

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



**“INFLUENCIA DEL PUENTE CHUQUILLANQUI Y TERRAPLEN DE ACCESO
EN LA SEDIMENTACIÓN DEL RIO CHUQUILLANQUI, TRAMO PUENTE
CHUQUILLANQUI”**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

LINEA DE INV.: HIDRÁULICA

AUTORES: BACH. CHAVEZ MORÁN, JUAN RAMIRO
BACH. CIPIRAN LEON, ALISSON MARIELL

ASESOR: MS. ING. RICARDO ANDRES NARVÁEZ ARANDA

TRUJILLO – PERÚ

2019

PRESENTACIÓN

Señores Miembros del Jurado:

Dando cumplimiento al Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Privada Antenor Orrego, es grato poner a vuestra consideración, el presente trabajo de investigación titulado: “INFLUENCIA DEL PUENTE CHUQUILLANQUI Y TERRAPLEN DE ACCESO EN LA SEDIMENTACIÓN DEL RIO CHUQUILLANQUI, TRAMO PUENTE CHUQUILLANQUI”, con el propósito de obtener el Título Profesional de Ingeniero Civil.

Atentamente,

BACH. CHAVEZ MORÁN, JUAN

BACH. CIPIRAN LEON, ALISSON

Tesis: “INFLUENCIA DEL PUENTE CHUQUILLANQUI Y TERRAPLEN DE ACCESO EN
LA SEDIMENTACIÓN DEL RIO CHUQUILLANQUI, TRAMO PUENTE
CHUQUILLANQUI”

JURADO EVALUADOR:

ING. SAGASTEGUI PLASENCIA, Fidel
PRESIDENTE
CIP: 32720

ING. SERRANO HERNANDEZ, José
SECRETARIO
CIP: 54464

ING. MORÁN GUERRERO, Víctor
VOCAL
CIP: 50648

ASESOR:

ING. NARVAEZ ARANDA, Ricardo
ASESOR
CIP: 58776

DEDICATORIA

A Dios por darme día a día el soplo de vida, mantener la convicción, y darme esa fuerza para poder terminar tanto la carrera profesional, como el presente trabajo.

A mi madre Juanita, por su infinito apoyo que me brinda, por siempre darme ánimos cuando el camino se pone duro, por su confianza depositada en mí y por su gran amor que me brinda.

Juan R. Chávez Morán

DEDICATORIA

A mi madre por mi roca y mi empuje constante, por no dejarme caer ante las adversidades y darme su apoyo en todo momento para poder alcanzar mis objetivos; por su amor incondicional hacia mí y todos sus buenos consejos

A mi padre y hermanos, por todo su amor brindado y su apoyo a lo largo de mi carrera universitaria y la realización de esta tesis.

A mi abuela, que, aunque no esté físicamente con nosotros sé que estará orgullosa de ver a su nieta convertida en una ingeniera.

Alisson M. Cipirán León

AGRADECIMIENTOS

A mi madre y hermano, por su apoyo a lo largo de la vida universitaria, por su aliento constante, por su compañía ante las adversidades y sus buenos deseos.

A mi docente y amigo, Juan Pablo García, por todo su apoyo y asesoramiento, de una manera incondicional en la universidad y en la realización de esta investigación, y por sus sabios consejos.

A Kathia, por su acogida durante el desarrollo de esta investigación.

A Nataly, por ser parte de ese dúo dinámico que se hizo en la universidad, por su apoyo en esas interminables traspasadas y siempre tratar de sacar lo mejor de cada uno.

Juan R. Chávez Morán

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradecer mi casa de estudios, la Universidad Privada Antenor Orrego por brindarme los conocimientos necesarios para desarrollarme profesionalmente, así como la oportunidad de formarme de manera profesional y ética.

Agradecer a Dios por permitirme hoy estar aquí, por darme salud y vida. Por haber guiado mi camino y permitirme culminar esta meta.

Agradecer al ingeniero Juan Pablo García Rivera por los conocimientos y apoyo impartidos a lo largo del desarrollo de esta tesis. Por su preocupación y dedicación para el término de esta.

Agradecer a mis padres por su apoyo y motivación a lo largo de este camino y su constancia para poder lograr todos mis objetivos planteados. Y a todas esas personas que me apoyaron en este camino.

Alisson M. Cipirán León

INDICE

PRESENTACIÓN	i
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTOS	v
INDICE	vii
INDICE DE FIGURAS	xi
INDICE DE TABLAS	xx
RESUMEN	xxiii
ABSTRACT	xxiv
Capítulo 1 : PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	1
1.1. Descripción del problema	1
1.2. Formulación del problema	7
1.3. Objetivo General	7
1.4. Objetivos Específicos	7
1.5. Justificación de la investigación	7
1.6. Viabilidad de la investigación	8
Capítulo 2 : MARCO TEÓRICO	9
2.1. Antecedentes de la investigación	9
2.1.1. Antecedentes Internacionales	9
2.1.2. Antecedentes Nacionales	12
2.1.3. Antecedentes Regionales	14
2.2. Bases teóricas	17
2.2.1. Sedimentos	17
2.2.2. Propiedades de los sedimentos	18

2.2.3.	Proceso de sedimentación.....	26
2.2.5.	Método para determinar el transporte de sedimentos.....	31
2.2.6.	Transporte de material de fondo.	32
2.2.7.	Sedimentación.....	36
2.2.8.	Formas de fondo.....	38
2.2.9.	Fuerza tractiva.....	40
2.2.10.	Fuerza tractiva crítica.....	40
2.2.10.1.	<i>Fórmula de Tiffany et.al.</i>	40
2.2.10.2.	<i>Fórmula de Schoklitsch.</i>	41
2.2.10.3.	<i>Ecuaciones de García Flores.</i>	41
2.2.10.4.	<i>Fórmula de Meyer - Peter y Muller.</i>	42
2.2.11.	Hidrología.....	42
2.2.12.	Modelación hidráulica con Iber.	44
2.2.12.1.	<i>Condiciones de contorno de entrada.</i>	45
2.2.12.2.	<i>Condiciones de contorno de salida.</i>	45
2.2.12.3.	<i>Asignación según usos de suelo.</i>	45
2.2.12.4.	<i>Asignación según coeficiente de Manning.</i>	45
2.2.12.5.	<i>Mallado.</i>	45
2.3.	Definiciones conceptuales.....	46
2.4.	Hipótesis.....	47
2.5.	Variables dependientes e independientes.....	47
Capítulo 3 : METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN		48
3.1.	Tipo de investigación, enfoque y alcance o nivel.....	48
3.2.	Población y muestra.....	48
3.3.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos	48

3.4. Técnicas para el procesamiento y análisis de la información	49
Capítulo 4 : ESTUDIOS BÁSICOS DE INGENIERÍA.....	51
4.1. Levantamiento Topográfico	51
4.2. Estudio de Mecánica de Suelos	58
4.3. Caudales Requeridos para Simulaciones Hidráulicas.....	76
4.3.1. Caudales No Permanentes.	86
4.4. Determinación del Coeficiente de Rugosidad de Manning	97
Capítulo 5 : PROCESAMIENTO Y RESULTADOS.....	98
5.1. Procedimiento.....	98
5.2. Resultados.....	106
5.2.1. Velocidad de flujo.....	108
5.2.1.1. Período de Retorno de 5 años.	108
5.2.1.2. Período de Retorno de 10 años.	119
5.2.1.3. Período de Retorno de 25 años.	129
5.2.1.4. Período de Retorno de 50 años	139
5.2.1.5. Período de Retorno de 100 años.	149
5.2.2. Sedimentación.	159
5.2.2.1. Sección A con período de retorno de 5, 10, 25, 50 y 100 años.	159
5.2.2.2. Sección B con período de retorno de 5, 10, 25, 50 y 100 años	161
5.2.2.3. Sección C con período de retorno de 5, 10, 25, 50 y 100 años	164
5.2.2.4. Sección D con período de retorno de 5, 10, 25, 50 y 100 años.	166
5.2.2.5. Sección E con período de retorno de 5, 10, 25, 50 y 100 años.	169
5.2.2.6. Sección F con período de retorno de 5, 10, 25, 50 y 100 años.	171
5.2.3. Tensión de fondo.	174
Capítulo 6 : DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	185

6.1. Análisis de velocidades.....	185
6.2. Análisis de sedimentos	191
6.3. Análisis de la tensión de fondo	195
Capítulo 7 : CONCLUSIONES.....	196
Capítulo 8 : RECOMENDACIONES.....	198
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	199
ANEXOS	202

INDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO I

Figura 1. 1: Vista en imagen satelital del área de estudio.	2
Figura 1. 2: Sedimentación bajo el tablero del puente Chuquillanqui.....	3
Figura 1. 3: Acumulación de sedimentos en estribo del puente Chuquillanqui, ubicado en el margen izquierdo del río, aguas abajo del puente.....	3
Figura 1. 4: Tramo aguas arriba del Puente Chuquillanqui, margen izquierda del río.	4
Figura 1. 5: Tramo aguas abajo del puente Chuquillanqui, margen izquierdo del río.....	4
Figura 1. 6: Acumulación de sedimentos en el estribo del puente Chuquillanqui, aguas abajo del puente.	5
Figura 1. 7: Formación de islas, aguas arriba del puente Chuquillanqui.....	6
Figura 1. 8: Sedimentación en el margen izquierdo aguas abajo del puente Chuquillanqui..	6

CAPÍTULO II

Figura 2. 1: Esquematación de las dimensiones triaxiales de un clasto.	19
Figura 2. 2: Clasificación de Zingg (1935) y curvas de isoesfericidad de Krumbein (1941).	24
Figura 2. 3: Redondez para distintos tipos de contornos.....	25
Figura 2. 4: Proceso de sedimentación, asociado a los cambios	27
Figura 2. 5: Balanza de LANE, correspondientes a la ecuación anterior (Rocha, 1998).	29
Figura 2. 6: Transporte de sedimentos por arrastre.....	30
Figura 2. 7: Transporte de sedimentos por saltación.....	31
Figura 2. 8: Transporte de sedimentos por suspensión.	31
Figura 2. 9: Relación entre la velocidad de caída ω (cm/s) y el tamaño de la partícula (mm).	37
Figura 2. 10: Descripción de formas de fondo en ríos aluviales (Simons y Richardson, 1961) (como se citó en Basile, 2018).	39
Figura 2. 11: Mapa del ámbito de estudio.....	43

CAPÍTULO IV

Figura 4. 1: Área para el levantamiento con dron.	52
--	----

Figura 4. 2: Ortofoto obtenida con el Arcgi Soft Photo.....	52
Figura 4. 3: Coordenadas obtenidas de la estación total	53
Figura 4. 4: Triangulación en Cvil 3D.....	54
Figura 4. 5: Superficie del cauce principal del río	55
Figura 4. 6: Ráster del cauce principal	56
Figura 4. 7: Ráster del área de estudio levantado con el dron	56
Figura 4. 8: Ráster del cauce principal y levantamiento del dron unidos.....	57
Figura 4. 9: ASCII del modelo digital de elevación.....	58
Figura 4. 10: Ingreso de datos en el Hydroiila.....	77
Figura 4. 11: Creación de un nuevo proyecto en el HEC-HMS.....	79
Figura 4. 12: Delimitación de la subcuenca y cauce del río en estudio.....	80
Figura 4. 13: Asignación de nombre de la subcuenca.....	80
Figura 4. 14: Asignación de la lluvia sobre la subcuenca en estudio.....	81
Figura 4. 15: Instante de inicio y término de lluvia.....	82
Figura 4. 16: Datos de la precipitación para un periodo de retorno de 5 años.	82
Figura 4. 17: Ruta para ingresar a "Meteorologic Model Manager"	83
Figura 4. 18: Estructura de los componentes creados en el HydroIILA.....	84
Figura 4. 19: Datos obtenidos con el HydroIILA para un periodo de retorno de 5 años.	85

CAPÍTULO V

Figura 5. 1: Isométrico de estribos y tablero del puente Chuquillanqui.....	98
Figura 5. 2: Creación de shapefile, para delimitación de áreas poligonales.	99
Figura 5. 3: Proceso de exportación de ArcGis a AutoCAD, después de unir área de polígonos con el puente.	100
Figura 5. 4: Creación de superficies en IBER.	101
Figura 5. 5: Modelo digital de elevación con rugosidades de Manning.	103
Figura 5. 6: Generación de malla del modelo digital de elevación.	104
Figura 5. 7: Modelo sin puente en el instante 4800, para un período de retorno de 5 años.	108
Figura 5. 8: Modelo con puente en el instante 4800, para un periodo de retorno de 5 años.	109

Figura 5. 9: Modelo propuesta de solución en el instante 4800, para un período de retorno de 5 años.	109
Figura 5. 10: Modelo sin puente en el instante 7800, para un período de retorno de 5 años.	110
Figura 5. 11: Modelo con puente en el instante 7800, para un periodo de retorno de 5 años.	111
Figura 5. 12: Modelo propuesta de solución en el instante 7800, para un período de retorno de 5 años.	111
Figura 5. 13: Modelo sin puente en el instante 11400, para un período de retorno de 5 años.	112
Figura 5. 14: Modelo con puente en el instante 11400, para un periodo de retorno de 5 años.	113
Figura 5. 15: Modelo propuesta de solución en el instante 11400, para un período de retorno de 5 años.	113
Figura 5. 16: Modelo sin puente en el instante 13800, para un período de retorno de 5 años.	114
Figura 5. 17: Modelo con puente en el instante 13800, para un periodo de retorno de 5 años.	115
Figura 5. 18: Modelo propuesta de solución en el instante 13800, para un período de retorno de 5 años.	115
Figura 5. 19: Modelo sin puente en el instante 16200, para un período de retorno de 5 años.	116
Figura 5. 20: Modelo con puente en el instante 16200, para un periodo de retorno de 5 años.	117
Figura 5. 21: Modelo propuesta de solución en el instante 16200, para un período de retorno de 5 años.	117
Figura 5. 22: Modelo sin puente en el instante 4200, para un período de retorno de 10 años.	119
Figura 5. 23: Modelo con puente en el instante 4200, para un período de retorno de 10 años.	119

Figura 5. 24: Modelo propuesta de solución en el instante 4200, para un período de retorno de 10 años.	120
Figura 5. 25: Modelo sin puente en el instante 7200, para un período de retorno de 10 años.	121
Figura 5. 26: Modelo con puente en el instante 7200, para un período de retorno de 10 años.	121
Figura 5. 27: Modelo propuesta de solución en el instante 7200, para un período de retorno de 10 años.	122
Figura 5. 28: Modelo sin puente en el instante 10800, para un período de retorno de 10 años.	123
Figura 5. 29: Modelo con puente en el instante 10800, para un período de retorno de 10 años.	123
Figura 5. 30: Modelo propuesta de solución en el instante 10800, para un período de retorno de 10 años.	124
Figura 5. 31: Modelo sin puente en el instante 13200, para un período de retorno de 10 años.	125
Figura 5. 32: Modelo con puente en el instante 13200, para un período de retorno de 10 años.	125
Figura 5. 33: Modelo propuesta de solución en el instante 13200, para un período de retorno de 10 años.	126
Figura 5. 34: Modelo sin puente en el instante 15600, para un período de retorno de 10 años.	127
Figura 5. 35: Modelo con puente en el instante 15600, para un período de retorno de 10 años.	127
Figura 5. 36: Modelo propuesta de solución en el instante 15600, para un período de retorno de 10 años.	128
Figura 5. 37: Modelo sin puente en el instante 4200, para un período de retorno de 25 años.	129
Figura 5. 38: Modelo con puente en el instante 4200, para un período de retorno de 25 años.	129

Figura 5. 39: Modelo propuesta de solución en el instante 4200, para un período de retorno de 25 años.	130
Figura 5. 40: Modelo sin puente en el instante 6600, para un período de retorno de 25 años.	131
Figura 5. 41: Modelo con puente en el instante 6600, para un período de retorno de 25 años.	131
Figura 5. 42: Modelo propuesta de solución en el instante 6600, para un período de retorno de 25 años.	132
Figura 5. 43: Modelo sin puente en el instante 10200, para un período de retorno de 25 años.	133
Figura 5. 44: Modelo con puente en el instante 10200, para un período de retorno de 25 años.	133
Figura 5. 45: Modelo propuesta de solución en el instante 10200, para un período de retorno de 25 años.	134
Figura 5. 46: Modelo sin puente en el instante 12600, para un período de retorno de 25 años.	135
Figura 5. 47: Modelo con puente en el instante 12600, para un período de retorno de 25 años.	135
Figura 5. 48: Modelo propuesta de solución en el instante 12600, para un período de retorno de 25 años.	136
Figura 5. 49: Modelo sin puente en el instante 15000, para un período de retorno de 25 años.	137
Figura 5. 50: Modelo con puente en el instante 15000, para un período de retorno de 25 años.	137
Figura 5. 51: Modelo propuesta de solución en el instante 15000, para un período de retorno de 25 años.	138
Figura 5. 52: Modelo sin puente en el instante 3600, para un período de retorno de 50 años.	139
Figura 5. 53: Modelo con puente en el instante 3600, para un período de retorno de 50 años.	139

Figura 5. 54: Modelo propuesta de solución en el instante 3600, para un período de retorno de 50 años.	140
Figura 5. 55: Modelo sin puente en el instante 6600, para un período de retorno de 50 años.	141
Figura 5. 56: Modelo con puente en el instante 6600, para un período de retorno de 50 años.	141
Figura 5. 57: Modelo propuesta de solución en el instante 6600, para un período de retorno de 50 años.	142
Figura 5. 58: Modelo sin puente en el instante 10800, para un período de retorno de 50 años.	143
Figura 5. 59: Modelo con puente en el instante 10800, para un período de retorno de 50 años.	143
Figura 5. 60: Modelo propuesta de solución en el instante 10800, para un período de retorno de 50 años.	144
Figura 5. 61: Modelo sin puente en el instante 13200, para un período de retorno de 50 años.	145
Figura 5. 62: Modelo con puente en el instante 13200, para un período de retorno de 50 años.	145
Figura 5. 63: Modelo propuesta de solución en el instante 13200, para un período de retorno de 50 años.	146
Figura 5. 64: Modelo sin puente en el instante 15600, para un período de retorno de 50 años.	147
Figura 5. 65: Modelo con puente en el instante 15600, para un período de retorno de 50 años.	147
Figura 5. 66: Modelo propuesta de solución en el instante 15600, para un período de retorno de 50 años.	148
Figura 5. 67: Modelo sin puente en el instante 3600, para un período de retorno de 100 años.	149
Figura 5. 68: Modelo con puente en el instante 3600, para un período de retorno de 100 años.	149

Figura 5. 69: Modelo propuesta de solución en el instante 3600, para un período de retorno de 100 años.	150
Figura 5. 70: Modelo sin puente en el instante 6600, para un período de retorno de 100 años.	151
Figura 5. 71: Modelo con puente en el instante 6600, para un período de retorno de 100 años.	151
Figura 5. 72: Modelo propuesta de solución en el instante 6600, para un período de retorno de 100 años.	152
Figura 5. 73: Modelo sin puente en el instante 10200, para un período de retorno de 100 años.	153
Figura 5. 74: Modelo con puente en el instante 10200, para un período de retorno de 100 años.	153
Figura 5. 75: Modelo propuesta de solución en el instante 10200, para un período de retorno de 100 años.	154
Figura 5. 76: Modelo sin puente en el instante 12600, para un período de retorno de 100 años.	155
Figura 5. 77: Modelo con puente en el instante 12600, para un período de retorno de 100 años.	155
Figura 5. 78: Modelo propuesta de solución en el instante 12600, para un período de retorno de 100 años.	156
Figura 5. 79: Modelo sin puente en el instante 15000, para un período de retorno de 100 años.	157
Figura 5. 80: Modelo con puente en el instante 15000, para un período de retorno de 100 años.	157
Figura 5. 81: Modelo propuesta de solución en el instante 15000, para un período de retorno de 100 años.	158
Figura 5. 82: Sección A - Período de Retorno 5 años.	159
Figura 5. 83: Sección A - Período de Retorno 10 años.	159
Figura 5. 84: Sección A - Período de Retorno 25 años.	160
Figura 5. 85: Sección A - Período de Retorno 50 años.	160
Figura 5. 86: Sección A - Período de Retorno 100 años.	161

Figura 5. 87: Sección B - Período de Retorno 5 años.....	161
Figura 5. 88: Sección B - Período de Retorno 10 años.....	162
Figura 5. 89: Sección B - Período de Retorno 25 años.....	162
Figura 5. 90: Sección B - Período de Retorno 50 años.....	163
Figura 5. 91: Sección B - Período de Retorno 100 años.....	163
Figura 5. 92: Sección C - Período de Retorno 5 años.....	164
Figura 5. 93: Sección C - Período de Retorno 10 años.....	164
Figura 5. 94: Sección C - Período de Retorno 25 años.....	165
Figura 5. 95: Sección C - Período de Retorno 50 años.....	165
Figura 5. 96: Sección C - Período de Retorno 100 años.....	166
Figura 5. 97: Sección D - Período de Retorno 5 años.....	166
Figura 5. 98: Sección D - Período de Retorno 10 años.....	167
Figura 5. 99: Sección D - Período de Retorno 25 años.....	167
Figura 5. 100: Sección D - Período de Retorno 50 años.....	168
Figura 5. 101: Sección D - Período de Retorno 100 años.....	168
Figura 5. 102: Sección E - Período de Retorno 5 años.....	169
Figura 5. 103: Sección E - Período de Retorno 10 años.....	169
Figura 5. 104: Sección E - Período de Retorno 25 años.....	170
Figura 5. 105: Sección E - Período de Retorno 50 años.....	170
Figura 5. 106: Sección E - Período de Retorno 100 años.....	171
Figura 5. 107: Sección F - Período de Retorno 5 años.....	171
Figura 5. 108: Sección F - Período de Retorno 10 años.....	172
Figura 5. 109: Sección F - Período de Retorno 25 años.....	172
Figura 5. 110: Sección F - Período de Retorno 50 años.....	173
Figura 5. 111: Sección F - Período de Retorno 100 años.....	173
Figura 5. 112: Ábaco de Shields, para iniciación del movimiento, para un tirante de 0.10 m.	177
Figura 5. 113: Ábaco de Shields para iniciación del movimiento, para un tirante de 0.12 m.	179
Figura 5. 114: Ábaco de Shields para iniciación del movimiento, para un tirante de 0.20 m	181

Figura 5. 115: Ábaco de Shields para iniciación del movimiento, para un tirante de 0.30 m.
..... 183

CAPÍTULO VI

Figura 6. 1: : Análisis de sedimentación del modelo propuesta..... 193

Figura 6. 2: Análisis de sedimentación del modelo con puente..... 194

Figura 6. 3: Análisis de sedimentación del modelo sin puente..... 194

INDICE DE TABLAS

CAPÍTULO II

Tabla 2. 1: Escala sedimentológica de Udden-Wentworth.....	20
Tabla 2. 2: Peso mínimo de la muestra volumétrica, ms (kg), en función de dmáx (m).....	21
Tabla 2. 3: Clasificación de forma, Zingg (1935).	23
Tabla 2. 4: Clasificación, según rango de esfericidad.	25
Tabla 2. 5: Descripción de características para cada tipo de redondez.	26

CAPÍTULO IV

Tabla 4. 1: Comparación intuitiva entre muestra superficial y volumétrica.	59
Tabla 4. 2: Serie de tamices de agregado grueso.....	61
Tabla 4. 3: Serie de tamices para agregado fino.....	62
Tabla 4. 4: Resumen de clasificación SUCS y AASHTO de muestras extraídas.	71
Tabla 4. 5: Resumen de los valores de D50 de las muestras extraídas.	72
Tabla 4. 6: Registro de pesos de muestras cercanas al puente Chuquillanqui para ensayo de gravedad específica de agregado grueso.	74
Tabla 4. 7: Registro de pesos de muestras alejadas al puente Chuquillanqui (extremos), para ensayo de gravedad específica de agregado grueso.....	75
Tabla 4. 8: Datos pluviométricos para periodos de retorno de 5,10,25,50,100 años.	78
Tabla 4. 9: Velocidades en m/s para un período de retorno de 50 años, en el instante 15600.	148

CAPÍTULO V

Tabla 5. 1: Coeficientes de Manning para las superficies creadas en IBER.....	102
Tabla 5. 2: Tamaños de malla según las superficies creadas en IBER.....	104
Tabla 5. 3: Instantes de resultados, según los períodos de retorno.	107
Tabla 5. 4: Velocidades en m/s para un período de retorno de 5 años, en el instante 4800.	110
Tabla 5. 5: Velocidades en m/s para un período de retorno de 5 años, en el instante 7800.	112
Tabla 5. 6: Velocidades en m/s para un período de retorno de 5 años, en el instante 11400.	114

Tabla 5. 7: Velocidades en m/s para un período de retorno de 5 años, en el instante 13800.	116
Tabla 5. 8: Velocidades en m/s para un período de retorno de 5 años, en el instante 16200.	118
Tabla 5. 9: Velocidades en m/s para un período de retorno de 10 años, en el instante 4200.	120
Tabla 5. 10: Velocidades en m/s para un período de retorno de 10 años, en el instante 7200.	122
Tabla 5. 11: Velocidades en m/s para un período de retorno de 10 años, en el instante 10800.	124
Tabla 5. 12: Velocidades en m/s para un período de retorno de 10 años, en el instante 13200.	126
Tabla 5. 13: Velocidades en m/s para un período de retorno de 10 años, en el instante 15600.	128
Tabla 5. 14: Velocidades en m/s para un período de retorno de 25 años, en el instante 4200.	130
Tabla 5. 15: Velocidades en m/s para un período de retorno de 25 años, en el instante 6600.	132
Tabla 5. 16: Velocidades en m/s para un período de retorno de 25 años, en el instante 10200.	134
Tabla 5. 17: Velocidades en m/s para un período de retorno de 25 años, en el instante 12600.	136
Tabla 5. 18: Velocidades en m/s para un período de retorno de 25 años, en el instante 15000.	138
Tabla 5. 19: Velocidades en m/s para un período de retorno de 50 años, en el instante 3600.	140
Tabla 5. 20: Velocidades en m/s para un período de retorno de 50 años, en el instante 6600.	142
Tabla 5. 21: Velocidades en m/s para un período de retorno de 50 años, en el instante 10800.	144

Tabla 5. 22: Velocidades en m/s para un período de retorno de 50 años, en el instante 13200.	146
Tabla 5. 23: Velocidades en m/s para un período de retorno de 100 años, en el instante 3600.	150
Tabla 5. 24: Velocidades en m/s para un período de retorno de 100 años, en el instante 6600.	152
Tabla 5. 25: Velocidades en m/s para un período de retorno de 100 años, en el instante 10200.	154
Tabla 5. 26: Velocidades en m/s para un período de retorno de 100 años, en el instante 12600.	156
Tabla 5. 27: Velocidades en m/s para un período de retorno de 100 años, en el instante 15000.	158

RESUMEN

Esta investigación tiene como principal objetivo determinar la influencia del puente Chuquillanqui y terraplén de acceso del río Chuquillanqui, tramo puente Chuquillanqui, para ello se generaron diversos escenarios, para diferentes períodos de retorno en flujos no permanentes, los modelos que se generaron son con puente, que recrea la situación tal cual como se encuentra en la actualidad, el modelo sin puente, simula el comportamiento cuando retiramos el puente y terraplén de acceso, y el modelo propuesta, es nuestra propuesta de solución que consiste en retirar puente, terraplén de acceso y parte de topografía en los extremos, además se plantea la construcción de un puente largo de luz de 298.00 m, apoyado en 5 pilares y 2 estribos, la forma de los pilares se ha considerado elipsoide, pues según la literatura y las investigaciones son los que tienen un mejor comportamiento hidrodinámico.

Se realizaron estudios de ingeniería, tales como el levantamiento topográfico en donde se encontró que el tramo aguas arriba del puente y terraplén de acceso entre las progresivas 0+000 – 0+805 tiene una pendiente de 2.035 %, y la pendiente en el tramo aguas abajo del puente y terraplén de acceso entre las progresivas 0+805 – 1+500 es 0.830 %. El material de fondo es una grava gruesa, tiene diámetro característico D_{50} de 27.21 mm y su gravedad específica es 2.59.

Los escenarios generados han sido considerando como períodos de retorno 5, 10, 25, 50 y 100 años, tomando en consideración 5 instantes por hidrograma.

Para los cálculos de la tensión de fondo y crítica se han usado los métodos de Meyer Peter Müller y Shields, en donde la tensión crítica, es decir la fuerza necesaria para la iniciación del movimiento es de 20.01 N/m², y el tirante necesario para iniciar el movimiento en el primer tramo es de 0.12 m, y en el segundo tramo es de 0.30 m.

Como conclusión se obtuvo que el puente y terraplén de acceso si tienen una influencia significativa en la sedimentación del río Chuquillanqui, pues estos elementos han ido modificando la pendiente considerablemente aguas arriba como aguas abajo, con la propuesta se estima que el río recupere su pendiente de una manera natural con el transcurrir del tiempo.

ABSTRACT

The main objective of this research is to determine the influence of the Chuquillanqui bridge and the Chuquillanqui river access embankment in the Chuquillanqui bridge section, we generated different scenarios, for different periods of return in non-permanent flows, the models that were generated with the bridge recreates the situation as it is currently, the model without bridge, simulates the behavior when we remove the bridge and access embankment, and the proposed model, is our proposed solution that consists of removing bridge, access embankment and part of the topography. In addition, we propose the construction of a long bridge with a light of 298.00 m, supported by 5 pillars and 2 abutments, the shape of the pillars has been considered ellipsoid, because according to literature and research, those are that have a better hydrodynamic behavior.

Engineering studies were carried out, such as the topographic survey where it was found that the section upstream of the bridge and access embankment between the 0 + 000 - 0 + 805 progressives has a slope of 2.035%, and the slope in the waters section below the bridge and access embankment between the progressive 0 + 805 - 1 + 500 is 0.830%. The background material is a coarse gravel, has characteristic diameter D_{50} of 27.21 mm and its specific gravity is 2.59.

The generated scenarios have been considered as periods of return 5, 10, 25, 50 and 100 years, taking 5 instants per hydrogram to analyze.

Meyer Peter Müller and Shields methods have been used for the calculations of the background and critical stress, where the critical tension, the force necessary for the initiation of the movement is 20.01 N / m², and the necessary tension for start the movement in the first section is 0.12 m, and in the second section is 0.30 m.

In conclusion, it was obtained that the bridge and access embankment do have a significant influence on the sedimentation of the Chuquillanqui River, since these elements have been modifying the slope considerably upstream as downstream, with the proposal it is estimated that the river will recover its natural slope with the passing of time.

Capítulo 1 : PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Descripción del problema

Según Rocha (1998, p. 12): “Los ríos del Perú tienen las más diversas características y, como ocurre en casi todo el mundo están ligados al desarrollo social y económico del país. Los hay torrenciales, de fuerte pendiente y corto recorrido, de descargas irregulares y de gran transporte sólido, como los ríos de la costa peruana”

En nuestra región, se puede apreciar frecuentemente problemas suscitados referentes a la producción y transportes de sedimentos, los cuales se manifiestan en diferentes formas y grados de intensidad. Esta producción y transporte de sedimentos se debe a la deforestación de las partes altas de las cuencas las cuales generan un aumento en la capacidad de arrastre de los sedimentos en las partes bajas de los ríos para luego ser depositados en las terrazas o planicies de inundación (Rocha, 1993).

La sedimentación envuelve tres procesos básicos: erosión o desprendimiento, transporte y deposición, una vez iniciado el proceso de erosión los demás ocurren continuamente. Además de los problemas que genera la sedimentación en diversas estructuras hidráulicas, el transporte de sedimentos en los ríos genera inundaciones a causa de la degradación y agradación de la forma de fondo presentándose rizos y dunas que provocan una colmatación en épocas de avenidas (Weber, 2003).

En el Río Chuquillanqui se puede evidenciar notoriamente lo expuesto anteriormente, ya que este río presenta un cauce explayado y una pendiente de aproximadamente $S=0.0196$ m/m, lo cual genera una gran acumulación de sedimentos provenientes de las quebradas de Chacapunta, Pinchaday, Honda, Del Viejo y Del Cardinal (Unidad Formuladora del Gobierno Regional La Libertad, 2013).

En este río se encuentra ubicado el puente Chuquillanqui el cual se encuentra en el límite del Distrito de Cascas y Lucma de la Provincia de Gran Chimú del Departamento de La Libertad. En este puente predomina la deposición del material grueso (bolonería) y finos, provocando inundaciones en épocas de grandes avenidas (Pérez, 2013).

Figura 1. 1: Vista en imagen satelital del área de estudio.



Fuente: Google Earth

El Acuerdo Regional N° 007-2010-GR-LL/CR (2010, p. 2) indica lo siguiente: “Los pobladores del Distrito de Lucma, conformado por 25 caseríos, se encuentran en peligro de aislamiento, que le genera grandes pérdidas a su precaria economía. El Gobierno Regional debe declarar la zona en emergencia y disponer las acciones correspondientes a ejecutar obras provisionales para descolmar el cauce del río y construir obras de arte.” Lo cual pone en evidencia problemas de sedimentación del río Chuquillanqui en el año 2010.

Según el registro fotográfico del perfil de pre-inversión “Mejoramiento Del Puente Chuquillanqui, Distrito De Lucma, Provincia De Gran Chimú, Región La Libertad” del año 2013, observamos acumulación de sedimentos bajo la infraestructura del Puente Chuquillanqui presentando una distancia aproximada de 3.20 m entre el tablero del puente hasta la parte más alta de acumulación de sedimentos, además podemos observar acumulación de sedimentos rocosos en los márgenes del río Chuquillanqui en el tramo aguas arriba y aguas abajo del puente.

Figura 1. 2: Sedimentación bajo el tablero del puente Chuquillanqui.



Fuente: Perfil de pre- inversión “Mejoramiento Del Puente Chuquillanqui, Distrito De Lucma, Provincia De Gran Chimú, Región La Libertad”

Figura 1. 3: Acumulación de sedimentos en estribo del puente Chuquillanqui, ubicado en el margen izquierdo del río, aguas abajo del puente.



Fuente: Perfil de pre- inversión “Mejoramiento Del Puente Chuquillanqui, Distrito De Lucma, Provincia De Gran Chimú, Región La Libertad”

Figura 1. 4: Tramo aguas arriba del Puente Chuquillanqui, margen izquierda del río.



Fuente: Perfil de pre- inversión “Mejoramiento Del Puente Chuquillanqui, Distrito De Lucma, Provincia De Gran Chimú, Región La Libertad”

Figura 1. 5: Tramo aguas abajo del puente Chuquillanqui, margen izquierdo del río.



Fuente: Perfil de pre- inversión “Mejoramiento Del Puente Chuquillanqui, Distrito De Lucma, Provincia De Gran Chimú, Región La Libertad”

Podemos evidenciar que no existen mejoras para contrarrestar la sedimentación en el puente Chuquillanqui, ya que actualmente se observa una mayor acumulación de sedimentos bajo el puente Chuquillanqui en comparación con el año 2013. Bajo la infraestructura del puente Chuquillanqui se aprecia una acumulación de sedimentos la cual tiene una distancia aproximada de 1.60 m entre el tablero del puente hasta la parte más alta de acumulación de sedimentos. Aguas arriba, en el margen derecho y aguas abajo, en el margen izquierdo, del puente Chuquillanqui, se presenta gran acumulación de sedimentos formando islas las cuales presentan material grueso y fino.

Figura 1. 6: Acumulación de sedimentos en el estribo del puente Chuquillanqui, aguas abajo del puente.



Fuente: Propia – 2018

Figura 1. 7: Formación de islas, aguas arriba del puente Chuquillanqui.



Fuente: Propia - 2018

Figura 1. 8: Sedimentación en el margen izquierdo aguas abajo del puente Chuquillanqui.



Fuente: Propia - 2018

Por lo expuesto anteriormente, se cree conveniente desarrollar el proyecto “Influencia del puente Chuquillanqui y terraplén de acceso en la sedimentación del río Chuquillanqui, tramo puente Chuquillanqui” a fin de determinar la influencia del puente y terraplén de acceso al puente en la sedimentación producida en la zona de estudio.

1.2. Formulación del problema

¿De qué manera influye el puente Chuquillanqui y terraplén de acceso en la sedimentación del Río Chuquillanqui, tramo puente Chuquillanqui?

1.3. Objetivo General

Determinar la influencia del puente Chuquillanqui y terraplén de acceso en la sedimentación del Río Chuquillanqui, tramo puente Chuquillanqui.

1.4. Objetivos Específicos

- Elaborar el modelo digital del terreno de la zona en estudio.
- Conocer la distribución granulométrica del material de fondo del río.
- Generar caudales sintéticos.
- Calcular la tensión de fondo.
- Realizar la simulación hidráulica para obtener el comportamiento hidrodinámico actual del río.
- Plantear una propuesta de solución a nivel de modelamiento numérico.

1.5. Justificación de la investigación

La presente investigación se enfocará determinar la influencia que produce el puente Chuquillanqui y terraplén de acceso en el Río Chuquillanqui del Distrito de Lucma – Provincia de Gran Chimú – Departamento de La Libertad, dado que hasta hoy no se ha tomado en consideración la posible influencia del puente y terraplén de acceso al puente Chuquillanqui en la sedimentación del área de estudio.

La importancia de este proyecto radica en que nos permitirá determinar el comportamiento de los sedimentos en esta zona y generar un antecedente el cual podrá ser tomado en consideración en futuros proyectos de mejoramiento en la zona, siendo los distritos de Cascas y Lucma los principales beneficiarios en este estudio.

1.6. Viabilidad de la investigación

El presente proyecto es viable ya que se cuenta con los recursos suficientes para el desarrollo completo del mismo y con el apoyo del asesor y los conocimientos adquiridos en la Universidad Privada Antenor Orrego, se garantiza un pleno y óptimo desarrollo de la tesis.

Este trabajo de investigación se verá limitado por los siguientes aspectos:

- La limitación presupuestal que no nos permitirá analizar el río Chuquillanqui en toda su longitud.
- La complejidad del modelamiento tridimensional por lo que se realizará un modelo bidimensional.
- Las estaciones para la medición de precipitaciones no se encuentran bien distribuidas en la sub-cuenca Chuquillanqui.

Capítulo 2 : MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

2.1.1. Antecedentes Internacionales

Antecedente 1.

Título: “MODELACIÓN HIDRODINÁMICA Y DE TRANSPORTE DE SEDIMENTOS EN EL RÍO LA ESTRELLA, LIMÓN”

Autores: DRA. ISABEL GUZMÁN ARIAS

ING. FERNANDO WATSON HERNÁNDEZ

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA

País: COSTA RICA

Año: 2018

Guzmán, I. y Watson, F (2018). El presente proyecto de investigación tiene como fin entender el comportamiento presente del río La Estrella por medio del modelado hidrodinámico y de transporte de sedimentos, el cual servirá como guía para los estudios en los ríos Matina, Banano y Bananito. En este proyecto se concluye que, el río La Estrella mantiene un régimen muy dinámico de flujo, con cursos de agua serpenteadas debido a las bajas pendientes presentes en la parte baja de la cuenca y con deposición de sedimentos en las partes convexas del meandro y erosión de bancos en las partes cóncavas. Esto sugiere un análisis de flujo en dos dimensiones HEC RAS e IBER, utilizado para obtener escenarios en períodos de retorno de 10 y 50 años en donde se identificará los puntos de riesgos de inundación; estos resultados se complementan con la modelación del transporte de sedimentos en donde se visualizará los lugares de erosión y deposición de material.

Aporte del Antecedente: Este proyecto nos da la ruta a seguir para representar las condiciones fluviales a través de diferentes modelos digitales, y de esta manera saber el posible comportamiento del transporte de sedimentos del río a investigar.

Antecedente 2.

Título: “TRANSPORTE DE SEDIMENTO COMO CARGA DE FONDO EN LA CUENCA DEL RÍO NARCEA (VERTIENTE NORTE DE LA CORDILLERA CANTÁBRICA)

Autores: MG. DANIEL VÁZQUEZ TARRÍO

UNIVERSIDAD DE OVIEDO

Ciudad: ESPAÑA

Año: 2012

Vázquez, D. (2012). La presente tesis doctoral tiene como objetivo obtener los primeros datos de tasas de transporte como carga de fondo en los cauces pertenecientes a la cuenca del río Narcea y tratar de extraer sus potenciales implicaciones geomorfológicas. Para llevar a cabo esta investigación se realizó un estudio directo en campo con la técnica de los clastos trazadores midiendo sus desplazamientos, se ha recurrido a la aplicación de diversas ecuaciones propuestas por distintos autores para la predicción de tasa de transporte en los ríos de lecho grueso, resultados los cuales se compararon con los de los trazadores, finalmente se persiguió estimar los volúmenes de sedimento durante los últimos cincuenta años mediante un análisis de los cambios experimentados por la geometría en planta del canal, basado en la observación de fotografías aéreas de diferentes fechas. Los resultados obtenidos con estos tres métodos parecen poner de manifiesto el carácter esporádico del transporte de sedimento como carga de fondo en los cauces pertenecientes a la cuenca del Narcea. El régimen de transporte parece estar definido por la existencia de dos tipos de eventos de transporte, por un lado, eventos de baja intensidad y eventos de alta intensidad.

Aporte del Antecedente: Esta tesis nos sugiere estudiar el cálculo de sedimentos para dos tipos de eventos marcados los cuales son eventos de baja intensidad donde la tasa de transporte de sedimentos es baja y eventos de alta intensidad, los cuales tienen recurrencias superiores a diez años, en los que el transporte de sedimentos de tamaños grande es relevante.

Antecedente 3.

Título: “ESTIMACIÓN DE LA PRODUCCIÓN Y TRASNPORTE DE SEDIMENTOS EN CUENCAS URBANAS PEQUEÑAS A ESCALA DE EVENTO MEDIANTE UN MODELO DE BASE FÍSICA BASADO EN SIG”

Autores: MG. JEANNETTE ZAMBRANO NAJERA
UNIVERSIDAD POLITECNICA DE CATALUNYA

Ciudad: ESPAÑA

Año: 2015

Zambrano, J. (2015). El objetivo de este trabajo es desarrollar un modelo para estimar la producción y el transporte de sedimentos, el cual sirva para predecir el comportamiento de este en cuencas urbanas de cabecera. Por tal motivo se propone un nuevo modelo en base física distribuido aplicable a cuencas con condiciones pluviométricas similares a las del Litoral Mediterráneo (alta intensidad y corta duración). El modelo es aplicado exitosamente en dos cuencas con condiciones de validación totalmente diferentes. El modelo es capaz de predecir de manera muy adecuada los hidrogramas. Predice bien los caudales pico y los tiempos necesarios para llegar al pico. Funciona adecuadamente para predecir los hidrogramas en las salidas de otras subcuencas que pertenecen a la cuenca, subestimando ligeramente los caudales en las cuencas pequeñas. En general, el modelo permite visualizar correctamente la distribución de la erosión y la sedimentación en el área de cuenca.

Aporte del Antecedente: La presente tesis nos muestra una recopilación teórica y un análisis crítico de los diferentes tipos de modelación para la estimación de la producción y el transporte de sedimentos en cuencas de áreas pequeñas y además establece las principales bases conceptuales y formulaciones matemáticas que modelan los procesos sedimentológicos en cuencas urbanas.

2.1.2. Antecedentes Nacionales.

Antecedente 1.

Título: “DETERMINACIÓN DEL TRANSPORTE DE SEDIMENTOS EN SUSPENSIÓN DE FONDO Y TOTAL EN EL PUENTE GRANDE DEL RÍO DE COATA – PUNO”

Autores: BACH. OMAR RENZO BONILLA GALINDO
UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO DE PUNO

Ciudad: PUNO

Año: 2014

Bonilla, O. (2014). El presente trabajo tiene como objetivo determinar el comportamiento del transporte de sedimentos en el río Coata, con fines de obtener el adecuado uso de los métodos de medición empírica para el cálculo de sedimentos de fondo y suspensión en el puente grande del río Coata. El cual concluye en que el cálculo de Transporte Sólido de Fondo tiene como valor promedio un valor de 238.18TN/día. resultado de las fórmulas de Meyer-Peter y Muller, Einstein y Schoklitsch. Siendo las fórmulas que se adecuan a los ríos de la sierra y recomendados en Causes Aluviales. La concentración de sólidos suspendidos según la medición realizada es de 1.14Kg/m³, a partir de este valor se tiene un gasto sólido en suspensión de 9,000.18TN/día, y utilizando métodos y fórmulas empíricas el resultado más cercano es de Benedict y Vanuni, con un valor máximo de 13,624.51TN/día. Según el enfoque microscópico, es la suma del transporte de sólidos de fondo y transporte de sólidos en suspensión con un total de 9,244.36TN/día el cual se acerca al y enfoque macroscópico teniendo un valor representativo de la fórmula de Ackes y White con un gasto sólido de 8,247.61TN/día.

Aporte del antecedente: Esta tesis nos brinda los lineamientos básicos a seguir para determinar el comportamiento del transporte de sedimentos en un río.

Antecedente 2.

Título: “DINAMICA DE LA PRODUCCION DE SEDIMENTOS EN LA CUENCA DEL RÍO SANTA”

Autores: ING. SERGIO BYRON MORERA JULCA
UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

Ciudad: LIMA

Año: 2010

Morera, S. (2010). El siguiente trabajo indica que el principal problema del río Santa las altas concentraciones de sedimentos en suspensión se genera la necesidad de predecir qué sucederá en este tipo de sistemas en el futuro, esto se traduce en el cálculo de los flujos de agua y producción de sedimentos; además de la vital importancia de conocer la dinámica de la producción de sedimentos en la cuenca del río Santa. Y concluye en que la dinámica del transporte de sedimentos en suspensión al paso diario es muy compleja para la estación Condorcerro, los caudales sólidos aumentan de manera potencial al caudal líquido, pero hay eventos picos de descarga o diluciones estos procedentes de la cuenca Tablachaca y/o la cuenca media-alta del río Santa, reflejándose en el análisis de PDF. La producción promedio anual de sedimentos en suspensión observados para la estación de Condorcerro (2000-2009) es de 15.1 millones de toneladas de los cuales en época de lluvias se produce $\pm 85\%$ del volumen anual de caudal sólido en suspensión, $\pm 13\%$ en época de transición y $\pm 2\%$ en época de estiaje, dicha estación involucra un área de ± 10000 km² y se encuentra ubicada a 479 msnm en el cauce del río Santa.

Aporte del Antecedente: Esta tesis nos indica ciertos parámetros a seguir para la obtención de un estudio más completo sobre la sedimentación en un río, recomendando realizar estudios de granulometría del lecho, así como un estudio geoquímico.

Antecedente 3.

Título: “CUANTIFICACIÓN DE FLUJOS SEDIMENTARIOS DE LAS CUENCAS AMAZONICAS DEL PERU”

Autores: ING. ELISA NATALIA ARMIJOS CARDENAS
UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

Ciudad: LIMA

Año: 2010

Armijos, E. (2010). Esta investigación, tiene como fin el estudio de la variabilidad temporal de los flujos sólidos a la escala anual, incorporando además el grado de incertidumbre que genera tanto la metodología propuesta en el muestreo, así como los dos métodos de cálculo de interpolación y extrapolación (relación caudal líquido vs caudal sólido). Observar la reproductibilidad en el tiempo de los métodos expuestos, para finalmente realizar el cálculo de flujos de sedimentos de las cuencas amazónicas peruanas. En este estudio se tuvo la oportunidad de realizar cálculos de flujos sólidos, a través de dos métodos uno de interpolación y otro de extrapolación, al observar los resultados podemos decir que son similares, sin embargo, se debe considerar las ventajas y los inconvenientes expuestos, (frecuencia de muestreo, variabilidad temporal) además de la incertidumbre al utilizar cada uno de los métodos mostrados.

Aporte del Antecedente: Esta tesis nos proporciona conceptos básicos sobre sedimentación los cuales son necesarios en el estudio que realizaremos, además nos muestra las diferentes formas de poder cuantificar los sedimentos en un río.

2.1.3. Antecedentes Regionales.

Antecedente 1.

Título: “EVALUACIÓN HIDRAÚLICA DEL RÍO MOCHE TRAMO PUENTE DE FIERRO, LONGITUD 1 KM”

Autores: BACH. MERCEDES ESMERALDA, JUAREZ SUAREZ

BACH. JAIME CARLOS, RODRIGUEZ PEREZ

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTENOR ORREGO

Ciudad: TRUJILLO

Año: 2017

Juarez M., y Rodríguez J. (2017). La siguiente evaluación hidráulica busca elaborar el análisis hidráulico en el río Moche con la finalidad de prevenir posibles inundaciones en la zona de Quirihuac. Para esto se desarrolló modelamientos bidimensionales mediante el software IBER, para tiempos de retorno de 50, 100 y 500 años y de esta manera generar distintos escenarios del comportamiento del flujo del río Moche. Este proyecto concluyó que en puente de fiero produce un estrechamiento al cauce, provocando el desborde del mismo por la zona del badén que se encuentra contiguo, del mismo modo se concluyó que entre los meses de julio y octubre donde es época de estiaje el río se encuentra colmado de sedimentos lo que reduce la capacidad del cauce.

Aporte del Antecedente: Esta investigación nos aporta realidades más acordes a las que pretendemos investigar debido que trata una cuenca de la misma región. Del mismo modo nos orienta brevemente sobre cómo realizar el modelado en IBER.

Antecedente 2.

Título: “EVALUACIÓN DEL VOLUMEN DE LOS SEDIMENTOS DEL EMBALSE DE LA PRESA GALLITO CIEGO DURANTE SU VIDA UTIL PARA ESTIMAR LA PROYECCIÓN DEL VOLUMEN SEDIMENTADO”

Autores: BACH. OSWALDO ALEXANDER NOMBERTO GRADOS

BACH. ROBERT JAISON SILVA ANGULO

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTENOR ORREGO

Ciudad: TRUJILLO

Año: 2015

Nomberto, O. y Silva, R. (2015). Este proyecto tiene como finalidad realizar la evaluación del volumen de los sedimentos del embalse de la presa Gallito Ciego durante su vida útil para estimar la proyección del volumen sedimentado. Para el análisis se usarán las batimetrías del embalse, con este análisis se podrá determinar la sedimentación actual del embalse y determinar de qué manera afecta la vida útil del embalse, para ello es necesario hacer una comparación de las batimetrías. Para la sedimentación se obtendrán proyecciones y gráficos en los cuales se reflejará el

estado del embalse Gallito Ciego; el método a utilizar será directo, el cual consiste en comparaciones de perfiles transversales y longitudinales arrojados de la batimetría. Concluyendo así lo siguiente, la deficiencia del estudio hidrológico, en lo referente a sedimentología, al subestimar la tasa de diseño del volumen muerto. Esto, unido a la ausencia de programas de manejo de cuenca y de control de sedimentos, provocaron el colapso muy temprano de la presa. Las cuencas del pacífico norte de Perú son altamente vulnerables a la erosión y transporte de sedimentos, por lo que no es razonable que se construyan grandes presas en las cuencas bajas de esta vertiente.

Aporte del Antecedente: Esta tesis nos indica la importancia de un estudio de mecánica de suelos para conocer mejor los materiales que conforman el sedimento, además propone efectuar estudios de erosión y comparar con los volúmenes que se sedimentan para así poder obtener un análisis que nos permita predecir el comportamiento de estos.

Antecedente 3.

Título: “MEJORAMIENTO DEL PUENTE CHUQUILLANQUI, DISTRITO DE LUCMA, PROVINCIA DE GRAN CHIMÚ, REGIÓN LA LIBERTAD”

Autores: ING. LUIS PÉREZ URTEAGA

UNIDAD FORMULADORA REGIONAL – GOBIERNO REGIONAL LA LIBERTAD

Ciudad: TRUJILLO

Año: 2013

Pérez L. (2013). En el mencionado estudio de pre inversión a nivel de perfil se tiene como objetivo tener un “Adecuado servicio de transitabilidad peatonal y vehicular en el puente Chuquillanqui ubicado entre las localidades de Lucma y 09 de Octubre, Provincia de Gran Chimú, La Libertad, tramo de la carretera departamental ruta LI 111 – Distrito Lucma” para el cuál se desarrolló una serie de estudios previos, siendo uno de estos el Estudio Hidrológico e Hidráulico, el cual busca calcular los caudales de diseño para diferentes periodos de retorno y determinar con el estudio o

modelamiento hidráulico las dimensiones que tendrá el nuevo puente Chuquillanqui. En este estudio el modelamiento hidráulico con Hec Ras ha determinado longitudes de expansión y contracción de 200 y 180 m. aguas abajo y aguas arriba respectivamente debido al estrechamiento del cauce por la estructura del puente. Así mismo, en la perspectiva en 3D del modelamiento se puede apreciar la llanura de inundación para el periodo de retorno de 100 años con zonas comprometidas próximas al puente.

Aporte del Antecedente: Este estudio es de vital importancia pues nos documenta sobre el estado del río en el puente Chuquillanqui hace varios años, mencionando los diversos intentos de menguar el proceso de sedimentación. Del mismo modo nos brinda la descripción de la cuenca, así como también algunos datos hidráulicos del río en estudio.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Sedimentos.

Weber (2003) manifiesta que los sedimentos son partículas que se originan a partir de rocas o suelos y que son transportados a través de las aguas y los vientos, los cuales terminan siendo depositados a lo largo de los cauces, en lagos, el mar y en las partes bajas de la cuenca; principalmente en la planicie.

Rocha (1998) afirma. “En hidráulica fluvial entendemos por sedimento a cualquier material, más pesado que el agua, que es transportado en algún momento por la corriente y luego depositado” (p.44); por lo tanto, se aplica tanto a un material de gran tamaño, como a materiales muy finos.

Los sedimentos están formados por materiales no cohesivos, entendidos así, se les denomina sólidos (Rocha, 1998).

Cuando se realiza el modelo hidráulico para el estudio del lecho móvil se tiene que representar a escala los sólidos del lecho, con sus respectivas características. Existen casos cuando la pendiente es baja en el modelo hidráulico no se puede usar materiales sólidos del mismo peso específico de materiales sólidos del río, por lo que se hace uso de la distorsión de pesos específicos, y para el modelado se usa

materiales livianos como plástico, aserrín o carbón. La teoría de Transporte de Sedimentos nos da las nociones de como representar, en el modelado, la reproducción del material sólido, para que tenga un comportamiento bastante similar (Rocha, 1998).

Martín (2003) indica. “La palabra sedimento designa colectivamente el material de un lecho (...)” (p.56).

El Subcomité de Terminología Sedimentológica de la Unión Americana de Geofísicos (como se citó en Basile, 2018) ha adoptado la siguiente definición para los sedimentos: “Fragmentos de material transportado por, suspendido en, o depositado por agua o aire, o acumulado en los lechos por otros agentes naturales; cualquier acumulación detrítica, tal como lo es”

2.2.2. Propiedades de los sedimentos.

Las propiedades de los sedimentos se dividen en dos grupos, las propiedades individuales y las propiedades grupales. El primer grupo comprende el tamaño, la forma, la densidad y la velocidad de caída, mientras que el segundo grupo abarca propiedades tales como la composición granulométrica, la porosidad, la densidad global insitu y el ángulo de reposo (Basile, 2018). Estas propiedades son las que en cierto modo tienen una relevancia considerable en el transporte de sedimentos.

Martín (2003) afirma. “(...) la propiedad de más importancia pasa a ser el tamaño, como representación del volumen de la partícula” (p.55).

2.2.2.1. Tamaño.

Hay una gran variedad de criterios para seleccionar el diámetro de la muestra, entre estos tenemos:

d_{50} este es el criterio más usado

d_{65} este es el propuesto por EINSTEIN

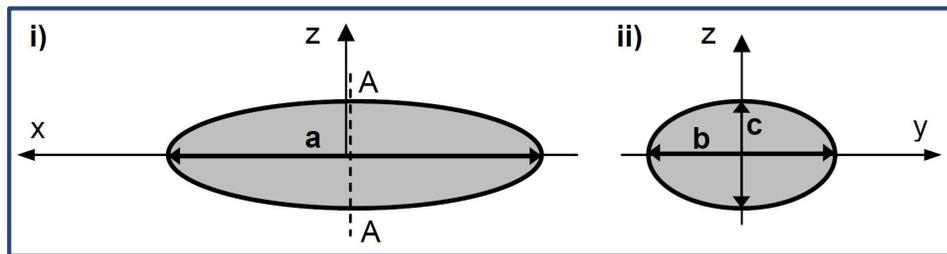
Diámetro efectivo, que es el utilizado por MEYER-PETER, el cual se define como:

$$d_m = \sum \frac{d_i \times \Delta p}{100}$$

En donde Δp es un intervalo que se toma sobre el eje vertical de porcentajes acumulados en peso que pasa y d_i es el diámetro correspondiente al intervalo Δp . (Rocha, 1998).

El tamaño de la partícula se considera a la dimensión del eje b de un elipsoide, tal como se muestra en la figura a continuación, que es la forma a la que más se asemeja una partícula (Basile, 2018).

Figura 2. 1: Esquematización de las dimensiones triaxiales de un clasto.



Fuente: Transporte de sedimentos y morfodinámica de ríos aluviales - Abel Basile, P. (2018).

La forma más común de analizar la granulometría es pesar las fracciones retenidas en cada tamiz y representarlo mediante la curva granulométrica. Se suele emplear con frecuencia el D_{50} , que representa la mediana de la distribución, en ocasiones se usa el parámetro adimensional: $\sigma_g = \sqrt{D_{84}/D_{16}}$ que es la desviación típica granulométrica. En donde si $\sigma_g > 3$, se dice que la granulometría es extendida o bien graduada, caso contrario se dice que la granulometría es uniforme o que está mal graduada (Martín, 2003).

Wentworth (como se citó en Basile, 2018) modificó la clasificación de partículas de acuerdo a su tamaño que fue realizada por Udden.

Krumbein (como se citó en Basile, 2018) propuso los límites de cada intervalo de clase en la escala Udden-Wentworth, quedando de la siguiente manera:

Tabla 2. 1: Escala sedimentológica de Udden-Wentworth.

Denominación	d (mm)	ϕ	d (μm)
Cantos rodados muy grandes	4096 – 2048	-12 a -11	
Cantos rodados grandes	2048 – 1024	-11 a -10	
Cantos rodados medianos	1024 – 512	-10 a -9	
Cantos rodados pequeños	512 – 256	-9 a -8	
Guijarros grandes	256 – 128	-8 a -7	
Guijarros pequeños	128 – 64	-7 a -6	
Grava muy gruesa	64 – 32	-6 a -5	
Grava gruesa	32 – 16	-5 a -4	
Grava mediana	16 – 8	-4 a -3	
Grava fina	8 – 4	-3 a -2	
Grava muy fina	4 – 2	-2 a -1	
Arena muy gruesa	2 – 1	-1 a 0	
Arena gruesa	1 – 1/2	0 a 1	
Arena mediana	1/2 – 1/4	1 a 2	
Arena fina	1/4 – 1/8	2 a 3	
Arena muy fina	1/8 – 1/16	3 a 4	125 – 62.50
Limo grueso	1/16 – 1/32	4 a 5	62.50 – 31.30
Limo mediano	1/32 – 1/64	5 a 6	31.30 – 15.60
Limo fino	1/64 – 1/128	6 a 7	15.60 – 7.80
Limo muy fino	1/128 – 1/256	7 a 8	7.80 – 3.90
Arcilla gruesa	1/256 – 1/512	8 a 9	3.90 – 1.95
Arcilla mediana	1/512 – 1/1024	9 a 10	1.95 – 0.98
Arcilla fina	1/1024 – 1/2048	10 a 11	0.98 – 0.49
Arcilla muy fina	1/2048 – 1/4096	11 a 12	0.49 – 0.24

Fuente: Transporte de sedimentos y morfodinámica de ríos aluviales - Abel Basile, P. (2018).

Para sedimentos gruesos (grava muy gruesa, gujarros y cantos rodados) se realiza un muestreo de la superficie y para sedimentos finos ($d < 62.5 \mu\text{m}$) la distribución de la granulometría se obtiene de manera indirecta, a través del análisis de sedimentación de una muestra volumétrica (Basile, 2018).

2.2.2.1.1. Análisis granulométrico por tamizado de muestras volumétricas.

Para este análisis se hace pasar una muestra volumétrica de sedimentos por varios tamices que están uno a continuación del otro, este análisis se hace bajo la normativa de la ASTM, en este análisis granulométrico se debe tomar en cuenta algunas consideraciones, tales como:

No sobrecargar los tamices, pues su obstrucción del tamiz podría generar una alteración en el resultado.

Los resultados de representatividad de la muestra deben cumplir con los pesos mínimos, los cuales son calculados haciendo uso de las expresiones mencionadas en la tabla a continuación.

Tabla 2. 2: Peso mínimo de la muestra volumétrica, m_s (kg), en función de $d_{\text{máx}}$ (m).

Ecuación	Autor	Observación
$m_s = 265000 d_{\text{máx}}^3$	De Vries (1970), ISO (1977)	Arenas y gravas finas
$m_s = 2069 d_{\text{máx}} - 6.7$	ASTM D75-71	-11 a -10
$m_s = 2596 d_{\text{máx}}^{1.5}$	ASTM C136-71	-10 a -9
$m_s = 2882 d_{\text{máx}} - 47.6$	Bunte y Abt (2001)	-9 a -8

Fuente: Transporte de sedimentos y morfodinámica de ríos aluviales - Abel Basile, P. (2018).

El tiempo de tamizado debe ser de 10 a 20 minutos usando una máquina vibratoria.

Es preciso mencionar que, para sedimentos gruesos, el peso mínimo de muestra sale muy elevado, por lo que es recomendable usar un muestreo superficial por conteo de Clastos según Diplas et al. (Como se citó en Basile, 2018).

2.2.2.2. *Peso específico y gravedad específica.*

Según la composición mineralógica cada partícula sólida tiene su propia densidad (ρ_s) y peso específico (γ_s), sin embargo, es muy frecuente la presencia de materiales cuarzosos, donde su densidad podría considerarse como 2650 kg/m^3 (Basile, 2018).

La gravedad específica del sedimento es la relación entre la densidad del sedimento y la densidad del agua, por lo que se tiene:

$$s = \frac{\rho_s}{\rho} = 2.65$$

El peso específico del sedimento es: $\gamma_s = g\rho_s$

El peso específico sumergido del sedimento es: $\gamma'_s = g(\rho_s - \rho)$

Donde “g” es gravedad y “ ρ ” es densidad del agua.

2.2.2.3. *Forma.*

La forma de la partícula describe la geometría de ésta, sin que esta esté relacionada con su tamaño, densidad o composición de minerales. Pues debido a la forma tendrá un comportamiento diferente, así tenga propiedades similares, por ejemplo, una partícula plana ofrece mayor resistencia hidrodinámica que una partícula esférica.

Para determinar las características morfométricas de las partículas se tomará como referencia las dimensiones triaxiales tal como se mencionó en la propiedad de tamaño (Basile, 2018). Entre éstas tenemos:

2.2.2.3.1. *Factor de forma.*

Ochoa (2011) afirma. “El factor de forma de las partículas en la dirección del flujo determina la superficie sobre la cual actúan las fuerzas longitudinales; el factor de forma de las partículas en la dirección vertical, determina la superficie en la cual actúan las fuerzas verticales (...)” (p.57). Para determinar estos factores de forma Ochoa (2011) también toma como referencia las dimensiones triaxiales tal como lo mencionó Basile (2018).

El factor de forma horizontal es:

$$C_{FH} = \sqrt[3]{\frac{ac}{b^2}}$$

El factor de forma vertical es:

$$C_{FV} = \sqrt[3]{\frac{ab}{c^2}}$$

Se habla también del factor de forma volumétrico en donde es igual a 1.0 puesto que la esfera y la partícula tienen el mismo volumen.

En la práctica, es difícil determinar estos parámetros, pues el factor de forma sugerido por McNown y Malaika (como se citó en Ochoa, 2011) es el siguiente:

$$F.F. = \frac{c}{\sqrt{ab}}$$

2.2.2.3.2. Índice de elongación y achatamiento.

Como se ha venido manejando en los parámetros anteriores, seguiremos manejando las dimensiones triaxiales tal como se muestra a continuación:

$$I_e = \frac{b}{a}, I_a = \frac{c}{b}$$

Zingg (como se citó en Basile, 2018) tipificó a las formas de las partículas de la siguiente manera:

Tabla 2. 3: Clasificación de forma, Zingg (1935).

Clase	$I_e=b/a$	$I_a=c/b$	Forma
1	$> 2/3$	$< 2/3$	Discoidal
2	$> 2/3$	$> 2/3$	Esférica
3	$< 2/3$	$< 2/3$	Laminar
4	$< 2/3$	$> 2/3$	Cilíndrica

Fuente: Transporte de sedimentos y morfodinámica de ríos aluviales - Abel Basile, P. (2018).

Además, se tiene:

$$0.05 < b/a < 1 \text{ o } 0 < c/b < 0.05 \quad \text{Forma planar}$$

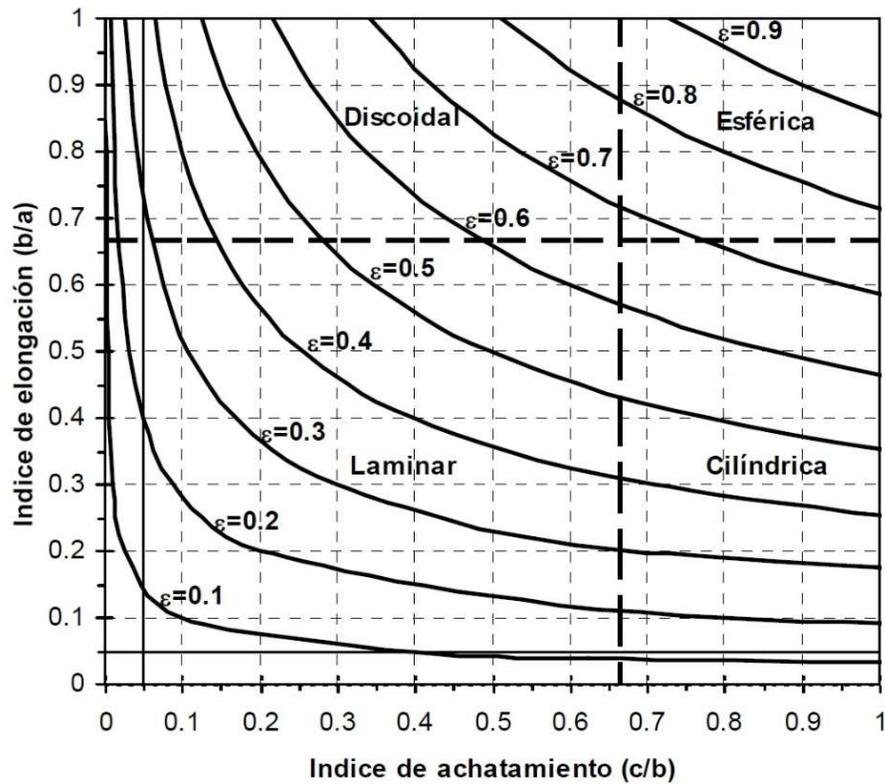
$$0 < b/a < 0.05 \text{ o } 0.05 < c/b < 1 \quad \text{Forma acicular}$$

2.2.2.3.3. Esfericidad.

Es cuan aproximada es la partícula a una esfera de igual volumen. Los índices de elongación y achatamiento permiten construir las curvas de isoesfericidad, haciendo uso de la fórmula propuesta por Krumbein (como se citó en Basile 2018).

$$\varepsilon = \sqrt[3]{\frac{bc}{a^2}}$$

Figura 2. 2: Clasificación de Zingg (1935) y curvas de isoesfericidad de Krumbein (1941).



Fuente: Transporte de sedimentos y morfodinámica de ríos aluviales - Abel Basile, P. (2018).

La esfericidad podría clasificarse en:

Tabla 2. 4: Clasificación, según rango de esfericidad.

Baja	$0.3 < \epsilon < 0.5$
Media	$0.5 < \epsilon < 0.7$
Alta	$0.7 < \epsilon < 0.9$

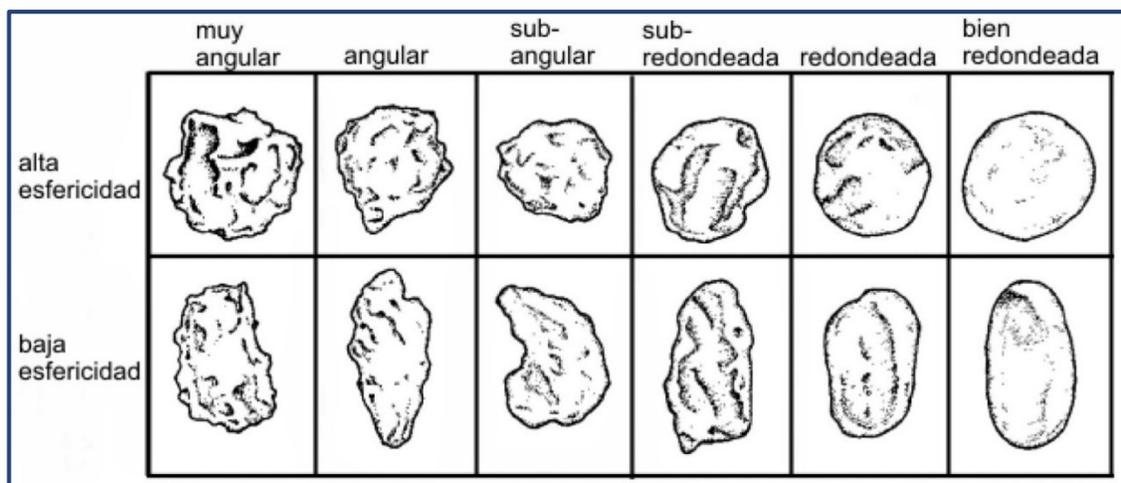
Fuente: Transporte de sedimentos y morfodinámica de ríos aluviales - Abel Basile, P. (2018).

2.2.2.3.4. Redondez.

La redondez expresa la historia de transporte e indica el grado de abrasión que han experimentado las partículas. Con esta propiedad se busca caracterizar el borde y contorno de las partículas de sedimento (Basile, 2018).

En la siguiente figura se podrá visualizar los tipos de redondez.

Figura 2. 3: Redondez para distintos tipos de contornos.



Fuente: Transporte de sedimentos y morfodinámica de ríos aluviales - Abel Basile, P. (2018).

A continuación, se describe las características para cada tipo de redondez.

Tabla 2. 5: Descripción de características para cada tipo de redondez.

Redondez	Descripción
Muy angular	Partículas de fracturas recientes, múltiple aristas vivas, bordes cortantes
Angular	Superficie áspera, bordes menos cortantes / afilados, formas primáticas
Subangular	Se distinguen bordes y aristas ligeramente redondeadas
Sub redondeada	Se distinguen aristas pero al tacto no se “sienten”
Redondeada	No se distinguen bordes ni aristas y no se “sienten” al tacto
Bien Redondeada	Superficie pulida, partículas aproximadamente esféricas o elipsoidales

Fuente: *Transporte de sedimentos y morfodinámica de ríos aluviales - Abel Basile, P. (2018).*

2.2.3. Proceso de sedimentación.

El proceso del desplazamiento de las partículas sólidas durante el ciclo hidro-sedimentológico puede identificarse como erosión, transporte y sedimentación.

La erosión es el proceso por el cual las partículas o fragmentos son degradados del material de roca, erosión fluvial es el caso donde el agua es el agente clave para la erosión. La erosión es un proceso lento, pero si es resultado de la actividad humana, puede tener lugar a suceder mucho más rápido (García, 2007).

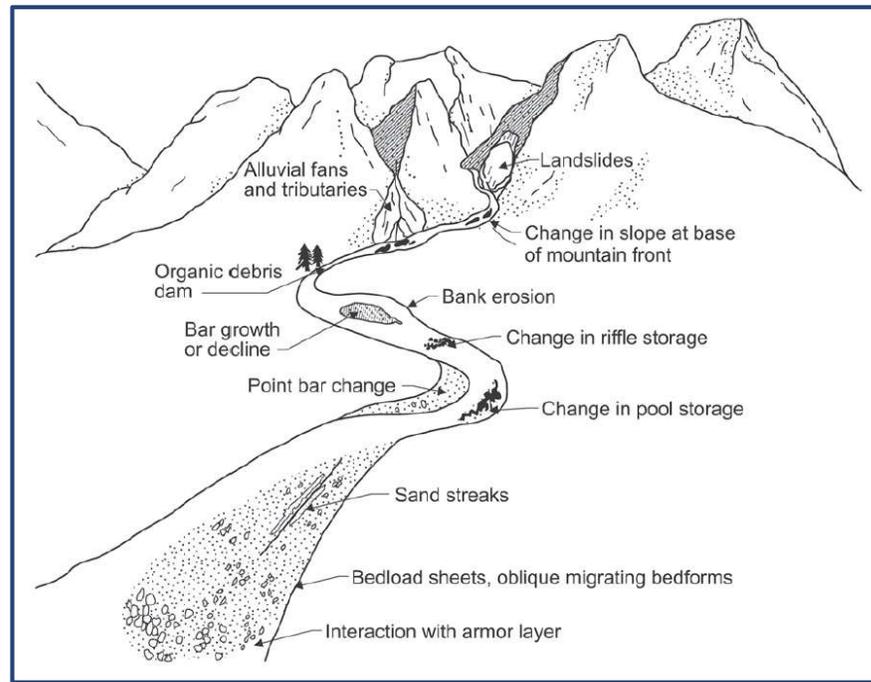
Hay varias circunstancias típicas en las que se presenta alguna forma de erosión, entre las cuales tenemos (Rocha, 1998):

- Aumento de Caudal
- Interrupción del transporte sólido
- Estrechamiento del cauce
- Flujo en curva

- Confluencia Fluvial
- Pilares y Estribos

La dinámica del sedimento en el medio ambiente y las consecuencias de su morfología se esquematizan en la siguiente figura (García, 2007):

Figura 2. 4: Proceso de sedimentación, asociado a los cambios .



Fuente: *Sedimentation engineering* – Marcelo H. Garcia (2007).

El transporte se inicia en la superficie de la tierra, los ríos actúan como conductos para el transporte de los sedimentos, cuanto mayor es la descarga, mayor es la capacidad para el transporte de sedimentos.

El proceso final en el ciclo es la deposición, que sucede cuando no hay la energía suficiente para transportar los sedimentos, por lo tanto, estos se detienen. Las áreas deposicionales pueden ser visibles como en una llanura aluvial, islas en un canal y deltas; sin embargo, la deposición en lagos y fondo de ríos no es tan evidente (García, 2007).

Es preciso mencionar que para la apreciación de determinados procesos fluviomorfológicos como es la erosión y sedimentación será muy útil la llamada relación de LANE (Rocha, 1998).

Se trata de una relación entre cuatro variables.

$$T_F^a \cdot d^b :: Q^c \cdot S$$

Donde:

T_F = gasto sólido de fondo

Q = caudal

S = pendiente

d = diámetro del material sólido de fondo

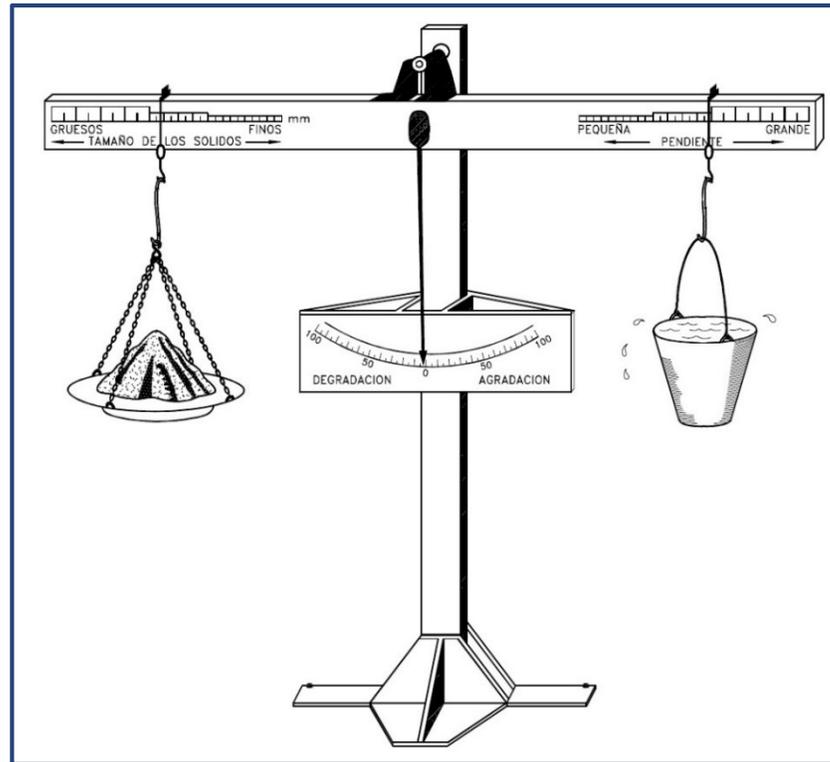
Para la descripción cualitativa de varios procesos podría usarse la forma más reducida de la expresión de LANE en donde los exponentes son igual a la unidad, por lo que quedaría de la siguiente manera (Rocha, 1998):

$$T_F \cdot d :: Q \cdot S$$

Por lo tanto, la variación en una de estas variables implicaría el cambio en una o más de las otras variables para recuperar el balance.

Los ingenieros del U.S. Bureau of Reclamarian, idearon el siguiente esquema, para la descripción de los cauces fluviales (Rocha, 1998).

Figura 2. 5: Balanza de LANE, correspondientes a la ecuación anterior (Rocha, 1998).



Fuente: *Introducción a la Hidráulica Fluvial – Rocha (1998)*

“El gasto sólido está representado por la arena depositada en el platillo de la izquierda, y el caudal líquido corresponde a la cantidad de agua contenida en el balde de la derecha. Los puntos de los que penden el platillo y el balde pueden desplazarse a la izquierda o derecha, como expresión de las variaciones del diámetro de los sólidos y la pendiente” (Rocha, 1998, p.207).

2.2.4. Transporte de sedimentos

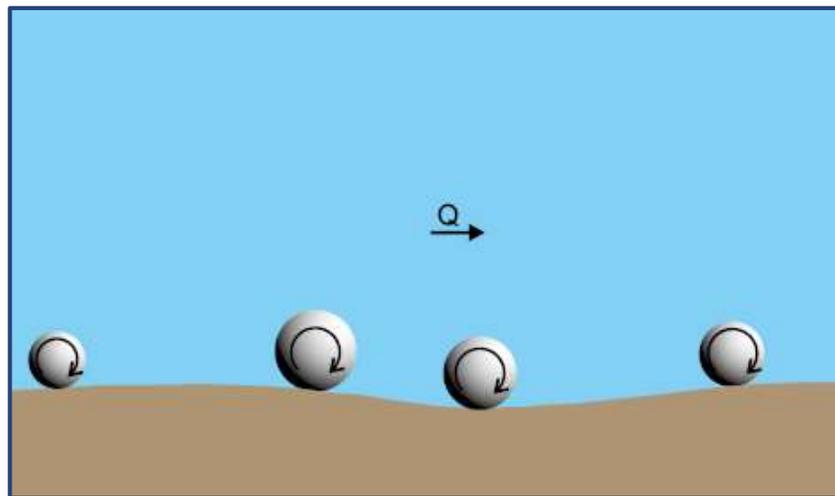
El movimiento de un fluido que fluye a través de su lecho tiende a mover el material de la cama corriente abajo. Un grano sumergido en la superficie está sujeto a una fuerza de peso y a las fuerzas hidrodinámicas. Sin embargo, un ligero aumento en la velocidad del flujo por encima de esta condición crítica hidráulica iniciará un movimiento apreciable por parte de algunas de las partículas en el lecho. Es en esta

condición crítica hidráulica en donde se inicia el movimiento o transporte de sedimentos (Hassanzadeh, 2012).

Según su comportamiento al ser transportado, este se puede clasificar en dos grupos: el transporte de material de fondo y el transporte de material en suspensión (Niño, 2004). El primero hace referencia al material que forma parte del fondo del cauce, los cuales están asociados a sedimentos relativamente gruesos y el ultimo está conformado por partículas finas, ya sean arcillas o limos que se encuentran en suspensión y generalmente no hacen contacto con el lecho (Weber, 2003).

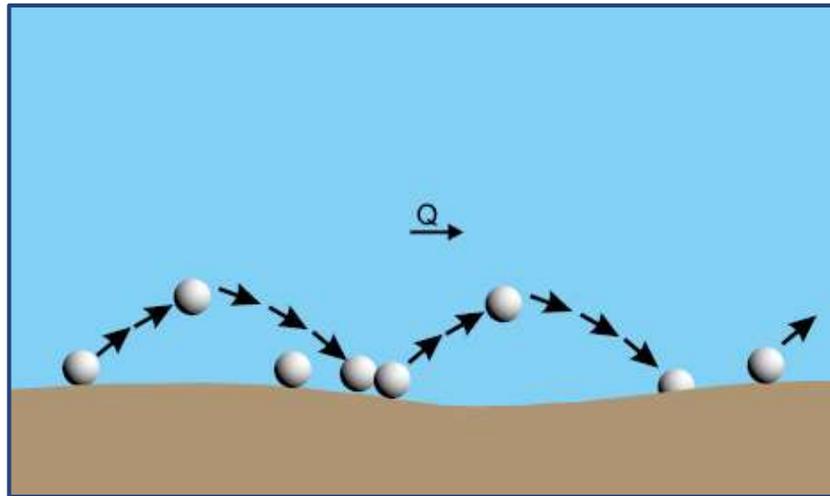
Con lo expuesto anteriormente podemos notar que el transporte de sedimentos depende del tamaño, la masa, la forma del grano, la gravedad y de las fuerzas hidrodinámicas de la corriente que está actuando (Niño, 2004). Por lo cual, se puede diferenciar tres formas de transporte de sedimentos; transporte por arrastre en el cual las partículas permanecen en contacto con el fondo y estas ruedan o se deslizan a lo largo del cauce manteniendo un continuo contacto con el lecho, transporte por saltación en el cual algunas partículas se transportan dando “saltos”, las partículas se transportan sobre un lecho en forma de una sucesión de rebotes y por último el transporte por suspensión en el cual los sedimentos se mantienen suspendidos en el agua y sin contacto con el fondo (Rocha, 1998).

Figura 2. 6: Transporte de sedimentos por arrastre.



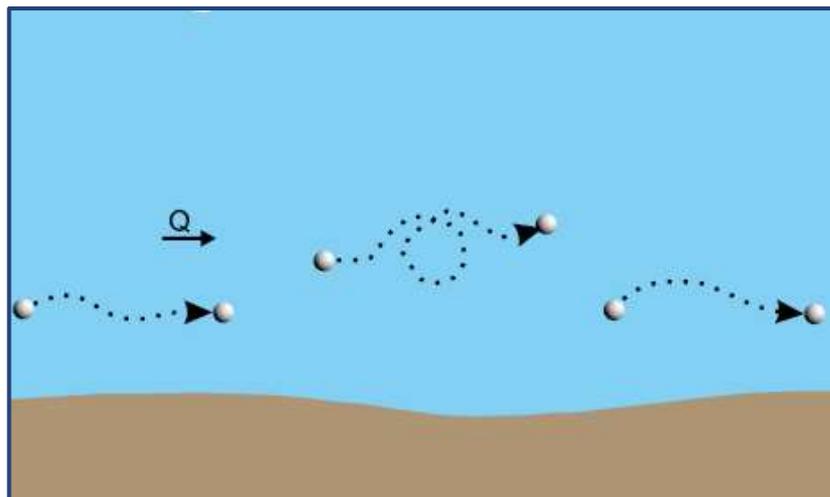
Fuente: Ingeniería Hidráulica – Transporte de Sedimentos

Figura 2. 7: Transporte de sedimentos por saltación.



Fuente: Ingeniería Hidráulica – Transporte de Sedimentos

Figura 2. 8: Transporte de sedimentos por suspensión.



Fuente: Ingeniería Hidráulica – Transporte de Sedimentos

2.2.5. Método para determinar el transporte de sedimentos

El cálculo del transporte de sedimentos es un problema de gran importancia para la ingeniería hidráulica y fluvial y ha ido tomando cada vez más importancia debido al uso más frecuente de recursos hídricos de fuentes superficiales los cuales, mayormente, presentan procesos de erosión y sedimentación (Mattos, 1999).

Según lo expuesto anteriormente es que podemos deducir que es de vital importancia las mediciones sedimentológicas para poder aumentar el conocimiento de los procesos de transporte de sedimentos y las problemáticas asociadas al ciclo hidro-sedimentológico.

Las mediciones del transporte de sedimentos, la composición granulométrica del transporte y las propiedades del sedimento del lecho, constituyen un patrimonio de datos básicos en estudios y proyectos de obras fluviales. Tales datos se utilizan para caracterizar el proceso de transporte y el balance sólido en un tramo de río, para cuantificar procesos erosivos a escala de cuenca, para calibrar ecuaciones de transporte, para validar modelos morfo-dinámicos, para calibrar distintas metodologías de medición, etc. Los instrumentos y técnicas de medición difieren en función del tipo de transporte de sedimentos que se entiende medir, es decir, transporte de fondo o transporte en suspensión. (Basile, 2018, p. 149)

Para poder realizar este cálculo tan necesario es que se usan ecuaciones o fórmulas que tienen como finalidad calcular el caudal sólido en una corriente en función de las características geométricas, hidráulicas y granulométricas del cauce. Sin embargo, realizar estos cálculos tiende a ser muy complejo por lo cual se han desarrollado diversas ecuaciones empíricas, semi-empíricas o basadas en teorías de observación las cuales el investigador usará las ecuaciones que tengan los parámetros más similares (Martin, 2003).

2.2.6. Transporte de material de fondo.

Los sedimentos que constituyen el transporte de material de fondo se desplazan por arrastre o saltación sobre el lecho del río. En este tipo de transporte es complicada su medición mediante dispositivos ya que si este se coloca sobre el lecho del río este puede perturbar el flujo, la velocidad y la cantidad de material de fondo transportado (Basile, 2018).

Debido a la imprecisión que existe para poder medir el transporte de sedimentos, la literatura establece que la precisión máxima que se puede esperar para la predicción está en un rango comprendido entre 0.5 y 2 veces el valor que realmente existe (Chanson, 2002).

Las partículas de carga de la cama ruedan, se deslizan o saltan a lo largo de la cama. El transporte es tangencial a la cama. Cuando todo el transporte se dirige en sentido horario, se da la velocidad de transporte de la carga del lecho de volumen por unidad de ancho por g_b ; las unidades son de longitud³ / longitud / tiempo, o longitud² / hora. En general, g_b es una función del esfuerzo cortante límite τ_b y otros parámetros de sedimentos (García, 2007).

Por lo tanto, la medición del transporte de material de fondo se puede realizar mediante dos formas, ya sea mediante mediciones directas con muestreadores o mediante ecuaciones o fórmulas para el cálculo de transporte de sedimentos de fondo.

2.2.6.1. *Medición mediante ecuaciones del transporte de material de fondo.*

Existe un gran número de ecuaciones empíricas para predecir la descarga de sedimento de fondo de una corriente natural. A pesar de que tienen su fundamento en diferentes enfoques, las ecuaciones poseen principios generales comunes. Estos son: (a) el modo de circulación del agua y sedimento corresponden a un régimen continuo y uniforme; (b) la disponibilidad de sedimento para su transporte es igual a la capacidad de transporte de la corriente natural; y (c) existe una relación única entre la tasa de transporte de los sedimentos y los parámetros hidráulicos y sedimentológicos (Yang, 1998).

A continuación, pasaremos a detallar las ecuaciones o fórmulas más trascendentales para la medición del transporte de sedimentos de fondo.

2.2.6.1.1. Ecuación de Duboys y Straub (1879, 1935).

Esta es la fórmula más antigua que se usa para el cálculo del gasto sólido, fue publicado por Duboys, quien asumió que el transporte de fondo se producía por medio de capas cuyo diámetro era similar al de las partículas que constituyen el lecho. Duboys fue el que introdujo el concepto sobre la fuerza tractiva crítica (Rocha, 1998).

Esta ecuación fue modificada por Straub, adquiriendo la siguiente forma:

$$g_B = \frac{0.01003}{D^{3/4}} \tau_0 (\tau_0 - \tau_C)$$

Donde:

g_B = Transporte unitario de sedimentos expresado en peso seco (kg/s.m).

τ_0 = Esfuerzo cortante que el flujo ejerce sobre el fondo (kg/m²).

τ_C = Esfuerzo cortante máximo en el fondo (kg/m²).

D = D_{50} (m).

2.2.6.1.2. Ecuaciones de Meyer – Peter y Müller (1948).

La ecuación más usada para determinar la cantidad de transportes de material de fondo es la de Meyer – Peter y Müller la cual fue desarrollada en el Laboratorio de Hidráulica de Zurich. En donde los científicos a cargo notaron que no todo el esfuerzo es usado para vencer la resistencia a las ondulaciones del lecho y el transporte es solo función al esfuerzo de corte debido a los granos (De Piérola, 2001).

Para interés del estudio se expresan a continuación la tercera y cuarta fórmula:

Tercera Fórmula

Se hizo una distinción entre la rugosidad de las partículas y la rugosidad total de fondo, resultando:

$$g_B = \left[\left(\frac{\gamma_S}{\gamma_S - \gamma} \right)^{2/3} \left(\left(\frac{n'}{n} \right)^{3/2} \cdot \gamma \cdot R \cdot S - 0.079 D_m \right) \right]^{3/2}$$

Donde:

g_B = Gasto sólido de fondo (kg / s.m).

γ_S = Peso específico del sedimento de fondo (kg / m³).

γ = Peso específico del agua (kg / m³).

R = Radio hidráulico (m).

S = Pendiente del fondo del canal (m / m).

D_m = Diámetro medio de las partículas (m).

n = Rugosidad total del fondo dado por Manning.

n' = Rugosidad debida a las partículas y dada por: (s / m^{1/3})

$$n' = \frac{D_{90}^{1/6}}{26}$$

Cuarta Fórmula

$$g_B = 8 \cdot \gamma_S \cdot D_m^{3/2} \cdot g^{1/2} \cdot \Delta^{1/2} \left[\left(\frac{n'}{n} \right)^{3/2} \cdot \frac{R \cdot S}{\Delta \cdot D_m} - 0.047 \right]^{3/2}$$

Donde:

g_B = Gasto sólido de fondo (kg / s.m).

Δ = Densidad relativa de la partícula.

g = Aceleración de la gravedad (m / seg.²).

2.2.7. Sedimentación.

Martín (2003) afirma. “La sedimentación de partículas transportadas en suspensión es un fenómeno también de importancia en ingeniería fluvial. La magnitud más importante para caracterizar la sedimentación es la velocidad de caída ω de la partícula en el fluido inmóvil” (p.86).

Existen expresiones en donde relaciona la velocidad de caída ω (cm/s) y el tamaño de la partícula (mm).

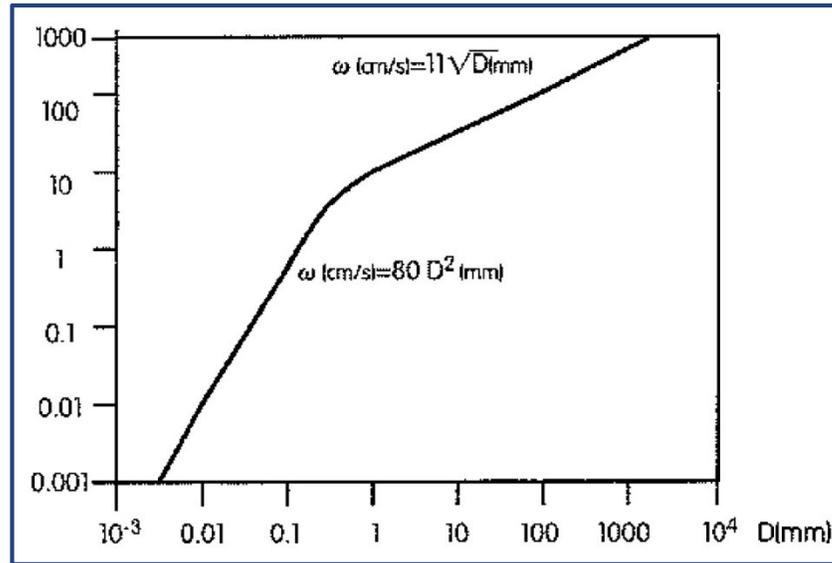
Para arcillas y limos en donde $D < 0.075$ mm, ω es proporcional a D^2 .

Para gravas y materiales mayores en donde $D > 2$ mm, ω es proporcional a \sqrt{D} .

La siguiente figura dada por Martín (2003) “(...) puede usarse para determinar la velocidad de caída, también para el dominio intermedio de las arenas en que ninguna de las dos fuerzas es despreciable frente a la otra.

Debido a su relación directa con el tamaño D , la velocidad de caída ω se usa a menudo en sustitución de D para la caracterización granulométrica de un sedimento” (p.86).

Figura 2. 9: Relación entre la velocidad de caída ω (cm/s) y el tamaño de la partícula (mm).



Fuente: Ingeniería de ríos (Martín, 2003).

La relación entre la velocidad de caída ω con la velocidad de corte de la corriente v^* , es la comparación entre la velocidad con que sedimentaría la partícula y la velocidad representativa de la corriente en el fondo, capaz de arrastrar y poner en suspensión partículas. Haciendo uso del criterio más elemental de la sedimentación podremos indicar si la partícula se sedimenta o no. En donde: si $\omega/v^* > 1$, la partícula se sedimenta; mientras que si $\omega/v^* < 1$, la partícula sigue en suspensión.

Las partículas con un D superior a 0.1 mm tienen un comportamiento granular. Las menores de 0.1 mm desarrollan fuerzas de cohesión, en donde lógicamente la cohesión de las partículas contribuye a la sedimentación, dado que el conjunto tiene una mayor masa y volumen.

Estas fuerzas dependen de la química del agua, por ejemplo, las aguas salinas y duras aumentan estas fuerzas de cohesión. La cohesión de partículas se genera a través del fenómeno llamado floculación, en donde la distancia entre centro y centro de las partículas es del orden de 10^{-4} mm. Sin embargo, las impurezas orgánicas presentes en el agua producen una cohesión de mayor magnitud denominada agregación, en donde intervienen partículas superiores a 0.1 mm de tamaño (Martín, 2003).

2.2.8. Formas de fondo.

La importancia de las formas de fondo del lecho de río, radica en:

- La rugosidad del lecho es determinada por la forma de fondo, pues si cambian las dimensiones de las formas del fondo, el factor de fricción podría variar de 5 a más veces.
- El transporte de sedimentos y las formas de fondo se relacionan entre sí, al variar la rugosidad del lecho se modifica la profundidad y la velocidad de flujo, siendo estas relevantes en el transporte de sedimentos (Basile, 2018).

2.2.8.1. Tipos de formas de fondo

Según el número de Froude las formas de fondo podrían encontrarse como:
Régimen inferior ($F < 0.6 \pm 0.2$, no hay transición brusca)

Lecho plano

Para velocidades por ligeramente por encima de la crítica, es muy posible que el transporte de sedimentos no presente deformación apreciable en el lecho.

Rizos

Siendo la velocidad un poco más elevada que la anterior se comienza a presenciar pequeñas ondulaciones regulares, las cuales se comprueban en lechos con sedimentos menores a 0.6 mm. (Figura 2.10 a)

Dunas

Elevando más la velocidad se dice que la longitud es aproximadamente a $7h$ y la altura es $h/6$ aproximadamente, en donde h es la profundidad media de flujo. Además, se presenta una pendiente suave aguas arriba de la cresta y una pendiente fuerte aguas abajo de la cresta (Figura 2.10 b y c).

Régimen superior ($F > 0.6 \pm 0.2$)

Lecho plano

Incrementando más la velocidad, las dunas son barridas y de una manera gradual van desapareciendo (Figura 2.10 d), como consecuencia el lecho retoma a

su forma plana, pero en este caso con elevadas tasas de transporte de sedimentos (Figura 2.10 e).

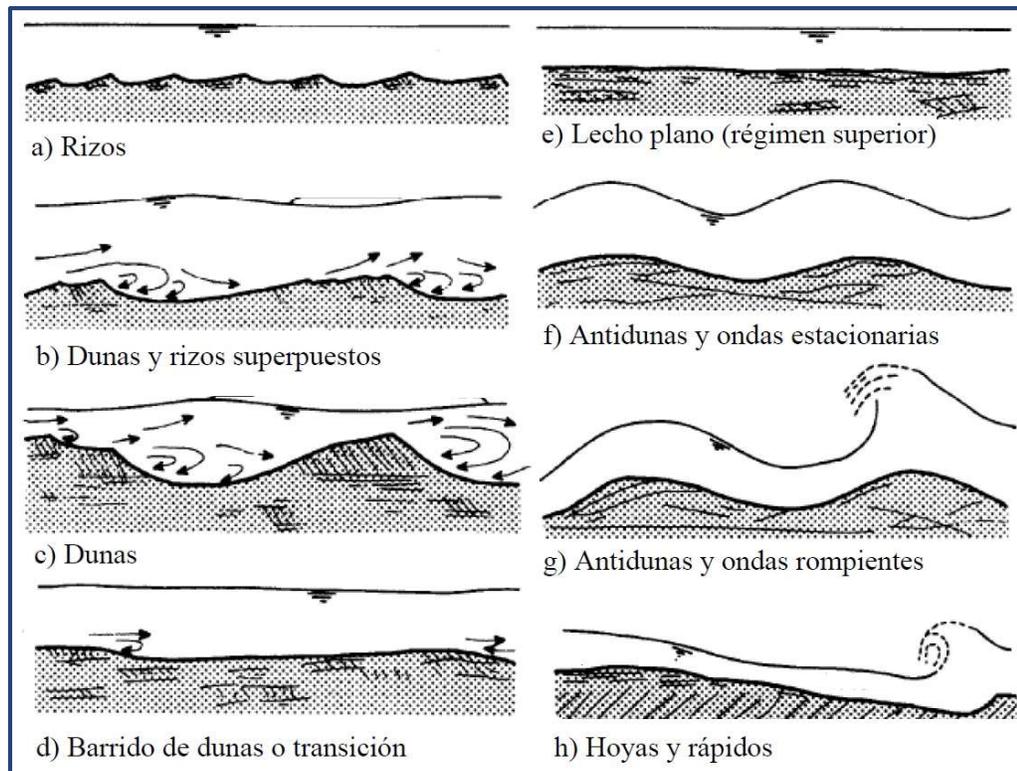
Antidunas

Un mayor incremento de la velocidad, genera que la superficie del agua se torne inestable. La relación de las ondas de superficie y de fondo origina formas de fondo sinusoidales, a las cuales se les denomina antidunas, con longitudes de $2\pi U^2/g$, donde U es la velocidad media de flujo (Figura 2.10 f). Cuando crece la amplitud de las antidunas, pueden generar ondas rompientes en la superficie del agua (Figura 2.10 g).

Hoyas y rápidos

Para velocidades aún mayores se forman hoyas y rápidos, formas propias de los ríos con pendientes fuertes (Figura 2.10 h).

Figura 2. 10: Descripción de formas de fondo en ríos aluviales (Simons y Richardson, 1961) (como se citó en Basile, 2018).



Fuente: Transporte de sedimentos y morfodinámica de ríos aluviales - Abel Basile, P. (2018).

2.2.9. Fuerza tractiva.

Se define como fuerza tractiva a la fuerza que se ejerce sobre el lecho o fondo en un área determinada. Esta fuerza se expresa en la siguiente ecuación.

$$\tau_h = \gamma (y - h) S$$

Donde h es la distancia desde el lecho del río al punto que se desea calcular la fuerza tractiva, el cual varía según la distancia.

Para h=0, la fuerza tractiva asume su valor máximo el cual se expresa con la siguiente ecuación. (Rocha, 1998)

$$\tau_o = \gamma y S$$

2.2.10. Fuerza tractiva crítica.

La fuerza tractiva crítica es la mínima fuerza que se necesita para que las partículas que constituyen el lecho de un río o canal se puedan poner en movimiento. Por lo tanto, para que esto suceda la fuerza tractiva, debe ser mayor a la fuerza tractiva crítica.

$$\tau_o > (\tau_o)_c$$

En el momento de iniciación del movimiento de las partículas se cumple la siguiente relación. (Rocha, 1998)

$$\tau_o = (\tau_o)_c$$

Para la obtención del valor de la fuerza tractiva crítica, varios autores han propuesto ecuaciones las cuales brindan un espectro amplio en cuanto al valor de la fuerza tractiva crítica, las más representativas son las siguientes:

2.2.10.1. *Fórmula de Tiffany et.al.*

Basada en la ecuación de Kramer, Tiffany et al presentaron la siguiente ecuación, la cual resulta ser más representativa.

$$\tau_c = 2.8718 \times 10^{-3} [(\gamma_s - \gamma) D_m / M]^{1/2}$$

Donde:

τ_c : Tensión crítica de Fondo (N/m²)

- γ_s : Peso específico de las partículas (N/m³)
- γ : Peso específico del agua (N/m³)
- D_m : Diámetro medio aritmético de las partículas (mm)
- M : Coeficiente de uniformidad de Kramer

2.2.10.2. *Fórmula de Schoklitsch.*

Usando como referencia la variación del parámetro de Shields (τ_{*C}), Schoklitsch a través de la recolección de varios datos experimentales, propuso la siguiente ecuación.

$$\tau_c = 2.85 \times 10^{-5}(\gamma_s - \gamma)D_m^{1/3}$$

Donde:

- τ_c : Tensión crítica de Fondo (N/m²)
- γ_s : Peso específico de las partículas (N/m³)
- γ : Peso específico del agua (N/m³)
- D_m : Diámetro medio aritmético de las partículas (mm)

2.2.10.3. *Ecuaciones de García Flores.*

En base al diagrama de Lane, García Flores procedió a calcular analíticamente el esfuerzo cortante mediante ecuaciones.

Para Agua Clara:

$$\tau_c = 1.1217 + 0.6520 D_{50} + 0.11D_{50}^2$$

Para Concentración Baja de Sedimentos en el Agua:

$$\tau_c = 2.5532 + 0.2411 D_{50} + 0.1827D_{50}^2$$

Para Concentración Alta de Sedimentos en el Agua:

$$\tau_c = 2.7878 + 0.5776 D_{50} + 0.0999D_{50}^2$$

2.2.10.4. *Fórmula de Meyer - Peter y Muller.*

Meyer – Peter y Muller, propusieron la fórmula más aceptada, la cual se expresa a continuación.

$$\tau_c = 0.047 (\gamma_s - \gamma) D$$

2.2.11. **Hidrología.**

La hidrología es la ciencia que se encarga de estudiar el comportamiento del agua en la Tierra. En la ingeniería la hidrología tiene relación con el diseño de diferentes estructuras hidráulicas, siendo las variables a evaluar caudales máximos, máximas avenidas, etc. (Linsley, Kohler y Paulus, 1977)

2.2.11.1. *Descripción del ámbito en estudio.*

El ámbito en el que se desarrolla el siguiente estudio es la sub cuenca del río Chuquillanqui.

UBICACIÓN:

a) **Geográfica**

Se encuentra entre los paralelos 7°35'12" y 7°23'27" de Latitud Sur y los meridianos 78°41'36" y 78°25'17" de Longitud Oeste

b) **Hidrográfica**

Se encuentra limitada por:

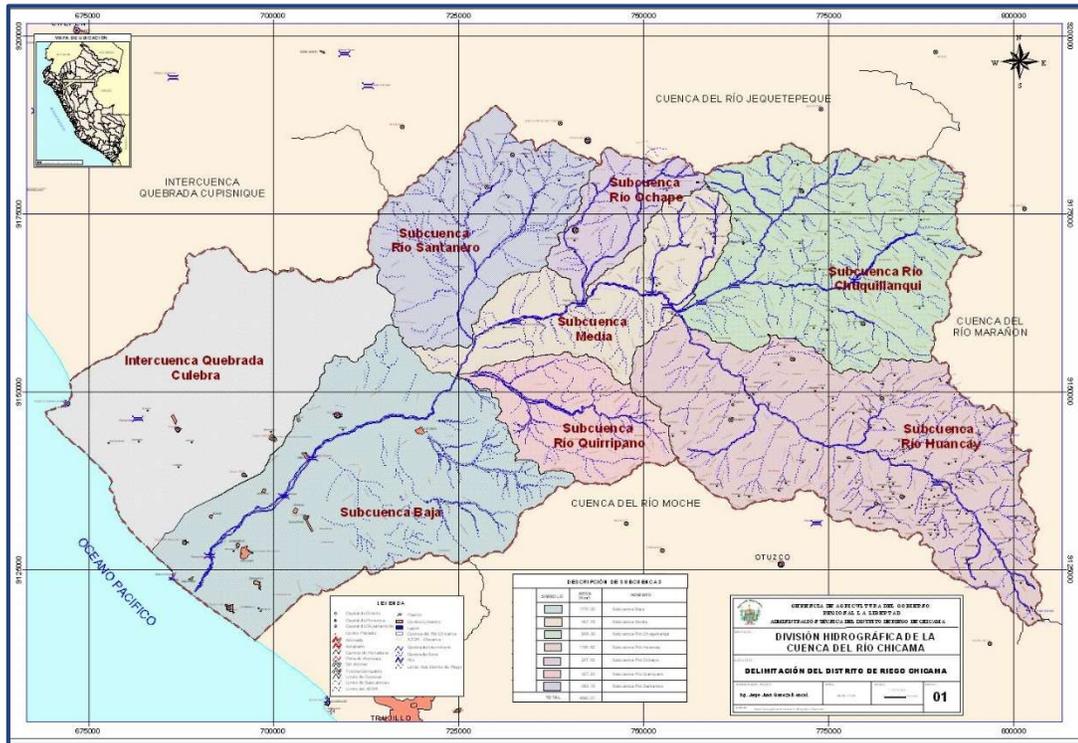
Norte: Cuenca del río Jequetepeque

Este: Cuenca del río Crisnejas

Sur: Sub Cuenca del río Huacaday

Oeste: Sub Cuenca Media del río Chicama

Figura 2. 11: Mapa del ámbito de estudio.



Fuente: Perfil de pre- inversión “Mejoramiento Del Puente Chuquillanqui, Distrito De Lucma, Provincia De Gran Chimú, Región La Libertad

DESCRIPCIÓN DE LA SUB CUENCA DEL RÍO CHUQUILLANQUI:

Esta sub cuenca inicia en el riachuelo Huaycot y continúa por el río San Jorge, hasta confluir con el río Cospán, es en este punto donde toma como nombre río Chuquillanqui. Sus principales afluentes son el río San Jorge y el río Cospán.

Esta cuenca, principalmente, sirve para dar abasto a las zonas agrícolas que rodean a esta. La cuenca se ubica aproximadamente a 706 m.s.n.m. y tiene una extensión de 909.16 Km².

2.2.11.2. Modelo lluvia – escorrentía.

Al realizar cualquier tipo de modelamiento de una cuenca es necesario conocer el flujo de la misma. Este flujo o caudal, depende directamente de los distintos tipos de precipitación que se presenten en la cuenca por lo que para poder obtener los caudales o flujos que se presentan en la cuenca, se utilizan los datos de

precipitaciones, ya que estos son más exactos y fiables en distintas partes del mundo. Una vez obtenidos los datos del pluviómetro se procede a la transformación de estos datos de lluvia en la escorrentía de la cuenca. Para poder realizar esta transformación se usan distintos modelos hidrológicos los cuales nos brindan un hidrograma a partir de estos datos de lluvia, además de los datos físicos de la cuenca en estudio. (Garrido, 2008)

2.2.11.3. Modelación en Hec – HMS.

El modelo HEC-HMS se usa para la simulación de procesos de lluvia – escorrentía en distintas cuencas. Este modelo proporciona una simulación hidrológica sobre el comportamiento de una cuenca, el cual posteriormente nos brinda los resultados los cuales pueden ser vistos en el mapa de la cuenca o pueden ser analizados mediante tablas y gráficos, los cuales pueden ser exportados para poder ser usados en otros programas.

Este software te permite correr tu modelo por un intervalo de tiempo contralado en donde se especifica una fecha y hora de inicio, así como una fecha y hora de finalización en un intervalo de tiempo que el usuario crea conveniente.

Para poder realizar las simulaciones hidrológicas es necesario conocer la modelación de la cuenca que se desea estudiar, así como un modelo meteorológico y las especificaciones de control para la simulación. (US Army Corps of Engineers, 2018)

2.2.12. Modelación hidráulica con Iber.

Iber es un modelo numérico de simulación bidimensional, el cual se puede aplicar a distintos procesos como la hidrodinámica fluvial, simulación de rotura de presas, evaluación de zonas inundables, cálculo de transporte de sedimentos y además el flujo de marea en estuarios.

Este software trabaja mediante la creación de mallas con volúmenes finitos, los cuales son la base de la programación de Iber. Una vez constituidas estas mallas el programa procede a resolver, a través de procesos iterativos, mediante la ecuación

2D shallow Water Equations o ecuaciones de St. Venant. Al término de la iteración, se expresan resultados de velocidad, calado, etc. (Bladé, Ce, Corestein, et.al., 2014)

2.2.12.1. Condiciones de contorno de entrada.

Se asigna el caudal, así como también el contorno por donde hará su ingreso el paso del agua. Es necesario el ingreso de ciertos parámetros en caso el régimen sea subcrítico, crítico, o supercrítico.

2.2.12.2. Condiciones de contorno de salida.

Se debe asignar el contorno por donde desembocará el agua del modelo planteado. Se especificarán parámetros adicionales en caso el régimen sea subcrítico, se ingresará la condición tipo vertedero, un nivel dado o una curva de gasto.

2.2.12.3. Asignación según usos de suelo.

Con la geometría ya creada, se procede a asignar a las superficies los distintos tipos de uso de suelo. Todas las superficies creadas deben de ser asignados con este dato.

2.2.12.4. Asignación según coeficiente de Manning.

Así como las superficies presentan distintos usos de suelo, es necesario tener en cuenta la variación de rugosidad de Manning, dependiendo el tipo de suelo.

2.2.12.5. Mallado.

El correcto mallado de un modelo en el programa Iber es fundamental para la obtención de buenos resultados. Ya que a través del tamaño de éstas se puede lograr que los resultados sean más exactos.

2.3. Definiciones conceptuales

- Aluvial: Que se ha formado a partir de materiales arrastrados y depositados por corrientes de agua.
- Agradación: Tendencia a la igualación de niveles (sedimentación).
- Conducto divergente: conducto en el cual conforme se va extendiendo, se va separando.
- Degradación: Tendencia a la disminución de niveles (erosión, socavación).
- Escorrentía: Agua o líquido en general que circula sobre una superficie de un terreno.
- Flujo circundante: Flujo que recorre a los alrededores.
- Hidrodinámica: Parte de la dinámica que estudia el movimiento de los líquidos en relación con las causas que lo originan.
- Hidrograma: Gráfico el cual muestra la variación del tiempo sobre alguna información hidrológica ya sea nivel de agua, caudal, sedimentos, entre otros.
- Hietograma: Gráfico el cual muestra las variaciones de altura de la precipitación pluvial versus el tiempo. Este diagrama nos permite cuantificar la lluvia según su duración.
- Isocinético: De movimiento y/o velocidad constante.
- Modelo morfodinámico: modelo que describe la evolución en el tiempo de un sistema físico en relación con los motivos o causas que provocan los cambios de estado físico y/o estado de movimiento.
- Precipitación: Cualquier forma de hidrometeoro que cae de la atmósfera a la superficie terrestre, ya sea lluvia, llovizna, nieve, neblina, granizo, etc.

- Turbulencia: Movimiento desordenado de un fluido en el cual las moléculas, en vez de seguir trayectorias paralelas, describen trayectorias irregulares.

2.4. Hipótesis

El puente Chuquillanqui y el terraplén de acceso están influenciando en la sedimentación del cauce del río aguas arriba y aguas abajo del puente Chuquillanqui, y la condición de borde aguas abajo del puente no tiene influencia sobre la sedimentación ya que de una estimación previa del perfil longitudinal se aprecia que el río en este tramo tiene una pendiente fuerte en promedio 1.8%, lo que generaría un régimen supercrítico donde la condición de borde en estos casos se da aguas arriba.

2.5. Variables dependientes e independientes

2.5.1. Variable independiente.

- Caudal
- Pendiente del río
- Ancho del río
- Coeficiente de rugosidad.
- Dimensiones del puente y terraplén.

2.5.2. Variable dependiente.

- Sedimentación del río en el tramo puente Chuquillanqui.

Capítulo 3 : METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de investigación, enfoque y alcance o nivel

3.1.1. Nivel de Investigación.

Investigación Descriptiva

3.1.2. Diseño de la investigación.

Investigación de Campo, se recopilaban antecedentes de la zona de estudio para poder desarrollar un proyecto óptimo, posteriormente se realizó visitas al área de estudio y se realizó el levantamiento topográfico y el estudio de mecánica de suelos.

3.2. Población y muestra

3.2.1. Población.

Se consideró el cauce del río Chuquillanqui en toda su longitud, siendo esta de 10.221 km.

3.2.2. Muestra.

La muestra que se tomó es de 1.500 km, siendo 0.800 km aguas abajo y 0.700 km aguas arriba del puente Chuquillanqui.

3.3. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

- Se realizó una visita técnica a la zona de estudio para observar, y de esta manera se pudo describir la situación actual.
- Se realizó el modelo digital de terreno por medio de dos procesos:
 - Por medio de fotogrametría con un dron DJ PHANTOM 3, el cual fue enlazado con las cotas reales mediante un levantamiento de puntos específicos con una estación total.

El levantamiento se realizó 800 metros aguas abajo ya que se ha identificado una sección estable del río donde no se presentó erosión lateral, y 700 metros aguas arriba porque de igual forma el río mantiene su ancho estable, ambas longitudes fueron lo suficientemente largas para no influenciar sobre las variables hidrodinámicas en la zona de emplazamiento del puente.

Luego de obtener los datos de campo se procesó la información por medio del software Arc Gis 10.2 y se elaboró el ráster del modelo digital de terreno.

- Extrajimos 8 muestras de suelos, por medio de pozos de exploración o calicatas, para el ensayo de granulometría que nos permitió conocer los diámetros correspondientes al 50%, 85% y 95% del porcentaje retenido, que fueron útiles para la aplicación de fórmulas de transporte de sedimentos.
- Ingresamos los datos del cauce de río en el programa Hydroiila, el cual nos proporcionó datos pluviométricos que fueron exportados posteriormente al HEC-HMS en donde obtuvimos los hidrogramas para los periodos de retorno de 5, 10, 25, 50 y 100 años.
- Calculamos la tensión de fondo que tiene el río y determinamos la capacidad de transporte de la corriente.
- Realizamos la simulación hidráulica de las condiciones actuales del río, mediante el software IBER considerando los valores de rugosidad, condiciones de entrada y salida, y demás restricciones que exige el modelo.
- Modelamos diferentes escenarios del comportamiento del río retirando el puente y el terraplén e identificamos la variabilidad de las características hidrodinámicas del río, cambiando los caudales.

3.4. Técnicas para el procesamiento y análisis de la información

Para procesar y analizar la información obtenida en la recolección de datos se usó los siguientes programas:

- **Microsoft Word 2013:** Se usó para la redacción del informe de la investigación.
- **Microsoft Excel 2013:** Se usó para la creación de hojas de cálculo.
- **Auto CAD Civil 3D 2018:** Se usó para importar los puntos obtenidos en campo y de esta manera elaborar el plano de curvas de nivel.
- **Arc GIS 10.2:** Se usó para obtener el modelo digital de elevación y para su posterior exportación al software IBER.
- **HydroIIIA:** Se usó para poder obtener los hietogramas para periodos de retorno de 5, 10, 25, 50 y 100 años.
- **HEC HMS:** Se usó para poder generar los hidrogramas que serán ingresados los modelos creados en el software IBER.
- **IBER 2.4:** Se usó en la elaboración del modelo bidimensional, para determinar el comportamiento hidrodinámico y del transporte de sedimentos.

Capítulo 4 : ESTUDIOS BÁSICOS DE INGENIERÍA

4.1. Levantamiento Topográfico

El levantamiento topográfico de la zona en estudio ha consistido en el levantamiento planimétrico y altimétrico en una longitud total de 1.50 Km, así como también el seccionamiento transversal del río.

Este levantamiento se desarrolló en 2 partes; el primer levantamiento se realizó con un dron DJ PHANTOM 3, y el segundo levantamiento se realizó con una estación total NIKON DTM 332.

Para poder tener puntos de control de ambas topografías es que antes de empezar el vuelo con dron se trazaron con cal: 4 puntos de control aguas abajo y 4 puntos de control aguas arriba.

4.1.1. Levantamiento con dron DJI PHANTOM 3.

El levantamiento topográfico se realizó mediante vuelos programados, en donde se logró cubrir toda el área requerida, dicha programación se hace mediante el software Map pilot que es compatible con una iPad, este programa lo que hace es tomar varias fotos, desde una altura de 65.00m que se consideró para evitar pérdida de resolución debido a neblina u otros obstáculos que se presentan a mayor altura, así como también para no perder resolución en la imagen.

Las fotos obtenidas por el dron se procesan con el programa Arcgi soft photo scam, y se obtiene una ortofoto. Posteriormente esta ortofoto genera millones de puntos, a través de la herramienta Last Data Set que es proporcionada por Arc Gis, cada uno de estos puntos tiene la información del relieve.

Figura 4. 1: Área para el levantamiento con dron.



Fuente: Google Earth.

Figura 4. 2: Ortofoto obtenida con el Arcgi Soft Photo.



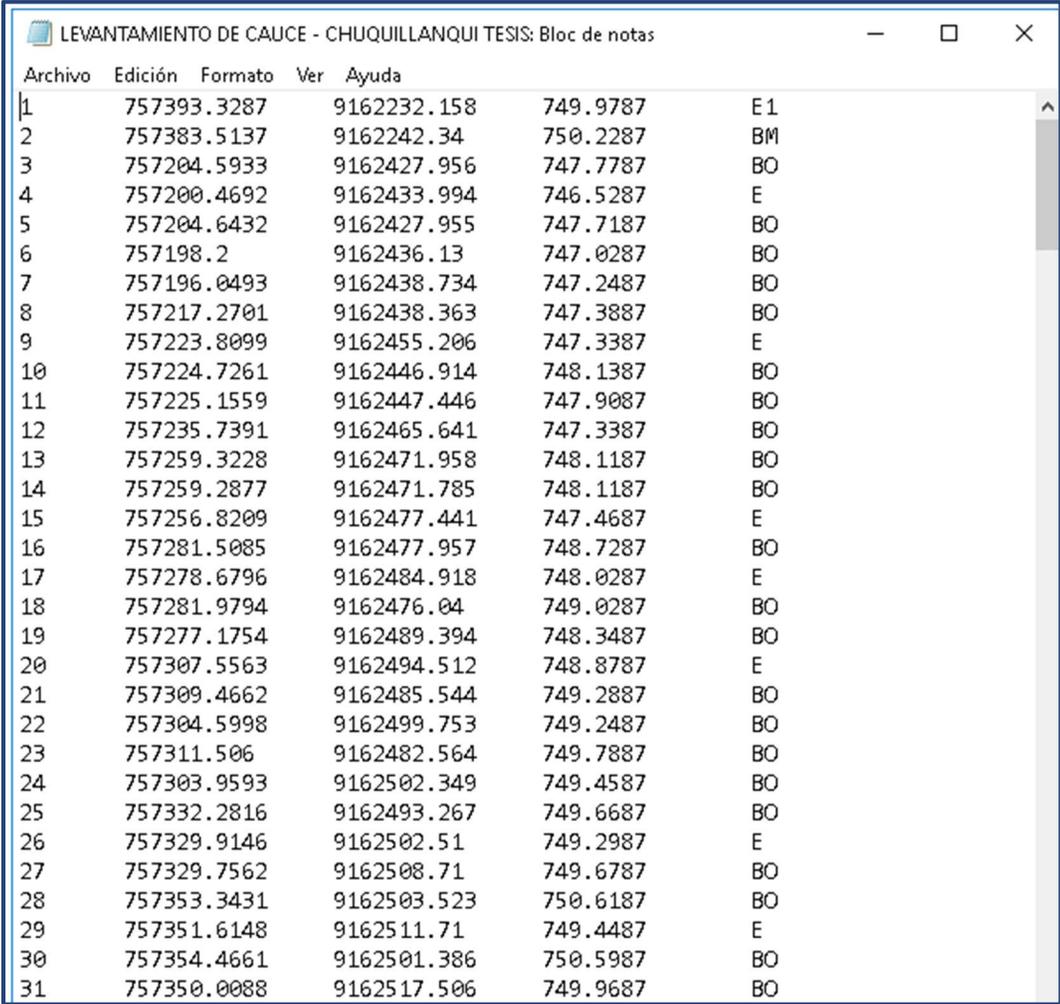
Fuente: Propia

4.1.2. Levantamiento con estación total NIKON DTM 332.

El levantamiento realizado con la estación total fue exclusivamente del cauce principal, con el objetivo de obtener la batimetría, para este levantamiento topográfico se tuvo el requerimiento de 02 prismeros y 01 topógrafo. En el levantamiento se obtuvo entre 3 y 5 puntos por sección, siendo la separación entre sección y sección una distancia de 20.00 m y en curvas la separación es de 10.00 m.

Se realizaron 04 estaciones para poder abarcar el área de estudio, los puntos obtenidos fueron grabados en un block de notas (.txt), para posteriormente importarlo al Civil 3D.

Figura 4. 3: Coordenadas obtenidas de la estación total

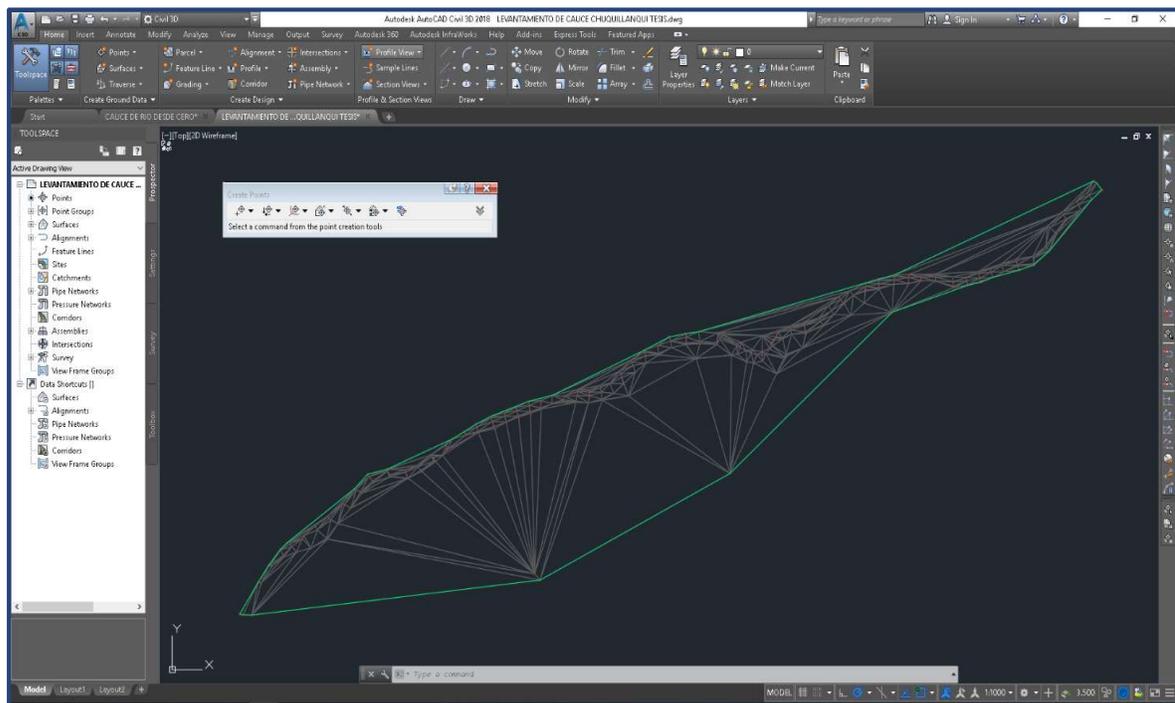


Archivo	Edición	Formato	Ver	Ayuda	
1	757393.3287	9162232.158	749.9787	E1	
2	757383.5137	9162242.34	750.2287	BM	
3	757204.5933	9162427.956	747.7787	BO	
4	757200.4692	9162433.994	746.5287	E	
5	757204.6432	9162427.955	747.7187	BO	
6	757198.2	9162436.13	747.0287	BO	
7	757196.0493	9162438.734	747.2487	BO	
8	757217.2701	9162438.363	747.3887	BO	
9	757223.8099	9162455.206	747.3387	E	
10	757224.7261	9162446.914	748.1387	BO	
11	757225.1559	9162447.446	747.9087	BO	
12	757235.7391	9162465.641	747.3387	BO	
13	757259.3228	9162471.958	748.1187	BO	
14	757259.2877	9162471.785	748.1187	BO	
15	757256.8209	9162477.441	747.4687	E	
16	757281.5085	9162477.957	748.7287	BO	
17	757278.6796	9162484.918	748.0287	E	
18	757281.9794	9162476.04	749.0287	BO	
19	757277.1754	9162489.394	748.3487	BO	
20	757307.5563	9162494.512	748.8787	E	
21	757309.4662	9162485.544	749.2887	BO	
22	757304.5998	9162499.753	749.2487	BO	
23	757311.506	9162482.564	749.7887	BO	
24	757303.9593	9162502.349	749.4587	BO	
25	757332.2816	9162493.267	749.6687	BO	
26	757329.9146	9162502.51	749.2987	E	
27	757329.7562	9162508.71	749.6787	BO	
28	757353.3431	9162503.523	750.6187	BO	
29	757351.6148	9162511.71	749.4487	E	
30	757354.4661	9162501.386	750.5987	BO	
31	757350.0088	9162517.506	749.9687	BO	

Fuente: Propia

En el software Civil 3D se procede a georreferenciar la ubicación del levantamiento realizado, que es UTM-WGS 1984 datum, Zone 17 South, Meter; Cent. Meridian 81d W, posteriormente se procede a importar al Civil 3d los puntos del block de notas y se procederá a crear la superficie.

Figura 4. 4: Triangulación en Civil 3D

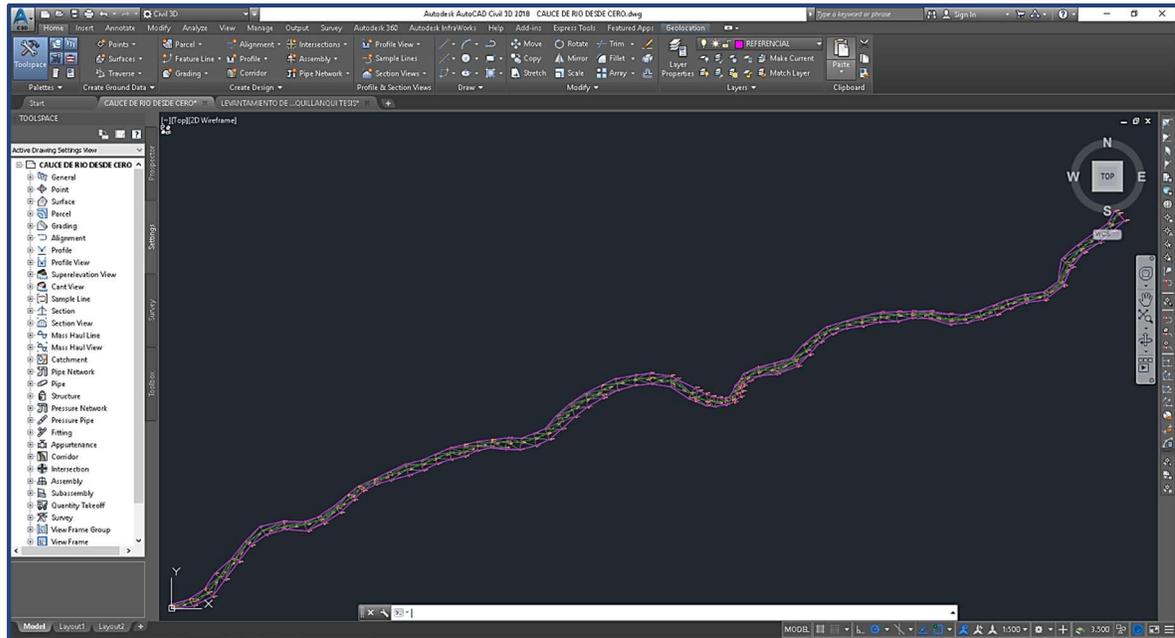


Fuente: Propia

La superficie que se crea es una malla estructurada compuesta por triángulos, este método es conocido como triangulación, en donde cada vértice de cada triángulo tiene una cota (elevación) y se van generando planos con cada uno de estos vértices, representando de esta manera el relieve del terreno.

Como el software interpola todos los puntos que se han importado es necesario editar la superficie, para dejar solo la superficie del cauce principal del río y excluir puntos de control, quedando la superficie como se muestra a continuación:

Figura 4. 5: Superficie del cauce principal del río

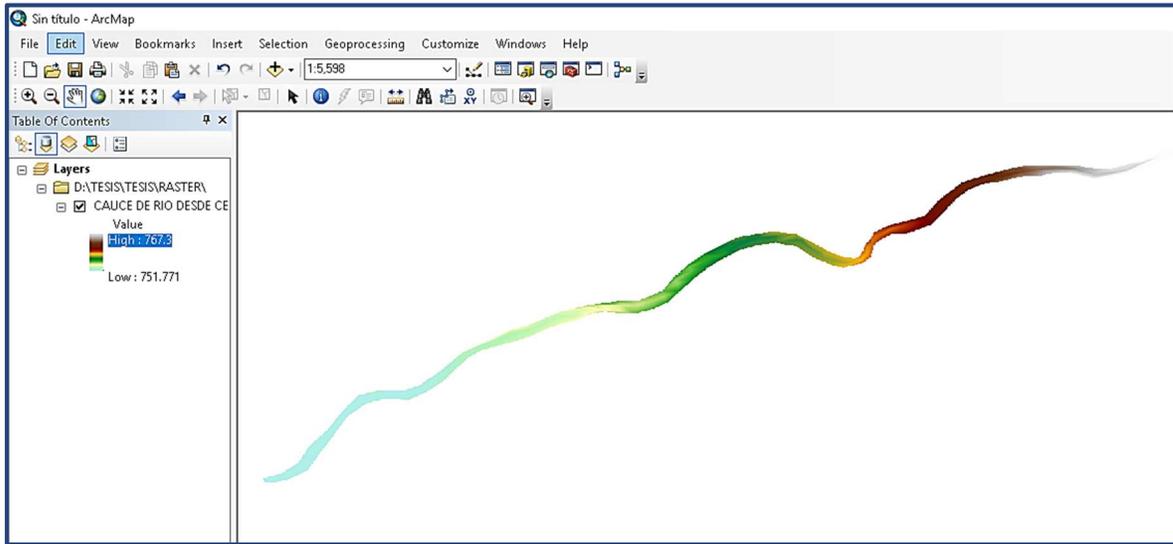


Fuente: Propia

4.1.3. Trabajo de gabinete

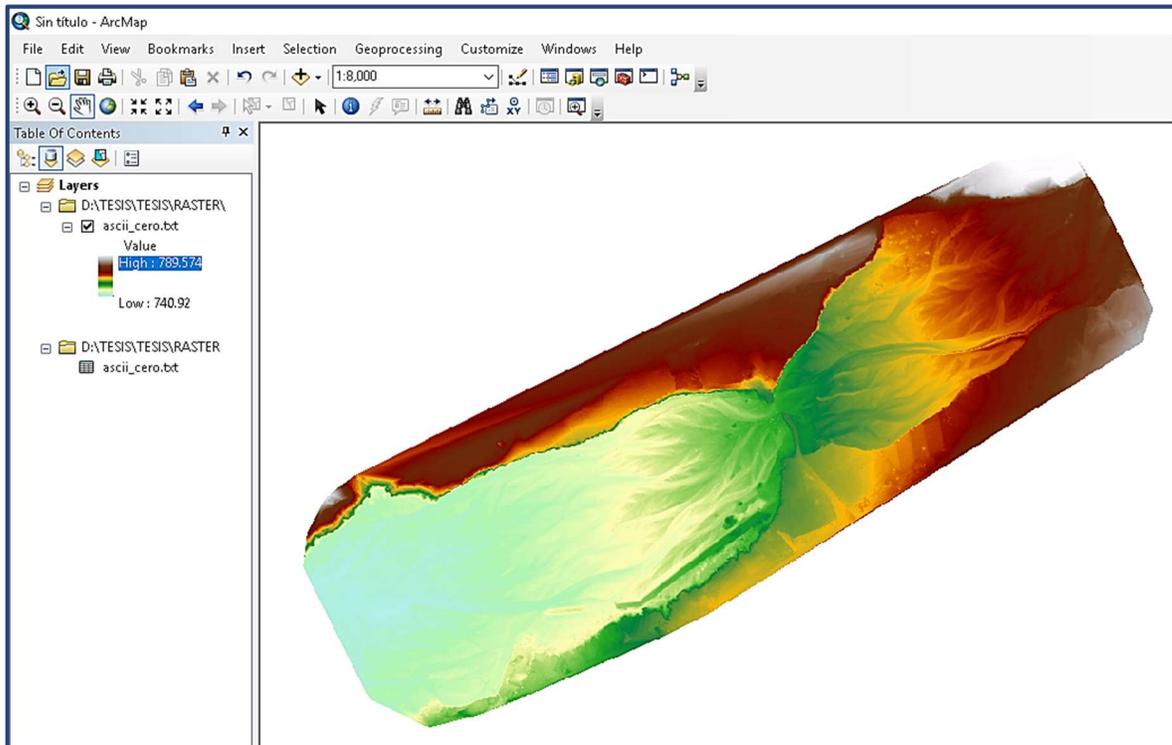
Como la topografía obtenida por el dron del cauce principal se verá plana, debido a que el dron lee el espejo de agua como una superficie plana es que procedemos a fusionar la topografía del dron con la de la estación total; este procedimiento de operaciones entre ráster se realizó haciendo uso del ArcToolbox, que es propia del Arc Gis. De esta manera se pudo fusionar las dos topografías, logrando insertar la batimetría en el levantamiento realizado por el dron, para una apreciación muy cercana a la real del recorrido del cauce.

Figura 4. 6: Ráster del cauce principal



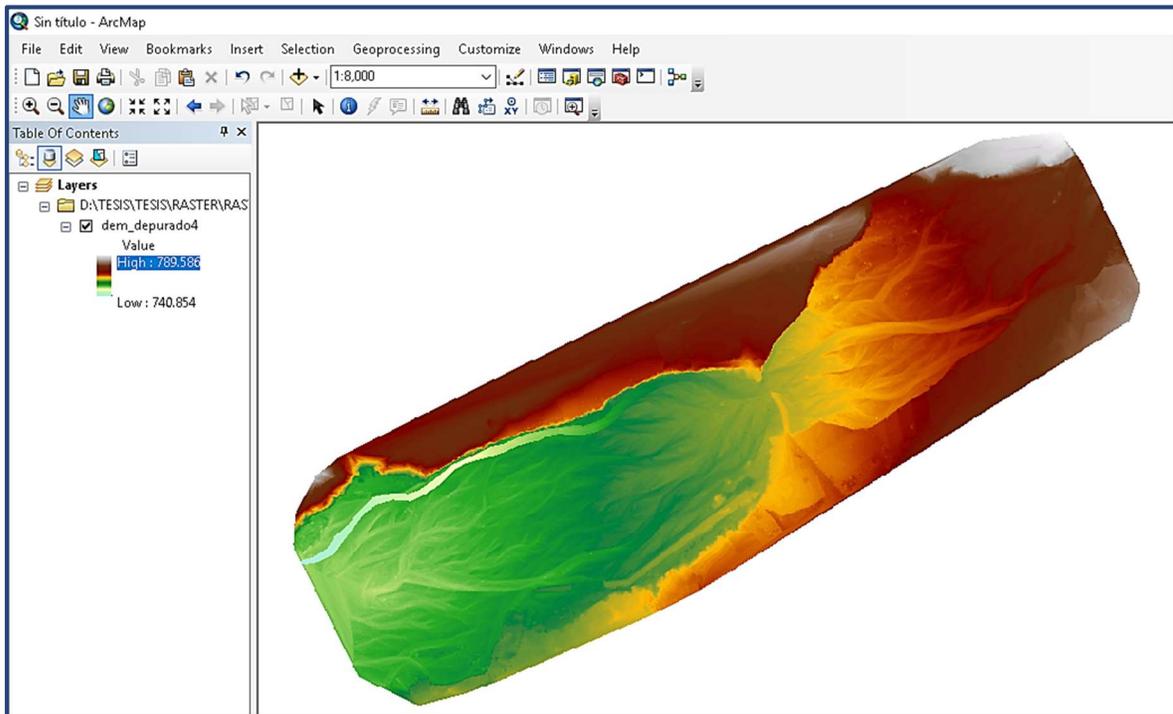
Fuente: Propia

Figura 4. 7: Ráster del área de estudio levantado con el dron



Fuente: Propia

Figura 4. 8: Ráster del cauce principal y levantamiento del dron unidos

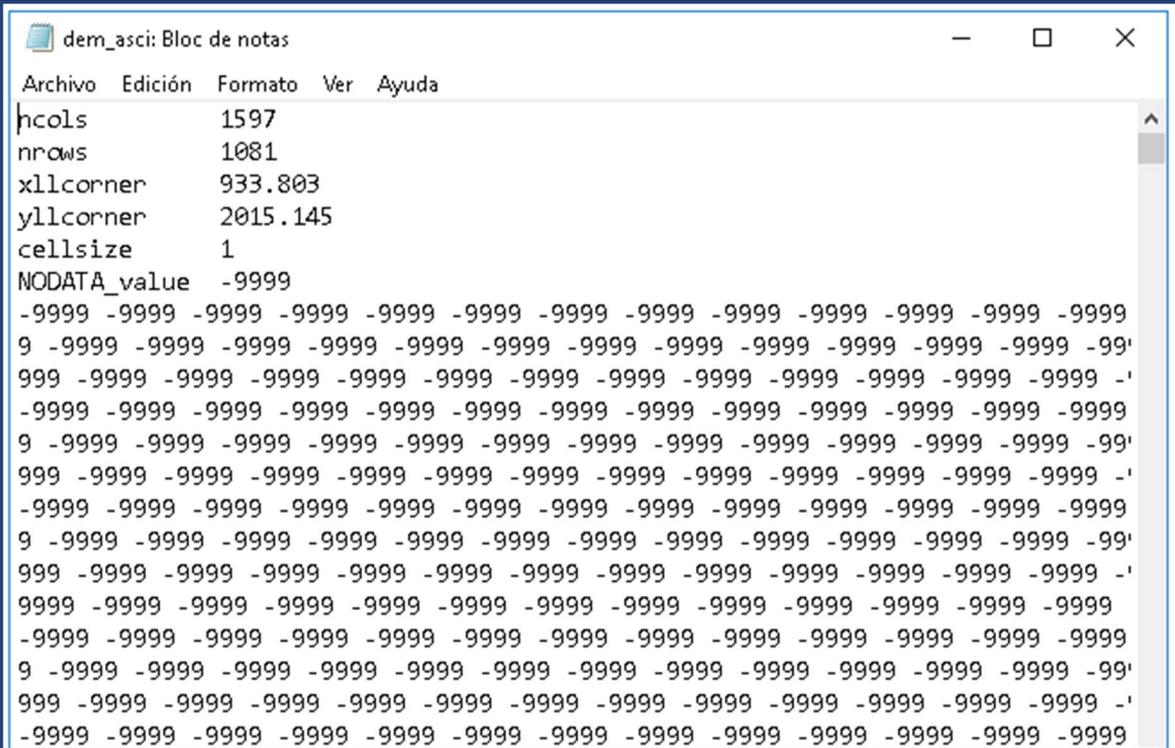


Fuente: Propia

Una vez obtenido el raster fusionado de ambos levantamientos se procede a hacer la conversión RASTER to ASCII, siendo la extensión de este último txt. Por lo tanto, este archivo txt es el modelo digital de elevación con el que procederemos a modelar en el software IBER.

Los niveles topográficos de la zona de estudio varían entre la cota: 775 m.s.n.m. (inicio) y 749 m.s.n.m. (fin). La pendiente promedio desde la progresiva 0+000, hasta la progresiva 0+805 es de 2.035%, la pendiente desde la progresiva 0+805 hasta la progresiva 1+500 es 0.830 %.

Figura 4. 9: ASCII del modelo digital de elevación



```
dem_ascii: Bloc de notas
Archivo Edición Formato Ver Ayuda
ncols      1597
nrows      1081
xllcorner  933.803
yllcorner  2015.145
cellsize   1
NODATA_value -9999
-9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999
9 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999
999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999
-9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999
9 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999
999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999
-9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999
9 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999
999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999
-9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999
9 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999
999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999
-9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999
```

Fuente: Propia

4.2. Estudio de Mecánica de Suelos

4.2.1. Análisis Granulométrico

Determinar la distribución granulométrica de un lecho de río es complejo, sin embargo, para el estudio de transporte de sedimentos es necesario saber la composición granulométrica de un lecho de río por lo tanto constituye un dato de gran importancia en nuestra investigación, pues uno de los datos de entrada en las simulaciones hidráulicas que se harán en el software IBER es el D_{50} .

Nuestro estudio ha sido realizado por medio del Análisis granulométrico por tamizado de muestras volumétricas, siendo el muestreo volumétrico el método más completo (Vide, 2003), pues el material del lecho está compuesto por gravas y arenas, siendo las gravas el mayor porcentaje.

En nuestro estudio se realizaron 08 calicatas, según la siguiente distribución:

- 02 Aguas arriba margen derecho
- 02 Aguas arriba margen izquierdo
- 02 Aguas abajo margen derecho
- 02 Aguas abajo margen izquierdo

Para un mejor manejo de la data obtenida se dio una nomenclatura la cual se especifica en el siguiente cuadro:

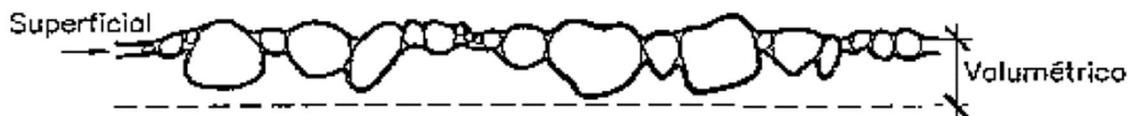
Tabla 4. 1: Comparación intuitiva entre muestra superficial y volumétrica.

MARGEN	AGUAS ABAJO		AGUAS ARRIBA	
	DERECHO	IZQUIERDO	DERECHO	IZQUIERDO
PUENTE	2A	1A	4A	3A
EXTREMO	2B	1B	4B	3B

Fuente: Propia

Esta misma nomenclatura se usará para la localización de las calicatas en el plano adjunto en los anexos.

Para la extracción de estas muestras se requirió un peón, quien procedió a extraer del cauce fuera del agua circulante en esa época, un cierto volumen del material subsuperficial.



Para que el volumen tomado sea considerado representativo del material granular del cauce, debe usarse el criterio de que la mayor partícula extraída no represente más del 1% en peso de toda la muestra (Vide, 2003)

En nuestro estudio la mayor partícula extraída tiene un peso de 9.257 Kg., la cual pertenece a la calicata 1A, haciendo uso del criterio mencionado anteriormente tenemos:

$$\text{Peso de la mayor partícula extraída} = 9.257 \text{ Kg.}$$

$$1\% \text{ del total de la muestra} = 26.543 \text{ Kg}$$

Por lo tanto, se cumple que la mayor partícula extraída no representa más del 1% en peso de toda la muestra.

También es necesario cumplir unas relaciones de peso mínimo de la muestra volumétrica en función de d_{\max} (m) (Basile, 2018).

Tabla 4. 2: Ecuaciones para el peso mínimo de muestra volumétrica

Ecuación	Autor	Observaciones
$m_s = 2069d_{\max}^{-6.7}$	ASTM D75-71	$d_{\max} > 3.2 \text{ mm}$
$m_s = 2596d_{\max}^{1.5}$	ASTM C136-71	

Fuente: Transporte de sedimentos y morfodinámica de ríos aluviales - Abel Basile, P. (2018).

Aplicando la fórmula de ASTM D75-71 tenemos:

$$m_s = 2069 \times 0.23^{-6.7}$$

$$m_s = 469.17 \text{ Kg.}$$

Aplicando la fórmula de ASTM C136-71 tenemos:

$$m_s = 2596 \times 0.23^{1.5}$$

$$m_s = 286.35 \text{ Kg.}$$

El peso total de la muestra extraída en campo es 2,654.28 Kg., siendo esta mayor que las cantidades mínimas que nos indica la ASTM D75-71 y ASTM C136-71, que son 469.17 Kg y 286.35 Kg, por lo tanto, se cumple con los parámetros indicados por la literatura.

Para empezar el análisis granulométrico por tamizado (ASTM D422 MTC E107 – MTC E204 – ASTM C136) ha sido necesario colocar toda la muestra en el horno

a una temperatura de 110 ± 5 °C, para eliminar el contenido de agua que presentaba. Es preciso mencionar que en nuestra investigación no se ha realizado el cuarteo de la muestra por lo que se está procesando absolutamente toda la muestra extraída.

Una vez que las muestras se han extraído del horno se ha procedido a tamizar usando los tamices GILSON COMPANY INC, de la U.S.STD (United States Standard Sieves), adoptada por la ASTM y especificada en ASTM E-11.

La serie de tamices usados son los que se indican en la tabla que se muestra a continuación:

Tabla 4. 3: Serie de tamices de agregado grueso.

TAMIZ	AASHTO T-27 (mm)
10''	254.000
6''	152.400
5''	127.000
4''	101.600
3''	76.200
2 ½''	60.350
2''	50.800
1 ½''	38.100
1''	25.400
¾''	19.000
½''	12.500
3/8''	9.500
¼''	6.350

Fuente: Propia

Tabla 4. 4: Serie de tamices para agregado fino.

TAMIZ	AASHTO T-27 (mm)
N° 4	4.750
N° 8	2.360
N° 10	2.000
N° 16	1.190
N° 20	0.840
N° 30	0.600
N° 40	0.425
N° 50	0.300
N° 80	0.177
N° 100	0.150
N° 200	0.075

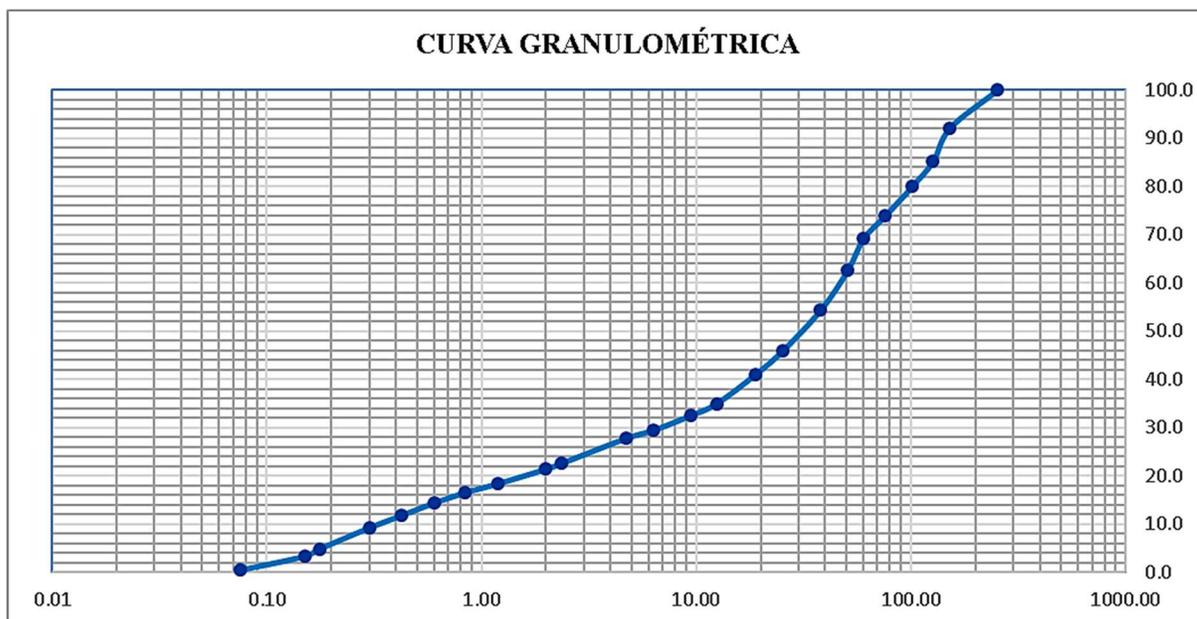
Fuente: Propia

Se procede a tamizar toda la muestra extraída, pues no se ha realizado cuarteo por criterio de los investigadores, este procedimiento se realizó con ayuda de la tamizadora del laboratorio, de todas maneras, ha sido necesario agitar cada tamiz de una manera manual, pues quedaba un pequeño porcentaje retenido en la malla que no le corresponde.

Después de realizar el tamizado de toda la muestra se procesaron los datos en gabinete y se obtuvieron los siguientes resultados:

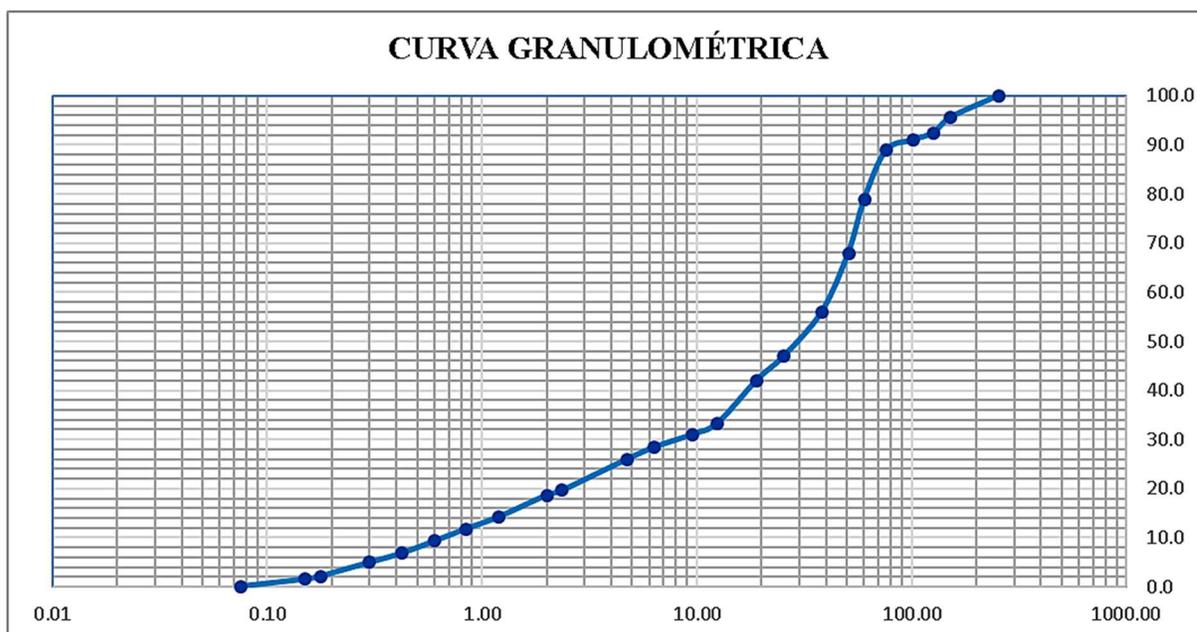
4.2.1.1. *Muestra 1A.*

TAMIZ	AASHTO T-27 (mm)	PESO RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO	RETENIDO ACUMULADO	PORCENTAJE QUE PASA
10"	254.000				100.0
6"	152.400	26346.7	7.8	7.8	92.2
5"	127.000	23407.5	7.0	14.8	85.2
4"	101.600	17340.0	5.2	20.0	80.0
3"	76.200	20433.7	6.1	26.1	73.9
2 1/2"	60.350	15817.6	4.7	30.8	69.2
2"	50.800	22441.3	6.7	37.5	62.5
1 1/2"	38.100	27414.7	8.2	45.6	54.4
1"	25.400	28213.2	8.4	54.0	46.0
3/4"	19.000	16467.6	4.9	58.9	41.1
1/2"	12.500	20450.9	6.1	65.0	35.0
3/8"	9.500	8230.2	2.5	67.5	32.5
1/4"	6.350	10317.8	3.1	70.6	29.4
Nº 4	4.750	5564.2	1.7	72.2	27.8
Nº 8	2.360	17606.3	5.2	77.5	22.5
Nº 10	2.000	3939.1	1.2	78.6	21.4
Nº 16	1.190	10215.2	3.0	81.7	18.3
Nº 20	0.840	6173.1	1.8	83.5	16.5
Nº 30	0.600	7320.9	2.2	85.7	14.3
Nº 40	0.425	8539.6	2.5	88.2	11.8
Nº 50	0.300	8726.3	2.6	90.8	9.2
Nº 80	0.177	14563.5	4.3	95.2	4.8
Nº 100	0.150	5211.4	1.6	96.7	3.3
Nº 200	0.075	9680.2	2.9	99.6	0.4
< Nº 200	FONDO	449.9	0.1	99.7	0.3



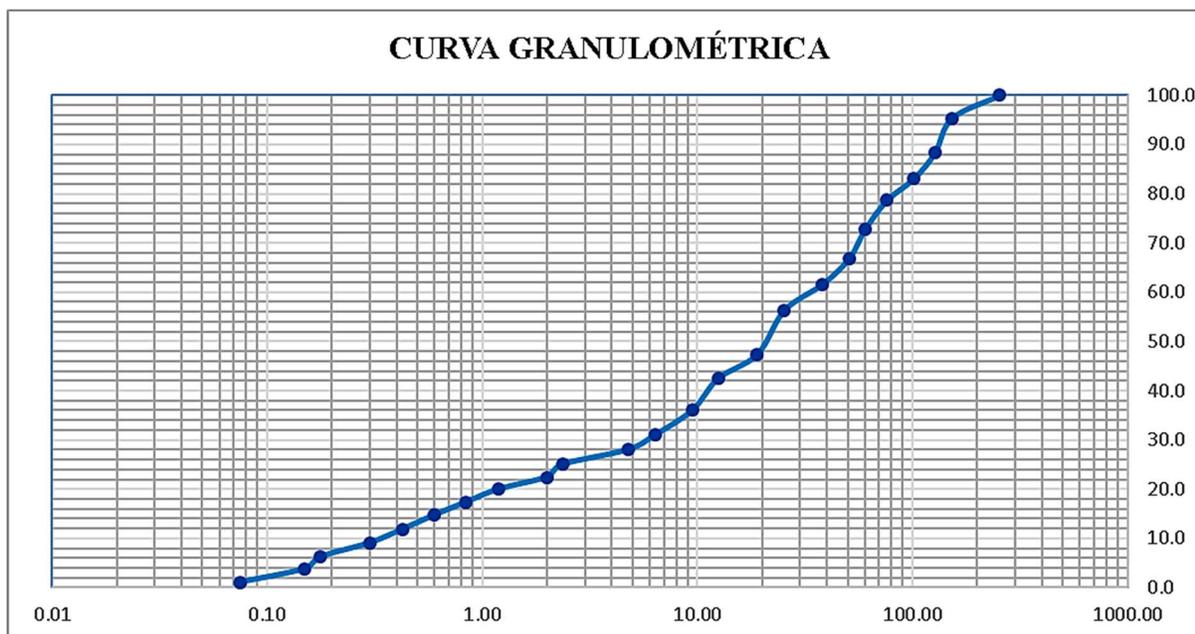
4.2.1.2. *Muestra 1B.*

TAMIZ	AASHTO T-27 (mm)	PESO RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO	RETENIDO ACUMULADO	PORCENTAJE QUE PASA
10"	254.000				100.0
6"	152.400	13789.1	4.4	4.4	95.6
5"	127.000	9788.5	3.1	7.5	92.5
4"	101.600	4789.4	1.5	9.0	91.0
3"	76.200	6604.2	2.1	11.1	88.9
2 1/2"	60.350	31054.5	9.9	21.0	79.0
2"	50.800	34579.5	11.0	32.0	68.0
1 1/2"	38.100	37942.1	12.1	44.1	55.9
1"	25.400	28107.1	8.9	53.0	47.0
3/4"	19.000	15384.1	4.9	57.9	42.1
1/2"	12.500	27373.1	8.7	66.7	33.3
3/8"	9.500	7340.8	2.3	69.0	31.0
1/4"	6.350	8111.1	2.6	71.6	28.4
Nº 4	4.750	7648.3	2.4	74.0	26.0
Nº 8	2.360	19987.1	6.4	80.4	19.6
Nº 10	2.000	3087.5	1.0	81.4	18.6
Nº 16	1.190	14014.9	4.5	85.8	14.2
Nº 20	0.840	7567.4	2.4	88.2	11.8
Nº 30	0.600	7769.7	2.5	90.7	9.3
Nº 40	0.425	7643.7	2.4	93.1	6.9
Nº 50	0.300	5957.7	1.9	95.0	5.0
Nº 80	0.177	8818.8	2.8	97.8	2.2
Nº 100	0.150	1863.6	0.6	98.4	1.6
Nº 200	0.075	4661.7	1.5	99.9	0.1
< Nº 200	FONDO	88.4	0.0	99.9	0.1



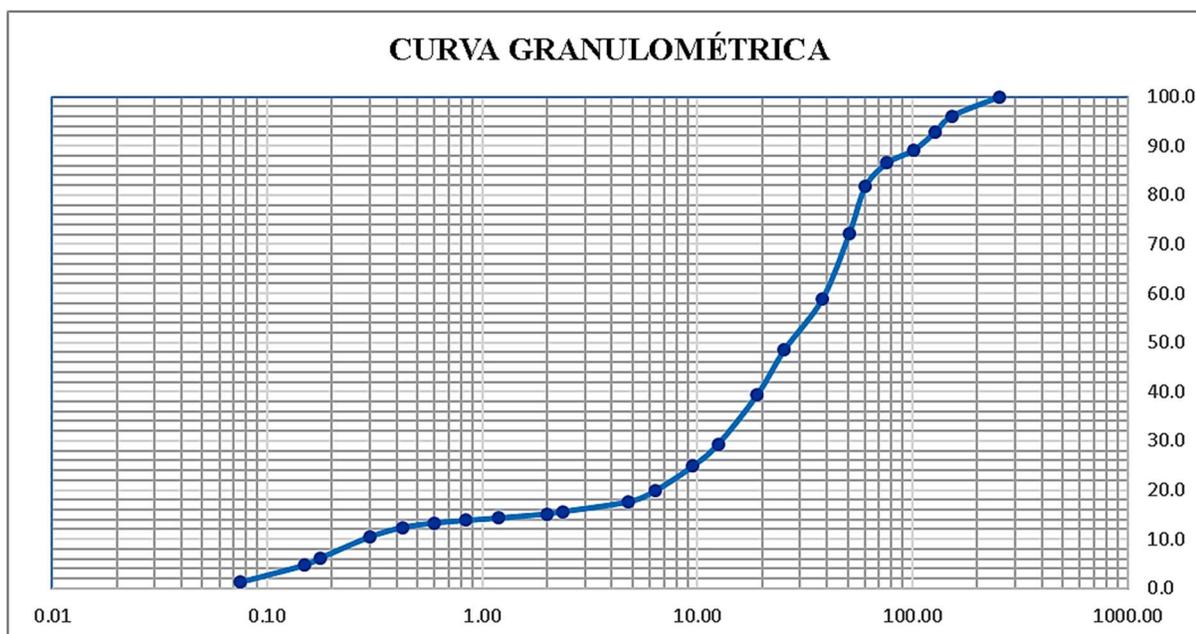
4.2.1.3. Muestra 2A.

TAMIZ	AASHTO T-27 (mm)	PESO RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO	RETENIDO ACUMULADO	PORCENTAJE QUE PASA
10"	254.000				100.0
6"	152.400	15860.7	4.7	4.7	95.3
5"	127.000	23891.5	7.0	11.7	88.3
4"	101.600	17807.4	5.2	16.9	83.1
3"	76.200	15089.4	4.4	21.3	78.7
2 1/2"	60.350	19851.2	5.8	27.1	72.9
2"	50.800	20504.7	6.0	33.2	66.8
1 1/2"	38.100	17957.9	5.3	38.4	61.6
1"	25.400	17871.7	5.2	43.7	56.3
3/4"	19.000	30590.5	9.0	52.7	47.3
1/2"	12.500	16608.1	4.9	57.5	42.5
3/8"	9.500	21839.3	6.4	63.9	36.1
1/4"	6.350	17291.1	5.1	69.0	31.0
Nº 4	4.750	10158.9	3.0	72.0	28.0
Nº 8	2.360	10133.9	3.0	75.0	25.0
Nº 10	2.000	8740.9	2.6	77.5	22.5
Nº 16	1.190	8517.5	2.5	80.0	20.0
Nº 20	0.840	8955.9	2.6	82.7	17.3
Nº 30	0.600	8887.2	2.6	85.3	14.7
Nº 40	0.425	9937.5	2.9	88.2	11.8
Nº 50	0.300	9407.1	2.8	90.9	9.1
Nº 80	0.177	9676.2	2.8	93.8	6.2
Nº 100	0.150	8222.6	2.4	96.2	3.8
Nº 200	0.075	9391.7	2.8	99.0	1.0
< Nº 200	FONDO	133.4	0.0	99.0	1.0



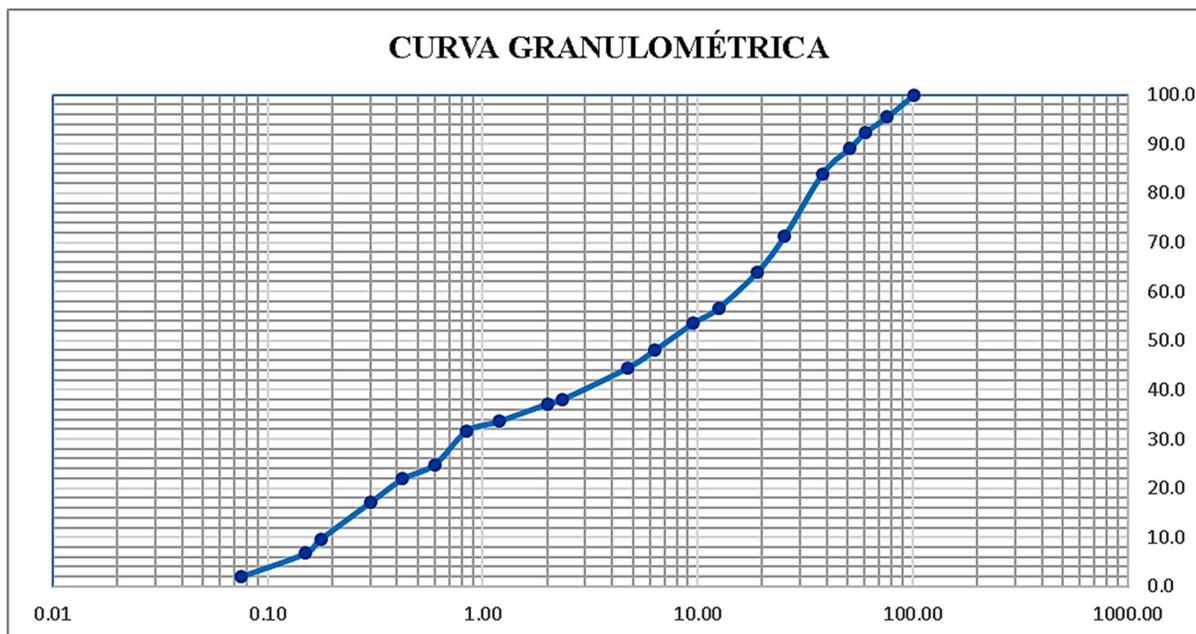
4.2.1.4. Muestra 2B.

TAMIZ	AASHTO T-27 (mm)	PESO RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO	RETENIDO ACUMULADO	PORCENTAJE QUE PASA
10"	254.000				100.0
6"	152.400	11895.7	3.9	3.9	96.1
5"	127.000	9875.4	3.3	7.2	92.8
4"	101.600	10789.4	3.6	10.8	89.2
3"	76.200	8109.5	2.7	13.5	86.5
2 1/2"	60.350	14347.2	4.8	18.2	81.8
2"	50.800	28858.2	9.6	27.8	72.2
1 1/2"	38.100	40164.6	13.3	41.1	58.9
1"	25.400	31116.4	10.3	51.5	48.5
3/4"	19.000	27450.5	9.1	60.6	39.4
1/2"	12.500	30375.8	10.1	70.6	29.4
3/8"	9.500	13598.9	4.5	75.2	24.8
1/4"	6.350	15113.0	5.0	80.2	19.8
Nº 4	4.750	6694.1	2.2	82.4	17.6
Nº 8	2.360	5997.1	2.0	84.4	15.6
Nº 10	2.000	1361.3	0.5	84.8	15.2
Nº 16	1.190	2484.9	0.8	85.7	14.3
Nº 20	0.840	1492.0	0.5	86.2	13.8
Nº 30	0.600	1569.7	0.5	86.7	13.3
Nº 40	0.425	2897.4	1.0	87.6	12.4
Nº 50	0.300	5768.3	1.9	89.5	10.5
Nº 80	0.177	12950.0	4.3	93.8	6.2
Nº 100	0.150	4293.1	1.4	95.3	4.7
Nº 200	0.075	10538.4	3.5	98.8	1.2
< Nº 200	FONDO	689.0	0.2	99.0	1.0



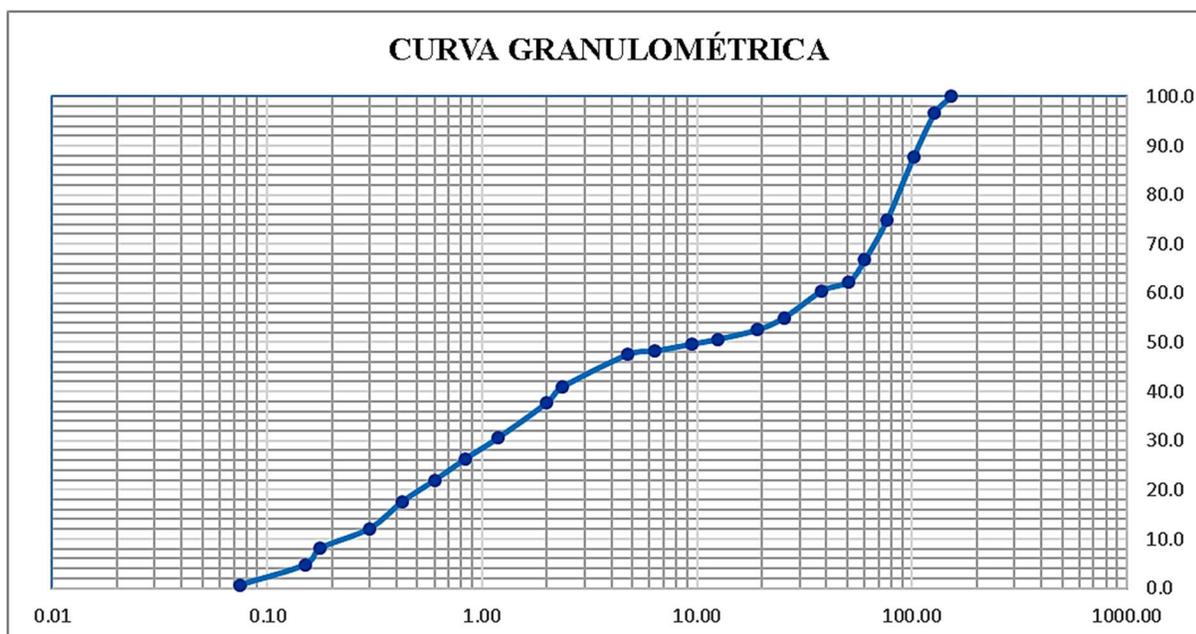
4.2.1.5. Muestra 3A.

TAMIZ	AASHTO T-27 (mm)	PESO RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO	RETENIDO ACUMULADO	PORCENTAJE QUE PASA
10"	254.000				
6"	152.400				
5"	127.000				
4"	101.600				100.0
3"	76.200	14535.6	4.5	4.5	95.5
2 1/2"	60.350	10216.5	3.2	7.7	92.3
2"	50.800	10466.4	3.3	11.0	89.0
1 1/2"	38.100	16335.9	5.1	16.0	84.0
1"	25.400	40660.2	12.6	28.7	71.3
3/4"	19.000	23412.9	7.3	36.0	64.0
1/2"	12.500	23889.6	7.4	43.4	56.6
3/8"	9.500	10010.7	3.1	46.5	53.5
1/4"	6.350	17241.0	5.4	51.9	48.1
Nº 4	4.750	11657.1	3.6	55.5	44.5
Nº 8	2.360	20673.9	6.4	61.9	38.1
Nº 10	2.000	3081.1	1.0	62.9	37.1
Nº 16	1.190	11305.8	3.5	66.4	33.6
Nº 20	0.840	6578.7	2.0	68.4	31.6
Nº 30	0.600	21613.6	6.7	75.2	24.8
Nº 40	0.425	9477.2	2.9	78.1	21.9
Nº 50	0.300	15555.4	4.8	82.9	17.1
Nº 80	0.177	23832.9	7.4	90.4	9.6
Nº 100	0.150	9277.2	2.9	93.2	6.8
Nº 200	0.075	15355.4	4.8	98.0	2.0
< Nº 200	FONDO	419.9	0.1	98.1	1.9



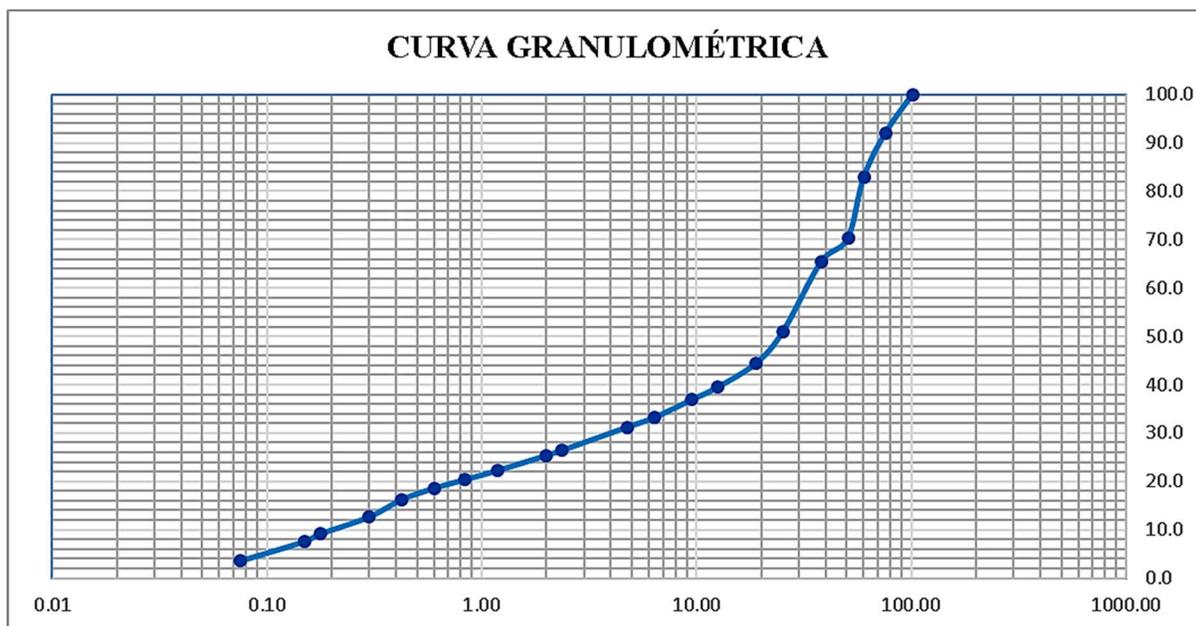
4.2.1.6. Muestra 3B.

TAMIZ	AASHTO T-27 (mm)	PESO RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO	RETENIDO ACUMULADO	PORCENTAJE QUE PASA
10"	254.000				
6"	152.400				100.0
5"	127.000	11636.6	3.5	3.5	96.5
4"	101.600	29659.7	8.8	12.3	87.7
3"	76.200	43446.0	12.9	25.2	74.8
2 1/2"	60.350	26796.4	8.0	33.1	66.9
2"	50.800	15312.9	4.5	37.7	62.3
1 1/2"	38.100	6254.4	1.9	39.5	60.5
1"	25.400	18323.7	5.4	45.0	55.0
3/4"	19.000	8459.4	2.5	47.5	52.5
1/2"	12.500	6439.8	1.9	49.4	50.6
3/8"	9.500	3261.5	1.0	50.4	49.6
1/4"	6.350	4737.0	1.4	51.8	48.2
Nº 4	4.750	2514.6	0.7	52.5	47.5
Nº 8	2.360	22209.7	6.6	59.1	40.9
Nº 10	2.000	10684.3	3.2	62.3	37.7
Nº 16	1.190	23970.1	7.1	69.4	30.6
Nº 20	0.840	14219.2	4.2	73.6	26.4
Nº 30	0.600	15065.9	4.5	78.1	21.9
Nº 40	0.425	14472.5	4.3	82.4	17.6
Nº 50	0.300	18416.3	5.5	87.9	12.1
Nº 80	0.177	13566.2	4.0	91.9	8.1
Nº 100	0.150	11324.7	3.4	95.3	4.7
Nº 200	0.075	13842.4	4.1	99.4	0.6
< Nº 200	FONDO	832.2	0.2	99.6	0.4



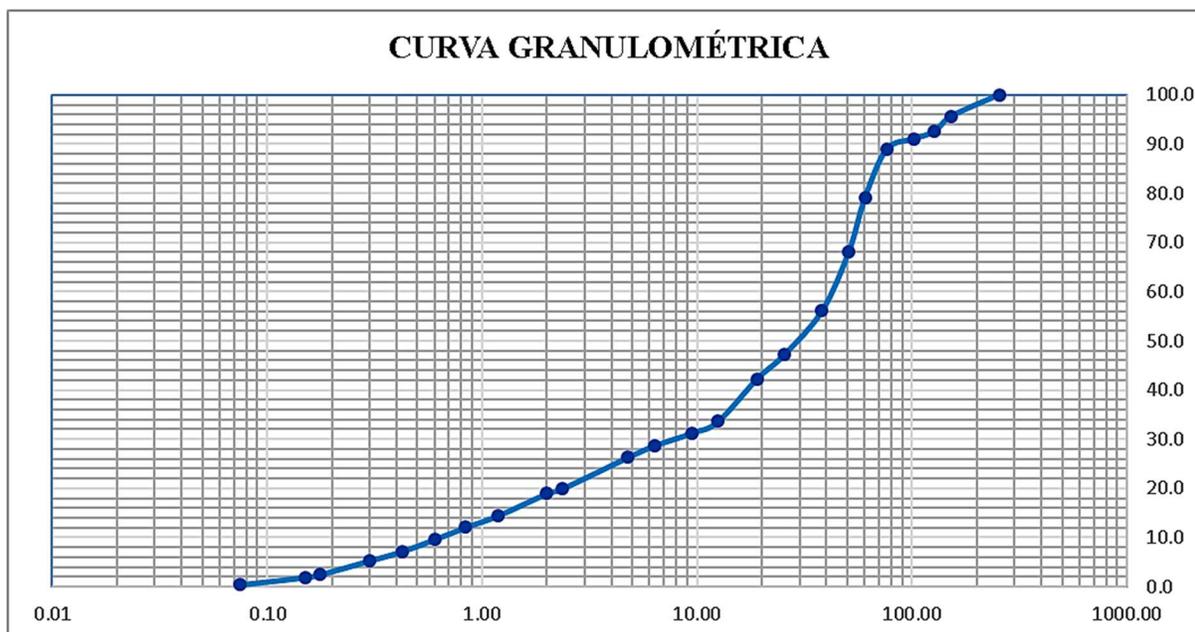
4.2.1.7. Muestra 4A.

TAMIZ	AASHTO T-27 (mm)	PESO RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO	RETENIDO ACUMULADO	PORCENTAJE QUE PASA
10"	254.000				
6"	152.400				
5"	127.000				
4"	101.600				100.0
3"	76.200	24325.1	7.9	7.9	92.1
2 1/2"	60.350	28070.6	9.1	17.0	83.0
2"	50.800	39109.6	12.7	29.8	70.2
1 1/2"	38.100	15004.3	4.9	34.6	65.4
1"	25.400	43958.4	14.3	48.9	51.1
3/4"	19.000	20293.9	6.6	55.5	44.5
1/2"	12.500	15448.9	5.0	60.6	39.4
3/8"	9.500	7824.2	2.5	63.1	36.9
1/4"	6.350	11363.9	3.7	66.8	33.2
Nº 4	4.750	6032.5	2.0	68.8	31.2
Nº 8	2.360	14768.7	4.8	73.6	26.4
Nº 10	2.000	3220.5	1.0	74.6	25.4
Nº 16	1.190	9469.6	3.1	77.7	22.3
Nº 20	0.840	5772.2	1.9	79.6	20.4
Nº 30	0.600	5519.5	1.8	81.4	18.6
Nº 40	0.425	7235.2	2.4	83.7	16.3
Nº 50	0.300	10966.8	3.6	87.3	12.7
Nº 80	0.177	10906.0	3.5	90.9	9.1
Nº 100	0.150	4721.5	1.5	92.4	7.6
Nº 200	0.075	12445.0	4.0	96.4	3.6
< Nº 200	FONDO	518.7	0.2	96.6	3.4



4.2.1.8. *Muestra 4B.*

TAMIZ	AASHTO T-27 (mm)	PESO RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO	RETENIDO ACUMULADO	PORCENTAJE QUE PASA
10"	254.000				100.0
6"	152.400	17334.3	4.4	4.4	95.6
5"	127.000	12305.1	3.1	7.5	92.5
4"	101.600	6020.8	1.5	9.0	91.0
3"	76.200	8302.1	2.1	11.1	88.9
2 1/2"	60.350	39038.6	9.8	20.9	79.1
2"	50.800	43469.9	11.0	31.9	68.1
1 1/2"	38.100	47697.0	12.0	43.9	56.1
1"	25.400	35333.4	8.9	52.8	47.2
3/4"	19.000	19339.4	4.9	57.7	42.3
1/2"	12.500	34410.7	8.7	66.4	33.6
3/8"	9.500	9228.1	2.3	68.7	31.3
1/4"	6.350	10196.5	2.6	71.3	28.7
Nº 4	4.750	9614.7	2.4	73.7	26.3
Nº 8	2.360	25125.8	6.3	80.1	19.9
Nº 10	2.000	3881.4	1.0	81.0	19.0
Nº 16	1.190	17618.1	4.4	85.5	14.5
Nº 20	0.840	9513.0	2.4	87.9	12.1
Nº 30	0.600	9767.3	2.5	90.4	9.6
Nº 40	0.425	9608.9	2.4	92.8	7.2
Nº 50	0.300	7489.5	1.9	94.7	5.3
Nº 80	0.177	11086.1	2.8	97.5	2.5
Nº 100	0.150	2342.7	0.6	98.1	1.9
Nº 200	0.075	5860.2	1.5	99.5	0.5
< Nº 200	FONDO	111.1	0.0	99.6	0.4



Después de obtener la curva granulométrica se procedió a hacer la respectiva clasificación SUCS y AASHTO, obteniéndose como resultado como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 4. 5: Resumen de clasificación SUCS y AASHTO de muestras extraídas.

MUESTRA	CLASIFICACIÓN SUCS	CLASIFICACIÓN AASHTO
1 A	GM	A-2-4 (0)
1 B	GW	A-2-4 (0)
2 A	GW	A-2-4 (0)
2 B	GW	A-2-4 (0)
3 A	GP	A-2-4 (0)
3 B	SP	A-2-4 (0)
4 A	GW	A-2-4 (0)
4 B	GW	A-2-4 (0)

Fuente: Propia

Para uniformizar la clasificación del material a lo largo de todo el lecho del río se tomará en consideración el material predominante, siendo 12.65 % el porcentaje de incidencia del GM, 62.55 % del GW, 12.11 % del GP y 12.69 % del SP, por lo tanto, se estará considerando que todo el material del cauce del río Chuquillanqui, en el tramo Puente Chuquillanqui 0.800 Km aguas arriba y 0.700 Km aguas abajo, será GW en clasificación SUCS. Analizando la curva granulométrica de cada muestra tenemos los siguientes valores para D₅₀.

Tabla 4. 6: Resumen de los valores de D50 de las muestras extraídas.

MUESTRA	D ₅₀ (mm)
1 A	31.50
1 B	29.72
2 A	20.89
2 B	27.20
3 A	7.44
3 B	10.63
4 A	24.47
4 B	29.45

Fuente: Propia

Los valores indicados en la tabla anterior corresponden al diámetro mediano de cada muestra extraída.

Para obtener un diámetro representativo del tramo en estudio del río Chuquillanqui es que se procede a hacer un promedio, pero para esta operación vamos a excluir los valores de 7.44 y 10.63 que corresponden a los D₅₀ de la muestra 3A y 3B respectivamente. El criterio para excluir estos dos valores es que debido a la presencia del terraplén de acceso la velocidad disminuye en esta zona por lo tanto deposita material más fino, este fenómeno es inmediatamente aguas arriba del margen izquierdo del terraplén de acceso.

$$D_{50} = \frac{31.50 + 29.72 + 20.89 + 27.20 + 24.47 + 29.45}{6}$$

$$D_{50} = 27.21 \text{ mm}$$

Entonces de ahora en adelante se usará como D₅₀ representativo, para los modelados y cálculos correspondientes, el valor de 27.21 mm.

4.2.2. Ensayo de gravedad específica de material de fondo.

Este ensayo se encuentra regulado bajo la norma ASTM C 127, los equipos que usamos fueron:

- Balanza de precisión ± 0.01 g.
- Canastilla de suspensión.
- Tanque de agua.
- Tamiz N°4.
- Horno.

Adicionalmente se usó los siguientes materiales:

- Trapo seco.
- Guantes.
- Recipientes.

Para este ensayo se procedió a extraer la muestra, que según la norma ASTM C127, es aquella que no pasa el tamiz N° 4, del mismo modo esta norma indica que la cantidad mínima de muestra requerida está en función del tamaño máximo nominal siendo para nuestra muestra 100.00 mm, por lo tanto, la masa mínima de la muestra de prueba es 40 Kg.

La muestra se mezcla completamente y se procede a reducirla para obtener un espécimen de ensayo de aproximadamente 1.00 Kg., se procede a lavar para eliminar recubrimientos y partículas extrañas a la granulometría en estudio.

Se procedió a secar la muestra de ensayo a una temperatura de 110 ± 5 °C, luego se enfría a temperatura ambiente. Posteriormente sumergimos la muestra en agua a temperatura ambiente durante 24 horas.

Removimos toda la muestra del agua y procedimos a secarla con un trapo, hasta que toda la película de agua visible a simple vista desaparezca, posteriormente se procedió a determinar la masa de la muestra de ensayo en las distintas condiciones como: seco, saturado superficialmente seco y sumergido.

La primera toma de datos se realizó a las 2 siguientes horas de haber extraído la muestra de ensayo del horno, esta toma de datos consistió en obtener el peso del agregado seco.

La segunda toma de datos se realizó después de secar con un trapo la muestra que había estado sumergida en agua durante 24 horas, esta toma de datos consistió en obtener el peso del agregado saturado superficialmente seco.

La tercera toma de datos se realizó después de sumergir, en un tanque de agua por medio de una canastilla de suspensión, la muestra de ensayo, esta toma de datos consistió en obtener el peso del agregado sumergido.

Los datos que se obtuvieron y su procesamiento son como se detallan a continuación:

Tabla 4. 7: Registro de pesos de muestras cercanas al puente Chuquillanqui para ensayo de gravedad específica de material de fondo.

DESCRIPCIÓN	UND	1A	2A	3A	4A
Peso del Agregado Saturado Superf. Seco	grs.	1,004.7	952.8	978.4	1,001.9
Peso del Agregado Seco	grs.	1,003.7	950.3	975.7	999.6
Peso de la Canastilla + Agregado Sumergido	grs.	1,548.20	1,513.20	1,526.60	1,549.50
Peso de la Canastilla Sumergido	grs.	928.60	928.60	928.60	928.60
Peso del Agregado Sumergido	grs.	619.6	584.6	598.0	620.9
Temperatura del agua	°C	18.6	18.6	18.6	18.6
Factor de corrección	-	1.003	1.003	1.003	1.003
Peso específico aparente	-	2.613	2.599	2.583	2.640
Gravedad específica BULK SSS	-	2.609	2.588	2.572	2.630
Gravedad específica BULK	-	2.606	2.581	2.565	2.624
Absorción	%	0.1%	0.3%	0.28%	0.23%

Fuente: Propia

Tabla 4. 8: Registro de pesos de muestras alejadas al puente Chuquillanqui (extremos), para ensayo de gravedad específica de material de fondo.

DESCRIPCIÓN	UND	1B	2B	3B	4B
Peso del Agregado Saturado Superf. Seco	grs.	985.6	1,112.3	941.8	958.7
Peso del Agregado Seco	grs.	984.1	1,109.2	938.7	956.1
Peso de la Canastilla + Agregado Sumergido	grs.	1,543.10	1,598.23	1,504.10	1,527.30
Peso de la Canastilla Sumergido	grs.	928.60	928.60	928.60	928.60
Peso del Agregado Sumergido	grs.	614.5	669.6	575.5	598.7
Temperatura del agua	°C	18.6	18.6	18.6	18.6
Factor de corrección	-	1.003	1.003	1.003	1.003
Peso específico aparente	-	2.663	2.523	2.585	2.675
Gravedad específica BULK SSS	-	2.656	2.513	2.571	2.663
Gravedad específica BULK	-	2.652	2.506	2.563	2.656
Absorción	%	0.2%	0.3%	0.33%	0.27%

Fuente: Propia

Analizando los valores de gravedad específica para cada muestra se consideró sacar el promedio de cada uno de estos valores, lo que sería de la siguiente manera:

$$GE = \frac{2.606 + 2.581 + 2.565 + 2.624 + 2.652 + 2.506 + 2.563 + 2.656}{8}$$

$$GE = 2.594$$

4.3. Caudales Requeridos para Simulaciones Hidráulicas

En nuestro país no existe una data pluviométrica completa y confiable, debido a que las estaciones pluviométricas no logran cubrir todo el territorio peruano, y las estaciones pluviométricas que hay, no están funcionando correctamente o simplemente están inoperativas en su totalidad, para ser más precisos en el departamento de La Libertad, hasta el año 2007, solo el 28.00% de las estaciones pluviométricas están en funcionamiento (Rodríguez y Esquén, 2016).

Por lo tanto, nos hemos proporcionado la información pluviométrica a través del programa HydroIIA, que es un software desarrollado en la investigación “DETERMINACIÓN DE LA CONFIABILIDAD DEL MÉTODO ITALO LATINO AMERICANO PARA EL CÁLCULO DE HIETOGRAMAS DE DISEÑO EN LAS ESTACIONES PLUVIOMÉTRICAS DE SALPO, QUIRUVILCA Y JULCAN – CUENCA MOCHE”, la cual se basa en el método Italo Latino Americano, este método presenta un nivel de confiabilidad superior al 80%, siendo a través de éste método la forma más precisa, en nuestra localidad, para poder obtener los hietogramas del rio Chuquillanqui.

Las precipitaciones e intensidades máximas halladas por el método IIA y la función Log Pearson 3, tienen un leve porcentaje de variación para períodos de retorno mayores a 25 años, además se nota cierta tendencia de la función log Pearson a tener mayores valores de precipitaciones que el IIA conforme aumenta el período de retorno (Rodríguez y Esquén, 2016).

Con este programa hemos obtenido los datos pluviométricos para nuestra zona en estudio, para períodos de retorno de 5, 10, 25, 50 y 100 años. Para obtener estos datos se han tomado en consideración los siguientes parámetros:

t: 170 min

Zona: Costa Norte y Selva

Subzona: 5a_9 (ver Anexo 1)

Cota: 2000 m.s.n.m.

T: Período de retorno analizado.

Intervalo: 10 min

Por lo tanto, los datos ingresados se muestran en la siguiente interfaz.

Figura 4. 10: Ingreso de datos en el Hydroiila.

The screenshot shows the HYDROIILA V1.0 software interface. At the top, there are menu options for 'Herramientas' and 'Ayudas'. Below this, the 'DURACIÓN DE PRECIPITACIÓN' section has two radio buttons: 't < 3h' (selected) and 't >= 3h'. To the right of these buttons is a large text box containing the equation:
$$i_{(t,T)} = a(1 + K_g \text{Log}T)(t + b)^{n-1}$$

The 'DATOS DE ENTRADA' section contains several input fields: 'ZONA' (Costa Norte y Selva), 'SUBZONA' (5a_9), 'b = 0.2', 'Eg = 0', 'kg = 0', 'a = 0', 'Cota = 2000', 'n = 0', 'Dc =', 'Dm =', 'T = 5', 't (min) = 170', and 'Intervalo (min) = 10'. On the right side of the interface, there is a vertical toolbar with icons for 'Ejecutar', 'Graficos', 'Exportar', 'Limpiar', and 'Salir'. At the bottom right, there is a text box listing the authors and advisors: 'Autores: -Helms K. Rodríguez Venegas -Cristhian R. Esquen Lozano' and 'Asesores: -Ing. Juan P. García Rivera -Doc. Hans Sánchez Tueros'.

Fuente: Propia

Después de ingresar los datos, ponemos ejecutar vamos variando el cuadro de entrada donde indica T, para cada período de retorno, que son 5, 10, 25, 50 y 100 años

Tabla 4. 9: Datos pluviométricos para periodos de retorno de 5, 10 , 25, 50, 100 años.

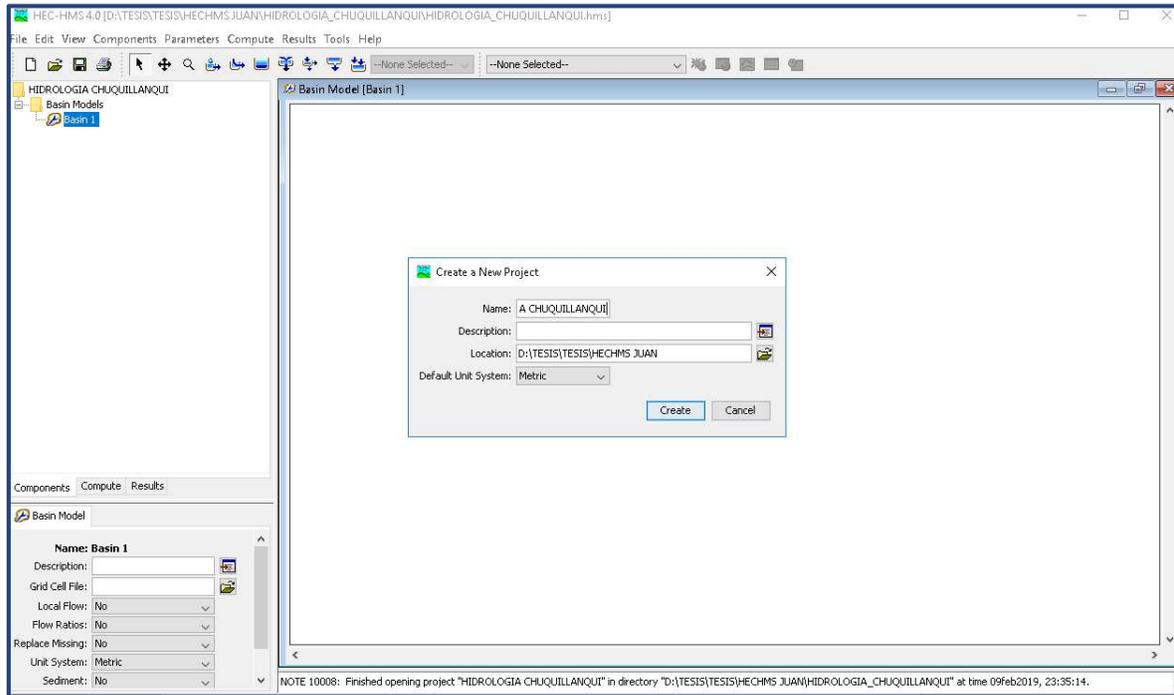
t (min)	5 años	10 años	25 años	50 años	100 años
10	0.13	0.16	0.18	0.20	0.23
20	0.17	0.20	0.23	0.25	0.28
30	0.22	0.26	0.30	0.34	0.37
40	0.31	0.36	0.41	0.47	0.51
50	0.45	0.52	0.61	0.67	0.74
60	0.71	0.82	0.96	1.07	1.18
70	1.31	1.50	1.76	1.96	2.16
80	3.13	3.60	4.23	4.70	5.18
90	15.95	18.35	21.53	23.94	26.34
100	5.98	6.89	8.08	8.98	9.88
110	1.93	2.22	2.6	2.89	3.18
120	0.94	1.09	1.28	1.42	1.56
130	0.56	0.64	0.75	0.84	0.92
140	0.37	0.42	0.50	0.55	0.61
150	0.26	0.30	0.36	0.39	0.43
160	0.20	0.22	0.26	0.29	0.32
170	0.15	0.17	0.21	0.23	0.25

Fuente: Propia

Estos valores obtenidos del HydroIIIA son los que vamos a ingresar en el HEC-HMS para que genere los hidrogramas. El proceso que se realizó en el HEC-HMS es el siguiente:

- Creamos un nuevo proyecto en File/New e ingresamos el nombre que le vamos a asignar al proyecto, la descripción es opcional y procedemos a brindar la ubicación en donde guardaremos el proyecto.

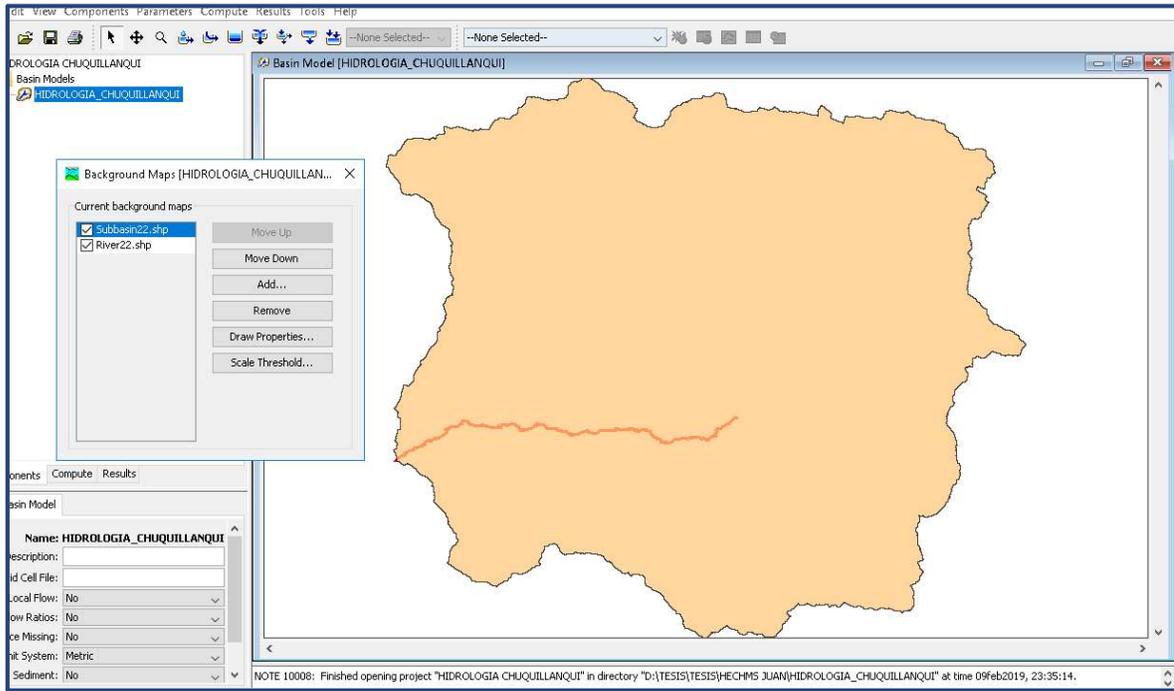
Figura 4. 11: Creación de un nuevo proyecto en el HEC-HMS.



Fuente: Propia

- Ahora procedemos a simular una subcuenca en el menú Components/Basic Model Manager, creamos uno nuevo con el botón “New” y le asignamos un nombre, en este caso es: HIDROLOGIA_CHUQUILLANQUI.
- Para una mejor representación de la subcuenca se hace un esquema en donde cargaremos shapes del río y de la delimitación de la subcuenca, para tener este esquema, presionamos el click derecho e ingresamos a la opción background layers; en la ventana que nos aparece, ruteamos los shapes que en este caso son Subbasin22.shp, que es la cuenca, y el shape River22. Shp, que es el cauce del río. Cargamos estos 2 shapes a nuestro Basin Models y tenemos:

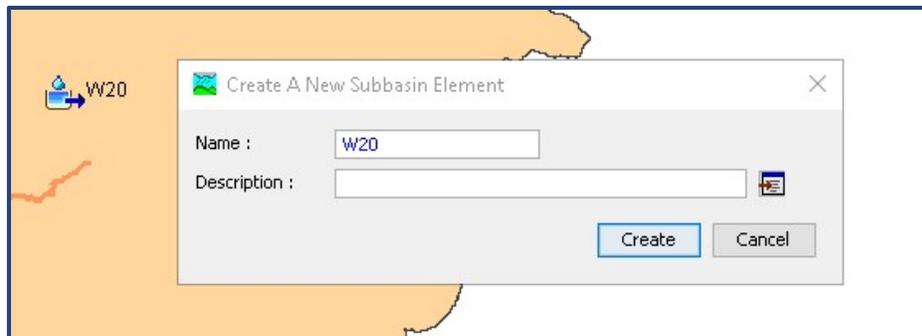
Figura 4. 12: Delimitación de la subcuenca y cauce del río en estudio.



Fuente: Propia

- Se procede a crear una subcuenca presionando el icono Subbasin Creation Tool, luego damos click aguas arriba de la cuenca y le asignamos un nombre, en este caso es: W20

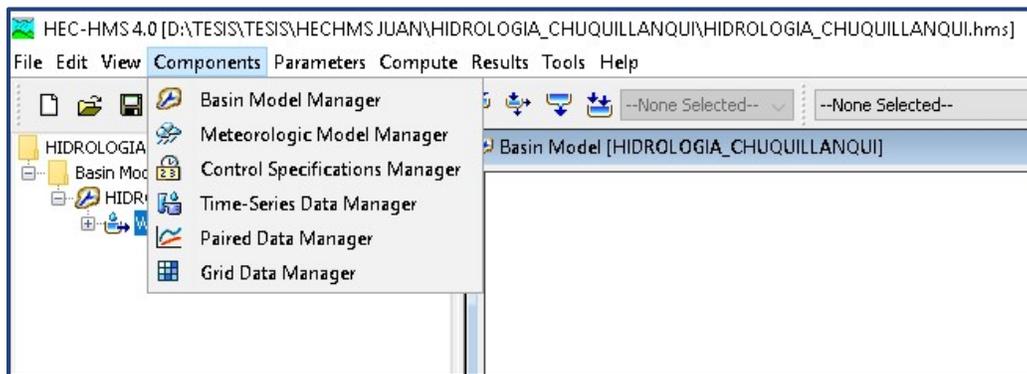
Figura 4. 13: Asignación de nombre de la subcuenca.



Fuente: Propia

- En este subbasin ingresamos el área de la cuenca en Km², la cual tiene un valor de 880.31, al mismo tiempo determinamos que el método de pérdidas que se usará es: SCS Curva Número y el método de la transformación lluvia escorrentía es: SCS Hidrograma Unitario. El valor de curva numero es 66 y el valor de Lag Time (min) es 84 para la transformación lluvia escorrentia.
- Agregamos la lluvia que caerá en esta cuenca, que es la que generará el caudal agregaremos el componente Time-Series Data Manager, como se muestra en la siguiente figura:

Figura 4. 14: Asignación de la lluvia sobre la subcuenca en estudio.



Fuente: Propia

- En el componente Time-Series Data Manager, el tipo de dato a ingresar es Precipitation Gages, estos datos ya los hemos obtenido anteriormente con ayuda del software HydroIILA, presionamos el botón New y asignamos el nombre de 5 años; el intervalo de tiempo será de 10 min.
- Desplegamos el ítem de precipitación 5 años, para poder indicar el instante de inicio de lluvia y el instante de fin de lluvia, el cual como hemos venido trabajando en el HydroIILA se tiene un tiempo de lluvia de 170 min (02:50 horas), en este caso no es necesario indicar exactamente la fecha y la hora de la lluvia pues nosotros estamos generando caudales sintéticos, y queda configurado como se muestra a continuación:

Figura 4. 15: Instante de inicio y término de lluvia.

Components Compute Results

Time-Series Gage Time Window Table Graph

Name: 5 AÑOS

*Start Date (ddMMYYYY) 01ene2000

*Start Time (HH:mm) 00:00

*End Date (ddMMYYYY) 01ene2000

*End Time (HH:mm) 02:50

Fuente: Propia

- Se ingresa los datos de la precipitación en la pestaña tabla para un período de retorno de 5 años, y queda como sigue:

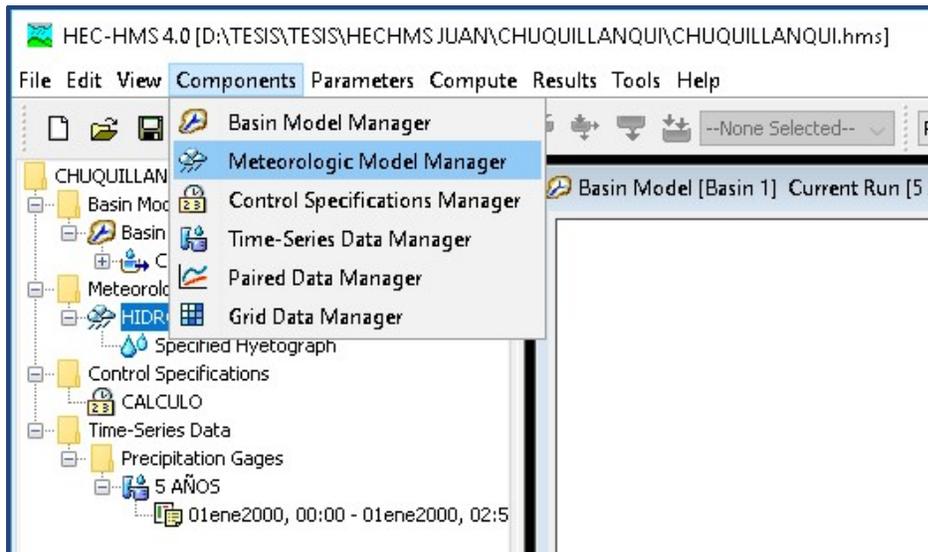
Figura 4. 16: Datos de la precipitación para un periodo de retorno de 5 años.

Time (ddMMYYYY, HH:MM)	Precipitation (MM)
01ene2000, 00:00	
01ene2000, 00:10	0.13
01ene2000, 00:20	0.17
01ene2000, 00:30	0.22
01ene2000, 00:40	0.31
01ene2000, 00:50	0.45
01ene2000, 01:00	0.71
01ene2000, 01:10	1.31
01ene2000, 01:20	3.13
01ene2000, 01:30	15.95
01ene2000, 01:40	5.98
01ene2000, 01:50	1.93
01ene2000, 02:00	0.94
01ene2000, 02:10	0.56
01ene2000, 02:20	0.37
01ene2000, 02:30	0.26
01ene2000, 02:40	0.2
01ene2000, 02:50	0.15

Fuente: Propia

- Ahora creamos el tercer componente que es el Meteorologic Models, que lo encontramos en Components/ Metereorologic Model Manager

Figura 4. 17: Ruta para ingresar a "Meteorologic Model Manager"

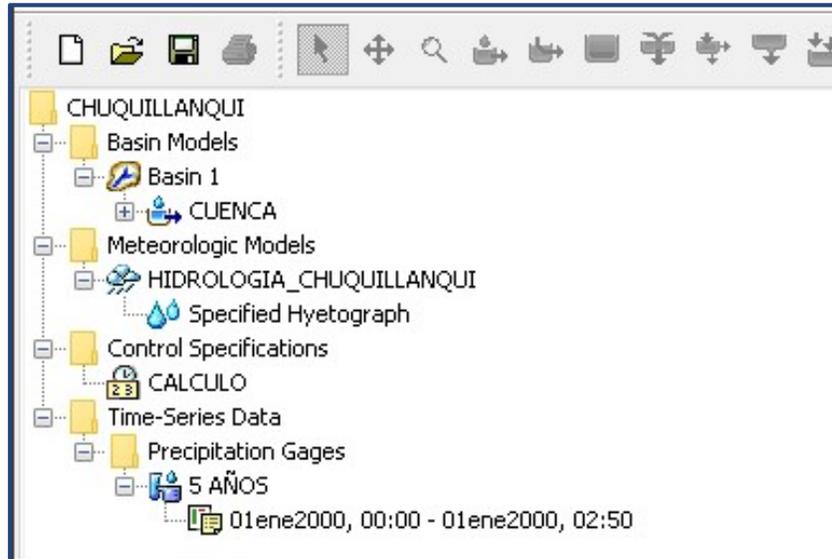


Fuente: Propia

- Se abrirá una ventana y crearemos un nuevo elemento y le pondremos de nombre HIDROLOGIA_CHUQUILLANQUI. En este ítem indicaremos que si hay datos de lluvia no precisados que por defecto lo rellene con el valor de cero en el menú Replace Missing colocamos Set to default, en la pestaña Meteorology Model; y en la pestaña Basins, colocamos que, si deseamos que se incluya la cuenca, ósea los subbasins.
- El cuarto componente es Control Specifications en donde ingresaremos el tiempo y el instante que tendrá el hidrograma, en nuestro caso como es un hidrograma sintético, no colocaremos alguna fecha específica, por lo tanto, pondremos 01 de enero de 2000 a las 00:00 como instante de inicio; y como instante de fin consignaremos 01 de enero de 2000 a las 12:00.

- La estructura de los componentes creados queda como sigue:

Figura 4. 18: Estructura de los componentes creados en el HydroIILA



Fuente: Propia

- Por último, vamos a la pestaña Compute/ Create compute/ Simulation Run, y seleccionamos todos los componentes que deseamos que intervengan en el procesamiento, en nuestro caso depende del periodo de retorno que estemos trabajando y damos click en Compute Current Run para que proceda la data de entrada.
- Como resultado para el periodo de 5 años tenemos:

Figura 4. 19: Datos obtenidos con el HydroIIA para un periodo de retorno de 5 años.

Date	Time	Precip (MM)	Loss (MM)	Excess (MM)	Direct Flow (M3/S)
01ene2000	00:00				0.0000
01ene2000	00:10	0.13	0.13	0.00	0.0000
01ene2000	00:20	0.17	0.17	0.00	0.0000
01ene2000	00:30	0.22	0.22	0.00	0.0000
01ene2000	00:40	0.31	0.31	0.00	0.0000
01ene2000	00:50	0.45	0.45	0.00	0.0000
01ene2000	01:00	0.71	0.71	0.00	0.0000
01ene2000	01:10	1.31	1.31	0.00	0.0000
01ene2000	01:20	3.13	3.13	0.00	0.0000
01ene2000	01:30	15.95	15.95	0.00	0.0000
01ene2000	01:40	5.98	5.94	0.04	0.1720
01ene2000	01:50	1.93	1.84	0.09	0.9718
01ene2000	02:00	0.94	0.88	0.06	2.6952
01ene2000	02:10	0.56	0.52	0.04	5.4770
01ene2000	02:20	0.37	0.34	0.03	9.5289
01ene2000	02:30	0.26	0.24	0.02	14.7917
01ene2000	02:40	0.20	0.18	0.02	20.6164
01ene2000	02:50	0.15	0.14	0.01	26.1431
01ene2000	03:00	0.00	0.00	0.00	30.6574
01ene2000	03:10	0.00	0.00	0.00	33.7783
01ene2000	03:20	0.00	0.00	0.00	35.4372
01ene2000	03:30	0.00	0.00	0.00	35.5837
01ene2000	03:40	0.00	0.00	0.00	34.4115

Fuente: Propia

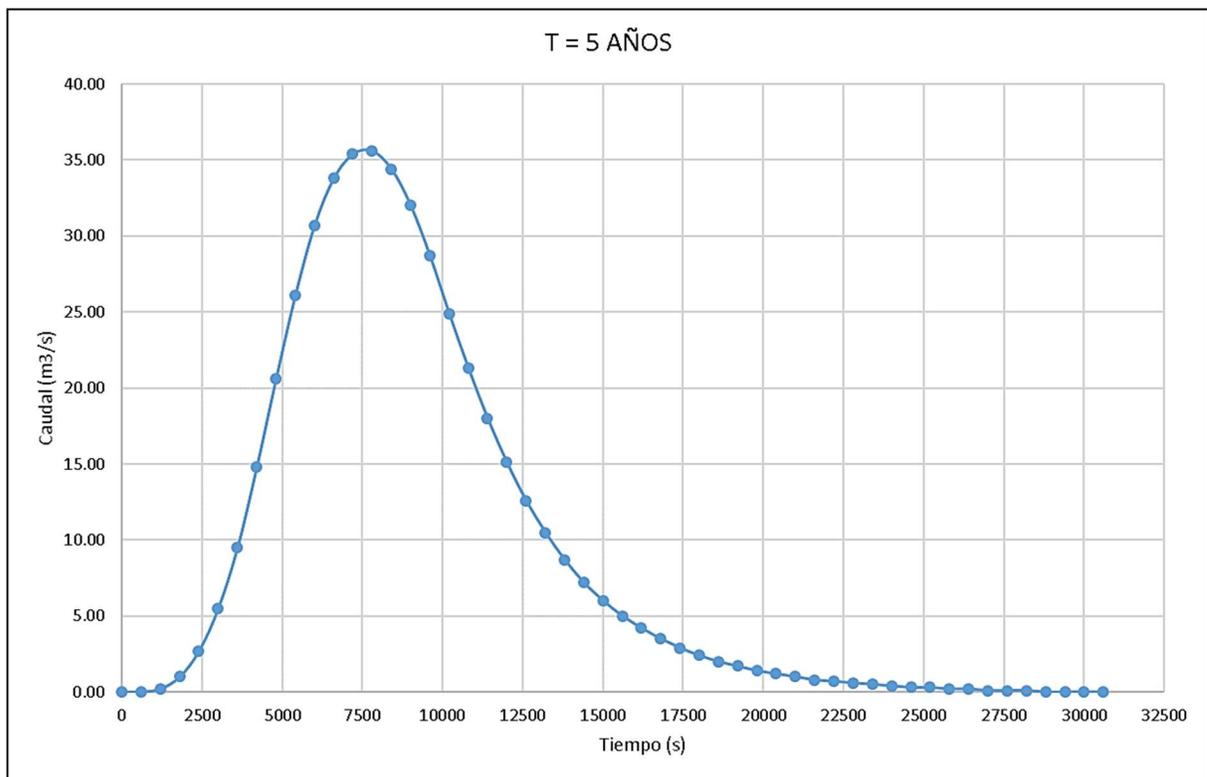
- Este mismo procedimiento se repite para los períodos de retorno de 5, 10, 25, 50 y 100 años, como consecuencia tenemos los hidrogramas con los que se van a modelar los diversos escenarios.

4.3.1. *Caudales No Permanentes.*

PERÍODO DE RETORNO 5 AÑOS

T (s)	5 AÑOS
0	0.00
600	0.00
1200	0.20
1800	1.00
2400	2.70
3000	5.50
3600	9.50
4200	14.80
4800	20.60
5400	26.10
6000	30.70
6600	33.80
7200	35.40
7800	35.60
8400	34.40
9000	32.00
9600	28.70
10200	24.90
10800	21.30
11400	18.00
12000	15.10
12600	12.60
13200	10.50
13800	8.70
14400	7.20
15000	6.00
15600	5.00
16200	4.20
16800	3.50
17400	2.90
18000	2.40
18600	2.00
19200	1.70
19800	1.40

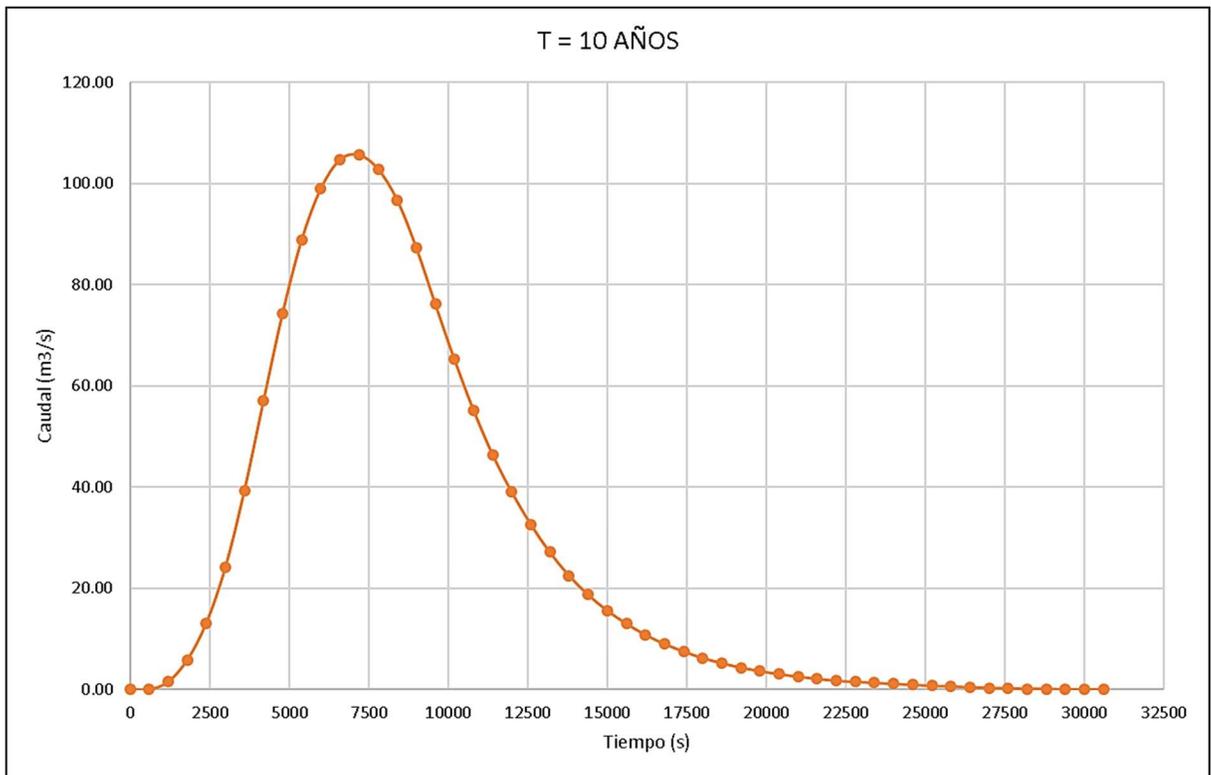
T (s)	5 AÑOS
20400	1.20
21000	1.00
21600	0.80
22200	0.70
22800	0.60
23400	0.50
24000	0.40
24600	0.30
25200	0.30
25800	0.20
26400	0.20
27000	0.10
27600	0.10
28200	0.10
28800	0.00
29400	0.00
30000	0.00
30600	0.00



PERÍODO DE RETORNO 10 AÑOS

T (s)	10 AÑOS
0	0.00
600	0.00
1200	1.50
1800	5.80
2400	13.10
3000	24.10
3600	39.30
4200	57.00
4800	74.30
5400	88.80
6000	98.90
6600	104.60
7200	105.60
7800	102.80
8400	96.70
9000	87.30
9600	76.10
10200	65.20
10800	55.20
11400	46.40
12000	39.00
12600	32.60
13200	27.10
13800	22.50
14400	18.70
15000	15.60
15600	13.00
16200	10.80
16800	9.00
17400	7.50
18000	6.20
18600	5.20
19200	4.30
19800	3.60

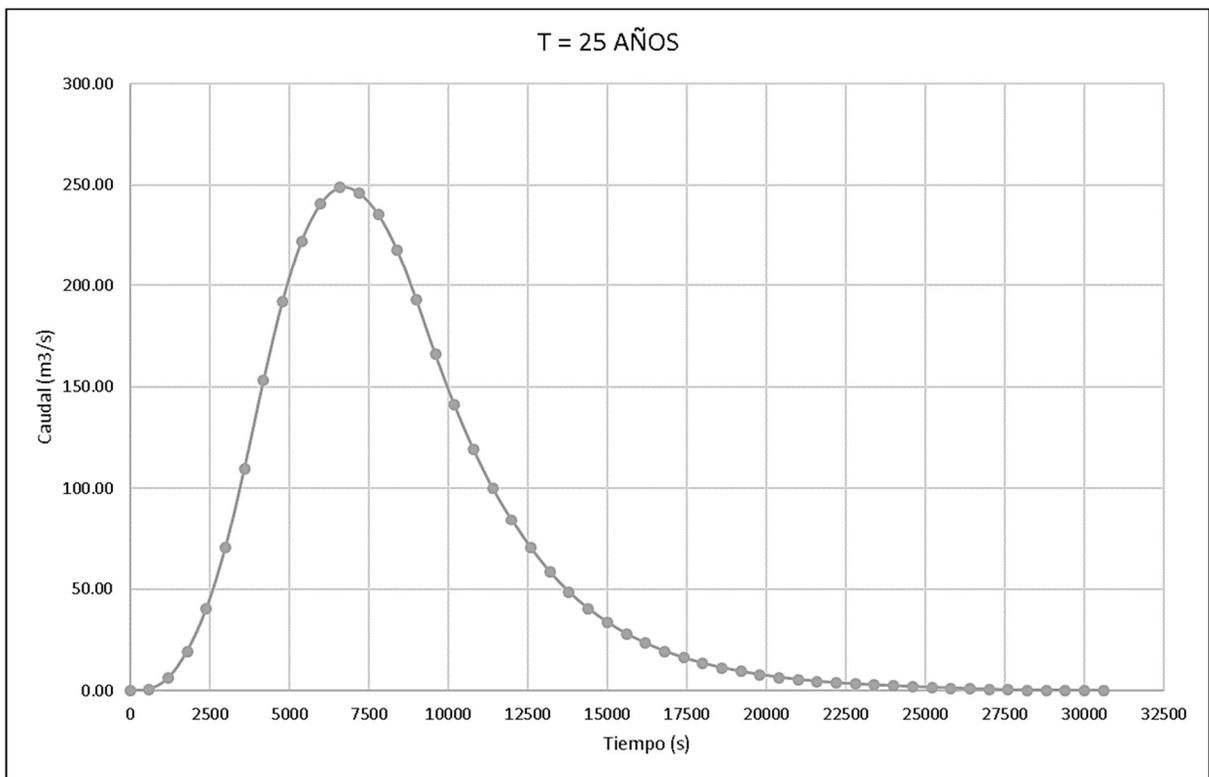
T (s)	10 AÑOS
20400	3.00
21000	2.50
21600	2.10
22200	1.70
22800	1.50
23400	1.30
24000	1.10
24600	0.90
25200	0.70
25800	0.60
26400	0.40
27000	0.30
27600	0.20
28200	0.10
28800	0.10
29400	0.00
30000	0.00
30600	0.00



PERÍODO DE RETORNO 25 AÑOS

T (s)	25 AÑOS
0	0.00
600	0.60
1200	6.10
1800	19.40
2400	40.20
3000	70.20
3600	109.70
4200	153.00
4800	192.10
5400	222.10
6000	240.60
6600	248.70
7200	246.00
7800	235.50
8400	217.70
9000	193.00
9600	165.90
10200	141.00
10800	119.10
11400	100.10
12000	84.20
12600	70.30
13200	58.40
13800	48.50
14400	40.40
15000	33.70
15600	28.00
16200	23.40
16800	19.40
17400	16.10
18000	13.50
18600	11.20
19200	9.40
19800	7.80

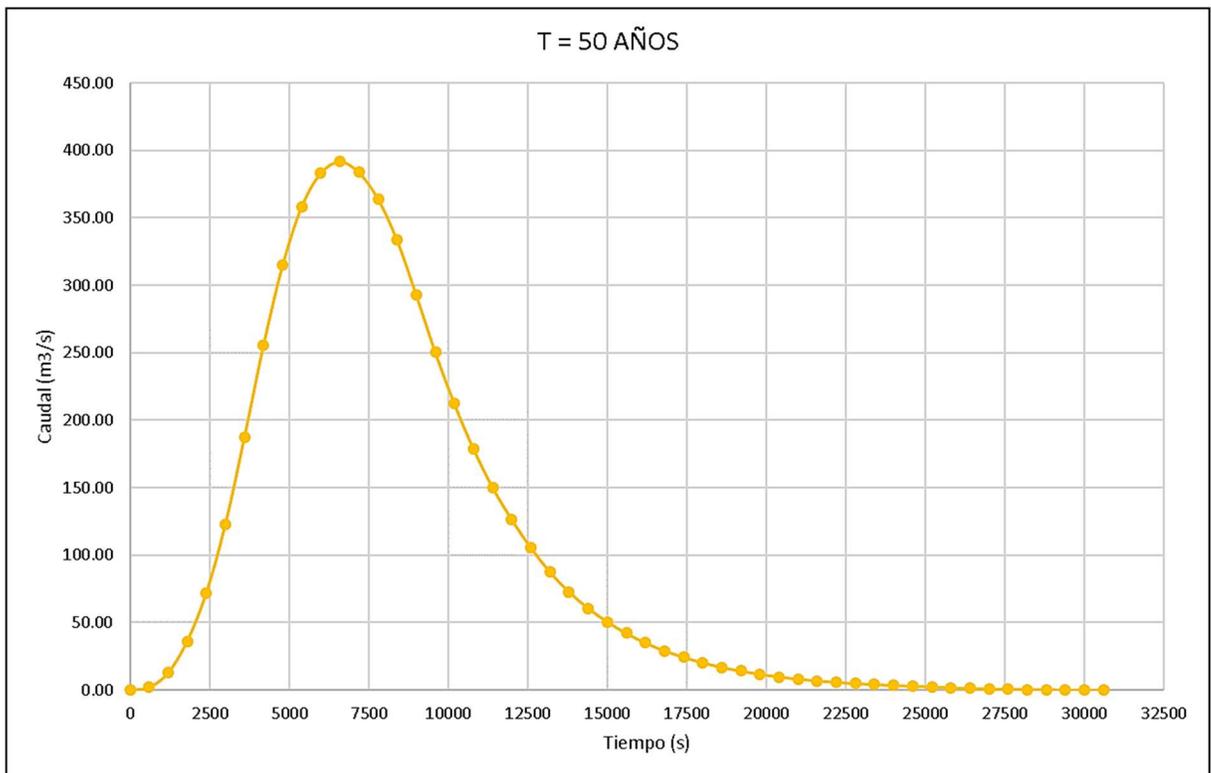
T (s)	25 AÑOS
20400	6.50
21000	5.40
21600	4.50
22200	3.80
22800	3.20
23400	2.70
24000	2.30
24600	1.90
25200	1.50
25800	1.20
26400	0.90
27000	0.60
27600	0.30
28200	0.20
28800	0.10
29400	0.10
30000	0.00
30600	0.00



PERÍODO DE RETORNO 50 AÑOS

T (s)	50 AÑOS
0	0.00
600	1.90
1200	12.80
1800	36.20
2400	72.00
3000	122.80
3600	187.40
4200	255.60
4800	314.90
5400	358.40
6000	383.30
6600	391.80
7200	383.80
7800	364.20
8400	333.50
9000	293.00
9600	250.40
10200	212.20
10800	178.80
11400	150.30
12000	126.40
12600	105.60
13200	87.60
13800	72.80
14400	60.70
15000	50.60
15600	42.10
16200	35.00
16800	29.10
17400	24.20
18000	20.20
18600	16.80
19200	14.10
19800	11.70

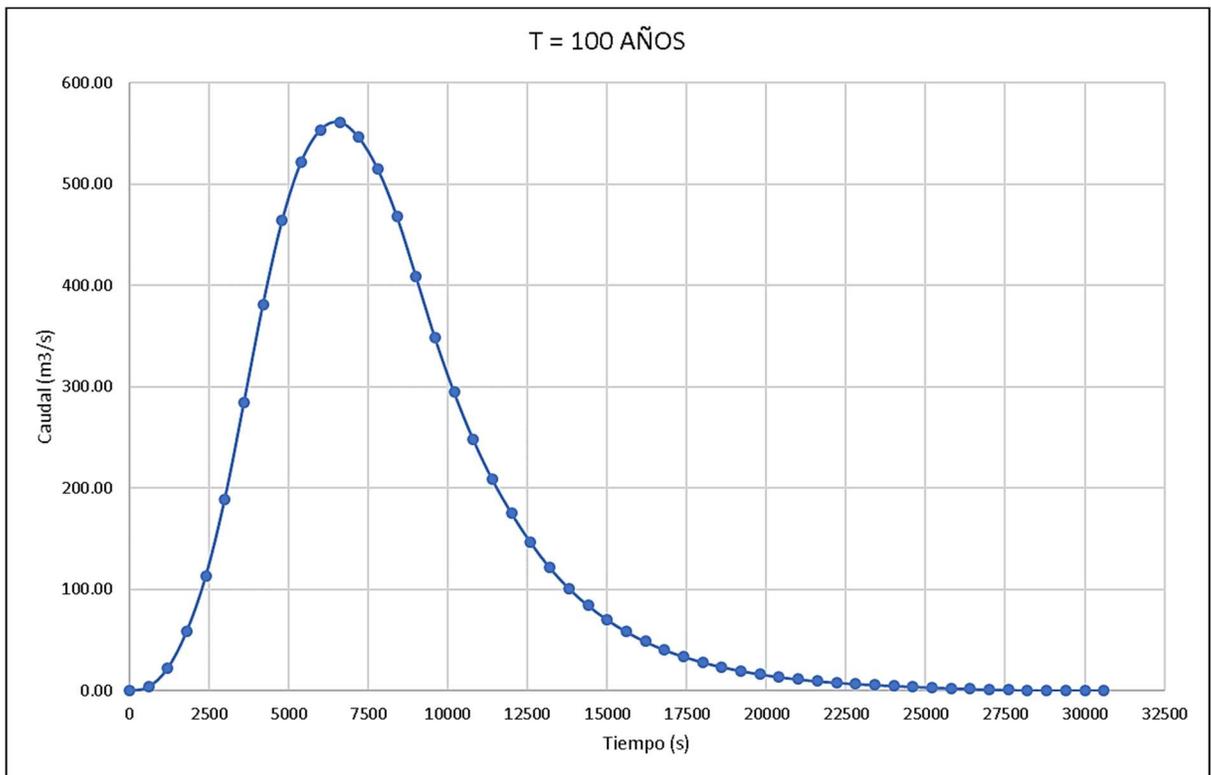
T (s)	50 AÑOS
20400	9.70
21000	8.10
21600	6.80
22200	5.70
22800	4.80
23400	4.10
24000	3.40
24600	2.80
25200	2.30
25800	1.70
26400	1.20
27000	0.80
27600	0.50
28200	0.30
28800	0.20
29400	0.10
30000	0.00
30600	0.00

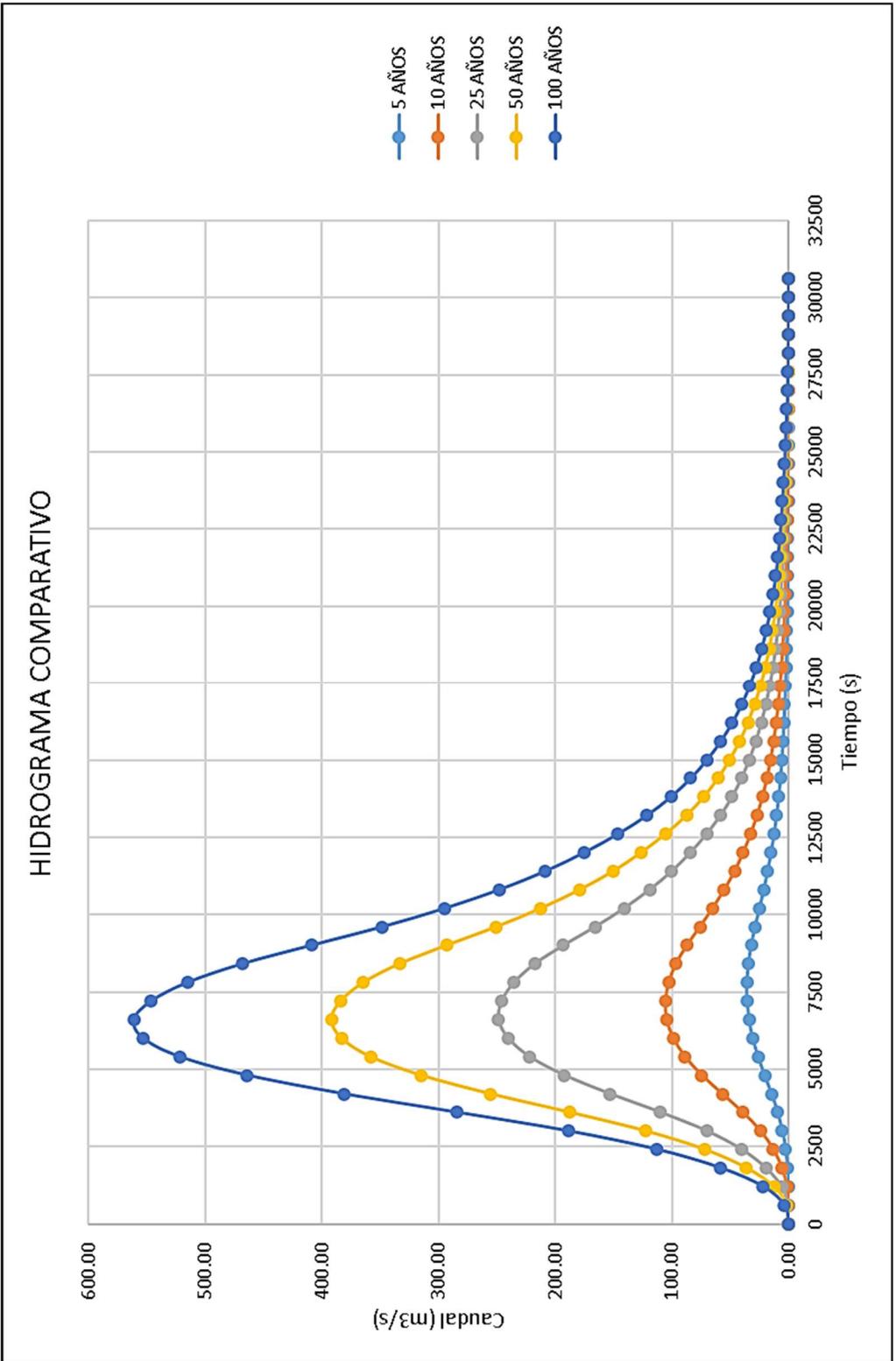


PERÍODO DE RETORNO 100 AÑOS

T (s)	100 AÑOS
0	0.00
600	3.90
1200	22.00
1800	58.20
2400	112.70
3000	189.00
3600	283.90
4200	381.20
4800	463.70
5400	521.90
6000	553.40
6600	561.20
7200	546.20
7800	515.10
8400	468.40
9000	409.00
9600	348.20
10200	294.50
10800	247.90
11400	208.40
12000	175.20
12600	146.30
13200	121.50
13800	101.00
14400	84.10
15000	70.10
15600	58.30
16200	48.50
16800	40.30
17400	33.60
18000	28.00
18600	23.40
19200	19.50
19800	16.20

T (s)	100 AÑOS
20400	13.50
21000	11.20
21600	9.40
22200	7.90
22800	6.70
23400	5.70
24000	4.80
24600	3.90
25200	3.10
25800	2.40
26400	1.70
27000	1.00
27600	0.60
28200	0.30
28800	0.20
29400	0.10
30000	0.10
30600	0.00





4.4. Determinación del Coeficiente de Rugosidad de Manning

Arcement y Schneider (1989) afirman que los valores de rugosidad para canales y llanuras de inundación deben calcularse por separado pues las condiciones como la composición física, la forma y la vegetación de una planicie de inundación son totalmente diferentes de los de un canal.

Arcement y Schneider (1989) afirman que al alterar el procedimiento de Cowan (1956), que ha sido desarrollado para estimar los valores “n” para canales, la siguiente ecuación puede ser usada para determinar los valores “n” de las planicies de inundación:

$$n = (n_b + n_1 + n_2 + n_3 + n_4) \times m$$

Donde:

n_b = un valor base de n para las llanuras de inundación de la superficie desnuda natural del suelo.

n_1 = un factor de corrección para el efecto de irregularidades superficiales en la planicie de inundación.

n_2 = un valor para variación en forma y tamaño de la sección transversal de planicie de inundación, se asume un valor de 0.00.

n_3 = un valor para las obstrucciones en la planicie de inundación.

n_4 = un valor para la vegetación en la planicie de inundación.

m = un factor de corrección que usualmente para las planicies de inundación equivale a 1.00

Capítulo 5 : PROCESAMIENTO Y RESULTADOS

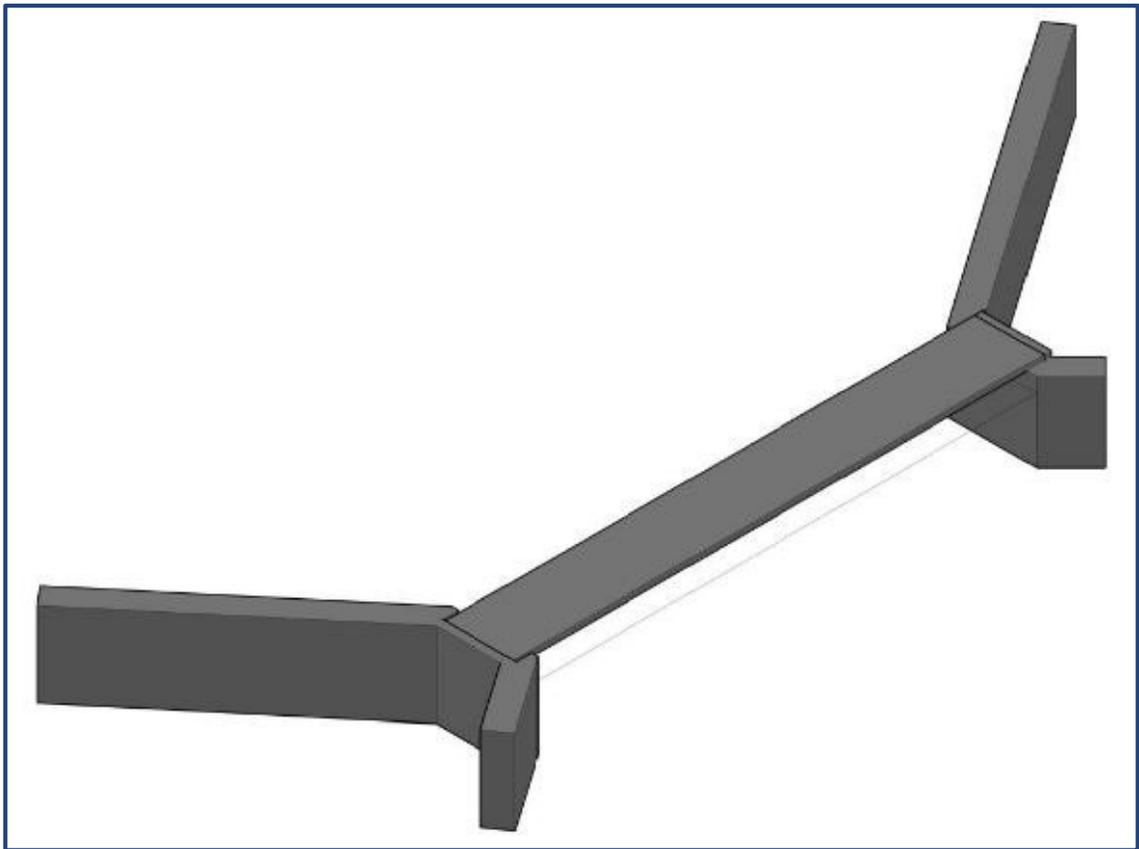
5.1. Procedimiento

Con la información hallada en el capítulo 4 se tiene todos los datos de entrada para realizar el modelado, siendo su procedimiento el siguiente:

5.1.1. Modelamiento de estribos y puente.

Según las medidas obtenidas en campo se obtuvieron las dimensiones de ambos estribos del puente y del tablero, las cuales se han plasmado en un modelo 3D en AutoCAD, para luego ser guardado en la extensión .dxf, para su posterior importación en IBER, el plano de los estribos y tablero del puente está detallado en los anexos.

Figura 5. 1: Isométrico de estribos y tablero del puente Chuquillanqui



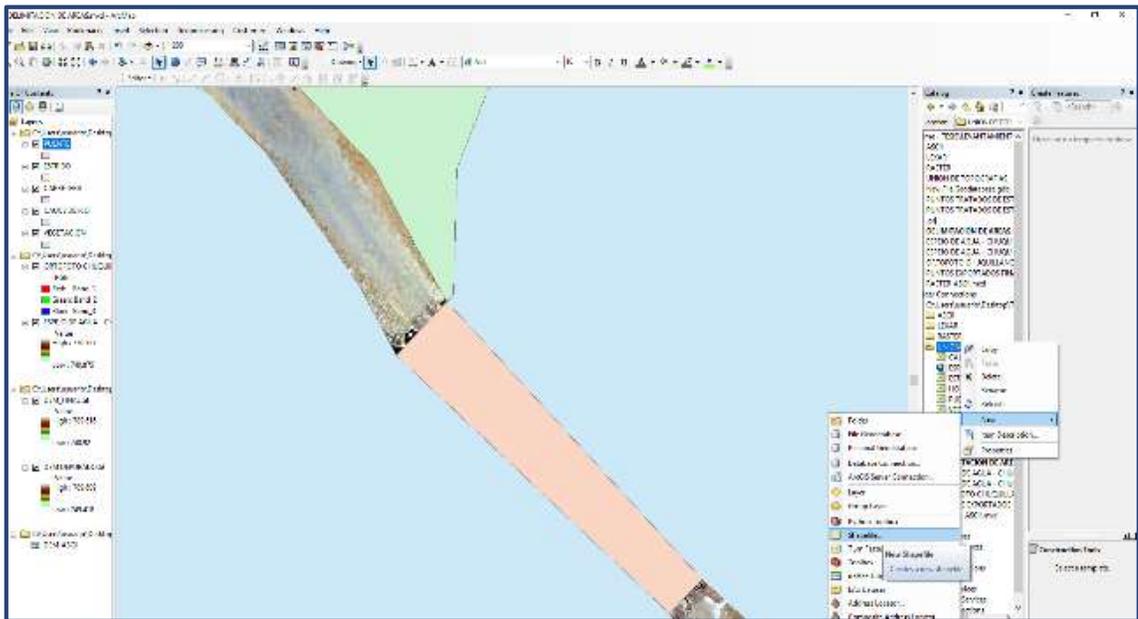
Fuente: Propia

5.1.2. Delimitación de áreas poligonales.

Tomando como base la ortofoto se procede a realizar la delimitación en ArcGIS de 5 zonas bien marcadas que son: estribos, tablero de puente, cauce, vegetación y carretera, esta delimitación se hace para diferenciar bien estas zonas pues tienen coeficientes de rugosidad de Manning o en su defecto para un mejor manejo de cada uno de estos elementos en los modelados futuros.

Primero vinculamos la carpeta de trabajo en Catalog/ Folder Connections y procedemos a crear los shapefile de las 5 zonas mencionadas anteriormente y se comienza a dibujar polígonos en sus respectivas capas.

Figura 5. 2: Creación de shapefile, para delimitación de áreas poligonales.

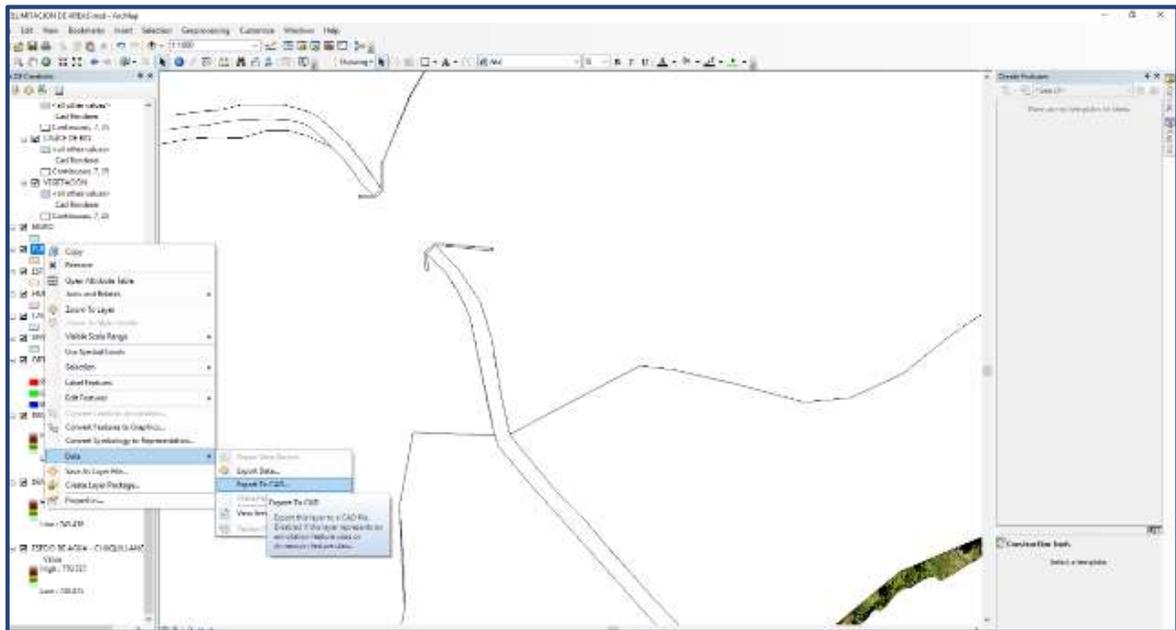


Fuente: Propia

5.1.3. Georreferenciación de modelo.

Después de tener creadas las áreas poligonales en sus respectivas capas se procede a exportar al AutoCAD, para poder ajustarlo al puente que se ha modelado, y darle la elevación correspondiente al punto de referencia que en nuestro caso sería la cota del tablero del puente que es 760.90 m.s.n.m.

Figura 5. 3: Proceso de exportación de ArcGis a AutoCAD, después de unir área de polígonos con el puente.



Fuente: Propia

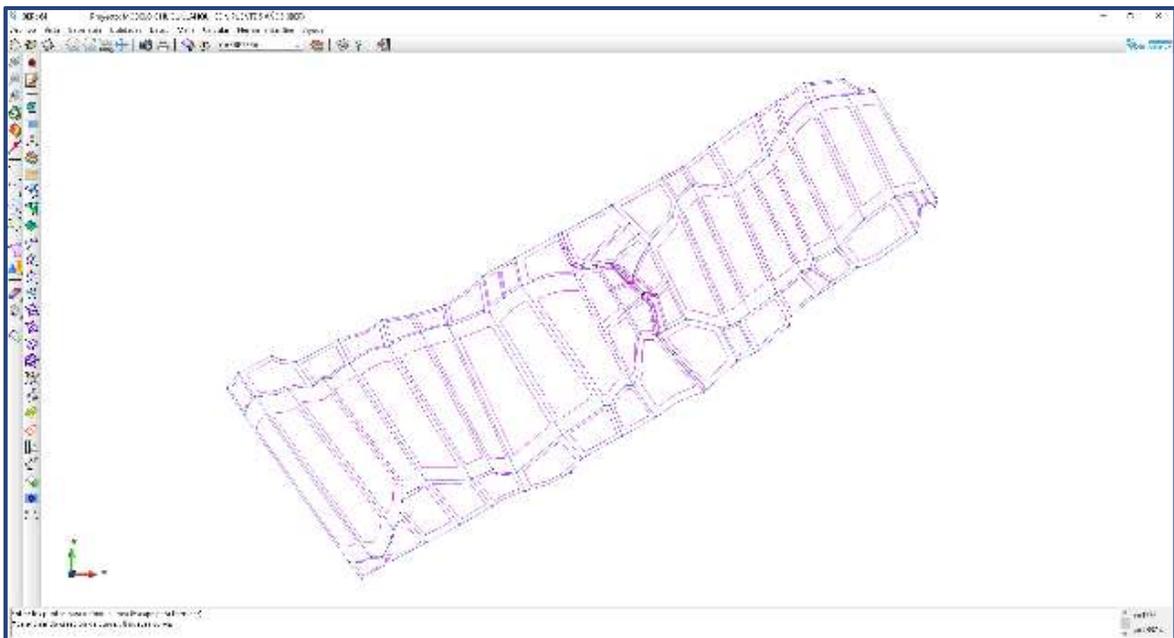
En AutoCAD se ajusta el puente, que ha sido modelado en 3D, a las áreas poligonales y se procede a georreferenciar el dibujo en su conjunto, se graba el archivo en formato (.dxf) para poder importarlo en el software IBER.

5.1.4. Creación de superficies en IBER.

Importamos el archivo que contiene la delimitación de las áreas poligonales y el puente en formato (.dxf) al IBER, posteriormente procedemos a crear las superficies en: Geometría/ crear/ superficie NURBS/ Búsqueda, esta opción busca automáticamente secuencia de líneas que estén completamente cerradas. Sin embargo, el software tiene la restricción que para polígonos de grandes áreas no se puede crear la superficie, por lo tanto, es necesario dividir toda el área en polígonos más pequeños, manteniendo la misma capa.

Para dividir las líneas se va a la opción: Geometría/ edición/ dividir/ líneas/ número de divisiones, y se procede a ingresar la cantidad de segmentos que se desea que queden, posteriormente vamos a la opción: Geometría, crear, línea recta y se unen los puntos generados por la división de las líneas según el criterio de los investigadores.

Figura 5. 4: Creación de superficies en IBER.



Fuente: Propia

A los estribos y tablero del puente también se les crea sus respectivas superficies. Es preciso mencionar que las superficies no deben tener una verticalidad tan pronunciada, pues el software lo detecta como error, es por eso que para los elementos verticales se les ha considerado un ligero talud.

5.1.5. *Asignación de rugosidades.*

Con las superficies creadas comenzamos a asignar los coeficientes de rugosidad de Manning siendo los siguientes:

Tabla 5. 1: Coeficientes de Manning para las superficies creadas en IBER.

ZONAS	COEFICIENTE DE MANNING
SUELO DESNUDO	0.023
CAUCE DE RÍO	0.032
VEGETACIÓN DISPERSA	0.080
HORMIGÓN	0.018

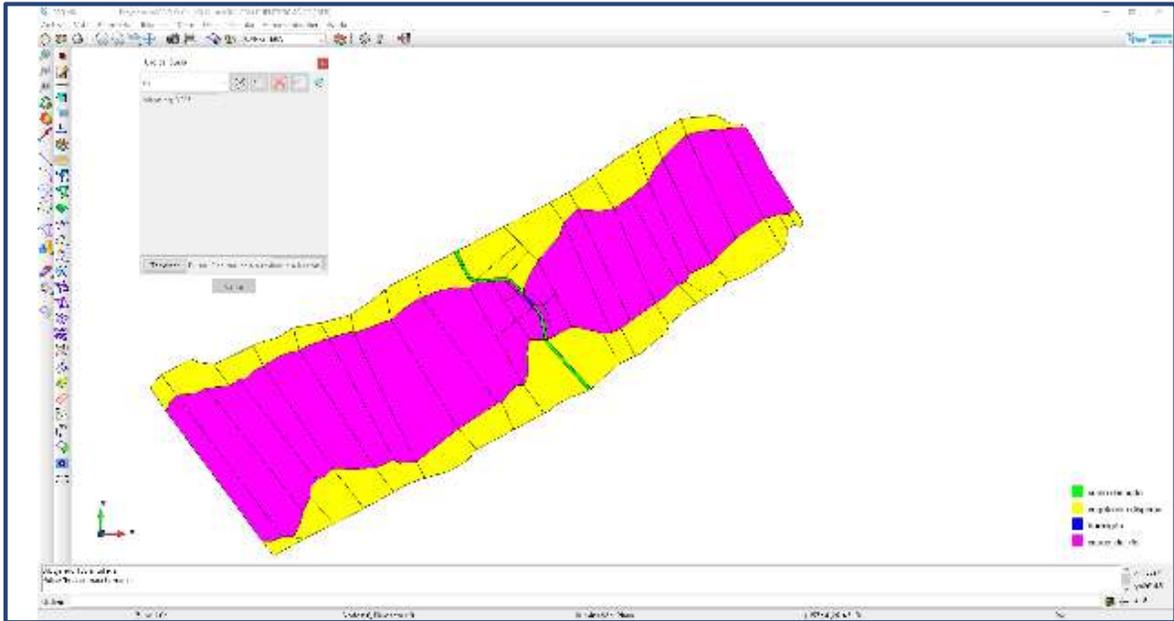
Fuente: Propia

Para asignar los coeficientes a cada superficie se va a la opción: Datos/ Rugosidad/ Uso de suelo, se selecciona el coeficiente correspondiente y se procede a seleccionar las superficies que tendrán esta rugosidad.

Se recomienda que, para una mayor seguridad de la asignación de rugosidad a todas las superficies, se recomienda ir bloqueando las capas que en ese momento no se van a trabajar, para evitar omisiones o confusiones.

Después de asignar las rugosidades correspondientes el modelo digital de elevación queda como se muestra a continuación:

Figura 5. 5: Modelo digital de elevación con rugosidades de Manning.



Fuente: Propia

5.1.6. *Tamaños de malla de las superficies*

Es necesario asignar tamaño a las superficies, que en otras palabras es asignar la medida que tendrá el lado de cada triángulo en la triangulación; para proceder a asignar los tamaños se ingresan a las siguientes opciones: Malla/ No estructurada/ asignar tamaño a superficies, y se procede a seleccionar las superficies a las que se les asignará el respectivo tamaño de malla.

Es sabido que mientras menor es el tamaño de la malla, más precisa es la simulación, pero mayor es el tiempo de procesamiento, es por eso que, a nuestro criterio como investigadores, en la zona del puente y terraplén de acceso se ha reducido el tamaño de la malla comparado con las otras superficies, pues es nuestro principal enfoque en esta investigación.

Los tamaños asignados a las superficies son los siguientes:

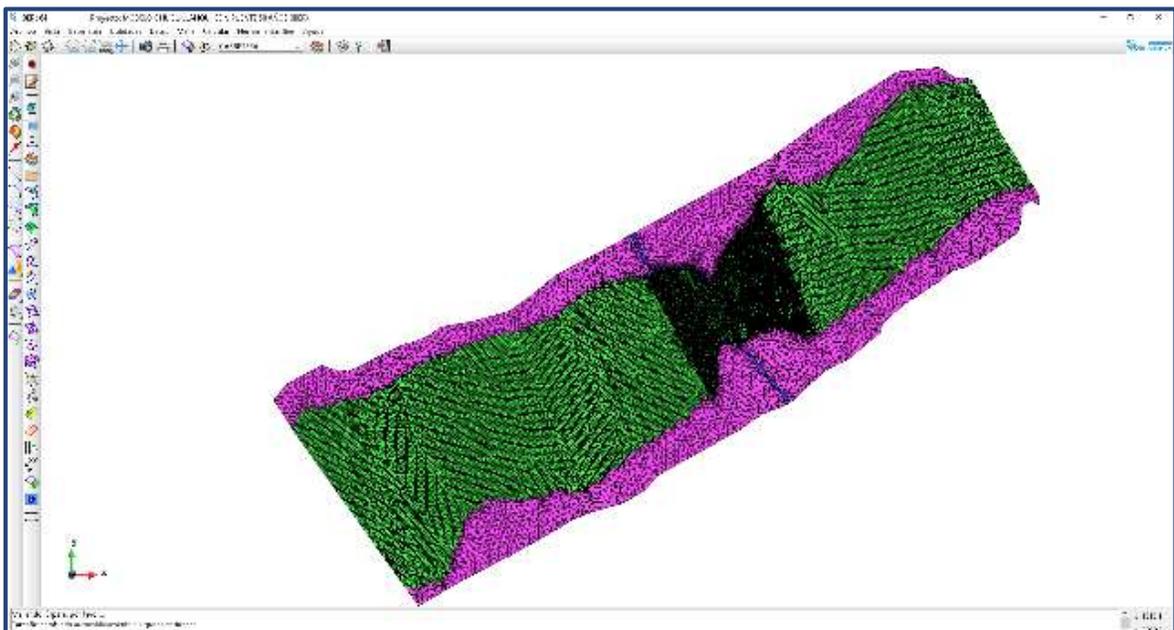
Tabla 5. 2: Tamaños de malla según las superficies creadas en IBER.

ÁREA POLIGONAL	TAMAÑO DE MALLA
CARRETERA	6
CAUCE DE RIO	2-5
ESTRIBO	2
PUENTE	2
VEGETACIÓN	10

Fuente: Propia

Estas mallas contienen la información ingresada, como: datos del problema, hidrodinámica, rugosidad y transporte de sedimentos, es por esta razón que cada vez que se realiza un cambio en estos datos es necesario generar la malla, pero ya no es necesario ingresar de nuevo el tamaño de malla, este procedimiento se hace ingresando a las opciones: Malla/ Generar malla. Y quedaría como se muestra a continuación:

Figura 5. 6: Generación de malla del modelo digital de elevación.



Fuente: Propia

5.1.7. *Datos del problema.*

En esta pestaña se configura los parámetros generales de la renderización.

Parámetros de tiempo: Usaremos como tiempo máximo de simulación 30000 segundos, pues el hidrograma tiene 30600 segundos en total, de esta manera aseguramos que todo el caudal trascendente atraviese a lo largo de todo el cauce del río, así mismo de usará un intervalo de resultado de 30 segundos, es decir el renderizado será cada 30 segundos, desde 0 hasta 30000.

Resultados: En esta pestaña se indica que parámetros queremos que nos dé como resultado el IBER, en nuestro modelo indicaremos que queremos los resultados de: calado, velocidad, caudal específico, cota del agua, número de Froude, tensión de fondo, máximo calado, máxima velocidad, máxima cota de agua y máxima tensión de fondo.

Sedimentos: En esta pestaña se ingresa los datos correspondientes a sedimentos, activamos la opción transporte de fondo y elegimos el modelo a utilizar, que es el de Meyer-Peter&Müller, a continuación, nos pide que ingresemos el d_{50} , que es 0.02721m, la porosidad que es 0.33, el ángulo de fricción interna que es 0.59 y la densidad relativa o gravedad específica que es 2.59.

5.1.8. *Hidrodinámica.*

Ingresamos a la pestaña Datos/ hidrodinámica/ condiciones de contorno, en este menú indicamos tanto la entrada como la salida de flujo.

Entrada 2D: Que viene a ser el flujo que está ingresando al modelo aguas arriba, régimen crítico/ subcrítico después en caudal total ingresaremos bien un caudal permanente o un caudal no permanente, que vendría a ser un hidrograma y finalmente asignamos la entrada en el modelo, que es el límite aguas arriba, por donde ingresará el flujo.

Salida 2D: Condición del flujo supercrítico/crítico, procedemos a asignar la salida del flujo que es el límite del modelo aguas abajo.

5.1.9. *Asignación del MDE al modelo IBER.*

Una vez que tenemos todos los parámetros ingresados y la generación de la malla, procedemos a bloquear los elementos estribos y tablero del puente, pues estos elementos no van a adoptar la forma del terreno, ni su elevación, estos elementos tienen sus propias dimensiones y elevaciones invariables, después de bloquear estos elementos asignaremos los datos de elevación, que contiene el MDE en el formato ASCII, al modelo IBER, ingresando a las opciones: Herramientas Iber/ malla/ editar/ asignación elevación desde un archivo, y ruteamos el archivo ASCII, que ha sido generado en el ítem 4.1.3.

5.1.10. *Procesamiento.*

Estando asignado el MDE, vamos a la pestaña calcular/ calcular y dejamos que proceda el modelo, este proceso puede durar desde minutos hasta días, no se tiene un tiempo exacto, lo que si se conoce es que está en función de: tamaño de malla, presencia de sedimentos, estructuras hidráulicas, tiempo máximo de simulación y condición del flujo, es decir si el flujo es permanente demora un mayor tiempo que un flujo no permanente, claro que también está en función de la magnitud escalar de estos flujos.

En esta investigación se ha realizado 3 escenarios: con puente, sin puente y propuesta de solución. Con flujo no permanente se han realizado 5 simulaciones para cada escenario y para flujo permanente se han realizado 6 simulaciones para cada escenario, haciendo un total de 33 simulaciones.

5.2. Resultados

Los resultados obtenidos de las simulaciones hidráulicas son a lo largo de todo el cauce y en cada instante, es decir tenemos un sinnúmero de resultados, por lo tanto, mencionar cada resultado sería muy complejo, sin embargo, a criterio de los investigadores se han tomado 6 secciones (A, B, C, D, E y F), 03 aguas arriba y 03 aguas abajo, en cada sección se han tomado tres puntos de control, estando ubicado el PC-01 al margen derecho del cauce, el

PC-02 al medio del cauce y el PC-03 al margen izquierdo del cauce, obteniendo en total 18 puntos de control. Las secciones y los puntos de control estarán indicados en los planos anexos.

Además, es necesario definir en qué instante se va a tomar, pues tenemos 1000 instantes diferentes de resultados para cada simulación de flujos no permanentes, es por esta razón que se observado en que instantes los caudales son más representativos y tienen un mayor grado de incidencia, siendo los instantes considerados los que se mencionan a continuación:

Tabla 5. 3: Instantes de resultados, según los períodos de retorno.

	PERÍODOS DE RETORNO				
	5 AÑOS	10 AÑOS	25 AÑOS	50 AÑOS	100 AÑOS
	4800	4200	4200	3600	3600
INSTANTE	7800	7200	6600	6600	6600
	11400	10800	10200	10800	10200
	13800	13200	12600	13200	12600
	16200	15600	15000	15600	15000

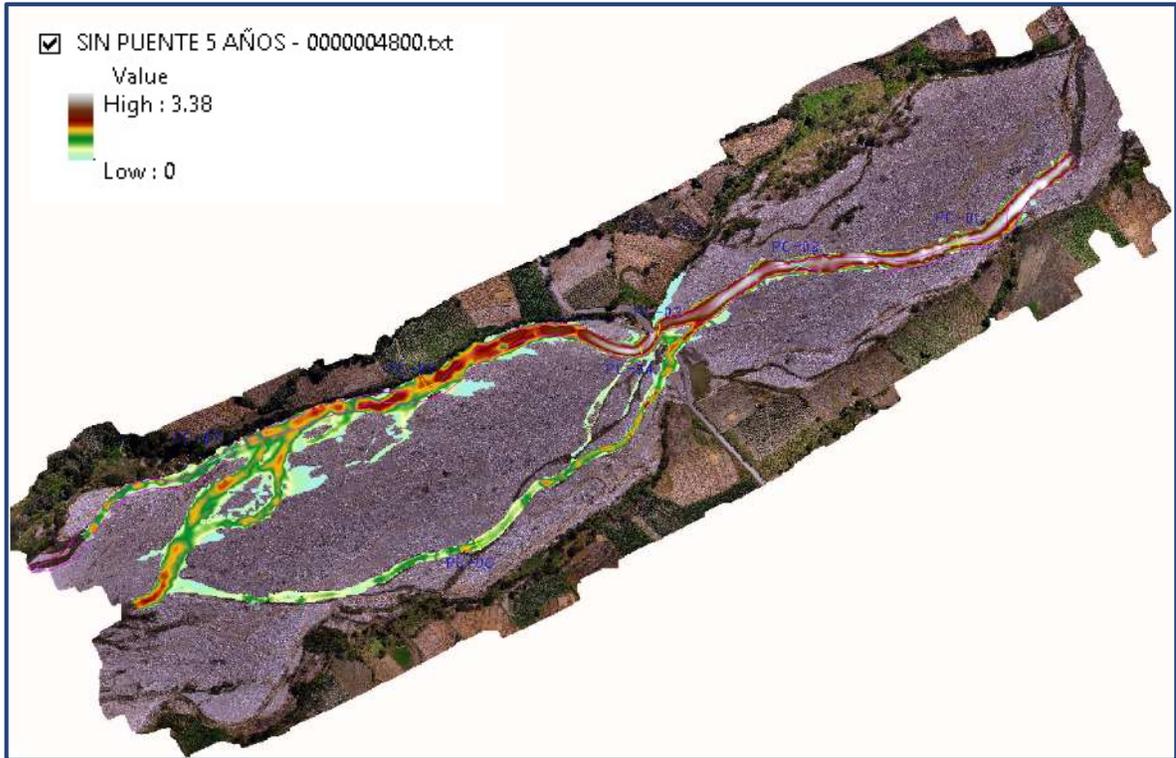
Fuente: Propia

Los resultados que hemos obtenido son valores para velocidad, tensión de fondo, sedimentación (sección) y transporte de fondo.

5.2.1. Velocidad de flujo.

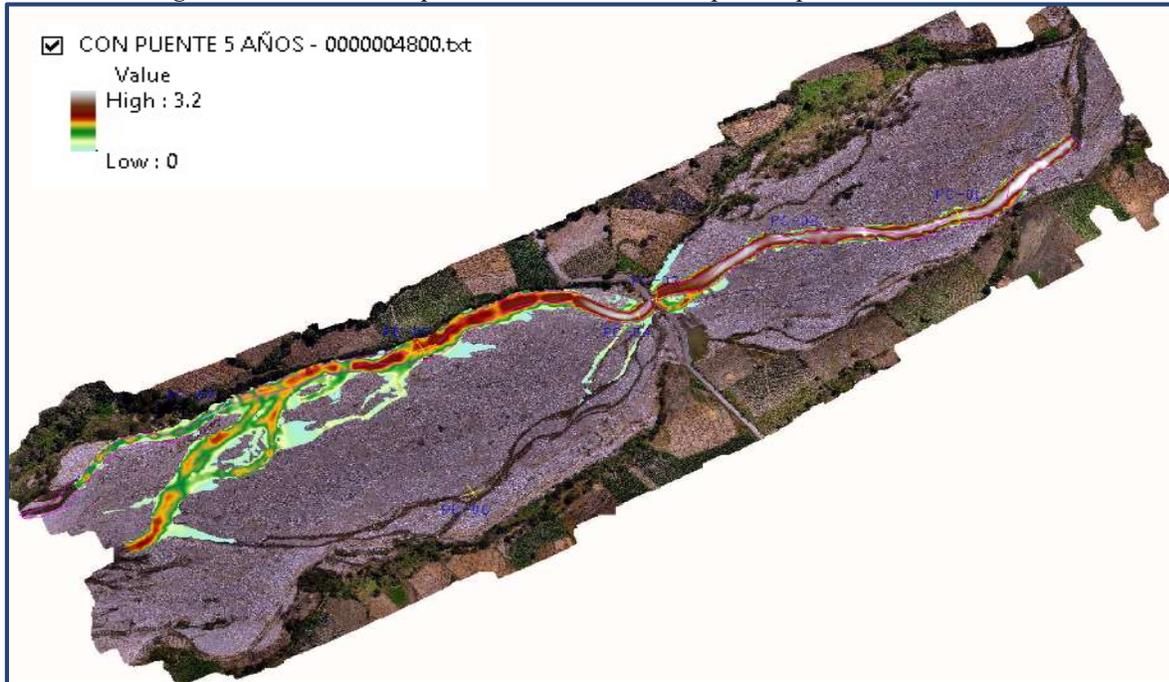
5.2.1.1. Período de Retorno de 5 años.

Figura 5. 7: Modelo sin puente en el instante 4800, para un período de retorno de 5 años.



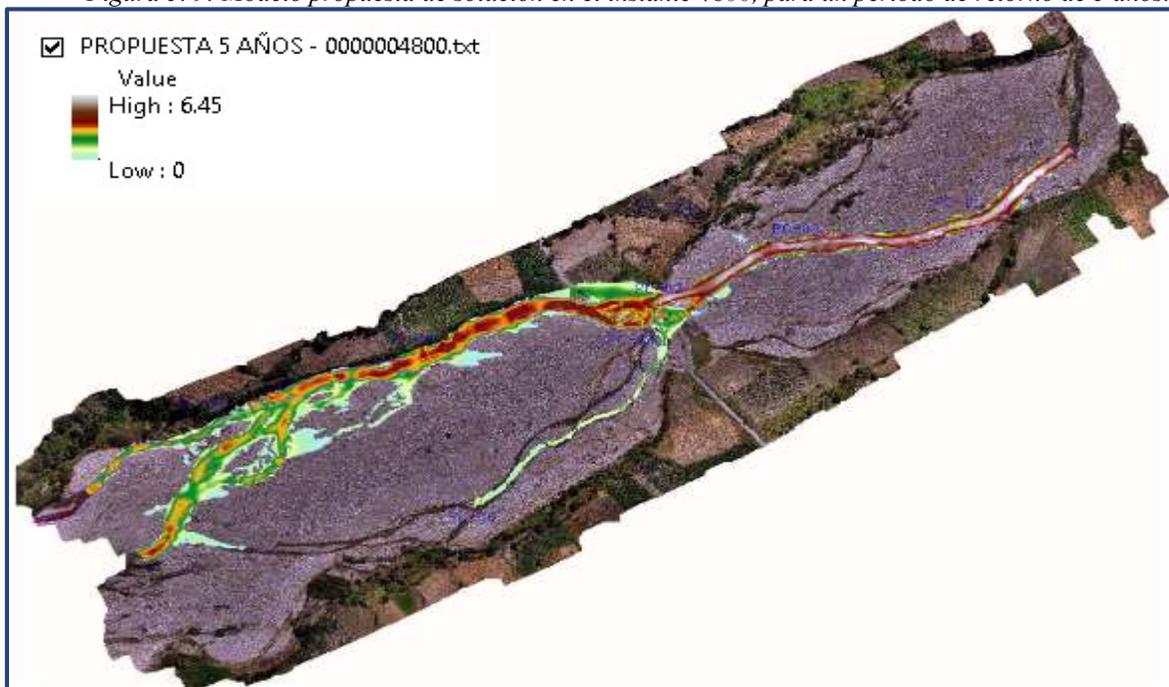
Fuente: Propia

Figura 5. 8: Modelo con puente en el instante 4800, para un periodo de retorno de 5 años.



Fuente: Propia

Figura 5. 9: Modelo propuesta de solución en el instante 4800, para un periodo de retorno de 5 años.



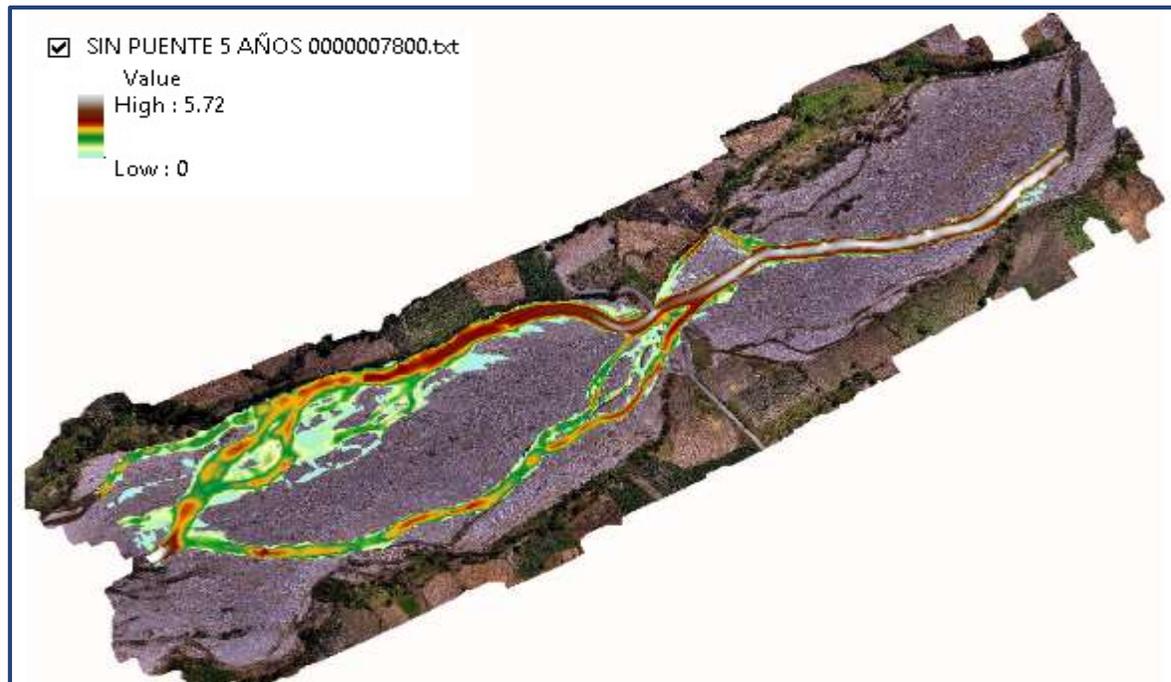
Fuente: Propia

Tabla 5. 4: Velocidades en m/s para un período de retorno de 5 años, en el instante 4800.

SECCIÓN	PTOS DE CONTROL	SIN PUENTE	CON PUENTE	PROPUESTA
A	PC-01	-	-	-
	PC-02	-	-	-
	PC-03	3.01	3.01	3.04
B	PC-01	-	-	-
	PC-02	1.10	1.11	1.47
	PC-03	-	-	-
C	PC-01	2.25	2.25	2.28
	PC-02	-	-	-
	PC-03	-	-	-
D	PC-01	1.78	1.78	1.76
	PC-02	-	-	-
	PC-03	1.05	-	0.40
E	PC-01	1.07	1.14	1.33
	PC-02	-	-	-
	PC-03	0.67	-	-
F	PC-01	1.12	1.14	1.35
	PC-02	1.36	1.42	1.38
	PC-03	-	-	-

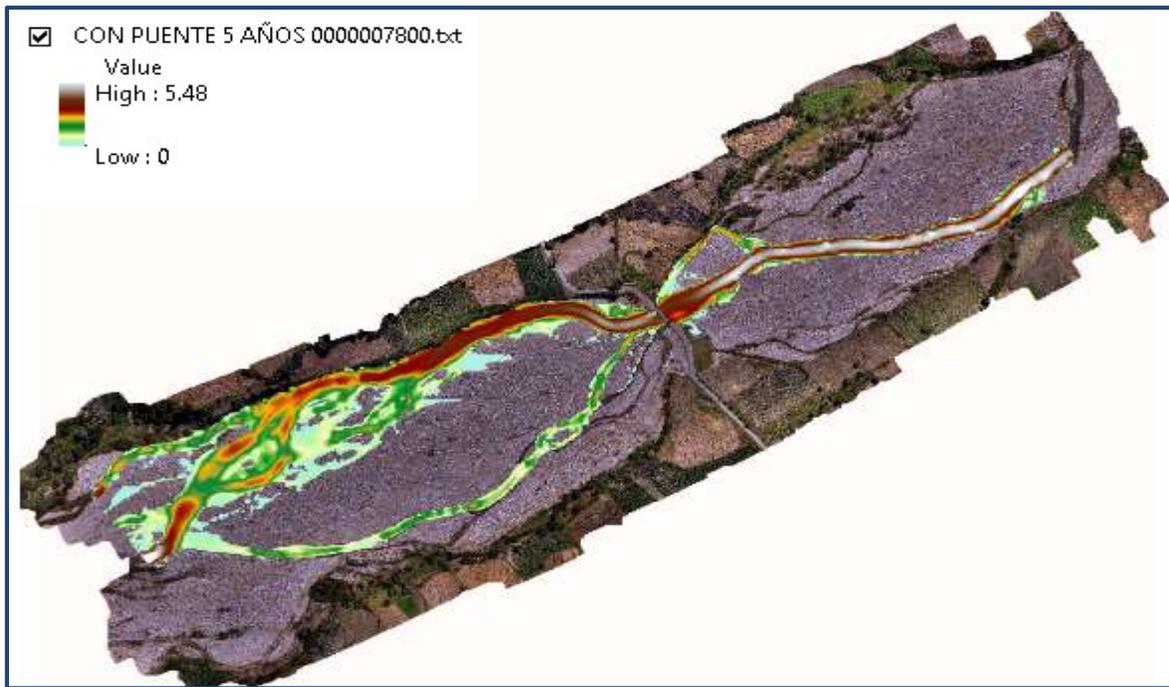
Fuente: Propia

Figura 5. 10: Modelo sin puente en el instante 7800, para un período de retorno de 5 años.



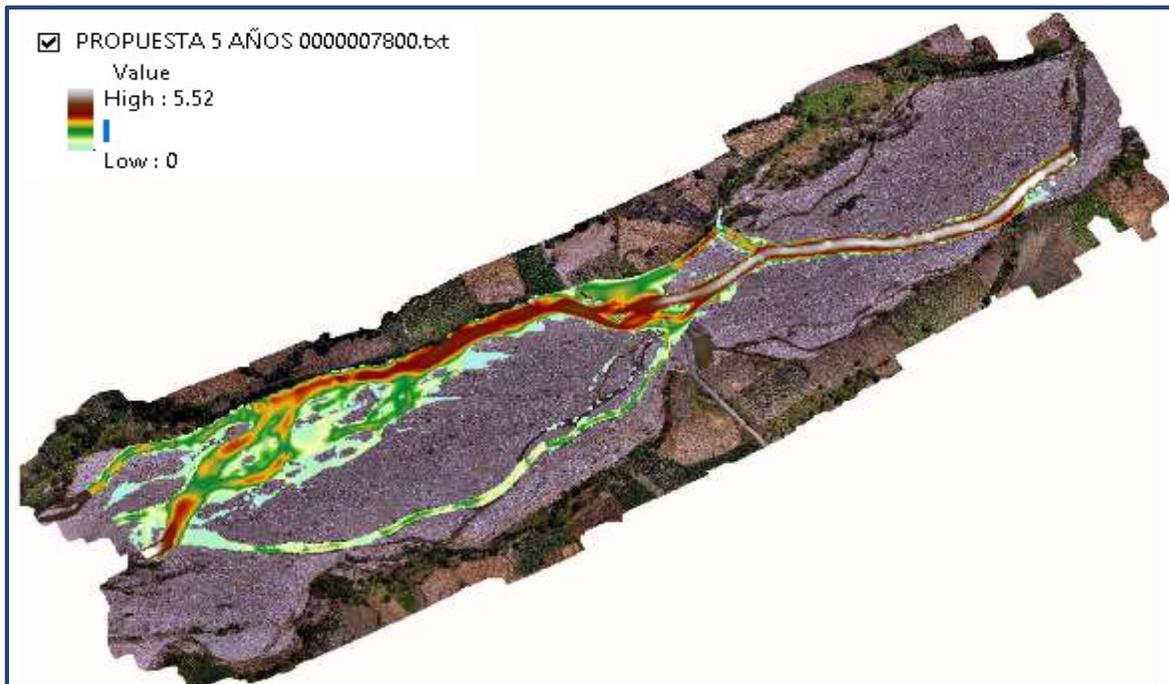
Fuente: Propia

Figura 5. 11: Modelo con puente en el instante 7800, para un periodo de retorno de 5 años.



Fuente: Propia

Figura 5. 12: Modelo propuesta de solución en el instante 7800, para un periodo de retorno de 5 años.



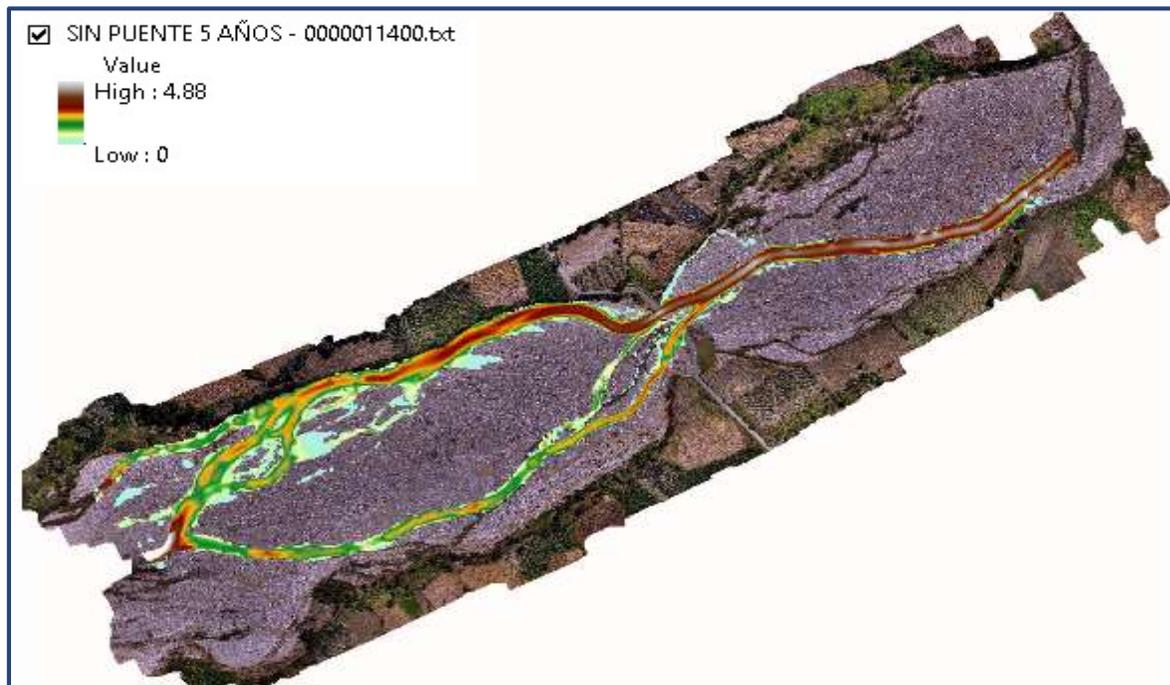
Fuente: Propia

Tabla 5. 5: Velocidades en m/s para un período de retorno de 5 años, en el instante 7800.

SECCIÓN	PTOS DE CONTROL	SIN PUENTE	CON PUENTE	PROPUESTA
A	PC-01	-	-	-
	PC-02	-	-	-
	PC-03	3.28	3.16	3.52
B	PC-01	-	-	-
	PC-02	2.84	2.97	2.80
	PC-03	-	-	-
C	PC-01	2.53	2.48	2.75
	PC-02	-	-	-
	PC-03	-	-	-
D	PC-01	2.12	2.14	2.14
	PC-02	-	-	-
	PC-03	1.68	-	0.73
E	PC-01	1.62	1.81	1.90
	PC-02	0.08	0.33	0.36
	PC-03	1.44	0.85	0.70
F	PC-01	1.48	1.36	1.49
	PC-02	2.44	2.38	2.33
	PC-03	-	-	-

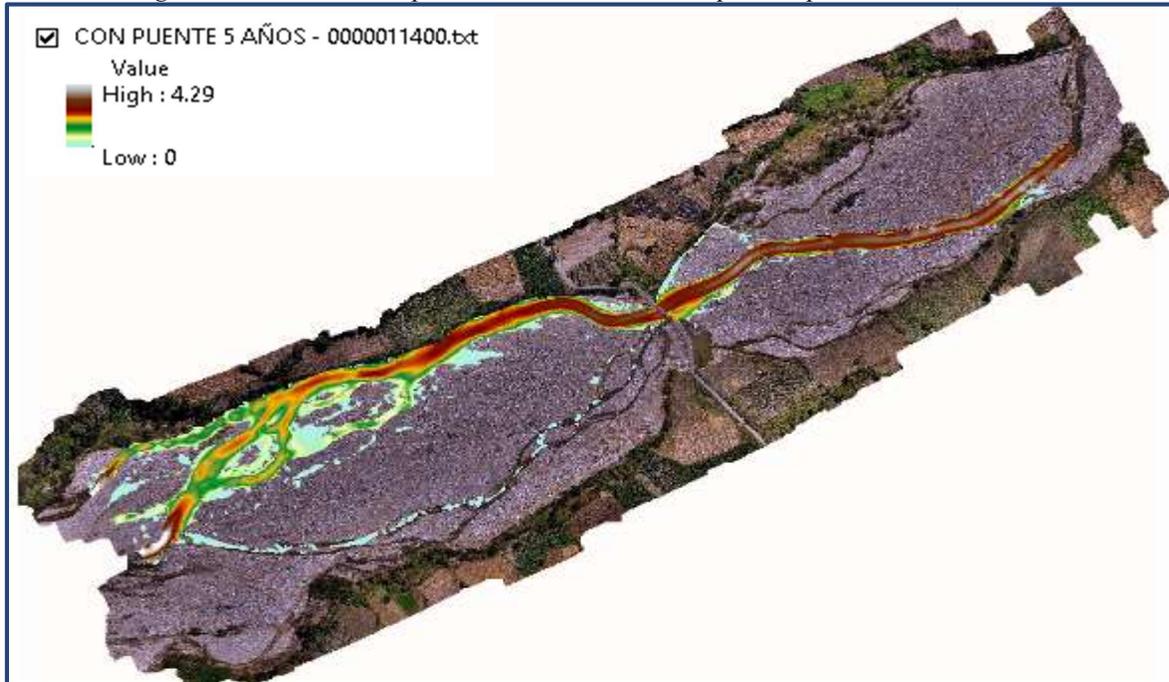
Fuente: Propia

Figura 5. 13: Modelo sin puente en el instante 11400, para un período de retorno de 5 años.



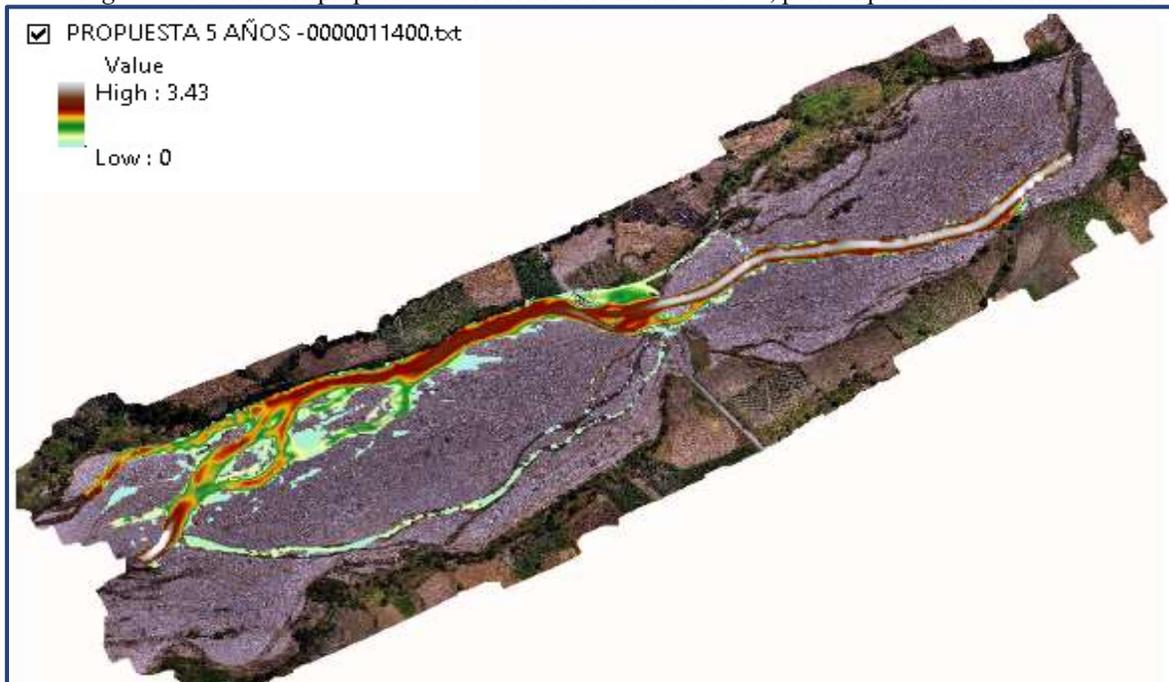
Fuente: Propia

Figura 5. 14: Modelo con puente en el instante 11400, para un periodo de retorno de 5 años.



Fuente: Propia

Figura 5. 15: Modelo propuesta de solución en el instante 11400, para un periodo de retorno de 5 años.



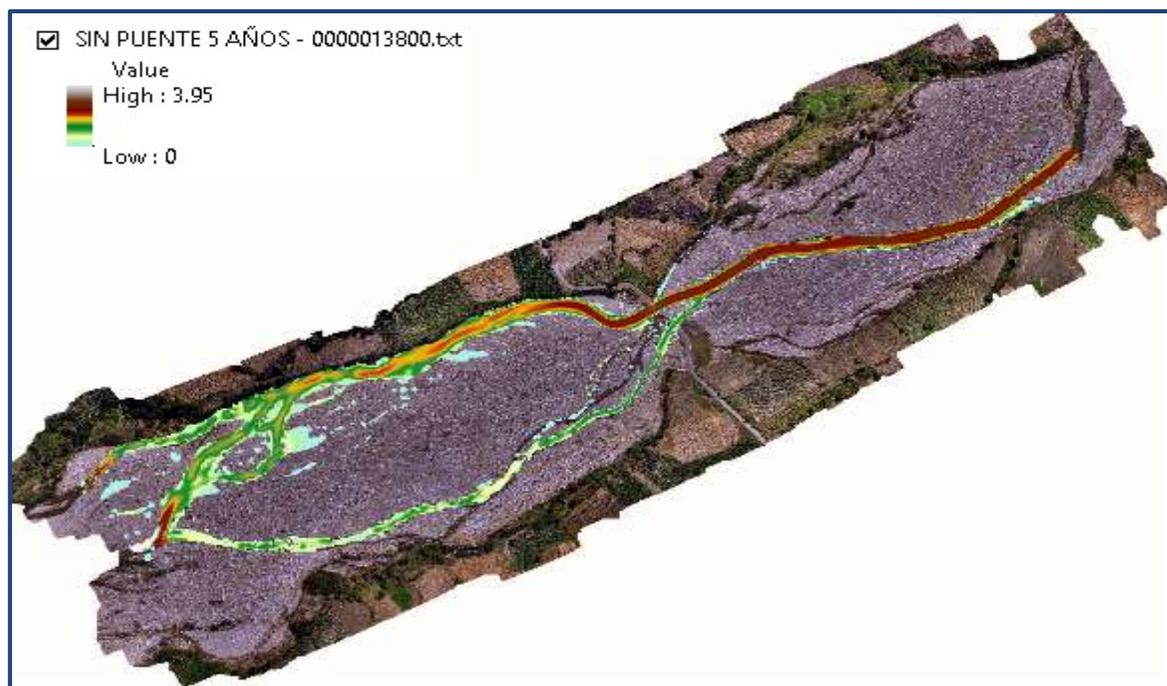
Fuente: Propia

Tabla 5. 6: Velocidades en m/s para un período de retorno de 5 años, en el instante 11400.

SECCIÓN	PTOS DE CONTROL	SIN PUENTE	CON PUENTE	PROPUESTA
A	PC-01	-	-	-
	PC-02	-	-	-
	PC-03	2.44	2.50	2.79
B	PC-01	-	-	-
	PC-02	1.93	2.15	1.88
	PC-03	-	-	-
C	PC-01	2.08	2.19	2.29
	PC-02	.	-	-
	PC-03	-	-	-
D	PC-01	1.66	1.73	1.73
	PC-02	-	-	-
	PC-03	1.42	-	0.10
E	PC-01	1.42	1.55	1.59
	PC-02	-	-	-
	PC-03	1.21	0.10	0.24
F	PC-01	1.53	1.72	1.46
	PC-02	2.36	2.12	1.89
	PC-03	-	-	-

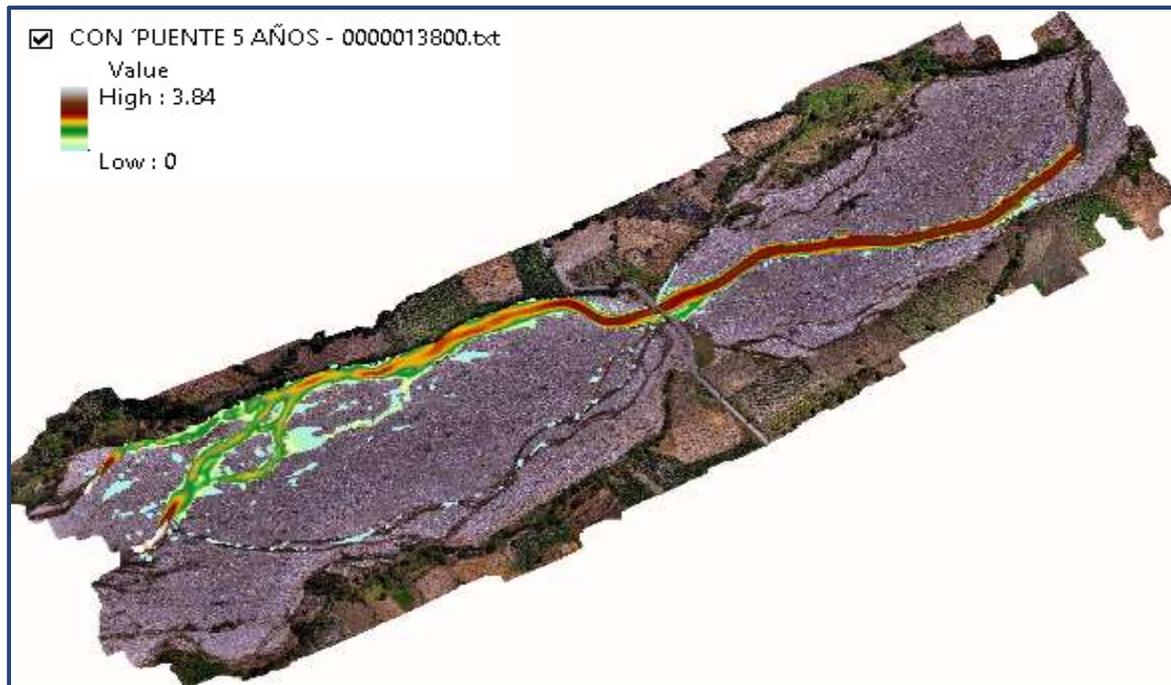
Fuente: Propia

Figura 5. 16: Modelo sin puente en el instante 13800, para un período de retorno de 5 años.



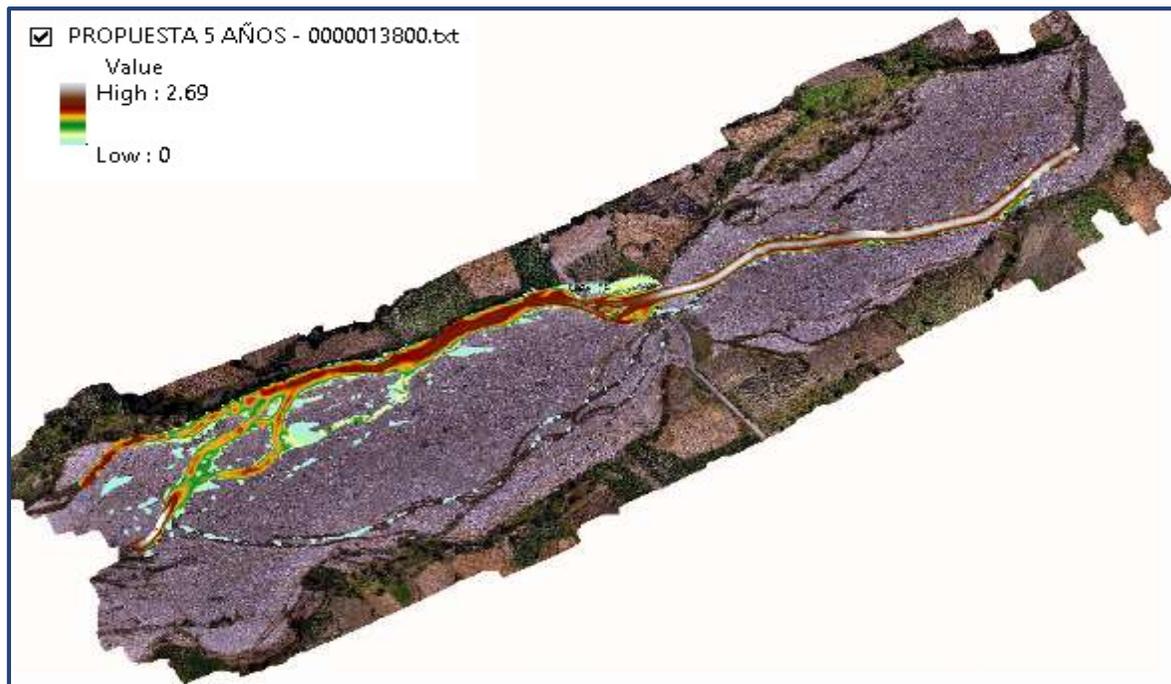
Fuente: Propia

Figura 5. 17: Modelo con puente en el instante 13800, para un periodo de retorno de 5 años.



Fuente: Propia

Figura 5. 18: Modelo propuesta de solución en el instante 13800, para un periodo de retorno de 5 años.



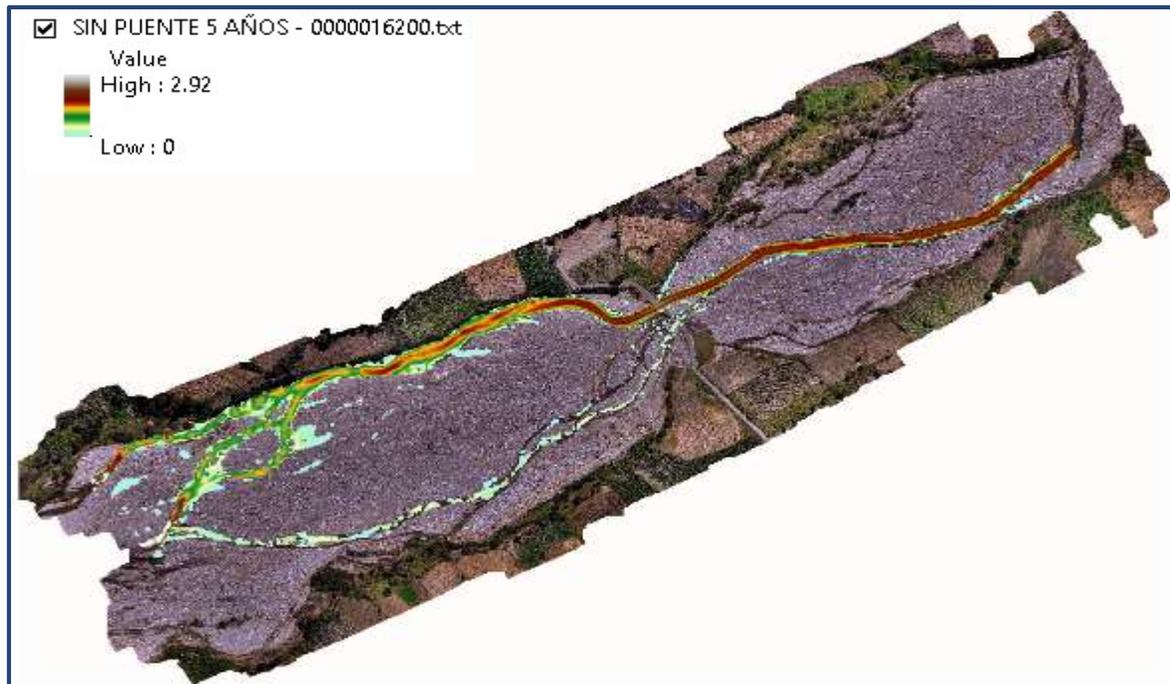
Fuente: Propia

Tabla 5. 7: Velocidades en m/s para un período de retorno de 5 años, en el instante 13800.

SECCIÓN	PTOS DE CONTROL	SIN PUENTE	CON PUENTE	PROPUESTA
A	PC-01	-	-	-
	PC-02	-	-	-
	PC-03	1.82	1.88	2.06
B	PC-01	-	-	-
	PC-02	0.74	1.43	0.71
	PC-03	-	-	-
C	PC-01	1.55	1.70	1.78
	PC-02	-	-	-
	PC-03	-	-	-
D	PC-01	1.34	1.37	1.32
	PC-02	-	-	-
	PC-03	0.87	-	-
E	PC-01	1.12	1.19	1.13
	PC-02	-	-	-
	PC-03	0.67	0.01	0.01
F	PC-01	1.48	1.87	1.33
	PC-02	1.62	-	0.41
	PC-03	-	-	-

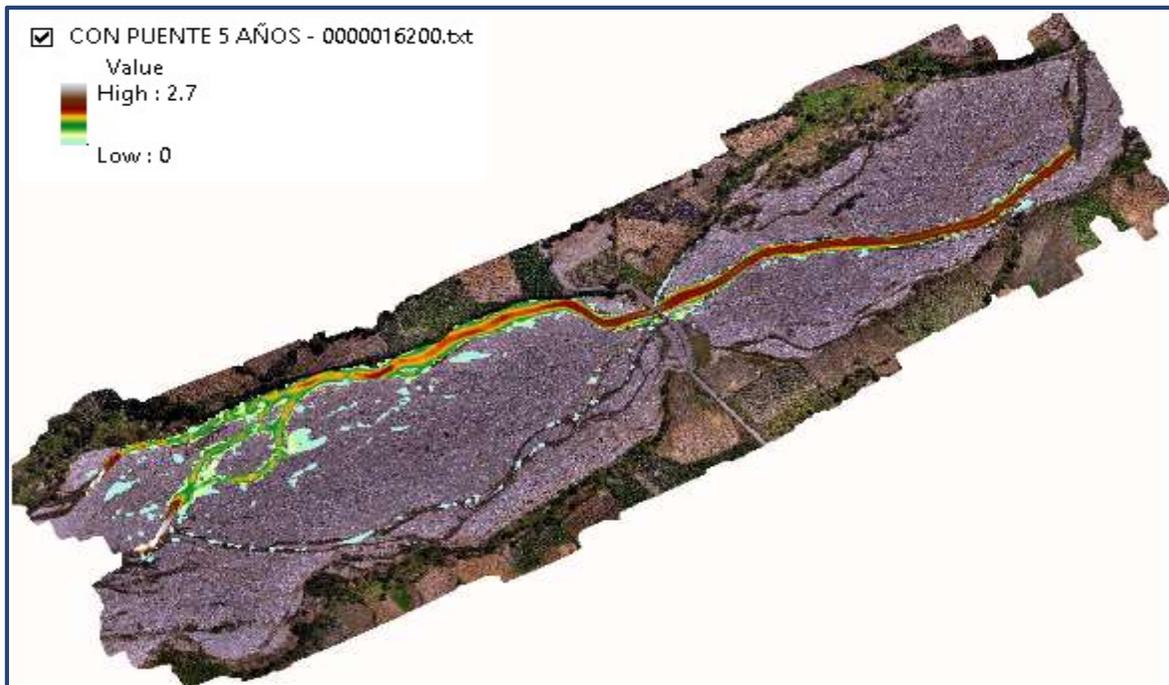
Fuente: Propia

Figura 5. 19: Modelo sin puente en el instante 16200, para un período de retorno de 5 años.



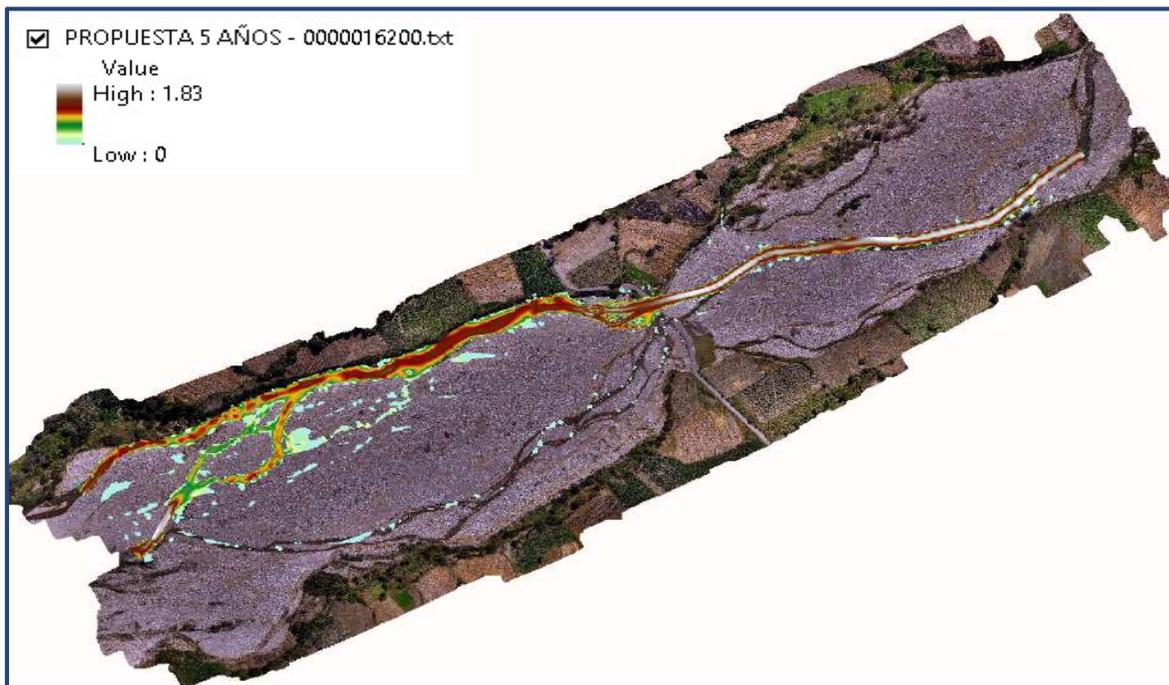
Fuente: Propia

Figura 5. 20: Modelo con puente en el instante 16200, para un periodo de retorno de 5 años.



Fuente: Propia

Figura 5. 21: Modelo propuesta de solución en el instante 16200, para un periodo de retorno de 5 años.



Fuente: Propia

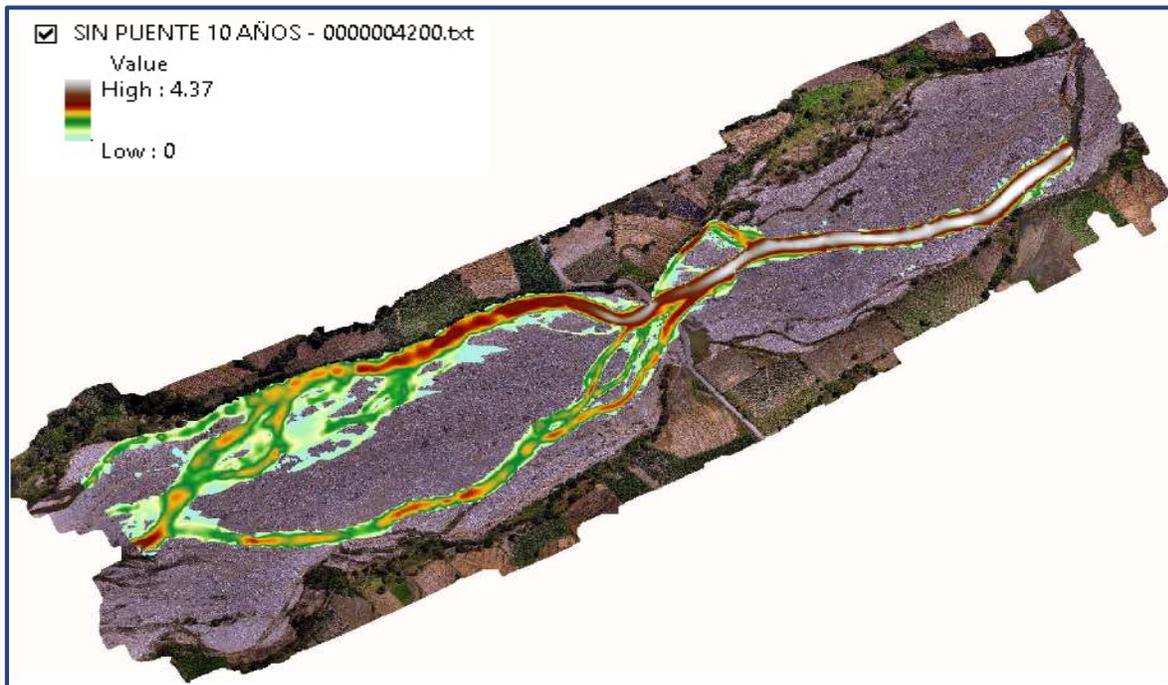
Tabla 5. 8: Velocidades en m/s para un período de retorno de 5 años, en el instante 16200.

SECCIÓN	PTOS DE CONTROL	SIN PUENTE	CON PUENTE	PROPUESTA
A	PC-01	-	-	-
	PC-02	-	-	-
	PC-03	1.42	1.32	1.51
B	PC-01	-	-	-
	PC-02	0.96	0.98	0.96
	PC-03	-	-	-
C	PC-01	1.01	1.25	1.26
	PC-02	-	-	-
	PC-03	-	-	-
D	PC-01	1.00	1.10	1.00
	PC-02	-	-	-
	PC-03	0.33	-	-
E	PC-01	0.84	0.89	0.74
	PC-02	-	-	-
	PC-03	-	-	-
F	PC-01	1.51	1.46	1.19
	PC-02	0.05	-	-
	PC-03	-	-	-

Fuente: Propia

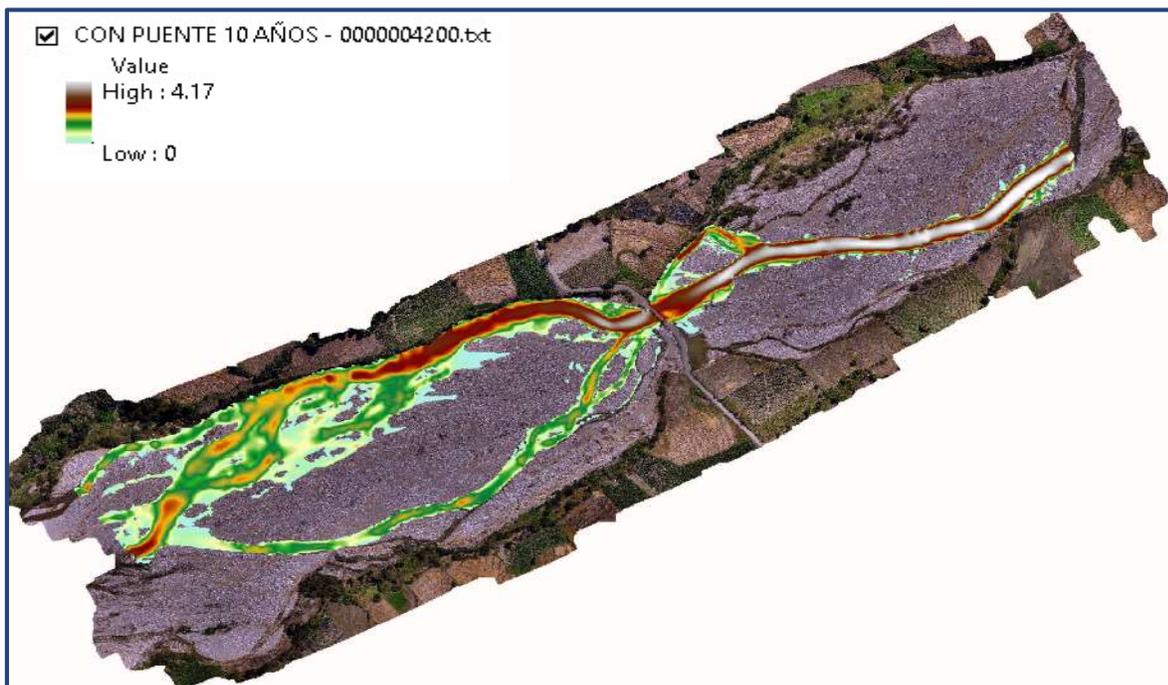
5.2.1.2. *Período de Retorno de 10 años.*

Figura 5. 22: Modelo sin puente en el instante 4200, para un período de retorno de 10 años.



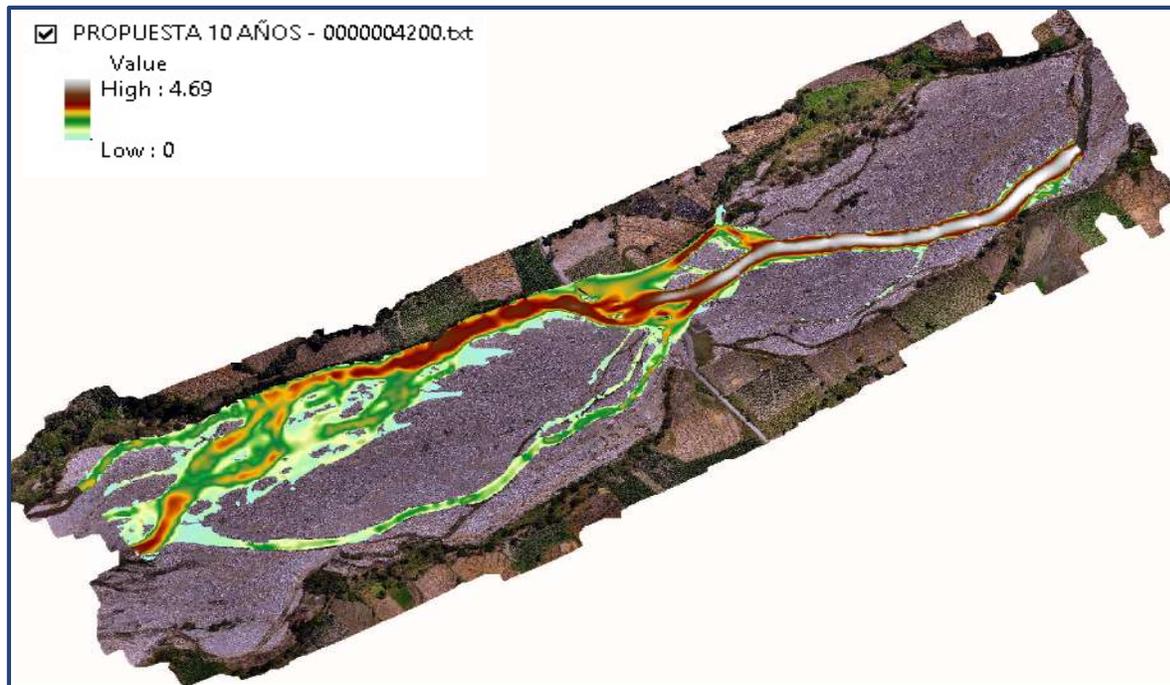
Fuente: Propia

Figura 5. 23: Modelo con puente en el instante 4200, para un período de retorno de 10 años.



Fuente: Propia

Figura 5. 24: Modelo propuesta de solución en el instante 4200, para un período de retorno de 10 años.



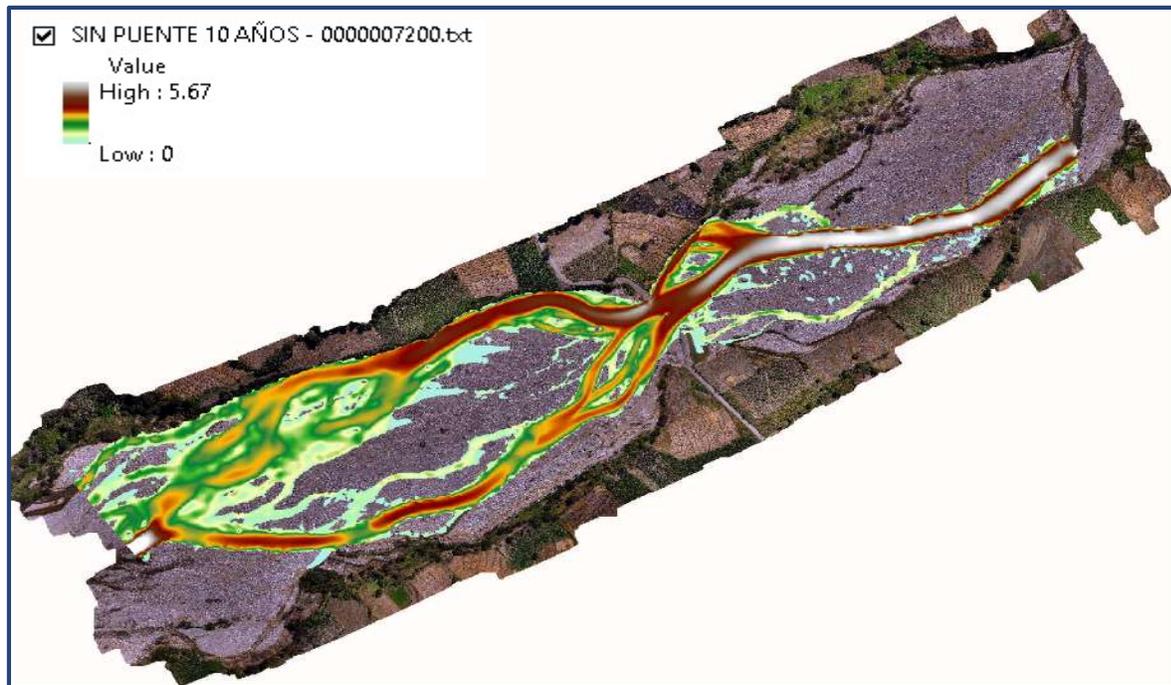
Fuente: Propia

Tabla 5. 9: Velocidades en m/s para un período de retorno de 10 años, en el instante 4200.

SECCIÓN	PTOS DE CONTROL	SIN PUENTE	CON PUENTE	PROPUESTA
A	PC-01	-	-	-
	PC-02	-	-	-
	PC-03	3.82	3.81	3.81
B	PC-01	-	-	-
	PC-02	3.48	3.48	3.45
	PC-03	-	-	-
C	PC-01	2.92	2.92	3.09
	PC-02	-	-	-
	PC-03	-	-	-
D	PC-01	2.38	2.33	2.41
	PC-02	-	-	-
	PC-03	1.81	-	1.11
E	PC-01	1.66	2.06	1.93
	PC-02	0.32	0.45	0.46
	PC-03	1.62	1.22	0.85
F	PC-01	1.46	1.34	1.39
	PC-02	1.89	1.93	1.93
	PC-03	-	-	-

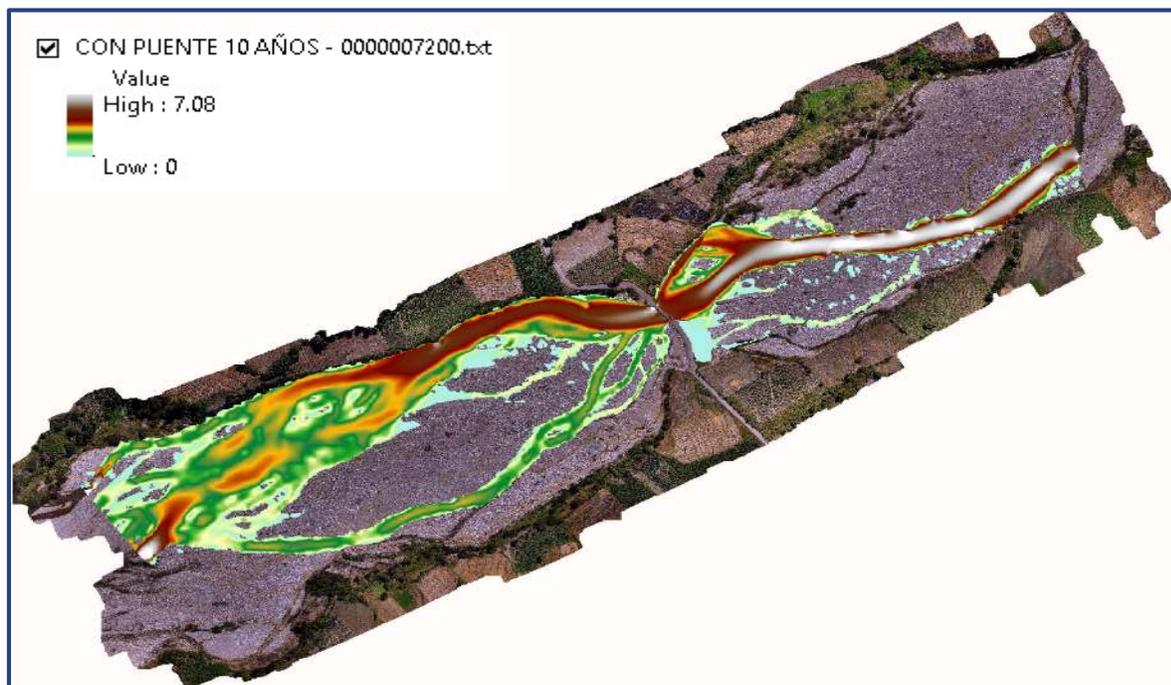
Fuente: Propia

Figura 5. 25: Modelo sin puente en el instante 7200, para un período de retorno de 10 años.



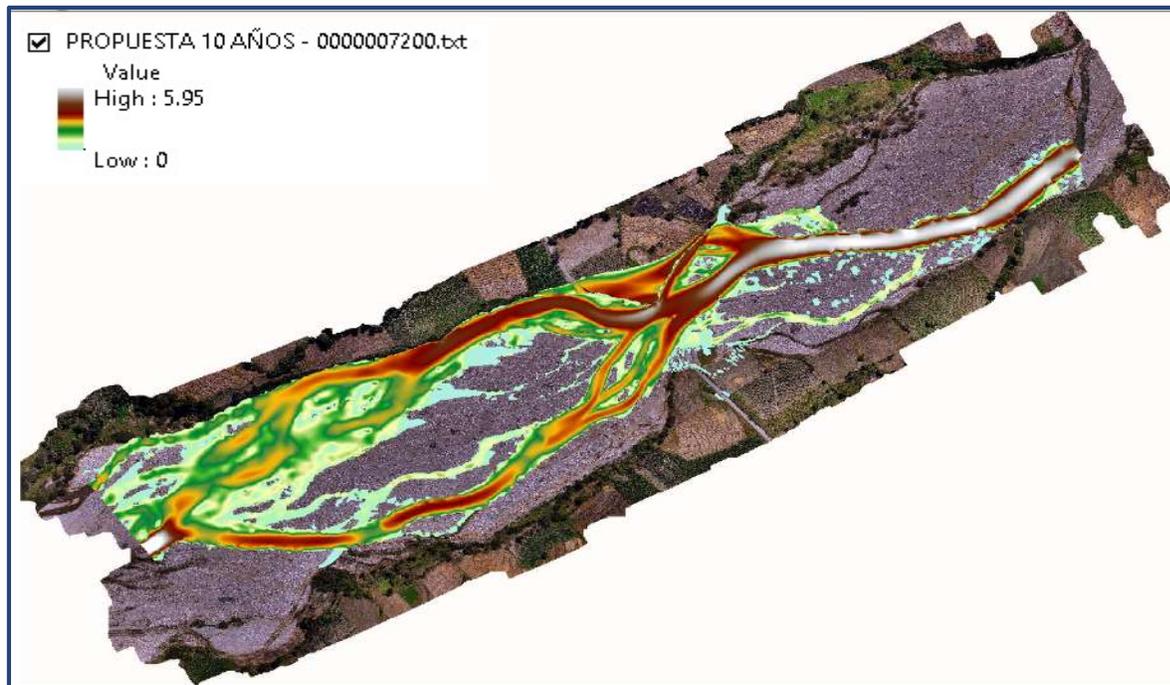
Fuente: Propia

Figura 5. 26: Modelo con puente en el instante 7200, para un período de retorno de 10 años.



Fuente: Propia

Figura 5. 27: Modelo propuesta de solución en el instante 7200, para un período de retorno de 10 años.



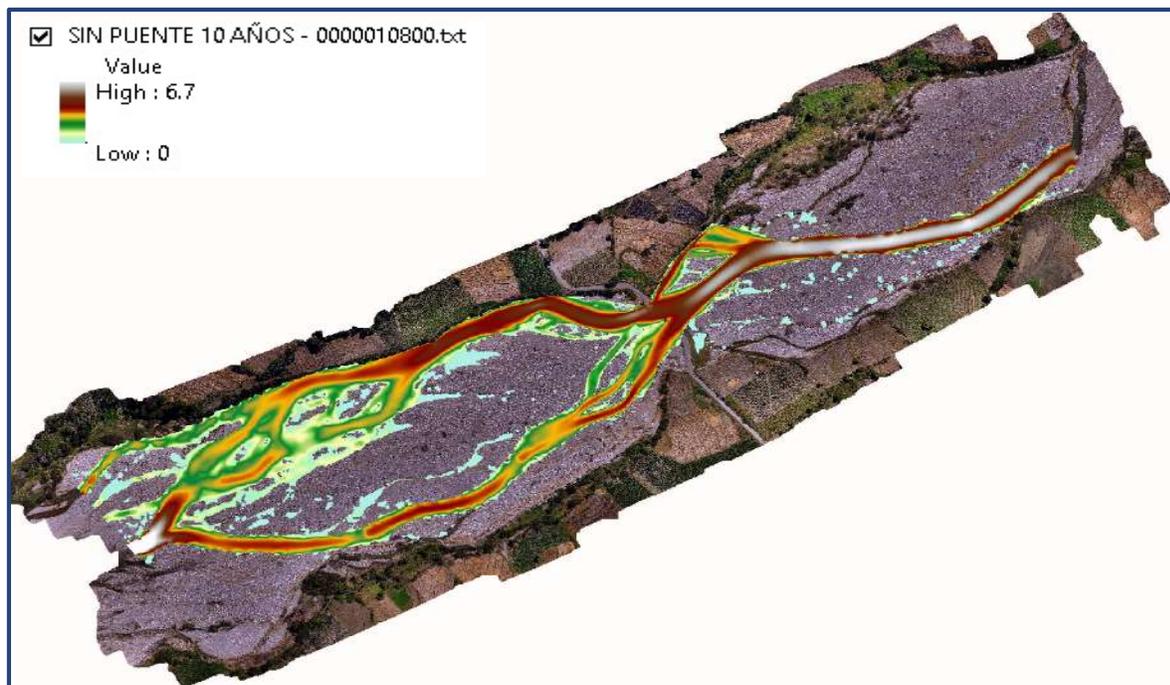
Fuente: Propia

Tabla 5. 10: Velocidades en m/s para un período de retorno de 10 años, en el instante 7200.

SECCIÓN	PTOS DE CONTROL	SIN PUENTE	CON PUENTE	PROPUESTA
A	PC-01	-	-	-
	PC-02	-	-	-
	PC-03	4.26	4.24	4.21
B	PC-01	-	-	-
	PC-02	4.18	4.16	4.10
	PC-03	-	-	-
C	PC-01	3.75	3.72	3.72
	PC-02	-	-	-
	PC-03	-	-	-
D	PC-01	2.59	2.84	2.87
	PC-02	-	-	-
	PC-03	2.20	0.74	1.67
E	PC-01	2.14	2.29	2.27
	PC-02	0.79	1.14	1.16
	PC-03	2.37	1.54	1.72
F	PC-01	1.36	2.13	1.64
	PC-02	3.58	3.13	2.95
	PC-03	-	-	-

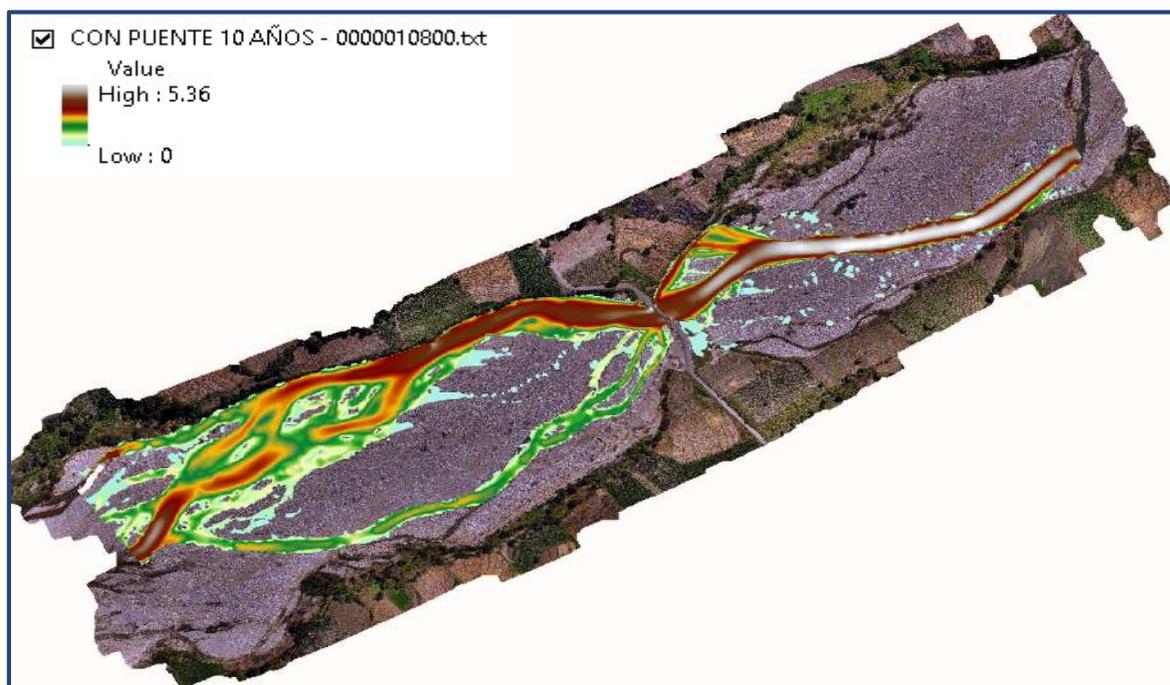
Fuente: Propia

Figura 5. 28: Modelo sin puente en el instante 10800, para un período de retorno de 10 años.



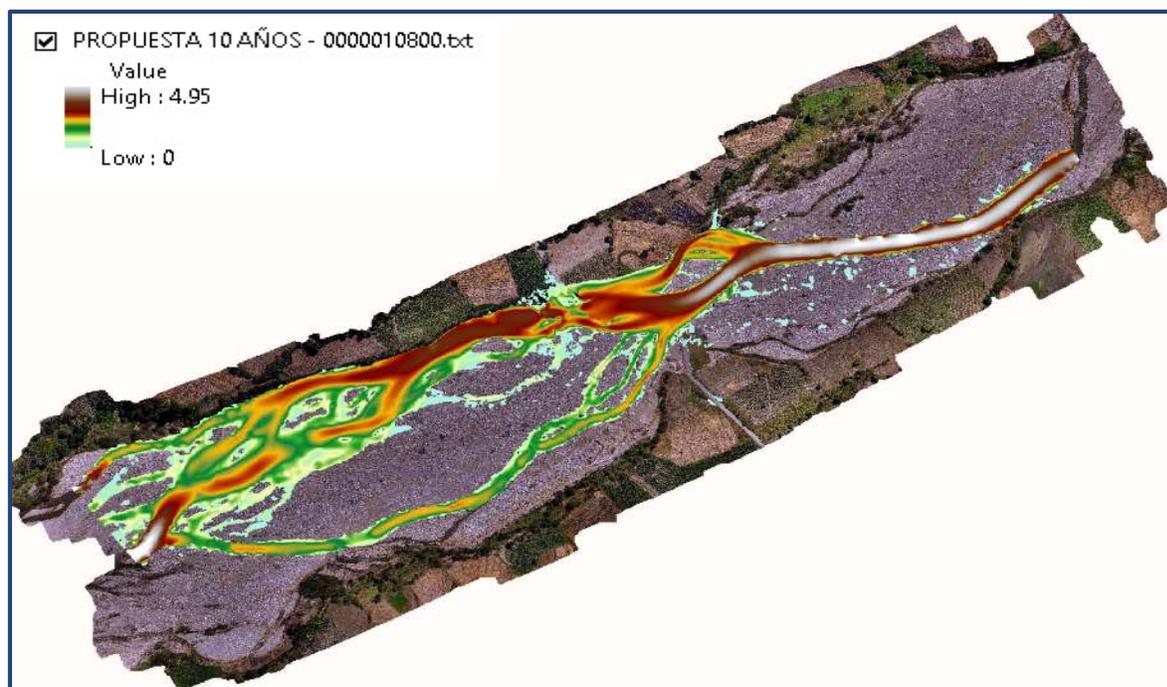
Fuente: Propia

Figura 5. 29: Modelo con puente en el instante 10800, para un período de retorno de 10 años.



Fuente: Propia

Figura 5. 30: Modelo propuesta de solución en el instante 10800, para un período de retorno de 10 años.



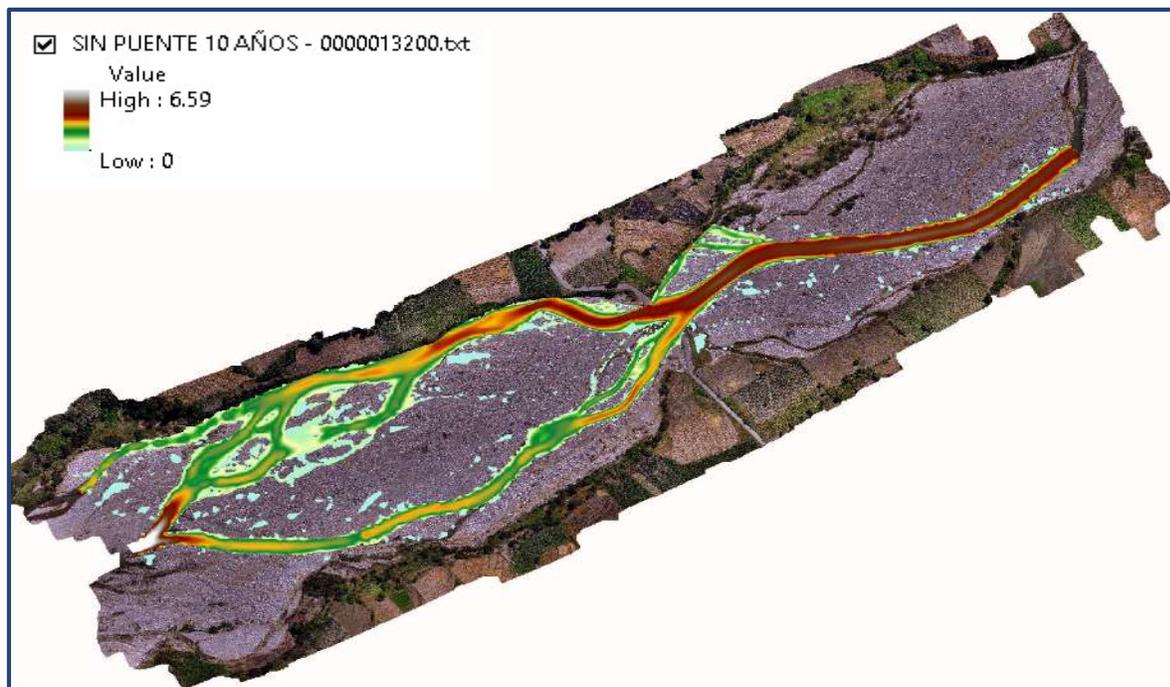
Fuente: Propia

Tabla 5. 11: Velocidades en m/s para un período de retorno de 10 años, en el instante 10800.

SECCIÓN	PTOS DE CONTROL	SIN PUENTE	CON PUENTE	PROPUESTA
A	PC-01	-	-	-
	PC-02	-	-	-
	PC-03	3.23	3.19	3.20
B	PC-01	-	-	-
	PC-02	3.31	3.33	3.08
	PC-03	-	-	-
C	PC-01	3.16	3.07	3.16
	PC-02	-	-	-
	PC-03	-	-	-
D	PC-01	2.33	2.63	2.31
	PC-02	-	-	-
	PC-03	1.98	1.01	1.43
E	PC-01	1.88	1.88	1.91
	PC-02	0.54	0.78	0.78
	PC-03	1.93	1.30	1.47
F	PC-01	1.48	3.35	1.95
	PC-02	3.24	2.27	3.02
	PC-03	-	-	-

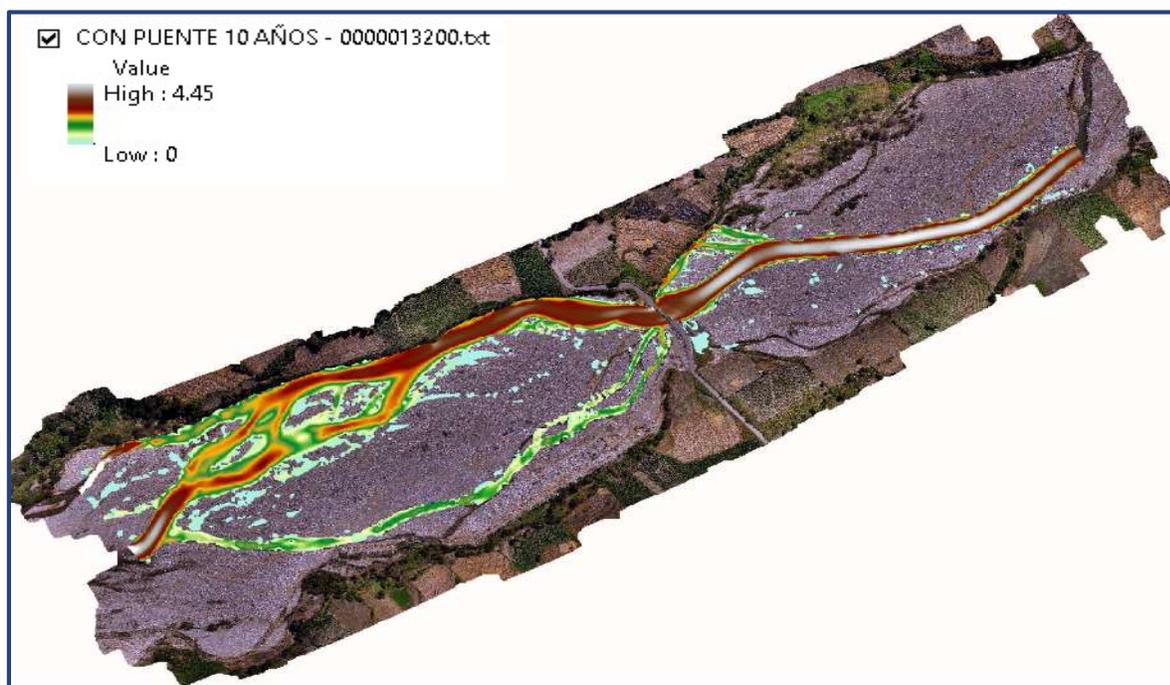
Fuente: Propia

Figura 5. 31: Modelo sin puente en el instante 13200, para un período de retorno de 10 años.



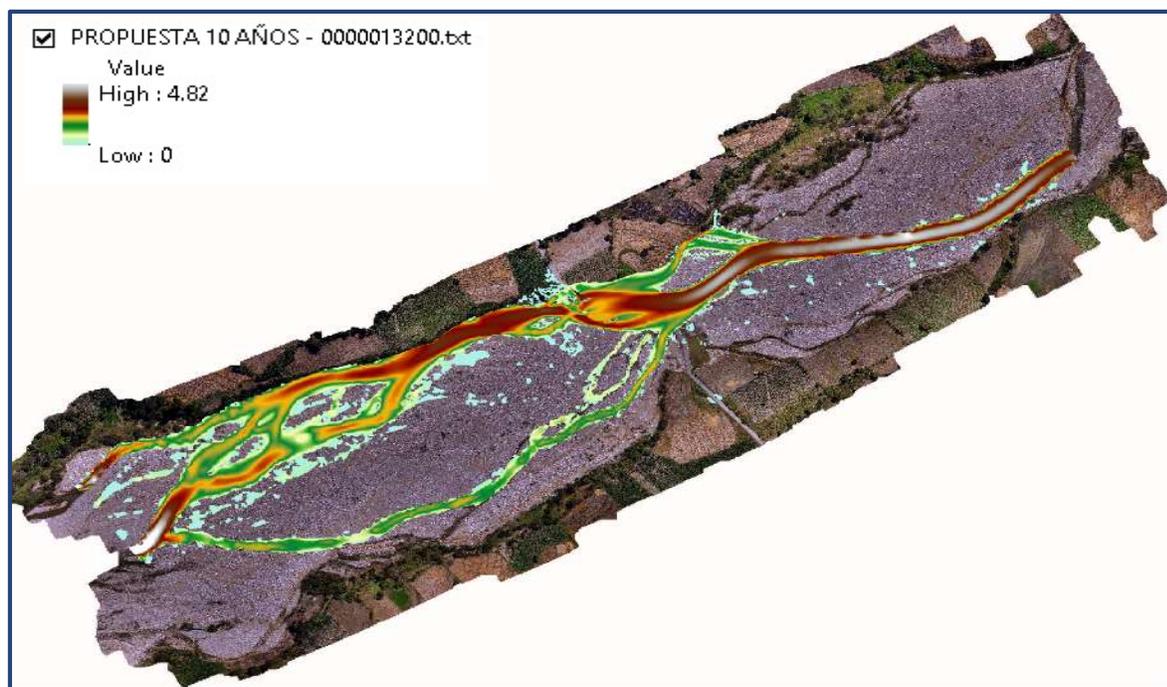
Fuente: Propia

Figura 5. 32: Modelo con puente en el instante 13200, para un período de retorno de 10 años.



Fuente: Propia

Figura 5. 33: Modelo propuesta de solución en el instante 13200, para un período de retorno de 10 años.



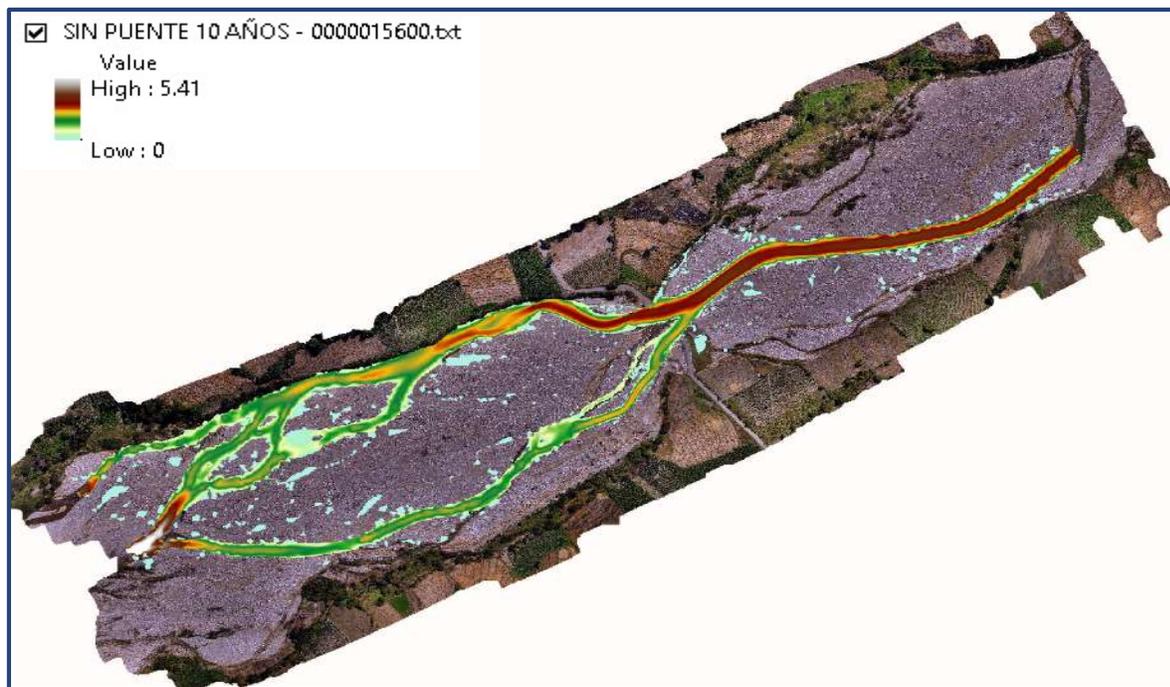
Fuente: Propia

Tabla 5. 12: Velocidades en m/s para un período de retorno de 10 años, en el instante 13200.

SECCIÓN	PTOS DE CONTROL	SIN PUENTE	CON PUENTE	PROPUESTA
A	PC-01	-	-	-
	PC-02	-	-	-
	PC-03	2.56	2.55	2.57
B	PC-01	-	-	-
	PC-02	2.47	2.46	2.25
	PC-03	-	-	-
C	PC-01	2.61	2.54	2.63
	PC-02	-	-	-
	PC-03	-	-	-
D	PC-01	1.78	2.19	1.88
	PC-02	-	-	-
	PC-03	1.68	0.62	1.00
E	PC-01	1.52	1.57	1.61
	PC-02	-	-	-
	PC-03	1.49	0.87	1.06
F	PC-01	1.53	2.56	1.93
	PC-02	2.70	1.74	2.27
	PC-03	-	-	-

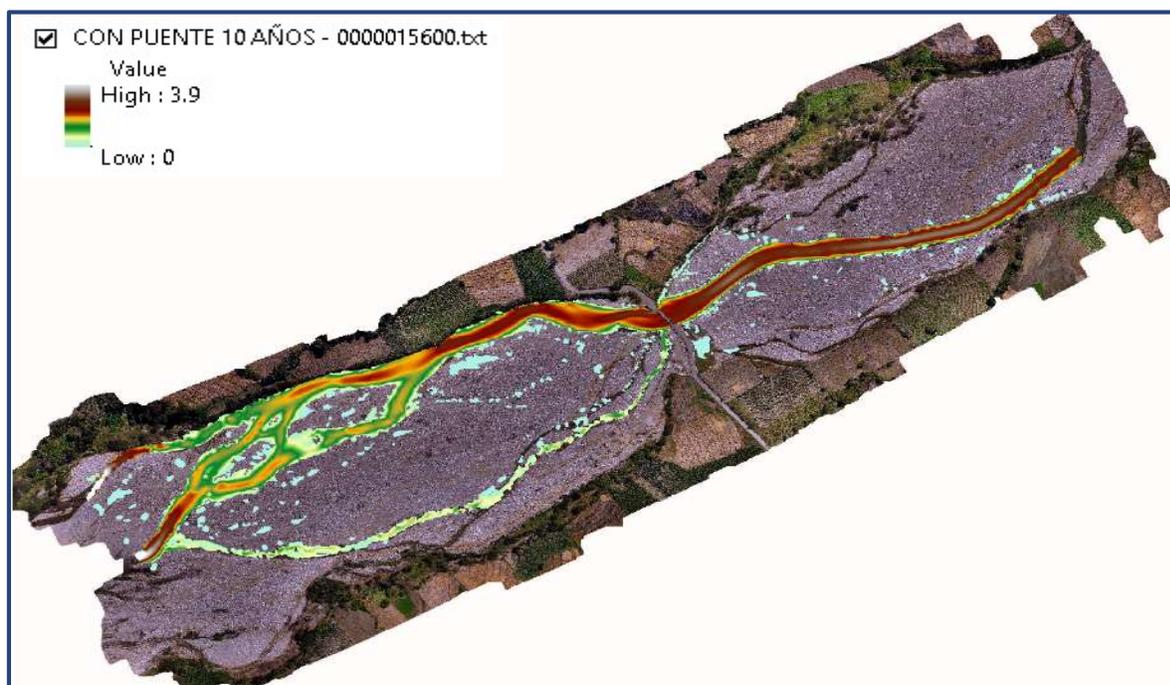
Fuente: Propia

Figura 5. 34: Modelo sin puente en el instante 15600, para un período de retorno de 10 años.



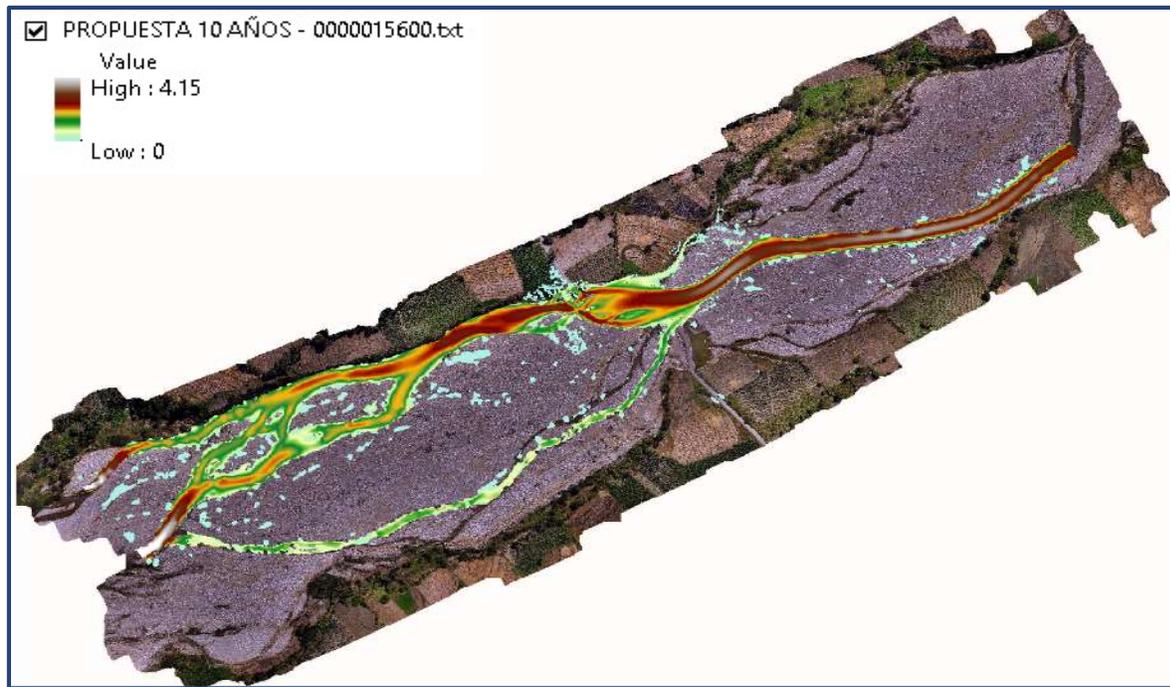
Fuente: Propia

Figura 5. 35: Modelo con puente en el instante 15600, para un período de retorno de 10 años.



Fuente: Propia

Figura 5. 36: Modelo propuesta de solución en el instante 15600, para un período de retorno de 10 años.



Fuente: Propia

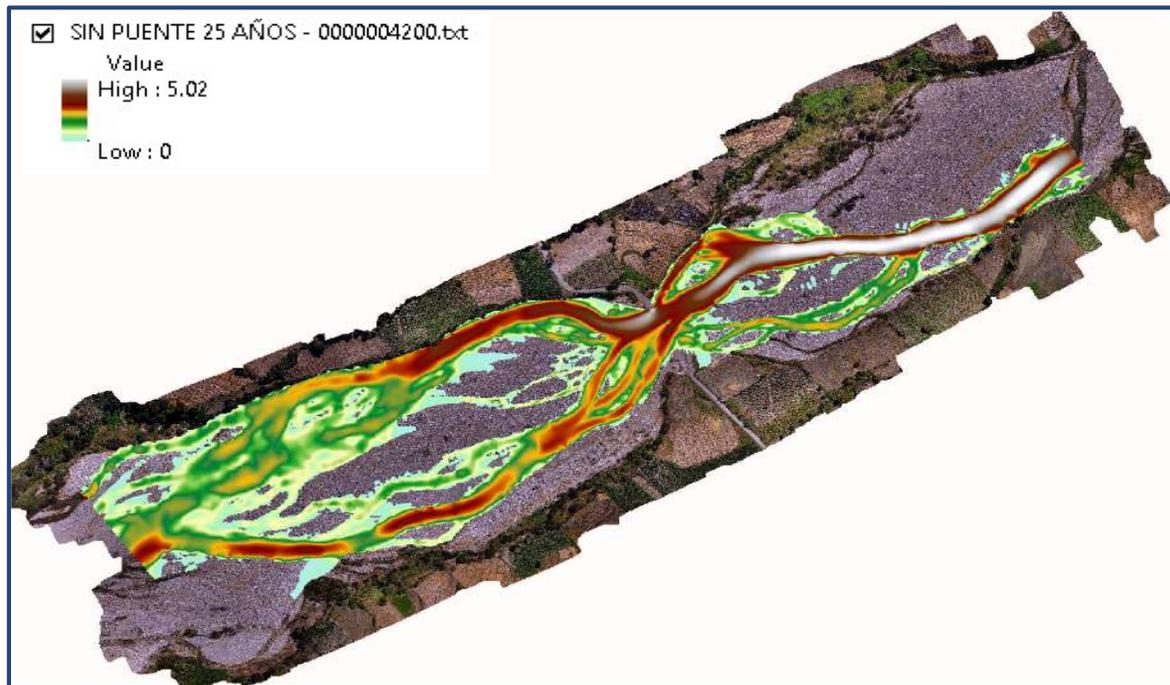
Tabla 5. 13: Velocidades en m/s para un período de retorno de 10 años, en el instante 15600.

SECCIÓN	PTOS DE CONTROL	SIN PUENTE	CON PUENTE	PROPUESTA
A	PC-01	-	-	-
	PC-02	-	-	-
	PC-03	1.97	1.93	1.97
B	PC-01	-	-	-
	PC-02	1.67	1.67	1.42
	PC-03	-	-	-
C	PC-01	2.08	2.03	2.11
	PC-02	-	-	-
	PC-03	-	-	-
D	PC-01	1.35	1.69	1.45
	PC-02	-	-	-
	PC-03	1.23	-	0.46
E	PC-01	1.20	1.23	1.30
	PC-02	-	0.04	0.00
	PC-03	1.02	0.48	0.57
F	PC-01	1.31	2.44	1.88
	PC-02	2.06	0.63	1.16
	PC-03	-	-	-

Fuente: Propia

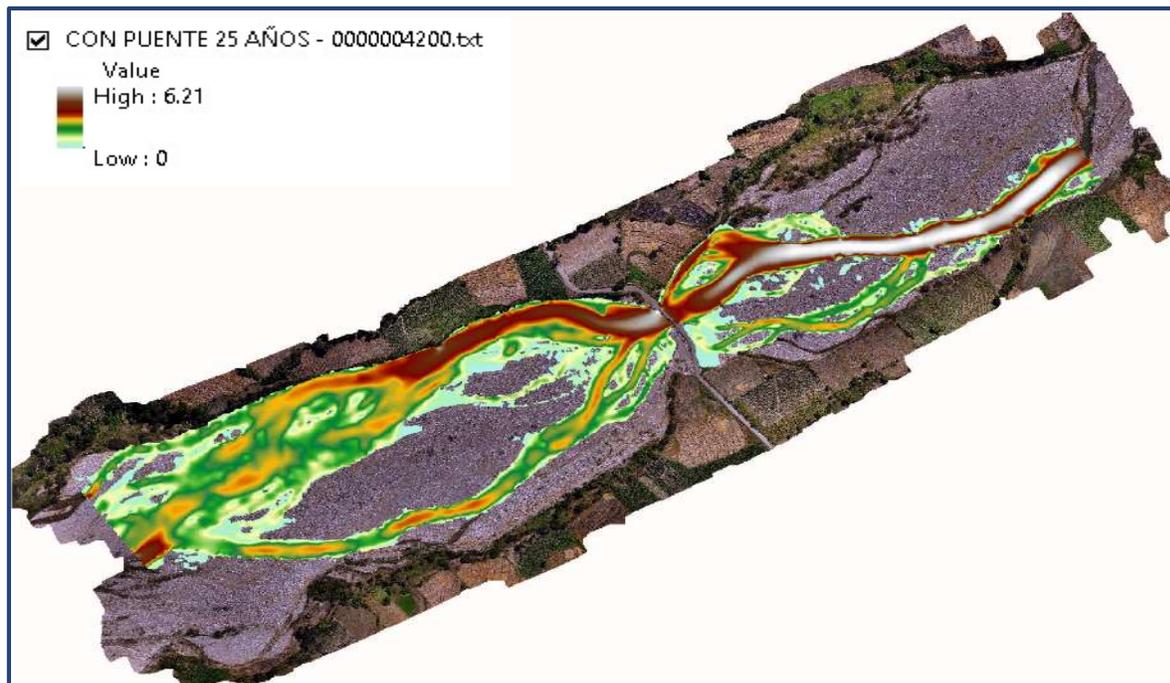
5.2.1.3. *Período de Retorno de 25 años.*

Figura 5. 37: Modelo sin puente en el instante 4200, para un período de retorno de 25 años.



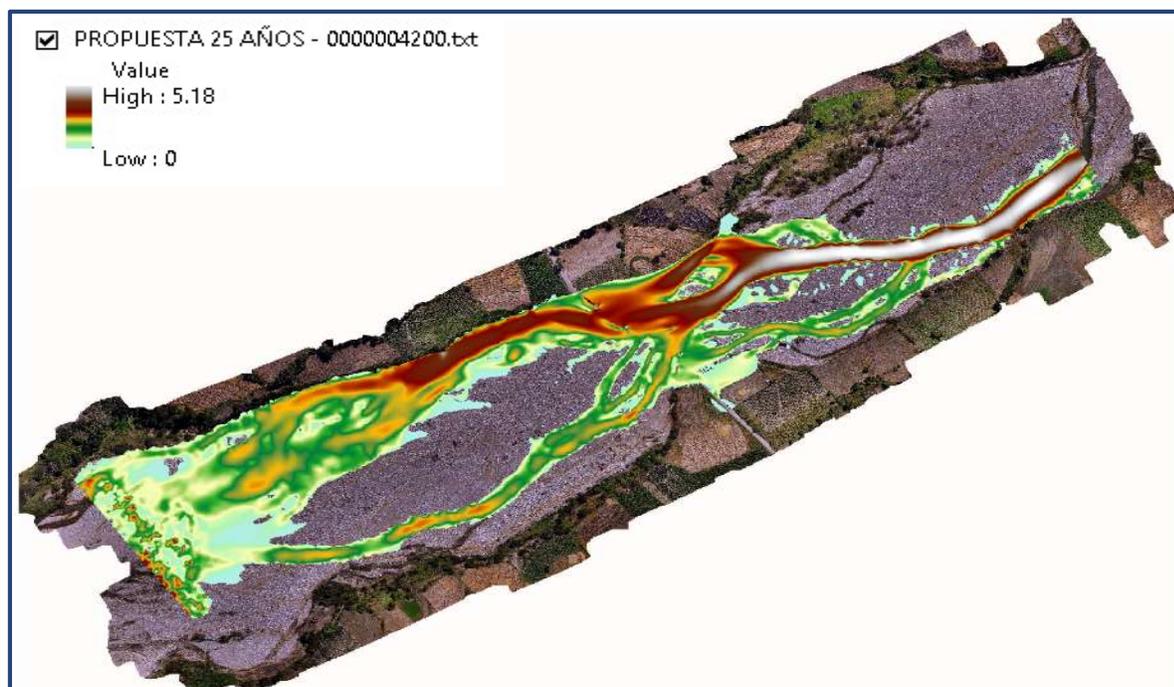
Fuente: Propia

Figura 5. 38: Modelo con puente en el instante 4200, para un período de retorno de 25 años.



Fuente: Propia

Figura 5. 39: Modelo propuesta de solución en el instante 4200, para un período de retorno de 25 años.



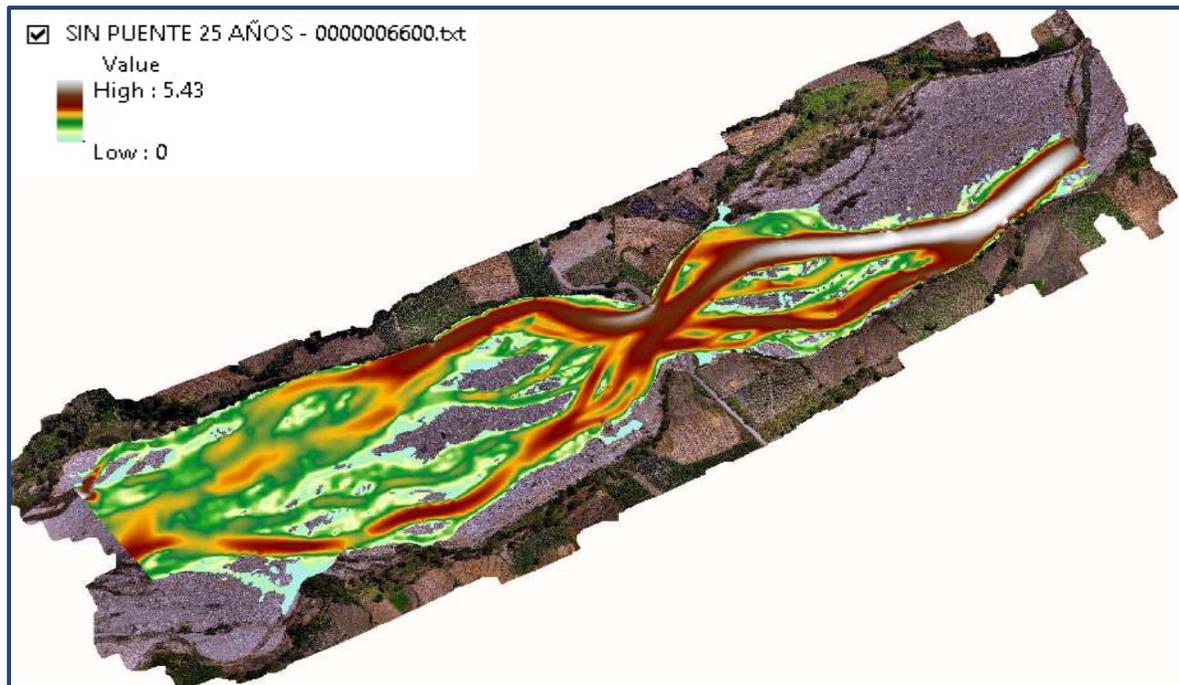
Fuente: Propia

Tabla 5. 14: Velocidades en m/s para un período de retorno de 25 años, en el instante 4200.

SECCIÓN	PTOS DE CONTROL	SIN PUENTE	CON PUENTE	PROPUESTA
A	PC-01	-	-	-
	PC-02	-	-	-
	PC-03	4.97	4.97	4.99
B	PC-01	-	-	-
	PC-02	4.80	4.79	4.76
	PC-03	-	-	-
C	PC-01	3.89	3.88	3.94
	PC-02	-	-	-
	PC-03	-	-	-
D	PC-01	2.66	2.83	3.06
	PC-02	-	-	-
	PC-03	2.52	1.38	1.94
E	PC-01	2.24	2.41	2.47
	PC-02	0.91	1.22	1.27
	PC-03	2.55	2.06	1.93
F	PC-01	1.68	1.45	0.65
	PC-02	2.58	2.78	0.28
	PC-03	-	-	-

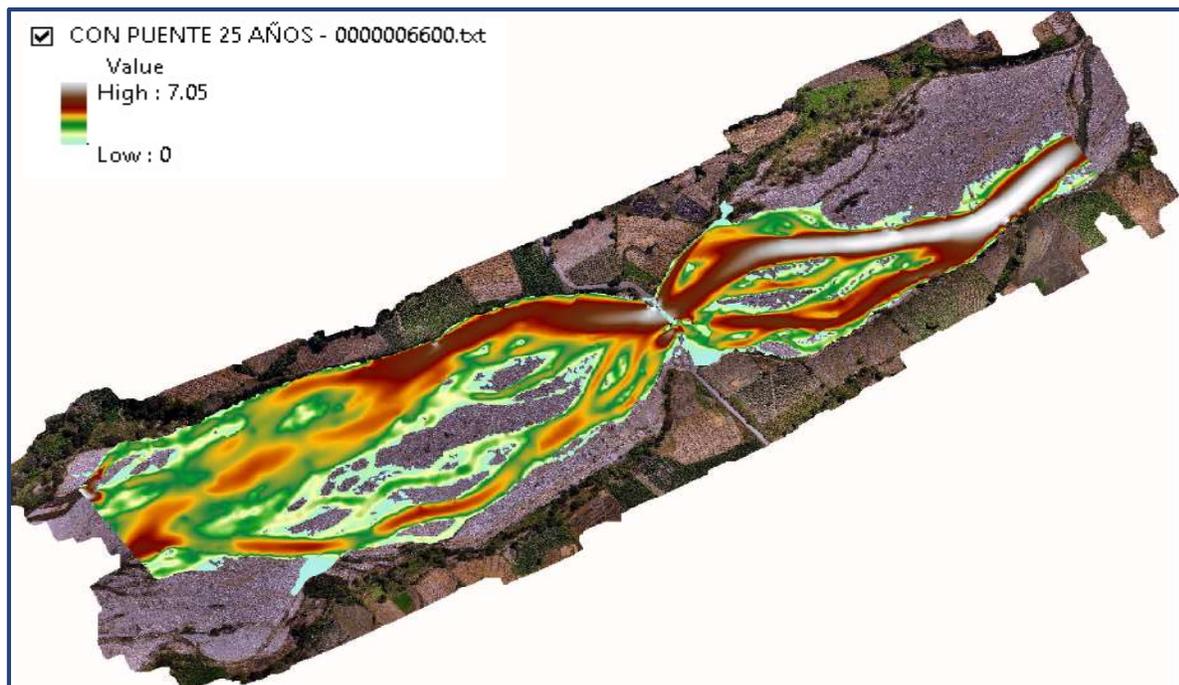
Fuente: Propia

Figura 5. 40: Modelo sin puente en el instante 6600, para un período de retorno de 25 años.



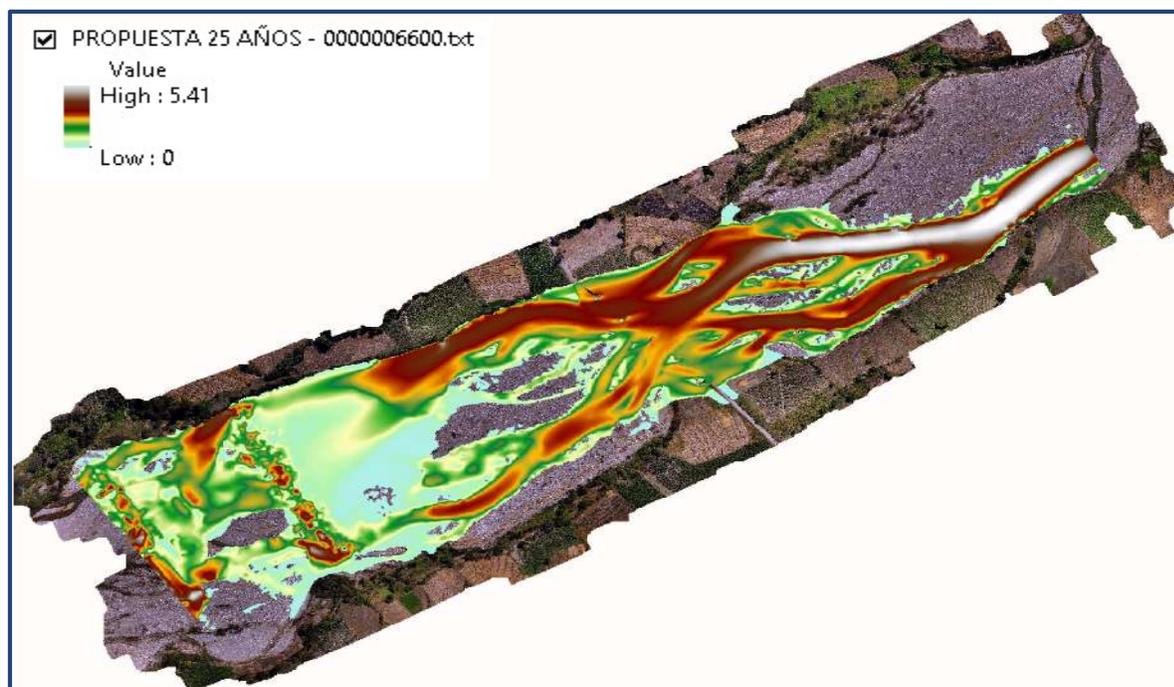
Fuente: Propia

Figura 5. 41: Modelo con puente en el instante 6600, para un período de retorno de 25 años.



Fuente: Propia

Figura 5. 42: Modelo propuesta de solución en el instante 6600, para un período de retorno de 25 años.



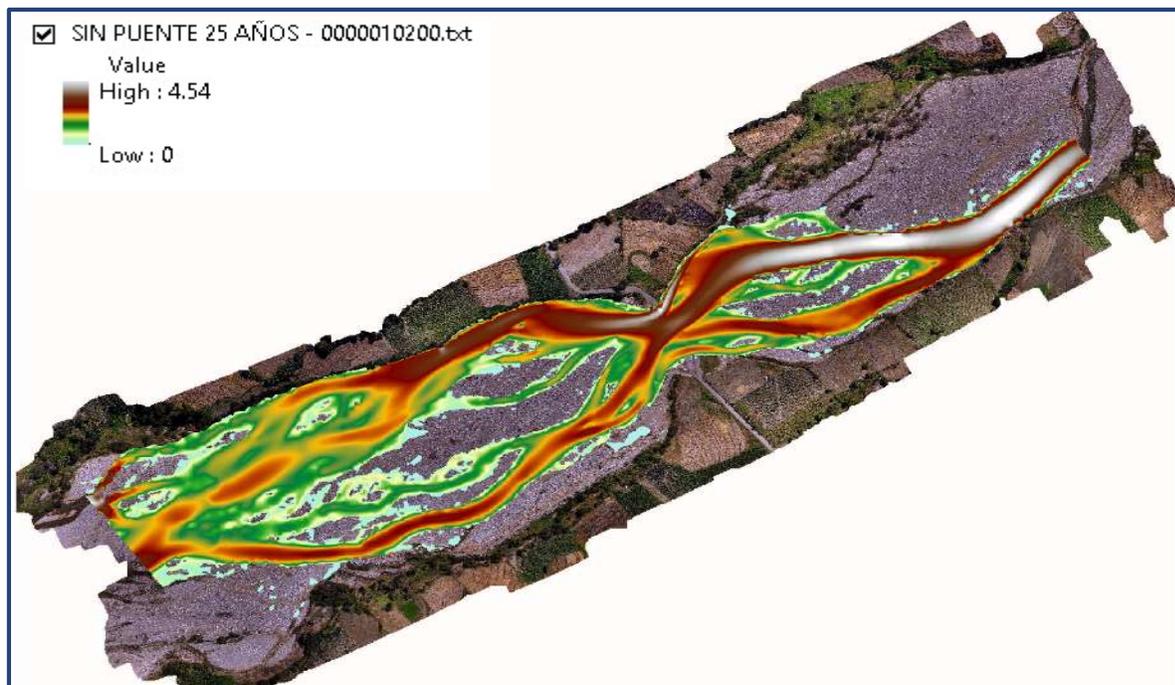
Fuente: Propia

Tabla 5. 15: Velocidades en m/s para un período de retorno de 25 años, en el instante 6600.

SECCIÓN	PTOS DE CONTROL	SIN PUENTE	CON PUENTE	PROPUESTA
A	PC-01	-	-	-
	PC-02	-	-	-
	PC-03	5.18	5.19	5.09
B	PC-01	-	-	-
	PC-02	4.96	4.98	4.89
	PC-03	2.65	2.55	2.73
C	PC-01	3.29	3.17	3.45
	PC-02	3.22	3.20	2.97
	PC-03	2.08	2.04	3.20
D	PC-01	3.26	3.44	3.37
	PC-02	-	-	-
	PC-03	2.65	2.28	2.59
E	PC-01	2.42	2.58	1.40
	PC-02	1.61	1.86	0.52
	PC-03	2.77	2.55	1.29
F	PC-01	2.17	2.18	1.80
	PC-02	2.84	3.11	0.10
	PC-03	-	-	-

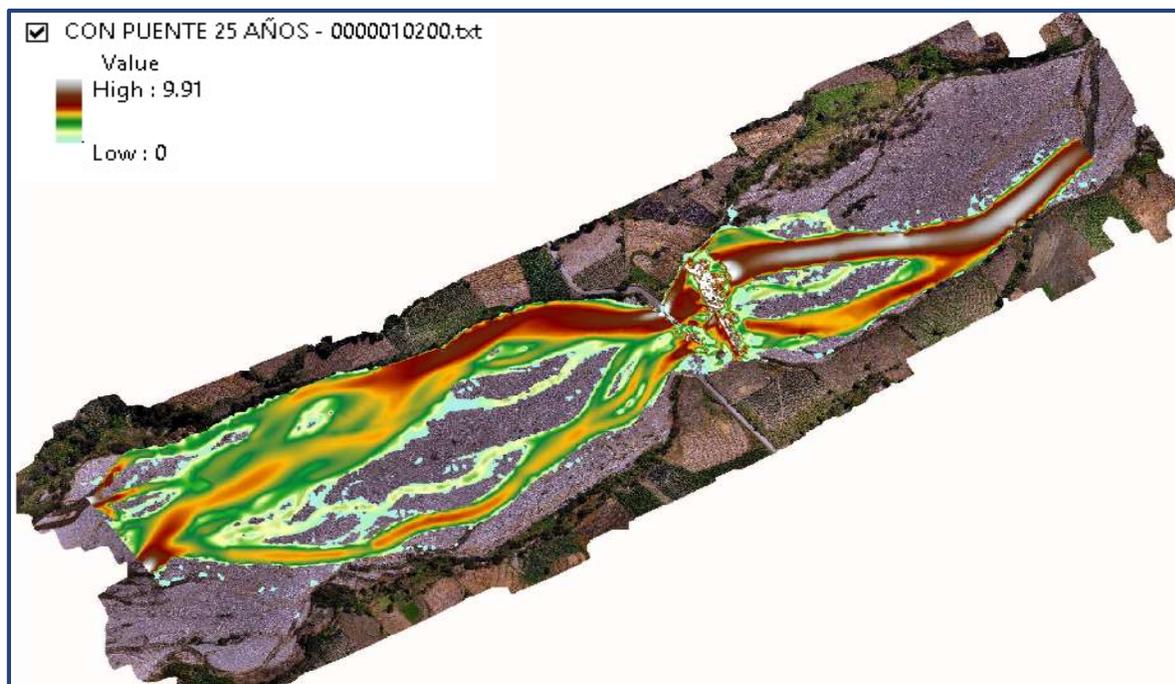
Fuente: Propia

Figura 5. 43: Modelo sin puente en el instante 10200, para un período de retorno de 25 años.



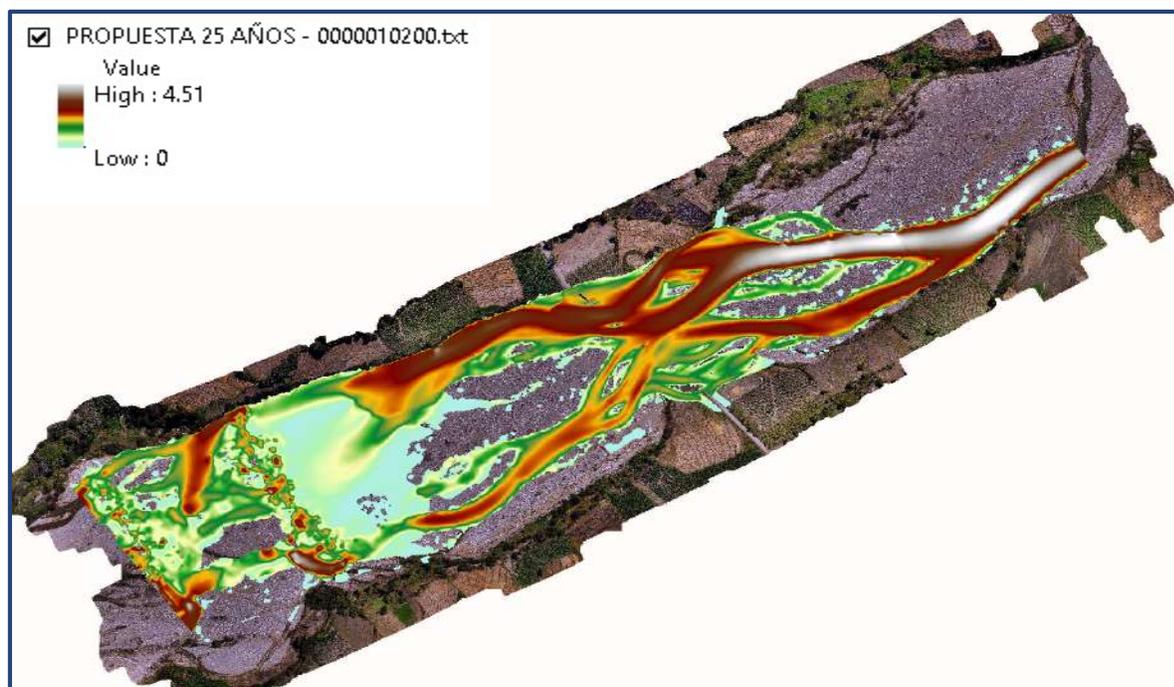
Fuente: Propia

Figura 5. 44: Modelo con puente en el instante 10200, para un período de retorno de 25 años.



Fuente: Propia

Figura 5. 45: Modelo propuesta de solución en el instante 10200, para un periodo de retorno de 25 años.



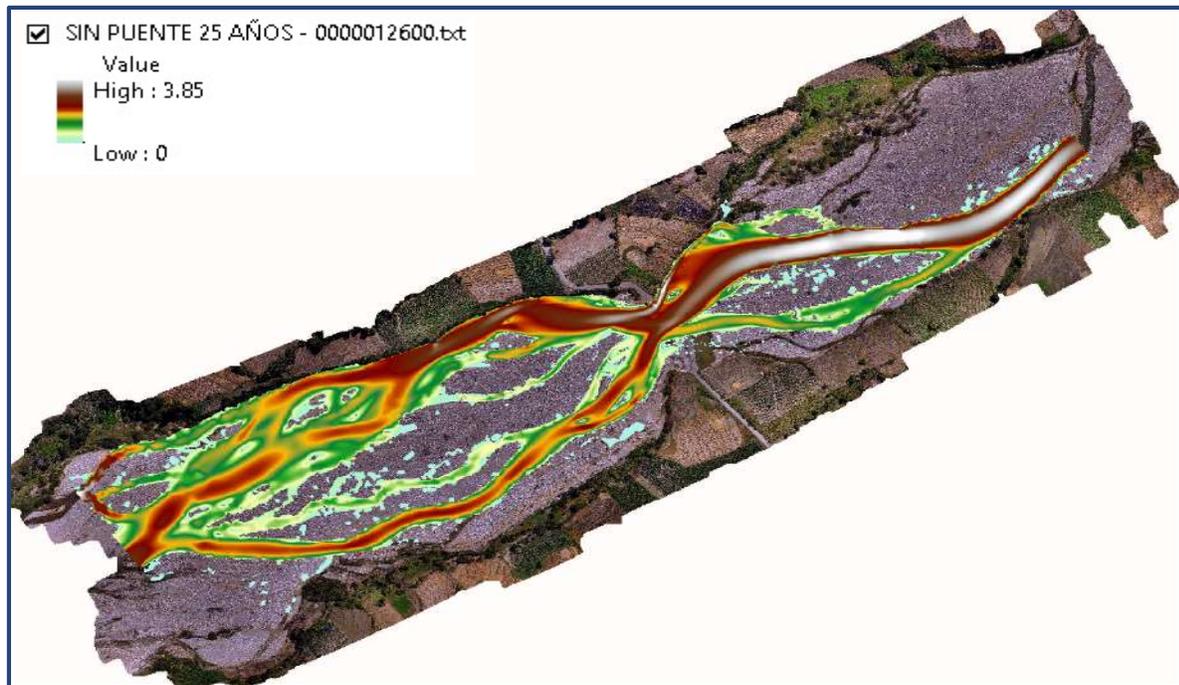
Fuente: Propia

Tabla 5. 16: Velocidades en m/s para un periodo de retorno de 25 años, en el instante 10200.

SECCIÓN	PTOS DE CONTROL	SIN PUENTE	CON PUENTE	PROPUESTA
A	PC-01	-	-	-
	PC-02	-	-	-
	PC-03	4.14	4.14	4.07
B	PC-01	-	-	-
	PC-02	3.92	3.91	3.86
	PC-03	2.57	2.64	2.76
C	PC-01	2.81	1.09	2.87
	PC-02	2.51	2.17	2.40
	PC-03	1.13	0.35	2.09
D	PC-01	3.18	2.95	3.10
	PC-02	-	-	-
	PC-03	2.47	1.99	2.16
E	PC-01	2.11	2.20	1.42
	PC-02	1.30	1.36	0.72
	PC-03	2.42	2.23	0.81
F	PC-01	2.73	2.35	1.66
	PC-02	2.38	2.85	0.30
	PC-03	-	-	-

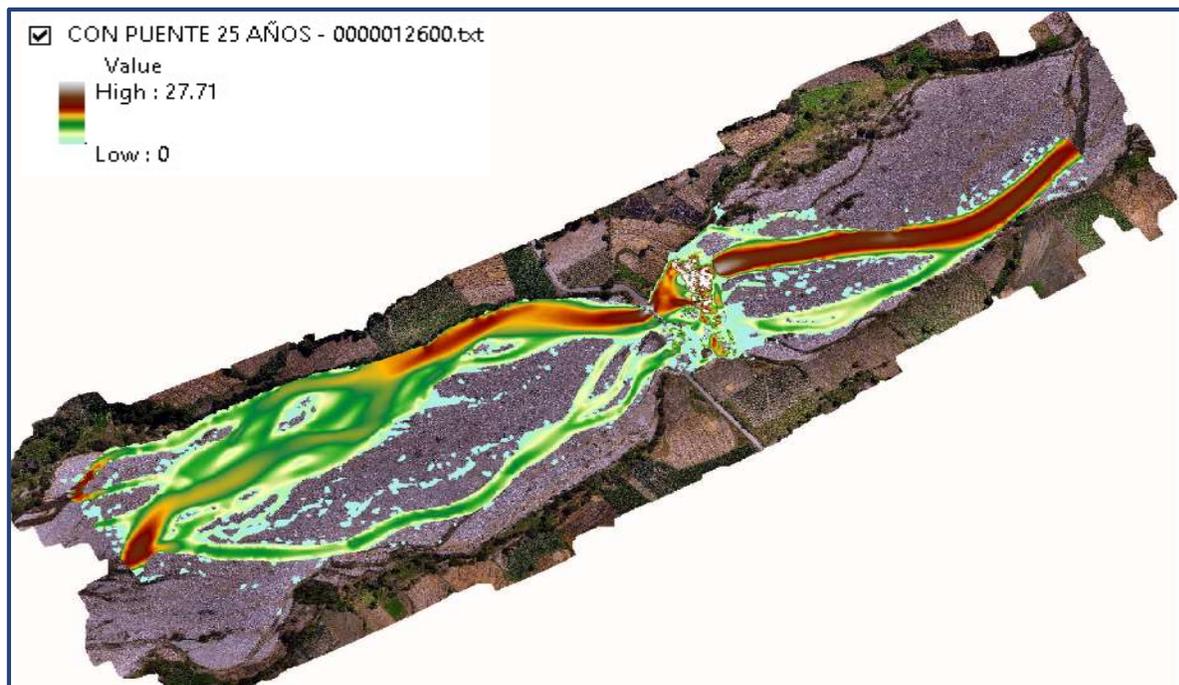
Fuente: Propia

Figura 5. 46: Modelo sin puente en el instante 12600, para un periodo de retorno de 25 años.



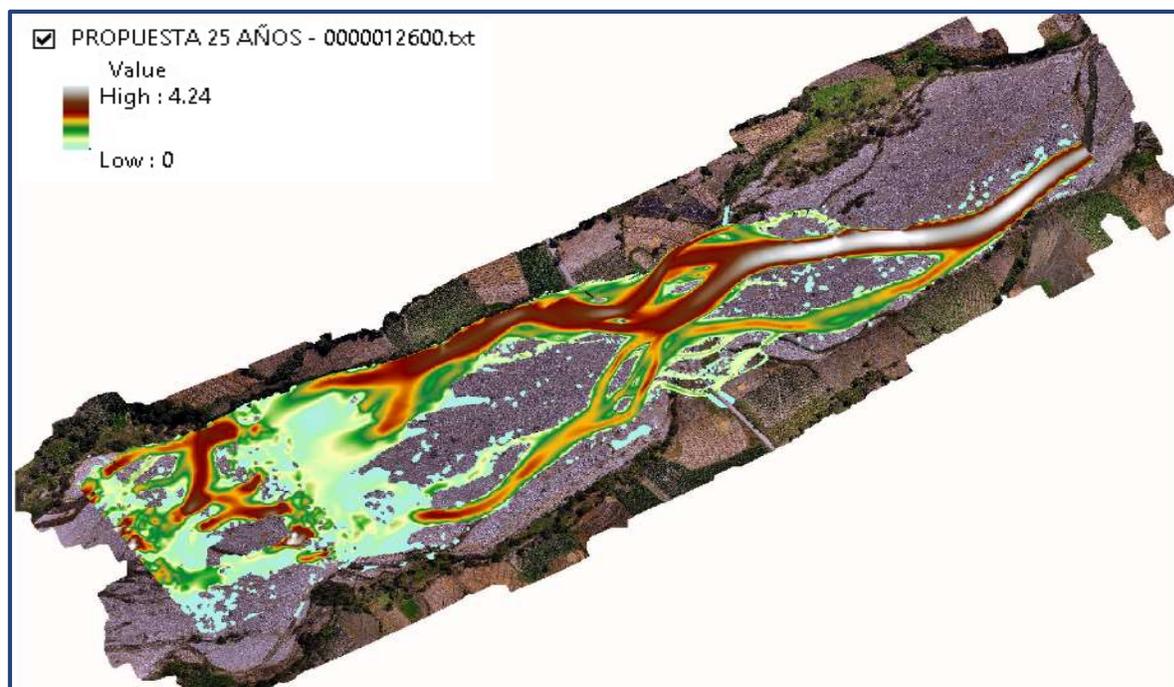
Fuente: Propia

Figura 5. 47: Modelo con puente en el instante 12600, para un periodo de retorno de 25 años.



Fuente: Propia

Figura 5. 48: Modelo propuesta de solución en el instante 12600, para un período de retorno de 25 años.



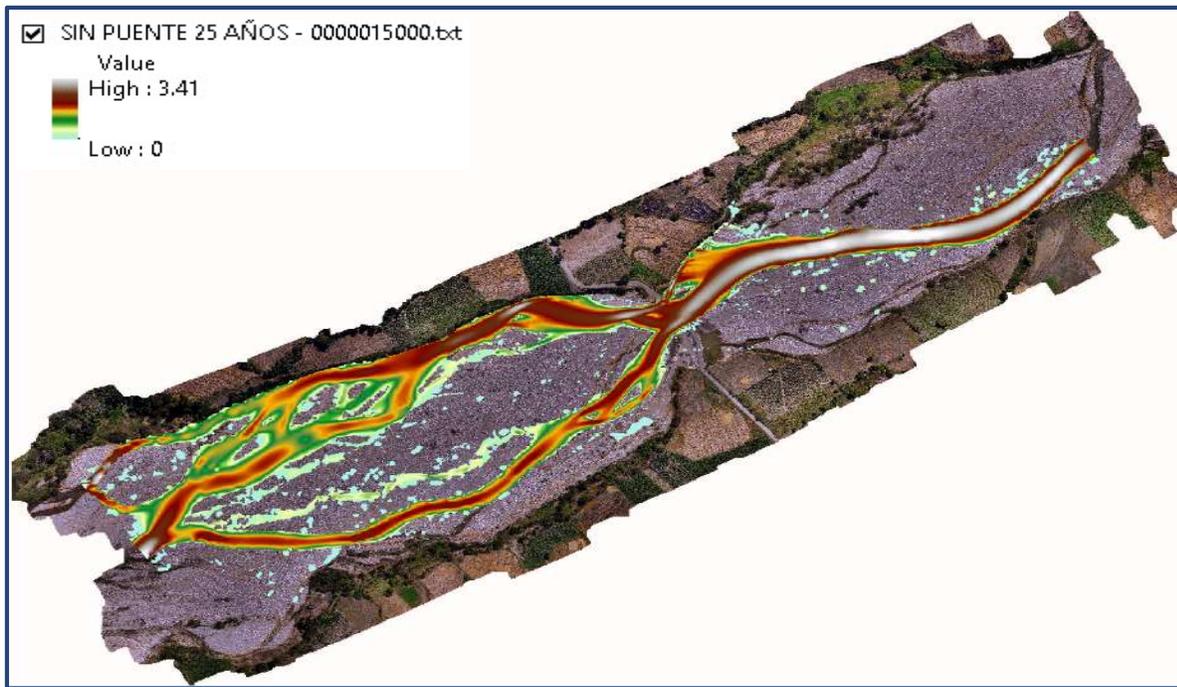
Fuente: Propia

Tabla 5. 17: Velocidades en m/s para un período de retorno de 25 años, en el instante 12600.

SECCIÓN	PTOS DE CONTROL	SIN PUENTE	CON PUENTE	PROPUESTA
A	PC-01	-	-	-
	PC-02	-	-	-
	PC-03	3.39	3.39	3.29
B	PC-01	-	-	-
	PC-02	3.11	3.11	3.09
	PC-03	0.76	1.02	1.41
C	PC-01	2.52	3.13	2.53
	PC-02	1.40	0.26	1.43
	PC-03	-	0.05	-
D	PC-01	2.73	2.71	2.74
	PC-02	-	-	-
	PC-03	1.55	1.33	1.64
E	PC-01	1.89	1.93	1.93
	PC-02	0.43	1.03	0.53
	PC-03	1.79	1.30	0.18
F	PC-01	2.48	1.96	1.58
	PC-02	1.79	2.88	0.29
	PC-03	-	-	-

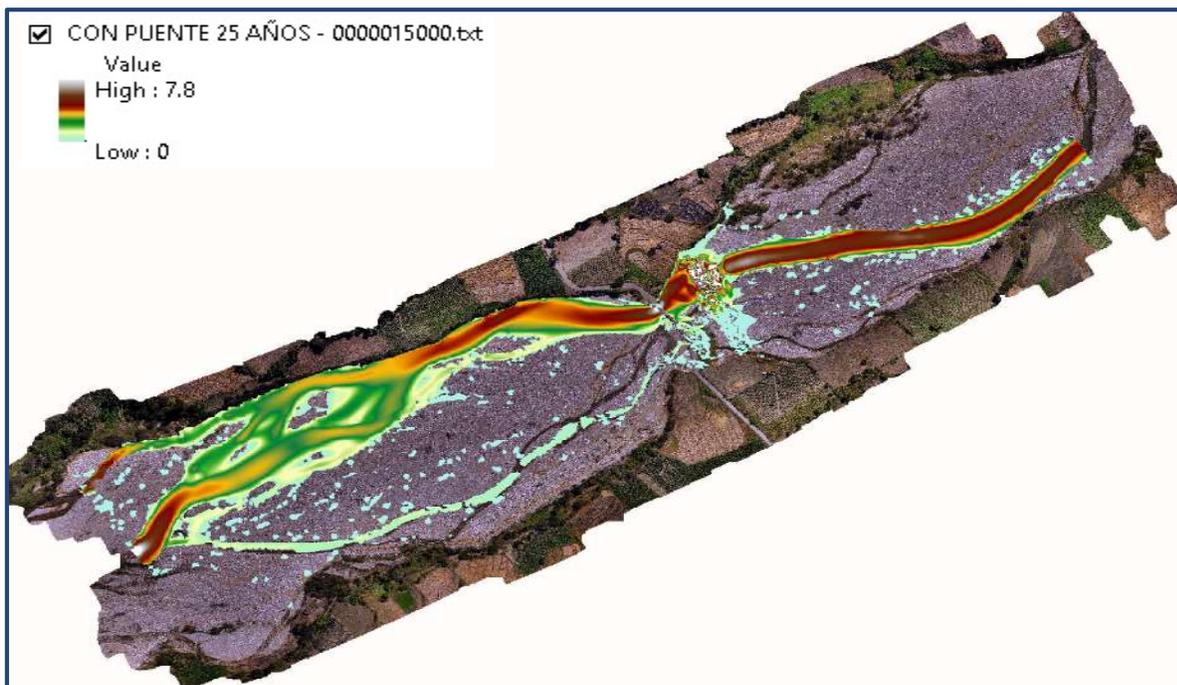
Fuente: Propia

Figura 5. 49: Modelo sin puente en el instante 15000, para un periodo de retorno de 25 años.



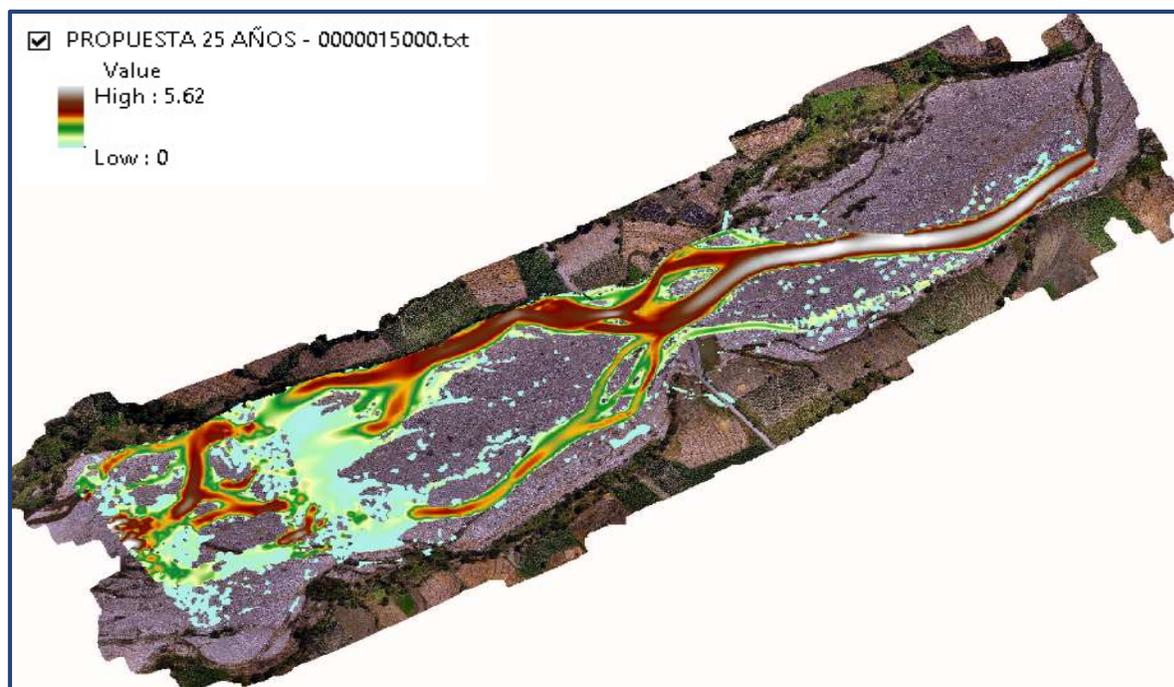
Fuente: Propia

Figura 5. 50: Modelo con puente en el instante 15000, para un periodo de retorno de 25 años.



Fuente: Propia

Figura 5. 51: Modelo propuesta de solución en el instante 15000, para un periodo de retorno de 25 años.



Fuente: Propia

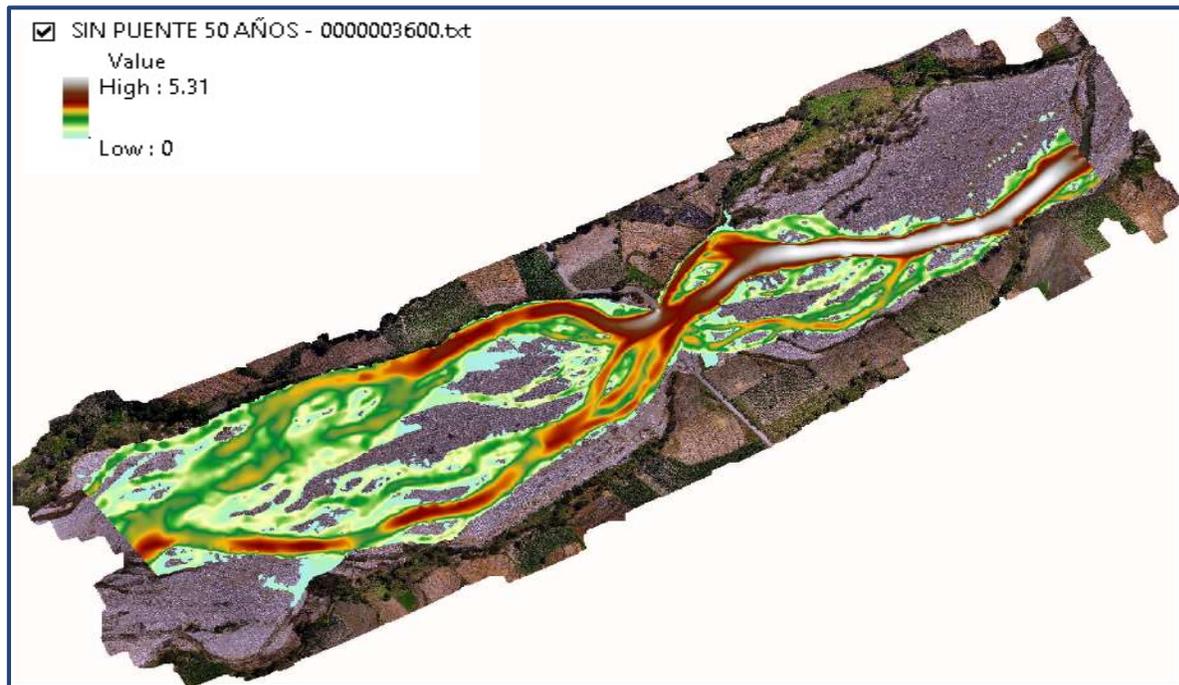
Tabla 5. 18: Velocidades en m/s para un periodo de retorno de 25 años, en el instante 15000

SECCIÓN	PTOS DE CONTROL	SIN PUENTE	CON PUENTE	PROPUESTA
A	PC-01	-	-	-
	PC-02	-	-	-
	PC-03	2.67	2.66	2.59
B	PC-01	-	-	-
	PC-02	2.33	2.33	2.35
	PC-03	-	-	0.30
C	PC-01	2.12	3.34	2.21
	PC-02	-	0.07	0.32
	PC-03	-	-	-
D	PC-01	2.14	2.39	2.26
	PC-02	-	-	-
	PC-03	0.59	0.30	1.28
E	PC-01	1.64	1.73	1.69
	PC-02	-	0.27	0.19
	PC-03	1.46	0.30	0.11
F	PC-01	2.27	2.60	1.46
	PC-02	1.85	2.20	0.48
	PC-03	-	-	-

Fuente: Propia

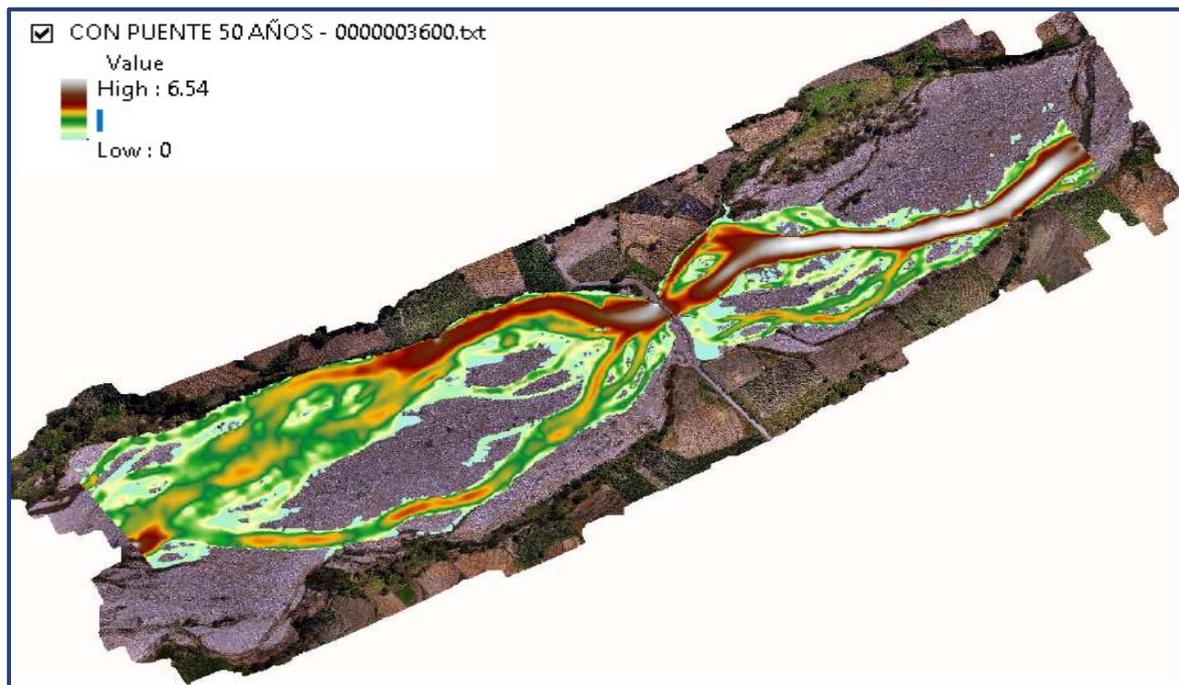
5.2.1.4. Período de Retorno de 50 años

Figura 5. 52: Modelo sin puente en el instante 3600, para un período de retorno de 50 años.



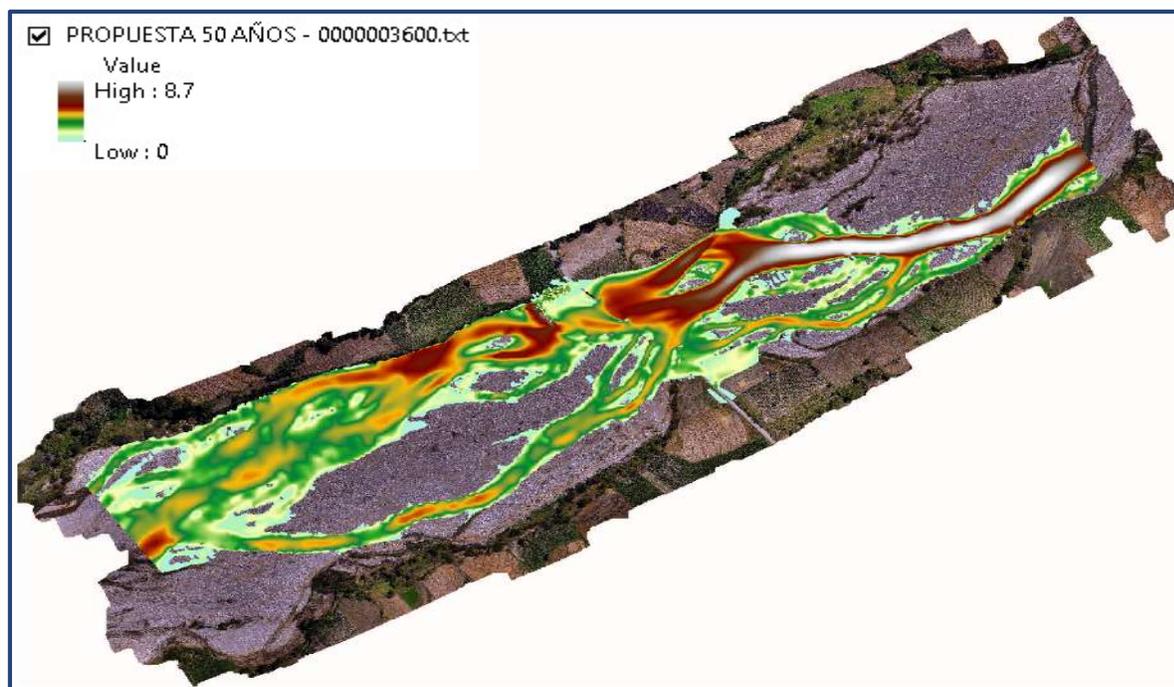
Fuente: Propia

Figura 5. 53: Modelo con puente en el instante 3600, para un período de retorno de 50 años.



Fuente: Propia

Figura 5. 54: Modelo propuesta de solución en el instante 3600, para un período de retorno de 50 años.



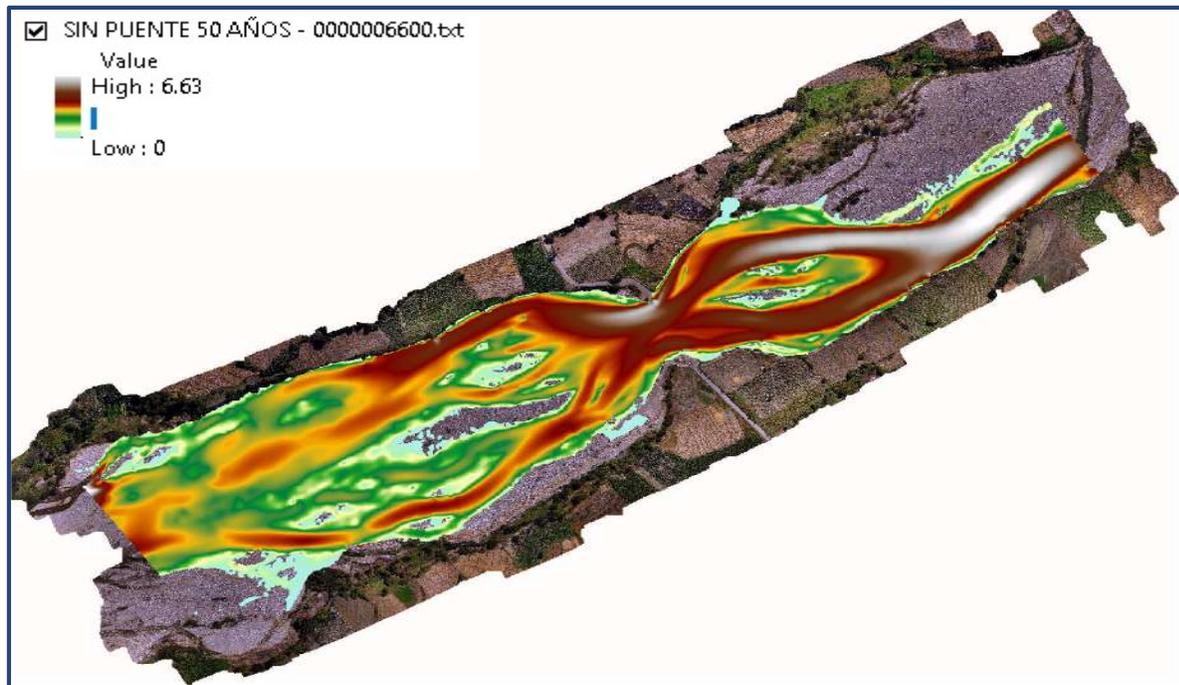
Fuente: Propia

Tabla 5. 19: Velocidades en m/s para un período de retorno de 50 años, en el instante 3600.

SECCIÓN	PTOS DE CONTROL	SIN PUENTE	CON PUENTE	PROPUESTA
A	PC-01	-	-	-
	PC-02	-	-	-
	PC-03	5.18	5.19	5.17
B	PC-01	-	-	-
	PC-02	5.14	5.15	5.15
	PC-03	0.37	-	0.26
C	PC-01	3.95	3.96	3.94
	PC-02	0.72	0.98	1.31
	PC-03	0.61	0.59	0.81
D	PC-01	2.71	2.96	1.12
	PC-02	-	-	-
	PC-03	2.66	1.79	1.98
E	PC-01	2.30	2.51	2.55
	PC-02	1.02	1.37	1.36
	PC-03	2.55	2.28	2.14
F	PC-01	1.53	1.44	1.61
	PC-02	2.84	2.78	2.53
	PC-03	-	-	-

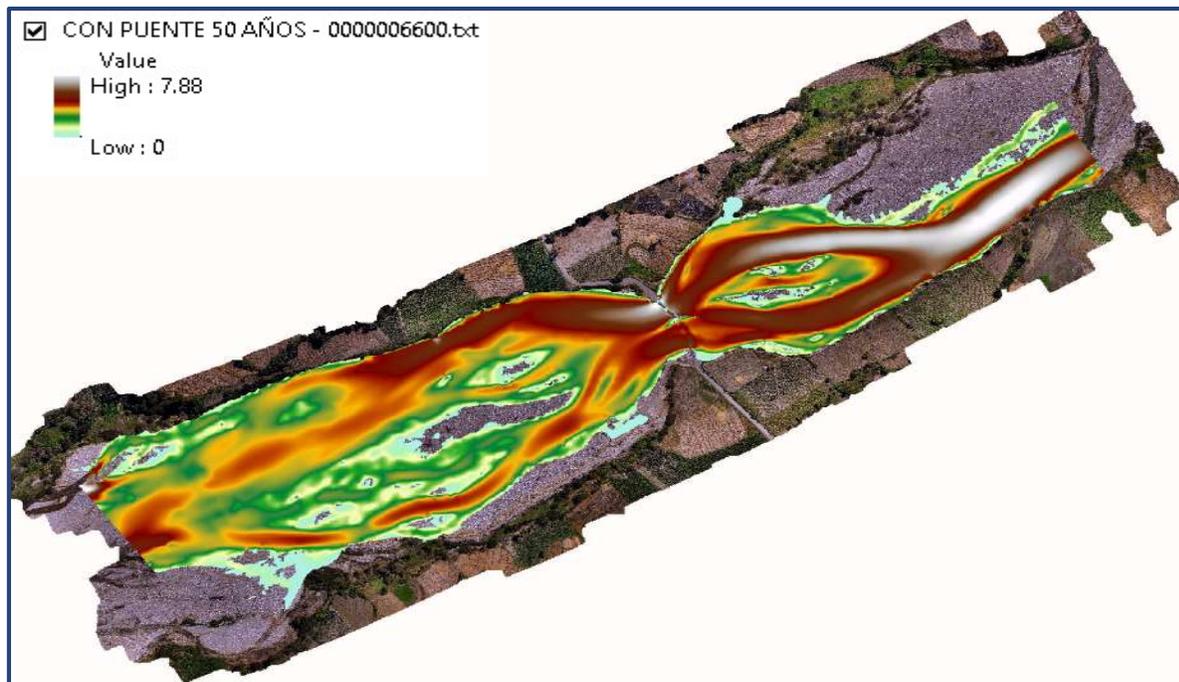
Fuente: Propia

Figura 5. 55: Modelo sin puente en el instante 6600, para un período de retorno de 50 años.



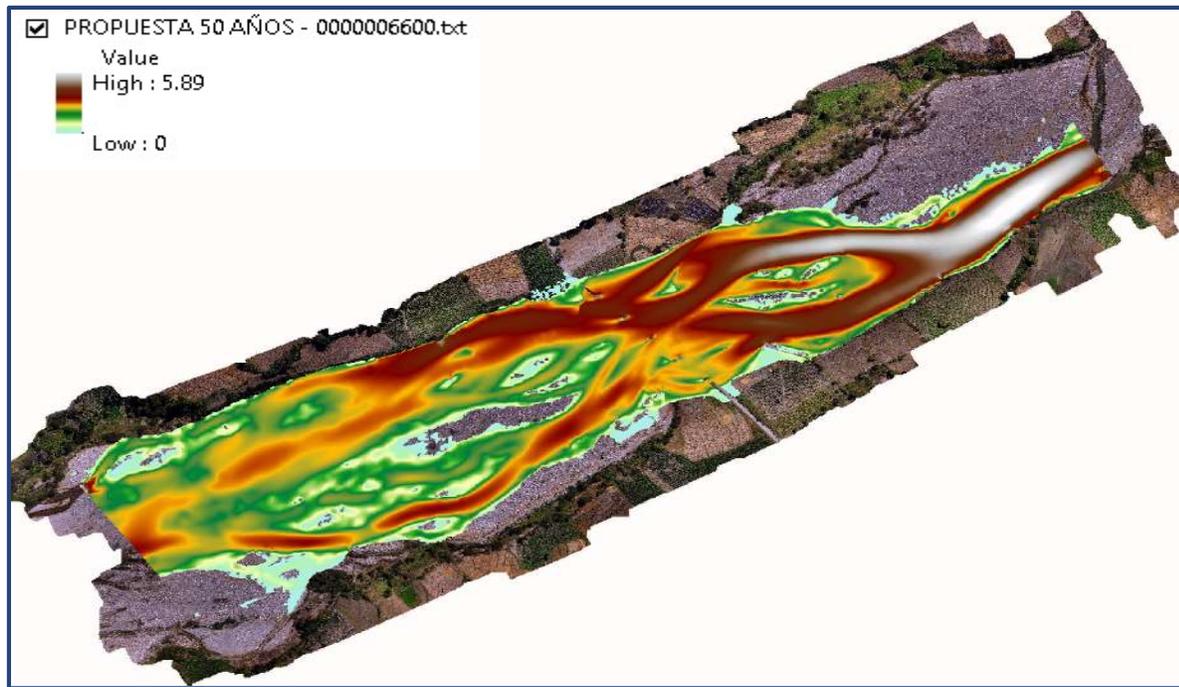
Fuente: Propia

Figura 5. 56: Modelo con puente en el instante 6600, para un período de retorno de 50 años.



Fuente: Propia

Figura 5. 57: Modelo propuesta de solución en el instante 6600, para un período de retorno de 50 años.



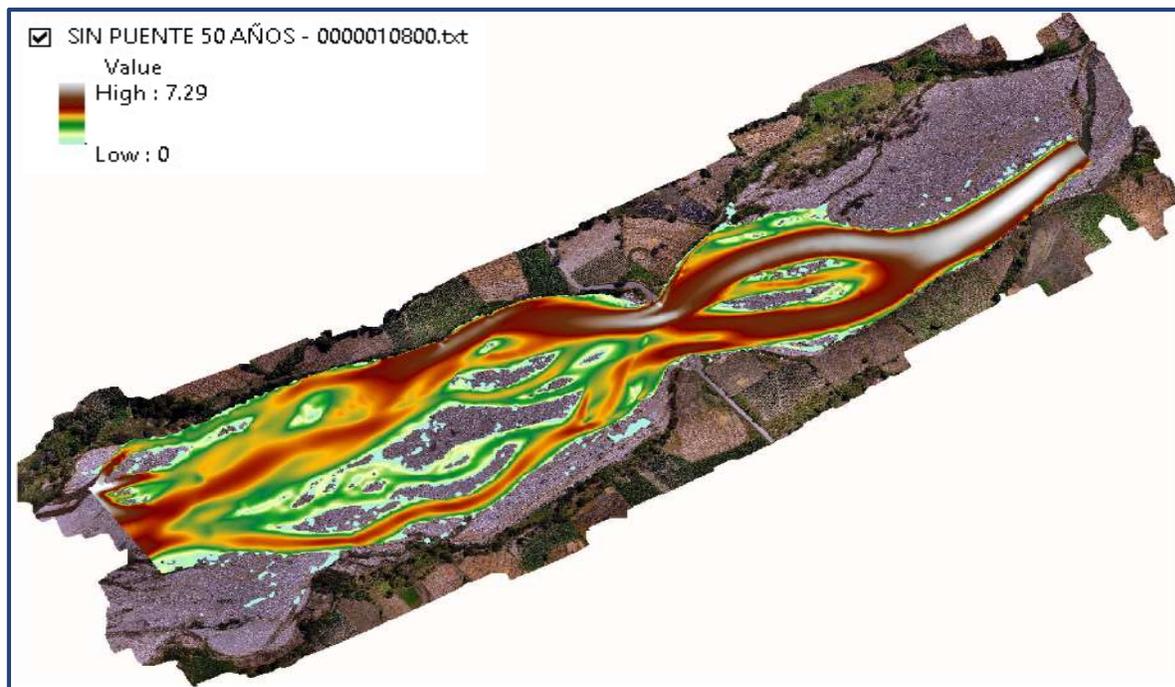
Fuente: Propia

Tabla 5. 20: Velocidades en m/s para un período de retorno de 50 años, en el instante 6600.

SECCIÓN	PTOS DE CONTROL	SIN PUENTE	CON PUENTE	PROPUESTA
A	PC-01	-	-	-
	PC-02	1.01	1.05	-
	PC-03	5.49	5.47	5.49
B	PC-01	-	-	-
	PC-02	5.20	5.27	5.19
	PC-03	4.28	4.24	4.18
C	PC-01	3.28	3.25	3.26
	PC-02	3.99	.91	3.77
	PC-03	3.17	3.11	4.07
D	PC-01	3.62	3.65	3.17
	PC-02	1.53	1.07	0.36
	PC-03	2.83	2.68	2.83
E	PC-01	2.61	2.66	2.63
	PC-02	2.00	2.13	1.96
	PC-03	2.94	2.88	2.98
F	PC-01	2.48	2.56	2.03
	PC-02	2.88	3.43	2.86
	PC-03	-	-	-

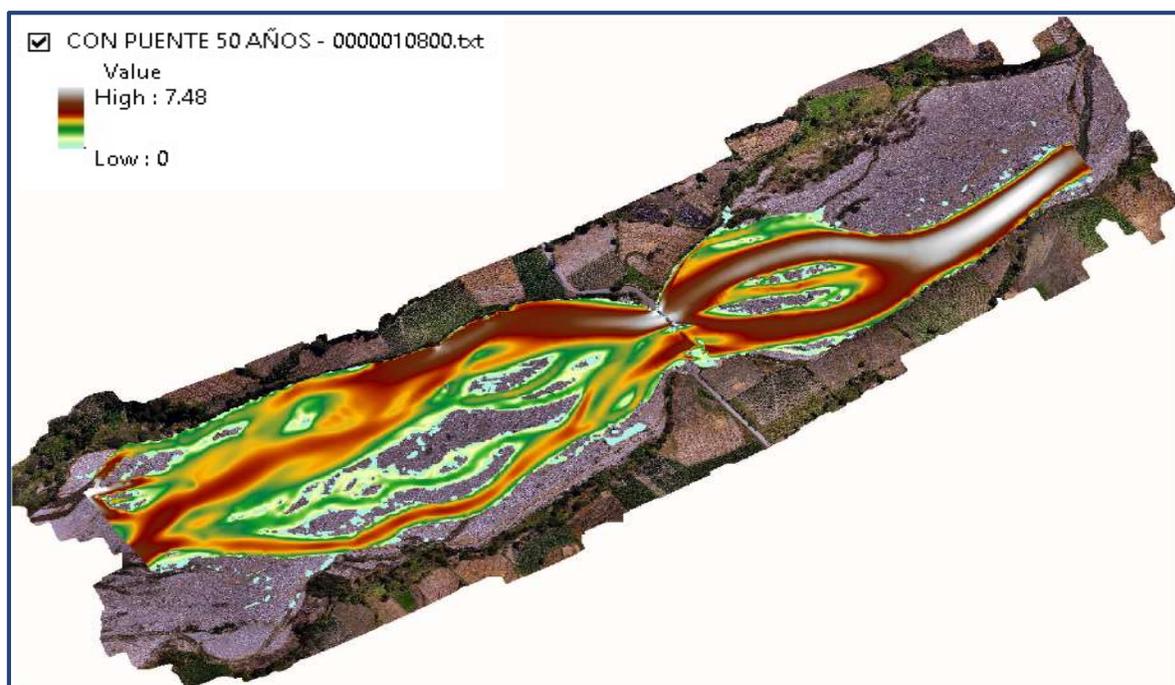
Fuente: Propia

Figura 5. 58: Modelo sin puente en el instante 10800, para un período de retorno de 50 años.



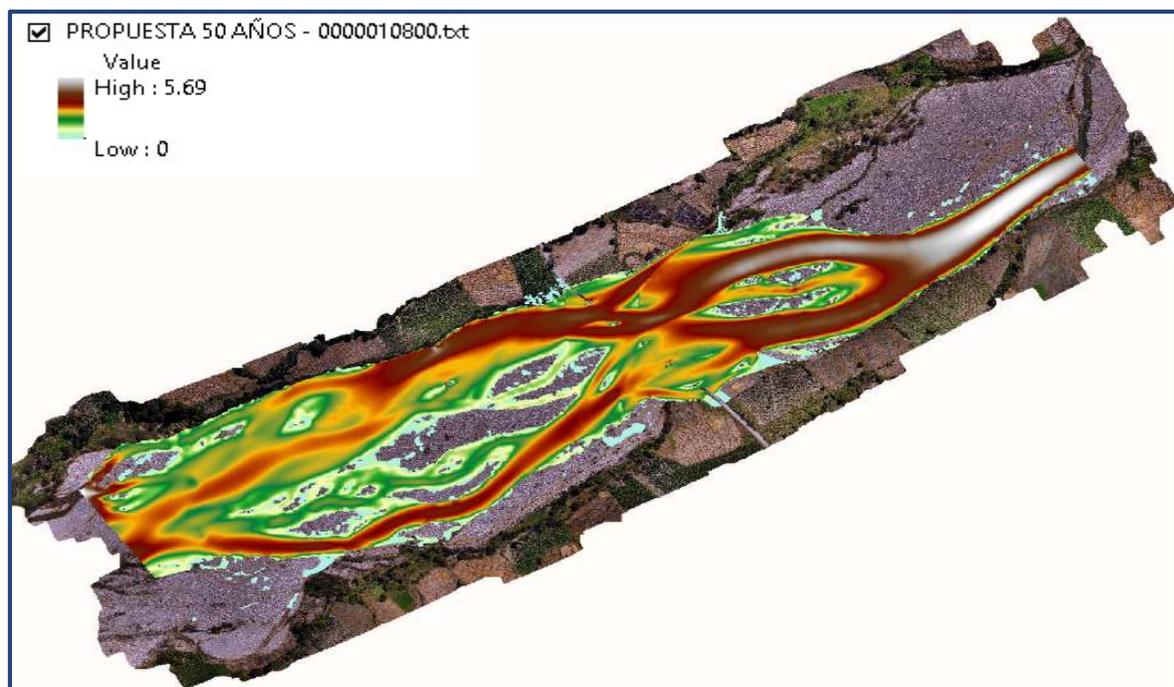
Fuente: Propia

Figura 5. 59: Modelo con puente en el instante 10800, para un período de retorno de 50 años.



Fuente: Propia

Figura 5. 60: Modelo propuesta de solución en el instante 10800, para un período de retorno de 50 años.



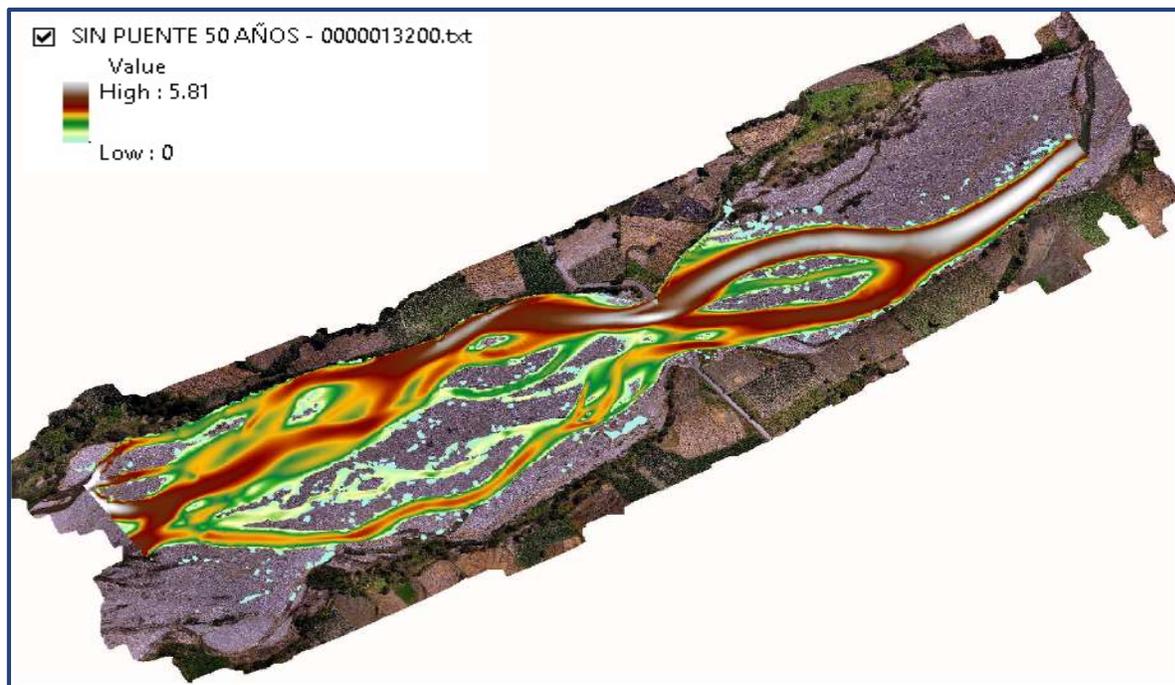
Fuente: Propia

Tabla 5. 21: Velocidades en m/s para un período de retorno de 50 años, en el instante 10800.

SECCIÓN	PTOS DE CONTROL	SIN PUENTE	CON PUENTE	PROPUESTA
A	PC-01	-	-	-
	PC-02	-	-	-
	PC-03	4.39	4.32	4.32
B	PC-01	-	-	-
	PC-02	3.74	3.75	3.62
	PC-03	2.50	2.49	2.78
C	PC-01	2.84	2.82	2.57
	PC-02	2.79	2.80	2.56
	PC-03	1.90	1.88	2.53
D	PC-01	2.96	3.06	2.66
	PC-02	-	-	-
	PC-03	1.80	1.97	2.20
E	PC-01	2.28	2.22	2.13
	PC-02	1.57	1.58	1.39
	PC-03	2.21	2.24	2.53
F	PC-01	2.71	2.95	2.76
	PC-02	2.39	2.59	2.42
	PC-03	-	-	-

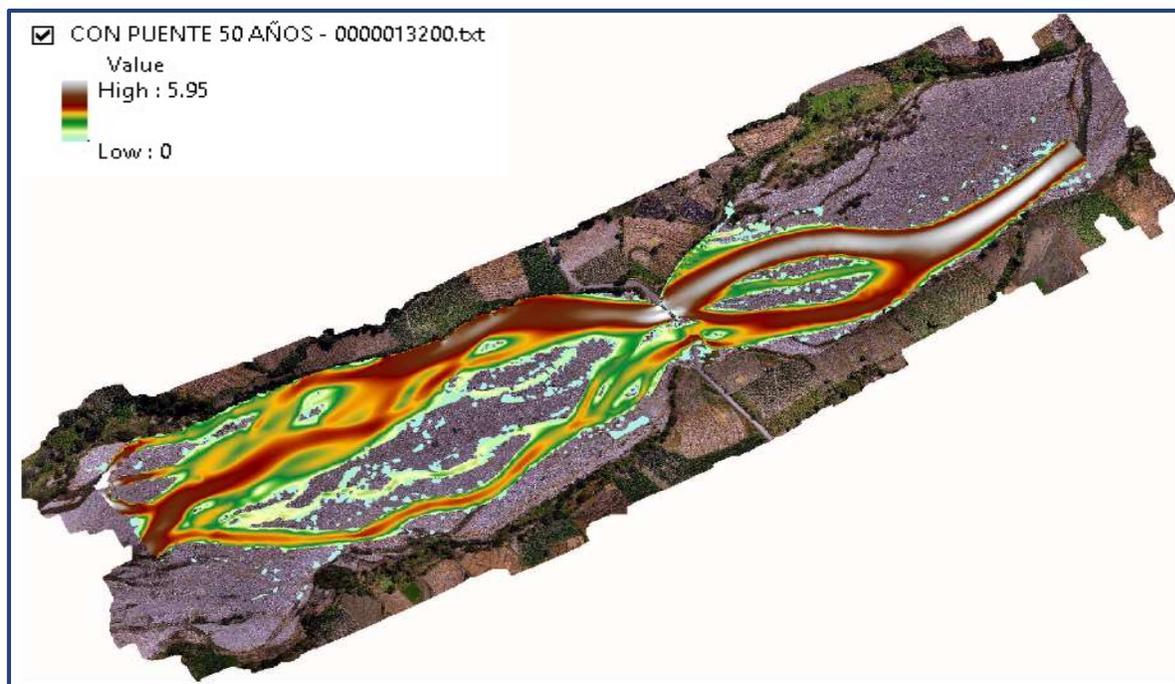
Fuente: Propia

Figura 5. 61: Modelo sin puente en el instante 13200, para un período de retorno de 50 años.



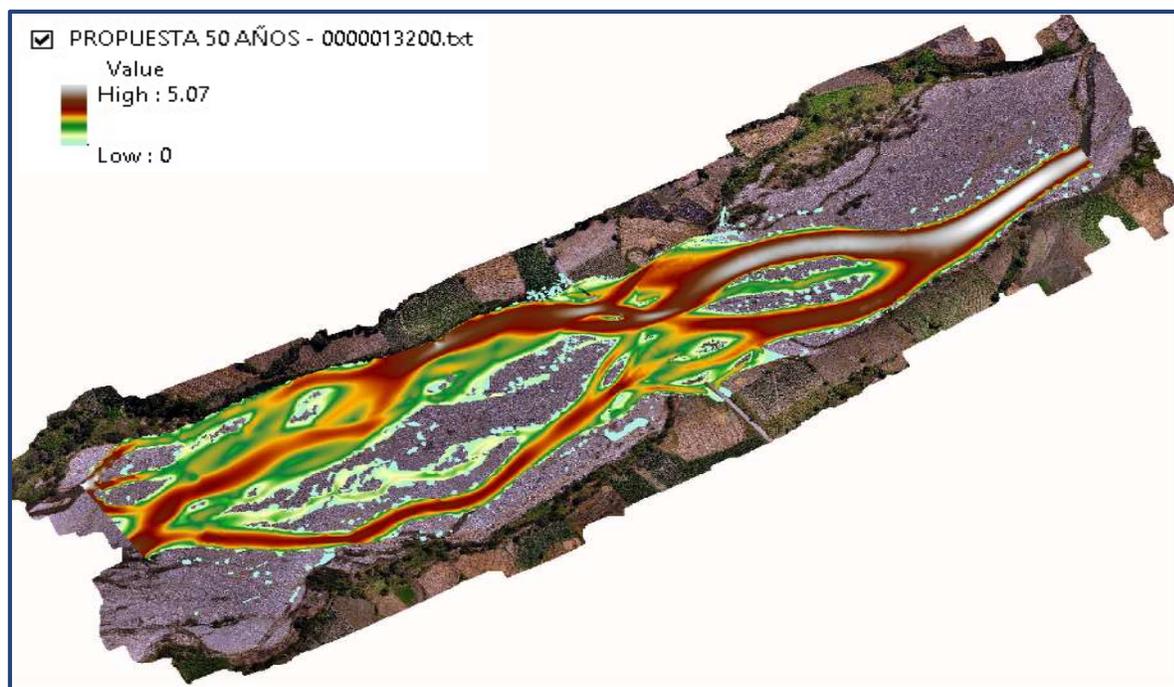
Fuente: Propia

Figura 5. 62: Modelo con puente en el instante 13200, para un período de retorno de 50 años.



Fuente: Propia

Figura 5. 63: Modelo propuesta de solución en el instante 13200, para un período de retorno de 50 años.



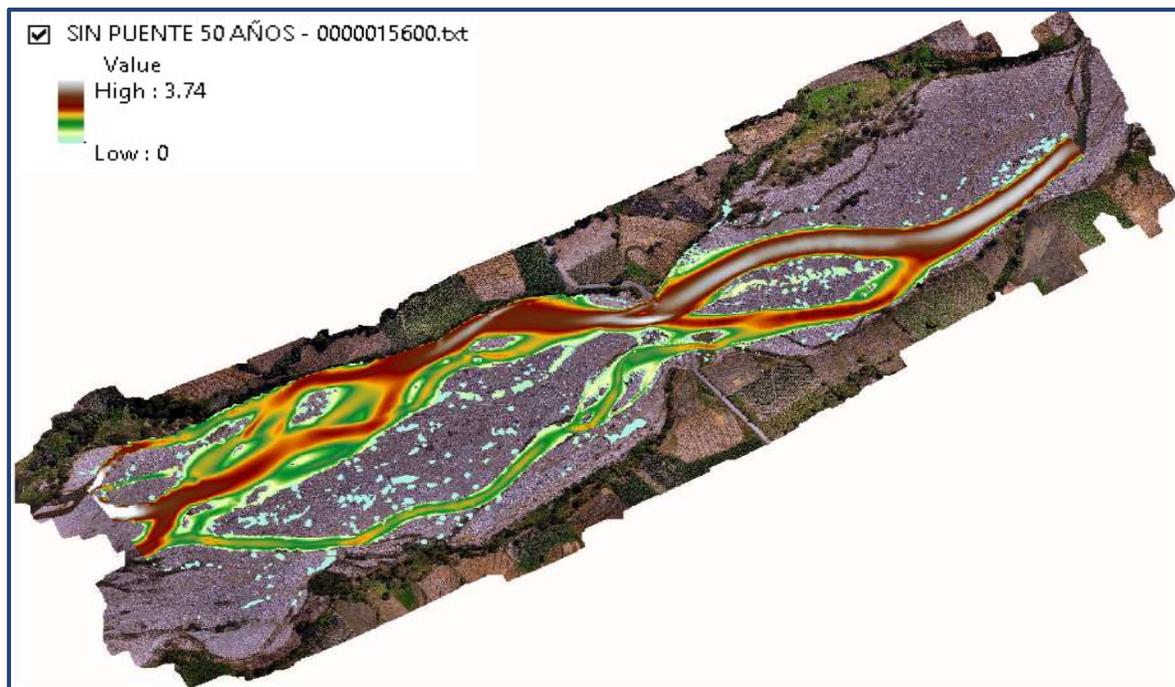
Fuente: Propia

Tabla 5. 22: Velocidades en m/s para un período de retorno de 50 años, en el instante 13200.

SECCIÓN	PTOS DE CONTROL	SIN PUENTE	CON PUENTE	PROPUESTA
A	PC-01	-	-	-
	PC-02	-	-	-
	PC-03	3.47	3.51	3.43
B	PC-01	-	-	-
	PC-02	3.02	3.06	2.97
	PC-03	1.77	1.67	1.95
C	PC-01	2.46	2.47	2.12
	PC-02	2.07	2.09	1.86
	PC-03	0.94	0.97	1.70
D	PC-01	2.20	2.55	2.35
	PC-02	-	-	-
	PC-03	0.96	1.42	1.62
E	PC-01	1.96	1.88	1.83
	PC-02	1.01	1.05	0.88
	PC-03	1.51	1.57	1.91
F	PC-01	2.56	2.78	2.56
	PC-02	1.87	1.88	1.95
	PC-03	-	-	-

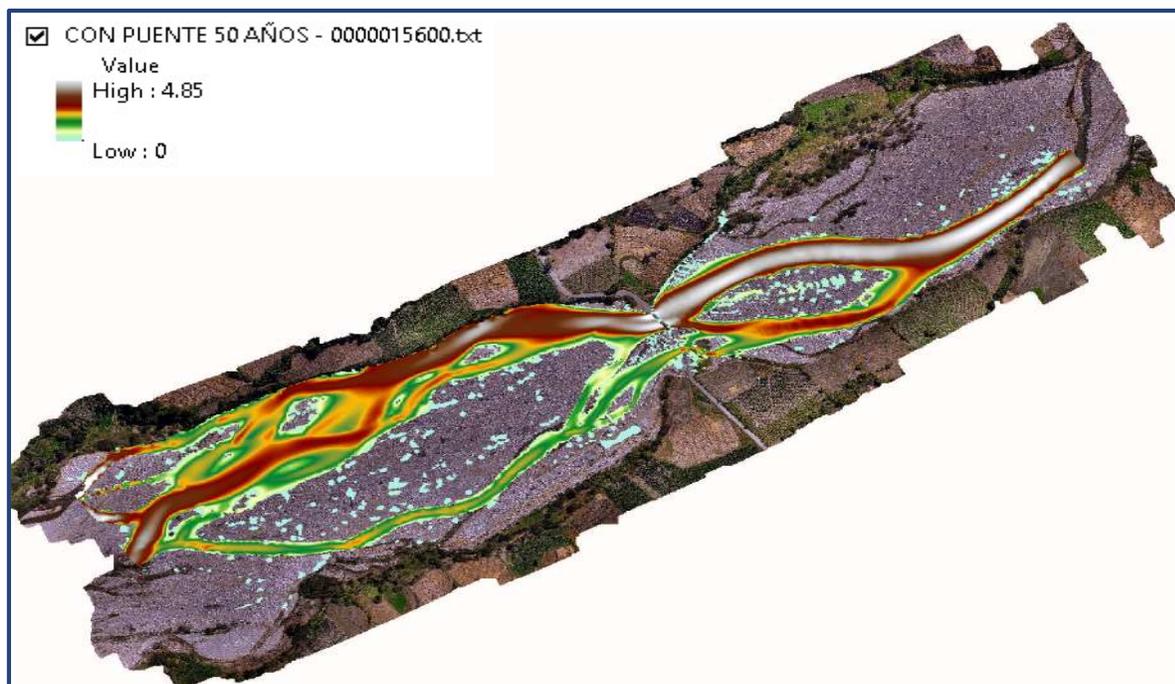
Fuente: Propia

Figura 5. 64: Modelo sin puente en el instante 15600, para un período de retorno de 50 años.



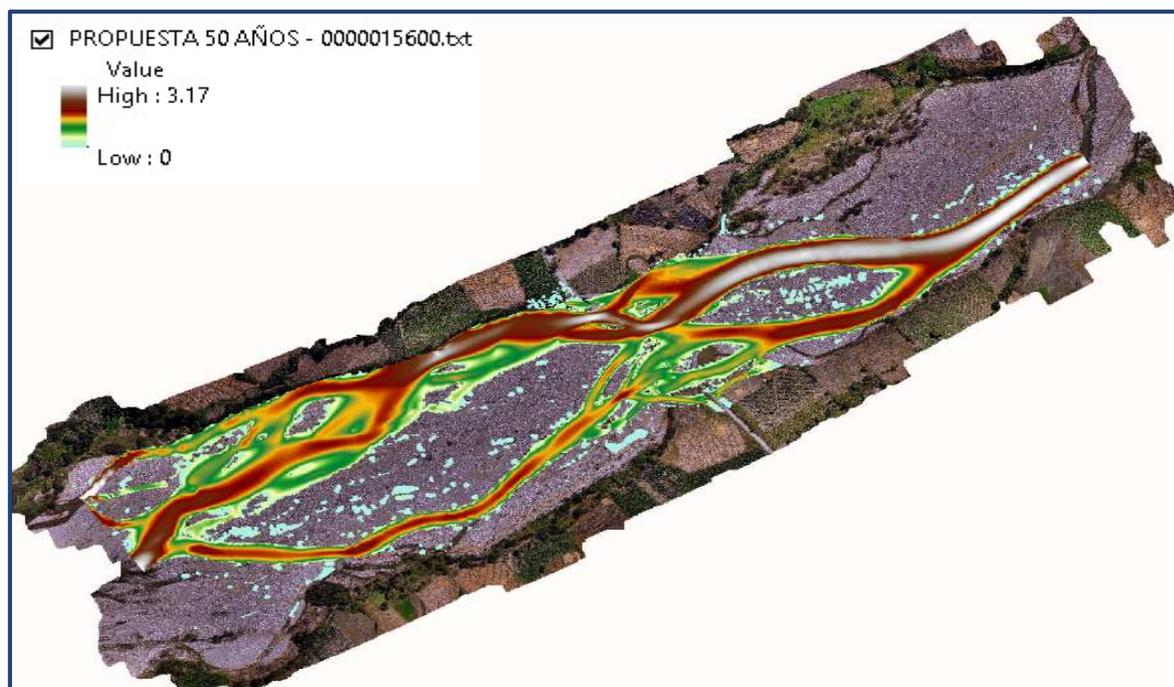
Fuente: Propia

Figura 5. 65: Modelo con puente en el instante 15600, para un período de retorno de 50 años.



Fuente: Propia

Figura 5. 66: Modelo propuesta de solución en el instante 15600, para un período de retorno de 50 años.



Fuente: Propia

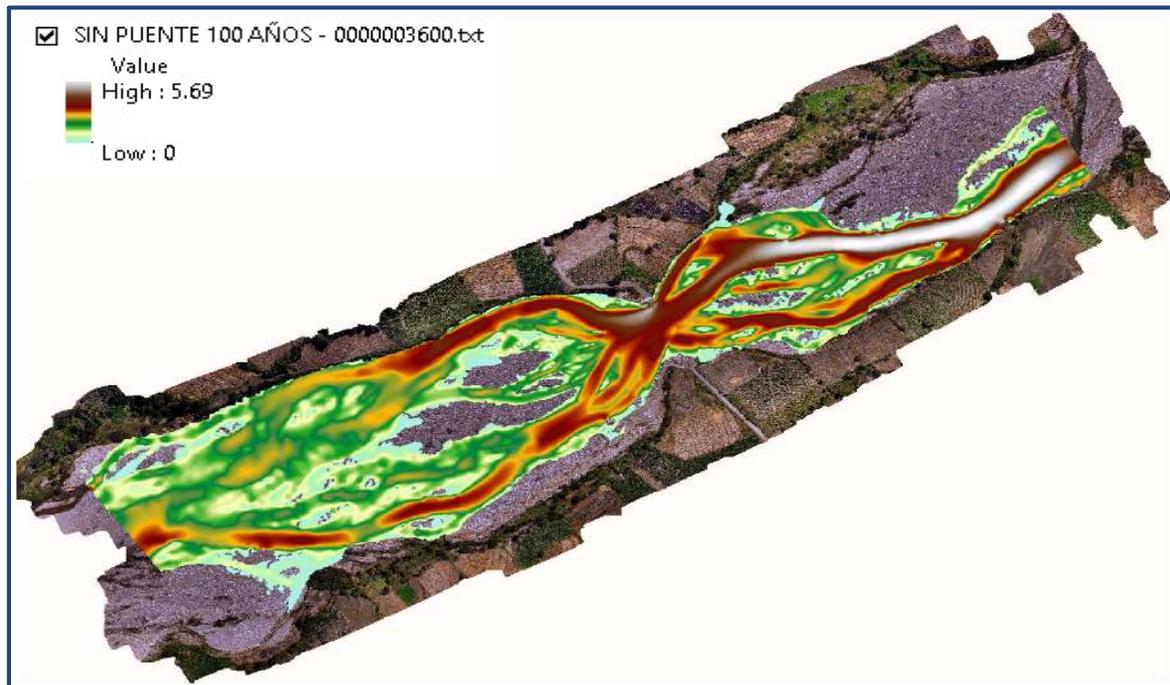
Tabla 4. 10: Velocidades en m/s para un período de retorno de 50 años, en el instante 15600.

SECCIÓN	PTOS DE CONTROL	SIN PUENTE	CON PUENTE	PROPUESTA
A	PC-01	-	-	-
	PC-02	-	-	-
	PC-03	2.80	2.76	2.74
B	PC-01	-	-	-
	PC-02	2.50	2.56	2.49
	PC-03	0.87	0.82	1.06
C	PC-01	2.00	2.03	1.65
	PC-02	1.52	1.52	1.30
	PC-03	-	-	1.04
D	PC-01	1.91	2.11	1.95
	PC-02	-	-	-
	PC-03	-	0.82	0.84
E	PC-01	1.68	1.60	1.60
	PC-02	0.52	0.62	0.26
	PC-03	0.91	0.92	1.40
F	PC-01	2.38	2.64	2.37
	PC-02	1.39	1.39	1.72
	PC-03	-	-	-

Fuente: Propia

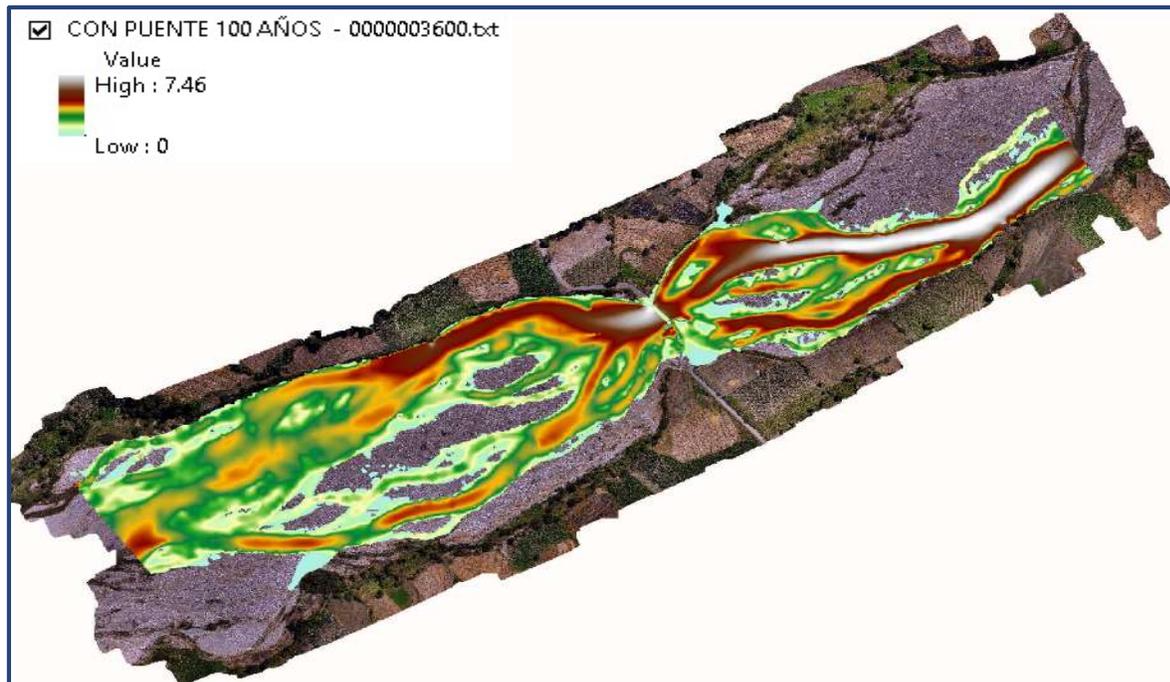
5.2.1.5. *Período de Retorno de 100 años.*

Figura 5. 67: Modelo sin puente en el instante 3600, para un período de retorno de 100 años.



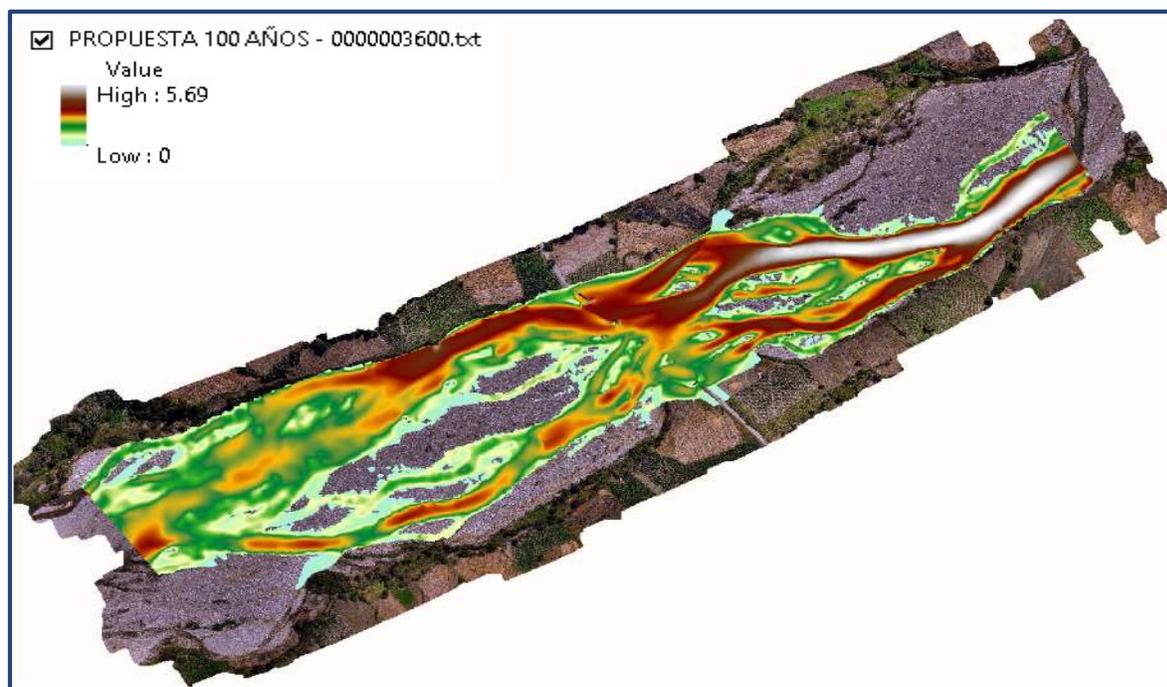
Fuente: Propia

Figura 5. 68: Modelo con puente en el instante 3600, para un período de retorno de 100 años.



Fuente: Propia

Figura 5. 69: Modelo propuesta de solución en el instante 3600, para un período de retorno de 100 años.



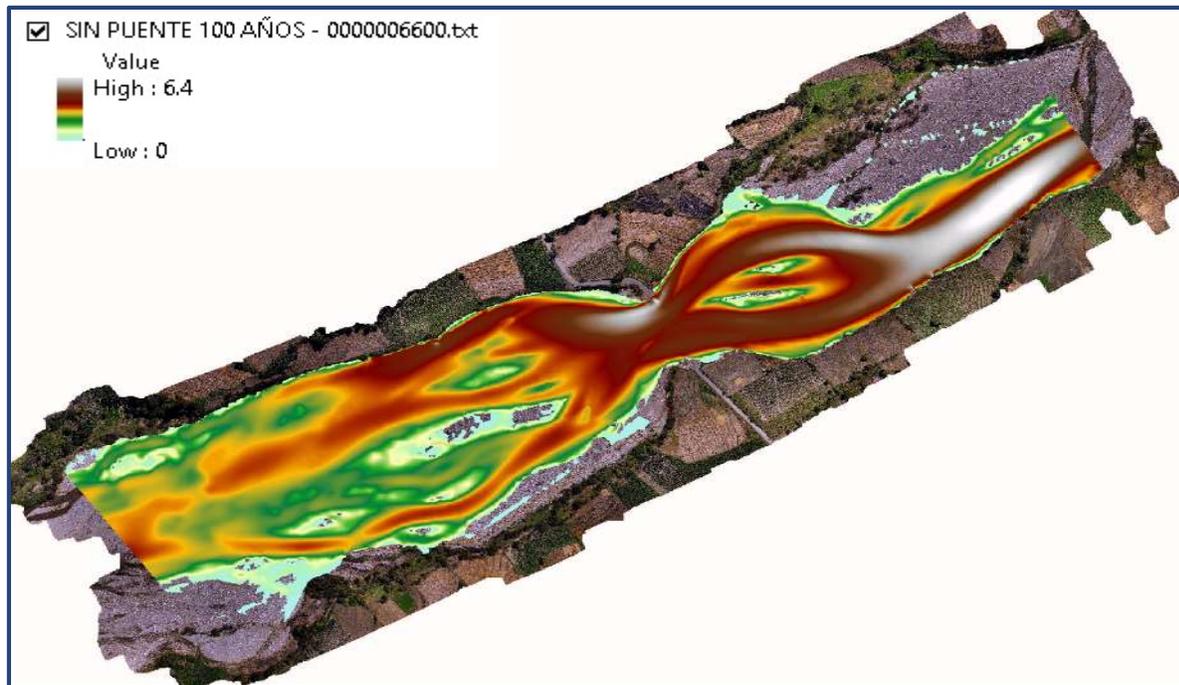
Fuente: Propia

Tabla 5. 23: Velocidades en m/s para un período de retorno de 100 años, en el instante 3600.

SECCIÓN	PTOS DE CONTROL	SIN PUENTE	CON PUENTE	PROPUESTA
A	PC-01	-	-	-
	PC-02	1.04	1.09	1.25
	PC-03	5.54	5.55	5.52
B	PC-01	-	-	-
	PC-02	5.43	5.39	5.31
	PC-03	2.47	2.47	2.51
C	PC-01	3.69	3.50	3.78
	PC-02	2.40	2.36	2.49
	PC-03	1.49	1.48	2.66
D	PC-01	3.01	3.18	3.25
	PC-02	0.59	-	-
	PC-03	2.94	2.32	2.59
E	PC-01	2.45	2.60	2.62
	PC-02	1.48	1.75	1.74
	PC-03	2.78	2.63	2.67
F	PC-01	1.57	1.68	1.68
	PC-02	3.14	2.92	2.94
	PC-03	-	-	-

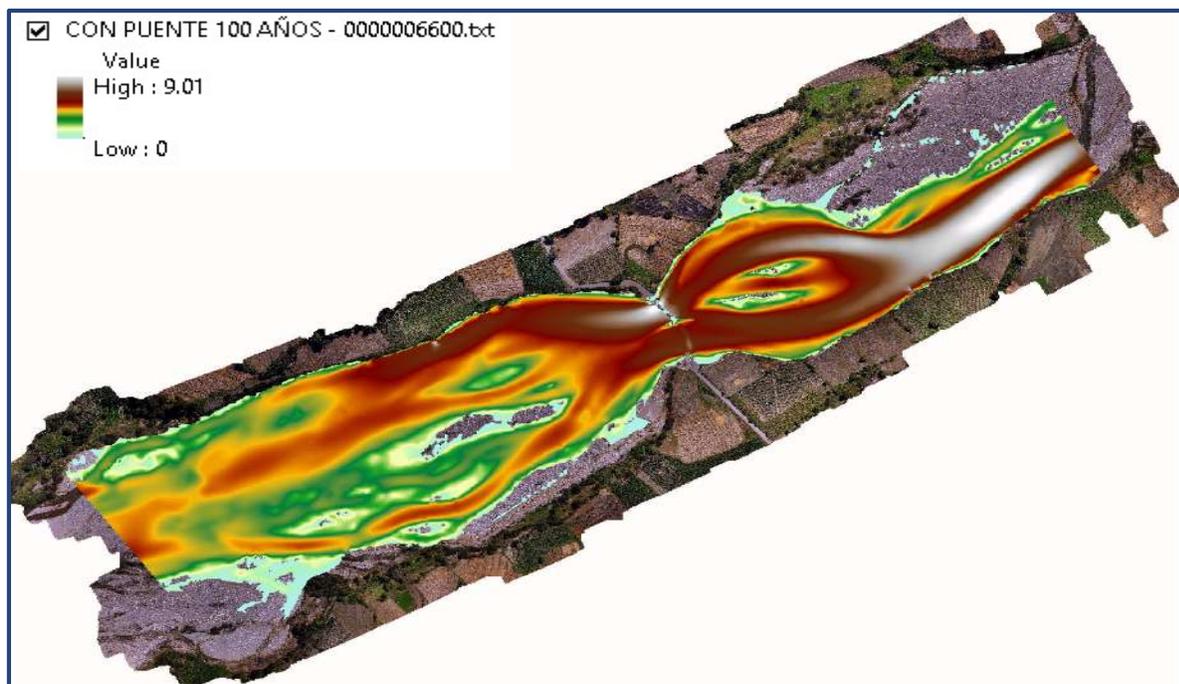
Fuente: Propia

Figura 5. 70: Modelo sin puente en el instante 6600, para un período de retorno de 100 años.



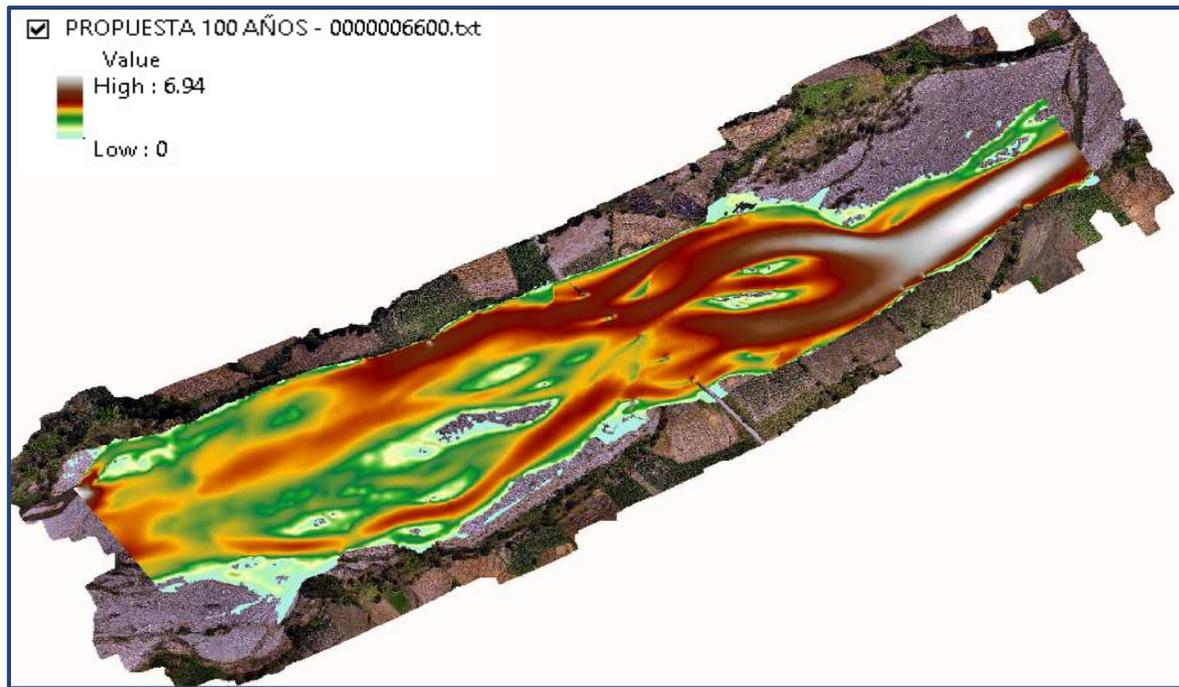
Fuente: Propia

Figura 5. 71: Modelo con puente en el instante 6600, para un período de retorno de 100 años.



Fuente: Propia

Figura 5. 72: Modelo propuesta de solución en el instante 6600, para un período de retorno de 100 años.



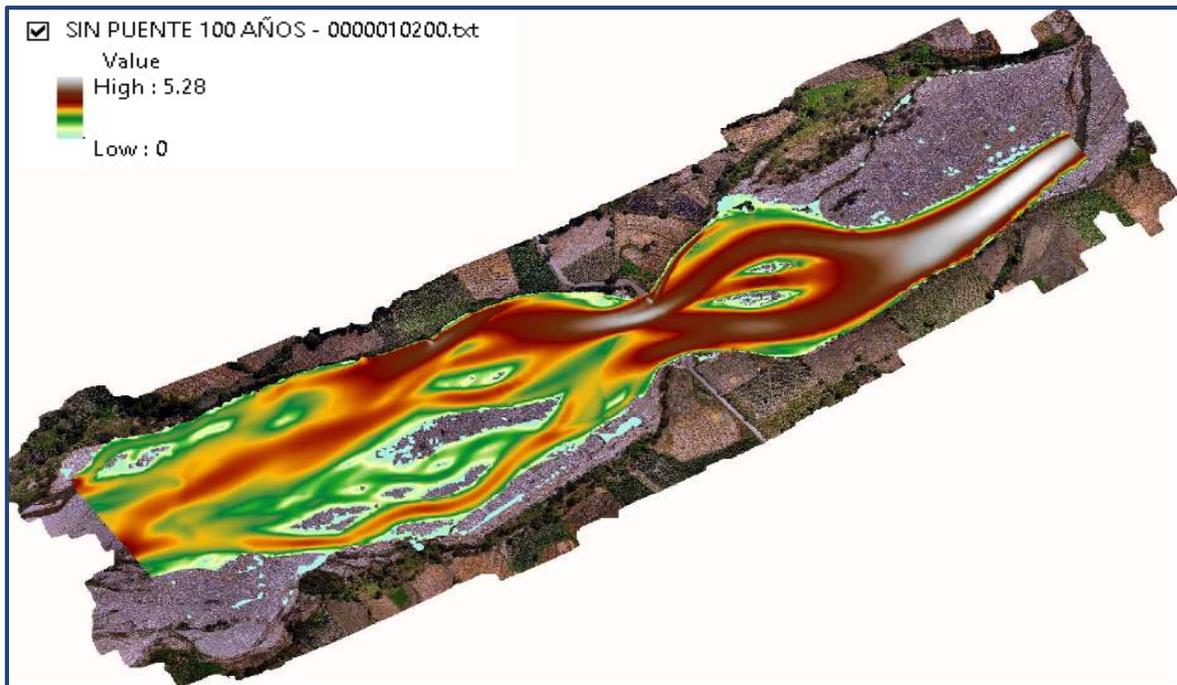
Fuente: Propia

Tabla 5. 24: Velocidades en m/s para un período de retorno de 100 años, en el instante 6600.

SECCIÓN	PTOS DE CONTROL	SIN PUENTE	CON PUENTE	PROPUESTA
A	PC-01	-	-	-
	PC-02	1.04	1.09	1.25
	PC-03	5.54	5.55	5.52
B	PC-01	-	-	-
	PC-02	5.43	5.39	5.31
	PC-03	2.47	2.47	2.51
C	PC-01	3.69	3.50	3.78
	PC-02	2.40	2.36	2.49
	PC-03	1.49	1.48	2.66
D	PC-01	3.01	3.18	3.25
	PC-02	0.59	-	-
	PC-03	2.94	2.32	2.59
E	PC-01	2.45	2.60	2.62
	PC-02	1.48	1.75	1.74
	PC-03	2.78	2.63	2.67
F	PC-01	1.57	1.68	1.68
	PC-02	3.14	2.92	2.94
	PC-03	-	-	-

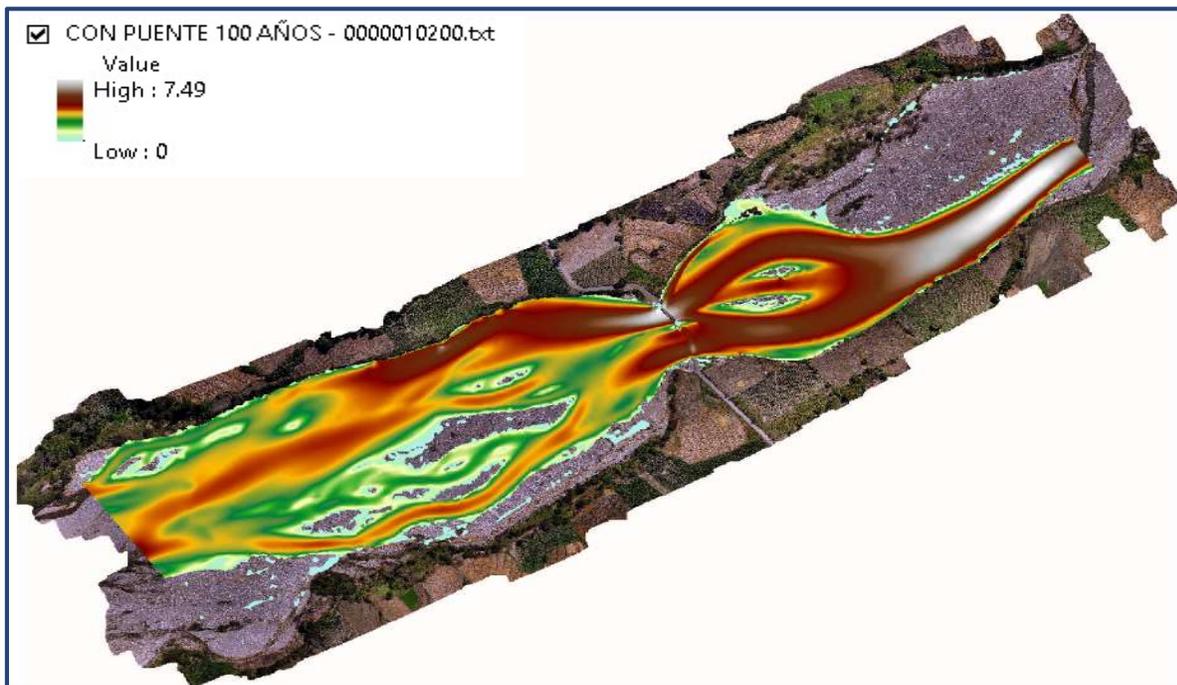
Fuente: Propia

Figura 5. 73: Modelo sin puente en el instante 10200, para un período de retorno de 100 años.



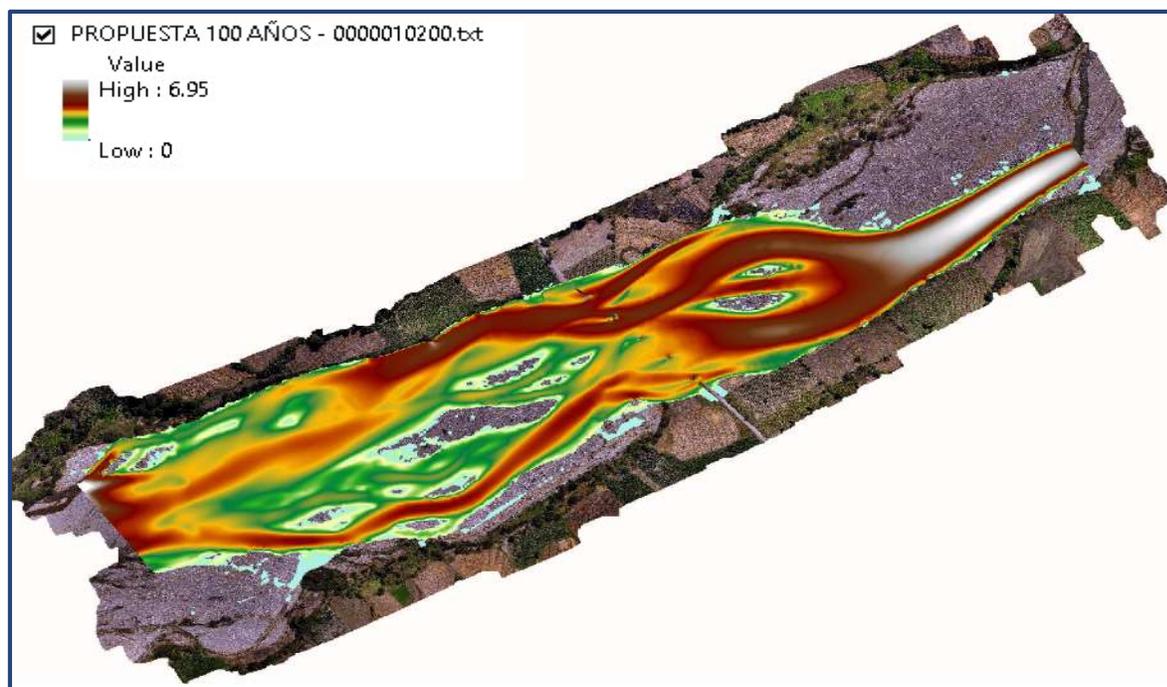
Fuente: Propia

Figura 5. 74: Modelo con puente en el instante 10200, para un período de retorno de 100 años.



Fuente: Propia

Figura 5. 75: Modelo propuesta de solución en el instante 10200, para un período de retorno de 100 años.



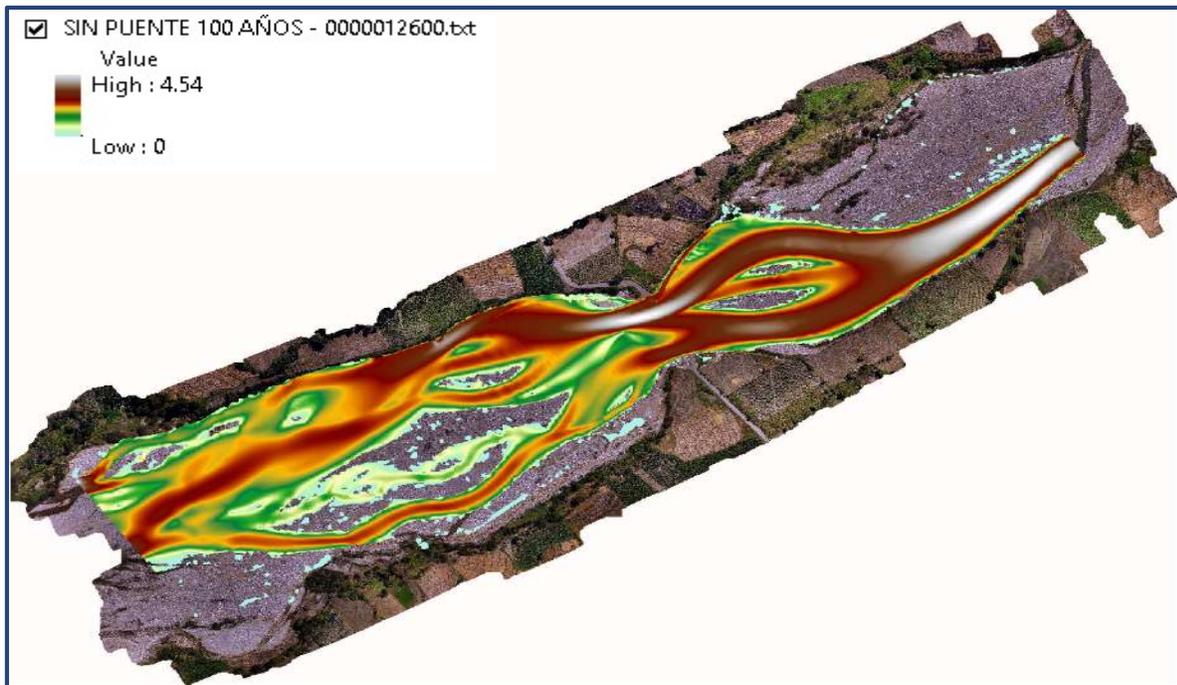
Fuente: Propia

Tabla 5. 25: Velocidades en m/s para un período de retorno de 100 años, en el instante 10200.

SECCIÓN	PTOS DE CONTROL	SIN PUENTE	CON PUENTE	PROPUESTA
A	PC-01	-	-	-
	PC-02	-	-	-
	PC-03	5.13	5.15	5.08
B	PC-01	-	-	-
	PC-02	4.04	4.03	4.17
	PC-03	3.48	3.54	3.40
C	PC-01	2.85	2.88	2.56
	PC-02	3.09	3.16	2.39
	PC-03	2.83	2.81	3.35
D	PC-01	2.80	3.18	2.89
	PC-02	1.68	1.67	0.70
	PC-03	1.99	2.04	2.52
E	PC-01	2.53	2.54	2.42
	PC-02	2.09	2.11	1.98
	PC-03	2.35	2.43	2.66
F	PC-01	1.98	1.96	3.36
	PC-02	2.54	2.55	2.86
	PC-03	-	-	-

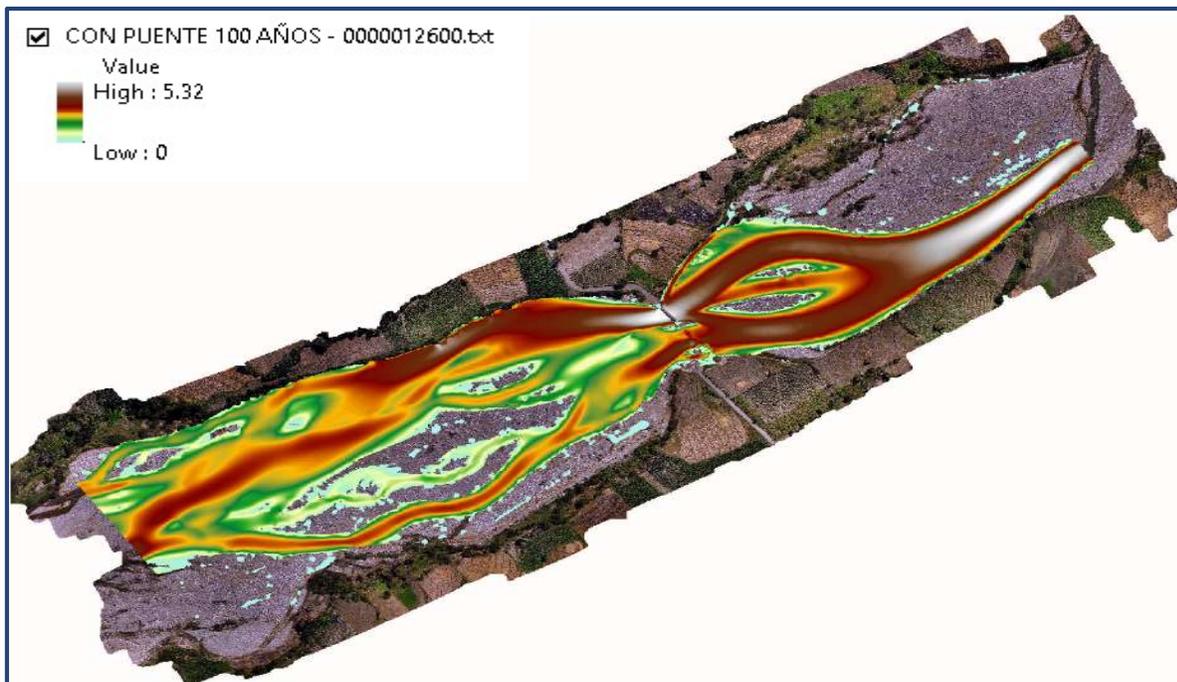
Fuente: Propia

Figura 5. 76: Modelo sin puente en el instante 12600, para un período de retorno de 100 años.



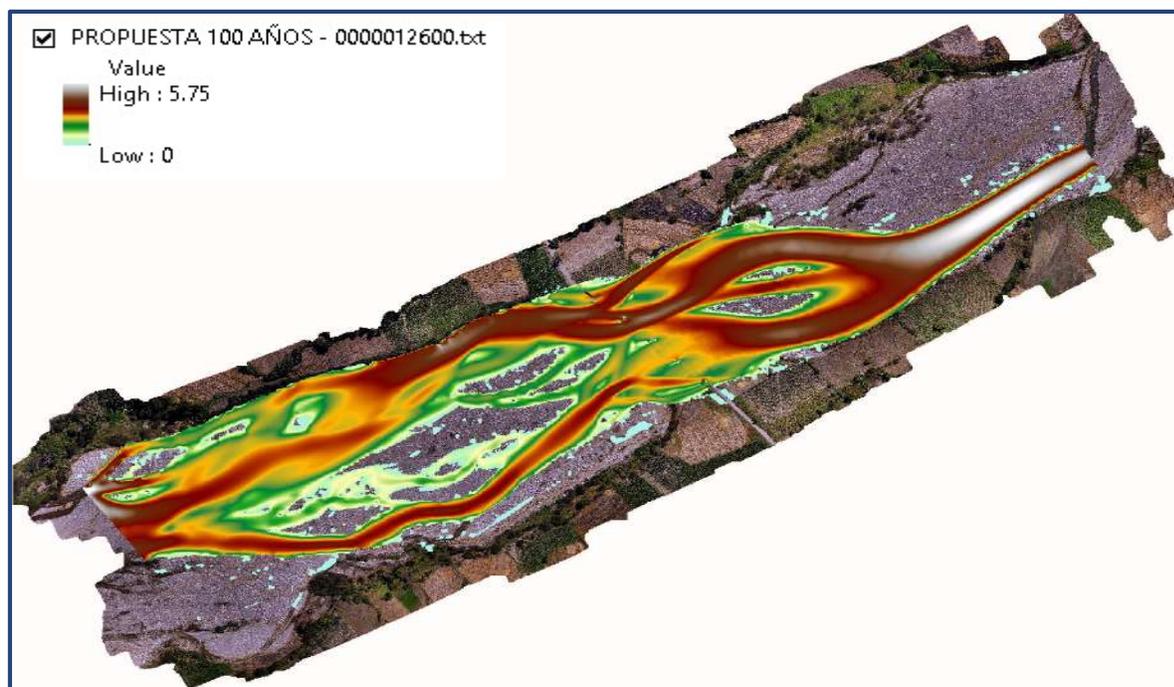
Fuente: Propia

Figura 5. 77: Modelo con puente en el instante 12600, para un período de retorno de 100 años.



Fuente: Propia

Figura 5. 78: Modelo propuesta de solución en el instante 12600, para un período de retorno de 100 años.



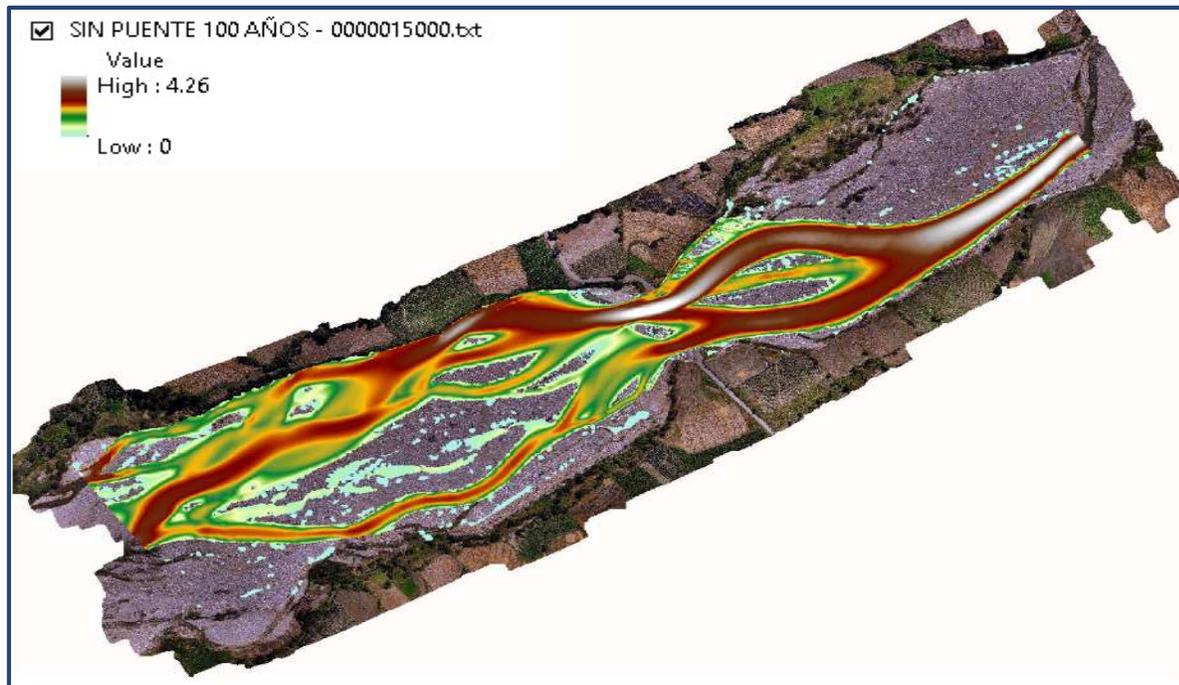
Fuente: Propia

Tabla 5. 26: Velocidades en m/s para un período de retorno de 100 años, en el instante 12600.

SECCIÓN	PTOS DE CONTROL	SIN PUENTE	CON PUENTE	PROPUESTA
A	PC-01	-	-	-
	PC-02	-	-	-
	PC-03	4.01	4.03	3.94
B	PC-01	-	-	-
	PC-02	3.15	3.14	3.24
	PC-03	2.24	2.27	2.21
C	PC-01	2.44	2.45	1.97
	PC-02	2.23	2.36	1.72
	PC-03	1.64	1.67	2.39
D	PC-01	2.23	2.61	2.67
	PC-02	0.80	0.90	-
	PC-03	1.36	1.49	1.78
E	PC-01	2.01	2.05	2.00
	PC-02	1.41	1.39	1.41
	PC-03	1.88	1.97	2.15
F	PC-01	1.90	1.71	2.87
	PC-02	2.06	2.07	2.56
	PC-03	-	-	-

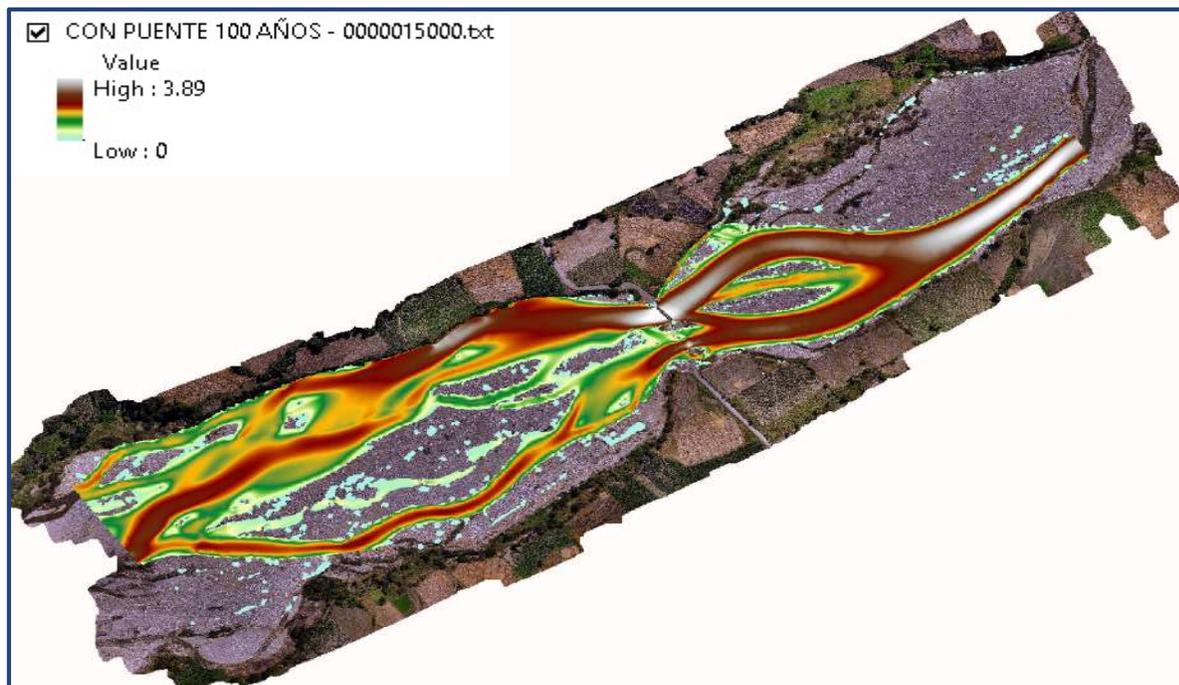
Fuente: Propia

Figura 5. 79: Modelo sin puente en el instante 15000, para un período de retorno de 100 años.



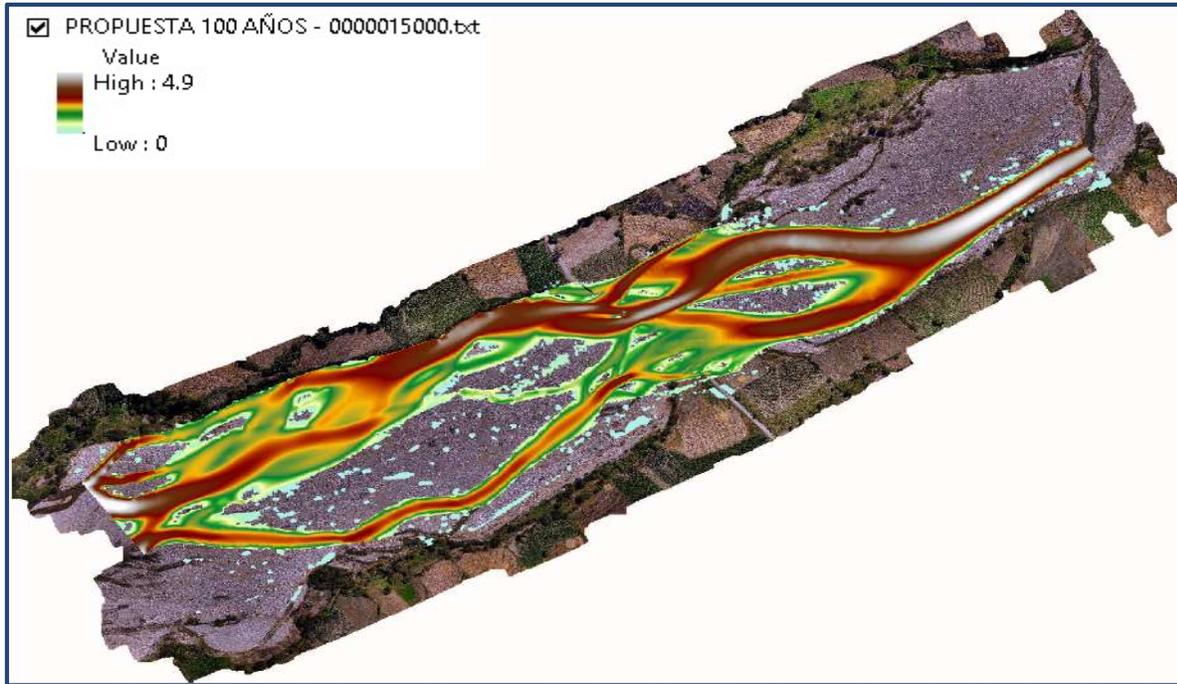
Fuente: Propia

Figura 5. 80: Modelo con puente en el instante 15000, para un período de retorno de 100 años.



Fuente: Propia

Figura 5. 81: Modelo propuesta de solución en el instante 15000, para un período de retorno de 100 años.



Fuente: Propia

Tabla 5. 27: Velocidades en m/s para un período de retorno de 100 años, en el instante 15000.

SECCIÓN	PTOS DE CONTROL	SIN PUENTE	CON PUENTE	PROPUESTA
A	PC-01	-	-	-
	PC-02	-	-	-
	PC-03	3.15	3.15	3.11
B	PC-01	-	-	-
	PC-02	2.50	2.49	2.59
	PC-03	1.41	1.45	1.28
C	PC-01	1.92	1.98	1.33
	PC-02	1.48	1.63	1.07
	PC-03	0.63	0.76	1.52
D	PC-01	1.83	2.12	2.27
	PC-02	-	0.33	-
	PC-03	0.80	1.05	0.95
E	PC-01	1.67	1.69	1.71
	PC-02	0.57	0.47	0.68
	PC-03	1.45	1.57	1.52
F	PC-01	1.69	1.49	2.68
	PC-02	1.57	1.60	1.98
	PC-03	-	-	-

Fuente: Propia

5.2.2. Sedimentación.

5.2.2.1. Sección A con período de retorno de 5, 10, 25, 50 y 100 años.

Figura 5. 82: Sección A - Período de Retorno 5 años.



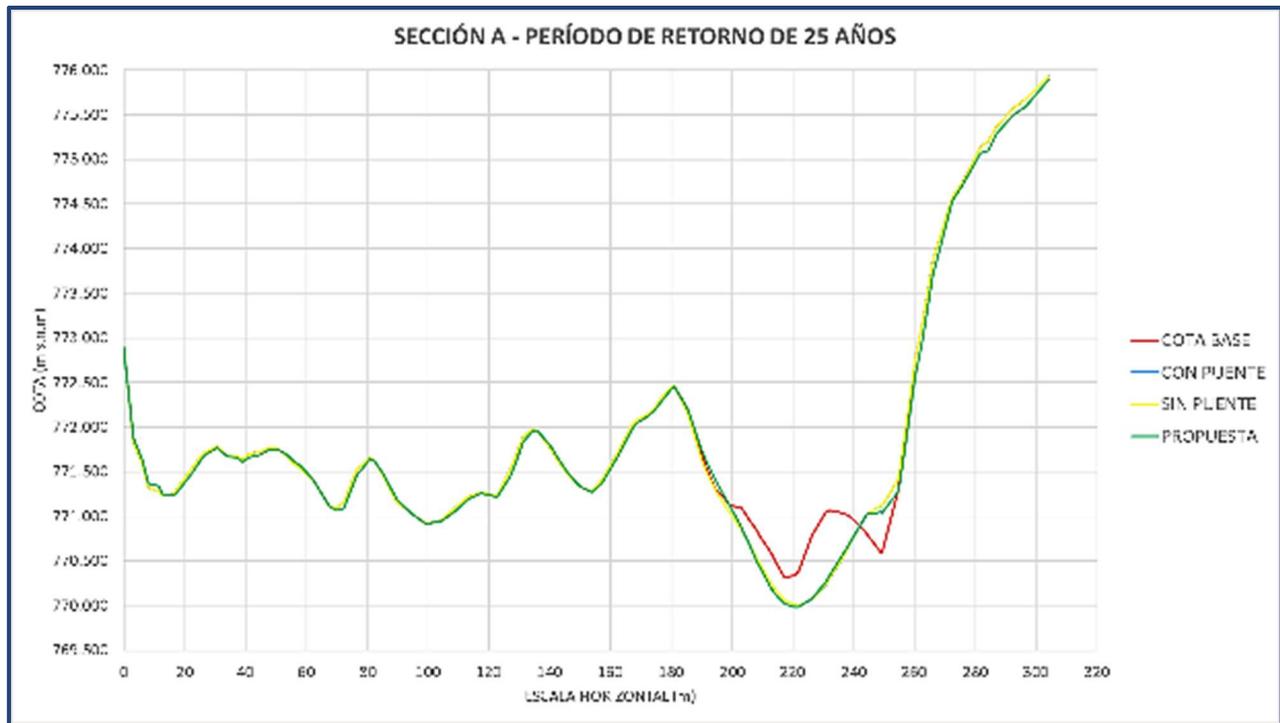
Fuente: Propia

Figura 5. 83: Sección A - Período de Retorno 10 años.



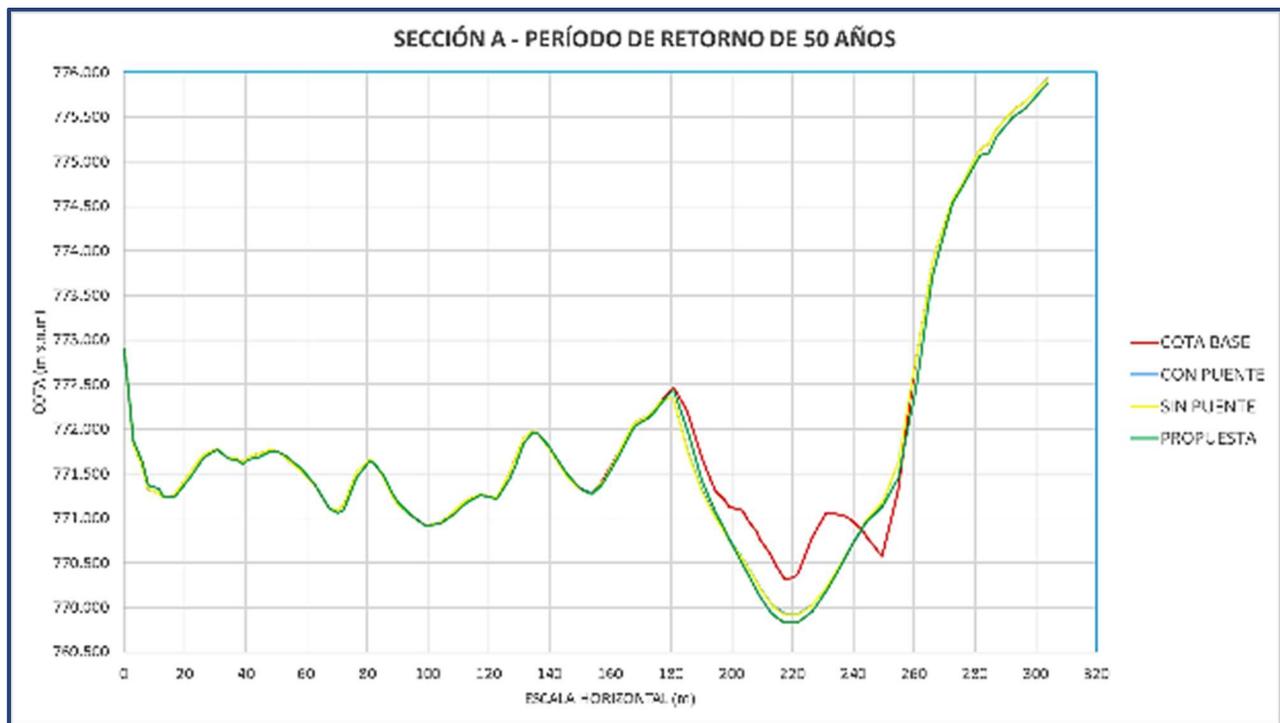
Fuente: Propia

Figura 5. 84: Sección A - Período de Retorno 25 años.



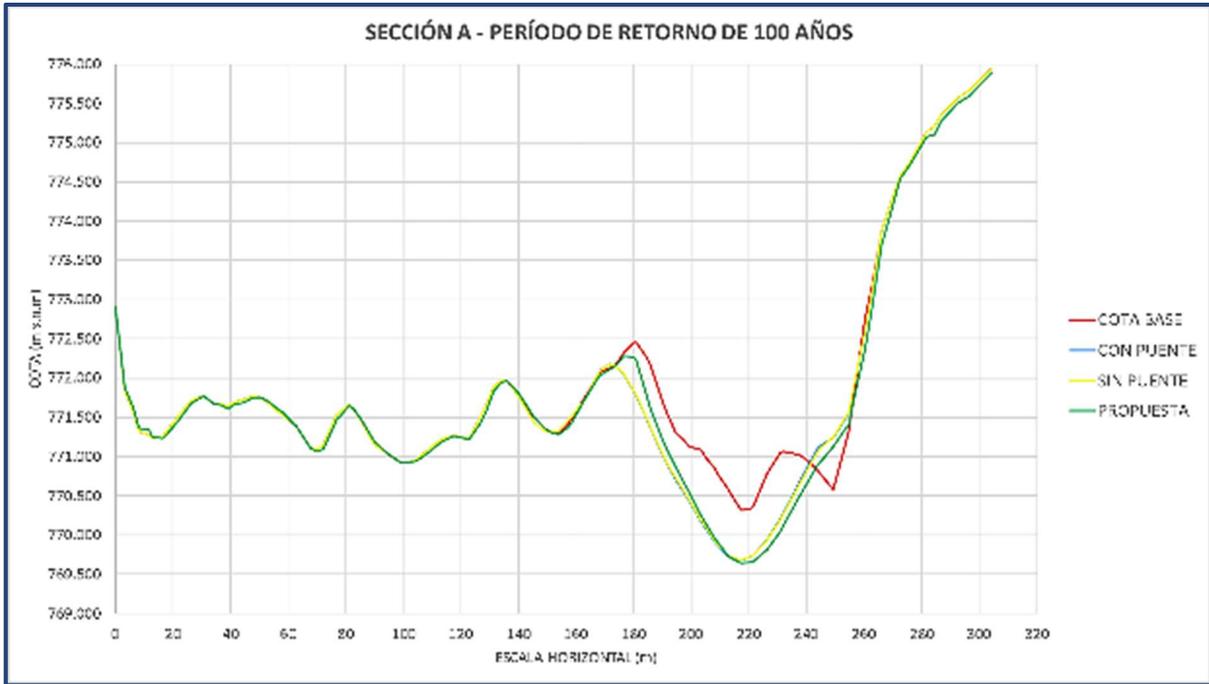
Fuente: Propia

Figura 5. 85: Sección A - Período de Retorno 50 años.



Fuente: Propia

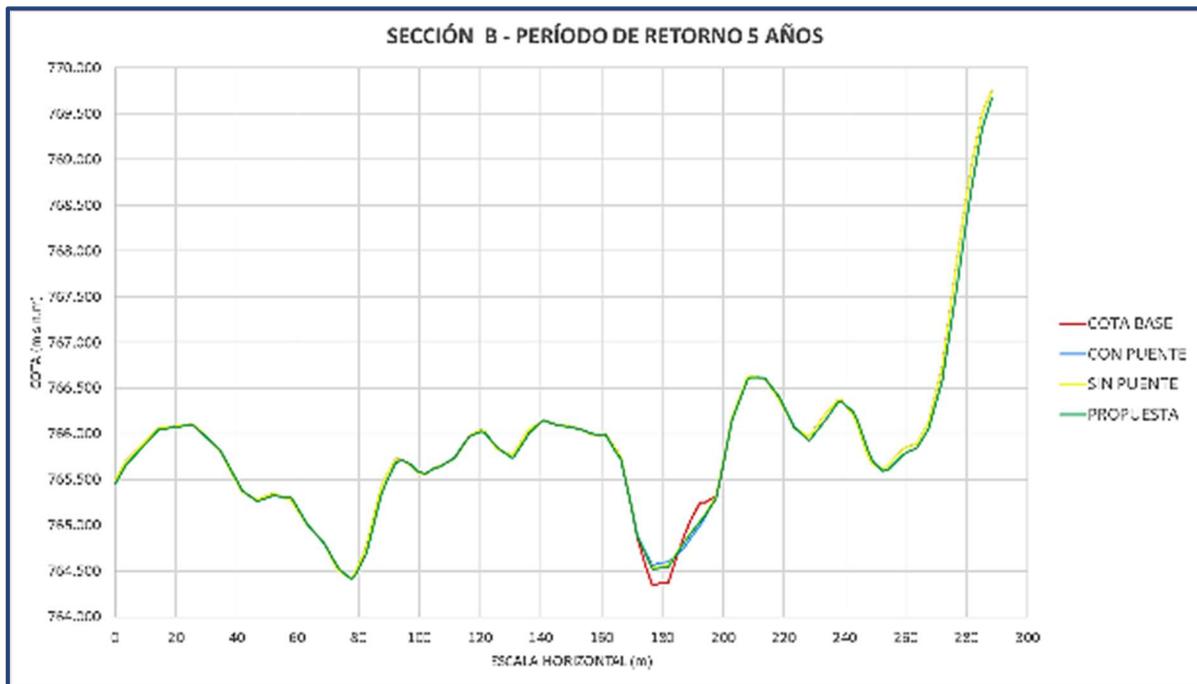
Figura 5. 86: Sección A - Período de Retorno 100 años.



Fuente: Propia

5.2.2.2. Sección B con período de retorno de 5, 10, 25, 50 y 100 años

Figura 5. 87: Sección B - Período de Retorno 5 años.



Fuente: Propia

Figura 5. 88: Sección B - Período de Retorno 10 años



Fuente: Propia

Figura 5. 89: Sección B - Período de Retorno 25 años.



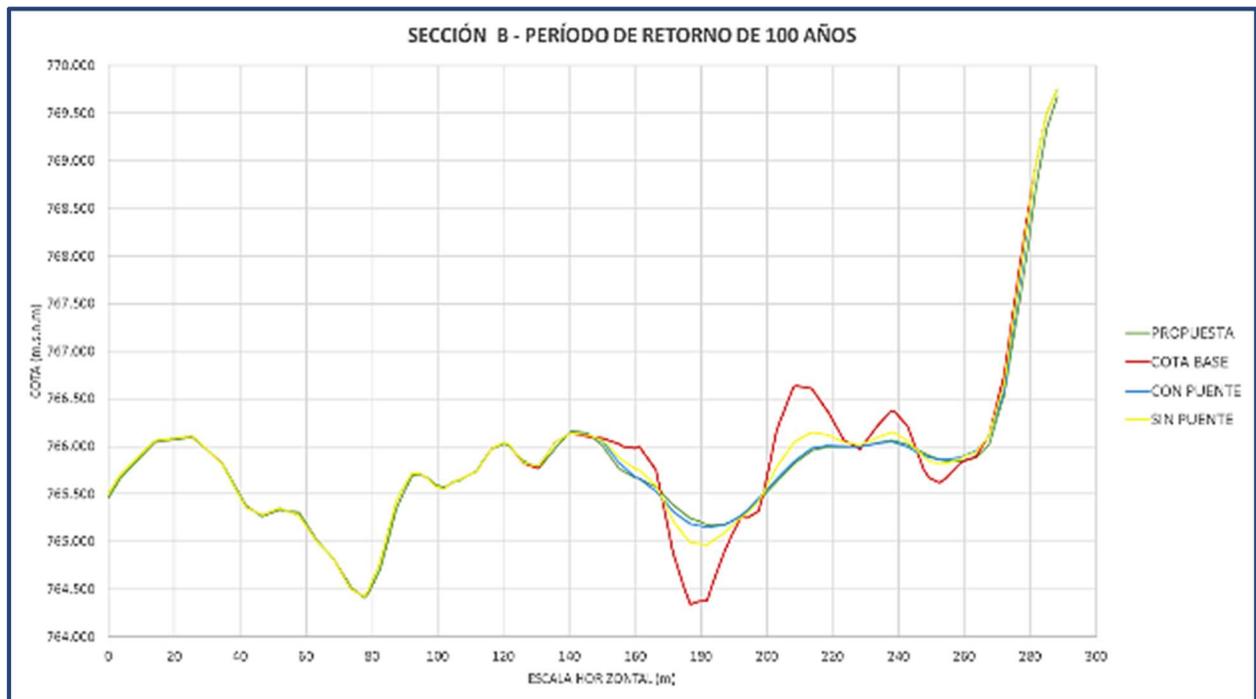
Fuente: Propia

Figura 5. 90: Sección B - Período de Retorno 50 años.



Fuente: Propia

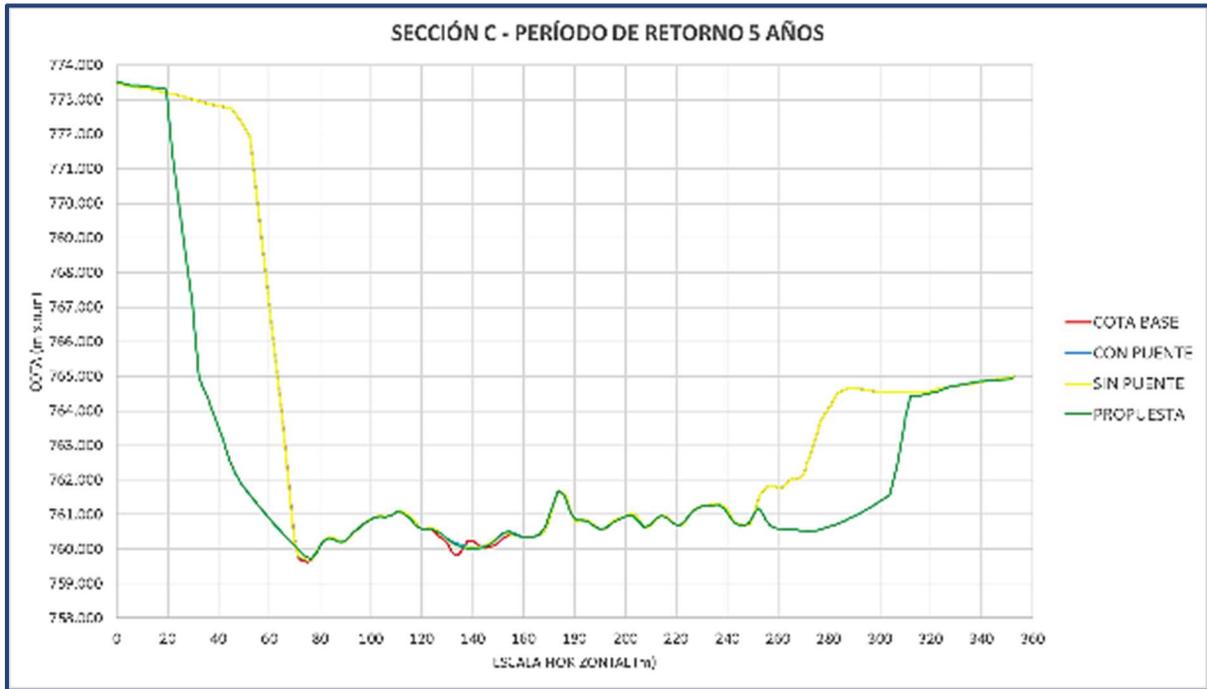
Figura 5. 91: Sección B - Período de Retorno 100 años.



Fuente: Propia

5.2.2.3. Sección C con período de retorno de 5, 10, 25, 50 y 100 años

Figura 5. 92: Sección C - Período de Retorno 5 años.



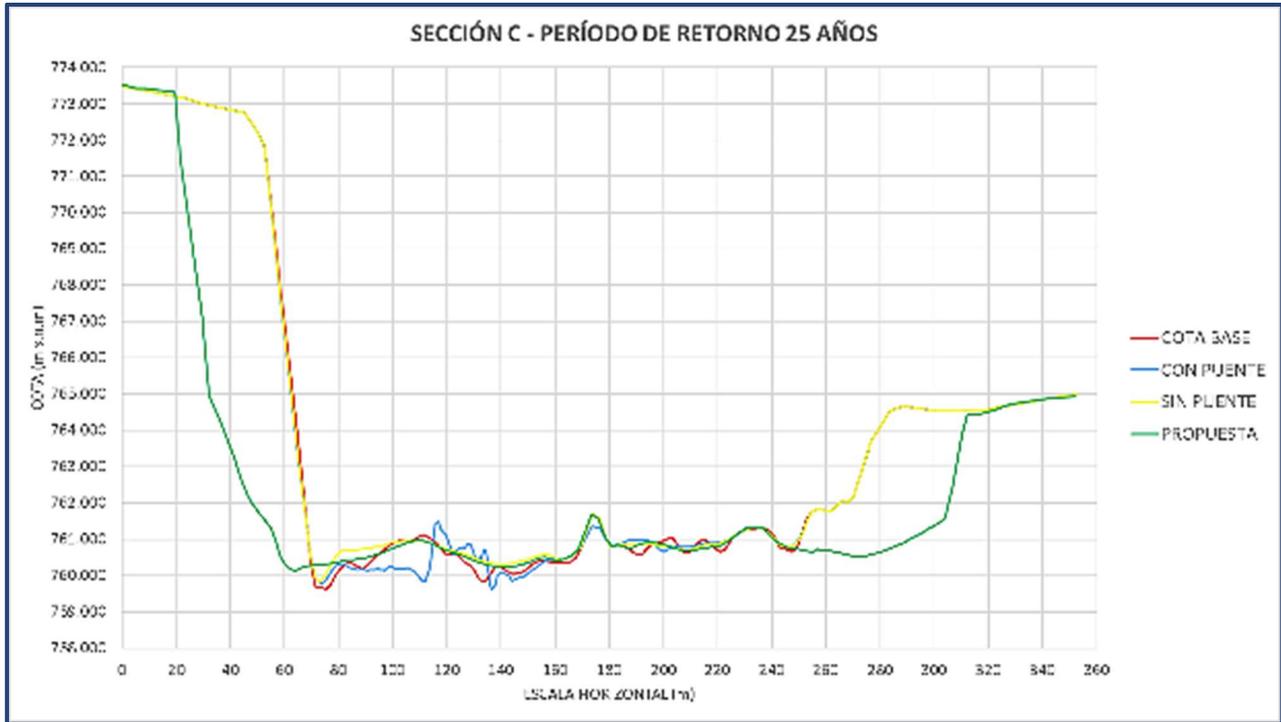
Fuente: Propia

Figura 5. 93: Sección C - Período de Retorno 10 años.



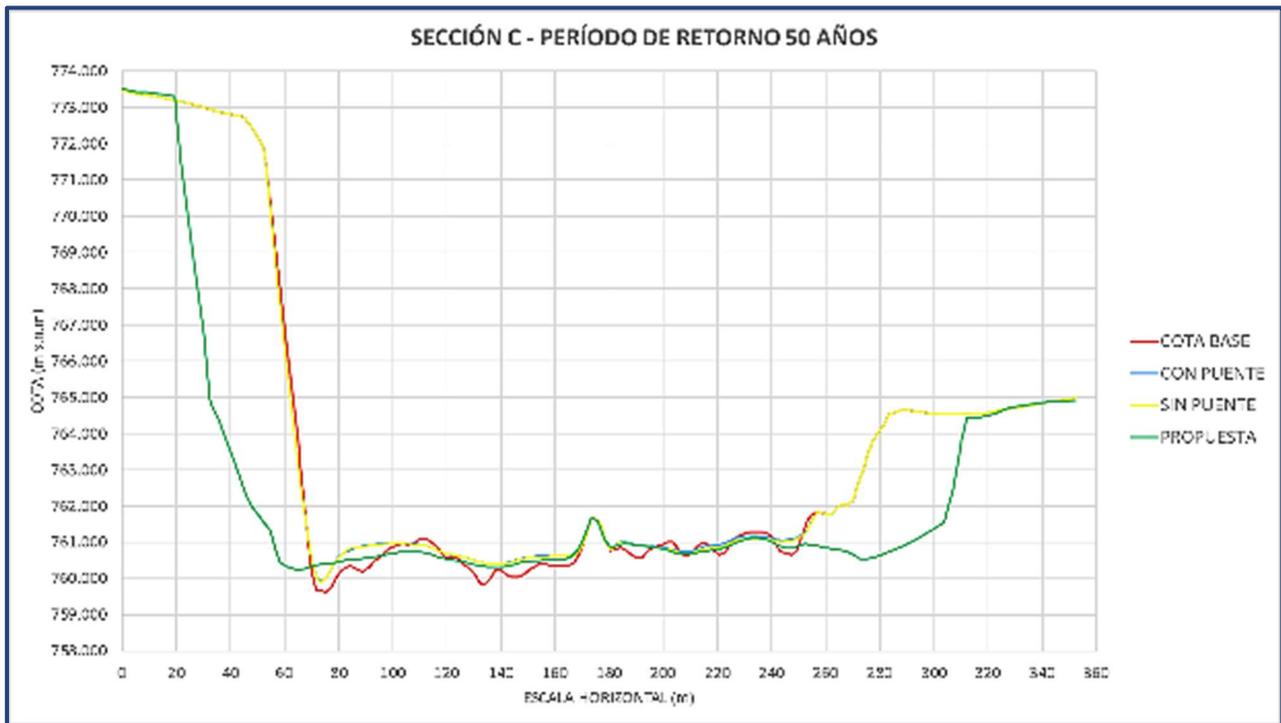
Fuente: Propia

Figura 5. 94: Sección C - Período de Retorno 25 años.



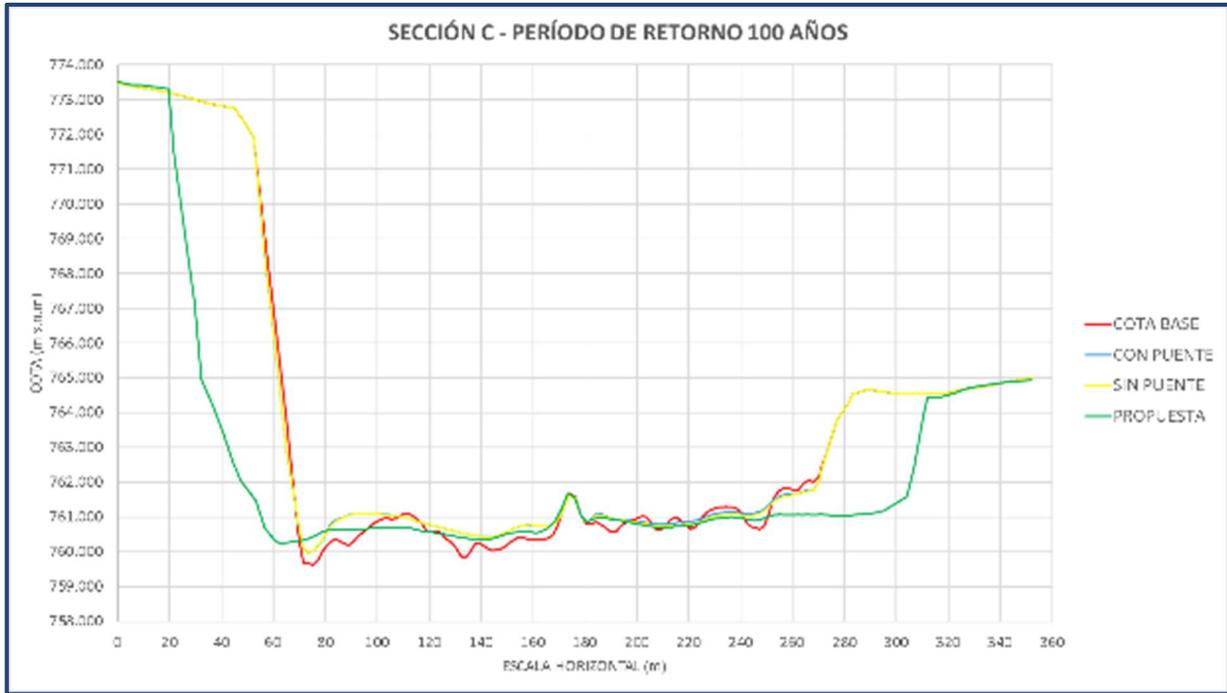
Fuente: Propia

Figura 5. 95: Sección C - Período de Retorno 50 años.



Fuente: Propia

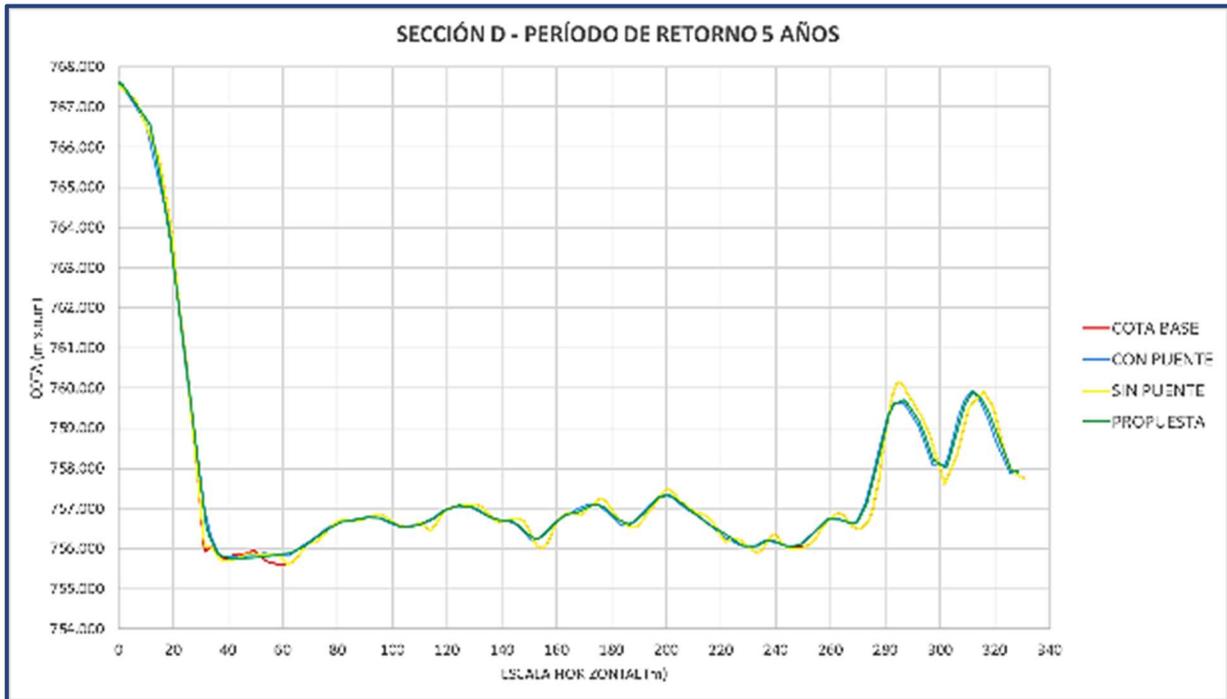
Figura 5. 96: Sección C - Período de Retorno 100 años.



Fuente: Propia

5.2.2.4. Sección D con período de retorno de 5, 10, 25, 50 y 100 años.

Figura 5. 97: Sección D - Período de Retorno 5 años.



Fuente: Propia

Figura 5. 98: Sección D - Período de Retorno 10 años.



Fuente: Propia

Figura 5. 99: Sección D - Período de Retorno 25 años.



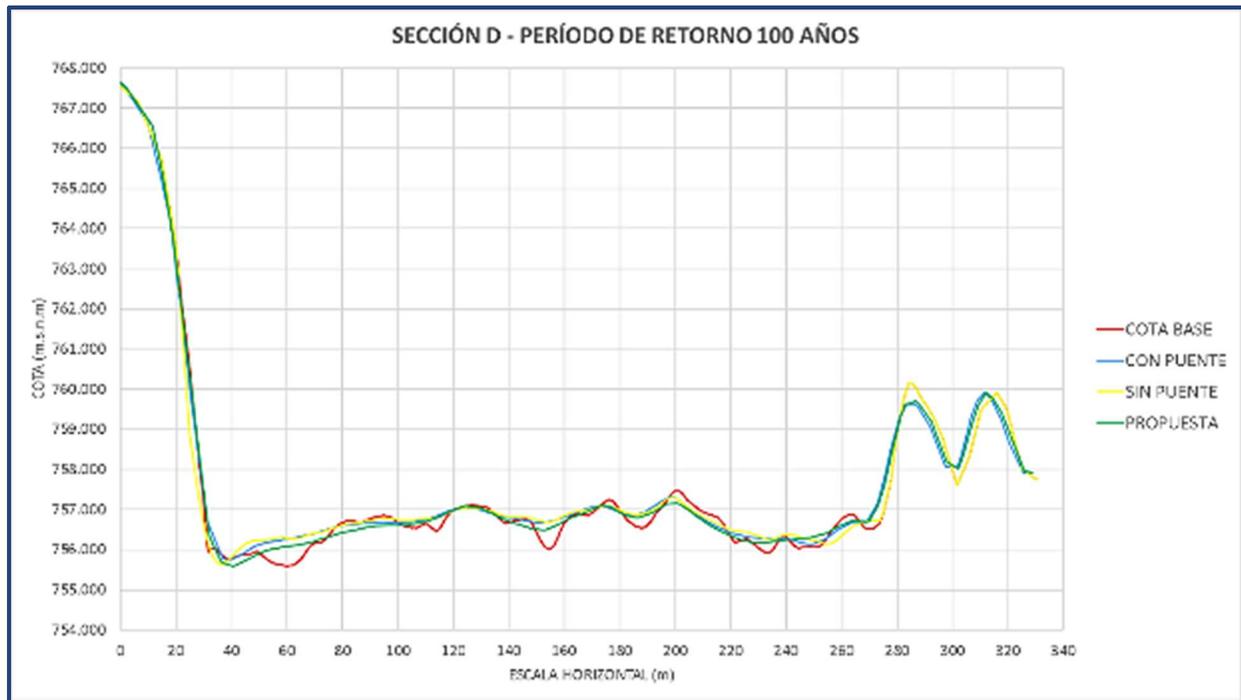
Fuente: Propia

Figura 5. 100: Sección D - Período de Retorno 50 años.



Fuente: Propia

Figura 5. 101: Sección D - Período de Retorno 100 años.



Fuente: Propia

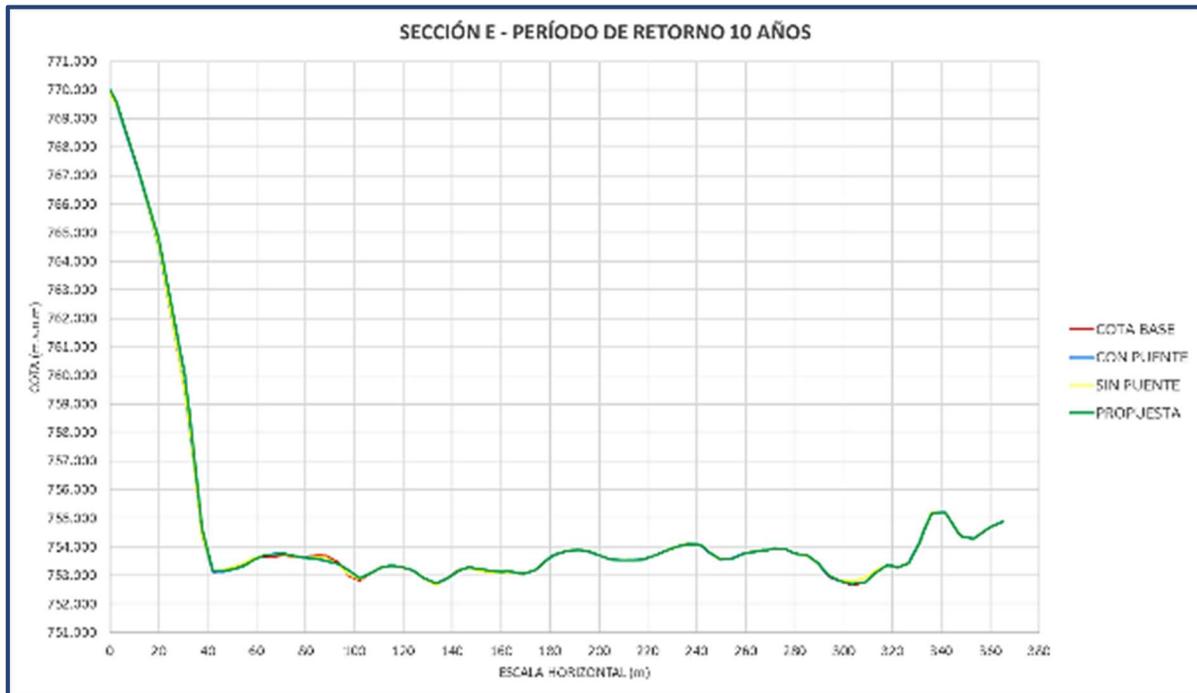
5.2.2.5. Sección E con período de retorno de 5, 10, 25, 50 y 100 años.

Figura 5. 102: Sección E - Período de Retorno 5 años.



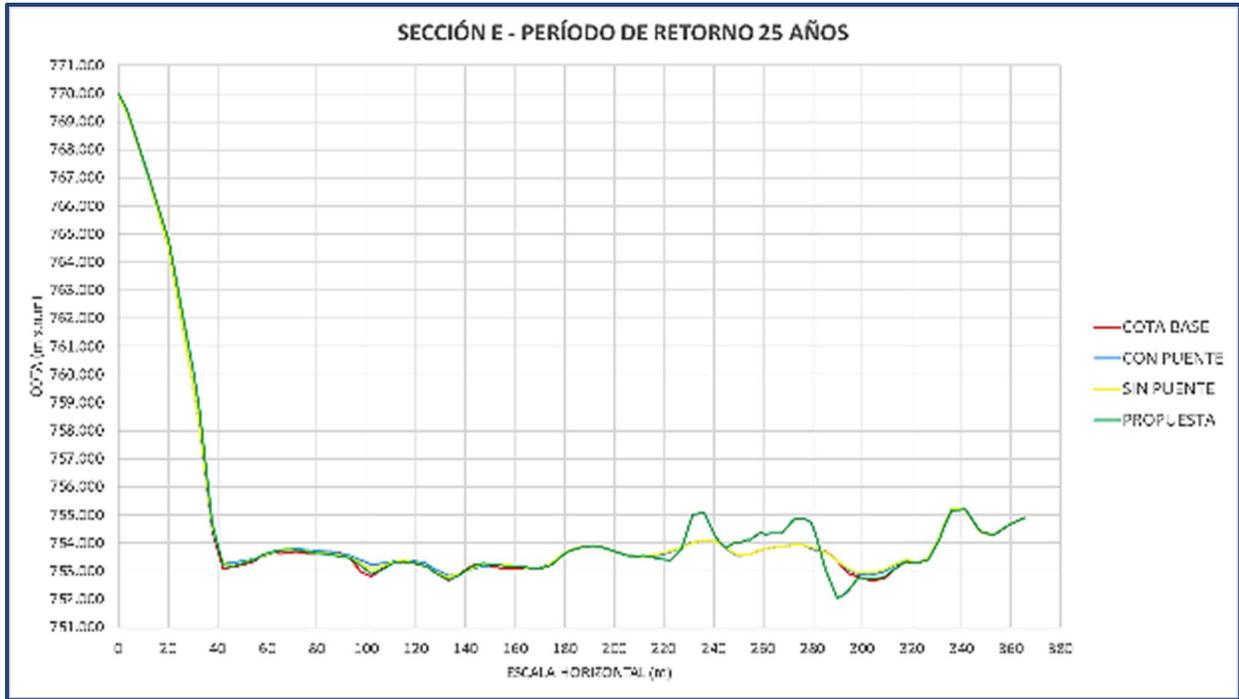
Fuente: Propia

Figura 5. 103: Sección E - Período de Retorno 10 años.



Fuente: Propia

Figura 5. 104: Sección E - Período de Retorno 25 años.



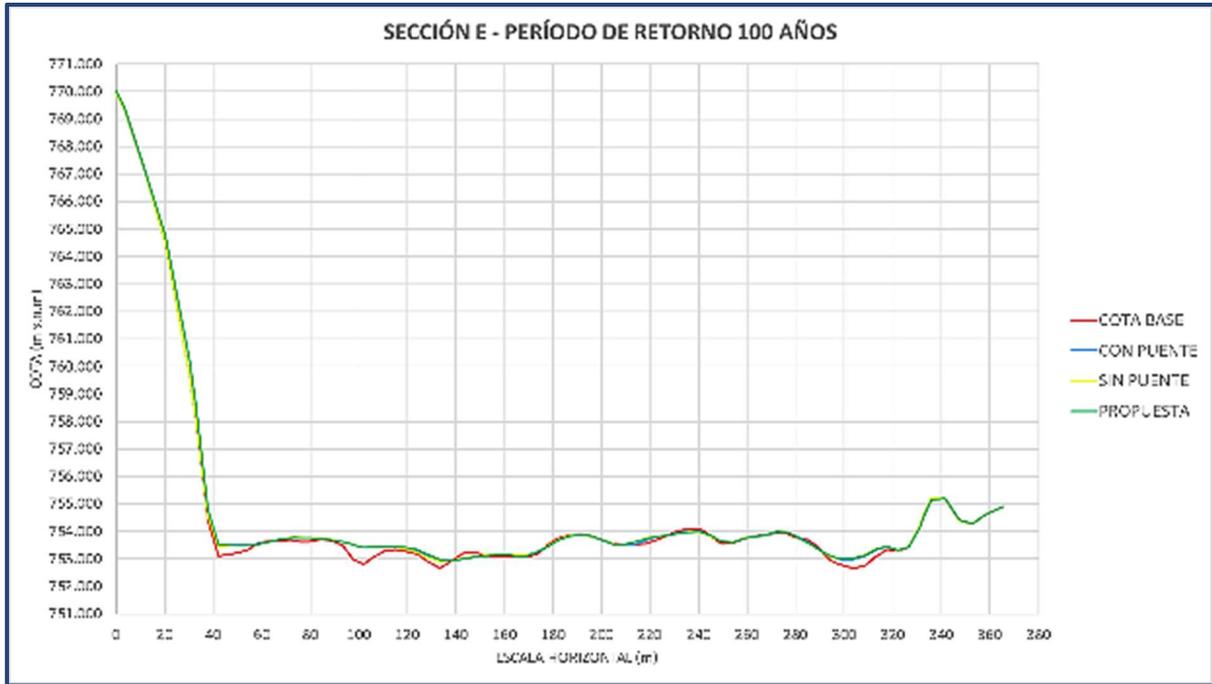
Fuente: Propia

Figura 5. 105: Sección E - Período de Retorno 50 años.



Fuente: Propia

Figura 5. 106: Sección E - Período de Retorno 100 años.



Fuente: Propia

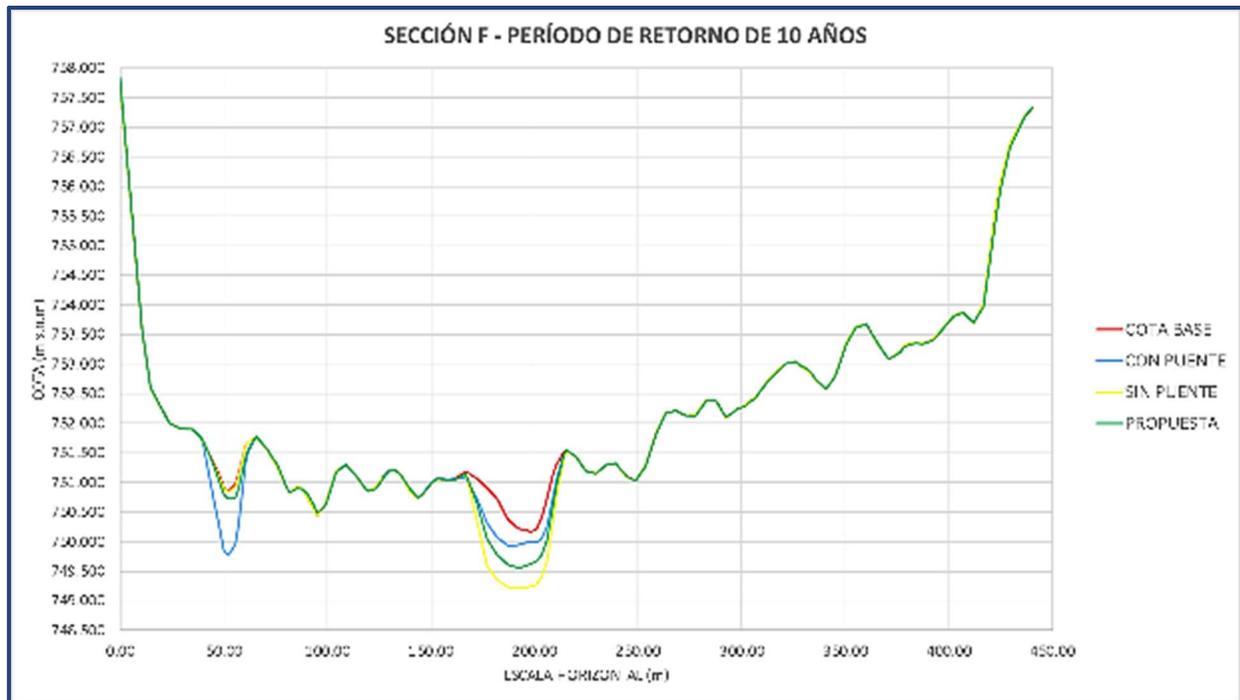
5.2.2.6. Sección F con período de retorno de 5, 10, 25, 50 y 100 años.

Figura 5. 107: Sección F - Período de Retorno 5 años.



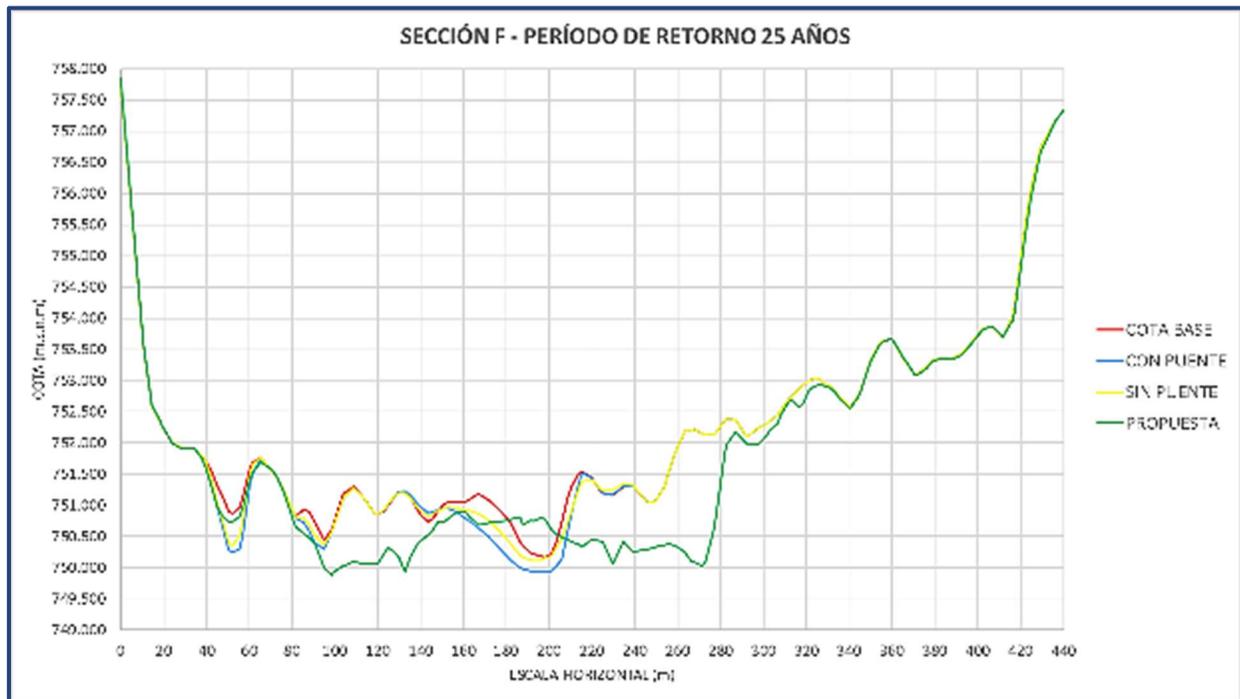
Fuente: Propia

Figura 5. 108: Sección F - Período de Retorno 10 años.



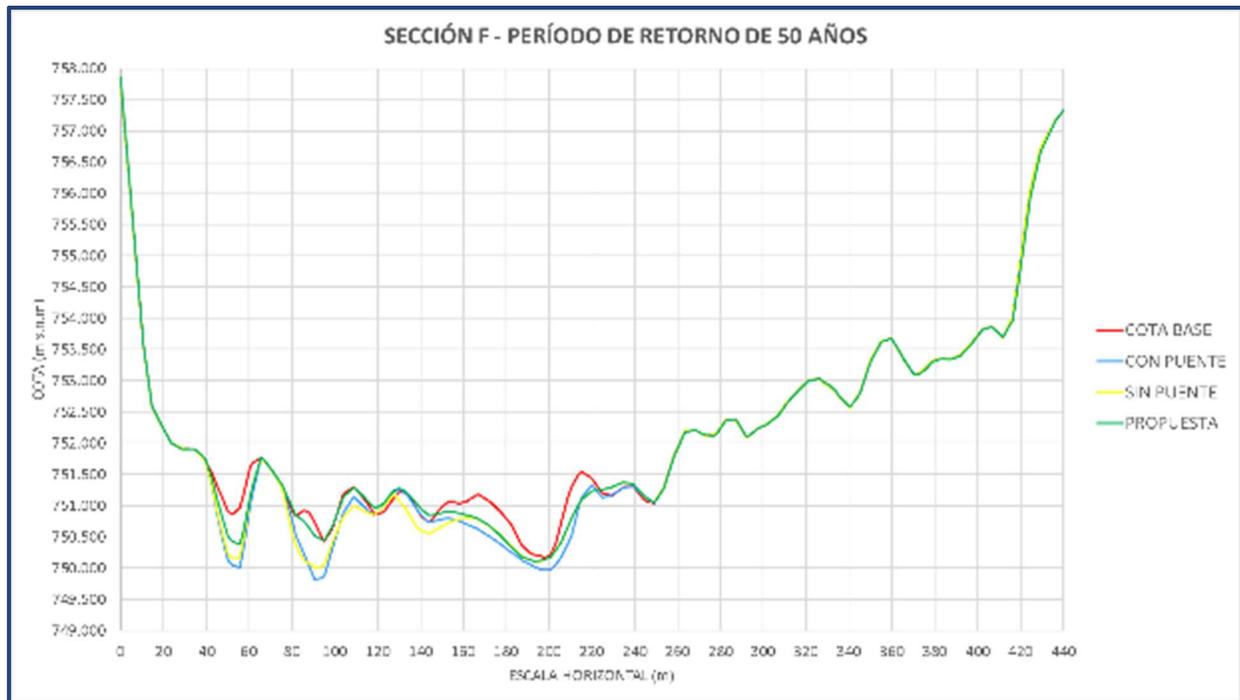
Fuente: Propia

Figura 5. 109: Sección F - Período de Retorno 25 años.



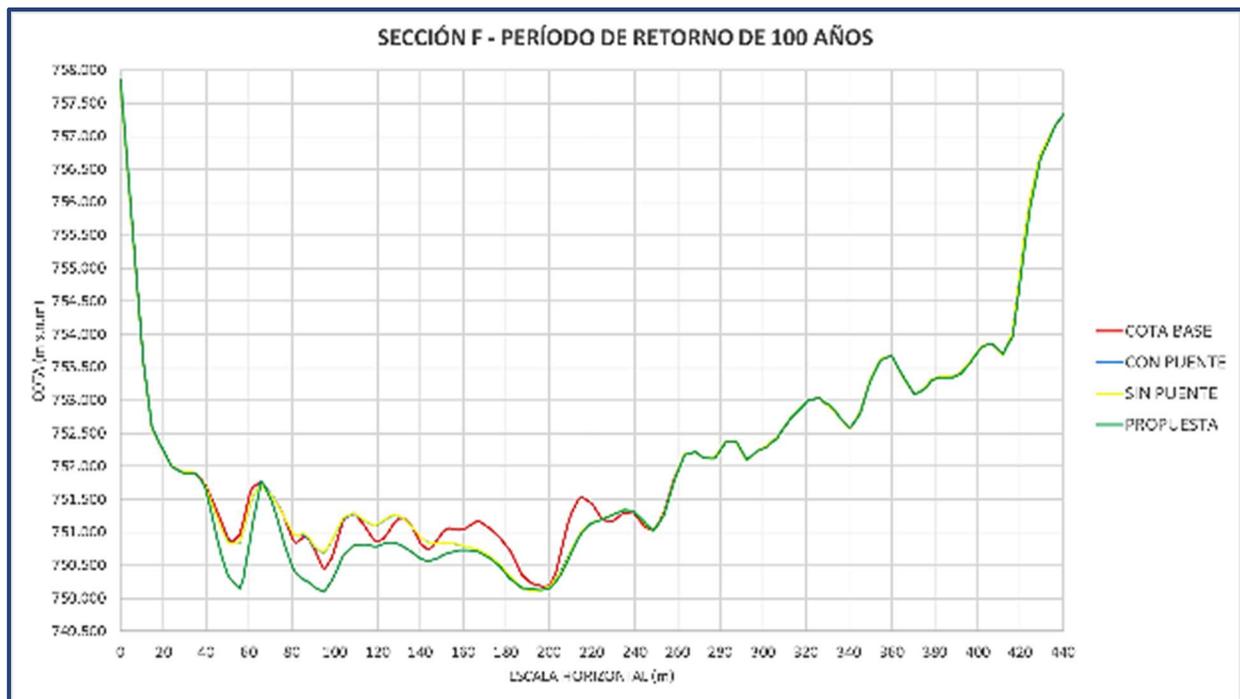
Fuente: Propia

Figura 5. 110: Sección F - Período de Retorno 50 años.



Fuente: Propia

Figura 5. 111: Sección F - Período de Retorno 100 años.



Fuente: Propia

5.2.3. *Tensión de fondo.*

Tensión cortante adimensional o parámetro de Shields

$$\bar{\tau} = \frac{\tau}{(\gamma_s - \gamma) \times D}$$

Donde:

τ : Tensión cortante en el fondo

γ_s : Peso específico de sólidos

γ : Peso específico del agua

D: Diámetro característico

Tensión cortante en el fondo

$$\tau = \gamma \times y \times S$$

Donde:

γ : Peso específico del agua

y: Tirante hidráulico

S: Pendiente

Velocidad de corte

$$v_* = \sqrt{\frac{\tau}{\rho}}$$

Donde:

τ : Tensión cortante en el fondo

ρ : Densidad del agua

Número de Reynolds

$$Re_* = \frac{v_* \times D}{\nu}$$

Donde:

v_* : velocidad de corte

D: Diámetro característico

v: Viscosidad cinemática

La densidad del agua, según Basile, 2018 en su libro “*Transporte de Sedimentos y Morfodinámica de ríos aluviales*” pág.104, está en función de su temperatura; siendo la del río Chuquillanqui 16 °C,

T (°C)	0	5	10	15	20	25	30	35	40
P (kg/m ³)	999.9	1000.0	999.5	999.1	998.2	997.1	995.7	994.1	992.3

Interpolando tenemos que la densidad del agua para 16 °C es 998.9 kg/m³.

Del mismo modo la viscosidad cinemática (m²/s), según Basile, 2018 en su libro “*Transporte de Sedimentos y Morfodinámica de ríos aluviales*” pág.105, está en función de su temperatura, a través de la siguiente fórmula:

$$v = \{-(1.057 \times 10^{-5})T^3 + (1.164 \times 10^{-3})T^2 - (5.816 \times 10^{-2})T + 1.787\} \times 10^{-6}$$

Para T = 16 °C, se tiene:

$$v = 1.11 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

5.2.3.1. Tramo 0+000 – 0+805.

Para realizar los cálculos correspondientes, se ha tomado la pendiente de 2.035% que es del tramo comprendido entre las progresivas 0+000 y 0+805. Con estas condiciones se igualaron las expresiones de la tensión crítica según Meyer Peter Muller y la tensión de fondo para determinar a qué tirante las partículas estarían a punto de desplazarse.

$$\bar{\tau} = \tau_c$$

$$\gamma \times y \times S = 0.047 \times (\gamma_s - \gamma) \times D$$

$$998.9 \times 9.81 \times y \times 0.02035 = 0.047 \times 9.81 \times (2594 - 998.9) \times 0.02721$$

$$y = 0.10 \text{ m}$$

Por lo tanto, cuando en este tramo el cauce tiene un tirante de 0.10 m, la partícula está a punto de desplazarse, procederemos a corroborar con el ábaco de Shields.

Para un tirante de 0.10 m tenemos:

$$\tau = \gamma \times y \times S$$

$$\tau = 9.81 \times 998.9 \times 0.10 \times 0.02035$$

$$\tau = 19.94 \text{ N/m}^2$$

$$\bar{\tau} = \frac{\tau}{(\gamma_s - \gamma) \times D}$$

$$\bar{\tau} = \frac{19.84}{9.81 \times (2594 - 998.9) \times 0.02721}$$

$$\bar{\tau} = 0.047$$

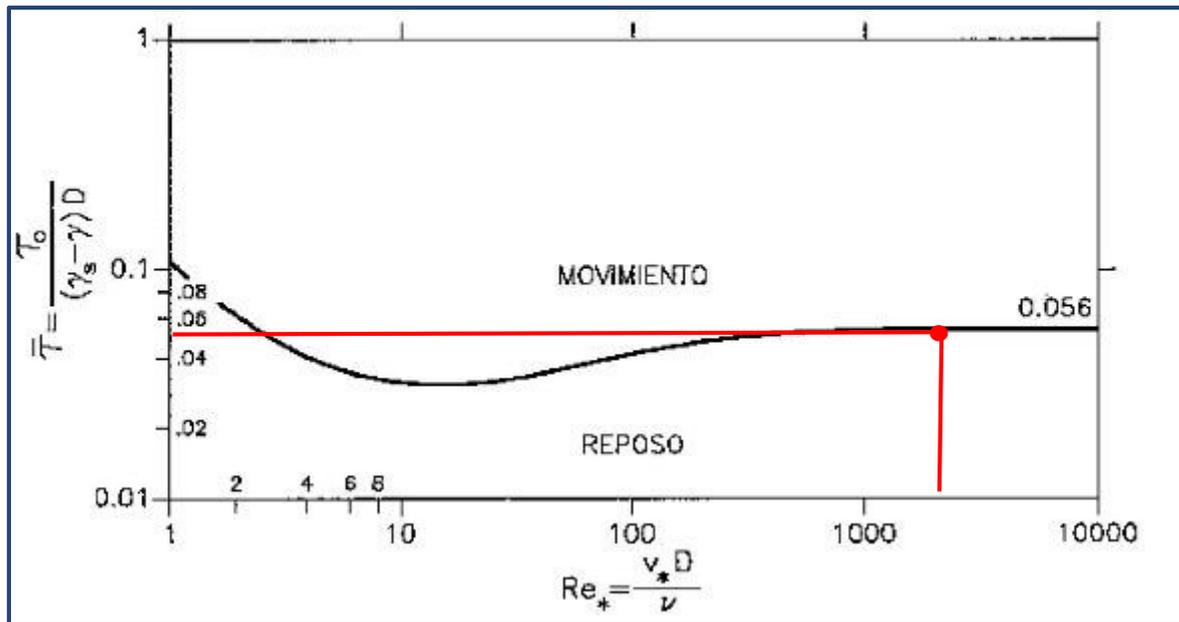
$$Re_* = \frac{v_* \times D}{\nu}$$

$$Re_* = \sqrt{\frac{\tau}{\rho}} \times \frac{D}{\nu}$$

$$Re_* = 3463.56$$

Ubicando el parámetro adimensional de Shields y el número de Reynolds en el ábaco, tenemos:

Figura 5. 112: Ábaco de Shields, para iniciación del movimiento, para un tirante de 0.10 m.



Fuente: Ingeniería de Rios – Vide(2003)

La tensión de corte sobre el fondo es 19.94 N/m^2 , la tensión adimensional o parámetro de Shields tiene un valor de 0.047 y el número de Reynolds es 3463.56, lo cual para el ábaco está cerca al umbral del movimiento, pero aún la partícula se mantiene en reposo. La tensión crítica de fondo para este tramo es:

$$\tau_c = 0.047 \times (\gamma_s - \gamma) \times D$$

$$\tau_c = 0.047 \times 9.81 \times (2594 - 998.9) \times 0.02721$$

$$\tau_c = 20.01 \text{ N/m}^2$$

Comparando la tensión de fondo y la tensión de fondo crítica tenemos:

$$\tau = 19.94 \text{ N/m}^2$$

$$\tau_c = 20.01 \text{ N/m}^2$$

$$\tau < \tau_c$$

$$19.94 < 20.01$$

Por lo tanto, aún no se da la iniciación del movimiento, pues la tensión de fondo, no supera la tensión de fondo crítica, que es la mínima que tiene que superar para empezar el movimiento.

Para un tirante de 0.12 m tenemos:

$$\tau = \gamma \times y \times S$$

$$\tau = 9.81 \times 998.9 \times 0.12 \times 0.02035$$

$$\tau = 23.93 \text{ N/m}^2$$

$$\bar{\tau} = \frac{23.93}{9.81 \times (2594 - 998.9) \times 0.02721}$$

$$\bar{\tau} = 0.056$$

$$Re_* = \frac{v_* \times D}{\nu}$$

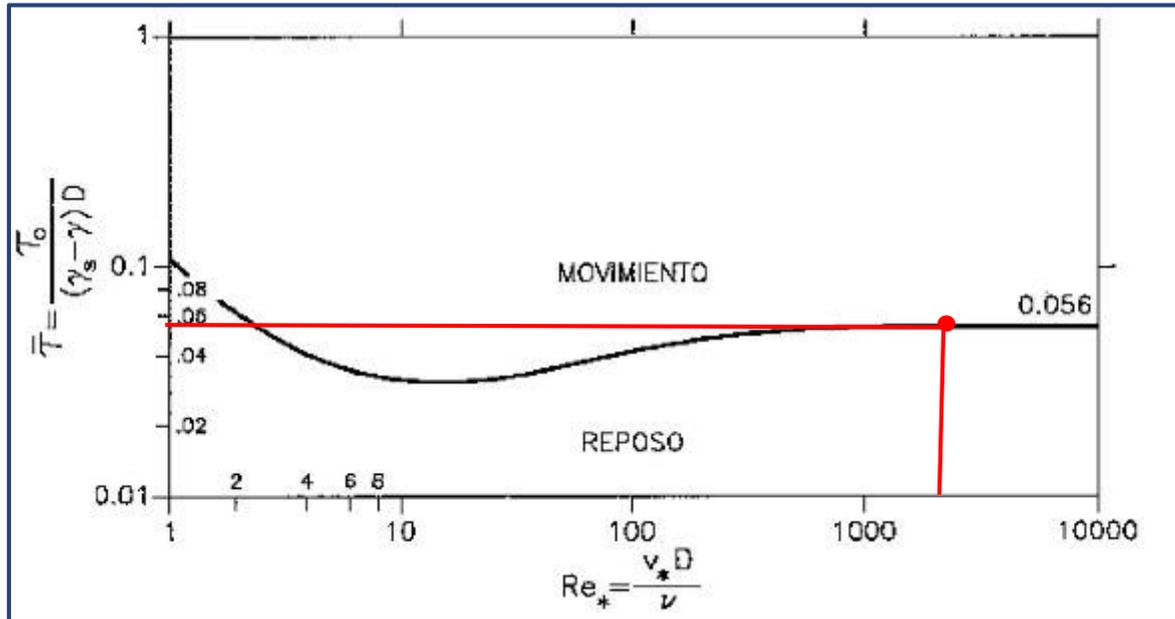
$$Re_* = \sqrt{\frac{\tau}{\rho}} \times \frac{D}{\nu}$$

$$Re_* = \sqrt{\frac{23.93}{998.9}} \times \frac{0.02721}{1.11 \times 10^{-6}}$$

$$Re_* = 3794.14$$

Ubicando el parámetro adimensional de Shields y el número de Reynolds en el ábaco, tenemos:

Figura 5. 113: Ábaco de Shields para iniciación del movimiento, para un tirante de 0.12 m.



Fuente: Ingeniería de Ríos – Vide (2003)

La tensión de corte sobre el fondo es 23.93 N/m², la tensión adimensional o parámetro de Shields tiene un valor de 0.056 y el número de Reynolds es 3794.14, lo cual para el ábaco de Shields está exactamente sobre el umbral de movimiento, lo que significa que la partícula se mantiene en reposo, aunque está a punto de moverse, según lo analizado en el gráfico.

Comparando la tensión de fondo y la tensión de fondo crítica tenemos:

$$\tau = 23.93 \text{ N/m}^2$$

$$\tau_c = 20.01 \text{ N/m}^2$$

$$\tau > \tau_c$$

$$23.93 > 20.01$$

Por lo tanto, la tensión de fondo supera la tensión de fondo crítica, lo que significa que las partículas están en movimiento.

5.2.3.2. Tramo 0+805 – 1+500.

Para realizar los cálculos correspondientes, se ha tomado la pendiente de 0.830 % que es del tramo comprendido entre las progresivas 0+805 y 1+500. Con estas condiciones se igualaron las expresiones de la tensión crítica según Meyer Peter Muller y la tensión de fondo para determinar a qué tirante las partículas estarían a punto de desplazarse.

$$\tau = \tau_c$$

$$\gamma \times y \times S = 0.047 \times (\gamma_s - \gamma) \times D$$

$$9.81 \times 998.9 \times y \times 0.00830 = 0.047 \times 9.81 \times (2594 - 998.9) \times 0.02721$$

$$y = 0.25 \text{ m}$$

Por lo tanto, cuando en este tramo el cauce tiene un tirante de 0.25 m, la partícula está a punto de desplazarse, procederemos a corroborar con el ábaco de Shields.

Para un tirante de 0.25 m tenemos:

$$\tau = \gamma \times y \times S$$

$$\tau = 9.81 \times 998.9 \times 0.25 \times 0.00830$$

$$\tau = 20.33 \text{ N/m}^2$$

$$\bar{\tau} = \frac{\tau}{(\gamma_s - \gamma) \times D}$$

$$\bar{\tau} = \frac{20.33}{9.81 \times (2594 - 998.9) \times 0.02721}$$

$$\bar{\tau} = 0.048$$

$$Re_* = \frac{v_* \times D}{\nu}$$

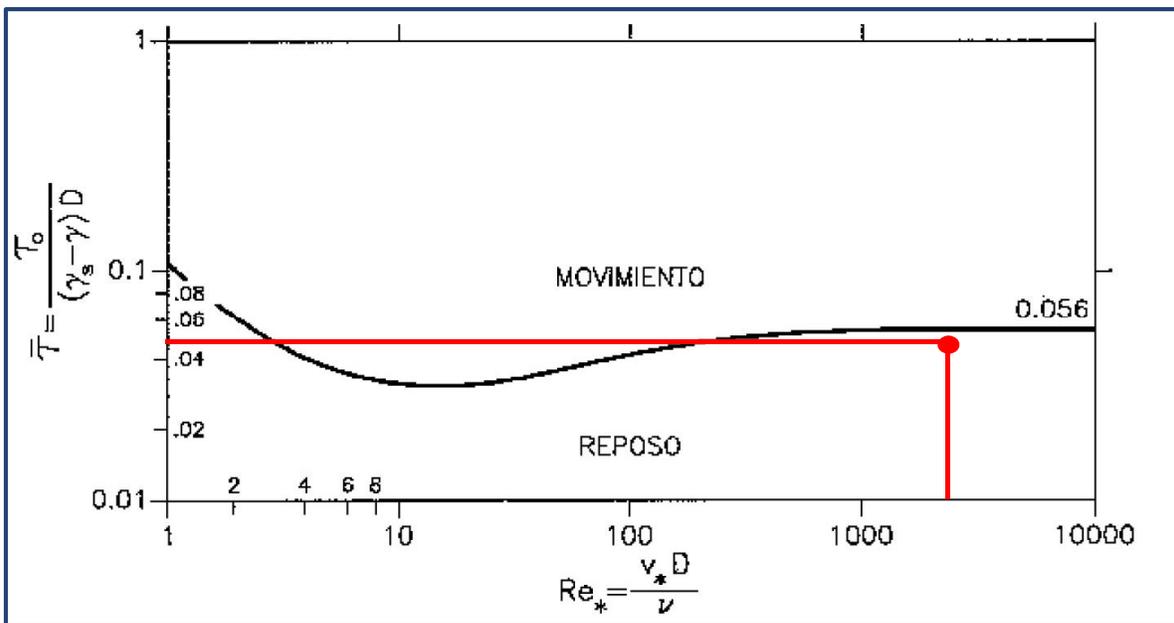
$$Re_* = \sqrt{\frac{\tau}{\rho}} \times \frac{D}{\nu}$$

$$Re_* = \sqrt{\frac{20.33}{998.9}} \times \frac{0.02721}{1.11 \times 10^{-6}}$$

$$Re_* = 3497.43$$

Ubicando el parámetro adimensional de Shields y el número de Reynolds en el ábaco, tenemos:

Figura 5. 114: Ábaco de Shields para iniciación del movimiento, para un tirante de 0.20 m



Fuente: Ingeniería de Ríos – Vide (2003)

La tensión de corte sobre el fondo es 20.33 N/m², la tensión adimensional o parámetro de Shields tiene un valor de 0.048 y el número de Reynolds es 3497.43, lo cual para el ábaco de Shields está cerca al umbral del movimiento, pero aún la partícula se mantiene en reposo. La tensión crítica de fondo para este tramo sigue siendo la misma que en el tramo 0+000 – 0+805, pues el único

parámetro que se ha variado es la pendiente, y la tensión crítica no está en función de la pendiente, por lo tanto, su valor es:

$$\tau_c = 20.01 \text{ N/m}^2$$

Comparando la tensión de fondo y la tensión de fondo crítica tenemos:

$$\tau = 20.33$$

$$\tau_c = 20.01 \text{ N/m}^2$$

$$\tau > \tau_c$$

Por lo tanto, hay una iniciación de movimiento pues cumple la condición que la tensión de fondo supera a la tensión crítica, pero habría una contradicción con el ábaco de Shields, pues ahí aún está cerca, por lo tanto, se va a considerar que aún no está en movimiento la partícula, pues tiene que cumplir ambas condiciones, según el criterio de los investigadores.

Para un tirante de 0.30 m tenemos:

$$\tau = \gamma \times y \times S$$

$$\tau = 9.81 \times 998.9 \times 0.30 \times 0.00830$$

$$\tau = 24.40 \text{ N/m}^2$$

$$\bar{\tau} = \frac{\tau}{(\gamma_s - \gamma) \times D}$$

$$\bar{\tau} = \frac{24.40}{9.81 \times (2594 - 998.9) \times 0.02721}$$

$$\bar{\tau} = 0.057$$

$$Re_* = \frac{v_* \times D}{\nu}$$

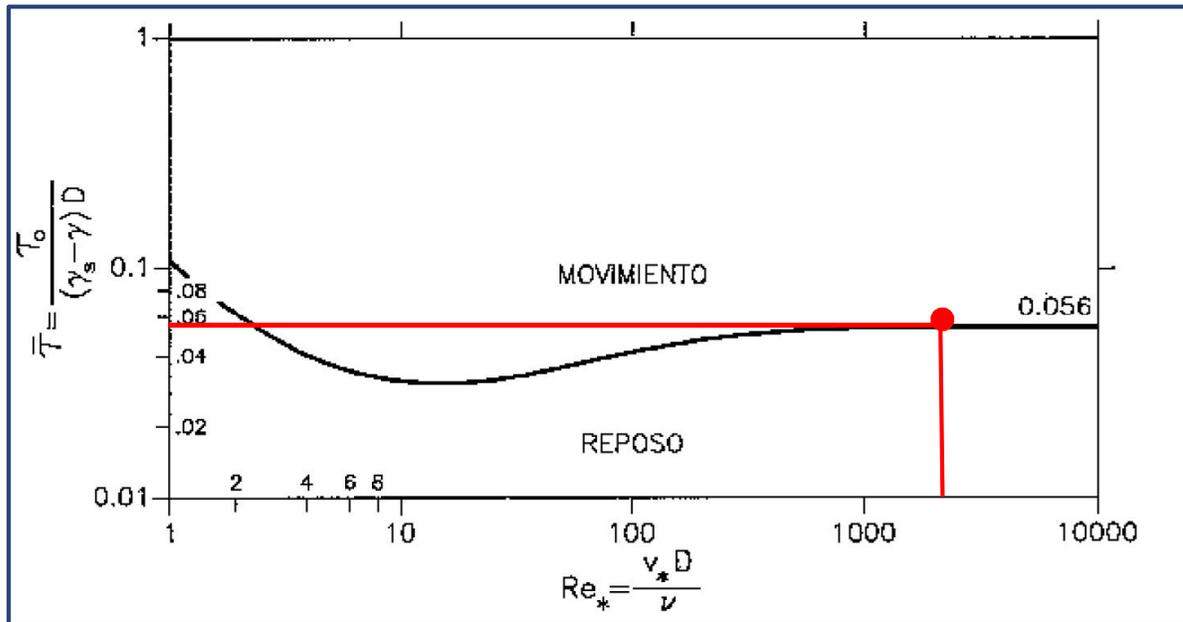
$$Re_* = \sqrt{\frac{\tau}{\rho}} \times \frac{D}{\nu}$$

$$Re_* = \sqrt{\frac{24.40}{998.9}} \times \frac{0.02721}{10^{-6}}$$

$$Re_* = 3831.24$$

Ubicando el parámetro adimensional de Shields y el número de Reynolds en el ábaco, tenemos:

Figura 5. 115: Ábaco de Shields para iniciación del movimiento, para un tirante de 0.30 m.



Fuente: Ingeniería de Ríos – Vide (2003)

La tensión de corte sobre el fondo es 24.40 N/m², la tensión adimensional o parámetro de Shields tiene un valor de 0.057 y el número de Reynolds es 3831.24, lo cual para el ábaco de Shields está ligeramente sobre el umbral de movimiento, lo que significa que la partícula acaba de iniciar su movimiento.

Comparando la tensión de fondo y la tensión de fondo crítica tenemos:

$$\tau = 24.40 \text{ N/m}^2$$

$$\tau_c = 20.01 \text{ N/m}^2$$

$$\tau > \tau_c$$

$$24.40 > 20.01$$

La tensión de fondo supera la tensión de fondo crítica, lo que significa que está en movimiento inminente.

Al superar el umbral de movimiento, el parámetro de Shields y el número de Reynolds en conjunto, se indica inicio de movimiento; y al ser mayor la tensión de fondo que la tensión crítica se confirma que las partículas ya se encuentran en movimiento, pues ambos parámetros se están cumpliendo.

Capítulo 6 : DISCUSIÓN DE RESULTADOS

6.1. Análisis de velocidades.

Para un período de retorno de 5 años, en el instante 4800 se tiene que: En la comparación de los 3 escenarios (sin puente, con puente y propuesta), se observa que la velocidad aumenta al retirar el terraplén de acceso, y el flujo del agua se distribuye por un brazo del margen izquierdo. En el puente aguas arriba la velocidad para la propuesta es de 2.28 m/s, ligeramente superior a la del escenario con puente y sin puente; sin embargo, aguas abajo del puente la velocidad es ligeramente inferior, con un valor de 1.76 m/s, frente a 1.78 m/s como es en el caso de los modelos con puente y sin puente.

Para un período de retorno de 5 años, en el instante 7800 se tiene que al retirar el terraplén de acceso la velocidad aumenta aguas abajo en el brazo izquierdo, y siendo ligeramente superior la velocidad de la propuesta en el puente aguas arriba, con un valor de 2.75 m/s y manteniendo una velocidad de 2.14 m/s aguas abajo del puente, como es en el caso con puente, ambas superiores al caso sin puente que tiene un valor de 2.12 m/s.

Para un período de retorno de 5 años, en el instante 11400 se tiene que, al retirar el terraplén de acceso, el flujo del agua se distribuye adicionalmente por un brazo del margen izquierdo aguas abajo, siendo la velocidad de la propuesta 2.29 m/s aguas arriba del puente, un valor superior al de los otros casos; y de 1.73 m/s aguas abajo del puente, de igual valor que el modelo con puente, pero superior al modelo sin puente.

Para un período de retorno de 5 años, en el instante 13800 se tiene que, al retirar el terraplén de acceso, ligeramente aguas arriba del puente se abre un brazo del cauce para atravesar el área donde se encontraba el terraplén en el modelo con puente, la velocidad aguas arriba del puente en la propuesta es superior a la de los otros modelos, con un valor de 1.78 m/s, y aguas abajo es ligeramente superior la velocidad del modelo con puente, con una velocidad de 1.37 m/s.

Para un período de retorno de 5 años, en el instante 16200 se tiene que, al retirar el terraplén de acceso en la zona ubicada arriba del puente la velocidad disminuye a un valor de 1.01 m/s, siendo la velocidad del modelo con puente de 1.10 m/s, sin embargo, en la

propuesta, eleva la velocidad en la zona del puente aguas arriba a 1.26 m/s. Aguas abajo la velocidad disminuye a 1.00 m/s tanto en el modelo sin puente, como en la propuesta, siendo la velocidad del modelo con puente 1.10 m/s.

Para un período de retorno de 10 años, en el instante 4200, se tiene que al retirar el terraplén de acceso se mantiene la velocidad de 2.92 m/s en el modelo sin puente y se eleva ligeramente la velocidad a 3.09 m/s aguas arriba del puente. Aguas abajo del puente, el modelo de la propuesta adopta una velocidad ligeramente superior sobre las demás, con un valor de 2.41 m/s.

Para un período de retorno de 10 años, en el instante 7200, se tiene que, al retirar el terraplén de acceso, aguas arriba se abre un segundo brazo hacia el margen izquierdo, por donde se empieza a distribuir el agua, se evidencia que a comparación del modelo con puente no se genera el estancamiento del agua debido al terraplén, la velocidad que alcanza la propuesta aguas arriba del puente es 3.72 m/s, al igual que el modelo con puente, sin embargo aguas abajo del puente, la propuesta presenta una velocidad de 2.87 m/s, ligeramente superior a los otros modelos.

Para un período de retorno de 10 años en el instante 10800, se tiene que, en el puente se abre un segundo brazo aguas abajo para todos los modelos, pero al retirar el terraplén de acceso, la velocidad de la propuesta aguas arriba del puente es superior al modelo con puente, con un valor de 3.16 m/s. Aguas abajo la velocidad de la propuesta es 2.31 m/s, inferior a la del modelo con puente que es 2.63 m/s.

Para un período de retorno de 10 años en el instante 13200, al retirar el terraplén de acceso, se observa una mayor distribución del agua, a partir del puente aguas abajo, siendo aguas arriba la velocidad de la propuesta 2.63 m/s, ligeramente superior sobre los otros modelos, agua abajo la velocidad es de 1.88 m/s, inferior a la del modelo con puente, que tiene una velocidad de 2.19 m/s.

Para un período de retorno de 10 años en el instante 15600, en la propuesta se evidencia un mayor desarrollo del caudal en la zona donde se encuentra el puente, la velocidad de la propuesta aguas arriba del puente es 2.11 m/s, ligeramente superior a la de los otros

modelos. Aguas abajo el modelo con puente presenta una velocidad de 1.69 m/s, superior a la de la propuesta que tiene un valor de 1.45 m/s.

Para un período de retorno de 25 años en el instante 4200, en el modelo con puente se evidencia velocidades muy bajas aguas arriba del terraplén de acceso, aguas arriba del puente presenta una velocidad de 3.88 m/s, mientras que el modelo de la propuesta tiene una velocidad de 3.94 m/s, ligeramente superior.

Para un período de retorno de 25 años en el instante 6600, el agua se concentra en el margen derecho en el modelo con puente, en la propuesta tiene un mayor ancho de desarrollo a la altura del puente y aguas arriba del puente tiene velocidades de 3.45 m/s, 2.97 m/s y 3.20 m/s, superior a las velocidades que presenta el modelo con puente que son 3.17 m/s, 3.20 m/s y 2.04 m/s, aguas abajo del puente las velocidades de la propuesta son 3.37 m/s y 2.59 m/s, mientras que del modelo con puente es 3.44 m/s y 2.28 m/s.

Para un período de retorno de 25 años en el instante 10200, en el modelo con puente se comienza a apreciar el aumento excesivo de velocidad, alcanzando un pico de 9.91 m/s en algunas zonas, sin embargo, en otras zonas se aprecia una disminución considerable de la velocidad, además se aprecia que el calado del agua ya sobrepasa el puente y terraplén de acceso, cortando la comunicación entre Lucma y Chuquillanqui. Aguas arriba del puente en la propuesta se presenta velocidades de 2.87 m/s, 2.09 m/s y 3.10 m/s, superior a las velocidades del modelo con puente que tiene velocidades de 1.09 m/s, 2.17 m/s y 0.35 m/s. Aguas abajo del puente, la propuesta tiene valores ligeramente superiores de 3.10 m/s y 2.16 m/s, sobre 2.95 m/s y 1.99 m/s, que son velocidades del modelo con puente.

Para un período de retorno de 25 años en el instante 12600, aguas arriba y aguas abajo del terraplén de acceso en el modelo con puente se evidencia velocidades muy bajas, en una gran área colindante con el terraplén de acceso, en la propuesta el agua tiene mayor ancho de desarrollo a la altura del puente y sus velocidades aguas arriba del puente son 2.53 m/s y 1.43 m/s, mientras que para el modelo con puente, presenta velocidades de 3.13 m/s y 0.26 m/s. Aguas abajo en la propuesta se presenta una velocidad de 2.74 m/s, mientras que en el modelo con puente, presenta una velocidad de 2.71 m/s.

Para un período de retorno de 25 años en el instante 15000, aguas arriba en la propuesta el cauce se abre en 2 brazos, por donde hay una mejor distribución del agua, mientras que en el modelo con puente el agua tiene un solo curso, y en el curso alterno, las velocidades son muy bajas. Aguas arriba del puente para el modelo de la propuesta las velocidades son de 2.21 m/s y 0.32 m/s, mientras que en el modelo con puente las velocidades son de 3.34 ms y 0.07 m/s. Aguas abajo del puente se tiene en la propuesta velocidades de 2.26 m/s y 1.28 m/s, mientras que en el modelo con puente las velocidades son de 2.39 m/s y 0.30 m/s.

Para un período de retorno de 50 años en el instante 6600, en el modelo con puente aguas arriba del terraplén de acceso y el puente presenta velocidades altas y tirantes que sobrepasan el puente y terraplén, dejando aisladas ambas zonas, en la propuesta en la ubicación donde se encontraba el terraplén de acceso se presentan velocidades más considerables, menos erosivas que los otros modelos, la velocidad aguas arriba del puente en el modelo de la propuesta es de 3.26 m/s, 3.77 m/s y 4.07 m/s, mientras que en el modelo con puente las velocidades son 3.25 m/s, 0.91 m/s y 3.11 m/s. Aguas abajo del puente y terraplén de acceso la propuesta tiene velocidades de 3.17 m/s, 0.36 m/s y 2.83 m/s, mientras que en el modelo con puente las velocidades son de 3.65 m/s, 1.07 m/s y 2.68 m/s.

Para un período de retorno de 50 años en el instante 10800, el modelo sin puente y con puente presentan la misma distribución del agua y velocidades elevadas, además de sobrepasar el agua al puente y terraplén en el modelo con puente, las velocidades de la propuesta aguas arriba son de 2.57 m/s, 2.56 m/s y 2.53 m/s, mientras que en el modelo con puente tiene velocidades de 2.82 m/s, 2.80 m/s y 1.88 m/s. Aguas abajo del puente y terraplén de acceso para el modelo con puente tiene velocidades de 3.06 m/s y 1.97 m/s, mientras que el modelo de propuesta presenta velocidades de 2.66 m/s y 2.20 m/s.

Para un período de retorno de 50 años en el instante 13200, en la propuesta se aprecia una mejor distribución del cauce a la altura del puente, comparado con el modelo con puente, que incluso el agua sobrepasa el puente y terraplén haciendo imposible su puesta en servicio, aguas arriba del puente se presentan velocidades de 2.12 m/s, 1.86 m/s y 1.70 m/s para el modelo de propuesta, mientras que para el modelo con puente presenta velocidades de 2.47 m/s, 2.09 m/s y 0.97 m/s. Aguas abajo del puente y terraplén de acceso

se tiene para la propuesta velocidades de 2.35 m/s y 1.62 m/s, mientras que para el modelo con puente se tiene velocidades de 2.55 m/s y 1.42 m/s.

Para un período de retorno de 50 años en el instante 15600, aguas arriba se distribuye mejor el agua para el modelo de propuesta con velocidades de 1.65 m/s, 1.30 m/s y 1.04 m/s, mientras que el modelo con puente tiene velocidades de 2.03 m/s y 1.52 m/s. Aguas abajo del puente y terraplén de acceso, para el modelo propuesto se tiene velocidades de 1.95 m/s y 0.84 m/s, mientras que para el modelo con puente se presenta velocidades de 2.11 m/s y 0.82 m/s.

Para un período de retorno de 100 años en el instante 3600, presenta una mejor distribución del caudal a la altura del puente, aguas arriba del puente y terraplén de acceso hay velocidades de 3.78 m/s, 2.49 m/s y 2.66 m/s en la propuesta, mientras que en el modelo con puente hay velocidades de 3.50 m/s, 2.36 m/s y 1.48 m/s. Aguas abajo del puente y terraplén de acceso las velocidades son 3.25 m/s y 2.59 m/s en la propuesta, mientras que en el modelo con puente las velocidades son de 3.18 m/s y 2.32 m/s.

Para un período de retorno de 100 años en el instante 6600, el modelo con puente presenta picos de velocidades de hasta 9.01 m/s. mientras que el modelo de propuesta 6.94 m/s, se aprecia que a la altura del puente y terraplén abarca todo el ancho para que el agua puede fluir, mientras que en el modelo con puente se aprecia las altas velocidades en esta zona y la inoperatividad del puente y terraplén, debido a que el agua sobre pasa estos niveles, las velocidades aguas arriba para la propuesta son de 3.78 m/s, 2.49 m/s y 2.66 m/s, mientras que para el modelo con puente las velocidades son de 3.50 m/s, 2.36 m/s y 1.48 m/s. Aguas abajo del puente y terraplén de acceso las velocidades para la propuesta son 3.25 m/s y 2.59 m/s, mientras que para el modelo con puente son de 3.18 m/s y 2.32 m/s.

Para un período de retorno de 100 años en el instante 10200, se evidencia que un ancho parecido al que hay aguas arriba y aguas abajo del puente es necesario para su normal desarrollo del cauce, aguas arriba del puente y terraplén de acceso para la propuesta se tienen velocidades de 2.56 m/s, 2.39 m/s y 3.35 m/s, mientras que para el modelo con puente se tiene velocidades de 2.88 m/s, 3.16 m/s y 2.81 m/s. Aguas abajo para la propuesta se tienen velocidades de 2.89 m/s, 0.70 m/s y 2.52 m/s, mientras que para el modelo con puente se tiene velocidades de 3.18 m/s, 1.67 m/s y 2.04 m/s.

Para un período de retorno de 100 años en el instante 12600, en la propuesta usa todo el ancho para que pueda trascurrir el agua, mientras que en el modelo con puente sobrepasa los niveles del puente y terraplén de acceso, haciendo que no se encuentren en servicio estas estructuras, aguas arriba del puente y terraplén de acceso, para la propuesta se tiene velocidades de 1.97 m/s, 1.72 m/s y 2.39 m/s, mientras que para el modelo con puente se tiene velocidades de 2.46 m/s, 2.36 m/s y 1.67 m/s. Aguas abajo del puente y terraplén de acceso se tiene velocidades de 2.67 m/s y 1.78 m/s para la propuesta, y para el modelo con puente se tiene velocidades de 2.61 m/s y 1.49 m/s.

Para un período de retorno de 100 años en el instante 15000, se tiene que aguas arriba del puente y terraplén de acceso hay velocidades de 1.33 m/s, 1.07 m/s y 1.52 m/s para la propuesta, mientras que para el modelo con puente se tiene velocidades de 1.98 m/s, 1.63 m/s y 0.76 m/s. Aguas abajo del puente y terraplén de acceso se tienen velocidades de 2.27 m/s y 0.95 m/s para la propuesta, mientras que para el modelo con puente se tiene velocidades de 2.12 m/s y 1.05 m/s.

Estadísticamente se tiene que en la sección C, que está ubicada aguas arriba del puente y terraplén de acceso, el 59.2 % de los escenarios, el modelo de propuesta tiene las velocidades más altas comparadas con los otros modelos; le sigue el modelo con puente con un 26.5 % y finalmente el modelo sin puente en el 14.3 % de los casos tiene las velocidades más altas sobre los otros modelos.

En la sección D, que está ubicada aguas abajo del puente y terraplén de acceso se tiene que el 35.3 % de los escenarios, el modelo de propuesta tiene las velocidades más altas comparadas con los otros modelos; le sigue el modelo con puente con un 27.5 % y finalmente el modelo sin puente en el 37.3 % de los casos tiene las velocidades más altas sobre los otros modelos.

6.2. Análisis de sedimentos

Según el análisis objetivo y cualitativo realizado a través de las gráficas en las 6 secciones (A, B, C, D, E y F) y en los 5 períodos de retorno que se han considerado como son 5, 10, 25, 50 y 100 años, se tiene los siguientes resultados:

Tabla 6. 1: Análisis de la Sección A

T	SECCIÓN A		
	PROPUESTA	CON PUENTE	SIN PUENTE
5 AÑOS	SEDIMENTACIÓN	EROSIÓN	EROSIÓN
10 AÑOS	EROSIÓN	EROSIÓN	EROSIÓN
25 AÑOS	EROSIÓN	EROSIÓN	EROSIÓN
50 AÑOS	EROSIÓN	EROSIÓN	EROSIÓN
100 AÑOS	EROSIÓN	EROSIÓN	EROSIÓN

Fuente: Propia

Tabla 6. 2: Análisis de la sección B

T	SECCIÓN B		
	PROPUESTA	CON PUENTE	SIN PUENTE
5 AÑOS	EROSIÓN	SEDIMENTACIÓN	EROSIÓN
10 AÑOS	SEDIMENTACIÓN	SEDIMENTACIÓN	SEDIMENTACIÓN
25 AÑOS	SEDIMENTACIÓN	SEDIMENTACIÓN	SEDIMENTACIÓN
50 AÑOS	SED/EROSIÓN	SED/EROSIÓN	SED/EROSIÓN
100 AÑOS	SED/EROSIÓN	SED/EROSIÓN	SED/EROSIÓN

Fuente: Propia

Tabla 6. 3: Análisis de la sección C.

T	SECCIÓN C		
	PROPUESTA	CON PUENTE	SIN PUENTE
5 AÑOS	SEDIMENTACIÓN	SEDIMENTACIÓN	SEDIMENTACIÓN
10 AÑOS	SEDIMENTACIÓN	SEDIMENTACIÓN	SEDIMENTACIÓN
25 AÑOS	NO VARÍA	EROSIÓN	SEDIMENTACIÓN
50 AÑOS	SED/EROSIÓN	SEDIMENTACIÓN	SEDIMENTACIÓN
100 AÑOS	SED/EROSIÓN	SEDIMENTACIÓN	SEDIMENTACIÓN

Fuente: Propia

Tabla 6. 4: Análisis de la sección D.

T	SECCIÓN D		
	PROPUESTA	CON PUENTE	SIN PUENTE
5 AÑOS	NO VARÍA	NO VARÍA	NO VARÍA
10 AÑOS	NO VARÍA	SEDIMENTACIÓN	SEDIMENTACIÓN
25 AÑOS	SEDIMENTACIÓN	SEDIMENTACIÓN	SEDIMENTACIÓN
50 AÑOS	SEDIMENTACIÓN	SEDIMENTACIÓN	SEDIMENTACIÓN
100 AÑOS	SEDIMENTACIÓN	SEDIMENTACIÓN	SEDIMENTACIÓN

Fuente: Propia

Tabla 6. 5: Análisis de la sección E.

T	SECCIÓN E		
	PROPUESTA	CON PUENTE	SIN PUENTE
5 AÑOS	NO VARÍA	NO VARÍA	NO VARÍA
10 AÑOS	NO VARÍA	NO VARÍA	NO VARÍA
25 AÑOS	SED/EROSIÓN	NO VARÍA	NO VARÍA
50 AÑOS	SEDIMENTACIÓN	SEDIMENTACIÓN	SEDIMENTACIÓN
100 AÑOS	SEDIMENTACIÓN	SEDIMENTACIÓN	SEDIMENTACIÓN

Fuente: Propia

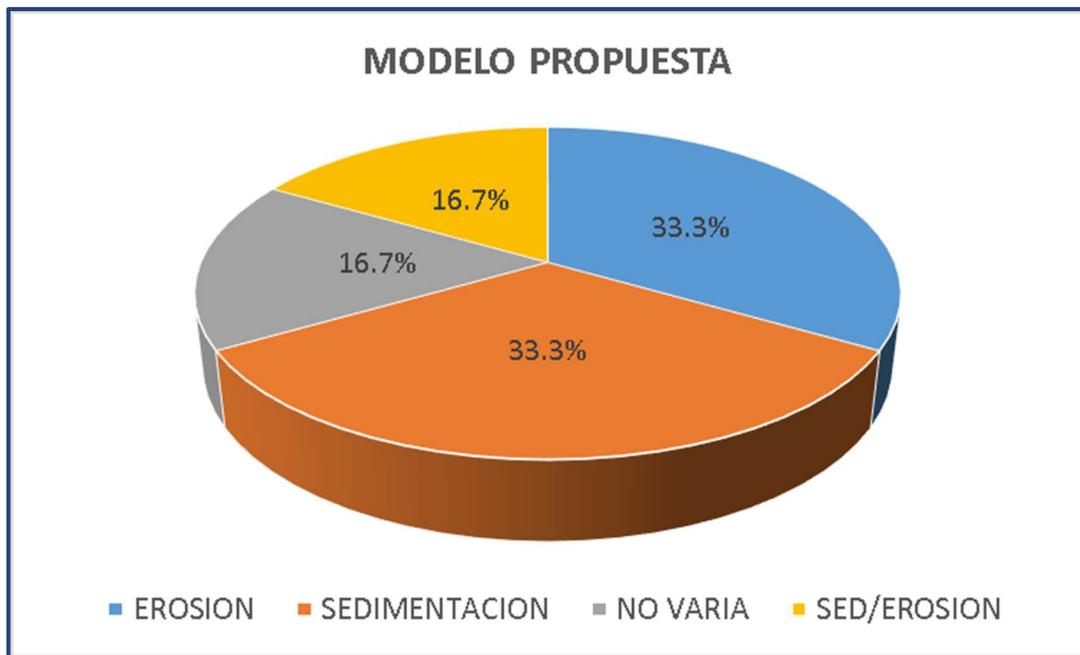
Tabla 6. 6: Análisis de la sección F.

T	SECCIÓN F		
	PROPUESTA	CON PUENTE	SIN PUENTE
5 AÑOS	EROSIÓN	EROSIÓN	EROSIÓN
10 AÑOS	EROSIÓN	EROSIÓN	EROSIÓN
25 AÑOS	EROSIÓN	EROSIÓN	NO VARÍA
50 AÑOS	EROSIÓN	EROSIÓN	EROSIÓN
100 AÑOS	EROSIÓN	NO VARÍA	NO VARÍA

Fuente: Propia

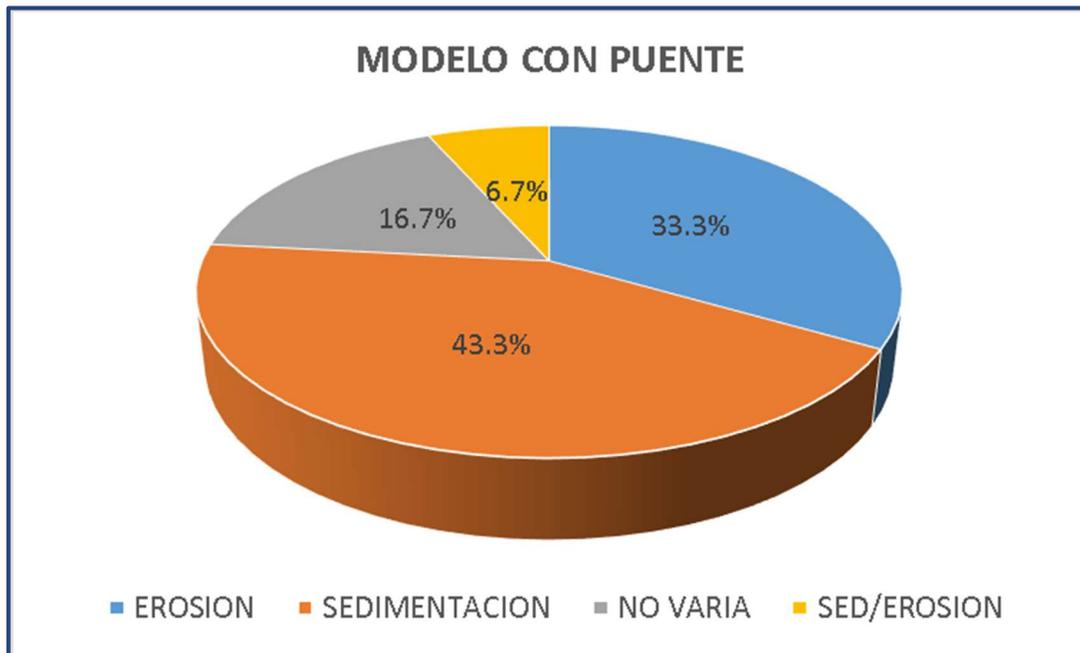
Estadísticamente el análisis de sedimentación según las secciones es como sigue:

Figura 6. 1: : Análisis de sedimentación del modelo propuesta.



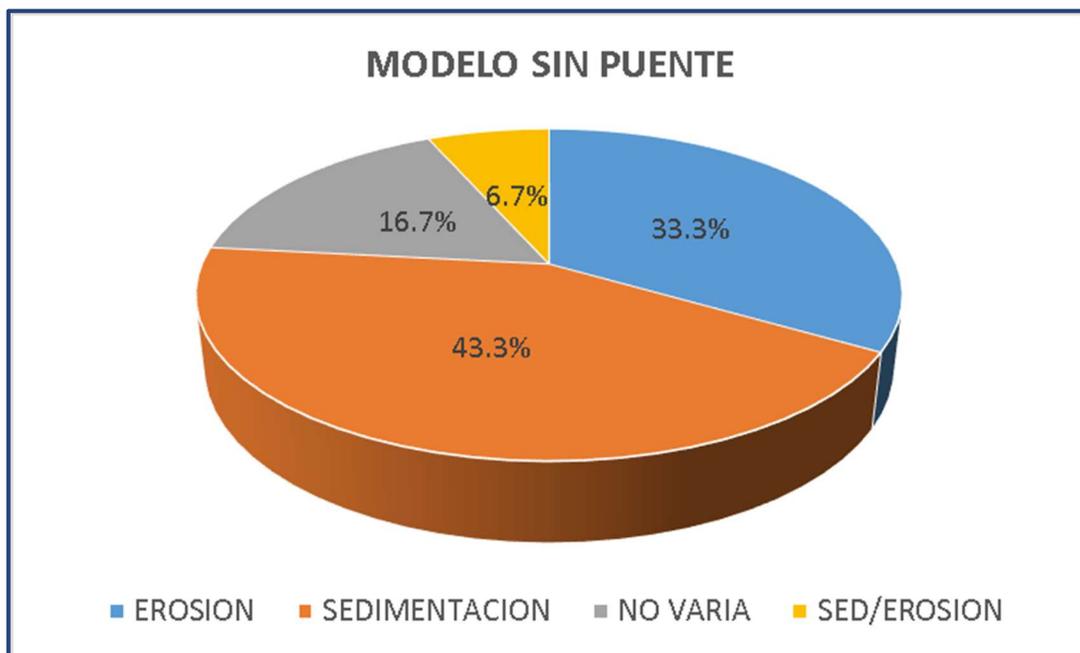
Fuente: Propia

Figura 6. 2: Análisis de sedimentación del modelo con puente.



Fuente: Propia

Figura 6. 3: Análisis de sedimentación del modelo sin puente.



Fuente: Propia

6.3. Análisis de la tensión de fondo

Para nuestro tramo en estudio se tienen dos tramos bien marcados por su variación de pendiente, el primer tramo que va desde la progresiva 0+000 hasta 0+805, tiene una pendiente de 2.035 % y el segundo tramo que va desde la progresiva 0+805 hasta 1+500, tiene una pendiente de 0.830 %, después de evaluar estos dos tramos bajo la metodología del Ábaco de Shields y las fórmulas de Meyer Peter Müller, se tiene que para el primer tramo para tirantes mayor o iguales a 0.12 m va a haber movimiento de sedimentos, en el segundo tramo el inicio del movimiento se dará para tirantes mayores o iguales a 0.30 m, debido a que la pendiente es baja es que se requiere mayor cantidad de agua en este caso representada por el tirante, para poder tener la fuerza necesaria y poder desplazarlas.

Aguas arriba del modelo con puente según los diversos escenarios, se tiene que los calados son superiores a los que se aprecian aguas abajo, como sabemos aguas arriba, el tirante mínimo para que se produzca la iniciación del movimiento es 0.12 m, ahora en los distintos instantes y diferentes períodos de retorno, el calado aguas arriba del puente y terraplén de acceso es mucho mayor que el calado aguas abajo, en donde para que se inicie el transporte de sedimentos se requiere un tirante mínimo de 0.30 m. Por lo tanto, en donde se tiene un tirante menor para iniciación del movimiento, hay tirantes más elevados del cauce; y en donde se tiene tirantes mayores para iniciación del movimiento los tirantes de los escenarios son menores que los de aguas arriba, lo que todo indica que aguas arriba hay una alta tasa de movimiento incipiente de partículas y aguas abajo recibe todo ese sedimento y los tirantes que hay no son suficientes para hacer que la masa de sedimentos continúe su paso y estos se van acumulando en esta zona.

Capítulo 7 : CONCLUSIONES

- La digitalización del terreno de la zona en estudio nos pudo mostrar que hay dos pendientes bien marcadas en el tramo de estudio, el primer tramo, aguas arriba del puente y terraplén de acceso, comprendido entre las progresivas 0+000 – 0+805 tiene una pendiente de 2.035 % y el segundo tramo, aguas abajo del puente y terraplén de acceso, comprendido entre las progresivas 0+805 – 1+500 tiene una pendiente del 0.830 %
- La distribución granulométrica característica del río Chuquillanqui, tramo puente Chuquillanqui, en la escala de Udden – Wentworth es una grava gruesa con un valor de D_{50} igual a 27.21 mm, en la clasificación SUCS es una grava bien graduada (GW).
- Los hidrogramas obtenidos están en el desarrollo de esta investigación. Los caudales picos para cada período de retorno son como se muestra a continuación:

T (años)	$Q_{\text{máx}}$ (m^3/s)
5	35.60
10	105.60
25	248.70
50	391.80
100	561.20

- La tensión de fondo para el tramo comprendido entre las progresivas 0+000 – 0+805 es 23.93 N/m^2 para un tirante de 0.12 m; para el tramo comprendido entre las progresivas 0+805 – 1+500 es 24.40 N/m^2 para un tirante de 0.30 m. La tensión crítica, que es la misma para ambos tramos, tiene un valor de 20.01 N/m^2 .
- En la simulación hidráulica del modelo sin puente se tiene que, para tirantes aguas arriba del terraplén de acceso, superiores a 1.10 m sobre pasa a este, dejando su servicialidad con un nivel 0, este tirante se alcanza cuando los caudales son superiores

a 187.00 m³/s, como es el caso en los períodos de retorno de 25, 50 y 100 años. Del mismo modo se aprecia que la aguas arriba tiene velocidades y tirantes mucho mayores que los que se presentan aguas abajo, el 43.3 % de los casos podrían generar una sedimentación aguas arriba como aguas abajo, trayendo como consecuencia la elevación de la cota de fondo del cauce.

- Se plantea remover el puente y terraplén de acceso existentes, al igual que una porción de la topografía correspondiente a la entrada del puente y a la salida del terraplén de acceso, de tal manera de que se recupere el ancho del río, tanto aguas arriba como aguas abajo. Al retirar estos elementos se pondría un puente de 298 m de luz, con 5 pilares, de tal manera que el flujo del agua sería continuo y no pasaría por la constricción que genera actualmente el puente, con esta propuesta en los modelos se verifican que las velocidades aguas arriba y aguas no presentan una diferencia tan marcada como lo es en la actualidad, el tirante sería similar y como las velocidades empezarían a ser uniformes, con el tiempo todo este tramo va a tener una sola pendiente debido al proceso de erosión y sedimentación, pues debido al terraplén de acceso es que se ha variado la pendiente en estos dos tramos, siendo esta diferencia bien marcada. En la propuesta se tiene que el 33.3 % de los escenarios generaría sedimentación, un 10.0 % menos que el modelo con puente y se estima que con el paso del tiempo este porcentaje se reduzca. Recordemos que el río siempre retoma su forma y trayecto original, el quitar el terraplén de acceso sería dejar que el río siga su curso natural.

Capítulo 8 : RECOMENDACIONES

- Realizar estudios que correspondan a la estructura de los pilares y estribos del puente propuesto, pues no han sido evaluados en esta investigación.
- Contar con medios mecánicos para la extracción de futuras muestras de suelos, pues las cantidades son de gran magnitud.
- Usar el equipo Helly Smith para el muestreo de sedimentos de fondo.
- Se recomienda que las entidades públicas comiencen a implementar sistemas de medición de sedimentos, para que de esta manera se vaya generando un registro, que será utilizado en futuras investigaciones.
- Descolmar el río, en caso no consideren viable la propuesta, pues el nivel del fondo del cauce a los alrededores del puente y terraplén de acceso están elevados y cada vez que hay grandes avenidas los pobladores se encuentran en dificultades.
- Se recomienda continuar la investigación, tanto aguas arriba como aguas debajo de la zona en estudio para tener un análisis más completo sobre el aporte y la deposición de sedimentos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arcement, G. J.(1989). *Guide for selecting Manning's roughness coefficients for natural channels and flood plains*. Denver, United States of America. United States Geological Survey Water – Supply Paper 2339
- Armijos, E. (2010). *Cuantificación de flujos sedimentarios de las cuencas amazonicas del Perú* (tesis de postgrado). Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.
- Basile, P. A. (2018). *Transporte de sedimentos y morfodinámica de ríos aluviales*. Santa Fe, Argentina: Universidad Nacional de Rosario.
- Bonilla, O. R. (2014). *Determinación del transporte de sedimentos en suspensión de fondo y total en el puente Grande del río Coata – Puno* (tesis de pregrado). Universidad Nacional del Altiplano de Puno, Puno, Perú.
- Chanson, H. (2002). *The Hydraulics of Stepped Chutes and Spillways*. Lisse, Países Bajos: Balkema.
- Consejo Regional del Gobierno Regional de La Libertad. (2010). *Acuerdo Regional N° 007–2010–GR–LL / CR*.
- De Piérola, J. N. (2001). Transporte de Sedimentos en cursos de aguas aluviales, *IV Seminario Nacional de Hidrología e Hidráulica*. Seminario llevado a cabo en el Colegio de Ingenieros del Perú, Lima, Perú.
- García, M. H. (2007). *Sedimentation engineering*. Virginia, United States of America. American Society of Civil Engineers Editorial.
- Guzmán, I. y Watson, F. (2018). *Modelación hidrodinámica y de transporte de sedimentos en el Río La Estrella, Limón* (proyecto de investigación). Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago, Costa Rica.
- Hassanzadeh, Y. (2012). *Hydraulics of Sediment Transport, Hydrodynamics - Theory and Model*. Dr. Jin - Hai Zheng (Ed.), InTech, Available from:

<http://www.intechopen.com/books/hydrodynamics-theory-and-model/hydraulics-of-sediment-transport>

Juarez, M. y Rodriguez, J. (2017). *Evaluación hidráulica del río moche tramo Puente de Fierro, longitud 1 km* (tesis de pregrado). Universidad Privada Antenor Orrego, Trujillo, Perú.

Lindsley, R., Kohler, M., Paulus, J. (1977). *Hidrología para ingenieros*. Bogotá, Colombia: Editorial McGraw – Hill Latinoamericana.

Martin, J. P. (2003). *Ingeniería de ríos*. Barcelona, España: Univesidad Popular de Chontalpa.

Mattos, R. (1999). *Pequeñas obras hidraulicas*. doi: 92-9089-069-X

Maza, J. (1984). *Curso Internacional de Transporte de Sedimentos*. Curso llevado a cabo en la Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de Mexico, Mexico.

Maza, J.A. y García, M. (1996). *Estabilidad de Cauces*, Cap. 12 del Manual de Ingeniería de Ríos, Series del Inst. de Ingeniería No. 582, Universidad Nacional Autónoma de México, México.

Morera, S. (2010). *Dinámica de la producción de sedimentos en la cuenca del Río Santa* (tesis de postgrado). Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.

Niño, Y. (2004). *Hidraulica fluvial y transporte de sedimentos*. Santiago de Chile, Chile: Universidad de Chile, Departamento de Ingeniería Civil.

Nomberto, O. y Silva, R. (2015). *Evaluación del volumen de los sedimentos del embalse de la presa Gallito Ciego durante su vida útil para estimar la proyección del volumen sedimentado* (tesis de pregrado). Universidad Privada Antenor Orrego, Trujillo, Perú.

Ocho, T. (2011). *Hidráulica de Ríos y Procesos Morfológicos*. Bogotá, Colombia: Kimprest Ltda.

Rocha, A. (1993). *Recursos Hidráulicos*. Lima, Perú: Universidad Nacional de Ingeniería.

Rocha, A. (1998). *Introducción a la hidraulica fluvial*. Lima, Perú: Universidad Nacional de Ingeniería.

Unidad Formuladora Regional de La Libertad. (2013). *Estudio de pre inversión a nivel de perfil:*

“Mejoramiento del Puente Chuquillanqui – Lucma – Gran Chimú – La Libertad”.

Van Rijn, L.C (1984). Sediment Transport, Part I: Bed Load Transport. *Journal of Hydraulic Engineering*, 110 (10), 1431-1456.

Vázquez, D. (2012). *Transporte de sedimento como carga de fondo en la cuenca del Río Narcea* (tesis doctoral). Universidad de Oviedo, Asturias, España.

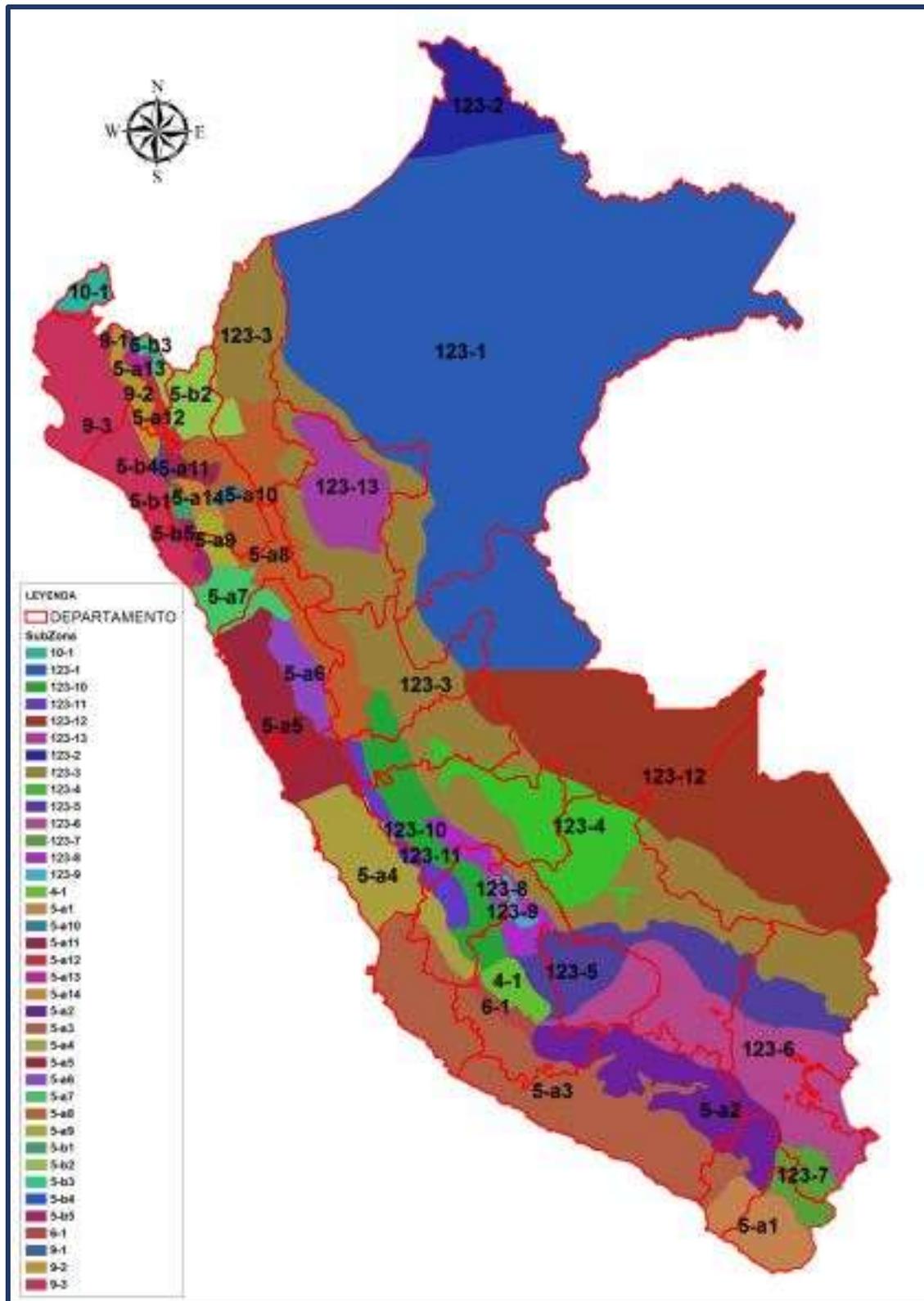
Weber, J. F. (2003). *Hidráulica de transporte de sedimentos*. Córdoba, Argentina: Universidad Nacional de Córdoba, Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales.

Yang, X. and H. Gao (1998), Development of AYT gravel bed-load sampler and method for bed-load measurement, in *Modelling Soil Erosion, Sediment Transport and Closely Related Hydrological Processes*. *International Association of Hydrological Sciences*, 249, 345–352.

Zambrano, J. (2015). *Estimación de la producción y transporte de sedimentos en cuencas urbanas pequeñas a escala de evento mediante un modelo de base física basado en SIG* (tesis doctoral). Universidad Politecnica de Cataluña, Barcelona, España.

ANEXOS

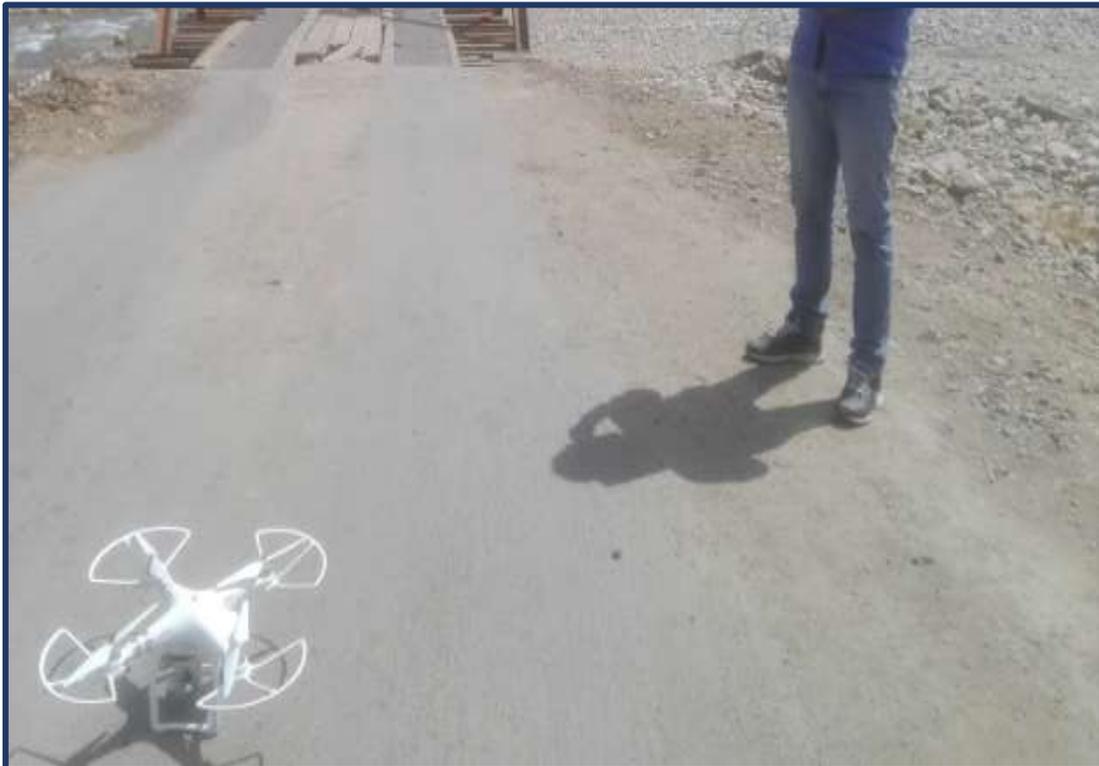
Anexo 1: Mapa de zonas Italoamericano



Anexo 2: Levantamiento Topográfico con Dron.



Anexo 3: Levantamiento Topográfico con Dron.



Anexo 4: Levantamiento Topográfico con Estación Total.



Anexo 5: Levantamiento Topográfico con Estación Total.



Anexo 6: Secado en horno de las muestras recolectadas.



Anexo 7: Muestra seca del margen derecho aguas arriba – Calicata 4A.



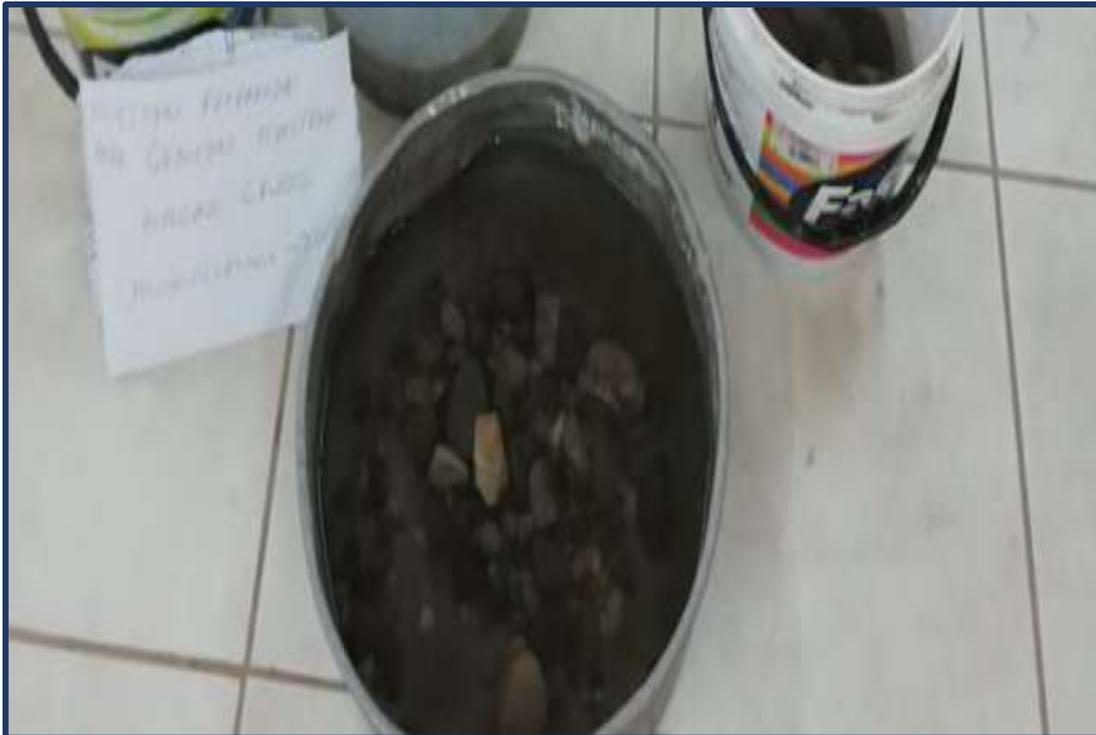
Anexo 8: Tamizado de las muestras recolectadas en campo.



Anexo 9: Tamizado de las muestras recolectadas en campo.



Anexo 10: Muestras saturadas para el ensayo de peso específico.



Anexo 11: Ensayo para el peso específico de material de fondo.





UPAO

ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO (ASTM D422 - MTC E107 - MTC E204 - ASTM C136)

PROYECTO : INFLUENCIA DEL PUENTE CHUQUILLANQUI Y TERRAPLEN DE ACCESO EN LA SEDIMENTACION DEL RIO CHUQUILLANQUI - TRAMO PUENTE CHUQUILLANQUI
UBICACIÓN : SECTOR CHUQUILLANQUI - DISTRITO DE LUCMA - PROVINCIA DE GRAN CHIMU - DEPARTAMENTO DE LA LIBERTAD
TESISTAS : CHAVEZ MORAN, JUAN RAMIRO - CIPIRAN LEON, ALISSON MARIELL

I. Datos Generales

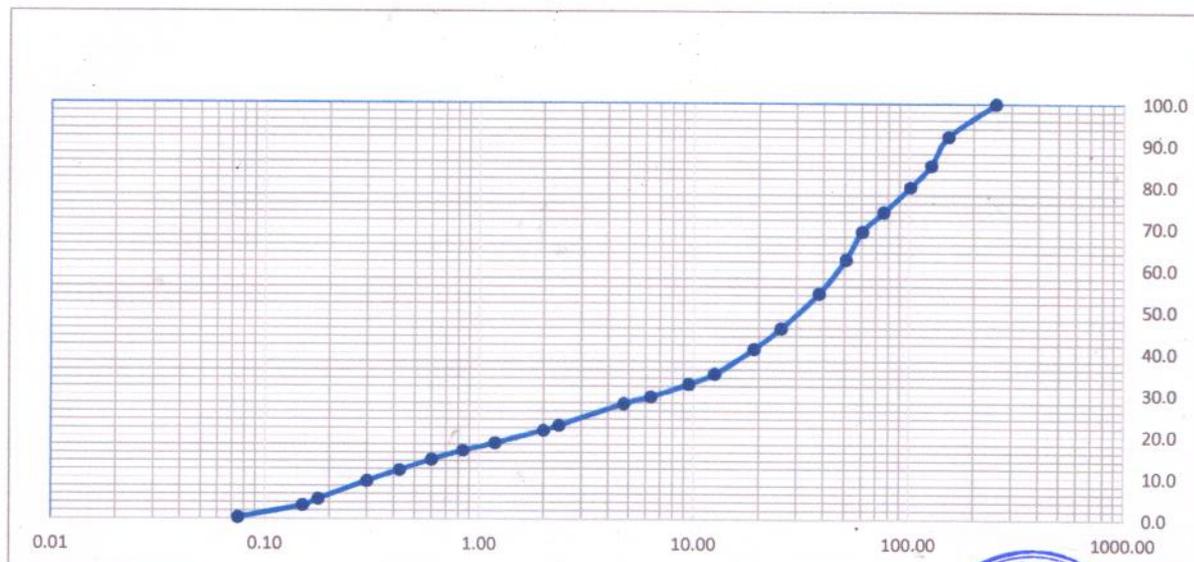
PROCEDENCIA : Margen Izquierdo - Aguas Abajo

FECHA : 03/08/2018

CALICATA : 1A

TAMIZ	AASHTO T-27 (mm)	PESO RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO	RETENIDO ACUMULADO	PORCENTAJE QUE PASA	DESCRIPCION DE LA MUESTRA	
10"	254.000				100.0		
6"	152.400	26346.7	7.8	7.8	92.2	Peso inicial seco : 335741.9 gr.	
5"	127.000	23407.5	7.0	14.8	85.2		
4"	101.600	17340.0	5.2	20.0	80.0		
3"	76.200	20433.7	6.1	26.1	73.9		
2 1/2"	60.350	15817.6	4.7	30.8	69.2		
2"	50.800	22441.3	6.7	37.5	62.5		
1 1/2"	38.100	27414.7	8.2	45.6	54.4	CLASIFICACION:	
1"	25.400	28213.2	8.4	54.0	46.0		
3/4"	19.000	16467.6	4.9	58.9	41.1	Clasificación (SUCS) : GM	
1/2"	12.500	20450.9	6.1	65.0	35.0	Clasificación (AASHTO) : A-2-4 (0)	
3/8"	9.500	8230.2	2.5	67.5	32.5		
1/4"	6.350	10317.8	3.1	70.6	29.4		
Nº 4	4.750	5564.2	1.7	72.2	27.8	Descripción (AASHTO): BUENO	
Nº 8	2.360	17606.3	5.2	77.5	22.5	Descripción (SUCS): Gravas, bien graduadas, mezclas grava-arena, pocos finos o sin finos.	
Nº 10	2.000	3939.1	1.2	78.6	21.4		
Nº 16	1.190	10215.2	3.0	81.7	18.3		
Nº 20	0.840	6173.1	1.8	83.5	16.5		
Nº 30	0.600	7320.9	2.2	85.7	14.3		
Nº 40	0.425	8539.6	2.5	88.2	11.8	OBSERVACIONES :	
Nº 50	0.300	8726.3	2.6	90.8	9.2		Grava > 2" : 37.5
Nº 80	0.177	14563.5	4.3	95.2	4.8		Grava 2" - Nº 4 : 34.7
Nº 100	0.150	5211.4	1.6	96.7	3.3		Arena Nº4 - Nº 200 : 27.4
Nº 200	0.075	9680.2	2.9	99.6	0.4		Finos < Nº 200 : 0.4
< Nº 200	FONDO	449.9	0.1	99.7	0.3	%>3" 30.8%	

CURVA GRANULOMETRICA



[Handwritten Signature]
 JEFE DE LABORATORIO DE
 SUELOS UPAO



ING. Héctor Bardales García



UPAO

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO
(ASTM D422 - MTC E107 - MTC E204 - ASTM C136)

PROYECTO : INFLUENCIA DEL PUENTE CHUQUILLANQUI Y TERRAPLEN DE ACCESO EN LA SEDIMENTACION DEL RIO CHUQUILLANQUI - TRAMO PUENTE CHUQUILLANQUI
UBICACIÓN : SECTOR CHUQUILLANQUI - DISTRITO DE LUCMA - PROVINCIA DE GRAN CHIMU - DEPARTAMENTO DE LA LIBERTAD
TESTISTAS : CHAVEZ MORAN, JUAN RAMIRO - CIPRIAN LEON, ALISSON MARIELL

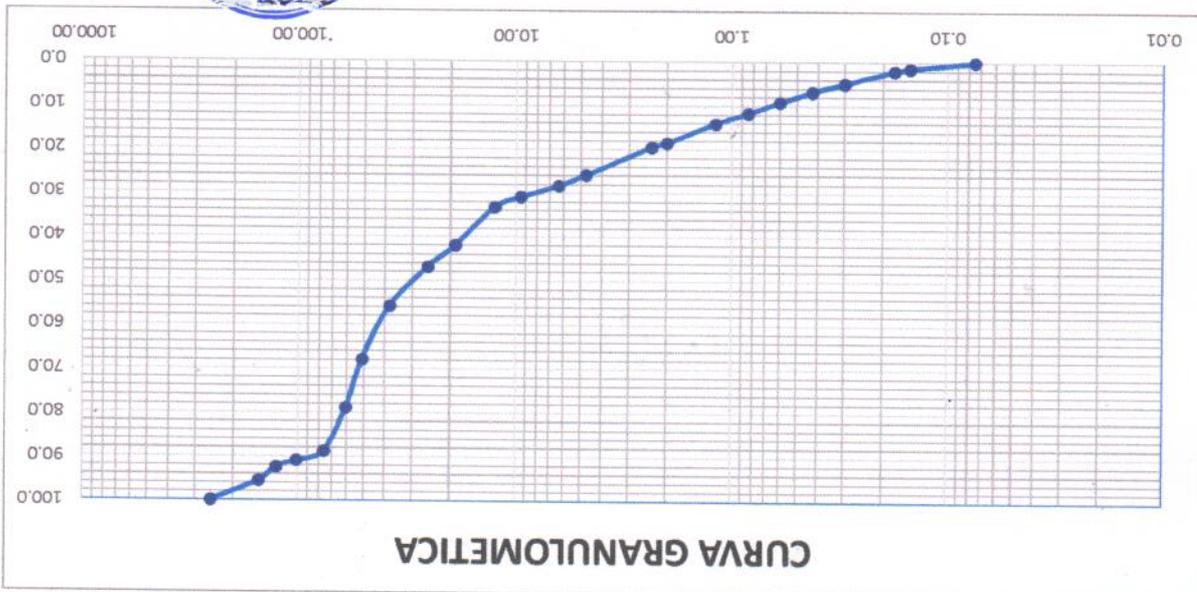
1. Datos Generales

PROCEDENCIA : Margen Izquierdo - Aguas Abajo
CALICATA : 1B

FECHA : 03/08/2018

TAMIZ	ASHTO T-27 (mm)	PESO RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO	RETENIDO ACUMULADO	PORCENTAJE QUE PASA	DESCRIPCION DE LA MUESTRA
10"	254.000	13789.1	4.4	4.4	95.6	Peso inicial seco : 314172.7 gr.
6"	152.400	9788.5	3.1	7.5	92.5	
5"	127.000	4789.4	1.5	9.0	91.0	
3"	76.200	6604.2	2.1	11.1	88.9	
2 1/2"	60.350	31054.5	9.9	21.0	79.0	
2"	50.800	34579.5	11.0	32.0	68.0	
1 1/2"	38.100	37942.1	12.1	44.1	55.9	
1"	25.400	28107.1	8.9	53.0	47.0	
3/4"	19.000	15384.1	4.9	57.9	42.1	
1/2"	12.500	27373.1	8.7	66.7	33.3	
3/8"	9.500	7340.8	2.3	69.0	31.0	
1/4"	6.350	8111.1	2.6	71.6	28.4	
Nº 4	4.750	7648.3	2.4	74.0	26.0	
Nº 8	2.360	19987.1	6.4	80.4	19.6	BUENO
Nº 10	2.000	3087.5	1.0	81.4	18.6	Descripción (AASHTO): Gravas, bien graduadas, mezclas grava-arena, pocos finos o sin finos.
Nº 16	1.190	14014.9	4.5	85.8	14.2	
Nº 20	0.840	7567.4	2.4	88.2	11.8	
Nº 30	0.600	7769.7	2.5	90.7	9.3	
Nº 40	0.425	7643.7	2.4	93.1	6.9	
Nº 50	0.300	5957.7	1.9	95.0	5.0	
Nº 80	0.177	8818.8	2.8	97.8	2.2	
Nº 100	0.150	1863.6	0.6	98.4	1.6	
Nº 200	0.075	4661.7	1.5	99.9	0.1	
< Nº 200		88.4	0.0	99.9	0.1	%>3"

CURVA GRANULOMETRICA



ING. Hector Barales Garcia
JEFE DE LABORATORIO DE SUELOS UPAO



UPAO

ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO
(ASTM D422 - MTC E107 - MTC E204 - ASTM C136)

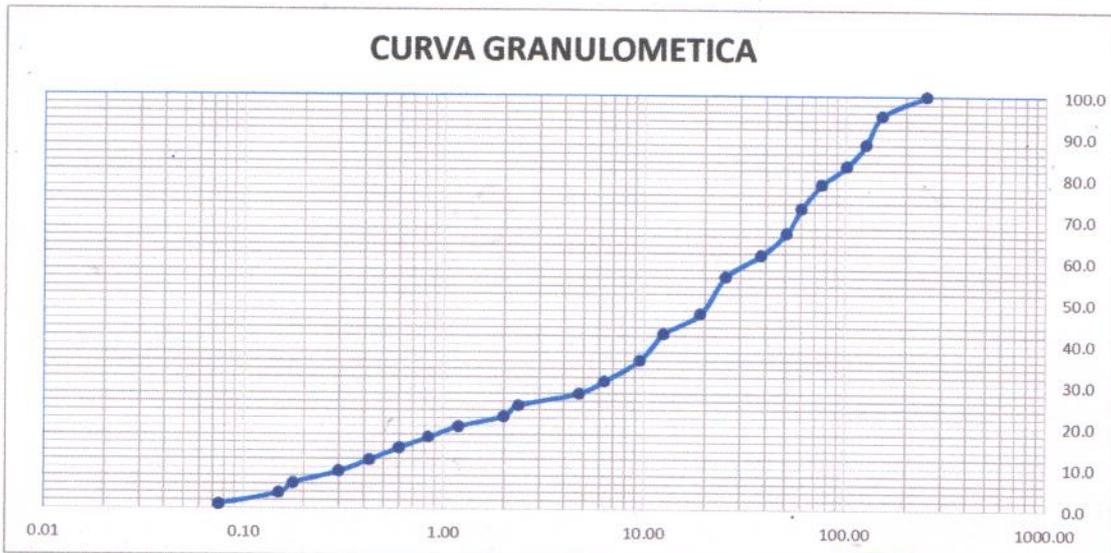
PROYECTO : INFLUENCIA DEL PUENTE CHUQUILLANQUI Y TERRAPLEN DE ACCESO EN LA SEDIMENTACION DEL RIO CHUQUILLANQUI - TRAMO PUENTE CHUQUILLANQUI
UBICACIÓN : SECTOR CHUQUILLANQUI - DISTRITO DE LUCMA - PROVINCIA DE GRAN CHIMU - DEPARTAMENTO DE LA LIBERTAD
TESISTAS : CHAVEZ MORAN, JUAN RAMIRO - CIPIRAN LEON, ALISSON MARIELL

I. Datos Generales

PROCEDENCIA : Margen Derecho - Aguas Abajo
CALICATA : 2A

FECHA : 03/08/2018

TAMIZ	AASHTO T-27 (mm)	PESO RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO	RETENIDO ACUMULADO	PORCENTAJE QUE PASA	DESCRIPCION DE LA MUESTRA
10"	254.000				100.0	
6"	152.400	15860.7	4.7	4.7	95.3	Peso inicial seco : 340741.9 gr.
5"	127.000	23891.5	7.0	11.7	88.3	
4"	101.600	17807.4	5.2	16.9	83.1	
3"	76.200	15089.4	4.4	21.3	78.7	
2 1/2"	60.350	19851.2	5.8	27.1	72.9	
2"	50.800	20504.7	6.0	33.2	66.8	
1 1/2"	38.100	17957.9	5.3	38.4	61.6	CLASIFICACION:
1"	25.400	17871.7	5.2	43.7	56.3	
3/4"	19.000	30590.5	9.0	52.7	47.3	Clasificación (SUCS) : GW
1/2"	12.500	16608.1	4.9	57.5	42.5	Clasificación (AASHTO) : A-2-4 (0)
3/8"	9.500	21839.3	6.4	63.9	36.1	
1/4"	6.350	17291.1	5.1	69.0	31.0	
Nº 4	4.750	10158.9	3.0	72.0	28.0	Descripción (AASHTO): BUENO
Nº 8	2.360	10133.9	3.0	75.0	25.0	Descripción (SUCS): Grava bien gradada con arena
Nº 10	2.000	8740.9	2.6	77.5	22.5	
Nº 16	1.190	8517.5	2.5	80.0	20.0	
Nº 20	0.840	8955.9	2.6	82.7	17.3	
Nº 30	0.600	8887.2	2.6	85.3	14.7	
Nº 40	0.425	9937.5	2.9	88.2	11.8	OBSERVACIONES :
Nº 50	0.300	9407.1	2.8	90.9	9.1	Grava > 2" : 33.2
Nº 80	0.177	9676.2	2.8	93.8	6.2	Grava 2" - Nº 4 : 38.8
Nº 100	0.150	8222.6	2.4	96.2	3.8	Arena Nº4 - Nº 200 : 27.0
Nº 200	0.075	9391.7	2.8	99.0	1.0	Finos < Nº 200 : 1.0
< Nº 200	FONDO	133.4	0.0	99.0	1.0	%>3" 27.1%



[Signature]
 JEFE DE LABORATORIO DE
 SUELOS UPAO



ING. HÉCTOR BARDALIS GARCÍA



UPAO

ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO (ASTM D422 - MTC E107 - MTC E204 - ASTM C136)

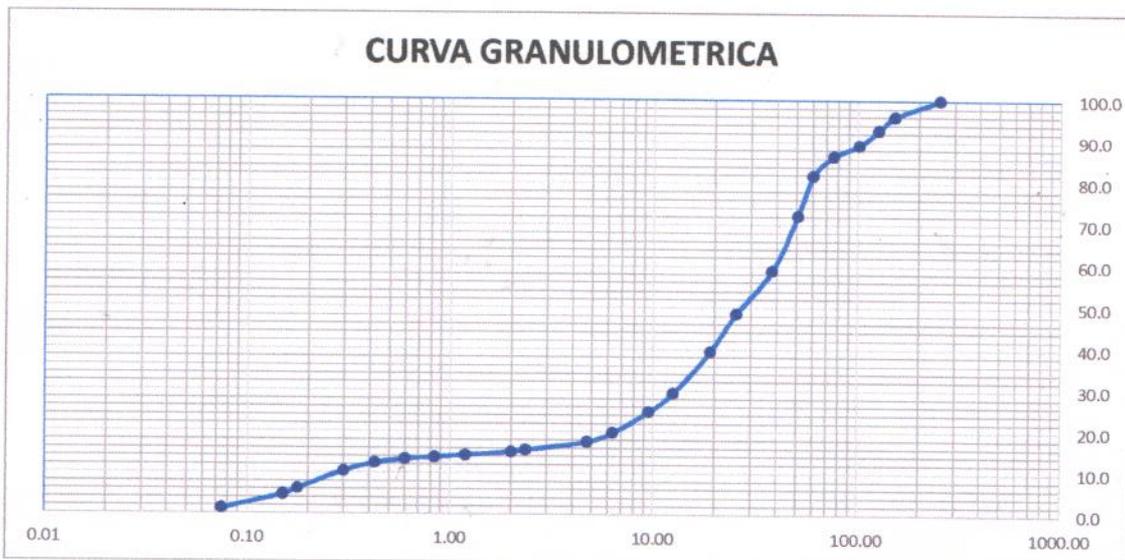
PROYECTO : INFLUENCIA DEL PUENTE CHUQUILLANQUI Y TERRAPLEN DE ACCESO EN LA SEDIMENTACION DEL RIO CHUQUILLANQUI - TRAMO PUENTE CHUQUILLANQUI
UBICACIÓN : SECTOR CHUQUILLANQUI - DISTRITO DE LUCMA - PROVINCIA DE GRAN CHIMU - DEPARTAMENTO DE LA LIBERTAD
TESISTAS : CHAVEZ MORAN, JUAN RAMIRO - CIPIRAN LEON, ALISSON MARIELL

I. Datos Generales

PROCEDENCIA : Margen Derecho - Aguas Abajo
CALICATA : 2B

FECHA : 03/08/2018

TAMIZ	AASHTO T-27 (mm)	PESO RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO	RETENIDO ACUMULADO	PORCENTAJE QUE PASA	DESCRIPCION DE LA MUESTRA
10"	254.000				100.0	
6"	152.400	11895.7	3.9	3.9	96.1	Peso inicial seco : 301472.2 gr.
5"	127.000	9875.4	3.3	7.2	92.8	
4"	101.600	10789.4	3.6	10.8	89.2	
3"	76.200	8109.5	2.7	13.5	86.5	
2 1/2"	60.350	14347.2	4.8	18.2	81.8	
2"	50.800	28858.2	9.6	27.8	72.2	
1 1/2"	38.100	40164.6	13.3	41.1	58.9	CLASIFICACION:
1"	25.400	31116.4	10.3	51.5	48.5	
3/4"	19.000	27450.5	9.1	60.6	39.4	Clasificación (SUCS) : GW
1/2"	12.500	30375.8	10.1	70.6	29.4	Clasificación (AASHTO) : A-2-4 (0)
3/8"	9.500	13598.9	4.5	75.2	24.8	
1/4"	6.350	15113.0	5.0	80.2	19.8	
Nº 4	4.750	6694.1	2.2	82.4	17.6	Descripción (AASHTO): BUENO
Nº 8	2.360	5997.1	2.0	84.4	15.6	Descripción (SUCS): Grava bien graduada con arena
Nº 10	2.000	1361.3	0.5	84.8	15.2	
Nº 16	1.190	2484.9	0.8	85.7	14.3	
Nº 20	0.840	1492.0	0.5	86.2	13.8	
Nº 30	0.600	1569.7	0.5	86.7	13.3	
Nº 40	0.425	2897.4	1.0	87.6	12.4	OBSERVACIONES :
Nº 50	0.300	5768.3	1.9	89.5	10.5	Grava > 2" : 27.8
Nº 80	0.177	12950.0	4.3	93.8	6.2	Grava 2" - Nº 4 : 54.6
Nº 100	0.150	4293.1	1.4	95.3	4.7	Arena Nº4 - Nº 200 : 16.4
Nº 200	0.075	10538.4	3.5	98.8	1.2	Finos < Nº 200 : 1.2
< Nº 200	FONDO	689.0	0.2	99.0	1.0	%>3" 18.2%



[Signature]
 JEFE DE LABORATORIO DE
 SUELOS UPAO



ING. HÉCTOR BARDALÉS GARCÍA



UPAO

ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO (ASTM D422 - MTC E107 - MTC E204 - ASTM C136)

PROYECTO : INFLUENCIA DEL PUENTE CHUQUILLANQUI Y TERRAPLEN DE ACCESO EN LA SEDIMENTACION DEL RIO CHUQUILLANQUI - TRAMO PUENTE CHUQUILLANQUI
UBICACIÓN : SECTOR CHUQUILLANQUI - DISTRITO DE LUCMA - PROVINCIA DE GRAN CHIMU - DEPARTAMENTO DE LA LIBERTAD
TESISTAS : CHAVEZ MORAN, JUAN RAMIRO - CIPIRAN LEON, ALISSON MARIELL

I. Datos Generales

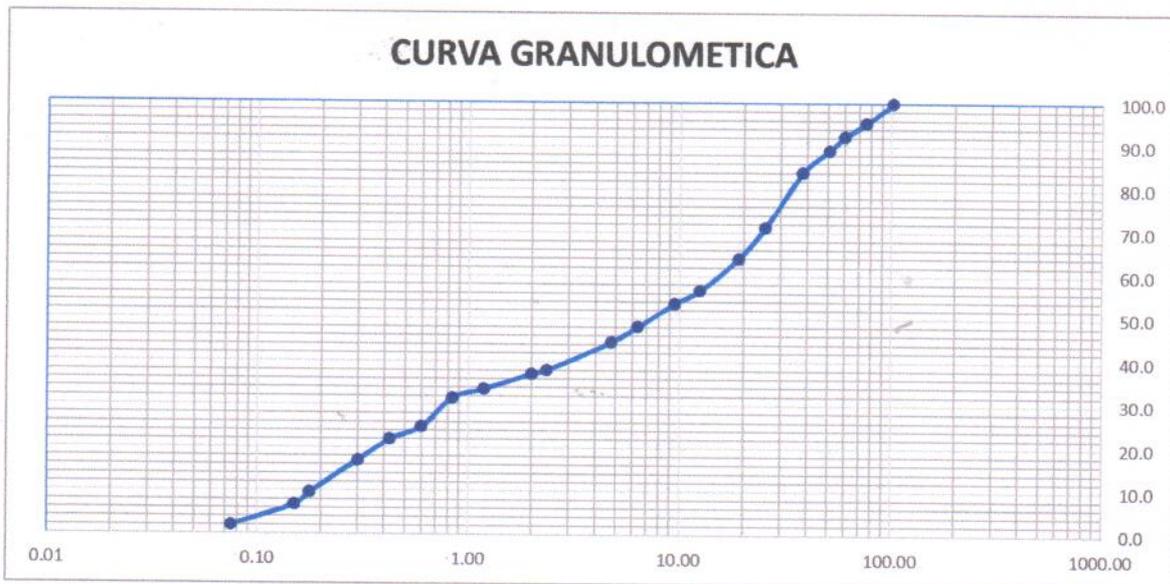
PROCEDENCIA : Margen Izquierdo - Aguas Arriba

FECHA : 03/08/2018

CALICATA : 3A

TAMIZ	AASHTO T-27 (mm)	PESO RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO	RETENIDO ACUMULADO	PORCENTAJE QUE PASA	DESCRIPCION DE LA MUESTRA
10"	254.000					
6"	152.400					
5"	127.000					Peso inicial seco : 321561.4 gr.
4"	101.600				100.0	
3"	76.200	14535.6	4.5	4.5	95.5	
2 1/2"	60.350	10216.5	3.2	7.7	92.3	
2"	50.800	10466.4	3.3	11.0	89.0	
1 1/2"	38.100	16335.9	5.1	16.0	84.0	CLASIFICACION:
1"	25.400	40660.2	12.6	28.7	71.3	
3/4"	19.000	23412.9	7.3	36.0	64.0	Clasificación (SUCS) : GP
1/2"	12.500	23889.6	7.4	43.4	56.6	Clasificación (AASHTO) : A-2-4 (0)
3/8"	9.500	10010.7	3.1	46.5	53.5	
1/4"	6.350	17241.0	5.4	51.9	48.1	
Nº 4	4.750	11657.1	3.6	55.5	44.5	Descripción (AASHTO): BUENO
Nº 8	2.360	20673.9	6.4	61.9	38.1	Descripción (SUCS): Grava pobremente gradada con arena
Nº 10	2.000	3081.1	1.0	62.9	37.1	
Nº 16	1.190	11305.8	3.5	66.4	33.6	
Nº 20	0.840	6578.7	2.0	68.4	31.6	
Nº 30	0.600	21613.6	6.7	75.2	24.8	
Nº 40	0.425	9477.2	2.9	78.1	21.9	OBSERVACIONES :
Nº 50	0.300	15555.4	4.8	82.9	17.1	Grava > 2" : 11.0
Nº 80	0.177	23832.9	7.4	90.4	9.6	Grava 2" - Nº 4 : 44.5
Nº 100	0.150	9277.2	2.9	93.2	6.8	Arena Nº4 - Nº 200 : 42.5
Nº 200	0.075	15355.4	4.8	98.0	2.0	Finos < Nº 200 : 2.0
< Nº 200	FONDO	419.9	0.1	98.1	1.9	%>3" 7.7%

315597.0



[Signature]
 JEFE DE LABORATORIO DE
 SUELOS UPAO



ING. HECTOR BARDALES GARCIA



UPAO

**ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO
(ASTM D422 - MTC E107 - MTC E204 - ASTM C136)**

PROYECTO : INFLUENCIA DEL PUENTE CHUQUILLANQUI Y TERRAPLEN DE ACCESO EN LA SEDIMENTACION DEL RIO CHUQUILLANQUI - TRAMO PUENTE CHUQUILLANQUI
UBICACIÓN : SECTOR CHUQUILLANQUI - DISTRITO DE LUCMA - PROVINCIA DE GRAN CHIMU - DEPARTAMENTO DE LA LIBERTAD
TESISTAS : CHAVEZ MORAN, JUAN RAMIRO - CIPIRAN LEON, ALISSON MARIELL

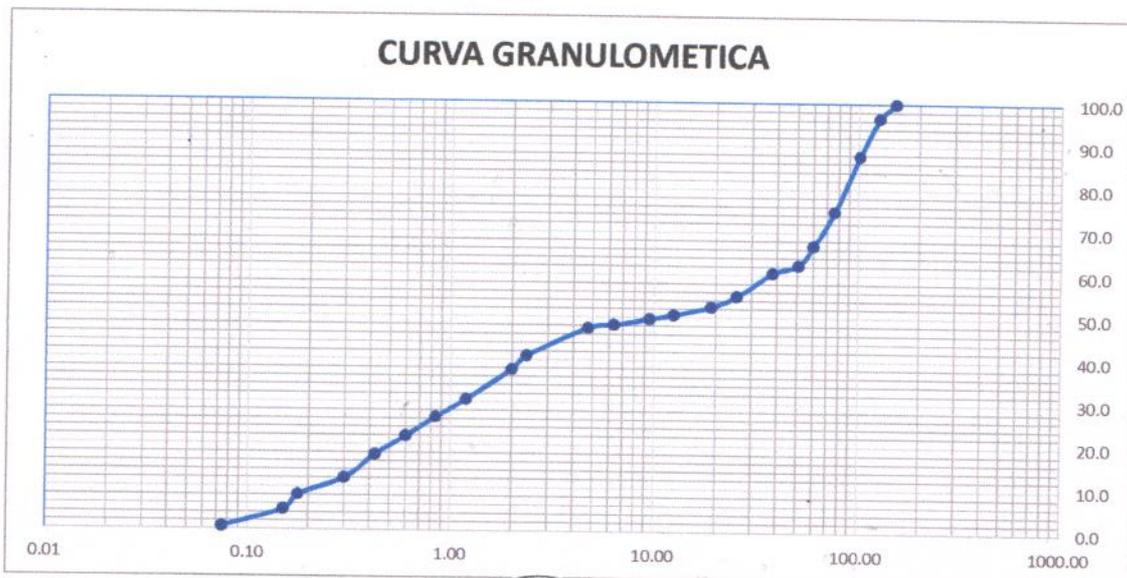
I. Datos Generales

PROCEDENCIA : Margen Izquierdo - Aguas Arriba

FECHA : 03/08/2018

CALICATA : 3B

TAMIZ	AASHTO T-27 (mm)	PESO RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO	RETENIDO ACUMULADO	PORCENTAJE QUE PASA	DESCRIPCION DE LA MUESTRA
10"	254.000					
6"	152.400				100.0	Peso inicial seco : 336731.8 gr.
5"	127.000	11636.6	3.5	3.5	96.5	
4"	101.600	29659.7	8.8	12.3	87.7	
3"	76.200	43446.0	12.9	25.2	74.8	
2 1/2"	60.350	26796.4	8.0	33.1	66.9	
2"	50.800	15312.9	4.5	37.7	62.3	
1 1/2"	38.100	6254.4	1.9	39.5	60.5	CLASIFICACION:
1"	25.400	18323.7	5.4	45.0	55.0	
3/4"	19.000	8459.4	2.5	47.5	52.5	Clasificación (SUCS) : SP
1/2"	12.500	6439.8	1.9	49.4	50.6	Clasificación (AASHTO) : A-2-4 (0)
3/8"	9.500	3261.5	1.0	50.4	49.6	
1/4"	6.350	4737.0	1.4	51.8	48.2	
Nº 4	4.750	2514.6	0.7	52.5	47.5	Descripción (AASHTO): BUENO
Nº 8	2.360	22209.7	6.6	59.1	40.9	Descripción (SUCS): Arena pobremente gradada con grava
Nº 10	2.000	10684.3	3.2	62.3	37.7	
Nº 16	1.190	23970.1	7.1	69.4	30.6	
Nº 20	0.840	14219.2	4.2	73.6	26.4	
Nº 30	0.600	15065.9	4.5	78.1	21.9	
Nº 40	0.425	14472.5	4.3	82.4	17.6	OBSERVACIONES :
Nº 50	0.300	18416.3	5.5	87.9	12.1	Grava > 2" : 37.7
Nº 80	0.177	13566.2	4.0	91.9	8.1	Grava 2" - Nº 4 : 14.8
Nº 100	0.150	11324.7	3.4	95.3	4.7	Arena Nº4 - Nº 200 : 46.9
Nº 200	0.075	13842.4	4.1	99.4	0.6	Finos < Nº 200 : 0.6
< Nº 200	FONDO	832.2	0.2	99.6	0.4	%>3" 33.1%



Hector B6
 JEFE DE LABORATORIO DE
 SUELOS UPAO

ING. HECTOR BARDALES GARCIA





UPAO

**ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO
(ASTM D422 - MTC E107 - MTC E204 - ASTM C136)**

PROYECTO : INFLUENCIA DEL PUENTE CHUQUILLANQUI Y TERRAPLEN DE ACCESO EN LA SEDIMENTACION DEL RIO CHUQUILLANQUI - TRAMO PUENTE CHUQUILLANQUI
UBICACIÓN : SECTOR CHUQUILLANQUI - DISTRITO DE LUCMA - PROVINCIA DE GRAN CHIMU - DEPARTAMENTO DE LA LIBERTAD
TESISTAS : CHAVEZ MORAN, JUAN RAMIRO - CIPIRAN LEON, ALISSON MARIELL

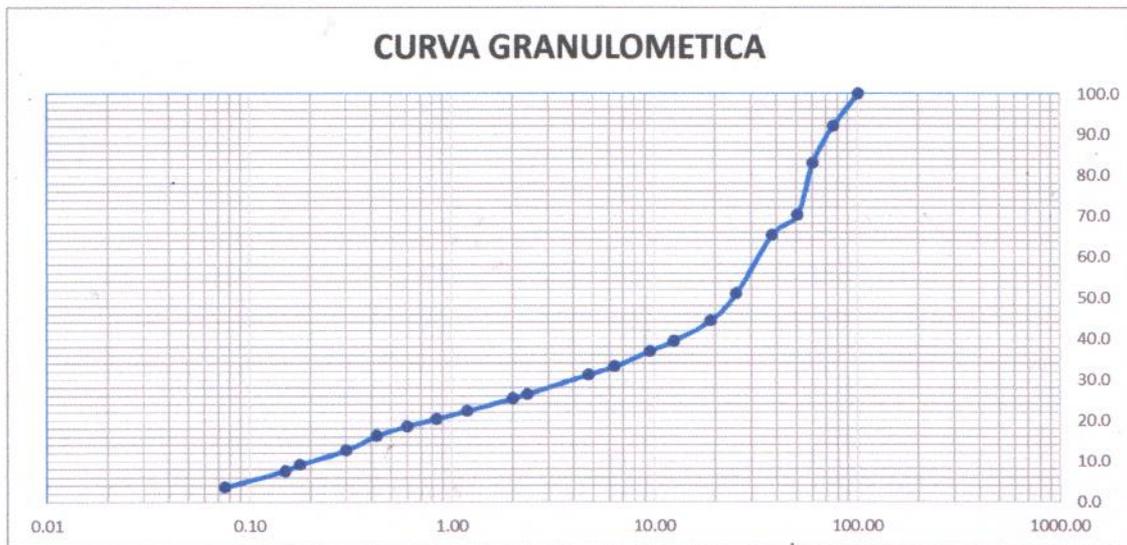
I. Datos Generales

PROCEDENCIA : Margen Derecho - Aguas Arriba
CALICATA : 4A

FECHA : 03/08/2018

TAMIZ	AASHTO T-27 (mm)	PESO RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO	RETENIDO ACUMULADO	PORCENTAJE QUE PASA	DESCRIPCION DE LA MUESTRA
10"	254.000					
6"	152.400					Peso inicial seco : 307404.2 gr.
5"	127.000					
4"	101.600				100.0	
3"	76.200	24325.1	7.9	7.9	92.1	
2 1/2"	60.350	28070.6	9.1	17.0	83.0	
2"	50.800	39109.6	12.7	29.8	70.2	
1 1/2"	38.100	15004.3	4.9	34.6	65.4	CLASIFICACION:
1"	25.400	43958.4	14.3	48.9	51.1	
3/4"	19.000	20293.9	6.6	55.5	44.5	Clasificación (SUCS) : GW
1/2"	12.500	15448.9	5.0	60.6	39.4	Clasificación (AASHTO) : A-2-4 (0)
3/8"	9.500	7824.2	2.5	63.1	36.9	2.44
1/4"	6.350	11363.9	3.7	66.8	33.2	
Nº 4	4.750	6032.5	2.0	68.8	31.2	Descripción (AASHTO): BUENO
Nº 8	2.360	14768.7	4.6	73.6	26.4	Descripción (SUCS): Grava bien gradada con arena
Nº 10	2.000	3220.5	1.0	74.6	25.4	
Nº 16	1.190	9469.6	3.1	77.7	22.3	
Nº 20	0.840	5772.2	1.9	79.6	20.4	
Nº 30	0.600	5519.5	1.8	81.4	18.6	
Nº 40	0.425	7235.2	2.4	83.7	16.3	OBSERVACIONES :
Nº 50	0.300	10966.8	3.6	87.3	12.7	Grava > 2" : 29.8
Nº 80	0.177	10906.0	3.5	90.9	9.1	Grava 2" - Nº 4 : 39.0
Nº 100	0.150	4721.5	1.5	92.4	7.6	Arena Nº4 - Nº 200 : 27.7
Nº 200	0.075	12445.0	4.0	96.4	3.6	Finos < Nº 200 : 3.6
< Nº 200	FONDO	518.7	0.2	96.6	3.4	%>3" 17.0%

296975.1



[Signature]
 JEFE DE LABORATORIO DE
 SUELOS UPAO



ING. HÉCTOR BARDALES GARCÍA



UPAO

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO (ASTM D422 - MTC E107 - MTC E204 - ASTM C136)

PROYECTO : INFLUENCIA DEL PUENTE CHUQUILLANQUI Y TERRAPLEN DE ACCESO EN LA SEDIMENTACION DEL RIO CHUQUILLANQUI - TRAMO PUENTE CHUQUILLANQUI
UBICACIÓN : SECTOR CHUQUILLANQUI - DISTRITO DE LUCMA - PROVINCIA DE GRAN CHIMU - DEPARTAMENTO DE LA LIBERTAD
TESISTAS : CHAVEZ MORAN, JUAN RAMIRO - CIPIRAN LEON, ALISSON MARIELL

I. Datos Generales

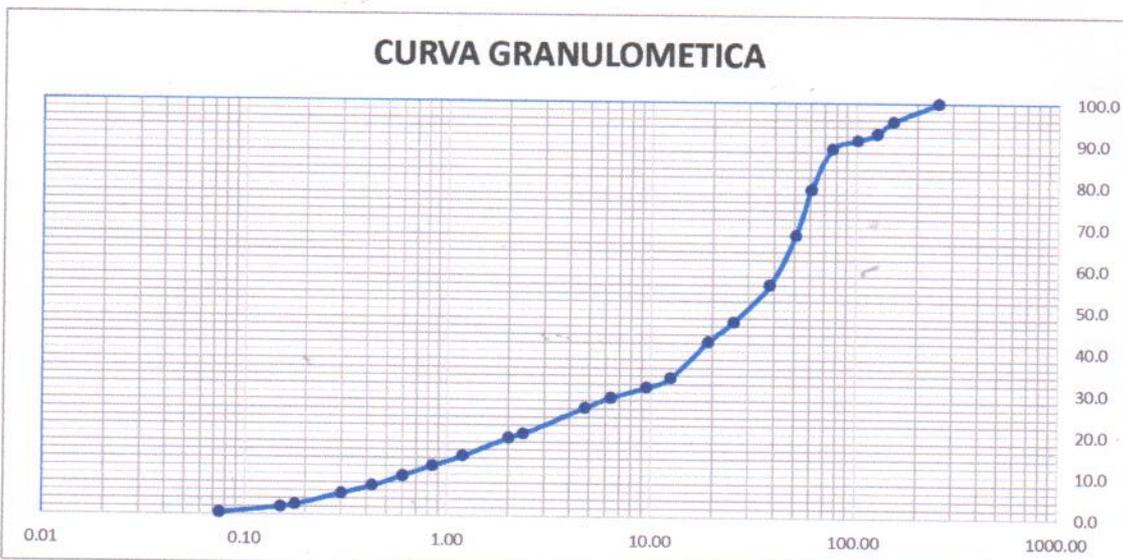
PROCEDENCIA : Margen Derecho - Aguas Arriba

FECHA : 03/08/2018

CALICATA : 4B

TAMIZ	AASHTO T-27 (mm)	PESO RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO	RETENIDO ACUMULADO	PORCENTAJE QUE PASA	DESCRIPCION DE LA MUESTRA
10"	254.000				100.0	
6"	152.400	17334.3	4.4	4.4	95.6	Peso inicial seco : 396453.3 gr.
5"	127.000	12305.1	3.1	7.5	92.5	
4"	101.600	6020.8	1.5	9.0	91.0	
3"	76.200	8302.1	2.1	11.1	88.9	
2 1/2"	60.350	39038.6	9.8	20.9	79.1	
2"	50.800	43469.9	11.0	31.9	68.1	
1 1/2"	38.100	47697.0	12.0	43.9	56.1	CLASIFICACION:
1"	25.400	35333.4	8.9	52.8	47.2	
3/4"	19.000	19339.4	4.9	57.7	42.3	Clasificación (SUCS) : GW
1/2"	12.500	34410.7	8.7	66.4	33.6	Clasificación (AASHTO) : A-2-4 (0)
3/8"	9.500	9228.1	2.3	68.7	31.3	
1/4"	6.350	10196.5	2.6	71.3	28.7	
Nº 4	4.750	9614.7	2.4	73.7	26.3	Descripción (AASHTO): BUENO Descripción (SUCS): Gravas, bien graduadas, mezclas grava-arena, pocos finos o sin finos.
Nº 8	2.360	25125.8	6.3	80.1	19.9	
Nº 10	2.000	3881.4	1.0	81.0	19.0	
Nº 16	1.190	17618.1	4.4	85.5	14.5	
Nº 20	0.840	9513.0	2.4	87.9	12.1	
Nº 30	0.600	9767.3	2.5	90.4	9.6	
Nº 40	0.425	9608.9	2.4	92.8	7.2	OBSERVACIONES :
Nº 50	0.300	7489.5	1.9	94.7	5.3	
Nº 80	0.177	11086.1	2.8	97.5	2.5	Grava > 2" : 31.9
Nº 100	0.150	2342.7	0.6	98.1	1.9	Grava 2" - Nº 4 : 41.8
Nº 200	0.075	5860.2	1.5	99.5	0.5	Arena Nº4 - Nº 200 : 25.8
< Nº 200	FONDO	111.1	0.0	99.6	0.4	Finos < Nº 200 : 0.5
						%>3" : 20.9%

394694.7



JEFE DE LABORATORIO DE SUELOS UPAO

ING. HECTOR BARDALES GARCÍA





UPAO

PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DE MATERIAL DE FONDO (NORMA AASHTO T-85, ASTM C127)

PROYECTO : INFLUENCIA DEL PUENTE CHUQUILLANQUI Y TERRAPLEN DE ACCESO EN LA SEDIMENTACION DEL RIO CHUQUILLANQUI - TRAMO PTE CHUQUILLANQUI
UBICACIÓN : SECTOR CHUQUILLANQUI - DISTRITO DE LUCMA - PROVINCIA DE GRAN CHIMU - DEPARTAMENTO DE LA LIBERTAD
TESISTAS : CHAVEZ MORAN, JUAN RAMIRO - CIPIRAN LEON, ALISSON MARIELL

I. Datos Generales

PROCEDENCIA : CAUCE DEL RIO CHUQUILLANQUI

FECHA : 03/08/2018

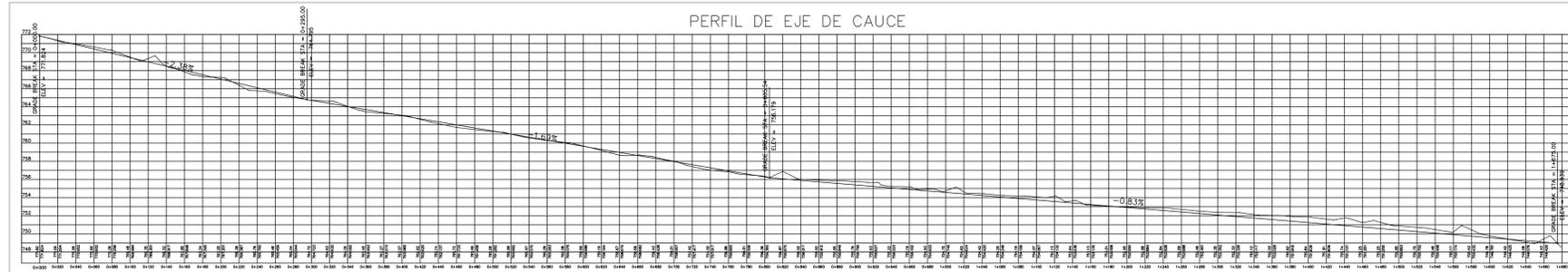
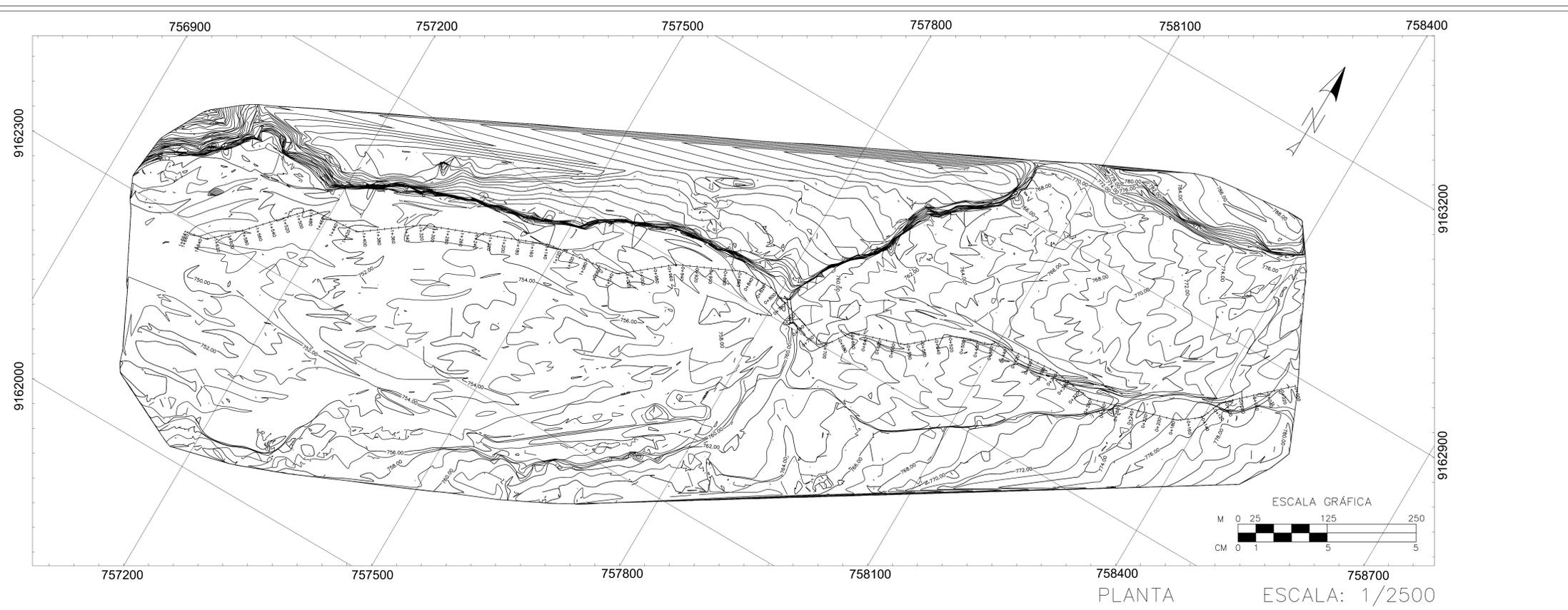
DESCRIPCIÓN	UND	1A	2A	3A	4A
Peso del Recipiente + Agregado Saturado Superf. Seco	grs.	1004.7	952.8	978.4	1001.9
Peso del Recipiente + Agregado Seco	grs.	1003.7	950.3	975.7	999.6
Peso de Recipiente	grs.	0.0	0.0	0.0	0.0
Peso del Agregado Saturado Superf. Seco	grs.	1,004.7	952.8	978.4	1,001.9
Peso del Agregado Seco	grs.	1,003.7	950.3	975.7	999.6
Peso de la Canastilla + Agregado Sumergido	grs.	1,548.20	1,513.20	1,526.60	1,549.50
Peso de la Canastilla Sumergido	grs.	928.60	928.60	928.60	928.60
Peso del Agregado Sumergido	grs.	619.6	584.6	598.0	620.9
Temperatura del agua	°C	18.6	18.6	18.6	18.6
Factor de corrección	-	1.003	1.003	1.003	1.003
Peso específico aparente	-	2.613	2.599	2.583	2.640
Gravedad específica BULK SSS	-	2.609	2.588	2.572	2.630
Gravedad específica BULK	-	2.606	2.581	2.565	2.624
Absorción	%	0.1%	0.3%	0.28%	0.23%

DESCRIPCIÓN	UND	1B	2B	3B	4B
Peso del Recipiente + Agregado Saturado Superf. Seco	grs.	985.6	1112.3	941.8	958.7
Peso del Recipiente + Agregado Seco	grs.	984.1	1109.2	938.7	956.1
Peso de Recipiente	grs.	0.0	0.0	0.0	0.0
Peso del Agregado Saturado Superf. Seco	grs.	985.6	1,112.3	941.8	958.7
Peso del Agregado Seco	grs.	984.1	1,109.2	938.7	956.1
Peso de la Canastilla + Agregado Sumergido	grs.	1,543.10	1,598.23	1,504.10	1,527.30
Peso de la Canastilla Sumergido	grs.	928.60	928.60	928.60	928.60
Peso del Agregado Sumergido	grs.	614.5	669.6	575.5	598.7
Temperatura del agua	°C	18.6	18.6	18.6	18.6
Factor de corrección	-	1.003	1.003	1.003	1.003
Peso específico aparente	-	2.663	2.523	2.585	2.675
Gravedad específica BULK SSS	-	2.656	2.513	2.571	2.663
Gravedad específica BULK	-	2.652	2.506	2.563	2.656
Absorción	%	0.2%	0.3%	0.33%	0.27%

JEFE DE LABORATORIO DE
 SUELOS UPAO

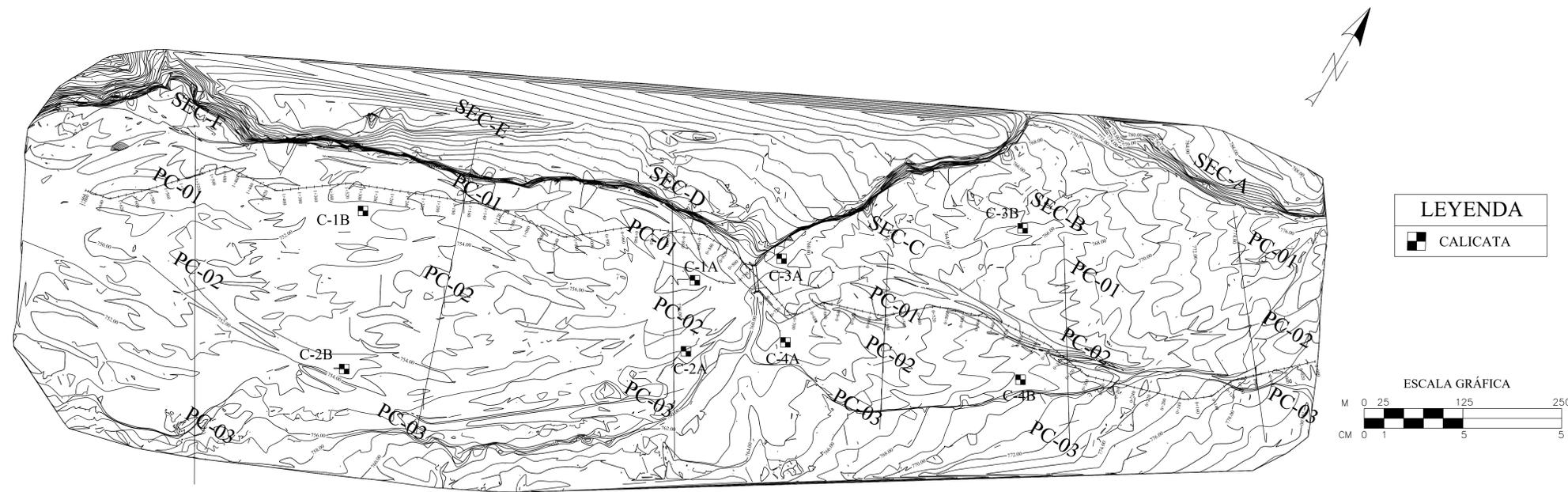


ING. HÉCTOR BARDALES GARCÍA



PERFIL LONGITUDINAL ESCALA: 1/2500

 UNIVERSIDAD PRIVADA ANTEOR ORREGO FACULTAD DE INGENIERIA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL LUCMA - GRAN CHIMU - LA LIBERTAD CHUQUILLANQUI	
PLANO: PLANTA , PERFIL LONGITUDINAL	
PROYECTO: INFLUENCIA DEL PUENTE CHUQUILLANQUI Y TERRAPLEN DE ACCESO EN LA SEDIMENTACION DEL RIO CHUQUILLANQUI, TRAMO PUENTE CHUQUILLANQUI	
SECTOR: CHUQUILLANQUI, LUCMA	
LIBRACION: DFTO : La Libertad PROV : Gran Chimú DDT : Lucma	ESCALA: INDICADA 01/02
TESISISTAS: BACH: JUAN R. CHAVEZ MORAN & BACH: ALISSON M. CIPRIAN LEON	FECHA: Marzo, 2019
ASESOR: ING. RICARDO ANDRÉS NARVAEZ ARANDA	



PLANTA ESCALA: 1/2500

SECCIÓN	PROGRESIVA
SEC -A	0+077
SEC -B	0+333
SEC -C	0+581
SEC -D	0+885
SEC -E	1+168
SEC -F	1+519

MARGEN	UBICACIÓN DE CALICATAS			
	AGUAS ABAJO		AGUAS ARRIBA	
	DERECHO	IZQUIERDO	DERECHO	IZQUIERDO
PUENTE	2A	1A	4A	3A
EXTREMO	2B	1B	4B	3B

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONOR ORREGO
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
 LUCMA - GRAN CHIMÚ - LA LIBERTAD
 CHUQUILLANQUI

PLANO: SECCIONES Y CALICATAS

PROYECTO: INFLUENCIA DEL PUENTE CHUQUILLANQUI Y TERRAPLEN DE ACCESO EN LA SEDIMENTACIÓN DEL RÍO CHUQUILLANQUI, TRAMO PUENTE CHUQUILLANQUI

SECTOR: CHUQUILLANQUI, LUCMA

UBICACIÓN: DPTO : La Libertad
 PROV : Gran Chimú
 DIST : Lucma

TERRESTAS: BACH: JUAN R. CHAVEZ MORAN & BACH. ALISSON M. CIPRIÁN LEÓN
 INGENIERO: ING. RICARDO ANDRÉS NARVAEZ ARANDA

ESCALA: INDICADA
 FECHA: Marzo, 2019

02/02