

**UNIVERSIDAD RICARDO PALMA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**PROGRAMA DE TITULACIÓN POR TESIS**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**ANÁLISIS COMPARATIVO DE DEFENSAS RIBEREÑAS PARA**  
**LA MITIGACIÓN DE INUNDACIONES DEL RÍO ICA**

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

**PRESENTADA POR**

**Bach. MARAVÍ ALVA, FIORELLA POLET**

**Bach. MELCHOR AGESTO, LUIS ENRIQUE**

**ASESOR: Dr. Ing. LÓPEZ SILVA, MAIQUEL**

**LIMA – PERÚ**

**2020**

## **DEDICATORIA**

A Dios por todo lo que me brinda e ilumina, a mi hijo y esposo por todo el amor, paciencia y comprensión que me dan, a mis padres y hermano que con su amor y apoyo incondicional han forjado en mi lo que hoy en día soy.

Fiorella Maraví Alva

A mi esposa Vanessa Justo y a mis hijos quienes, con su apoyo incondicional en estos años, me han permitido alcanzar cada meta trazada, a mis padres quienes con su ejemplo de vida me han enseñado que con el esfuerzo y la determinación se pueden lograr las metas trazadas. Gracias por siempre poner su confianza y apoyo en mis sueños.

Luis Melchor Agosto

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradecemos a Dios por amarnos y protegernos en cada momento de nuestras vidas, por guiarnos a través de su palabra, la cual nos dice “Mira que te mando que te esfuerces y seas valiente: no temas ni desmayes, porque Jehová tu Dios estará contigo en dondequiera que vayas”.

A nuestra alma mater por la educación, ética y principios brindados en todos los años de estudio.

A nuestros asesores, Dr. Ing. Maiquel López Silva y Dr. Ing. Dayma Sadami Carmenates Hernandez, por sus aportes, comentarios, sugerencias y su invaluable apoyo e interés a lo largo de la presente investigación.

Finalmente, el agradecimiento a todos nuestros familiares por su colaboración y apoyo en todo momento de nuestra formación profesional.

Fiorella Maraví y Luis Melchor

# ÍNDICE GENERAL

RESUMEN .....	XIV
ABSTRACT.....	XV
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	2
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA .....	3
1.2.1 Problema General .....	3
1.2.2 Problemas Específicos .....	3
1.3 IMPORTANCIA Y JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO.....	3
1.3.1 Importancia .....	3
1.3.2 Justificación del estudio.....	4
1.4 DELIMITACIÓN DEL ESTUDIO .....	5
1.4.1 Delimitación temporal .....	5
1.4.2 Delimitación espacial.....	5
1.4.3 Delimitación de la temática .....	6
1.5 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN .....	6
1.5.1 Objetivo general.....	6
1.5.2 Objetivos específicos .....	6
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	8
2.1 MARCO HISTÓRICO .....	8
2.2 INVESTIGACIONES RELACIONADAS CON EL TEMA.....	9
2.2.1 Antecedentes internacionales.....	9
2.2.2 Antecedentes nacionales .....	11
2.3 ESTRUCTURA TEÓRICA Y CIENTÍFICA QUE SUSTENTA EL ESTUDIO .....	13
2.3.1 Topografía.....	13
2.3.2 Geología.....	14
2.3.3 Estudios Hidrológicos.....	15
2.3.4 Hidráulica Fluvial .....	44
2.3.5 Defensas ribereñas .....	55
2.3.6 Modelos numéricos para el análisis hidráulico e hidrológico en cuencas ..	67

2.4	DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS.....	70
2.5	HIPÓTESIS .....	71
2.5.1	Hipótesis General.....	71
2.5.2	Hipótesis Específicas .....	72
2.6	VARIABLES .....	72
2.6.1	Definición conceptual de las variables .....	72
CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO.....		74
3.1	TIPO DE INVESTIGACIÓN .....	74
3.2	MÉTODO DE INVESTIGACIÓN .....	74
3.3	POBLACIÓN DE ESTUDIO.....	74
3.4	MUESTRA.....	74
3.5	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS .....	75
3.5.1	Técnicas .....	75
3.5.2	Instrumentos.....	75
3.5.3	Procedimientos para la recolección de datos .....	75
3.5.4	Técnicas de procesamiento y análisis de datos.....	76
CAPÍTULO IV: PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....		77
4.1	LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA Y ZONA DE ESTUDIO DE LA CUENCA DEL RÍO ICA ...	77
4.1.1	Ubicación geográfica .....	77
4.1.2	Ubicación política .....	77
4.1.3	Vías de acceso y comunicación .....	78
4.1.4	Orografía.....	78
4.1.5	Geología.....	78
4.2	PARÁMETROS GEOMORFOLÓGICOS.....	79
4.2.1	Parámetros de forma .....	79
4.2.2	Parámetros de relieve.....	80
4.2.3	Parámetros de la red hidrográfica .....	86
4.3	PERÍODO DE RETORNO .....	89
4.3.1	Precipitación .....	89
4.3.2	Análisis estadísticos de las precipitaciones máximas .....	91
4.3.3	Valor de corrección.....	93
4.3.4	Curvas Intensidad – Duración - Frecuencia.....	94

4.4	MODELAMIENTO HIDROLÓGICO DE LA CUENCA DEL RÍO ICA.....	106
4.5	MODELAMIENTO DEL RÍO ICA EN EL SOFTWARE HEC-RAS.....	119
4.6	CÁLCULOS BÁSICOS PARA LAS DEFENSAS RIBEREÑAS.....	120
4.6.1	Defensa ribereña tipo gavión colchón .....	124
4.6.2	Defensa ribereña tipo gavión caja.....	130
4.6.3	Defensa ribereña tipo Muro de concreto armado.....	135
4.6.4	Presupuesto de los sistemas de defensa ribereña .....	147
	CONSTATACIÓN DE HIPÓTESIS .....	151
	CONCLUSIONES .....	153
	RECOMENDACIONES.....	155
	REFERENCIAS.....	156
	ANEXOS .....	159
	Anexo 1: Matriz de consistencia.....	160
	Anexo 2: Estación pluviométrica del Tambo .....	161
	Anexo 3: Estación pluviométrica de Stgo. Chocorvos .....	162
	Anexo 4: Estación pluviométrica de Huamani .....	163
	Anexo 5: Estación pluviométrica de Santa Rosa .....	164
	Anexo 6: Estación pluviométrica de San Juan de Huircapancha.....	164
	Anexo 7: Estación pluviométrica de Challaca .....	165
	Anexo 8: Estación pluviométrica de Tacama .....	165
	Anexo 9: Sección 0.000 - 1 278.785.....	166
	Anexo 10: Sección 1 288.54 - 4 500.00.....	167
	Anexo 11: Sección 11 800.00 – 17 000.00 .....	169
	Anexo 12: Sección 17 050.00 – 17 725.00 .....	170
	Anexo 13: Resultados del Hec-Ras .....	171
	Anexo: Planos .....	176
	Anexo: Matriz de comparación.....	186

Anexo: Carta de autorización ..... 187

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 1: Clasificación de cuenca.....	18
Tabla N° 2: Rango de índice de compacidad.....	19
Tabla N° 3: Factor de forma .....	20
Tabla N° 4: Relación de elongación .....	22
Tabla N° 5: Tipo de relieve de la cuenca según su pendiente .....	23
Tabla N° 6: Clasificación de la red de drenaje de las cuencas .....	28
Tabla N° 7: Valores de Período de Retorno T (años).....	31
Tabla N° 8: Riesgo admisible de Obras de drenaje .....	31
Tabla N° 9: Comparación de los conceptos de sistema lineal e hidrograma unitario ....	44
Tabla N° 10: Condiciones del Fondo del río .....	46
Tabla N° 11: Valores del coeficiente de Ks.....	47
Tabla N° 12: Tabla de Cowan para determinar el coeficiente n.....	48
Tabla N° 13: Valores de rugosidad de Manning (n).....	49
Tabla N° 14: Taludes recomendados para canales excavados.....	49
Tabla N° 15: Valores del coeficiente $\beta$ .....	53
Tabla N° 16: Valores de X.....	53
Tabla N° 17: Valores del coeficiente de contracción $\mu$ .....	54
Tabla N° 18: Coeficiente para el cálculo de borde libre.....	57
Tabla N° 19: Coeficiente para el cálculo de borde libre.....	57
Tabla N° 20: Coeficiente para el cálculo de borde libre.....	58
Tabla N° 21: Espesores del colchón en función de la velocidad .....	58
Tabla N° 22: Dimensiones de gaviones tipo caja .....	63
Tabla N° 23: Parámetros de forma .....	80
Tabla N° 24: Altitudes y Áreas parciales de la cuenca del río Ica.....	81
Tabla N° 25: Altitud media ponderada .....	82
Tabla N° 26: Comparación de resultados de altitud media .....	83
Tabla N° 27: Sistema de Ordenes de las corrientes .....	86
Tabla N° 28: Pendiente del río Ica.....	88
Tabla N° 29: Coordenadas Geográficas y altitud .....	89
Tabla N° 30: Registro histórico de precipitaciones en 24 horas.....	90
Tabla N° 31: Funciones de distribución de probabilidad .....	92

Tabla N° 32: Funciones de distribución de probabilidad .....	92
Tabla N° 33: Selección de función de distribución de probabilidad más adecuada .....	93
Tabla N° 34: Precipitaciones máximas 24 horas de acuerdo al periodo de retorno .....	93
Tabla N° 35: Coeficiente de corrección de precipitaciones máximas en 24 horas .....	94
Tabla N° 36: Intensidad máxima de la estación Challaca .....	95
Tabla N° 37: Intensidad máxima de la estación Tacama .....	95
Tabla N° 38: Intensidad máxima de la estación San Juan de Huircapancha .....	96
Tabla N° 39: Intensidad máxima de la estación de Chocorvos .....	96
Tabla N° 40: Intensidad máxima de la estación Huamani .....	97
Tabla N° 41: Intensidad máxima de la estación Santa Rosa .....	97
Tabla N° 42: Intensidad máxima de la estación Tambo .....	98
Tabla N° 43: Valores m, n y k de las estaciones pluviométricas .....	98
Tabla N° 44: Intensidades máximas en mm/hr .....	99
Tabla N° 45: Intensidades máximas en mm/hr .....	99
Tabla N° 46: Intensidades máximas en mm/hr .....	100
Tabla N° 47: Intensidades máximas en mm/hr .....	100
Tabla N° 48: Intensidades máximas en mm/hr .....	101
Tabla N° 49: Intensidades máximas en mm/hr .....	101
Tabla N° 50: Intensidades máximas en mm/hr .....	102
Tabla N° 51: Elementos Hidrológicos del HEC-HMS .....	108
Tabla N° 52: Valores del número de curva de cada estación .....	109
Tabla N° 53: Valores de Abstracción inicial .....	110
Tabla N° 54: Valores del tiempo de retardo de cada estación .....	110
Tabla N° 55: Método de bloque alternos para estación del Tambo .....	111
Tabla N° 56: Método de bloque alternos para estación Challaca .....	111
Tabla N° 57: Método de bloque alternos para estación Chocorvos .....	112
Tabla N° 58: Método de bloque alternos para estación Huamani .....	112
Tabla N° 59: Método de bloque alternos para estación Tacama .....	113
Tabla N° 60: Método de bloque alternos para estación San Juan de Huircapancha .....	113
Tabla N° 61: Método de bloque alternos para estación Santa Rosa .....	114
Tabla N° 62: Resultados Obtenidos del software HEC-HMS .....	118
Tabla N° 63: Parámetros ingresados en el modelamiento hidráulico .....	120
Tabla N° 64: Recomendación práctica .....	121

Tabla N° 65: Tabla de Cowan para determinar coeficiente n.....	122
Tabla N° 66: Resultados de elementos hidráulicos .....	124
Tabla N° 67: Resultados de elementos hidráulicos .....	124
Tabla N° 68: Características hidráulicas para el tramo de estudio .....	128
Tabla N° 69: Características para diseño de gavión colchón.....	129
Tabla N° 70: Características generales de la estructura.....	130
Tabla N° 71: Características generales de la estructura.....	132
Tabla N° 72: Dimensión de los gaviones .....	134
Tabla N° 73: Resultados considerando el coeficiente con sismo y sin sismo .....	134
Tabla N° 74: Características generales .....	135
Tabla N° 75: Cálculo total del momento de vuelco.....	136
Tabla N° 76: Cálculo del momento residente total.....	137
Tabla N° 77: Cálculo del momento actuante total.....	139
Tabla N° 78: Características hidráulicas para el tramo de estudio .....	146
Tabla N° 79: Resultados de diseño para el muro de contención de concreto.....	146

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 1: Curva Hipsométrica .....	24
Figura N° 2: Curvas hipsométricas adimensional del ciclo de erosión .....	25
Figura N° 3: Polígono de Thiessen .....	34
Figura N° 4: Isoyetas .....	35
Figura N° 5: Hietograma de precipitación .....	42
Figura N° 6: Curva masa de precipitación.....	43
Figura N° 7: Velocidad crítica en función del D50 .....	59
Figura N° 8: Relación del coeficiente eficaz de Shields y parámetro de deformación ..	61
Figura N° 9: Curvas Hipsométricas .....	82
Figura N° 10: Polígono de frecuencias de áreas parciales.....	83
Figura N° 11: Altitud de la cuenca del río Ica .....	84
Figura N° 12: Pendientes en la cuenca del río Ica .....	85
Figura N° 13: Orden de cauces del río Ica.....	87
Figura N° 14: Perfil del río Ica. ....	88
Figura N° 15: Curva IDF para un periodo de retorno de 140 años.....	102
Figura N° 16: Curva IDF para un periodo de retorno de 140 años.....	103
Figura N° 17: Curva IDF para un periodo de retorno de 140 años.....	103
Figura N° 18: Curva IDF para un periodo de retorno de 140 años.....	104
Figura N° 19: Curva IDF para un periodo de retorno de 140 años.....	104
Figura N° 20: Curva IDF para un periodo de retorno de 140 años.....	105
Figura N° 21: Curva IDF para un periodo de retorno de 140 años.....	105
Figura N° 22: Esquema de la modelación en Basin Model .....	107
Figura N° 23: Hietograma del software HEC-HMS, para cada una de las estaciones pluviométricas.....	115
Figura N° 24: Hietograma del software Hec-Hms, para cada una de las estaciones pluviométricas.....	116
Figura N° 25: Los siete modelos meteorológicos creados.....	117
Figura N° 26: Grafico de descarga máxima con respecto al tiempo .....	118
Figura N° 27: Características del gavión colchón en la sección más crítica del tramo de estudio.....	130
Figura N° 28: Características geométricas del gavión caja .....	135

Figura N° 29:Predimensionamiento del muro de contención caja .....	137
Figura N° 30:Características del muro de contención en la sección más crítica del tramo de estudio .....	147
Figura N° 31: Presupuesto muro de gavión colchón .....	148
Figura N° 32: Presupuesto muro de gavión caja.....	149
Figura N° 33: Presupuesto muro de contención .....	150

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración N° 1: Ubicación del tramo de estudio.....	6
Ilustración N° 2: Mapa geológica del territorio peruano .....	15
Ilustración N° 3: Ciclo Hidrológico del agua .....	16
Ilustración N° 4: División de una cuenca hidrográfica.....	17
Ilustración N° 5: Componentes en una cuenca .....	17
Ilustración N° 6: Niveles del fondo del cauce en el río San Juan UTAH.....	51
Ilustración N° 7: Gavión Tipo Colchón.....	56
Ilustración N° 8: Gavión Tipo Caja .....	63
Ilustración N° 9: Mapa de zonas sísmicas del Perú .....	64
Ilustración N° 10: Mapa de isoaceleraciones del Perú .....	65
Ilustración N° 11: Mapa de Ubicación geográfica.....	77
Ilustración N° 12: Delimitación de la cuenca del río Ica.....	79
Ilustración N° 13: Vista en planta del modelo hidráulico del río Ica .....	119

## RESUMEN

La presente investigación consistió en realizar un análisis comparativo de defensas ribereñas para la mitigación de inundaciones del río Ica con el fin de proponer el sistema de defensa ribereña más adecuado, para evitar pérdidas de vidas humanas, viviendas y zonas de cultivos.

Se desarrolló esta investigación utilizando herramientas de información del expediente técnico “Control de desbordes e inundaciones en el río Ica y quebrada Cansas/Chanchajalla”, de la carta nacional de geología y de la página web del SENAMHI. Se utilizaron criterios empíricos, hojas de cálculo, normas técnicas vigentes nacionales y software profesionales.

Para el cálculo del caudal se realizó el modelamiento hidrológico en el software HEC-HMS, el cual nos da un caudal de diseño de  $771.90 \text{ m}^3/\text{s}$ . Este caudal es para un período de retorno de 140 años. Luego que se obtuvo el caudal usamos el software HEC-RAS; el cual nos dio una velocidad máxima de  $5.05 \text{ m/s}$ , un tirante de  $4.82 \text{ m}$  y el número de Froude menor a 1, lo cual nos indica que es un flujo subcrítico.

Se analizó los tres sistemas mediante aspectos técnicos y económicos, concluyendo que la defensa ribereña más adecuada es la de muro gavión con relleno de material de préstamo para la plataforma, con dos tipos de medidas de  $5 \times 1.5 \times 1 \text{ m}$  y  $5 \times 1 \times 1 \text{ m}$ , altura del muro  $4.20 \text{ m}$ , longitud del colchón de  $4 \text{ m}$ , espesor del colchón de  $0.30 \text{ m}$ , profundidad de socavación de  $2.43 \text{ m}$  y borde libre de  $1 \text{ m}$ . Siendo el costo de S/.  $52,040.849.04$ .

**Palabras clave:** Estudio hidrológico, precipitación, caudal de diseño, defensa ribereña.

## ABSTRACT

The present investigation consisted of carrying out a comparative analysis of riverine defenses for the mitigation of floods of the Ica river in order to propose the most adequate riverine defense system, to avoid loss of human life, homes and areas of crops.

The technical file "Control of overflows and floods in the Ica river and Cansas/Chanchajalla stream", from the national geology chart and from the SENAMHI website. Empirical criteria, spreadsheets, current national technical standards and professional software were used.

For the calculation of the flow, the hydrological modeling was carried out in the HEC-HMS software, which gives us a design flow of 771.90 m<sup>3</sup>/s. This flow is for a return period of 140 years. After the flow was obtained, we used the HEC-RAS software; which gave us a maximum velocity of 5.05 m/s, a tension of 4.82 m and the Froude number less than 1, which indicates that it is a subcritical flow.

The three systems were analyzed through technical and economic aspects, concluding that the most appropriate riparian defense is that of a gabion wall filled with loan material for the platform, with two types of measures of 5x1.5x1m and 5x1x1m, wall height 4.20 m, mattress length 4 m, mattress thickness 0.30 m, scour depth of 2.43 m and free edge of 1 m. Being the cost of S / . 52,040.849.04.

**Keywords:** Hydrological study, precipitation, design flow, riparian defense.

## INTRODUCCIÓN

Esta tesis, Análisis comparativo de defensas ribereñas para la mitigación de inundaciones del río Ica; tiene por finalidad proponer un sistema de defensas ribereñas, pensando principalmente en el riesgo permanente que corren los pobladores ante inundaciones que puede producir las crecidas del río Ica. Por lo tanto, se plantean tres tipos de defensas ribereñas para encontrar la más adecuada; para que así de solución al problema de inundación que se puede presentar en esta zona de estudio.

En el Capítulo I, Planteamiento del problema, analizamos el problema que se presenta en la zona de estudio; se formuló la problemática, importancia y justificación de estudio, delimitación de estudio y se plantean los objetivos.

En el Capítulo II, Marco Teórico, se presenta una recopilación de información para el desarrollo de la investigación, tales como: los antecedentes, las teorías científicas y las normas del ministerio de Transporte y comunicación para luego poder plantear las variables de la investigación.

En el Capítulo III, Marco metodológico, se presenta el tipo, método, población de estudio, muestra, técnicas e instrumentos de investigación y recolección de datos.

En el Capítulo IV, Resultados, se presenta las alternativas de solución de defensas ribereñas y se define las soluciones de ingeniería que se aplicaran en este tramo de estudio.

Las conclusiones, recomendaciones y anexos que hemos encontrado en el transcurso de la investigación.

## **CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

### **1.1 Descripción del Problema**

Las inundaciones producidas por el río Ica ocurren en épocas de precipitación en la región de Huancavelica y por el fenómeno del Niño, estos acontecimientos ocasionaron el aumento del caudal en forma abrupta hasta en un 309.3% con respecto al caudal promedio, provocando a su vez el desbordamiento del río ocasionando las inundaciones en las áreas agrícolas, viviendas aledañas al río, daños de infraestructuras, crisis económicas, etc. Esto sucede debido a que la población no está preparada para afrontar este desastre natural, y menos aún, si no disponen de defensas ribereñas que ayuden a mitigar las inundaciones con lo cual se reducirá la vulnerabilidad de la población.

En la provincia de Ica, entre el distrito de Santiago y Ocucaje, departamento de Ica se extiende el valle de Ica que es regado por el río Ica. Este río es de suma importancia ya que al producir inundaciones dañaría al valle de Ica. Según el INGEMMET, que realiza investigaciones sobre los recursos hidrogeológicos del país, señala:

"En los últimos años, un gran porcentaje de producción agrícola y exportaciones que produce el país provienen del Valle de Ica" (Peña, 2010).

En la actualidad existen instituciones dedicadas a investigar todo lo relacionado a inundaciones producidas por ríos y de las características de sus caudales.

Para efectuar este tipo de estudios se necesitan usar softwares que modelen todo el recorrido del río, desde el aumento del caudal hasta las inundaciones que se producen en las distintas poblaciones cercanas a este. Para esto se necesita realizar estudios topográficos, geológicos-geotecnia, hidrológicos e hidráulica fluvial.

La empresa MACCAFERRI, que trabaja particularmente en protección de ríos, señala:

La defensa ribereña es aquella estructura construida dentro del cauce de un río, cuya finalidad sea proteger los márgenes contra erosiones, recuperar terrenos ribereños, controlar el transporte de sólidos, en causar, corregir o controlar el curso natural del agua, etc.

Debido el riesgo de inundación del río Ica a las poblaciones aledañas, se considera de gran importancia el análisis comparativo de defensas ribereñas con el fin de indicar el más adecuado para su construcción.

## 1.2 Formulación del Problema

### 1.2.1 Problema General

a) ¿Cuál es el proceso para el análisis comparativo de las defensas ribereñas para la mitigación de inundaciones del río Ica?

### 1.2.2 Problemas Específicos

a) ¿Cuáles son las características topográficas y geológicas en el tramo de estudio?

b) ¿Cuáles son los parámetros hidrológicos e hidráulicos del río Ica?

c) ¿Cómo simular el comportamiento del río Ica en un tramo de 17,7 km?

d) ¿Cómo diseñar los elementos estructurales de defensas ribereñas: ¿gaviones colchón, gaviones caja y muro de contención de concreto?

## 1.3 Importancia y Justificación del Estudio

### 1.3.1 Importancia

Debido a la problemática mencionada anteriormente, hace muchos años atrás han surgido varias inundaciones ocasionadas por el río Ica, la cual ha ocasionado muchas pérdidas; tanto de vidas humanas, infraestructuras y perdidas de zonas agrícolas.

En el tramo de estudio se encuentran los distritos de Santiago y Ocucaje, entre estos distritos podemos encontrar centros poblados y el Valle de Ica.

Según Ismael Muñoz, en su artículo Agro exportación y sobreexplotación del acuífero de Ica en Perú, señala:

Actualmente el espárrago es el principal producto de exportación del valle de Ica. Se caracteriza por un alto requerimiento de agua, aproximadamente 15000 m<sup>3</sup> por hectárea. La producción ha pasado de 49292 toneladas a 144 420 toneladas entre 2000 y 2011, según fuentes del Minag. Tomando en cuenta la producción total de espárrago en el país, la región Ica ha alcanzado el 37% de la producción total en el 2011.

En el 2009, el Perú se situaba como el principal país exportador mundial de espárragos: su participación bordeaba el 20% del mercado mundial.

Todos estos datos indican que la demanda internacional es uno de los principales determinantes de la producción de los principales productos del valle de Ica. En el caso del espárrago, la vid y el tomate, dados los altos requerimientos de agua subterránea que poseen para su cultivo y que genere un producto de alta calidad, la existencia del acuífero de Ica y Villacurí ha sido fundamental para alcanzar el éxito de producción agroexportadora en los años 2000, teniendo como destinos a decenas de países en el mundo (FAO, 2012).

Según Mauricio Agulo, en su artículo El Valle de Ica (Perú) apuesta por una agroindustria conectada y digital, señala:

Ica es el sexto departamento más importante en términos de PIB de Perú, y la segunda región más importante en términos de PIB per cápita, debido a la exportación de espárragos, uva y aguacate.

La región agrupa el 15.2% de las agroexportaciones del país a través de un corredor logístico de 500km que conecta las diferentes zonas de cultivo del departamento con el puerto y aeropuerto del Callao.

Para evitar estos problemas que afectarían la inundación, es de suma importancia plantear proyectos de defensas ribereñas. Al concluir la investigación se determinará cual será la defensa ribereña que mejor protección dará al valle de Ica, así como también conocer sus dimensiones y el material a usarse.

### 1.3.2 Justificación del estudio

Esta investigación se ubica en la región de Ica, ubicada geográficamente en la costa; pero para determinar los estudios hidrológicos se necesitará hallar datos de toda la cuenca del río Ica, la cual se encuentra ubicada entre el departamento de Ica y Huancavelica la cual abarca la región natural de la costa y la sierra, de una altitud de 0 a 4653.64 m.s.n.m. El tramo de estudio presenta un relieve suave debido a que presenta pendientes que van de 0 a 5 %. La investigación tiene como objetivo, proporcionar la defensa ribereña más adecuada para poder disminuir la vulnerabilidad del centro poblado ubicadas alrededor del río, áreas agrícolas del valle de Ica, infraestructuras, etc.

La caracterización hidrológica es importante para el diseño de defensas ribereñas. Además, es necesario de conocer el caudal, velocidad y tirante del río Ica en tiempo de crecidas para así poder escoger la defensa ribereña más adecuada.

Esta investigación permitirá producir diseños de defensas ribereñas para zonas ubicadas alrededor del río Ica debido a que se trabajó con precipitaciones que se produjeron alrededor de los años; la cual nos da un caudal óptimo para poder diseñar este tipo de defensas ribereñas.

En el ámbito académico esta investigación de defensas ribereñas servirá de referencias para futuras investigaciones, considerando los métodos usados para determinar el cálculo del caudal del río; como también los softwares a usarse para un adecuado modelamiento.

#### 1.4 Delimitación del estudio

##### 1.4.1 Delimitación temporal

Los datos que se obtendrán para realizar esta investigación se encuentran entre el año 1972 al 2019.

##### 1.4.2 Delimitación espacial

La ubicación de la investigación se encuentra entre el puente colgante de Santiago y el Puente Ocucaje, Provincia Ica, departamento de Ica como se muestra en la Ilustración N° 1. Esta ubicación corresponde al sistema de coordenadas UTM y son las siguientes:

Las coordenadas del puente colgante de Santiago:

8 428 528, 64N; 421 988, 9E

Las coordenadas del puente Ocucaje:

8 413 974, 67N; 425 921, 64E



Ilustración N° 1: Ubicación del tramo de estudio

Fuente: Elaboración propia en Google Earth PRO

#### 1.4.3 Delimitación de la temática

La delimitación temática corresponde a la comparación de las defensas ribereñas, para saber cuál de estas, es la más adecuada para que resista al aumento del caudal del río Ica. La cual se generan en las épocas de precipitación de la región Huancavelica y por el fenómeno del Niño.

Dada la dificultad de conseguir la topografía del terreno de estudio se optó por obtener información del Google Earth.

Para los datos de precipitación se optó por obtener información del SENAMHI ya que cuenta con estaciones pluviométricas cerca al lugar de estudio.

Dada la dificultad de conseguir el tipo de suelo del terreno optamos por sacar información del Expediente Técnico “Control de desbordes e inundaciones en el río Ica quebrada Cansas/Chanchajalla”.

#### 1.5 Objetivos de la investigación

##### 1.5.1 Objetivo general

- a) Realizar el análisis comparativo de defensas ribereñas para la mitigación de inundaciones del río Ica.

##### 1.5.2 Objetivos específicos

- a) Analizar las características topográficas y geológicas en el tramo de estudio.

- b) Determinar los parámetros hidrológicos e hidráulicos fundamentales del río Ica.
- c) Simular el comportamiento del río Ica en un tramo de 17,7 km.
- d) Diseñar los elementos estructurales de defensas ribereñas: gavión colchón, gavión caja y muro de contención de concreto.

## CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

### 2.1 Marco histórico

El Perú está ubicado por su geográfica en un clima tropical, pero por la influencia de la Cordillera de los Andes y por la Corriente Peruana de Humboldt, este es variado. Teniendo tres regiones: la costa, la sierra y la selva.

Las inundaciones en el Perú se dan cada año, causados por la región Sierra ya que tienen dos estaciones bien marcadas siendo una época seca y la otra de fuertes lluvias, también agregamos el fenómeno del niño como un factor más que como resultado hacen que los caudales de los ríos que bajan aumenten su magnitud ocasionando desbordes e inundaciones en las tres regiones (ANA, 2017).

Las obras de protección de defensas ribereñas son: descolmatación de cauce, muros de contención de concreto, muros de gaviones, gavión caja, diques enrocados, encauzamientos, etc. Los muros de gaviones se han estado desarrollando hace varios años atrás en el Perú como unas alternativas con un buen desempeño ante los desbordes de los ríos.

La obra más antigua de gaviones fue encontrada en la ciudad de Caral, en el valle del río Supe al norte de Lima, Perú. Siendo estos trabajados en mallas trenzadas de fibra natural con relleno de piedras, llamados “shicras”. Estas ruinas son datadas en 2627 A.C, época contemporánea a la civilización egipcia (las pirámides de Egipto datan de 2600-2480 a.C.). Se encontraron menciones del uso de manufacturados similares a los gaviones modernos en el alto río Nilo. Hay también alusión al uso de gaviones en obras civiles en Europa durante la Edad Media y el Renacimiento. Su uso es mencionado asimismo en el siglo XIX, usados para defensivos militares. En los años 1892 y 1893 en Italia el gavión metálico, fue usado en la primera obra de gran porte la recuperación de la margen izquierda del río Reno en Casalecchio, cerca de la ciudad de Bologna, Italia. A partir de esta obra empezó la difusión del gavión, hasta llegar a la primera patente (Fracassi, 2019, p.7-8).

## 2.2 Investigaciones relacionadas con el tema

### 2.2.1 Antecedentes internacionales

Fracassi, (2019) en su libro sobre “defensas ribereñas con gaviones y geosintéticos”. Menciona algunas de las soluciones para la estabilización y protección contra la erosión y control de las crecidas en cursos de agua. Defensas ribereñas con gaviones y geosintéticos explica las características de estas obras, los problemas que pueden ser solucionados con ellas y la forma de dimensionarlas.

Nos muestra proyectos reales de estructuras con gaviones aplicados con sus respectivas soluciones. Sin embargo, no considera dentro de sus soluciones a los muros de concreto porque este libro se basa solamente en los sistemas que brinda la empresa Maccaferri.

Soto, (2017) realizó una investigación sobre el “Presupuesto para muro de gavión a gravedad - para protección de la ribera del río Magdalena en el corregimiento de puerto Bogotá Municipio de Guaduas Cundinamarca”. Tesis profesional: Universidad Católica de Colombia. Tiene como objetivo principal hacer el presupuesto para la reconstrucción, protección y preservación del talud de la calle del corregimiento de Puerto Bogotá contra la erosión que ha causado estragos en dicha vía. El tipo de investigación que realizó el autor fue de alcance descriptiva (diseño). Como resultado obtuvo una propuesta que será llevada a la entidad pública del lugar, siendo este viable desde el punto de vista técnico. Sin embargo, no hicieron estudio de suelos. No obstante, les fue facilitado por una firma constructora.

Sandoval, (2015) realizó una tesis titulada “Estudio del riesgo por erosión hídrica del suelo utilizando el modelo U.S.L.E, mediante herramientas S.I.G, aplicado en la subcuenca río Portoviejo, provincia de Manabí”, para optar por el grado de Magister en sistemas de información geográfica, aplicada a la conservación y el desarrollo sostenible en la Universidad Central del Ecuador. El objetivo principal es determinar las áreas erosionadas de los suelos en la subcuenca del río Portoviejo mediante la aplicación del modelo de ecuación universal de pérdida de suelo. El tipo de

investigación que realizó el autor es analítico – descriptivo. Se concluye que el estudio de esta tesis es obtener resultados de erosión hídrica, teniendo como resultado que entre los años 2001 al 2010 ha sido muy reducida según los calculos obtenidos. Sin embargo los datos obtenidos son aproximaciones para la mitigación y conservación de la subcuenca río Portoviejo.

Linco, (2015) realizó una tesis titulada “Diseño de defensas fluviales río cruces en San José de la Mariquina”, para optar por el grado de Ingeniero Civil en la Universidad Austral de Chile. El objetivo principal es de proponer cuatro alternativas de defensas para luego escoger aquella que en menor forma alterará los parámetros hidráulicos respecto a lo que enfrentaría el río Cruces en San José de la Mariquina. El tipo de investigación que realizó el autor fue de alcance descriptiva (diseño). Cada alternativa se modeló con el software HEC-RAS, comparando y analizando los resultados se optó por la alternativa número cuatro. Para luego, diseñar dos tipos de defensas, con coraza de enrocado (diámetro nominal entre 400 y 500 mm y peso de 200 kg) y conglomerado fluvial ( $D_{25\%}=21$  mm), cumpliendo con los objetivos establecidos de proporcionar protección a las obras y bienes afectados. Sin embargo, no hacen un estudio que disminuya los riesgos que se vería enfrentado el viaducto a causa de obstrucciones de materiales durante crecidas del río Cruces.

Melgara & Rayo, (2015) realizaron una investigación sobre el “Diseño de muros de contención para la protección de la población ribereña del barrio Boris Vega en la Quebrada el Zapote, en la ciudad de Estelí”. Tesis profesional: Universidad Nacional de Ingeniería de Nicaragua. El objetivo general de la investigación es diseñar muros de contención para la protección de la población frente a inundaciones en el curso de la Quebrada el Zapote a su paso por el barrio Boris Vega. El tipo de investigación que realizó el autor fue de alcance descriptiva (diseño). Para mejorar esta situación se han diseñado muros de contención de concreto ciclópeo como defensas ribereñas. Se concluye que los investigadores demuestran, que el diseño propuesto es eficiente ante desbordamientos y ofrece mayor seguridad a sus pobladores aledaños.

Buitrago & Ochoa, (2013) realizaron una tesis titulada “Recomendaciones para la implementación de obras de protección y control de cauces”, para optar por el grado de Ingeniero Civil en la Universidad Católica de Colombia. El objetivo principal es formular recomendaciones para implementación de obras de protección y control de cauces con soluciones sencillas y técnicas correctas. Una investigación de tipo no experimental con diseño explicativo y alcance descriptivo. Las metodologías expuestas en este documento para la implementación de obras de protección dan a conocer los componentes básicos de un cauce como son los sedimentos, vegetación y erosión. Se concluye que los investigadores hacen un exhaustivo estudio de diferentes sistemas de protección ante inundaciones. No obstante, no mencionan sobre el estudio de sistema de muros de contención.

#### 2.2.2 Antecedentes nacionales

Prado, (2019) realizó una tesis titulada “Control de erosión fluvial utilizando geobolsas en el sector Oidor – Margen izquierda del río Tumbes” para optar el grado académico de Magister en Ingeniería Hidráulica en la Universidad Nacional Pedro Ruis Gallo. El objetivo general de la investigación es contribuir una alternativa de solución a fin de controlar la erosión fluvial utilizando geobolsas en el sector Oidor margen izquierda del río Tumbes. El tipo de investigación que realizó el autor es de alcance descriptiva (diseño). Los resultados obtenidos de la presente tesis considera dos tipos de revestimiento en su talud mojado por una longitud de 3 km, siendo el de dique enrocado y geobolsas, demostrando que las geobolsas son más económicas que el dique de enrocado. Se concluye que el investigador demuestra que la alternativa de solución para el control de erosión fluvial es económicamente rentable para este tipo de proyectos. Sin embargo, esta tesis se basa en el control de erosión, más no en control de inundación.

Urteaga, (2019) realizó una investigación sobre el “Análisis Comparativo de Soluciones de Defensa Ribereña para el Puente Tahuamanu - Madre de Dios: Sistema de gaviones y Geo estructuras”. Tesis profesional: Pontificia Universidad Católica del Perú. Tuvo como objetivo principal

el desarrollo de nuevas alternativas de defensa ribereña con un sistema de gaviones y geo estructuras. El tipo de investigación que realizó el autor es de alcance descriptiva (diseño). El resultado después de un pre-dimensionamiento, análisis de estabilidad y una evaluación económica. Se obtiene, que la solución más técnica y económicamente viable es la implementación de un sistema de defensa ribereña con geo estructuras. Este sistema otorga mayor seguridad al talud ante problemas de socavación y erosión por efecto de los caudales del río Tahuamanu. Sin embargo, podría sugerir el investigador otras alternativas de defensas ribereñas como comparativos ante los ya mencionados.

Tabori, (2019) realizó una investigación sobre la “Construcción de defensa ribereña del río Supe ante posibles desastres naturales”. Tesis profesional: Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión. Tuvo como objetivo principal realizar la construcción de la defensa ribereña del río Supe ante posibles desastres naturales en el año 2018. El tipo de investigación es aplicada con diseño descriptivo. Se concluye que la defensa ribereña del río Supe es favorable para el control de efectos ante posibles desastres naturales. Sin embargo, esta investigación necesita realizar exhaustivos análisis de las defensas ribereñas y sus causas en la ciudad de Supe.

Zevallos, (2015) realizó una tesis titulada “Diseño de la defensa ribereña para el balneario turístico Cocalmayo, ubicado en la margen izquierda del río Urubama” para optar el grado académico de Magister en Ingeniería Civil en la Universidad de Piura. Tuvo como objetivo principal realizar el cálculo y elaborar el diseño del sistema de protección ribereña aplicado al tramo del río Urubamba, ubicado entre la quebrada Cocalmayo – quebrada Huillcar. El tipo de investigación que realizó es de alcance descriptiva (diseño). Los principales resultados obtenidos son de un sistema mixto de enrocado con gaviones tipo colchón que constituyen una solución flexible, presenta mejor relación técnica – económica. Sin embargo, el estudio de sistemas de defensa ribereña de la presente tesis inicio sin ninguna información disponible, porque no existen estudios similares en la zona de estudio.

Maceda, (2015) realizó un tesis titulada “Evaluación del uso de geosintéticos para el control de la erosión hídrica en la margen izquierda del río Zarumilla – Tumbes” para optar por el grado de Doctor en Ciencias e Ingeniería en la Universidad Nacional de Trujillo. Tuvo como objetivo principal analizar y validar el uso de materiales geosintéticos, para diseñar estructuras de protección ribereña a través de las geoceldas, rellenas con mortero cemento – agua; demostrando que si cumplen con su comportamiento estructural, mecánico e hidráulico. El tipo de investigación que realizo es de alcance descriptiva (diseño). Se concluye que el presente estudio servirá para seguir con el estudio y análisis en lo referente a estabilización de taludes ribereños. Sin embargo, esta tesis se basa en el control de erosión, más no en control de inundación.

Flores, (2015) realizó una tesis titulada “Propuesta y análisis de diseño de defensas ribereñas en el río Ilave zona rural C.P. Santa Rosa de Huayllata – Ilave” para optar el grado de Ingeniero Civil en la Universidad Nacional del Altiplano. Tuvo como objetivo elaborar el diseño de la infraestructura de defensas ribereñas, como una solución ante la constante crecida del río Ilave. El tipo de investigación que realizo es de alcance descriptiva (diseño). Se concluye que la construcción de defensas ribereñas es necesario ante riesgos de inundaciones. Siendo la más eficiente los diques de tierra con enrocado de revestimiento, ofreciendo mayor seguridad a los habitantes de la zona. No obstante, tuvieron limitaciones con el estudio de suelos. Siendo posible solo ocho calicatas en total.

## 2.3 Estructura teórica y científica que sustenta el estudio

### 2.3.1 Topografía

Los estudios topográficos son elementales, nos brinda el alcance para obtener planos, perfiles longitudinales y las secciones. Para así, hacer reconocimiento de los puntos vulnerables y críticos en todo el trayecto de estudio. El trabajo elaborado por un topógrafo es previo al inicio de un proyecto, contar con un buen levantamiento planimétrico – altimétrico o tridimensional previo al terreno y de hechos ya existentes de elementos fijos o móviles al suelo, en el replanteo se ubica los límites de la obra, los ejes desde los cuales se miden los elementos establecidos

los niveles o la altura de referencia, así poder avanzar la obra con la precisión establecida (MEF, 2006).

- Trabajos en campo

Implica toda la recolección de datos obtenidos en el reconocimiento visual en campo, se elabora puntos estratégicos para definir el levantamiento topográfico.

- Trabajos en gabinete

Al término del trabajo en campo se inicia los trabajos de elaboración en Excel, AutoCAD, AutoCAD Civil para terminar definiendo la topografía del terreno.

### 2.3.2 Geología

Los estudios geológicos se basan en darnos las características geomorfológicas del suelo, y así poder observar cómo está formado el tramo a estudiar. Con ayuda de los estudios topográficos podemos obtener la geología del terreno. Los estudios geológicos tienen como objetivo analizar los riesgos de ocurrencia de procesos geológicos – geodinámicos regionales, tales como: inundaciones, erosiones, sedimentaciones, colmataciones, estabilidad de taludes naturales, deslizamientos, zonas inestables y otros que pudieran significar peligro durante el proceso de construcción y la vida útil de las obras (Ica, 2015).

La geología estudia los mecanismos, fenómenos y características geológicas que influyen en la relación entre el hombre y el medio que lo rodea. Estudios que contribuyan sustancial y adecuadamente en la planificación del uso del territorio, en este caso para la Zonificación Ecológica Económica y los planes de Ordenamiento Territorial (Carlotto, Fidel, & Chirif, 2012).

- Trabajos en campo

Los trabajos en campo implican la verificación del mapeo geológico, la base de apoyo son los mapas geológicos del INGEMMET.

- Trabajos en Gabinete

Es el proceso de información geológica y geotécnica que elaborara los planos y secciones del estudio que se realizó en campo, como se puede apreciar en la Ilustración N° 2.

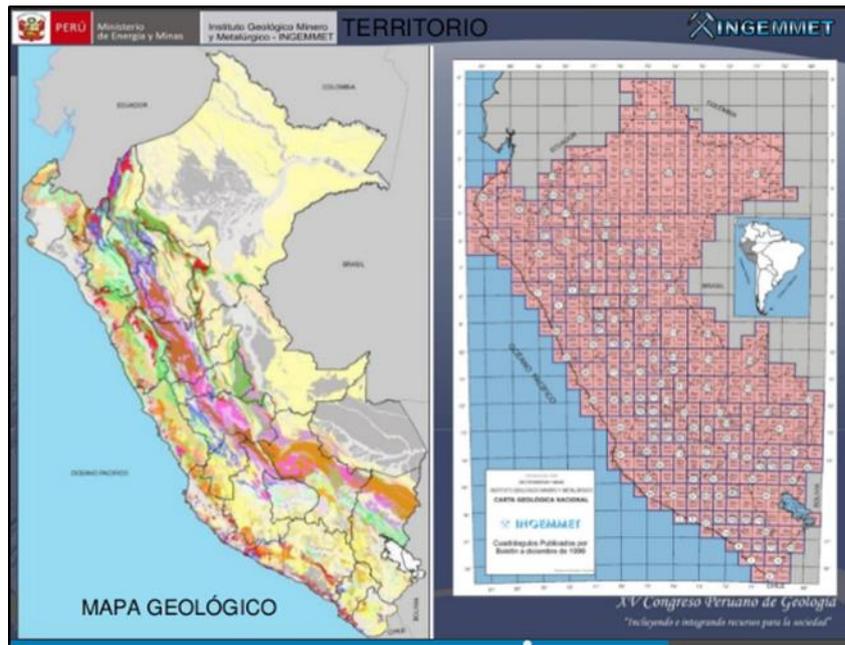


Ilustración N °2: Mapa geológica del territorio peruano

Fuente: Ministerio de Energía y Minas

### 2.3.3 Estudios Hidrológicos

La hidrología es una rama de las ciencias de la Tierra que estudia el agua, su ocurrencia, distribución, circulación, y propiedades físicas, químicas y mecánicas en los océanos, atmósfera y superficie terrestre. Esto incluye las precipitaciones, la escorrentía, la humedad del suelo, la evapotranspiración y el equilibrio de las masas glaciares (MINISTERIO DE COMUNICACIONES, 2020).

#### A. El ciclo hidrológico

El ciclo hidrológico, como ya se mencionó, se considera el concepto fundamental de la hidrología. Como todo ciclo, el hidrológico no tiene ni principio ni fin, y su descripción puede comenzar en cualquier punto. El agua que se encuentra sobre la superficie terrestre o muy cerca de ella se evapora bajo el efecto de la radiación solar y el viento. El vapor de agua, que así se forma, se eleva y se transporta por la atmósfera en forma de nubes hasta que se condensa y cae hacia la tierra en forma de precipitación. Durante su trayectoria hacia la superficie de la tierra, el agua precipitada puede volver a evaporarse o ser interceptada por las plantas o las construcciones, luego fluye por la superficie hasta las corrientes o se infiltra. El agua interceptada y una parte de la infiltración y de la que corre por la superficie se evapora nuevamente. Del agua infiltrada, una parte es

absorbida por las plantas y posteriormente es transpirada, casi en su totalidad, hacia la atmósfera y otra parte fluye bajo la superficie de la tierra hacia las corrientes, el mar u otros cuerpos de agua, o bien hacia zonas profundas del suelo (percolación) para ser almacenada como agua subterránea y después aflorar en manantiales, ríos o el mar (Mijares, 1989).

En la Ilustración N° 3 se muestra el ciclo hidrológico, que comprende los cambios de que presenta el agua en su estado sólido, líquido y gaseoso.

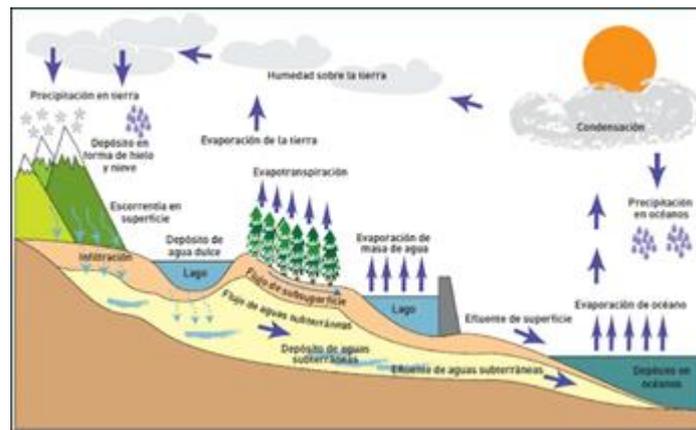


Ilustración N° 3: Ciclo Hidrológico del agua

Fuente: (ANA, 2017)

## B. La cuenca hidrológica

Una cuenca es una zona de la superficie terrestre en donde (si fuera impermeable) las gotas de lluvia que caen sobre ella tienden a ser drenadas por el sistema de corrientes hacia un mismo punto de salida. La definición anterior se refiere a una cuenca superficial; asociada a cada una de éstas existe también una cuenca subterránea, cuya forma en planta es semejante a la superficial. De ahí la aclaración de que la definición es válida si la superficie fuera impermeable. (Mijares, 1989)

Desde el punto de vista de su salida, existen fundamentalmente dos tipos de cuencas: endorreicas y exorreicas. En la primera el punto de salida está dentro de los límites de la cuenca y generalmente es un lago; en la segunda, el punto de salida se encuentra en los límites de la cuenca y está en otra corriente o en el mar. (Mijares, 1989). En la Ilustración N° 4 se muestran subcuencas y microcuencas. En la primera es un conjunto de microcuencas que drenan a un solo cauce con caudal fluctuante pero permanente; en la

segunda es toda área en la que su drenaje va a dar al cauce principal de una subcuenca. (Gálvez, 2011).

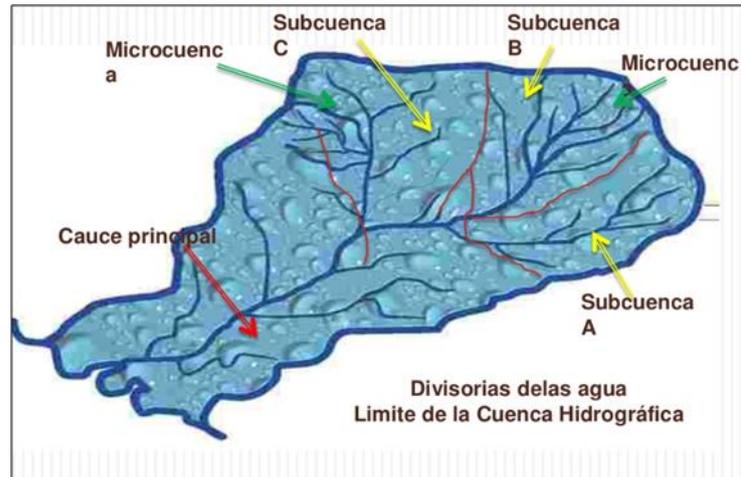


Ilustración N° 4: División de una cuenca hidrográfica

Fuente: Subcuencas y Microcuencas Hidrográficas

- Área de la cuenca

Es la superficie del terreno en las aguas de las precipitaciones que concurren a un mismo punto de evacuación a través de cauces secundarios o quebradas que se unen a un cauce principal. Las aguas de las precipitaciones, lagunas o glaciares que no han sido infiltradas por el suelo se denominan escorrentía superficial y se desplazan desde los puntos de mayor elevación hacia los puntos de menor elevación por efecto de la gravedad. Mientras que, las aguas que han sido infiltradas por el suelo se denominan escorrentía subterránea y discurren por su interior similarmente (Córdova, 2016).

En la Ilustración N° 5 se muestra el área de la cuenca, las líneas divisoras de aguas, corrientes tributarias y cauce principal.

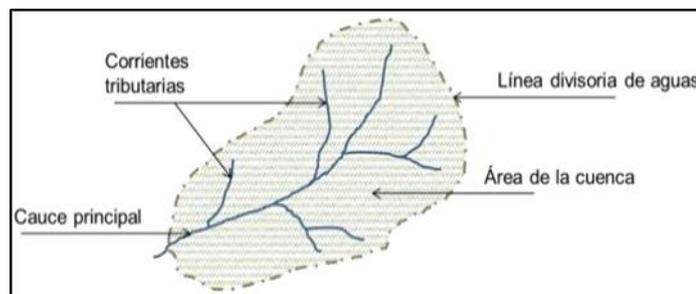


Ilustración N° 5: Componentes en una cuenca

Fuente: Parámetros geomorfológicos de cuencas hidrográficas

En la Tabla N° 1 se muestra la clasificación de la cuenca según su rango de área (km<sup>2</sup>), esta clasificación fue propuesta por D.F. Campos Aranda.

Tabla N° 1: Clasificación de cuenca

<b>Rangos de áreas (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Clasificación</b>
< 25	Microcuenca
25 a 250	Pequeñas
250 a 500	Intermedia - pequeña
500 a 2500	Intermedia - grande
2500 a 5000	Grande
> 5000	Muy grande

Fuente: Elaboración propia

- Longitud del cauce principal

Este parámetro suele coincidir con la longitud del cauce más largo, y es un criterio muy representativo de la longitud de una cuenca. Puede medirse considerando toda la sinuosidad del cauce o la longitud del eje del mismo (Córdova, 2016).

- Perímetro de la cuenca

Es la longitud de la línea divisoria de aguas y conforma el contorno del área de la cuenca. Cuando se compara cuencas de la misma área, este parámetro es útil para diferenciar la forma de la cuenca. Es decir, si es alargada o redondeada (Córdova, 2016).

### C. Parámetros geomorfológicos de la cuenca

#### a) Parámetros de forma

La forma de las cuencas fue analizada mediante tres índices que atienden a la relación del área con el cauce principal que la drena. Cada uno de estos índices toma una cuenca ideal como referencia (Mariana A. Camino, 2018).

- Índice de compacidad o índice de Gravelius

Establece la relación entre el perímetro de la cuenca y el perímetro de una circunferencia de área equivalente a la superficie de la cuenca correspondiente. Este índice representa la forma de la superficie de la cuenca, según su delimitación, y su influencia sobre los escurrimientos y el hidrograma resultante de una precipitación

(López & Minteguí, 1987). En la fórmula 1 se muestra el índice de compacidad de Gravelius, es la razón entre el perímetro de la cuenca y el área de la cuenca.

$$K_C = \frac{P_{\text{cuenca}}}{2\pi \left(\frac{A_{\text{cuenca}}}{\pi}\right)^{\frac{1}{2}}} \quad (1)$$

Dónde:

$K_C$  = Índice de compacidad.

$P$  = Perímetro de la cuenca (Km).

$A$  = Área de la cuenca (Km<sup>2</sup>).

Según Gaspari et al., 2012, un índice de compacidad cercano al valor 1 indica que la forma de la cuenca se asemeja a un círculo; por lo tanto, la peligrosidad de la cuenca a las crecidas es mayor, porque existe una equidistancia relativa de los puntos de la divisoria con respecto a uno central. Cuando estos valores se acercan progresivamente hasta 1.75, las cuencas tienden a ser alargadas. Valores superiores indican cuencas irregulares y con menor peligrosidad a las crecidas.

En la Tabla N° 2 se muestra la descripción de la cuenca según su rango de índice de compacidad según Gaspari et al., 2012.

Tabla N° 2: Rango de índice de compacidad

<b>Rango</b>	<b>Clasificación</b>
1 a 1.25	Forma casi redonda a oval - redonda
1.25 a 1.5	Forma oval redonda a oval - oblonga
1.5 a 1.75	Forma oval oblonga a rectangular oblonga
> 1.75	Rectangular

Fuente: Elaboración propia

- Factor de forma (Kf)

Este parámetro mide la tendencia de la cuenca hacia las crecidas, rápidas y muy intensas a lentas y sostenidas, según que su factor de

forma tienda hacia valores extremos grandes o pequeños, respectivamente. Es un parámetro adimensional que denota la forma redondeada o alargada de la cuenca (Mariana A. Camino, 2018).

En la fórmula 2 se muestra la fórmula de factor de forma, que expresa como el cociente entre el ancho promedio de la cuenca ya la longitud axial.

$$K_f = \frac{A}{L^2} \quad (2)$$

Dónde:

A = Área de la cuenca (Km<sup>2</sup>).

L = Longitud del cauce principal (Km).

En la Tabla N° 3 se muestran la forma de la cuenca según su factor de forma según Villón ,2002.

Tabla N° 3: Factor de forma

<b>Factor de forma</b>	<b>Forma de la cuenca</b>
Kf > 1	Redondeada
Kf < 1	Alargada

Fuente: Elaboración propia

- **Coefficiente de asimetría**

Es la relación del área de las vertientes, mayor Amayor y Amenor, las cuales son separadas por el cauce principal. Este índice evalúa la homogeneidad en la distribución de la red de drenaje, pues si se tiene un índice mucho mayor a 1 se observará sobre la cuenca que el río principal estará recargado a una de las vertientes, lo cual implica una heterogeneidad en la distribución de la red de drenaje, aumentando la descarga hídrica de la cuenca a esta vertiente, lo que incrementa en cierto grado los niveles erodabilidadpa a causa de los altos eventos de escorrentía superficial obtenidos (PAÍS, 2017).

En la fórmula 3 se muestra la fórmula de coeficiente de asimetría, que expresa que lado de cauce aporta más agua al cauce principal.

$$I_{AS} = \frac{A_{mayor}}{A_{menor}} \quad (3)$$

Dónde:

$I_{AS}$  = Índice asimétrico (adimensional).

$A_{mayor}$  = Vertiente mayor (Km<sup>2</sup>).

$A_{menor}$  = Vertiente menor (Km<sup>2</sup>).

- Rectángulo equivalente o rectángulo de Gravelius

El rectángulo equivalente es una transformación geométrica, que permite representar a la cuenca, de su forma heterogénea, con la forma de un rectángulo, que tiene la misma área y perímetro (mismo índice de compacidad), igual distribución de alturas (igual curva hipsométrica), e igual distribución de terreno, en cuanto a sus condiciones de cobertura. En este rectángulo, las curvas de nivel se convierten en rectas paralelas al lado menor, siendo estos lados, la primera y última curva de nivel (Mariana A. Camino, 2018).

El rectángulo equivalente es lógicamente una transformación puramente geométrica de la cuenca en un rectángulo de igual perímetro, las fórmulas se presentan en la fórmula 4 y 5.

$$L = \frac{K_C * \sqrt{A_C}}{1.128} \left[ 1 + \sqrt{1 - \left( \frac{1.128}{K_C} \right)^2} \right] \quad (4)$$

$$I = \frac{K_C * \sqrt{A_C}}{1.128} \left[ 1 - \sqrt{1 - \left( \frac{1.128}{K_C} \right)^2} \right] \quad (5)$$

Dónde:

$A_C$  = Área de la cuenca (Km<sup>2</sup>).

$P_C$  = Perímetro de la cuenca (Km).

L = Longitud del lado mayor del rectángulo (Km).

I = Longitud del lado menor del rectángulo (Km).

- Relación de elongación (Re)

Relación entre el diámetro de un círculo con igual área que la cuenca y la longitud máxima de la cuenca. Este parámetro explica la relación del área con el cauce principal que la drena. La fórmula 6 utilizada es la propuesta por Schumm (1956) (Mariana A. Camino, 2018).

$$R_e = 1.1284 * \frac{\sqrt{A_c}}{L_c} \quad (6)$$

Dónde:

$A_c$  = Área de la cuenca (Km<sup>2</sup>).

$L_c$  = Longitud del río principal (km).

$B$  = Anchura media de la cuenca (m).

En la Tabla N° 4 se muestra la razón de elongación de acuerdo a su valor si es menor a 1 es de forma alargada y si es mayor a 1 es de forma redondeada.

Tabla N° 4: Relación de elongación

<b>Rango</b>	<b>Clasificación</b>
$Re < 1 \rightarrow Lc > D$	Forma Alargada
$Re > 1 \rightarrow Lc < D$	Forma redondeada

Fuente: Elaboración propia

b) Parámetros de relieve

El relieve posee una incidencia más fuerte sobre la escorrentía que la forma, dado que a una mayor pendiente corresponderá un menor tiempo de concentración de las aguas en la red de drenaje y afluentes al curso principal. Es así como a una mayor pendiente corresponderá una menor duración de concentración de las aguas de escorrentía en la red de drenaje y afluentes al curso principal (OMAR, 2015).

- Pendiente de la cuenca

La pendiente es la variación de la inclinación de una cuenca; su determinación es importante para definir el comportamiento de la cuenca respecto al desplazamiento de las capas de suelo (erosión o sedimentación), puesto que, en zonas de altas pendientes, se presentan con mayor frecuencia los problemas de erosión mientras que en regiones planas aparecen principalmente problemas de drenaje y sedimentación (PAÍS, 2017).

De acuerdo con el uso del suelo y la red de drenaje, la pendiente influye en el comportamiento de la cuenca afectando directamente el escurrimiento de las aguas lluvias; esto es, en la magnitud y en el tiempo de formación de una creciente en el cauce principal. En cuencas de pendientes fuertes existe la tendencia a la generación de crecientes en los ríos en tiempos relativamente cortos; estas cuencas se conocen como torrenciales, igual que los ríos que las drenan (PAÍS, 2017).

En la Tabla N° 5 se muestra el tipo de relieve según su pendiente, con estos valores obtendremos valores de velocidad de escorrentía como así también las características de los hidrogramas. La clasificación de estos parámetros se realizó sobre la base de la propuesta por Ortiz Vera (2004).

Tabla N° 5: Tipo de relieve de la cuenca según su pendiente

<b>Pendiente (%)</b>	<b>Tipo de relieve</b>
0 - 3	Plano
3 - 7	Suave
7 - 12	Medianamente accidentado
12 - 20	Accidentado
20 - 35	Fuertemente accidentado
35 - 50	Muy fuertemente accidentado
50 - 75	Escarpado
> 75	Muy escarpado

Fuente: Elaboración propia

- Curva hipsométrica

La generación de la curva hipsométrica en un área fue sugerida por Langbein et al., (1947), para proporcionar información sintetizada sobre la altitud de la cuenca, que representa gráficamente la distribución de la cuenca vertiente por tramos de altura (Fernanda J. Gaspari, 2013).

En la Figura N° 1 se muestra la curva hipsométrica la cual nos permite establecer las áreas comprendidas entre diferentes cotas. Se indica la relación de superficie de ocupación según su cota.

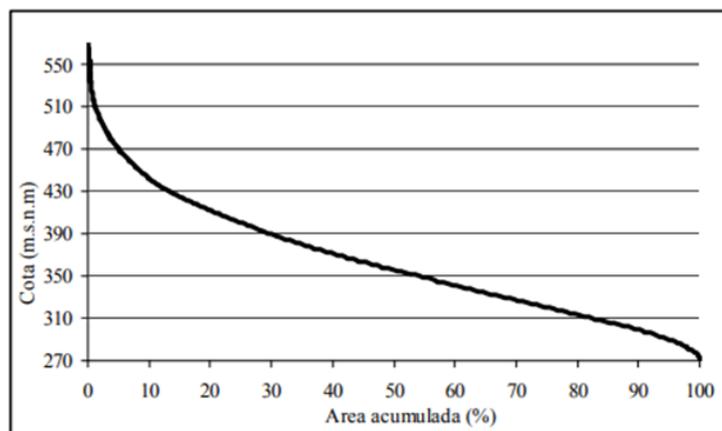


Figura N° 1: Curva Hipsométrica

Fuente: (Elementos metodológicos para el manejo de cuencas hidrográficas)

En la Figura N° 2 se muestra tres curvas hipsométricas, confeccionadas por Strahler. La curva superior (curva A) refleja una cuenca con un gran potencial erosivo; la curva intermedia (curva B) es característica de una cuenca en equilibrio; y la curva inferior (curva C) es típica de una cuenca sedimentaria. Las fases de la vida de los ríos quedarían representadas por: curva A que representa la fase de juventud, la curva B que indica la fase de madurez y la curva C que expresa la fase de vejez.

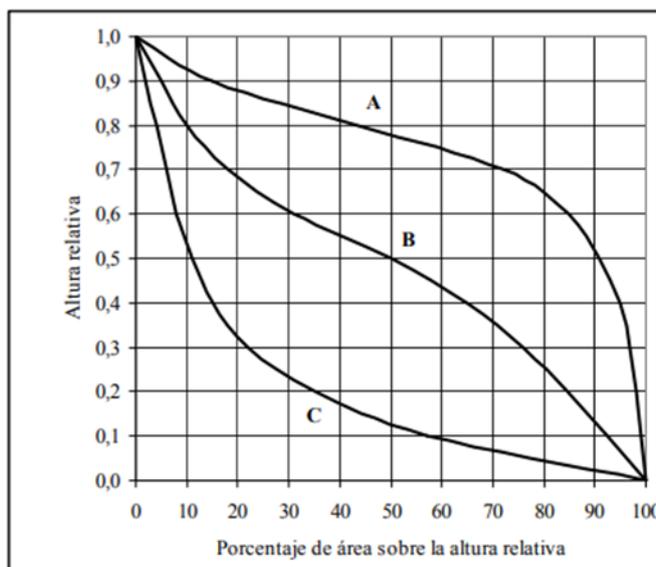


Figura N° 2: Curvas hipsométricas adimensional del ciclo de erosión

Fuente: (Elementos metodológicos para el manejo de cuencas hidrográficas)

- Polígono de frecuencia de altitudes

El diagrama del polígono de frecuencia de altitudes representa en el eje de las ordenadas, el porcentaje parcial del área de una cuenca en estudio y en el eje de las abscisas, las altitudes en metros sobre el nivel del mar comprendidas dentro de ese porcentaje. El polígono de frecuencias es un complemento de la curva de hipsométrica y permite determinar las altitudes más frecuentes en una cuenca a través del porcentaje más alto del diagrama (Córdova, 2016).

- Altitud media de la cuenca

Corresponde a la ordenada media de la curva hipsométrica, y su cálculo obedece a un promedio ponderado: elevación – área de la cuenca. Tiene importancia principalmente en zonas montañosas donde influye en el escurrimiento y en otros elementos que también afectan el régimen hidrológico, como el tipo de precipitación, la temperatura, etc (OMAR, 2015).

Para obtener la elevación media se aplica un método basada en la siguiente fórmula 7:

$$H_{\text{media}} = \frac{\sum h_i * S_i}{A} \quad (7)$$

Dónde:

$H_{\text{media}}$  = Altitud media de la cuenca (msnm).

$h_i$  = Altitud media de cada tramo de área contenido entre las curvas de nivel.

$S_i$  = Área contenida entre las curvas de nivel.

$A$  = Área total de la cuenca (Km<sup>2</sup>).

c) Parámetros de la red hidrográfica

Estas variables explican la configuración y el comportamiento del drenaje; asimismo aportan información de las características del sustrato y de las superficies de las cuencas, consecuentemente son parámetros relevantes para lograr una visión más exhaustiva de su comportamiento (Mariana A. Camino, 2018).

- Pendiente media del río principal

La velocidad de escorrentía superficial de los cursos de agua depende de la pendiente de sus cauces fluviales; así a mayor pendiente habrá mayor velocidad de escurrimiento. La pendiente media del río es un parámetro empleado para determinar la declividad de una corriente de agua entre dos puntos extremos (OMAR, 2015). La pendiente media del cauce principal, según Taylor y Schwartz es la relación entre la diferencia de alturas y la longitud del curso principal, la cual se plantea en la fórmula 8.

$$P_m = \frac{H_{\text{max}} - H_{\text{min}}}{L} * 100 \quad (8)$$

Dónde:

$P_m$  = Pendiente media del cauce principal (m/m).

$L$  = Longitud del cauce principal (km).

$H_{\text{max}}$  = Cota Máxima

$H_{\text{min}}$  = Cota Mínima

- Orden de la cuenca

Es aquel número que expresa el grado de ramificación de un sistema hidrográfico (Strahler, 1964). Según Horton (Campos, 1992) estableció el siguiente procedimiento para ordenar las corrientes:

Orden 1: pertenecen los afluentes sin ramificación.

Orden 2: pertenecen a los afluentes que reciben corrientes de orden 1.

Orden 3: pertenecen a los afluentes que reciben corrientes de orden 2; aunque pueden tomar corrientes de orden inferior y así sucesivamente, hasta concluir la clasificación en el cierre de cálculo de la cuenca.

- Densidad de drenaje

Es el parámetro que cuantifica el grado de desarrollo de un sistema hidrográfico y permite conocer su complejidad. Es la relación entre la longitud total (Lt) de los cursos de agua perennes, intermitentes y efímeros, de una cuenca y su propia área (A) (Horton, 1932, 1945), la cual se indica en la fórmula 9. A mayor densidad de drenaje, el tiempo de escorrentía es menor, por lo cual se considera como otro indicador de peligrosidad (Mariana A. Camino, 2018).

$$Dd = \frac{Lt}{A} \quad (9)$$

Dónde:

Lt = Longitud total

A = Área de la cuenca

En la Tabla N° 6 se muestra los parámetros para brindar información de la eficiencia del drenaje, las siguientes clasificaciones fueron propuestas por Fuentes Junco (2004) y Delgadillo y Paéz (2008).

Tabla N° 6: Clasificación de la red de drenaje de las cuencas

<b>Clasificación de la red de drenaje</b>			
Rangos (km/km <sup>2</sup> )	Clases	Rangos (km/km <sup>2</sup> )	Clases
Fuentes Junco (2004)		Delgadillo y Paéz (2008)	
0.1 - 1.8	Baja	< 1.0	Baja
1.9 - 3.6	Moderada	1.0 - 2.0	Moderada
3.7 - 5.6	Alta	2.0 - 3.0	Alta
		> 3.0	Muy Alta

Fuente: Elaboración propia

- Sinuosidad

Es la relación entre la longitud real del río (L) y la longitud de la línea recta que une el origen del cauce con el cierre de cálculo (Lo), la cual se puede expresar en la fórmula 10. Puede expresarse para toda su longitud del río, o por tramos del mismo, como se hace comúnmente en zonas llanas y onduladas (PAÍS, 2017).

$$\varphi = \frac{L_r}{L_o} \quad (10)$$

Dónde:

L<sub>r</sub> = Longitud real del río (km).

L<sub>o</sub> = Longitud de la línea recta que une el origen del cauce con el cierre (km).

Los modelos del cauce principal son:

1. Los cauces rectos son los que tienen  $\varphi < 1.25$
2. Los cauces sinuosos son los que tienen  $1.25 < \varphi < 1.50$
3. Los cauces con meandros son las corrientes que forman ondulaciones o lazos más o menos regulares. Se catalogan como cauces muy sinuosos  $\varphi > 1.50$

#### D. Tiempo de Concentración

Según el Manual de hidrología, hidráulica y drenaje propuesto por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones nos indica que el análisis de frecuencias tiene la finalidad de estimar precipitaciones, intensidades o

caudales máximos, según sea el caso, para diferentes períodos de retorno, mediante la aplicación de modelos probabilísticos, los cuales pueden ser discretos o continuos.

En la estadística existen diversas funciones de distribución de probabilidad teóricas; recomendando utilizar las siguientes fórmulas 11, 12, 13, 14 y 15.

- Fórmula de Kirpich

$$T_c = 0.01947 * L^{0.77} * S^{-0.385} \quad (11)$$

Dónde:

L = Máxima longitud del recorrido (m).

S = Pendiente del cauce principal (m/m).

Tc = Tiempo de concentración (minutos).

- Fórmula de Giandotti

$$T_c = \frac{4 * \sqrt{A} + 1.5 * L}{25.3 * \sqrt{S * L}} \quad (12)$$

Dónde:

L = Máxima longitud del recorrido (m).

S = Pendiente del cauce principal (m/m).

A = La superficie de la cuenca (km<sup>2</sup>).

Tc = Tiempo de concentración (minutos).

- Método de California Culverts Practice

$$T_c = 0.0195 * \left( \frac{L^3}{H} \right)^{0.385} \quad (13)$$

Dónde:

L = Longitud del curso de agua más largo (m).

H = Desnivel del curso principal de la cuenca (m).

- Método de Izzard

$$T_C = \frac{525 * (0.0000276 * i + c) * L^{0.33}}{S^{0.333} * i^{0.667}} \quad (14)$$

Dónde:

L = Longitud de la trayectoria de flujo (m).

i = Intensidad de lluvia (mm/h).

c = Coeficiente de retardo.

S = Pendiente de la trayectoria de flujo m/m.

- Método de ecuación de retardo SCS

$$T_C = \frac{0.0136 * L^{0.8} * \left(\frac{1000}{CN} - 9\right)^{0.7}}{S^{0.5}} \quad (15)$$

Dónde:

L = Longitud hidráulica de la cuenca mayor trayectoria de flujo (m)

CN = Número de curva SCS

S = Pendiente promedio de la cuenca m/m.

#### E. Período de retorno

El tiempo promedio, en años, en que el valor del caudal pico de una creciente determinada es igualado o superado una vez cada “T” años, se le denomina Período de Retorno “T”. Si se supone que los eventos anuales son independientes, es posible calcular la probabilidad de falla para una vida útil de n años. Para adoptar el período de retorno a utilizar en el diseño (Comunicaciones, 2012).

El criterio de riesgo es la fijación, a priori, del riesgo que se desea asumir por el caso de que la obra llegase a fallar dentro de su tiempo de vida útil, lo cual implica que no ocurra un evento de magnitud superior a la utilizada en el diseño durante el primer año, durante el segundo, y así sucesivamente para cada uno de los años de vida de la obra (Comunicaciones, 2012).

El riesgo de falla admisible en función del período de retorno y vida útil de la obra está dado por la fórmula 16.

$$R = 1 - \left(1 - \frac{1}{T}\right)^n \quad (16)$$

Dónde:

T= Período de retorno, R= Riesgo admisible y n =Vida útil de diseño.

En la Tabla N° 7 se muestra el valor del período de retorno para varios riesgos admisibles R y para la vida útil n de la obra.

Tabla N° 7: Valores de Período de Retorno T (años)

Riesgo admisible	Vida útil de las obras (n años)									
	1	2	3	5	10	20	25	50	100	200
<b>0.01</b>	100	199	299	498	995	1990	2488	4975	9950	19900
<b>0.02</b>	50	99	149	248	495	990	1238	2475	4950	9900
<b>0.05</b>	20	39	59	98	195	390	488	975	1950	3900
<b>0.10</b>	10	19	29	48	95	190	238	475	950	1899
<b>0.20</b>	5	10	14	23	45	90	113	225	449	897
<b>0.25</b>	4	7	11	18	35	70	87	174	348	695
<b>0.50</b>	2	3	5	8	15	29	37	73	154	289
<b>0.75</b>	1.3	2	2.7	4.1	7.7	15	18	37	73	144

Fuente: (Monsalve, 1999)

En la Tabla N° 8 se muestran los valores máximos recomendados de riesgo admisible de Obras de drenaje.

Tabla N° 8: Riesgo admisible de Obras de drenaje

Tipo de obra	Riesgo admisible (%)
Puentes	25
Alcantarilladas de paso de quebradas importantes y badenes	30
Alcantarillas de paso quebradas menores y descarga de agua de cunetas	35
Drenaje de la plataforma (a nivel longitudinal)	40
Subdrenes	40
Defensas Ribereñas	25

Fuente: (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2010)

La vida útil considerado (n):

- A. Puentes y Defensas Ribereñas n = 40 años
  - B. Alcantarillas de quebradas importantes n = 25 años
  - C. Alcantarillas de quebradas menores n = 15 años
  - D. Drenaje de plataforma y Sub-drenes n = 15 años
- F. Precipitación

La precipitación incluye la lluvia, la nieve y otros procesos mediante los cuales el agua cae a la superficie terrestre, tales como granizo y nevisca. La formación de precipitación requiere la elevación de una masa de agua en la atmósfera de tal manera que se enfríe y parte de su humedad se condense. Los tres mecanismos principales para la elevación de masas de aire son la elevación final, donde el aire caliente es elevado sobre aire frío por un pasaje frontal; la elevación orográfica, mediante la cual una masa de aire se eleva para pasar por encima de una cadena montañosa; y la elevación convectiva, donde el aire se arrastra hacia arriba por una acción convectiva, como ocurre en el centro de una celda de una tormenta eléctrica. Las celdas convectivas se originan por el calor superficial, el cual causa una inestabilidad vertical de aire húmedo, y se sostiene por el calor latente de vaporización liberado a medida que el vapor del agua sube y se condensa (VEN TE CHOW, 1994).

- Red de estaciones meteorológicas

Una estación meteorológica es una instalación destinada a medir y registrar regularmente diversas variables meteorológicas. Estos datos se utilizan tanto para la elaboración de predicciones meteorológicas a partir de modelos numéricos como para estudios climáticos (Chira, 2017).

Es el conjunto de estaciones de observación, medición y registro de las variables atmosféricas y ambientales, convenientemente distribuida, útil para determinar el tiempo y el clima de una región. Red del SENAMHI 766 estaciones (Chira, 2017).

- Medición de la Precipitación

La precipitación se mide en términos de la altura de lámina de agua (hp), y se expresa comúnmente en milímetros. Esta altura de lámina de agua, indica la altura del agua que se acumularía en una superficie horizontal, si la precipitación permaneciera donde cayó. Los aparatos de medición se clasifican de acuerdo con el registro de las precipitaciones, en pluviómetros y pluviógrafos (Béjar, 2002).

- Cálculo de la precipitación media sobre una zona

Según Máximo Villón Béjar en su libro Cálculos hidrológicos e hidráulicos en Cuencas Hidrográficas, nos indica que en general, la altura de precipitación que cae en un sitio dado difiere de la que cae en los alrededores, aunque sea en sitios cercanos. Para calcular la precipitación media de una tormenta o la precipitación media anual, existen tres métodos de uso generalizado:

a) Promedio Aritmético

Consiste en obtener el promedio aritmético, de las alturas de precipitaciones registradas, de las estaciones localizadas dentro de la zona, la cual se expresa en la fórmula 17.

$$P_{med} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_i \quad (17)$$

Dónde:

$P_{med}$  = Precipitación media de la zona o cuenca.

$P_i$  = Precipitación de la estación  $i$ .

$n$  = Número de estaciones dentro de la cuenca.

Este es el método más sencillo, pero sólo da buenos resultados cuando el número de pluviómetros es grande.

b) Promedio Thiessen

Para este método, es necesario conocer la localización de las

estaciones en la zona bajo estudio ya que, para su aplicación, se requiere delimitar la zona de influencia de cada estación, dentro del conjunto de estaciones, la cual se expresa en la fórmula 18.

$$P_{\text{med}} = \frac{1}{A_T} \sum_{i=1}^n A_i * P_i \quad (18)$$

Dónde:

$P_{\text{med}}$  = Precipitación media.

$A_T$  = Área total de la cuenca.

$A_i$  = Área de influencia parcial del polígono de Thiessen. Correspondiente a la estación  $i$ .

$P_i$  = Precipitación de la estación  $i$ .

$n$  = Número de estaciones tomadas en cuenta.

En la Figura N° 3 se muestra cómo se divide la cuenca para poder determinar el área de cada estación, y así determinar la precipitación media.

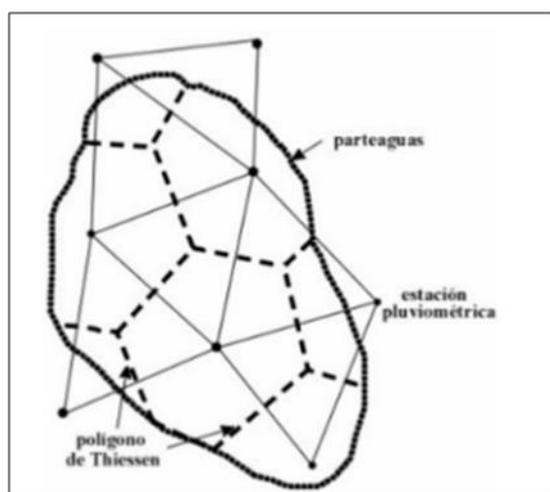


Figura N° 3: Polígono de Thiessen

Fuente: (Curso de Especialización Gestión de Cuencas Hidrográficas)

### c) Isoyetas

Las isoyetas son curvas que unen puntos de igual precipitación. Este

método es el más exacto, pero requiere de un cierto criterio para trazar el plano de isoyetas. Por supuesto, entre mayor sea el número de estaciones dentro de la zona de estudio, mayor será la aproximación con lo cual se trace el plano de isoyetas. La fórmula 19 de las isoyetas se encuentra en lo siguiente:

$$P_{med} = \frac{1}{A_T} \sum_{i=1}^n \frac{P_{i-1} + P_i}{2} A_i \quad (19)$$

Dónde:

$P_{med}$  = precipitación media.

$A_T$  = área total de la cuenca.

$A_i$  = área parcial comprendida entre las isoyetas  $P_{i-1}$  y  $P_i$ .

$P_i$  = altura de precipitación de las isoyetas  $i$ .

$n$  = número de áreas parciales.

En la Figura N° 4 se muestra cómo se divide la cuenca para trabajar con las Isoyetas.

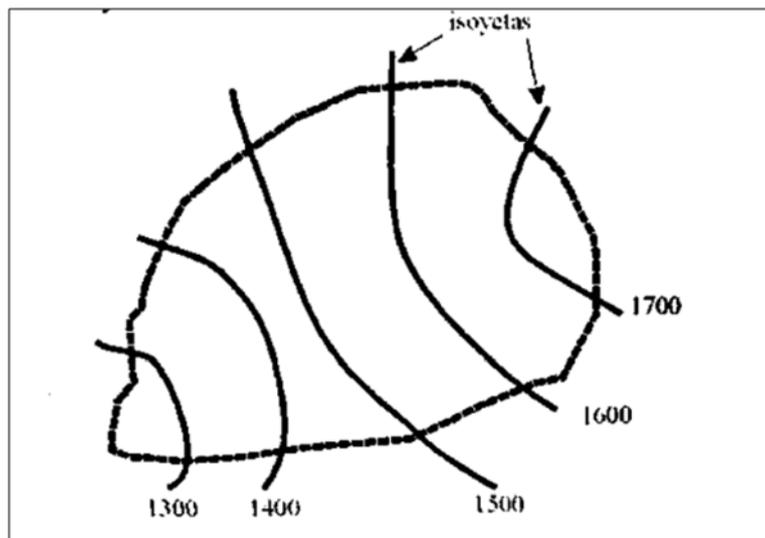


Figura N° 4: Isoyetas

Fuente: (Curso de Especialización Gestión de Cuencas Hidrográficas)

- Cálculo de la precipitación efectiva por el método SCS (PET)  
Este parámetro se define como la fracción de la precipitación total utilizada para satisfacer las necesidades de agua; quedan por tanto excluidas la infiltración profunda, la escorrentía superficial y la evaporación de la superficie del suelo. La determinación rigurosa de este parámetro encierra especiales dificultades, por lo que es necesario recurrir a métodos simplificados. En este grupo se ha utilizado el elaborado por el Servicio de Conservación de Suelos del Ministerio de Agricultura de Estados Unidos, en el que los valores de la precipitación efectiva mensual (mm) (SIAR, 2012).

- Análisis de frecuencia  
Los sistemas hidrológicos son afectados en ocasiones por eventos extremos, tales como tormentas extremas. La magnitud de un evento de este tipo es inversamente proporcional a su ocurrencia, es decir, eventos muy severos ocurren con menor frecuencia que eventos más moderados. El objetivo del análisis de frecuencia es relacionar la magnitud de los eventos extremos con su frecuencia de ocurrencia mediante el uso de una distribución de probabilidad. (Ven Te Chow, 1994).

Según el Manual del Ministerio de Transportes y Comunicaciones las distribuciones teóricas probabilísticas más empleadas en hidrología son: Distribución Gumbel, Normal, Log Normal 2 parámetros, Log Normal 3 parámetros, Gamma 2 parámetros, Gamma 3 parámetros, Log Pearson Tipo III y Log Gumbel. En la práctica, usualmente esto se lleva a cabo usando el valor máximo anual de la variable que se está analizando (por ejemplo, precipitación máxima anual).

#### a. Distribución Normal

La función de densidad de probabilidad normal se define como la fórmula 20.

$$f(x) = \frac{1}{S\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{S}\right)^2} \quad (20)$$

Dónde:

$f(x)$  = Función densidad normal de la variable  $x$ .

$x$  = Variable independiente.

$\mu$  = Parámetro de localización, igual a la media aritmética de  $x$ .

$S$  = Parámetro de escala, igual a la desviación estándar de  $x$ .

#### b. Distribución Log Normal 2 Parámetros

La función de distribución de probabilidad se define como la fórmula 21.

$$P(x \leq x_i) = \frac{1}{S\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{x_i} e^{-(x-\bar{x})^2/2S^2} dx \quad (21)$$

Donde  $X$  y  $S$  son los parámetros de la distribución. Si la variable  $x$  de la fórmula (20) se reemplaza por una función  $y=f(x)$ , tal que  $y=\log(x)$ , la función puede normalizarse, transformándose en una ley de probabilidades denominada log – normal,  $N(Y, S_y)$ . Los valores originales de la variable aleatoria  $x$ , deben ser transformados a  $y = \log x$ , de tal manera que la fórmula 22.

$$\bar{Y} = \sum_{i=1}^n \log X_i / n \quad (22)$$

Dónde  $Y$  es la media de los datos de la muestra transformada en la fórmula 23.

$$S_Y = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{Y})^2}{n - 1}} \quad (23)$$

Donde  $S_y$  es la desviación estándar de los datos de la muestra transformada.

#### c. Distribución Log Normal 3 Parámetros

La función de densidad de x está dada en la fórmula 24.

$$f(x) = \frac{1}{(x - x_0)\sqrt{2\pi * S_y}} e^{-1/2\left(\frac{\ln(x-x_0)-u_y}{S_y}\right)^2} \quad (24)$$

Para  $x > x_0$

Dónde:

$x_0$ : Parámetro de posición.

$U_y$ : Parámetro de escala o media.

$S_y$ : Parámetro de forma o varianza.

Distribución Gamma 2 Parámetros.

La función de densidad está dada en la fórmula 25.

$$f(x) = \frac{x^{\gamma-1} e^{-x/\beta}}{\beta^\gamma * \tau(\gamma)} \quad (25)$$

Válido para:

$$0 \leq x < \infty; 0 < \gamma < \infty \text{ y } 0 < \beta < \infty$$

Dónde:

$\gamma$  : Parámetro de forma.

$\beta$  : Parámetro de escala.

#### d. Distribución Gamma 3 Parámetros

La función de densidad está dada en la fórmula 26.

$$f(x) = \frac{(x - x_0)^{\gamma-1} e^{-(x-x_0)/\beta}}{\beta^\gamma * \tau(\gamma)} \quad (26)$$

Válido para:

$$x_0 \leq x < \infty; -\infty < x_0 < \infty; 0 < \beta < \infty \text{ y } 0 < \gamma < \infty$$

Dónde:

$x_0$ : Origen de la variable x, parámetro de posición.

$\gamma$  : Parámetro de forma.

$\beta$  : Parámetro de escala.

e. Distribución Log Pearson Tipo III

La función de densidad está dada en la fórmula 27.

$$f(x) = \frac{(\ln x - x_0)^{\gamma-1} e^{-(\ln x - x_0)/\beta}}{x\beta^\gamma * \tau(\gamma)} \quad (27)$$

Válido para:

$$x_0 \leq x < \infty; -\infty < x_0 < \infty; 0 < \beta < \infty \text{ y } 0 < \gamma < \infty$$

Dónde:

$x_0$ : Parámetro de posición.

$\gamma$  : Parámetro de forma.

$\beta$  : Parámetro de escala.

f. Distribución Gumbel

La distribución de Valores Tipo I conocida como Distribución Gumbel o Doble Exponencial, tiene como función de distribución de probabilidades la siguiente expresión en la fórmula 28.

$$F(x) = e^{-e^{-\alpha(x-\beta)}} \quad (28)$$

Utilizando el método de momentos, se obtienen las siguientes relaciones en las formulas 29 y 30.

$$\alpha = \frac{1.2825}{\sigma} \quad (29)$$

$$\beta = \mu - 0.45\sigma \quad (30)$$

Dónde:

$\alpha$  : Parámetro de concentración.

$\beta$  : Parámetro de localización.

Según Ven Te Chow, la distribución puede expresarse de la siguiente forma en la fórmula 31.

$$x = \bar{x} + k\sigma_x \quad (31)$$

Dónde:

x : Valor con una probabilidad dada.

$\bar{x}$  : Media de la serie.

k : Factor de frecuencia.

#### g. Distribución Log Gumbel

La variable aleatoria reducida log gumbel, se define como en la fórmula 32.

$$y = \frac{\ln x - \mu}{\alpha} \quad (32)$$

Con lo cual, la función acumulada reducida log gumbel es en la fórmula 33.

$$G(y) = e^{-e^{-y}} \quad (33)$$

#### G. Infiltración

Es el proceso mediante el cual el agua penetra desde la superficie del terreno hacia el suelo. Muchos factores influyen en la tasa de infiltración, incluyendo la condición de la superficie del suelo su cubierta vegetal, las propiedades del suelo, tales como la porosidad y la conductividad hidráulica, y el contenido de humedad presente en el suelo (Ven Te Chow, 1994).

#### H. Tormenta

Se entiende por tormenta o borrasca, al conjunto de lluvias que obedecen a una misma perturbación meteorológica y de características bien definidas. De acuerdo a esta definición, una tormenta puede durar desde unos pocos minutos hasta varias horas aún días, y puede abarcar extensiones de terrenos muy variables, desde pequeñas zonas, hasta vastas regiones (Villón, 2005).

Durante el análisis de Las tormentas hay que considerar:

- La Intensidad

Es la cantidad de agua caída por unidad de tiempo.

- La duración

Corresponde al tiempo que transcurre entre el comienzo y el fin de la tormenta. Aquí conviene definir el período de duración, que es un determinado período de tiempo, tomado en minutos u horas, dentro del total que dura la tormenta.

- La frecuencia

Es el número de veces que se repite una tormenta, de características de intensidad y duración definidas en un período de tiempo más o menos largo, tomado generalmente en años.

#### I. Curvas Intensidad – Duración - Frecuencia

La lluvia se define mediante tres variables: magnitud o lámina, duración y frecuencia. La magnitud de lluvia es la precipitación total ocurrida (en milímetros) en la duración de la tormenta; la frecuencia se expresa por el período de retorno de la lluvia o su intervalo de recurrencia, que es el tiempo promedio en años en el cual el evento puede ser igualado o excedido por lo menos una vez en promedio (Campos, 1987). Las curvas precipitación – duración – período de retorno forman una gráfica en la que se concentran las características de las tormentas de la zona o región, con respecto a las variables mencionadas (Luna, 1990).

Comúnmente se utiliza la intensidad promedio, que puede expresarse como en la fórmula 34.

$$i = \frac{P}{T_d}$$

Dónde:

( 34)

P = Es la profundidad de lluvia (mm o pulg).

Td = Es la duración.

#### J. El hietograma y la curva masa de precipitación

La intensidad de la precipitación varía en cada instante durante el curso de una misma tormenta, de acuerdo a las características de ésta. Es

absolutamente indispensable, cuando se hace el análisis de las tormentas, determinar estas variaciones, porque de ellas dependen muchas de las condiciones, que hay que fijar para las obras de ingeniería hidráulica, para las que se hacen principalmente esta clase de estudios (Béjar, 2002). Esto se consigue mediante dos gráficos:

- El hietograma

Es un gráfico de forma escalonada como un histograma, que representa la variación de la intensidad expresada en mm/hora de la tormenta, en el transcurso de la misma expresada en minutos u horas (Béjar, 2002). En la Figura N° 5, se puede ver esta relación que corresponde a una tormenta registrada por un pluviograma.

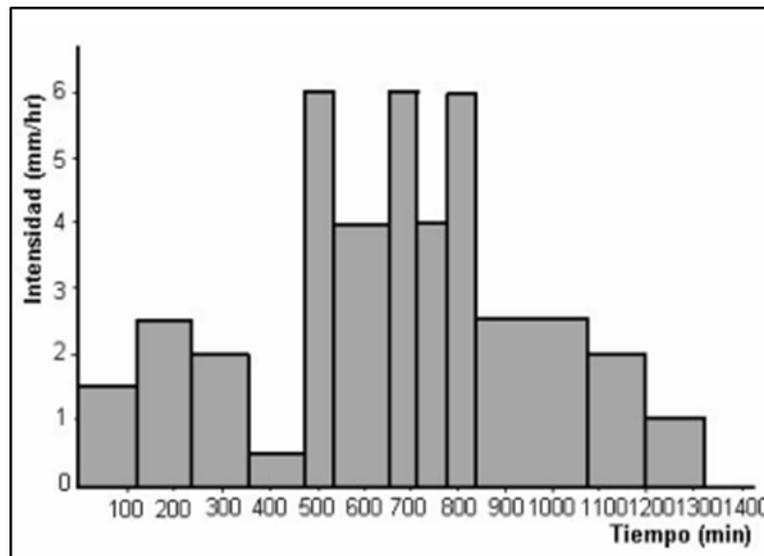


Figura N° 5: Hietograma de precipitación

Fuente: (Curso de Especialización Gestión de Cuencas Hidrográficas)

- Curva masa de precipitación

La curva masa de precipitación Figura N° 6, es la representación de la precipitación acumulada vs tiempo. Se extrae directamente del pluviograma.

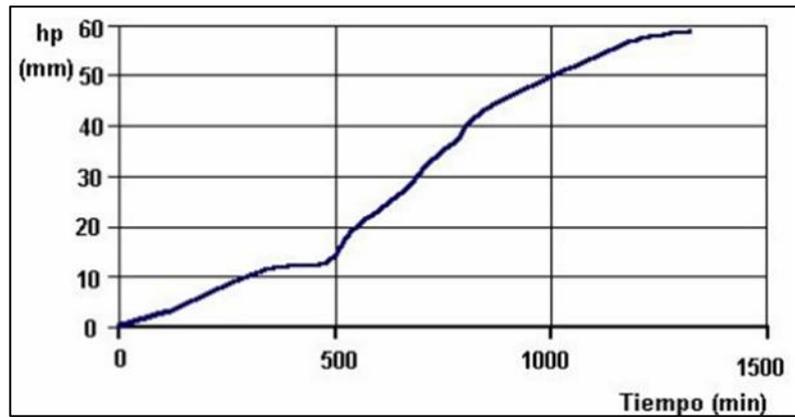


Figura N° 6: Curva masa de precipitación

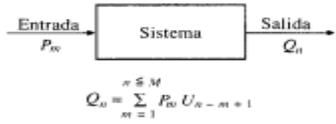
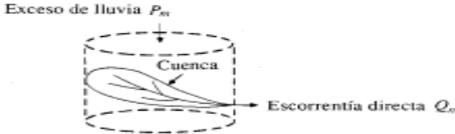
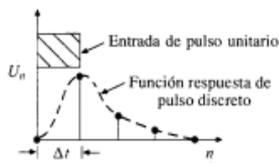
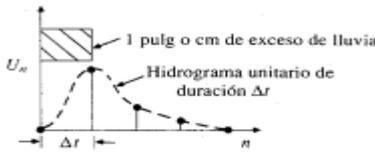
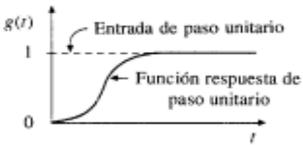
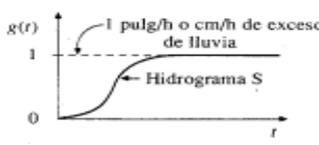
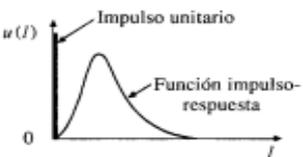
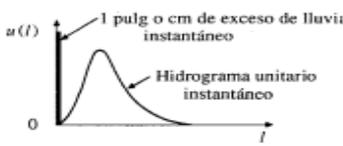
Fuente: (Curso de Especialización Gestión de Cuencas Hidrográficas)

### K. Hidrograma Unitario

El hidrograma unitario es la función respuesta de pulso unitario para un sistema hidrológico lineal. Propuesto por primera vez por Sherman (1932), el hidrograma unitario (conocido originalmente como gráfica unitaria) de una cuenca, se define como el hidrograma de escorrentía directa (DRH, por sus siglas en inglés) resultante de 1 pulg. (Usualmente tomado como 1cm en unidades del SI) de exceso de lluvia generado uniformemente sobre el área de drenaje a una tasa constante a lo largo de una duración efectiva. Originalmente, Sherman utilizó la palabra “unitario” para denotar un tiempo unitario, pero desde entonces se ha interpretado frecuentemente como una profundidad unitaria de exceso de lluvia. Sherman clasificó la escorrentía en escorrentía superficial y escorrentía de agua subterránea, y definió el hidrograma unitario para ser usado únicamente con la escorrentía superficial (Ven Te Chow, 1994).

El hidrograma unitario es un modelo lineal simple que puede usarse para deducir el hidrograma resultante de cualquier cantidad de exceso de lluvia. Los principios del análisis de sistemas lineales forman la base del método del hidrograma unitario. La Tabla N° 9 muestra una comparación entre los conceptos de sistema lineal y los correspondientes conceptos de hidrograma unitario.

Tabla N° 9: Comparación de los conceptos de sistema lineal e hidrograma unitario

Sistema lineal	Hidrograma unitario
	
	
	
	
<p>El sistema parte del reposo</p>	<p>El hidrograma de escorrentía directa empieza en cero. Toda la lluvia previa es absorbida por la cuenca.</p>
<p>El sistema es lineal</p>	<p>El hidrograma de escorrentía directa se calcula utilizando principios de proporcionalidad y superposición.</p>
<p>La función de transferencia tiene coeficientes constantes.</p>	<p>La respuesta de la cuenca es invariante en el tiempo, sin cambios de una tormenta a otra.</p>
<p>El sistema obedece continuidad</p>	<p>Las profundidades totales de exceso de lluvia y escorrentía directa son iguales.</p>

Fuente: (Hidrología Aplicada)

### 2.3.4 Hidráulica Fluvial

La escorrentía superficial se origina en la precipitación. La lluvia puede producirse en una parte de la cuenca o en toda la cuenca. Esta circunstancia depende de varios factores, entre ellos está el tamaño de la cuenca. Pensemos, sin embargo, en el caso extremo: que se produzca una lluvia generalizada sobre toda

la cuenca. Este evento no traerá un escurrimiento superficial generalizado. Por el contrario, el agua tiende a concentrarse en determinados cursos que se van juntando unos a otros y que constituyen finalmente los ríos, que es el tema de nuestro estudio. El río es, pues, el elemento de drenaje de la cuenca. Sin embargo, un río no sólo lleva agua sino también materiales sólidos que provienen de la erosión de la cuenca. En general los ríos tienen fondo móvil, aunque no todos, ni siempre (Felices, INTRODUCCION A LA HIDRAULICA FLUVIAL, 1998).

Los ríos pueden ser clasificados de muchas formas y maneras. Cada clasificación tiene un origen y una finalidad específica. En todo caso las clasificaciones sirven para obtener un mejor conocimiento del comportamiento fluvial. Esta clasificación de los ríos expresa no sólo la evolución fluvial a lo largo del tiempo, sino también los esfuerzos hechos por el hombre para dominar la Naturaleza, para dominar el río y usarlo en su beneficio (Felices, INTRODUCCION A LA HIDRAULICA FLUVIAL, 1998).

**Ríos Jóvenes:** Corresponde al estado inicial de los ríos. Cuando el agua forma su curso inicial, éste tiene una sección en forma de V. Son muy irregulares. Consisten de materiales fracturados.

**Ríos Maduros:** Cuando el río se convierte en maduro, se amplía su sección transversal. El valle es más ancho. La pendiente y la energía del río son suficientes para transportar el aporte sólido que llega a él.

**Ríos Viejos:** Los ríos viejos corresponden a un estado más avanzado de desarrollo. La pendiente del río sigue disminuyendo, su ancho aumenta. El río está confinado, encauzado, controlado.

Los conductos hidráulicos abiertos se caracterizan por tener una superficie libre, en contacto con la atmósfera. El flujo se produce como consecuencia del peso del fluido. En tal sentido, y desde el punto de vista hidráulico, un canal se comporta como si fuese un río. Para el estudio hidráulico de los canales es necesario hacer algunas simplificaciones y esquematizaciones del flujo real, que es bastante complejo. Generalmente suponemos que el escurrimiento es permanente y uniforme. En un canal se puede lograr un cierto grado de permanencia manteniendo constante el caudal. En un río sólo excepcionalmente se podría lograr

la permanencia (por ejemplo, en el flujo regulado aguas abajo de un embalse). Normalmente los caudales fluviales son muy irregulares en el tiempo. Las descargas son tan variables que para registrar las variaciones de nivel debe recurrirse a aparatos como los limnógrafos. En los canales puede lograrse algo parecido al movimiento uniforme, en la medida en la que el canal sea prismático y mantenga su sección transversal. En un río ocurre todo lo contrario: la sección transversal es muy variable y, en consecuencia, el movimiento no es uniforme (Felices, INTRODUCCION A LA HIDRAULICA FLUVIAL, 1998).

A. Cálculo de la sección estable o amplitud del cauce (B)

Este dato lo calcularemos con el método de Simons y Henderson que está en función del caudal de diseño y las condiciones del fondo del río (k1), como se muestra en la fórmula 35.

$$B = k_1 * Q^{0.5} \tag{35}$$

En la Tabla N° 10 el coeficiente k1 está en función de las condiciones del río tanto como en el fondo como en las orillas, dato necesario para poder calcular el ancho estable del río.

Tabla N° 10: Condiciones del Fondo del río

<b>Condiciones de fondo de río</b>	<b>k1</b>
Fondo y orillas de arena	5.7
Fondo de arena y orillas de material cohesivo	4.2
Fondo y orillas de material cohesivo	3.6
Fondo y orillas de grava	2.9
Fondo de arena y orillas de material no cohesivo	2.8

Fuente: (Manual River, 2016, p. 15)

B. Cálculo del tirante hidráulico del río (t = Y)

Este dato lo calcularemos con el método de Manning – Strickle, siendo este dato en función a la inversa del coeficiente de rugosidad (Ks) y de la pendiente del cauce (S), como se muestra en la fórmula 36.

$$t = \left( \frac{Q}{K_s * B * S^{0.5}} \right)^{3/5} \tag{36}$$

En la Tabla N° 11 se describe como es la formación de los lechos naturales de los ríos con diferentes formas de acarreo, siendo el coeficiente Ks en función de las características de los márgenes del río.

Tabla N° 11: Valores del coeficiente de Ks

<b>Valores del coeficiente de Ks</b>	
Descripción	Ks
Lechos naturales del río con fondo sólido sin irregularidades	40
Lechos naturales de río con acarreo regular	33 - 35
Lechos naturales de río con vegetación	30 - 35
Lechos naturales de río con derrubio e irregularidades	30
Lechos naturales de río con fuerte transporte de acarreo	28
Torrentes con derrubios gruesos (piedra de tamaño de una cabeza)	25 - 28
Torrentes con derrubio grueso, con acarreo móvil	19 - 22

Fuente: (Manual River, 2016, p. 18)

### C. Cálculo de la velocidad media del río (V)

Según el método de Manning, para el cálculo de la velocidad se tiene la fórmula 37.

$$V = \frac{1}{n} * R^{2/3} * S^{1/2} \quad (37)$$

Dónde:

R = Radio hidráulico (m).

S = Pendiente (m/m).

n = Coeficiente de rugosidad de Manning.

Para determinar el coeficiente de Manning es necesario tener los presentes factores que afectan el valor de n, encontrando lo siguiente:

Rugosidad de la superficie, vegetación, Irregularidad del cauce, depósito y socavaciones, tamaño y forma del canal, transporte de material. Se usa la siguiente fórmula 38.

$$n = m5 * (n0 + n1 + n2 + n3 + n4) \quad (38)$$

En la Tabla N° 12 según Cowan nos propone el método que nos describe la condición del canal en función del tipo de suelo de la zona de estudio y

así obtener los valores de  $n_0$ ,  $n_1$ ,  $n_2$ ,  $n_3$ ,  $n_4$ ,  $n_5$ . El cálculo del coeficiente de rugosidad se puede estimar según lo siguiente:

Tabla N° 12: Tabla de Cowan para determinar el coeficiente  $n$

Condición del canal		Valores	
Material involucrado	Tierra		0.020
	Corte en roca	$n_0$	0.025
	Grava fina		0.024
	Grava gruesa		0.028
Grado de irregularidad	suave		0.000
	Menor	$n_1$	0.005
	Moderado		0.010
	Severo		0.020
Variaciones de la sección transversal	Gradual		0.000
	Ocasionalmente	$n_2$	0.050
	Frecuentemente		0.01 - 0.015
Efecto relativo de obstrucciones	Insignificante		0.000
	Menor	$n_3$	0.010 - 0.015
	Apreciable		0.020 - 0.03
	Severo		0.04 - 0.06
Vegetación	Baja		0.005 - 0.01
	Media	$n_4$	0.01 - 0.025
	Alta		0.025 - 0.05
	Muy alta		0.05 - 0.1
Grado de los efectos por meandro	Menor		1.000
	Apreciable	$n_5$	1.150
	Severo		1.300

Fuente: (Ven Te Chow, 1994, p. 105)

Se describe la formación del cauce del río con la forma del fondo y diferentes irregularidades que puede presentar a lo largo del canal. En la Tabla N° 13 obtenemos el coeficiente de Manning:

Tabla N° 13: Valores de rugosidad de Manning (n)

Valores rugosidad de Manning (n)	
Descripción	n
Cauce con fondo sólido sin irregularidades	0.025
Cauces de río con acarreo irregular	0.030 – 0.029
Cauces de ríos con vegetación	0.033 – 0.029
Cauces naturales con derrubio e irregularidades	0.033
Cauces de río con fuerte transporte	0.035
Torrentes con piedras de tamaño de una cabeza	0.040 – 0.036
Torrentes con derrubio grueso y acarreo móvil	0.045 – 0.050

Fuente: (Villón, 2005, p. 124)

Para el cálculo del talud del canal planteamos lo siguiente:

La consideración de los taludes para el diseño de los canales dependerá del tipo de suelo de las márgenes, en la siguiente Tabla N° 14 se presenta los taludes recomendados para canales excavados con diferentes clases de material, siendo lo siguiente:

Tabla N° 14: Taludes recomendados para canales excavados

Material	Talud
Canto rodado redondeado	1.75
Canto rodado anguloso	1.0
Grava angulosa, suelo con recubrimiento de grava, tierra en grandes canales.	1.0
Grava semifina, arena, suelo arenoso suelto, material poco estable.	2.0 - 2.5
Arenisca blanda	1.5 - 2.0
Tierra con recubrimiento de piedra	1.0
Arena saturada	2.0 - 3.0
Limo arenoso	1.5 - 2.0
Suelo limo - arenoso con grava gruesa o tierra arcillosa, tepetate blando.	1.0 - 1.5

Fuente: (Villón, 2005, p. 126)

#### D. Cálculo del número de Froude (F)

El número de Froude en hidráulica señala la relación que existe entre las fuerzas inerciales y las fuerzas gravitatorias para un fluido. El cálculo del número de Froude se efectúa aplicando la fórmula 39.

$$F = \frac{V}{\sqrt{g * Y}} \quad (39)$$

Dónde:

$g$  = Es la aceleración de la gravedad ( $m/s^2$ ).

$Y$  = Es la profundidad hidráulica media ( $m$ ) =  $A/B$

El flujo del fluido en un canal abierto se clasifica en tres regímenes, de acuerdo al valor de  $F$ :

- $F < 1$ , se tiene un movimiento en régimen lento o suscritico.
- $F = 1$ , el flujo recibe el nombre de flujo crítico.
- $F > 1$ , el movimiento se lleva a cabo en régimen rápido o supercrítico.

#### E. Socavación

La socavación comprende el levantamiento y transporte de los materiales del lecho del río en el momento de una avenida o creciente, o por la construcción de una obra dentro del cauce. Debe diferenciarse la socavación de la erosión no recuperable en el sentido de que después de que pase la avenida o se elimine la causa de la socavación en procesos posteriores, comúnmente se vuelven a depositar sedimentos en un proceso cíclico, y se puede recuperar el nivel del fondo del cauce. La socavación está controlada por las características hidráulicas del cauce, las propiedades de los sedimentos del fondo y la forma y localización de los elementos que la inducen (Díaz, 2001).

Tipos de socavación:

- Socavación general

La socavación general se puede producir por varias causas:

- a. Aumento del caudal durante las avenidas

- b. Incremento de la pendiente del cauce por alteración del canal, o corte de meandros.
- c. Remoción de sedimentos del flujo por la construcción de una presa o por extracción de materiales del fondo del cauce.
- d. Transferencia de agua de una cuenca a otra, la cual altera la capacidad de transporte de sedimentos de ambas corrientes.
- e. Disminución de la rugosidad del cauce por obras de regulación del canal.

Esta socavación es una erosión general de todo el cauce y no depende de que exista o no un puente u otra estructura. La socavación general tiene como resultado una disminución en el nivel del fondo del cauce y los niveles de agua y por lo tanto puede producir exposición de las fundaciones, de los oleoductos y otras estructuras colocadas en el cauce del río (Díaz, 2001).

La socavación puede ocurrir a todo lo largo y ancho del cauce durante el paso de una avenida. Los niveles de socavación general varían de acuerdo a los caudales (Figura N° 6) y la profundidad de socavación no es la misma en toda la sección. Generalmente la socavación es mayor en el sector más cercano al Thalweg (Díaz, 2001).

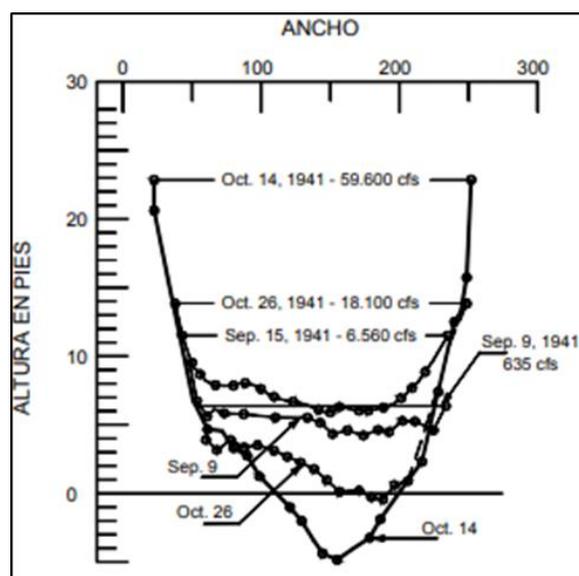


Ilustración N° 6: Niveles del fondo del cauce en el río San Juan UTAH

Fuente: (Cálculo de la Socavación, 1941)

- Cálculo de la Socavación general

Según Líschtvan-Levediev (Maza, 1967) las expresiones para evaluar la socavación general son las siguientes:

Para suelos granulares en la fórmula 40.

$$H_s = \left[ \frac{a * h^{5/3}}{0.68 * \beta * \mu * \phi * D_m^{0.28}} \right]^{1/(1+z)} \quad (40)$$

Dónde:

$H_s$  = Profundidad de socavación (m).

$h$  = Tirante de agua (m).

$D_m$  = Diámetro del lecho (mm).

$\beta$  = Coeficiente de frecuencia.

$\mu$  = Factor de corrección por contracción del cauce.

$\phi$  = Factor de corrección por forma de transporte de sedimentos.

Para suelos cohesivos en la fórmula 41.

$$H_s = \left[ \frac{a * h^{5/3}}{0.68 * \beta * \mu * \phi * \gamma * s^{1.18}} \right]^{1/(1+x)} \quad (41)$$

Dónde:

$H_s$  es la profundidad de socavación en metros,  $h$  es el tirante de agua en metros,  $\gamma S$  es el peso específico del sedimento en  $Tn/m^3$ ,  $\beta$  es el coeficiente de frecuencia,  $\mu$  es el factor de corrección por contracción del cauce y  $\phi$  es el factor de corrección por forma de transporte de sedimentos.

Para poder calcular el coeficiente  $\beta$  en la Tabla N° 15 se tiene que interpolar para un periodo de retorno de 140 años, valor que se encuentra dentro de 100 a 300 años. El coeficiente  $\beta$  es un dato para obtener el tirante de socavación.

Tabla N° 15: Valores del coeficiente  $\beta$

<b>Valores del coeficiente <math>\beta</math></b>		
Periodo de retorno (años)	Probabilidad de retorno (%)	Coeficiente $\beta$
	0.00	0.77
2.00	50.00	0.82
5.00	20.00	0.86
10.00	10.00	0.90
20.00	5.00	0.94
50.00	2.00	0.97
100.00	1.00	1.00
300.00	0.33	1.03
500.00	0.20	1.05
1,000.00	0.10	1.07

Fuente: (Manual River, 2016, p. 21)

En la Tabla N° 16 se muestran los valores de X para suelos cohesivos y no cohesivos.

Tabla N° 16: Valores de X

<b>Valores de "X" en suelos cohesivos (Tn/m<sup>3</sup>) o suelos no cohesivos (mm)</b>					
Suelos cohesivos			Suelos no cohesivos		
Peso específico (Tn/m <sup>3</sup> )	X	1/(X+1)	D <sub>50</sub> (mm)	X	1/(X+1)
0.80	0.52	0.66	0.05	0.43	0.70
0.83	0.51	0.66	0.15	0.42	0.70
0.86	0.50	0.67	0.50	0.41	0.71
0.88	0.49	0.67	1.00	0.40	0.71
0.90	0.48	0.68	1.50	0.39	0.72
0.93	0.47	0.68	2.50	0.38	0.72
0.96	0.46	0.68	4.00	0.37	0.73
0.98	0.45	0.69	6.00	0.36	0.74
1.00	0.44	0.69	8.00	0.35	0.74
1.04	0.43	0.70	10.00	0.34	0.75
1.08	0.42	0.70	15.00	0.33	0.75
1.12	0.41	0.71	20.00	0.32	0.76

1.16	0.40	0.71	25.00	0.31	0.76
1.20	0.39	0.72	40.00	0.30	0.77
1.24	0.38	0.72	60.00	0.29	0.78
1.28	0.37	0.73	90.00	0.28	0.78
1.34	0.36	0.74	140.00	0.27	0.79
1.40	0.35	0.74	190.00	0.26	0.79
1.46	0.34	0.75	250.00	0.25	0.80
1.52	0.33	0.75	310.00	0.24	0.81
1.58	0.32	0.76	370.00	0.23	0.81
1.64	0.31	0.76	450.00	0.22	0.82
1.71	0.30	0.77	570.00	0.21	0.83
1.80	0.29	0.78	750.00	0.20	0.83
1.89	0.28	0.78	1000	0.19	0.84
2.00	0.27	0.79			

Fuente: ( Manual River, 2016, p. 20)

En la Tabla N° 17 encontramos los valores del coeficiente de contracción  $\mu$  que está en función de la velocidad media y del ancho libre del canal del río Ica. Obteniendo el coeficiente de contracción  $\mu$  se podrá calcular el coeficiente de sección  $\alpha$ .

Tabla N° 17: Valores del coeficiente de contracción  $\mu$

Coeficiente de contracción $\mu$													
V (m/s)	Ancho libre del río "B"												
	10 m.	13 m.	16 m.	18 m.	21 m.	25 m.	30 m.	42 m.	52 m.	63 m.	106 m.	124 m.	200 m.
< 1.0	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
1.0	0.96	0.97	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
1.5	0.94	0.96	0.97	0.97	0.97	0.98	0.99	0.99	0.99	0.99	1.00	1.00	1.00
2.0	0.93	0.94	0.95	0.96	0.97	0.97	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99	0.99	1.00
2.5	0.90	0.93	0.94	0.95	0.96	0.96	0.97	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99	1.00
3.0	0.89	0.91	0.93	0.94	0.95	0.96	0.96	0.97	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99
3.5	0.87	0.90	0.92	0.93	0.94	0.95	0.96	0.97	0.98	0.98	0.99	0.99	0.99
> 4.0	0.85	0.89	0.91	0.92	0.93	0.94	0.95	0.96	0.97	0.98	0.99	0.99	0.99

Fuente: (Manual River, 2016, p. 22)

### 2.3.5 Defensas ribereñas

Las defensas ribereñas son estructuras que funcionan como protección ante inundaciones y desbordes; los diferentes sistemas de defensa que existen son obras de contención para contrarrestar la socavación en los ríos.

Para llevar a cabo un proyecto de defensas fluviales es fundamental contar con una serie de información preliminar o antecedentes que permitan diagnosticar el problema que se quiere solucionar; como: hidrológicos, topográficos y geomorfológicos. Así también se requerirá antecedentes sobre inundaciones anteriores, daños provocados, zonas afectadas, etc. (Fasanando, 2014).

En nuestro país son varios los sistemas que se han estado implementado para defensas ribereñas en el transcurso de los años como son: Diques de tierra enrocados, Gavión caja, gavión colchón, gaviones saco, muro de concreto armado, muro de concreto ciclópeo, entre otros.

#### A. Diques Enrocados

El enrocado comprende la colocación de piedra grande seleccionada en la cara húmeda del dique que estará en contacto con el agua del río. Previamente se tuvo que construir la uña de estabilidad, extrayendo con excavadora de manera paralela al cuerpo del dique el material ubicado al pie de éste y a partir de la rasante dada al río en el encauzamiento, siguiendo el talud de la cara húmeda y las dimensiones de profundidad ( $P_u = 2.00$  m) y ancho ( $A_u = 3.00$  m), determinadas para la cimentación o uña (Quispe, 2017).

#### B. Gaviones

Los gaviones son elementos prismáticos muy flexibles, fabricados con mallas de alambre de acero fuertemente galvanizado, tejidos mediante una doble torsión (MACCAFERRI, 2010).

Tipos de gaviones:

##### a) Gavión tipo colchón

Gavión colchón o colchones reno son similares a los gaviones caja con la diferencia que sus paredes verticales son de menor dimensión con un

máximo de 0.30 m, la cual se muestran en la Ilustración N° 7 (MACCAFERRI, 2010).

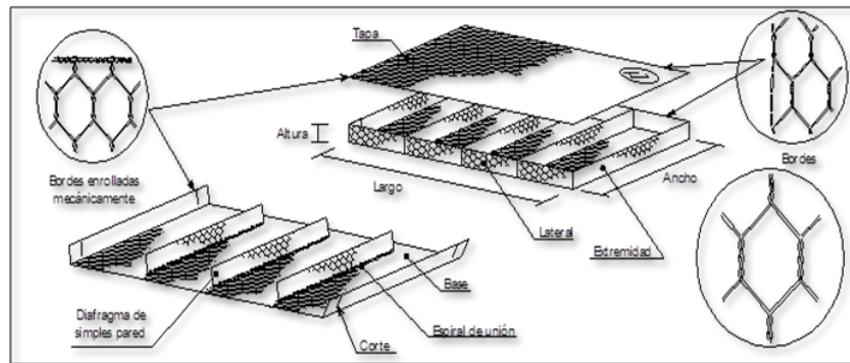


Ilustración N° 7: Gavión Tipo Colchón

Fuente: (Maccaferri, 2016)

En el proceso constructivo se colocan lado a lado para formar una capa sobre la orilla del canal o ribera. Suele estar formado por dos elementos: base y tapa. El tamaño de las piedras a usarse estará comprendido entre 6” y 12” (MACCAFERRI, 2010).

El cálculo del borde libre es la altura adicional con el fin de que no existan reboses hacia los lados, el borde libre debe considerar la presencia de sedimentos del fondo. Para el cálculo del borde libre no existe una regla específica, solo recomendaciones. Presentaremos cuatro formas para calcular el borde libre y son los siguientes:

- Energía de velocidad

$$B. L = \phi * (V^2/2g) \quad (42)$$

Dónde:

$\phi$  = Coeficiente.

V = Velocidad (m/s).

g = gravedad (m/s<sup>2</sup>).

En la Tabla N° 18 se muestran los datos para hallar el coeficiente  $\phi$  que se encuentra en función del caudal. Para la primera recomendación según los principales criterios de cálculo.

Tabla N° 18: Coeficiente para el cálculo de borde libre

Energía de velocidad	
Caudal (m <sup>3</sup> /s)	ø
3000 - 4000	2.00
2000 - 3000	1.70
1000 - 2000	1.40
500 - 1000	1.20
100 - 500	1.10

Fuente: (Manual River, 2016, p. 18)

- Bureau of reclamation en la fórmula 43.

$$B. L = (C * Y)^{0.5} \quad (43)$$

Dónde:

c = Coeficiente.

Y = Tirante (m).

En la Tabla N° 19 se muestran los datos para hallar el coeficiente c que se encuentra en función del caudal. Para la segunda recomendación según los principales criterios de cálculo.

Tabla N° 19: Coeficiente para el cálculo de borde libre

Bureau of reclamation	
Caudal (m <sup>3</sup> /s)	c
0.60	0.46
> 85.00	0.76

Fuente: (Manual River, 2016, p. 18)

En la Tabla N° 20 se muestran los datos para hallar el borde libre que se encuentra en función del caudal. Para la cuarta recomendación según los principales criterios de cálculo.

Tabla N° 20: Coeficiente para el cálculo de borde libre

Experimental	
Caudal (m <sup>3</sup> /s)	B.L (m)
Menos de 200	0.60
200 - 350	0.70
350 - 500	0.80
500 - 2000	1.00
Más de 2000	1.20

Fuente: (Manual River, 2016, p. 19)

- Diseño con gavión colchón para revestimiento del margen del río  
El revestimiento es una estructura de refuerzo de la superficie del suelo, con el objetivo de aumentar la resistencia al esfuerzo tractivo del agua en movimiento del río.

Para calcular el espesor del gavión colchón y el tamaño de la piedra de relleno se usa la siguiente Tabla N° 21. Que fueron elaboradas sobre modelos a escala, efectuados en Fort Collins – USA, donde se obtuvo la tabla de espesores del colchón en función de la velocidad, el cual se indica en lo siguiente:

Tabla N° 21: Espesores del colchón en función de la velocidad

Tipo	Espesor (m)	Piedra de relleno		Velocidad	Velocidad
		Dimensión (mm)	D50(m)	Crítica(m/s)	Límite(m/s)
Colchón	0.17	70 - 100	0.085	3.5	4.2
		70 - 150	0.110	3.8	4.5
	0.23	70 - 100	0.085	3.7	4.5
		70 - 150	0.110	4.1	4.9
	0.30	70 - 120	0.100	4.0	4.7
		100 - 150	0.125	4.3	5.0

Fuente: (Maccaferri, 2019, p. 40)

- Longitud del colchón antisocavante

El colchón antisocavante al producirse la socavación cae

protegiendo el pie del talud. Por consiguiente se tiene que en la fórmula 44.

$$L_{\text{colchón}} = 1.5 * h_{\text{socavación}} \quad (44)$$

- Verificación de arrastre de colchones por velocidades

Para que no exista arrastre de colchón se debe cumplir que:

$$V'c > V \quad (45)$$

Dónde:

$V$  = Velocidad media (m/s).

$V'c$  = Velocidad crítica que causa el movimiento de las piedras en función del  $D_{50}$ .

A través de los experimentos realizados en Fort Collins – USA, se graficó la Figura N° 27, que representa la velocidad crítica de inicio del movimiento de las piedras en función de sus dimensiones.

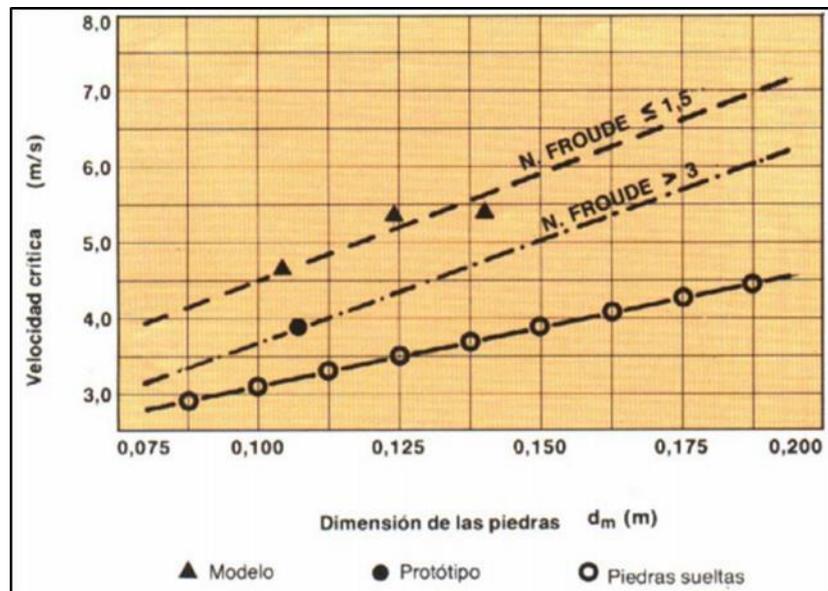


Figura N° 7: Velocidad crítica en función del  $D_{50}$

Fuente: (Maccaferri, 2019, p.44)

- Verificación de estabilidad del revestimiento de fondo

Se considera estable un revestimiento con gaviones cuando no se produce movimiento alguno de las piedras de relleno. La tensión

tangente (esfuerzo cortante actuante) sobre el revestimiento en el fondo es lo siguiente:

$$T_a = \gamma * Y * S \quad (46)$$

Dónde:

$T_a$  = Esfuerzo cortante actuante ( $\text{kg/m}^2$ ).

$\gamma$  = Peso específico del agua ( $1,000 \text{ kg/m}^3$ ).

$Y$  = Tirante del agua (m).

$S$  = Pendiente del lecho (m/m).

- La tensión tangente (esfuerzo cortante) permitida en el fondo, está dado por:

$$T_c = C ((\gamma S - \gamma) * D_{50} \quad (47)$$

Dónde:

$T_c$  = Esfuerzo cortante crítico ( $\text{kg/m}^2$ ).

$\gamma_s$  = Peso específico de la piedra de relleno ( $2,000 \text{ kg/m}^3$ ).

$C$  = Coeficiente de Shields, determinado en pruebas de laboratorio, para revestimiento con gaviones igual a 0.10.

- El revestimiento resulta estable si es verificado lo siguiente:

$$T_a < 1.20 T_c$$

Verificación de estabilidad del revestimiento en la orilla está dado por:

La tensión tangente en la orilla:

$$T_b = 0.75 * T_a \quad (48)$$

La tensión tangente crítica en la orilla:

$$T_s = T_c \sqrt{\frac{\text{sen } \theta^2}{\text{sen } \phi^2}} \quad (49)$$

Dónde:

$\theta$  = Ángulo que forma el talud del revestimiento con el plano horizontal para 1.5:1 (H: V) = 33.69°.

$\phi$  = Ángulo de reposo de la piedra que asumiremos igual a 41°.

- El revestimiento resulta estable si:

$$T_b < 1.20 T_s$$

Verificación de deformación para el colchón:

Ingresando el valor del coeficiente de Shields Eficaz (C), se obtiene el parámetro de la deformación.

En la Figura N° 8 es obtenida de datos colectados en pruebas de colchones con diafragmas con separación de un metro. Se obtiene la deformación máxima producida en el gavión ( $\Delta e$ ).

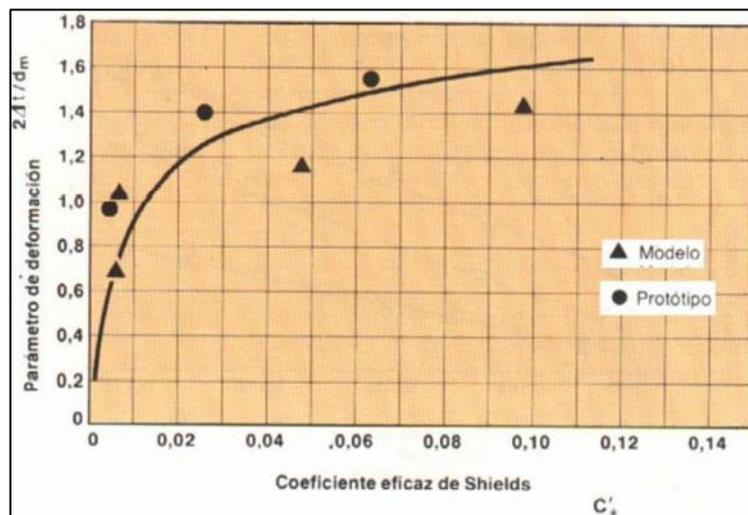


Figura N° 8: Relación del coeficiente eficaz de Shields y parámetro de deformación

Fuente: (Maccaferri, 2019, p.48)

El espesor mínimo de la deformación es el siguiente:

$$e_{\min} = e - \Delta e \quad (50)$$

Dónde:

e = Espesor del colchón (m).

Si,  $e_{\min} < D_{50}$ , habrá peligro en material base.

- Verificación de la erosión entre el espacio del colchón y del material base

La velocidad en el espacio entre el colchón y material base es lo siguiente:

$$V_a = \frac{(D_{50}/2)^{2/3} * S^{1/2}}{n_f} \quad (51)$$

Dónde:

$V_a$  = Velocidad del agua entre el colchón y el fondo (m/s).

$D_{50}$  = Diámetro medio de piedras en colchón (m).

$S$  = Pendiente del canal.

$n_f$  = Rugosidad del fondo (0.020 si no hay filtro, 0.025 si hay filtro de grava).

- La velocidad para suelos no cohesivos está dado por:

$$V_e = 16.10 * (d_{50})^{0.5} \quad (52)$$

Dónde:

$d_{50}$  = Diámetro medio de partículas del suelo base (m).

Para la condición de equilibrio dada se debe cumplir que:  $V_a < V_e$ ; entonces nos quiere decir que no habrá erosión entre el colchón y material base.

#### b) Gavión tipo caja

Los gaviones caja son estructuras utilizados en su mayoría para resistir los empujes del suelo, tales como estructuras de contención. Son cajas prismáticas con una muy buena resistencia a tracción y bajos niveles de elongación, la cual se puede apreciar en la Ilustración N° 8 (MACCAFERRI, 2010).

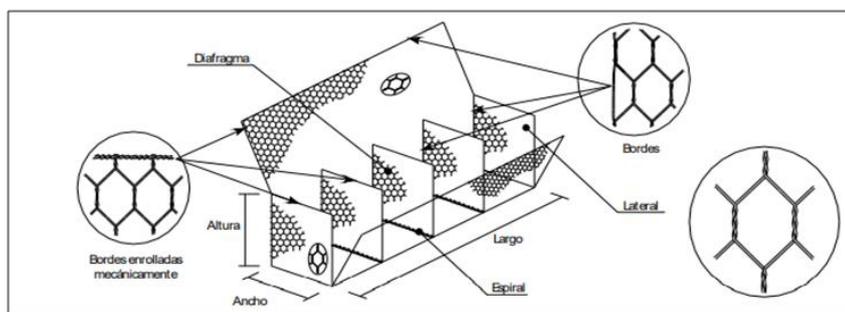


Ilustración N° 8: Gavión Tipo Caja

Fuente: (Maccaferri, 2010)

En la Tabla N° 22 se muestran las dimensiones de los gaviones caja son estandarizadas el largo siempre sea múltiplo de 1m, variando desde 1 m hasta 5 m. Los gaviones pueden tener ancho de 1 m o de 1.5 m y alto de 0.5 m o 1 m. en el siguiente cuadro se podrá apreciar las medidas.

Tabla N° 22: Dimensiones de gaviones tipo caja

<b>Dimensiones</b>		
<b>Largo (m)</b>	<b>Ancho (m)</b>	<b>Alto (m)</b>
5.00	1.00	1.00
5.00	1.50	1.00
5.00	1.00	0.50

Fuente: (Maccaferri, 2016)

El proceso constructivo de este sistema empieza con la preparación del terreno, siendo esta nivelada con actividades de relleno y/o excavaciones hasta lograr la pendiente y resistencia del diseño. Posteriormente se colocará geotextil no tejido que servirá como transición entre el suelo de la base y los gaviones (Urteaga, 2019).

Para el predimensionado de la base se usa la siguiente fórmula:

$$B = \frac{1}{2}(1 + H_T) \quad (53)$$

- Sismicidad en el Perú

El territorio Peruano es considerado altamente sísmico a causa de la interacción de las placas tectónicas de Nazca y Sudamericanas.

Según el reglamento nacional de edificaciones ha considerado cuatro zonas, según la Ilustración N° 9 que nos muestra la división sísmica. La zonificación propuesta se basa en la distribución espacial de la sismicidad observada, las características generales de los movimientos sísmicos, y la atenuación de éstos con la distancia epicentral, así como en la información neotectónica, en la Ilustración N° 10 se muestra el mapa de isoaceleraciones del Perú, en el cual apreciamos las aceleraciones de cada zona (RNE, 2018).

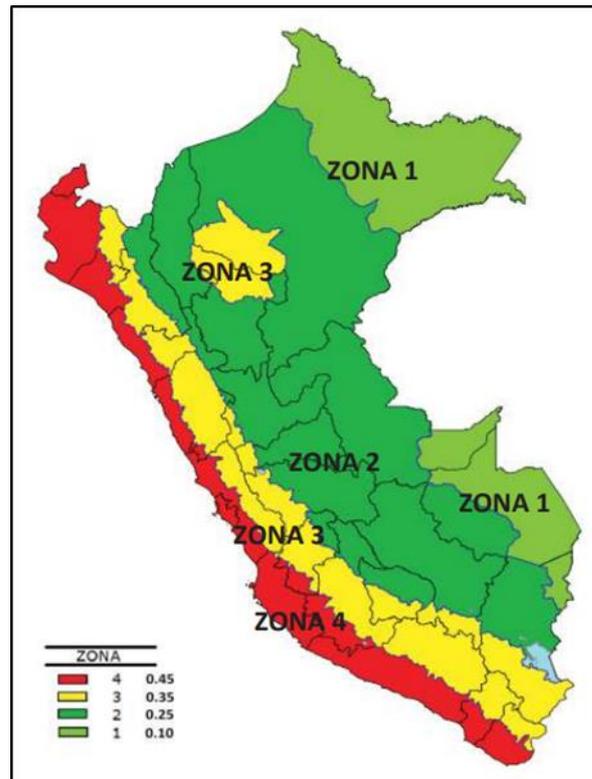


Ilustración N° 9: Mapa de zonas sísmicas del Perú

Fuente: (RNE E030, 2018)

- **Coeficiente sísmico**

El coeficiente sísmico en dirección horizontal ( $k_h$ ), es la división de la aceleración horizontal máxima entre la aceleración de la gravedad. Y en la dirección vertical ( $k_v$ ), es la aceleración vertical máxima entre la aceleración de la gravedad (Gomez & Cahuana, 2018).

Según el Manual de Diseño AASHTO LRFD, se asume el valor de  $k_v = 0$  y  $k_h$  asume el valor del coeficiente de aceleración el cual depende de la zona sísmica. Este valor lo obtenemos de la Ilustración N° 10.

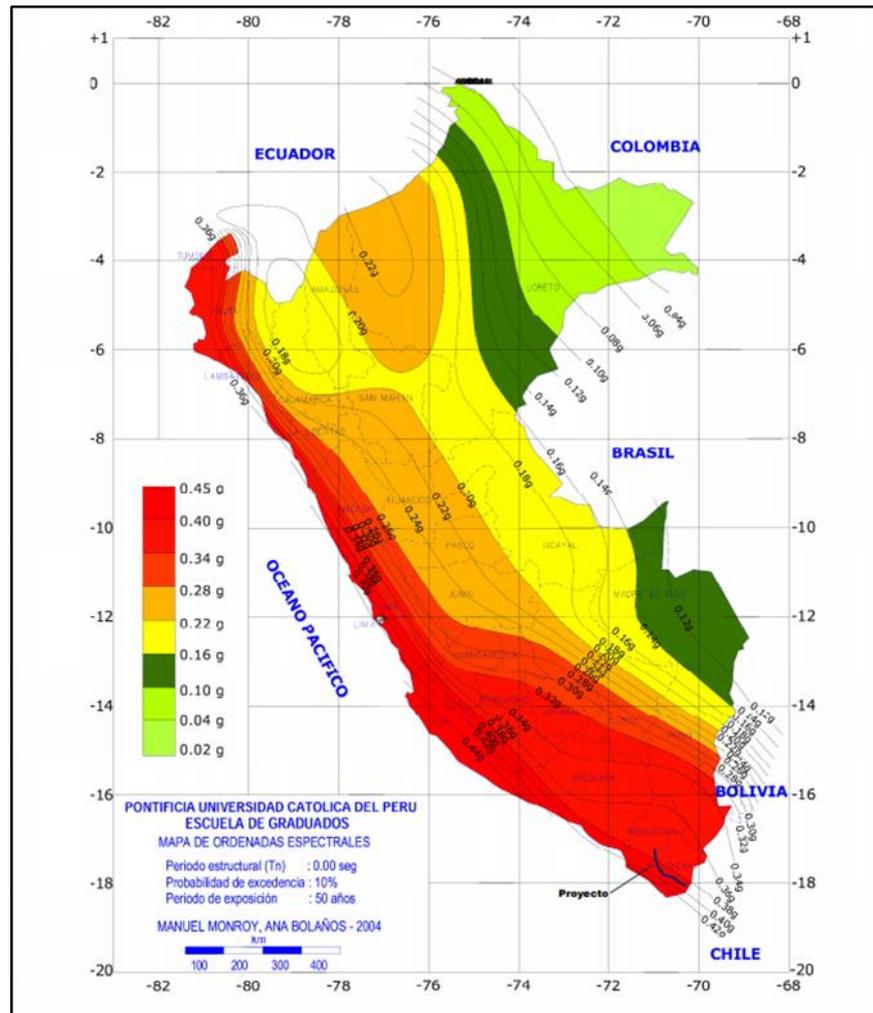


Ilustración N° 10: Mapa de isoaceleraciones del Perú

Fuente: (SENACE, 2016)

- Empuje activo ( $E_a$ )

El empuje de tierras sobre estructuras de contención ha sido un problema clásico en geotecnia, pero que es complejo, pues existen numerosas incertidumbres asociadas al comportamiento de los distintos tipos de terreno. Las presiones que soporta un muro o una pantalla se denominan empujes, que en el caso más general, será la suma del empuje hidrostático más el empuje efectivo ejercido por las partículas del terreno (Yepes Piqueras Víctor, 2019).

El coeficiente del empuje activo ( $K_a$ ) es la relación entre la tensión efectiva horizontal y la vertical que vendría a ser lo siguiente en la fórmula 54.

$$K_a = \frac{\sin^2(\alpha + \phi)}{\sin^2 \alpha * \sin(\alpha + \delta) * \left[ 1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) * \sin(\phi - i)}{\sin(\alpha + \delta) * \sin(\alpha - i)}} \right]^2} \quad (54)$$

Dónde:

$\alpha$  = Ángulo de la cara trasera del muro con respecto a la horizontal.

$\phi$  = Ángulo de fricción interna de la arena.

$\delta$  = Ángulo formado entre el respaldo del muro y la vertical.

$i$  = Ángulo formado entre la superficie plana del relleno y la horizontal.

Posteriormente se calcula el empuje activo en la fórmula 55.

$$E_a = \frac{1}{2} * K_a * \gamma_S * H_T^2 \quad (55)$$

Dónde:

$\gamma_S$  = Es el peso específico del suelo.

$H_T$  = Es la altura del muro.

- Análisis de estabilidad

Teniendo en cuenta los empujes calculados que nos servirán para verificar la estabilidad del muro y conocer que las dimensiones proyectadas sean las adecuadas para que no se produzcan fallas.

### C. Muro de Contención

Los muros de concreto tienen como objetivos principales en común encauzar y de contención. Los muros de concreto armado se construyen con reforzamiento de fierro. Generalmente empleados en puentes, zonas urbanas, etc. (OMAR, 2015).

Los muros de contención son estructuras permanentes capaces de contener presiones laterales que tienden a desplazar lineal y rotacionalmente a la estructura. Se presentan dos fuerzas actuantes sobre los muros de contención: horizontales (empuje activo del terreno, empuje pasivo y

sobrecargas) y verticales (peso del relleno, peso propio de la estructura y sobrecargas) (OMAR, 2015).

Clasificación de los muros de concreto:

a) Muros de concreto ciclópeo

Son de forma longitudinal, de dimensiones variables en función al caudal máximo de diseño, son construidos con material de río.

Según el Capítulo de Concreto Simple contemplado en la normativa, el concreto ciclópeo es una mezcla de concreto simple colocado con piedra desplazadora y que tiene una resistencia mínima de  $f'c = 100 \text{ kg/cm}^2$ . El volumen de piedra no excederá el 30% del volumen total, colocado de manera homogénea y requiere que todos los bordes se encuentren embebidos en el concreto. La mayor dimensión de la piedra será como máximo de 25 cm y no debe exceder la mitad de la menor dimensión del elemento. El uso de concreto ciclópeo está limitado a cimientos, sobrecimientos, falsas zapatas y muros de contención de gravedad (OMAR, 2015).

b) Muros de concreto armado

Construidos con armadura de fierro y son de dimensiones menores que los muros de concreto ciclópeo.

Según la literatura, son muros viables y comparativamente económicos para alturas máximas de hasta doce metros, aunque lo más usual es que tengan una altura promedio de cinco metros. Para evitar la creciente flexión conforme se gana altura, se usan contrafuertes. La presencia de contrafuertes y de anclajes son características que añaden estabilidad y son recomendables sólo cuando se supere una altura de seis metros, ya que suelen encarecer el costo de la estructura (OMAR, 2015).

### 2.3.6 Modelos numéricos para el análisis hidráulico e hidrológico en cuencas

Son programas que nos sirven para diseñar, modelar, calcular y entre otros. De esta manera esto nos permite disponer y analizar nuestros resultados obtenidos para así, saber con qué defensa ribereña trabajaremos.

## A. ArcGIS

Las herramientas de Hidrología se utilizan para modelar el flujo de agua a través de una superficie (Desktop, 2020).

La información sobre la forma de la superficie de la tierra es útil en muchos campos, como en la planificación regional, la agricultura y la silvicultura. Estos campos requieren un entendimiento de cómo fluye el agua a través de un área y cómo los cambios en ese área pueden afectar ese flujo (Desktop, 2020).

Cuando modela el flujo de agua, es posible que necesite saber de dónde viene el agua y hacia dónde va. Los siguientes temas explican cómo utilizar las funciones del análisis hidrológico para ayudar a modelar el movimiento del agua a través de una superficie, los conceptos y los términos clave de los sistemas de drenaje y los procesos de superficie, cómo se pueden utilizar las herramientas para extraer información hidrológica desde un modelo digital de elevación (DEM) y las aplicaciones de muestra de análisis hidrológico (Desktop, 2020).

## B. HIDROESTA 2

Los datos recopilados, solo representan una información en bruto, pero si éstos se organizan y analizan en forma adecuada, proporcionan al hidrólogo una herramienta de gran utilidad, que le permite tomar decisiones en el diseño de estructuras hidráulicas. HidroEsta2, es una herramienta que facilita y simplifica los cálculos laboriosos, y el proceso del análisis de la abundante información que se deben realizar en los estudios hidrológicos (WOLD-INGENIUM, 2020). Este software permite:

- El cálculo de los parámetros estadísticos, para datos agrupados y no agrupados, tanto con los momentos tradicionales como con momentos lineales.
- Cálculos de regresión lineal, no lineal, simple y múltiple, así como regresión polinomial.

- Evaluar si una serie de datos se ajustan a una serie de distribuciones: normal, log-normal de 2 y 3 parámetros, gamma de 2 y 3 parámetros, log-Pearson tipo III, Gumbel y log-Gumbel, tanto con momentos ordinarios, como con momentos lineales. Si la serie de datos se ajusta a una distribución, permite calcular por ejemplo caudales o precipitaciones de diseño, con un período de retorno dado o con una determinada probabilidad de ocurrencia.
- Calcular a partir de la curva de variación estacional o la curva de duración, eventos de diseño con determinada probabilidad de ocurrencia.
- Realizar el análisis de una tormenta y calcular intensidades máximas, a partir de datos de pluviograma, así como la intensidad máxima de diseño para una duración y periodo de retorno dado, a partir del registro de intensidades máximas.

#### C. HEC-HMS

El sistema de modelado hidrológico (HEC-HMS) está diseñado para simular los procesos hidrológicos completos de los sistemas de cuencas hidrográficas dendríticas. El software incluye muchos procedimientos tradicionales de análisis hidrológico, como infiltración de eventos, hidrogramas unitarios y enrutamiento hidrológico. HEC-HMS también incluye los procedimientos necesarios para la simulación continua, incluida la evapo-transpiración, el deshielo y la contabilidad de la humedad del suelo. También se proporcionan capacidades avanzadas para la simulación de escorrentía cuadrículada utilizando la transformación de escorrentía lineal casi distribuida (ModClark). Se proporcionan herramientas de análisis complementarias para la optimización del modelo, pronosticar el caudal, la reducción del área de profundidad, la evaluación de la incertidumbre del modelo, la erosión y el transporte de sedimentos y la calidad del agua (EE.UU., 2020).

#### D. HEC-RAS

El Hec-Ras es una herramienta computacional para la modelación hidráulica, con ello el usuario puede realizar cálculos numéricos, de una

manera simple e intuitiva de ejes hidráulicos en cursos naturales de ríos, a los cuales se les puede agregar singularidades producidas por la intervención del ser humano, como puentes, alcantarillas, vertederos laterales, etc. (Béjar, 2002).

El Hec-Ras, permite el estudio del comportamiento hidráulico de un río, calculando el perfil hidráulico de la superficie del agua en su situación natural o actual (diferentes condiciones de caudal, ancho del río y cota del lago) y/o en la situación con proyecto, para flujo permanente y gradualmente variado. Permite determinar rápidamente dichos perfiles del río, una vez entrados todos los datos geométricos del tramo del río en estudio (OMAR, 2015).

#### 2.4 Definición de términos básicos

- Hidrología

Es la ciencia que estudia el comportamiento del agua, ya sea por su circulación, movimiento, ocurrencia, etc.

- Topografía

El estudio de la topografía nos ayuda para obtener las extensiones de áreas de drenaje, las extensiones de áreas inundadas y las características de las pendientes del terreno en un área determinada.

- Río

Es un sistema de corrientes de agua naturales que se desplazan por cauces formados de tierra, no siempre siendo constante todo el año. Teniendo como culminación en un río, lago o el mar.

- Caudal

Es una cantidad de fluido que se moviliza por ductos ya sea ríos, canales, etc.

- Cuenca

Es una corriente de drenaje, que junta todas las aguas caídas por precipitaciones para formarse un solo curso de agua.

- Erosión

La erosión es el proceso de desgaste del suelo terrestre, ya sea por fluidez del agua en la superficie o subterráneas.

- Socavación  
La socavación se da cuando el flujo de agua produce excavaciones profundas en el entorno de una estructura. Ya sea en el fondo o en los costados.
- Precipitación  
Se origina en la atmósfera llegando a la superficie terrestre. Es la caída de agua ya sea lluvias, lloviznas, nevadas, entre otros.
- Intensidad de precipitaciones:  
Es la cantidad de caída del agua en la superficie con respecto al tiempo.
- Defensas ribereñas  
Son estructuras que sirven de protección frente a inundaciones y desbordes ante crecidas de los ríos, así evitar la erosión en ambas márgenes.  
  
Las obras de defensas ribereñas son colocadas en puntos localizados, para así proteger a la población, la agricultura, vías de comunicación cercana y demás.
- Muros de contención  
Los muros de contención son estructuras que soportan algún material que naturalmente no se mantienen conservados, en general suelo.
- Inundación  
Las inundaciones son las ocupaciones de agua que normalmente están secas. Son ocupadas por desbordamiento de ríos, deshielo o mares. A causa de las subidas estos se encuentran por lo alto de lo habitual.
- Mitigación  
La mitigación es el conjunto de acciones y medidas que se toman para reducir la vulnerabilidad de los eventos causados que a su paso dejan daños, ya sea una inundación, sequía o sismo.

## 2.5 Hipótesis

### 2.5.1 Hipótesis General

- a) La defensa ribereña más favorable para mitigar las inundaciones del río Ica es muro de gavión caja.

### 2.5.2 Hipótesis Específicas

- a) Su relieve topográfico es poco accidentado, y gran parte de su geología es de depósito aluvial del holoceno.
- b) Los parámetros hidrológico e hidráulico fundamentales que se obtendrán será el caudal, velocidad y el tirante máximo.
- c) El software más adecuado para simular el comportamiento hidráulico del río Ica es el HEC-RAS, debido a que se puede ingresar todas las obras civiles que se encuentran en el tramo de estudio y los parámetros que se necesitan para obtener un comportamiento hidráulico parecido con el real.
- d) Con los datos obtenidos en los estudios topográficos, geológicos, geotécnicos, hidrológicos e hidráulicos del río Ica se diseñará las defensas ribereñas.

### 2.6 Variables

Variable Independiente: Defensas Ribereñas (gavión colchón, gavión caja y muro de contención de concreto).

Variable Dependiente: Mitigación de Inundación.

#### 2.6.1 Definición conceptual de las variables

Según Manuel Borja S. en su libro de Metodología de la investigación científica para ingenieros nos indica que una variable es una característica, atributo, propiedad o cualidad que puede estar o no presente en el objeto de estudio.

- a. Defensas Ribereñas: Son estructuras que se construyen en ambos bordes del río para resistir las presiones del agua y los materiales que transportan, para así evitar las inundaciones del río en tiempo de fuertes precipitaciones y fenómeno del niño.
- b. Gavión colchón: Según la empresa ARPIMIX se llaman gavión colchón a aquellos cuya altura fluctúa entre 0.17 m – 0.30 m, las cuales son unidades rectangulares de malla tejida rellena de piedra que forman elementos flexibles y permeables para construir una gran gama de estructuras. El colchón es una canasta sin tapa fabricada en un panel de malla continua que forma la base, costados y diafragmas. Durante su fabricación todos los paneles son cocidos por alambre de mayor diámetro que el usado en la malla para dar mayor resistencia a la estructura. El acero es tejido en una malla hexagonal a doble

torsión. La malla tejida en doble torsión da a la estructura una resistencia integral adicionando un efecto de no giro que prevé cualquier daño accidental. Cuando la malla es colocada en ambientes agresivos, se le adiciona un recubrimiento de cloruro de polivinilo (PVC). El PVC es una protección adicional contra corrosión. El colchón presenta características únicas para el diseño de proyectos. La más notable es su flexibilidad, permeabilidad, economía y resistencia. Estas características permiten al colchón ser usado en casi cualquier terreno, son capaces de integrarse al medio ambiente que los rodea permitiendo la preservación y restauración de la naturaleza, el filtro generado por el relleno de roca permite al suelo, agua, aire y plantas interactuar.

- c. Gavión caja: Según la empresa PARQUE Y GRAMA el gavión caja es una estructura monolítica regular de diferentes dimensiones, son los más utilizados sobre todo para la construcción de muros de contención y protección de cauces. Se caracterizan por estar formados por una red de malla de hilo de acero dulce galvanizado, amarrados en sus extremidades y vértices por hilos de mayor diámetro y están rellenos con piedras de dureza y peso apropiado.
- d. Muro de contención de concreto: Es una estructura sólida de concreto armado que está sujeto a flexión por tener que soportar empujes horizontales de diversos materiales, sólidos, granulados y líquidos.
- e. Mitigación de inundación: Una inundación consiste en la invasión o cubrimiento de agua en áreas que en condiciones normales se mantienen secas. Las inundaciones son ocasionadas cuando al no poder absorber el suelo y la vegetación toda el agua cuando llueve, ésta fluye sin que los ríos sean capaces de canalizarla ni los estanques naturales o pantanos artificiales.

## CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO

### 3.1 Tipo de Investigación

Según Borja, (2012) define que es cuantitativo porque es una forma confiable para conocer la realidad es a través de la recolección y análisis de datos, con lo que se podría contestar las preguntas de la investigación y probar las hipótesis.

Es una investigación aplicada con enfoque cuantitativo.

Aplicada porque se hizo una recopilación de información, relacionados al tema de investigación, para luego diseñar los tres tipos de defensa ribereña, las cuales nos ayudarán a solucionar el problema de inundaciones de parte del río Ica.

### 3.2 Método de Investigación

Según Ferreira, (2003) define que consiste en recolectar en dos o más muestras con el propósito de observar el comportamiento de una variable, tratando de “controlar” estadísticamente otras variables que se considera pueden afectar la variable estudiada (variable dependiente).

La investigación es de alcance descriptivo-comparativo.

Descriptiva porque se buscó describir determinadas características de los objetos de estudio.

Comparativa porque se analizaron tres tipos de defensas ribereñas, con el fin de obtener el más adecuado para nuestra investigación.

### 3.3 Población de estudio

Según Borja, (2012) define que se denomina población o universo investigado al conjunto de elementos o sujetos que serán motivo de estudio. Pueden existir varias muestras.

La población en la investigación es definida por el tramo de estudio del río Ica.

### 3.4 Muestra

Según Díaz de León, (2016) define que una muestra es una parte de la población o universo. Para seleccionar la muestra, primero deben delimitarse las características de la población.

La muestra del tramo seleccionado del río Ica es de 17.7 km de longitud. Este tramo comprende desde el puente colgante de Santiago al puente Ocucaje.

### 3.5 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

#### 3.5.1 Técnicas

El trabajo topográfico constato de dos actividades, puede ser la medición de puntos de un terreno y mediante trabajo de gabinete llevar los datos a un plano o por el camino inverso, desde un proyecto ubicar los puntos sobre el terreno. (GUZMAN, Topografía, 2012).

Los datos topográficos se obtuvieron del GeogpsPeru, del Google Earth y del Expediente Técnico “Control de desbordes e inundaciones en el río Ica y quebrada Cansas/Chanchajalla”, luego de esto se procesó los datos en los softwares ArcGIS y AutoCAD CIVIL 3D.

Los datos Geológicos se obtuvieron de las Cartas Nacionales de Geología, INGEMMET y del libro “Hidrogeología de la cuenca del río Ica regiones Ica Huancavelica, 2010”.

Los datos Geotécnicos se obtuvieron del Expediente Técnico “Control de desbordes e inundaciones en el río Ica y quebrada Cansas/Chanchajalla”.

Los datos de Hidrología e Hidráulica se obtuvieron del SENAMHI y del Google Earth, con el cual pudimos calcular todos los datos que necesitaremos para encontrar los parámetros que se necesitan para el diseño de defensa ribereña.

#### 3.5.2 Instrumentos

Los instrumentos que se realizaran en esta investigación son los siguientes softwares: Google Earth 7.3, AutoCAD CIVIL 3D 2020, ArcGIS 10.7, Hec-HMS 4.5, Hec-RAS 5.0.7, HIDROESTA2 y Microsoft Office: Excel y Power Point.

#### 3.5.3 Procedimientos para la recolección de datos

- Se buscó por el Google Earth la zona de ubicación de la investigación.
- Se buscó información sobre el tema de investigación.
- Se revisó las normas que se usaran para el diseño de Defensa Ribereña.
- Se realizó el estudio Hidrológico.
- Se realizó el estudio Hidráulico Fluvial.
- Se realizó el estudio Topográfico en la zona de estudio.
- Se recolectó datos de estudios Geológicos respecto al lugar de estudio.
- Se recolectó datos de estudios de Mecánico de Suelos.

- Elaboración de planos Topográficos del lugar de estudio con el programa AutoCAD CIVIL 3D.
- Delimitación de Cuenca del Río Ica con el programa Arc-GIS.
- Cálculo de las precipitaciones cerca al lugar de estudio.
- Datos estadísticos con el software HIDROESTA2.
- Cálculo de Hietograma en el programa Hec-Hms.
- Cálculo del Caudal del Río.
- Modelamiento en el programa Hec-RAS.
- Diseño de las tres Defensas Ribereñas.
- Se evaluó y seleccionó la mejor alternativa de Defensa Ribereña.

#### 3.5.4 Técnicas de procesamiento y análisis de datos

- Al obtener los datos topográficos de las distintas fuentes mencionadas anteriormente, se procederá a elaborar los planos topográficos de la cuenca del río Ica y del tramo de estudio; con el apoyo de los softwares ArcGIS y AutoCAD CIVIL3D. Con estos datos topográficos obtenidos tanto de la cuenca del río Ica como del tramo de estudio, podemos obtener la curva hipsométrica de la cuenca que nos ayudara a describir cómo está distribuida la superficie de esta y también nos ayudara a ubicar el lugar donde se colocarán las defensas ribereñas.
  - Al obtener los datos geológicos de las distintas fuentes mencionadas anteriormente, se procederá a elaborar el plano geológico con el apoyo del software ArcGis. Con esto podremos saber las características y propiedades del subsuelo para prever problemas geológicos que se podrían presentar al momento de la ejecución del proyecto.
  - Los datos de precipitaciones cerca al lugar de estudio fueron obtenidos por pluviómetros que pertenecen al SENAMHI, estos datos recolectados fueron procesado con el software Excel para luego llevarlos al software HEC-HMS. Con el fin de obtener el caudal que usaremos para el modelamiento del río.
  - Los datos recolectados anteriormente se ingresarán en el software HEC-RAS para determinar los datos Hidráulicos del río.
- Luego de todo el proceso se diseñarán las Defensas Ribereñas usando de apoyo del software Excel.

## CAPÍTULO IV: PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

### 4.1 Localización geográfica y zona de estudio de la cuenca del Río Ica

#### 4.1.1 Ubicación geográfica

La cuenca en estudio, geográficamente se ubica entre las coordenadas geográficas:

Longitud Oeste: 74° 58' - 75° 54'

Latitud Sur : 13° 28' - 14° 53'

En la Ilustración N° 11 se muestra el mapa de ubicación geográfica del tramo de estudio que se encuentra ubicado entre el puente colgante de Santiago y el Puente Ocucaje, Provincia Ica, Departamento Ica; la cual tiene una longitud de 17.7 km.

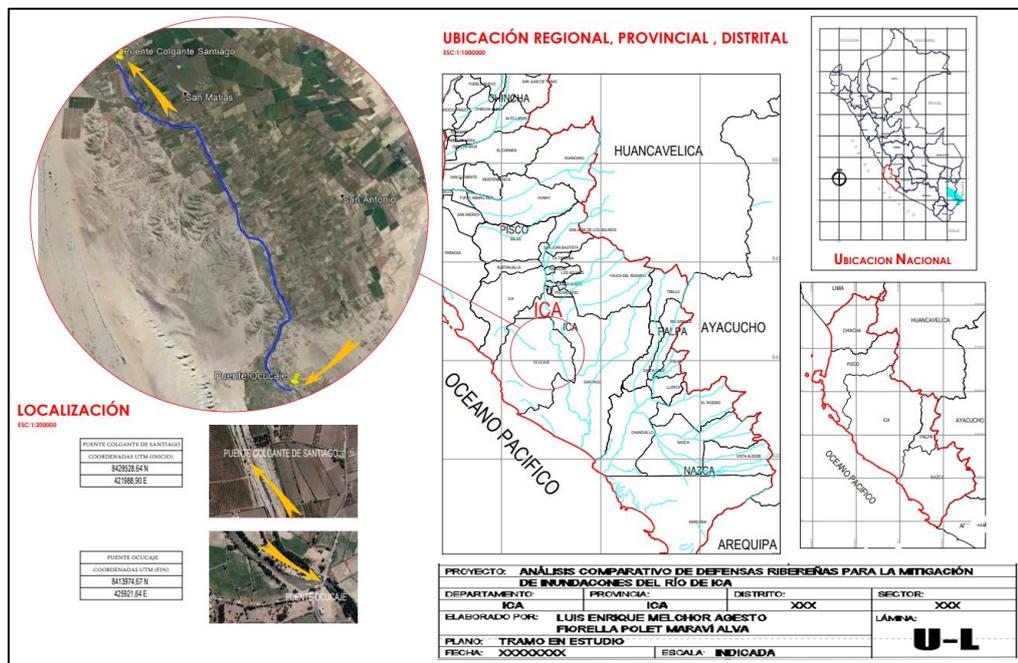


Ilustración N° 11: Mapa de Ubicación geográfica

Fuente: Elaboración propia

#### 4.1.2 Ubicación política

Políticamente pertenece a los departamentos de Ica y Huancavelica. En Ica, comprende los distritos de Ica, Aquijes, Ocucaje, Pachacútec (Pampa de Tate), Porcona, Pueblo Nuevo, Salas (Guadalupe), San José de los Molino, San Juan Bautista, Santiago, Subjantalla, Tate (Tate de la Capilla), Yauca del Rosario (Curis), pertenecientes a la provincia de Ica. En Huancavelica, comprende los distritos de Santa Rosa de Tambo, Santo Domingo de Capillas, Santiago de Chocorvos, Ayavi y Huaytara, pertenecientes a la provincia de Huaytara y distrito

de Castrovirreyna y Capillas, que a su vez pertenecen a la provincia de Castrovirreyna.

#### 4.1.3 Vías de acceso y comunicación

La cuenca es accesible desde la ciudad de Lima a través de la carretera Panamericana Sur con un recorrido de 305 km hasta la ciudad de Ica. Al interior de la cuenca se accede por la carretera Los Libertadores-Wari hasta el desvío al poblado de Huaytará y distritos de Santa Rosa de Tambo y Santo Domingo de Capillas. Por el extremo sureste, existen trochas carrozables que interconectan los poblados de Córdova con Santiago de Chocorvos, San Miguel de Curis y San Juan de Huirpachaca. Existen también numerosas trochas carrozables y carreteras abandonadas que acceden a diferentes puntos de la cuenca.

#### 4.1.4 Orografía

La cuenca tiene una morfología sinuosa y alargada de dirección preferencial norte-sur, la parte alta se caracteriza por zonas con terrenos abruptos de fuerte pendiente y en muchos sectores forma valles muy jóvenes, en forma de V. La parte media, entre Tincoca y el límite de la depresión de Ocucaje, tiene una ampliación suave y una disminución de la pendiente, formando la parte agrícola del valle. La parte baja se extiende desde Ocucaje hasta la desembocadura en el mar, en el lugar llamado Boca del Río, hasta este sector raras veces llegan las aguas del río Ica.

#### 4.1.5 Geología

La diversidad de las formaciones geológicas de edad paleozoica a cenozoica y la presencia de accidentes tectónicos regionales siempre activos (pliegues y fallas) han desarrollado diversas unidades morfológicas en la cuenca. La forma del relieve que caracteriza a la parte alta de la cuenca son las altiplanicies, montañas y serranías constituidas por materiales sedimentarios, ígneos volcánicos y vulcano-sedimentarios. La parte baja del valle, donde se ubican las pequeñas colinas, lomas y sus partes planas, está formada por depósitos eólicos, materiales lacustres y depósitos aluviales. La parte occidental está conformada por la cadena costanera, donde aflora una serie de rocas impermeables como gneis, micro conglomerados, etc. que forman el límite occidental del valle de Ica. Aguas abajo, en el sector de Ocucaje, entre Callango, Uliujalla y Monte Grande, los limitados

y esporádicos ensanchamientos del río Ica están aislados de los reservorios subterráneos de aguas arriba, sin embargo, forman pequeños acuíferos que son alimentados por el escaso e intermitente flujo del río Ica.

## 4.2 Parámetros Geomorfológicos

### 4.2.1 Parámetros de forma

En la Ilustración N° 12 se muestra la delimitación de la cuenca del río Ica y los ríos que se encuentran dentro de este.

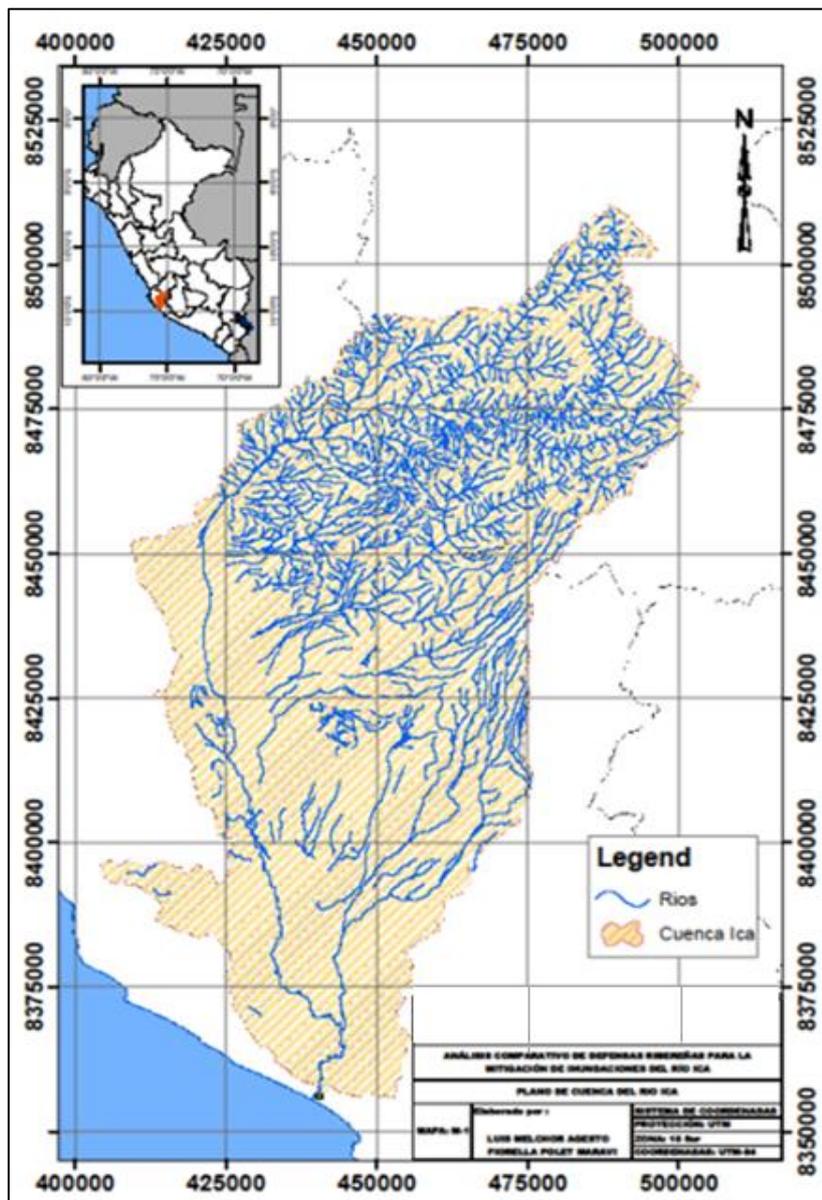


Ilustración N° 12: Delimitación de la cuenca del río Ica

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla N° 23 se muestran los parámetros de forma de la cuenca. Se observa que el área de la cuenca del río Ica es de 7291.72 km<sup>2</sup> por lo que según la

clasificación de Campos Aranda (1992) nos indica que la cuenca es muy grande; al ser una cuenca muy grande existirá la probabilidad de captar una mayor cantidad de precipitación por lo que podría existir mayores crecidas y transporte de sedimentos. Se observa que el perímetro de la cuenca del río Ica es de 534.19 km.

Tabla N° 23: Parámetros de forma

<b>Cuenca del Río Ica</b>	
Área (km <sup>2</sup> )	7291.72
Perímetro (km)	531.19
Coefficiente de asimetría	1.74
Índice de compacidad	1.7648
Factor de forma	0.1282
Lado mayor (L)	238.53
Rectángulo de Gravelius(km)	Lado menor (l) 30.57

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla N° 23 además se muestra que el coeficiente de asimetría es de 1.74 lo que indica que el margen derecho provee mayor aportación de agua al cauce principal. Mientras que el coeficiente de compacidad es de 1.768, según Gravelius (1914) es la cuenca menos propensa a inundaciones y según Gaspari et. (2012) la cuenca es irregular y con menor peligrosidad a las crecidas. El factor de forma de la cuenca es 0.1282 la cual según Villón (2002) indica que es alargada y muy poco achatada con escasas probabilidades de transformaciones de precipitaciones a caudales. Por otra parte se muestra que el rectángulo de Gravelius tiene una dimensión de longitud del lado mayor del rectángulo 238.53 km y la longitud del lado menor del rectángulo es de 30.57 km.

#### 4.2.2 Parámetros de relieve

Con el software ArcGIS se alcanzó las distintas altitudes que se pueden encontrar en la cuenca del río Ica, las cuales se dividió en 8 sectores; que va desde la altitud de 0 m.s.n.m. la cual es el sector donde el río desemboca en el océano pacífico a la altitud de 4653.64 m.s.n.m. la cual se ubica en departamento de Huancavelica.

En la Tabla N° 24 se describe los 8 sectores con sus respectivas áreas parciales y acumuladas de acuerdo a su altitud, con la cual se podrá elaborar la Curva Hipsométrica.

Tabla N° 24: Altitudes y Áreas parciales de la cuenca del río Ica

Altitud m.s.n.m.	Áreas parciales		Áreas acumuladas			
	Km <sup>2</sup>	(%)	Por debajo		Por encima	
			(Km <sup>2</sup> )	(%)	Km <sup>2</sup>	(%)
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7291.58	100.00
569.49	2540.50	34.84	2540.50	34.84	4751.08	65.16
1152.95	1230.07	16.87	3770.57	51.71	3521.01	48.29
1736.40	597.89	8.20	4368.46	59.91	2923.12	40.09
2319.84	603.09	8.27	4971.55	68.18	2320.03	31.82
2903.30	643.57	8.83	5615.12	77.01	1676.46	22.99
3486.75	505.43	6.93	6120.55	83.94	1171.03	16.06
4070.19	642.92	8.82	6763.46	92.76	528.12	7.24
4653.64	528.12	7.24	7291.58	100.00	0.00	0.00
<b>Total</b>	<b>7291.58</b>	<b>100.00</b>				

Fuente: Elaboración propia

En la Figura N° 9 se muestran dos curvas hipsométricas interceptadas, una con el área acumulada por debajo y otra con el área acumulada por encima; el resultado de esta intercepción nos da una altitud media de 1080.00 m.s.n.m. Mientras que la curva hipsométrica de color azul es una curva tipo C, la cual nos indica que la cuenca es sedimentaria y que se encuentra en fase de vejez.

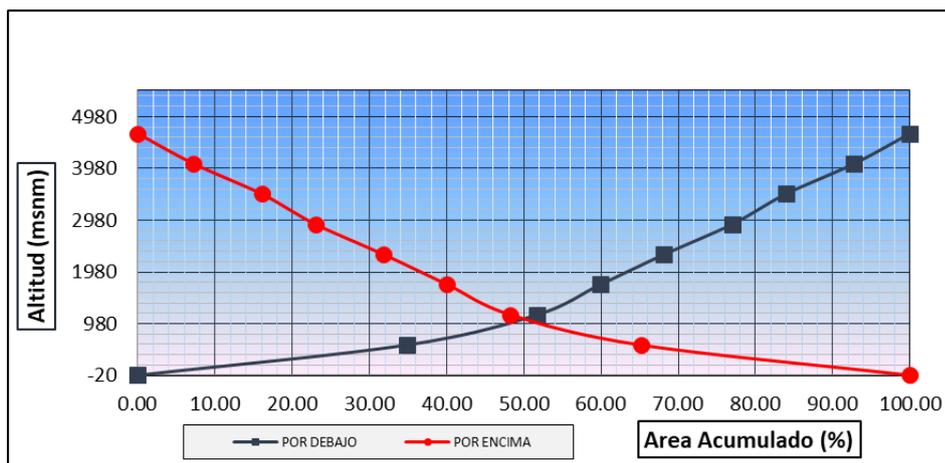


Figura N° 9: Curvas Hipsométricas

Fuente: Elaboración propia

A parte del método anteriormente mencionado para hallar la altitud media usamos el método de altitud media ponderada y la simple las cuales nos arroja un valor 1 629.32 m.s.n.m. y 2 319.84 m.s.n.m. respectivamente. En la Tabla N° 25 se usan los datos de las áreas parciales hallados anteriormente y la altitud media de cada sector para luego multiplicarlos y hallar la sumatoria total; al obtener la sumatoria se divide entre el área total de la cuenca para poder obtener la altitud media ponderada.

Tabla N° 25: Altitud media ponderada

<b>ai</b>	<b>ci(altitud media)</b>	<b>ai*ci</b>
2540.50	277.8	705672.74
1230.07	861.2	1059364.09
597.89	1444.7	863754.61
603.09	2028.1	1223133.71
643.57	2611.6	1680729.17
505.43	3195.0	1614853.70
642.92	3778.5	2429236.75
528.12	4361.9	2303605.47
7291.58	Σ	11880350.23
		<b>H = 1,629.32</b>

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla N° 26 se analizarán los resultados obtenidos de la comparación de altitud media, con lo cual podemos ver que los métodos usados tienen mucha

diferencia de su valor; podemos concluir que el valor de 1629.32 m.s.n.m. se toma de referencia, ya que al comparar con el Boletín N°3 del INGMENT de Hidrogeología de la cuenca del río ICA tiene un valor de 1652.33 m.s.n.m.

Tabla N° 26: Comparación de resultados de altitud media

	Curva hipsométrica	Método ponderado	Método simple
Altitud media (m.s.n.m.)	1080	1629.32	2319.84

Fuente: Elaboración propia

En la Figura N° 10 se muestra el polígono de frecuencias de áreas parciales en las cuales se ve el área que existe entre los 8 sectores que se dividió la cuenca del río Ica.

El primer sector seleccionado que comprende la altitud de 0 a 569 m.s.n.m. tiene una mayor área de terreno con respecto a las otras altitudes.

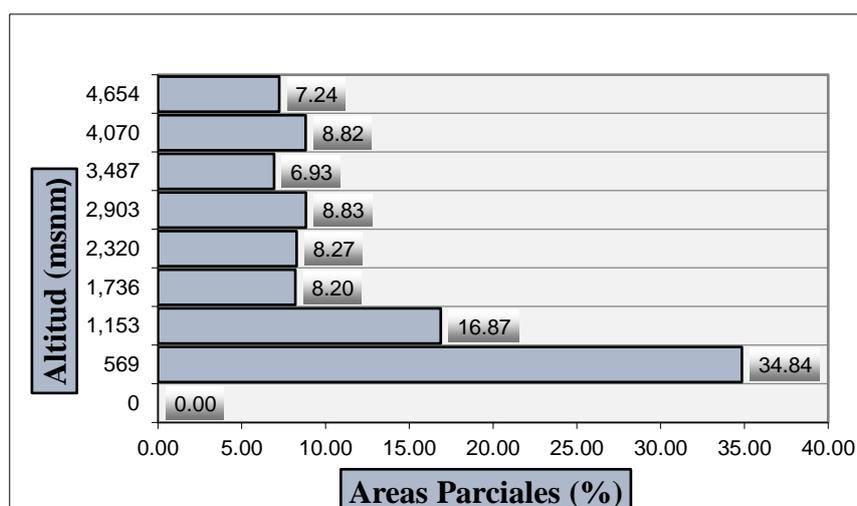


Figura N° 10: Polígono de frecuencias de áreas parciales

Fuente: Elaboración propia

En la Figura N° 11 se muestran las distintas altitudes con respecto a los 8 sectores que se dividió la cuenca del río Ica. Según el INGEMMET en su boletín N° 3 Serie H nos indica que la altitud estimada entre 0 a 10 m.s.n.m, presenta una topografía llana de litoral de playa, con pendientes entre 0.5 y 2 grados; la altitud que varía entre 10 a 800 m.s.n.m., es de pendientes naturales del orden de 1 a 10 grados con afloramientos locales de colinas y cerros bajos; la altitud que varía

entre los 400 a 800 m.s.n.m., se caracteriza por presentar un relieve suave a moderado con pendiente entre 5 a 25 grados; la altitud que varía entre 800 a 4 400 m.s.n.m. ,se caracteriza por presentar una topografía que varía de llana hasta abrupta, con pendientes naturales comprendidas entre 5 a 80 grados o más y la altitud varía entre 4400 a 4600 m.s.n.m. Presenta un relieve moderado constituido por pampas, colinas y cadenas de cerros bajos, con variaciones locales.

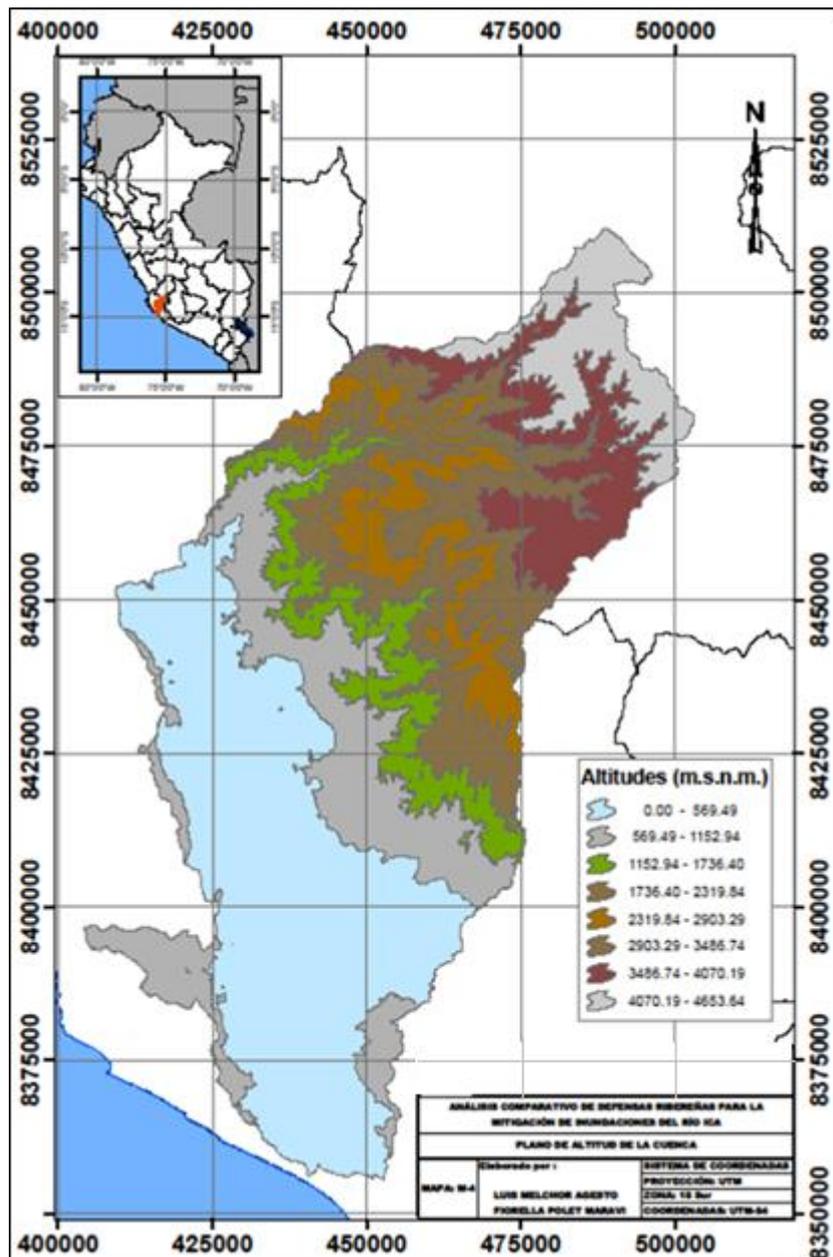


Figura N° 11: Altitud de la cuenca del río Ica

Fuente: Elaboración propia

La pendiente de la cuenca del río Ica es 16.76 %, lo que nos indica que el relieve de la cuenca es accidentado, en la Figura N° 12 podemos apreciar las pendientes que existen dentro de la cuenca del río Ica.

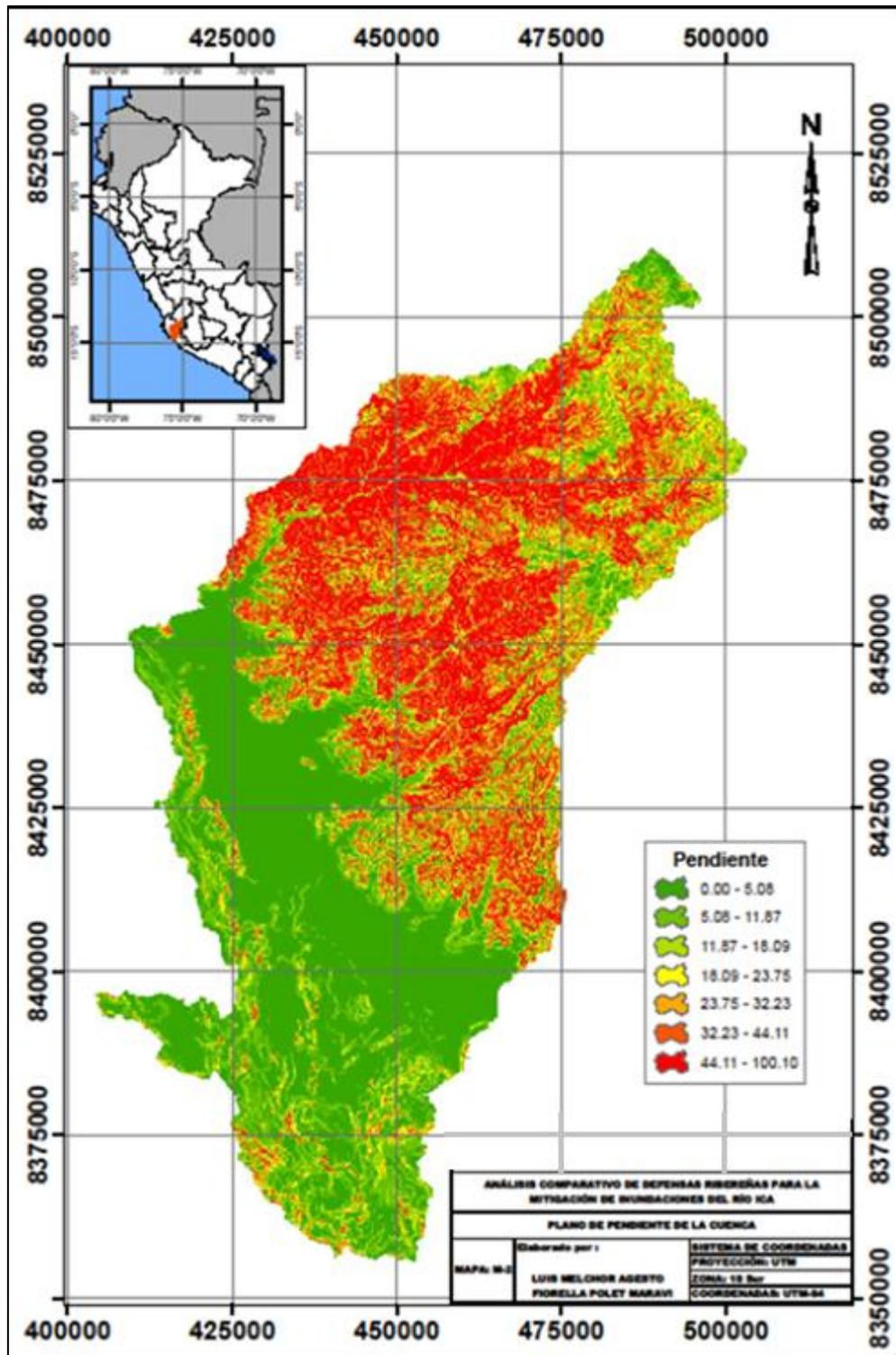


Figura N° 12: Pendientes en la cuenca del río Ica

Fuente: Elaboración propia

#### 4.2.3 Parámetros de la red hidrográfica

El orden de las corrientes de agua se obtuvo con el software ArcGIS, la cual nos indica el grado de bifurcación. En la Tabla N° 27 se muestra el número de orden de los cauces según su grado de bifurcación, el número de cauces que se encuentran en cada grado de bifurcación, la longitud total de acuerdo a cada grado de bifurcación y la longitud total de los cauces de la cuenca del río Ica.

Tabla N° 27: Sistema de Ordenes de las corrientes

Cuenca	N° de Orden	N° de cauces	Longitud
<b>Río Ica</b>	1	1527	1377.22
	2	637	631.06
	3	391	352.26
	4	178	217.16
	5	52	94.12
	6	11	14.25
<b>Longitud Total</b>			<b>2686.07</b>

Fuente: Elaboración propia

En la Figura N° 13 se muestra el orden de los cauces que se encuentran dentro de la cuenca del río Ica utilizando el software de ArcGIS las cuales nos dan 6 tipos de órdenes.

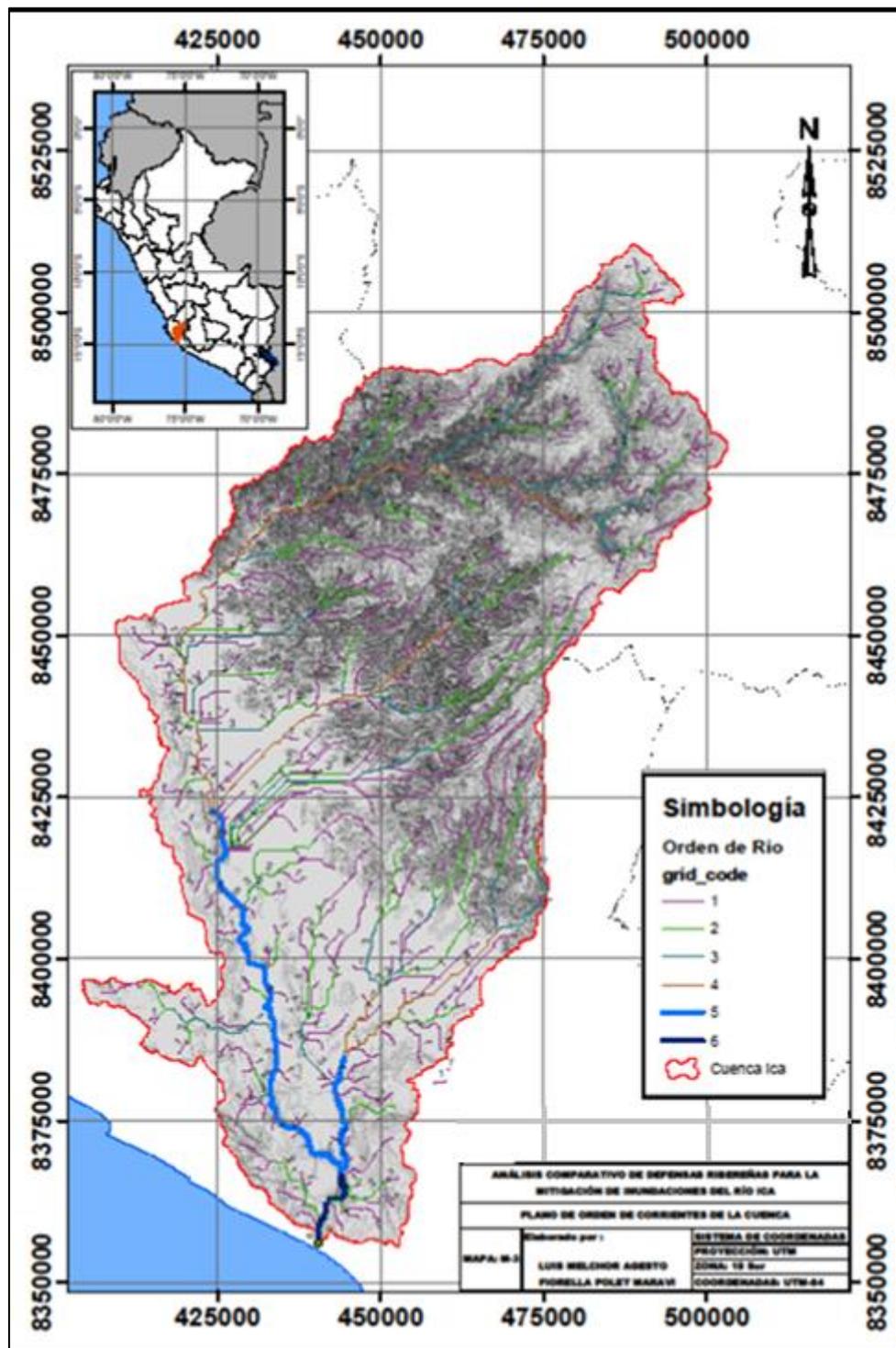


Figura N° 13: Orden de cauces del río Ica

Fuente: Elaboración propia

En la Figura N° 14 se muestra el perfil del río Ica debido a que es el río principal de la cuenca del río Ica con la cual nos ayudará a obtener la pendiente de esta.

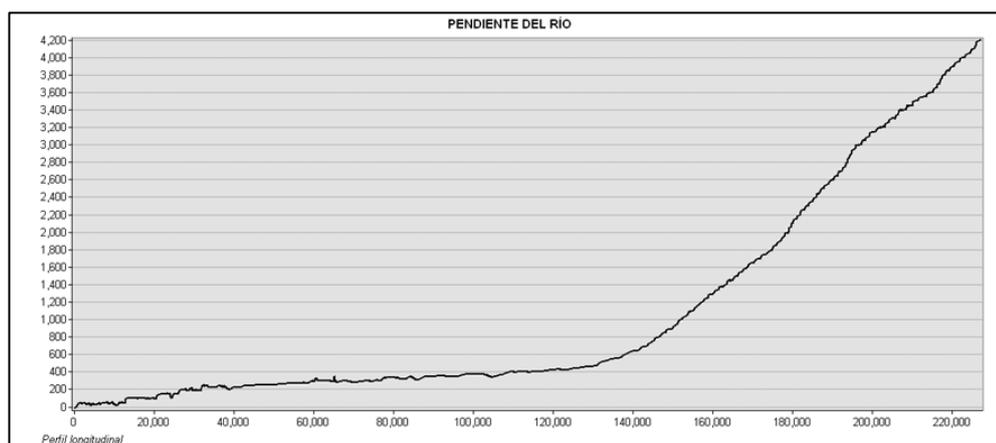


Figura N° 14: Perfil del río Ica.

Fuente: Elaboración propia

Para hallar la pendiente del río Ica se utilizó la ecuación de Taylor Schwarz, con esta ecuación obtuvimos una pendiente 25.06 % la cual nos da una aproximación de la velocidad del escurrimiento. En la Tabla N° 28 se muestran las progresivas y sus cotas respectivas con la cual obtendremos la pendiente del río Ica.

Tabla N° 28: Pendiente del río Ica

Progresiva	Long. (m)	Long Acum (m)	Cota	Desnivel	S	1/(S)^0.5
0+000	0.00	0.00	0.00			
0+030	0.00	0.00	200.00	200.00	1.0000	1.0000
0+060	30.00	30.00	310.00	110.00	0.3548	1.6787
0+090	30.00	60.00	390.00	80.00	0.2051	2.2079
0+120	30.00	90.00	410.00	20.00	0.0488	4.5277
0+150	30.00	120.00	1000.00	590.00	0.5900	1.3019
0+180	30.00	150.00	2000.00	1000.00	0.5000	1.4142
0+210	30.00	180.00	3400.00	1400.00	0.4118	1.5584
0+242	32.00	212.00	4200.00	800.00	0.1905	2.2913
						15.9802
<b>Pendiente del río Ica</b>						<b>0.251</b>

Fuente: Elaboración propia

La densidad de drenaje según definió Strahler en 1952, es de 0.37 km/km<sup>2</sup>, lo cual nos indica que el flujo es menos dominante en el cauce frente al flujo en ladera, lo que se traduce en un mayor tiempo de respuesta de la cuenca y, por lo tanto, un mayor tiempo al pico del hidrograma. El número de corrientes por unidad de área es de 0.383.

El río Ica tiene una sinuosidad de 1.35. Este valor indica que la sinuosidad del cauce principal es moderada, ya que un valor de la sinuosidad menor a 1.25 define a un cauce con baja sinuosidad.

El tiempo de concentración según la fórmula de Kirpich es de 20.43 horas.

#### 4.3 Período de retorno

Según el manual de Hidrología, Hidráulica y Drenajes del MTC nos indica que para las defensas ribereñas el valor máximo recomendado para el riesgo de falla admisible es de 25%. Asimismo, nos indica que la vida útil para el caso de defensas ribereñas es de 40 años. Luego de haber determinado los valores de la vida útil de la estructura y el riesgo de falla admisible se calculó el periodo de retorno (T), la cual nos da un valor de 140 años.

##### 4.3.1 Precipitación

La información de donde se recopiló los datos para obtener las precipitaciones, es del servicio nacional de meteorología e hidrología del Perú (SENAMHI). Se localizó las estaciones pluviométricas que se encuentran dentro de la cuenca del río Ica, las cuales presentan las precipitaciones máximas en 24 hrs. En la Tabla N° 29 se muestra las estaciones meteorológicas con sus respectivas coordenadas geográficas, la altitud donde fueron ubicadas.

Tabla N° 29: Coordenadas Geográficas y altitud

Id	Estación	Coordenadas Geográficas		Altitud
		Latitud	Longitud	
		0	TAMBO	
1	STG. CHOCORVOS	13° 49' 59.1 "	75° 15' 3 "	2700
2	HUAMANI	13° 50' 59.22 "	75° 36' 25.33 "	790
3	TACAMA	13° 59' 59.22 "	75° 43' 13.88 "	429
4	CHALLACA	13° 47' 25.68 "	75° 22' 55.64 "	1800
5	SAN JUAN DE HUIRCAPANCHA	13° 57' 1 "	75° 14' 1 "	3650
6	SANTA ROSA	13° 45' 1 "	74° 59' 1 "	4267

Fuente: Elaboración propia

Como se observa en la Tabla N° 29, existen siete estaciones pluviométricas que se encuentran dentro de la cuenca del río Ica. Las estaciones pluviométricas nos dan la información de precipitaciones en 24 horas que se utilizarán.

En la Tabla N° 30 se observan las siete estaciones pluviométricas; cada una con su respectivo registro de precipitación total máxima mensual histórica (mm). Asu vez el registro histórico de las estaciones va desde el año 1972 hasta el 2019.

Tabla N° 30: Registro histórico de precipitaciones en 24 horas

<b>Año</b>	<b>Tambo</b>	<b>Stg. Chocorvos</b>	<b>Huamani</b>	<b>Tacama</b>	<b>Challaca</b>	<b>San Juan de Huircapancha</b>	<b>Santa rosa</b>
<b>1972</b>	339	489.00	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
<b>1973</b>	357.9	89.10	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
<b>1974</b>	132.1	53.00	7.10	S/D	S/D	S/D	S/D
<b>1975</b>	167.7	99.00	23.00	S/D	S/D	S/D	S/D
<b>1976</b>	196.2	91.00	19.00	S/D	S/D	S/D	S/D
<b>1977</b>	207.5	103.00	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
<b>1978</b>	115.3	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
<b>1979</b>	180.7	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
<b>1980</b>	99.4	17.20	0.30	S/D	S/D	S/D	S/D
<b>1981</b>	157.7	83.80	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
<b>1982</b>	103.3	129.10	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
<b>1983</b>	88.5	102.30	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
<b>1984</b>	253.4	198.50	0.40	S/D	S/D	S/D	S/D
<b>1985</b>	207.5	163.40	11.90	S/D	S/D	S/D	S/D
<b>1986</b>	178	105.10	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
<b>1987</b>	109.9	46.30	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
<b>1988</b>	144.1	35.90	50.40	S/D	S/D	S/D	S/D
<b>1989</b>	207.1	248.40	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
<b>1990</b>	187.5	17.60	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
<b>1991</b>	145.3	36.20	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
<b>1993</b>	333.9	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	4.40
<b>1994</b>	150.1	117.10	S/D	S/D	S/D	S/D	23.00

<b>1995</b>	273	102.90	S/D	S/D	S/D	S/D	7.00
<b>1996</b>	103	128.70	S/D	S/D	S/D	S/D	15.30
<b>1997</b>	108.1	48.10	S/D	S/D	S/D	71.00	0.00
<b>1998</b>	330.3	278.50	S/D	S/D	S/D	95.40	16.00
<b>1999</b>	478.1	S/D	22.20	S/D	S/D	81.80	S/D
<b>2000</b>	161.3	79.80	3.80	S/D	S/D	72.70	S/D
<b>2001</b>	245	136.60	2.70	S/D	S/D	55.70	S/D
<b>2002</b>	200.5	54.30	6.70	S/D	S/D	S/D	S/D
<b>2003</b>	114.5	55.40	2.70	S/D	S/D	S/D	S/D
<b>2004</b>	96	91.80	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
<b>2005</b>	72	52.80	13.00	S/D	S/D	S/D	S/D
<b>2006</b>	157	112.70	5.60	S/D	S/D	S/D	S/D
<b>2007</b>	86.3	45.40	0.80	S/D	S/D	S/D	S/D
<b>2008</b>	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
<b>2015</b>	S/D	S/D	S/D	S/D	10.90	S/D	S/D
<b>2016</b>	S/D	S/D	S/D	S/D	4.70	S/D	S/D
<b>2017</b>	S/D	S/D	S/D	3.80	12.00	S/D	S/D
<b>2018</b>	S/D	S/D	S/D	7.20	5.70	S/D	S/D
<b>2019</b>	S/D	S/D	S/D	2.50	16.20	S/D	S/D
<b>PP. Máx.</b>	<b>478.1</b>	<b>489</b>	<b>50.4</b>	<b>7.2</b>	<b>16.2</b>	<b>95.4</b>	<b>23.00</b>

Fuente: Elaboración propia

Los datos completos de las estaciones pluviométricas obtenidas del SENAMHI se encuentran en el ANEXO B1, B2, B3, B4, B5, B6 y B7.

#### 4.3.2 Análisis estadísticos de las precipitaciones máximas

El software HIDROESTA 2 contiene las funciones de distribución de probabilidad las cuales se encargan de calcular el error estándar de cada muestra de precipitación ingresada; este software contiene las siguientes funciones de distribución, tales como: distribución Normal, LogNormal 2 parámetros, LogNormal 3 parámetros, Ganmma 2 parámetros, Ganmma 3 parámetros, LogPearson Tipo III, Gumbel y LogGumbel. En la Tabla N° 31 se muestra cuatro estaciones pluviométricas con sus respectivas funciones de distribución. También

se muestra el error estándar que fue calculado con el software; luego de esto se determinó que función de distribución de probabilidad tiene el menor error estándar para luego asociarlo con distintos periodos de retorno.

Tabla N° 31: Funciones de distribución de probabilidad

No	Función de Distribución	Est. Tambo		Est. Santa Rosa		Est. Huamani		Est. Chocorvos	
		teórico	tabulado	teórico	tabulado	teórico	tabulado	teórico	tabulado
1	Normal	0.126	0.608	0.181	0.555	0.185	0.430	0.161	0.608
2	LogNormal 2 parámetros	0.172	0.608	0.106	0.555	0.077	0.430	0.142	0.608
3	LogNormal 3 parámetros	No se ajusta	0.608	0.151	0.555	0.095	0.430	0.129	0.608
4	Ganmma 2 parámetros	0.173	0.608	0.145	0.555	0.101	0.430	0.166	0.608
5	Ganmma 3 parámetros	No se ajusta	0.608	0.159	0.555	0.107	0.430	0.124	0.608
6	LogPearson Tipo III	No se ajusta	0.608	No se ajusta	0.555	No se ajusta	0.430	0.114	0.608
7	Gumbel	0.173	0.608	0.168	0.555	0.133	0.430	0.116	0.608
8	LogGumbel	0.228	0.608	0.128	0.555	0.119	0.430	0.121	0.608

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla N° 32 se muestra cuatro estaciones pluviométricas con sus respectivas funciones de distribución. También se muestra el error estándar que fue calculado con el software; luego de esto se determinó que función de distribución de probabilidad tiene el menor error estándar para luego asociarlo con distintos periodos de retorno.

Tabla N° 32: Funciones de distribución de probabilidad

No	Función de Distribución	Est. San Juan de Huircapancha		Est. Tacama		Est. Challaca	
		teórico	tabulado	teórico	tabulado	teórico	tabulado
1	Normal	0.117	0.6082	0.1407	0.514	0.1673	0.514
2	LogNormal 2 parámetros	0.1071	0.6082	0.1173	0.514	0.1461	0.514
3	LogNormal 3 parámetros	0.1408	0.6082	0.1564	0.514	No se ajusta	0.514
4	Ganmma 2 parámetros	0.1371	0.6082	0.1438	0.514	0.1768	0.514
5	Ganmma 3 parámetros	0.11287	0.6082	0.13848	0.514	No se ajusta	0.514
6	LogPearson Tipo III	No se ajusta	0.6082	No se ajusta	0.514	No se ajusta	0.514
7	Gumbel	0.118	0.6082	0.1406	0.514	0.1961	0.514
8	LogGumbel	0.1202	0.6082	0.1519	0.514	0.2067	0.514

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla N° 33 se muestra las siete estaciones pluviométricas con su respectiva función de distribución de probabilidad más adecuado, debido a que esta presenta un menor error estándar.

Tabla N° 33: Selección de función de distribución de probabilidad más adecuada

No	Función de Distribución	Est. Tambo	Est. Santa Rosa	Est. Huamani	Est. Chocorvos	Est. San Juan de Huircapancha	Est. Tacama	Est. Challaca
1	Normal	x						
2	LogNormal 2 parámetros		x	x		x	x	x
3	LogNormal 3 parámetros							
4	Gamma 2 parámetros							
5	Gamma 3 parámetros							
6	LogPearson Tipo III				x			
7	Gumbel							
8	LogGumbel							

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla N° 34 se muestra las siete estaciones pluviométricas con los periodos de retorno seleccionado. Asimismo, se presentan las precipitaciones máximas en 24 horas de acuerdo al periodo de retorno.

Tabla N° 34: Precipitaciones máximas 24 horas de acuerdo al periodo de retorno

T (años)	Est. Tambo	Est. Santa Rosa	Est. Huamani	Est. Chocorvos	Est. San Juan de Huircapancha	Est. Tacama	Est. Challaca
2	19.00	6.01	5.57	32.66	22.00	4.48	7.96
5	28.29	20.66	12.81	38.96	28.79	6.41	19.64
10	33.16	39.42	19.82	43.14	33.14	7.73	31.50
15	35.58	54.42	24.63	45.51	35.55	8.49	39.87
20	37.17	67.21	28.40	47.18	37.23	9.03	46.53
25	38.34	78.51	31.54	48.47	38.51	9.44	52.13
30	39.26	88.71	34.25	49.52	39.55	9.78	57.00
50	41.69	122.50	42.59	52.47	42.43	10.74	72.17
140	46.07	219.14	63.05	58.51	48.16	12.71	110.42
200	47.46	263.59	71.42	60.62	50.14	13.41	126.39
500	50.79	410.80	96.35	66.16	55.22	15.25	174.83

Fuente: Elaboración propia

#### 4.3.3 Valor de corrección

La Organización Meteorológica Mundial (OMM) recomienda aplicar un coeficiente de corrección para estaciones pluviométricas que registren precipitaciones en 24 horas. Para el caso nuestro el SENAMHI registra

precipitaciones máximas en 24 horas por lo cual el coeficiente de corrección será de 1.13.

En la Tabla N° 35 se muestran las siete estaciones pluviométricas y los periodos de retornos seleccionados. Asimismo, se muestra la corrección de los datos de precipitaciones máximas.

Tabla N° 35: Coeficiente de corrección de precipitaciones máximas en 24 horas

<b>T</b> <b>(años)</b>	<b>Est.</b> <b>Tambo</b>	<b>Est.</b> <b>Santa</b> <b>Rosa</b>	<b>Est.</b> <b>Huamani</b>	<b>Est.</b> <b>Chocorvos</b>	<b>Est. San Juan</b> <b>de</b> <b>Huircapancha</b>	<b>Est.</b> <b>Tacama</b>	<b>Est.</b> <b>Challaca</b>
<b>2</b>	21.47	6.79	6.29	36.91	24.86	5.06	8.99
<b>5</b>	31.97	23.35	14.48	44.02	32.53	7.24	22.19
<b>10</b>	37.47	44.54	22.40	48.75	37.45	8.73	35.60
<b>15</b>	40.21	61.49	27.83	51.43	40.17	9.59	45.05
<b>20</b>	42.00	75.95	32.09	53.31	42.07	10.20	52.58
<b>25</b>	43.32	88.72	35.64	54.77	43.52	10.67	58.91
<b>30</b>	44.36	100.24	38.70	55.96	44.69	11.05	64.41
<b>50</b>	47.11	138.43	48.13	59.29	47.95	12.14	81.55
<b>140</b>	52.06	247.63	71.25	66.12	54.42	14.36	124.77
<b>200</b>	53.63	297.86	80.70	68.50	56.66	15.15	142.82
<b>500</b>	57.39	464.20	108.88	74.76	62.40	17.23	197.56

Fuente: Elaboración propia

#### 4.3.4 Curvas Intensidad – Duración - Frecuencia

La intensidad es la precipitación por unidad de tiempo. Habiendo hallado anteriormente las precipitaciones con su factor de corrección se procederán a poner distintos valores de tiempos hasta alcanzar las 24 horas con la finalidad de hallar las intensidades máximas diarias en mm/min.

Usando el modelo potencial Aparicio (1992) se busca establecer de forma apropiada la relación funcional entre las tres variables para hallar el coeficiente de corrección a la intensidad máxima. Luego de determinar estos valores se graficó la curva IDF respecto al periodo de retorno de 140 años. A continuación, se analizará las intensidades máximas diarias de cada estación pluviométrica.

- Estación Challaca

En la Tabla N° 36 se muestra la intensidad máxima de la estación Challaca, usando los periodos de retorno seleccionado con respecto al tiempo en minutos.

Tabla N° 36: Intensidad máxima de la estación Challaca

T (años)	Las intensidades máximas diarias en mm/min											
	5	10	15	20	25	30	60	360	480	600	720	1440
2	26.20	15.58	11.49	9.26	7.84	6.83	4.06	1.06	0.85	0.72	0.63	0.37
5	64.65	38.44	28.36	22.86	25.00	30.00	10.03	2.62	2.11	1.78	1.56	0.92
10	103.69	61.65	45.49	36.66	7.84	6.83	16.08	4.19	3.38	2.86	2.49	1.48
15	131.24	78.03	57.57	46.40	25.00	30.00	20.36	5.31	4.28	3.62	3.16	1.88
20	153.16	91.07	67.19	54.15	7.84	6.83	23.76	6.20	4.99	4.22	3.68	2.19
25	171.59	102.03	75.28	60.67	25.00	30.00	26.61	6.94	5.59	4.73	4.13	2.45
30	187.62	111.56	82.31	66.33	7.84	6.83	29.10	7.59	6.12	5.17	4.51	2.68
50	237.56	141.25	104.21	83.99	25.00	30.00	36.85	9.61	7.75	6.55	5.71	3.40
140	363.46	216.12	159.45	128.50	7.84	6.83	56.37	14.70	11.85	10.02	8.74	5.20
200	416.03	247.37	182.51	147.09	25.00	30.00	64.53	16.83	13.57	11.47	10.01	5.95
500	575.48	342.18	252.46	203.46	7.84	6.83	89.26	23.28	18.76	15.87	13.84	8.23

Fuente: Elaboración propia

- Estación Tacama

En la Tabla N° 37 se muestra la intensidad máxima de la estación Tacama, usando los periodos de retorno seleccionado con respecto al tiempo en minutos.

Tabla N° 37: Intensidad máxima de la estación Tacama

T (años)	Las intensidades máximas diarias en mm/min											
	5	10	15	20	25	30	60	360	480	600	720	1440
2	14.75	8.77	6.47	5.21	4.41	3.85	2.29	0.60	0.48	0.41	0.35	0.21
5	21.10	12.55	9.26	7.46	25.00	30.00	3.27	0.85	0.69	0.58	0.51	0.30
10	25.44	15.13	11.16	9.00	4.41	3.85	3.95	1.03	0.83	0.70	0.61	0.36
15	27.95	16.62	12.26	9.88	25.00	30.00	4.33	1.13	0.91	0.77	0.67	0.40
20	29.72	17.67	13.04	10.51	4.41	3.85	4.61	1.20	0.97	0.82	0.72	0.43
25	31.07	18.48	13.63	10.99	25.00	30.00	4.82	1.26	1.01	0.86	0.75	0.44
30	32.19	19.14	14.12	11.38	4.41	3.85	4.99	1.30	1.05	0.89	0.77	0.46
50	35.35	21.02	15.51	12.50	25.00	30.00	5.48	1.43	1.15	0.98	0.85	0.51
140	41.84	24.88	18.35	14.79	4.41	3.85	6.49	1.69	1.36	1.15	1.01	0.60
200	44.14	26.25	19.36	15.61	25.00	30.00	6.85	1.79	1.44	1.22	1.06	0.63
500	50.20	29.85	22.02	17.75	4.41	3.85	7.79	2.03	1.64	1.38	1.21	0.72

Fuente: Elaboración propia

- Estación San Juan de Huircapancha

En la Tabla N° 38 se muestra la intensidad máxima de la estación San Juan de Huircapancha, usando los periodos de retorno seleccionado con respecto al tiempo en minutos.

Tabla N° 38: Intensidad máxima de la estación San Juan de Huircapancha

T (años)	Las intensidades máximas diarias en mm/min											
	5	10	15	20	25	30	60	360	480	600	720	1440
2	72.42	43.06	31.77	25.60	21.66	18.89	11.23	2.93	2.36	2.00	1.74	1.04
5	94.77	56.35	41.57	33.50	25.00	30.00	14.70	3.83	3.09	2.61	2.28	1.36
10	109.08	64.86	47.85	38.57	21.66	18.89	16.92	4.41	3.56	3.01	2.62	1.56
15	117.02	69.58	51.33	41.37	25.00	30.00	18.15	4.73	3.82	3.23	2.82	1.67
20	122.55	72.87	53.76	43.33	21.66	18.89	19.01	4.96	4.00	3.38	2.95	1.75
25	126.76	75.37	55.61	44.82	25.00	30.00	19.66	5.13	4.13	3.50	3.05	1.81
30	130.18	77.41	57.11	46.03	21.66	18.89	20.19	5.27	4.24	3.59	3.13	1.86
50	139.66	83.04	61.27	49.38	25.00	30.00	21.66	5.65	4.55	3.85	3.36	2.00
140	158.53	94.26	69.54	56.05	21.66	18.89	24.59	6.41	5.17	4.37	3.81	2.27
200	165.04	98.13	72.40	58.35	25.00	30.00	25.60	6.68	5.38	4.55	3.97	2.36
500	181.76	108.08	79.74	64.26	21.66	18.89	28.19	7.35	5.93	5.01	4.37	2.60

Fuente: Elaboración propia

- Estación de Chocorvos

En la Tabla N° 39 se muestra la intensidad máxima de la estación de Chocorvos, usando los periodos de retorno seleccionado con respecto al tiempo en minutos.

Tabla N° 39: Intensidad máxima de la estación de Chocorvos

T (años)	Las intensidades máximas diarias en mm/min											
	5	10	15	20	25	30	60	360	480	600	720	1440
2	107.50	63.92	47.16	38.01	32.15	28.04	16.67	4.35	3.51	2.97	2.59	1.54
5	128.24	76.25	56.26	45.34	25.00	30.00	19.89	5.19	4.18	3.54	3.09	1.83
10	142.00	84.43	62.29	50.20	32.15	28.04	22.02	5.75	4.63	3.92	3.42	2.03
15	149.80	89.07	65.72	52.96	25.00	30.00	23.23	6.06	4.88	4.13	3.60	2.14
20	155.30	92.34	68.13	54.91	32.15	28.04	24.09	6.28	5.06	4.28	3.74	2.22
25	159.55	94.87	69.99	56.41	25.00	30.00	24.75	6.45	5.20	4.40	3.84	2.28
30	163.00	96.92	71.51	57.63	32.15	28.04	25.28	6.59	5.31	4.50	3.92	2.33
50	172.71	102.70	75.77	61.06	25.00	30.00	26.79	6.99	5.63	4.76	4.15	2.47
140	192.59	114.52	84.49	68.09	32.15	28.04	29.87	7.79	6.28	5.31	4.63	2.75
200	199.54	118.65	87.54	70.55	25.00	30.00	30.95	8.07	6.51	5.50	4.80	2.85
500	217.77	129.49	95.54	76.99	32.15	28.04	33.78	8.81	7.10	6.01	5.24	3.12

Fuente: Elaboración propia

- Estación Huamani

En la Tabla N° 40 se muestra la intensidad máxima de la estación Huamani, usando los periodos de retorno seleccionado con respecto al tiempo en minutos.

Tabla N° 40: Intensidad máxima de la estación Huamani

T (años)	Las intensidades máximas diarias en mm/min											
	5	10	15	20	25	30	60	360	480	600	720	1440
2	18.33	10.90	8.04	6.48	5.48	4.78	2.84	0.74	0.60	0.51	0.44	0.26
5	42.17	25.07	18.50	14.91	25.00	30.00	6.54	1.71	1.37	1.16	1.01	0.60
10	65.24	38.79	28.62	23.07	5.48	4.78	10.12	2.64	2.13	1.80	1.57	0.93
15	81.07	48.21	35.57	28.66	25.00	30.00	12.57	3.28	2.64	2.24	1.95	1.16
20	93.48	55.58	41.01	33.05	5.48	4.78	14.50	3.78	3.05	2.58	2.25	1.34
25	103.82	61.73	45.54	36.71	25.00	30.00	16.10	4.20	3.39	2.86	2.50	1.49
30	112.74	67.03	49.46	39.86	5.48	4.78	17.49	4.56	3.68	3.11	2.71	1.61
50	140.19	83.36	61.50	49.56	25.00	30.00	21.74	5.67	4.57	3.87	3.37	2.01
140	207.54	123.40	91.04	73.38	5.48	4.78	32.19	8.40	6.77	5.72	4.99	2.97
200	235.09	139.78	103.13	83.12	25.00	30.00	36.46	9.51	7.67	6.48	5.66	3.36
500	317.15	188.58	139.13	112.13	5.48	4.78	49.19	12.83	10.34	8.75	7.63	4.54

Fuente: Elaboración propia

- Estación Santa Rosa

En la Tabla N° 41 se muestra la intensidad máxima de la estación Santa Rosa, usando los periodos de retorno seleccionado con respecto al tiempo en minutos.

Tabla N° 41: Intensidad máxima de la estación Santa Rosa

T (años)	Las intensidades máximas diarias en mm/min											
	5	10	15	20	25	30	60	360	480	600	720	1440
2	19.78	11.76	8.68	6.99	5.92	5.16	3.07	0.80	0.65	0.55	0.48	0.28
5	68.01	40.44	29.83	24.04	25.00	30.00	10.55	2.75	2.22	1.88	1.64	0.97
10	129.76	77.15	56.92	45.88	5.92	5.16	20.13	5.25	4.23	3.58	3.12	1.86
15	179.13	106.51	78.58	63.33	25.00	30.00	27.78	7.25	5.84	4.94	4.31	2.56
20	221.23	131.54	97.05	78.22	5.92	5.16	34.31	8.95	7.21	6.10	5.32	3.16
25	258.43	153.66	113.37	91.37	25.00	30.00	40.08	10.46	8.43	7.13	6.22	3.70
30	292.00	173.62	128.10	103.24	5.92	5.16	45.29	11.81	9.52	8.05	7.02	4.18
50	403.23	239.76	176.89	142.56	25.00	30.00	62.54	16.31	13.15	11.12	9.70	5.77
140	721.33	428.90	316.44	255.03	5.92	5.16	111.88	29.18	23.52	19.90	17.35	10.32
200	867.64	515.90	380.63	306.76	25.00	30.00	134.57	35.10	28.29	23.93	20.87	12.41
500	1352.20	804.02	593.20	478.08	5.92	5.16	209.73	54.71	44.09	37.30	32.53	19.34

Fuente: Elaboración propia

- Estación Tambo

En la Tabla N° 42 se muestra la intensidad máxima de la estación Tambo, usando los periodos de retorno seleccionado con respecto al tiempo en minutos.

Tabla N° 42: Intensidad máxima de la estación Tambo

T (años)	Las intensidades máximas diarias en mm/min											
	5	10	15	20	25	30	60	360	480	600	720	1440
2	62.54	37.19	27.44	22.11	18.70	16.31	9.70	2.53	2.04	1.72	1.50	0.89
5	93.12	55.37	40.85	32.92	25.00	30.00	14.44	3.77	3.04	2.57	2.24	1.33
10	109.15	64.90	47.88	38.59	18.70	16.31	16.93	4.42	3.56	3.01	2.63	1.56
15	117.12	69.64	51.38	41.41	25.00	30.00	18.16	4.74	3.82	3.23	2.82	1.68
20	122.35	72.75	53.67	43.26	18.70	16.31	18.98	4.95	3.99	3.37	2.94	1.75
25	126.20	75.04	55.36	44.62	25.00	30.00	19.57	5.11	4.11	3.48	3.04	1.81
30	129.23	76.84	56.69	45.69	18.70	16.31	20.04	5.23	4.21	3.56	3.11	1.85
50	137.23	81.60	60.20	48.52	25.00	30.00	21.28	5.55	4.47	3.78	3.30	1.96
140	151.65	90.17	66.53	53.61	18.70	16.31	23.52	6.14	4.94	4.18	3.65	2.17
200	156.22	92.89	68.53	55.23	25.00	30.00	24.23	6.32	5.09	4.31	3.76	2.23
500	167.18	99.41	73.34	59.11	18.70	16.31	25.93	6.76	5.45	4.61	4.02	2.39

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se determinará los valores k, m y n para poder determinar la corrección de la intensidad máxima. Estos valores se obtendrán por el modelo potencial Aparicio (1992), la cual se representan en las fórmulas 56, 57, 58 y 59.

$$Y = a_1X_1 + a_2X_2 + a_0 \quad (56)$$

$$Y = \text{Log } I \quad (57)$$

$$X_1 = \text{Log } T \quad (58)$$

$$X_2 = \text{Log } D \quad (59)$$

Al obtener los valores de a1, a2 y a0; se puede hallar los valores que se necesitaran para hallar la corrección de intensidad máxima.

El valor de a1 es igual al de m, a2 es igual al de -n y el valor de a0 es igual al de log k. En la Tabla N° 43 se muestran los valores m, n y k para poder determinar la corrección de la intensidad máxima de cada estación pluviométrica.

Tabla N° 43: Valores m, n y k de las estaciones pluviométricas

Valores	Est. Tambo	Est. Santa Rosa	Est. Huamani	Est. Chocorvos	Est. San Juan	Est. Tacama	Est. Challaca
					de Huircapanch a		
<b>m</b>	0.153	0.660	0.446	0.110	0.144	0.193	0.483
<b>n</b>	0.721	0.635	0.679	0.728	0.724	0.731	0.668
<b>k</b>	180.333	29.595	37.204	302.844	202.453	43.315	49.179

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se mostrarán las intensidades máximas corregidas de las estaciones pluviométricas.

- Estación Challaca

En la Tabla N° 44 representa la variación de la intensidad expresada en mm/hora de las precipitaciones, en el transcurso de la misma expresada en minutos. También se observa que la intensidad máxima de la precipitación, es de 72.24 mm/hr, y se presentó a los 20 min. de iniciada la precipitación.

Tabla N° 44: Intensidades máximas en mm/hr

<b>Duración</b> <b>min</b>	<b>Tiempo</b> <b>(años)</b>	<b>I</b> <b>mm/hr.</b>	<b>Duración</b> <b>min</b>	<b>Tiempo</b> <b>(años)</b>	<b>I</b> <b>mm/hr.</b>
20	140	72.24	200	140	15.53
40	140	45.47	220	140	14.57
60	140	34.69	240	140	13.75
80	140	28.63	260	140	13.03
100	140	24.66	280	140	12.40
120	140	21.84	300	140	11.84
140	140	19.70	320	140	11.34
160	140	18.02	340	140	10.89
180	140	16.66	360	140	10.49

Fuente: Elaboración propia

- Estación Tacama

En la Tabla N° 45 representa la variación de la intensidad expresada en mm/hora de las precipitaciones, en el transcurso de la misma expresada en minutos. También se observa que la intensidad máxima de la precipitación, es de 12.60 mm/hr, y se presentó a los 20 min. de iniciada la precipitación.

Tabla N° 45: Intensidades máximas en mm/hr

<b>Duración</b> <b>min</b>	<b>Tiempo</b> <b>(años)</b>	<b>I</b> <b>mm/hr.</b>	<b>Duración</b> <b>min</b>	<b>Tiempo</b> <b>(años)</b>	<b>I</b> <b>mm/hr.</b>
20	140	12.60	200	140	2.34
40	140	7.59	220	140	2.18
60	140	5.64	240	140	2.05
80	140	4.57	260	140	1.93
100	140	3.88	280	140	1.83
120	140	3.40	300	140	1.74
140	140	3.03	320	140	1.66
160	140	2.75	340	140	1.59
180	140	2.53	360	140	1.52

Fuente: Elaboración propia

- Estación San Juan de Huircapancha

En la Tabla N° 46 representa la variación de la intensidad expresada en mm/hora de las precipitaciones, en el transcurso de la misma expresada en minutos. También se observa que la intensidad máxima de la precipitación, es de 46.99 mm/hr, y se presentó a los 20 min. de iniciada la precipitación.

Tabla N° 46: Intensidades máximas en mm/hr

<b>Duración min</b>	<b>Tiempo (años)</b>	<b>I mm/hr.</b>	<b>Duración min</b>	<b>Tiempo (años)</b>	<b>I mm/hr.</b>
20	140	46.99	200	140	8.86
40	140	28.44	220	140	8.27
60	140	21.20	240	140	7.77
80	140	17.21	260	140	7.33
100	140	14.64	280	140	6.95
120	140	12.83	300	140	6.61
140	140	11.48	320	140	6.30
160	140	10.42	340	140	6.03
180	140	9.57	360	140	5.79

Fuente: Elaboración propia

- Estación de Chocorvos

En la Tabla N° 47 representa la variación de la intensidad expresada en mm/hora de las precipitaciones, en el transcurso de la misma expresada en minutos. También se observa que la intensidad máxima de la precipitación, es de 58.84 mm/hr, y se presentó a los 20 min. de iniciada la precipitación.

Tabla N° 47: Intensidades máximas en mm/hr

<b>Duración min</b>	<b>Tiempo (años)</b>	<b>I mm/hr.</b>	<b>Duración min</b>	<b>Tiempo (años)</b>	<b>I mm/hr.</b>
20	140	58.84	200	140	11.01
40	140	35.53	220	140	10.27
60	140	26.45	240	140	9.64
80	140	21.45	260	140	9.10
100	140	18.23	280	140	8.62
120	140	15.97	300	140	8.20
140	140	14.27	320	140	7.82
160	140	12.95	340	140	7.48
180	140	11.89	360	140	7.18

Fuente: Elaboración propia

- Estación Huamani

En la Tabla N° 48 representa la variación de la intensidad expresada en mm/hora de las precipitaciones, en el transcurso de la misma expresada en minutos. También se observa que la intensidad máxima de la precipitación, es de 44.12 mm/hr, y se presentó a los 20 min. de iniciada la precipitación.

Tabla N° 48: Intensidades máximas en mm/hr

<b>Duración</b> <b>min</b>	<b>Tiempo</b> <b>(años)</b>	<b>I</b> <b>mm/hr.</b>	<b>Duración</b> <b>min</b>	<b>Tiempo</b> <b>(años)</b>	<b>I</b> <b>mm/hr.</b>
20	140	44.12	200	140	9.24
40	140	27.56	220	140	8.66
60	140	20.93	240	140	8.17
80	140	17.22	260	140	7.74
100	140	14.80	280	140	7.36
120	140	13.07	300	140	7.02
140	140	11.78	320	140	6.72
160	140	10.75	340	140	6.45
180	140	9.93	360	140	6.20

Fuente: Elaboración propia

- Estación Santa Rosa

En la Tabla N° 49 representa la variación de la intensidad expresada en mm/hora de las precipitaciones, en el transcurso de la misma expresada en minutos. También se observa que la intensidad máxima de la precipitación, es de 114.86 mm/hr, y se presentó a los 20 min. de iniciada la precipitación.

Tabla N° 49: Intensidades máximas en mm/hr

<b>Duración</b> <b>min</b>	<b>Tiempo</b> <b>(años)</b>	<b>I</b> <b>mm/hr.</b>	<b>Duración</b> <b>min</b>	<b>Tiempo</b> <b>(años)</b>	<b>I</b> <b>mm/hr.</b>
20	140	114.86	200	140	26.59
40	140	73.94	220	140	25.03
60	140	57.14	240	140	23.68
80	140	47.60	260	140	22.51
100	140	41.30	280	140	21.47
120	140	36.79	300	140	20.55
140	140	33.35	320	140	19.72
160	140	30.64	340	140	18.98
180	140	28.43	360	140	18.30

Fuente: Elaboración propia

- Estación Tambo

En la Tabla N° 50 representa la variación de la intensidad expresada en mm/hora de las precipitaciones, en el transcurso de la misma expresada en minutos. También se observa que la intensidad máxima de la precipitación, es de 44.19 mm/hr, y se presentó a los 20 min. de iniciada la precipitación.

Tabla N° 50: Intensidades máximas en mm/hr

<b>Duración</b>	<b>Tiempo</b>	<b>I</b>	<b>Duración</b>	<b>Tiempo</b>	<b>I</b>
<b>min</b>	<b>(años)</b>	<b>mm/hr.</b>	<b>min</b>	<b>(años)</b>	<b>mm/hr.</b>
20	140	44.19	200	140	8.39
40	140	26.80	220	140	7.83
60	140	20.00	240	140	7.36
80	140	16.25	260	140	6.94
100	140	13.84	280	140	6.58
120	140	12.13	300	140	6.26
140	140	10.85	320	140	5.98
160	140	9.86	340	140	5.72
180	140	9.05	360	140	5.49

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se mostrarán las curvas IDF con un periodo de retorno de 140 años.

- Estación Challaca

En la Figura N° 15 se muestra en el eje de la abscisa se coloca el tiempo, que va desde las 0 horas a las 3 horas y en el eje de la ordenada se colocó la intensidad máxima halladas por el modelo potencial de apareció. También se puede apreciar que a mayor tiempo la intensidad es menor.

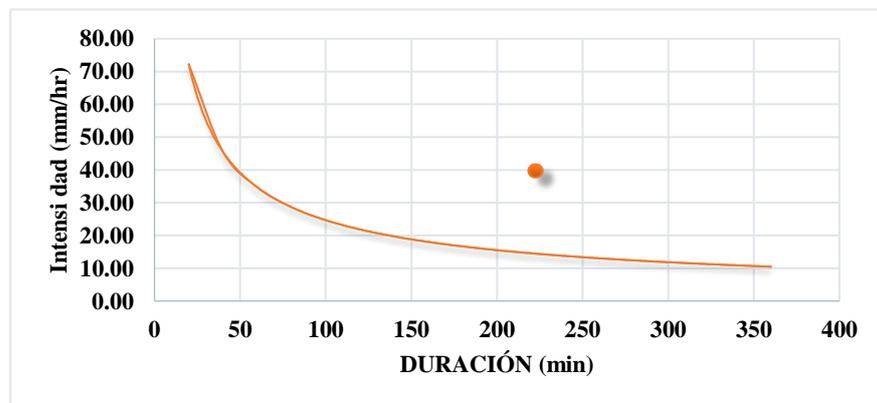


Figura N° 15: Curva IDF para un periodo de retorno de 140 años

Fuente: Elaboración propia

- Estación Tacama

En la Figura N° 16 se muestra en el eje de la abscisa se coloca el tiempo, que va desde las 0 horas a las 3 horas y en el eje de la ordenada se colocó la intensidad máxima halladas por el modelo potencial de apareció. También se puede apreciar que a mayor tiempo la intensidad es menor.

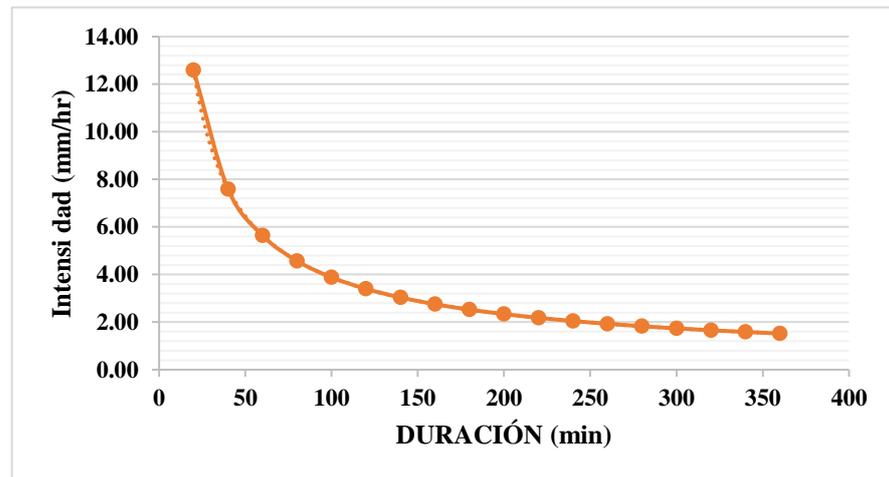


Figura N° 16: Curva IDF para un periodo de retorno de 140 años

Fuente: Elaboración propia

- Estación San Juan de Huircapancha

En la Figura N° 17 se muestra en el eje de la abscisa se coloca el tiempo, que va desde las 0 horas a las 3 horas y en el eje de la ordenada se colocó la intensidad máxima halladas por el modelo potencial de apareció. También se puede apreciar que a mayor tiempo la intensidad es menor.

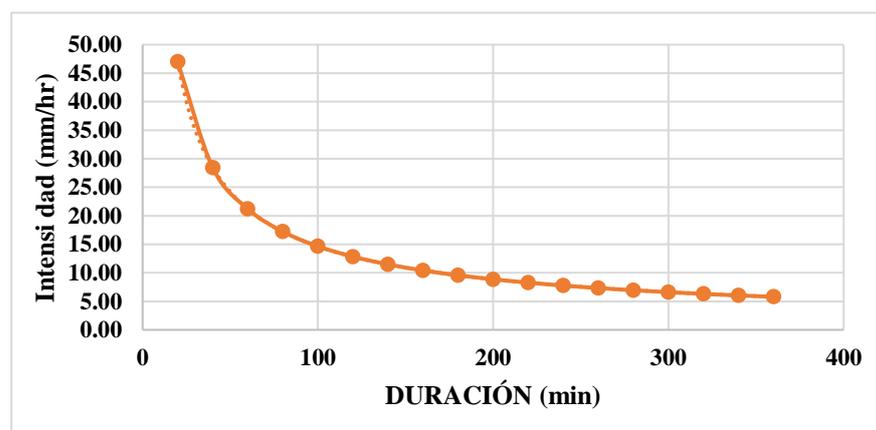


Figura N° 17: Curva IDF para un periodo de retorno de 140 años

Fuente: Elaboración propia

- Estación de Chocorvos

En la Figura N° 18 se muestra en el eje de la abscisa se coloca el tiempo, que va desde las 0 horas a las 3 horas y en el eje de la ordenada se colocó la intensidad máxima halladas por el modelo potencial de apareció. También se puede apreciar que a mayor tiempo la intensidad es menor.

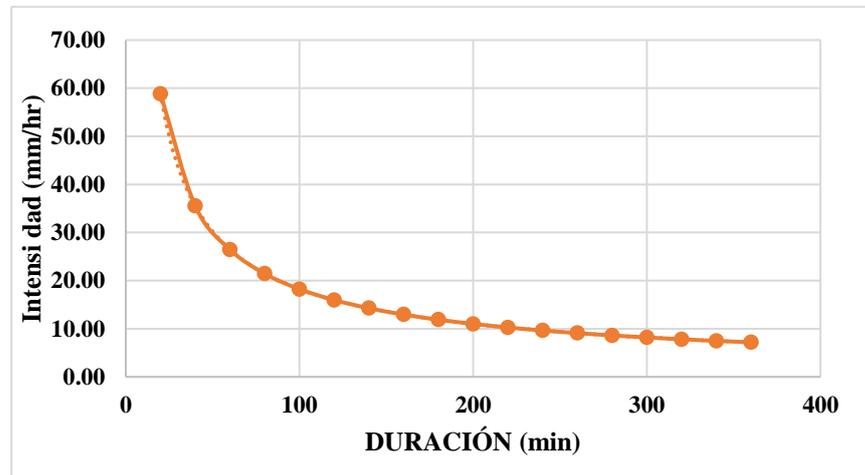


Figura N° 18: Curva IDF para un periodo de retorno de 140 años

Fuente: Elaboración propia

- Estación Huamani

En la Figura N° 19 se muestra en el eje de la abscisa se coloca el tiempo, que va desde las 0 horas a las 3 horas y en el eje de la ordenada se colocó la intensidad máxima halladas por el modelo potencial de apareció. También se puede apreciar que a mayor tiempo la intensidad es menor.

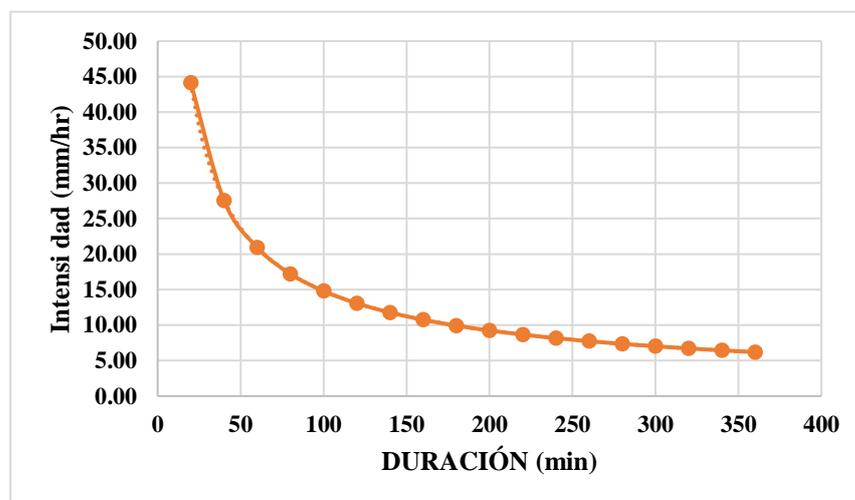


Figura N° 19: Curva IDF para un periodo de retorno de 140 años

Fuente: Elaboración propia

- Estación Santa Rosa

En la Figura N° 20 se muestra en el eje de la abscisa se coloca el tiempo, que va desde las 0 horas a las 3 horas y en el eje de la ordenada se colocó la intensidad máxima halladas por el modelo potencial de apareció. También se puede apreciar que a mayor tiempo la intensidad es menor.

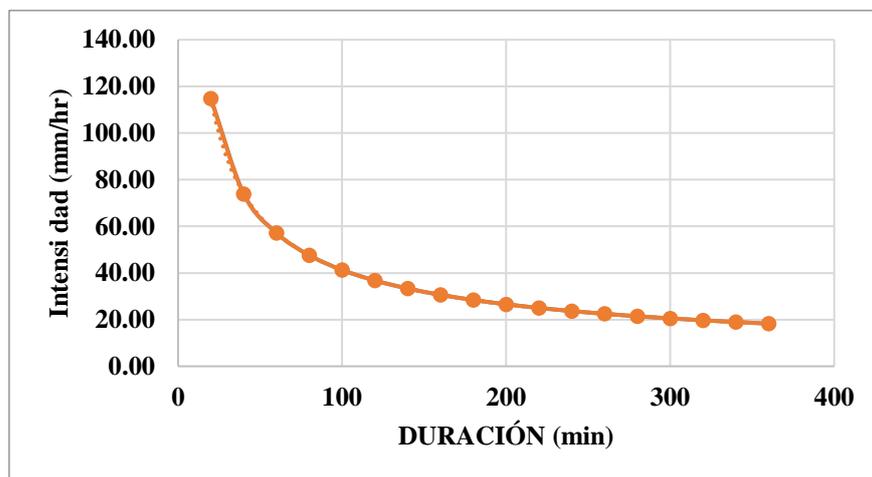


Figura N° 20: Curva IDF para un periodo de retorno de 140 años

Fuente: Elaboración propia

- Estación Tambo

En la Figura N° 21 se muestra en el eje de la abscisa se coloca el tiempo, que va desde las 0 horas a las 3 horas y en el eje de la ordenada se colocó la intensidad máxima halladas por el modelo potencial de apareció. También se puede apreciar que a mayor tiempo la intensidad es menor.

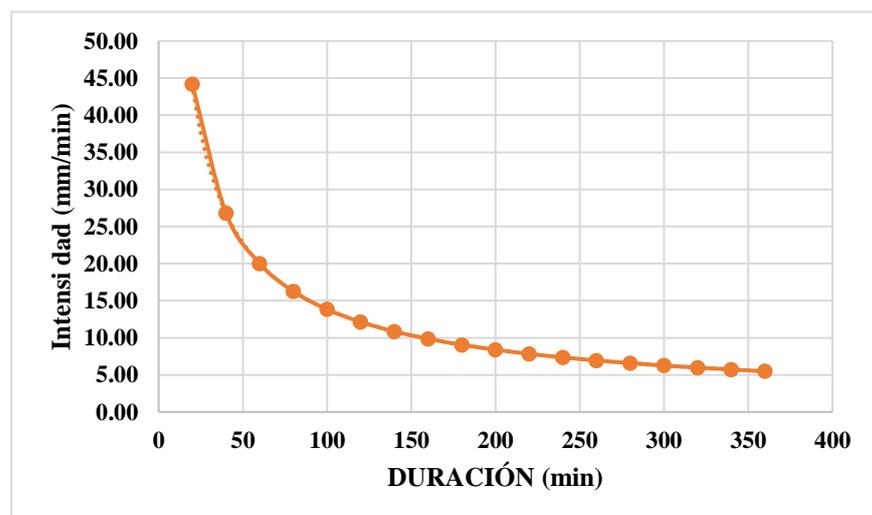


Figura N° 21: Curva IDF para un periodo de retorno de 140 años

Fuente: Elaboración propia

#### 4.4 Modelamiento hidrológico de la cuenca del río Ica

Con la información obtenida, se realizó el sistema de modelado hidrológico con el software HEC-HMS (Hydrologic Modeling System) versión 4.6.1. Este software nos permite determinar el caudal de máxima avenida.

Para comenzar a modelar la cuenca del río Ica en el software HEC-HMS primero se delimitaciones la cuenca en el Basin Model. En el Basin Model se delimita la subcuenca y las uniones de las corrientes.

La Figura N° 22 nos muestra las uniones de los elementos hidrológicos del software HEC-HMS que se necesitan para que el software pueda correr y nos den resultados correctos.

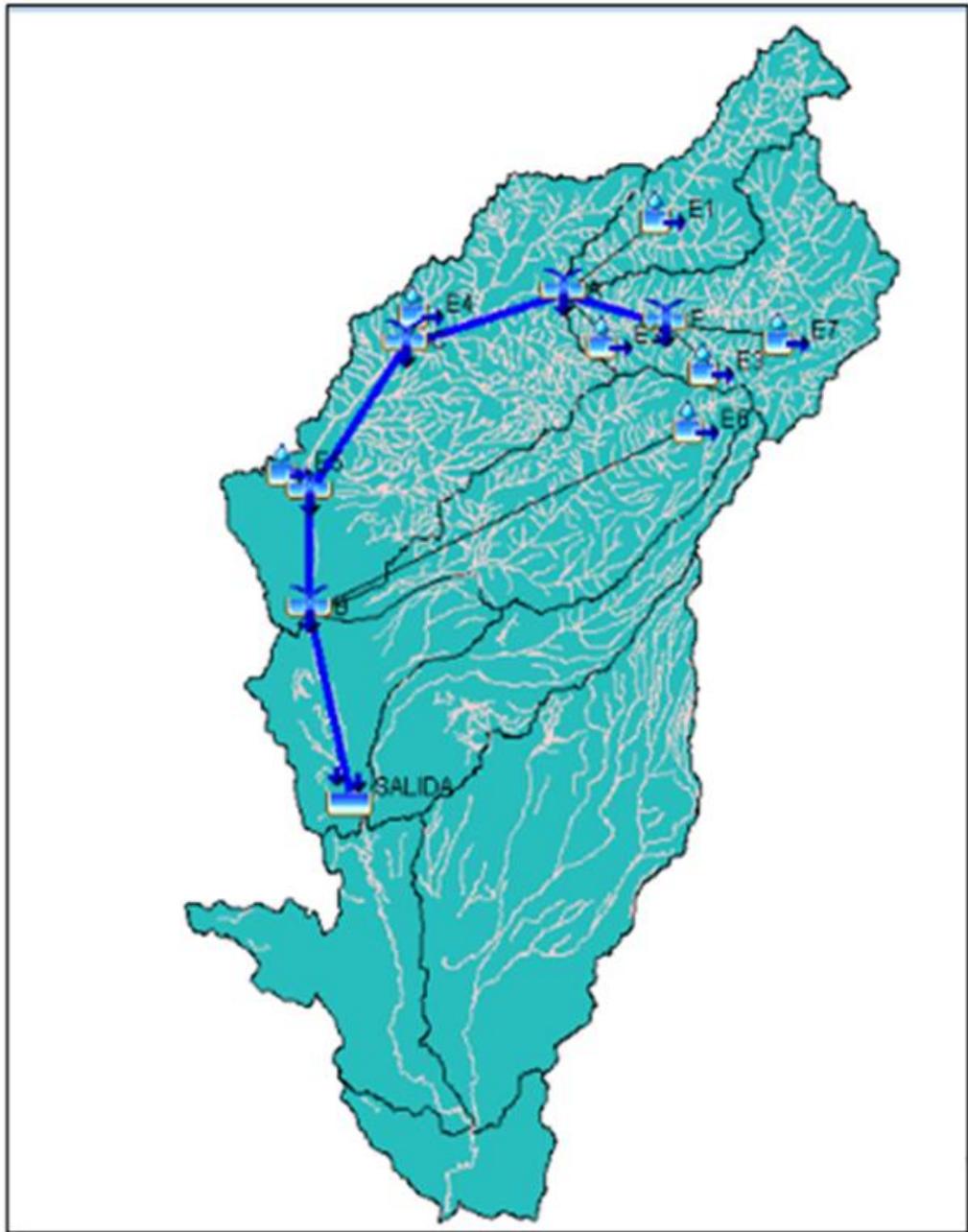


Figura N° 22: Esquema de la modelación en Basin Model

Fuente: Elaboración propia

Continuando con el modelamiento en la Tabla N° 51 se mostrarán los elementos Hidrológicos que se necesitarán para utilizar en el software HEC-HMS.

Tabla N° 51: Elementos Hidrológicos del HEC-HMS

<b>Elementos Hidrológicos</b>	<b>Descripción</b>
 Subcuenca (Subbasin)	<p>Se crearon siete subcuencas representativas ubicadas dentro de la cuenca del río Ica, tales como: Tambo, Chocorvos, Challaca, Huamaní, Tacama, San Juan de Huircapampa y Santa Rosa Llihuay.</p>
 Unión (Junction)	<p>Se crearon cinco uniones, la primera unión es de la estación Santa Rosa L y Chocorvos, la segunda unión es de la unión de la estación Tambo, esta Challaca y la primera unión, la tercera unión es de la estación Huamaní segunda unión, la cuarta unión es de la estación Tacama y la tercera unión quinta unión es de la estación San Juan de Huicapampa con la cuarta unión</p>
 Tramo (Reach)	<p>Se crearon cinco tramos:</p> <p>El primer tramo se encarga de unir la primera unión con la segunda unión, este tramo transporta el hidrograma generado por estas.</p> <p>El segundo tramo se encarga de unir la segunda unión con la tercera unión, este tramo transporta el hidrograma generado por estas.</p> <p>El tercer tramo se encarga de unir la tercera unión con la cuarta unión, este tramo transporta el hidrograma generado por estas.</p> <p>El cuarto tramo se encarga de unir la cuarta unión con la quinta unión, este tramo transporta el hidrograma generado por estas.</p> <p>El quinto tramo se encarga de unir la quinta unión con la salida, este tramo transporta el hidrograma generado por estas.</p>

Fuente: Elaboración propia

Luego de definir la delimitación de la cuenca y las uniones de las corrientes procedemos a colocar los parámetros de cada estación que se ubican en la cuenca del río Ica. Se consideran los siguientes parámetros:

- Método de pérdida: SCS Curve Number.
- Método de transformación: SCS Unit Hydrograph.
- Flujo base de río: None.

Para obtener el número de curva de cada subcuenca se utilizó el mapa de número curva de la investigación “Modelamiento hidrológico de la cuenca del río Ica con fines de prevención de inundaciones en el valle de Ica”.

En la Tabla N° 52 se muestra los valores del número de curva de las 7 estaciones ubicadas en la cuenca del río Ica; estos valores son muy importantes ya que nos indican el porcentaje de infiltración que tiene el suelo donde se ubica cada estación pluviométrica.

Tabla N° 52: Valores del número de curva de cada estación

<b>Estación</b>	<b>CN</b>
Santa Rosa Lihua	77.45
Challaca	68.25
Santiago de Chocorvos	82.36
Tambo	83.80
Huamaní	78.21
Tacama	78.21
San Juan de Huircapampa	77.45

Fuente: Elaboración propia

Para obtener la abstracción inicial en la ubicación de cada estación pluviométrico se necesita de la retención potencial máxima (S) la cual se puede mostrar en la fórmula 60.

$$S = \frac{25400 - 254 * CN}{CN} \quad (60)$$

Dónde: CN es la curva número.

La abstracción inicial se obtiene al reemplazar la fórmula 61.

$$I_a = 0.2 * S \quad (61)$$

En la tabla N° 53 se muestra los valores de abstracción inicial de cada estación pluviométrica.

Tabla N° 53: Valores de Abstracción inicial

<b>Estación</b>	<b>Ia</b>
Santa Rosa Lihua	16.59
Challaca	25.43
Santiago de Chocorvos	12.68
Tambo	11.62
Huamaní	15.95
Tacama	15.95
San Juan de Huircapampa	16.59

Fuente: Elaboración propia

El porcentaje de impermeabilidad para todas las estaciones es de 5%.

En la Tabla N° 54 se muestra los valores del tiempo de retardo de cada estación; para poder determinarlo se tuvo que hallar el tiempo de concentración en minutos para luego multiplicarlo por el coeficiente de 0.6. El tiempo de concentración se obtuvo con la fórmula de Kirpich que se representa en la fórmula 11.

Tabla N° 54: Valores del tiempo de retardo de cada estación

<b>Estación</b>	<b>Long. (m)</b>	<b>Pendiente</b>	<b>Tc (min)</b>	<b>Lag Time (min)</b>
Santa Rosa Lihua	46900	0.0478	248.08	148.85
Challaca	46900	0.0478	248.08	148.85
Santiago de Chocorvos	46900	0.0478	248.08	148.85
Tambo	49800	0.0530	249.68	149.81
Huamaní	71100	0.0185	492.54	295.53
Tacama	71100	0.0185	492.54	295.53
San Juan de Huircapampa	69200	0.0486	332.58	199.55

Fuente: Elaboración propia

En el modelo meteorológico nos permite ingresar el dato de precipitación de cada estación definida anteriormente.

- Estación Tambo (E4)

La estación tambo se encuentra ubicada en la subcuenca Tambo la cual cuenta con un área de 472.19 km<sup>2</sup>. Según la Tabla N° 55 se muestra la precipitación que

se presenta en la estación del Tambo usando el método de bloque alternos, a cada veinte minutos.

Tabla N° 55: Método de bloque alternos para estación del Tambo

<b>Duración (min)</b>	<b>Precipitaciones (mm)</b>	<b>Duración (min)</b>	<b>Precipitaciones (mm)</b>
20	0.68	200	3.14
40	0.60	220	1.67
60	0.66	240	1.20
80	0.75	260	0.96
100	0.88	280	0.81
120	1.06	300	0.70
140	1.39	320	0.63
160	2.14	340	0.57
180	14.73	360	0.52

Fuente: Elaboración propia

- Estación Challaca (E3)

La estación Challaca se encuentra ubicada en la subcuenca Alto Ica la cual cuenta con un área de 845.76 km<sup>2</sup>. Según la Tabla N° 56 se muestra la precipitación que se presenta en la estación Challaca usando el método de bloque alternos, a cada veinte minutos.

Tabla N° 56: Método de bloque alternos para estación Challaca

<b>Duración (min)</b>	<b>Precipitaciones (mm)</b>	<b>Duración (min)</b>	<b>Precipitaciones (mm)</b>
20	1.23	200	6.24
40	1.34	220	3.48
60	1.48	240	2.57
80	1.66	260	2.09
100	1.92	280	1.78
120	2.30	300	1.57
140	2.94	320	1.41
160	4.37	340	1.28
180	24.08	360	1.18

Fuente: Elaboración propia

- Estación Chocorvos (E3)

La estación Chocorvos se encuentra ubicada en la subcuenca Alto Ica la cual cuenta con un área de 845.76 km<sup>2</sup>. Según la Tabla N° 57 se muestra la

precipitación que se presenta en la estación Challaca usando el método de bloque alternos, a cada veinte minutos.

Tabla N° 57: Método de bloque alternos para estación Chocorvos

<b>Duración (min)</b>	<b>Precipitaciones (mm)</b>	<b>Duración (min)</b>	<b>Precipitaciones (mm)</b>
20	0.69	200	4.07
40	0.76	220	2.15
60	0.85	240	1.55
80	0.96	260	1.23
100	1.12	280	1.04
120	1.37	300	0.90
140	1.79	320	0.80
160	2.76	340	0.73
180	19.61	360	0.66

Fuente: Elaboración propia

- Estación Huamani (E5)

La estación Huamani se encuentra ubicada en la subcuenca medio alto Ica la cual cuenta con un área de 1492.8 km<sup>2</sup>. Según la Tabla N° 58 se muestra la precipitación que se presenta en la estación Huamani usando el método de bloque alternos, a cada veinte minutos.

Tabla N° 58: Método de bloque alternos para estación Huamani

<b>Duración (min)</b>	<b>Precipitaciones (mm)</b>	<b>Duración (min)</b>	<b>Precipitaciones (mm)</b>
20	0.70	200	3.67
40	0.77	220	2.03
60	0.85	240	1.49
80	0.96	260	1.20
100	1.11	280	1.03
120	1.33	300	0.90
140	1.71	320	0.81
160	2.56	340	0.74
180	14.71	360	0.68

Fuente: Elaboración propia

- Estación Tacama

La estación Tacama se encuentra ubicada en la subcuenca medio alto Ica la cual cuenta con un área de 1492.8 km<sup>2</sup>. Según la Tabla N° 59 se muestra la

precipitación que se presenta en la estación Tacama usando el método de bloque alternos, a cada veinte minutos.

Tabla N° 59: Método de bloque alternos para estación Tacama

<b>Duración (min)</b>	<b>Precipitaciones (mm)</b>	<b>Duración (min)</b>	<b>Precipitaciones (mm)</b>
20	0.15	200	0.86
40	0.16	220	0.45
60	0.18	240	0.32
80	0.20	260	0.26
100	0.24	280	0.22
120	0.29	300	0.19
140	0.38	320	0.17
160	0.58	340	0.15
180	4.20	360	0.14

Fuente: Elaboración propia

- Estación San Juan de Huircapancha (E7)

Se encuentra ubicada en la subcuenca Tingué la cual cuenta con un área de 877.625 km<sup>2</sup>. Según la Tabla N° 60 se muestra la precipitación que se presenta en la estación San Juan de Huircapancha usando el método de bloque alternos, a cada veinte minutos.

Tabla N° 60: Método de bloque alternos para estación San Juan de Huircapancha

<b>Duración (min)</b>	<b>Precipitaciones (mm)</b>	<b>Duración (min)</b>	<b>Precipitaciones (mm)</b>
20	0.61	200	3.55
40	0.60	220	1.69
60	0.67	240	1.21
80	0.84	260	1.08
100	0.88	280	0.82
120	1.08	300	0.71
140	1.56	320	0.70
160	2.15	340	0.57
180	15.51	360	0.52

Fuente: Elaboración propia

- Estación Santa Rosa Llihua (E1)

La estación Santa Rosa Llihua se encuentra ubicada en la subcuenca medio alto Ica la cual cuenta con un área de 1492.8 km<sup>2</sup>. Según la Tabla N° 61 se muestra

la precipitación que se presenta en la estación Santa Rosa usando el método de bloque alternos, a cada veinte minutos.

Tabla N° 61: Método de bloque alternos para estación Santa Rosa

<b>Duración (min)</b>	<b>Precipitaciones (mm)</b>	<b>Duración (min)</b>	<b>Precipitaciones (mm)</b>
20	2.35	200	11.01
40	2.55	220	6.32
60	2.80	240	4.73
80	3.13	260	3.88
100	3.58	280	3.34
120	4.25	300	2.96
140	5.38	320	2.67
160	7.85	340	2.45
180	38.29	360	2.26

Fuente: Elaboración propia

Al ingresar los valores de precipitaciones en el software HEC-HMS se han dividido las precipitaciones en cada veinte minutos. En la Figura N° 23 y N° 24 se mostrará el hietograma generado por el software HEC-HMS luego de ingresar los datos de precipitaciones de cada estación pluviométrica.

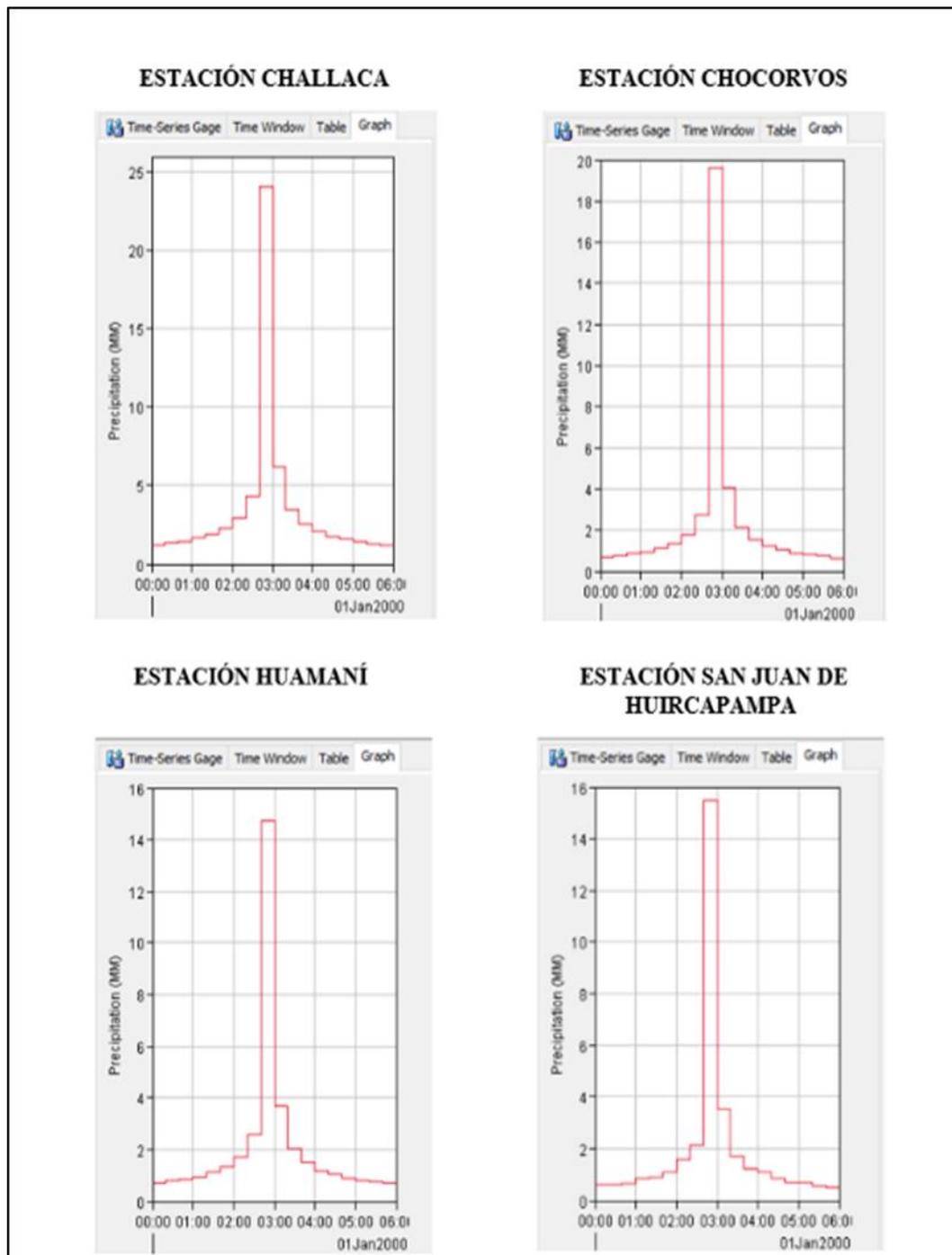


Figura N° 23: Hietograma del software HEC-HMS, para cada una de las estaciones

Fuente: Elaboración propia

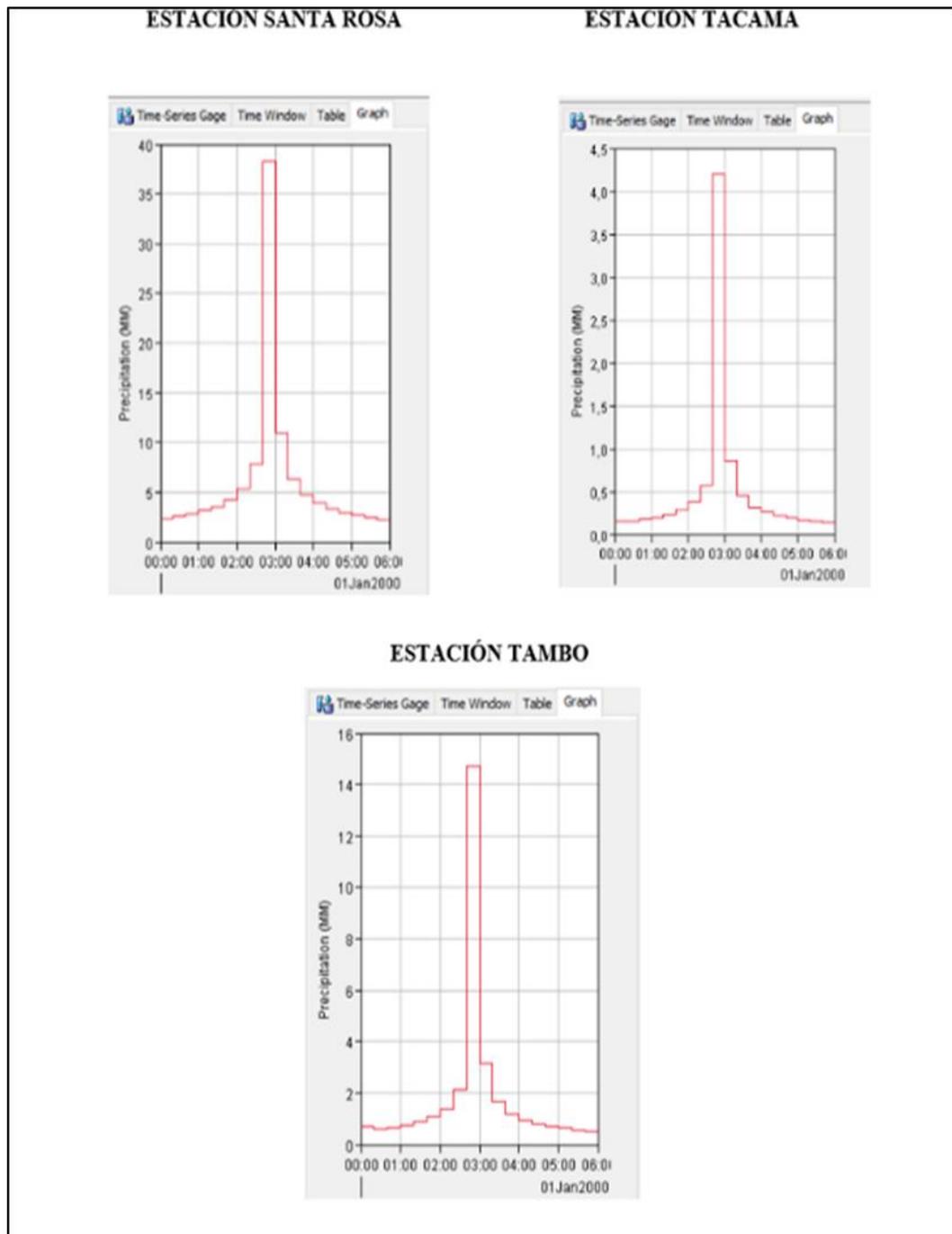


Figura N° 24: Hietograma del software Hec-Hms, para cada una de las estaciones pluviométricas

Fuente: Elaboración propia

En la Figura N° 25 se muestra el modelo meteorológico que sirve para asociar el registro de las estaciones pluviométricas a la cuenca. En este caso se crearon siete modelos meteorológicos que representa cada evento de precipitación.

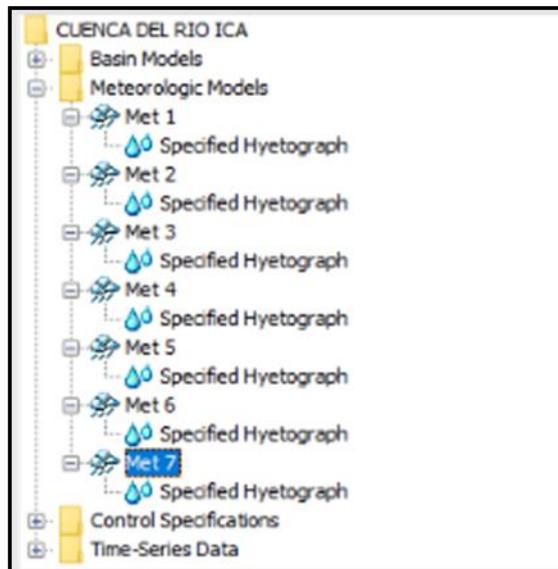


Figura N° 25: Los siete modelos meteorológicos creados

Fuente: Elaboración propia

Al culminar los modelos meteorológicos se procede a colocar las especificaciones de control que sirven para indicar el inicio y fin de las precipitaciones. El tiempo que se le asigna son intervalos de dos horas.

Para crear la simulación se tiene que correr el programa, para que el software calcule los resultados parciales y finales de la modelación.

En la Tabla N° 62 se muestran los resultados arrojados por el software HEC-HMS luego de ingresar todos los datos requeridos. El área de drenaje o total es de 3688.375 km<sup>2</sup>, el caudal pico es de 771.9 m<sup>3</sup>/s la cual llega a las 4:00 pm de la tarde y el volumen es de 13.09 mm debido a los datos de precipitaciones que se ingresaron.

Tabla N° 62: Resultados Obtenidos del software HEC-HMS

Elementos Hidrológico	Área de drenaje (km2)	Descarga máxima (m3/s)	Tiempo pico	Volumen (mm)
E1	592.030	626.5	01ene2000, 16:00	63.82
E3	186.070	78.6	01ene2000, 16:00	25.44
E2	61.660	6.7	02ene2000, 04:20	11.41
A	845.760	708.2	01ene2000, 16:00	51.19
E4	472.190	9.2	02ene2000, 13:00	2.72
B	1317.950	710.7	01ene2000, 16:00	33.82
E5	746.400	42.6	01ene2000, 16:20	3.43
C	2064.350	753.2	01ene2000, 16:00	22.83
E6	746.400	0.0	01ene2000, 00:00	0
D	2810.750	753.2	01ene2000, 16:00	16.77
E7	877.625	18.7	01ene2000, 16:40	1.28
Salida	3688.375	771.9	01ene2000, 16:00	13.09

Fuente: Elaboración propia

En la Figura N° 26 se muestra un gráfico entre el caudal y el tiempo (horas) y la línea de color azul representa la precipitación máxima diaria, la cual mediante el software nos genera el caudal. Observamos en el grafico también, que aproximadamente el caudal pico de 771.9 m<sup>3</sup>/s se produce a las 4:00 pm de la tarde.

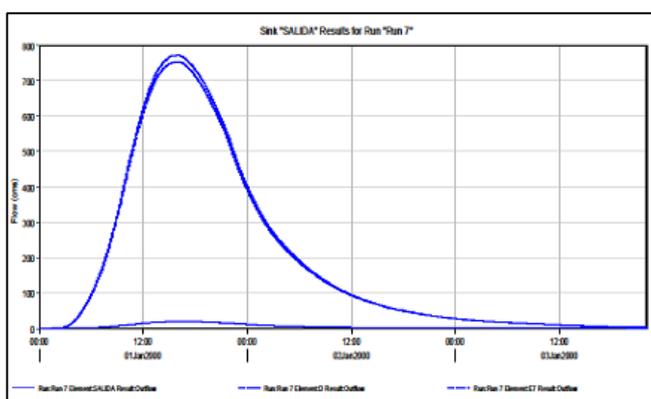


Figura N° 26: Grafico de descarga máxima con respecto al tiempo

Fuente: Elaboración propia HEC-HMS

Según el Instituto de recursos naturales – dirección general de aguas y suelos – ATDR Ica balance hidrológico de la cuenca integral del río Ica, nos indica que el caudal máximo instantáneos del río Ica – estación Achirana en el 29 de enero del año de 1998 llego una descarga de 1050 m<sup>3</sup>/s. Al comparar el resultado del HEC – HMS con la del instituto entonces vemos que los caudales que se podrían generar en el río Ica son altos.

#### 4.5 Modelamiento del río Ica en el software HEC-RAS

Con el caudal hallado en el software HEC – HMS para un periodo de retorno de 140 años, se realizó el modelamiento del tramo de estudio del río Ica en el software HEC-RAS; para saber su comportamiento hidráulico. El caudal que se obtuvo del software HEC – HMS es de 771.9 m<sup>3</sup>/s que corresponde a un periodo de retorno de 140 años.

Para modelar el tramo de estudio en el software HEC – RAS se contó con un levantamiento topográfico de un tramo de 17.7 km del expediente Técnico “Control de desbordes e inundaciones en el río Ica y Quebrada Cansas/Chanchajalla” y con los datos topográficos del Google Earth Pro.

En la Ilustración N° 13 se muestra el tramo de estudio con secciones transversales al eje del río Ica espaciadas cada 20 metros y con una extensión de 50 metros a ambos lados del eje del río Ica.

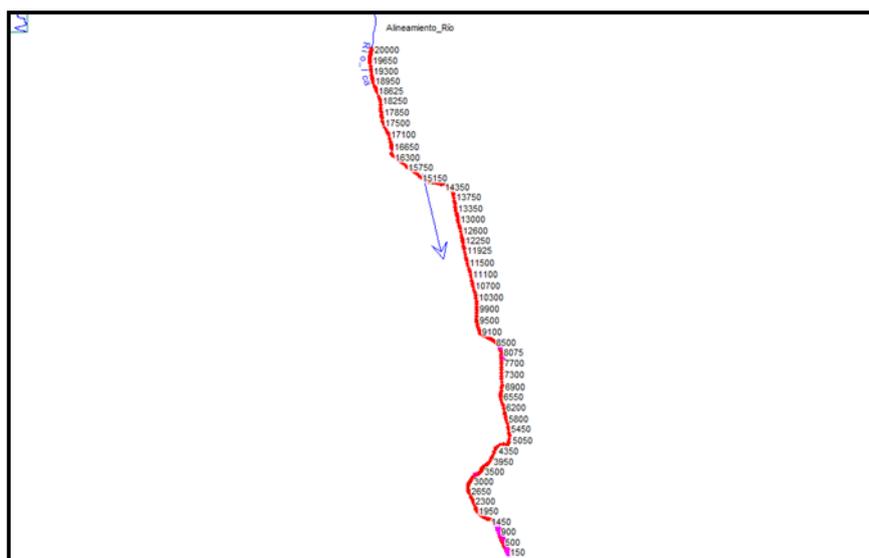


Ilustración N° 13: Vista en planta del modelo hidráulico del río Ica

Fuente: Elaboración propia en el HEC-RAS

Para la simulación del software HEC-RAS se ingresaron los datos de pendiente aguas arriba del puente Ocucaje y abajo del puente Santiago, coeficiente de rugosidad  $n$  en los bordes y lecho del río, así como, el caudal estimados para el periodo de retorno de 140 años. En la tabla N° 63 se incluyen los parámetros que se ingresó para realizar el modelamiento hidráulico; el lecho natural del río Ica tiene vegetación y acarreo regular, se obtiene un valor del coeficiente de  $n$  igual a 0.030 de acuerdo a la Tabla N° 13 (Valores de rugosidad de Manning).

Tabla N° 63: Parámetros ingresados en el modelamiento hidráulico

<b>Parámetros</b>	<b>Valor</b>
Pendiente aguas arriba (m/m)	0.002
Pendiente aguas abajo (m/m)	0.002
Coeficiente de rugosidad	0.03
Caudal TR 140 años ( $m^3/s$ )	771.9

Fuente: Elaboración propia

Al simular el software con el caudal máximo se observó los lugares por donde se desbordaría el río Ica ya que sobrepasarían la altura del cauce por donde circula el río Ica.

En esta sección se mostrarán los gráficos que contienen los perfiles hidráulicos calculados por el modelo como se mostrara en el Anexo – C1, C2, C3, C4 y C5

Los resultados arrojados por el software HEC-RAS se mostrarán en el Anexo-D1, la cual usaremos para poder diseñar los tres tipos de defensas ribereñas.

#### 4.6 Cálculos básicos para las defensas ribereñas

Para el cálculo básico se necesita los datos del caudal máximo y la pendiente del río. El caudal máximo se obtuvo en el software HEC-HMS, el que arrojando un valor de  $772 m^3/s$  y la pendiente del río se obtuvo al analizar el tramo de estudio de 17.7 km las cual nos da un valor de 0.002 m/m.

- Cálculo de la sección estable o amplitud del cauce (B)

Se obtuvo los datos de la condición del fondo del río Ica del expediente técnico “Control de desbordes e inundaciones en el río Ica y quebrada Cansas/Chanchajalla”.

El fondo del río Ica es de arena y las orillas de material cohesivo, por lo que en la Tabla N° 9 se obtuvo el valor de coeficiente  $k_1$  igual a 2.8.

Para calcular la sección estable o amplitud del cauce se usará la fórmula 35.

Por lo tanto, se obtiene que:

$$B = 2.8 * 7720.5 = 77.80 = 78 \text{ m}$$

En la tabla N° 64 se recomienda el ancho estable según el caudal de diseño, por lo que al tener un caudal de  $772 \text{ m}^3/\text{s}$  se obtendrá un ancho estable de 87 m.

Tabla N° 64: Recomendación práctica

Recomendación práctica	
Q (M <sup>3</sup> /S)	Ancho estable (B2)
3000	200
2400	190
1500	120
1000	100
500	70

Fuente: (Benavides, 2016, p. 14)

En el software HEC-RAS, el ancho promedio es  $B = 73.54 \text{ m}$  y con el uso de los métodos anteriores es  $B = 80.27 \text{ m}$ . Tomando el promedio de ambos datos nos resulta que el ancho promedio de la base del río es  $77.00 \text{ m}$ .

- Cálculo del tirante hidráulico del río ( $t = Y$ )

Se obtuvo los datos de lechos naturales del río Ica del expediente técnico “Control de desbordes e inundaciones en el río Ica y quebrada Cansas/Chanchajalla”.

El lecho natural del río Ica tiene vegetación y acarreo regular, por lo que en la Tabla N° 12 se obtuvo el valor de coeficiente  $K_s$  igual a 33.

Reemplazando datos en la ecuación 36 se calculará el tirante hidráulico.

$$t = \left( \frac{772}{33 \cdot 77 \cdot 0.002^{0.5}} \right)^{\frac{3}{5}} = 3.16 \text{ m}$$

- Cálculo de la velocidad media del río (V)

Para calcular la velocidad media del río se necesita el coeficiente n, la cual se obtiene del valor en la Tabla N° 12.

En la Tabla N° 65 se resumió los resultados obtenidos de las condiciones del río Ica según los valores de la Tabla N° 13. Al reemplazar los datos en la ecuación 38 se obtiene que el valor de coeficiente de n es igual a 0.030.

Tabla N° 65: Tabla de Cowan para determinar coeficiente n.

Condición del canal	Valores		
Material involucrado	Tierra	n0	0.020
Grado de irregularidad	Suave	n1	0.000
Variaciones de la sección transversal	Ocasionalmente	n2	0.005
Efecto relativo de obstrucciones	Insignificante	n3	0.000
Vegetación	Media	n4	0.005
Grado de los efectos por meandro	Menor	m5	1.000
n=		0.030	

Fuente: Elaboración propia

Como anteriormente se explicaba que el lecho natural del río Ica tiene vegetación y acarreo regular, se obtiene un valor del coeficiente de n igual a 0.030 de acuerdo a la Tabla N° 13 (Valores de rugosidad de Manning).

Al comparar los dos resultados del coeficiente de n iguales tomaremos el valor de 0.030, la cual se utilizará para hallar la velocidad media del río en la fórmula 37.

$$V = 3.05 \text{ m/s}$$

- Cálculo del número de Froude (F)

El número de Froude obtenido al analizar el tramo de estudio en el software HEC-RAS es menor a 1 lo cual lo podemos ver en el ANEXO – A4.

Remplazando los datos obtenidos anteriormente tenemos un número de Froude igual a 0.54. Por los datos obtenidos tanto por el HEC-RAS y por la fórmula 39 podemos afirmar que el flujo es de tipo subcrítico y de régimen lento.

- Cálculo de la profundidad de socavación general (Hs)

Se obtuvo el dato del diámetro medio de sedimento del río Ica del expediente técnico "Control de desbordes e inundaciones en el río Ica y quebrada Cansas/Chanchajalla".

El dato extraído del diámetro medio de sedimento  $D_{50} = 2.25$  mm.

En la Tabla N° 17 se muestran los valores del coeficiente de contracción  $\mu$ ; para hallar este coeficiente necesitamos la velocidad que es de 3.05 m/s y el ancho libre del río que es de 77 m. Al interceptar la velocidad y el ancho libre del río en la Tabla N° 18 obtenemos un coeficiente de contracción  $\mu$  igual a 0.98.

$$\alpha = \frac{772}{3.35^{\frac{5}{3}} * 77 * 0.98} = 1.36$$

En la Tabla N° 16 se encuentran los valores de "x" en suelos cohesivos o suelos no cohesivos. Para nuestro caso es un suelo no cohesivo, siendo  $x = 0.38$ . Para un  $Tr = 140$  años se tiene que  $\beta = 1.01$  de acuerdo a la Tabla N° 15 de valores del coeficiente  $\beta$  y  $t = Y = 3.16$ m.

$$t_s = \left[ \frac{1.36 * 3.16^{\frac{5}{3}}}{0.68 * 1.01 * 2.25^{0.28}} \right]^{\frac{1}{0.38+1}} = 5.59 \text{ m}$$

Para determinar la profundidad de la socavación se reemplaza la ecuación, se calcula para un periodo de retorno de 140 años como resultado final:

$$H_s = 5.59 - 3.16 = 2.43 \text{ m}$$

Concluimos que la socavación general del río Ica para un periodo de 140 años será de 2.43 metros según la fórmula de Líschtvan-Levediev.

En la tabla N° 66 se muestran los resultados hidráulicos para un periodo de 140 años, teniendo resultados de ancho estable del río (B), tirante hidráulico (t), velocidad media del río (V) y el número de Froude (F).

Tabla N° 66: Resultados de elementos hidráulicos

Tr (años)	Q (m <sup>3</sup> /s)	S (m/m)	B (m)	t=Y (m)	V (m/s)	F
140	772	0.002	77	3.16	3.05	0.53

Fuente: Elaboración propia

En la tabla N° 67 se muestran los resultados de la profundidad de socavación (Hs) para un periodo de retorno de 140 años, también nos muestra resultados de coeficiente de contracción ( $\mu$ ), coeficiente de sección ( $\alpha$ ), valores de (x), coeficiente ( $\beta$ ), tirante de socavación (Ts).

Tabla N° 67: Resultados de elementos hidráulicos

Tr (años)	$\mu$	$\alpha$	x	$\beta$	t <sub>s</sub> (m)	Hs (m)
140	0.98	1.36	0.38	1.01	5.59	2.43

Fuente: Elaboración propia

#### 4.6.1 Defensa ribereña tipo gavión colchón

Para el cálculo básico se necesita los datos del caudal máximo y la pendiente del río. El caudal máximo se obtuvo en el software HEC-HMS, el que arroja un valor de 772 m<sup>3</sup>/s y la pendiente del río se obtuvo al analizar el tramo de estudio de 17.7 km, el cual nos da un valor de 0.002 m/m y su velocidad es de 3.05 m/s.

- Cálculo de borde libre

Es la altura adicional con el fin de que no existan reboses hacia los lados, para el cálculo del borde libre como primera recomendación se necesita hallar el coeficiente  $\phi$  que se encuentra en la Tabla N° 18. De acuerdo al caudal obtenido tenemos un  $\phi = 1.40$  la cual será reemplazada en la fórmula 42 y obtendremos un borde libre de 0.57.

$$B.L = 1.20 * \left(\frac{3.05^2}{2*9.81}\right) = 0.57$$

Para el cálculo de borde libre como segunda recomendación se necesita el coeficiente que se encuentra en la Tabla N° 19. De acuerdo al caudal obtenido tenemos un  $c = 0.76$  la cual será reemplazada en la fórmula 43 y obtendremos un borde libre de 1.55.

$$B.L = (0.76 * 3.16)^{0.5} = 1.55$$

Para el cálculo del borde libre como tercera recomendación se tiene que  $P = 25\%$  para una sección trapezoidal y  $P = 30\%$  para una sección trapezoidal. Se toma el valor de  $25\%$  por ser sección trapezoidal en nuestro estudio. El cual será reemplazado en la fórmula 62 y obtendremos un borde libre de  $0.79$  m.

$$B.L = P * Y \quad (62)$$

$$B.L = 25\% * 3.16 = 0.79 \text{ m}$$

Para el cálculo del borde libre como cuarta recomendación de acuerdo al caudal obtenido y según la tabla N° 20 nos resulta un borde libre de  $1.00$  m.

Entonces el borde libre promedio de las cuatro recomendaciones es de  $0.98$  m. Considerando el borde libre final  $1.00$  m.

- Diseño de revestimiento con gavión colchón

El revestimiento es una estructura de refuerzo de la superficie del suelo o terraplén, con el objetivo de aumentar la resistencia al esfuerzo tractivo del agua en movimiento.

De acuerdo a las características hidráulicas en flujo uniforme, se ha estimado una velocidad de  $3.05$  m/s. Entonces el espesor según la Tabla N° 21 de espesores del colchón en función de la velocidad es  $0.17$  m; sin embargo, tanto para espesor de  $0.17$  m como para  $0.23$  m en la práctica se han demostrado que son menos estables para alturas mayores de  $3.00$  m. También porque han dejado de ser comerciales. Por lo tanto, el espesor del gavión será de  $0.30$  m.

- Longitud del colchón antisocavante

En los cálculos de socavación general, se obtiene una profundidad de socavación de  $2.43$  m, por lo cual al reemplazar en la ecuación 44 de la longitud del colchón antisocavante se obtiene un valor de  $3.65$  m; siendo este valor la longitud mínima del colchón antisocavante. Considerando las longitudes comerciales del gavión, se asume una longitud de colchón de  $4$  m.

- Verificación de arrastre de colchones por velocidades

Para que no exista arrastre de colchones se debe cumplir que la velocidad crítica que causa el movimiento de las piedras en función del D50 ( $V'_c$ ) sea mayor que la velocidad media ( $V$ ).

La velocidad crítica que causa el movimiento de las piedras en función del D50 se obtiene de la Figura N° 7 (velocidad crítica en función del D50); según el número de Froude que es menor a 1 y el D50 obtenemos un valor de 4 m/s para la velocidad crítica.

Interceptamos en la tabla y obtenemos que:

$$V'_c = 4.0 \text{ m/s} > V = 3.05 \text{ m/s}$$

Por lo tanto, no existirá arrastre de colchón causado por la velocidad de flujo.

- Verificación de estabilidad del revestimiento de fondo

Se considera estable un revestimiento con gaviones cuando no se produce movimiento alguno de las piedras de relleno. La tensión tangente (esfuerzo cortante actuante) sobre el revestimiento en el fondo está dada por la fórmula 46 y se obtiene que es  $6.94 \text{ kg/m}^2$ .

$$T_a = 1000 * 3.16 * 0.002 = 6.32 \text{ Kg/m}^2$$

Para el cálculo del esfuerzo cortante crítico permitida en el fondo, que se puede alcanzar sin movimiento de la piedra, se reemplaza en la fórmula 47 siendo  $22.5 \text{ kg/m}^2$ .

$$T_c = 0.10 * ((2000 - 1000) * 0.225) = 22.5 \text{ kg/m}^2$$

El revestimiento resulta estable si se verifica que  $T_a < 1.20 T_c$  entonces se tiene que la tensión tangente es  $6.32 \text{ kg/m}^2$  y el esfuerzo cortante crítico es  $22.5 \text{ kg/m}^2$ .

Entonces:

$$T_a = 6.32 \text{ kg/m}^2 < T_c = 1.20 T_c = 1.20 * 22.5 = 27 \text{ kg/m}^2$$

Por lo que se afirma que no existirá peligro en la estabilidad del revestimiento

de fondo.

- Verificación de estabilidad del revestimiento en la orilla

Para el cálculo respectivo se requiere de la tensión tangente y el esfuerzo cortante crítico ya obtenidos y siendo reemplazados en las fórmulas 48 y 49. Donde el ángulo  $\theta$  es la forma del talud 1.5:1 (H: V) considerado  $33.69^\circ$  y el ángulo de reposo  $\phi$  es  $41^\circ$ .

Dónde:

$$T_b = 0.75 * 6.32 = 4.74 \text{ kg/m}^2$$

$$T_s = 27 * \sqrt{\frac{\text{sen}33.69^2}{\text{sen}41^2}} = 22.83 \text{ kg/m}^2$$

Entonces:

$$T_b = 4.74 \text{ kg/m}^2 < T_s = 1.20T_s = 22.83 * 1.20 = 27.40 \text{ kg/m}^2$$

Por lo que se afirma que no existirá peligro en la estabilidad del revestimiento en la orilla.

- Verificación de deformaciones en el colchón

La deformación máxima producida en el gavión ( $\Delta e$ ) es obtenida de la Figura N° 8, ingresando el valor del coeficiente de Shields Eficaz (C) de 0.10, se obtiene el parámetro de la deformación de 1.60. A su vez  $\Delta e = 0.10$  m, entonces el espesor mínimo reemplazado en la fórmula 50 es 0.20 m y el  $D_{50} = 0.0225$ .

Se tiene que:

$$e_{\text{mín}} = 0.20 \text{ m} > D_{50} = 0.0225$$

Por lo tanto, no habrá peligro en el material base.

- Verificación de erosión en el espacio entre el colchón y material base

La velocidad en el espacio entre el colchón y material base está dada por la fórmula 51, donde la rugosidad del fondo si hay filtro de grava ( $n_f$ ) es 0.025. Se calcula la velocidad para suelos no cohesivos en la fórmula 52, si se

cumple que  $V_a < V_e$ ; nos quiere decir que no habrá erosión entre el colchón y material base.

Se considera que para el tramo de estudio en las márgenes donde se protegerá con gavión tipo colchón el diámetro medio es  $d_{50} = 3.00$  mm.

Se obtiene que:

$$V_a = 0.09 \text{ m/s} < V_e = 0.88 \text{ m/s}$$

No habrá erosión entre el colchón y el material base en teoría; sin embargo, para evitar la pérdida de material fino, se colocará filtro geotextil, el cual será de gramaje medio de  $(200 \text{ gr/m}^2)$ .

Se toma en consideración que todo el tramo será de flujo uniforme, y todas las características hidráulicas calculadas serán resumidas en la Tabla N° 68. Como se aprecia el caudal de  $772 \text{ m}^3/\text{s}$ , la base del cauce del río de  $77$  m, los taludes izquierdo y derecho de  $1.50$ , pendiente de  $0.002 \text{ m/m}$ , la altura del muro total de  $4.16$  m (se tomará una medida de  $4.20$  m), el tirante promedio es de  $3.16$  m y la velocidad es de  $3.05 \text{ m/s}$ .

Tabla N° 68: Características hidráulicas para el tramo de estudio

Q ( $\text{m}^3/\text{s}$ )	B (m)	Zi	Zd	S (m/m)	n	H (m)	Y (m)	V (m/s)
772	77.00	1.50	1.50	0.002	0.030	4.20	3.16	3.05

Fuente:Elaboración propia

En la Tabla N° 69 se presenta el resumen de resultados para las características del diseño del gavión colchón con un espesor de  $0.30$  m, una profundidad de socavación de  $2.43$  m, una longitud del colchón de  $4.00$  m, velocidad media de la corriente de  $3.05 \text{ m/s}$ , velocidad crítica de  $4.00 \text{ m/s}$ , el esfuerzo cortante actuante de  $6.32 \text{ kg/m}^2$ , el esfuerzo cortante crítico de  $22.5 \text{ kg/m}^2$ , la tensión tangente (esfuerzo cortante) en la orilla es  $4.74 \text{ kg/m}^2$ , la tensión tangente crítica en la orilla es  $22.83 \text{ kg/m}^2$ , el espesor mínimo  $0.20$  m, velocidad del agua entre el colchón y el fondo es  $0.09 \text{ m/s}$  y la velocidad para suelos no cohesivos es  $0.88 \text{ m/s}$ .

Tabla N° 69: Características para diseño de gavión colchón

<b>Descripción</b>		<b>Resultados</b>
Talud (H:V)	1.5:1	Estable
Espesor (m)	0.3	Adecuado
Prof. Socavación (m)	2.43	$L_{\text{colchón}} > 1.5 h_{\text{socavación}}$
Longitud colchón (m)	4	
V (m/s)	3.05	$V'c > V$ No
V'c (m/s)	4	existe arrastre de colchones por velocidad
Ta (kg/m <sup>2</sup> )	6.32	$Ta < 1.20 Tc$
Tc (kg/m <sup>2</sup> )	22.5	Revestimiento de fondo estable
Tb (Kg/m <sup>2</sup> )	4.74	$Tb < 1.20 Ts$
Ts (kg/m <sup>2</sup> )	22.83	Revestimiento en la orilla estable
emin (m)	0.2	$e_{\text{min}} > D_{50}$
Va (m/s)	0.09	Empleo de geotextil por seguridad (200 gr/m <sup>2</sup> )
Ve (m/s)	0.88	

Fuente:Elaboración propia

En la Figura N° 27 se muestra la sección más crítica en todo el tramo de estudio para así plasmar todos los cálculos obtenidos en un diseño elaborado en el programa AutoCAD. Se puede apreciar las medidas del gavión colchón como sus especificaciones técnicas. Solo se dibujó la margen izquierda; ya que, la margen derecha tiene las mismas características para la sección más crítica.

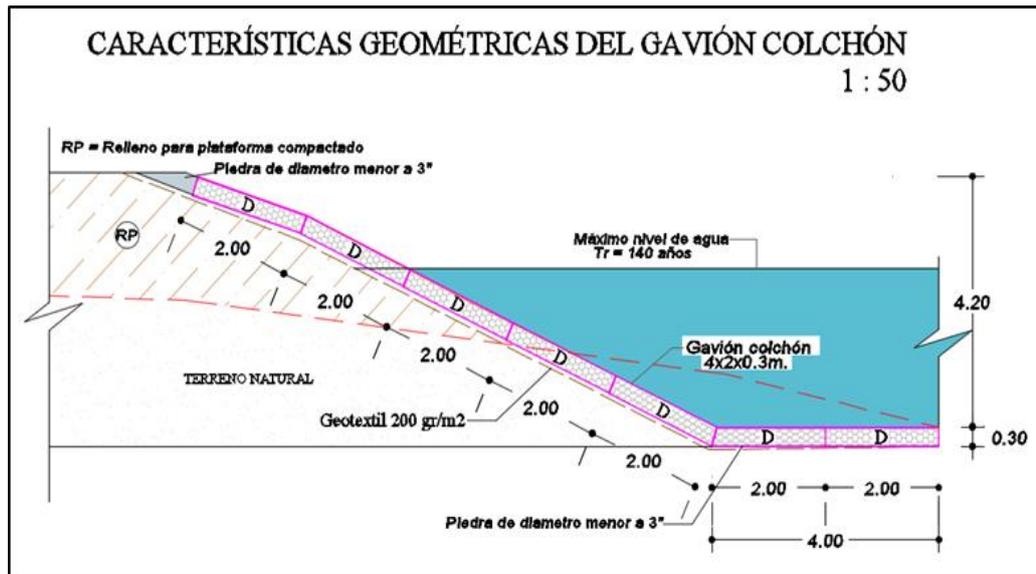


Figura N° 27: Características del gavión colchón en la sección más crítica del tramo de estudio  
Fuente: Elaboración propia en AutoCAD

#### 4.6.2 Defensa ribereña tipo gavión caja

Los parámetros de suelo se determinan según el tipo de suelo de la zona de estudio, va a depender de las características de mecánica de suelos y los gaviones. Se menciona que los datos de estudio de suelos se obtuvieron del Expediente Técnico “Control de desbordes e inundaciones en el río Ica Quebrada Cansas/Chanchajalla”. Presentados en la tabla N° 70.

Tabla N° 70: Características generales de la estructura

<b>Propiedades de material para el diseño</b>	
Peso específico del suelo (Tn/m <sup>3</sup> )	$\gamma = 1.80$
Peso específico de las piedras (Tn/m <sup>3</sup> )	$\gamma_p = 2.43$
Cohesión del suelo (Tn/m <sup>2</sup> )	$c' = 0$
Angulo que forma el relleno (°)	$\beta = 0$
Angulo de fricción del suelo (°)	$\phi = 37^\circ$
Capacidad portante (kg/cm <sup>2</sup> )	$\sigma_s = 4.87$
<b>Geometría del muro en análisis</b>	
Altura de cada bloque (m)	$h_b = 1.00$
Ancho de cada bloque (m)	$b_B = 1.00$
Altura total del muro (m)	$H_T = 4.20$

Fuente: Elaboración propia

Para el predimensionado de la base se usa la fórmula 53, reemplazando los valores adoptamos una base de 2.50 m

Cuando se produce un movimiento sísmico, el empuje activo sufre un aumento debido a las aceleraciones verticales y horizontales del suelo. Donde  $K_v$  es el coeficiente sísmico vertical asumiendo el valor de 0 y  $K_h$  es el coeficiente horizontal el cual depende de la zona sísmica. Este valor lo encontraremos en el Reglamento Nacional de Edificaciones o en el mapa de isoaceleraciones del Perú en la Figura N° 10. Para nuestro estudio es:

Coeficiente sísmico horizontal ( $K_h$ ): 0.16

Coeficiente sísmico vertical ( $K_v$ ): 0.00

Se tiene lo siguiente:

$$\alpha = \tan^{-1} * \frac{K_h}{1-K_v} = 9.09$$

- Cálculo del empuje activo ( $E_a$ )

Depende del coeficiente del empuje activo ( $K_a$ ), que vendría a ser la ecuación 54, siendo  $K_a$  igual a 0.436.

Posteriormente se calcula el empuje activo con la fórmula 55 teniendo lo siguiente:

$$E_a = \frac{1}{2} * 0.436 * 1.80 * 4.20^2 = 6.922 \text{ tn}$$

El punto de aplicación de la fuerza resultante es la altura del muro entre tres teniendo que:

$$Y = \frac{4.20}{3} = 1.40 \text{ m}$$

Para nuestro estudio no estamos considerando el empuje pasivo, ya que solo se considera si permanecerá el suelo que generaría el empuje pasivo. Siendo material de suelo que será removido.

- Análisis de la estabilidad

Cálculo del peso total y momento resistente:

En la Tabla N° 71 se calculan los momentos resistentes y el peso total en función del tipo de gavión, área y peso unitario de la piedra, datos que se han obtenido del estudio de suelo del expediente técnico “Control de desbordes e inundaciones en el río Ica Quebrada Cansas/Chanchajalla”.

Tabla N° 71: Características generales de la estructura

Fig.	Tipo	Area(m <sup>2</sup> )	Peso unitario	Peso parcial	Brazo X (m)	Momento (tn – m)
A	Gavión	1.000	2.43 tn/m <sup>3</sup>	2.43 tn/m	0.500	1.215
A	Gavión	1.500	2.43 tn/m <sup>3</sup>	3.65 tn/m	1.750	6.378
B	Gavión	1.000	2.43 tn/m <sup>3</sup>	2.43 tn/m	1.000	2.430
A	Gavión	1.000	2.43 tn/m <sup>3</sup>	2.43 tn/m	2.000	4.860
B	Gavión	1.500	2.43 tn/m <sup>3</sup>	3.65 tn/m	1.750	6.378
A	Gavión	1.000	2.43 tn/m <sup>3</sup>	2.43 tn/m	2.000	4.860
			Σ P=	17.01 tn/m	Σ M <sub>r</sub> =	26.123

Fuente: Elaboración propia.

Cálculo de las fuerzas actuantes en el muro de contención:

El momento producido por el empuje activo es:

$$MA = EA * Y$$

$$MA = 9.691 \text{ tn – m}$$

a) Verificación por deslizamiento: FSD = 1.50 y se debe cumplir que:  $f = \tan \phi \leq 0.60$

$$\frac{f * P}{E_A} \geq \text{FSD}$$

$$\text{Dónde: FSD} = 1.90 > 1.50$$

El valor de FSD es 1.90, siendo este valor mayor a 1.5. Por lo tanto, no se producirá el deslizamiento del muro de gavión caja.

b) Análisis de la estabilidad contra el volteo: FSV = 2.00

$$\frac{M_r}{M_A} \geq \text{FSV}$$

$$\text{Dónde: FSV} = 2.70 > 2.00$$

El valor de FSV es 2.70, siendo este valor mayor a 2.0. Por lo tanto, el muro de gavión caja no sufrirá el volteo.

c) Verificación de las presiones aplicadas sobre el terreno

Punto de aplicación de la fuerza resultante:

$$X_O = \frac{M_R - M_A}{P} = 0.97 \text{ m}$$

Excentricidad de la fuerza resultante:

$$e = \frac{B}{2} - X_O = 0.2840 \text{ m}$$

Se debe cumplir que el valor de la excentricidad de la fuerza resultante debe ser menor que la base del muro entre seis, siendo menor. Por lo tanto, la resultante cae dentro del tercio central.

Se verifica las presiones de contacto entre el suelo y el muro:

$$\sigma = \frac{P}{B} \left[ 1 \pm \frac{6 * e}{B} \right]$$

$$\sigma_1 = 1.14 \text{ kg/cm}^2 < \sigma_s = 4.87 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\sigma_2 = 0.22 \text{ kg/cm}^2 < \sigma_s = 4.87 \text{ Kg/cm}^2$$

Para ambos casos los esfuerzos resultantes son menores que las tensiones admisibles del terreno.

### **Cálculo del colchón antisocavante**

- Longitud del colchón

$$L_{\text{COLCHÓN}} = 1.5 * 2.43 = 3.65 \approx 4.00 \text{ m}$$

- Espesor del colchón

En la Tabla N° 21 nos arroja un valor de 0.17 m para la velocidad de 3.05 m/s, pero se tiene en cuenta que tanto para 0.17 m y 0.23 m son espesores menos estables para alturas mayores de 3.00 m. También por ya no ser comerciales. Por lo tanto, el espesor del colchón antisocavante es de 0.30 m.

a) Datos finales de la geometría

Las características generales de la defensa ribereña tipo gavión son las siguientes:

La altura del muro es 4.20 m, la base del muro 2.50 m y el material de filtro es geotextil no tejido de 200 gr/m<sup>2</sup>.

En la Tabla N° 72 están las dimensiones típicas de los gaviones tipo caja o más comerciales. Para el muro de gaviones de nuestro estudio hay dos tipos de gavión caja y un colchón antisocavante con sus respectivas medidas.

Tabla N° 72: Dimensión de los gaviones

Dimensión de los gaviones (m)			
Descripción	Ancho	Alto	Largo
Gavión A	1.00	1.00	5.00
Gavión B	1.00	1.50	5.00
Colchón D	2.00	0.30	5.00

Fuente: Elaboración propia

Se considera una tabla resumen de los cálculos con sismo y sin sismo aplicados al muro de gaviones. Siendo resultados aceptables para ambos en la Tabla N° 73.

Tabla N° 73: Resultados considerando el coeficiente con sismo y sin sismo

<b>Coeficientes</b>	<b>Con sismo</b>	<b>Sin sismo</b>	<b>Coeficientes</b>	<b>Con sismo</b>	<b>Sin sismo</b>
<b>Ka</b>	0.436	0.333	<b>FSV</b>	2.700	3.530
<b>Ea (tn)</b>	6.922	5.292	<b>Xo (m)</b>	0.970	1.100
<b>Y (m)</b>	1.400	1.400	<b>e (m)</b>	0.284	0.150
<b>P (tn)</b>	17.010	17.010	<b>σ<sub>1</sub> (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	1.140	0.930
<b>Mr (tn-m)</b>	26.123	26.123	<b>σ<sub>2</sub> (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	0.220	0.440
<b>Ma (tn-m)</b>	9.691	7.409	<b>L colchón (m)</b>	4.000	4.000
<b>FSD</b>	1.900	1.860	<b>e colchón (m)</b>	0.300	0.300

Fuente: Elaboración propia

En la Figura N° 28 se muestra la sección más crítica en todo el tramo de estudio para así plasmar todos los cálculos obtenidos en un diseño elaborado en el programa Autocad 2019. Se puede apreciar las medidas del gavión caja como sus especificaciones. Solo se dibujó la margen derecha; ya que, el margen izquierdo tiene las mismas características.

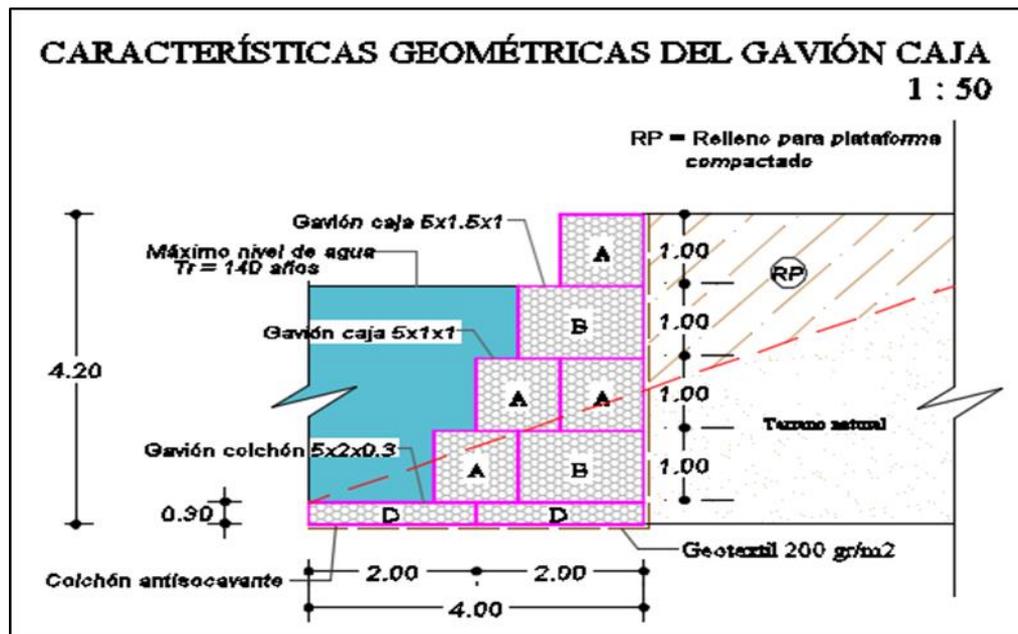


Figura N° 28: Características geométricas del gavión caja

Fuente: Elaboración propia

#### 4.6.3 Defensa ribereña tipo Muro de concreto armado

El tramo de estudio será revestido por ambas márgenes de concreto armado en su totalidad, con un ancho de base del río de 77 metros, altura de muro de 4.20 m y tendrá un pie de talón de 0.30 m.

En la Tabla N° 74 se presenta un cuadro resumen de los datos que se necesitan para el predimensionamiento del muro de contención de concreto armado. Así mismo las características del suelo, acero y concreto.

Tabla N° 74: Características generales

<b>Datos</b>	
Peso específico del relleno (kg/m <sup>3</sup> )	$\gamma_s = 1600.00$
Peso específico del concreto (kg/m <sup>3</sup> )	$\gamma_c = 2400.00$
Calidad de diseño de concreto (kg/cm <sup>2</sup> )	$f'c = 210.00$
Angulo de fricción suelo a contener (°)	$\emptyset = 30$
Angulo de fricción suelo a soportar(°)	$\emptyset = 30$
Capacidad portante del terreno (kg/cm <sup>2</sup> )	$\sigma_s = 4.87$
Coef. De fricción concreto – terreno	$m = 0.60$
Espesor de recubrimiento del acero (m)	$r = 0.08$
Esfuerzo de fluencia del acero (kg/cm <sup>2</sup> )	$F_y = 4200.00$

Fuente: Elaboración propia

### 1. Cálculo de los coeficientes de presión activa y pasiva

Para un relleno con superficie superior horizontal, se tiene:

$$K_a = (1 - \text{Sen}\phi) / (1 + \text{Sen}\phi) = 0.33$$

$$K_p = (1 + \text{Sen}\phi) / (1 - \text{Sen}\phi) = 3.00$$

### 2. Cálculo del momento de vuelco debido a la presión activa (Pa)

Cálculo de presión por sobre carga uniforme repartida:

$$\frac{P_s}{c} = K_a * \frac{s}{c} = 0.00 \text{ tn/m (constante en toda la profundidad del muro de contención).}$$

En la Tabla N° 75 se indica los momentos de vuelco total en función al empuje activo.

Tabla N° 75: Cálculo total del momento de vuelco

Pi	Fuerza (Tn)	Xi (m)	Ma (Tn/m)
Empuje activo	$1/2 * K_a * \gamma_s * H^2 = 5.346$	1.50	8.019
Sobrecarga	$P_s/c * H = 0.00$	2.25	0.000
Total	$\Sigma = 5.346 \text{ Tn}$		$\Sigma = 8.019 \text{ Tn/m}$

Fuente: Elaboración propia

### 3. Cálculo del momento resistente Mr con respecto al punto “A” debido al suelo

En la Figura N° 29 se está calculando el momento resistente de cada peso con respecto al punto “A”. Para así obtener el momento resultante total y los pesos totales.

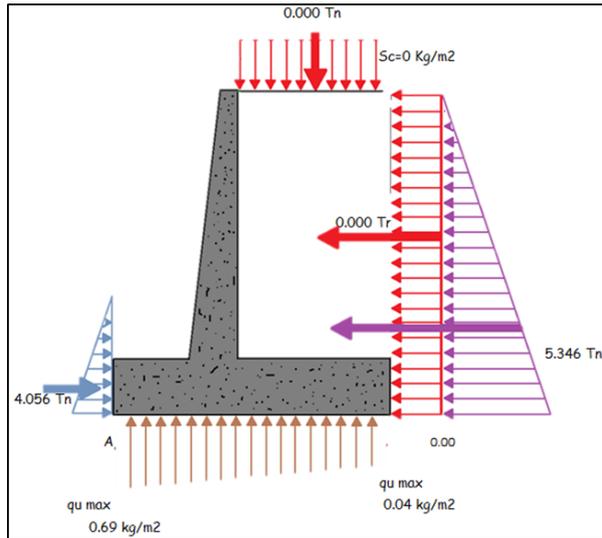


Figura N° 29: Predimensionamiento del muro de contención caja

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla N° 76 está en relación con la Figura N° 29 para así poder hacer los cálculos respectivos del momento resistente total que se requiere, así como los pesos totales.

Tabla N° 76: Cálculo del momento resistente total

Pi	Pi (Tn)	Xi (m)	Mr (Tn/m)
P1	$t1 * h * gc^o$	2.520	1.275
P2	$\frac{1}{2} * (t4 * h) * gc^o$	0.252	1.417
P3	$\frac{1}{2} * (t3 * h) * gc^o$	0.756	1.100
P4	$B * h1 * gc^o$	1.656	1.150
P5	$\frac{1}{2} * (t1 + B3) * hc * gc^o$	0.000	1.440
P6	$\frac{1}{2} * (t4 * h) * gs$	0.168	1.433
P7	$B2 * h * gs$	5.712	1.875
P8	$h1 * B1 * gs$	1.600	0.500
P9	$T3 * hr^2 * gs / (2 * h)$	0.029	1.012
Sc	$B2 * hs * gs$	0.000	1.875
Pm	Peso del muro	0.000	1.275
Total	$\Sigma = 12.693 \text{ Tn}$		$\Sigma = 18.086 \text{ Tn/m}$

Fuente: Elaboración propia

#### 4. Cálculo de presiones sobre el terreno

Se tiene que:

$$Xo = (Mr - Ma) / P$$

$$Xo = 0.79 \text{ m}$$

Calculando la excentricidad:

$$e = B/(2-x)$$

$e = 0.36$  m; como  $e < B/6$ , Si cumple.

Calculando el  $\sigma_{\text{máx}}$  y el  $\sigma_{\text{mín}}$ :

$$\sigma_{\text{máx}} = P(1+6e/B)/B = 0.69 \text{ kg/cm}^2 < \sigma_s = 4.87 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\sigma_{\text{mín}} = P(1-6e/B)/B = 0.04 \text{ kg/cm}^2 < \sigma_s = 4.87 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\text{Luego, } \frac{(\sigma_{\text{mín}} - \sigma_{\text{máx}})}{B \cdot X + \sigma_{\text{máx}}}$$

Para:

$$X = B1 \quad \text{Se tiene: } \sigma_1 = 4080.57 \text{ kg/m}^2$$

$$X = B1 + t2 \quad \text{Se tiene: } \sigma_2 = 2799.88 \text{ kg/m}^2$$

### 5. Chequeo por volteo (Cv)

$$Cv = \frac{Mr}{Mv} = 2.26 < FSV = 2.00, \text{ Si cumple}$$

### 6. Chequeo por deslizamiento (Cd)

El deslizamiento se puede producir en la interfase de la base del muro y el suelo. Siendo el coeficiente de fricción  $m = 0.60$ .

El deslizamiento se puede producir entresuelo – suelo por debajo de la base del muro. Siendo:

$$m = 0.90 * \tan(\phi_s)$$

$$m = 0.54$$

Entonces usando el menor  $m$ , se tiene que:

$$Pp = \frac{1}{2} * Kp * gs * (ho+h1+hr)^2$$

$$Pp = 4.056$$

Se deduce que:

$$FD = \frac{(m \cdot P + Pp)}{Pa} = 2.00 > FSD = 1.50, \text{ Si cumple.}$$

## 7. Diseño de pantalla del muro de contención

- Cálculo de fuerzas y momentos actuantes en pantalla

Se tiene que de la Figura N° 30 se toman los siguientes datos para calcular:

$$d = t_2 - r = 0.38 \text{ m}$$

- Cálculo de altura equivalente de la sobrecarga  $h_s$

$$P_{s/c} = K_a * S/C = 0.00 \text{ tn/m}$$

Se tiene la siguiente Tabla N° 77 donde se obtiene el momento actuante total.

Tabla N° 77: Cálculo del momento actuante total

Pi	Pa (tn)	Yi (m)	Ma (tn/m)
Empuje activo	$\frac{1}{2} * K_a * \gamma_s * (h_p - d)^2$	3.86	5.407
Sobrecarga	$(h_p - d) * s/c$	0.00	0.000
Total	$\Sigma = 3.862 \text{ tn}$		$\Sigma = 5.407 \text{ tn/m}$

Fuente: Elaboración propia

Luego se obtiene que:

$$M_u = 1.7 * M_a = 9.19 \text{ tn/m}$$

$$V_u = 1.7 * V_a = 6.57 \text{ tn/m}$$

- Verificación por corte en pantalla

Se tiene lo siguiente:

$$\text{Cortante actuante nominal: } V_n = V_u / \phi = 7.725 \text{ tn}$$

$$\text{Cortante resistente en la base de la pantalla: } V_c = 0.53 \sqrt{f'_c} * b d = 28.802 \text{ tn}$$

$$\text{Si se traslapa en la base: } V_{c_e} = 2/3 V_c = 19.20 \text{ tn}$$

Se obtiene:

$$\text{Cortante resistente} = 28.80 \text{ tn} > \text{cortante actuante} = 6.57, \text{ Si cumple.}$$

$$\text{Cálculo del peralte efectivo (d): } d = t_2 - r = 37.50 \text{ cm}$$

**8. Diseño de acero vertical en pantalla cara interior (mediante el parámetro Ku)**

$$K_u = \frac{M_u}{(bd^2)}, \text{ para } b=1.00 \text{ m}$$

Se obtiene que:  $K_u = 7.00 \text{ kg/cm}^2$

$$\text{Por otro lado, } K_u = 0.9 * p * F_y * \left(1 - 0.59 * p * \frac{F_y}{f'_c}\right)$$

Resolviendo la ecuación cuadrática se tiene que:  $p = 0.19\%$

Para concreto armado de  $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$  como máximo es 1.60%, Si cumple.

- Distribución de acero vertical en pantalla – cara interior

$$A_s = p * d * b, \text{ donde: } b = 100. \text{ Entonces } A_s = 7.10 \text{ cm}^2$$

$$A_{s\text{mín}} = 0.0018b * t^2 = 8.10 \text{ cm}^2$$

Utilizamos el máximo  $A_s$  de los dos, siendo  $8.10 \text{ cm}^2$ . (Para  $\frac{1}{2} \varnothing$  es 1.27 cm)

El número de varillas es  $A_s/A_{\varnothing b} = 7$  varillas

$$S = 1.00 / \# \text{ varillas} = 16.70$$

**Entonces se usará 7 varillas de  $\frac{1}{2}$ " cada 20 cm**

Longitud de corte ( $L_c$ ), considerando  $s/c=0.00$

$$M_{U \text{ inf}} / 2 = 4.596 \text{ tn/m}$$

De lo siguiente se obtiene  $h_c$ :

$$1.7 * \left( \frac{k_a * \gamma (h_p - h_c)^3}{6} \right) = \frac{M_{U \text{ inf}}}{2}$$

Despejamos la ecuación y se tiene que:  $h_c = 1.068$

Posteriormente se calcula:

$$L_c = h_c + d_1 = 1.44 \text{ m}$$

### 9. Diseño de acero vertical en pantalla cara exterior

$$A_s \text{ (vertical de cara interior) } / 2 = 4.05 \text{ cm}^2$$

$$A_{s\text{mín}} = 0.0018b * t^2 = 6.75 \text{ cm}^2$$

Utilizamos el máximo  $A_s = 6.75 \text{ cm}^2$  (Para  $\frac{1}{2}$  Ø es 1.27 cm)

El número de varillas es  $A_s/A\phi b = 6$  varillas

$$S = 1.00 / \# \text{ varillas} = 16.67$$

**Entonces se usará 6 varillas de  $\frac{1}{2}$ " cada 20 cm**

### 10. Diseño de acero horizontal en pantalla parte superior

$$A_s = 0.002 * b * d = 7.00 \text{ cm}^2$$

- Para la cara exterior de la pantalla

$$A_{st} = (2/3) * A_s = 4.667 \text{ cm}^2 \text{ (Para } \frac{1}{2} \text{ Ø es 1.27 cm)}$$

$$\# \text{ Varillas} = 5$$

$$\text{Separación} = 28$$

**Entonces se usará 5 varillas de  $\frac{1}{2}$ " cada 30 cm**

- Para la cara interior de la pantalla

$$A_{st} = (1/3) * A_s = 2.333 \text{ cm}^2 \text{ (Para } \frac{3}{8} \text{ Ø es 0.71 cm)}$$

$$\# \text{ Varillas} = 4$$

$$\text{Separación} = 35$$

**Entonces se usará 4 varillas de  $\frac{3}{8}$ " cada 35 cm**

### 11. Diseño de acero horizontal en pantalla parte intermedia

$$A_s = 0.002 * b * d = 9.80 \text{ cm}^2$$

- Para la cara exterior de la pantalla

$$A_{st} = (2/3) * A_s = 6.533 \text{ cm}^2 \text{ (Para } \frac{1}{2} \text{ Ø es 1.27 cm)}$$

$$\# \text{ Varillas} = 6$$

Separación = 23

**Entonces se usará 6 varillas de ½” cada 25 cm**

- Para la cara interior de la pantalla

$$A_{st} = (1/3) * A_s = 3.267 \text{ cm}^2 \text{ (Para } 3/8 \text{ } \emptyset \text{ es } 0.71 \text{ cm)}$$

# Varillas = 6

Separación = 23

**Entonces se usará 6 varillas de 3/8” cada 25 cm**

## 12. Diseño de acero horizontal en pantalla parte inferior

$$A_s = 0.002 * b * d = 12.60 \text{ cm}^2$$

- Para la cara exterior de la pantalla

$$A_{st} = (2/3) * A_s = 8.40 \text{ cm}^2 \text{ (Para } 1/2 \text{ } \emptyset \text{ es } 1.27 \text{ cm)}$$

# Varillas = 8

Separación = 17.5

**Entonces se usará 8 varillas de ½” cada 20 cm**

- Para la cara interior de la pantalla

$$A_{st} = (1/3) * A_s = 4.20 \text{ cm}^2 \text{ (Para } 3/8 \text{ } \emptyset \text{ es } 0.71 \text{ cm)}$$

# Varillas = 7

Separación = 20

**Entonces se usará 7 varillas de 3/8” cada 20 cm**

## 13. Diseño de zapata

- Diseño de zapata posterior (Talón)

$$W_u = 1.4 * (g_s * h_p + h_1 * g_c) + 1.7 * S_c = 10416 \text{ kg/m}$$

$$M_u = W_u * B_{22}/2 - 1.7 * (q^2 * B_{22}/6 + q_{mín} * B_{22}/3) = 3034 \text{ kg/m}$$

- Diseño de acero principal en zapata posterior mediante el parámetro  $k_u$

$$K_u = M_u / (bd^2), \text{ para } b = 1.00 \text{ m se tiene: } K_u = 5.99 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Por otro lado, } R_u = 0.9 * p * F_y * (1 - 0.59 * p * F_y / f'c)$$

$$\text{Resolviendo la ecuación cuadrática } p = 0.16\%$$

$$A_s = p * b * d, \text{ b} = 100 \text{ se tiene que } A_s = 3.60 \text{ cm}^2$$

$$A_{s\text{mín}} = 0.0020 * b * d = 4.50 \text{ cm}^2$$

$$\text{Luego, } A_s = 4.50 \text{ cm}^2 \text{ (Para } \frac{1}{2} \text{ } \emptyset \text{ es } 1.27 \text{ cm)}$$

$$\text{El número de varillas es } A_s / A_{\emptyset b} = 5 \text{ varillas}$$

$$S = 1.00 / \# \text{ varillas} = 25$$

**Entonces se usará 5 varillas de ½” cada 25 cm**

- Diseño de acero transversal en zapata posterior

$$A_{s\text{mín}} \text{ (temperatura)} = 0.0012 * b * d = 2.70 \text{ cm}^2 \text{ (Para } \frac{3}{8} \text{ } \emptyset \text{ es } 0.71 \text{ cm)}$$

$$\text{El número de varillas es } A_s / A_{\emptyset b} = 5 \text{ varillas}$$

$$S = 1.00 / \# \text{ varillas} = 25$$

**Entonces se usará 5 varillas de 3/8” cada 25 cm**

- Verificación de cortante en peralte de zapata posterior (talón)

$$V_u = W_u * B_2 * -1.7 * (\sigma_2 + \sigma_{\text{mín}}) * B_2 / 2 = 6556 \text{ kg}$$

$$\emptyset V_c = 0.85 * 0.53 * f'c * 0.5 * b * d = 14689 \text{ kg}$$

Como  $V_u < \emptyset V_c$ , Si cumple.

#### 14. Diseño de zapata anterior (Pie)

$$M_u = 1.7 * (\sigma_{\text{máx}} * B_1^2 / 3 + \sigma_1 * B_1^2 / 6) = 5081 \text{ kg/m}$$

- Diseño de acero principal en zapata anterior mediante el parámetro  $k_u$

$$K_u = M_u / (bd^2), \text{ para } b = 1.00 \text{ m se tiene: } K_u = 10.04 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Por otro lado, } R_u = 0.9 * p * F_y * (1 - 0.59 * p * F_y / f'c)$$

$$\text{Resolviendo la ecuación cuadrática } p = 0.27\%$$

$$A_s = p \cdot b \cdot d, b = 100 \text{ se tiene que } A_s = 6.20 \text{ cm}^2$$

$$A_{s_{\min}} = 0.0020 \cdot b \cdot d = 4.50 \text{ cm}^2$$

$$\text{Luego, } A_s = 6.20 \text{ cm}^2 \text{ (Para } 5/8 \text{ } \varnothing \text{ es } 1.98 \text{ cm)}$$

$$\text{El número de varillas es } A_s / A_{\varnothing b} = 4 \text{ varillas}$$

$$S = 1.00 / \# \text{ varillas} = 33.30$$

**Entonces se usará 4 varillas de 5/8" cada 35 cm**

- Diseño de acero transversal en zapata posterior

$$A_{s_{\min}} \text{ (temperatura)} = 0.0012 \cdot b \cdot d = 2.70 \text{ cm}^2 \text{ (Para } 3/8 \text{ } \varnothing \text{ es } 0.71 \text{ cm)}$$

$$\text{El número de varillas es } A_s / A_{\varnothing b} = 5 \text{ varillas}$$

$$S = 1.00 / \# \text{ varillas} = 25$$

**Entonces se usará 5 varillas de 3/8" cada 25 cm**

- Verificación de cortante en peralte de zapata anterior (pie)

$$V_u = 1.7 \cdot B / 2 \cdot (\sigma_{\max} + \sigma_1) = 9356 \text{ kg}$$

$$\varnothing V_c = 0.85 \cdot 0.53 \cdot f'c^{0.5} \cdot b \cdot d = 14689 \text{ kg}$$

Como  $V_u < \varnothing V_c$ , Si cumple.

## 15. Diseño de dentellón contra deslizamiento

$$\text{Empuje pasivo (Pp)} = K_p \cdot g_s \cdot (h_1 + h_r) h_o + K_p \cdot g_s \cdot h_o^2 / 2 = 0.00 \text{ Tn}$$

$$\text{Brazo del momento (Y)} = (3 \cdot (h_1 + h_r) + 2 h_o) \cdot h_o / (6 \cdot (h_1 + h_r) + 3 h_o) = 0.00 \text{ m}$$

$$\text{Luego se tiene: } M_n = P_p \cdot Y = 0.00 \text{ tn/m}$$

$$M_u = 1.4 \cdot M_n = 0.00 \text{ tn/m}$$

$$\text{Y el peralte es: } d = B_3 - r = 33 \text{ cm}$$

- Diseño de acero principal en dentellón mediante el parámetro  $K_u$

$$K_u = M_u / (b d^2), \text{ para } b = 1.00 \text{ m se tiene: } K_u = 0.00 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Por otro lado, } K_u = 0.9 \cdot p \cdot F_y \cdot (1 - 0.59 \cdot p \cdot F_y / f'c)$$

Resolviendo la ecuación cuadrática  $p = 0.00\%$

$$A_s = p \cdot b \cdot d, \quad b = 100 \text{ se tiene que } A_s = 0.00 \text{ cm}^2$$

$$A_{s_{\text{mín}}} = 0.0018b \cdot B^3 = 7.20 \text{ cm}^2$$

Luego,  $A_s = 7.20 \text{ cm}^2$  (Para  $\frac{1}{2} \text{ Ø}$  es 1.27 cm)

El número de varillas es  $A_s / A_{\text{Ø}b} = 7$  varillas

$$S = 1.00 / \# \text{ varillas} = 16.70$$

**Entonces se usará 7 varillas de  $\frac{1}{2}$ " cada 20 cm**

- Diseño de acero horizontal en dentellón

$$A_{s_{\text{mín}}} = 0.0018b \cdot B^3 = 7.20 \text{ cm}^2$$

Luego,  $A_s = 7.20 \text{ cm}^2$  (Para  $\frac{1}{2} \text{ Ø}$  es 1.27 cm)

El número de varillas es  $\frac{A_s}{A_{\text{Ø}b}} = 3.5$  varillas

$$S = \frac{1.00}{\# \text{ varillas}} = 40$$

**Entonces se usará 4 varillas de  $\frac{1}{2}$ " cada 40 cm**

- Verificando la fuerza cortante en dentellón

$$V_u = 1.7 * (1/2 * k_p * g_s * (h_o + h_1 + h_r)^2) = 6895 \text{ kg}$$

$$\text{Ø}V_c = 0.85 * 0.53 * f'_c{}^{0.5} * b * d = 21217 \text{ kg}$$

Como  $V_u < \text{Ø}V_c$ , Si cumple.

Se considera que todo el tramo es de flujo uniforme, y todas las características hidráulicas calculadas serán resumidas en la Tabla N° 78. Como se aprecia el caudal de  $772 \text{ m}^3/\text{s}$ , la base del cauce del río de 77 m, los taludes izquierdo y derecho de 1.50, pendiente de 0.002 m/m, la altura del muro total de 4.16 m (se tomará una medida de 4.20 m), el tirante promedio es de 3.16 m y la velocidad es de 3.05 m/s.

Tabla N° 78: Características hidráulicas para el tramo de estudio

Q (m <sup>3</sup> /s)	B (m)	Zi	Zd	S (m/m)	n	H (m)	Y (m)	V (m/s)
772	77.00	1.50	1.50	0.002	0.030	4.20	3.16	3.05

Fuente:Elaboración propia

En la Tabla N° 79 se encuentra el resumen de resultados de todos los cálculos efectuados para el diseño del muro de contención de concreto teniendo como el soporte del suelo de 4.87 Kg/cm<sup>2</sup>, la excentricidad de la resultante de 0.36 m, la estabilidad de volteo de 2.26, la estabilidad al deslizamiento de 2.00. Las fuerzas cortantes son verificadas cumpliendo todas con el diseño en la base del muro, en el talón dorsal, en el talón frontal y en el dentellón.

Tabla N° 79: Resultados de diseño para el muro de contención de concreto

$\sigma_{\text{máx}}$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$\sigma_{\text{mín}}$ (kg/cm <sup>2</sup> )	e (m)	Cv	Cd	Vc	Vu (tn/m)
4.87	4.87	0.36	2.26	2.00	28.80	6.57

Fuente:Elaboración propia

En la Figura N° 30 se tiene el diseño del muro de contención de concreto para la defensa ribereña del tramo de estudio. Con sus respectivos cálculos en soporte de suelo, excentricidad de la resultante, estabilidad al volteo, estabilidad al deslizamiento, fuerzas cortantes. Verificando que todos los cálculos cumplan con los parámetros de diseño.



más incidente la de movimiento de tierras. El total del presupuesto asciende a un monto de S/. 59'038,279.68. Considerando que los precios son referenciales a la zona donde se encuentra ubicado nuestro tramo de estudio.

Presupuesto					
Presupuesto	1101001	"Análisis comparativo de defensas ribereñas para la mitigación de inundaciones del río Ica"			
Subpresupuesto	002	PROTECCIÓN DE GAVIÓN COLCHÓN			
Cliente	Fiorella Maravi, Luis Melchor			Costo al	04/11/2020
Lugar	ICA - ICA - ICA				
Item	Descripción	Und.	Metrado	Precio S/.	Parcial S/.
01	OBRAS PRELIMINARES Y PROVISIONALES				433,597.67
01.01	OBRAS PROVISIONALES	glb	1.00	297,238.75	297,238.75
01.02	TRABAJOS PRELIMINARES	glb	1.00	79,923.25	79,923.25
01.03	SEGURIDAD Y SALUD	glb	1.00	56,435.67	56,435.67
02	SISTEMA DE DEFENSA RIBEREÑA				38,009,140.70
02.01	GAVION TIPO COLCHON				38,009,140.70
02.01.01	EXPLANACIONES	m2	4,268.89	6,176.00	26,364,664.64
02.01.02	PROTECCION CON GAVION COLCHON	m3	3,156.54	3,689.00	11,644,476.06
03	MITIGACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL				543,213.80
03.01	MITIGACION DEL IMPACTO AMBIENTAL	glb	1.00	543,213.80	543,213.80
04	PLAN PARA LA VIGILANCIA, PREVENCIÓN Y CONTROL DE COVID - 19 EN EL TRABAJO DE LA OBRA				45,324.00
04.01	PLAN PARA LA VIGILANCIA, PREVENCIÓN Y CONTROL DE COVID - 19	glb	1.00	45,324.00	45,324.00
05	FLETE TERRESTRE				56,567.90
05.01	FLETE TERRESTRE (LIMA - ICA - SANTIAGO)	glb	1.00	56,567.90	56,567.90
	COSTO DIRECTO				39,087,844.07
	GASTOS GENERALES				7,035,811.93
	UTILIDAD (10%)				3,908,784.41
					=====
	SUBTOTAL				50,032,440.41
	IGV				9,005,839.27
					=====
	TOTAL PRESUPUESTO				59,038,279.68
	SON : CINCUENTINUEVE MILLONES TRENTIOCHO MIL DOSCIENTOS SETENTINUEVE Y 68/100 NUEVOS SOLES				

Figura N° 31: Presupuesto muro de gavión colchón

Fuente: Elaboración propia en el software S10

En la Figura N° 32 se presenta el presupuesto total, si la defensa ribereña se diseñará con muro de gavión caja. En el cual se puede apreciar las partidas generales de todo el proceso constructivo del muro con gavión caja, siendo la partida más incidente la de movimiento de tierras. El total del presupuesto asciende a un monto de S/. 52'040,849.04, considerando que los precios son referenciales a la zona donde se encuentra ubicado nuestro tramo de estudio.

<b>Presupuesto</b>						
Presupuesto	<b>1101001</b>	<b>"Análisis comparativo de defensas ribereñas para la mitigación de inundaciones del río Ica"</b>				
Subpresupuesto	<b>001</b>	<b>MURO DE GAVIÓN CAJA</b>				
Cliente	<b>Fiorella Maravi, Luis Melchor</b>				Costo al	<b>04/11/2020</b>
Lugar	<b>ICA - ICA - ICA</b>					
Item	Descripción	Und.	Metrado	Precio S/.	Parcial S/.	
01	<b>OBRAS PRELIMINARES Y PROVISIONALES</b>				<b>593,342.63</b>	
01.01	OBRAS PROVISIONALES	glb	1.00	436,662.61	436,662.61	
01.02	TRABAJOS PRELIMINARES	glb	1.00	100,244.35	100,244.35	
01.03	SEGURIDAD Y SALUD	glb	1.00	56,435.67	56,435.67	
02	<b>SISTEMA DE DEFENSA RIBEREÑA</b>				<b>33,216,562.95</b>	
02.01	<b>GAVION TIPO CAJA</b>				<b>32,380,162.96</b>	
02.01.01	EXPLANACIONES	m2	4,967.45	4,210.00	20,912,964.50	
02.01.02	PROTECCION CON GAVIONES	m3	3,567.89	3,214.00	11,467,198.46	
02.02	<b>COLCHON RENO</b>				<b>836,399.99</b>	
02.02.01	PROTECCION CON COLCHON RENO ANTISOCAVANTE	m3	1,789.78	467.32	836,399.99	
03	<b>MITIGACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL</b>				<b>543,213.80</b>	
03.01	MITIGACION DEL IMPACTO AMBIENTAL	glb	1.00	543,213.80	543,213.80	
04	<b>PLAN PARA LA VIGILANCIA, PREVENCIÓN Y CONTROL DE COVID - 19 EN EL TRABAJO DE LA OBRA</b>				<b>45,324.00</b>	
04.01	PLAN PARA LA VIGILANCIA, PREVENCIÓN Y CONTROL DE COVID - 19	glb	1.00	45,324.00	45,324.00	
05	<b>FLETE TERRESTRE</b>				<b>56,567.90</b>	
05.01	FLETE TERRESTRE (LIMA - ICA - SANTIAGO)	glb	1.00	56,567.90	56,567.90	
	<b>COSTO DIRECTO</b>				<b>34,455,011.28</b>	
	<b>GASTOS GENERALES</b>				<b>6,201,902.03</b>	
	<b>UTILIDAD (10%)</b>				<b>3,445,501.13</b>	
					=====	
	<b>SUBTOTAL</b>				<b>44,102,414.44</b>	
	<b>IG V</b>				<b>7,938,434.60</b>	
					=====	
	<b>TOTAL PRESUPUESTO</b>				<b>52,040,849.04</b>	
	<b>SON : CINCUENTIDOS MILLONES CUARENTA MIL OCHOCIENTOS CUARENTINUEVE Y 04/100 NUEVOS SOLES</b>					

Figura N° 32: Presupuesto muro de gavión caja

Fuente: Elaboración propia en el software S10

En la Figura N° 33 se presenta el presupuesto total, si la defensa ribereña se diseñará con muro de contención. En el cual se puede apreciar las partidas generales de todo el proceso constructivo del muro de contención de concreto, siendo las partidas más incidentes las de movimiento de tierras y de concreto armado. El total del presupuesto asciende a un monto de S/. 79'118,212.47, considerando que los precios son referenciales a la zona donde se encuentra ubicado nuestro tramo de estudio.

Presupuesto					
Presupuesto	1101001	"Análisis comparativo de defensas ribereñas para la mitigación de inundaciones del río Ica"			
Subpresupuesto	003	MURO DE CONTENCIÓN			
Cliente	Fiorella Maraví, Luis Melchor			Costo al	
Lugar	ICA - ICA - ICA			04/11/2020	
Item	Descripción	Und.	Metrado	Precio S/.	Parcial S/.
01	OBRAS PRELIMINARES Y PROVISIONALES				593,342.63
01.01	OBRAS PROVISIONALES	g/b	1.00	436,662.61	436,662.61
01.02	TRABAJOS PRELIMINARES	g/b	1.00	100,244.35	100,244.35
01.03	SEGURIDAD Y SALUD	g/b	1.00	56,435.67	56,435.67
02	SISTEMA DE DEFENSA RIBEREÑA				51,143,842.76
02.01	MURO DE CONTENCIÓN				51,143,842.76
02.01.01	EXPLANACIONES	m2	4,967.45	4,210.00	20,912,964.50
02.01.02	MURO DE CONTENCIÓN	m3	3,123.67	9,678.00	30,230,878.26
03	MITIGACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL				543,213.80
03.01	MITIGACION DEL IMPACTO AMBIENTAL	g/b	1.00	543,213.80	543,213.80
04	PLAN PARA LA VIGILANCIA, PREVENCIÓN Y CONTROL DE COVID - 19 EN EL TRABAJO DE LA OBRA				45,324.00
04.01	PLAN PARA LA VIGILANCIA, PREVENCIÓN Y CONTROL DE COVID - 19	g/b	1.00	45,324.00	45,324.00
05	FLETE TERRESTRE				56,567.90
05.01	FLETE TERRESTRE (LIMA - ICA - SANTIAGO)	g/b	1.00	56,567.90	56,567.90
	COSTO DIRECTO				52,382,291.09
	GASTOS GENERALES				9,428,812.40
	UTILIDAD (10%)				5,238,229.11
					=====
	SUBTOTAL				67,049,332.60
	IGV				12,068,879.87
					=====
	TOTAL PRESUPUESTO				79,118,212.47
SON : SETENTINUEVE MILLONES CIENTO DIECIOCHO MIL DOSCIENTOS DOCE Y 47/100 NUEVOS SOLES					

Figura N° 33: Presupuesto muro de contención

Fuente: Elaboración propia en el software S10

## CONSTATACIÓN DE HIPÓTESIS

Hipótesis	Conclusiones	Decisión conceptual
<p style="text-align: center;"><b>Hipótesis General</b></p> <p>La defensa ribereña más favorable para mitigar las inundaciones del río Ica son los muros de gavión caja. <math>H_A \neq H_0</math></p>	<p>Mediante los análisis de diseño para los tres sistemas y las comparaciones técnico-económica se concluye que el sistema más favorable para mitigar las inundaciones del río Ica son los muros de gavión caja. Por lo consiguiente si se cumplió.</p>	<p>Se rechaza la hipótesis nula <math>H_0</math> Por lo tanto, la hipótesis alterna <math>H_A</math> es válida</p>
<p style="text-align: center;"><b>Hipótesis Específicos</b></p> <p>Su relieve topográfico es poco accidentado, y gran parte de su geología es de depósito aluvial del holoceno. <math>H_1 \neq H_0</math></p>	<p>La topografía del tramo de estudio comprende desde el puente colgante de Santiago hasta el puente Ocucaje, con un relieve poco accidentado, la pendiente promedio es de 5.1% y una pendiente del río Ica de 2.0%, se concluye que si se cumplió.</p>	<p>Se rechaza la hipótesis nula <math>H_0</math> Por lo tanto, la hipótesis alterna <math>H_1</math> es válida</p>
<p>Los parámetros hidrológico e hidráulico fundamentales que se obtendrán serán el caudal, velocidad y el tirante máximo. <math>H_2 \neq H_0</math></p>	<p>El caudal de diseño para un periodo de retorno de 140 años es de 772 m<sup>3</sup>/s, una velocidad promedio de 3.05 m/s y tirantes que alcanzan alturas de 3.16 m siendo el promedio de 4.45m, se concluye que si se cumplió.</p>	<p>Se rechaza la hipótesis nula <math>H_0</math>. Por lo tanto, la hipótesis alterna <math>H_2</math> es válida</p>
<p>Simular el comportamiento del Río Ica con el software Hec-Ras. <math>H_3 \neq H_0</math></p>	<p>El software Hec-Ras es adecuado para modelar el comportamiento del río Ica y así poder obtener las zonas donde producirá las inundaciones, se concluye que si se cumplió.</p>	<p>Se rechaza la hipótesis nula <math>H_0</math>. Por lo tanto, la hipótesis alterna <math>H_3</math> es válida</p>

Con los datos obtenidos en los estudios topográficos, geológicos, geotécnicos, hidrológicos e hidráulicos del Río Ica se diseñará las defensas ribereñas. $H_4 \neq H_0$	Con los datos obtenidos en todos los estudios se procede a hacer los análisis de diseño para cada sistema siendo protección de gavión colchón, muro de gavión caja y muro de contención de concreto, se concluye que si se cumplió.	Se rechaza la hipótesis nula $H_0$ Por lo tanto, la hipótesis alterna $H_4$ es válida
---	---	--

---

## CONCLUSIONES

1. En el proceso de diseño en los tres sistemas propuestos para la mitigación y protección ante inundaciones, se optó tanto técnico como económico por la defensa ribereña de muro de gaviones, siendo la más viable como alternativa para la zona donde fluye el río Ica. Las dimensiones de los gaviones son: 5x1.5x1 m (B) y 5x1x1 m (A), con altura del muro 4.20 m, longitud de colchón de 4 m, espesor del colchón de 0.30 m, profundidad de socavación de 2.43m y borde libre de 1 m. Siendo el presupuesto referencial de S/. 52,040.849.04 para todo el tramo de estudio.
2. La topografía del tramo de investigación que va del puente colgante de Santiago hasta el puente Ocucaje se define como un relieve relativamente suave, posee la pendiente promedio de 5.1% y una pendiente del río Ica de 2.0% con un intervalo de cotas de 318.01 m.s.n.m. al 362.915 m.s.n.m.
3. La geología en el tramo de estudio está formada por depósitos eólicos, materiales lacustres y depósitos aluviales
4. Del análisis de parámetros de forma obtuvimos que el área de la cuenca es de 7291.72 km<sup>2</sup> por lo que nos indica que la cuenca es muy grande; al ser una cuenca muy grande existirá la posibilidad de captar una mayor cantidad de precipitación por lo que podría existir mayores crecidas y transportes de sedimentos, su coeficiente de asimetría es de 1.74 lo que indica que el margen derecho provee mayor aportación de agua al cauce del río Ica y el factor de forma es de 0.1282 lo cual indica que es alargada y muy poco achatada con escasa probabilidad de transformaciones de precipitaciones a caudales.
5. Del análisis de parámetros del relieve obtuvimos que la altitud de la cuenca del río Ica va desde los 0 m.s.n.m. hasta los 4653.64 m.s.n.m. la pendiente de la cuenca es de 16.76% lo que nos indica que el relieve de la cuenca es accidentado y la curva hipsométrica obtenida representa que el río Ica es un río viejo lo cual nos indica que en estos ríos se forman depósitos materiales de sedimentos, a lo largo de los márgenes y su velocidad es lenta.
6. Del análisis de parámetros de la red hidrográfica obtuvimos que el Ica tiene un número de orden 6 lo cual nos indica que recibe corrientes de órdenes inferiores a este, la longitud de río Ica tiene 242.15 km, su pendiente es de 25.06%, tiene

una sinuosidad de 1.35 lo cual nos indica que la sinuosidad es moderada, la densidad de drenaje es de  $0.37 \text{ km/km}^2$ , lo cual nos indica que el flujo es menos dominante en el cauce frente al flujo en ladera, lo que se traduce en un mayor tiempo de respuesta de la cuenca y, por lo tanto, un mayor tiempo al pico del hidrograma y su tiempo de concentración según la fórmula de Kirpich es de 20.43 horas.

7. El caudal de diseño determinado para un periodo de 140 años es de  $771.9 \text{ m}^3/\text{s}$ , la velocidad promedio de  $5.05 \text{ m/s}$ , también presenta un  $N^\circ$  de Froude promedio de 0.75 y tirantes que alcanzan alturas de 4.08 m.
8. El software más adecuado para simular el comportamiento del río Ica es el Hec-Ras debido a que el modelamiento describe como el río Ica inundaría gran parte del tramo de estudio.

## **RECOMENDACIONES**

1. Se recomienda un levantamiento topográfico del río Ica para saber mejor las dimensiones del río, debido a que se cuenta con registros antiguos, lo cual no nos permiten obtener mejores resultados al analizarlo.
2. Realizar calicatas en los márgenes del río para poder tener mayor información del tipo de suelo donde se colocarán las defensas ribereñas.
3. Se recomienda poner estaciones pluviométricas en lugares donde existe peligro de inundaciones; para que se pueda realizar estudios más confiables y a su vez prevenir a la población que se encuentran habitando cerca a estos lugares.
4. Se recomienda hacer estudios exhaustivos en zonas rurales y urbanas como del presente estudio que son propensos a sufrir daños frente a inundaciones, y así evitar pérdidas humanas y materiales.
5. Para mitigar las inundaciones del tramo de estudio nos da como resultado recubrir ambas márgenes en todo el trayecto, pero recomendamos que se hagan estudios a profundidad para todas las secciones considerando lo complejo de la formación de los taludes y así evitar riesgos en la estabilidad.
6. Se recomienda a las entidades públicas de la región Ica y zonas aledañas a promover campañas de capacitación y sensibilización sobre temas de desbordamientos e inundaciones. Para así, poder identificar zonas vulnerables y de peligro donde no se construyan viviendas y demás.

## REFERENCIAS

- ANA. (2017). *Inundaciones en el Perú*. Retrieved from Diapositivas en internet: <http://www.rimd.org/advf/documentos/4962879bcbe32.pdf>
- Béjar, M. V. (2002). *HIDROLOGÍA*. Lima-Perú: Villón.
- Carlotto, V., Fidel, L., & Chirif, H. (2012). *INGEMMET*. Retrieved from <https://es.slideshare.net/ingemmet/la-geologa-en-la-planificacin-del-territorio-gua-para-la-zonificacin-ecolgica-econmica>
- Chira, L. R. (2017). *La red de observación del SENAMHI*. Retrieved from <https://www.slideshare.net/jchira/presentacin-de-la-red-de-observacin-del-senamhi-peru>
- Comunicaciones, M. d. (2012). *MANUAL DE HIDROLOGÍA, HIDRÁULICA Y DRENAJE*. Lima: El Peruano.
- Córdova, M. (2016, Abril 30). *Parámetros geomorfológicos de cuencas hidrográficas*. Retrieved from PRONTUBEAM: [https://www.prontubeam.com/articulos/articulos.php?Id\\_articulo=26](https://www.prontubeam.com/articulos/articulos.php?Id_articulo=26)
- Desktop, A. f. (2020, NOVIEMBRE 08). *ArcGIS for Desktop*. Retrieved from ArcGIS for Desktop: <https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst-toolbox/an-overview-of-the-hydrology-tools.htm>
- Díaz, J. S. (2001). *CONTROL DE EROSIÓN*. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander.
- EE.UU., C. d. (2020, 09 04). *Centro de Ingeniería Hidrológica*. Retrieved from HEC-HMS: <https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/>
- Fasanando, L. M. (2014). *Diseño Hidraulico y Estructural de Defensa Ribereña del río Chicama Tramo Puente Punta Moreno - Pampas de Jaguey Aplicando el Programa River*. Trujillo: Universidad Privada Antenor Orrego.
- Felices, A. R. (1998). *INTRODUCCION A LA HIDRAULICA FLUVIAL*. Lima, Perú: Universidad Nacional de Ingeniería.
- Felices, A. R. (2013). *Introducción a la Hidráulica de las Obras Viales*. Lima: Instituto de la Construcción y Gerencia.
- Fernanda J. Gaspari, A. M. (2013). *Elementos metodológicos para el manejo de cuencas hidrográficas*. Buenos Aires: Editorial de la Universidad de la Plata.

- Gálvez, J. J. (2011). *¿QUÉ ES CUENCA HIDROLÓGICA?* LIMA: Sociedad Geográfica de Lima.
- Gomez, C. F., & Cahuana, A. W. (2018). *Universidad Privada de Tacna*. Retrieved from [http://repositorio.upt.edu.pe/bitstream/UPT/548/1/Gomez\\_Choque-Cahuana\\_Alave.pdf](http://repositorio.upt.edu.pe/bitstream/UPT/548/1/Gomez_Choque-Cahuana_Alave.pdf)
- GUZMAN, J. E. (2012). *Topografía* (Vol. Primera edición). Estado de México: Red Tercer Milenio. Retrieved from <http://www.aliat.org.mx/BibliotecasDigitales/ingenieria/Topografia.pdf>
- GUZMAN, J. E. (2012). *Topografía* (Vol. Primera edición). Estado de México: Red Tercer Milenio. Retrieved from <http://www.aliat.org.mx/BibliotecasDigitales/ingenieria/Topografia.pdf>
- Ica, C. R. (2015). *"Control de desbordes e inundaciones en el río Ica y quebrada Cansas/Chanchajalla"*. Ica.
- López, C. d., & Minteguí, A. (1987). *Hidrología de Superficie*. (España, Ed.) Madrid: Salazar.
- Luna, D. F. (1990). Procedimiento para obtener curvas I-D-Tr a partir de registros pluviométricos. *Ingeniería Hidráulica en México*, 14.
- MACCAFERRI. (2010). Defensas ribereñas y obras transversales. *Soluciones Ambientales*, 20.
- Mariana A. Camino, M. J. (2018). Estudio morfométrico de las cuencas de drenaje de la vertiente sur del sudeste de la provincia de Buenos Aires (Argentina). *Revista Universitaria de Geografía*, 73-97.
- MEF. (2006). *Ministerio de Economía y Finanzas*. Retrieved from [https://www.mef.gob.pe/contenidos/inv\\_publica/docs/instrumentos\\_metod/agricultura/GuiaInundaciones.pdf](https://www.mef.gob.pe/contenidos/inv_publica/docs/instrumentos_metod/agricultura/GuiaInundaciones.pdf)
- Mijares, F. J. (1989). *FUNDAMENTOS DE HIDROLOGÍA DE SUPERFICIE*. México: GRUPO NORIEGA EDITORES .
- MINISTERIO DE COMUNICACIONES, I. Y. (2020, 11 30). *INSIVUMEH*. Retrieved from INSIVUMEH: <https://insivumeh.gob.gt/institucional/que-es-hidrologia/>
- OMAR, B. F. (2015). *"PROPUESTA Y ANÁLISIS DE DISEÑO DE DEFENSAS RIBEREÑAS EN EL RÍO ILAVE ZONA RURAL C.P. SANTA ROSA DE HUAYLLATA-ILAVE"*. Puno: Universidad Nacional del Altiplano.
- PAÍS, T. P. (2017). *MORFOMETRÍA*. Bogota , Colombia: Fondo Adaptación.

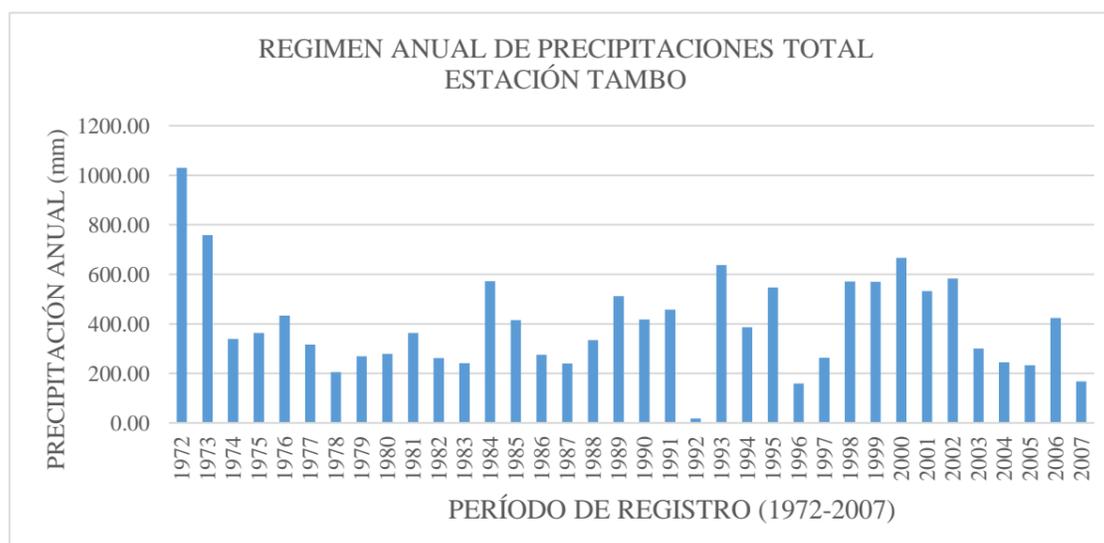
- Peña, F. S. (2010). *Hidrología de la Cuenca del Río Ica*. Lima, Perú: INGGMET.  
Retrieved from <https://repositorio.ingemmet.gob.pe/handle/20.500.12544/370>
- Quispe, J. A. (2017). *Protección contra inundaciones en el sector del centro Poblado de Gorgor, Distrito de Gorgor, Provincia de Cajatambo, Lima*. Lima: Universidad Nacional Agraria LaMolina.
- RNE. (2018). *Norma técnica E.030 diseño sismorresistente*. Retrieved from <https://busquedas.elperuano.pe/download/url/anexo-de-rm-n-355-2018-vivienda-mediante-la-cual-se-modi-anexo-rm-n355-2018-vivienda-1720685-1>
- S., M. B. (2012). *Metodología de la investigación científica para ingenieros*. Chiclayo.
- SENACE. (2016). *SENACE*. Retrieved from [https://www.senace.gob.pe/archivos/?wpfb\\_dl=2483](https://www.senace.gob.pe/archivos/?wpfb_dl=2483)
- SIAR. (2012). *Cálculo de la precipitación efectiva*. Retrieved from [https://www.mapa.gob.es/es/desarrollo-rural/temas/gestion-sostenible-regadios/precipitacionefectiva05\\_tcm30-82980.pdf](https://www.mapa.gob.es/es/desarrollo-rural/temas/gestion-sostenible-regadios/precipitacionefectiva05_tcm30-82980.pdf)
- Urteaga, H. C. (2019). *Pontificia Universidad Católica del Perú*. Retrieved from <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/15276>
- Ven Te Chow, D. R. (1994). *HIDROLOGIA APLICADA*. Santafé de Bogotá, Colombia.: McGRAW-HILL.
- VEN TE CHOW, D. R. (1994). *HIDROLOGÍA APLICADA*. Santafé de Bogotá, Colombia: McGRAW-HILL.
- Villón, B. M. (2005). *Hidrología*. Editorial Tecnología de Costa Rica. Retrieved from <https://es.slideshare.net/erickmainar/hidrologa-ingmximo-villn-53473898>
- WORLD-INGENIUM. (2020, noviembre 08). *HIDROESTA2*. Retrieved from <http://world-ingenium.blogspot.com/2018/02/hidroesta-2.html>
- Yepes Piqueras Víctor. (2019). Retrieved from [victoryepes.blogs.upv.es/](http://victoryepes.blogs.upv.es/)

## **ANEXOS**

Problema general	Objetivo general	Hipótesis general	Alcance de investigación	Universo investigado	Técnica e instrumentos	Tamaño muestras y ensayos
¿Cuál es el proceso para el análisis comparativo de las defensas ribereñas para la mitigación de inundaciones del río Ica?	Realizar el análisis comparativo de defensas ribereñas para la mitigación de inundaciones del río Ica.	La defensa ribereña más favorable para mitigar las inundaciones del río Ica es muro de gavión caja.				
<b>Problemas específicos</b>	<b>Objetivos específicos</b>	<b>Hipótesis específicas</b>				
¿Cuáles son las características topográficas y geológicas en el tramo de estudio?	Analizar las características topografía y geología en el tramo de estudio.	Su relieve topográfico es poco accidentado, y gran parte de su geología es de depósito aluvial del holoceno.				
¿Cuáles son los parámetros hidrológicos e hidráulicos fundamentales del río Ica?	Determinar los parámetros hidrológicos e hidráulicos fundamentales del río Ica.	Los parámetros hidrológico e hidráulico fundamentales que se obtendrán será el caudal, velocidad y el tirante máximo. El software más adecuado para simular el comportamiento hidráulico del río Ica es el HEC-RAS, debido a que se puede ingresar todas las obras civiles que se encuentran en el tramo de estudio y los parámetros que se necesitan para obtener un comportamiento hidráulico parecido con el real.	Descriptivo-Comparativo (Cuantitativo)	El tramo de estudio es aproximadamente 17.7 km, la cual está expuesta a inundaciones del Río Ica.	<b>Técnica:</b> Observación no participativa <b>Instrumento:</b> Se recoge información de los datos meteorológicos del SENAMHI. La información de estudio de Suelo se obtuvo del expediente Técnico “Control de desbordes e inundaciones en el río Ica Quebrada Cansas/Chanchajalla”, con la cual obtendremos los parámetros que se usarán para el diseño de defensas ribereñas. Los datos de Topografía se obtuvieron del Google Earth, Carta Nacional y Expediente técnico del Río Ica para ubicar las Defensas Ribereñas de acuerdo al relieve del terreno. La geología del lugar de estudio se obtuvo del INGEMMET y del libro HIDROGEOLOGÍA DE LA CUENCA DEL RÍO ICA REGIONES ICA HUANCAVELICA, 2010.	La muestra es de 17.7 km del margen derecho e izquierdo del río Ica ubicado entre el distrito de Santiago y Ocucaje para el diseño de Defensas Ribereñas.
¿Cómo simular el comportamiento del río Ica en un tramo de 17,7 km?	Simular el comportamiento del río Ica en un tramo de 17,7 km.					
¿Cómo diseñar los elementos estructurales de defensas ribereñas: gaviones colchón, gaviones caja y muro de contención de concreto?	Diseñar los elementos estructurales de defensas ribereñas: gavión colchón, gavión caja y muro de contención de concreto.	Con los datos obtenidos en los estudios topográficos, geológicos, geotécnicos, hidrológicos e hidráulicos del río Ica se diseñará las defensas ribereñas				

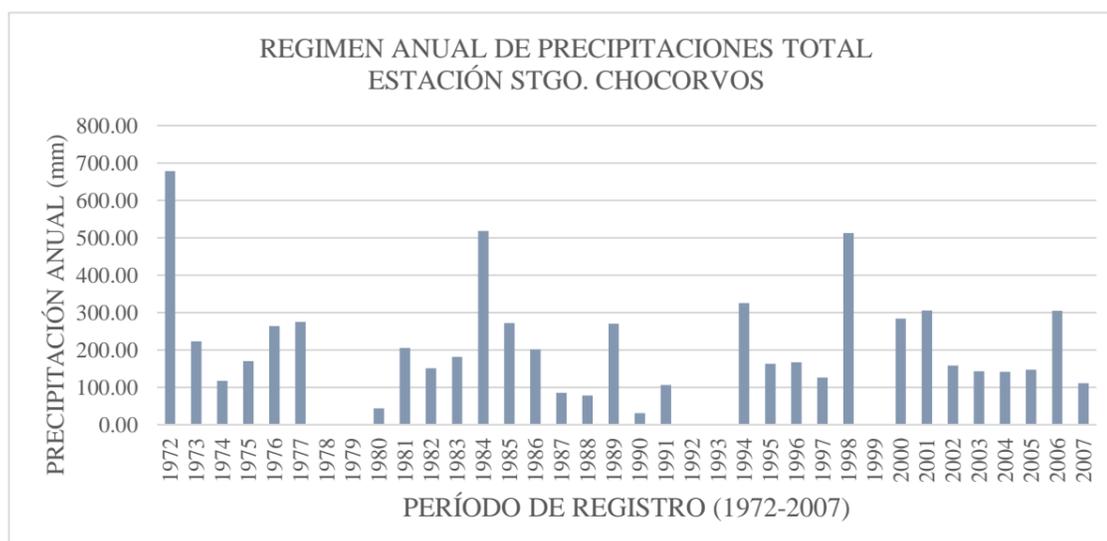
**CUADRO N° 1**  
**ESTACIÓN PLUVIOMETRICA: TAMBO**  
**PRECIPITACIÓN TOTAL MENSUAL HISTORICA (mm)**  
**PERÍODO AÑOS: 1972 - 2007**

AÑOS	MESES												TOTAL
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	
1972	208.50	211.10	339.00	43.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	89.70	10.20	128.00	1030.10
1973	252.80	117.70	357.90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	30.30	758.70
1974	77.80	132.10	89.30	36.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.90	338.60
1975	93.60	15.10	167.70	22.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.20	6.50	52.60	363.20
1976	76.40	144.40	196.20	16.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	433.40
1977	0.00	207.50	86.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	22.40	315.90
1978	32.60	39.90	115.30	17.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	204.80
1979	6.00	41.40	180.70	40.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	268.90
1980	41.90	37.00	91.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	99.40	0.00	9.80	279.20
1981	68.10	157.70	108.30	0.00	0.00	0.00	0.00	11.40	0.00	0.00	0.00	18.20	363.70
1982	31.20	60.40	103.30	67.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	262.10
1983	33.00	50.00	18.20	88.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	51.40	241.10
1984	92.20	253.40	70.50	0.00	27.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	33.40	96.20	572.70
1985	25.00	207.50	60.00	27.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.10	91.00	415.60
1986	178.00	0.00	0.00	0.00	10.00	0.00	0.00	5.10	0.00	4.40	0.00	78.10	275.60
1987	109.90	106.40	19.10	0.00	0.00	0.00	5.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	240.60
1988	144.10	60.30	82.40	15.50	9.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	22.40	334.20
1989	69.20	207.10	183.60	39.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	13.10	0.00	0.00	512.20
1990	26.60	0.00	109.80	16.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	77.40	187.50	417.70
1991	145.30	81.70	105.90	14.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	51.40	53.70	5.40	457.80
1992	0.00	0.00	0.00	17.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	17.30
1993	0.00	0.00	333.90	199.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	57.60	47.00	637.50
1994	68.20	52.00	150.10	53.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	15.50	47.20	386.70
1995	109.60	63.50	273.00	20.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	10.70	40.60	28.80	546.50
1996	103.00	0.00	0.00	55.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	158.60
1997	35.80	87.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	31.80	0.00	0.00	108.10	262.70
1998	330.30	56.10	97.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	16.70	69.70	570.40
1999	91.60	478.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	569.70
2000	130.50	139.60	161.30	49.50	4.50	0.00	0.00	0.00	0.00	19.00	6.00	156.50	666.90
2001	77.00	86.00	245.00	66.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	55.00	3.00	532.00
2002	111.00	106.00	200.50	106.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	13.00	40.00	6.30	583.30
2003	56.80	114.50	80.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	49.00	300.30
2004	21.00	49.00	96.00	11.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.00	60.00	245.00
2005	40.00	51.00	72.00	5.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	65.00	233.00
2006	58.00	157.00	155.00	7.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.00	15.00	27.00	423.00
2007	26.00	14.50	86.30	24.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	16.00	167.00
<b>MEDIA</b>	82.53	99.58	123.19	29.45	1.42	0.00	0.14	0.46	0.88	8.61	12.24	41.11	399.61
<b>MÍNIMA</b>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	17.30
<b>MÁXIMA</b>	330.30	478.10	357.90	199.00	27.00	0.00	5.20	11.40	31.80	99.40	77.40	187.50	1030.10



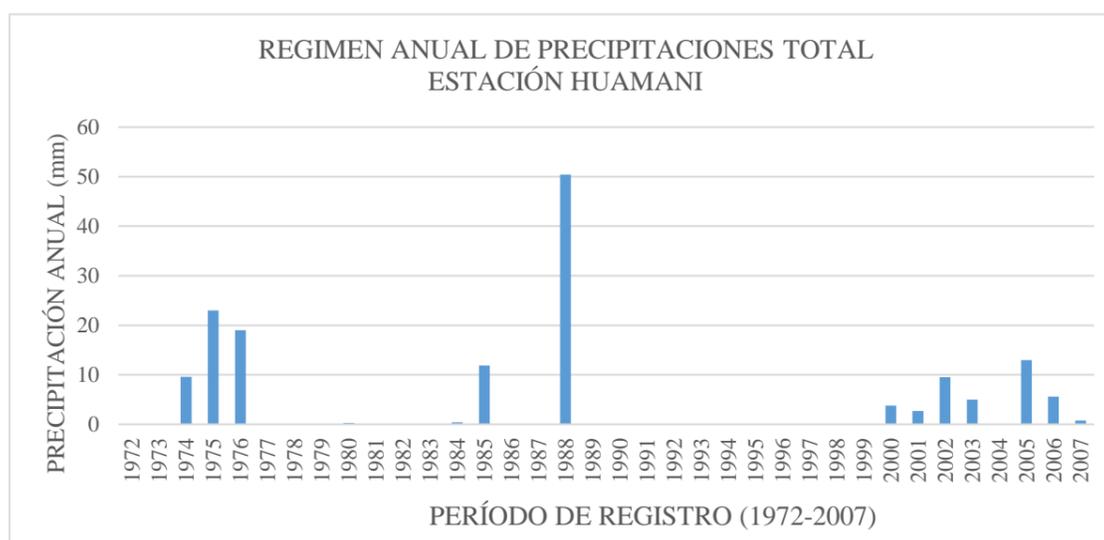
**CUADRO N° 2**  
**ESTACIÓN PLUVIOMETRICA: STGO. CHOCORVOS**  
**PRECIPITACIÓN TOTAL MENSUAL HISTORICA (mm)**  
**PERÍODO AÑOS: 1972 - 2007**

AÑOS	MESES												TOTAL
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	
1972	118.00	0.00	489.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.00	0.00	65.20	678.20
1973	59.70	50.20	89.10	15.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.00	222.80
1974	20.00	53.00	35.00	9.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	117.00
1975	8.00	17.00	99.00	10.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	36.00	170.00
1976	87.00	91.00	86.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	264.00
1977	0.00	98.00	103.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	64.10	10.10	275.20
1978	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	
1979	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	
1980	11.90	17.20	14.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	43.40
1981	12.20	52.70	83.80	38.00	0.00	0.00	0.00	14.60	0.00	0.00	0.00	3.70	205.00
1982	5.40	11.00	129.10	5.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	151.10
1983	0.00	0.00	102.30	23.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	55.40	181.10
1984	120.70	198.50	105.30	6.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	12.30	37.80	37.50	518.30
1985	16.70	163.40	76.50	15.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	271.70
1986	0.00	105.10	55.40	6.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	34.50	201.50
1987	46.30	11.00	28.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	85.50
1988	23.50	18.80	35.90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	78.20
1989	248.40	0.00	0.00	22.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	270.40
1990	13.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	17.60	30.70
1991	16.90	28.30	24.50	36.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	105.90
1992	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	
1993	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	
1994	87.60	117.10	88.10	18.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	14.10	325.70
1995	45.30	0.00	102.90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.60	5.80	162.60
1996	10.80	128.70	22.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.50	167.00
1997	7.80	44.80	9.50	0.00	0.00	0.00	0.00	15.90	0.00	0.00	0.00	48.10	126.10
1998	278.50	132.60	87.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	14.40	512.80
1999	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	
2000	77.30	79.80	74.50	8.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.90	0.00	42.90	283.50
2001	52.30	89.90	136.60	15.00	0.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	11.00	0.00	305.10
2002	13.80	54.30	53.90	19.60	0.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	9.90	5.50	157.80
2003	19.00	39.50	55.40	1.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	28.00	143.30
2004	13.60	26.60	91.80	6.00	0.00	0.00	3.00	0.00	0.00	0.00	0.40	S/D	141.40
2005	38.80	52.80	20.90	1.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.60	0.00	0.00	32.50	146.70
2006	49.90	112.70	99.00	3.80	0.00	0.00	3.00	0.00	0.50	0.50	9.10	25.70	304.20
2007	21.30	15.20	45.40	19.90	0.00	0.00	3.00	0.00	0.00	0.00	1.00	5.00	110.80
<b>MEDIA</b>	49.15	58.36	78.83	9.08	0.04	0.00	0.29	0.98	0.04	0.64	4.58	16.52	217.97
<b>MÍNIMA</b>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	30.70
<b>MÁXIMA</b>	278.50	198.50	489.00	38.00	0.80	0.00	3.00	15.90	0.60	12.30	64.10	65.20	678.20



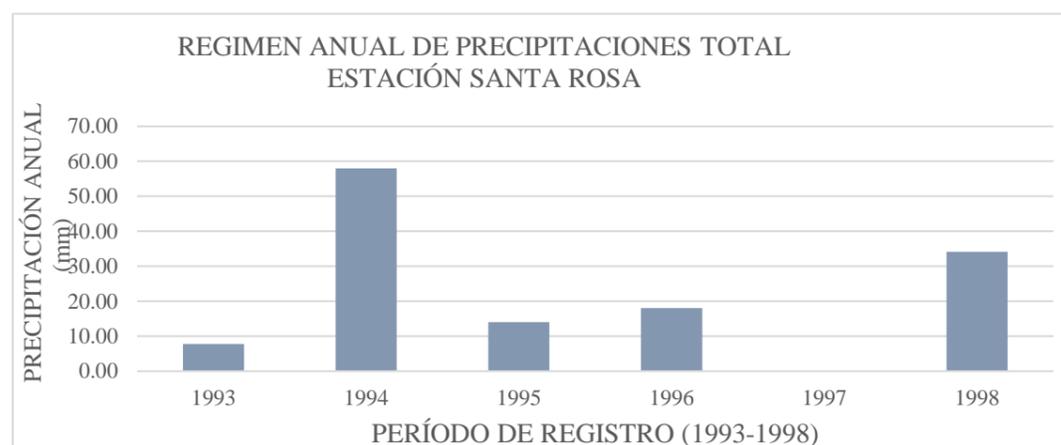
**CUADRO N° 3**  
**ESTACIÓN PLUVIOMETRICA: HUAMANI**  
**PRECIPITACIÓN TOTAL MENSUAL HISTORICA (mm)**  
**PERÍODO AÑOS: 1972 - 2007**

AÑOS	MESES												TOTAL
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	
1972	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	
1973	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	
1974	7.10	0.50	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	9.60
1975	0.00	0.00	23.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	23.00
1976	19.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	19.00
1977	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1978	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
1979	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
1980	0.00	0.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.30
1981	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1982	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1983	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1984	0.00	0.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.40
1985	0.00	11.90	0.00	S/D	S/D	S/D	S/D	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	11.90
1986	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	S/D	0.00	0.00	0.00
1987	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1988	0.00	0.00	50.40	0.00	0.00	0.00	S/D	0.00	0.00	S/D	0.00	0.00	50.40
1989	S/D	0.00	S/D	0.00	0.00	0.00	S/D	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1990	S/D	S/D	0.00	S/D	S/D	S/D	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1991	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	S/D	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1992	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	S/D	0.00	0.00	S/D	S/D	S/D	S/D	
1993	S/D	S/D	0.00	0.00	0.00	S/D	S/D	0.00	0.00	0.00	S/D	0.00	
1994	0.00	0.00	S/D	S/D	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1995	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	0.00
1996	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	
1997	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	
1998	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	
1999	0.00	22.20	8.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.50	
2000	3.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.80
2001	2.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.70
2002	0.00	6.70	2.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	9.50
2003	2.70	2.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.00
2004	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2005	0.00	13.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	13.00
2006	T	5.60	T	0.00	0.00	T	0.00	T	0.00	T	T	T	5.60
2007	T	0.80	T	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	T	0.00	0.00	T	0.80
<b>MEDIA</b>	1.36	2.20	3.21	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.06	5.96
<b>MÍNIMA</b>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>MÁXIMA</b>	19.00	22.20	50.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.50	50.40



**CUADRO N° 4**  
**ESTACIÓN PLUVIOMETRICA: SANTA ROSA**  
**PRECIPITACIÓN TOTAL MENSUAL HISTORICA (mm)**  
**PERÍODO AÑOS: 1993 - 1998**

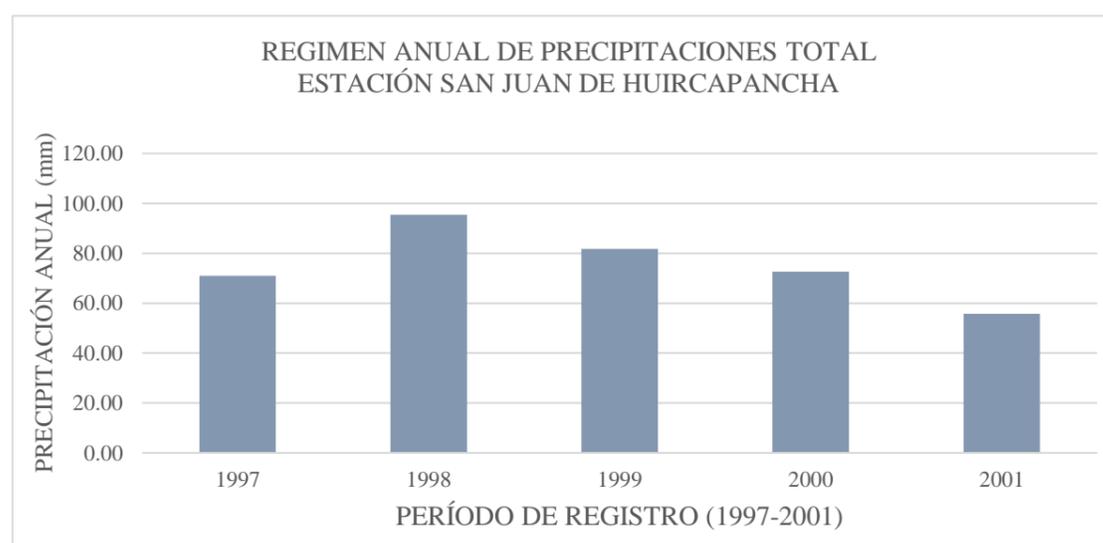
AÑOS	MESES												TOTAL
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	
1993	S/D	S/D	S/D	S/D	3.35	0.00	0.00	4.40	0.00	0.00	0.00	0.00	7.75
1994	11.00	23.00	7.00	12.00	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.00	58.00
1995	7.00	0.00	7.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	14.00
1996	15.30	1.20	1.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	18.00
1997	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1998	16.00	9.20	7.60	1.30	S/D	34.10							
<b>MEDIA</b>	8.33	6.05	3.88	3.00	1.07	0.00	0.00	0.88	0.00	0.00	0.00	0.60	19.55
<b>MÍNIMA</b>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>MÁXIMA</b>	15.30	23.00	7.00	12.00	3.35	0.00	0.00	4.40	0.00	0.00	0.00	3.00	58.00



Anexo 6: Estación Pluviométrica de San Juan de Huircapancha

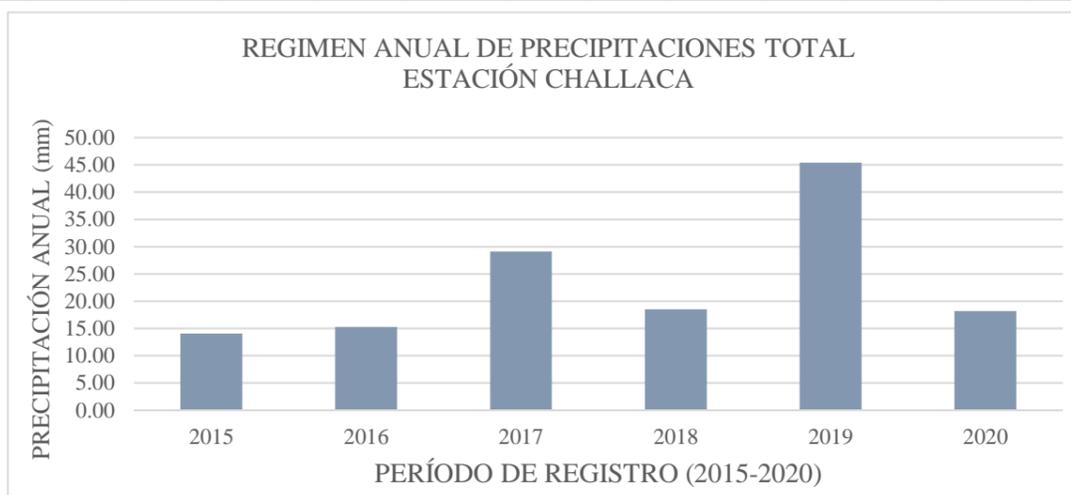
**CUADRO N° 5**  
**ESTACIÓN PLUVIOMETRICA: SAN JUAN DE HUIRCAPANCHA**  
**PRECIPITACIÓN TOTAL MENSUAL HISTORICA (mm)**  
**PERÍODO AÑOS: 1997 - 2001**

AÑOS	MESES												TOTAL
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	
1997	10.00	8.30	5.70	3.70	2.50	0.00	0.00	4.40	8.50	4.00	6.60	17.30	71.00
1998	21.20	21.60	20.20	3.90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.30	27.20	95.40
1999	15.00	25.80	12.80	10.00	2.40	0.00	0.00	0.00	1.50	10.20	0.00	4.10	81.80
2000	15.30	10.20	14.20	6.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.70	0.00	22.90	72.70
2001	7.60	20.00	10.20	7.60	2.30	0.00	0.00	1.00	1.00	0.00	6.00	0.00	55.70
<b>MEDIA</b>	13.82	17.18	12.62	6.32	1.44	0.00	0.00	1.08	2.20	3.58	2.78	14.30	75.32
<b>MÍNIMA</b>	7.60	8.30	5.70	3.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	55.70
<b>MÁXIMA</b>	21.20	25.80	20.20	10.00	2.50	0.00	0.00	4.40	8.50	10.20	6.60	27.20	95.40



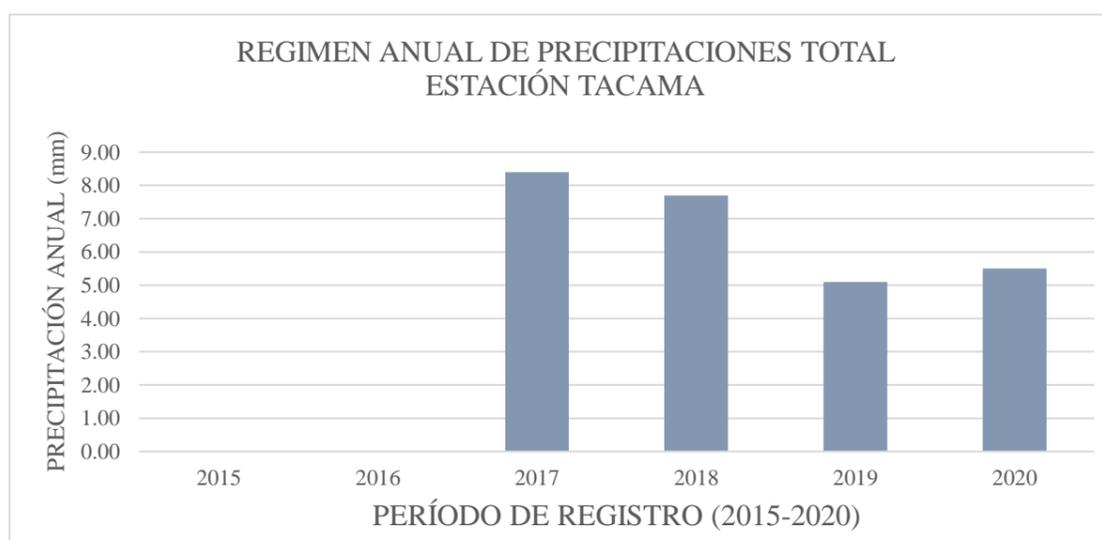
**CUADRO N° 6**  
**ESTACIÓN PLUVIOMETRICA: CHALLACA**  
**PRECIPITACIÓN TOTAL MENSUAL HISTORICA (mm)**  
**PERÍODO AÑOS: 2015 - 2020**

AÑOS	MESES												TOTAL
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	
2015	S/D	S/D	10.90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.90	0.00	0.00	1.30	14.10
2016	0.00	3.30	4.70	4.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.00	15.30
2017	12.00	5.10	9.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.50	29.10
2018	2.80	2.90	5.70	3.50	3.60	0.00	0.00	0.00	0.00	S/D	S/D	S/D	18.50
2019	12.80	16.20	13.70	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.70	45.40
2020	6.20	3.90	7.90	0.20	S/D	S/D	S/D	0.00	S/D	S/D	S/D	S/D	18.20
<b>MEDIA</b>	6.76	6.28	8.73	1.33	0.72	0.00	0.00	0.17	0.58	0.00	0.00	1.88	23.43
<b>MÍNIMA</b>	0.00	2.90	4.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.70	14.10
<b>MÁXIMA</b>	12.80	16.20	13.70	4.30	3.60	0.00	0.00	1.00	1.90	0.00	0.00	3.00	45.40

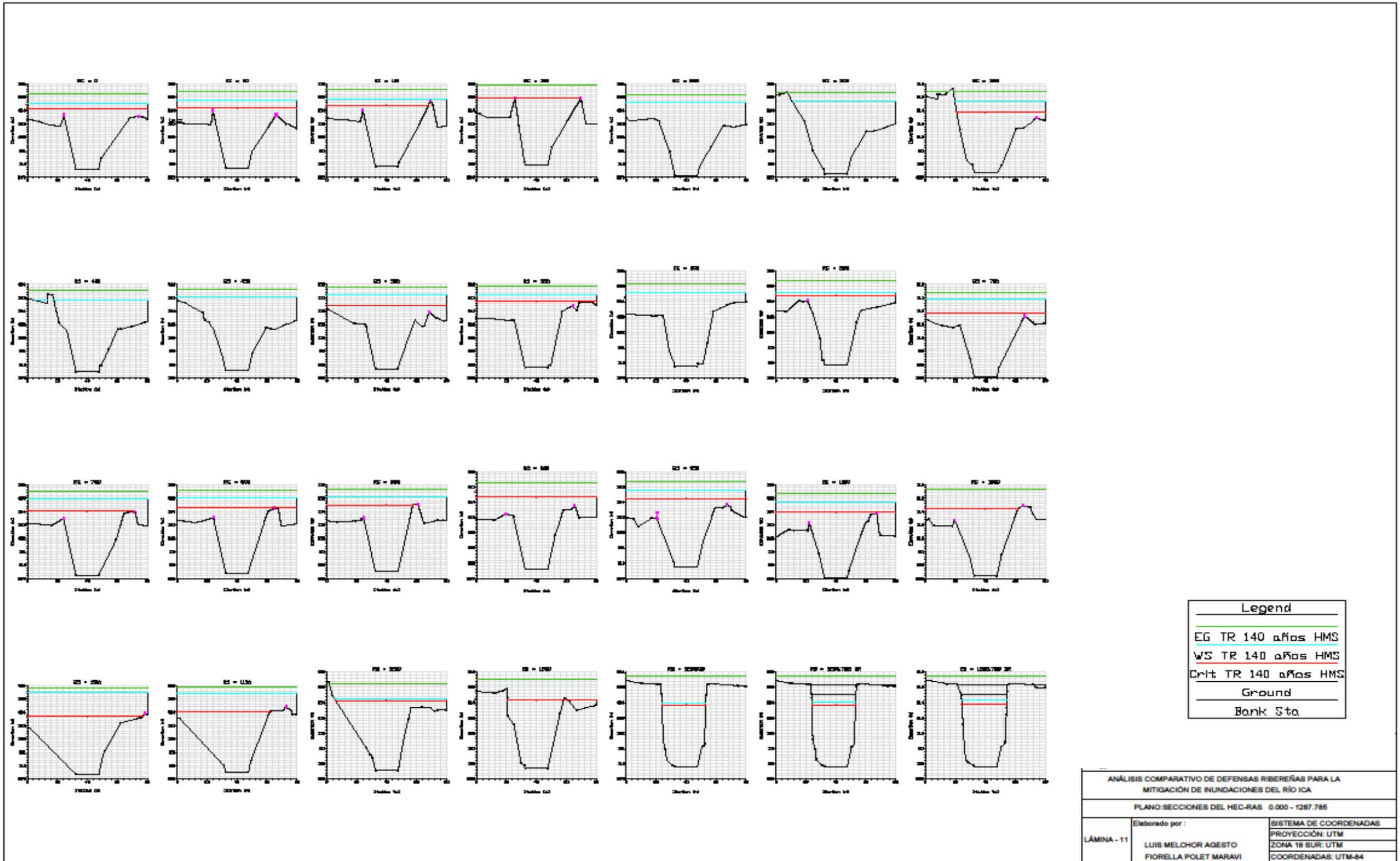


**CUADRO N° 7**  
**ESTACIÓN PLUVIOMETRICA: TACAMA**  
**PRECIPITACIÓN TOTAL MENSUAL HISTORICA (mm)**  
**PERÍODO AÑOS: 1987 - 1992**

AÑOS	MESES												TOTAL
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	
2015	S/D	S/D	S/D	S/D	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2016	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2017	3.80	2.50	1.50	0.00	0.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.40
2018	0.00	7.20	S/D	0.00	0.00	0.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7.70
2019	1.70	0.90	2.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.10
2020	5.50	0.00	0.00	0.00	S/D	5.50							
<b>MEDIA</b>	2.20	2.12	1.00	0.00	0.12	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.45
<b>MÍNIMA</b>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>MÁXIMA</b>	5.50	7.20	2.50	0.00	0.60	0.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.40



Anexo 9: Sección 0.000 - 1 278.785



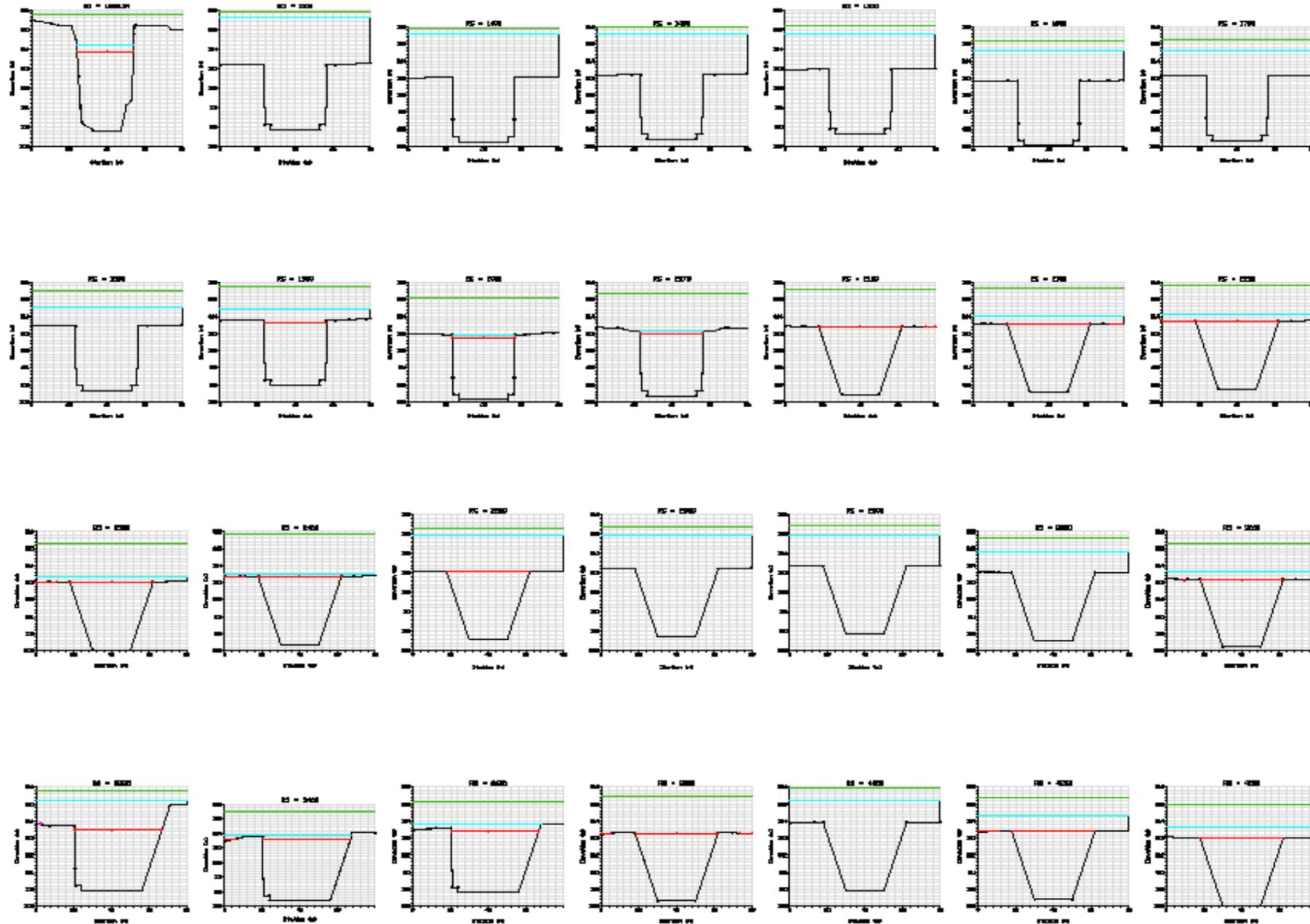
Legend	
	EG TR 140 años HMS
	WS TR 140 años HMS
	Crit TR 140 años HMS
	Ground
	Bank Sta.

ANÁLISIS COMPARATIVO DE DEFENSAS RIBEREÑAS PARA LA MITIGACIÓN DE INUNDACIONES DEL RÍO ICA		
PLANO: SECCIONES DEL HEC-RAS 0.000 - 1287.785		
LÁMINA - 11	Elaborado por :	SISTEMA DE COORDENADAS
	LUIS MELCHOR AGOSTO	PROYECCIÓN: UTM
	IORELLA POLET MARAVI	ZONA 18 SUR: UTM
		COORDENADAS: UTM-84

PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION

PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION

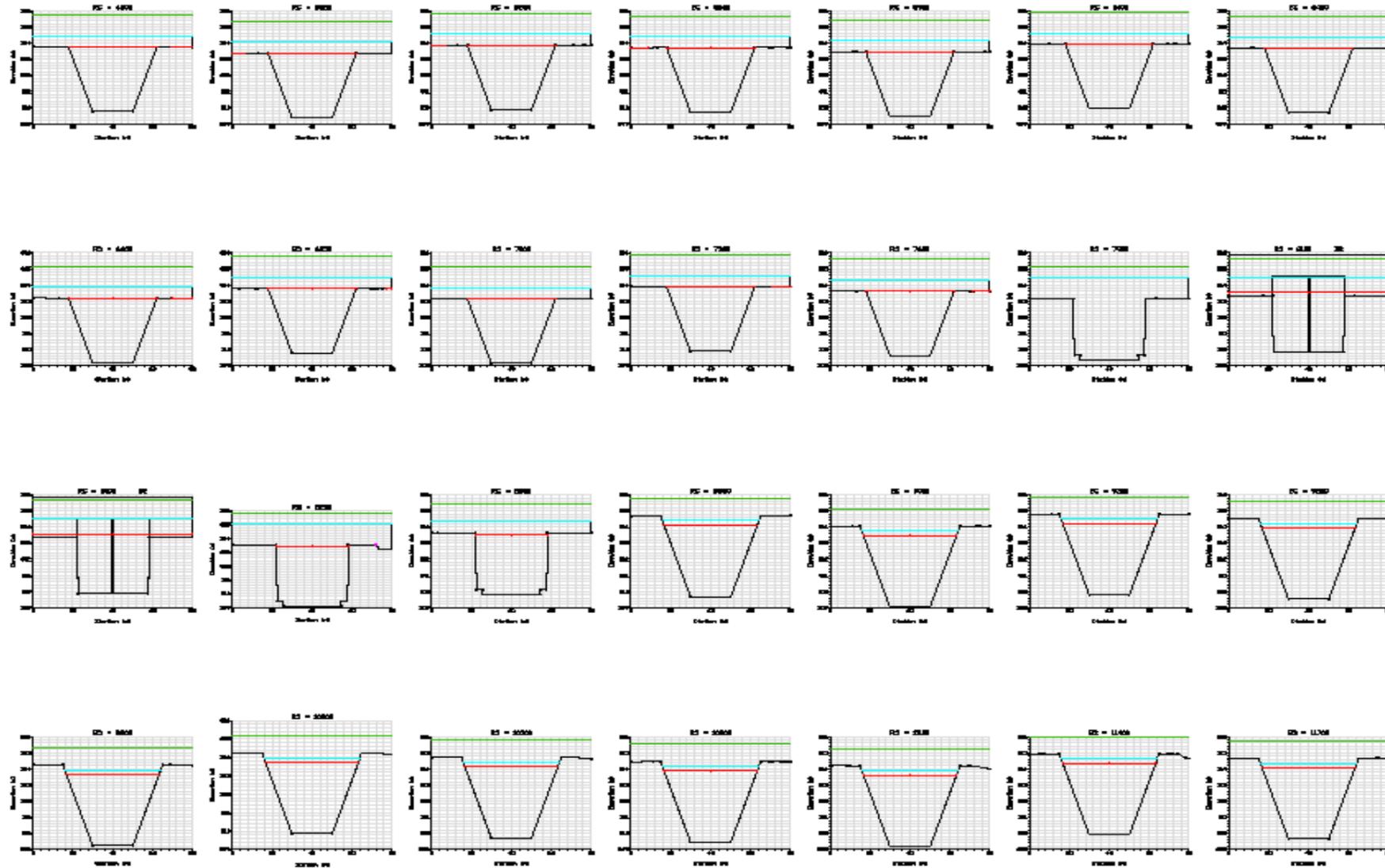
PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION



Legend	
	EG TR 140 años HMS
	WS TR 140 años HMS
	Crit TR 140 años HMS
	Ground
	Bank Sta

ANÁLISIS COMPARATIVO DE DEFENSAS RIBEREÑAS PARA LA MITIGACIÓN DE INUNDACIONES DEL RÍO ICA	
PLANO SECCIONES DEL HEC-RAS 1288.54 - 4500.00	
Elaborado por :	SISTEMA DE COORDENADAS
LÁMINA - 12	PROYECCIÓN: UTM
LUIS MELCHOR AGESTO	ZONA 18 SUR: UTM
IORELLA POLET MARAVI	COORDENADAS: UTM-84

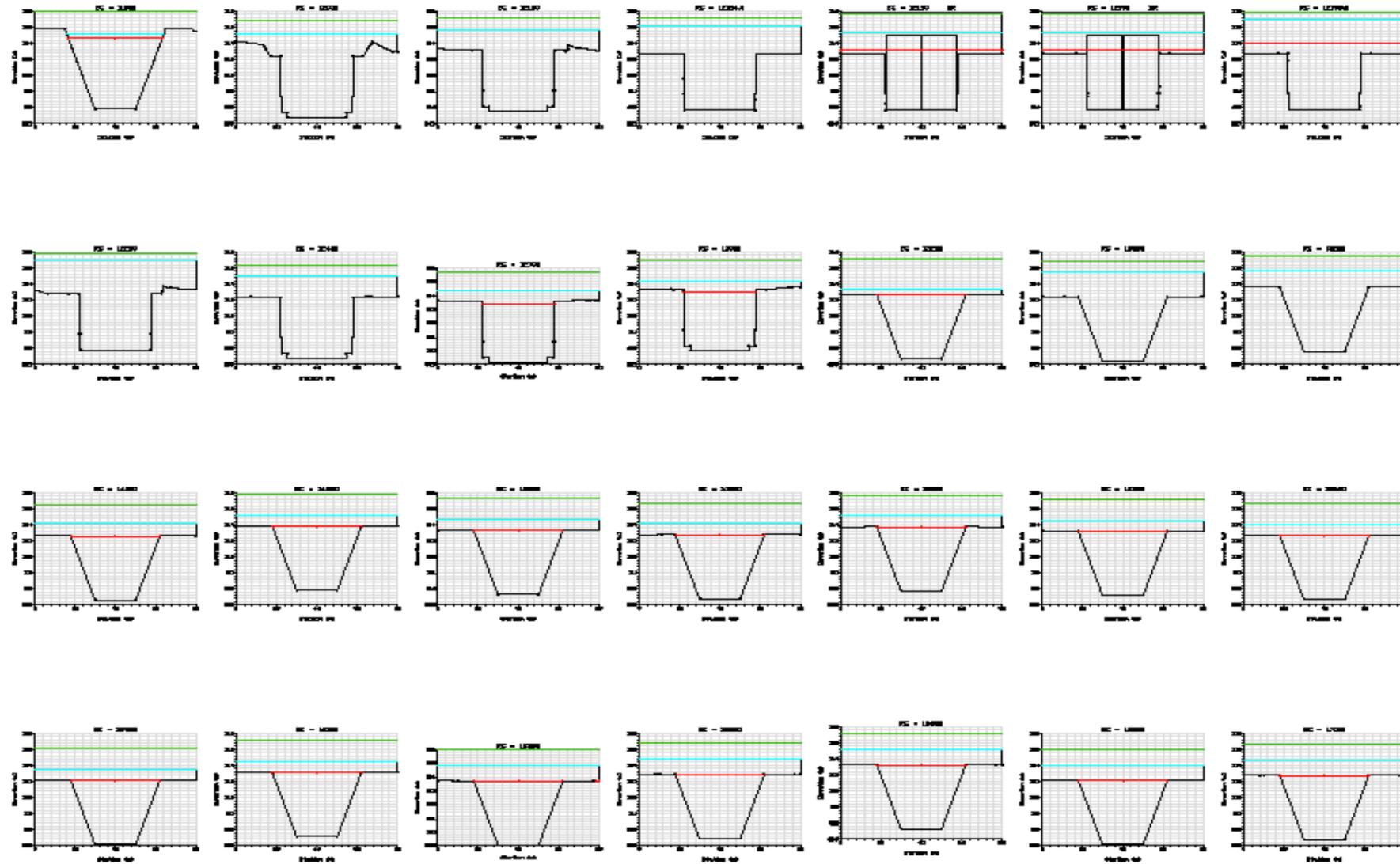
PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION



Legend	
	EG TR 140 años HMS
	WS TR 140 años HMS
	Crit TR 140 años HMS
	Ground
	Bank Sta

ANÁLISIS COMPARATIVO DE DEFENSAS RIBEREÑAS PARA LA MITIGACIÓN DE INUNDACIONES DEL RÍO ICA		
PLANO: SECCIONES DEL HEC-RAS 4800.00 - 11 700.00		
LÁMINA - 13	Elaborado por :	SISTEMA DE COORDENADAS
	LUIS MELCHOR AGOSTO	PROYECCIÓN: UTM
	IORELLA POLET MARAVI	ZONA 18 SUR: UTM
		COORDENADAS: UTM-84

PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION



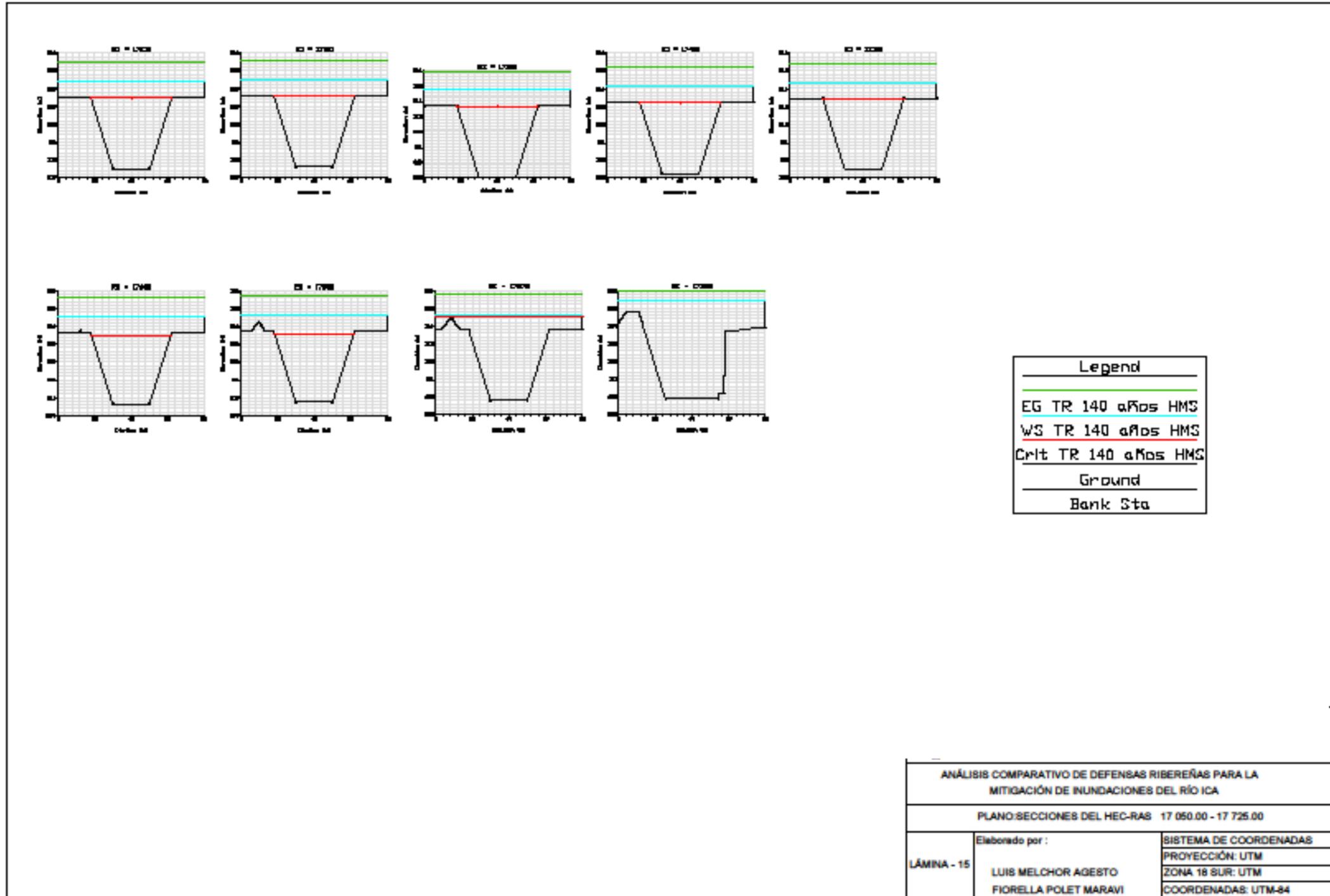
Legend	
	EG TR 140 años HMS
	WS TR 140 años HMS
	Crit TR 140 años HMS
	Ground
	Bank Sta

ANÁLISIS COMPARATIVO DE DEFENSAS RIBEREÑAS PARA LA MITIGACIÓN DE INUNDACIONES DEL RÍO ICA		
PLANO: SECCIONES DEL HEC-RAS 11 800.00 - 17 000.00		
LÁMINA - 14	Elaborado por :	SISTEMA DE COORDENADAS
	LUIS MELCHOR AGESTO FIORELLA POLET MARAVI	PROYECCIÓN: UTM ZONA 18 SUR: UTM COORDENADAS: UTM-84

PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION

PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION

PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION



PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION

ANÁLISIS COMPARATIVO DE DEFENSAS RIBEREÑAS PARA LA MITIGACIÓN DE INUNDACIONES DEL RÍO ICA		
PLANO: SECCIONES DEL HEC-RAS 17 050.00 - 17 725.00		
LÁMINA - 15	Elaborado por :	SISTEMA DE COORDENADAS
	LUIS MELCHOR AGESTO	PROYECCIÓN: UTM
	IORELLA POLET MARAVI	ZONA 18 SUR: UTM
		COORDENADAS: UTM-84

PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION

Anexo 14: Resultados del Hec-Ras

Nombre	Sección	Periodo de retorno	Q Total (m <sup>3</sup> /s)	Cmc (m)	Cla (m)	Tirante crítico (m)	Elevación de energía (m)	S (m/m)	V (m/s)	A (m <sup>2</sup> )	B (m)	Froude
Río Ica	20000	TR =140 años	771.90	358.69	363.15	362.36	364.18	0.002	4.87	195.83	80.00	0.74
Río Ica	19950	TR =140 años	771.90	358.59	363.05	362.26	364.08	0.002	4.86	196.42	80.00	0.73
Río Ica	19900	TR =140 años	771.90	358.48	362.96	362.15	363.97	0.002	4.84	197.17	80.00	0.73
Río Ica	19850	TR =140 años	771.90	358.38	362.87	362.05	363.87	0.002	4.81	198.23	80.00	0.73
Río Ica	19800	TR =140 años	771.90	358.27	362.78	361.94	363.77	0.002	4.78	199.55	80.00	0.72
Río Ica	19750	TR =140 años	771.90	358.17	362.7	361.84	363.67	0.002	4.74	201.47	80.00	0.71
Río Ica	19700	TR =140 años	771.90	358.06	362.62	361.74	363.57	0.002	4.69	203.78	80.00	0.70
Río Ica	19650	TR =140 años	771.90	357.96	362.55	361.64	363.47	0.002	4.63	206.25	80.00	0.69
Río Ica	19600	TR =140 años	771.90	357.85	362.48	361.54	363.38	0.002	4.57	209.35	80.00	0.68
Río Ica	19550	TR =140 años	771.90	357.75	362.42	361.44	363.28	0.002	4.49	213.11	80.00	0.66
Río Ica	19500	TR =140 años	771.90	357.64	362.37	361.34	363.19	0.002	4.41	217.15	80.00	0.65
Río Ica	19400	TR =140 años	771.90	357.43	362.27	361.24	363.03	0.001	4.24	226.26	80.00	0.61
Río Ica	19300	TR =140 años	771.90	357.22	362.19	361.14	362.88	0.001	4.05	236.73	80.00	0.58
Río Ica	19200	TR =140 años	771.90	357.01	362.17	360.04	362.73	0.001	3.67	251.78	80.00	0.52
Río Ica	19100	TR =140 años	771.90	356.8	362.12	359.94	362.63	0.001	3.48	264.91	80.00	0.48
Río Ica	19000	TR =140 años	771.90	356.59	362.09	359.94	362.54	0.001	3.30	278.60	80.00	0.45
Río Ica	18950	TR =140 años	771.90	356.49	362.07	359.94	362.5	0.001	3.22	285.62	80.00	0.43
Río Ica	18900	TR =140 años	771.90	356.38	362.05	359.94	362.46	0.001	3.13	292.61	80.00	0.42
Río Ica	18850	TR =140 años	771.90	356.28	362.04	359.94	362.42	0.001	3.06	299.42	80.00	0.41
Río Ica	18825	TR =140 años	771.90	356.22	361.88	359.94	362.39	0.001	3.60	269.32	80.00	0.48
Río Ica	18750	TR =140 años	771.90	356.07	361.82	359.74	362.33	0.001	3.56	272.47	80.00	0.47
Río Ica	18700	TR =140 años	771.90	355.96	359.93	359.64	362.09	0.005	6.78	132.65	63.31	1.09
Río Ica	18650	TR =140 años	771.90	355.86	359.54	359.54	361.84	0.005	7.00	118.32	33.01	1.17
Río Ica	18625	TR =140 años	771.90	355.8	360.36	359.44	361.33	0.002	4.70	194.46	68.18	0.70
Río Ica	18550	TR =140 años	771.90	355.65	360.25	359.44	361.19	0.002	4.63	197.40	68.31	0.69
Río Ica	18450	TR =140 años	771.90	355.44	360.11	359.44	361.01	0.002	4.53	202.38	68.53	0.67
Río Ica	18350	TR =140 años	771.90	355.23	359.99	359.44	360.83	0.002	4.40	208.60	68.80	0.64
Río Ica	18250	TR =140 años	771.90	355.02	359.89	359.44	360.67	0.001	4.25	216.46	69.12	0.61
Río Ica	18150	TR =140 años	771.90	354.81	359.69	359.44	360.52	0.001	4.41	216.63	80.00	0.64
Río Ica	18050	TR =140 años	771.90	354.6	359.6	359.44	360.36	0.001	4.23	226.08	80.00	0.60
Río Ica	17950	TR =140 años	771.90	354.39	359.52	358.44	360.22	0.001	4.05	236.39	80.00	0.57
Río Ica	17850	TR =140 años	771.90	354.18	359.46	358.44	360.09	0.001	3.87	247.81	80.00	0.54
Río Ica	17800	TR =140 años	771.90	354.07	359.44	358.44	360.03	0.001	3.78	253.71	80.00	0.52
Río Ica	17725	TR =140 años	771.90	353.91	359.4	358.44	359.95	0.001	3.63	264.47	80.00	0.49
Río Ica	17675	TR =140 años	771.90	353.81	358.61	358.51	359.82	0.002	5.58	188.99	80.00	0.81
Río Ica	17650	TR =140 años	771.90	353.76	358.6	357.58	359.73	0.002	5.43	193.98	80.00	0.79
Río Ica	17600	TR =140 años	771.90	353.65	358.54	357.49	359.6	0.002	5.29	199.18	80.00	0.76
Río Ica	17500	TR =140 años	771.90	353.44	358.34	357.42	359.39	0.002	5.27	199.55	80.00	0.76
Río Ica	17400	TR =140 años	771.90	353.23	358.13	357.21	359.18	0.002	5.27	199.69	80.00	0.76
Río Ica	17300	TR =140 años	771.90	353.02	357.92	357.00	358.97	0.002	5.27	199.78	80.00	0.76
Río Ica	17200	TR =140 años	771.90	352.81	357.71	356.79	358.76	0.002	5.27	199.78	80.00	0.76
Río Ica	17100	TR =140 años	771.90	352.6	357.5	356.58	358.55	0.002	5.27	199.86	80.00	0.76
Río Ica	17050	TR =140 años	771.90	352.5	357.4	356.47	358.45	0.002	5.26	199.98	80.00	0.76
Río Ica	17000	TR =140 años	771.90	352.39	357.29	356.37	358.34	0.002	5.26	199.97	80.00	0.76
Río Ica	16950	TR =140 años	771.90	352.29	357.19	356.27	358.24	0.002	5.27	199.75	80.00	0.76
Río Ica	16850	TR =140 años	771.90	352.08	356.98	356.06	358.03	0.002	5.26	199.95	80.00	0.76
Río Ica	16750	TR =140 años	771.90	351.87	356.77	355.85	357.82	0.002	5.25	200.41	80.00	0.76
Río Ica	16650	TR =140 años	771.90	351.66	356.57	355.63	357.61	0.002	5.23	201.28	80.00	0.75
Río Ica	16600	TR =140 años	771.90	351.55	356.47	355.53	357.5	0.002	5.22	201.68	80.00	0.75
Río Ica	16550	TR =140 años	771.90	351.45	356.37	355.42	357.4	0.002	5.21	202.03	80.00	0.75
Río Ica	16500	TR =140 años	771.90	351.34	356.28	355.33	357.3	0.002	5.20	202.50	80.00	0.75
Río Ica	16350	TR =140 años	771.90	351.03	356.02	355.02	356.99	0.002	5.08	207.05	80.00	0.73
Río Ica	16300	TR =140 años	771.90	350.92	355.95	355.02	356.88	0.002	4.99	210.66	80.00	0.71
Río Ica	16250	TR =140 años	771.90	350.81	355.89	354.79	356.79	0.002	4.91	213.99	80.00	0.70
Río Ica	16150	TR =140 años	771.90	350.57	355.25	354.55	356.54	0.002	5.77	182.50	80.00	0.85
Río Ica	16050	TR =140 años	771.90	350.32	355.01	354.3	356.3	0.002	5.77	182.44	80.00	0.85
Río Ica	15950	TR =140 años	771.90	350.08	354.76	354.06	356.05	0.002	5.77	182.44	80.00	0.85
Río Ica	15850	TR =140 años	771.90	349.83	354.52	353.81	355.81	0.002	5.77	182.56	80.00	0.85
Río Ica	15750	TR =140 años	771.90	349.59	354.27	353.56	355.56	0.002	5.77	182.56	80.00	0.85
Río Ica	15650	TR =140 años	771.90	349.34	354.03	353.32	355.32	0.002	5.77	182.56	80.00	0.85
Río Ica	15550	TR =140 años	771.90	349.1	353.78	353.08	355.07	0.002	5.77	182.57	80.00	0.85
Río Ica	15450	TR =140 años	771.90	348.85	353.54	352.83	354.83	0.002	5.77	182.61	80.00	0.85
Río Ica	15350	TR =140 años	771.90	348.61	353.29	352.58	354.58	0.002	5.77	182.60	80.00	0.85
Río Ica	15250	TR =140 años	771.90	348.36	353.05	352.34	354.34	0.002	5.77	182.55	80.00	0.85
Río Ica	15150	TR =140 años	771.90	348.12	352.8	352.09	354.09	0.002	5.77	182.45	80.00	0.85

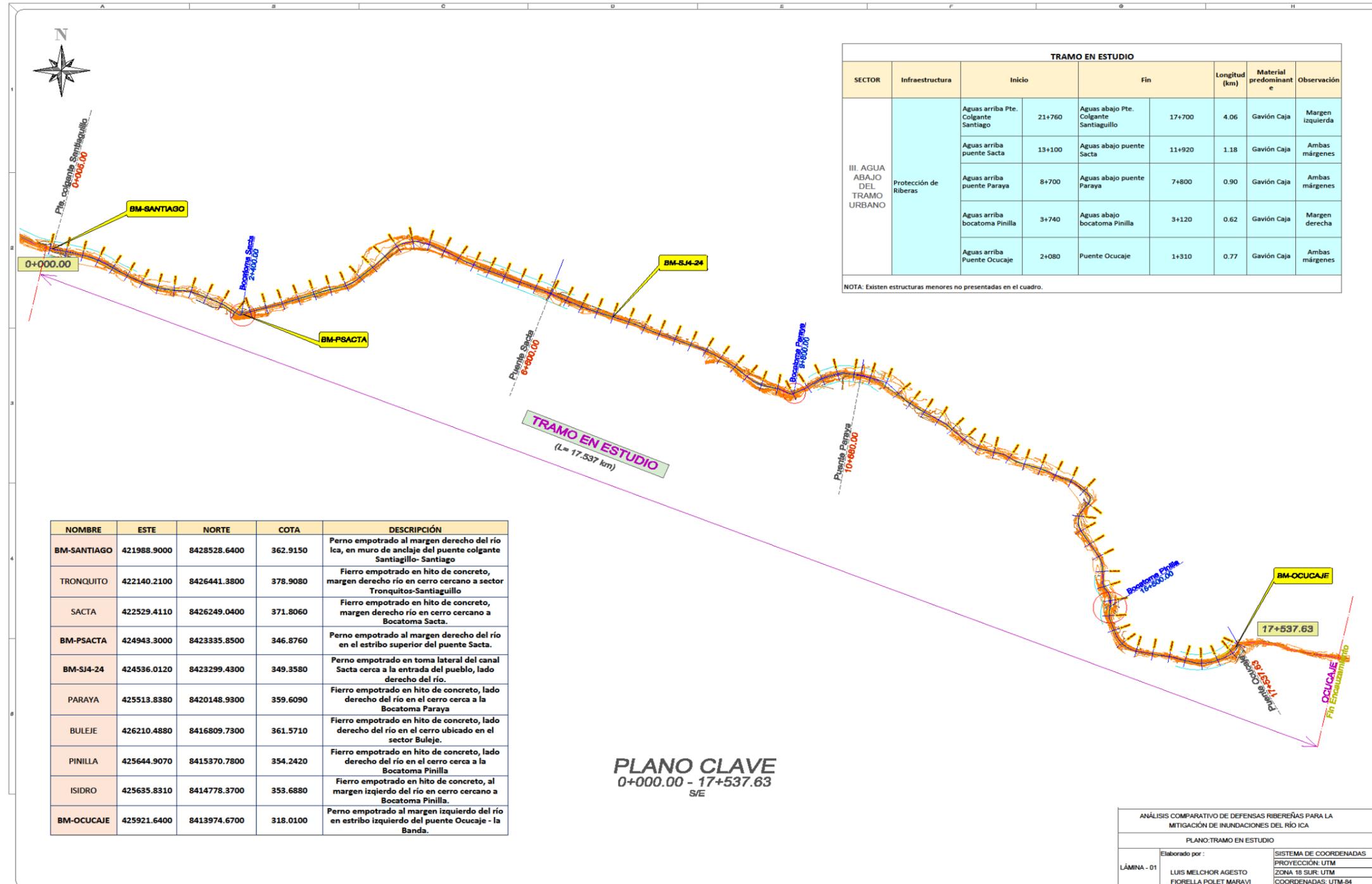
Río Ica	15050	TR =140 años	771.90	347.87	352.55	351.85	353.85	0.002	5.77	182.52	80.00	0.85
Río Ica	14950	TR =140 años	771.90	347.63	352.31	351.6	353.6	0.002	5.77	182.71	80.00	0.85
Río Ica	14900	TR =140 años	771.90	347.51	352.19	351.48	353.48	0.002	5.77	182.64	80.00	0.85
Río Ica	14850	TR =140 años	771.90	347.38	352.07	351.36	353.36	0.002	5.77	182.60	80.00	0.85
Río Ica	14750	TR =140 años	771.90	347.14	351.82	351.12	353.11	0.002	5.77	182.72	80.00	0.85
Río Ica	14650	TR =140 años	771.90	346.89	351.58	350.87	352.87	0.002	5.76	182.79	80.00	0.85
Río Ica	14550	TR =140 años	771.90	346.65	351.33	350.63	352.62	0.002	5.76	182.90	80.00	0.85
Río Ica	14450	TR =140 años	771.90	346.4	351.09	350.38	352.37	0.002	5.76	183.00	80.00	0.85
Río Ica	14350	TR =140 años	771.90	346.16	350.85	350.14	352.13	0.002	5.75	183.12	80.00	0.85
Río Ica	14250	TR =140 años	771.90	345.91	350.6	349.89	351.88	0.002	5.75	183.25	80.00	0.85
Río Ica	14150	TR =140 años	771.90	345.67	350.36	349.65	351.64	0.002	5.75	183.19	80.00	0.85
Río Ica	14050	TR =140 años	771.90	345.42	350.15	349.4	351.39	0.002	5.66	186.01	80.00	0.83
Río Ica	14000	TR =140 años	771.90	345.3	350.06	349.28	351.26	0.002	5.59	188.53	80.00	0.82
Río Ica	13950	TR =140 años	771.90	345.18	350.00	349.16	351.13	0.002	5.44	193.42	80.00	0.79
Río Ica	13850	TR =140 años	771.90	344.93	349.91	348.91	350.89	0.002	5.09	206.38	80.00	0.73
Río Ica	13800	TR =140 años	771.90	344.81	349.88	348.91	350.79	0.002	4.92	213.34	80.00	0.70
Río Ica	13750	TR =140 años	771.90	344.69	349.85	348.91	350.69	0.001	4.75	220.76	80.00	0.67
Río Ica	13650	TR =140 años	771.90	344.44	349.81	348.91	350.52	0.001	4.41	236.84	80.00	0.61
Río Ica	13550	TR =140 años	771.90	344.2	349.77	348.91	350.38	0.001	4.10	253.54	80.00	0.56
Río Ica	13450	TR =140 años	771.90	343.95	349.74	348.91	350.27	0.001	3.83	270.57	80.00	0.51
Río Ica	13350	TR =140 años	771.90	343.71	349.71	347.7	350.17	0.001	3.58	288.10	80.00	0.47
Río Ica	13250	TR =140 años	771.90	343.46	347.66	347.46	349.86	0.004	7.25	143.74	80.00	1.13
Río Ica	13200	TR =140 años	771.90	343.34	347.67	347.33	349.56	0.004	6.81	153.99	80.00	1.04
Río Ica	13150	TR =140 años	771.90	343.22	347.68	347.21	349.31	0.003	6.39	164.48	80.00	0.97
Río Ica	13125	TR =140 años	771.90	343.16	347.15	347.15	349.28	0.005	7.08	127.70	43.96	1.13
Río Ica	13075	TR =140 años	771.90	343.04	347.24	346.69	348.77	0.003	5.73	161.81	80.00	0.89
Río Ica	13000	TR =140 años	771.90	342.85	347.15	346.51	348.52	0.002	5.48	171.05	80.00	0.84
Río Ica	12900	TR =140 años	771.90	342.61	346.91	346.26	348.27	0.002	5.46	172.11	80.00	0.84
Río Ica	12800	TR =140 años	771.90	342.36	346.73	346.02	348.01	0.002	5.31	177.50	80.00	0.81
Río Ica	12700	TR =140 años	771.90	342.12	346.63	345.77	347.75	0.002	5.02	189.29	80.00	0.75
Río Ica	12600	TR =140 años	771.90	341.87	346.57	345.53	347.52	0.002	4.68	204.20	80.00	0.69
Río Ica	12500	TR =140 años	771.90	341.63	346.52	345.53	347.33	0.001	4.36	220.56	80.00	0.63
Río Ica	12400	TR =140 años	771.90	341.38	346.49	345.53	347.18	0.001	4.05	237.91	80.00	0.57
Río Ica	12300	TR =140 años	771.90	341.14	346.48	345.53	347.05	0.001	3.71	260.08	80.00	0.51
Río Ica	12250	TR =140 años	771.90	341.01	346.48	345.53	346.99	0.001	3.55	271.10	80.00	0.49
Río Ica	12200	TR =140 años	771.90	340.89	346.48	345.53	346.94	0.001	3.25	285.64	80.00	0.44
Río Ica	12195	TR =140 años	771.90	340.88	346.49	345.00	346.94	0.000	3.21	293.66	80.00	0.43
Río Ica	12184	TR =140 años	771.90	340.85	346.06	345.00	346.63	0.001	3.58	261.23	80.00	0.50
Río Ica	12150	TR =140 años	771.90	340.77	345.81	345.00	346.58	0.001	4.25	230.50	80.00	0.60
Río Ica	12100	TR =140 años	771.90	340.65	345.76	345.00	346.52	0.001	4.20	230.61	80.00	0.59
Río Ica	12000	TR =140 años	771.90	340.4	345.62	345.00	346.4	0.001	4.23	226.04	80.00	0.59
Río Ica	11925	TR =140 años	771.90	340.22	345.51	345.00	346.31	0.001	4.25	223.84	80.00	0.59
Río Ica	11900	TR =140 años	771.90	340.16	344.86	344.57	346.22	0.002	5.74	161.10	53.11	0.85
Río Ica	11800	TR =140 años	771.90	339.91	344.6	344.32	345.97	0.002	5.77	159.49	48.10	0.85
Río Ica	11700	TR =140 años	771.90	339.67	344.35	344.08	345.73	0.002	5.77	159.49	48.10	0.85
Río Ica	11600	TR =140 años	771.90	339.42	344.11	343.83	345.48	0.002	5.77	159.50	48.10	0.85
Río Ica	11500	TR =140 años	771.90	339.18	343.86	343.59	345.24	0.002	5.77	159.50	48.10	0.85
Río Ica	11400	TR =140 años	771.90	338.93	343.62	343.34	344.99	0.002	5.77	159.49	48.10	0.85
Río Ica	11300	TR =140 años	771.90	338.69	343.37	343.1	344.75	0.002	5.77	159.49	48.10	0.85
Río Ica	11200	TR =140 años	771.90	338.44	343.13	342.85	344.5	0.002	5.77	159.50	48.10	0.85
Río Ica	11100	TR =140 años	771.90	338.2	342.88	342.61	344.26	0.002	5.77	159.50	48.10	0.85
Río Ica	11000	TR =140 años	771.90	337.95	342.64	342.36	344.01	0.002	5.77	159.50	48.10	0.85
Río Ica	10900	TR =140 años	771.90	337.71	342.39	342.12	343.77	0.002	5.77	159.49	48.10	0.85
Río Ica	10800	TR =140 años	771.90	337.46	342.15	341.87	343.52	0.002	5.77	159.50	48.10	0.85
Río Ica	10700	TR =140 años	771.90	337.22	341.9	341.63	343.28	0.002	5.77	159.50	48.10	0.85
Río Ica	10600	TR =140 años	771.90	336.97	341.66	341.38	343.03	0.002	5.77	159.51	48.11	0.85
Río Ica	10500	TR =140 años	771.90	336.73	341.41	341.14	342.79	0.002	5.77	159.53	48.11	0.85
Río Ica	10400	TR =140 años	771.90	336.48	341.17	340.89	342.54	0.002	5.77	159.52	48.11	0.85
Río Ica	10300	TR =140 años	771.90	336.24	340.92	340.65	342.3	0.002	5.77	159.53	48.11	0.85
Río Ica	10200	TR =140 años	771.90	335.99	340.68	340.4	342.05	0.002	5.77	159.55	48.11	0.85
Río Ica	10100	TR =140 años	771.90	335.75	340.43	340.16	341.81	0.002	5.77	159.57	48.11	0.85
Río Ica	10000	TR =140 años	771.90	335.5	340.19	339.91	341.56	0.002	5.77	159.58	48.11	0.85
Río Ica	9900	TR =140 años	771.90	335.26	339.94	339.67	341.32	0.002	5.77	159.60	48.12	0.85
Río Ica	9800	TR =140 años	771.90	335.01	339.7	339.42	341.08	0.002	5.77	159.64	48.12	0.85
Río Ica	9700	TR =140 años	771.90	334.77	339.45	339.18	340.83	0.002	5.77	159.68	48.13	0.85
Río Ica	9600	TR =140 años	771.90	334.52	339.21	338.93	340.59	0.002	5.77	159.73	48.13	0.85
Río Ica	9500	TR =140 años	771.90	334.28	338.97	338.69	340.34	0.002	5.76	159.79	48.14	0.85
Río Ica	9450	TR =140 años	771.90	334.15	338.85	338.57	340.22	0.002	5.76	159.85	48.15	0.85
Río Ica	9400	TR =140 años	771.90	334.03	338.72	338.44	340.1	0.002	5.76	159.87	48.15	0.85

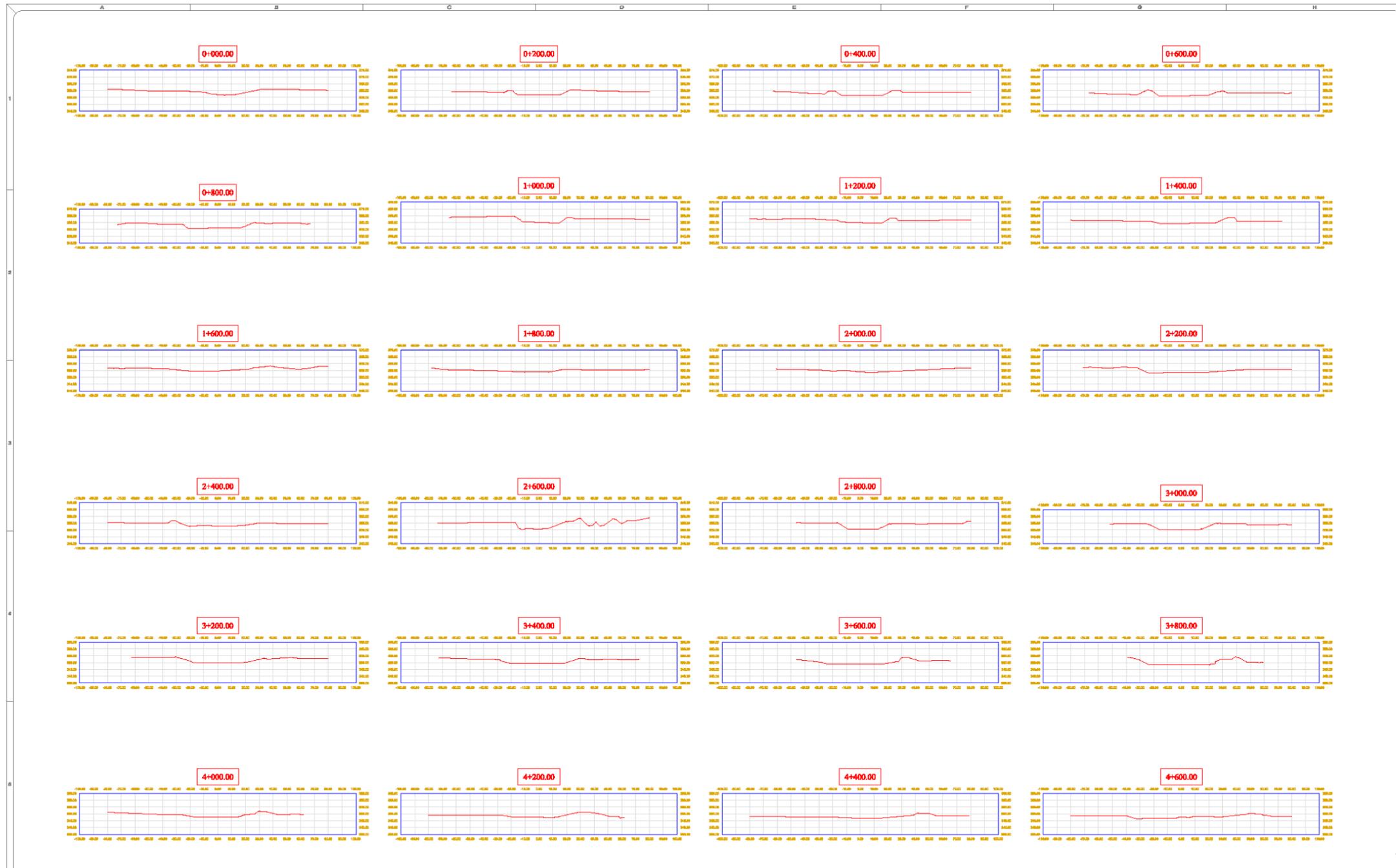
Río Ica	9300	TR =140 años	771.90	333.79	338.48	338.20	339.85	0.002	5.76	159.97	48.16	0.85
Río Ica	9200	TR =140 años	771.90	333.54	338.24	337.95	339.61	0.002	5.75	160.10	48.18	0.85
Río Ica	9100	TR =140 años	771.90	333.3	338	337.71	339.36	0.002	5.75	160.33	48.21	0.85
Río Ica	9050	TR =140 años	771.90	333.17	337.88	337.59	339.24	0.002	5.74	160.44	48.22	0.85
Río Ica	9000	TR =140 años	771.90	333.05	337.76	337.46	339.12	0.002	5.74	160.54	48.23	0.84
Río Ica	8950	TR =140 años	771.90	332.93	337.64	337.34	339	0.002	5.73	160.74	48.26	0.84
Río Ica	8850	TR =140 años	771.90	332.68	337.41	337.1	338.75	0.002	5.71	161.48	48.35	0.84
Río Ica	8750	TR =140 años	771.90	332.44	336.93	336.93	338.48	0.003	6.09	150.84	54.12	0.92
Río Ica	8725	TR =140 años	771.90	332.38	336.87	336.87	338.39	0.003	6.07	152.76	54.58	0.92
Río Ica	8675	TR =140 años	771.90	332.26	336.48	335.91	337.94	0.003	5.61	161.30	67.60	0.87
Río Ica	8600	TR =140 años	771.90	332.07	336.44	335.73	337.7	0.002	5.28	179.17	80.00	0.81
Río Ica	8500	TR =140 años	771.90	331.83	336.34	335.48	337.45	0.002	4.99	190.57	80.00	0.75
Río Ica	8400	TR =140 años	771.90	331.58	336.27	335.24	337.22	0.002	4.67	204.75	80.00	0.69
Río Ica	8300	TR =140 años	771.90	331.34	336.22	335.24	337.04	0.001	4.36	220.41	80.00	0.63
Río Ica	8200	TR =140 años	771.90	331.09	336.21	334.82	336.88	0.001	4.00	240.80	80.00	0.57
Río Ica	8150	TR =140 años	771.90	330.97	336.2	334.71	336.81	0.001	3.82	252.31	80.00	0.53
Río Ica	8125	TR =140 años	771.90	330.91	336.21	334.71	336.78	0.001	3.72	263.76	80.00	0.52
Río Ica	8105.6	TR =140 años	771.90	330.86	336.23	334.98	336.75	0.001	3.41	274.91	80.00	0.47
Río Ica	8094.4	TR =140 años	771.90	330.83	335.86	334.98	336.5	0.001	3.77	247.35	80.00	0.54
Río Ica	8075	TR =140 años	771.90	330.79	335.72	334.98	336.47	0.001	4.23	231.53	80.00	0.61
Río Ica	8050	TR =140 años	771.90	330.72	335.51	334.98	336.42	0.002	4.59	212.44	80.00	0.67
Río Ica	7950	TR =140 años	771.90	330.48	335.46	334.98	336.25	0.001	4.29	228.44	80.00	0.61
Río Ica	7900	TR =140 años	771.90	330.36	335.45	334.98	336.17	0.001	4.14	236.76	80.00	0.59
Río Ica	7850	TR =140 años	771.90	330.23	335.42	333.99	336.1	0.001	4.02	244.62	80.00	0.56
Río Ica	7825	TR =140 años	771.90	330.17	335.41	333.99	336.07	0.001	3.96	248.32	80.00	0.55
Río Ica	7775	TR =140 años	771.90	330.05	335.01	333.99	335.98	0.002	5.08	207.20	80.00	0.73
Río Ica	7700	TR =140 años	771.90	329.87	334.93	333.85	335.84	0.002	4.93	213.15	80.00	0.70
Río Ica	7600	TR =140 años	771.90	329.62	334.31	333.62	335.6	0.002	5.77	182.52	80.00	0.85
Río Ica	7500	TR =140 años	771.90	329.38	334.06	333.37	335.35	0.002	5.77	182.56	80.00	0.85
Río Ica	7400	TR =140 años	771.90	329.13	333.82	333.13	335.11	0.002	5.77	182.60	80.00	0.85
Río Ica	7300	TR =140 años	771.90	328.89	333.57	332.89	334.86	0.002	5.77	182.48	80.00	0.85
Río Ica	7200	TR =140 años	771.90	328.64	333.32	332.64	334.62	0.002	5.78	182.17	80.00	0.85
Río Ica	7100	TR =140 años	771.90	328.4	333.08	332.40	334.38	0.002	5.79	182.03	80.00	0.85
Río Ica	7000	TR =140 años	771.90	328.15	332.83	332.14	334.13	0.002	5.77	182.50	80.00	0.85
Río Ica	6900	TR =140 años	771.90	327.91	332.59	331.88	333.88	0.002	5.76	183.05	80.00	0.85
Río Ica	6850	TR =140 años	771.90	327.78	332.47	331.77	333.76	0.002	5.76	182.93	80.00	0.85
Río Ica	6800	TR =140 años	771.90	327.66	332.35	331.66	333.64	0.002	5.77	182.58	80.00	0.85
Río Ica	6700	TR =140 años	771.90	327.42	332.1	331.42	333.39	0.002	5.77	182.50	80.00	0.85
Río Ica	6600	TR =140 años	771.90	327.17	331.85	331.17	333.15	0.002	5.78	182.11	80.00	0.85
Río Ica	6550	TR =140 años	771.90	327.05	331.73	331.05	333.03	0.002	5.79	181.85	80.00	0.86
Río Ica	6500	TR =140 años	771.90	326.93	331.6	330.93	332.91	0.002	5.79	181.81	80.00	0.86
Río Ica	6400	TR =140 años	771.90	326.68	331.36	330.68	332.66	0.002	5.79	181.86	80.00	0.86
Río Ica	6300	TR =140 años	771.90	326.44	331.12	330.42	332.41	0.002	5.76	182.75	80.00	0.85
Río Ica	6200	TR =140 años	771.90	326.19	330.87	330.17	332.17	0.002	5.77	182.62	80.00	0.85
Río Ica	6100	TR =140 años	771.90	325.95	330.63	329.94	331.92	0.002	5.78	182.40	80.00	0.85
Río Ica	6050	TR =140 años	771.90	325.82	330.51	329.81	331.8	0.002	5.77	182.58	80.00	0.85
Río Ica	5950	TR =140 años	771.90	325.58	330.26	329.57	331.56	0.002	5.78	182.29	80.00	0.85
Río Ica	5900	TR =140 años	771.90	325.46	330.14	329.44	331.43	0.002	5.77	182.57	80.00	0.85
Río Ica	5800	TR =140 años	771.90	325.21	329.89	329.19	331.18	0.002	5.77	182.60	80.00	0.85
Río Ica	5700	TR =140 años	771.90	324.97	329.65	328.95	330.94	0.002	5.77	182.53	80.00	0.85
Río Ica	5600	TR =140 años	771.90	324.72	329.4	328.71	330.7	0.002	5.77	182.47	80.00	0.85
Río Ica	5550	TR =140 años	771.90	324.6	329.28	328.58	330.57	0.002	5.78	182.43	80.00	0.85
Río Ica	5450	TR =140 años	771.90	324.35	329.04	328.33	330.32	0.002	5.76	182.98	80.00	0.85
Río Ica	5350	TR =140 años	771.90	324.11	328.79	328.09	330.08	0.002	5.76	182.89	80.00	0.85
Río Ica	5250	TR =140 años	771.90	323.86	328.55	327.85	329.83	0.002	5.76	182.99	80.00	0.85
Río Ica	5150	TR =140 años	771.90	323.62	328.3	327.6	329.59	0.002	5.77	182.64	80.00	0.85
Río Ica	5050	TR =140 años	771.90	323.37	328.06	327.36	329.34	0.002	5.76	183.01	80.00	0.85
Río Ica	4950	TR =140 años	771.90	323.13	327.82	327.11	329.1	0.002	5.74	183.63	80.00	0.85
Río Ica	4900	TR =140 años	771.90	323.01	327.7	326.98	328.97	0.002	5.73	183.80	80.00	0.84
Río Ica	4850	TR =140 años	771.90	322.88	327.58	326.86	328.85	0.002	5.73	183.93	80.00	0.84
Río Ica	4800	TR =140 años	771.90	322.76	327.46	326.76	328.73	0.002	5.73	183.76	80.00	0.84
Río Ica	4700	TR =140 años	771.90	322.52	327.4	326.52	328.47	0.002	5.30	198.67	80.00	0.77
Río Ica	4600	TR =140 años	771.90	322.27	327.33	326.27	328.24	0.002	4.94	212.50	80.00	0.70
Río Ica	4500	TR =140 años	771.90	322.03	326.7	326.03	328.01	0.002	5.80	181.53	80.00	0.86
Río Ica	4400	TR =140 años	771.90	321.78	326.5	325.77	327.75	0.002	5.67	185.79	80.00	0.83
Río Ica	4350	TR =140 años	771.90	321.66	326.44	325.65	327.61	0.002	5.51	191.02	80.00	0.81
Río Ica	4250	TR =140 años	771.90	321.41	326.35	325.41	327.36	0.002	5.18	203.24	80.00	0.74
Río Ica	4150	TR =140 años	771.90	321.17	326.28	325.41	327.15	0.002	4.83	217.21	80.00	0.68
Río Ica	4050	TR =140 años	771.90	320.92	326.24	325.41	326.98	0.001	4.49	232.96	80.00	0.62

Río Ica	3950	TR =140 años	771.90	320.68	326.2	324.65	326.83	0.001	4.17	249.53	80.00	0.57
Río Ica	3850	TR =140 años	771.90	320.43	324.85	324.41	326.55	0.003	6.51	161.45	80.00	0.99
Río Ica	3800	TR =140 años	771.90	320.31	324.29	324.29	326.43	0.005	7.11	127.55	55.17	1.14
Río Ica	3750	TR =140 años	771.90	320.19	324.16	324.16	326.29	0.005	7.11	128.69	56.76	1.14
Río Ica	3725	TR =140 años	771.90	320.13	324.57	323.7	325.51	0.002	4.60	203.50	80.00	0.70
Río Ica	3650	TR =140 años	771.90	319.94	323.95	323.51	325.31	0.003	5.41	169.37	80.00	0.86
Río Ica	3600	TR =140 años	771.90	319.82	323.82	323.39	325.1	0.003	5.25	169.75	69.44	0.84
Río Ica	3550	TR =140 años	771.90	319.7	323.64	323.27	324.96	0.003	5.33	165.14	67.82	0.86
Río Ica	3500	TR =140 años	771.90	319.58	323.49	323.14	324.84	0.003	5.38	163.36	67.73	0.87
Río Ica	3450	TR =140 años	771.90	319.45	323.33	323.02	324.71	0.003	5.44	161.43	67.63	0.88
Río Ica	3400	TR =140 años	771.90	319.33	323.15	322.94	324.58	0.003	5.53	158.55	67.46	0.90
Río Ica	3350	TR =140 años	771.90	319.21	322.84	322.84	324.35	0.003	5.70	149.50	56.45	0.96
Río Ica	3305	TR =140 años	771.90	319.1	322.73	322.73	324.18	0.003	5.63	152.90	57.71	0.94
Río Ica	3284	TR =140 años	771.90	318.1	323.19	322.73	323.83	0.001	3.83	244.49	80.00	0.54
Río Ica	3225	TR =140 años	771.90	317.92	323.18	321.47	323.75	0.001	3.63	258.40	80.00	0.51
Río Ica	3175	TR =140 años	771.90	317.76	323.18	321.47	323.7	0.001	3.47	271.09	80.00	0.48
Río Ica	3129.6	TR =140 años	771.90	317.62	323.18	321.47	323.65	0.001	3.33	281.86	80.00	0.45
Río Ica	3100	TR =140 años	771.90	317.53	322.62	322.18	323.57	0.002	5.01	209.27	80.00	0.71
Río Ica	3000	TR =140 años	771.90	317.22	321.7	321.15	323.29	0.003	6.31	166.60	80.00	0.95
Río Ica	2950	TR =140 años	771.90	317.06	321.77	321.06	323.03	0.002	5.72	184.08	80.00	0.84
Río Ica	2900	TR =140 años	771.90	316.91	321.81	320.91	322.86	0.002	5.26	200.21	80.00	0.76
Río Ica	2850	TR =140 años	771.90	316.75	321.83	320.91	322.73	0.002	4.92	213.58	80.00	0.70
Río Ica	2800	TR =140 años	771.90	316.6	321.83	320.91	322.62	0.001	4.63	226.17	80.00	0.65
Río Ica	2750	TR =140 años	771.90	316.44	321.83	320.91	322.53	0.001	4.38	238.64	80.00	0.60
Río Ica	2700	TR =140 años	771.90	316.29	321.83	320.91	322.45	0.001	4.15	250.89	80.00	0.56
Río Ica	2650	TR =140 años	771.90	316.13	321.82	320.91	322.39	0.001	3.95	263.10	80.00	0.53
Río Ica	2600	TR =140 años	771.90	315.98	321.82	320.91	322.33	0.001	3.76	275.22	80.00	0.50
Río Ica	2550	TR =140 años	771.90	315.82	321.82	320.91	322.28	0.001	3.59	287.32	80.00	0.47
Río Ica	2500	TR =140 años	771.90	315.67	321.81	319.66	322.23	0.001	3.43	299.42	80.00	0.44
Río Ica	2400	TR =140 años	771.90	315.36	319.48	319.36	321.9	0.005	7.56	137.15	80.00	1.19
Río Ica	2300	TR =140 años	771.90	315.05	319.33	319.05	321.32	0.004	6.96	150.29	80.00	1.07
Río Ica	2200	TR =140 años	771.90	314.74	319.16	318.74	320.86	0.003	6.51	161.46	80.00	0.99
Río Ica	2150	TR =140 años	771.90	314.58	319.02	318.56	320.68	0.003	6.45	163.09	80.00	0.98
Río Ica	2100	TR =140 años	771.90	314.43	318.41	318.41	320.56	0.005	7.12	127.14	49.45	1.14
Río Ica	2075	TR =140 años	771.90	314.35	318.14	318.00	320.33	0.005	6.83	122.03	33.01	1.12
Río Ica	2000	TR =140 años	771.90	314.12	317.9	317.77	320.1	0.005	6.85	121.72	33.01	1.12
Río Ica	1950	TR =140 años	771.90	313.96	318.46	317.64	319.79	0.002	5.51	177.03	80.00	0.83
Río Ica	1850	TR =140 años	771.90	313.65	318.56	317.64	319.48	0.002	4.68	210.54	80.00	0.67
Río Ica	1750	TR =140 años	771.90	313.34	318.58	317.64	319.29	0.001	4.16	237.16	80.00	0.58
Río Ica	1650	TR =140 años	771.90	313.03	318.59	317.64	319.15	0.001	3.76	262.48	80.00	0.51
Río Ica	1550	TR =140 años	771.90	312.72	318.59	317.64	319.05	0.001	3.42	287.41	80.00	0.45
Río Ica	1450	TR =140 años	771.90	312.41	318.58	317.64	318.97	0.001	3.14	312.02	80.00	0.40
Río Ica	1400	TR =140 años	771.90	312.26	318.58	317.64	318.93	0.000	3.02	324.24	80.00	0.38
Río Ica	1310	TR =140 años	771.90	311.98	318.57	317.64	318.88	0.000	2.83	345.05	80.00	0.35
Río Ica	1288.5	TR =140 años	771.90	311.91	316.93	316.57	318.72	0.003	5.95	133.05	30.15	0.88
Río Ica	1283	TR =140 años	771.90	311.9	316.71	316.54	318.68	0.003	6.23	125.56	29.13	0.94
Río Ica	1250	TR =140 años	771.90	311.79	316.9	316.9	318.44	0.003	5.54	147.37	56.39	0.89
Río Ica	1200	TR =140 años	771.90	311.64	317.03	316.86	318.14	0.002	5.07	190.10	74.99	0.72
Río Ica	1150	TR =140 años	771.90	311.48	317.42	316.02	317.89	0.001	3.63	280.31	80.00	0.48
Río Ica	1100	TR =140 años	771.90	311.33	317.49	315.69	317.82	0.001	3.00	324.34	80.00	0.39
Río Ica	1050	TR =140 años	771.90	311.17	316.21	316.21	317.65	0.003	5.87	165.80	61.69	0.85
Río Ica	1000	TR =140 años	771.90	311.02	316.71	315.97	317.32	0.001	3.92	250.17	80.00	0.55
Río Ica	950	TR =140 años	771.90	310.86	316.63	315.99	317.26	0.001	4.35	250.80	80.00	0.58
Río Ica	900	TR =140 años	771.90	310.71	316.07	316.07	317.14	0.002	5.57	203.11	80.00	0.77
Río Ica	850	TR =140 años	771.90	310.55	316.08	315.5	316.71	0.002	3.52	219.56	80.00	0.68
Río Ica	800	TR =140 años	771.90	310.4	316	315.3	316.6	0.002	3.41	226.17	80.00	0.65
Río Ica	750	TR =140 años	771.90	310.24	315.98	315.03	316.48	0.002	3.13	246.67	80.00	0.57
Río Ica	700	TR =140 años	771.90	310.09	315.93	314.87	316.4	0.001	3.02	255.28	80.00	0.54
Río Ica	650	TR =140 años	771.90	309.98	315.38	315.17	316.26	0.004	4.14	186.63	80.00	0.86
Río Ica	600	TR =140 años	771.90	309.88	315.42	315.17	316.04	0.002	3.48	221.58	80.00	0.67
Río Ica	550	TR =140 años	771.90	309.77	315.2	314.73	315.91	0.003	3.74	206.62	80.00	0.74
Río Ica	500	TR =140 años	771.90	309.67	315.2	314.41	315.76	0.002	3.31	233.32	80.00	0.62
Río Ica	450	TR =140 años	771.90	309.56	315.07	314.41	315.67	0.002	3.41	226.38	80.00	0.65
Río Ica	400	TR =140 años	771.90	309.46	314.81	314.41	315.54	0.002	3.81	202.65	70.57	0.72
Río Ica	350	TR =140 años	771.90	309.35	314.71	313.85	315.44	0.002	3.77	204.70	60.47	0.65
Río Ica	300	TR =140 años	771.90	309.25	314.7	313.85	315.31	0.002	3.48	222.06	69.02	0.62
Río Ica	250	TR =140 años	771.90	309.14	314.65	313.85	315.21	0.002	3.31	233.17	80.00	0.62
Río Ica	200	TR =140 años	771.90	309.04	314.63	313.60	315.11	0.001	3.06	252.11	80.00	0.55
Río Ica	150	TR =140 años	771.90	308.93	313.95	313.95	314.95	0.004	4.42	174.51	69.46	0.89

Río Ica	100	TR =140 años	771.90	308.83	313.86	313.4	314.55	0.003	3.69	209.31	80.00	0.73
Río Ica	50	TR =140 años	771.90	308.72	313.76	313.18	314.42	0.002	3.58	215.87	80.00	0.70
Río Ica	0	TR =140 años	771.90	308.62	313.5	313.13	314.27	0.003	3.88	198.72	80.00	0.79
<b>Promedio ponderado</b>			<b>771.90</b>	<b>333.75</b>	<b>338.63</b>	<b>336.80</b>	<b>339.72</b>	<b>0.002</b>	<b>5.05</b>	<b>200.51</b>	<b>73.54</b>	<b>0.75</b>

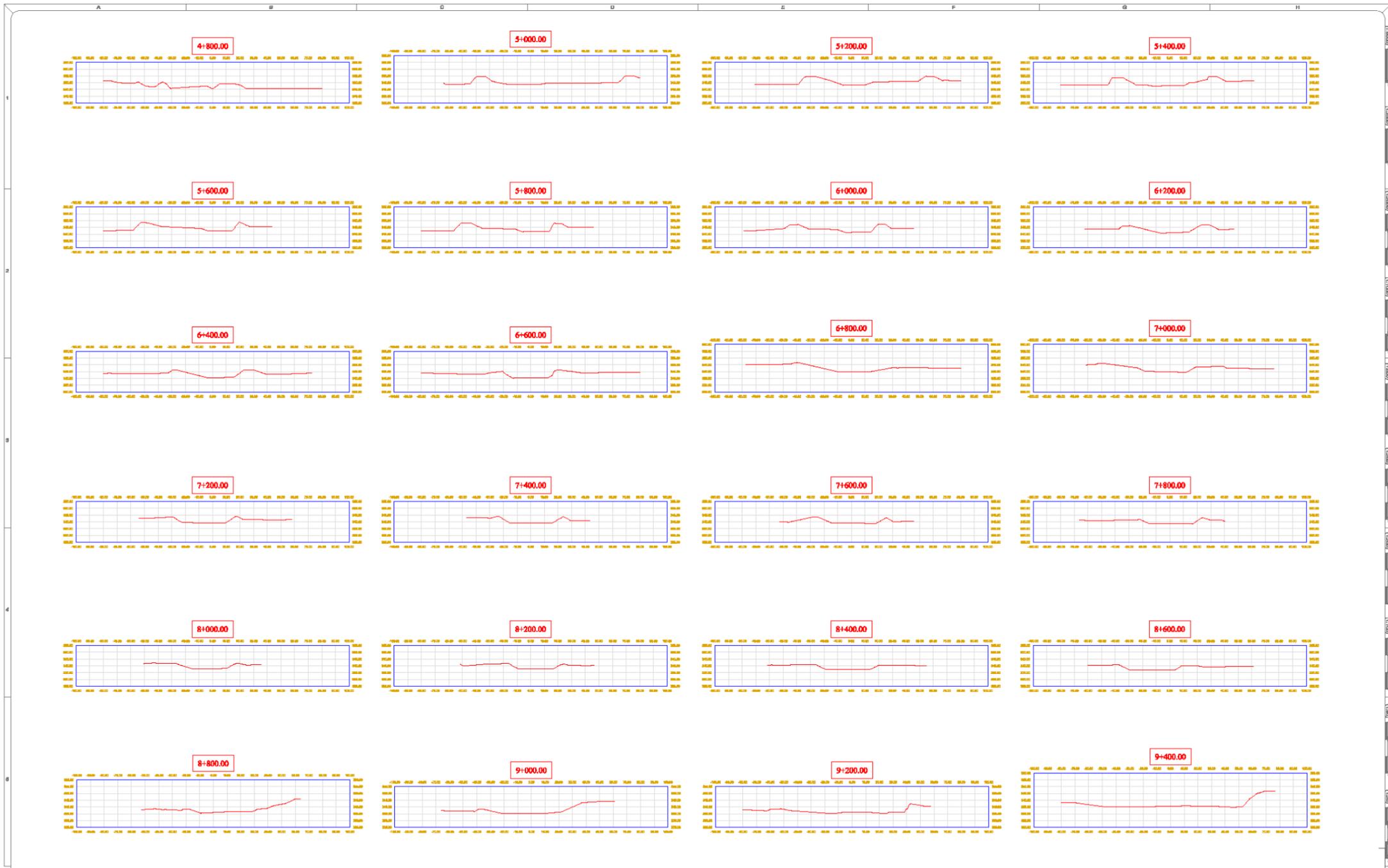
Anexo 15: Planos





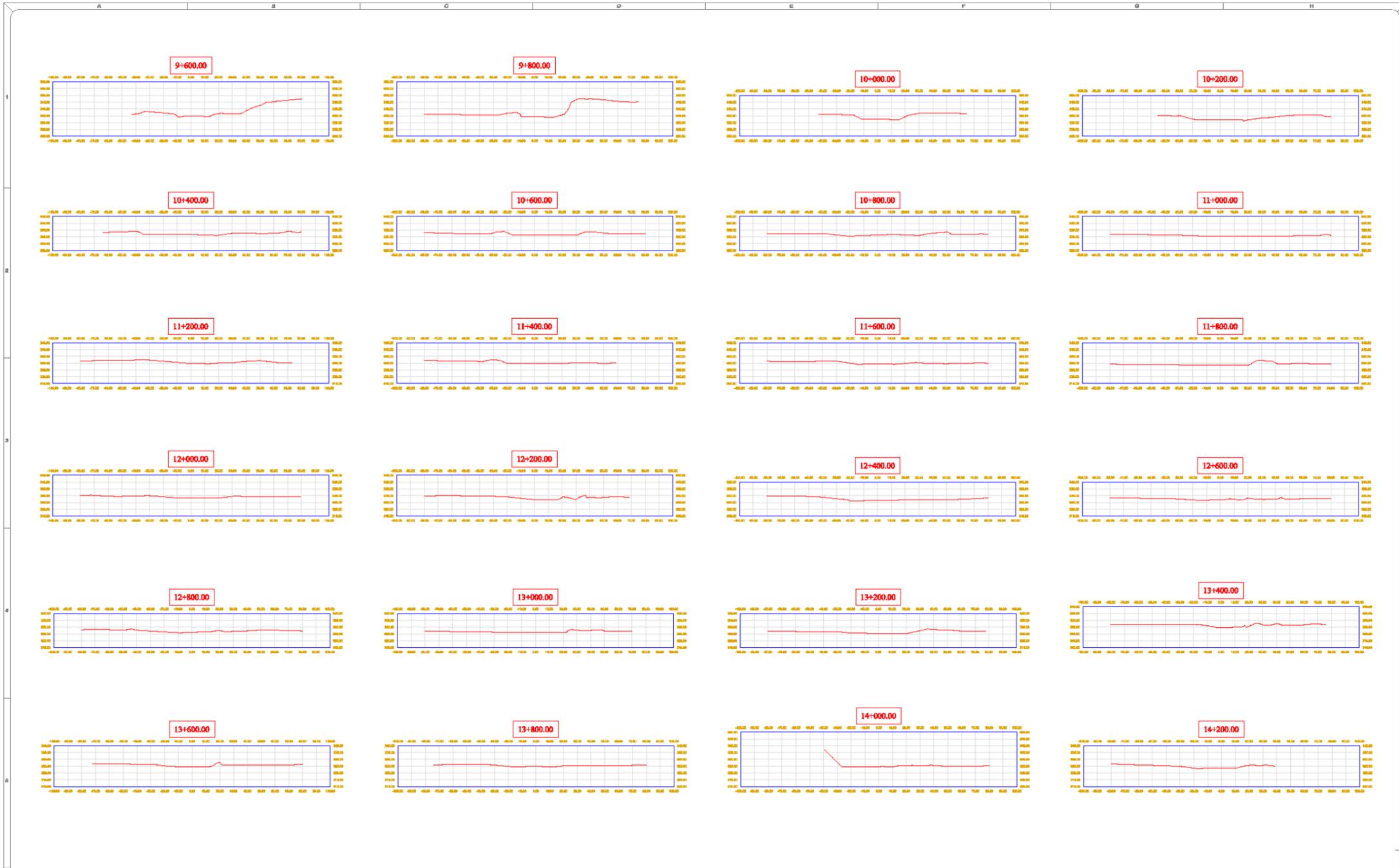
SECCIONES TRANSVERSALES  
0+000 - 4+600  
EBC. 1/2000

ANÁLISIS COMPARATIVO DE DEFENSAS RIBEREÑAS PARA LA MITIGACIÓN DE INUNDACIONES DEL RÍO ICA		
PLANO SECCIONES TRANSVERSALES		
LÁMINA - 02	Elaborado por :	SISTEMA DE COORDENADAS
	LUIS MELCHOR AGESTO	PROYECCIÓN: UTM
	FIGIELLA POLET MARAVI	ZONA 18 SUR: UTM
		COORDENADAS: UTM-84



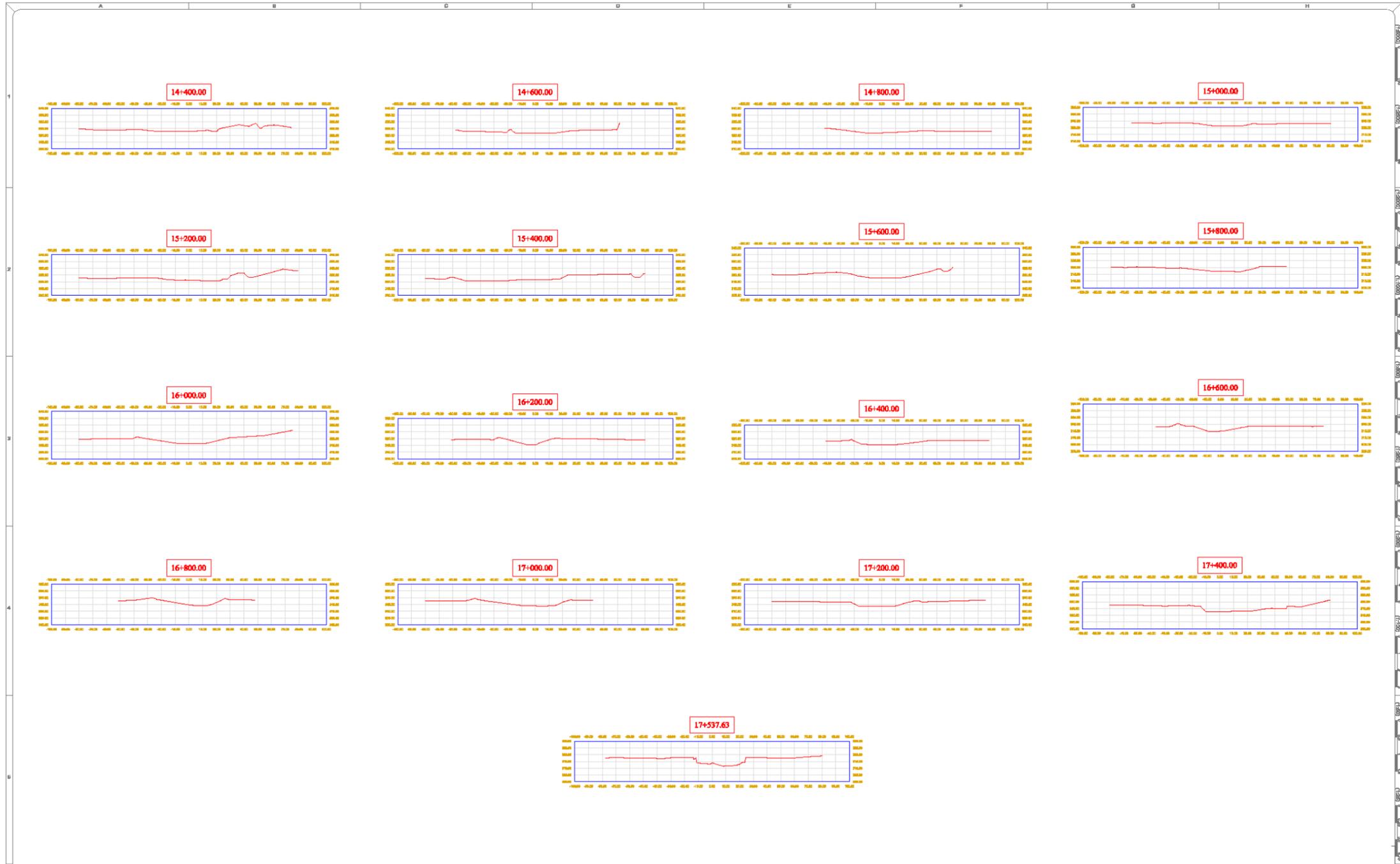
SECCIONES TRANSVERSALES  
4+800 - 9+400  
EBC. 1802

ANÁLISIS COMPARATIVO DE DEFENSAS RIBEREÑAS PARA LA MITIGACIÓN DE INUNDACIONES DEL RÍO ICA		
PLANO:SECCIONES TRANSVERSALES		
LÁMINA - 03	Elaborado por : LUIS MELCHOR AGESTO FIORELLA POLET MARAVI	SISTEMA DE COORDENADAS PROYECCIÓN: UTM ZONA 18 SUR: UTM COORDENADAS: UTM-84



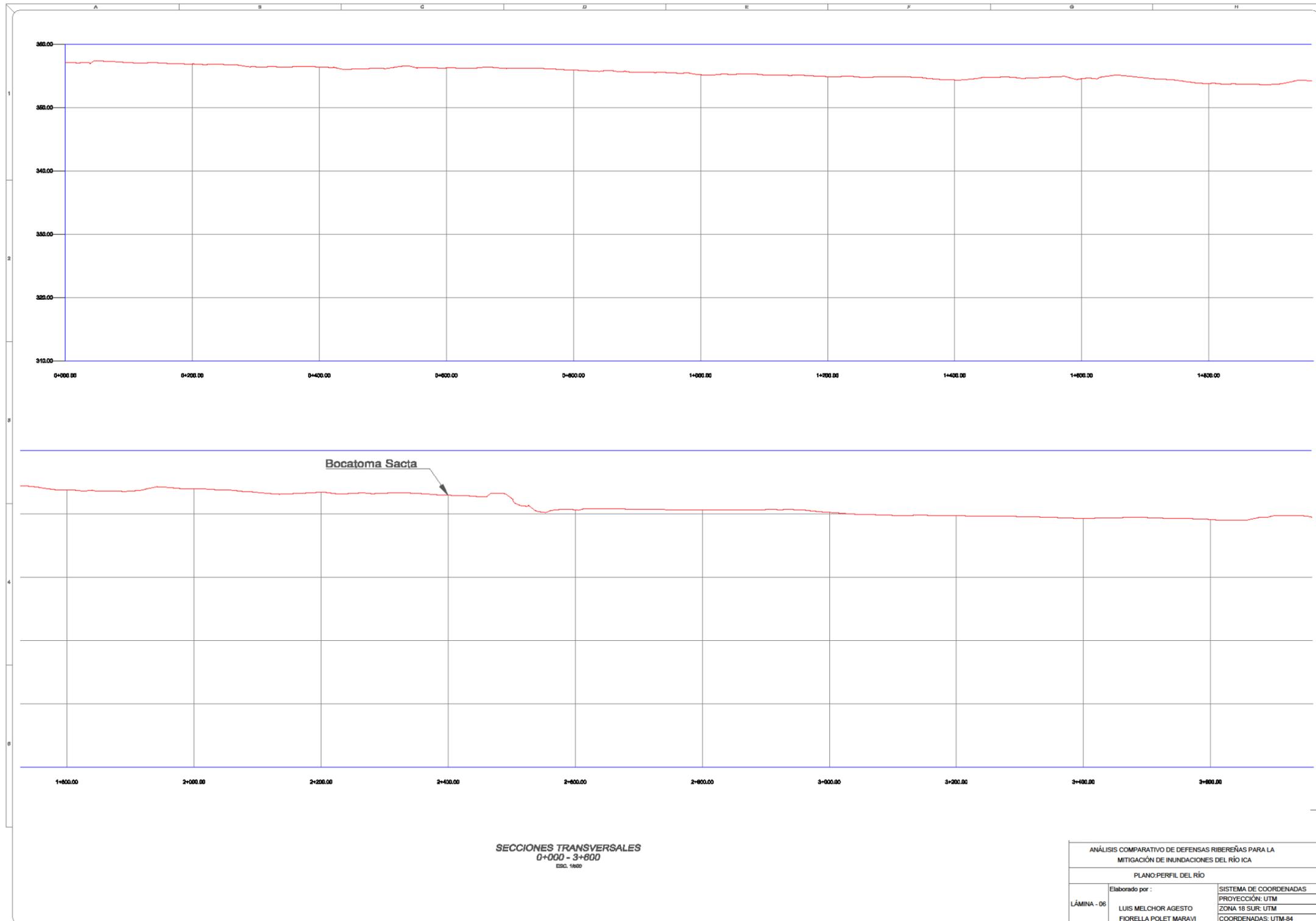
SECCIONES TRANSVERSALES  
9+600 - 14+200  
EBC. 1/500

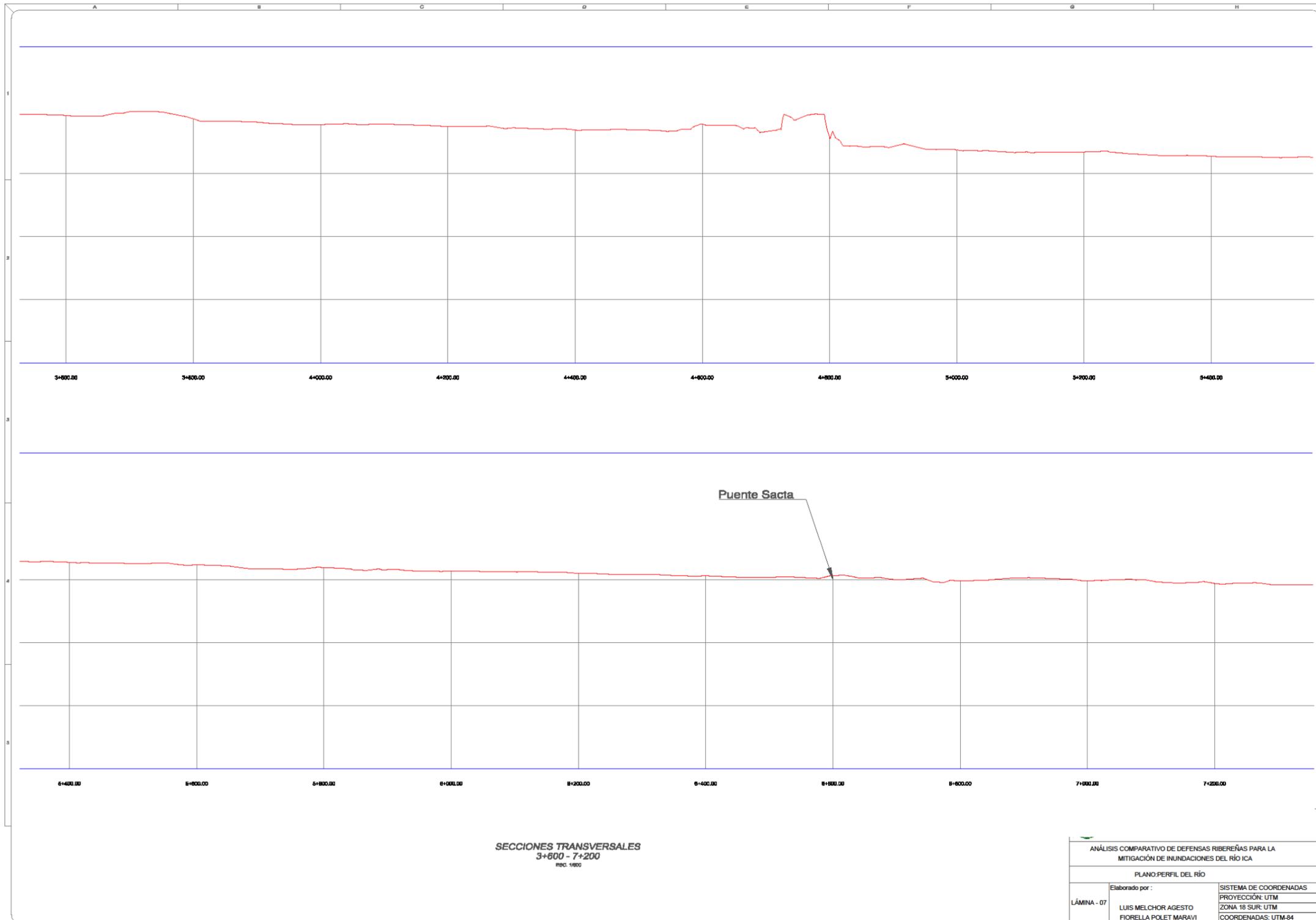
ANÁLISIS COMPARATIVO DE DEFENSAS RIBEREÑAS PARA LA MITIGACIÓN DE INUNDACIONES DEL RÍO ICA		
PLANO SECCIONES TRANSVERSALES		
LÁMINA - 04	Elaborado por :	SISTEMA DE COORDENADAS
	LUIS MELCHOR AGESTO	PROYECCIÓN: UTM
	FIGUEROA POLET MARAVI	ZONA 18 SUR: UTM
		COORDENADAS: UTM-84

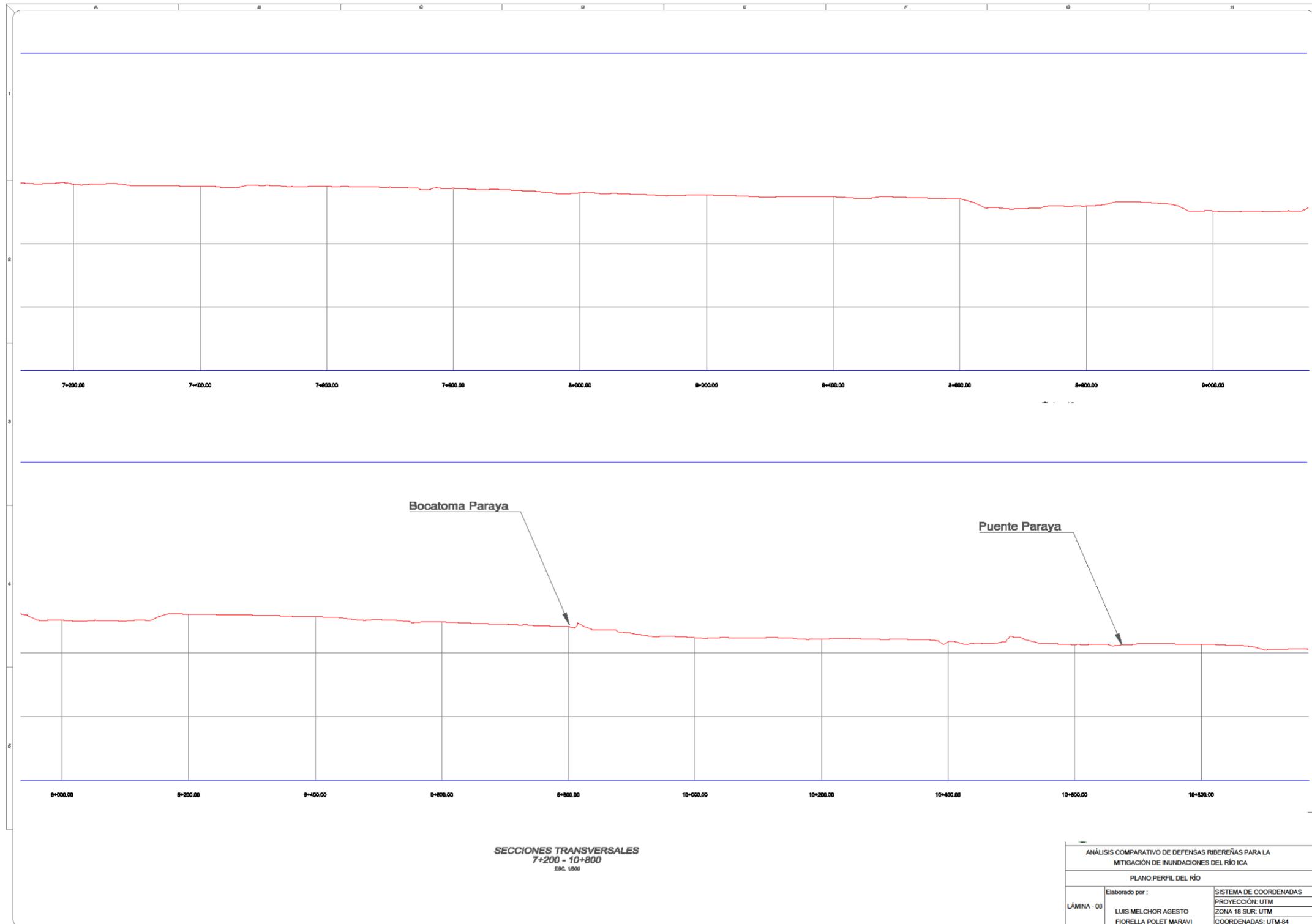


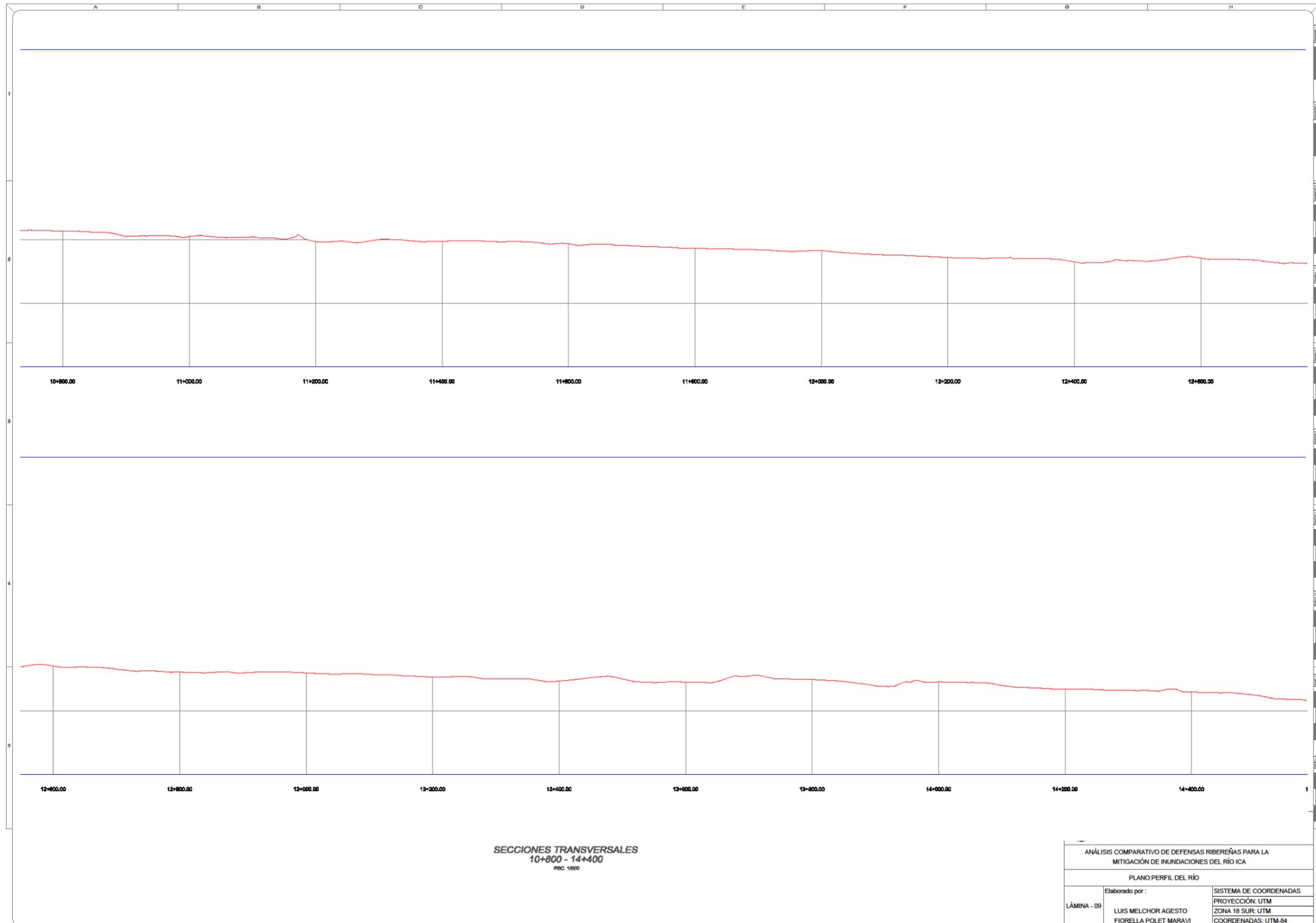
SECCIONES TRANSVERSALES  
14+400 - 17+537.63  
Escala: 1:800

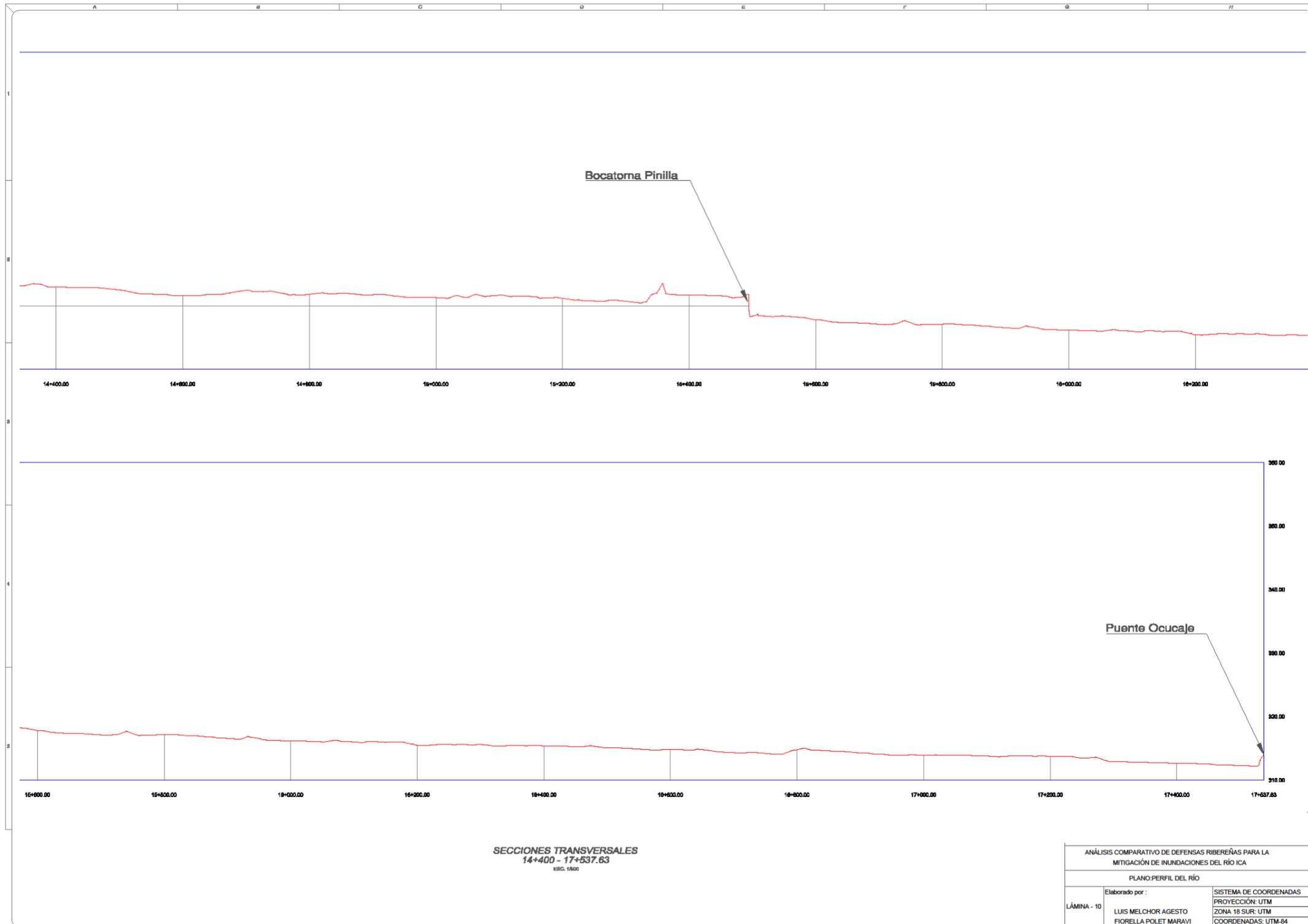
ANÁLISIS COMPARATIVO DE DEFENSAS RIBEREÑAS PARA LA MITIGACIÓN DE INUNDACIONES DEL RÍO ICA		
PLANO: SECCIONES TRANSVERSALES		
LÁMINA - 05	Elaborado por :	SISTEMA DE COORDENADAS
	LUIS MELCHOR AGESTO FIORELLA POLET MARAVI	PROYECCIÓN: UTM ZONA 18 SUR: UTM COORDENADAS: UTM-84











SECCIONES TRANSVERSALES  
14+400 - 17+537.63  
ESCALA: 1:500

ANÁLISIS COMPARATIVO DE DEFENSAS RIBEREÑAS PARA LA MITIGACIÓN DE INUNDACIONES DEL RÍO ICA		
PLANO: PERFIL DEL RÍO		
LÁMINA - 10	Elaborado por :	SISTEMA DE COORDENADAS
	LUIS MELCHOR AGESTO	PROYECCIÓN: UTM
	FIORILLA POLET MARAVI	ZONA 18 SUR: UTM
		COORDENADAS: UTM-84

Anexo 17: Matriz de comparación

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Los sistemas de gavión colchón son estructuras que cumplen la función de protección y evitar procesos de erosión de los taludes, son estructuras que se amoldan de manera educada a terrenos con inclinaciones menores a 30°.	Uno de los elementos principales para la conformación de estructuras con gaviones colchón son las piedras de 6" a 8" que van confinadas. Es importante contar con canteras de piedras de canto rodado cercanas.
Los gaviones colchón son estructuras que se amoldan a terrenos sinuosos por la flexibilidad que presentan las mallas.	Las estructuras con gaviones colchón son sistemas que protegen canales con inclinaciones menores a 30° los cuales no son recomendables para inclinaciones mayores.
La contención de márgenes con gaviones caja son sistemas fáciles de ejecutar. Teniendo como uno de su elemento principal las mallas que son fáciles de transportar. Estos sistemas no necesitan de mano de obra calificada.	Los sistemas de protección de márgenes de ríos con gaviones al ser estructuras que están conformados por malla y piedras presentan deformaciones al momento de ser instalados por no tener un adecuado encofrado.
Los gaviones caja son estructuras que cumplen la función de contener, revestir y controlar la socavación ocasionado por los ríos. Estos sistemas son alternativas técnico-económicas factibles.	Para la protección de márgenes con gaviones se recomienda su uso para ríos con velocidades menores a 6m/s. Caso contrario se podría utilizar soluciones mixtas.
Los muros de contención de concreto son estructuras que tienen la función de proteger los márgenes de los efectos erosivos del fluido y de contener el empuje del suelo.	Los esfuerzos horizontales contra el muro tienden a producir el deslizamiento y volcadura. Dependerá mucho de las dimensiones y el peso del terreno.
Tienden a tener grandes dimensiones en su mayoría y por ello no sufren esfuerzos flectores.	Para lograr la estabilidad en los muros de contención se deben oponer varias fuerzas que contrarresten los empujes del suelo.

## Anexo 18: Carta de Autorización

### CARTA DE AUTORIZACIÓN

Lima 04 de diciembre del 2021

**Asunto: Autorización de uso de datos del expediente técnico "Control de desbordes e inundaciones en el río Ica y quebrada Cansas / Chanchajalla"**

Reciba un cordial saludo; por medio de la presente, autoriza el arquitecto Juan Pier Ruiz Vera con DNI 41759921 de la empresa MACCAFERRI, el uso de los datos del expediente técnico "Control de desbordes e inundaciones en el río Ica y quebrada Cansas / Chanchajalla". Para la investigación y estudio del programa de titulación de la Universidad Ricardo Palma a los tesisistas Fiorella Polet Maraví Alva con DNI 45223031 Y Luis Enrique Melchor Agosto con DNI 47109439.

**Atentamente.**



---

**Arq. Juan Ruiz Vera**  
**DNI 41759921**