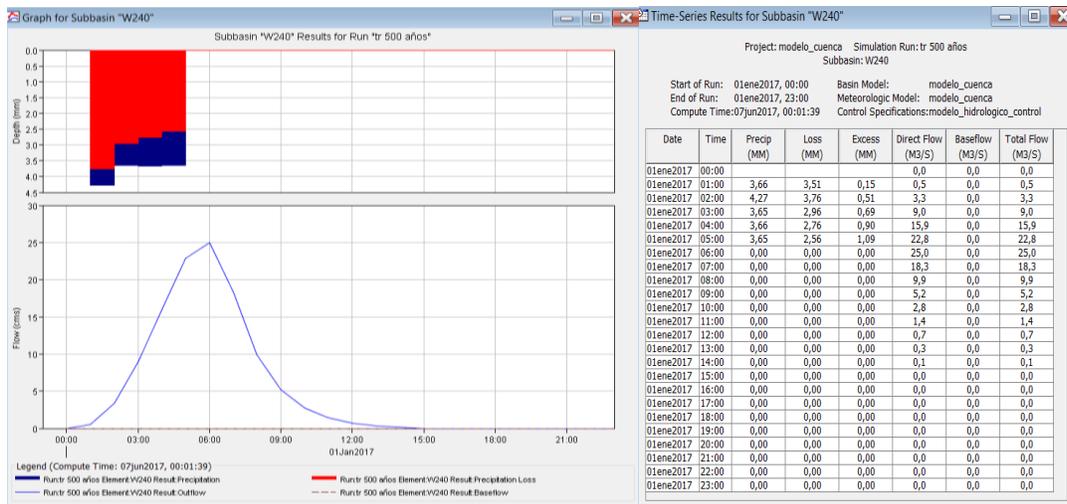
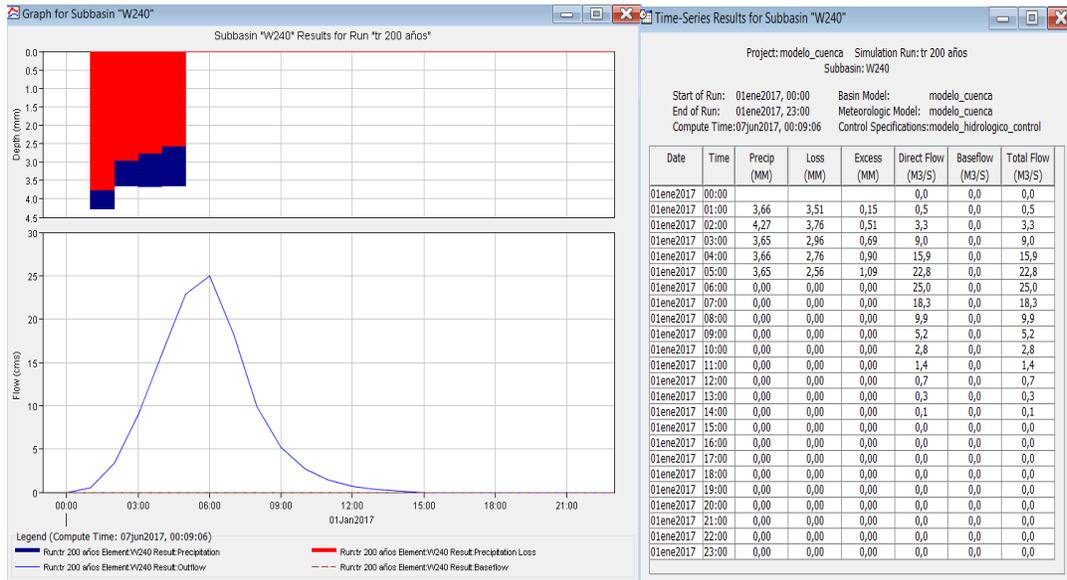
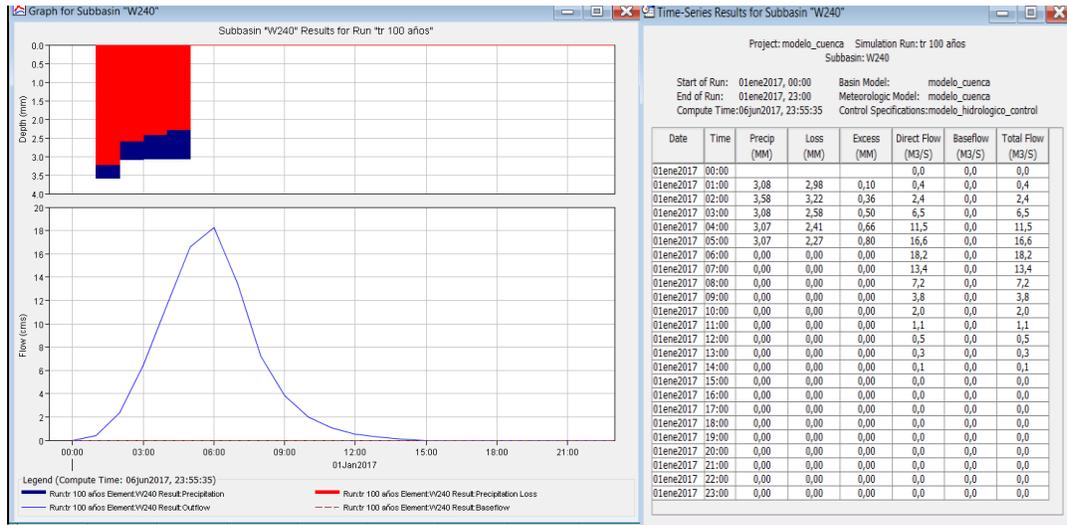
SUBCUENCA W410



SUBCUENCA W250

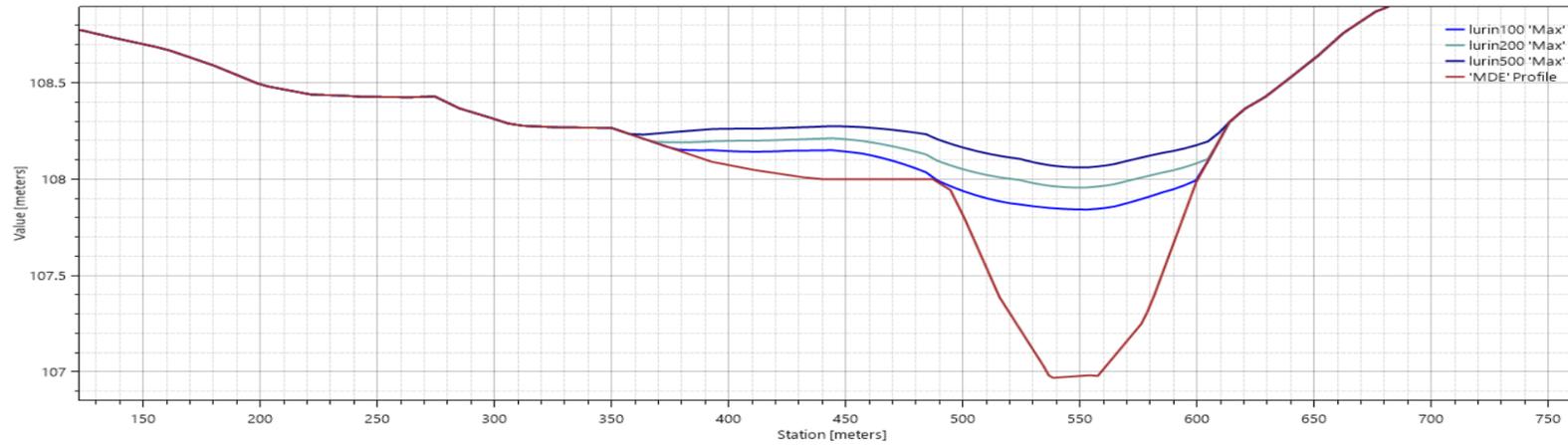


SUBCUENCA W240

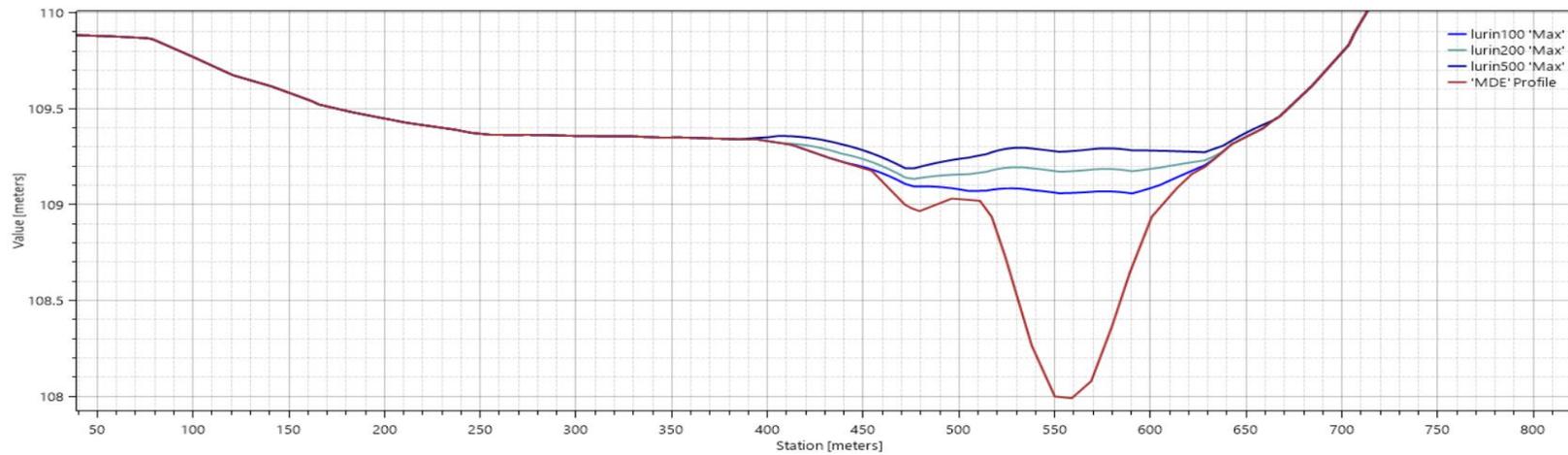


ANEXO 5: Secciones Transversales y Láminas de agua para TR100, TR200 y TR500.

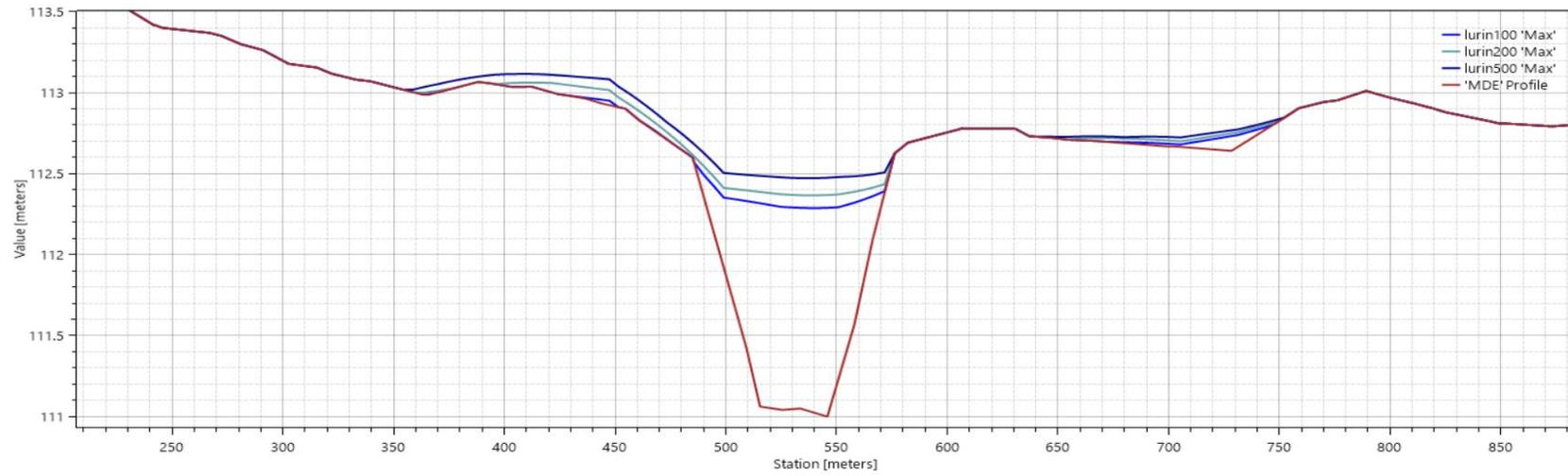
PROGRESIVA 9 + 500



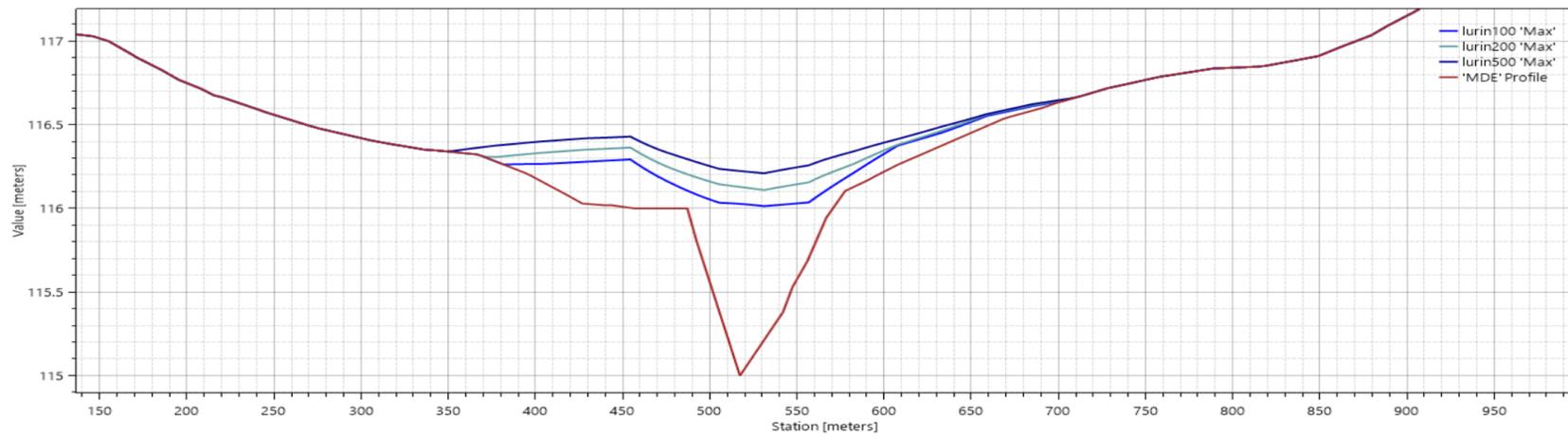
PROGRESIVA 9 + 700



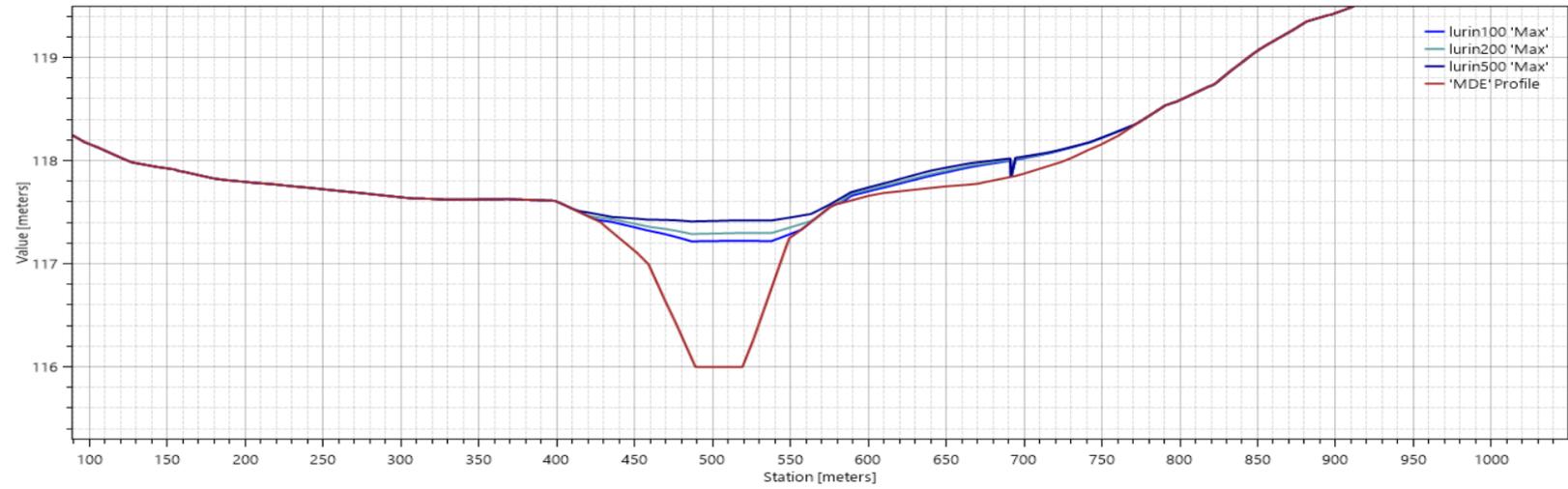
PROGRESIVA 9 + 900



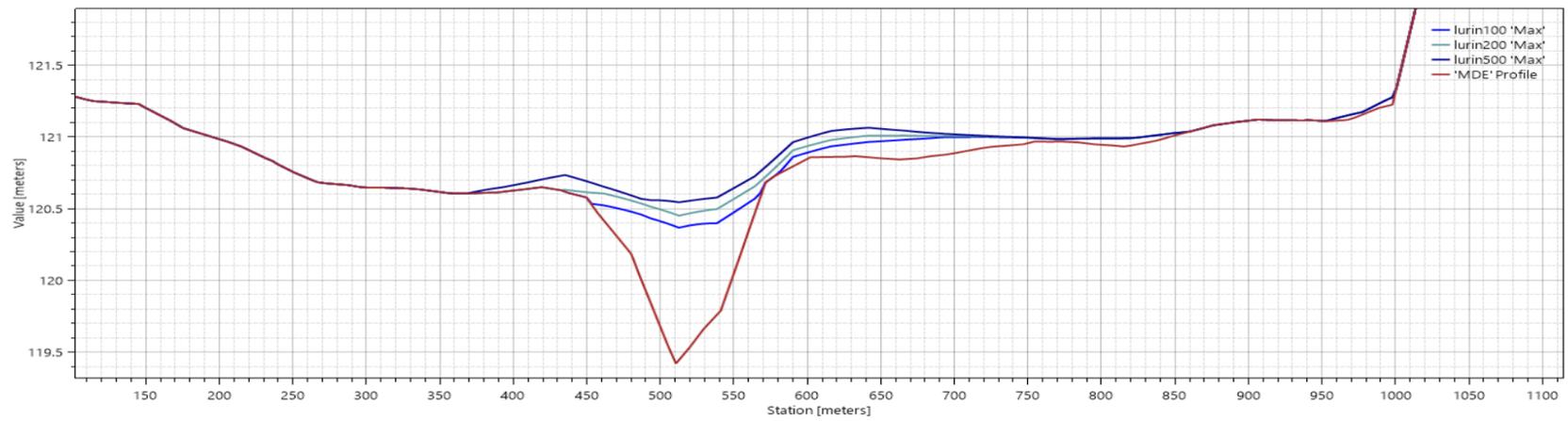
PROGRESIVA 10 + 100



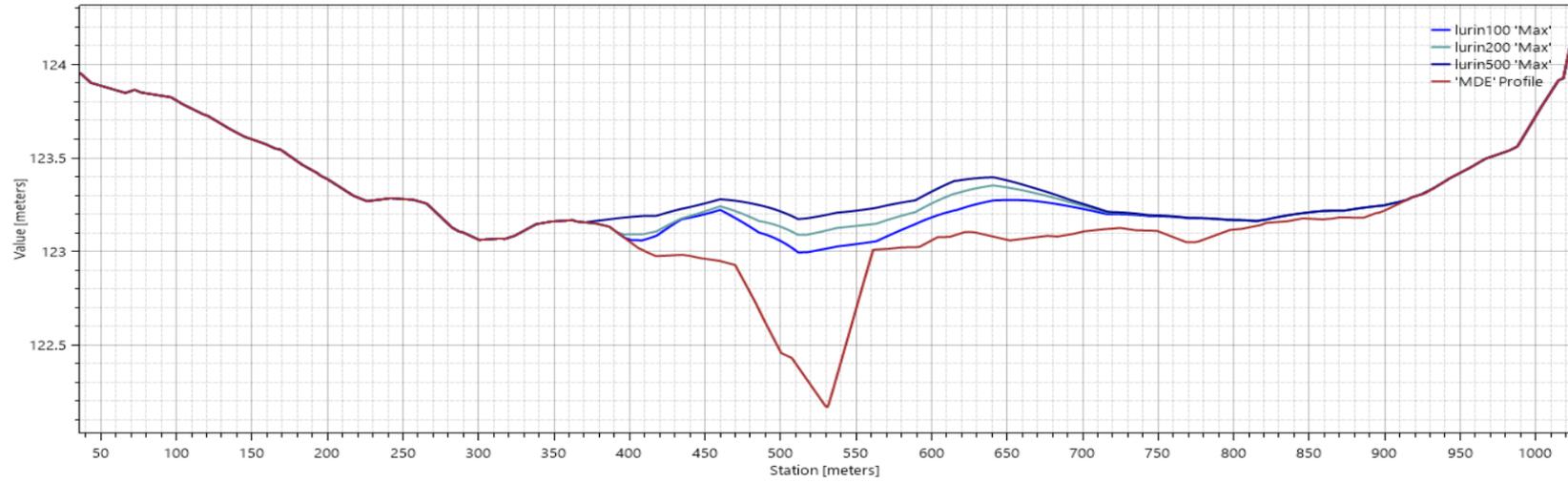
PROGRESIVA 10 + 300



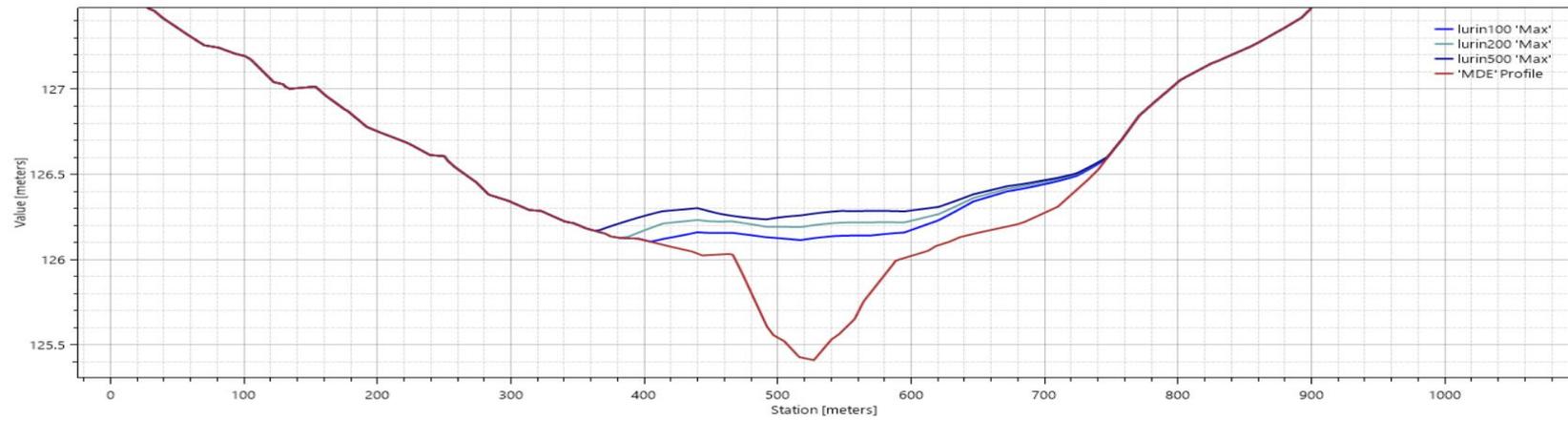
PROGRESIVA 10 + 500



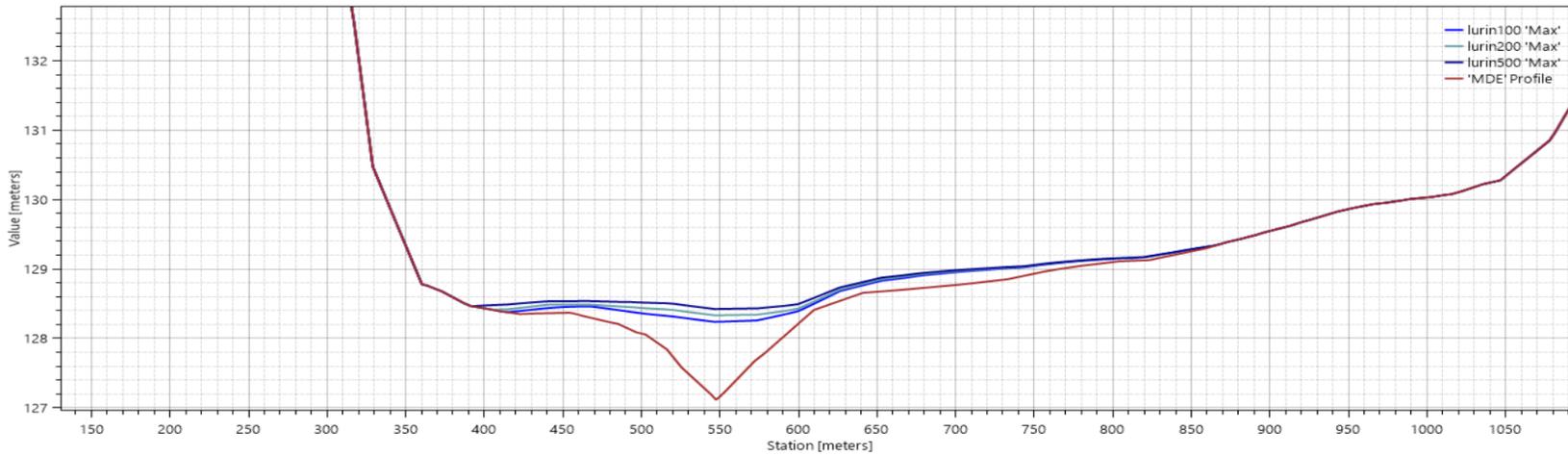
PROGRESIVA 10 + 700



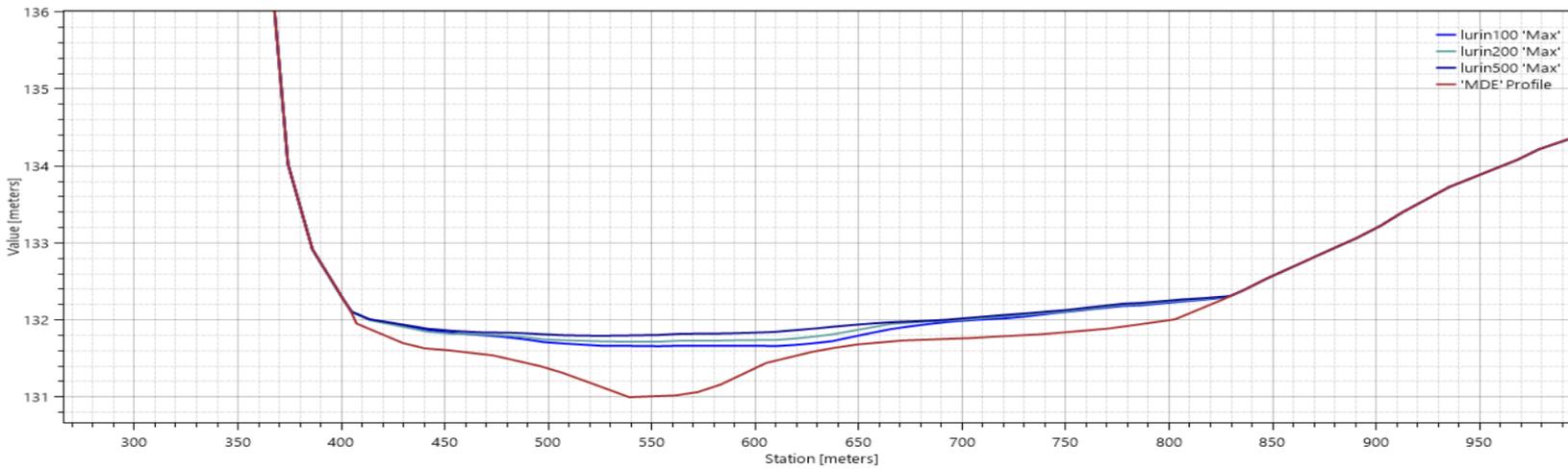
PROGRESIVA 10 + 900



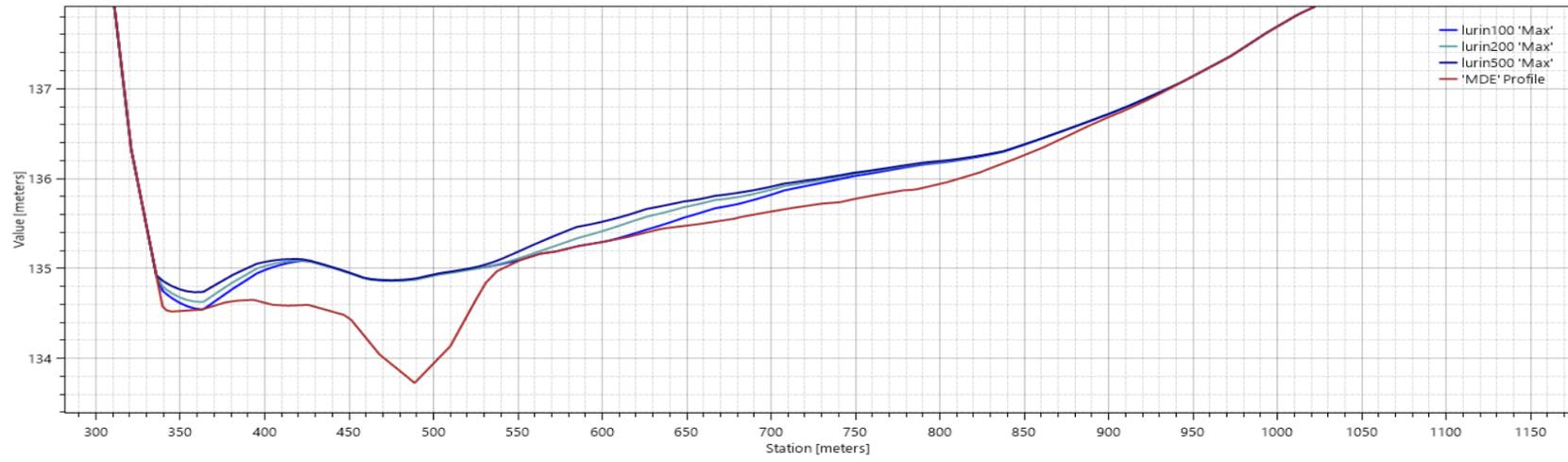
PROGRESIVA 11 + 100



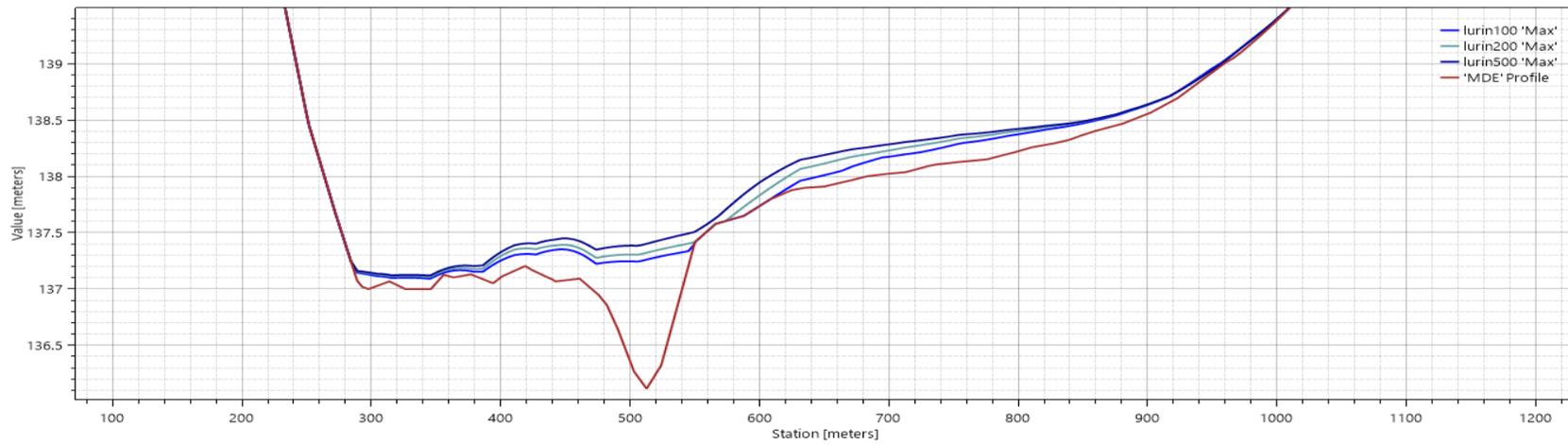
PROGRESIVA 11 + 300



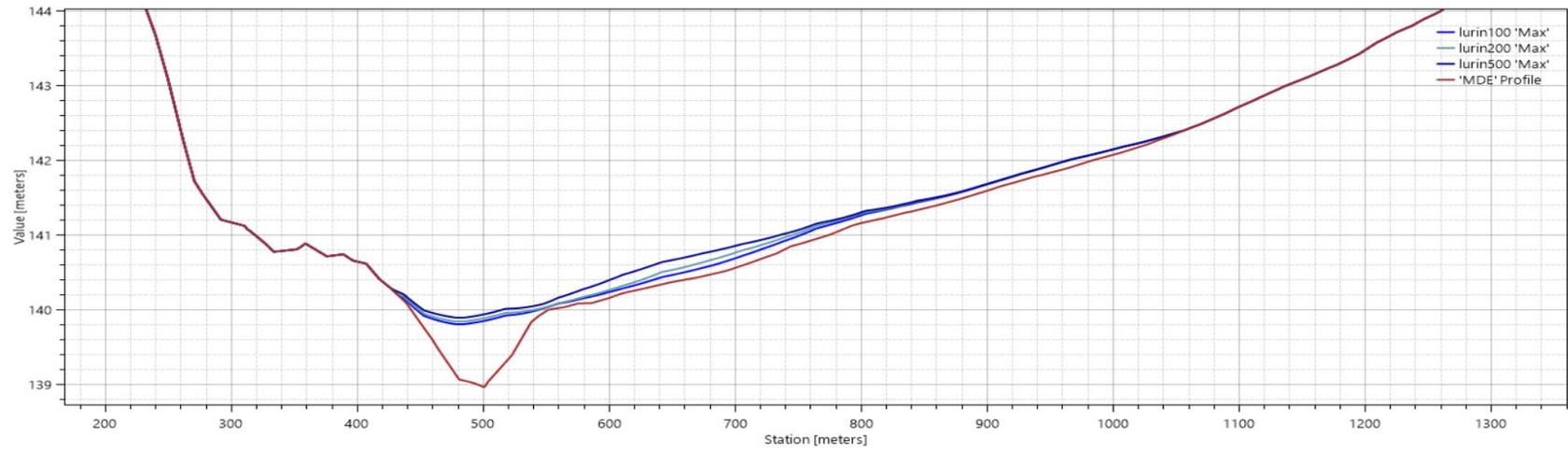
PROGRESIVA 11 + 500



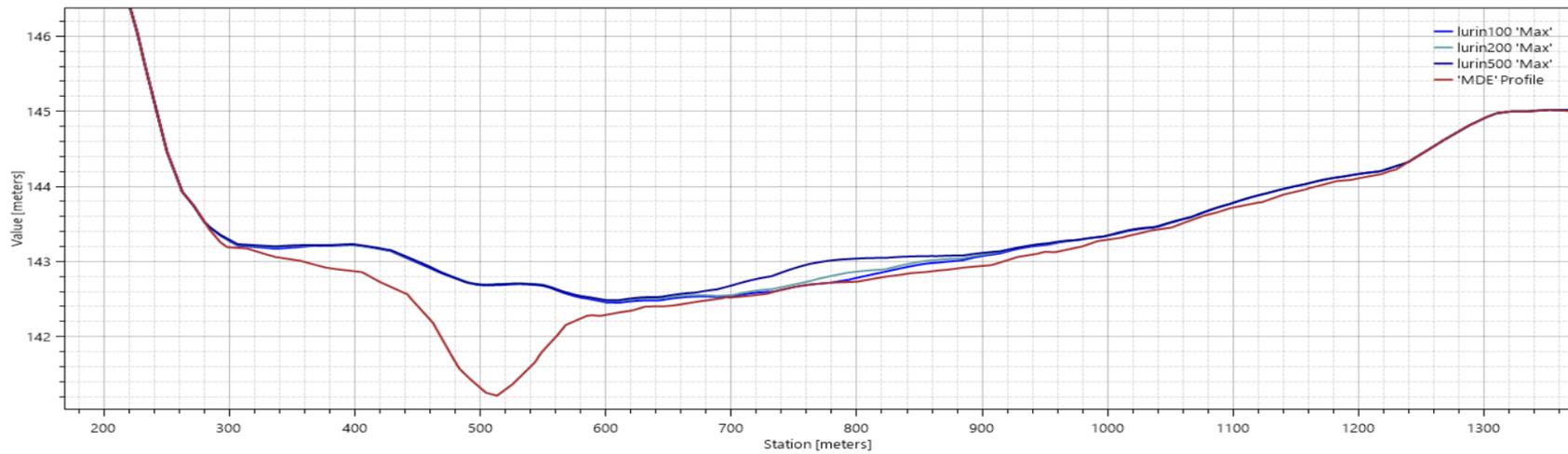
PROGRESIVA 11 + 700



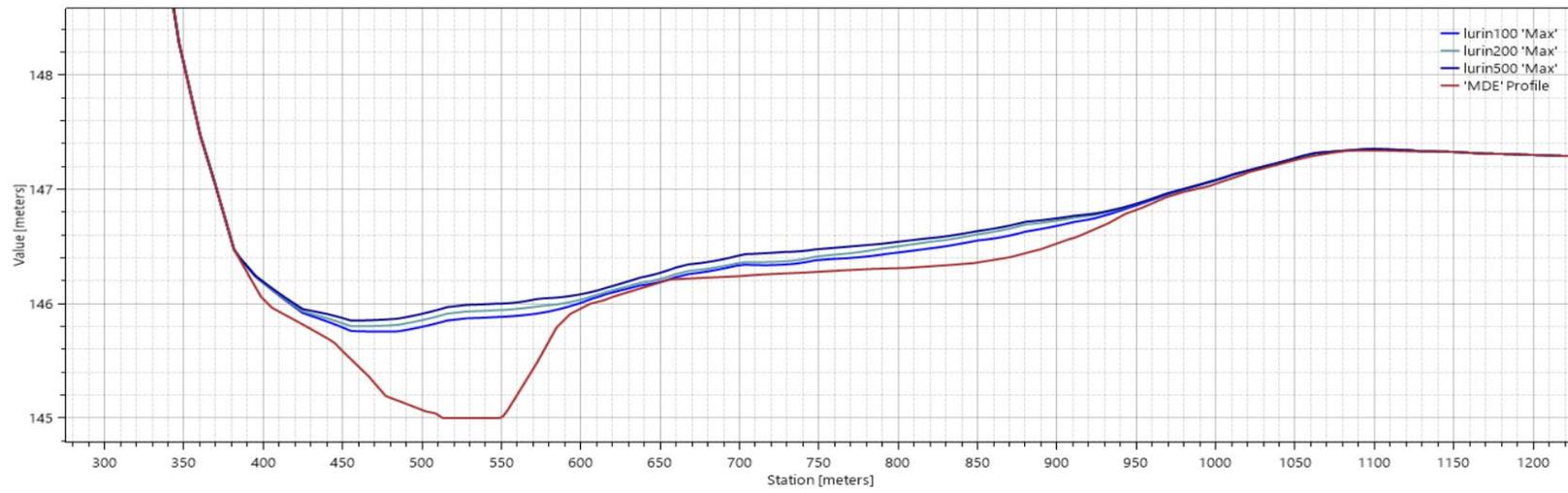
PROGRESIVA 11 + 900



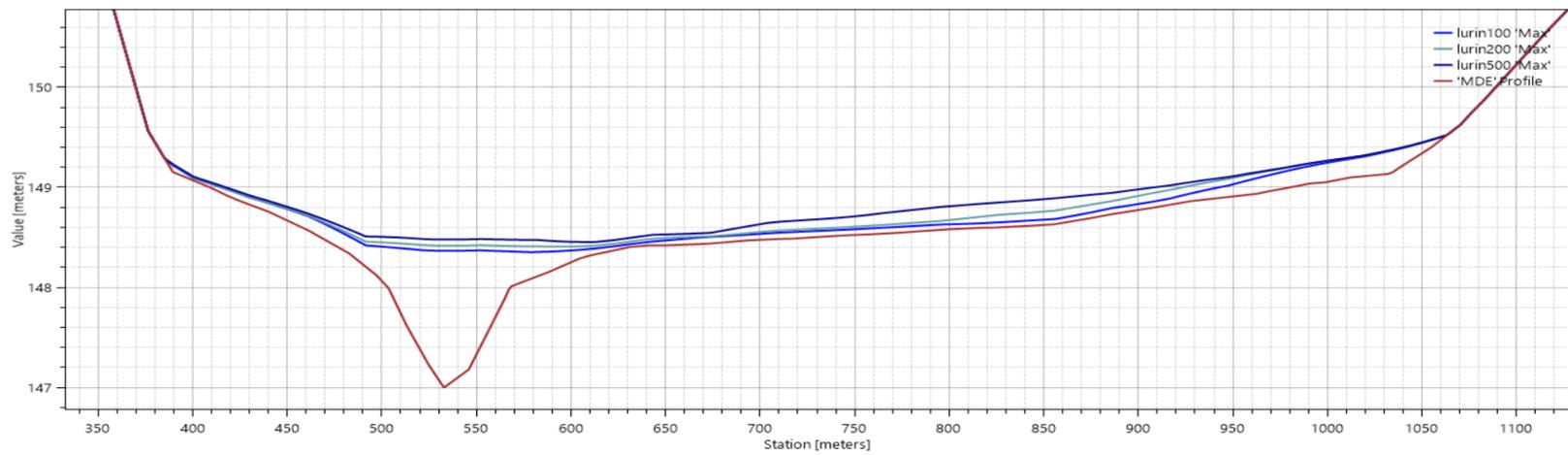
PROGRESIVA 12 + 100



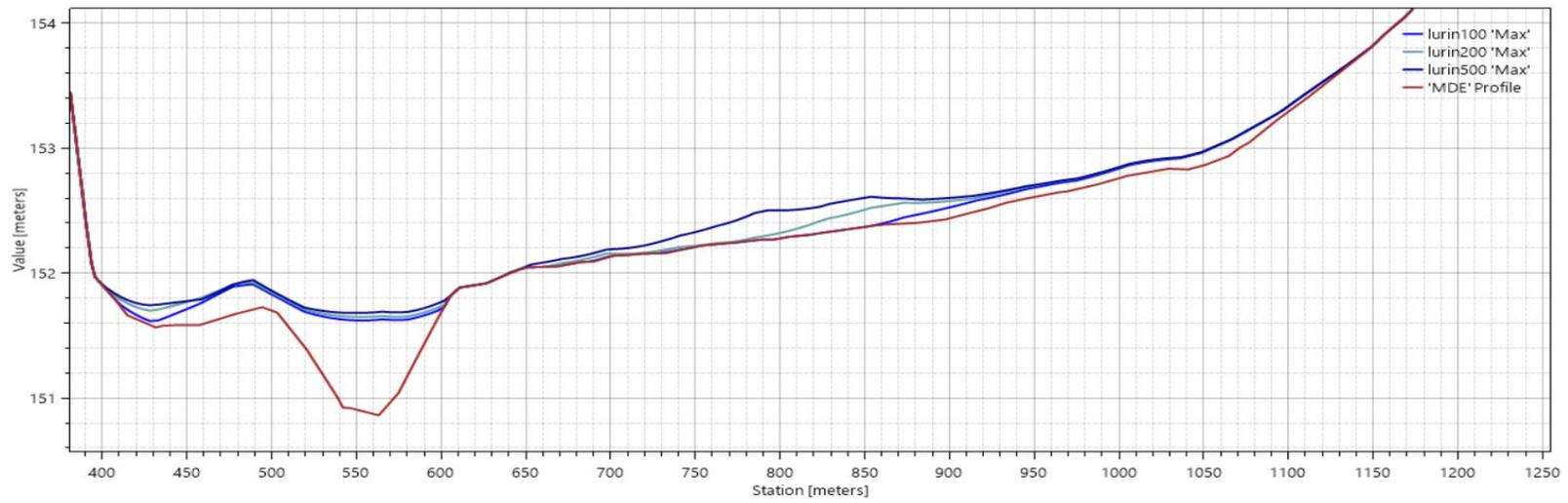
PROGRESIVA 12 + 300



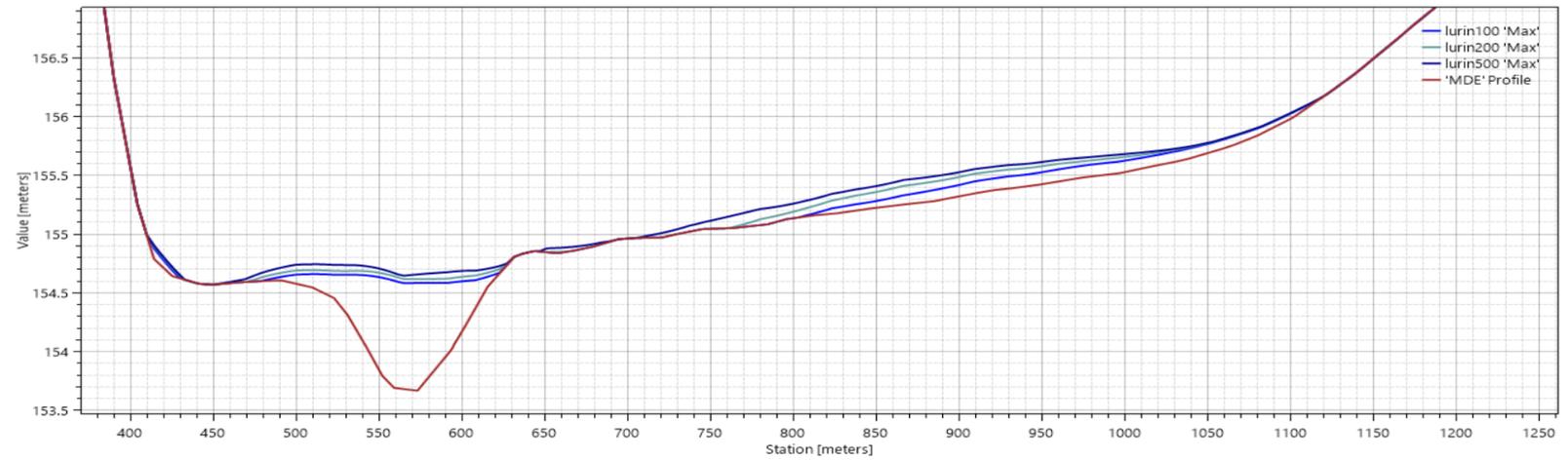
PROGRESIVA 12 + 500



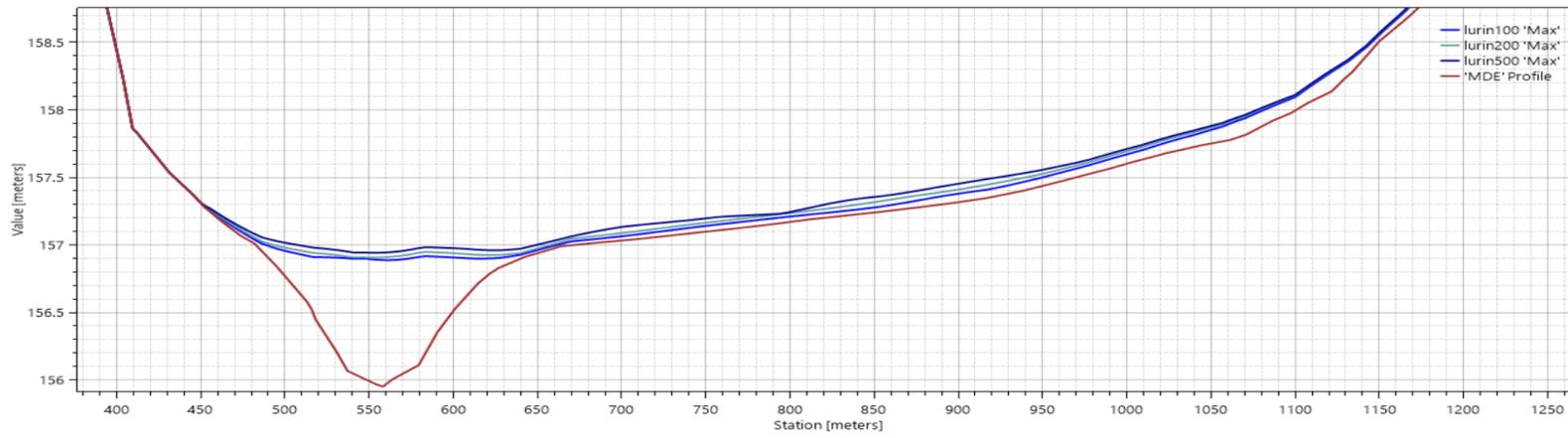
PROGRESIVA 12 + 700



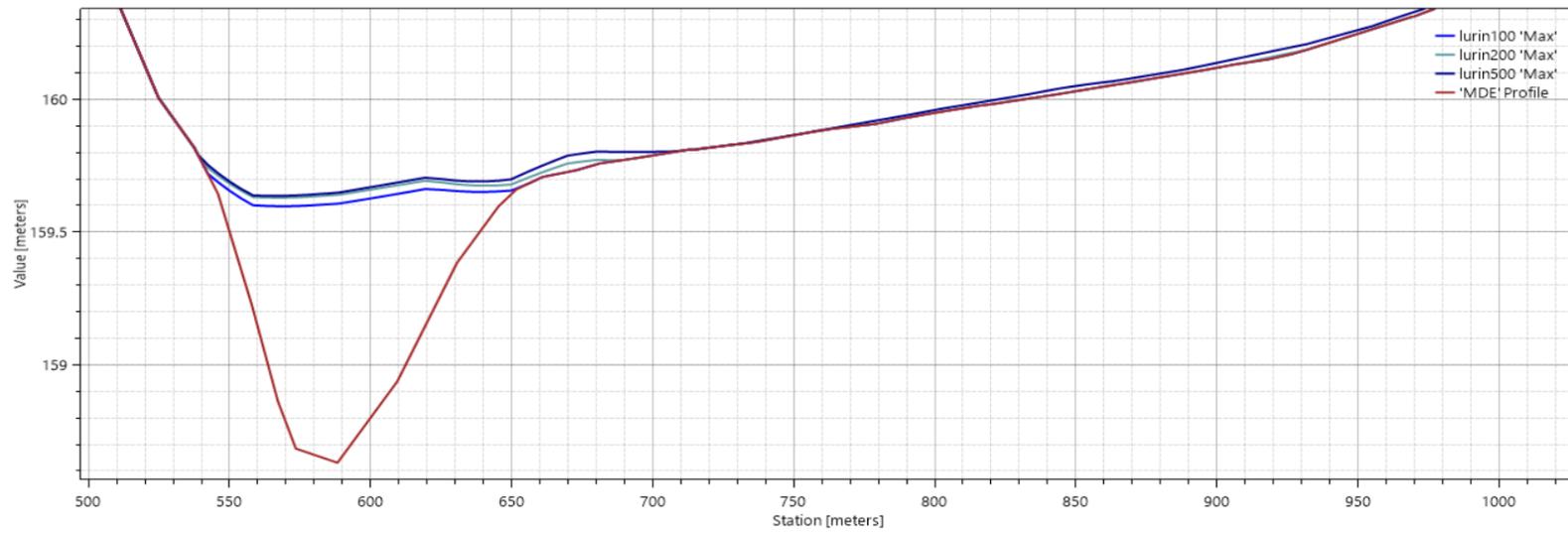
PROGRESIVA 12 + 900



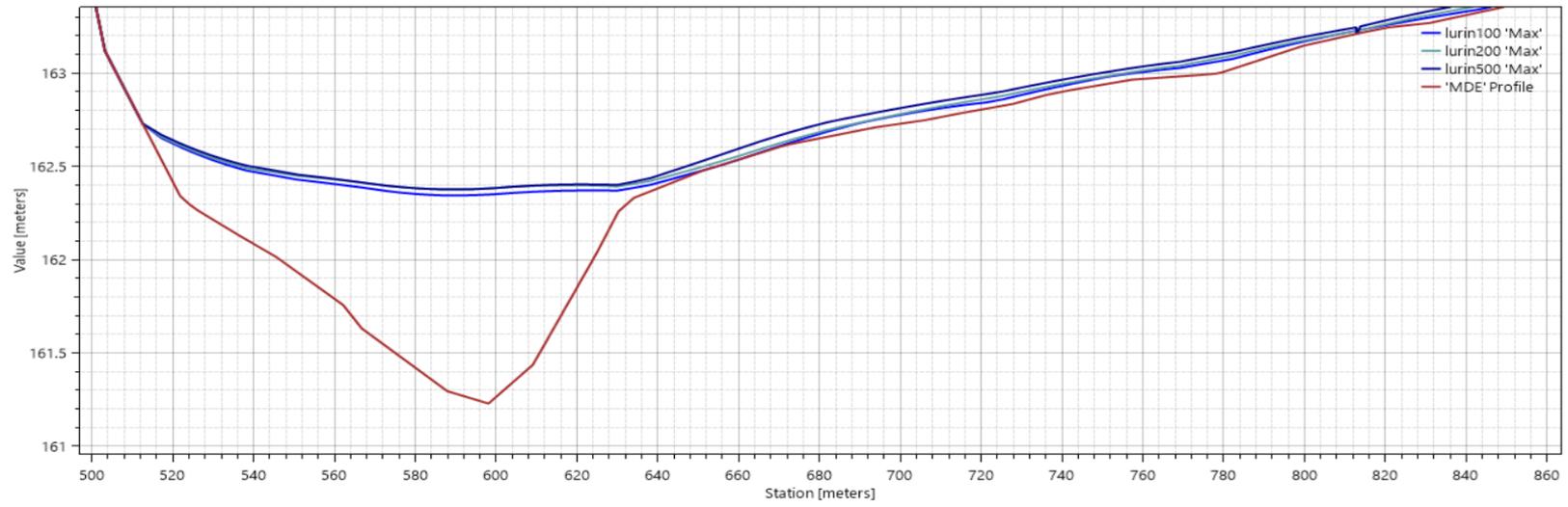
PROGRESIVA 13 + 100



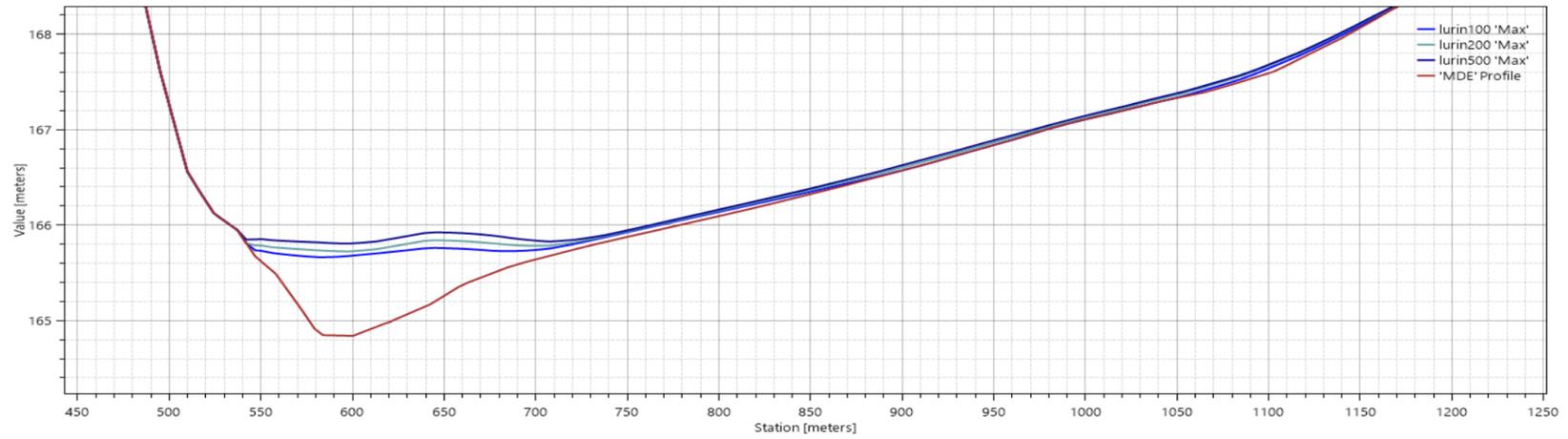
PROGRESIVA 13 + 300



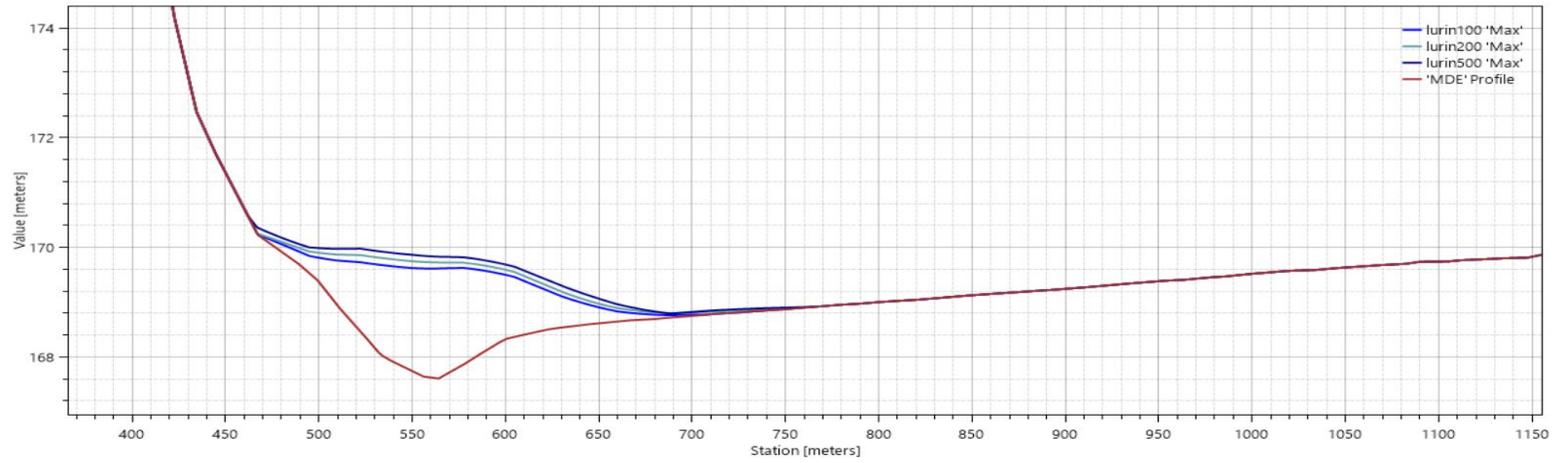
PROGRESIVA 13 + 500



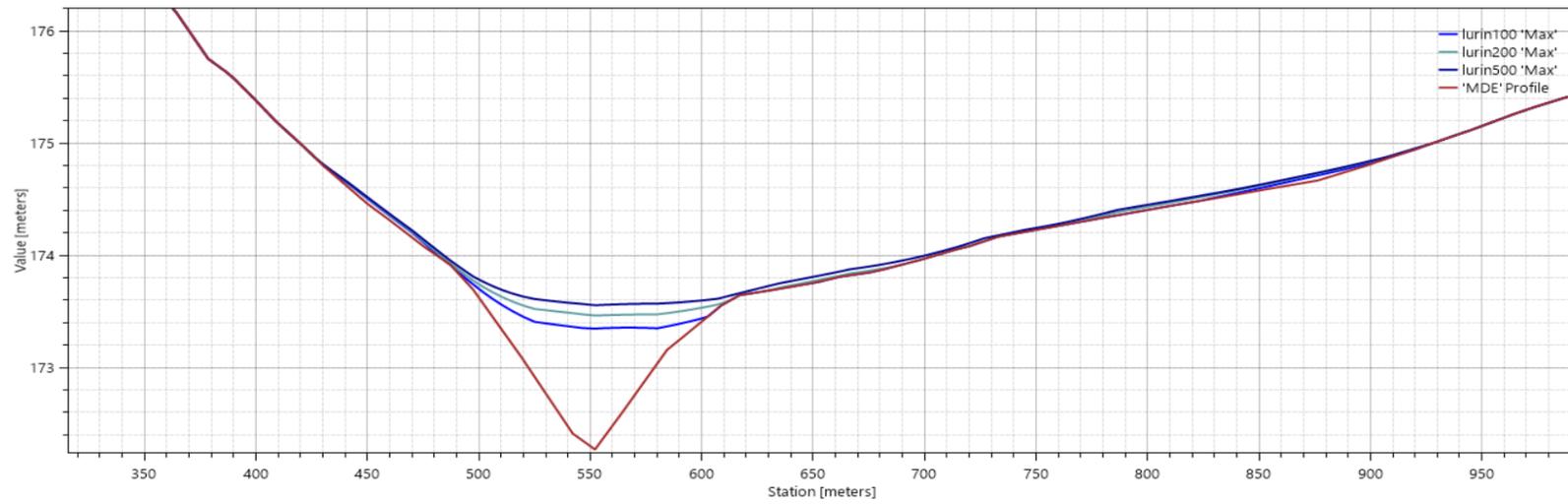
PROGRESIVA 13 + 700



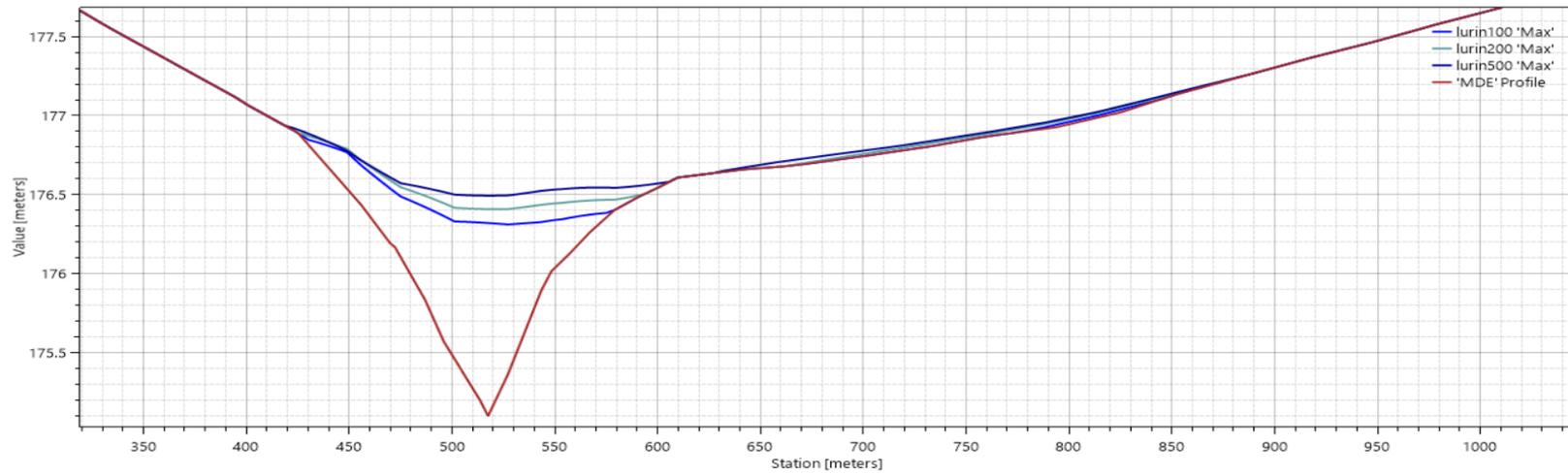
PROGRESIVA 13 + 900



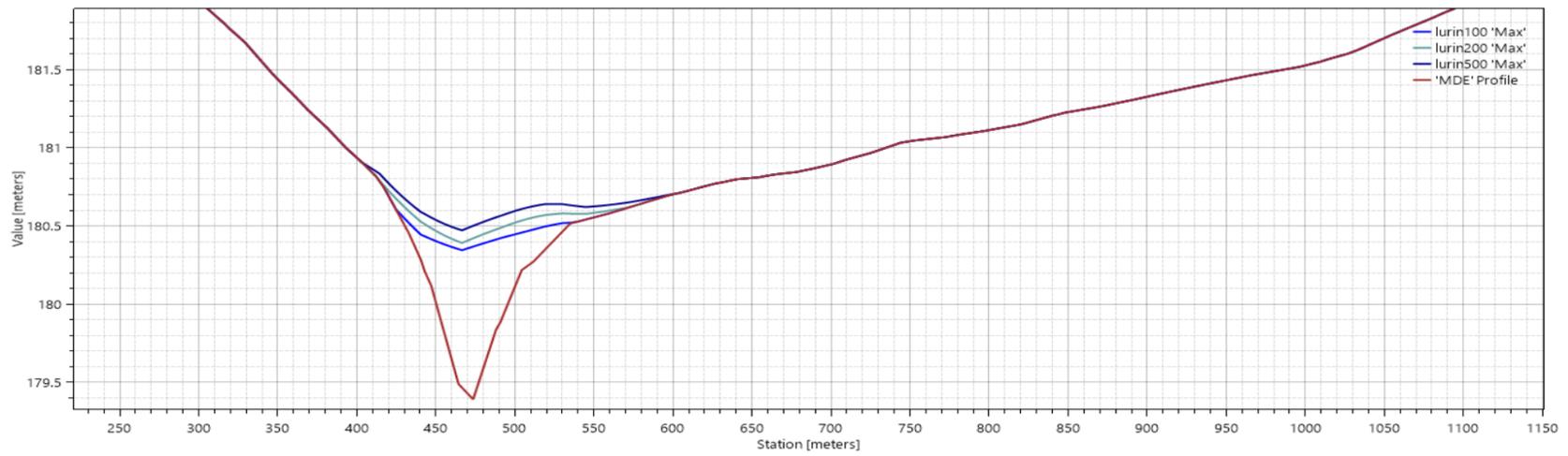
PROGRESIVA 14 + 100



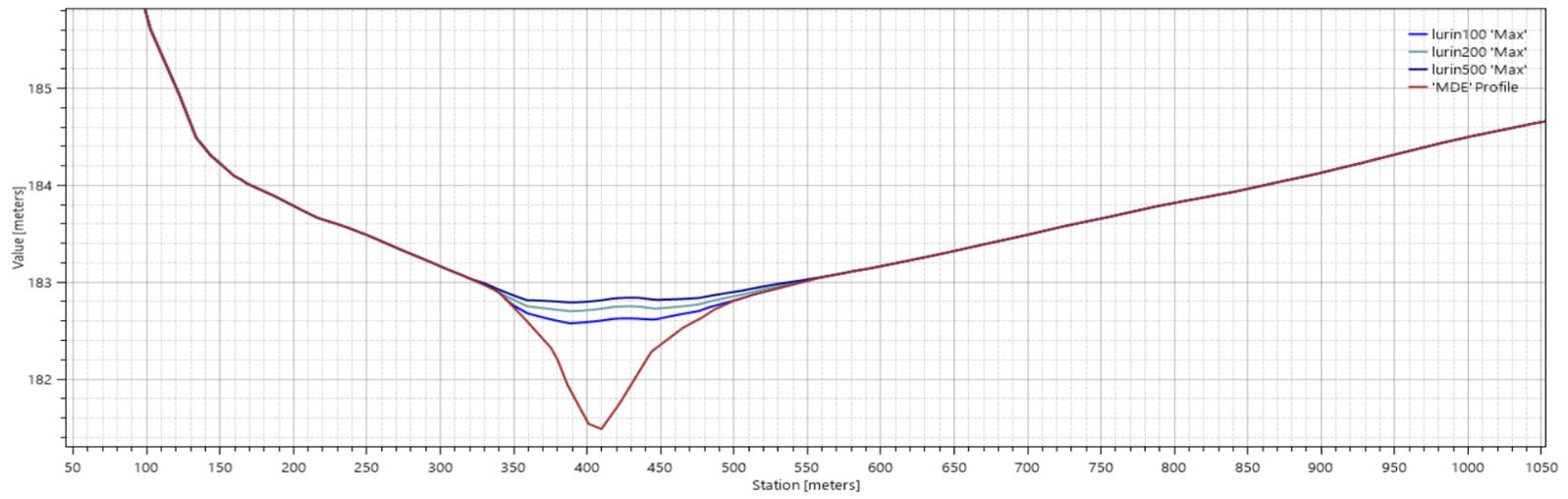
PROGRESIVA 14 + 300



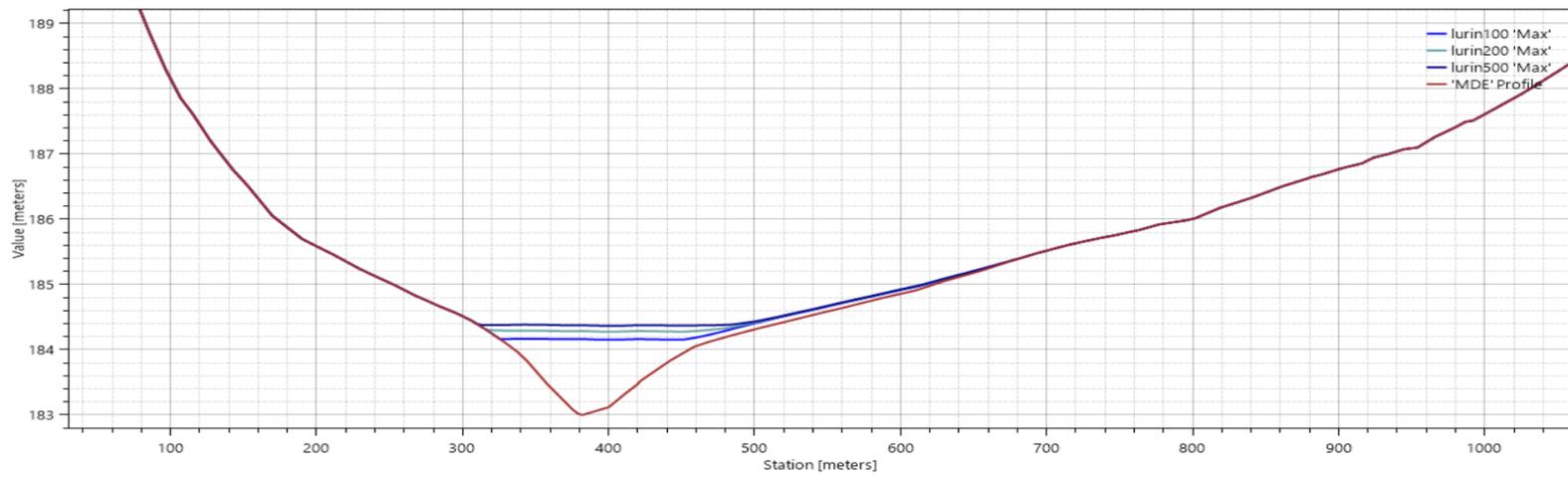
PROGRESIVA 14 + 500



PROGRESIVA 14 + 700



PROGRESIVA 14 + 900



ANEXO 6: Panel Fotográfico

-Imágenes del sobrevuelo del Ejército Peuano transmitido en vivo por el grupo RPP el día 16/03/2017 a las 10:32 am



Inundación de campos de cultivo (margen derecha derecha)



Inundación de campos y centro ganadero (margen



Inundación de la vivienda de un comunero (margen derecha)



Inundación de campos y propiedad privada de usuario (margen izquierda)

-Marcas de agua después del desborde ocurrido el 16/03/2017 D



Foto tomada el 31/03/2017 a las 09:36 am.



Foto tomada el 31/03/2017 a las 11:13 am



Foto tomada el 31/03/2017 a las 10:48 am



Foto tomada el 31/03/2017 a las 01:00 pm



Foto tomada el 31/03/2017 a las 12:02 pm. El dirigente de la Junta de Usuarios indica hasta que zona afectó la inundación.

