



UNIVERSIDAD DE CUENCA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

***ESTUDIO FLUVIOMORFOLÓGICO DEL RÍO VINCES Y
DETERMINACIÓN DE LAS ÁREAS DE INUNDACIÓN DE LA ZONA
DE INFLUENCIA DEL PROYECTO PACALORI APLICANDO HEC-
GEORAS***

TESIS DE GRADO

Previo a la obtención del Título de:

INGENIERO CIVIL

Autores:

Tatiana Denisse Solano Zúñiga

Natalia Catalina Vintimilla Villavicencio

Director:

Ing. Felipe Eduardo Cisneros Espinoza, PhD

Tutor:

Ing. Cristian Iván Coello Granda, MSc

Cuenca - Ecuador

2013



RESUMEN

La presente tesis es un aporte para el proyecto de **Plan de Aprovechamiento y Control de Agua de la Provincia de los Ríos** (PACALORI), mediante la cual se ha realizado el estudio fluviomorfológico de la cuenca del río Vinces-Quevedo para obtener los parámetros hidráulicos necesarios para la implementación del modelo matemático *Hydrologic Engineering Center - River Analyst System* (HEC-RAS), que conjuntamente con el Sistema de Información Geográfica (ArcGIS) y la incorporación de la extensión HEC-GeoRAS, interactúan durante todo el proceso desde la generación del modelo digital del terreno (MDT), la importación de datos geométricos del terreno, incluyendo cauce del río, secciones transversales, etc., para posteriormente obtener resultados de calados y velocidades con los que finalmente se determinan los mapas de inundación y zonificación de riesgos.

El caudal máximo obtenido en el hidrograma de máxima crecida de Quevedo para 100 años de período de retorno es $Q_{\text{máx}} = 2495.05 \text{ m}^3/\text{s}$ y el área efectiva de inundación del tramo analizado es de 7866.5 ha para un periodo de retorno de 100 años.

Palabras clave: Estudio, Fluviomorfológico, Río Vinces, HEC-GeoRAS, Áreas de Inundación.



ABSTRACT

This thesis is a contribution to the project ***Plan de Aprovechamiento y Control de Agua de la Provincia de los Ríos*** (PACALORI) , in which the study was carried out in the fluvio-morphological River Basin Vinces -Quevedo to obtain the hydraulic parameters needed to implement the mathematical model Hydrologic Engineering Center - River Analyst System (HEC- RAS) , which together with Geographic Information System (ArcGIS) and extension incorporating HEC- GeoRAS , interact during the whole process from the generation of Digital Terrain Model (DTM) , import of geometric data from the field , including riverbed, cross sections , etc. Finally, results of water depth and speeds will determine zoning maps and flood risk.

The maximum flow obtained in the maximum hydrograph flood of Quevedo for a return period of 100 years is $Q_{\max} = 2495.05 \text{ m}^3/\text{sec}$ and the effective flood area of the section analyzed is 7866.5 ha for a return period of 100 years.

Keywords: Study, Fluvio-morphological, Vinces River, HEC-GeoRAS, Flood Areas.



ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	1
ABSTRACT	2
DEDICATORIA	14
DEDICATORIA	15
AGRADECIMIENTOS	16
1.INTRODUCCIÓN	17
1.1. ANTECEDENTES	17
1.2. OBJETIVOS	17
1.2.1. OBJETIVO GENERAL	17
1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	18
1.3. ALCANCE	18
1.4. JUSTIFICACIÓN	18
1.5. METODOLOGÍA	19
1.6. DESCRIPCIÓN Y UBICACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO	19
2.DESCRIPCIÓN GENERAL DE LAS CUENCAS	20
2.1. UBICACIÓN	20
2.1.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA	20
2.1.2. UBICACIÓN HIDROGRÁFICA.....	21
2.2. DELIMITACIÓN HIDROGRÁFICA DE LAS CUENCAS	22
2.3. GEOMORFOLOGÍA	24
2.3.1. ÁREA DE LA CUENCA (A)	24
2.3.2. LONGITUD DEL CAUCE PRINCIPAL (L), PERÍMETRO (P) Y ANCHO (W).....	25
2.3.3. ÍNDICE DE COMPACIDAD (KC)	26
2.3.4. ELEVACIÓN MÁXIMA Y MÍNIMA	27
2.3.5. RELACIÓN DE ELONGACIÓN.....	28
2.3.6. ÍNDICE DE FORMA	28
2.3.7. DENSIDAD DE DRENAJE.....	29
2.3.8. CURVA HIPSOMÉTRICA Y FRECUENCIA ALTIMÉTRICA.....	29
2.3.9. PENDIENTE PROMEDIO DE LA CUENCA	33
3.ESTUDIO HIDROMETEOROLOGICO	35
3.1. RECOPIACION DE INFORMACIÓN	35
3.1.1. INFORMACIÓN CARTOGRÁFICA Y TOPOGRÁFICA.....	35
3.1.2. INFORMACIÓN HIDROMETEOROLÓGICA.....	35



3.1.2.1. Datos Hidrológicos	35
3.1.2.1. Datos Meteorológicos.....	36
3.1.3. ESTACIONES DE CONTROL EN EL SISTEMA DEL RIO VINCES: PRECIPITACIONES Y CAUDALES.....	37
3.2. VALIDACIÓN DE LA INFORMACIÓN Y RELLENO DE DATOS	37
3.2.1. CALIDAD DE LA INFORMACIÓN	37
3.2.1.1. Curva de doble masa	38
3.2.1.2. Diagrama de Caja (Box Plot).....	39
3.2.2. RELLENO DE DATOS FALTANTES	40
3.2.2.1. Modelo de Correlación	41
3.2.3. HOMOGENEIZACIÓN DE LAS SERIES HIDROLÓGICAS RELLENADAS Y CORREGIDAS.....	43
3.3. PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN	44
3.3.1. DETERMINACIÓN DE CAUDALES MEDIOS	44
3.3.2. CAUDALES Y PRECIPITACIONES MÁXIMAS EMPLEANDO ANÁLISIS ESTADÍSTICO: BONDAD DE AJUSTE	45
3.3.2.1. Determinación de la Probabilidad	45
3.3.2.2. Período de retorno.....	46
3.3.2.3. Análisis de Frecuencia	46
3.3.2.4. Distribuciones de probabilidades usadas en hidrología	47
3.3.2.5. Función de Distribución de Gumbel.....	48
3.3.2.6. Coeficiente de Determinación R^2	50
3.3.2.7. Test de Kolmogorov-Smirnov.....	51
3.3.3. CONTROL DE CALIDAD DE LA INFORMACIÓN DE CAUDALES Y PRECIPITACIONES MAXIMAS.....	55
3.3.4. DEFINICIÓN DEL HISTOGRAMA DE DISEÑO	56
4.HIDROGRAMA DE DISEÑO	57
4.1. CAUDALES MÁXIMOS Y OBTENCIÓN DEL HIDROGRAMA DE DISEÑO	57
4.1.1. PRECIPITACIÓN DE DISEÑO	57
4.1.2. HIDROGRAMA DE DISEÑO: MÉTODO SCS	57
4.1.3. USO DEL SUELO.....	59
4.1.4. DETERMINACIÓN DEL NÚMERO DE CURVA	61
4.1.5. DEFINICIÓN DE LOS HIDROGRAMAS DE MODELACIÓN Y CAUDALES DE DISEÑO PARA 50 y 100 AÑOS DE PERIODO DE RETORNO	64



4.1.5.1. Hidrograma Unitario Sintético Triangular del SCS	64
4.1.5.2. Tiempo de Concentración	66
4.1.5.3. Hidrograma Acumulado.....	69
5. ESTUDIO HIDRAULICO: MODELIZACION MATEMATICA.....	71
5.1. MODELO MATEMATICO HEC RAS.....	71
5.1.1. CAPACIDADES HIDRÁULICAS	71
5.1.2. ECUACIONES BÁSICAS PARA EL CÁLCULO DE LOS PERFILES	72
5.1.2.1 Flujo Permanente	72
5.1.2.2 Flujo no permanente.....	75
5.2. HEC-GeoRAS: ESPECIFICACIONES Y CONCEPTUALIZACION	75
5.2.1. INFORMACIÓN REQUERIDA POR EL MODELO	76
5.2.2. ESQUEMA DE TRABAJO.....	76
5.2.3. DEFINICIÓN DE FRONTERAS ESPACIALES Y TEMPORALES	77
5.3. PARÁMETROS HIDRAULICOS DE DISEÑO	77
5.3.1. SECCIONES TRANSVERSALES.....	77
5.3.2. CAUDALES MEDIOS EN EL CAMPO.....	77
5.3.3. COEFICIENTE DE RUGOSIDAD (N DE MANNING).....	77
5.3.3.1. Toma de Muestras y Ensayo en Laboratorio.....	78
5.3.4. COEFICIENTES DE CONTRACCIÓN Y EXPANSIÓN	81
5.4. DESARROLLO DEL MODELO	82
5.4.1. OBTENCIÓN DEL MODELO DIGITAL DE TERRENO PARA EL RIO QUEVEDO-VINCES.....	82
5.4.2. PROCESO DE MODELACIÓN HIDRAULICA APLICANDO LA EXTENSIÓN HEC-GeoRAS.....	83
5.4.2.1. PRE PROCESO	83
5.4.2.2. PROCESO.....	86
5.4.2.3. POSTPROCESO:.....	92
6. ANALISIS E INTERPRETACION DE RESULTADOS.....	96
6.1. RESULTADOS EN HEC-RAS	96
6.1.1. TRAMO 1	96
6.1.1.1. Resultados gráficos y tabulares	97
6.1.2. TRAMO 2.....	100
6.1.2.1. Resultados gráficos y tabulares.....	101
6.1.3. TRAMO 3.....	105



6.1.3.1. Resultados gráficos y tabulares	105
6.2. ANÁLISIS DE INUNDACIONES, ZONIFICACIÓN DE RIESGOS.	110
7.CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	112
7.1. CONCLUSIONES.....	112
7.2. RECOMENDACIONES	113
8.ANEXOS Y MAPAS	115
8.1. ANEXOS.....	115
8.1.3. ANEXO 1: TABLAS DE CAUDALES MEDIOS MENSUALES	115
8.1.4. ANEXO 2: TABLAS UTILIZADAS PARA DETERMINAR CAUDALES PRECIPITACIONES MÁXIMAS PARA DIFERENTES PERÍODOS DE RETORNO	118
8.1.5. ANEXO 3: FOTOGRAFÍAS DE LA SALIDA DE CAMPO AL PROYECTO PACALORI.....	123
8.1.6. ANEXO 4: TABLAS DE CÁLCULO DE LOS HIDROGRAMAS DE MÁXIMA CRECIDA PARA PERÍODOS DE RETORNO DE 100 Y 50 AÑOS EN QUEVEDO	129
8.1.7. ANEXO 5: RESULTADOS TABULARES DEL MODELO HEC-RAS	132
8.2. MAPAS	144
8.2.1. MAPA DE INUNDACIÓN DEL RÍO VINCES PARA UN PERÍODO DE RETORNO DE 50 AÑOS	144
8.2.2. MAPA DE INUNDACIÓN DEL RÍO VINCES PARA UN PERÍODO DE RETORNO DE 100 AÑOS	144
8.2.3. MAPA DE ZONIFICACIÓN DEL RIO VINCES PARA UN PERIODO DE RETORNO DE 50 AÑOS	145
8.2.4. MAPA DE ZONIFICACIÓN DEL RIO VINCES PARA UN PERIODO DE RETORNO DE 100 AÑOS	146
BIBLIOGRAFIA.....	148



INDICE DE FIGURAS

FIGURA 2.1: UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LA CUENCA DEL RÍO VINCES Y QUEVEDO. 20

FIGURA 2.2: SUBCUENCAS HIDROGRÁFICAS DE LA CUENCA DEL GUAYAS. 22

FIGURA 2.3: CUENCAS DEL RÍO VINCES (QUEVEDO) HASTA LAS ESTACIONES QUEVEDO EN QUEVEDO H347 Y VINCES EN VINCES H348. 24

FIGURA 2.4: LONGITUD Y PERÍMETRO DE LA CUENCA. 26

FIGURA 2.5: CAMBIO DE FORMA DE LA CURVA HIPSOMÉTRICA CON LA EDAD DEL RÍO. 30

FIGURA 2.6: CURVA HIPSOMÉTRICA Y FRECUENCIA DE ALTITUDES DE LA CUENCA DEL RÍO QUEVEDO. 32

FIGURA 2.7: CURVA HIPSOMÉTRICA Y FRECUENCIA DE ALTITUDES DE LA CUENCA DEL RÍO VINCES. 33

FIGURA 3.1: CURVA DOBLE MASA QUEVEDO VS VINCES DE CMD DATOS COMUNES PERÍODO 1982-2009 ... 39

FIGURA 3.2: DIAGRAMA DE CAJA DE LA SERIE ANUAL DE CAUDALES MÁXIMOS DE LA ESTACIÓN VINCEN EN VINCEN 40

FIGURA 3.3: CURVA DE TENDENCIA POTENCIAL DE AJUSTE DE LOS PARES ORDENADOS QUEVEDO VS VINCEN. 42

FIGURA 3.4: CURVA DE TENDENCIA POTENCIAL DE AJUSTE DE LOS PARES ORDENADOS VINCEN VS QUEVEDO. 43

FIGURA 3.5: CURVA DOBLE MASA QUEVEDO VS VINCEN DE CMD DATOS RELLENADOS Y CORREGIDOS PERÍODO 1982-2009. 43

FIGURA 3.6: CURVA DE FRECUENCIA DE CAUDALES MÁXIMOS INSTANTÁNEOS – CUENCA DEL RÍO QUEVEDO (AJUSTE DISTRIBUCIÓN GUMBEL). 53

FIGURA 3.7: CURVA DE FRECUENCIA DE CAUDALES MÁXIMOS INSTANTÁNEOS – CUENCA DEL RÍO QUEVEDO (AJUSTE DISTRIBUCIÓN GUMBEL). 54

FIGURA 3.8: CURVA DE FRECUENCIA DE CAUDALES MÁXIMOS INSTANTÁNEOS – CUENCA DEL RÍO QUEVEDO (AJUSTE DISTRIBUCIÓN GUMBEL). 55

FIGURA 3.9: HIETOGRAMA DE DISEÑO 56

FIGURA 4.1: VARIABLES EN EL MÉTODO DE ABSTRACCIONES DE PRECIPITACIÓN DEL SCS. 58

FIGURA 4.2: MAPA DE USO DEL SUELO EN QUEVEDO. 60

FIGURA 4.3: HIDROGRAMAS UNITARIOS SINTÉTICOS DEL SOIL CONSERVATION SERVICE. A) HIDROGRAMA ADIMENSIONAL Y B) HIDROGRAMA UNITARIO TRIANGULAR. 65

FIGURA 4.4: HIDROGRAMA TRIANGULAR UNITARIO PARA LA CUENCA DEL RÍO QUEVEDO. 69

FIGURA 4.5: CONJUNTO DE ECUACIONES PARA CONVOLUCIÓN DE TIEMPO DISCRETO. 69

FIGURA 4.6: HIDROGRAMA MÁXIMO DE CRECIDA PARA UN PERÍODO DE RETORNO T=100 AÑOS DE QUEVEDO, QMÁX= 2504.28 M³/S. 70

FIGURA 4.7: HIDROGRAMA MÁXIMO DE CRECIDA PARA UN PERÍODO DE RETORNO T=50 AÑOS DE QUEVEDO, QMÁX= 2279 M³/S. 71

FIGURA 5.1: CURVA GRANULOMÉTRICA DEL SECTOR VINCEN EN VINCEN. 80

FIGURA 5.2: MODELO DIGITAL TRAMO RÍO QUEVEDO-VINCEN. 82

FIGURA 5.3: EXTENSIÓN HEC-GEORAS. 83

FIGURA 5.4: CREAR LAS CAPAS (RAS LAYERS). 83

FIGURA 5.5: EDICIÓN DE LOS FLOWPATHS. 84

FIGURA 5.6: SECCIONES TRANSVERSALES DEL RÍO QUEVEDO-VINCEN. 85

FIGURA 5.7: VENTANA PRINCIPAL DE HEC-RAS 4.1.0 86

FIGURA 5.8: GEOMETRÍA DEL RÍO QUEVEDO-VINCEN. 87

FIGURA 5.9: SECCIÓN 500 DEL RÍO QUEVEDO-VINCEN. 88

FIGURA 5.10: INGRESO DE LOS DATOS PARA CREAR EL PUENTE. 89



FIGURA 5.11: INGRESO DE DATOS PARA LAS PILAS DEL PUENTE. 89

FIGURA 5.12: INGRESO DE LOS DATOS DE CAUDAL PARA LOS PERIODOS DE RETORNO DE 50 Y 100
RESPECTIVAMENTE. 90

FIGURA 5.13: INGRESO DE CONDICIONES DE BORDE PARA FLUJO MIXTO..... 90

FIGURA 5.14: INGRESO DE HIDROGRAMA PARA FLUJO NO PERMANENTE..... 91

FIGURA 5.15: CONVERSIÓN DE FORMATO SDF A XML. 92

FIGURA 5.16: INGRESO DE DATOS 93

FIGURA 5.17: IMPORTACIÓN DE DATOS A ARCGIS..... 93

FIGURA 5.18: RÍO, BORDES Y SECCIONES TRANSVERSALES ARCGIS..... 94

FIGURA 5.19: CREACIÓN DEL ARCHIVO TIN EN ARCGIS..... 94

FIGURA 5.20: SIMULACIÓN DE LA INUNDACIÓN DE UN TRAMO DEL RÍO QUEVEDO-VINCES..... 95

FIGURA 6.1: HIDROGRAMA DE DISEÑO TRAMO 1 PARA UN PERIODO DE DISEÑO DE 100 AÑOS..... 96

FIGURA 6.2: VELOCIDADES A LO LARGO DEL TRAMO 1 (0+000 – 30+337.3) PARA UN PERÍODO DE RETORNO
DE 100 AÑOS..... 97

FIGURA 6.3: ÁREAS DE FLUJO A LO LARGO DEL TRAMO 1 PARA UN PERÍODO DE RETORNO DE 100 AÑOS. .. 98

FIGURA 6.4: PERFIL DE FLUJO A LO LARGO DEL TRAMO 1 PARA UN PERÍODO DE RETORNO DE 100 AÑOS. .. 98

FIGURA 6.5: NÚMERO DE FROUDE A LO LARGO DEL TRAMO 1 PARA UN PERIODO DE RETORNO DE 100 AÑOS
..... 99

FIGURA 6.6: MANCHA DE INUNDACIÓN PARA UN FLUJO CON UN PERÍODO DE RETORNO DE 100 AÑOS
(TRAMO1) 99

FIGURA 6.7 SECCIÓN TRANSVERSAL DEL RÍO VINCES EN LA ABSCISA 4+842..... 100

FIGURA 6.8: HIDROGRAMA DE DISEÑO TRAMO 2 PARA UN PERIODO DE DISEÑO DE 100 AÑOS..... 101

FIGURA 6.9: VELOCIDADES A LO LARGO DEL TRAMO 2 PARA UN PERÍODO DE RETORNO DE 100 AÑOS 102

FIGURA 6.10: ÁREAS DE FLUJO A LO LARGO DEL TRAMO 2 PARA UN PERÍODO DE RETORNO DE 100 AÑOS.
..... 102

FIGURA 6.11: PERFIL DE FLUJO A LO LARGO DEL TRAMO 2 PARA UN PERIODO DE RETORNO DE 100 AÑOS.
..... 103

FIGURA 6.12: NÚMERO DE FROUDE A LO LARGO DEL TRAMO 2 PARA UN PERIODO DE RETORNO DE 100
AÑOS..... 103

FIGURA 6.13: MANCHA DE INUNDACIÓN PARA UN FLUJO CON UN PERIODO DE RETORNO DE 100 AÑOS
(TRAMO1) 104

FIGURA 6.14 SECCIÓN TRANSVERSAL DEL RÍO VINCES EN LA ABSCISA 4+842..... 104

FIGURA 6.15: HIDROGRAMA DE DISEÑO TRAMO 3 PARA UN PERÍODO DE DISEÑO DE 100 AÑOS..... 105

FIGURA 6.16: VELOCIDADES A LO LARGO DEL TRAMO 2 PARA UN PERIODO DE RETORNO DE 100 AÑOS ... 106

FIGURA 6.17: ÁREAS DE FLUJO A LO LARGO DEL TRAMO 3 PARA UN PERÍODO DE RETORNO DE 100 AÑOS.
..... 106

FIGURA 6.18: VELOCIDADES DEL FLUJO EN LA SECCIÓN DE ENTRADA DEL PUENTE MOCACHE..... 107

FIGURA 6.19: PERFIL DE FLUJO A LO LARGO DEL TRAMO 3 PARA UN PERÍODO DE RETORNO DE 100 AÑOS.
..... 107

FIGURA 6.20: PERFIL A DETALLE DEL CAMBIO DE RÉGIMEN EN LA SECCIÓN DEL PUENTE..... 108

FIGURA 6.21: NÚMERO DE FROUDE A LO LARGO DEL TRAMO 3 PARA UN PERÍODO DE RETORNO DE 100
AÑOS..... 108

FIGURA 6.22: MANCHA DE INUNDACIÓN PARA UN FLUJO CON UN PERÍODO DE RETORNO DE 100 AÑOS
(TRAMO1) 109

FIGURA 6.23 SECCIÓN TRANSVERSAL DEL RÍO VINCES EN LA ABSCISA 75+528..... 110



ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 2.1: COORDENADAS GEOGRÁFICAS DE LAS CUENCAS VINCES Y QUEVEDO	21
TABLA 2.2: ÁREA ACUMULADA Y ALTURA PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LA CURVA HIPSOMÉTRICA Y POLÍGONO DE FRECUENCIA DE ALTITUDES DE LA CUENCA DEL RÍO VINCES.	31
TABLA 2.3: ÁREA ACUMULADA Y ALTURA PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LA CURVA HIPSOMÉTRICA Y POLÍGONO DE FRECUENCIA DE ALTITUDES DE LA CUENCA DEL RÍO QUEVEDO.....	32
TABLA 2.4: PENDIENTE PROMEDIO DE CUENCA DEL RÍO VINCES.	34
TABLA 2.5: PENDIENTE PROMEDIO DE LA CUENCA DEL RÍO QUEVEDO.	34
TABLA 3.1: ESTACIONES HIDROMETEOROLÓGICAS UBICADAS EN LAS CUENCAS DE INTERÉS.	37
TABLA 3.2: ECUACIONES DE RELLENO DE INFORMACIÓN.	42
TABLA 3.3: DISTRIBUCIONES DE PROBABILIDAD PARA EL AJUSTE DE INFORMACIÓN HIDROLÓGICA.....	48
TABLA 3.4: VALORES DE MY Y AY PARA ESTIMAR A Y B EN MUESTRAS PEQUEÑAS.....	50
TABLA 3.5: AJUSTE DE LA FUNCIÓN DE GUMBEL.....	52
TABLA 3.6: CAUDALES MÁXIMOS INSTANTÁNEOS PARA DIFERENTES PERÍODOS DE RETORNO- CUENCA DEL RÍO QUEVEDO (AJUSTE DISTRIBUCIÓN GUMBEL)	53
TABLA 3.7: CAUDALES MÁXIMOS INSTANTÁNEOS PARA DIFERENTES PERIODOS DE RETORNO- CUENCA DEL RÍO VINCES (AJUSTE DISTRIBUCIÓN GUMBEL)	53
TABLA 3.8: PRECIPITACIONES MÁXIMAS INSTANTÁNEAS PARA DIFERENTES PERÍODOS DE RETORNO - ESTACIÓN PICHILINGUE (AJUSTE DISTRIBUCIÓN GUMBEL)	54
TABLA 4.1: USO DE SUELO EN QUEVEDO.	61
TABLA 5.1: UBICACIÓN DE LOS PUNTOS DE RECOLECCIÓN DE MUESTRAS DE MATERIAL.....	79
TABLA 5.2: VALORES N DE MANNING DE LOS PUNTOS DE TOMA DE MUESTRAS.	81
TABLA 5.3: CURVA DE DESCARGA EN MOCACHE.....	91
TABLA 6.1: ÁREA DE INUNDACIÓN PARA EL RÍO QUEVEDO-VINCES CON UN PERÍODO DE RETORNO DE 50 AÑOS.....	111
TABLA 6.2: ÁREA DE INUNDACIÓN PARA EL RÍO QUEVEDO-VINCES CON UN PERÍODO DE RETORNO DE 100 AÑOS.....	111
TABLA 8.5: TABLA DE TABULACIÓN DEL MODELO HEC-RAS DEL TRAMO 1 PARA UN PERIODO DE RETORNO DE 50 AÑOS.....	133
TABLA 8.6: TABLA DE TABULACIÓN DEL MODELO HEC-RAS DEL TRAMO 1 PARA UN PERIODO DE RETORNO DE 100 AÑOS.....	135
TABLA 8.7: TABLA DE TABULACIÓN DEL MODELO HEC-RAS DEL TRAMO 2 PARA UN PERIODO DE RETORNO DE 50 AÑOS.....	137
TABLA 8.8: TABLA DE TABULACIÓN DEL MODELO HEC-RAS DEL TRAMO 2 PARA UN PERIODO DE RETORNO DE 100 AÑOS.....	138
TABLA 8.9: TABLA DE TABULACIÓN DEL MODELO HEC-RAS DEL TRAMO 3 PARA UN PERIODO DE RETORNO DE 50 AÑOS.....	141
TABLA 8.10: TABLA DE TABULACIÓN DEL MODELO HEC-RAS DEL TRAMO 3 PARA UN PERIODO DE RETORNO DE 100 AÑOS.....	143



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Fundada en 1867

Yo, Tatiana Denisse Solano Zúñiga, autor de la tesis "Estudio Fluviomorfológico del río Vinces y determinación de las áreas de inundación de la zona de influencia del proyecto PACALORI aplicando HEC GeoRAS", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor/a.

Cuenca, 21 de Octubre de 2013

Tatiana Denisse Solano Zúñiga.
1400674436

Cuenca Patrimonio Cultural de la Humanidad. Resolución de la UNESCO del 1 de diciembre de 1999

Av. 12 de Abril, Ciudadela Universitaria, Teléfono: 405 1000, Ext.: 1311, 1312, 1316
e-mail cdjbv@ucuenca.edu.ec casilla No. 1103
Cuenca - Ecuador



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Fundada en 1867

Yo, Tatiana Denisse Solano Zúñiga, autor de la tesis "Estudio Fluviomorfológico del río Vinces y determinación de las áreas de inundación de la zona de influencia del proyecto PACALORI aplicando HEC GeoRAS", reconozco y acepto el derecho de la Universidad de Cuenca, en base al Art. 5 literal c) de su Reglamento de Propiedad Intelectual, de publicar este trabajo por cualquier medio conocido o por conocer, al ser este requisito para la obtención de mi título de Ingeniero Civil. El uso que la Universidad de Cuenca hiciera de este trabajo, no implicará afección alguna de mis derechos morales o patrimoniales como autor.

Cuenca, 21 de Octubre

Tatiana Denisse Solano Zúñiga
1400674436

Cuenca Patrimonio Cultural de la Humanidad. Resolución de la UNESCO del 1 de diciembre de 1999

Av. 12 de Abril, Ciudadela Universitaria, Teléfono: 405 1000, Ext.: 1311, 1312, 1316

e-mail cdjbv@ucuenca.edu.ec casilla No. 1103

Cuenca - Ecuador



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Fundada en 1867

Yo, Natalia Catalina Vintimilla Villavicencio, autora de la tesis "Estudio Fluviomorfológico del río Vinces y determinación de las áreas de inundación de la zona de influencia del proyecto PACALORI aplicando HEC-GeoRAS", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor/a.

Cuenca, 21 de Octubre de 2013

Natalia Catalina Vintimilla Villavicencio
CI: 0302152491

Cuenca Patrimonio Cultural de la Humanidad. Resolución de la UNESCO del 1 de diciembre de 1999

Av. 12 de Abril, Ciudadela Universitaria, Teléfono: 405 1000, Ext.: 1311, 1312, 1316

e-mail cdjbv@ucuenca.edu.ec casilla No. 1103

Cuenca - Ecuador

**UNIVERSIDAD DE CUENCA**

Fundada en 1867

Yo, Natalia Catalina Vintimilla Villavicencio, autora de la tesis "Estudio Fluviomorfológico del río Vinces y determinación de las áreas de inundación de la zona de influencia del proyecto PACALORI aplicando HEC-GeoRAS", reconozco y acepto el derecho de la Universidad de Cuenca, en base al Art. 5 literal c) de su Reglamento de Propiedad Intelectual, de publicar este trabajo por cualquier medio conocido o por conocer, al ser este requisito para la obtención de mi título de Ingeniera Civil. El uso que la Universidad de Cuenca hiciere de este trabajo, no implicará afección alguna de mis derechos morales o patrimoniales como autor/a.

Cuenca, 21 de Octubre de 2013

Natalia Catalina Vintimilla Villavicencio
CI: 0302152491

Cuenca Patrimonio Cultural de la Humanidad. Resolución de la UNESCO del 1 de diciembre de 1999

Av. 12 de Abril, Ciudadela Universitaria, Teléfono: 405 1000, Ext.: 1311, 1312, 1316
e-mail cdjbv@ucuenca.edu.ec casilla No. 1103
Cuenca - Ecuador



DEDICATORIA

Dedico este trabajo principalmente a Dios, por haberme dado la vida y permitirme el haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional. A mi padre Marcelo, por su apoyo incondicional y confianza. A mi madre, Alicia que es el ángel que guía mis pasos desde el cielo. A todas las personas que de una u otra manera me han apoyado para culminar con esta etapa de mi vida.

Tatiana Solano Z.



DEDICATORIA

A Dios y la Virgen que son mi fortaleza, don y sabiduría; a mis padres queridos Remigio y Nelly por su apoyo incondicional, su cariño y por confiar en mí. A mis hermanos y familiares que estuvieron presentes a lo largo de este camino, de manera especial a mi abuelita Flor María ejemplo de vida y amor.

Natalia Vintimilla V.



AGRADECIMIENTOS

A la Universidad de Cuenca por darnos la oportunidad de estudiar y ser profesionales, a los profesores de la Escuela de Ingeniería Civil quienes nos inculcaron sus conocimientos.

Un sincero agradecimiento a nuestro director de tesis, Ing. Felipe Cisneros PhD., Director del Programa para el Manejo de Agua y Suelo (PROMAS), por permitirnos realizar este trabajo proporcionándonos el espacio y los insumos necesarios.

De igual manera un profundo agradecimiento a nuestro tutor de tesis, Ing. Cristian Coello MSc., Investigador Principal del PROMAS, quien con sus conocimientos, experiencia, paciencia y motivación ha logrado que podamos terminar este estudio con éxito.

Finalmente agradecemos a todas las personas que nos brindaron su apoyo y conocimientos durante este trayecto.

Tatiana Solano Z.

Natalia Vintimilla V.



ESTUDIO FLUVIOMORFOLÓGICO DEL RÍO VINCES Y DETERMINACIÓN DE LAS ÁREAS DE INUNDACIÓN DE LA ZONA DE INFLUENCIA DEL PROYECTO PACALORI APLICANDO HEC-GeoRAS

1. INTRODUCCIÓN

1.1. ANTECEDENTES

La Región Costanera es la zona más poblada del Ecuador, una extensa área de esta región se considera vulnerable a las inundaciones. En esta región que constituye el principal recurso agrícola del Ecuador es fundamental garantizar el adecuado uso del agua con la implementación de infraestructura de aprovechamiento y control de la misma.

El Plan de Aprovechamiento y Control de Agua de la Provincia de Los Ríos que realiza el PROMAS-Universidad de Cuenca tiene un conjunto de estudios y uno de ellos constituye el ESTUDIO FLUVIOMORFOLÓGICO DEL RÍO VINCES Y DETERMINACIÓN DE LAS AREAS DE INUNDACIÓN EN ZONA DE INFLUENCIA DEL PROYECTO PACALORI APLICANDO HEC-GeoRAS.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. OBJETIVO GENERAL

Calibración y obtención final de parámetros hidráulicos junto con las zonas de inundación para caudales de diferente periodo de retorno, esto aplicado al tramo del río Quevedo–Vinces enmarcado dentro del Proyecto Control del Agua de la Provincia de los Ríos “PACALORI”.



1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Ubicar las Estaciones Hidrometeorológicas de control en el sistema del río Vinces y cuencas aledañas mediante recopilación de información, procesamiento y control de calidad.
- Definición de la precipitación de diseño a partir de análisis estadísticos con la información disponible en las estaciones.
- Definir los Hidrogramas de Modelación con Caudales de Diseño para periodos de retorno de 10, 25,50 y 100 años, aplicando la metodología SCS (Soil Conservation Service)
- Implementar el Modelo HEC-GeoRAS en la Zona del Proyecto, procedimiento o su calibración, validación y análisis de escenarios.
- Elaborar Mapas de inundación natural del río e identificar áreas con alta vulnerabilidad de inundación.

1.3. ALCANCE

El presente estudio pretende analizar la Fluviomorfología del río Vinces mediante el estudio Hidrometeorológico de la cuenca hidrográfica de interés y con el cual se definirán los Hidrogramas de Diseño mediante el Método SCS.

A partir de esta información se determinará las áreas de inundación en la zona del proyecto, para lo cual se desarrollará la calibración del Modelo Matemático con la implementación HEC-GeoRAS gracias a la aplicación de Sistemas de Información Geográfica.

1.4. JUSTIFICACIÓN

El agua es evidentemente un recurso abundante en la Provincia de los Ríos, sin embargo, por su mala distribución en el espacio y en el tiempo, ha causado por mucho tiempo, el fenómeno de la inundación-sequía que pueden llegar a causar situaciones de emergencia o desastre. Estas pueden manifestarse periódicamente en importantes áreas de la zona, afectando de esta manera a las poblaciones cuyo sustento es principalmente la actividad agrícola.

Para la prevención y mitigación de estos eventos, El Plan de Aprovechamiento y Control de Agua de la Provincia de los Ríos (PACALORI), tiene como finalidad



entre otros aspectos La determinación de las áreas de inundación en la zona de influencia del Proyecto.

De esta manera la información obtenida con este estudio será un aporte para establecer un programa sustentable, que técnicamente solucione las etapas críticas que se producen en invierno y verano.

1.5. METODOLOGÍA

Implementación del modelo matemático HEC-GeoRAS para el análisis hidráulico del río Vinces con la incorporación de sistemas de información geográfica SIG y determinación de las áreas de inundación natural del río.

Para ello se empleó información topografía existente a escala 1:10000 y batimetrías existentes en el río, los aforos ejecutados en el sector de Mocache servirá para la calibración y validación del modelo matemático.

1.6. DESCRIPCIÓN Y UBICACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

El proyecto PACALORI está localizado en la costa ecuatoriana, en la provincia de Los Ríos, que está limitada en el norte con Santo Domingo de los Tsáchilas, al este por Cotopaxi y Bolívar, y al oeste y sur por la provincia del Guayas.

La zona de estudio específicamente, comprende las subcuencas de los ríos Vinces y Quevedo que forman parte de la cuenca del Río Guayas, principalmente en el sector comprendido entre las planicies costaneras del cantón Vinces y Quevedo, con una extensión aproximada de 400 000 ha, abarcando los poblados de La Campiña, Banepo, Jodán, Las Ánimas, Palenque, Pise, Vuelta Larga, La Libertad, Aguacatal de Las Garzas, Mocache y San Carlos.

Esta región debido a su morfología, condiciones de zona (baja pendiente), y a sus condiciones climáticas, tienen como principal actividad la agricultura (sistemas agrícolas intensivos altamente tecnificados), siendo el terreno el lugar primordial para el desarrollo de dicha actividad, por este motivo es preciso reconocer los sitios de alto riesgo de inundación para tomar medidas de seguridad adecuadas.

2. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LAS CUENCAS

2.1. UBICACIÓN

2.1.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA

Las cuencas del Río Quevedo y Vinces se ubican entre las provincias de Los Ríos, Santo Domingo de los Tsáchilas y Cotopaxi, en el centro occidental del Ecuador. Se extienden entre las coordenadas UTM: Este 638.924,012 y 704 381.31, y Norte 9'831.052,571 y 9'972.771,15. (Ver Figura 2.1)

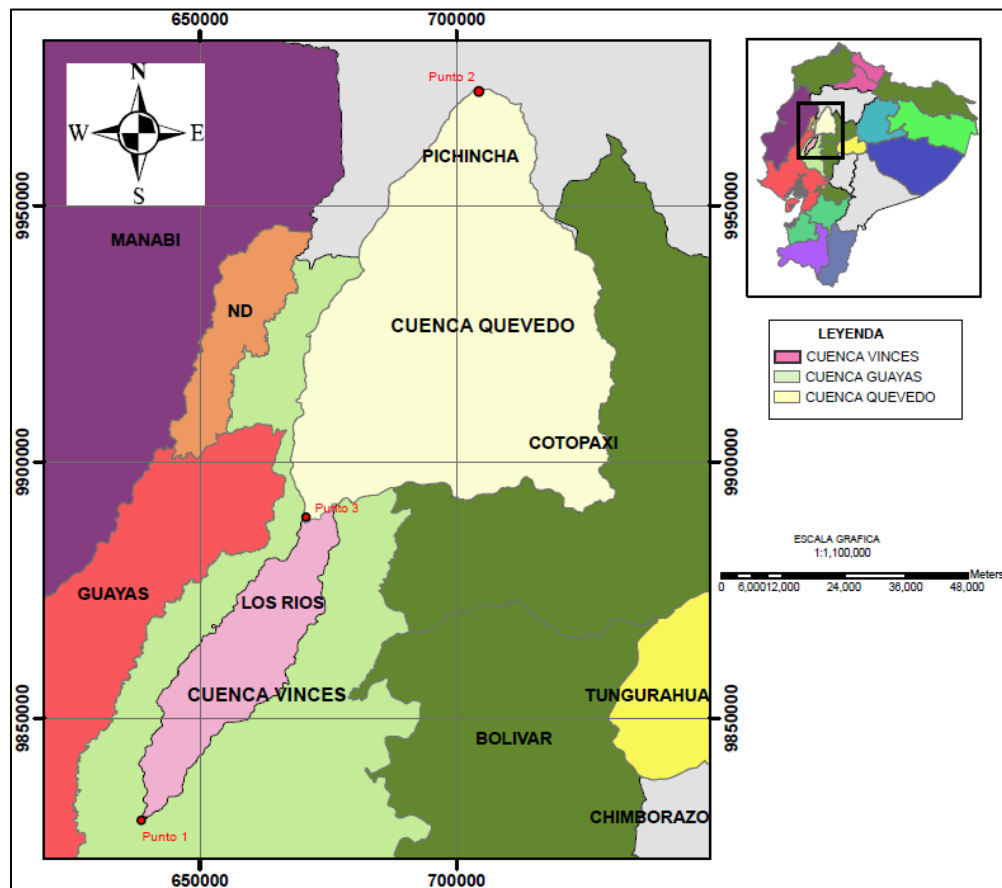


Figura 2.1: Ubicación geográfica de la cuenca del río Vinces y Quevedo.



En la Tabla 2.1, se presentan las coordenadas de los puntos 1, 2 y 3 de la Figura 2.1 que limitan las cuencas.

COORDENADAS UTM	ESTE	NORTE
PUNTO 1	638924	9831053
PUNTO 2	704381	9972771
PUNTO 3	670280	9888565

Tabla 2.1: Coordenadas Geográficas de las cuencas Vinces y Quevedo

2.1.2. UBICACIÓN HIDROGRÁFICA

Las cuencas del río Vinces y Quevedo son subcuencas de la cuenca del río Guayas, que pertenece a la vertiente del Pacífico, con una extensión de aproximadamente 34.500 km²; constituye el sistema fluvial más importante de la costa sudoccidental del Pacífico, cuya red de drenaje nacen en las estribaciones occidentales de la Cordillera de los Andes y en la vertiente oriental de la Cordillera Costanera Chongón - Colonche.

Las cuencas en estudio limitan al norte con la cuenca del río Esmeraldas; al sur con la cuenca de Drenajes Menores; al este con las cuencas de los ríos Daule y Macul; y al oeste con las cuencas de Babahoyo y Drenajes Menores. (Ver Figura 2.2).

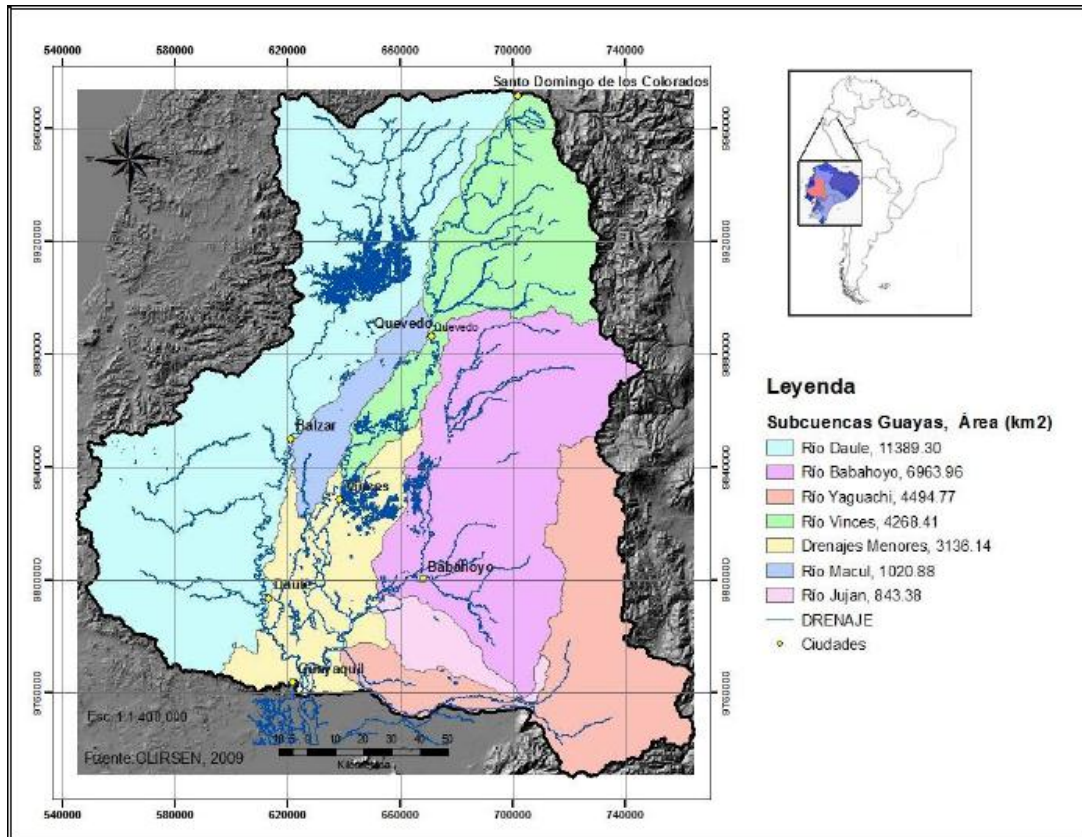


Figura 2.2: Subcuencas Hidrográficas de la Cuenca del Guayas.

(Fuente: CLIRSEN, 2009)

La cuenca del río Quevedo se inicia en las estribaciones de la cordillera occidental, con el nacimiento del río Baba, que luego en su recorrido recibe como tributario al río Bolo, Bimbe y Toachi para luego de 15 km aproximadamente, pasa a denominarse río Quevedo. Continuando con su recorrido recibe como afluentes al río Lulu y río San Pablo.

2.2. DELIMITACIÓN HIDROGRÁFICA DE LAS CUENCAS

Una cuenca hidrográfica es una zona delimitada topográficamente que desagua mediante un sistema fluvial, es decir la superficie total de tierras que desaguan en un cierto punto de un curso de agua o río. Constituye una unidad hidrológica descrita como una unidad físico-biológica y también como unidad socio-política para la planificación y ordenación de los recursos naturales”.



Al interior de la cuenca se pueden delimitar subcuencas o cuencas de orden inferior. Las divisorias que delimitan las subcuencas se conocen como parteaguas secundarios. Las cuencas pueden sub-dividirse en tres zonas de funcionamiento hídrico principales:

- a) Zona de cabecera
- b) Zona de captación-transporte
- c) Zona de emisión”

Algunos autores sub-dividen el concepto de cuenca en función del tipo de aguas en circulación. Así consideran una cuenca hidrográfica, una unidad morfográfica donde sólo se consideran a las aguas superficiales y cuenca hidrológica como un concepto más integral, donde se incluyen las aguas superficiales y subterráneas (estructura hidrogeológica del acuífero).

El proceso para delimitar las cuencas se lo ha realizado mediante el Sistema de Información Geográfica (SIG), el cual proporciona una manera más rápida y sencilla para la delimitación de las cuencas en estudio mediante sus aplicaciones.

Para realizar el análisis hidrológico con ArcGIS, se realizó un modelo digital de elevación del área de estudio para el cual se utilizó la herramienta *Hydrology*.

La siguiente figura muestra la delimitación de las cuencas del río Quevedo y del río Vincas.

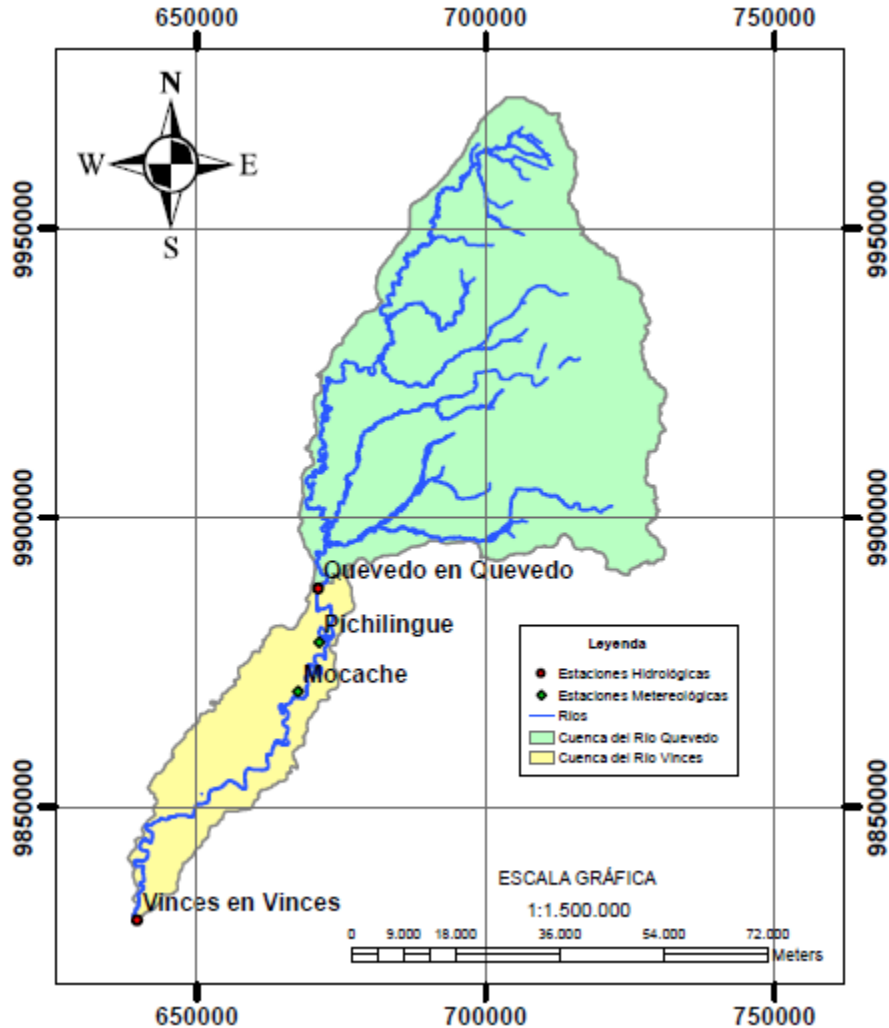


Figura 2.3: Cuencas del Río Vices (Quevedo) hasta las estaciones Quevedo en Quevedo H347 y Vices en Vices H348.

2.3. GEOMORFOLOGÍA

2.3.1. ÁREA DE LA CUENCA (A)

El área de la cuenca está definida por el espacio delimitado por la curva del perímetro (P). Esta línea se traza normalmente mediante fotointerpretación de fotografías aéreas en las que se aprecia el relieve (y por lo tanto las divisorias de aguas) o sobre un mapa topográfico en función de las curvas de nivel representadas. Probablemente sea el factor más importante en la relación escorrentía-características morfológicas.



Las áreas de estudio fueron obtenidas mediante ArcGIS en Km² (Ver Figura 2.3), obteniendo los siguientes valores para las cuencas de Vinces y Quevedo respectivamente:

$$A_{\text{Vinces}} = 4268.41 \text{ km}^2$$

$$A_{\text{Quevedo}} = 3441.39 \text{ km}^2$$

2.3.2. LONGITUD DEL CAUCE PRINCIPAL (L), PERÍMETRO (P) Y ANCHO (W)

La longitud L de la cuenca viene definida por la longitud de su cauce principal (Ver Figura 2.4), siendo la distancia equivalente que recorre el río entre el punto de desagüe aguas abajo y el punto situado a mayor distancia topográfica aguas arriba.

Al igual que la superficie, este parámetro influye enormemente en la generación de escorrentía y por ello es determinante para el cálculo de la mayoría de los índices morfométricos.

La longitud del cauce principal tanto para la cuenca del Río Vinces como para la cuenca del Río Quevedo se obtuvieron en ArcGIS, tomando el punto más alejado de las cuencas hasta la salida de las mismas. Las medidas resultantes fueron las siguientes:

$$L_{\text{Vinces}} = 298, 20 \text{ km}$$

$$L_{\text{Quevedo}} = 163, 50 \text{ km}$$

En cuanto al perímetro de la cuenca, P (Ver Figura 2.4), informa sobre la forma de la cuenca; para una misma superficie, los perímetros de mayor valor se corresponden con cuencas alargadas mientras que los de menor lo hacen con cuencas redondeadas.

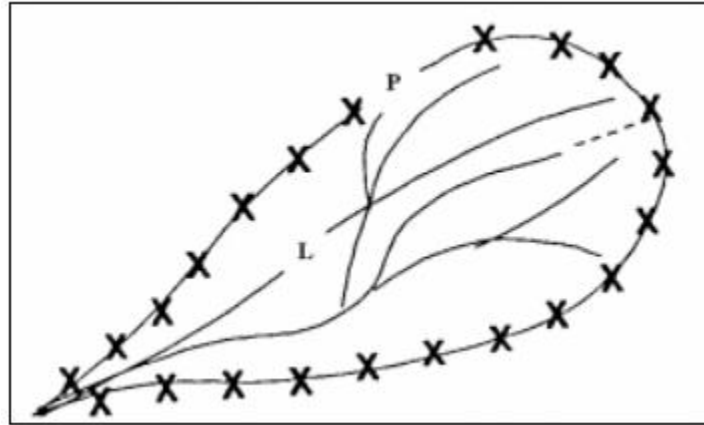


Figura 2.4: Longitud y Perímetro de la Cuenca.

Los perímetros obtenidos en ArcGIS para las cuencas en estudio son:

$$P_{\text{Vinces}} = 459,71 \text{ km}$$

$$P_{\text{Quevedo}} = 282,90 \text{ km}$$

El ancho se define como la relación entre el área (A) y la longitud de la cuenca (L); se designa por la letra W de forma que:

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

Dónde:

A: superficie de la cuenca en km².

L: longitud de la cuenca en km.

Con la fórmula anterior se obtuvo el ancho para la cuenca de Vinces y la cuenca de Quevedo dando como resultados los siguientes valores:

$$W_{\text{Vinces}} = 14,31 \text{ km}$$

$$W_{\text{Quevedo}} = 21,05 \text{ km}$$

2.3.3. ÍNDICE DE COMPACIDAD (KC)

Es el cociente entre el perímetro de la cuenca y la longitud de una circunferencia de área igual al área de la cuenca:



$$Kc = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}} = \frac{0.28P}{\sqrt{A}}$$

P: Perímetro de la Cuenca (km)

A: Área de la Cuenca (km²)

A partir de esta relación se encuentra el coeficiente de compacidad para las cuencas de Vinces y Quevedo.

$$Kc_{Vinces} = 1,97$$

$$Kc_{Quevedo} = 1,36$$

De acuerdo a los valores de los índices de compacidad obtenidos anteriormente se puede verificar que la forma de las cuencas son correctas en la Figura 2.3, es decir la cuenca del río Vinces presenta una forma más alargada entre Vinces y Quevedo, debido a que su índice se encuentra más alejado de la unidad, en cuanto a la forma de la cuenca del río Quevedo su forma es más ensanchada, debido a que su índice se acerca más a la unidad.

2.3.4. ELEVACIÓN MÁXIMA Y MÍNIMA

Elevación Máxima: Es la cota del punto más elevado de la cuenca hidrográfica.

Elevación Mínima: Es la cota del punto más bajo de la cuenca hidrográfica, usualmente es el punto de salida de la misma.

Las cotas máximas y mínimas ubicadas en ArcGIS para las cuencas de Vinces y Quevedo son las siguientes:

Para la cuenca de Vinces:

$$\text{Cota máxima} = 4079,33 \text{ msnm}$$

$$\text{Cota mínima} = 5,04 \text{ msnm}$$

Para la cuenca de Quevedo:

$$\text{Cota máxima} = 4034,97 \text{ msnm}$$

$$\text{Cota mínima} = 79,84 \text{ msnm}$$



2.3.5. RELACIÓN DE ELONGACIÓN

Se define como el cociente entre el diámetro de un círculo que tiene igual área que la cuenca y la longitud de la misma.

$$Re = \frac{D}{L} = 1.128 \frac{\sqrt{A}}{L}$$

A: Área de la cuenca (km²)

L: Longitud de la cuenca (km)

Las relaciones de elongación para las cuencas del río Vinces y del río Quevedo son:

$$Re_{\text{Vinces}} = 0,25$$

$$Re_{\text{Quevedo}} = 0,40$$

De acuerdo a los resultados obtenidos el índice de elongación de la Cuenca del Río Vinces es menor que la de la cuenca del río Quevedo lo que corrobora que a menor Re más alargada será la forma de la cuenca, es así que la forma de la cuenca del río Vinces es claramente más alargada que la del río Quevedo (Ver Figura 2.3).

2.3.6. ÍNDICE DE FORMA

Se define como el cociente entre el ancho promedio del área de la cuenca y la longitud de la misma. El ancho promedio se halla al dividir el área por la longitud de tal manera que:

$$K_f = \frac{A}{L^2}$$

A: Área de la Cuenca (km²)

L: Longitud de la Cuenca (km)

Para las cuencas en estudio se tienen los siguientes índices de forma:

$$K_{f\text{Vinces}} = 0,048$$

$$K_{f\text{Quevedo}} = 0,12$$



Con los índices de forma obtenidos para las cuencas de Vinces y Quevedo se comprueba que las dos cuencas son muy poco atachadas ya que los valores de sus índices son muy bajos.

2.3.7. DENSIDAD DE DRENAJE

Se define como el cociente entre la longitud total de las corrientes de agua y el área de la cuenca.

$$D_d = \frac{\sum l (km)}{A (km^2)}$$

Las densidades de drenaje para la cuenca del río Vinces y para la cuenca del río Quevedo son:

$$D_{dVinces} = 0,731$$

$$D_{dQuevedo} = 0.729$$

Los valores de densidad de drenaje obtenidos anteriormente son prácticamente iguales para las dos cuencas y mediante estos resultados se puede concluir que en las dos cuencas la densidad de drenaje tiene una eficiencia baja.

2.3.8. CURVA HIPSOMÉTRICA Y FRECUENCIA ALTIMÉTRICA

La curva hipsométrica representa el área drenada variando con la altura de la superficie de la cuenca. Se construye llevando al eje de las abscisas los valores de la superficie drenada proyectada en km^2 o en porcentaje, obtenida hasta un determinado nivel, el cual se lleva al eje de las ordenadas, generalmente en metros. Normalmente se puede decir que los dos extremos de la curva tienen variaciones abruptas.

La función hipsométrica es una forma conveniente y objetiva de describir la relación entre la propiedad altimétrica de la cuenca en un plano y su elevación. Es posible convertir la curva hipsométrica en función adimensional usando en lugar de valores totales en los ejes, valores relativos: dividiendo la altura y el área por sus respectivos valores máximos. El gráfico adimensional es muy útil en hidrología para el estudio de similitud entre dos cuencas, cuando ellas presentan variaciones de la precipitación y de la evaporación con la altura. Las curvas hipsométricas también han sido asociadas con las edades de los ríos de las respectivas cuencas (Figura 2.5).

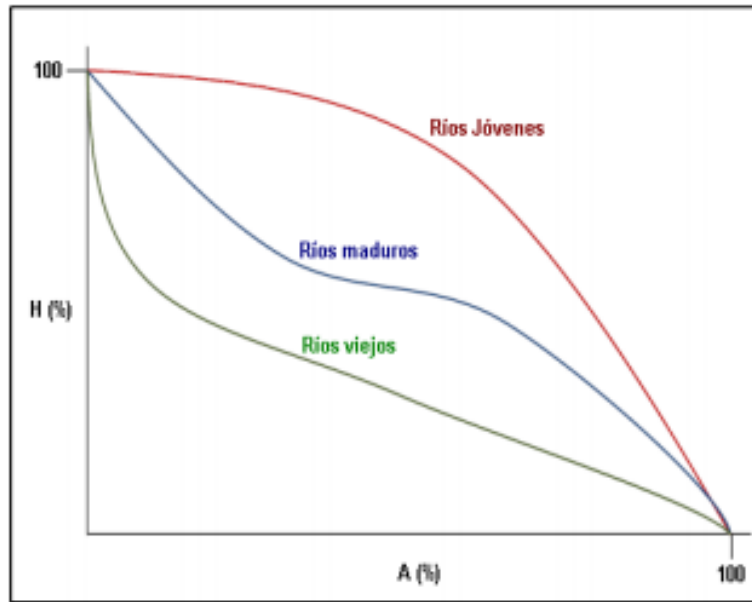


Figura 2.5: Cambio de Forma de la Curva Hipsométrica con la edad del Río.

(Fuente: *Morfología de las cuencas Hidrográficas Universidad Politécnica de Valencia*).

Por otro lado el análisis de frecuencia altimétrica se utiliza para describir, en altitudes sucesivas, las frecuencias de ciertos niveles, como pueden ser altitud de sitios, puntos más altos en mallas cuadradas de muestreo, altitudes de cumbres o la de áreas de llanos o depresiones tales como hombreras, bancos y collados.

El procedimiento tradicional de base para hallar la frecuencia altimétrica es el mismo que para la obtención de los datos que permiten construir la curva hipsométrica: el planimetrado sobre cartas topográficas de las áreas existentes entre curvas de nivel de cotas sucesivas. Estas áreas constituyen las frecuencias altitudinales, expresadas en valores absolutos o relativos, correspondientes a cada intervalo de elevación. Así mismo, los datos para la realización de este análisis se obtienen del modelo digital de elevaciones de manera similar que para el análisis hipsométrico.

La Curva Hipsométrica y Frecuencia Altimétrica de la Cuenca del Río Vinces y de la Cuenca del Río Quevedo, fueron obtenidas mediante el empleo de ArcGIS, para lo cual primeramente se obtuvieron las alturas características tales como: Altura Media, Altitud más frecuente y Altitud de Frecuencia Media, para ello se requiere conocer las áreas entre curvas de nivel y esto se obtiene a partir del archivo ráster de la cuenca (un formato ráster se fundamenta en la división del área de estudio en una matriz de celdas) en el cual se va a reclasificar la altura con la herramienta Reclassify de ArcGIS.



Para saber la cantidad de área que se encuentra en cada uno de los 12 intervalos creados es necesario pedir una estadística mediante la herramienta Zonal Statistics as Table de la opción Zonal ubicada en SpatialAnalyst Tools. Una vez creada el área entre las curvas la información se obtiene es el número de intervalos, la cota máxima, la cota mínima y las áreas de los intervalos.

Con esta información se construye una tabla para cada una de las cuencas en estudio, dicha tablas contienen además de la información mencionada anteriormente un promedio entre la cota máxima y la cota mínima, además se obtienen otras columnas como la acumulación de las áreas, el porcentaje de cada acumulación de área y el porcentaje del área respecto a la acumulación de las áreas. Las Tablas 2.2 y 2.3 se presentan a continuación para la cuenca del río Vinces y para la Cuenca del río Quevedo respectivamente.

	Cota (msnm)			Área (km ²)			
	MIN	MAX	Promedio	Intervalo	Acum	% Acum	% Intervalo
1	5,04	344,54	174,79	2051,24	4268,17	100,00	48,06
2	344,56	684,08	514,32	826,69	2216,93	51,94	19,37
3	684,09	1023,54	853,81	333,18	1390,24	32,57	7,81
4	1023,61	1363,12	1193,37	205,90	1057,06	24,77	4,82
5	1363,15	1702,65	1532,90	153,63	851,16	19,94	3,60
6	1702,71	2042,17	1872,44	171,18	697,53	16,34	4,01
7	2042,19	2381,65	2211,92	177,69	526,35	12,33	4,16
8	2381,76	2721,17	2551,47	127,13	348,66	8,17	2,98
9	2721,23	3060,59	2890,91	79,35	221,53	5,19	1,86
10	3060,92	3400,25	3230,59	65,36	142,18	3,33	1,53
11	3400,28	3739,77	3570,03	61,23	76,82	1,80	1,43
12	3739,85	4079,33	3909,59	15,59	15,59	0,37	0,37

Tabla 2.2: Área Acumulada y Altura para la Construcción de la Curva Hipsométrica y Polígono de Frecuencia de Altitudes de la cuenca del río Vinces.



	Cota (msnm)			Área (km ²)			
	MIN	MAX	Promedio	Intervalo	Acum	% Acum	% Intervalo
1	63,50	398,17	230,84	1394,79	3441,56	100,00	40,53
2	398,18	732,84	565,51	711,22	2046,77	59,47	20,67
3	732,86	1067,50	900,18	308,35	1335,55	38,81	8,96
4	1067,52	1402,18	1234,85	192,84	1027,2	29,85	5,60
5	1402,20	1736,79	1569,50	151,13	834,36	24,24	4,39
6	1736,87	2071,53	1904,20	168,65	683,23	19,85	4,90
7	2071,55	2406,20	2238,88	176,92	514,58	14,95	5,14
8	2406,22	2740,86	2573,54	120,71	337,66	9,81	3,51
9	2740,90	3075,53	2908,22	76,86	216,95	6,30	2,23
10	3075,61	3410,21	3242,91	62,3	140,09	4,07	1,81
11	3410,24	3744,81	3577,53	60,72	77,79	2,26	1,76
12	3744,91	4079,56	3912,24	17,07	17,07	0,50	0,50

Tabla 2.3: Área Acumulada y Altura para la Construcción de la Curva Hipsométrica y Polígono de Frecuencia de Altitudes de la Cuenca del Río Quevedo.

Con la información contenida en las tablas anteriores se dibuja la Curva hipsométrica y el Polígono de Frecuencia de Altitudes para la cuenca del río Vinces y para la cuenca del río Quevedo como se muestra en las siguientes figuras.

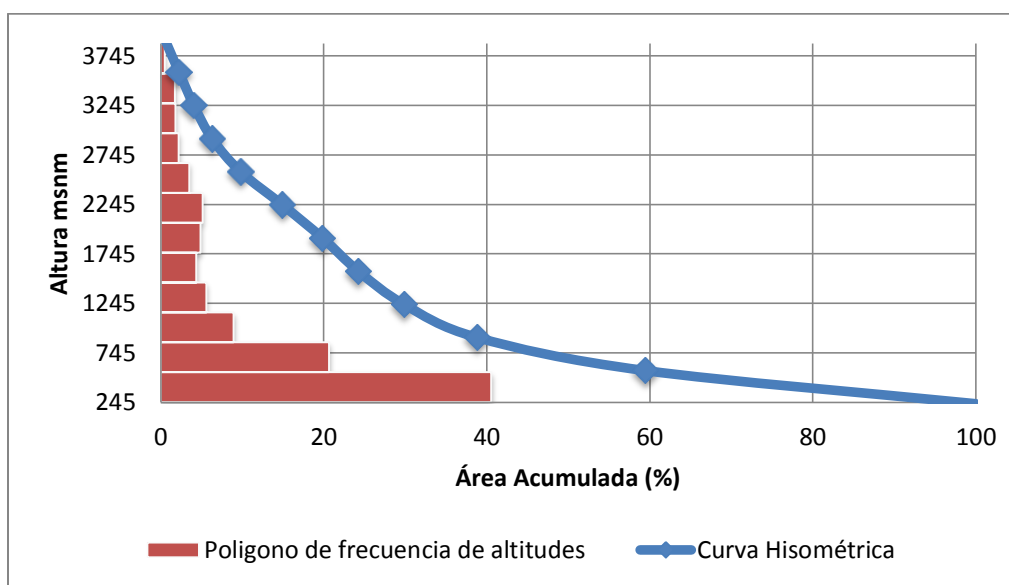


Figura 2.6: Curva hipsométrica y frecuencia de altitudes de la cuenca del río Quevedo.

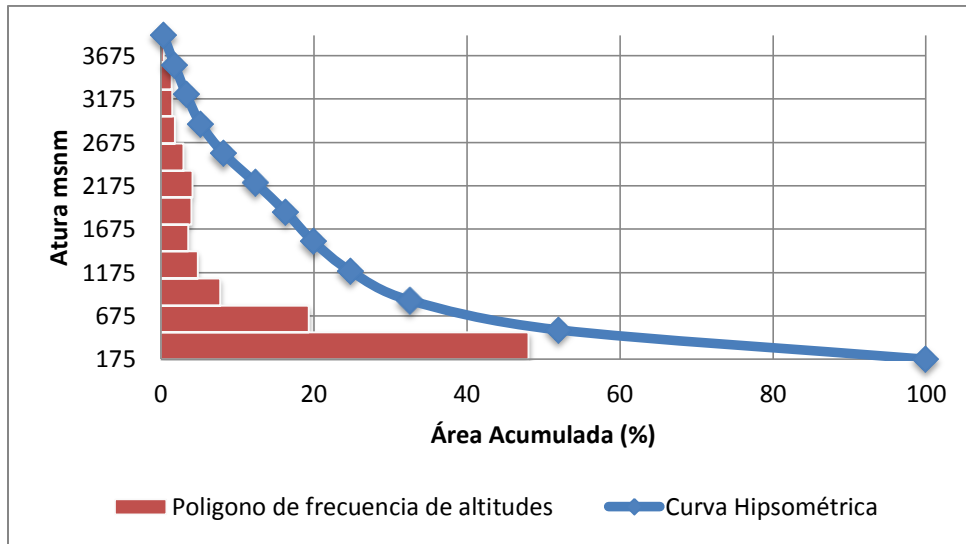


Figura 2.7: Curva hipsométrica y frecuencia de altitudes de la cuenca del río Vinces.

2.3.9. PENDIENTE PROMEDIO DE LA CUENCA

Se llama pendiente promedio de la cuenca, a la media ponderada de todas las pendientes correspondientes a áreas elementales en las que se puede considerar constante la máxima pendiente. En términos generales indica el grado de rugosidad que tiene el suelo de la cuenca.

Para encontrar la pendiente Promedio de la cuenca del río Vinces y de la cuenca del río Quevedo se emplea ArcGIS, en el cual utilizamos la función Slope que permite realizar un mapa de variación de la pendiente del terreno, esta función la encontramos en la herramienta Surface Analysis.

Para obtener la información necesaria para la pendiente promedio de la cuenca se consultó las estadísticas del archivo que se generó anteriormente con la ayuda de Zonal Statistics as Table, una vez obtenida la información en ArcGIS, se construye una tabla en Excel que contendrá un porcentaje del rango de pendiente, el número de ocurrencias para cada una y una ponderación que resulta ser el producto entre las 2 últimas. Finalmente la Pendiente Promedio de la cuenca se obtuvo mediante el cociente entre el total de las ponderaciones y total de todas las ocurrencias. Estos Resultados se muestran en la Tabla 2.4 para la cuenca del río Vinces y en la Tabla 2.5 para la cuenca del río Quevedo.



	Rango Pendiente (%)			Nº de ocurrencias (2)	(1)*(2)
	Inferior	Superior	Promedio (1)		
1	0	10	5	391643	1958215
2	10	20	15	32767	491505
3	20	30	25	1643	41075
4	30	40	35	438	15330
5	40	50	45	216	9720
6	50	60	55	32	1760
7	60	70	65	14	910
8	70	80	75	22	1650
9	80	90	85	23	1955
10	90	100	95	19	1805
Total				426817	2523925

Pendiente promedio de la Cuenca = 5,91 %

Tabla 2.4: Pendiente promedio de cuenca del río Vinces.

	Rango Pendiente (%)			Nº de ocurrencias (2)	(1)x(2)
	Inferior	Superior	Promedio (1)		
1	0	10	5	307149	1535745
2	10	20	15	34613	519195
3	20	30	25	1636	40900
4	30	40	35	421	14735
5	40	50	45	207	9315
6	50	60	55	42	2310
7	60	70	65	19	1235
8	70	80	75	21	1575
9	80	90	85	24	2040
10	90	100	95	24	2280
TOTAL				344156	2129330

Pendiente Promedio de la Cuenca = 6,19 %

Tabla 2.5: Pendiente promedio de la cuenca del río Quevedo.



3. ESTUDIO HIDROMETEOROLOGICO

3.1. RECOPIACION DE INFORMACIÓN

3.1.1. INFORMACIÓN CARTOGRÁFICA Y TOPOGRÁFICA

Con el objeto de determinar las Estaciones Hidrometeorológicas ubicadas en el área de influencia de la cuenca hidrográfica del río Vinces, se recopilaron las cartas cartográficas de la zona a escala 1:50000 levantadas por el Instituto Geográfico Militar (IGM).

La información cartográfica recopilada fue:

La información topográfica utilizada para delimitar las cuencas fue proporcionada por la Unidad de Geomática del PROMAS-Universidad de Cuenca y consistió en la siguiente:

- Curvas de nivel del Ecuador escala 1:50000
- Ríos principales y secundarios del Ecuador 1:50000
- Topografía 1:10000 de la zona del proyecto

3.1.2. INFORMACIÓN HIDROMETEOROLÓGICA

La Información hidrometeorológica recopilada y empleada en el estudio pertenece a las entidades del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, INAMHI y de la Secretaría Nacional del Agua, SENAGUA.

3.1.2.1. Datos Hidrológicos

La mayor parte de la información fue tomada de los Anuarios disponibles en el INAMHI en papel y en formato digital para los últimos años, ya que esta institución es la que cuenta con la información más amplia de este tipo. El Anuario Hidrológico está constituido por dos secciones, la primera consiste en las Nociones Generales y la segunda en los Cuadros Estadísticos y Resúmenes.

Para cada una de las estaciones de la red, el INAMHI publica en el anuario hidrológico los siguientes datos generales:



- Código de la Estación.
- Nombre de la Estación.
- Código de Tipo-estación
- Ubicación Geográfica:(Latitud, Longitud y Altura en m.s.n.m).
- Ubicación política: código de provincia.
- Institución propietaria
- Página de Niveles
- Página de Caudales

La base de datos hidrológicos está conformada por caudales medios diarios y caudales máximos instantáneos, los cuales permitieron realizar el análisis hidrológico.

3.1.2.1. Datos Meteorológicos

Para la recopilación de los datos meteorológicos, parte de la información se ha tomado de los Anuarios publicados por el INAMHI, el cual contiene un resumen estadístico mensual de las observaciones y mediciones de los parámetros meteorológicos. El Anuario meteorológico está constituido de tres secciones, la primera consiste en Nociones Generales, la segunda de Cuadros estadísticos y gráficos, y la tercera de Mapas Temáticos.

Por otra parte, el Programa de Manejo del Agua y el Suelo, PROMAS, ha proporcionado datos para completar las series entregadas por la SENAGUA.

Para cada una de las estaciones de la red, el INAMHI publica en el anuario meteorológico los siguientes datos generales:

- Código de la Estación.
- Nombre de la Estación.
- Código de Tipo-estación
- Ubicación Geográfica: (Latitud, Longitud y Altura en m.s.n.m).
- Ubicación Política: código de provincia.
- Institución propietaria
- Página de Climatología
- Página de Pluviometría

Para el presente estudio se realizó una base de datos conformada por la información de las precipitaciones máximas en 24 horas y precipitaciones mensuales de las estaciones de interés.



3.1.3. ESTACIONES DE CONTROL EN EL SISTEMA DEL RIO VINCES: PRECIPITACIONES Y CAUDALES

En la Tabla 3.1 se presentan las estaciones utilizadas en el estudio, la primera letra del código H o M indican el tipo de estación, ya sea esta Hidrológica o Meteorológica, respectivamente.

Código	Estación	Tipo	X	Y	Altitud (m)	Período años
H347	QUEVEDO EN QUEVEDO	Hidrológica	671079	9887710	100	38
H348	VINCES EN VINCES	Hidrológica	638992	9828729	41	39
M006	PICHILINGUE	Meteorológica	671167	9878373	120	46

Tabla 3.1 Estaciones Hidrometeorológicas ubicadas en las cuencas de interés.

La información disponible en los períodos antes señalados presenta vacíos, los cuales fueron rellenados con la aplicación de correlaciones, procedimiento que se verá más adelante.

3.2. VALIDACIÓN DE LA INFORMACIÓN Y RELLENO DE DATOS

3.2.1. CALIDAD DE LA INFORMACIÓN

Antes de iniciar el análisis o utilizar los datos observados en las estaciones hidrológicas y meteorológicas, es necesario realizar ciertas verificaciones de los valores de caudales y precipitaciones ya que es notoria la falta de información, la incoherencia de ciertos valores dentro de la serie de datos y los vacíos existentes en algunos registros que en muchos casos llegaron a ser años enteros sin datos.

Una vez conformada la base de datos de caudales medios diarios del periodo 1982 – 2009, de las estaciones hidrológicas Quevedo y Vinges, se procede a realizar pruebas de calidad de información.



3.2.1.1. Curva de doble masa

El método de la curva de doble masa, se basa en la selección de dos estaciones de una zona, en lo posible vecinas. Los datos diarios, mensuales o anuales de cada una de ellas se van acumulando sucesivamente con el fin de realizar un gráfico de pares ordenados, en donde a cada eje le corresponde una estación. Este método, permite demostrar de manera gráfica la relación que existe entre las variables hidrometeorológicas de estaciones circundantes entre sí, para períodos comunes de información.

Si se presenta el caso ideal de que la información es homogénea a lo largo del período de estudio, se obtendrá entonces una línea recta perfecta con alineación única de los pares ordenados, en caso contrario denotará la existencia de información errada (uno o varios períodos) la cual deberá ser revisada y corregida hasta alcanzar la homogeneidad.

En caso de existir una serie heterogénea, es posible corregirla si esta serie tiene uno o varios tramos homogéneos. Cuando se pueden hallar estos tramos, la serie se corrige utilizando el tramo más reciente, sin embargo, a veces se da prioridad al tramo más largo. Las series entonces, pueden corregirse en base a los valores de la otra estación utilizando la correlación.

Las curvas de doble masa, además de permitir de manera gráfica analizar la calidad de la información, permiten detectar disminuciones o incrementos de las variables consideradas dentro del periodo de estudio. (*Barros & Troncoso, 2010*)

Para determinar la calidad de información de las estaciones Quevedo vs Vinces, primero se compararon la serie de datos de éstas, y se escogieron los comunes entre las mismas con el fin de conformar una base de datos comunes para la elaboración de la curva de doble masa. Ver Figura 3.1

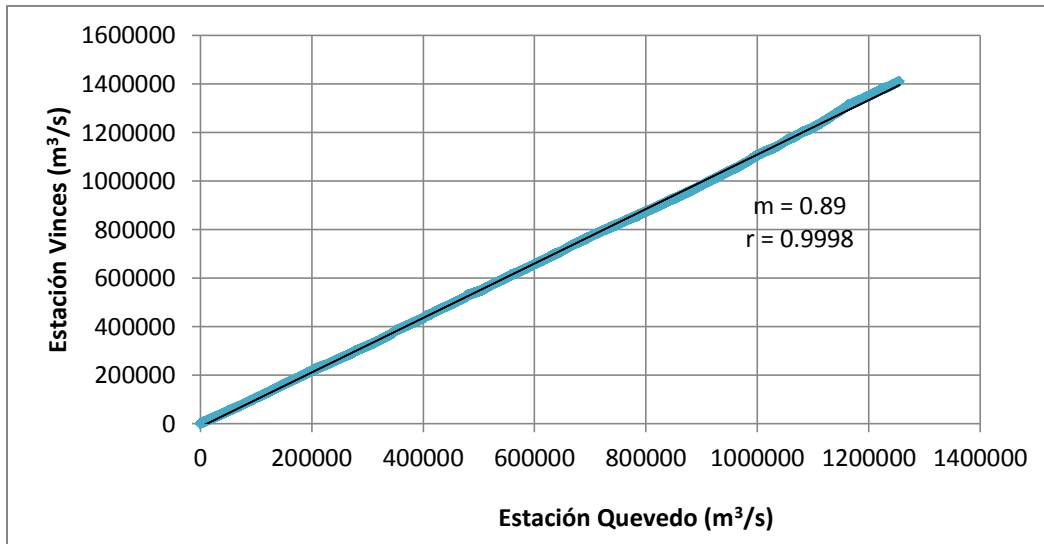


Figura 3.1: Curva doble masa Quevedo vs Vinces de CMD datos comunes período 1982-2009

De la Figura 3.1, se puede notar que la curva de doble masa de las estaciones antes mencionadas muestra una dispersión de valores casi nula, con un coeficiente de correlación de 0.9998 y una pendiente de la recta m de 0.89, por lo que la información de estas series se considera confiable. Por fines prácticos y con el afán de completar y perfeccionar ciertos errores en la serie de datos de las estaciones se utilizó el método de la correlación, el cual se profundiza más adelante.

3.2.1.2. Diagrama de Caja (Box Plot)

El diagrama de caja (box plot) consiste en un gráfico, basado en cuartiles, mediante el cual se visualiza un conjunto de datos. Está compuesto por un rectángulo, la "caja", y dos brazos, los "bigotes".

El gráfico suministra información sobre los valores mínimo y máximo, los cuartiles Q1, Q2 o mediana y Q3, y sobre la existencia de valores atípicos y la simetría de la distribución.

Con el fin de determinar la existencia de datos sospechosos dentro de las series de caudales máximos instantáneos de las estaciones Vinces en Vinces (H348) y Quevedo en Quevedo (H347); y de la serie de precipitaciones máximas instantáneas de la estación de Pichilingue (M006), se sometió a éstas a un diagrama de caja.

Luego del análisis, la información de las estaciones H347 Y M006 no presentaron datos atípicos, no de la misma manera la estación de Vinces en Vinces. El



diagrama de caja para la serie de caudales máximos instantáneos de ésta, arrojó 2 valores fuera del rango, los cuales son menores al límite mínimo. En la Figura 3.2 se presenta el diagrama de doble caja de la estación Vinces en Vinces, y los datos atípicos de la misma.

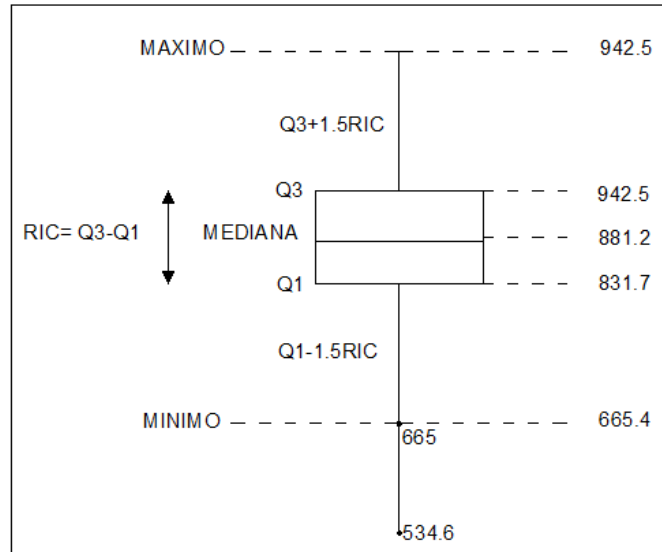


Figura 3.2: Diagrama de Caja de la serie anual de caudales máximos de la estación Vinces en Vinces

Una vez identificados los datos atípicos de la estación Vinces en Vinces, se los suprimió de la serie con la que se trabajará en todos los cálculos siguientes.

3.2.2. RELLENO DE DATOS FALTANTES

Los registros hidrológicos frecuentemente tienen períodos sin datos. Para obtener una base de datos de uso común y no perder la información de un año debido a que se tengan algunos meses sin registro, es conveniente completar registros mensuales mediante relleno.

Los criterios que se deben tomar para el relleno de datos son los siguientes:

- El relleno se realiza entre estaciones pertenecientes a la cuenca de drenaje, tenencia de características análogas de tipo hidrológico y cercanía geográfica.
- En el caso de que en un mes falte un solo dato, este se rellena con el promedio del día anterior y el siguiente.



El método más utilizado para relleno de datos hidrometeorológicos es la correlación y regresión, ya sea gráfica o analítica.

3.2.2.1. Modelo de Correlación

El coeficiente de correlación mide el grado de dependencia entre dos series de datos, varía entre -1 y 1 y toma el valor de 1, momento denominado de correlación completa positiva, con x e y aumentando conjuntamente. En cambio al contrario si toma el valor de -1 se denomina correlación completa negativa. Un valor cercano a 0 indica que las series de las variables x e y no están correlacionadas.

Para fines prácticos, se admiten como aceptables aquellas series que presentan su coeficiente de correlación $r > 0.7$, para el período común de datos, puesto que dicho coeficiente significa que la dispersión en los datos respecto a la media de una estación se justifica a través de la dispersión de los correspondientes valores de la otra variable respecto a su propio valor medio (Kennedy, J. 1982)

Para hallar la expresión que realice el mejor ajuste se utiliza una hoja electrónica, en la cual se realiza un gráfico de los pares ordenados de una estación A, y una estación B, luego de esto con la ayuda de los comandos que dispone Excel se elige una línea de tendencia la cual dé como resultado un coeficiente de correlación lo más cercano a 1.

Para el presente estudio se ha utilizado la correlación de los caudales medios diarios de las fechas comunes entre las estaciones Hidrológicas de Vinces y Quevedo de los años 1982 a 2009. Puesto que las dos estaciones presentaban datos faltantes en el periodo indicado se realizaron dos correlaciones intercambiando entre ellas la posición de x e y en el plano cartesiano.

En la Tabla 3.2, se muestran las ecuaciones de correlación tipo potencial con las que se completaron las series de registros de caudales medios diarios y sus respectivos coeficientes de correlación.



ESTACION X	ESTACION Y	ECUACION	R
Quevedo	Vinces	$y = 2.2453x^{0.8724}$	0.972
Vinces	Quevedo	$y = 0.5163x^{1.09}$	0.972

Tabla 3.2: Ecuaciones de relleno de información.

Como se observa en la tabla anterior, los valores del coeficiente de correlación de las dos estaciones son mayores a 0.7; motivo por el cual se pudo realizar el relleno de datos faltantes de las series estudiadas.

Las Figuras 3.3 y 3.4, muestran las curvas de tendencia con las que fueron ajustados de mejor manera los pares ordenados de las estaciones en estudio.

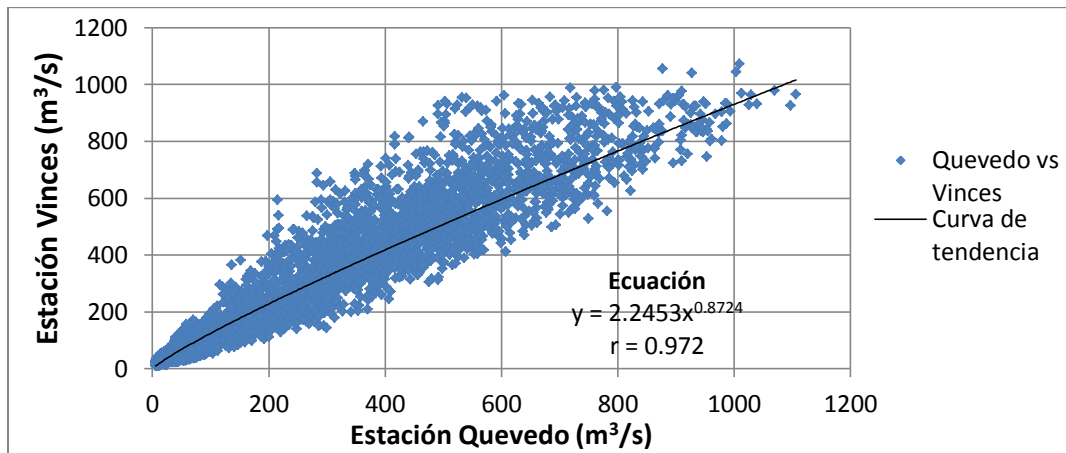


Figura 3.3: Curva de tendencia potencial de ajuste de los pares ordenados Quevedo vs Vinces.

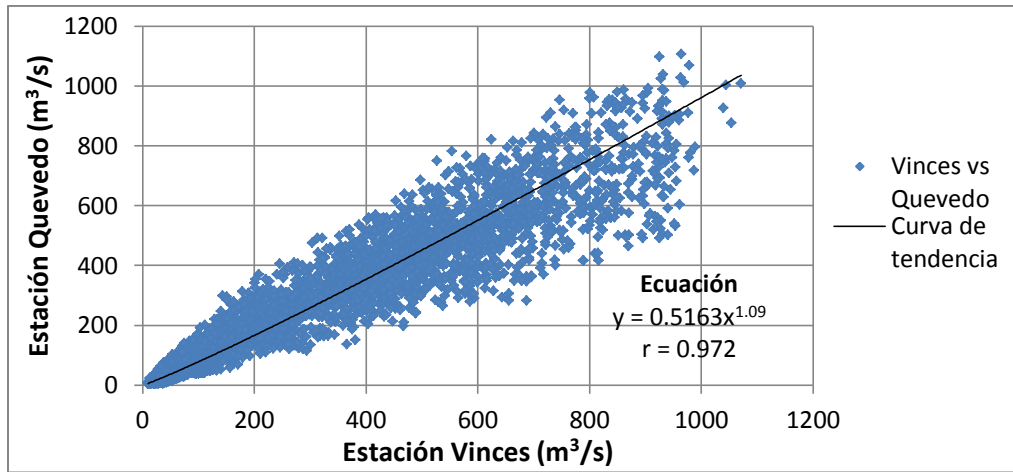


Figura 3.4: Curva de tendencia potencial de ajuste de los pares ordenados Vinces vs Quevedo.

3.2.3. HOMOGENEIZACIÓN DE LAS SERIES HIDROLÓGICAS RELLENADAS Y CORREGIDAS

Una vez que se han completado y corregido los valores de las series de datos de caudales medios diarios de las estaciones Hidrológicas de Vinces y Quevedo mediante las ecuaciones de correlación de la tabla 3.2, se procede a realizar nuevamente el análisis de doble masa (Ver Figura 3.5).

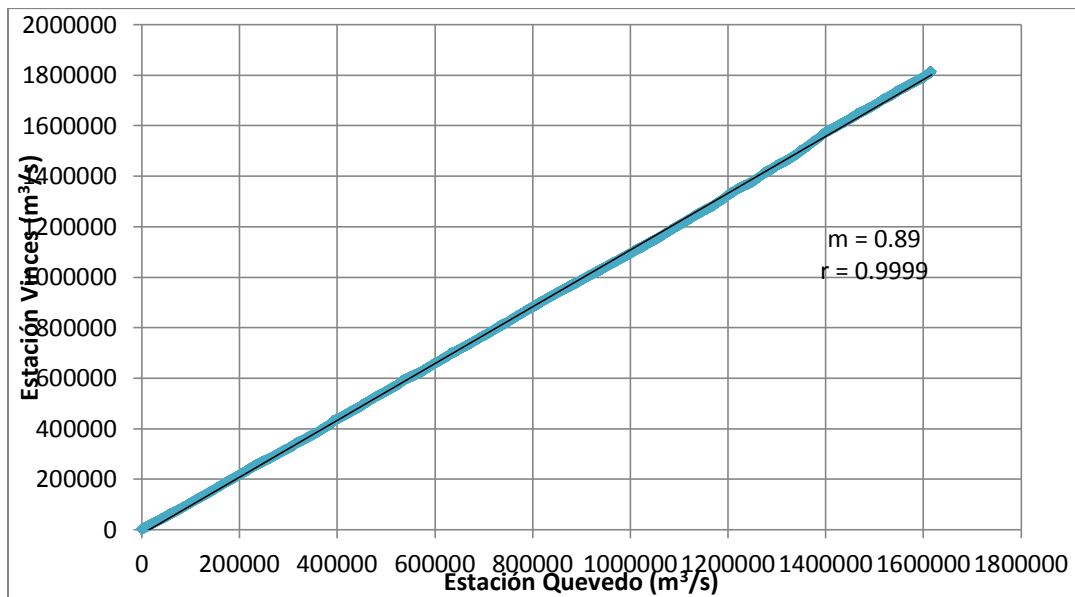


Figura 3.5: Curva doble masa Quevedo vs Vinces de CMD datos rellenados y corregidos periodo 1982-2009.



Con la información final se obtuvo una curva de doble masa con un coeficiente de correlación lineal $r = 0.9999 \approx 1$. Esta homogeneidad es producto de la alta dependencia entre los caudales de estas estaciones al aplicar un modelo de correlación para el relleno de datos faltantes.

La curva de doble masa tiene una alineación prácticamente lineal, con una pendiente m de 0.89; expresado de otra manera se tiene que la relación entre ambas estaciones es:

$$\frac{Q. Estación Quevedo}{Q. Estación Vinces} = 0.89$$

Es importante recalcar que resulta satisfactorio para el estudio esta alta confiabilidad de los datos de las estaciones evaluadas, ya que esta información será utilizada posteriormente para determinar las zonas de inundación del sector en estudio.

3.3. PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

3.3.1. DETERMINACIÓN DE CAUDALES MEDIOS

La información histórica disponible de caudales medios mensuales en las estaciones de aforo existentes no es totalmente confiable, puesto que en los períodos de lluvia no se efectúan mediciones hidrológicas estandarizadas, y en muchos casos existen meses incompletos de los cuales no se puede obtener un valor medio.

Para la generación de caudales medios mensuales de las cuencas en estudio, se ha empleado las series históricas de caudales medios diarios de las estaciones Vinces y Quevedo, las cuales fueron rellenas y corregidas mediante las ecuaciones determinadas en el ítem anterior. La Tabla 3.3 y la Tabla 3.4 corresponden a los Caudales Medios Mensuales de Quevedo y Vinces respectivamente.

En las Tablas 8.1 y 8.2 del Capítulo 8: ANEXOS Y MAPAS (Ver Anexo 1), donde se muestran los caudales medios mensuales en las estaciones de Quevedo y Vinces respectivamente.



3.3.2. CAUDALES Y PRECIPITACIONES MÁXIMAS EMPLEANDO ANÁLISIS ESTADÍSTICO: BONDAD DE AJUSTE

En la modelización de un río, numerosos fenómenos extremos de lluvias no pueden pronosticarse en base a una información determinística, con la suficiente destreza y tiempo de antelación, para poder tomar las decisiones pertinentes a su ocurrencia. Los parámetros fundamentales que se requieren conocer para poder controlar los daños ocasionados por estos fenómenos son los caudales y precipitaciones máximas en años futuros.

El caudal punta es el caudal máximo que se registra durante el aumento inusual del caudal de agua de un cauce natural o artificial, superando ampliamente los valores medios normales. La predicción de la magnitud de la creciente, ha sido siempre motivo de controversia debido a que los métodos que analizan caudales punta, deben realizar una proyección hacia el futuro, aplicando teoría de probabilidades, con un alto grado de incertidumbre.

Las estaciones hidrométricas registran caudales mínimos, medios y máximos que fluyen por un punto determinado de una cuenca. Esta información hidrológica permite cuantificar la oferta hídrica de la cuenca y estimar los caudales máximos para distintos períodos de retorno, con el propósito de solucionar los problemas que implica el diseño de obras hidráulicas (*Ven Te Chow, 1994*).

Si se puede suponer que las ocurrencias son temporalmente independientes, esto es, el tiempo y la magnitud de un evento no tiene relación con los eventos anteriores, entonces se puede usar el análisis de frecuencias para describir la probabilidad de cualquier evento o de una combinación de ellos, durante el intervalo de tiempo necesario para una decisión. Los fenómenos hidrológicos que se describen en general mediante el análisis de frecuencias son las precipitaciones y las crecidas anuales máximas.

3.3.2.1. Determinación de la Probabilidad

En el análisis probabilístico, una serie es una secuencia de datos, como son las observaciones horarias, diarias, estacionales o anuales de una variable hidrológica. Si el registro de estas observaciones contiene todos los eventos que ocurrieron dentro de un período dado, a la serie se llama serie de duración completa. Una serie que contiene sólo el evento con la magnitud más grande que ocurrió en cada año se denomina serie de máximos anuales. El uso de las series de máximos anuales es muy común en el análisis probabilístico.



3.3.2.2. Período de retorno

Pizarro y Novoa (1986), afirman que para definir la probabilidad es necesario consignar dos conceptos; uno de ellos es el período de retorno, T que es el número promedio de años dentro del cual se espera que el evento sea igualado o excedido sólo una vez. El segundo concepto es la probabilidad de excedencia, que es la probabilidad asociada al período de retorno, donde la variable aleatoria toma un valor igual o superior a cierto número X y se define como:

$$P(x) = \frac{1}{T}$$

La probabilidad de que un valor de la variable aleatoria no sea excedido, está dado por la función de distribución de probabilidad $F(x)$, la cual se expresa de la siguiente manera:

$$F(x) = \int_0^x f(x)dx = P(x \leq X) = 1 - \frac{1}{T}$$

Luego la probabilidad de que la variable aleatoria sea mayor que X , se expresa como:

$$P(x > X) = 1 - F(x) = \frac{1}{T}$$

Fuente: Aguilera, 2007

3.3.2.3. Análisis de Frecuencia

El análisis de frecuencia es una herramienta utilizada para predecir el comportamiento futuro de los caudales y precipitaciones en un sitio de interés, a partir de la información histórica de datos.

Es un método basado en procedimientos estadísticos, que permite calcular la magnitud del caudal asociado a un período de retorno. Su confiabilidad depende de la longitud y calidad de la serie histórica, además de la incertidumbre propia de la distribución de probabilidades seleccionada. Cuando se pretende realizar extrapolaciones a períodos de retorno mayores que la longitud de la serie disponible, el error relativo asociado a la distribución de probabilidades utilizada es



más importante, mientras que en interpolaciones, la incertidumbre está asociada principalmente a la calidad de los datos a modelar; en ambos casos la incertidumbre es alta dependiendo de la cantidad de datos disponibles (*Ashkar, 1993*).

El análisis de frecuencia consiste en determinar los parámetros de las distribuciones de probabilidad y determinar con el factor de frecuencia la magnitud del evento para un período de retorno dado. Para determinar la magnitud de eventos extremos, cuando la distribución de probabilidades no es una función fácilmente invertible, se requiere conocer la variación de la variable respecto a la media.

3.3.2.4. Distribuciones de probabilidades usadas en hidrología

Una distribución de probabilidades es una función que representa la probabilidad de ocurrencia de una serie hidrometeorológica. Las funciones de distribución de probabilidades principales que se usan en hidrología generalmente en el análisis de máximas son:

- Distribución Normal.
- Distribución Log Normal.
- Distribución Gumbel.
- Distribución Log Pearson Tipo III.



En la tabla 1.3 se presentan estas distribuciones con su respectiva función.

DISTRIBUCIÓN	FUNCION
NORMAL	$F(x) = \int_{-\infty}^x \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2} dx$ Donde: x = Variable aleatoria μ = Media de la población σ = Desviación estándar de la población
LOG NORMAL	$F(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \frac{1}{x\beta} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln x - \mu}{\beta}\right)^2}$ Donde: x = Variable aleatoria μ = Media estándar de la variable aleatoria β = desviación estándar de los logaritmos de la variable aleatoria
GUMBEL	$F(x) = e^{-e^{-d(x-\mu)}}$ Donde: x = Representa el valor a asumir por la variable aleatoria e = Constante de Neper
PERARSON TIPO III	$F(x) = \frac{1}{\alpha\Gamma(\beta)} \left\{ \frac{x-\delta}{\alpha} \right\}^{\beta-1} e^{-\frac{x-\delta}{\alpha}}$ Donde: α, β, δ = Parámetros de la función, se estimas en función de \bar{x} $\Gamma(\beta)$ = Función Gamma

Tabla 3.3: Distribuciones de probabilidad para el ajuste de información hidrológica.

En el presente estudio se utilizó la distribución de Gumbel (1958) dado que ella ha demostrado poseer una adecuada capacidad de ajuste, a valores máximos de caudales, precipitación en distintos períodos de tiempo, aportaciones anuales, etc.

A continuación se presenta un resumen de dicha distribución.

3.3.2.5. Función de Distribución de Gumbel

Aparicio 1997, dice que si se tienen N muestras, cada una de las cuales contiene n eventos. Si se selecciona el máximo x de los n eventos de cada muestra, es



posible demostrar que, a medida que n aumenta, la función de distribución de probabilidad de x tiende a:

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

La función de densidad de probabilidad es entonces:

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

Donde α y β son los parámetros de la función.

Los parámetros α y β se estiman como:

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

$$\beta = \bar{x} - 0.450047S$$

Para muestras muy grandes, o bien como:

$$\alpha = \frac{\sigma_y}{S}$$

$$\beta = \bar{x} - \frac{\mu_y}{\alpha}$$



Para muestras relativamente pequeñas, donde μ_y y α_y se muestran en la tabla

n	μ_y	α_y
10	0.4952	0.9496
15	0.5128	1.0206
20	0.5236	1.0628
25	0.5309	1.0914
30	0.5362	1.1124
35	0.5403	1.1285
40	0.5436	1.1413
45	0.5463	1.1518
50	0.5485	1.1607
55	0.5504	1.1682
60	0.5521	1.1747
65	0.5535	1.1803
70	0.5548	1.1854
75	0.5559	1.1898
80	0.5569	1.1938
85	0.5578	1.1974
90	0.5586	1.2007
95	0.5593	1.2037
100	0.5600	1.2065

Tabla 3.4: Valores de μ_y y α_y para estimar α y β en muestras pequeñas

Para determinar qué tan adecuado es el ajuste de los datos a una distribución de probabilidades se han propuesto una serie de pruebas estadísticas que determinan la validez de uso de la distribución, entre estos métodos se tiene el coeficiente de determinación R^2 y el test de Kolmogorov-Smirnov.

3.3.2.6. Coeficiente de Determinación R^2

Este coeficiente indica qué proporción de la variación total de la frecuencia observada, es explicada por la frecuencia teórica acumulada. Se encuentra definido por la siguiente expresión (Pizarro, 1986).



$$R^2 = 1 - \frac{\sum (F_n(x)_i - F(x)_i)^2}{\sum (F_n(x)_i - \overline{F_n(x)_i})^2}$$

Donde:

R^2 : Coeficiente de determinación; $0 \leq R^2 \leq 1$.

$\overline{F_n(x)_i}$ = Media de las frecuencias observadas acumuladas.

$F_n(x)_i$: Frecuencia observada.

Cuando $R^2 \geq 0.9$ se aceptará el ajuste considerándolo como bueno (Ashkaret al., 1993).

3.3.2.7. Test de Kolmogorov-Smirnov

Este procedimiento es un test no paramétrico que permite probar si dos muestras provienen del mismo modelo probabilístico (Varas y Bois, 1998). Así mismo Pizarro(1988), hace referencia a que es necesario determinar la frecuencia observada acumulada y la frecuencia teórica acumulada; una vez determinadas ambas frecuencias, se obtiene el supremo de las diferencias entre ambas.

Este test es válido para distribuciones continuas y sirve tanto para muestras grandes como para muestras pequeñas (Pizarro *et al*, 1986).

Para la aplicación de este test, se necesita en primer lugar determinar la frecuencia observada acumulada.

$$Fn(x) = \frac{n}{N + 1}$$

En donde:

$Fn(x)$: Frecuencia observada acumulada.

n: N° de orden del dato.

N: N° total de datos.

Luego se debe calcular la frecuencia teórica acumulada $F(X)$, determinada para cada una de las funciones. Una vez obtenidas ambas frecuencias, se procede a calcular el valor supremo de las diferencias entre ambas, en la i -ésima posición de orden, que se denomina D_c .



$$Dc = \text{Sup}|F_n(x)_i - F(x)_i|$$

Si la diferencia suprema es menor que la diferencia tabulada por tabla, definida en base al tamaño de la muestra, se está en presencia de un buen ajuste con el nivel de confianza asumido. Si esta comparación revela una diferencia suficientemente grande entre las funciones de distribución muestral y la distribución propuesta, entonces se rechaza (Canavos, 1988).

Para determinar el ajuste mediante la distribución de Gumbel de las distintas series de datos de las estaciones hidrometeorológicas utilizadas, se calculó el test de Kolmogorov-Smirnov (K-S). En la tabla 3.7 se muestran los resultados de la prueba usada para determinar la calidad de los ajustes.

ESTACIONES	FUNCION DE GUMBEL AJUSTADA	TEST DE KOLMOGOROV-SMIRNOV		
		Dt	Dc	Resultado
Quevedo en Quevedo H347	$F(X) = e^{-e^{-0.0034(x-1136.539)}}$	0.213	0.072	ACEPTA
Vinces en Vinces H348	$F(X) = e^{-e^{-0.0112(x-822.053)}}$	0.218	0.134	ACEPTA
Pichilingue M006	$F(X) = e^{-e^{-0.046(x-106.232)}}$	0.194	0.134	ACEPTA

Tabla 3.5: Ajuste de la Función de Gumbel

En las tablas 8.3, 8.4, 8.5 y 8.6 del capítulo 8: ANEXOS Y MAPAS (Ver Anexo 2), se muestra la información utilizada y las tablas de cálculo con las que se determinaron las funciones de Gumbel para su respectiva serie de datos.

En las tablas 3.8, 3.9 y 3.10 se presentan los valores probables de caudales punta para las estaciones hidrológicas en estudio, asociados a distintos periodos de retorno (5, 10, 25, 50 y 100 años), con el objetivo de poder determinar alguna variación en los caudales de crecida a lo largo del tiempo.



QUEVEDO EN QUEVEDO H347		
Período de retorno T (años)	$F(x) = 1-1/T$	X (Caudal máximo instantáneo)
5	0.8	1579.5
10	0.9	1801.11
25	0.96	2081.12
50	0.98	2288.85
100	0.99	2495.05

Tabla 3.6: Caudales máximos instantáneos para diferentes períodos de retorno- cuenca del río Quevedo (Ajuste distribución Gumbel)

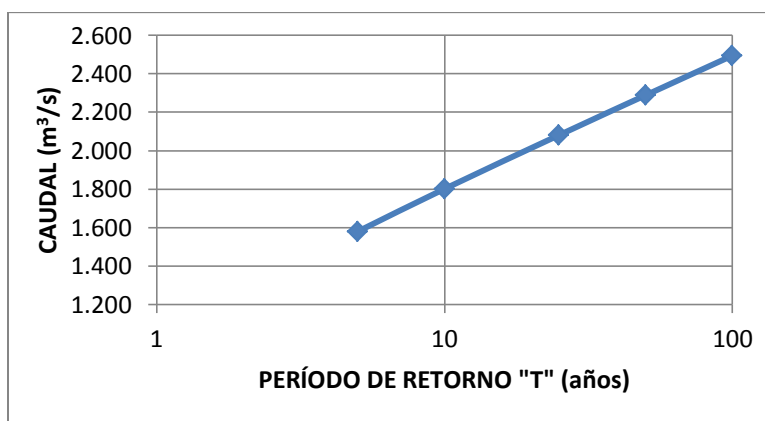


Figura 3.6: Curva de frecuencia de caudales máximos instantáneos – cuenca del río Quevedo (Ajuste distribución Gumbel).

VINCES EN VINCES H348		
Período de retorno T (años)	$F(x) = 1-1/T$	X (Caudal máximo instantáneo)
5	0.8	954.20
10	0.9	1,005.52
25	0.96	1,070.36
50	0.98	1,118.47
100	0.99	1,166.22

Tabla 3.7: Caudales máximos instantáneos para diferentes periodos de retorno- cuenca del río Vinces (Ajuste distribución Gumbel)

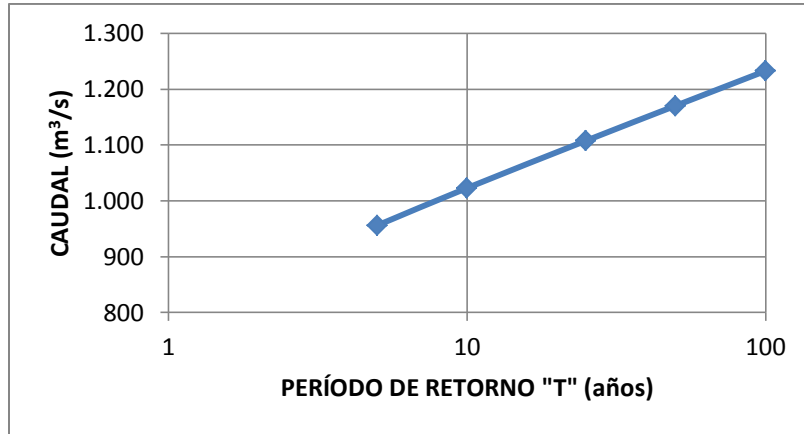


Figura 3.7: Curva de frecuencia de caudales máximos instantáneos – cuenca del río Quevedo (Ajuste distribución Gumbel)

Un aspecto a recalcar es que los datos máximos de Vinces son claramente menores a los esperados en el río Quevedo, la lógica hidrológica no se cumple en este sistema por cuanto en el invierno y la presencia de caudales altos se produce el ingreso del agua por varios puntos entre el tramo Quevedo - Vinces, como lo es el río Nuevo cuya dirección de drenaje se invierte en invierno debido a las alturas de agua que alcanza el río Vinces en ese punto. Hay que mencionar adicionalmente que para caudales altos el río desborda claramente su sección por varios sectores provocando esta laminación de la crecida de manera significativa entre los sitios aforados de Quevedo y Vinces.

Los resultados de los valores probables de precipitación punta en distintos periodos de retorno (5, 10, 25, 50 y 100 años) en la estación meteorológica de Pichilingue (M006), se presentan en la Tabla 3.10 y Figura 3.8 a continuación:

PICHILINGUE M006		
Período de retorno T (años)	$F(x) = 1-1/T$	X (Precipitación máxima instantánea)
5	0,8	138,83
10	0,9	155,13
25	0,96	175,74
50	0,98	191,02
100	0,99	206,20

Tabla 3.8: Precipitaciones máximas instantáneas para diferentes periodos de retorno - Estación Pichilingue (Ajuste distribución Gumbel)

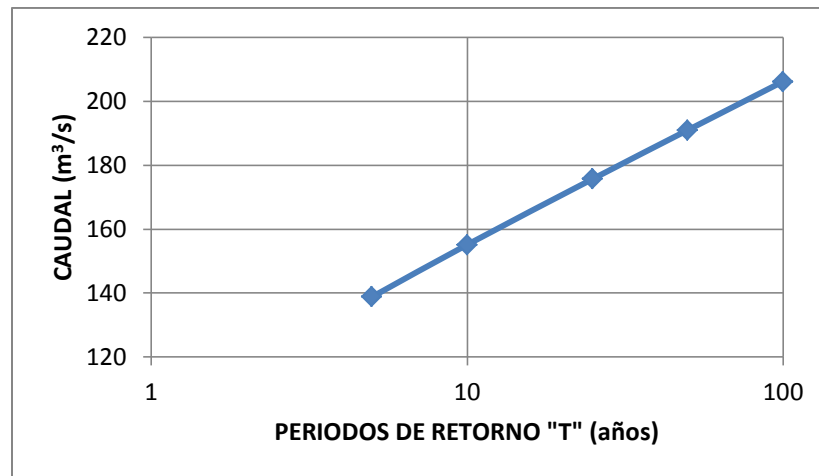


Figura 3.8: Curva de frecuencia de caudales máximos instantáneos – cuenca del río Quevedo (Ajuste distribución Gumbel)

3.3.3. CONTROL DE CALIDAD DE LA INFORMACIÓN DE CAUDALES Y PRECIPITACIONES MAXIMAS

De acuerdo al test de bondad de ajuste de Kolmogorov-Smirnov, el ajuste mediante la función de Gumbel es confiable en su utilización para las series anuales de caudales máximos de las estaciones Quevedo en Quevedo H347, Vinces en Vinces H348 y la serie anual de precipitación máxima de la estación Pichilingue M006, presentando una aceptación del 100%.

Analizando los resultados de caudales máximos para los distintos períodos de retorno, la estación de Quevedo en Quevedo presenta valores más altos que la de Vinces en Vinces.

Una de sus razones como ya se manifestó debido a la existencia de un brazo de río (Río Nuevo) ubicado aproximadamente a 2.5 km aguas arriba de Río Vinces, por el cual parte del caudal se desvía en época de invierno y en verano debido a que su pendiente suave cambia de sentido y aporta con caudal al Río Vinces.

Esta información fue constatada en campo, en el capítulo 8: ANEXOS Y MAPAS (Ver Anexo 3), se adjuntan fotografías del sector donde se juntan estos dos Ríos.

Tal razón motiva a que los análisis posteriores que se desarrollan en el presente trabajo se concentren en la estación de Quevedo en Quevedo, ya sea con fines de modelización como de obtención de áreas de inundación del proyecto.



3.3.4. DEFINICIÓN DEL HISTOGRAMA DE DISEÑO

En ocasiones no es suficiente el dato de la precipitación máxima en 24 horas, es posible que se necesite conocer la evolución de ésta en dicho intervalo. Para ello se debe elaborar un hietograma que es un gráfico que expresa la precipitación en función del tiempo. Generalmente el hietograma se presenta como un histograma (gráfico de barras)

Para definir el hietograma de diseño, se utilizó el Módulo de las Tormentas de EEUU tipo 2^a recomendado por el USACE y su modelo hidrológico HEC HMS y aplicado en varias cuencas hidrográficas costaneras del país con bueno resultados. En la Figura 3.9 se indica como quedó definido finalmente el hietograma de diseño.



Figura 3.9: Hietograma de diseño



4. HIDROGRAMA DE DISEÑO

4.1. CAUDALES MÁXIMOS Y OBTENCIÓN DEL HIDROGRAMA DE DISEÑO

4.1.1. PRECIPITACIÓN DE DISEÑO

Precipitación Efectiva: El exceso de precipitación o precipitación efectiva (P_e), es la precipitación que no se retiene en la superficie terrestre y tampoco se infiltra en el suelo. Después de fluir a través de la superficie de la cuenca, el exceso de precipitación se convierte en escorrentía directa a la salida de la cuenca, bajo la suposición de flujo superficial en lámina de agua.

La Precipitación de Diseño considerada para este estudio es la obtenida en la Estación de Pichilingue con el ajuste de Gumbel para un período de Retorno de 100 años. Esta precipitación fue tomada de la sección 3.3.2.7 (Ver Tabla 3.10). Dicha Precipitación fue multiplicada por un factor de 0.75, para considerar un coeficiente de corrección por la relación precipitación punto/precipitación área y recomendado dentro del estudio hidrológico del proyecto PACALORI.

4.1.2. HIDROGRAMA DE DISEÑO: MÉTODO SCS

El Soil Conservation Service (1972) desarrolló un método para calcular las abstracciones de la precipitación de una tormenta. Para la tormenta como un todo, la profundidad de exceso de precipitación o escorrentía directa P_e es siempre menor o igual a la profundidad de precipitación P ; de manera similar, después de que la escorrentía se inicia, la profundidad adicional del agua retenida en la cuenca F_a es menor o igual a alguna retención potencial máxima S . Existe una cierta cantidad de precipitación I_a (abstracción inicial antes del encharcamiento) para lo cual no ocurrirá escorrentía, luego la escorrentía potencial es $P - I_a$.

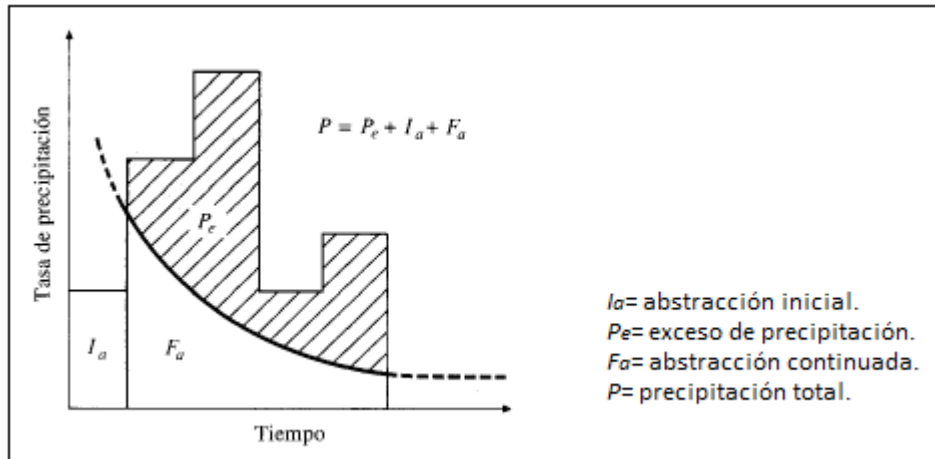


Figura 4.1: Variables en el método de abstracciones de precipitación del SCS.

(Fuente: Hidrología Aplicada Ven te Chow)

La hipótesis del método del SCS consiste en que las relaciones de las dos cantidades reales y las dos cantidades potenciales son iguales, es decir,

$$\frac{F_a}{S} = \frac{P_e}{P - I_a}$$

Del principio de continuidad:

$$P = P_e + I_a + F_a$$

Combinando las ecuaciones anteriores y resolviendo para P_e , se encuentra:

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

La cual es la ecuación básica para el cálculo de la profundidad de exceso de precipitación o escorrentía directa de una tormenta utilizando el método SCS.

Al estudiar los resultados obtenidos para muchas cuencas experimentales pequeñas, se desarrolló una relación empírica.

$$I_a = 0.2S$$



Con base en esto:

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

El uso de esta metodología exige la determinación del valor respectivo del CN (número adimensional de curva o curva número), correspondiente al área específica en estudio, valor que debe ser obtenido mediante procesos de calibración. (Ven Te Chow).

4.1.3. USO DEL SUELO

El uso del suelo puede producir ciertos impactos en los escurrimientos tales como:

- La presencia o ausencia de cubierta vegetal suelen reducir o incrementar las velocidades con que se mueve el agua en la cuenca.
- Cantidad de agua infiltrada en el suelo.
- Cantidad de agua interceptada por la Vegetación.

De acuerdo al mapa de suelos del Ecuador 1: 250000 elaborados por Infoplan se han determinado los tipos y porcentajes de suelo presentes en la cuenca del río Quevedo. Ver Figura 4.2.

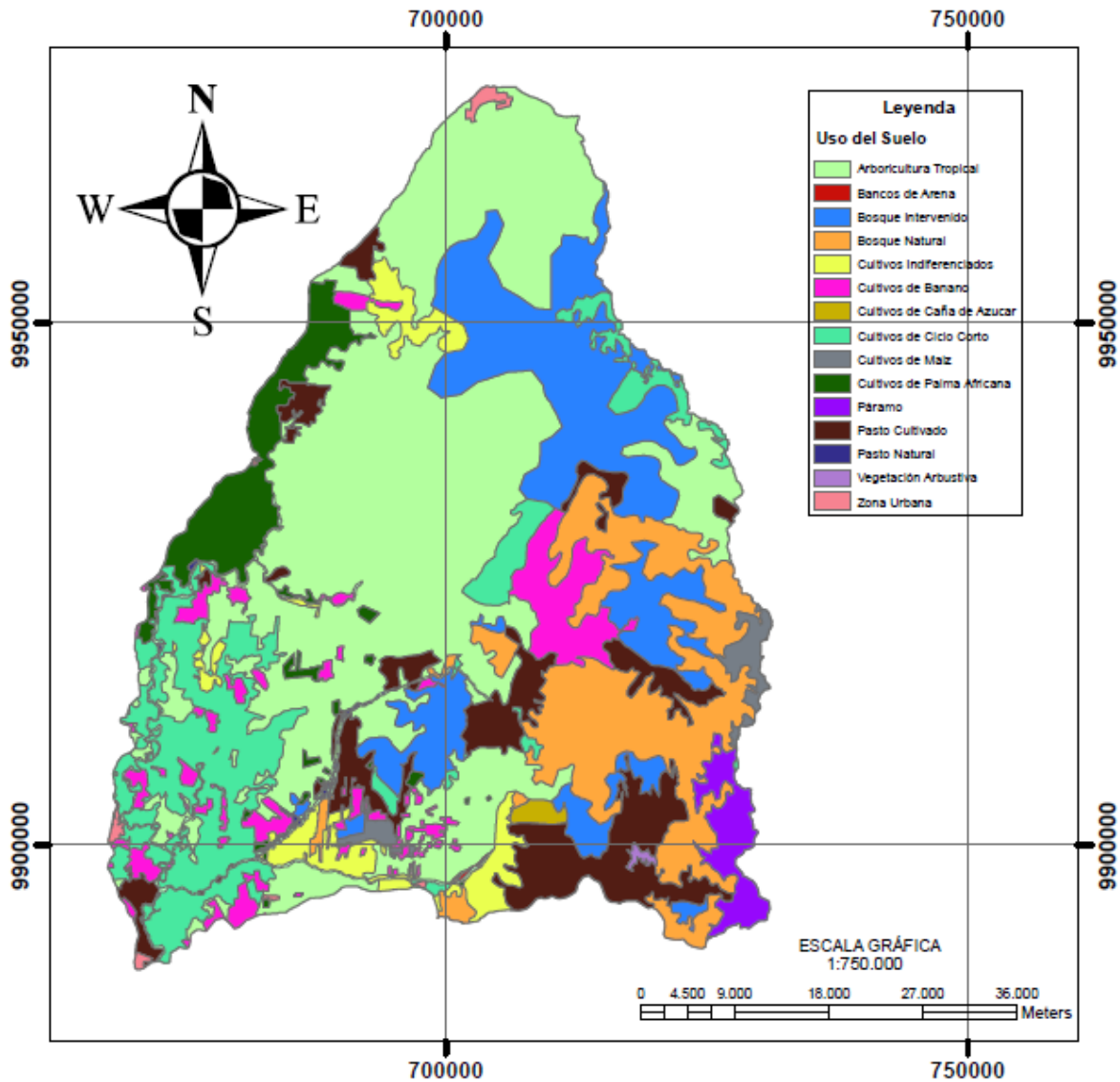


Figura 4.2: Mapa de Uso del Suelo en Quevedo.

(Fuente: Infoplan)

Luego de procesar los datos mediante ArcGIS, se han obtenido los siguientes usos de tierra con su respectiva área para la cuenca del río Quevedo.



Uso	Área (km ²)
BOSQUE INTERVENIDO	490.82
ARBORICULTURA TROPICAL	1327.54
BOSQUE NATURAL	393.97
VEGETACIÓN ARBUSTIVA	3.07
BANCOS DE ARENA	0.86
CULTIVOS DE BANANO	173.59
CULTIVOS DE CAÑA DE AZÚCAR	10.02
CULTIVOS DE CICLO CORTO	349.38
CULTIVOS DE MAÍZ	34.38
CULTIVOS DE PALMA AFRICANA	153.17
CULTIVOS INDIFERENCIADOS	111.95
PASTO CULTIVADO	282.52
PASTO NATURAL	3.98
PARAMO	57.96
ZONA URBANA	9.84
Área Total de Uso de Suelo	3403.08

Tabla 4.1: Uso de Suelo en Quevedo.

4.1.4. DETERMINACIÓN DEL NÚMERO DE CURVA

Como alternativa, y como valor referencial, el parámetro CN puede estimarse mediante el siguiente procedimiento:

Se define un número adimensional de curva CN, tal que $0 \leq CN \leq 100$. Para superficies impermeables y superficies de agua $CN = 100$; para superficies naturales $CN < 100$. El número de curva y S se relacionan por:

$$S = \frac{1000}{CN} - 10$$



Donde S está en pulgadas.

Los números de curvas se aplican para condiciones antecedentes de humedad normales (AMC II). Para condiciones secas (AMC I) o condiciones húmedas (AMC III), los números de curva equivalentes pueden calcularse por:

$$CN(I) = \frac{4.2CN(II)}{10 - 0.058CN(II)}$$

$$CN(III) = \frac{23CN(II)}{10 \pm 0.13CN(II)}$$

Clases de condiciones de humedad antecedentes	Lluvia total de los 5 días anteriores (milímetros)	
	Estación sin desarrollo vegetativo	Estación de crecimiento vegetativo
I	menos de 12,7mm	menos de 36,6mm
II	12,7 a 27,9mm	35,6 a 53,3mm
III	más de 27mm	más de 53,3mm

Tabla 4.2: Clases de Condiciones de Humedad Antecedentes de acuerdo a la lluvia total de los 5 días anteriores.

(Fuente: Soil Conservation Service, 1972, tabla 4.2, p, 4.12)

Los números de curva han sido tabulados por el Soil Conservation Service con base en el tipo de suelo y el uso de la tierra. Se definen cuatro grupos de suelos:

- Grupo A: Arena profunda, suelos profundos depositados por el viento, limos agregados.
- Grupo B: Suelos pocos profundos depositados por el viento, marga arenosa.
- Grupo C: Margas arcillosas, margas arenosas poco profundas, suelos con bajo contenido orgánico y suelos con altos contenidos de arcilla.
- Grupo D: Suelos que se expanden significativamente cuando se mojan, arcillas altamente plásticas y ciertos suelos salinos.

Los valores de CN para varios tipos de uso de la tierra en estos tipos de suelos se muestran en la Tabla 4.3 para una cuenca hecha de varios tipos de suelos y con diferentes usos de la tierra, se puede calcular un CN compuesto.



Uso de la tierra o cubierta	Tratamiento o práctica	Condiciones Hidrológicas	Grupo Hidrológico			
			A	B	C	D
Barbecho	en surco	deficientes	77	86	91	94
Cultivos en líneas	en surco	deficientes	72	81	88	91
	en surco	buenas	67	78	85	89
	en franjas a nivel	deficientes	70	79	81	88
	en franjas a nivel	buenas	65	75	82	86
	en franjas a nivel & terreno	deficientes	66	74	80	82
	en franjas a nivel & terreno	buenas	62	71	78	81
	Cereales	en surco	deficientes	65	76	84
en surco		buenas	63	75	83	87
en franjas a nivel		deficientes	63	74	82	85
en franjas a nivel		buenas	61	73	81	85
en franjas a nivel & terreno		deficientes	61	72	79	82
en franjas a nivel & terreno		buenas	59	70	78	81
Leguminosa muy densas o praderas en rotación		en surco	deficientes	66	77	85
	en surco	buenas	58	72	81	85
	en franjas a nivel	deficientes	64	75	83	85
	en franjas a nivel	buenas	55	69	78	83
	en franjas a nivel & terreno	deficientes	63	73	80	83
	en franjas a nivel & terreno	buenas	51	67	76	80
	Pastos		deficientes	68	79	86
		regulares	49	69	79	84
		buenas	39	61	74	80
en faja a nivel		deficientes	47	67	81	88
en faja a nivel		regulares	25	59	75	83
en faja a nivel		buenas	6	35	70	79
Praderas (permanentes)			buenas	30	58	71
Bosques		deficientes	45	66	77	83
		regulares	36	60	73	79
		buenas	25	55	70	77
Granjas			59	74	82	86
Carreteras sin afirmar			72	82	87	89
Carreteras afirmadas			74	84	90	92

Tabla 4.3: Números de curva de escorrentía para complejos hidrológicos suelo - cubierta (para las condiciones de una cuenca II e $I_a = 0,25 S$ (según SCS de los EEUU, 1964).



Para la obtención del Número de Curva tanto para la cuenca río Quevedo se tomó la información del uso del Suelo elaborado por Infoplan para la cuenca, dicha información fue procesada de tal manera que se obtuvo el área correspondiente a cada uno de los tipos de uso.

En el caso de la cuenca de Quevedo el uso de la tierra fue dividido en páramo, zona urbana, pasto, bosque intervenido, arboricultura tropical, bosque natural y cultivo, para asumir el Número de Curva se tomó como referencia el Grupo Hidrológico B de la Tabla 4.3. La Tabla 4.4 muestra la obtención del Número para la Cuenca de Quevedo.

Uso de Suelo	CN asumido	Área	Porcentaje	CN parcial
Páramo	60	57.956	1.703	1.022
Zona Urbana	90	9.840	0.289	0.260
Pasto	67	286.500	8.419	5.641
Bosque Intervenido	60	490.824	14.423	8.654
Arboricultura Tropical	55	1327.543	39.010	21.456
Bosque Natural	48	397.047	11.667	5.600
Cultivo	72	833.367	24.489	17.632
CN=60.26				

Tabla 4.4: Número de Curva para la cuenca del Río Quevedo.

4.1.5. DEFINICIÓN DE LOS HIDROGRAMAS DE MODELACIÓN Y CAUDALES DE DISEÑO PARA 50 y 100 AÑOS DE PERIODO DE RETORNO

Para definir el hidrograma de diseño que será utilizado en la modelación del río en HEC-GeoRAS, se ha utilizado un hidrograma sintético, que se ajusta a las características de la cuenca.

4.1.5.1. Hidrograma Unitario Sintético Triangular del SCS

El hidrograma adimensional SCS es un hidrograma unitario sintético en el cual el caudal se expresa por la relación del caudal q con respecto al caudal pico q_p y el tiempo por la relación del tiempo t con respecto de ocurrencia del pico en el hidrograma unitario, T_p . Dados el caudal pico y el tiempo de retardo para la duración de exceso de precipitación, el hidrograma unitario puede estimarse a



partir del hidrograma sintético adimensional para la cuenca dada. La Figura 4.5 a) muestra uno de estos hidrogramas adimensionales, preparado utilizando los hidrogramas unitarios para una variedad de cuencas. Los valores de q_p y T_p pueden estimarse utilizando un modelo simplificado de un hidrograma unitario triangular tal como muestra la figura 4.5 b), en donde el tiempo está dado en horas y el caudal en m^3/s . cm. (*Soil Conservation Service, 1972*)

Con base en la revisión de un gran número de hidrogramas unitarios, el Soil Conservation Service sugiere que el tiempo de recesión puede aproximarse como $1.67 T_p$. Como el área bajo el hidrograma unitario debería ser igual a una escorrentía directa de 1 cm, puede demostrarse que

$$q_p = \frac{CA}{T_p}$$

Donde $C= 2.08$ y A es el área de drenaje en kilómetros cuadrados.

Adicionalmente, un estudio de los hidrogramas unitarios de muchas cuencas rurales grandes y pequeñas indica que el tiempo de retardo $t_p \approx 0.6 T_c$, donde T_c es el tiempo de concentración de la cuenca. Como se muestra en la Figura 4.5 b), el tiempo de ocurrencia del pico T_p puede expresarse en términos del tiempo de retardo t_r y de la duración de la lluvia efectiva t_p

$$T_p = \frac{t_r}{2} + t_p$$

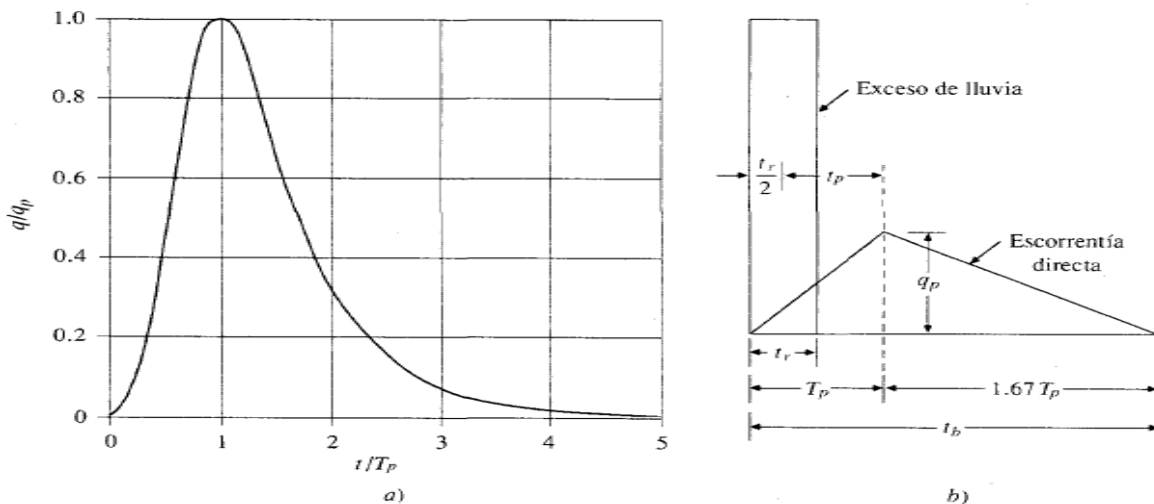


Figura 4.3: Hidrogramas unitarios sintéticos del Soil Conservation Service. a) Hidrograma adimensional y b) hidrograma unitario triangular.

(Fuente: “Hidrología Aplicada”, Ven Te Chow, 1994)



4.1.5.2. Tiempo de Concentración

Es el tiempo requerido por una gota para recorrer desde el punto hidráulicamente más lejano hasta la salida de la cuenca.

Transcurrido el tiempo de concentración se considera que toda la cuenca contribuye a la salida. Como existe una relación inversa entre la duración de una tormenta y su intensidad (a mayor duración disminuye la intensidad), entonces se asume que la duración crítica es igual al tiempo de concentración t_c . El tiempo de concentración real depende de muchos factores, entre otros de la geometría en planta de la cuenca (una cuenca alargada tendrá un mayor tiempo de concentración), de su pendiente pues una mayor pendiente produce flujos más rápidos y en menor tiempo de concentración, el área, las características del suelo, cobertura vegetal, etc. Las fórmulas más comunes solo incluyen la pendiente, la longitud del cauce mayor desde la divisoria y el área.

Las ecuaciones para calcular el tiempo de concentración se muestran en la Tabla 4.5.

MÉTODO Y FECHA	FÓRMULA PARA t_c (minutos)
	$t_c = 0.01947L^{0.77}S^{-0.385}$
Kirpich (1940)	<p>L= longitud del canal desde aguas arriba hasta la salida, m.</p> <p>S= pendiente promedio de la cuenca, m/m</p>
California Culverts Practice (1942)	$t_c = 0.0195 \left(\frac{L^3}{H} \right)^{0.385}$ <p>L= longitud del curso de agua más largo, m.</p> <p>H= diferencia de nivel entre la divisoria de aguas y la salida, m.</p>



$$t_c = \frac{525(0.0000276 \cdot i + c)L^{0.33}}{S^{0.333} \cdot i^{0.667}}$$

Izzard (1946)

i= intensidad de lluvia, mm/h

c= coeficiente de retardo

L= longitud de la trayectoria de flujo, m.

S= pendiente de la trayectoria de flujo, m/m.

$$t_c = 0.7035 \frac{(1.1 - C)L^{0.5}}{S^{0.333}}$$

Federal Aviation Administration
(1970)

C= coeficiente de escorrentía del método racional.

L= longitud de flujo superficial, m.

S= pendiente de la superficie, m/m.

$$t_c = \frac{7 \cdot L^{0.6} \cdot n^{0.6}}{I^{0.4} \cdot S^{0.3}}$$

Ecuaciones de onda cinemática
Morgali y Linsley (1965)

L= longitud del flujo superficial, m.

n= coeficiente de rugosidad de Manning.

Aron y Erborge (1973)

I= intensidad de lluvia, mm/h

S= pendiente promedio del terreno m/m.

$$\frac{0.0136 \cdot L^{0.8} \left(\frac{100}{CN} - 9\right)^{0.7}}{S^{0.5}}$$

Ecuación de retardo SCS (1973)

L= longitud hidráulica de la cuenca (mayor trayectoria de flujo), m.

CN= Número de curva SCS.

S= pendiente promedio de la cuenca, m/m.

Tabla 4.5: Fórmulas para calcular el tiempo de concentración

(Fuente: SCS Soil Conservation Service)



En el estudio para determinar el tiempo de concentración se utilizó la fórmula de California Culverts Practice, cuya expresión es la siguiente:

$$t_c = 0.0195 \left(\frac{L^3}{H} \right)^{0.385}$$

Dónde:

L: Longitud del curso de agua más largo de la cuenca (m)

H: Diferencia de nivel entre la cota máxima y mínima de la cuenca. (m)

A continuación se presenta la tabla de resumen con los parámetros antes mencionados para la elaboración del hidrograma de diseño para un periodo de retorno de 100 años, para la cuenca del río Quevedo.

Parámetro	Cantidad	Unidad
A	3441,39	Km ²
L	163500	m
H (Desnivel)	3963,44	m
Tc	844,09	min
D	24	horas
Precipitación total	154,65	mm
Precipitación neta	46,86	mm
Tiempo punta (tp)	8,94	horas
qp	80,06	m ³ /s
Tiempo base (tb)	23,872	horas
tr	506,46	Semejante 0,6*TC
%	0,303	

Tabla 4.3: Cálculo de parámetros para la elaboración del hidrograma de Quevedo



Con los parámetros calculados anteriormente se ha elaborado el hidrograma unitario para la cuenca en estudio (Ver Figura 4.4)

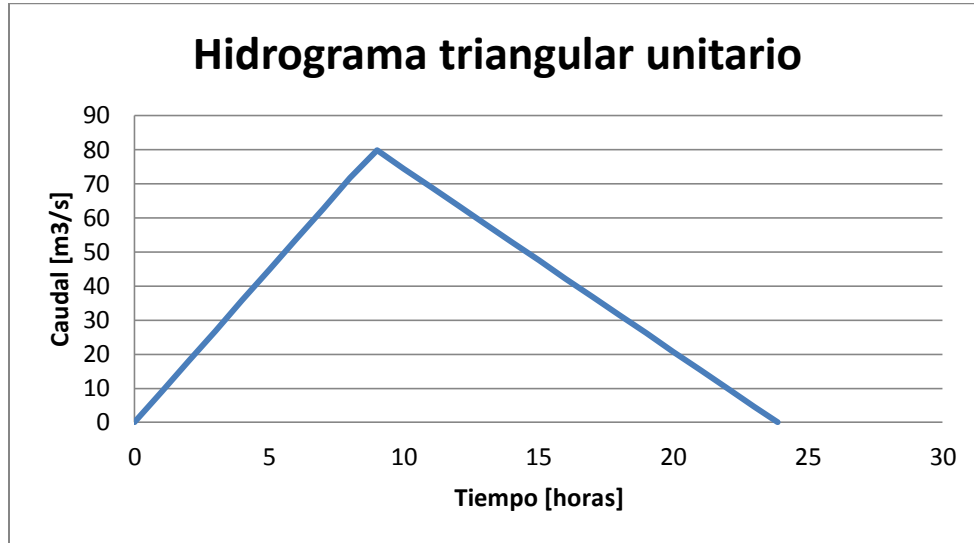


Figura 4.4: Hidrograma Triangular Unitario para la cuenca del río Quevedo

4.1.5.3. Hidrograma Acumulado

Una vez determinado el hidrograma triangular unitario se procedió a determinar el hidrograma de caudal utilizando el método de convolución, el cual consiste en ir calculado los hidrogramas correspondientes a cada uno de los intervalos de precipitación, multiplicando el Hidrograma Unitario por la magnitud de la precipitación neta (escorrentía) del intervalo. Luego de esto se realiza la suma de los hidrogramas obtenidos en el paso anterior, ordenada a ordenada, teniendo en cuenta que cada uno de dichos hidrogramas comienza cuando empieza su intervalo correspondiente de precipitación neta (Ver Figura 4.5).

$$\begin{array}{l}
 n = 1, 2, \dots, N \\
 \hline
 Q_1 = P_1 U_1 \\
 Q_2 = P_2 U_1 + P_1 U_2 \\
 Q_3 = P_3 U_1 + P_2 U_2 + P_1 U_3 \\
 \dots \\
 Q_M = P_M U_1 + P_{M-1} U_2 + \dots + P_1 U_M \\
 Q_{M+1} = 0 + P_M U_2 + \dots + P_2 U_M + P_1 U_{M+1} \\
 \dots \\
 Q_{N-1} = 0 + 0 + \dots + 0 + 0 + \dots + P_M U_{N-M} + P_{M-1} U_{N-M+1} \\
 Q_N = 0 + 0 + \dots + 0 + 0 + \dots + 0 + P_M U_{N-M+1} \\
 \hline
 \end{array}$$

Figura 4.5: Conjunto de ecuaciones para convolución de tiempo discreto.

(Fuente: Chow, 1996)



La ecuación discreta de convolución es:

$$Q_n = \sum_{m=1}^{n \leq M} P_m U_{n-m+1}$$

En la Figura 4.6 se presenta el hidrograma de máxima crecida para un período de retorno T=100 años para la cuenca del río Quevedo.

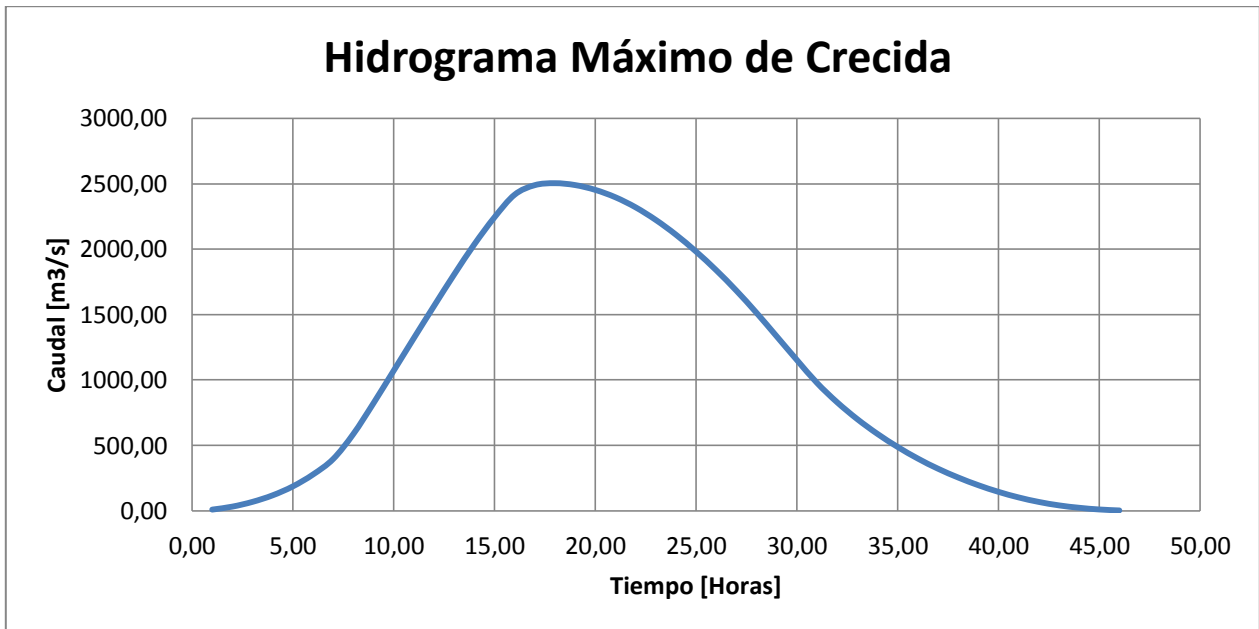


Figura 4.6: Hidrograma máximo de crecida para un período de retorno T=100 años de Quevedo, Q_{máx}= 2504.28 m³/s

De manera análoga al cálculo para 100 años se determinó el hidrograma de diseño de 50 años de periodo de recurrencia, el cual se presenta en la Figura 4.9.

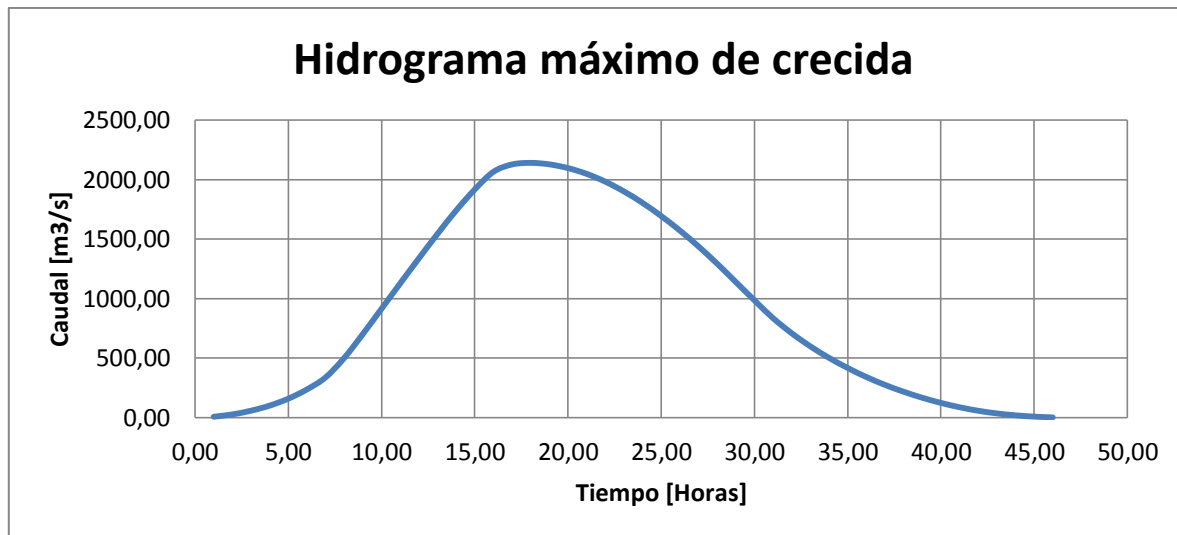


Figura 4.7: Hidrograma máximo de crecida para un período de retorno $T=50$ años de Quevedo, $Q_{\text{máx}}= 2279 \text{ m}^3/\text{s}$

En el capítulo 8: ANEXOS Y MAPAS (Ver Anexo 4), se adjuntan las Tabla de cálculo con la que se determinó el Hidrograma de diseño para los períodos de retorno de 100 y 50 años respectivamente.

5. ESTUDIO HIDRAULICO: MODELIZACION MATEMATICA

5.1. MODELO MATEMATICO HEC RAS

HEC-RAS es un paquete integrado de análisis hidráulico, en el que el usuario actúa recíprocamente con el sistema a través del uso de una Interface Gráfica del Usuario. Fué desarrollado por el Hydrologic Engineering Center (HEC) del US Army Corps of Engineers. El sistema es capaz de realizar cálculos de los flujos de la superficie del agua, cálculos de flujo uniforme (incluirá flujo variado), transporte de sedimentos, etc.

5.1.1. CAPACIDADES HIDRÁULICAS

HEC-RAS presenta las siguientes capacidades hidráulicas:

- Análisis de Perfiles Múltiples.



- Determinación de la profundidad crítica para cada sección.
- Determinación de los parámetros hidráulicos en cada sección.
- Opción de Flujo Efectivo: restringe el área de flujo.
- Pérdidas en Puentes:
 - 1) Pérdidas por expansión y por contracción aguas arriba y abajo de la sección del puente.
 - 2) Pérdidas debido a la propia estructura: opción normal, especial y alcantarilla.
- Opciones de Protección de Márgenes.
- Opción de ecuaciones de pérdidas friccionales (pérdidas entre secciones).
 - 1) Pendiente friccional promedio.
 - 2) Pendiente friccional media geométrica.
- Mejoras en el canal.
- Interpolación de secciones.
- Perfiles de corrientes tributarias.
- Resolver para “n” de Manning.
- Generar datos almacenamiento - descarga para HEC-1.
- Opción partición del flujo (existe pérdida del caudal).
- Perfiles de Flujos bajo congelamiento.

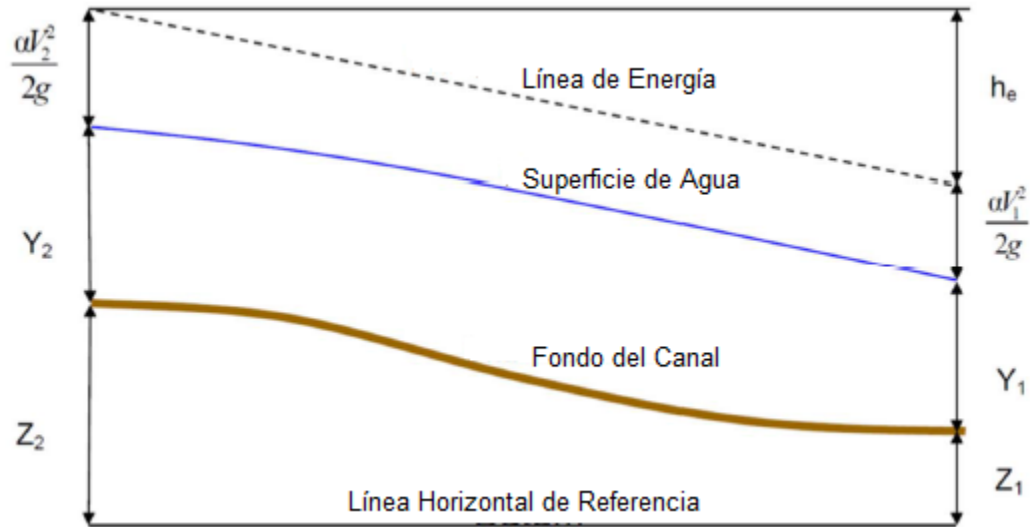
5.1.2. ECUACIONES BÁSICAS PARA EL CÁLCULO DE LOS PERFILES

HEC–RAS es un modelo matemático escrito en FORTRAN, el cálculo se basa en la solución de la ecuación de energía unidimensional con pérdidas de energía debidas a la fricción evaluadas con la ecuación de Manning, con el método conocido como el Método Standard de pasos.

5.1.2.1 Flujo Permanente

Ecuación de la energía

$$Z_2 + Y_2 + \frac{a_2 V_2^2}{2g} = Z_1 + Y_1 + \frac{a_1 V_1^2}{2g} + h_e$$



Donde:

$$h_e = L \bar{S}_f + C \left| \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} - \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} \right|$$

L = longitud entre tramos ponderada (m).

S_f = pendiente de fricción entre dos secciones.

C = coeficiente de pérdida por expansión o contracción.

$$L = \frac{L_{lob} \bar{Q}_{lob} + L_{ch} \bar{Q}_{ch} + L_{rob} \bar{Q}_{rob}}{\bar{Q}_{lob} + \bar{Q}_{ch} + \bar{Q}_{rob}}$$

lob = left overbank (llanura de inundación izquierda).

ch = main channel (cauce principal).

rob = right overbank (llanura de inundación derecha).

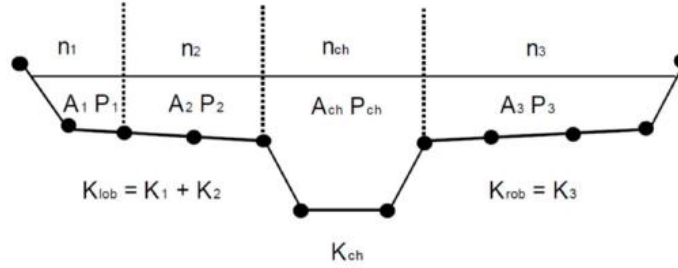
Subdivisión de la Sección Transversal Manning

$$Q = K S_f^{1/2}$$

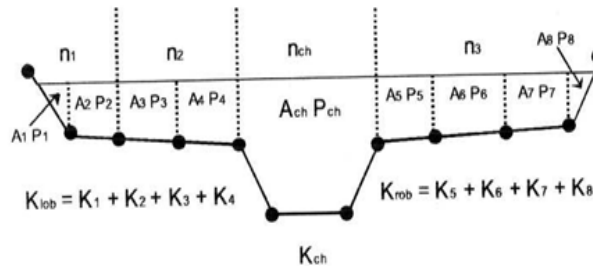
$$K = \frac{1.486}{n} A R^{2/3} \text{ (Unidades inglesas)}$$



Método 1

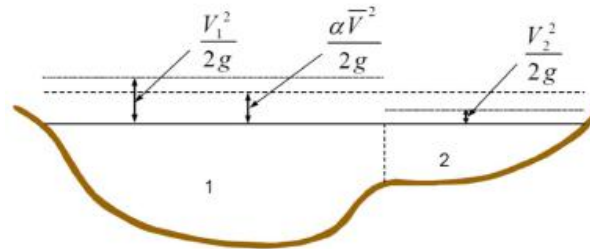


Método 2



El método 1, es un método por defecto del programa y parece el más consistente con la ecuación de Manning.

Evaluación de la altura de velocidad



V_1 = velocidad media para la subárea 1.

V_2 = velocidad media para la subárea 2.

Determinación de α en general:

$$\alpha = \frac{(Q_1 V_1^2 + Q_2 V_2^2 + \dots + Q_n V_n^2)}{Q \bar{V}^2}$$

Evaluación de las pérdidas por fricción:

$$h_e = L \bar{S}_f$$



La pendiente de fricción S_f es calculada de la ecuación de Manning, según la ecuación.

$$\bar{s}_f = \frac{Q^2}{K}$$

Evaluación de las pérdidas por contracción y expansión

$$h_{ce} = C \left| \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} - \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} \right|$$

Donde C es el coeficiente de contracción o expansión. El programa supone contracción si la altura de velocidad aguas abajo es mayor que la altura de velocidad aguas arriba y en forma inversa la expansión.

5.1.2.2 Flujo no permanente

En esta opción se incluyen las mismas estructuras hidráulicas que para el caso de flujo permanente.

5.2. HEC-GeoRAS: ESPECIFICACIONES Y CONCEPTUALIZACION

El programa HEC–GeoRAS es una extensión para ArcView desarrollada conjuntamente por el *Hydrologic Engineering Center (HEC) del United States Army Corps of Engineers* y el *Environmental System Research Institute (ESRI)*. Se trata de un conjunto de procedimientos, herramientas y utilidades especialmente diseñadas para procesar datos georreferenciados que permiten bajo el entorno de los sistemas de Información Geográfica (SIG), facilitar y complementar el trabajo con HEC-RAS.

Este modelo crea un archivo para importar a HEC-RAS datos geométricos del terreno, incluyendo cauce del río, secciones transversales, bancos, sobrepantales, adicionar parámetros y características hidráulicas preliminares como son: áreas inefectivas, elementos de obstrucción como puentes, muros, canales, coeficientes de Manning, diques etc, presentes en cualquier sección transversal, de forma que facilita el trabajo en HEC-RAS. Posteriormente los resultados de calados y



velocidades se exportan desde HEC-RAS a ArcView y pueden ser procesados para obtener mapas de inundación y zonas de riesgo.

HEC-GeoRAS 10.1 está diseñado para utilizarse con la versión 10.1 de ArcView GIS o superior, el cual debe incorporar la extensión 3D Analyst y Spatial Analyst para su correcto funcionamiento. Esta versión permite visualizar resultados de velocidades, esfuerzos de corte, resultados de flujo, y otros datos exportados desde la versión de HEC-RAS 4.0 en adelante. También tiene nuevas herramientas para presentar archivos en formato .kmz el cual es leíble por los usuarios KML (Google Earth, Microsoft Virtual Earth, ESRI, Earth Explorer y otros).

5.2.1. INFORMACIÓN REQUERIDA POR EL MODELO

Para la modelación en el HEC-GeoRAS es necesario trabajar en base a un *Modelo Digital del Terreno* (MDT), en formato digital TIN (*Triangulated Irregular Network*). Lo más detallado posible. Este modelo puede generarse con ArcMap y su extensión 3D Analyst a partir de un fichero de CAD de curvas de nivel de cualquier formato (dxf o dwg). De este TIN se extraerán los datos geométricos de las secciones transversales. Es necesario que antes de empezar a formular este TIN a partir del fichero CAD de curvas de nivel o puntos, revisar que cada registro contenga un atributo que indique su cota.

Para el empleo de las herramientas del ArcGIS, en la creación del modelo digital del terreno HEC-GeoRAS, es necesario contar con un buen control de calidad de la cartografía del lugar (curvas de nivel), puesto que el ingreso de datos poco representativos no es garantía de que los resultados sean satisfactorios y en ocasiones dificulta el pos proceso de los mismos.

5.2.2. ESQUEMA DE TRABAJO

El proceso consta de tres pasos:

- Un PREPROCESO (trabajo previo con ArcMap y HEC-GeoRAS), para generar un archivo de importación para HEC-RAS y que contiene información geométrica de las secciones transversales.
- El Proceso que consiste en la modelización del flujo con HEC-RAS que a su vez genera un archivo de exportación para ArcMap



- Por último un POSTPROCESO que genera los resultados finales: superficies de inundación para cada período de retorno.

5.2.3. DEFINICIÓN DE FRONTERAS ESPACIALES Y TEMPORALES

Las condiciones de frontera son necesarias para que el software pueda realizar la simulación dentro de un escenario establecido por el usuario, esto depende de los métodos de cálculo a utilizarse y el régimen de flujo.

La extensión del modelo obedece a la cantidad de información que se tiene dentro del área del proyecto, siendo posible estudiar determinadas zonas si se conocen las condiciones de frontera cercanas. Para que el programa pueda iniciar los cálculos, es indispensable conocer niveles en una determinada zona.

Por otra parte está el tiempo en el que se dan los fenómenos, en el estudio del tránsito de avenidas es necesario conocer el intervalo de tiempo en el que se da este evento. En el hidrograma de crecida se puede encontrar el tiempo que dura la simulación.

5.3. PARÁMETROS HIDRAULICOS DE DISEÑO

5.3.1. SECCIONES TRANSVERSALES

En cada una de las secciones transversales se definen los parámetros hidráulicos de diseño, tales como, los bancos, fondo del río, sobrecanos, caudal de diseño, coeficiente de Manning ya sea para la llanura de inundación y para el cauce.

5.3.2. CAUDALES MEDIOS EN EL CAMPO

Los caudales utilizados en el diseño se tomaron de los hidrogramas de crecida obtenidos en el punto 4.1.5.3 antes descrito (Ver Figuras 4.5 y 4.6) y de los aforos realizados en el río, por el grupo de Hidrología del PROMAS-Universidad de Cuenca. (Ver Tabla 5.3).

5.3.3. COEFICIENTE DE RUGOSIDAD (N DE MANNING)

El coeficiente de rugosidad representa la resistencia a al flujo de agua en cauces y llanuras de inundación. La selección de un valor adecuado de “n” de Manning, tiene relación directa con la precisión de los cálculos de perfiles hidráulicos ya que



es uno de los parámetros principales que interviene en la calibración del modelo hidráulico de un canal abierto. El número de Manning debe ser calibrado en todo sitio en donde sea disponible obtener información. Cuando no se dispone de esta información, se deberán utilizar valores obtenidos para ríos en condiciones similares, o en valores obtenidos desde datos experimentales.

El valor “ n ” de Manning es variable y depende de un gran número de factores entre los que incluyen: rugosidad de superficie, vegetación, irregularidades del cauce, alineación del cauce, erosión, y depositación, obstrucciones, tamaño y forma del cauce, estación y descarga, cambio temporal, temperatura, material en suspensión y carga de fondo.

Como menciona Chow (1994), resulta de gran dificultad la determinación del coeficiente de rugosidad n pues no hay un método exacto para seleccionar un valor n . Para ingenieros veteranos, esto significa el ejercicio de un profundo juicio de ingeniería y experiencia; para novatos, puede ser no más de una adivinanza, y diferentes individuos obtendrán resultados diferentes.

Para calcular el coeficiente de rugosidad de Manning, existen tablas y fotografías que muestran valores típicos para un determinado tipo de canal, así como numerosas fórmulas para expresar este coeficiente en función del diámetro de las partículas.

La metodología para establecer los coeficientes de rugosidad del río a modelar, está dada básicamente por el tipo de material, para lo cual se realizaron visitas a campo con el fin de obtener muestras de material que luego fueron procesadas en laboratorio.

5.3.3.1. Toma de Muestras y Ensayo en Laboratorio

Para la caracterización del río Vinces se realizó una visita al proyecto, en donde se extrajeron muestras de aproximadamente 5 Kg de material del borde del río de los puntos accesibles a éste. Las muestras de fondo de río fueron proporcionadas por el grupo de Hidrología del proyecto, de los aforos que realizan a lo largo del río Vinces.

En total se recolectaron 12 muestras, de las cuales 3 corresponden al fondo del río. Los puntos de donde se tomaron las muestras se indican en la Tabla 5.1.



Puntos de toma de datos		Coordenadas	
		Norte	Este
1	Vinces en Vinces (Fondo)	9828966	639042
2	Vinces en Vinces (Orilla)	9828966	639042
3	Las Mercedes	9835534	640630
4	Aguacatal Bajo	9849826	649832
6	Est. Hidr. Hacienda Vinces	9855412	658423
7	KM 67	9863060	665923
8	Mocache	9868590	666455
9	Fayta	9881039	673222
10	San Carlos	9876715	673989
12	Quevedo en Quevedo (Fondo)	9888636	672103

Tabla 5.1: Ubicación de los puntos de recolección de muestras de material.

Los ensayos granulométricos fueron realizados en los laboratorios de suelos del PROMAS y de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Cuenca, tanto de las muestras de finos como de gruesos.

De los resultados obtenidos en laboratorio se realizaron las curvas granulométricas para cada muestra, con las que se obtuvieron los diámetros de partícula necesarios en las fórmulas utilizadas para la determinación del coeficiente de rugosidad.

Un ejemplo de curva granulométrica se presenta en la Figura 5.1 perteneciente a la muestra obtenida en Vinces.

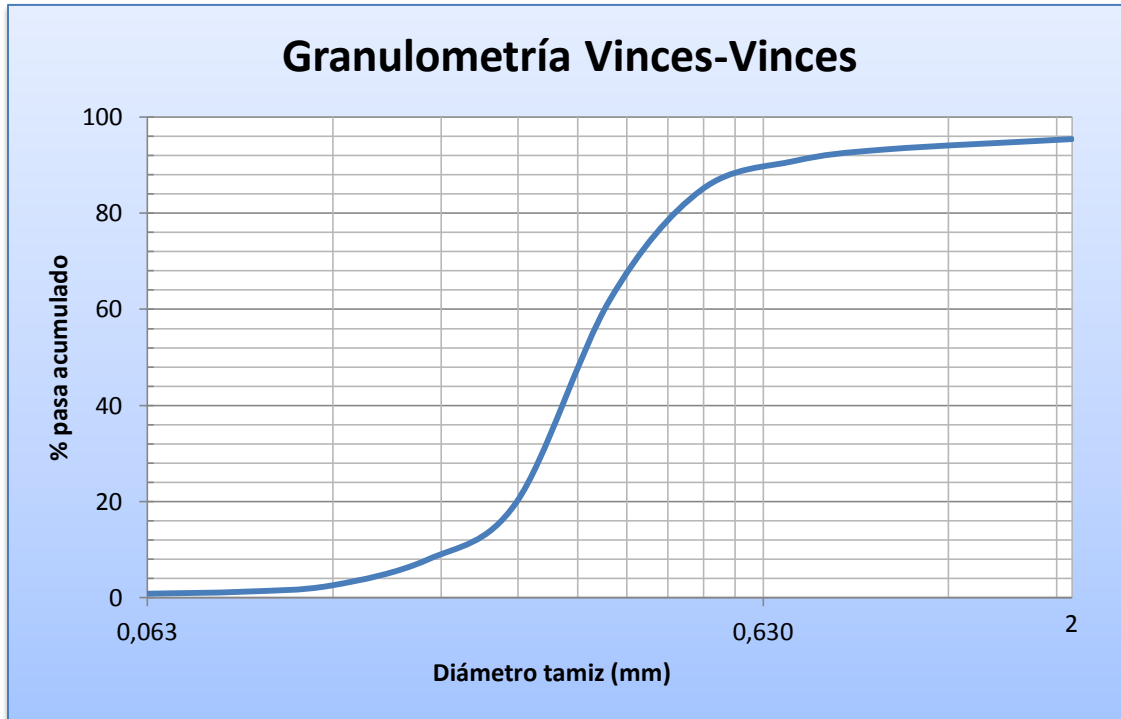


Figura 5.1: Curva granulométrica del sector Vinces en Vinces.

Una de las mayores incertidumbres fue el determinar los métodos que den un valor confiable de rugosidad de Manning. El río Vinces es considerado un río de llanura, debido a que su curso es lento característico de los ríos de la Costa, considerando esto las expresiones más apropiadas son:

- Strickler $n = 0.0411D_{50}^{1/6}$
- Bovve & Milhous $n = 0.031D_{75}^{1/6}$
- Simons y Senturk $n = 0.0389D_{50}^{1/6}$

En la Tabla 5.2 se presenta un resumen de los valores de coeficiente de rugosidad de Manning, obtenidos en cada punto de toma de muestras, en donde se puede observar la variación de este valor con cada uno de los métodos usados.



Lugar de la Muestra	Diámetros Característicos				Coef. Rugosidad η		
	D50	D65	D75	D90	Strickler	Bovee & Milhous	Simons y Senturk
Orilla Vinces	0.18	0.21	0.24	0.31	0.031	0.024	0.029
La Merced	0.04	0.05	0.13	0.30	0.024	0.022	0.023
Aguacatal Bajo	0.04	0.06	0.07	0.14	0.024	0.020	0.023
Estación Hidrológica Hda. Vinces	0.08	0.11	0.12	0.16	0.027	0.022	0.026
Buena Ventura	0.07	0.09	0.11	0.15	0.026	0.021	0.025
Quevedo (Centro Río)	21.88	31.14	36.85	48.60	0.069	0.057	0.065
Mocache	24.63	50.10	63.46	52.44	0.070	0.062	0.066
Vinces Vinces Centro Río	0.33	0.37	0.44	0.68	0.034	0.027	0.032
San Carlos	15.35	20.19	23.39	32.74	0.065	0.052	0.061
Fayta	9.43	25.23	32.12	46.25	0.060	0.055	0.057

Tabla 5.2: Valores n de Manning de los puntos de toma de muestras.

Los valores de coeficiente de rugosidad de Manning obtenidos con cada método son semejantes entre sí, sin embargo en ciertos puntos se obtuvieron valores demasiado altos, los cuales deberían ser corregidos por factores como irregularidad de la superficie, variación en la forma y tamaño de las secciones, obstrucciones y vegetación, de los cuales no se cuenta con la información necesaria.

Por este motivo y como se mencionó anteriormente el valor de n de Manning es muy variable y en ocasiones se basa más en la experiencia, entonces se optó por tomar como valores los recomendados en el Proyecto de Inundaciones Bulubulu Cañar ejecutado por la SENAGUA hasta 2012, donde se realizaron análisis profundos del material del lecho en ríos de llanura. Los valores usados para la modelación varían desde 0.022 en Vinces a 0.032 en Quevedo, valores que de alguna manera también están recomendados en la literatura para este tipo de ríos.

5.3.4. COEFICIENTES DE CONTRACCIÓN Y EXPANSIÓN

Una causa común de pérdida de energía dentro de un tramo (entre dos secciones transversales) es la contracción y expansión de flujo debido a cambios en la sección transversal. El programa utiliza los coeficientes de contracción y expansión para determinar las pérdidas de energía entre dos secciones contiguas. Los autores para una transición gradual aconsejan 0.1 (contracción) y 0.3 (expansión), mientras que en las proximidades de un puente pueden ser, respectivamente de 0.3 y 0.5 o mayores, por la mayor pérdida de energía. Los

coeficientes son multiplicados por la diferencia absoluta de velocidades entre una sección transversal y la siguiente sección aguas abajo, las cuales dan las pérdidas de energía debido a la transición.

5.4. DESARROLLO DEL MODELO

5.4.1. OBTENCIÓN DEL MODELO DIGITAL DE TERRENO PARA EL RIO QUEVEDO-VINCES

El Modelo Digital de Terreno “MDT” para el río Vinces Quevedo fue entregado por el Departamento de Geomática del PROMAS-Universidad de Cuenca, el cual incluye el cauce caracterizado del río. Para el efecto se contó con información base del área de estudio en lo que se refiere a curvas de nivel, ríos, lagunas, y puntos de altura.

La información procesada se indica a continuación en la Figura 5.2, la misma que contiene los márgenes y fondo del cauce, además incluye una sección de control, en donde se cuenta con la curva de descarga y una serie de aforos realizados en el proyecto.



Figura 5.2: Modelo Digital Tramo Río Quevedo-Vinces.

Fuente: PROMAS-Universidad de Cuenca.



5.4.2. PROCESO DE MODELACIÓN HIDRAULICA APLICANDO LA EXTENSIÓN HEC-GeoRAS

El proceso de modelación se realiza en tres fases las mismas que se denominan, Pre proceso, Proceso y Pos proceso de los cuales el primero y tercero se realizan en ArcGIS con la extensión HEC-GeoRAS y el Proceso que es la modelación hidráulica en HEC-RAS.

5.4.2.1. PRE PROCESO

Como ya se mencionó anteriormente el Pre proceso se realiza en ArcGIS, con el Modelo Digital del Terreno se procede a utilizar la extensión HEC-GeoRAS (Ver Figura 5.3).



Figura 5.3: Extensión HEC-GeoRAS.

Menú Desplegable RasGeometry: Las herramientas contenidas en este menú se muestran en el orden en el que se deben utilizar (Ver Figura 5.4).

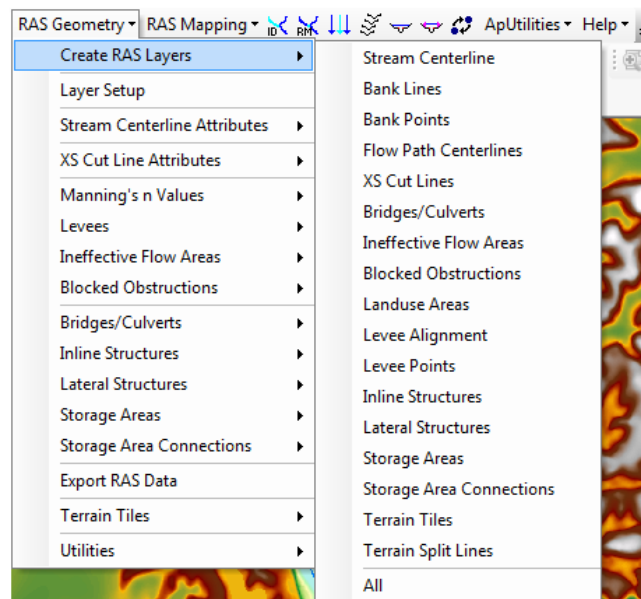


Figura 5.4: Crear las Capas (RAS Layers).


Crear Capas (Create RAS Layers): Crea las capas o archivos shape de la geometría. Para el Modelo en estudio se crearon las siguientes capas:

- **Línea del Cauce (Stream Centerline):** Añade topología y atributos al cauce del río. Se introduce el nombre o se deja el que aparece por defecto (river). Con esto aparece un fichero vectorial de líneas en una geodatabase en el que se va a digitalizar el eje del río. Es necesario recalcar que se digitaliza de aguas arriba a aguas abajo.

- **Líneas de Banco (Bank Lines):** Añade topología y atributos a los bordes del río. Generamos la capa y se procede a digitalizarla de la misma forma que previamente se hizo con el eje del río.

- **Líneas de Centro del Sobreflujo (FlowPath Centerlines):** El corte de estas líneas con las secciones transversales definen los puntos entre los que se medirá automáticamente, siguiendo esa línea, la distancia entre secciones por las márgenes.

Es necesario caracterizar y clasificar a cada Flowpath, para definir su tipo, es decir, flujo en el cauce, flujo en el banco izquierdo o flujo en el banco derecho.

Para poder clasificar se utiliza la herramienta Assign Line Type , al pulsarlo se van señalando los segmentos de línea con el cursor y en el cuadro de dialogo se elige la posición que corresponda (Ver Figura 5.5).

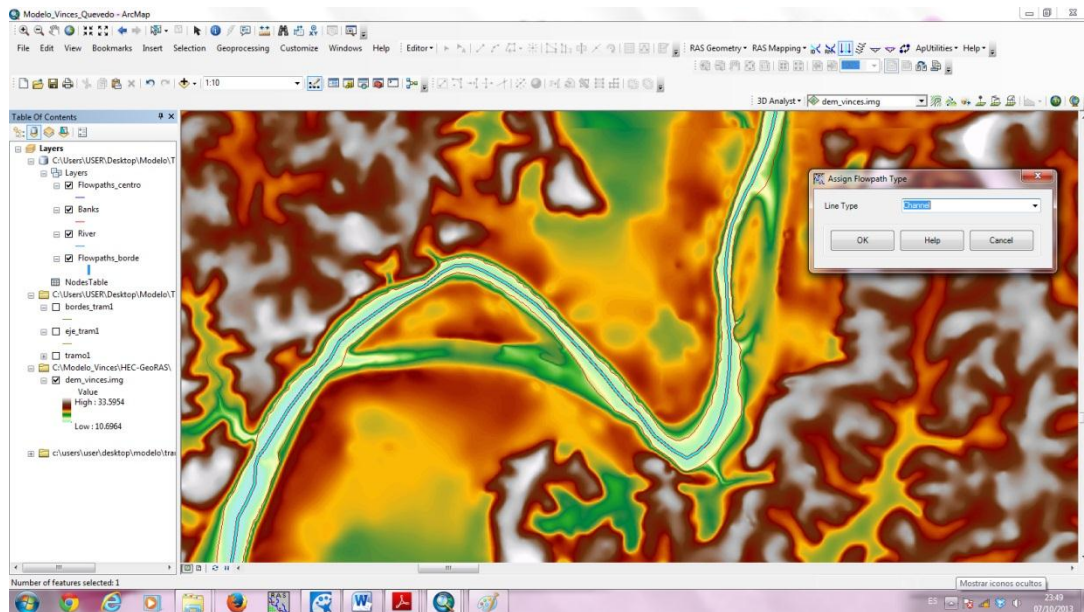



Figura 5.5: Edición de los Flowpaths.

Líneas de Corte de las Secciones Transversales (XS Cut Lines): Añade topología y atributos a las secciones transversales. Nuevamente se genera un archivo vacío llamado XS Cut Lines. La edición se puede realizar utilizando la herramienta automática , una vez que se hayan creado las secciones se debe tener en cuenta que no se pueden cortar dos secciones, en caso de realizar alguna sección en forma manual las secciones cortan perpendicularmente al flujo y se digitalizan desde el margen izquierdo al derecho y deben cortar solo una vez tanto al eje, a los bordes y a las líneas de sobreflujo. La Figura 5.6 muestra las secciones transversales creadas en el modelo digital.

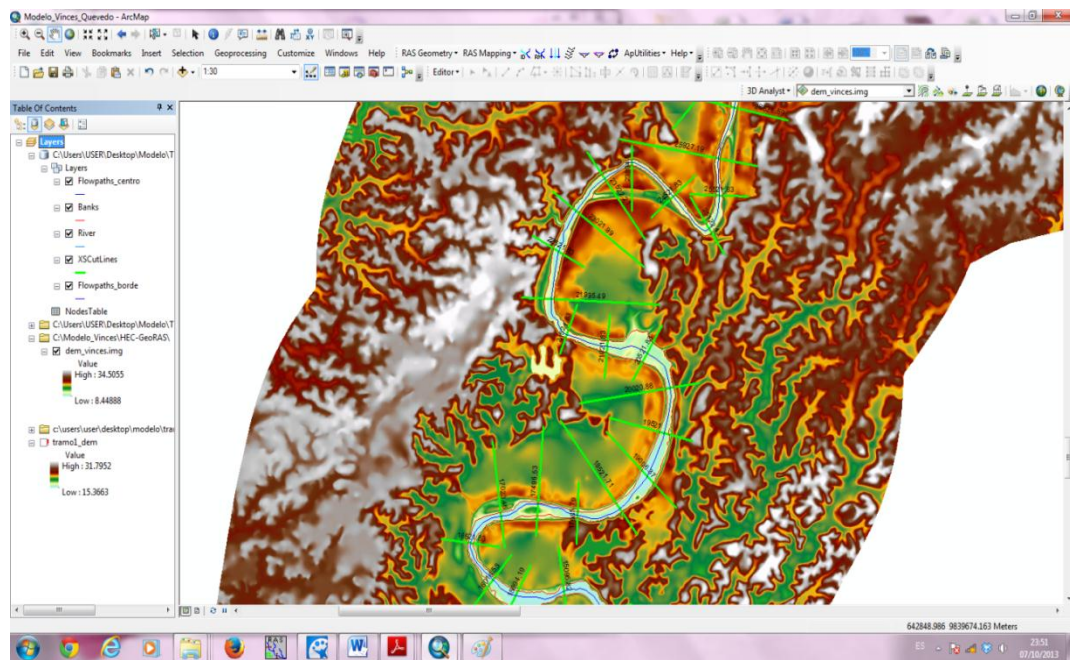


Figura 5.6: Secciones Transversales del río Quevedo-Vinces.

Hasta ahora se ha presentado el cauce, los bordes, las líneas de sobreflujo (flowpaths) y las secciones transversales, pero todos estos son dibujos en 2D. Para pasar la información a HEC-RAS se necesita tener información en 3D, HEC-GeoRAS genera un cauce y unas secciones transversales en 3D.

Añadir Topología y Elevación al Cauce (Stream Center Line Attributes): Añade información automáticamente a cada elemento, generando capas en tres dimensiones. En este caso se aplicará directamente la opción “All”, entonces se obtiene la capa “River 3D”.



Añadir Topología y Elevación a las Secciones Transversales (XS Cut Line Attributes): Esta opción genera unas secciones transversales en 3D, de igual forma que en el caso anterior se aplicará la opción “All” y se creará la capa XS CutLines3D.

Exportar a HE-RAS (Export RAS Data): Prepara el archivo que posteriormente será leído por HEC-RAS.

5.4.2.2. PROCESO

Importar Geometría desde HEC-RAS

Una vez hecha la digitalización, se procede a extraer la información topográfica de las secciones y los bancos. Hecho esto se crea un archivo compatible con HEC-RAS.

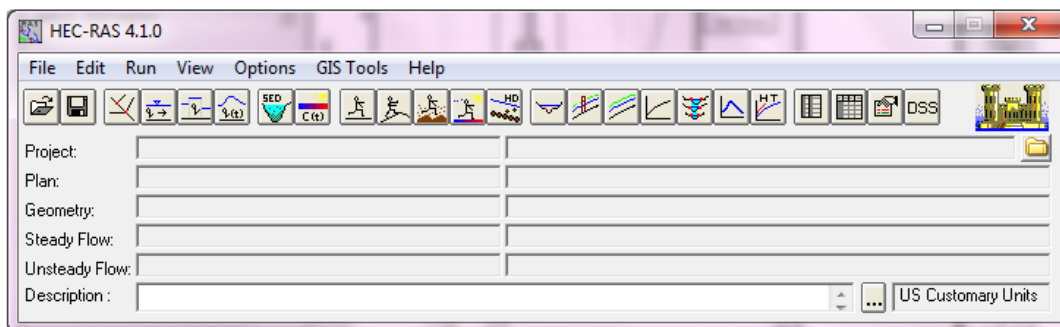


Figura 5.7: Ventana Principal de HEC-RAS 4.1.0

El proceso se realiza en HEC-RAS 4.1.0, primero se crea un proyecto, luego se abre la ventana “Geometric Data” y se importa el archivo generado anteriormente. Este archivo posee las secciones transversales y los bancos, además se muestra la dirección de flujo como se muestra en la Figura 5.8.

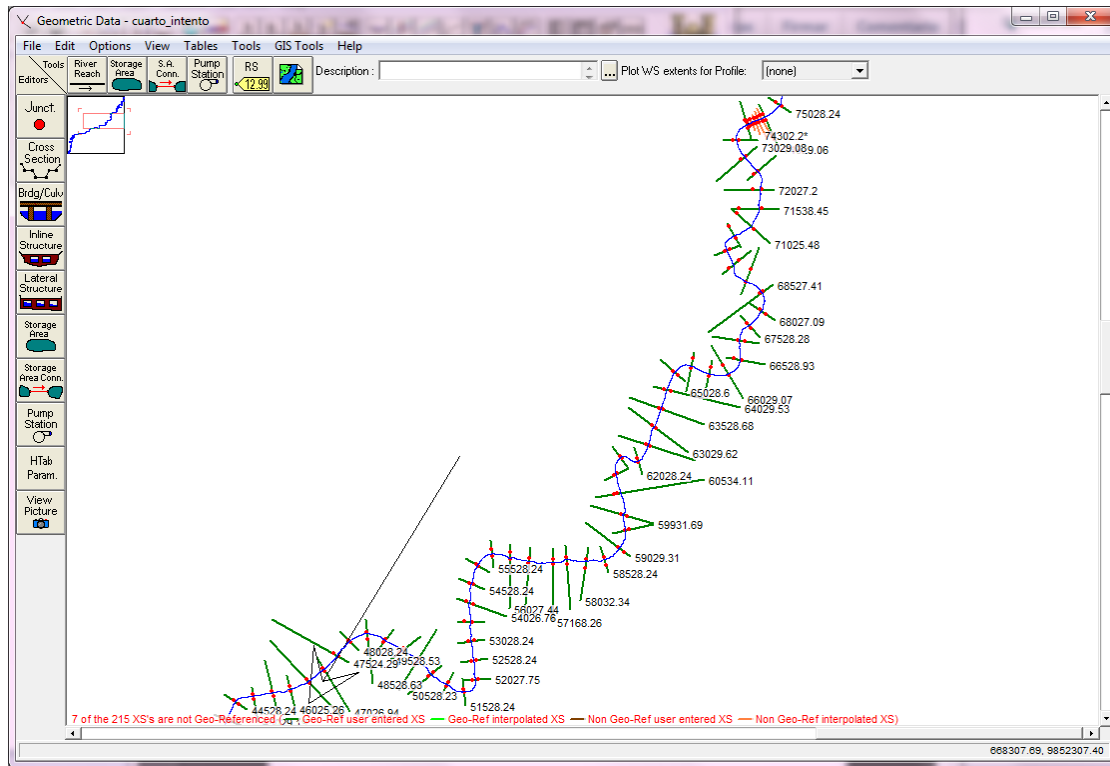


Figura 5.8: Geometría del río Quevedo-Vinces.

En el proceso, se realiza toda la parte correspondiente a la modelación hidráulica, primero se verificó que las secciones generadas desde el DEM correspondieran con secciones reales, las cuales se habían tomado puntos en el área en donde se digitalizaron las secciones.

Cross Section X-Y Coordinates: Esta opción contiene las cotas y distancias que definen cada punto del fondo de la sección transversal. Es necesario tener cuidado para partir siempre de izquierda a derecha y la distancia acumulada.

Downstream Reach Lengths: Ingresar las distancias que existen entre cada sección o perfil. Hay tres casilleros (LOB, Channel, ROB), los cuales corresponden a la parte a la izquierda de la zona de inundación, el canal propiamente y la parte derecha de la zona de inundación. Se debe tener en cuenta que el largo del río es la suma de los “Downstream Reach Lengths”, de todas las secciones.

Manning’s Values: Aquí se ingresan los valores del coeficiente de rugosidad de Manning para cada área (LOB, Channel, ROB).

Main Channel Banks Stations: Ingresar la ubicación en donde termina el LOB y donde comienza el ROB. Es en cierta forma los bordes típicos del cauce.



Cont\Exp Coefficients: Son los coeficientes de expansión y contracción, por defecto se usan valores de 0.1 y 0.3 respectivamente.

El ingreso de todos los parámetros anteriores se pueden observar a continuación en la Figura 5.9.

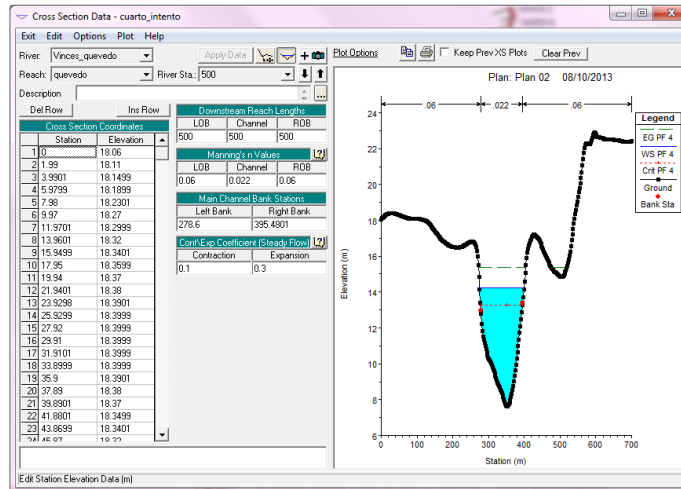


Figura 5.9: Sección 500 del río Quevedo-Vinces.

Creación de Puentes

Para el cálculo hidráulico de un puente, se creará una sección especial para éste, lo ideal es tener cerca del puente algunas secciones. Una vez que se tenga la ubicación para el puente se utiliza la opción Bridge Culvert Data.

El programa pide incluir una nueva sección, el nombre de la sección debe estar entre las secciones de aguas abajo y la de aguas arriba. En este caso la sección del puente ubicado en Mocache (sección 74144.5) y está entre las secciones (74148.5 y 74135.5).

Hecho esto se debe proceder a colocar la cota de la plataforma o calzada del puente, esto se ejecuta en la opción Deck/Roadway como se muestra en la Figura 5.10:

Distance: Es la distancia entre el puente y la sección inmediatamente aguas arriba.

Width: Ancho del puente.

Weir Coef: Coeficiente de vertedero, por defecto 1.43

Station: Distancia desde el inicio de la sección del puente.

High cord: Cota de la parte superior del puente, calzada o plataforma.

Low cord: Cota de las vigas del puente.

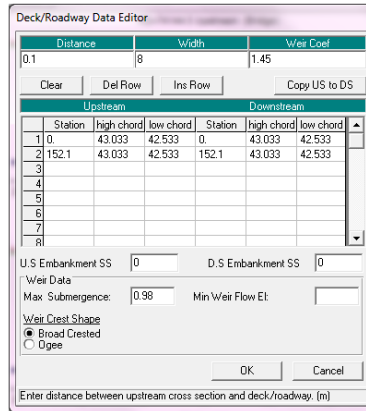


Figura 5.10: Ingreso de los datos para crear el Puente.

Se puede poner el puente en forma distinta en la sección aguas arriba que aguas abajo (colocar una pendiente en el ancho del puente), pero generalmente aguas arriba y aguas abajo mantienen los mismos valores como se mostró en la figura anterior. Luego se deben incluir los estribos, para esto se procede “sloping abutment” y se realiza algo similar. Por último se debe ingresar los datos correspondientes a la pila del puente si este tiene. Para ello se selecciona el ícono “Pier”.

En este menú se debe incluir los datos de la pila ingresando el ancho y la altura a la cual se encuentra el ancho.

Otro punto importante en este menú es que se debe colocar la distancia a la cual irá la pila. Esto se coloca en la opción “centerline station down/Upstream”. En la Figura 5.11 se muestra el ingreso de los datos de las pilas del puente.

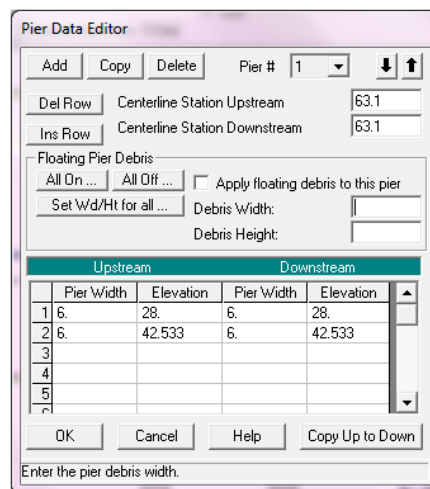



Figura 5.11: Ingreso de datos para las pilas del puente.



Datos de Flujo

Para poder ingresar los datos del caudal en flujo permanente se usará la opción “Steady Flow Data”. 

Flujo Permanente

En este caso se ingresaran los datos de caudales para los periodos de retorno de 50 y 100 años (Ver Figura 5.12)

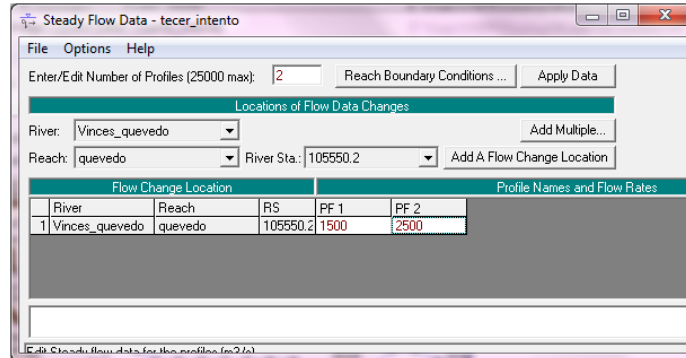


Figura 5.12: Ingreso de los datos de Caudal para los periodos de retorno de 50 y 100 respectivamente.

Luego se debe ingresar las condiciones límites que son necesarias en la simulación, para esto se elegirá la opción “Steady Flow Boundary Conditions”.

Existen dos casilleros para las condiciones límite aguas arriba y aguas abajo (upstream y downstream).

Como se usará flujo mixto se debe ingresar las condiciones en ambos casilleros y en este caso se seleccionó la condición de borde de profundidad normal (“Normal Depth”). Ver Figura 5.13.

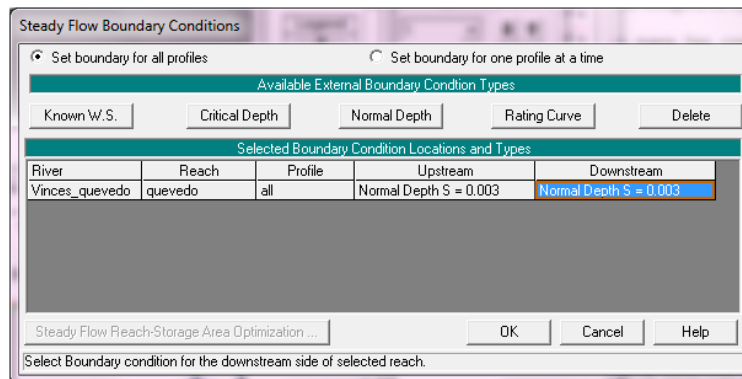


Figura 5.13: Ingreso de condiciones de borde para flujo mixto



Flujo Impermanente

Para el flujo no permanente el método es bastante similar al del flujo permanente. La diferencia es que se debe insertar como condición de borde un hidrograma que representa la forma en que el caudal varía en el tiempo (Se ingresó el Hidrograma obtenido para Quevedo en la sección 4.1.5.3). Para ello se ingresa en la opción “Unsteady Flow Data” (Ver Figura 5.14).

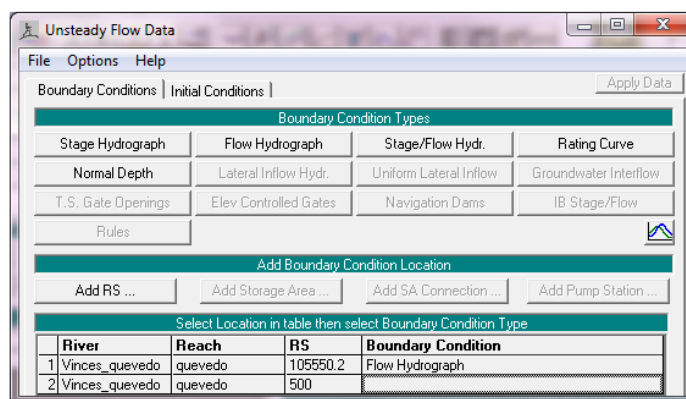


Figura 5.14: Ingreso de Hidrograma para flujo no permanente.

CALIBRACIÓN DEL MODELO

La calibración del modelo se realizó con un caudal de 1000m³/s, con una curva de descarga que fue obtenida por el equipo de hidrología del PROMAS-Universidad de Cuenca, en Mocache (Ver Tabla 5.3).

Profundidad Media (msnm)	Altura Media (m)	Caudal (m ³ /s)
31.071	1.92	52
31.151	2	55
31.451	2.3	75
31.651	2.5	100
32.151	3	270
32.651	3.5	400
33.451	4.3	760
34.151	5	1000

Tabla 5.3: Curva de Descarga en Mocache.

(Fuente: PROMAS-Universidad de Cuenca)




Para la calibración además se tomaron en cuenta las condiciones de borde (valores de pendiente del río y valores del coeficiente de rugosidad de Manning), con los valores de estos parámetros se procedió a realizar varias pruebas, es decir un constante cambio de dichos valores, hasta encontrar aquellos con los que el modelo este calibrado.

5.4.2.3. POSTPROCESO:

Exportar resultados de HEC-RAS a ArcGIS

Para crear el archivo de intercambio de datos entre HEC-RAS y ArcGIS se selecciona Export GIS Data del menú File en HEC-RAS, lo siguiente es seleccionar que archivos de salida que se desea exportar a ArcGIS de todos los que se hayan creado durante la simulación.

Una vez realizado el proceso descrito anteriormente, entonces se a importar el archivo en ArcGIS, para ello lo primero es transformar el archivo de HECRAS en formato SDF a formato XML con la opción  que se ubica en la barra de HEC-GeoRAS(Ver Figura 5.15).

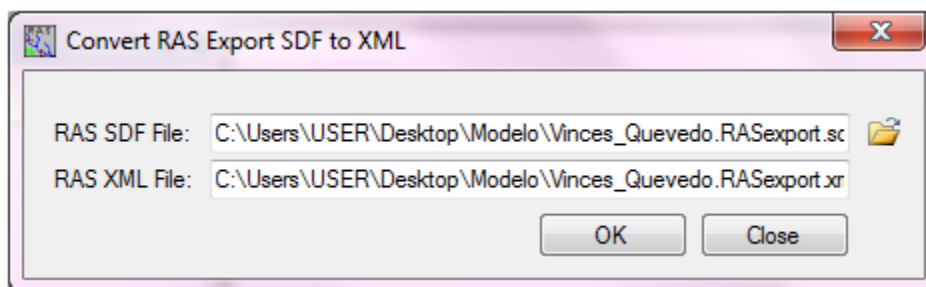


Figura 5.15: Conversión de Formato SDF a XML.

Una vez cambiado el formato en la opción RAS Mapping primero se selecciona la opción Layer Setup en donde se ingresa el archivo creado, además se carga el Modelo Digital del Terreno (DEM). Ver Figura 5.16.

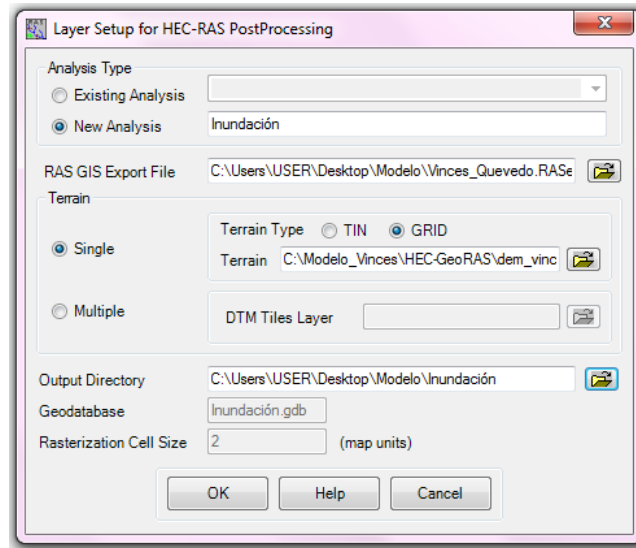


Figura 5.16: Ingreso de datos

En segundo lugar escoger la opción “Import RAS Data” y aparecerá el archivo antes creado y se cargarán todos los archivos creados en HEC-RAS. Ver Figura 5.17

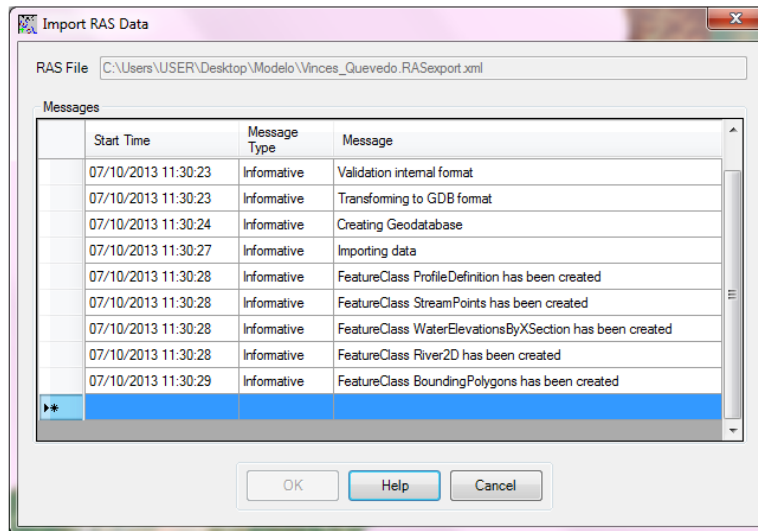


Figura 5.17: Importación de datos a ArcGIS.

Ahora aparecerán los layers de las secciones transversales, el eje del río y los bordes del río. Ver Figura 5.18.

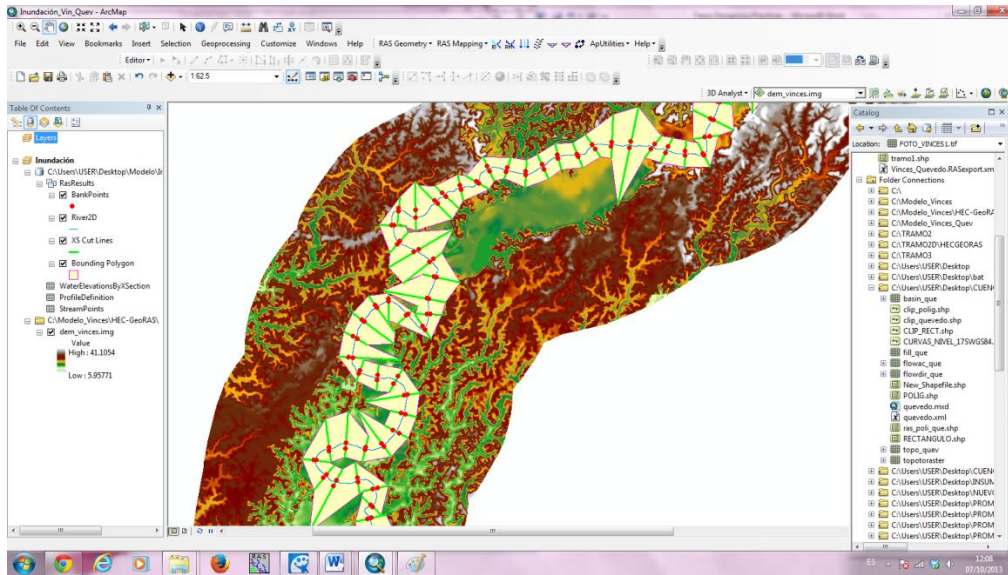


Figura 5.18: Río, Bordes y Secciones Transversales ArcGIS.

Nuevamente en la opción RAS Mapping, se elegirá Inundation Mapping y se utiliza la primera opción “Water Surface Generation”, aquí se escogerán los perfiles que se han importado y en este caso aparecerán archivos TIN como se muestra en la Figura 5.19.

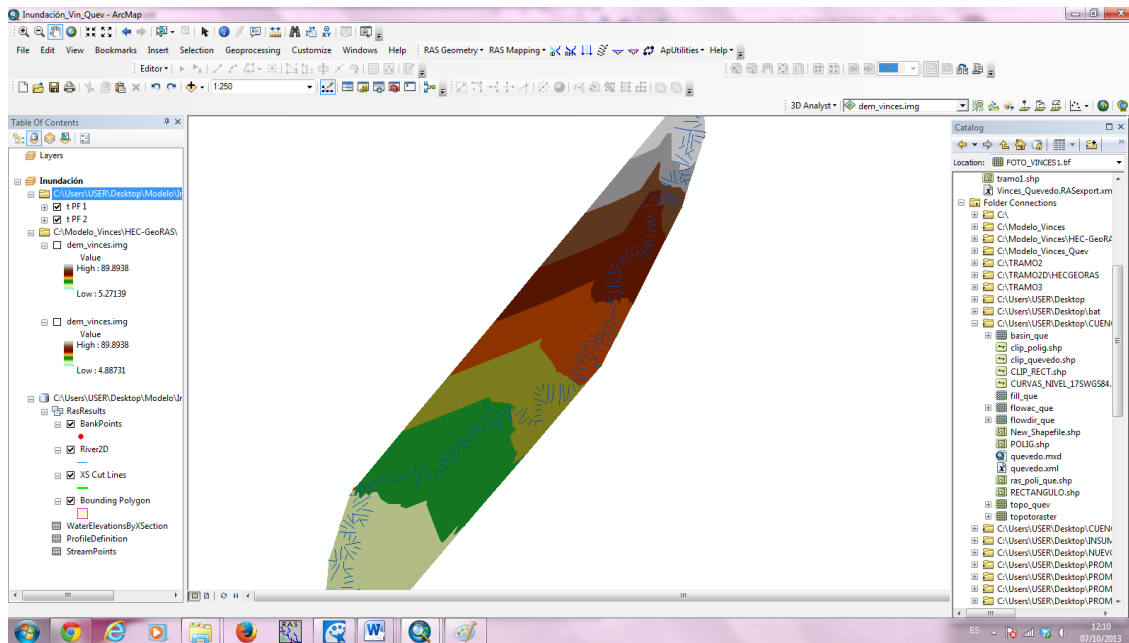


Figura 5.19: Creación del Archivo TIN en ArcGIS.

Ahora se escogerá la segunda opción “Floodplain Delineation Using Rasters”, en la cual otra vez se seleccionan los mismos perfiles y se crearán las áreas de inundación.



En este caso debido a que para el programa fue imposible realizar la simulación de inundación ya que no se puede cargar todos los archivos correspondientes al Modelo Digital del río Quevedo-Vinces, se optó por dividir el modelo en tramos, dicha división fue basada en los cambios de caudal a lo largo del río, luego de un análisis se pudo determinar que los cambios más significativos fueron en tres zonas, es decir se dividió al río en tres tramos.

Es necesario recalcar que al dividir el modelo en tramos no significa que el proceso para la simulación de la inundación va a cambiar, por el contrario se realiza el mismo procedimiento. A continuación en la Figura 5.20 se mostrará el resultado de la simulación en uno de los tramos (aguas arriba).

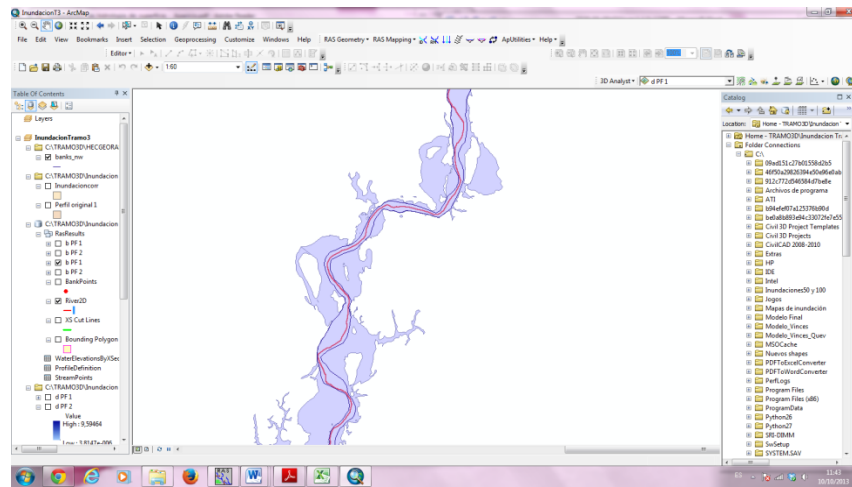


Figura 5.20: Simulación de la inundación de un tramo del río Quevedo-Vinces.



6. ANALISIS E INTERPRETACION DE RESULTADOS

6.1. RESULTADOS EN HEC-RAS

En este punto se presentan los resultados obtenidos en HEC-RAS de cada uno de los tramos en los que se dividió el río Vices.

6.1.1. TRAMO 1

El tramo 1 va desde la abscisa 0+000 a la 30+337.3, y se tomaron las siguientes condiciones:

- **Flujo:** No Permanente y Mixto
- **Caudal:** Hidrograma de diseño para un periodo de retorno de 50 y 100 años.

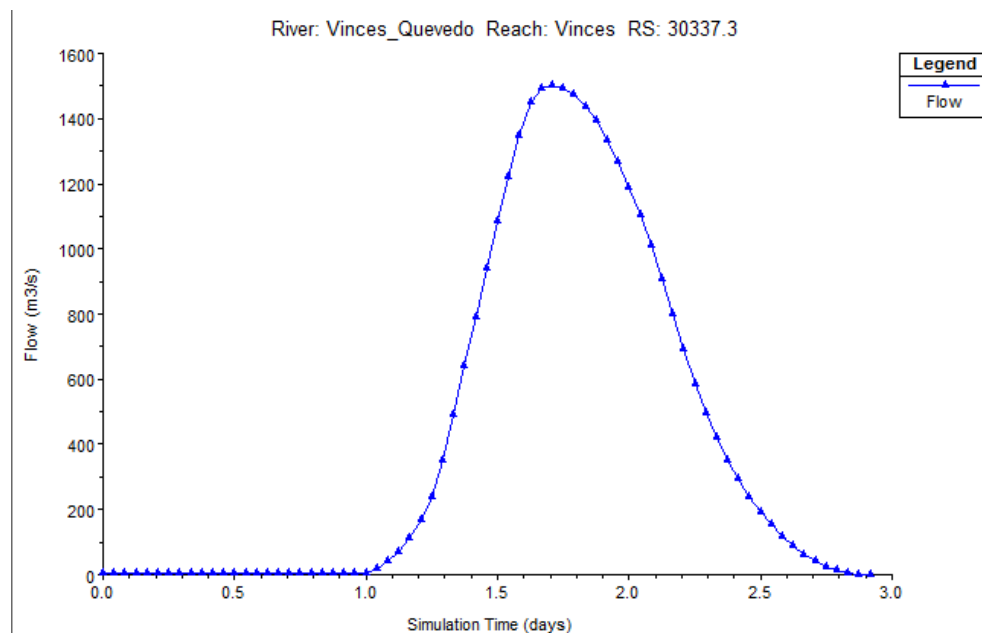


Figura 6.1: Hidrograma de diseño tramo 1 para un periodo de diseño de 100 años

- **Condición Aguas Abajo:** Pendiente de Fricción aguas abajo: 0.003
- **Condición Aguas Arriba:** Se estimó la energía específica donde la altura del flujo es igual a la altura crítica.
- **Rango de los valores de Manning:** [0.022, 0.024]



6.1.1.1. Resultados gráficos y tabulares

Los resultados tabulares se presentan en la tabla en capítulo 8: ANEXOS, MAPAS Y PLANOS (Ver Anexo4: Resultados tabulares del modelo en HEC-RAS.)

Los resultados gráficos se presentan en las Figuras 6.2 y 6.3, la relación que existe entre la velocidad y el caudal es inversamente proporcional al área, como se puede ver en la abscisa 1+378.104, donde la velocidad y el caudal son altos, es decir el área disminuye.

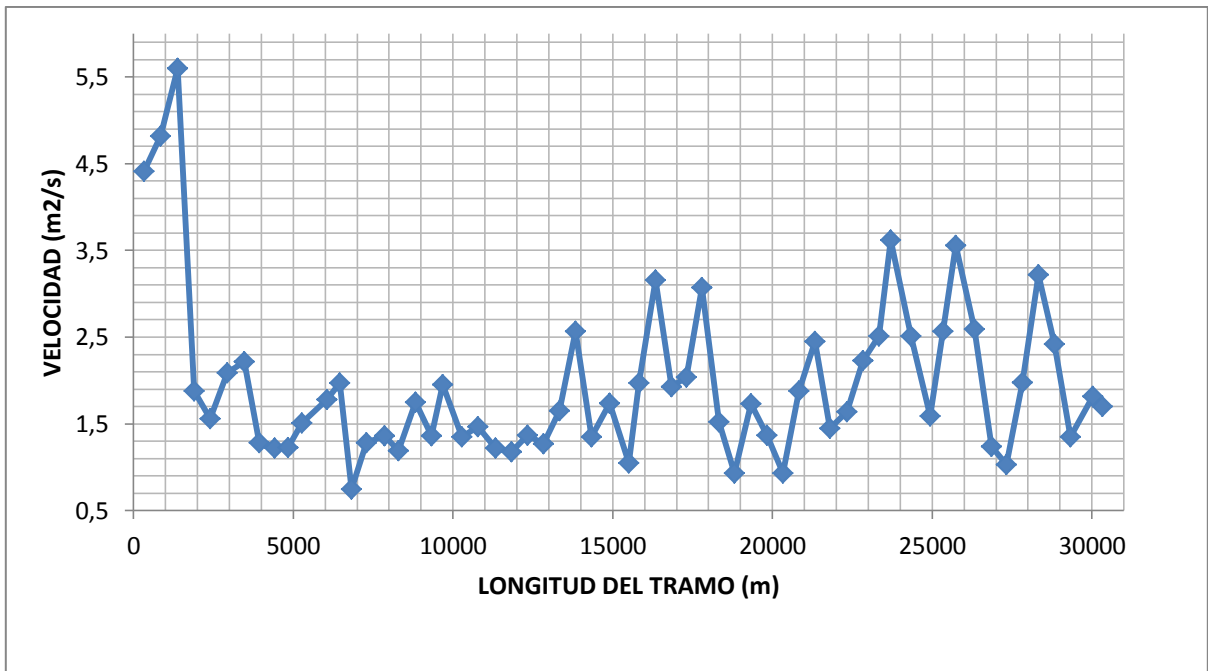


Figura 6.2: Velocidades a lo largo del Tramo 1 (0+000 – 30+337.3) para un período de retorno de 100 años.

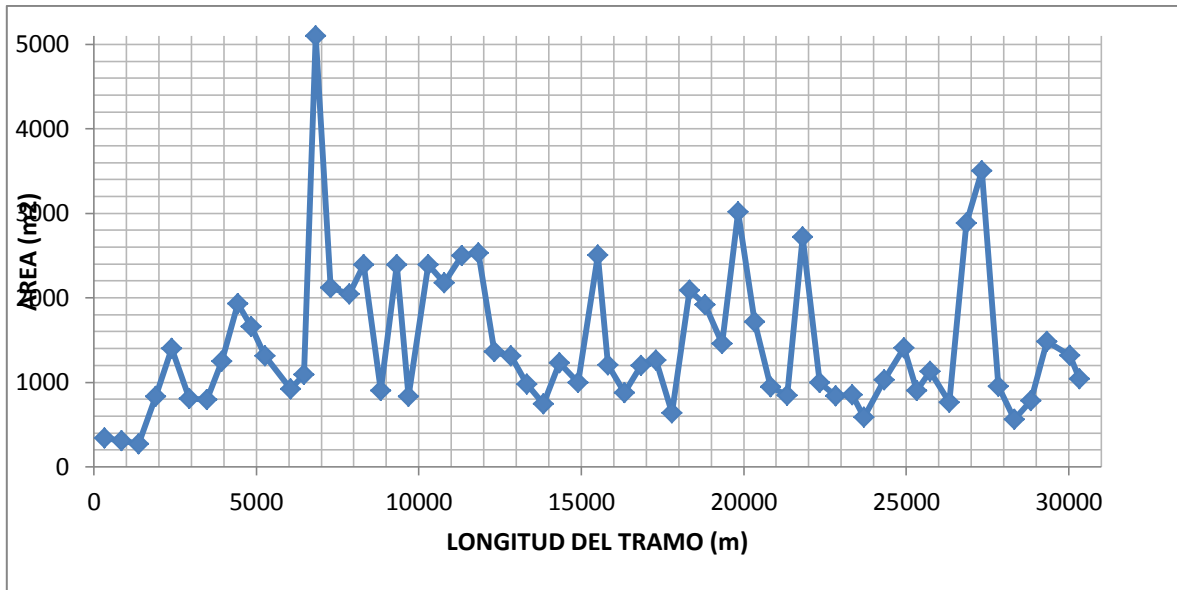


Figura 6.3: Áreas de flujo a lo largo del Tramo 1 para un período de retorno de 100 años.

En la figura 6.4 se muestran los perfiles hidráulicos calculados por el modelo, en donde se aprecia los diferentes tipos de flujo presentes en tramo del río.

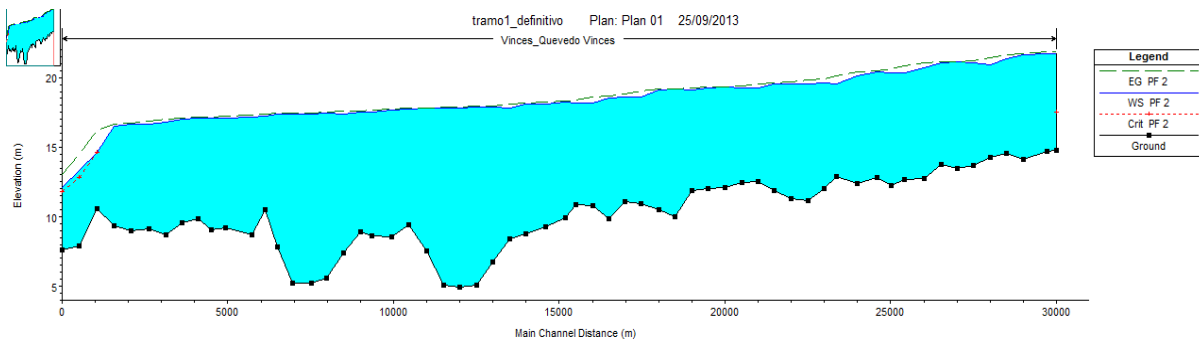


Figura 6.4: Perfil de flujo a lo largo del tramo 1 para un período de retorno de 100 años.

Como se puede observar en la gráfica anterior la mayor parte del tramo presenta un flujo subcrítico ($Fr < 1$), debido a que el río posee una pendiente suave en este sector. En la abscisa 1+378.104, el flujo cambia a crítico ($Fr = 1$). Este análisis se lo puede ver con mayor claridad en la Figura 6.5 que muestra el número de Froude correspondiente a cada sección a lo largo del tramo.

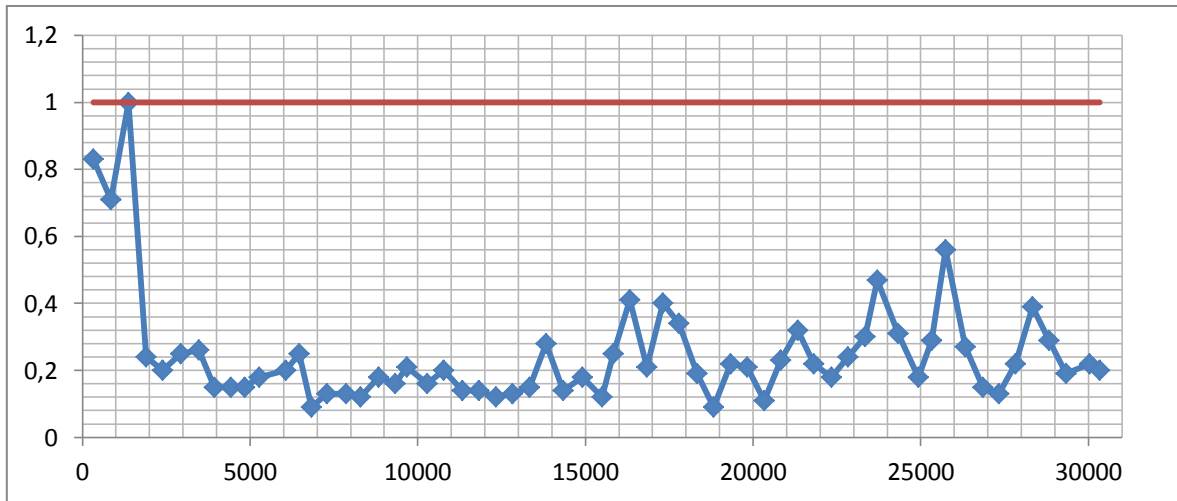


Figura 6.5: Número de Froude a lo largo del tramo 1 para un periodo de retorno de 100 años

Analizando el flujo para un período de retorno de 100 años, el río presenta varios sectores de riesgo por desbordamiento. Las zonas de inundación están situadas en las abscisas 2+000 a la 8+300, 14+330 a 16+830, 19+000 a 21+000 y 26+000 a 27+500. En la Figura 6.6 se aprecia uno de los sectores de inundación, en donde la lámina de agua corresponde al polígono de color azul.

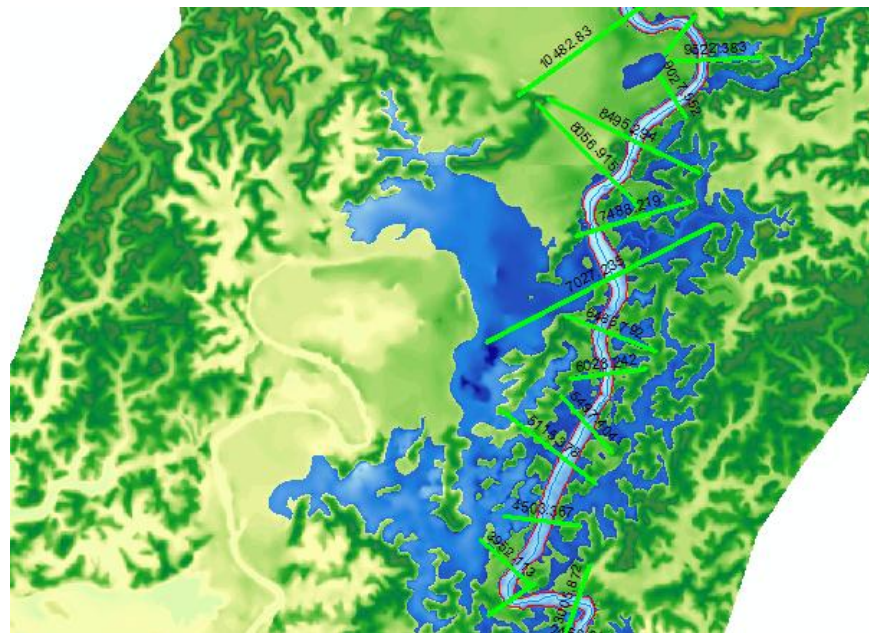


Figura 6.6: Mancha de inundación para un flujo con un período de retorno de 100 años (Tramo1)

En la Figura 6.7 se aprecia el desbordamiento del río en la sección 4+842, como se puede observar los bordes del río han sido sobrepasados por la lámina de agua



y han inundado el margen izquierdo del río aproximadamente 250 metros, medidos desde la orilla de río. La profundidad que alcanza la lámina de agua en este punto es de 8.0 m, medidos desde el fondo del río.

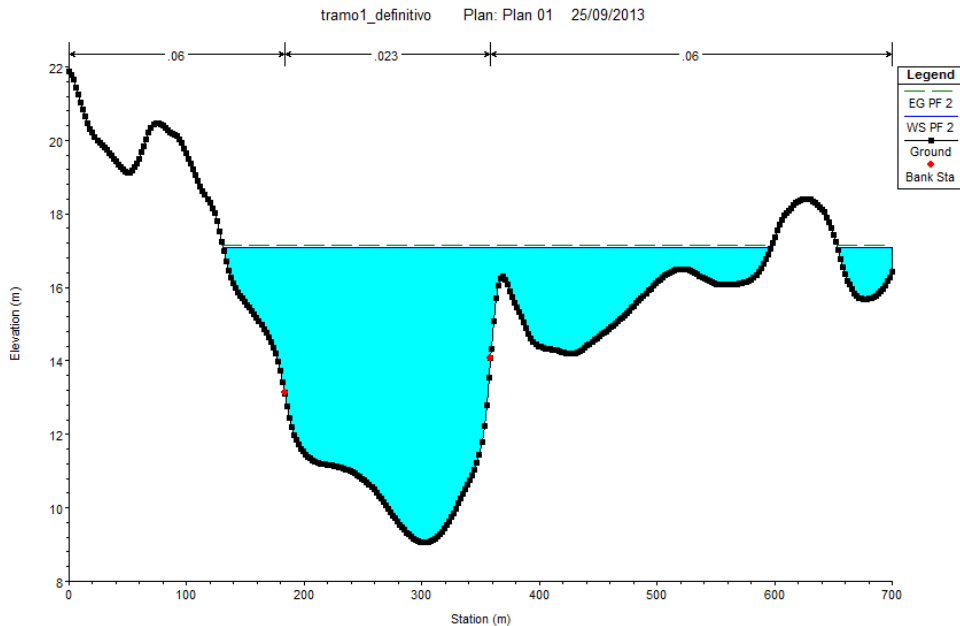


Figura 6.7 Sección transversal del Río Vices en la abscisa 4+842.

6.1.2. TRAMO 2

El tramo 2 va desde la abscisa 30+337.3 a la 63+061.13, y se tomaron las siguientes condiciones:

- **Flujo:** No Permanente y Mixto
- **Caudal:** Hidrograma de diseño para un periodo de retorno de 50 y 100 años

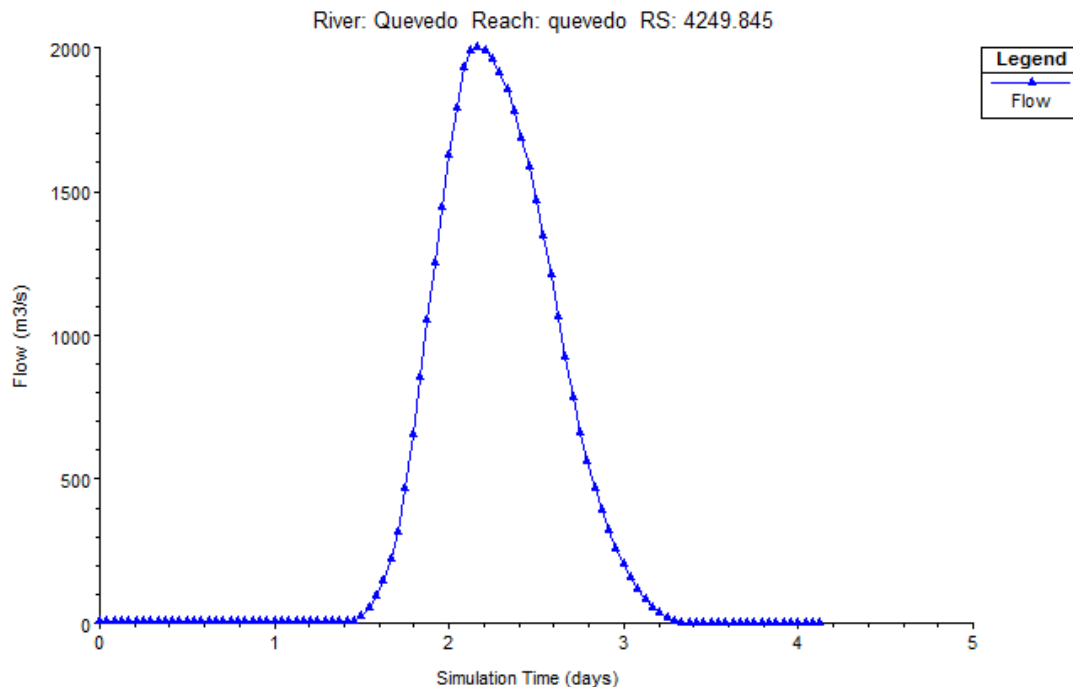


Figura 6.8: Hidrograma de diseño tramo 2 para un periodo de diseño de 100 años

- **Condición Aguas Abajo:** Pendiente de Fricción aguas abajo: 0.003
- **Condición Aguas Arriba:** se estimó la energía específica donde la altura del flujo es igual a la altura crítica.
- **Rango de los valores de Manning:** [0.024, 0.028]

6.1.2.1. Resultados gráficos y tabulares

Los resultados tabulares se presentan en la tabla en capítulo 8: ANEXOS, MAPAS Y PLANOS (Ver Anexo4: Resultados tabulares del modelo HEC-RAS.)

Las Figuras 6.9 y 6.10, presentan el perfil de la velocidad y el área a lo largo del tramo de cada una de las secciones, estas gráficas son útiles para observar los puntos donde se tiene velocidades altas tales como la de la abscisa 36+837 que tiene una velocidad de 5.58m/s, la que se da debido al estrechamiento del río en esta sección que tiene un área de 428m² comparada con la máxima que es de 7917 m².

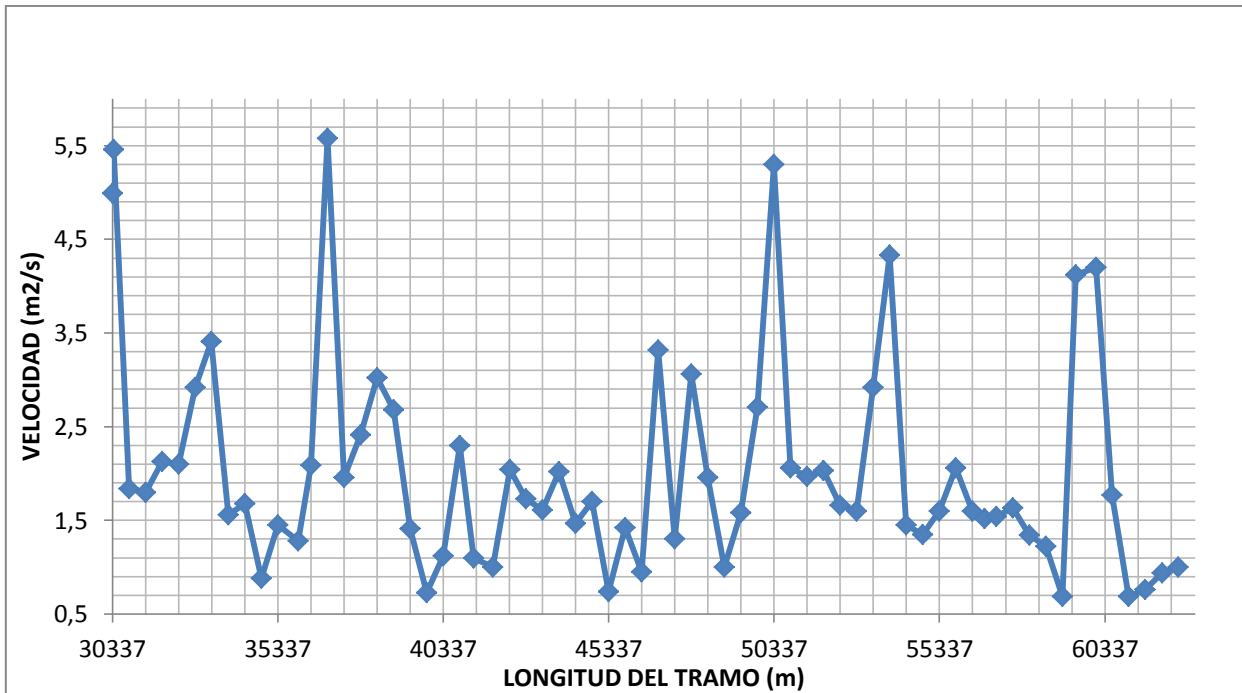


Figura 6.9: Velocidades a lo largo del Tramo 2 para un período de retorno de 100 años

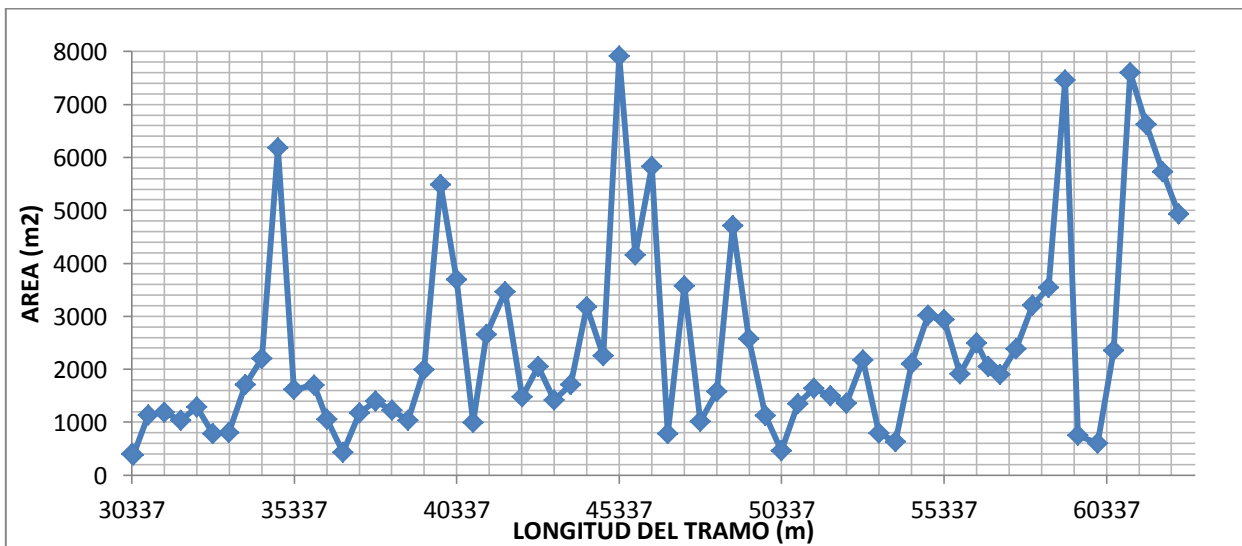


Figura 6.10: Áreas de flujo a lo largo del Tramo 2 para un período de retorno de 100 años.

En la Figura 6.11 se presentan los perfiles hidráulicos calculados por el modelo, en donde se aprecia los diferentes tipos de flujo presentes en tramo del río.

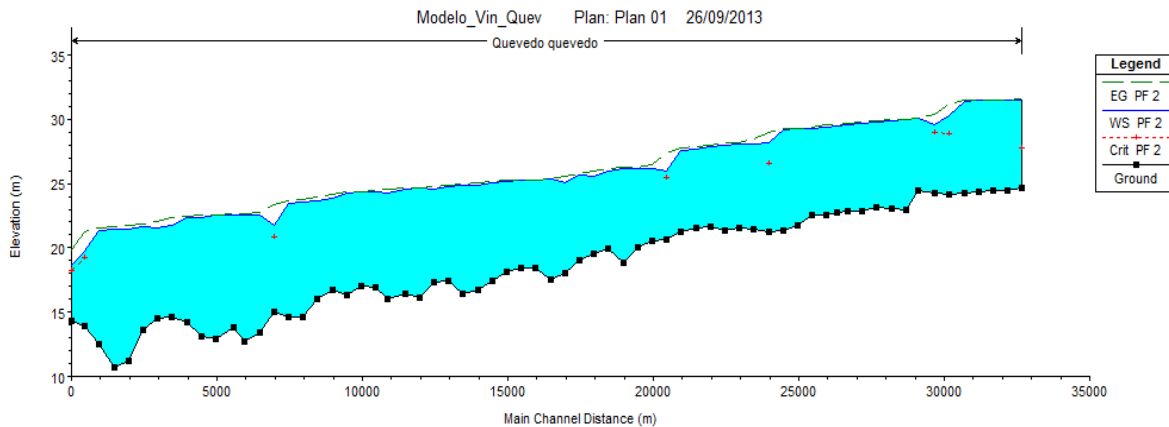


Figura 6.11: Perfil de flujo a lo largo del tramo 2 para un periodo de retorno de 100 años.

En este tramo la pendiente es suave como en el tramo anterior por lo que todo el flujo es subcrítico ($Fr < 1$). Este análisis se lo puede ver con mayor claridad en la Figura 6.12 que muestra el número de Froude correspondiente a cada sección a lo largo del tramo.

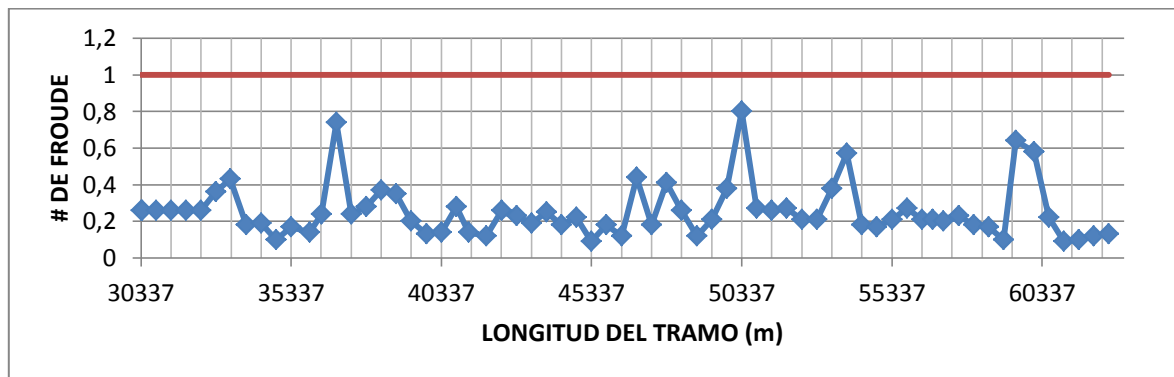


Figura 6.12: Número de Froude a lo largo del tramo 2 para un periodo de retorno de 100 años

Con el flujo para un periodo de retorno de 100 años, el río en este tramo se desborda en prácticamente todas las secciones extendiéndose por toda la llanura de inundación, por lo que este sector se considera zona inundable. En la Figura 6.13 se aprecia uno de los sectores de inundación, en donde se puede observar la extensión de desbordamiento que tiene el flujo.

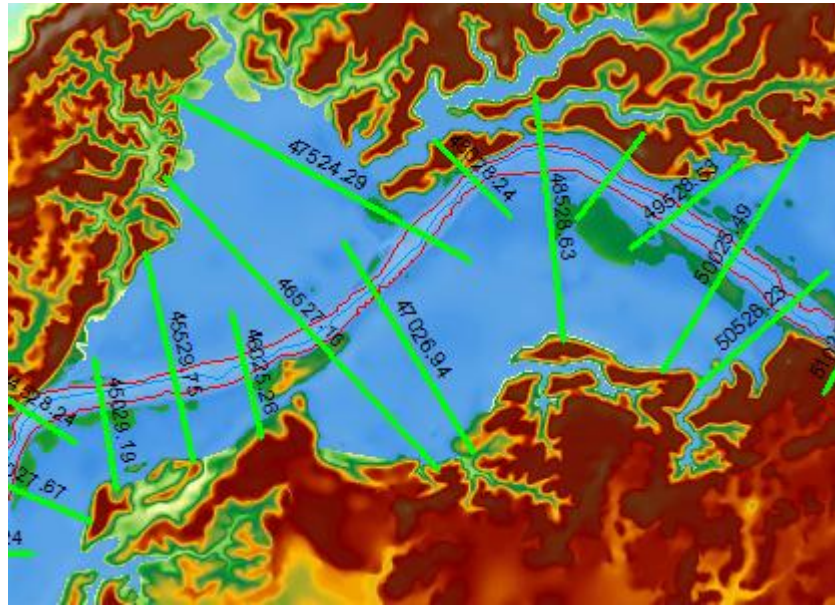


Figura 6.13: Mancha de inundación para un flujo con un periodo de retorno de 100 años (Tramo1)

Con el fin de apreciar el perfil transversal de una de las secciones de la zona de inundación, en la Figura 6.14 se presenta la sección 47+026.84, en la cual se puede observar que los bordes del río han sido sobrepasados por la lámina de agua y han inundado tanto el margen izquierdo como el derecho del río aproximadamente 1500 metros. La profundidad que alcanza la lámina de agua en este punto es de 6.6 m, medidos desde el fondo del río.

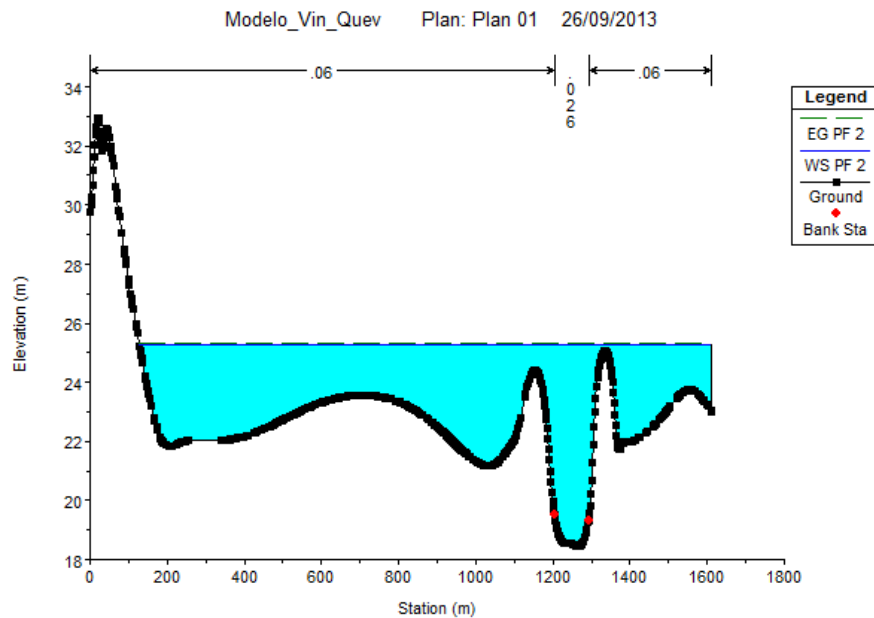


Figura 6.14 Sección transversal del Río Vices en la abscisa 4+842.

6.1.3. TRAMO 3

El tramo 3 va desde la abscisa 63+061.13 a la 105+550 y se tomaron las siguientes condiciones:

- **Flujo:** No Permanente y Mixto
- **Caudal:** Hidrograma de diseño para un período de retorno de 50 y 100 años

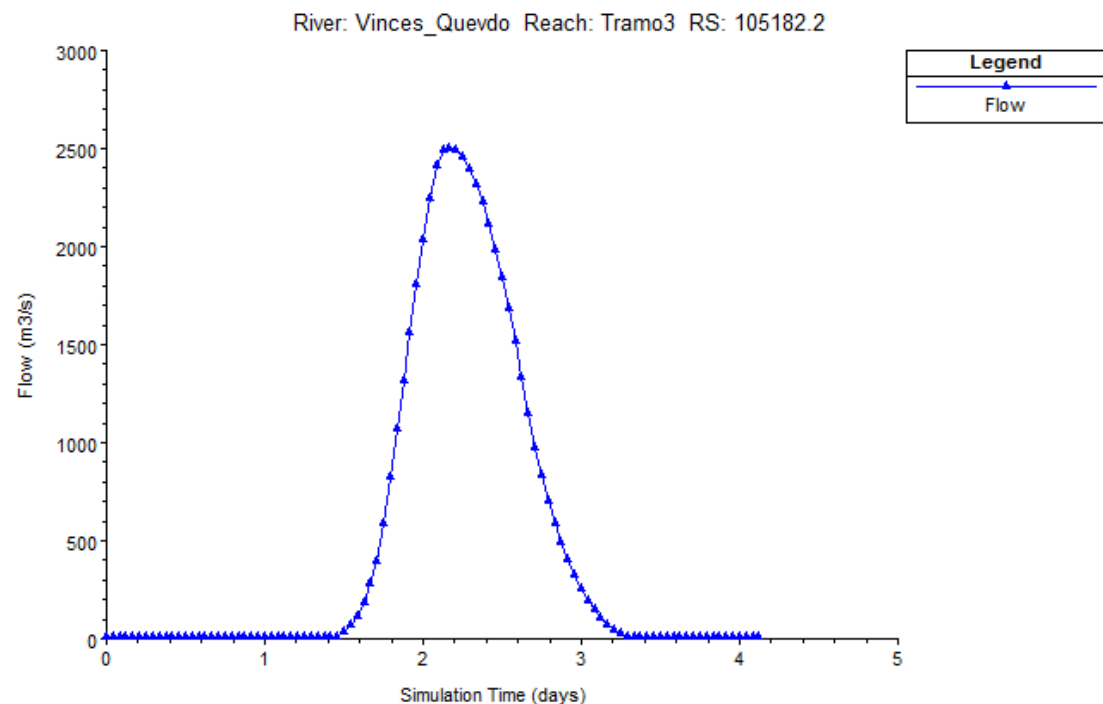


Figura 6.15: Hidrograma de diseño tramo 3 para un período de diseño de 100 años

- **Condición Aguas Abajo:** Pendiente de Fricción aguas abajo: 0.003
- **Condición Aguas Arriba:** Se estimó la energía específica donde la altura del flujo es igual a la altura crítica.
- **Rango de los valores de Manning:** [0.028, 0.032]

6.1.3.1. Resultados gráficos y tabulares

Los resultados tabulares se presentan en la tabla en capítulo 8: ANEXOS Y MAPAS (Ver Anexo 5: Resultados tabulares del modelo HEC-RAS.)

En las Figuras 6.16 y 6.17, se presentan las gráficas de la velocidad y área de las secciones próximas al puente ubicado en la abscisa 74+144.5, aquí se observa



que la velocidad aumenta significativamente en la sección donde se encuentra el puente, este incremento se debe al efecto de contracción ocasionado por la estructura.

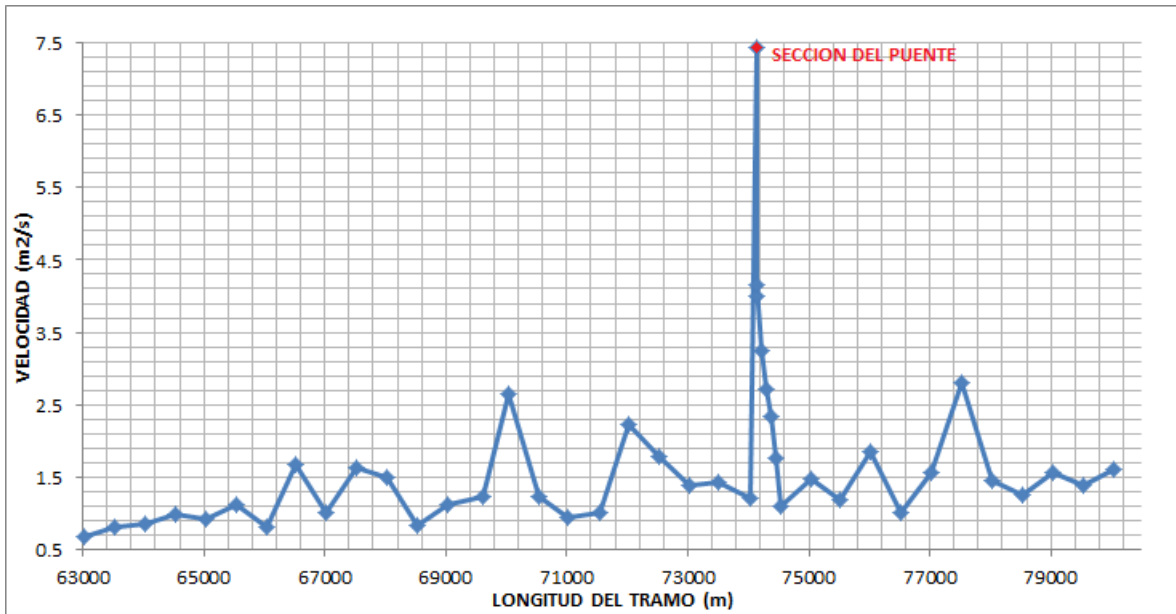


Figura 6.16: Velocidades a lo largo del Tramo 2 para un periodo de retorno de 100 años

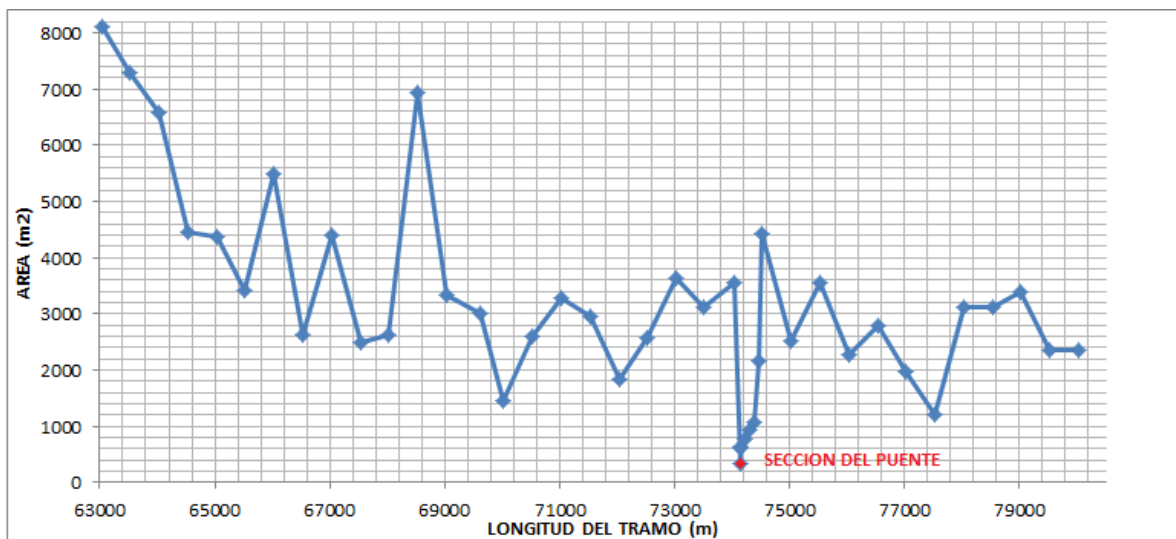


Figura 6.17: Áreas de flujo a lo largo del Tramo 3 para un período de retorno de 100 años.



La velocidad que alcanza el flujo en la sección del puente es de 7.43 m/s, valor alto que es el causante de la socavación en estas estructuras. (Ver Figura 6.18)

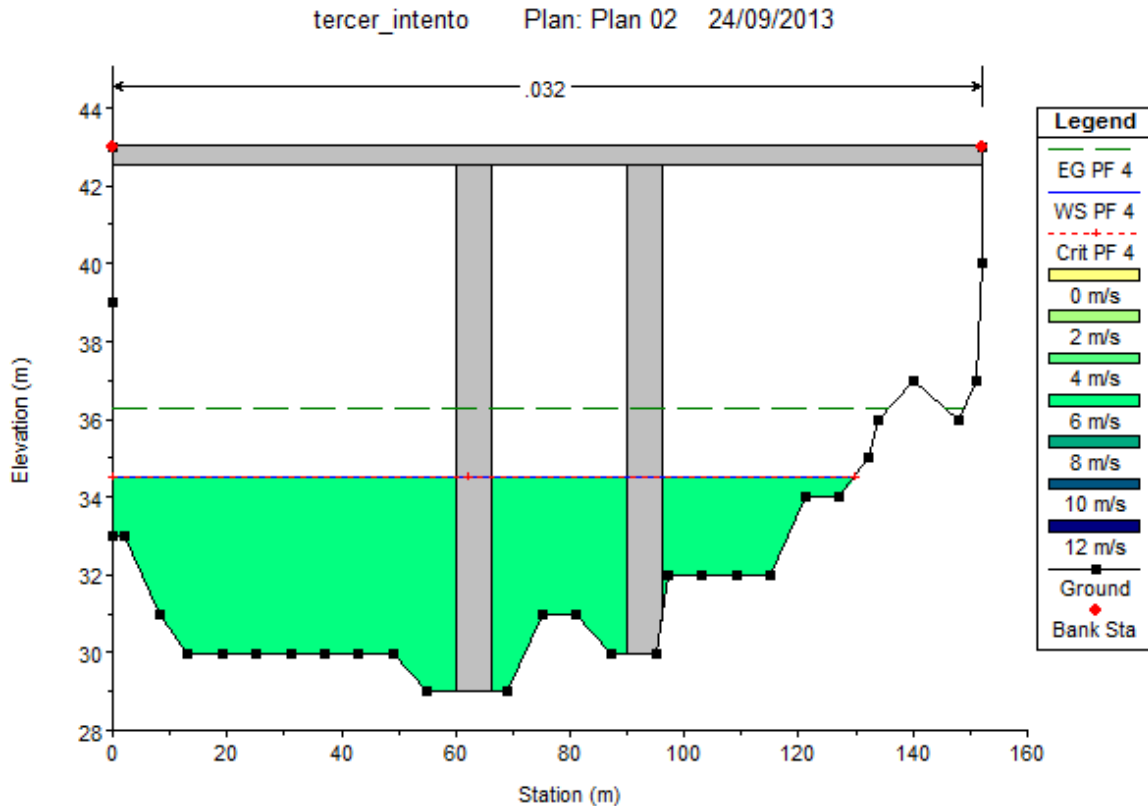


Figura 6.18: Velocidades del flujo en la sección de entrada del Puente Mocache.

En la Figura 6.19 se puede observar de mejor manera la contracción del calado, por efecto del puente. A lo largo de todo el perfil se observó que el flujo se da a régimen subcrítico ($Fr < 1$), excepto en la sección del puente donde el flujo cambia a supercrítico ($Fr > 1$) (Ver Figura 6.20)

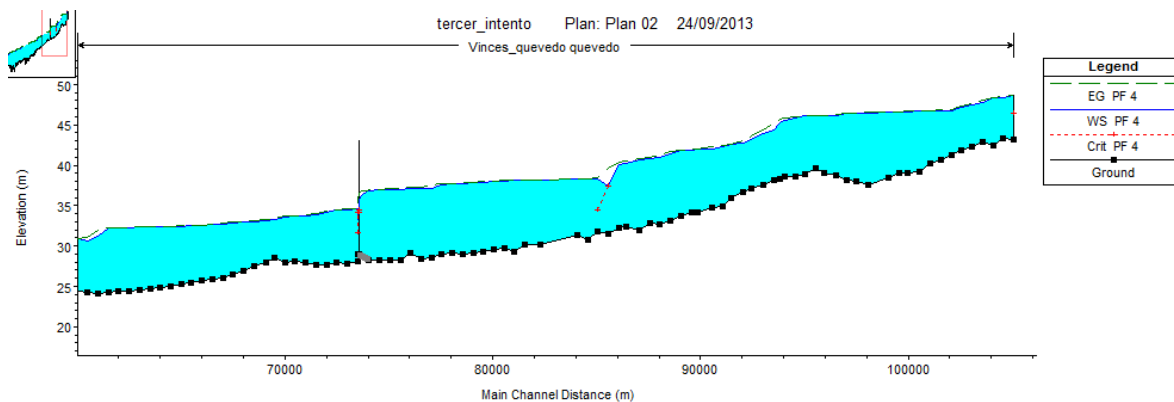


Figura 6.19: Perfil de flujo a lo largo del tramo 3 para un período de retorno de 100 años.

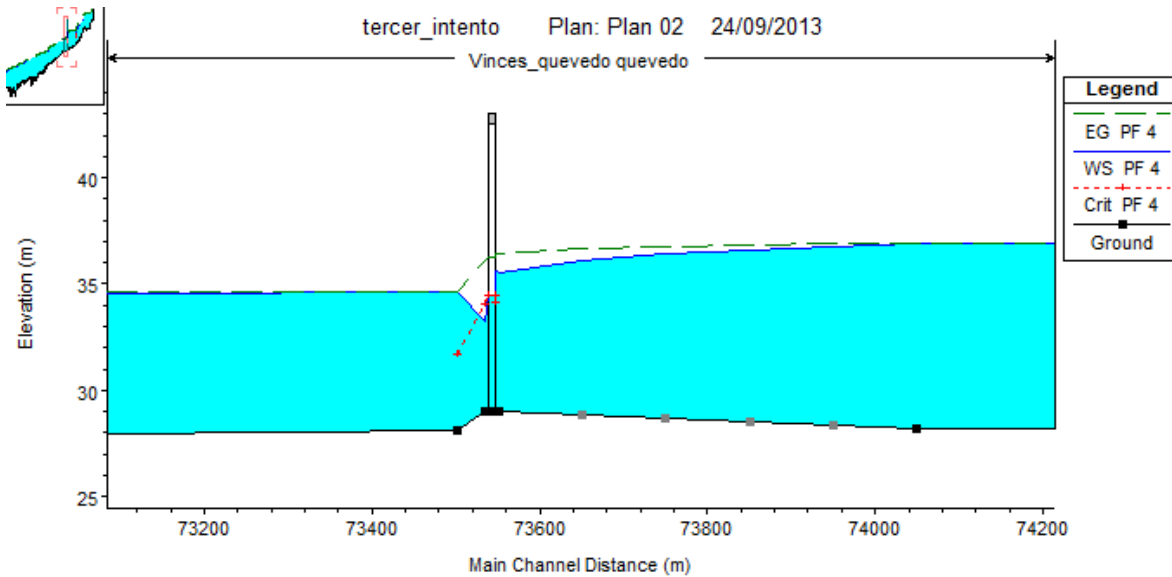


Figura 6.20: Perfil a detalle del cambio de régimen en la sección del puente.

El número de Froude a lo largo del tramo 3 se lo puede ver en la figura 6.21, en donde se puede observar de mejor manera que el flujo tiene un régimen subcrítico.

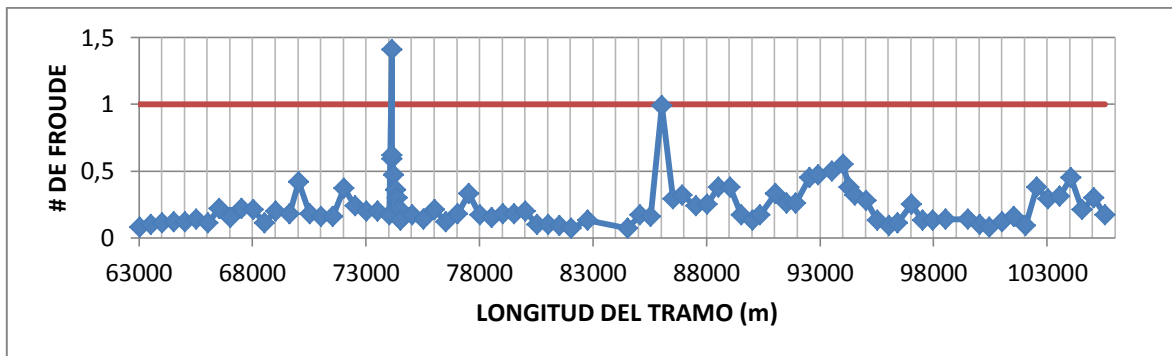


Figura 6.21: Número de Froude a lo largo del tramo 3 para un período de retorno de 100 años

Debido a que el modelo digital del terreno fue hecho con información del año 1981, fecha en la cual aún no existía el puente en Mocache, al momento de importar el la lámina de flujo determinada en HEC-RAS a ArcGIS, el flujo inunda la zona del puente, ya que el terreno tiene cotas más altas que las modificadas en HEC-RAS. En la Figura 6.21 se muestra parte de la inundación del tramo 3, y la ubicación en coordenadas UTM del puente.

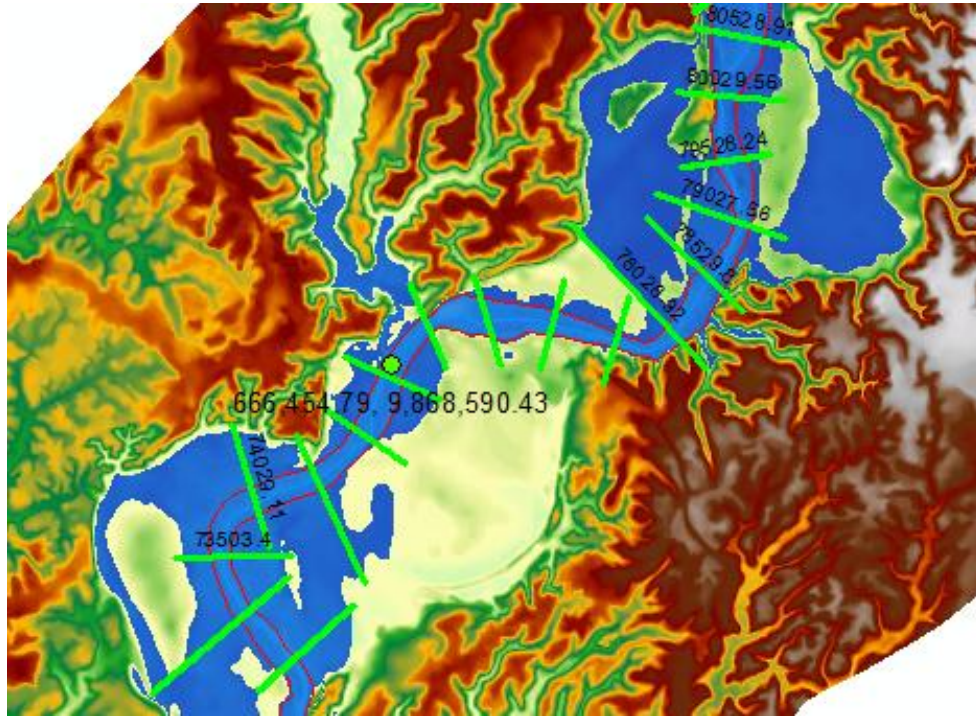


Figura 6.22: Mancha de inundación para un flujo con un período de retorno de 100 años (Tramo1)

La sección que se presenta a continuación es la de la abscisa 75+528, sección aguas abajo del puente, aquí se puede observar que el flujo sobrepasa los bordes del río y la lámina de agua se desborda tanto por el margen izquierdo como por el derecho. (Ver Figura 6.23). En la misma sección se analiza la distribución de las velocidades, en donde las mayores se dan en la parte central del canal, y la menor en la llanura de inundación.

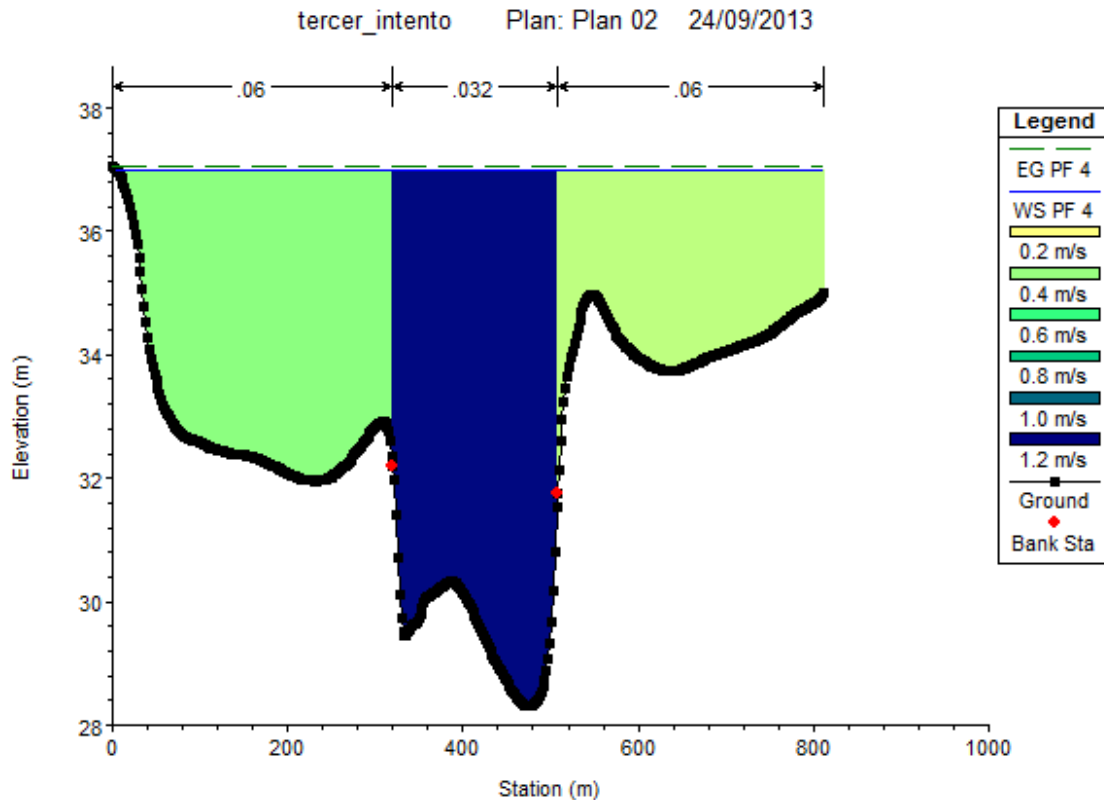


Figura 6.23 Sección transversal del río Vinces en la abscisa 75+528.

6.2. ANÁLISIS DE INUNDACIONES, ZONIFICACIÓN DE RIESGOS.

Como ya se explicó anteriormente una vez generado en Modelo Hidráulico en HEC-RAS y mediante el uso del sistema de Información Geográfica es posible obtener volúmenes, áreas de flujo y profundidades de flujo para así poder realizar el análisis de inundaciones.

Las zonas afectadas que han sido obtenidas, son áreas calculadas dentro de la franja topográfica del río, es decir, no son áreas efectivas ya que no se cuenta con toda la extensión topográfica para obtener la inundación total probable en la zona en estudio. En el Capítulo 8 ANEXOS Y MAPAS (Sección 8.2 MAPAS) se muestran los mapas con las áreas de inundación para los caudales correspondientes a períodos de retorno de 50 y 100 años.

Las áreas afectadas a lo largo del río Quevedo-Vinces fueron obtenidas mediante la resta del área probable de inundación con el área del río. A continuación se



indica en las Tablas la Zona Afectada por la inundación para los períodos de retorno de 50 y 100 años respectivamente.

Área	Unidad	Cantidad
AREA TOTAL	ha	8334.5
INFLUENCIA DEL RIO	ha	1727.4
ZONA AFECTADA	ha	6607.0

Tabla 6.1: Área de Inundación para el río Quevedo-Vinces con un período de retorno de 50 años.

Área	Unidad	Cantidad
AREA TOTAL	ha	9593.9
INFLUENCIA DEL RIO	ha	1727.4
ZONA AFECTADA	ha	7866.5

Tabla 6.2: Área de Inundación para el río Quevedo-Vinces con un período de retorno de 100 años.



7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1. CONCLUSIONES

- Las estaciones hidrológicas influyentes en el proyecto fueron las de Vinces en Vinces y Quevedo en Quevedo, las cuales luego de ser sometidas a un análisis de calidad de datos mediante el método de la curva de doble masa, se concluyó que la correspondencia entre estas estaciones es alta, con un coeficiente de correlación de $r = 0.9998$, por lo que los datos de caudales medios diarios se consideran confiables.
- Como se muestra en la tabla 3.7, los valores de caudales y precipitaciones máximas para distintos periodos de retorno obtenidos mediante la función de distribución de Gumbel, son aceptados de acuerdo al test de bondad de ajuste Kolmogorov- Smirnov.
- El hidrograma de máxima crecida es el parámetro fundamental en la modelación hidráulica mediante HEC-RAS para el flujo gradualmente variado, simulando las condiciones más realistas posibles.
- La hidrología de la cuenca del río Quevedo es especial, en el invierno aquellos afluentes que lo alimentan se convierten en cursos de descarga del río principal como se constata en el Río Nuevo, esto gracias a los niveles altos que presenta el río Quevedo en este periodo, ocasionando que aguas abajo en dirección a Vinces el flujo se presenta disminuido, a más que los desbordamientos también estarán presentes en varios tramos del área de estudio.
- El uso de la extensión HEC-GeoRAS representa una herramienta muy valiosa, puesto que permite combinar los datos de los sistemas de información geográfica (GIS) con HEC-RAS. Esta combinación facilita enormemente el trabajo y lo dota de una mejor calidad de presentación de resultados, con un esfuerzo mínimo en comparación con otros métodos tradicionales.
- El modelo hidráulico unidimensional HEC-RAS posee todas las capacidades necesarias para realizar una simulación en las condiciones previstas en el estudio.
- El coeficiente de rugosidad de Manning fue el parámetro variable con el cual se logró la calibración correcta del modelo para así obtener una mejor aproximación a la realidad.
- La utilización de sistemas de información geográfica para el manejo de elevaciones de la lámina de agua es fundamental en la delimitación de las planicies de inundación, tanto para mediciones, como para la elaboración de mapas temáticos que muestren las zonas más vulnerables a riesgos por inundación.



- Uno de los aspectos más importantes de la realización de esta tesis además de cuantificar y visualizar los efectos producidos por la variación de régimen hidrológico en el área de estudio, es el de aportar al proyecto PACALORI con un pronóstico de inundación el cual pueda servir de guía para la toma de decisiones, con la finalidad de aprovechar los recursos hídricos en beneficio de la comunidad y tener una idea de los riesgos que puedan originarse en el caso de que se presente un fenómeno natural de alta magnitud.
- El río Vinces presenta un régimen de flujo subcrítico en la mayor parte de su curso ($Fr < 1$), no de la misma manera en la sección donde se ubica el puente de Mochache, en donde el flujo cambia a supercrítico ($Fr > 1$), debido al efecto de contracción producido por la estructura.
- Las áreas afectadas para los periodos de retorno de 50 y 100 años son de 6707ha y 7866.5 ha respectivamente. Es necesario recordar que estas áreas no son áreas efectivas por falta de topografía para determinar su extensión real, por tanto se consideran áreas de inundación subestimadas.
- El presente documento entrega resultados en base a la información disponible, la cual presenta limitaciones y en muchos casos deficiencias, en base a ello la experiencia profesional es fundamental para tomar las mejores decisiones al momento de evaluar fenómenos naturales como El Niño que trae consigo una serie de consecuencias lamentables a la zona del litoral ecuatoriano.

7.2. RECOMENDACIONES

- Uno de las limitaciones fue la de contar con una topografía realizada en el año 1983 y a una escala de 1:10 000, por lo que se recomienda para obtener resultados más reales trabajar con topografía más actual y a mejor detalle.
- En el caso de no contar con la topografía adecuada, se deberá tener mayor cuidado en el trazo del eje y los bordes del río, para lo cual se aconseja tomar como referencia una ortofotografía del sector.
- Se debería tener cuidado al momento de la importación de datos en HEC-RAS, ya que si bien es cierto que la herramienta HEC-GeoRAS facilita el proceso, puede presentar ciertos errores como no reconocer las distancias entre secciones de los bordes del río (“Downstream Reach Lengths”).
- En ocasiones el modelo digital del terreno resulta muy pesado para la obtención de las áreas de inundación, por lo que la división por tramos del modelo es una buena opción para estas condiciones.
- El área de inundación se proyecta dentro de la franja limitada por las secciones transversales, por lo que en lo posible se debe tratar de que



éstas sean lo suficientemente extensas para que contengan el flujo desbordado.

- Se debería realizar una investigación en campo, con el fin de verificar la correspondencia de las zonas afectadas. Para lo cual una opción es realizar encuestas a la población.
- Una vez que se tenga la información topográfica mediante Vuelo LIDAR, para la zona que comprende el proyecto PACALORI, se debería realizar un estudio similar a este, para así obtener áreas de inundación más reales y comparar los resultados. Dichos resultados permitirá comparar el grado de precisión de los análisis así como verificar la importancia de contar con información de detalle en este tipo de proyectos para la predicción de áreas vulnerables contra inundación



8. ANEXOS Y MAPAS

8.1. ANEXOS

8.1.3. ANEXO 1: TABLAS DE CAUDALES MEDIOS MENSUALES

CAUDALES MEDIOS MENSUALES QUEVEDO - H347												
AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
1982	273	466	339	375	265	98	44	26	16	102	487	699
1983	765	696	572	589	521	402	308	222	256	152	111	243
1984	217	565	550	469	286	129	65	28	20	21	16	96
1987	372	502	483	525	394	113	33	30	11	21	16	23
1988	295	503	349	317	338	103	47	26	21	25	25	44
1989	259	630	704	467	276	93	56	24	16	28	21	36
1990	92	444	236	316	203	97	42	17	8	9	14	20
1991	48	495	482	367	237	86	36	25	19	12	9	67
1992	280	658	732	634	480	272	107	52	35	31	24	30
1993	203	584	594	513	340	140	67	33	31	24	20	49
1994	112	533	439	448	376	140	56	26	26	17	12	112
1996	122	399	615	418	204	92	44	26	14	11	11	11



1997	123	383	579	512	377	282	255	208	308	353	632	726
1998	675	638	739	756	467	299	133	78	46	37	30	43
1999	136	495	755	481	322	89	82	50	40	43	40	127
2000	179	318	586	454	306	84	34	19	11	9	8	23
2001	307	256	335	438	204	71	42	29	15	8	6	17
2007	190	379	433	471	355	188	61	39	22	17	17	22
2008	388	723	629	446	225	100	56	54	41	33	36	47
2009	292	576	615	292	176	71	40	19	13	13	7	66
MEDIA	266	512	538	464	317	147	80	52	49	48	77	125

Tabla 8.1: Caudales Medios Mensuales correspondientes a la cuenca del río Vinces.

CAUDALES MEDIOS MENSUALES VINCES - H348												
AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
1982	265	474	333	383	273	110	57	37	25	104	470	763
1983	838	756	664	665	565	440	343	280	275	204	104	231
1984	211	533	601	468	301	138	83	52	41	40	35	90
1987	350	516	502	622	484	160	74	64	41	44	36	36
1988	273	539	380	314	367	136	70	43	33	28	36	41
1989	279	738	739	512	324	123	84	49	36	47	39	46
1990	99	423	200	281	195	113	60	34	23	22	22	25
1991	43	589	532	403	271	120	61	35	22	18	14	62



1992	244	708	795	695	541	345	113	60	40	32	25	29
1993	197	689	691	604	365	147	74	42	34	32	28	49
1994	133	609	453	482	377	138	64	35	22	20	17	110
1996	98	443	660	426	186	82	46	30	21	17	14	14
1997	138	422	592	537	422	334	243	192	348	385	685	881
1998	756	763	832	792	601	435	206	114	66	46	35	42
1999	142	590	698	614	481	136	88	48	42	43	37	119
2000	221	448	560	546	349	145	73	41	28	23	14	24
2001	394	361	523	611	330	109	54	31	21	15	12	27
2007	185	385	490	498	399	240	78	49	31	25	24	31
2008	339	800	746	450	267	154	65	61	53	40	40	39
2009	302	604	619	316	291	92	46	28	20	19	10	80
MEDIA	275	570	581	511	369	185	99	66	61	60	85	137

Tabla 8.2: Caudales Medios Mensuales correspondientes a la cuenca del río Vinces.



8.1.4. ANEXO 2: TABLAS UTILIZADAS PARA DETERMINAR CAUDALES PRECIPITACIONES MÁXIMAS PARA DIFERENTES PERÍODOS DE RETORNO

Caudales máximos instantáneos			Precipitación máxima instantánea
Código	H347	H348	M006
Año / Estación	QUEVEDO EN QUEVEDO	VINCES EN VINCES-DCP	PICHILINGUE
1959			157.5
1960			
1961			109.2
1962			144.3
1963	1110		102.5
1964	1020	769	101.0
1965	2016	873	101.9
1966	1928	868	109.2
1967	1267	810	122.0
1968	855	565	139.0
1969	1517	766	135.2
1970	1224	722	149.5
1971	1228	860	151.0
1972	1020	860	106.4
1973	1838.38	859.08	66.6
1974	832.34	672.68	100.7
1975	1230.54	852.93	123.6
1976	1498	938.2	134.2
1977	1217.4	891.4	118.4
1978			70.9
1979			70.6
1980			133.3
1981			66.7
1982	2139.8	978.2	121.8
1983	1278.32	964.74	
1984	968.6	873.63	80.3
1985	1601.63	898.03	107.0
1986	1143.74	931.09	98.6
1987	1342.51	956.27	140.9



1988	839.09	802.4	117.3
1989	1329.58	942.24	
1990	826.1	534.6	150.2
1991	943.89	960.385	84.8
1992	1388.04	942.78	158.0
1993	1069.42	940.85	74.4
1994	1165.515	939.46	98.6
1995		900.77	131.7
1996	1060.971	852.22	86.3
1997	1785.704	987.5	173.1
1998	1723.32	987.5	146.1
1999	1144.744	883.8	136.7
2000	1084.934	881.24	170.8
2001	658.475	793.95	147.4
2002		1068.22	125.6
2003		811.08	137.5
2004			90.3
2005	1292.606		115.2
2006	2099.86		96.6
2007	980.9	857.76	116.4
2008	1559.447	1074.038	116.0
2009	1744.09	1000.26	

Tabla 8.3: Datos de caudales y precipitaciones máximas del periodo 1959-2009.

QUEVEDO EN QUEVEDO H347					
Número	Caudal Máximo Instantáneo	Frecuencia Relativa Acumulada	Frecuencia Teórica Acumulada	$F_n(x)-F(x)$	ABSOLUTO
1	658.48	0.023255814	0.172605459	-0.14935	0.14935
2	826.10	0.046511628	0.373007254	-0.3265	0.326496
3	832.34	0.069767442	0.380912055	-0.31114	0.311145
4	839.09	0.093023256	0.389456165	-0.29643	0.296433
5	855.00	0.11627907	0.409542579	-0.29326	0.293264
6	916.78	0.139534884	0.48597338	-0.34644	0.346438
7	943.89	0.162790698	0.518270979	-0.35548	0.35548
8	968.60	0.186046512	0.546823917	-0.36078	0.360777
9	980.90	0.209302326	0.560689677	-0.35139	0.351387
10	1020.00	0.23255814	0.6030948	-0.37054	0.370537



11	1020.00	0.255813953	0.6030948	-0.34728	0.347281
12	1029.51	0.279069767	0.613007443	-0.33394	0.333938
13	1060.97	0.302325581	0.644602321	-0.34228	0.342277
14	1069.42	0.325581395	0.652772958	-0.32719	0.327192
15	1084.93	0.348837209	0.667423292	-0.31859	0.318586
16	1110.00	0.372093023	0.690123631	-0.31803	0.318031
17	1143.74	0.395348837	0.71878684	-0.32344	0.323438
18	1144.74	0.418604651	0.719606691	-0.301	0.301002
19	1165.52	0.441860465	0.736143609	-0.29428	0.294283
20	1170.47	0.465116279	0.739973338	-0.27486	0.274857
21	1217.40	0.488372093	0.773990908	-0.28562	0.285619
22	1224.00	0.511627907	0.778460982	-0.26683	0.266833
23	1228.00	0.534883721	0.781133314	-0.24625	0.24625
24	1230.54	0.558139535	0.782815916	-0.22468	0.224676
25	1267.00	0.581395349	0.805768658	-0.22437	0.224373
26	1278.32	0.604651163	0.812450905	-0.2078	0.2078
27	1292.61	0.627906977	0.820594378	-0.19269	0.192687
28	1329.58	0.651162791	0.84022851	-0.18907	0.189066
29	1342.51	0.674418605	0.846624396	-0.17221	0.172206
30	1388.04	0.697674419	0.867334663	-0.16966	0.16966
31	1498.00	0.720930233	0.907143983	-0.18621	0.186214
32	1517.00	0.744186047	0.912761925	-0.16858	0.168576
33	1559.45	0.76744186	0.924165927	-0.15672	0.156724
34	1601.63	0.790697674	0.934075438	-0.14338	0.143378
35	1723.32	0.813953488	0.95614441	-0.14219	0.142191
36	1744.09	0.837209302	0.959109627	-0.1219	0.1219
37	1785.70	0.860465116	0.964472032	-0.10401	0.104007
38	1838.38	0.88372093	0.970278918	-0.08656	0.086558
39	1928.00	0.906976744	0.978085688	-0.07111	0.071109
40	2016.00	0.930232558	0.983769343	-0.05354	0.053537
41	2099.86	0.953488372	0.987816475	-0.03433	0.034328
42	2139.83	0.976744186	0.989375206	-0.01263	0.012631

Tabla 8.4: Tabla de cálculo para determinar mediante Gumbel los caudales esperados en diferentes periodos de retorno de la estación Hidrológica Quevedo en Quevedo H347.



VINCES EN VINCES H348					
Número	Caudal Máximo Instantáneo	Frecuencia Relativa Acumulada	Frecuencia Teórica Acumulada	Fn(x)-F(x)	ABSOLUTO
1	672.68	0.026316	0.000001	0.026315	0.026315
2	722.00	0.052632	0.001287	0.051345	0.051345
3	766.00	0.078947	0.030272	0.048676	0.048676
4	769.00	0.105263	0.035175	0.070088	0.070088
5	793.95	0.131579	0.097865	0.033713	0.033713
6	802.40	0.157895	0.128218	0.029676	0.029676
7	810.00	0.184211	0.159139	0.025072	0.025072
8	811.08	0.210526	0.163788	0.046738	0.046738
9	852.22	0.236842	0.371079	-0.134237	0.134237
10	852.93	0.263158	0.374898	-0.111740	0.111740
11	857.76	0.289474	0.400837	-0.111364	0.111364
12	859.08	0.315789	0.407904	-0.092115	0.092115
13	860.00	0.342105	0.412821	-0.070716	0.070716
14	860.00	0.368421	0.412821	-0.044400	0.044400
15	868.00	0.394737	0.455178	-0.060441	0.060441
16	873.00	0.421053	0.481150	-0.060098	0.060098
17	873.63	0.447368	0.484389	-0.037020	0.037020
18	881.24	0.473684	0.522813	-0.049129	0.049129
19	883.80	0.500000	0.535420	-0.035420	0.035420
20	891.40	0.526316	0.571782	-0.045466	0.045466
21	898.03	0.552632	0.602090	-0.049458	0.049458
22	900.77	0.578947	0.614207	-0.035260	0.035260
23	931.09	0.605263	0.731348	-0.126085	0.126085
24	938.20	0.631579	0.754294	-0.122715	0.122715
25	939.46	0.657895	0.758187	-0.100293	0.100293
26	940.85	0.684211	0.762422	-0.078211	0.078211
27	942.24	0.710526	0.766594	-0.056068	0.056068
28	942.78	0.736842	0.768199	-0.031357	0.031357
29	956.27	0.763158	0.805334	-0.042177	0.042177
30	960.39	0.789474	0.815581	-0.026107	0.026107
31	964.74	0.815789	0.825903	-0.010114	0.010114
32	978.16	0.842105	0.854537	-0.012432	0.012432
33	987.50	0.868421	0.871858	-0.003437	0.003437



34	987.50	0.894737	0.871858	0.022878	0.022878
35	1000.26	0.921053	0.892448	0.028605	0.028605
36	1068.22	0.947368	0.958752	-0.011384	0.011384
37	1074.04	0.973684	0.962052	0.011633	0.011633

Tabla 8.5: Tabla de cálculo para determinar mediante Gumbel los caudales esperados en diferentes periodos de retorno de la estación Hidrológica Vinces en Vinces H348.

PICHILINGUE M006					
Número	Precipitación máxima en 24h	Frecuencia Relativa Acumulada	Frecuencia Teórica Acumulada	Fn(x)-F(x)	ABSOLUTO
1	66.6	0.02	0.002039	0.017961	0.017961
2	66.7	0.04	0.002098	0.037902	0.037902
3	70.6	0.06	0.005778	0.054222	0.054222
4	70.9	0.08	0.006201	0.073799	0.073799
5	74.4	0.1	0.013208	0.086792	0.086792
6	80.3	0.12	0.036953	0.083047	0.083047
7	84.8	0.14	0.068480	0.071520	0.071520
8	86.3	0.16	0.081890	0.078110	0.078110
9	90.3	0.18	0.124722	0.055278	0.055278
10	96.6	0.2	0.210604	-0.010604	0.010604
11	98.6	0.22	0.241519	-0.021519	0.021519
12	98.6	0.24	0.241519	-0.001519	0.001519
13	100.7	0.26	0.275291	-0.015291	0.015291
14	101	0.28	0.280203	-0.000203	0.000203
15	101.9	0.3	0.295045	0.004955	0.004955
16	102.5	0.32	0.305017	0.014983	0.014983
17	106.4	0.34	0.370718	-0.030718	0.030718
18	107	0.36	0.380872	-0.020872	0.020872
19	109.2	0.38	0.417968	-0.037968	0.037968
20	109.2	0.4	0.417968	-0.017968	0.017968
21	115.2	0.42	0.515881	-0.095881	0.095881
22	116	0.44	0.528371	-0.088371	0.088371
23	116.4	0.46	0.534555	-0.074555	0.074555
24	117.3	0.48	0.548312	-0.068312	0.068312
25	118.4	0.5	0.564819	-0.064819	0.064819
26	121.8	0.52	0.613538	-0.093538	0.093538
27	122	0.54	0.616290	-0.076290	0.076290



28	123.6	0.56	0.637833	-0.077833	0.077833
29	125.6	0.58	0.663557	-0.083557	0.083557
30	131.7	0.6	0.733625	-0.133625	0.133625
31	131.7	0.62	0.733625	-0.113625	0.113625
32	133.3	0.64	0.749934	-0.109934	0.109934
33	134.2	0.66	0.758741	-0.098741	0.098741
34	135.2	0.68	0.768221	-0.088221	0.088221
35	136.7	0.7	0.781851	-0.081851	0.081851
36	137.5	0.72	0.788837	-0.068837	0.068837
37	139	0.74	0.801416	-0.061416	0.061416
38	140.9	0.76	0.816407	-0.056407	0.056407
39	144.3	0.78	0.840748	-0.060748	0.060748
40	146.1	0.8	0.852422	-0.052422	0.052422
41	147.4	0.82	0.860362	-0.040362	0.040362
42	149.5	0.84	0.872365	-0.032365	0.032365
43	150.2	0.86	0.876149	-0.016149	0.016149
44	151	0.88	0.880346	-0.000346	0.000346
45	153	0.9	0.890266	0.009734	0.009734
46	157.5	0.92	0.909834	0.010166	0.010166
47	158	0.94	0.911791	0.028209	0.028209
48	170.8	0.96	0.950052	0.009948	0.009948
49	173.1	0.98	0.954953	0.025047	0.025047

Tabla 8.6: Tabla de cálculo para determinar mediante Gumbel las precipitaciones esperadas en diferentes periodos de retorno de la estación Meteorológica M006.

8.1.5. ANEXO 3: FOTOGRAFÍAS DE LA SALIDA DE CAMPO AL PROYECTO PACALORI

PRIMERA PARADA: Muestra 1 (Vinces en Vinces)

Ubicación: 639 041.64 – 9 828 966.34 m.

Altura: 34.9 msnm.

Foto 8.1 Estación Hidrológica Vincés en Vincés



Foto: PROMAS-UNIVERSIDAD DE CUENCA 2013

Foto 8.1 Lugar de toma de muestra de sedimentos



Foto: PROMAS-UNIVERSIDAD DE CUENCA 2013

SEGUNDA PARADA: Sector unión Río nuevo y Río Vincés

Ubicación: 639 731.62 – 9 830 235.60 m.

Altura: 40.69 msnm.

Foto 8.2 Unión de los Río Nuevo y Vinces

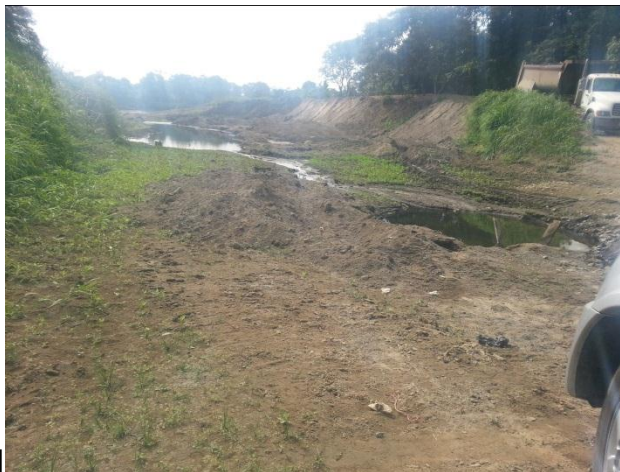


Foto: PROMAS-UNIVERSIDAD DE CUENCA 2013

TERCERA PARADA: Muestra 2 (Las Mercedes)

Ubicación: 640 630.17 – 9 835 533.85 m.

Altura: 40.69 msnm.

Foto 8.3 Toma de muestra en Las Mercedes



Foto: PROMAS-UNIVERSIDAD DE CUENCA 2013

CUARTA PARADA:

Coordenadas UTM: 649980,88 9´849.596,89

Altura: 28,81msnm

**Autores: Tatiana Solano Z.
Natalia Vintimilla V.**

Foto 8.4 Sitio de Inundación-San José de la Tranca



Foto: PROMAS-UNIVERSIDAD DE CUENCA 2013

QUINTA PARADA:

Coordenadas UTM: 649.832,17 9'849.825,78

Altura: 29,49msnm

Foto 8.5 Aguacatal bajo



Foto: PROMAS-UNIVERSIDAD DE CUENCA 2013

SEXTA PARADA:

Coordenadas UTM: 658.422,97 9'855.411,66

Altura: 39,64msnm

Foto 8.6 Estación Hidrológica Hacienda Vinces

**Autores: Tatiana Solano Z.
Natalia Vintimilla V.**



Foto: PROMAS-UNIVERSIDAD DE CUENCA 2013

SEPTIMA PARADA:

Coordenadas UTM: 665.923,48 9´863.060,42

Altura: 37,45msnm

Foto 8.7 Sector Buenaventura



Foto: PROMAS-UNIVERSIDAD DE CUENCA 2013

OCTAVA PARADA: Muestra 6

Ubicación: 673 989.04 – 9 876 715.37 m.

Altura: 82.20 msnm.

Foto 8.8 Toma de muestra Rio Quevedo sector San Carlos



Foto: PROMAS-UNIVERSIDAD DE CUENCA 2013

NOVEDA PARADA: Muestra 7

Ubicación: 673 222.16 – 9 881 039.34 m.

Altura: 46.94 msnm.

Foto 8.9 Toma de muestra sector Fayta



Foto: PROMAS-UNIVERSIDAD DE CUENCA 2013



8.1.6. ANEXO 4: TABLAS DE CÁLCULO DE LOS HIDROGRAMAS DE MÁXIMA CRECIDA PARA PERÍODOS DE RETORNO DE 100 Y 50 AÑOS EN QUEVEDO

TABLA DE CÁLCULO DEL HIDROGRAMA MÁXIMO DE CRECIDA PARA UN PERIODO DE RETORNO DE 100 AÑOS EN QUEVEDO																											
Q	T(h)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24		
	Ptotal	3.1	4.6	4.6	4.6	6.2	7.7	9.3	24.7	15.5	9.3	7.7	6.2	6.2	6.2	4.6	4.6	4.6	4.6	4.6	4.6	3.1	3.1	3.1	1.5		
	Pefectiva	1.0	1.5	1.5	1.5	2.0	2.5	3.1	8.1	5.1	3.1	2.5	2.0	2.0	2.0	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.0	1.0	1.0	0.5	Suma
8.94	1	9.1																								9.1	
17.8		18.																									
8	2	2	13.6																							31.8	
26.8		27.																									
2	3	3	27.3	13.6																						68.2	
35.7		36.																									
7	4	4	40.9	27.3	13.6																					118.2	
44.7		45.																									
1	5	5	54.6	40.9	27.3	18.2																				186.4	
53.6		54.																									
5	6	6	68.2	54.6	40.9	36.4	22.7																			277.4	
62.5		63.																									
9	7	7	81.8	68.2	54.6	54.6	45.5	27.3																		395.6	
71.5		72.																									
3	8	8	95.5	81.8	68.2	72.8	68.2	54.6	72.8																	586.6	
79.7		81.	109.						145.																		
2	9	1	95.5	81.8	90.9	90.9	81.8	5	45.5																	822.3	
74.3		75.	121.	109.		109.	113.	109.	218.																	1070.	
7	10	6	6	1	95.5	1	7	1	3	90.9	27.3															3	
69.0		70.	113.	121.	109.	127.	136.	136.	291.	136.																1319.	
1	11	2	5	6	1	3	4	4	0	4	54.6	22.7														3	
63.6		64.	105.	113.	121.	145.	159.	163.	363.	181.																1564.	
6	12	7	3	5	6	5	1	7	8	9	81.8	45.5	18.2													6	
58.3		59.		105.	113.	162.	181.	191.	436.	227.	109.															1806.	
0	13	3	97.1	3	5	2	9	0	5	4	1	68.2	36.4	18.2												0	
52.9		53.		105.	151.	202.	218.	509.	272.	136.																2036.	
5	14	9	89.0	97.1	3	3	7	3	3	8	4	90.9	54.6	36.4	18.2											1	
47.6		48.				140.	189.	243.	582.	318.	163.	113.														2243.	
0	15	4	80.8	89.0	97.1	4	1	3	0	3	7	7	72.8	54.6	36.4	13.6										0	



39	7.3	15.4	23.6	31.8	26.	32.	37.	21.	195.8
40		7.3	15.4	23.6	21.	26.	32.	18.	144.9
41			7.3	15.4	15.	21.	26.	16.	102.3
42				7.3	10.	15.	21.	13.	67.8
43					4.8	3	7	6	41.5
44						4.8	3	7.9	23.0
45							4.8	5.1	9.99
46								4	2.4
								2	2.42

Tabla 8.7: Tabla de cálculo del Hidrograma de diseño para 100 años de período de retorno.

TABLA DE CÁLCULO DEL HIDROGRAMA MÁXIMO DE CRECIDA PARA UN PERIODO DE RETORNO DE 50 AÑOS EN QUEVEDO																											
Q	T(h)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24		
	Ptotal	2.9	4.3	4.3	4.3	5.7	7.2	8.6	22.9	14.3	8.6	7.2	5.7	5.7	5.7	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	2.9	2.9	2.9	1.4		
	Pefectiva	0.9	1.3	1.3	1.3	1.7	2.2	2.6	7.0	4.3	2.6	2.2	1.7	1.7	1.7	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	0.9	0.9	0.9	0.4	Suma	
8.94	1	7.8																								8.3	
17.8	2	15.	5	11.7																							29.0
26.8	3	23.	3	23.3	11.7																						62.1
35.7	4	31.	1	35.0	23.3	11.7																					107.6
44.7	5	38.	9	46.6	35.0	23.3	15.5																				169.7
53.6	6	46.	6	58.3	46.6	35.0	31.1	19.4																			252.4
62.5	7	54.	4	69.9	58.3	46.6	46.6	38.9	23.3																		360.0
71.5	8	62.	2	81.6	69.9	58.3	62.2	58.3	46.6	62.2																	533.8



32	12.4	22.0	26.9	36.2	45.5	41.1	48.1	55.1	62.0	69.0	76.0	55.3	60.0	64.6	34.6	755.0
33		10.3	17.6	26.9	36.2	34.1	41.1	48.1	55.1	62.0	69.0	50.7	55.3	60.0	32.0	637.7
34			8.3	17.6	26.9	27.1	34.1	41.1	48.1	55.1	62.0	46.0	50.7	55.3	30.0	535.0
35				8.3	17.6	20.2	27.1	34.1	41.1	48.1	55.1	41.4	46.0	50.7	27.7	444.4
36					8.3	13.2	20.2	27.1	34.1	41.1	48.1	36.7	41.4	46.0	25.3	363.7
37						6.2	13.2	20.2	27.1	34.1	41.1	32.1	36.0	41.4	23.0	293.0
38							6.2	13.2	20.2	27.1	34.1	27.4	32.1	36.0	20.7	231.9
39								6.2	13.2	20.2	27.1	22.8	27.4	32.1	18.4	178.2
40									6.2	13.2	20.2	18.1	22.8	27.4	16.0	131.9
41										6.2	13.2	13.4	18.1	22.8	13.7	93.1
42											6.2	8.8	13.4	18.1	11.4	61.7
43												4.1	8.8	13.4	9.0	37.7
44													4.1	8.8	6.7	20.9
45														4.1	4.4	9.1
46															2.1	2.2

Tabla 8.8: Tabla de cálculo del Hidrograma de diseño para 100 años de período de retorno.



8.1.7. ANEXO 5: RESULTADOS TABULARES DEL MODELO HEC-RAS

River Sta	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m ²)	(m)	
30337.3	14.74	20.48	16.97	20.58	0.000106	1.42	737.37	153.93	0.2
30036.18	14.73	20.42		20.54	0.000135	1.58	735.64	231.69	0.22
29331.55	14.11	20.37		20.44	0.000101	1.23	870.53	309.84	0.19
28831.49	14.53	20.15		20.36	0.000234	2.03	547.45	157.41	0.29
28331.49	14.28	19.83		20.19	0.000422	2.68	412.64	102.59	0.39
27831.49	13.69	19.88		20.01	0.000135	1.63	660.73	138.87	0.22
27329.96	13.46	19.91		19.95	0.000044	0.97	2010.21	1024.99	0.13
26854.82	13.79	19.87		19.92	0.000059	1.09	1722.19	691.02	0.15
26331.24	12.74	19.64		19.85	0.000194	2.07	546.11	148.83	0.27
25736.84	12.66	18.82	17.32	19.58	0.000901	3.95	331.91	290.94	0.56
25331.49	12.21	19.03		19.26	0.000217	2.17	546.78	177.23	0.29
24932.08	12.8	19.08		19.17	0.000091	1.37	998.7	285.11	0.18
24331.49	12.4	18.85		19.07	0.000255	2.22	679.92	202.83	0.31
23704.15	12.9	18.3		18.8	0.000641	3.19	380.79	139.13	0.47
23331.87	12.06	18.35		18.58	0.000248	2.16	584.45	185.02	0.3
22831.65	11.13	18.29		18.46	0.000158	1.84	576.3	118.31	0.24
22331.49	11.29	18.29		18.38	0.000083	1.34	790.75	155.31	0.18
21805.14	11.9	18.22		18.33	0.000137	1.56	1240.8	993.51	0.22
21331.49	12.51	17.99		18.22	0.00029	2.17	563.74	205.59	0.32
20831.49	12.46	17.96		18.08	0.000166	1.61	688.38	164.32	0.23
20331.49	12.13	17.99		18.02	0.000036	0.78	1337.09	277.69	0.11
19830.54	12.04	17.9		17.98	0.000133	1.51	1645.59	954.69	0.21
19330.65	11.91	17.8		17.91	0.000141	1.55	799.16	273.83	0.22
18816.03	10.01	17.83		17.86	0.000024	0.75	1424.54	241.62	0.09
18331.36	10.5	17.73		17.83	0.00011	1.46	850.71	573.17	0.19
17795.44	10.95	17.41		17.72	0.000347	2.54	492.99	115.4	0.34
17306.18	11.1	17.26		17.47	0.000579	2.13	594.28	284.51	0.4
16833.11	9.88	17.21		17.34	0.000127	1.65	763.64	210.56	0.21
16331.49	10.76	16.8		17.2	0.000505	2.92	497.71	224.98	0.41
15826.18	10.9	16.83		16.97	0.000189	1.75	669.5	209.35	0.25
15503.84	9.9	16.88		16.92	0.000042	0.92	1209.38	277.42	0.12
14905.48	9.28	16.77		16.87	0.000096	1.43	740.72	137.56	0.18
14331.49	8.74	16.76		16.82	0.000053	1.1	953.73	165.7	0.14



13831.49	8.42	16.54		16.76	0.00023	2.12	553.9	139.67	0.28
13329.8	6.76	16.58		16.66	0.000065	1.3	794.67	124.97	0.15
12832.32	5.08	16.57		16.62	0.00005	1.03	1002.42	177.45	0.13
12331.4	4.93	16.54		16.6	0.000037	1.07	949.06	126.35	0.12
11831.02	5.08	16.53		16.58	0.000054	1.07	1464.91	692.6	0.14
11331.16	7.54	16.49		16.55	0.000057	1.12	1484.71	744.15	0.14
10780.82	9.44	16.4		16.5	0.000123	1.44	944.55	651.55	0.2
10286.07	8.58	16.37		16.45	0.000074	1.28	1167.48	871.1	0.16
9680.984	8.61	16.26		16.39	0.000124	1.59	662.38	130.39	0.21
9325.627	8.9	16.28		16.33	0.000078	1.2	1705.8	498.33	0.16
8830.796	7.38	16.18		16.28	0.000087	1.4	740.62	130.61	0.18
8298.538	5.59	16.19		16.24	0.000038	1.01	1268.63	473.14	0.12
7860.159	5.23	16.15		16.22	0.000045	1.14	975.38	466.06	0.13
7291.463	5.25	16.13		16.19	0.000049	1.11	1267.39	636.07	0.13
6830.479	7.8	16.14		16.16	0.000025	0.74	2529.38	1911.3	0.09
6461.072	10.49	15.98		16.13	0.000192	1.73	668.58	247.45	0.25
6061.449	8.69	15.95		16.06	0.000114	1.45	704.62	137.89	0.2
5264.619	9.2	15.89		15.97	0.000095	1.29	845.1	294.99	0.18
4842.029	9.05	15.87		15.93	0.000064	1.05	1100.79	358.95	0.15
4423.125	9.88	15.85		15.9	0.000072	1.06	1392.46	431.47	0.15
3942.635	9.57	15.81		15.86	0.000079	1.07	966.2	221.18	0.15
3470.374	8.67	15.63		15.79	0.000215	1.83	586.02	148.34	0.26
2937.166	9.15	15.53		15.68	0.000205	1.73	599.66	134.64	0.25
2398.008	9.01	15.48		15.57	0.00013	1.36	907.39	357.65	0.2
1895.236	9.34	15.37		15.49	0.00019	1.57	648.05	150.28	0.24
1378.104	10.58	13.89	13.89	15.11	0.00422	4.9	204.63	85.75	1
852.6304	7.9	12.65	11.95	13.43	0.001975	3.92	255.17	82.07	0.71
328.7804	7.61	11.4	11.11	12.16	0.003001	3.85	259.55	118.02	0.83

Tabla 8.1: Tabla de tabulación del modelo HEC-RAS del tramo 1 para un periodo de retorno de 50 años

River Sta	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m ²)	(m)	
30337.3	14.74	21.73	17.53	21.87	0.000115	1.7	1038.58	379.02	0.21
30036.18	14.73	21.68		21.83	0.000133	1.82	1317.62	847.39	0.23
29331.55	14.11	21.65		21.73	0.000099	1.35	1480.6	570.54	0.19
28831.49	14.53	21.35		21.64	0.000248	2.42	780.62	230.25	0.31
28331.49	14.28	20.94		21.45	0.000466	3.22	561.08	261.57	0.42
27831.49	13.69	21.04		21.23	0.000154	1.98	953.12	475.15	0.25



27329.96	13.46	21.11		21.15	0.000039	1.03	3503.24	1391.59	0.12
26854.82	13.79	21.07		21.12	0.000058	1.24	2881.41	1204.4	0.15
26331.24	12.74	20.71		21.04	0.000243	2.59	766.37	347.94	0.31
25736.84	12.66	20.33		20.82	0.000515	3.56	1130.25	744.97	0.45
25331.49	12.21	20.32		20.63	0.000234	2.57	899.4	374.25	0.31
24932.08	12.8	20.4		20.52	0.000093	1.59	1410.29	332.27	0.19
24331.49	12.4	20.15		20.42	0.000243	2.51	1029.52	389.21	0.31
23704.15	12.9	19.54		20.15	0.000603	3.62	586.74	202.05	0.48
23331.87	12.06	19.63		19.92	0.00025	2.51	850.32	232.59	0.31
22831.65	11.13	19.55		19.8	0.000179	2.23	841.53	412.44	0.27
22331.49	11.29	19.57		19.7	0.000095	1.64	995.08	164.95	0.2
21805.14	11.9	19.56		19.64	0.000086	1.45	2720.25	1247.79	0.18
21331.49	12.51	19.27		19.55	0.000267	2.45	846.34	234.76	0.32
20831.49	12.46	19.24		19.42	0.000166	1.88	949.06	275.55	0.24
20331.49	12.13	19.3		19.34	0.000038	0.93	1714.08	317.5	0.12
19830.54	12.04	19.26		19.31	0.000081	1.37	3019.48	1061.33	0.17
19330.65	11.91	19.12		19.26	0.000129	1.73	1458.58	628.62	0.22
18816.03	10.01	19.16		19.2	0.000028	0.93	1920.27	551.43	0.1
18331.36	10.5	19.08		19.17	0.00009	1.52	2086.73	1042.51	0.18
17795.44	10.95	18.62		19.05	0.000391	3.07	637.9	125.38	0.38
17306.18	11.1	18.62		18.8	0.000317	2.04	1264.65	792.63	0.31
16833.11	9.88	18.53		18.71	0.000135	1.93	1197.81	587.65	0.23
16331.49	10.76	18.14		18.57	0.000437	3.16	876.75	378.3	0.4
15826.18	10.9	18.18		18.36	0.000174	1.97	1204.42	640.79	0.25
15503.84	9.9	18.25		18.3	0.000041	1.05	2504.22	1417.99	0.12
14905.48	9.28	18.1		18.25	0.000111	1.74	996.12	428.09	0.2
14331.49	8.74	18.09		18.19	0.000063	1.35	1233.07	333.85	0.15
13831.49	8.42	17.79		18.11	0.000261	2.57	743.5	164.32	0.31
13329.8	6.76	17.85		17.98	0.000084	1.65	978.85	239.27	0.18
12832.32	5.08	17.85		17.93	0.000059	1.27	1313.7	344.68	0.15
12331.4	4.93	17.81		17.9	0.00005	1.37	1365.09	485.01	0.14
11831.02	5.08	17.81		17.87	0.000051	1.18	2529.01	901.38	0.14
11331.16	7.54	17.78		17.84	0.000053	1.22	2499.93	835.37	0.14
10780.82	9.44	17.71		17.8	0.000095	1.47	2177.83	1111.43	0.18
10286.07	8.58	17.68		17.76	0.000064	1.35	2390.17	987.7	0.16
9680.984	8.61	17.5		17.69	0.000147	1.95	831.44	148.66	0.23
9325.627	8.9	17.55		17.61	0.000075	1.36	2392.31	561.71	0.17
8830.796	7.38	17.4		17.56	0.000108	1.75	904.3	137.82	0.2
8298.538	5.59	17.43		17.5	0.000042	1.19	2394.53	1200.62	0.13
7860.159	5.23	17.39		17.47	0.000052	1.36	2045.88	1010.73	0.14
7291.463	5.25	17.37		17.44	0.000053	1.28	2123.79	726.48	0.14



6830.479	7.8	17.39		17.41	0.00002	0.75	5099.16	2146.33	0.09
6461.072	10.49	17.19		17.38	0.000186	1.97	1090.38	412.25	0.26
6061.449	8.69	17.15		17.31	0.000132	1.78	920.58	239.44	0.22
5264.619	9.2	17.09		17.2	0.0001	1.51	1312.3	462.13	0.19
4842.029	9.05	17.08		17.16	0.000067	1.23	1657.78	512.25	0.15
4423.125	9.88	17.06		17.12	0.00007	1.22	1933.41	476.1	0.16
3942.635	9.57	17		17.08	0.000085	1.28	1249.97	294.29	0.17
3470.374	8.67	16.76		17	0.000244	2.22	795.04	229.98	0.28
2937.166	9.15	16.65		16.87	0.000227	2.09	808.78	236.67	0.27
2398.008	9.01	16.64		16.75	0.000128	1.56	1402.55	480.91	0.2
1895.236	9.34	16.49		16.66	0.000203	1.88	835.44	192.56	0.25
1378.104	10.58	14.65	14.65	16.24	0.003847	5.6	271.59	90.67	1
852.6304	7.9	13.32	12.78	14.5	0.00237	4.82	311.5	85.48	0.8
328.7804	7.61	12.06	11.77	13.05	0.003003	4.41	340.09	126.26	0.86

Tabla 8.2: Tabla de tabulación del modelo HEC-RAS del tramo 1 para un periodo de retorno de 100 años

River Sta	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m ²)	(m)	
62560.28	24.65	31.08	27.59	31.12	0.000078	1.02	4032.8	2026.24	0.14
62061.22	24.5	31.06		31.08	0.000062	0.95	4881.06	1895.66	0.12
61558.98	24.43	31.04		31.05	0.000039	0.74	5822.77	1809.18	0.1
61059.84	24.39	31.03		31.03	0.000032	0.67	6707.63	2006.78	0.09
60559.84	24.23	30.89		30.99	0.000201	1.71	2038.29	700	0.23
60065.71	24.12	30		30.72	0.001277	3.84	533.74	221.24	0.55
59463.29	24.27	29.1	28.57	29.91	0.002205	4.15	571.5	353.33	0.69
59061.21	24.45	29.57		29.58	0.000052	0.71	6178.43	2696.12	0.11
58560.14	22.93	29.49		29.54	0.000127	1.22	2863.72	1394.46	0.17
58059.84	23.06	29.43		29.48	0.000141	1.32	2727.57	1002.67	0.18
57558.77	23.2	29.24		29.37	0.000275	1.69	1777.63	1178.12	0.25
57057.27	22.88	29.15		29.25	0.00017	1.49	1572.89	643.98	0.2
56694.69	22.86	29.06		29.16	0.000189	1.5	1486.63	784.79	0.21
56332.11	22.71	28.97		29.09	0.000197	1.63	1754.06	1282.58	0.22
55836.51	22.53	28.84		29	0.000286	1.94	1344.03	478.63	0.26
55337.31	22.53	28.74		28.86	0.000217	1.69	2150.49	1395	0.23
54837.31	21.75	28.68		28.76	0.000134	1.39	2226.66	1395.1	0.18
54337.31	21.38	28.61		28.7	0.000129	1.39	1762.91	594.52	0.18
53837.31	21.27	27.66		28.47	0.001332	4.09	514.61	204.58	0.57
53335.83	21.42	27.55		27.93	0.000565	2.73	684.2	196.81	0.37



52837.31	21.56	27.57		27.69	0.000203	1.59	1681.29	882.17	0.22
52337.31	21.33	27.47		27.6	0.000179	1.55	1179.2	287.63	0.21
51837.31	21.62	27.3		27.47	0.000304	1.98	1237.33	481.53	0.27
51336.81	21.52	27.17		27.33	0.000255	1.87	1364.29	480.25	0.26
50837.31	21.22	27.02		27.19	0.000265	1.94	1123.45	396.09	0.26
50337.31	20.66	25.59	25.09	26.79	0.00261	4.99	397.16	122.57	0.79
49837.3	20.5	25.69		25.98	0.000583	2.61	971.27	301.65	0.38
49334.56	20.09	25.7		25.77	0.000175	1.5	2172.56	666.77	0.21
48837.59	18.84	25.68		25.71	0.000056	0.97	3986.56	1324.04	0.12
48337.31	19.98	25.49		25.65	0.000259	1.87	1320.85	485.29	0.26
47837.69	19.49	25.03		25.42	0.000676	2.97	848.37	312.57	0.42
47337.31	19.08	25.14		25.19	0.000143	1.26	2850.36	1206.11	0.19
46833.36	17.99	24.56		25.02	0.000707	3.11	658.38	189.63	0.43
46336.01	17.53	24.79		24.82	0.000055	0.97	4812.04	1894.55	0.12
45836.23	18.44	24.71		24.77	0.000138	1.5	3350.92	1451	0.19
45334.33	18.46	24.71		24.72	0.000038	0.77	6584.53	2431.28	0.1
44838.81	18.18	24.57		24.68	0.000182	1.67	1861.98	683.3	0.22
44338.25	17.44	24.5		24.59	0.000144	1.52	2419.01	1303.74	0.2
43837.3	16.76	24.32		24.49	0.000248	1.97	1325.63	626.84	0.26
43336.73	16.47	24.28		24.39	0.000128	1.5	1238.14	286.79	0.19
42837.3	17.47	24.18		24.31	0.000209	1.71	1641.25	665.08	0.23
42351.68	17.32	24		24.18	0.000275	2	1225.02	425.67	0.27
41832.76	16.16	24.05		24.09	0.000052	0.97	2768.41	1076.99	0.12
41252.29	16.4	24.01		24.06	0.000073	1.06	2285.49	626.29	0.14
40835.88	15.98	23.73		23.96	0.000281	2.15	866.83	211.29	0.28
40337.88	16.92	23.8		23.85	0.000078	1.11	2848.68	1307.98	0.15
39837.56	16.99	23.79		23.8	0.000086	0.73	4476.62	1654.47	0.14
39337.3	16.35	23.65		23.73	0.000179	1.4	1641.25	553.65	0.22
38836.57	16.74	23.27		23.58	0.000425	2.57	860.86	268.2	0.35
38337.52	16.06	22.98		23.35	0.000487	2.99	981.08	339.64	0.38
37837.3	14.65	22.89		23.14	0.000249	2.33	1109.94	411.35	0.28
37337.3	14.64	22.84		23.01	0.000194	1.86	1040.31	201.19	0.24
36837.3	15.05	21.26	20.37	22.66	0.001927	5.29	361.48	120.21	0.74
36337.3	13.38	21.92		22.1	0.000164	1.93	962.17	158.24	0.23
35948.81	12.72	21.95		22.02	0.000054	1.17	1560.67	224.32	0.13
35331.97	13.77	21.91		21.99	0.000083	1.34	1432.57	280.11	0.16
34837.27	12.95	21.92		21.95	0.000031	0.89	4802.44	2091.4	0.1
34337.3	13.16	21.79		21.91	0.000118	1.64	1659.43	791.45	0.19
33837.3	14.25	21.75		21.85	0.000103	1.47	1485.78	368.05	0.18
33316.13	14.62	21.22		21.71	0.000618	3.23	685.82	180.89	0.43
32837.3	14.54	21.03		21.41	0.000433	2.74	683.6	169.46	0.36



32337.3	13.63	21.02		21.21	0.000223	1.99	1100.91	304.05	0.26
31837.3	11.16	20.92		21.11	0.000167	1.96	937.77	170.11	0.23
31337.3	10.74	20.89		21.03	0.00011	1.65	1084.46	184.91	0.19
30837.3	12.49	20.82		20.96	0.000134	1.69	1028.05	161.43	0.2
30376.72	13.92	19.41	18.85	20.68	0.00245	5	348.17	95.63	0.79
30337.3	14.32	18.27	17.93	19.38	0.003003	4.68	365.81	122.13	0.84

Tabla 8.3: Tabla de tabulación del modelo HEC-RAS del tramo 2 para un periodo de retorno de 50 años

River Sta	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m ²)	(m)	
62560.28	24.65	31.53	27.81	31.56	0.000068	1	4930.58	2035.7	0.13
62061.22	24.5	31.5		31.52	0.000056	0.94	5725.12	1905.7	0.12
61558.98	24.43	31.49		31.5	0.000037	0.76	6628.51	1813.3	0.1
61059.84	24.39	31.47		31.48	0.00003	0.69	7603.46	2012.8	0.09
60559.84	24.23	31.34		31.44	0.000195	1.77	2349.79	700	0.22
60065.71	24.12	30.3	28.88	31.16	0.001412	4.2	606.47	244.56	0.58
59463.29	24.27	29.58	29.01	30.34	0.001846	4.12	755.28	416.68	0.64
59061.21	24.45	30.03		30.04	0.000043	0.69	7460.81	2766.2	0.1
58560.14	22.93	29.96		30.01	0.000113	1.22	3547.24	1491.8	0.17
58059.84	23.06	29.9		29.95	0.00013	1.34	3206.27	1007.1	0.18
57558.77	23.2	29.75		29.86	0.000221	1.63	2382.57	1194.4	0.23
57057.27	22.88	29.65		29.76	0.000161	1.54	1899.73	647.11	0.2
56694.69	22.86	29.57		29.68	0.000171	1.52	2055.03	1209.5	0.21
56332.11	22.71	29.51		29.61	0.000167	1.6	2492.02	1424.3	0.21
55836.51	22.53	29.34		29.53	0.00029	2.06	1906.19	1456.8	0.27
55337.31	22.53	29.29		29.38	0.000171	1.6	2936.65	1436.5	0.21
54837.31	21.75	29.24		29.31	0.000113	1.35	3021.77	1438.4	0.17
54337.31	21.38	29.16		29.25	0.000125	1.45	2103.98	636.34	0.18
53837.31	21.27	28.13	26.56	29.02	0.001327	4.33	632.25	286.52	0.57
53335.83	21.42	28.04		28.46	0.000577	2.92	794.08	421.62	0.38
52837.31	21.56	28.11		28.22	0.000181	1.6	2169.97	994.69	0.21
52337.31	21.33	27.99		28.13	0.000182	1.66	1353.31	380.42	0.21
51837.31	21.62	27.83		28.01	0.000282	2.03	1495.37	484.1	0.27
51336.81	21.52	27.71		27.87	0.000246	1.97	1637.32	534.3	0.26
50837.31	21.22	27.55		27.74	0.000264	2.06	1350.82	462.02	0.27
50337.31	20.66	25.98	25.47	27.33	0.002605	5.3	457.02	203.51	0.8
49837.3	20.5	26.2		26.5	0.00055	2.71	1127.13	318.72	0.38
49334.56	20.09	26.21		26.29	0.000172	1.58	2578.23	931.04	0.21



48837.59	18.84	26.2		26.23	0.000053	1	4706.83	1466.5	0.12
48337.31	19.98	26		26.17	0.000251	1.96	1583.56	587.24	0.26
47837.69	19.49	25.55		25.95	0.000632	3.06	1015.23	331.51	0.41
47337.31	19.08	25.68		25.73	0.000131	1.3	3567.88	1421.7	0.18
46833.36	17.99	25.03		25.55	0.00072	3.32	787.18	345.62	0.44
46336.01	17.53	25.32		25.34	0.000047	0.95	5827.5	1926.9	0.12
45836.23	18.44	25.26		25.31	0.00011	1.42	4155.06	1483.5	0.18
45334.33	18.46	25.26		25.27	0.000031	0.74	7916.14	2439.3	0.09
44838.81	18.18	25.12		25.23	0.000167	1.7	2250.66	729.78	0.22
44338.25	17.44	25.07		25.15	0.000121	1.47	3176.36	1358	0.18
43837.3	16.76	24.89		25.06	0.000231	2.02	1711.68	750.14	0.25
43336.73	16.47	24.83		24.96	0.000132	1.61	1422.16	364.65	0.19
42837.3	17.47	24.76		24.88	0.000186	1.73	2048.43	738.93	0.23
42351.68	17.32	24.58		24.77	0.000251	2.04	1477.18	436.1	0.26
41832.76	16.16	24.64		24.68	0.000049	1	3466.74	1238.7	0.12
41252.29	16.4	24.59		24.65	0.000069	1.1	2659.47	644.5	0.14
40835.88	15.98	24.29		24.56	0.000286	2.3	997.5	254.84	0.28
40337.88	16.92	24.39		24.44	0.00007	1.12	3691.64	1551.8	0.14
39837.56	16.99	24.38		24.39	0.000067	0.73	5488.17	1765.9	0.13
39337.3	16.35	24.25		24.34	0.000153	1.41	1992.69	613.6	0.2
38836.57	16.74	23.86		24.2	0.000401	2.68	1031.61	305.53	0.35
38337.52	16.06	23.63		23.99	0.000434	3.02	1228.44	421.49	0.37
37837.3	14.65	23.54		23.8	0.000237	2.41	1400.69	478.87	0.28
37337.3	14.64	23.49		23.67	0.000189	1.96	1172.29	217.41	0.24
36837.3	15.05	21.79	20.82	23.32	0.001884	5.58	428.04	130.19	0.74
36337.3	13.38	22.5		22.72	0.000174	2.09	1056.36	161.57	0.24
35948.81	12.72	22.55		22.63	0.000058	1.28	1695.93	227.39	0.14
35331.97	13.77	22.5		22.6	0.000086	1.45	1622.89	335.39	0.17
34837.27	12.95	22.53		22.55	0.000028	0.88	6181.65	2423.1	0.1
34337.3	13.16	22.39		22.52	0.000113	1.68	2198.38	993.58	0.19
33837.3	14.25	22.35		22.46	0.000103	1.56	1709.91	378.03	0.18
33316.13	14.62	21.78		22.32	0.000608	3.41	799.23	218.02	0.43
32837.3	14.54	21.59		22.01	0.000438	2.92	784.33	188.9	0.36
32337.3	13.63	21.6		21.81	0.000218	2.1	1283.26	320.52	0.26
31837.3	11.16	21.48		21.7	0.000179	2.13	1034.86	175.79	0.24
31337.3	10.74	21.45		21.61	0.00012	1.8	1189.72	190.15	0.2
30837.3	12.49	21.38		21.55	0.000143	1.84	1133.99	221.16	0.21
30376.72	13.92	19.71	19.25	21.22	0.002645	5.46	378.04	98.07	0.84
30337.3	14.32	18.59	18.25	19.85	0.003002	4.99	405.11	124.11	0.86

Tabla 8.4: Tabla de tabulación del modelo HEC-RAS del tramo 2 para un periodo de retorno de 100 años



River Sta	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m ²)	(m)	
105550.2	43.19	47.76	45.9	47.79	0.000192	0.93	3021.74	1520.78	0.17
105050.2	43.34	47.53		47.62	0.000606	1.62	1504.34	790.18	0.3
104552.5	42.46	47.33		47.39	0.000351	1.49	2527.59	1610.12	0.24
104050.6	42.9	46.8		47.05	0.001489	2.49	866.12	518.46	0.46
103550.7	42.32	46.39		46.5	0.000726	1.87	1350.11	723.64	0.33
103050.6	41.82	45.97		46.1	0.000862	1.98	1287.04	842.2	0.35
102550.6	41.27	45.37		45.6	0.001134	2.21	800.6	333.95	0.4
102049.7	40.65	45.42		45.43	0.000081	0.66	4579.05	2454.35	0.11
101536.1	40.16	45.33		45.37	0.000167	0.98	1837.44	751.89	0.16
101028.2	39.19	45.29		45.31	0.000073	0.72	2614.39	646.7	0.11
100448.8	39	45.27		45.28	0.000035	0.48	4221.6	1396.81	0.07
100032.5	38.99	45.24		45.26	0.000059	0.66	3371.14	1276.61	0.1
99527.5	38.51	45.19		45.22	0.000098	0.92	2308.09	817.99	0.13
98528.24	37.55	45.09		45.13	0.000083	0.93	2046.57	514.22	0.12
97961.21	38.04	45.05		45.08	0.00009	0.8	2473.21	762.49	0.12
97526.93	38.12	45.02		45.04	0.000081	0.91	3044.97	908.06	0.12
97028.24	38.68	44.86		44.96	0.000319	1.6	1330.87	384.85	0.23
96416.95	39.01	44.84		44.86	0.000069	0.77	4278.21	1412.57	0.11
96030.21	39.59	44.82		44.83	0.000046	0.6	5052.19	1702.08	0.09
95528.11	38.86	44.78		44.8	0.000098	0.88	3179.01	1024.76	0.13
95028.24	38.66	44.52		44.69	0.000521	2.04	1202.67	585.76	0.3
94528.24	38.63	44.26		44.44	0.000487	1.98	958.84	274.17	0.29
94289.57	38.23	43.89		44.26	0.000994	2.85	810.91	483.26	0.41
94028.24	38.16	43.52		43.97	0.001128	3.02	544.61	140.75	0.44
93528.24	37.62	43.07		43.39	0.001045	2.89	842.89	401.58	0.42
92907.81	37.07	42.05	40.99	42.56	0.001818	3.49	695.9	631.62	0.54
92528.24	36.61	41.46		41.88	0.001486	3.07	741.2	444.25	0.49
91940.69	35.95	41.07		41.24	0.000693	1.93	1139.53	786.28	0.32
91527.8	34.89	40.88		41	0.000431	1.6	1045.3	400.48	0.26
91028.24	34.82	40.54		40.74	0.000646	2.04	847.25	266.05	0.32
90365.25	34.21	40.39		40.47	0.000217	1.31	1461.28	1070.29	0.19
90028.24	34.13	40.38		40.41	0.000088	0.82	2124.49	613.34	0.12
89528.24	33.75	40.29		40.36	0.000141	1.16	1672.96	544.08	0.16
89028.24	33.19	39.72		40.16	0.001187	3.05	701.79	411.5	0.44
88528.24	32.73	39.24		39.61	0.000964	2.72	584.39	218.5	0.4
88028.24	32.9	39.11		39.27	0.00036	1.78	880.47	276.31	0.25



87528.24	31.99	38.88		39.07	0.000439	2	1033.41	477.57	0.27
86928.28	32.42	38.5		38.76	0.000606	2.25	698.71	173.77	0.32
86528.24	32.22	38.28		38.51	0.00059	2.08	722.47	162.07	0.31
86028.24	31.57	36.03	36.03	37.66	0.006803	5.67	267.66	84.91	1
85528.16	31.78	36.74	33.98	36.8	0.000192	1.08	1672.42	604.26	0.17
85080.77	30.76	36.61		36.68	0.000382	1.12	1374.04	662.75	0.23
84524.84	31.35	36.6		36.61	0.000044	0.47	4017.01	1643.21	0.08
82776.2	30.18	36.47		36.5	0.0001	0.84	1790.01	434.17	0.13
82027.84	30.13	36.45		36.46	0.000027	0.48	3155.29	636.08	0.07
81528.16	29.33	36.42		36.44	0.000041	0.61	2493.56	489.68	0.08
81026.69	29.77	36.4		36.42	0.000052	0.64	2511.6	625.07	0.09
80528.91	29.53	36.37		36.39	0.000054	0.7	2300.49	583.23	0.1
80029.56	29.3	36.25		36.33	0.000259	1.43	1477.58	514.41	0.21
79528.24	29.1	36.15		36.22	0.000184	1.2	1417.26	356.15	0.18
79027.56	29.01	36.05		36.12	0.000193	1.41	1809.45	591.15	0.19
78529.8	29.17	35.99		36.04	0.00013	1.06	1785.86	555.49	0.15
78028.92	28.97	35.87		35.96	0.000175	1.37	1346.96	580.93	0.18
77528.24	28.58	35.54		35.8	0.000533	2.29	699.67	195.94	0.31
77028.24	28.36	35.54		35.62	0.000144	1.25	1237.02	251.51	0.16
76528.24	29.14	35.53		35.56	0.000061	0.79	1945	404.91	0.1
76028.24	28.22	35.38		35.5	0.000245	1.63	1343.7	494.33	0.21
75527.98	28.3	35.36		35.4	0.000108	1.05	2261.83	779.05	0.14
75028.24	28.29	35.25		35.33	0.000165	1.28	1392.56	523.3	0.17
74529.06	28.19	35.21		35.25	0.000113	1.06	2531.4	1058.33	0.14
74453.4	28.35	35.1		35.23	0.000295	1.6	1054.3	419.64	0.22
74377.8	28.51	35		35.18	0.000473	1.88	798.91	169.89	0.28
74302.2	28.67	34.86		35.12	0.000775	2.23	673.84	161.3	0.35
74226.6	28.83	34.64		35.01	0.001187	2.7	556.46	137.71	0.43
74151	28.99	34.16		34.81	0.002726	3.57	419.59	127.39	0.63
74148.5	28.99	34.2	33.01	34.78	0.002347	3.4	441.44	128.01	0.58
74144.5	Bridge								
74135.5	28.99	32.39	32.96	34.5	0.016251	6.43	233.41	112.37	1.42
74029.11	28.12	33.55	30.95	33.58	0.000145	0.98	2576.94	877.82	0.15
73503.4	27.87	33.46		33.5	0.000189	1.16	2297.87	758.87	0.18
73029.08	27.92	33.35		33.39	0.000255	1.21	2383.04	1095.55	0.2
72529.34	27.68	33.18		33.25	0.000294	1.45	1833.15	673.83	0.22
72027.2	27.72	32.75		32.97	0.001208	2.24	978.98	681.75	0.42
71538.45	28.01	32.67		32.71	0.000212	0.9	1832.42	876.27	0.17
71025.48	28.16	32.57		32.6	0.000204	0.86	2114.08	998.48	0.17
70528.24	27.99	32.45		32.49	0.000214	1.02	1842.68	634.18	0.18
70028.24	28.5	32.07		32.26	0.001391	2.39	978.67	420.23	0.44



69625.71	27.92	31.94		31.99	0.000266	1.13	1898.07	899.08	0.2
69026.8	27.47	31.76		31.8	0.00043	1.09	1876.71	873.8	0.24
68527.41	26.87	31.7		31.71	0.000092	0.82	4512.01	1818.48	0.12
68027.09	26.42	31.56		31.63	0.000286	1.33	1724.93	684.02	0.21
67528.28	25.97	31.42		31.48	0.000289	1.39	1733.39	562.42	0.22
67026.84	25.93	31.34		31.36	0.000161	0.91	2895.1	1102.32	0.16
66528.93	25.67	31.12		31.24	0.000363	1.61	1349.51	795.61	0.24
66029.07	25.47	31.12		31.14	0.000066	0.72	3536.25	1354.03	0.11
65528.24	25.25	31.07		31.1	0.000112	0.93	2445.62	700	0.14
65028.6	24.97	31.03		31.05	0.00007	0.77	3153.44	890.02	0.11
64528.48	24.8	31		31.02	0.000072	0.81	3298.75	844.23	0.11
64029.53	24.65	30.95		30.98	0.000088	0.9	3755.04	2022.63	0.12
63528.68	24.5	30.92		30.93	0.000064	0.8	4619.22	1892.89	0.11
63029.62	24.43	30.9		30.91	0.000039	0.62	5568.12	1807.46	0.08

Tabla 8.5: Tabla de tabulación del modelo HEC-RAS del tramo 3 para un periodo de retorno de 50 años

River Sta	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Ch nl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m ²)	(m)	
105550.2	43.19	48.66	46.4	48.69	0.000185	1.08	4661.09	2082.12	0.17
105050.2	43.34	48.42		48.54	0.000562	1.85	2211.27	793.44	0.3
104552.5	42.46	48.28		48.33	0.00026	1.48	4079.7	1632.92	0.21
104050.6	42.9	47.77		48.06	0.001289	2.8	1383.33	538.96	0.45
103550.7	42.32	47.46		47.58	0.00061	2.06	2145	749.2	0.31
103050.6	41.82	47.2		47.29	0.000513	1.83	2723.5	1318.19	0.29
102550.6	41.27	46.67		46.94	0.000885	2.48	1357.62	611.87	0.38
102049.7	40.65	46.79		46.8	0.000048	0.63	8215.44	2719.25	0.09
101536.1	40.16	46.7		46.76	0.000146	1.1	2882.86	785.84	0.16
101028.2	39.19	46.66		46.7	0.00008	0.9	3506.18	651.22	0.12
100448.8	39	46.65		46.66	0.000032	0.56	6150.08	1396.81	0.08
100032.5	38.99	46.62		46.65	0.000053	0.75	5135.31	1276.61	0.1
99527.5	38.51	46.56		46.61	0.000101	1.09	3432.77	817.99	0.14
98528.24	37.55	46.44		46.51	0.000104	1.2	2873.16	643.87	0.14
97961.21	38.04	46.4		46.44	0.00009	0.96	3504.81	762.49	0.13
97526.93	38.12	46.37		46.4	0.000086	1.08	4289.86	932.57	0.13
97028.24	38.68	46.16		46.31	0.000349	1.96	1836.91	389.81	0.25
96416.95	39.01	46.19		46.2	0.000062	0.85	6179.11	1421.21	0.11
96030.21	39.59	46.17		46.18	0.000041	0.67	7348.03	1714.23	0.09
95528.11	38.86	46.12		46.15	0.000092	1.01	4562.41	1034.78	0.13



95028.24	38.66	45.88		46.05	0.000433	2.19	2038.38	624.24	0.28
94528.24	38.63	45.51		45.79	0.000572	2.5	1309.77	287.11	0.32
94289.57	38.23	45.29		45.62	0.000775	2.98	1507.71	510.68	0.38
94028.24	38.16	44.43		45.28	0.00171	4.17	673.7	141.86	0.55
93528.24	37.62	43.92		44.4	0.001387	3.7	1226.52	495.36	0.5
92907.81	37.07	43.23		43.61	0.001259	3.42	1676.79	899.23	0.47
92528.24	36.61	42.69		43.09	0.001191	3.28	1296.82	467.88	0.45
91940.69	35.95	42.52		42.65	0.000399	1.83	2526.26	1163.58	0.26
91527.8	34.89	42.32		42.48	0.000378	1.85	1732.2	619.05	0.26
91028.24	34.82	41.95		42.23	0.000621	2.43	1238.23	290.7	0.33
90365.25	34.21	41.92		41.99	0.000151	1.32	3577.76	1543.79	0.17
90028.24	34.13	41.9		41.94	0.000087	0.99	3133.3	690.2	0.13
89528.24	33.75	41.81		41.89	0.000144	1.37	2647.54	700	0.17
89028.24	33.19	41.36		41.72	0.000804	3.05	1405.18	513.52	0.38
88528.24	32.73	40.9		41.31	0.000793	3.01	1179.53	412.48	0.38
88028.24	32.9	40.8		41	0.000336	2.05	1621.23	465.92	0.25
87528.24	31.99	40.66		40.83	0.000314	2.05	2107.58	628.6	0.24
86928.28	32.42	40.24		40.57	0.00056	2.64	1271.52	503.48	0.32
86528.24	32.22	40.08		40.34	0.000475	2.33	1390.67	488.19	0.29
86028.24	31.57	37.38	37.38	39.56	0.006062	6.57	392.02	98.76	0.99
85528.16	31.78	38.32	34.52	38.38	0.00015	1.19	2947.79	992.3	0.16
85080.77	30.76	38.25		38.3	0.00018	1.08	2656.54	857.56	0.17
84524.84	31.35	38.25		38.26	0.00003	0.5	6932.16	1813.45	0.07
82776.2	30.18	38.12		38.17	0.000095	1.02	2569.37	512.71	0.13
82027.84	30.13	38.11		38.13	0.000029	0.6	4219.32	643.36	0.07
81528.16	29.33	38.08		38.11	0.000046	0.77	3320.59	507.77	0.09
81026.69	29.77	38.06		38.08	0.000051	0.78	3603.16	676.08	0.1
80528.91	29.53	38.02		38.06	0.000057	0.86	3372.95	729.23	0.1
80029.56	29.3	37.9		38	0.000217	1.6	2360.5	557.3	0.2
79528.24	29.1	37.81		37.9	0.000167	1.39	2364.31	627.2	0.18
79027.56	29.01	37.74		37.81	0.000171	1.57	3378.65	1036.56	0.18
78529.8	29.17	37.67		37.74	0.000123	1.25	3126.56	880.49	0.15
78028.92	28.97	37.58		37.67	0.000143	1.46	3124.9	1165.08	0.17
77528.24	28.58	37.14		37.51	0.000576	2.81	1217.55	449.56	0.33
77028.24	28.36	37.18		37.3	0.000167	1.57	1966.36	574.77	0.18
76528.24	29.14	37.17		37.22	0.000071	1.01	2783.28	648.37	0.12
76028.24	28.22	37.02		37.16	0.000233	1.86	2271.49	626.72	0.21
75527.98	28.3	37.01		37.06	0.000099	1.18	3564.5	807.29	0.14
75028.24	28.29	36.9		36.99	0.000155	1.47	2511.41	700	0.17
74529.06	28.19	36.88		36.92	0.000084	1.09	4426.66	1179.79	0.13
74453.4	28.35	36.76		36.89	0.000251	1.77	2157.44	876.59	0.22



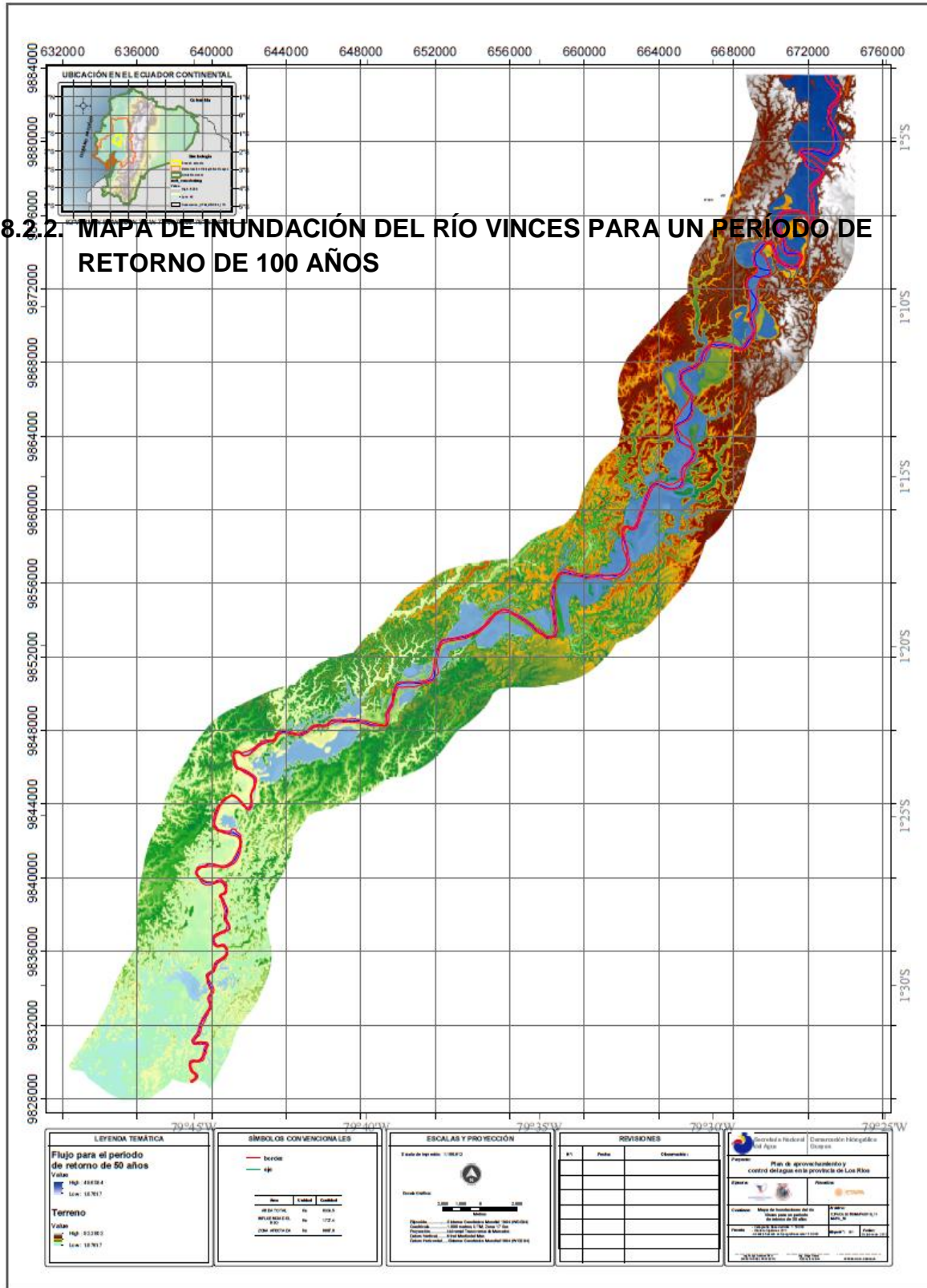
74377.8	28.51	36.57		36.85	0.00051	2.34	1077.31	206.62	0.3
74302.2	28.67	36.4		36.77	0.000779	2.71	924.15	163.9	0.36
74226.6	28.83	36.12		36.66	0.001332	3.25	770.22	155.81	0.47
74151	28.99	35.57		36.45	0.002401	4.16	601.63	130.94	0.62
74148.5	28.99	35.61	34.11	36.42	0.002166	3.99	627	133.25	0.59
74144.5	Bridge								
74135.5	28.99	33.29	34.09	36.09	0.014421	7.43	336.65	118.86	1.41
74029.11	28.12	34.62	31.7	34.67	0.000162	1.2	3547.17	932.5	0.17
73503.4	27.87	34.51		34.57	0.000219	1.44	3119.26	800.36	0.2
73029.08	27.92	34.41		34.46	0.000239	1.39	3623.52	1258.29	0.2
72529.34	27.68	34.21		34.31	0.000338	1.78	2570.64	802.93	0.24
72027.2	27.72	33.86		34.04	0.000877	2.22	1829.5	866.41	0.37
71538.45	28.01	33.79		33.84	0.000173	1.02	2950.43	1053.14	0.16
71025.48	28.16	33.71		33.75	0.000156	0.95	3283.83	1039.05	0.16
70528.24	27.99	33.6		33.66	0.000207	1.22	2584.47	655.39	0.18
70028.24	28.5	33.21		33.44	0.001103	2.65	1463.97	425.34	0.42
69625.71	27.92	33.16		33.21	0.000208	1.23	2995.63	906.36	0.18
69026.8	27.47	33.04		33.08	0.000265	1.12	3337.09	1282.15	0.2
68527.41	26.87	33		33.01	0.000068	0.83	6928.24	1893.14	0.11
68027.09	26.42	32.86		32.94	0.000245	1.49	2635.28	703.12	0.21
67528.28	25.97	32.73		32.81	0.000277	1.63	2494.62	597.2	0.22
67026.84	25.93	32.68		32.71	0.000125	1	4394.42	1132.62	0.15
66528.93	25.67	32.5		32.61	0.000275	1.68	2611.47	978.83	0.22
66029.07	25.47	32.5		32.53	0.000061	0.82	5497.59	1498.3	0.11
65528.24	25.25	32.44		32.48	0.000114	1.11	3405.84	700	0.14
65028.6	24.97	32.41		32.43	0.000073	0.92	4379.06	895.18	0.12
64528.48	24.8	32.37		32.39	0.000079	0.99	4458.25	847.24	0.12
64029.53	24.65	32.34		32.36	0.00006	0.86	6588.31	2050.23	0.11
63528.68	24.5	32.32		32.33	0.00005	0.81	7286.23	1934.01	0.1
63029.62	24.43	32.3		32.31	0.000034	0.67	8105.7	1821.16	0.08

Tabla 8.6: Tabla de tabulación del modelo HEC-RAS del tramo 3 para un periodo de retorno de 100 años.



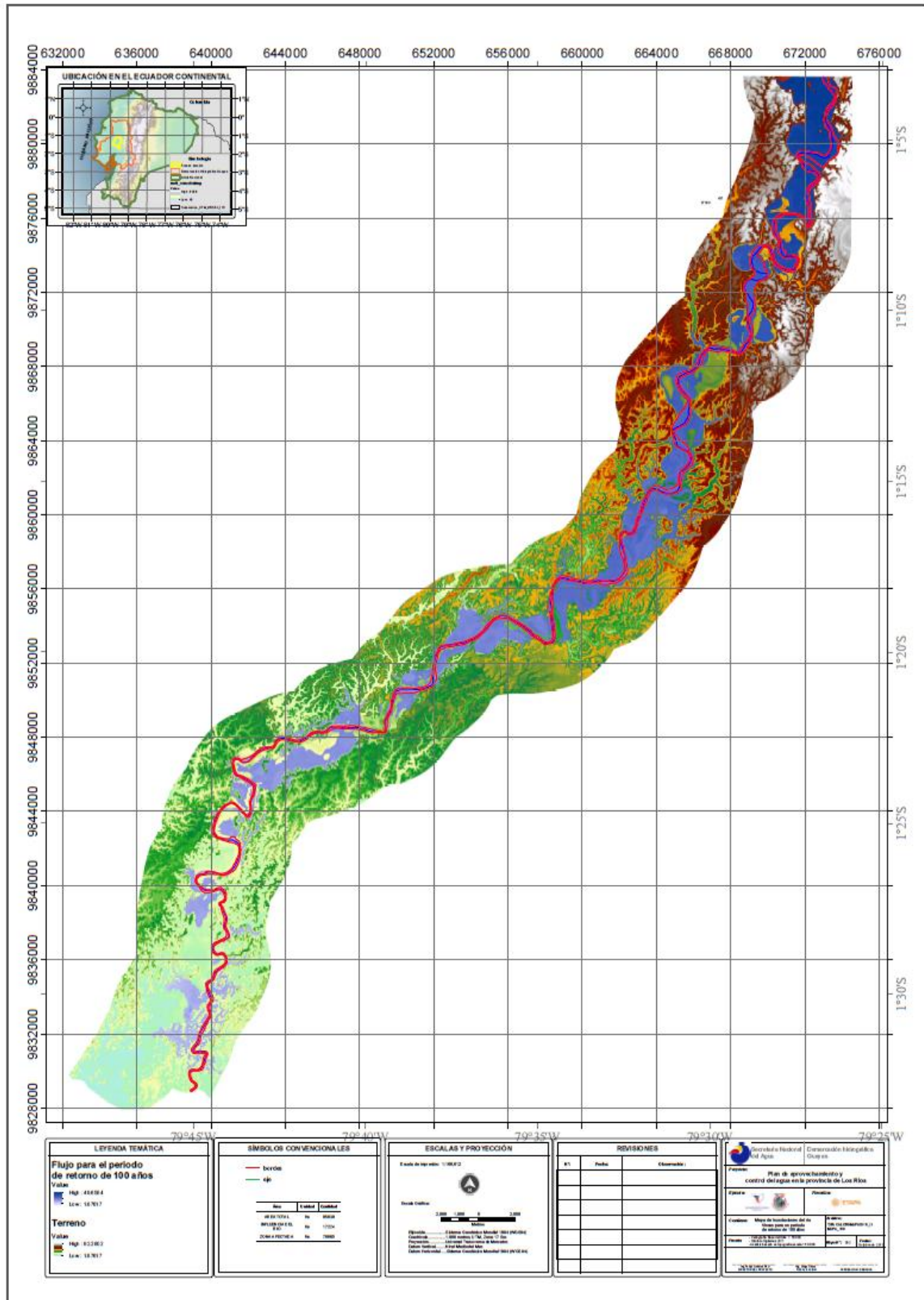
8.2. MAPAS

8.2.1. MAPA DE INUNDACIÓN DEL RÍO VINCES PARA UN PERÍODO DE RETORNO DE 50 AÑOS



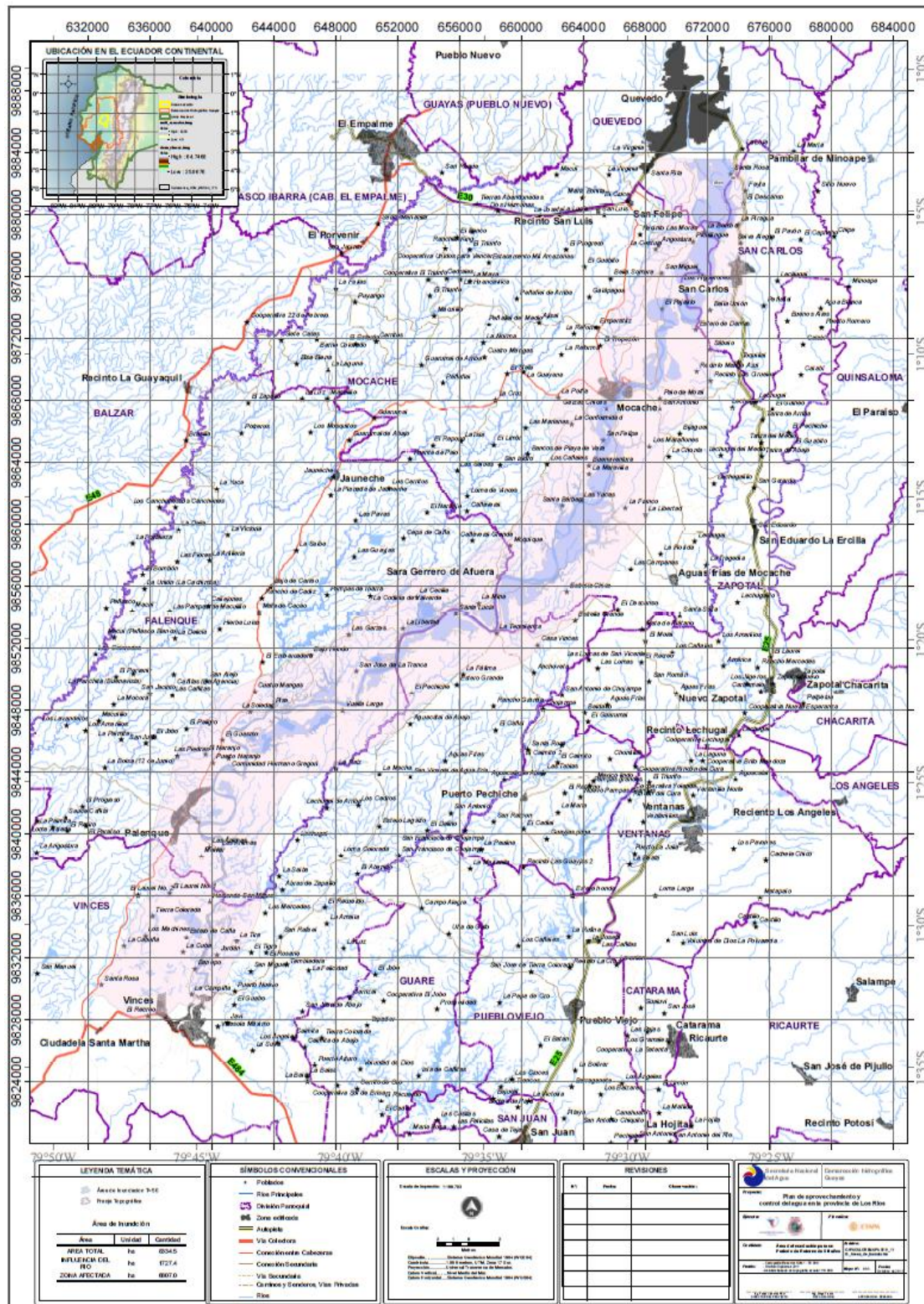


8.2.3. MAPA DE ZONIFICACIÓN DEL RIO VINCES PARA UN PERIODO DE RETORNO DE 50 AÑOS



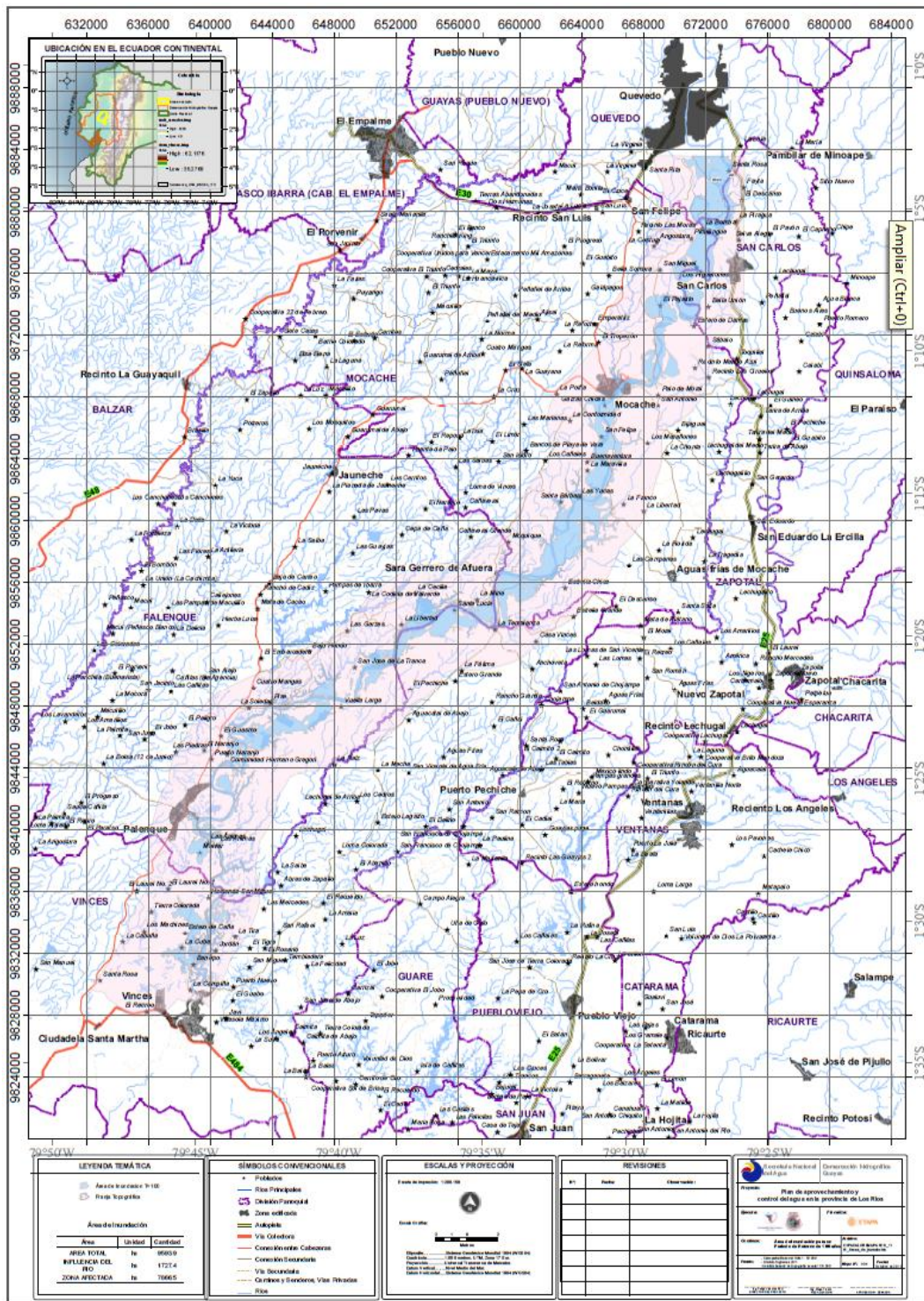


8.2.4. MAPA DE ZONIFICACIÓN DEL RIO VINCES PARA UN PERIODO DE RETORNO DE 100 AÑOS





8.2.5. MAPA DE ZONIFICACIÓN DEL RIO VINCES PARA UN PERIODO DE RETORNO DE 50 AÑOS





BIBLIOGRAFIA

- Aguilera, M. A. (2007). Estimación de funciones de distribución de probabilidad, para caudales máximos, en la región del Maule. Recuperado el 21 de marzo de 2010, de Universidad de Taca: http://eias.utralca.cl/3investigaciones/aguilera_a.pdf
- Aparicio, F. 1997. Fundamentos de Hidrología de Superficie. 11 ed. México. Editorial Limusa S.A. 303 p.
- Barros, J.G., & Troncoso, A.(2010). Atlas climatológico del Ecuador. Quito: EPN
- KENNEDY, J., & NEVILLE, A. (1982). Estadística para Ciencias e Ingeniería. México
- Chow, V.; Maidment, D.; Mays, L. 1994. Hidrología Aplicada. Colombia. Editorial McGraw Hill Interamericana S.A. 584 p.
- PIZARRO, R.; NOVOA, P. 1986. Instructivo n° 5. Determinación de valores probabilísticos para variables hidrológicas. Elementos técnicos de Hidrología. Corporación Nacional Forestal (CONAF). Chile. 78 p. / http://eias.utralca.cl/Docs/pdf/Publicaciones/manuales/a_modulo_leyes.pdf
- Pizarro, R.; Novoa, P. 1986. Elementos técnicos de Hidrología I. Instructivos técnicos. La Serena, Chile. Corporación Nacional Forestal, Ministerio de Agricultura. 57 p.
- Ashakar, F.; T.B.M.J Ouarda, R. Roy and B. Bobée. (1993). Robust estimators in hydrologic frequency analysis, in Engineering Hydrology. Edited by C.Y, pp 347-352, Am. Soc. Civ. Eng.
- Varas, E.; Bois, P. 1998. Hidrología probabilística. Santiago. Editorial Universidad Católica de Chile. 156 p.
- Pizarro, R.; Hernandez, I.; Muñoz, J. Torres, H. 1988. Elementos técnicos de Hidrología III. Universidad de Talca, UNESCO-ORCYT. Editorial Universidad de Talca. Talca, Chile. 136 p.
- Canavos, G. 1988. Probabilidad y Estadística: Aplicaciones y Métodos. Editorial McGraw-Hill Interamericana de México S.A. 651 P.
- U. S. Army Corps of Engineers. (Septiembre de 2009). GIS Tools for Support of HEC RAS using ArcGIS. User's manual.



- U.S. Army Corps of Engineers. (Marzo de 2008). HEC RAS River Analysis System. User's manual. www.hec.usage.army.mil.
- Gumbel E.J 1958. Statistics of extreme value. Colum. Univ. Press. N.Y.,375.
- SCS, 1972 - (Soil Conservation Service). National Engineering Handbook, Section 4, U.S. Department of Agriculture, Washington, D.C.
- SCS (Soil Conservation Service) (1964) A method of estimating volume and rate of runoff in small watersheds. Tech Publ 149. US Department of Agriculture, Washington, DC