

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA



**“MEJORAMIENTO DEL ESTUDIO DE HIDRÁULICA FLUVIAL
DEL PROYECTO DE PROTECCIÓN CONTRA INUNDACIONES EN
SEIS TRAMOS DEL RÍO PISCO, ICA”**

**TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL
PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO AGRICOLA**

DAVIS JUNIOR CARHUAZ SÁNCHEZ

LIMA – PERÚ

2020

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

**“MEJORAMIENTO DEL ESTUDIO DE HIDRÁULICA FLUVIAL DEL
PROYECTO DE PROTECCIÓN CONTRA INUNDACIONES EN SEIS
TRAMOS DEL RÍO PISCO, ICA”**

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL PARA OPTAR EL TÍTULO DE:

INGENIERO AGRÍCOLA

Presentado por:

DAVIS JUNIOR CARHUAZ SÁNCHEZ

Sustentado y aprobado por el siguiente jurado:

Dr. NÉSTOR MONTALVO ARQUINIGO
Presidente

Mg. Sc. MIGUEL ÁNGEL SÁNCHEZ DELGADO
Asesor

Ing. JAIME EDUARDO VASQUEZ CÁCERES
Miembro

Dr. EDUARDO ABRAHAM CHÁVARRI VELARDE
Miembro

LIMA – PERÚ

2020

ÍNDICE GENERAL

I. PRESENTACIÓN	1
1.1. Descripción de las funciones desempeñadas y la vinculación con campos temáticos de la carrera.....	1
1.2. Descripción de los aspectos propios de la puesta en práctica de lo aprendido durante los estudios.....	5
II. INTRODUCCIÓN	9
III. OBJETIVOS	10
3.1. Objetivo principal.....	10
3.2. Objetivos específicos.....	10
IV. DESARROLLO DEL TRABAJO	11
4.1. Revisión bibliográfica.....	11
4.1.1. TIN.....	11
4.1.2. IBER.....	11
4.1.3. Discretización.....	14
4.1.4. Sinuosidad del cauce.....	14
4.1.5. Ancho estable.....	16
4.1.6. Socavación general.....	17
4.2. Contribución a la solución de situaciones problemáticas.....	20
4.2.1. Reconocimiento <i>in situ</i> de la zona del proyecto.....	21
4.2.2. Inspección de la situación actual de la zona del proyecto.....	24
4.2.3. Revisión y análisis de inundación del estudio de factibilidad.....	26
4.2.4. Revisión y análisis del estudio de hidráulica fluvial y área de inundación no aprobado por PSI.....	27
4.2.5. Desarrollo a partir del estudio topográfico aprobado por PSI.....	29
4.2.6. Revisión del estudio hidrológico aprobado por PSI.....	29
4.3. Contribución en términos de las competencias y habilidades.....	39
4.3.1. Desarrollo de la simulación hidráulica IBER, sin proyecto.....	40
4.3.2. Análisis de resultados de la simulación hidráulica IBER, sin proyecto.....	48
4.3.3. Planteamiento de trazos de diques.....	52
4.3.4. Desarrollo de la simulación hidráulica IBER, con proyecto.....	54
4.3.5. Análisis de resultados de la simulación hidráulica IBER, con proyecto.....	55

4.4. Contribución al centro laboral a partir de la solución de situaciones problemáticas.....	58
4.4.1. Determinación del trazo definitivo conforme a los resultados de las simulaciones hidráulicas.....	58
4.4.2. Determinación del borde libre conforme a los resultados de las simulaciones hidráulicas.....	59
4.4.3. Consideraciones en el tramo conforme a los resultados de las simulaciones hidráulicas.....	60
4.4.4. Implementación de equipos computaciones sofisticados	60
4.4.5. Comunicación oportuna a partir de la verificación de la calidad de la información.....	61
4.4.6. Gestión con entidades a partir de las limitaciones de información	61
4.4.7. Determinación de cálculos de la socavación y enrocados	61
4.4.8. Simulación hidráulica en los tramos Pi-01 (PK 2+900 al 4+900), Pi-02 (PK 6+500 al 7+900), Pi-03 (PK 12+400 al 13+900), Pi-04 (PK 19+500 al 20+500), Pi-05 (PK 25+900 al 26+700) y Pi-06 (PK 34+500 a 36+400)	64
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	71
5.1. Conclusiones	71
5.2. Recomendaciones	72
VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	73

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Acceso al proyecto	22
Tabla 2: Registro de años promedio de registros	30
Tabla 3: Precipitación Máxima en 24 horas para distintos Pr en años	31
Tabla 4: Análisis de consistencia registros máximos diarios anuales en Letrayoc	33
Tabla 5: Descargas máximas anuales Letrayoc (Valores Corregidos de 1933-1975).....	34
Tabla 6: Máximas avenidas medias diarias con distribuciones Pearson y Gumbel	37
Tabla 7: Descargas máximas instantáneas en Letrayoc.....	37
Tabla 8: Onda de avenida con PR 100 años en Letrayoc	38
Tabla 9: Caudales máximos.....	39
Tabla 10: Coeficientes de rugosidad asumidos en las simulaciones	41
Tabla 11: Diámetros d50	45
Tabla 12: Pendientes de los tramos	47
Tabla 13: Anchos recomendados según caudal	47
Tabla 14: Resultados del ancho estable.....	48
Tabla 15: Estimación del transporte de sedimentos - Tramo PI-02 Tr 50 años	50
Tabla 16: Ubicación, coordenadas y longitud del tramo Pi-02	53
Tabla 17: Evaluación de la socavación general del cauce principal tramo Pi-02.....	63

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Esquema del módulo de transporte sólido no-estacionario.....	12
Figura 2: Tipos morfológicos de ríos	15
Figura 3: Sección transversal de Socavación	20
Figura 4: Participación en reuniones en Pisco.....	21
Figura 5: Ubicación provincial de Pisco	22
Figura 6: Ubicación general	23
Figura 7: Ubicación del tramo Pi-02 (PK 6+500 al 7+900)	24
Figura 8: Inspección en el tramo Pi-02.....	25
Figura 9: Situación actual del cauce - Tr 50 años.....	26
Figura 10: Medidas de control para inundaciones – Tr 50 años.....	27
Figura 11: Discretización del coeficiente de Manning en las simulaciones.....	28
Figura 12: Tamaño de la malla.....	28
Figura 13: Inclusión de los datos de entrada	29
Figura 14: Modelo TIN de terreno	29
Figura 15: Curva masa descargas máximas anuales en Letrayoc.....	32
Figura 16: Curva masa descargas máximas anuales corregidas en Letrayoc	35
Figura 17: Máximas avenidas Río Pisco en Letrayoc distribución Pearson.	36
Figura 18: Máximas avenidas Río Pisco en Letrayoc distribución Gumbel.	36
Figura 19: Hidrograma avenida en Letrayoc PR 100 años.....	38
Figura 20: Acta del uso del caudal	39
Figura 21: Discretización de los diferentes sectores del río	40
Figura 22: Ingreso de coeficientes de Manning.....	41
Figura 23: Datos de entrada y salida	42
Figura 24: Datos de condiciones iniciales	43
Figura 25: Mallado en el tramo	44
Figura 26: Tamaño de malla.....	44
Figura 27: Elevación del terreno	44
Figura 28: Ingreso de sedimentos al software Iber.....	45
Figura 29: Hidrograma unitario de máxima avenida.....	46
Figura 30: Tirantes máximos – Tramo PI-02 Tr 50 años	48
Figura 31: Niveles de agua máximos - Tramo PI-02 Tr 50 años	49

Figura 32: Perfil longitudinal con agua – Tramo PI-02 Tr 50 años	49
Figura 33: Velocidades máximas – Tramo PI-02 Tr 50 años.....	50
Figura 34: Sedimentación máxima – Tramo PI-02 Tr 50 años	51
Figura 35: Erosión máxima – Tramo PI-02 Tr 50 años.....	51
Figura 36: Socavación producida en el sector – Tramo PI-02 Tr 50 años	52
Figura 37: Trazos preliminares del dique	52
Figura 38: Limites de faja marginal, castro y diques	53
Figura 39: Elevación del terreno con dique – Tramo PI-02	54
Figura 40: Hidrograma unitario de máxima avenida.....	54
Figura 41: Tirantes máximos con dique – Tramo PI-02 Tr 50 años	55
Figura 42: Niveles de agua máximos con dique – Tramo PI-02 Tr 50 años	55
Figura 43: Perfil longitudinal con dique margen derecho – Tramo PI-02 Tr 50 años	56
Figura 44: Perfil longitudinal con dique margen izquierdo – Tramo PI-02 Tr 50 años	57
Figura 45: Velocidades máximas con dique – Tramo PI-02 Tr 50 años	58
Figura 46: Borde libre Tr=50 años	59
Figura 47: Especificaciones del dispositivo	60
Figura 48: Ubicación específica de los tramos.....	64
Figura 49: Resultado de simulación hidráulico con y sin proyecto tramo Pi-01.....	65
Figura 50: Resultado de simulación hidráulico con y sin proyecto tramo Pi-02.....	66
Figura 51: Resultado de simulación hidráulico con y sin proyecto tramo Pi-03.....	67
Figura 52: Resultado de simulación hidráulico con y sin proyecto tramo Pi-04.....	68
Figura 53: Resultado de simulación hidráulico con y sin proyecto tramo Pi-05.....	69
Figura 54: Resultado de simulación hidráulico con y sin proyecto tramo Pi-06.....	70

I. PRESENTACIÓN

El presente trabajo monográfico de suficiencia profesional corresponde a la presentación relativa de las labores propias de la carrera realizada en los últimos diez meses del ejercicio profesional dentro del área de la especialidad, en el que se aplicó los conocimientos adquiridos durante los últimos 5 años de experiencia y formación profesional.

De los cinco años de ejercicio profesional, se cuenta con formación y experiencia de trabajo en temas de ingeniería, estudio hidrológico, diseño hidráulico - estructural en infraestructuras de riego menor, estudio topográfico, modelamiento hidráulico e hidrológico, diseño de canales, sistema de información geográfica, costos, metrados y presupuestos, asistencia de residencia de obras, asistencia de supervisión de obras.

1.1. Descripción de las funciones desempeñadas y la vinculación con campos temáticos de la carrera

Se describe las funciones desempeñadas y vinculadas a los campos temáticos de la carrera profesional después de haber optado el grado académico de bachiller hasta la actualidad.

En 2015, tras la ejecución de la obra “Ampliación y mejoramiento de los servicios de apoyo a las labores académicas e investigativas en la facultad de zootecnia de la UNALM” SNIP N° 126388, se realizó funciones de reporte de actividades por especialidad, reporte del avance de obra, requerimiento de materiales, revisión del expediente técnico, elaboración del panel fotográfico, elaboración del cronograma de avance de obra, control del proceso constructivo, calidad de los trabajos, ingreso y salida de materiales, control de la operatividad de equipos y maquinarias, control de asistencia y rendimiento del personal de obra. Consecuentemente vinculadas a la tecnología de materiales, partes estructurales, normas comerciales de materiales del curso órganos de máquinas; importancia de materiales cerámicos, materiales aglomerantes, agregados del curso de materiales de la construcción; control y seguimientos de obras, rendimientos de mano de obra, manejo del S10 del curso

de supervisión de obras; uso y manejo del concreto, curado, juntas de dilatación del curso de concreto reforzado; conocimiento del Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE), norma técnica de metrados, herramientas y equipos de construcción del curso de técnicas de la construcción; sistema constructivo, factores tecnológicos del curso de diseño rural.

En 2016, tras la elaboración a nivel de expediente técnico del proyecto "Mejoramiento del canal Cerrito, Base Área, el Ramal, Filtraciones, la Curva - sector Joya Antigua, distrito la Joya, provincia y región Arequipa", se realizó funciones de diseño de canales con uso del *software* Civil 3D y Hcanales, cálculos hidráulicos, elaboración de metrados y presupuesto en S10, levantamiento topográfico. Consecuentemente vinculadas a estructuras de transporte, estructura de medición, tomas de captación en ríos, estructura de acueductos, estructura de cruce de vías carrozables-alcantarilla, caídas y rápidas, pozas de disipación de energía del curso de estructuras hidráulicas I; flujo en canales abiertos, ecuación de energía específica en canales, coeficientes de rugosidad y factores de resistencia del curso de hidráulica; estática y dinámica de fluidos, cantidad de movimiento del curso de mecánica de fluidos.

En 2016, tras la elaboración de estudios hidráulicos a nivel de expediente técnico a cargo de la Dirección Regional de Agricultura de Lima, se realizó funciones de diseños hidráulicos, elaboración de planos, uso de *software* AutoCad, Civil 3D, Iber, ArcGis, Hcanales; desarrollo de presupuestos, programación, planeamiento y control de obras en S10 y Ms Project; revisión y levantamiento de observaciones de expedientes técnicos. Consecuentemente vinculadas al control de la erosión hídrica, control de avenidas e inundaciones, diseño de enrocados del curso control de la erosión; flujo uniforme de canales, canales revestidos y erosionables del curso de hidráulica.

En 2017, tras la elaboración a nivel de expediente técnico del proyecto "Mejoramiento del sistema de riego en el sector de Ispacas, del distrito de Yanaquihua, provincia de Condesuyos - Región Arequipa" se realizó funciones de elaboración del estudio hidrológico, diseño hidráulico, diseño estructural, costos, metrados y presupuestos. Consecuentemente vinculadas a estructuras de transporte, estructura de medición, tomas de captación en ríos, estructura de acueductos, estructura de cruce de vías carrozables-alcantarilla, caídas y rápidas, pozas de disipación de energía del curso de estructuras hidráulicas I; flujo en canales

abiertos, ecuación de energía específica en canales, coeficientes de rugosidad y factores de resistencia, flujo en canales con alineamiento no lineal del curso de hidráulica.

En 2017, tras la ejecución de la obra “Mejoramiento del servicio de agua para riego del canal Unión Alta (0+000 al 5+159.00), Distrito de Sayán, Provincia de Huaura, Región Lima”, SNIP N° 289629, se realizó funciones de reporte del avance de obra, requerimiento de materiales, revisión de los términos contractuales, memoria descriptiva, revisión de planos y metrados; elaboración del panel fotográfico, cronograma de obra, valorización mensual; control del proceso constructivo, calidad de los trabajos, rendimiento del personal, ejecución del plan de seguridad. Consecuentemente vinculadas al diseño y funcionamiento de canales del curso de estructuras hidráulicas; replanteo topográfico de puntos, alineaciones, rasantes, levantamiento topográfico para trabajos de movimiento de tierras, nivelación, procesamiento computarizado de datos del curso de topografía II; uso y manejo del concreto, curado, juntas de dilatación del curso de concreto reforzado; importancia de materiales aglomerantes y agregados del curso de materiales de la construcción.

Entre 2017 y 2018, tras la ejecución de la obra “Mejoramiento del canal de derivación la Esperanza y reservorio de almacenamiento en las localidades de Cabuyal, La Virgen y Granados, del distrito y provincia de Huaral región Lima” SNIP N° 246165, se realizó funciones de metrados del reservorio, cronograma de obra, valorización mensual requerimiento de servicios y materiales, modificación de planos. Consecuentemente vinculadas a la gestión de datos, dibujo de planos, interpretación de superficies de nivel para trabajos de movimiento de tierras y nivelación del curso de topografía II; técnica de metrados del curso de técnicas de la construcción.

En 2018, tras la ejecución de la obra “Instalación del servicio de protección contra inundaciones en el sector del centro poblado de Gorgor ambas márgenes del río Gorgor, progresiva 0+000 a 0+990, distrito de Gorgor, provincia de Cajatambo, Región Lima”, SNIP N° 310279, se realizó funciones de reporte del avance de obra, control y seguimiento de obra, metrado según avance, identificación de posibles alteraciones o modificaciones, elaboración del panel fotográfico, cumplimiento del proceso constructivo, medidas de seguridad, plan de manejo ambiental, control del proceso constructivo, control de la calidad de los trabajos, control maquinarias y equipos, control de materiales en cancha, rendimiento

del personal. Consecuentemente vinculadas al control topográfico planimétrico y altimétrico, replanteo de alineamientos, interpretación de superficies de nivel para trabajos de movimiento de tierras y nivelación del curso de topografía II; control y seguimientos de obras, rendimientos de mano de obra del curso de supervisión de obras; selección de maquinaria del curso proyectos de inversión y desarrollo en ingeniería agrícola; contaminación del suelo, reciclaje y disposición final de residuos peligrosos, contaminación del aire por partículas en suspensión del curso de ingeniería de agua y medio ambiente; control de la erosión hídrica, control de avenidas e inundaciones, diseño de enrocados del curso control de la Erosión.

En 2019, tras la elaboración a nivel de perfil técnico del proyecto “Construcción de reservorio de agua para el riego de las áreas verdes de la plaza cívica de Año Nuevo, zonal 4, distrito de Comas”, se realizó funciones de elaboración de memoria descriptiva, diseño y cálculos hidráulicos, desarrollo del sistema de riego con hidrantes, equipamiento de estación de bombeo, selección de bombas y accesorios hidráulicos, costos, metrados y presupuesto. Consecuentemente vinculadas al conocimiento de válvulas, sistemas de reservorios, sistema de bombas del curso de mecánica de fluidos; rendimientos de mano de obra y presupuestos del curso de supervisión de obras, conocimiento del Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE), norma técnica de metrados, herramientas y equipos de construcción del curso de técnicas de la construcción.

Entre 2019 y 2020, tras la elaboración a nivel de expediente técnico del proyecto “Instalación - implementación de medidas de prevención para el control de desbordes e inundaciones del río Pisco - provincia de Pisco - departamento de Ica” SNIP N° 184550, se realizó funciones de visitas de campo para conocer la situación actual, apoyo en el levantamiento topográfico, revisión del estudio hidrológico, mejoramiento al estudio de hidráulica fluvial y áreas de inundación, apoyo en los metrados, costos y presupuestos, elaboración de planos. Consecuentemente vinculadas a los principios fundamentales del proceso de erosión hídrica, medición de transporte de sedimentos, control de la erosión hídrica, control de avenidas e inundaciones, diseño de defensas ribereñas del curso de control de la erosión, estaciones pluviométricas, características de las cuencas hidrográficas del curso de hidrología; levantamientos fotogramétricos, levantamientos topográficos planimétricos y altimétricos del curso de topografía II.

1.2. Descripción de los aspectos propios de la puesta en práctica de lo aprendido durante los estudios

Se describe aspectos propios de la puesta en práctica de la carrera profesional en el campo laboral después de haber optado el grado académico de bachiller en proyectos referentes al trabajo monográfico de suficiencia profesional.

En 2018, tras la ejecución de la obra “Instalación del servicio de protección contra inundaciones en el sector del centro poblado de Gorgor ambas márgenes del río Gorgor, progresiva 0+000 a 0+990, distrito de Gorgor, provincia de Cajatambo, Región Lima”, SNIP N° 310279, se puso en práctica lo siguiente:

- Se revisó los documentos correspondientes al expediente técnico: Memoria descriptiva, especificaciones técnicas, planos de ejecución de obra, metrados, análisis de precios unitarios, fórmula polinómica y presupuesto base, encontrándose errores u omisiones de los diseños de los enrocados, estudio topográfico del 2016, empalmes desfasados de secciones diferentes de diques enrocados.
- Se elaboró un cuaderno de obra digital, la cual consistió en anotar a diario en una hoja de Excel, las actividades principales desarrolladas por los trabajadores de la contratista, maquinarias empleadas, materiales utilizados, número de personal, estado del tiempo (temperatura, precipitación, cobertura del cielo), avances y causales de retraso de obra; a fin de comprobar la reciprocidad de lo escrito por el Ingeniero Residente en el cuaderno de obra.
- Se elaboró el panel fotográfico, la cual consistió en elaborar un resumen fotográfico en base a las fotografías tomadas a diario correspondiente a las principales actividades desarrolladas por los trabajadores, procesos constructivos, avance físico de obra, maquinarias empleadas, materiales utilizados, estado del tiempo, entre otros.
- Se registró la asistencia de los trabajadores de obra de manera diaria, a fin de disponer de un adecuado control respecto a las horas de mano de obra calificada y no calificada, la misma que varió por reducción e incorporación de personal.
- Se realizó el control de materiales en cancha, la cual consistió en registrar la cantidad, calidad y fecha de ingreso de los materiales a obra, por lo que se verificó que las características de los mismos cumplan con lo requerido en el expediente técnico.
- Se realizó el control de maquinarias y equipos, la cual consistió en registrar la cantidad, calidad, operatividad y fecha de ingreso de maquinarias y equipos a obra,

por lo que se verificó que las características de los mismos cumplan con lo requerido en el expediente técnico.

- Se realizó el control de los procesos constructivos, la cual consistió en hacer cumplir los procesos constructivos de acuerdo a lo establecido en las especificaciones técnicas del expediente técnico.
- Se realizó el control de la calidad de los trabajos ejecutados, la cual consistió en controlar de forma permanente y directa la calidad de los trabajos durante el proceso constructivo de acuerdo a las especificaciones técnicas y planos de diseño.
- Se realizó el metrado del avance de obra, la cual consistió en cuantificar y calcular la cantidad total de las unidades de medidas de las partidas ejecutadas de acuerdo al avance diario registrado en obra, a fin de realizar un adecuado control y seguimiento de las cantidades requeridas en el expediente técnico.
- Se verificó el rendimiento del personal de obra, la cual consistió en identificar el rendimiento del personal de obra de la contratista con el propósito de reportar al ingeniero supervisor para su evaluación correspondiente, que a su juicio pudiera ordenar el retiro de personal cuya labor vaya en contra de la buena calidad de la obra.
- Se verificó el cumplimiento del cronograma de avance de obra, la cual consistió en verificar y contrastar el avance de obra programado con el avance de obra real ejecutada, en base al metrado registrado diariamente, a fin de realizar un adecuado control y seguimiento de las partidas ejecutadas e identificar retrasos o adelantamientos de las mismas.
- Se verificó el cumplimiento de las medidas de seguridad, la cual consistió en verificar e identificar las medidas de seguridad establecidas en obra con el propósito de reportar al ingeniero supervisor para su evaluación correspondiente a fin de prevenir accidentes de trabajo, evitar riesgos sobre la salud, la contaminación del ambiente y reducir la posibilidad de daño a propiedades y/o terrenos de particulares.
- Se verificó el cumplimiento del plan de manejo ambiental, la cual consistió en verificar el plan de manejo ambiental dispuesto en obra, por lo que se verificó el reciclaje de residuos sólidos y peligrosos, el aislamiento de efluentes líquidos, la señalización de obra, la minimización de emisiones gaseosas, material particulado, ruidos y vibraciones; con la finalidad de no afectar el paisaje y el ambiente en general.
- Se identificó posibles alteraciones o modificaciones, la cual consistió en identificar posibles alteraciones o modificaciones que se pudieran suscitar durante la ejecución

de la obra respecto a lo señalado en planos y/o especificaciones técnicas del expediente técnico.

- Se registró las condiciones climatológicas, la cual consistió en registrar diariamente las condiciones climatológicas (precipitaciones, temperatura, cobertura del cielo) con el propósito de reportar al ingeniero supervisor para su evaluación correspondiente, que a su juicio pudiera ordenar la suspensión de actividades de obra que se crea por conveniente.
- Se realizó el apoyo logístico en reuniones técnicas de manera oportuna entre la supervisión, residencia para coordinar, absolver consultas, subsanar deficiencias y solucionar problemas en base a criterios técnicos convenientes a fin de cumplir lo dispuesto a las metas del expediente técnico.

Entre 2019 y 2020, tras la elaboración a nivel de expediente técnico del proyecto “Instalación - implementación de medidas de prevención para el control de desbordes e inundaciones del río Pisco - provincia de Pisco - departamento de Ica” SNIP N° 184550, se puso en práctica lo siguiente:

- Se diagnosticó la situación actual dentro del área de estudio y del área de influencia, en base a las características físicas: situación actual de la erosión del suelo, vegetación y reforestación, así como la determinación de caudales de aforo, vías de comunicación, condiciones socioeconómicas, inventario infraestructura de defensas ribereñas.
- Se detectó el problema que está definida por la crecida de los ríos que provoca desbordes que afectan la infraestructura hidráulica y áreas de cultivos, debido a la falta de seguridad y protección de las riberas del río; es decir, la falta de medidas de protección y mantenimiento de la cobertura vegetal y control de cárcavas en la parte alta y media de la cuenca, provocando erosión y transporte de sedimentos como consecuencia de las altas precipitaciones dándose las máximas descargas que superan la capacidad de la sección hidráulica del río en la parte baja de la cuenca.
- Se revisó las principales actividades administrativas desarrolladas en el proyecto; específicamente las leyes, reglamentos, políticas y guías relacionadas, Ley de Recursos Hídricos N° 29338 (Artículo 74.- faja marginal, Artículo 75°.- protección del agua, Artículo 119.- programas de control de avenidas, desastres e inundaciones); Reglamento de la Ley de Recursos Hídricos ley N° 29338 (Artículo 118°.- de los

programas de mantenimiento de la faja marginal, Artículo 259°.- obligación de defender las márgenes.

- Se realizó el planteamiento técnico, conformación de dique y enrocado de protección, a fin de dar protección al área del proyecto del valle de pisco ante el riesgo de inundaciones por desborde del río Pisco.
- Se realizó trabajo de campo y gabinete referidos al levantamiento topográfico y fotogramétrico de la zona de estudio, se hizo un cálculo estimado de la logística a utilizar, equipos topográficos, personal de apoyo, movilidad, materiales, etc.
- Se realizó cálculos aproximados de los planes de vuelo necesarios para cartografiar la zona mediante fotogrametría aérea y a su vez la distribución de puntos de apoyo necesarios para georreferenciar el trabajo de fotogrametría aérea.
- Se comprobó las conexiones de los accesos a la zona de estudio y la comunicación entre estos, se posicionaron las bases GPS, puntos de apoyo, puntos de poligonal para el levantamiento de la zona del proyecto.
- Se identificó las zonas más erodibles en base al mapa de erosión preparado por ANA que toma en cuenta la geología, pendiente de laderas y precipitaciones. la profundidad de erosión depende de la pendiente de laderas, y en este sentido el mapa de erosión y el mapa de pendientes fueron congruentes. así, se deduce que las zonas erodibles según el mapa de erosión son donde se produce con mayor frecuencia la erosión dentro de la correspondiente cuenca.
- Se realizó el tratamiento de la información pluviométrica, delimitación de la subcuenca vertiente al punto de interés, selección de las estaciones pluviométricas, se escogieron los períodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50 y 100 años., ajuste de máximos, para la obtención de la precipitación máxima en 24 horas para los períodos de retorno de estudio, obtención de los mapas de isoyetas mediante el *software* Arcgis, a partir de los cuales se estimaron las precipitaciones máximas de 24 h en las subcuencas del río pisco.

II. INTRODUCCIÓN

El Consorcio de Ingeniería Valles Vulnerables (CIVV), ha venido elaborando los estudios definitivos de ingeniería del proyecto “Instalación - implementación de medidas de prevención para el control de desbordes e Inundaciones del río Pisco - Provincia Pisco - Departamento de Ica” cuya entidad contratante y supervisora es el Programa Subsectorial de Irrigaciones (PSI).

De los mencionados estudios definitivos, se cuentan con algunos culminados, otros por culminar y/o mejorar, y por elaborar; en algunos casos se requieren replantear casi en su totalidad.

El estudio de hidráulica fluvial y área de Inundación, que forma parte del proyecto “Instalación - implementación de medidas de prevención para el control de desbordes e Inundaciones del río Pisco - Provincia Pisco - Departamento de Ica”, es uno de los estudios identificados como pendiente de culminar y mejorar, consecuentemente no fue aprobado por el PSI.

Actualmente, a solicitud del PSI, se ha realizado la presente revisión, evaluación y mejoras al Estudio Básico de Hidráulica Fluvial y Áreas de inundación, a fin de culminarlo como estudio definitivo.

III. OBJETIVOS

3.1. Objetivo principal

Mejorar el estudio de hidráulica fluvial, según los resultados del estudio hidrológico, simulaciones hidráulicas y la verificación de los cálculos de la socavación en seis tramos del río Pisco - Ica.

3.2. Objetivos específicos

- Verificar y mejorar el estudio de hidráulica fluvial en seis tramos del río Pisco - Ica, a fin de obtener parámetros de diseño de los diques de protección.
- Simular seis tramos del río Pisco con uso del *software* Iber, a fin de identificar sectores vulnerables de inundación.
- Verificar los cálculos de socavación en seis tramos del río Pisco - Ica.
- Verificar, la condición del borde libre para un periodo de retorno de 50 años (T50) en seis tramos del río Pisco - Ica.

IV. DESARROLLO DEL TRABAJO

4.1. Revisión bibliográfica

4.1.1. TIN

Las TIN son una forma de datos geográficos digitales basados en vectores y se construyen mediante la triangulación de un conjunto de vértices (puntos). Los vértices están conectados con una serie de aristas para formar una red de triángulos. Existen diversos métodos de interpolación para formar estos triángulos, como la triangulación de Delaunay o el orden de distancias. ArcGIS es compatible con el método de triangulación de Delaunay (ArcGIS Desktop, s.f.).

La triangulación resultante cumplió el criterio de triángulo de Delaunay, que afirma que la circunferencia circunscrita de cada triángulo de la red no debe contener ningún vértice de otro triángulo. Si se cumple el criterio de Delaunay en todo el TIN, se maximizará el ángulo interior mínimo de todos los triángulos. El resultado es que los triángulos finos y largos se evitan en lo posible. Las aristas de los TIN forman facetas triangulares contiguas y no superpuestas que se pueden utilizar para capturar la posición de entidades lineales que juegan un papel importante en una superficie, como cadenas montañosas o arroyos. En la Figura 14 se pueden ver los nodos y aristas de un TIN y los nodos, bordes y caras de un TIN (ArcGIS Desktop, s.f.).

4.1.2. IBER

El modelo de libre distribución Iber corresponde a un modelo matemático bidimensional para la simulación de flujos en lámina libre y procesos de transporte en ríos y estuarios.

Los modelos hidráulicos bidimensionales constituyen una potente herramienta para el estudio hidrodinámico de ríos y sus llanuras de inundación. Cuando incorporan módulos de transporte de sedimentos, pueden emplearse para simular los procesos erosivos y de sedimentación que se dan en el cauce, y por tanto para modelar sus cambios morfológicos. (Nácher , y otros, 2017)

Un modelo bidimensional ofrece grandes ventajas respecto a los cálculos con modelos unidimensionales, ya sean en régimen variable o en régimen permanente, dando una mayor estabilidad y convergencia que los anteriores. Además de esto, los modelos bidimensionales son capaces de simular con mayor ajuste a la realidad todas aquellas situaciones en que el flujo no es exclusivamente unidireccional (Blog del Agua, s.f.).

El «Manual de Referencia Hidráulico IBER» establece que IBER en su módulo hidrodinámico resuelve las ecuaciones del flujo en lámina libre para aguas poco profundas. Además de esto, tanto en el módulo hidrodinámico como en el de turbulencia y el de sedimentos, se resuelven las ecuaciones en forma integral por el método de volúmenes finitos en una malla no-estructurada, con todas las ventajas que ello conlleva.

a. Modelo de transporte sólido no-estacionario

El módulo de transporte sólido resuelve las ecuaciones de transporte de sedimentos no-cohesivos en régimen no estacionario. Se resuelven tanto las ecuaciones de transporte de fondo como las ecuaciones de transporte en suspensión, modelándose el acoplamiento entre la carga de fondo y la carga en suspensión (IBER, 2015).

“El módulo de transporte de sedimentos utiliza el campo de velocidades, calados y de turbulencia proporcionado por el módulo hidrodinámico y de turbulencia” (IBER, 2015), conforme a la Figura 1 que muestra el esquema que integra el módulo de cálculo.

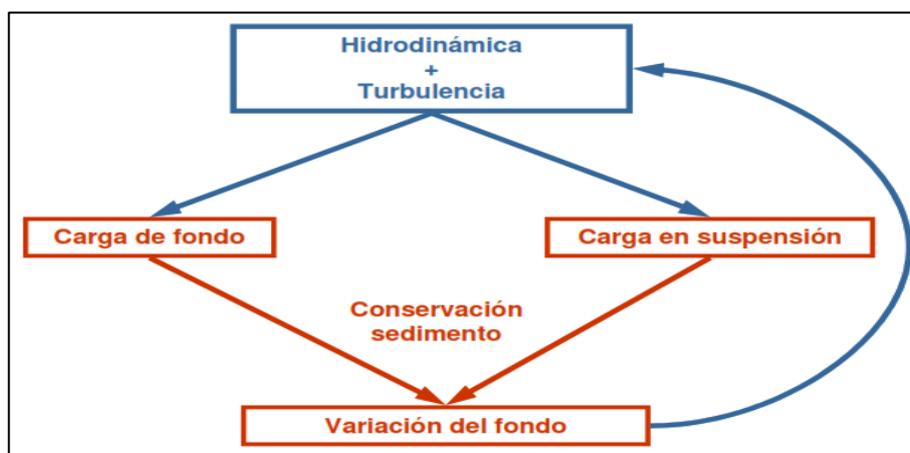


Figura 1: Esquema del módulo de transporte sólido no-estacionario

FUENTE: IBER, 2015.

b. Modelo hidrodinámico

Se menciona en (Nácher , y otros, 2017) que el módulo hidrodinámico de Iber resuelve las ecuaciones de St. Venant en 2 dimensiones, incorporando los efectos de la turbulencia y rozamiento superficial por viento.

Todas las funciones y parámetros que aparecen en las ecuaciones hidrodinámicas (incluyendo el coeficiente de Manning y la velocidad del viento) pueden imponerse de forma variable tanto espacial como temporalmente; la viscosidad turbulenta se calcula mediante modelos de turbulencia específicos para las ecuaciones de aguas someras promediadas en profundidad. Iber incluye 3 modelos de turbulencia promediados en profundidad los cuales son: el modelo parabólico, un modelo de longitud de mezcla y el modelo $k - \varepsilon$ de Rastogi y Rodi (Nácher , y otros, 2017).

El dominio computacional distingue entre contorno cerrado (tipo pared) y contornos abiertos por los cuales entra y sale el agua del dominio de cálculo, así mismo se puede considerar elementos de condición interna como estructuras tipo puentes, alcantarillas, sumideros o fuentes de caudal (Nácher , y otros, 2017).

c. Sedimentos de fondo

La variación de la cota del fondo se calculó mediante la ecuación de conservación del sedimento de Exner (IBER, 2015).

La tensión de fondo total en el lecho del río está generada tanto por la rugosidad del grano del sedimento (la cual es proporcional al diámetro del sedimento) como por las formas de fondo (rizos, dunas o antidunas). Únicamente la tensión por grano contribuye al movimiento de sedimentos o carga de fondo. Por lo tanto, previamente al cálculo del caudal sólido de fondo es necesario estimar la tensión de fondo debida al grano (IBER, 2015).

d. Sedimentos en suspensión

El módulo de transporte de sedimentos en suspensión utiliza el campo de velocidades, calados y de turbulencia proporcionado por el módulo hidrodinámico y de turbulencia (IBER, 2015).

e. Cálculo del término de resuspensión / deposición (E-D)

Iber en su versión 2.4.3 implementa las siguientes formulaciones para el cálculo del término de resuspensión/deposición: Van Rijn (1987), Smith (1977) y Ariathurai y Arulanandan (1978). Las dos primeras son válidas para lechos de arena, mientras que la de Ariathurai es válida para lechos cohesivos. Las 3 formulaciones están especialmente recomendadas en el último Manual de Transporte de Sedimentos del ASCE (IBER, 2015).

Cabe mencionar que la versión 2.4.3 del IBER únicamente considera un solo diámetro característico para todo el dominio computacional, lo que en realidad no corresponde, debido a la existencia de diferentes granulometrías aguas abajo y en los márgenes de inundación, razón por lo cual el modelamiento queda como una aproximación más al conocimiento del fenómeno del proceso erosión/sedimentación.

4.1.3. Discretización

Las ecuaciones de aguas someras y las del modelo k- ϵ se resuelven mediante el método de volúmenes finitos para mallas bidimensionales no estructuradas. Los esquemas numéricos utilizados en Iber son especialmente apropiados para la modelización de cambios de régimen y de frentes seco-mojado (Bladé , y otros, 2014).

La discretización del dominio espacial se realiza con volúmenes finitos en mallas no estructuradas, admitiéndose estas mixtas formadas por elementos triangulares y cuadrangulares. El flujo convectivo se discretiza mediante esquemas descentrados de tipo Godunov, concretamente el esquema descentrado de Roe, así como su extensión a orden2 con el limitador dependiente para evitar oscilaciones en regiones con máximos o mínimos locales. El término que incluye la pendiente del fondo se discretiza de forma descentrada con el fin de evitar oscilaciones espurias de la lámina libre cuando se trabaja con terrenos complejos. El resto de términos fuente, incluidos los de difusión turbulenta, se discretiza con un esquema centrado (Bladé , y otros, 2014).

4.1.4. Sinuosidad del cauce

Cabe mencionar que (ROSGEN, 1996) señaló que existen diferentes tipos de cauce en función de su morfología, concretamente, según su sinuosidad. El índice de sinuosidad es

aquél que se calcula sobre la fotografía aérea, siendo la división de la longitud del eje central del cauce entre la longitud en línea recta entre los puntos de inicio y fin del tramo objeto de estudio. Existen los siguientes tipos de cauce en función de su morfología:

- Recto: cauce único con índice de sinuosidad inferior a 1,1.
- Sinuoso: cauce único con índice de sinuosidad entre 1,1 y 1,3.
- Meandriforme: cauce único con índice de sinuosidad superior a 1,3.
- Divagante: con sinuosidades o meandros pero abundante material grueso en barras y alguna subdivisión del cauce.
- Trenzado: de gravas, con división en subcauces móviles que se entrecruzan.
- Anastomosado: de alta montaña en nuestra latitud, con sinuosidades e islas fijas.
- Rambla: con un cauce seco de caracteres próximos al trenzado pero característico de zonas áridas.

Para conocer el tipo de cauce fluvial correspondiente a la masa de agua, una vez calculado el índice de sinuosidad, se calculó seguidamente la pendiente longitudinal del tramo que se determinó de longitud total de la masa de agua o del tramo de estudio y la diferencia de cota existente entre los puntos aguas arriba y aguas abajo de éstos.

Tras disponer de la pendiente longitudinal, en el caso de cauces no alterados, se pudo identificar el tipo de cauce fluvial que le corresponde a partir de la clasificación de Rosgen (1996):

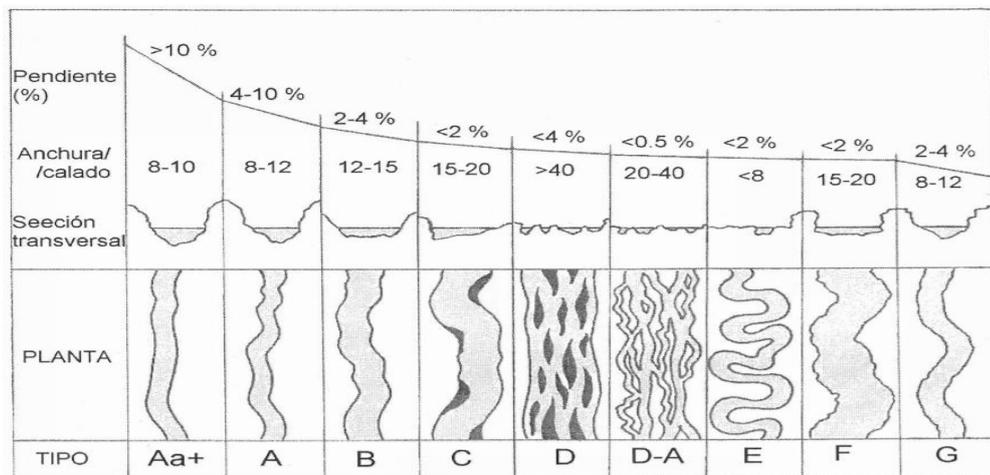


Figura 2: Tipos morfológicos de ríos

FUENTE: ROSGEN, 1996.

4.1.5. Ancho estable

- Método de Pettits

La expresión de este método está dada por:

$$B = 4.44 * Q^{0.5}$$

Donde:

B = Ancho Superficial (m)

Q = Caudal (m³/seg)

Método de Simons y Henderson

Está basado en la teoría de régimen estable y está en función del caudal de diseño y de las condiciones de fondo del río (Tomás).

La expresión de este método está dada por:

$$B = K * Q^{1/2}$$

Donde:

B = Ancho estable (m)

K = Condiciones de fondo de río (2.9 Para fondo y orillas del cauce de grava).

- Método de Blench y Altunin

Está basado en la teoría de régimen estable y en función del caudal de diseño, factor de fondo (Fb) y en el factor de orilla (Fs). Fb y Fs, tienen en cuenta la concentración del material transportado en suspensión, el diámetro de las partículas de fondo y la resistencia de las orillas a ser erosionada (Tomás).

La expresión de este método está dada por:

$$B = 1.81 * (QFb/Fs)^{1/2}$$

Donde:

B = Ancho estable (m)

Q = Caudal de diseño (m³/s)

Fb = Factor de fondo (1,20 para material grueso)

Fs = Factor de orilla (0,10 para material suelto - arenoso)

- Método de Manning y Strickler

Este método incluye como parámetros de cálculo al coeficiente de rugosidad (n), tipo de material (k) y de cauce (m), tomando valores de 0.035, 16 y 0.50 respectivamente.

La expresión de este método está dada por:

$$B = (Q^{1/2}/S^{1/5})(nK^{5/3})^{3/(3+5m)}$$

4.1.6. Socavación general

En general la socavación de los cauces de los ríos se manifiesta en dos formas denominadas socavación general y socavación local.

La socavación general es el resultado directo del intercambio entre los sólidos de los contornos del cauce y los transportados por la corriente, tanto en forma de arrastres de fondo como los que flotan suspendidos en el agua.

La socavación local se presenta como la consecuencia de las alteraciones locales del régimen hidráulico del flujo, debido a la presencia de los obstáculos naturales, por ejemplo, los troncos y árboles atrapados, y artificiales, así como son diversas obras hidráulicas y de otra índole, así como son los pilares de los puentes, en ensanchamientos o estrechamientos bruscos, en las orillas de curvas pronunciadas del cauce del río, etc.

- Fórmula de Lacey

La fórmula de Lacey para la evaluación del tirante promedio del flujo de agua en el cauce socavado (incrementado por 10%), dispone de la siguiente forma:

$$h_{ms} = 1.4859 \left(\frac{q^2}{f} \right)^{1/3}$$

$$f = 1.76 \sqrt{d_m}$$

h_{ms} (m): Tirante promedio de agua para el flujo en el cauce socavado;

q (m³/s/m): Caudal unitario de la corriente;

$$q = \frac{Q_m}{B}$$

Q_m (m³/s): Caudal del flujo en el cauce menor (o principal) de la corriente;

B (m): Ancho del espejo de agua del cauce menor (o principal) de la corriente;
 f: Factor granulométrico de sólidos de fondo del cauce menor de la corriente; y
 d_m (mm): Diámetro promedio de sólidos de fondo del cauce menor de la corriente.

- Fórmula de Blench

La fórmula de Blanch para la evaluación del tirante promedio del flujo de agua en el cauce socavado (incrementado por 10%), de acuerdo con el tamaño de los sólidos de fondo de la corriente dispone de las siguientes dos (02) formas:

Para la arena de tamaño

$$0.06 < d_{50} (mm) \leq 2.00$$

$$h_{ms} = 1.3200 \frac{q^{2/3}}{(d_{50})^{1/6}}$$

Para la grava de tamaño

$$d_{50} > 2.00mm$$

$$h_{ms} = 1.3530 \frac{q^{2/3}}{(d_{50})^{1/12}}$$

$$q = \frac{Q_m}{B}$$

d_{50} (mm): Diámetro de sólidos de fondo del cauce menor de la corriente que participa con 50% del peso.

Los significados de los demás símbolos utilizados en la fórmula son idénticos a los indicados para la ecuación de Lacey.

- Fórmula de Laursen

La fórmula de Laursen para la evaluación del tirante promedio del flujo de agua en el cauce socavado, dispone de la siguiente forma:

$$h_{ms} = \left(2.50 \frac{q^2}{(d_m)^{2/3}} \right)^{3/7}$$

Los significados de los símbolos utilizados en la fórmula son idénticos a los indicados para las ecuaciones que han antecedido.

- **Fórmula de Lischtvan-Lebediev**

La fórmula de Lischtvan-Lebediev para la evaluación del tirante promedio del flujo de agua en el cauce socavado, dispone de la siguiente forma:

$$\frac{\alpha(h_m)^{5/3}}{h_{ms}} = 0.68\beta(D_m)^{0.28}(h_{ms})^x$$

α : Coeficiente a evaluarse conforme con la siguiente ecuación:

$$\alpha = \frac{Qm}{h_m^{5/3} * B * \mu}$$

β : Coeficiente dependiente del periodo de retorno del caudal de diseño (T), para el caso de T=50 años, asciende a 0.97;

μ : Coeficiente de contracción

x : Coeficiente dependiente del diámetro promedio (Dm) de sólidos en el fondo del cauce principal de la corriente y que para los sólidos de diámetro promedio varía según la tabla determinada por los investigadores. Para 37 mm y 45 mm se tiene 0.30 y para 69 mm y 73 mm, 0.29, de acuerdo a los diámetros del material de fondo promedio para cada tramo.

- **Profundidad efectiva de la socavación general del cauce principal**

Considerándose el tirante de agua para el flujo en el cauce con contornos fijos (h_m) la profundidad promedio de la socavación general se puede expresar mediante la siguiente fórmula:

$$S = h_{ms} - h_m$$

S: (m) Socavación general promedia del cauce del río;

h_m : (m) Tirante de agua para el cauce no socavado; y

h_{ms} : (m) Tirante de agua para el cauce socavado.

Los parámetros hidráulicos del río Pisco, necesarios para la evaluación de la socavación de su cauce principal fueron establecidos conforme con las simulaciones de flujo del caudal de diseño de 800 m³/s mediante el programa bidimensional IBER.

En la Tabla 17 se presentaron los cálculos efectuados con los diferentes métodos, los valores de las cotas de agua obtenidas en las diferentes secciones, los promedios de los tirantes, velocidades y socavación.

Considerando los resultados obtenidos de la socavación y teniendo en consideración que Blench efectuó mayores investigaciones con cauces de material granular y que se obtienen resultados más conservadores, es que se adopta para los diseños valores que aseguren la estabilidad de las uñas de las protecciones en los diferentes tramos.

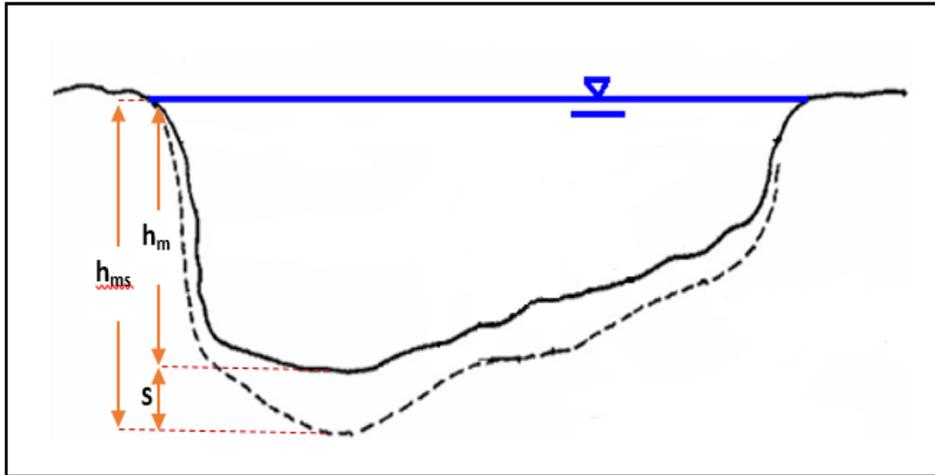


Figura 3: Sección transversal de Socavación

4.2. Contribución a la solución de situaciones problemáticas

Ante el problema principal de no haber sido aprobado el estudio de hidráulica fluvial y área de inundación por el PSI, se realizaron diversas acciones pertinentes como parte de la contribución para la mejora del citado estudio.

De la visita a campo del año 2019

- Se realizó coordinaciones permanentes con los beneficiarios del proyecto
- Se inspeccionó la situación actual de los tramos de estudio

Del estudio de factibilidad (código SNIP N° 184550) del año 2014

- Se revisó el análisis de inundación.
- Se revisó el plan de control de inundaciones.

Del expediente técnico no aprobado por el PSI del año 2018

- Se evaluó el estudio de hidráulica fluvial y área de Inundación.
- Se verificó los resultados de las simulaciones hidráulicas.

- Se verificó los cálculos de la socavación y transporte de sedimentos.
- Se efectuó la evaluación hidráulica (tirantes máximos, velocidades, niveles de agua) y morfológica (erosión y sedimentación) de seis tramos del río Pisco.

De los estudios a nivel de expediente técnico aprobado por el PSI del año 2019

- Revisión del estudio de topografía
- Revisión de los resultados del estudio hidrológico.

4.2.1. Reconocimiento *in situ* de la zona del proyecto

Tras la visita de campo del 2019, se realizó coordinaciones permanentes con representantes de la Autoridad Local de Agua (ALA), representantes del PSI, Junta de Usuarios de Pisco y los beneficiarios directos del proyecto para atender las problemáticas de las condiciones actuales de la zona del proyecto (ver Figura 4).



Figura 4: Participación en reuniones en Pisco

Tras la problemática de no contar con información actualizada de la zona del proyecto, se realizó el reconocimiento general de la zona del proyecto, la misma que se encuentra ubicada al sur de la capital del Perú en la región de Ica, concretamente en la provincia de Pisco, cuyo acceso desde la ciudad de Lima es a través de la carretera Panamericana Sur hasta el distrito de San Clemente (provincia de Pisco) y desvío de Huaytará (provincia de Huancavelica), el acceso hacia el tramo Pi-02 (PK 6+500 al 7+900) del proyecto se especifica en la Tabla 1.

Tabla 1: Acceso al proyecto

Tramo	Distancia	Tiempo	Tipo de vía
Lima – Pisco	215 km	3h 30 min	Asfaltada - Panamericana Sur
Pisco – Pi-01	1,7 km	10 min	Asfaltada / trocha
Pisco – Pi-02	0,5 km	5 min	Asfaltada / trocha
Pisco – Pi-03	7,6 km	20 min	Asfaltada / trocha
Pisco – Pi-04	15 km	30 min	Asfaltada / trocha
Pisco – Pi-05	21,5 km	30 min	Asfaltada / trocha
Pisco – Pi-06	30 km	45 min	Asfaltada / trocha

FUENTE: Estudio de Factibilidad, 2018.

Geográficamente la zona del proyecto se ubica dentro de las coordenadas UTM, cuyo Datum WGS84 es, Norte: 8548206 N - 8559330 N, Este: 348021 E - 369920 E, Altitud: 5 msnm - 347 msnm.

Políticamente se encuentra ubicada en la región de Ica, provincia de Pisco, en los distritos de Pisco, San Clemente, Túpac Amaru Inca, Humay e Independencia, conforme a la Figura 5.

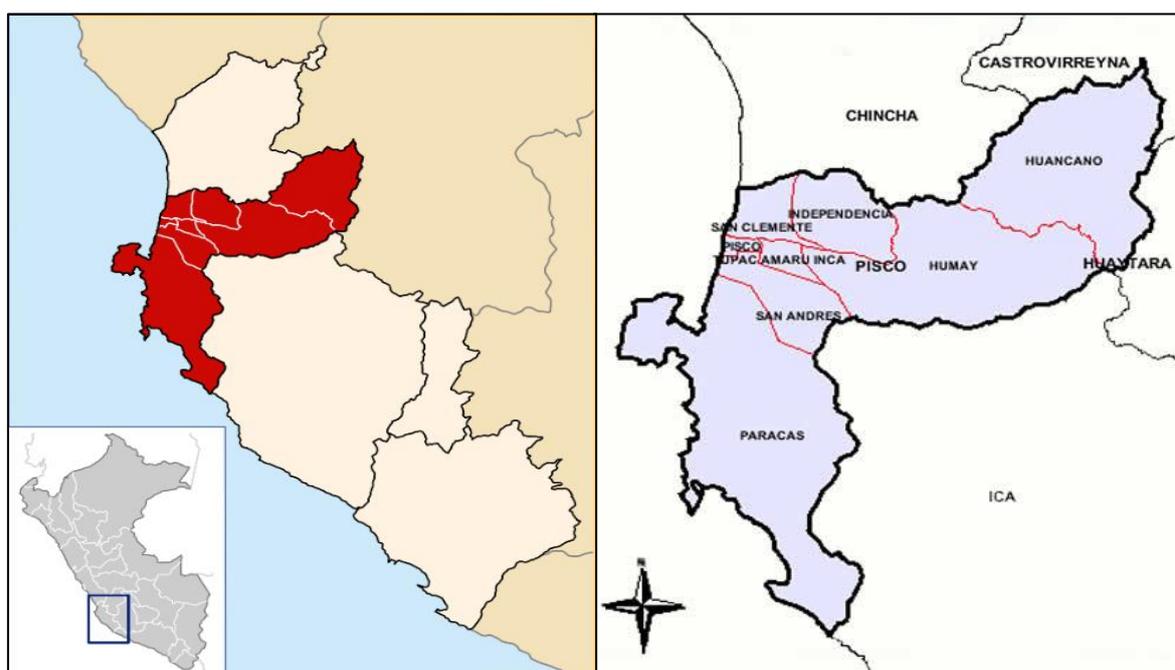


Figura 5: Ubicación provincial de Pisco

En general el tramo Pi-01 (PK 2+900 al 4+900) se encuentra ubicada entre los distritos de Pisco y San Clemente, el tramo Pi-02 (PK 6+500 al 7+900) se encuentra en los distritos de San Clemente y Tupac Amaru Inca, tramo Pi-03 (PK 12+400 al 13+900) se encuentra en el distrito de Tupac Amaru Inca, tramo Pi-04 (PK 19+500 al 20+500) se encuentra en los distritos de Independencia y Humay, tramo Pi-05 (PK 25+900 al 26+700) se encuentra en los distritos de Independencia y Humay y el tramo Pi-06 (PK 34+500 a 36+400) se encuentra en el distrito de Humay conforme a la *Figura 6* y *Figura 7*.



Figura 6: Ubicación general



Figura 7: Ubicación del tramo Pi-02 (PK 6+500 al 7+900)

4.2.2. Inspección de la situación actual de la zona del proyecto

Tras la problemática de no contar con información actualizada de la zona del proyecto, se inspeccionó y verificó las condiciones actuales del tramo Pi-02 (PK 6+500 al 7+900) del proyecto *in situ*.

Para llegar a la Margen derecha del tramo Pi-02 el recorrido se realizó desde el cruce de la Antigua Panamericana Sur y la vía Los Libertadores (Distrito de San Clemente) hacia el Sur 0.35km por la carretera asfaltada Antigua Panamericana Sur hasta el extremo Norte del Puente Huamaní; y hacia el Este 0.50 km a través de un camino provisional proyectado.

Para llegar a la Margen Izquierda del tramo Pi-02 el recorrido se realizó desde el cruce de la Antigua Panamericana Sur y la vía Los Libertadores (Distrito de San Clemente) hacia el Sur 0.92 km por la carretera asfaltada Antigua Panamericana Sur pasando el extremo Sur del Puente Huamaní; y hacia el Este 0.40 km por el camino existente afirmado.

Conforme a la inspección del tramo Pi-02 (PK 6+500 al 7+900), en la margen derecha se identificó, la bocatoma Caucato y la existencia de dique enrocado aguas abajo del puente Huamaní. En la margen izquierda se identificó la existencia de un pequeño canal de drenaje de riego que desagua hacia el cauce del río.

Se localizó como se ve en la *Figura 8* y se constató las dimensiones del puente Huamaní la cual mide 31.5 m de largo, 9 m de ancho y 8 m de altura de vano.



Figura 8: Inspección en el tramo Pi-02

Se detectó que el puente Huamaní se encuentra afectado a consecuencia de la extracción excesiva de materiales dentro de su cauce, razón por la cual no es recomendable sacar más material de préstamo, puesto que los dos primeros pilares del lado sur del puente están muy socavados por lo que parte de sus cimientos se encuentran expuestos, debiendo estar empotrados en el lecho del río.

Se identificó la existencia de estructuras de defensa ribereña aguas arriba y aguas abajo del puente Huamaní, altamente dañadas con respecto a su revestimiento de losa de concreto, y cuya función ya no es cumplida, por lo tanto, los restos de las estructuras ponen en peligro los espacios afines.

Se constató en la margen izquierda 13 paños (8 metros cada una) del dique de protección colapsadas producto del Fenómeno del Niño Costero, en los cuales se observó vegetación entre las juntas de dilatación de los paños.

Se identificó que la bocatoma Caucato construida de concreto armado se encuentra colgada, como consecuencia de la sobreexplotación por la extracción de materiales del cauce en este tramo, razón por la cual tiene un canal aductor de más de un km de longitud para captar.

4.2.3. Revisión y análisis de inundación del estudio de factibilidad

De acuerdo a la revisión de la información existente del estudio de factibilidad se verificó que se cuenta con un análisis preliminar de los análisis de inundación para periodos de retorno de 5, 10, 25 y 50 años; que se plantearon alternativas para el control de inundaciones y que a partir de esos análisis se desarrollaron medidas de control. Los planos que resultaron de estos análisis se aprecian en las *Figura 10* y *Figura 11*.

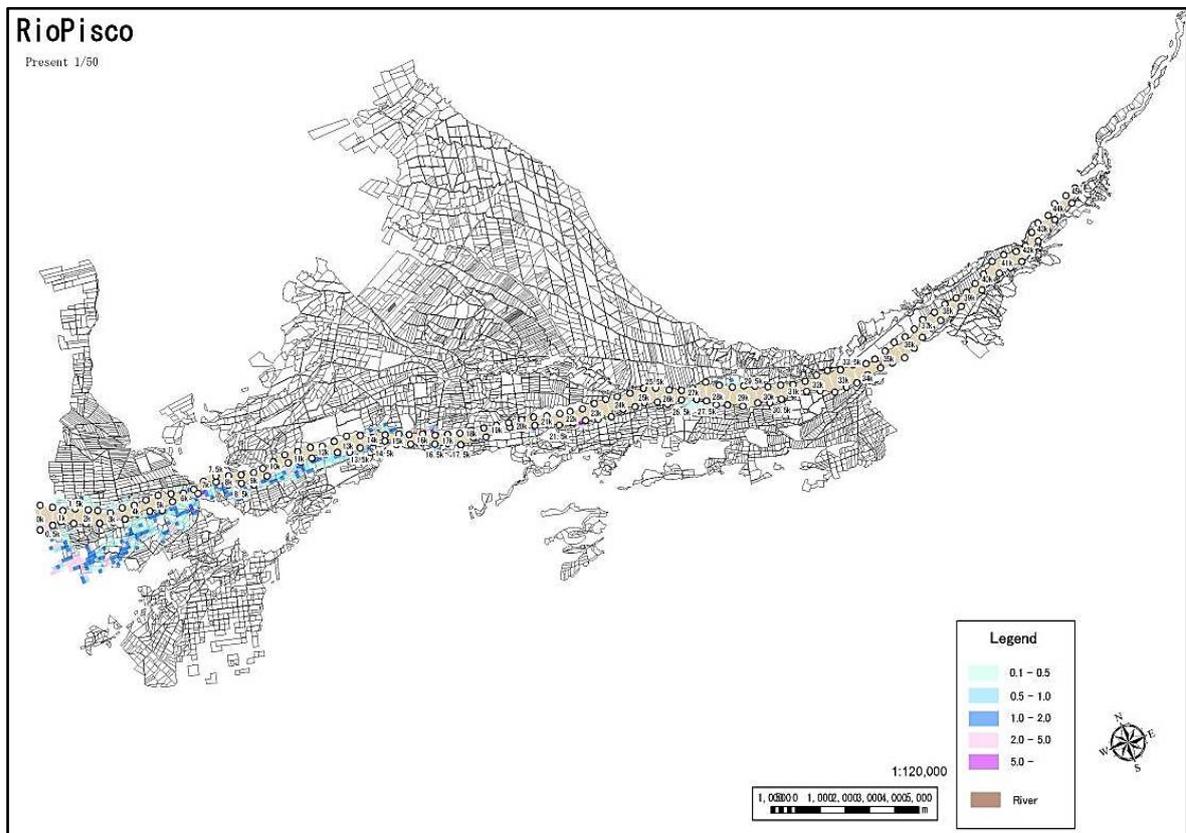


Figura 9: Situación actual del cauce - Tr 50 años

FUENTE: Estudio de factibilidad

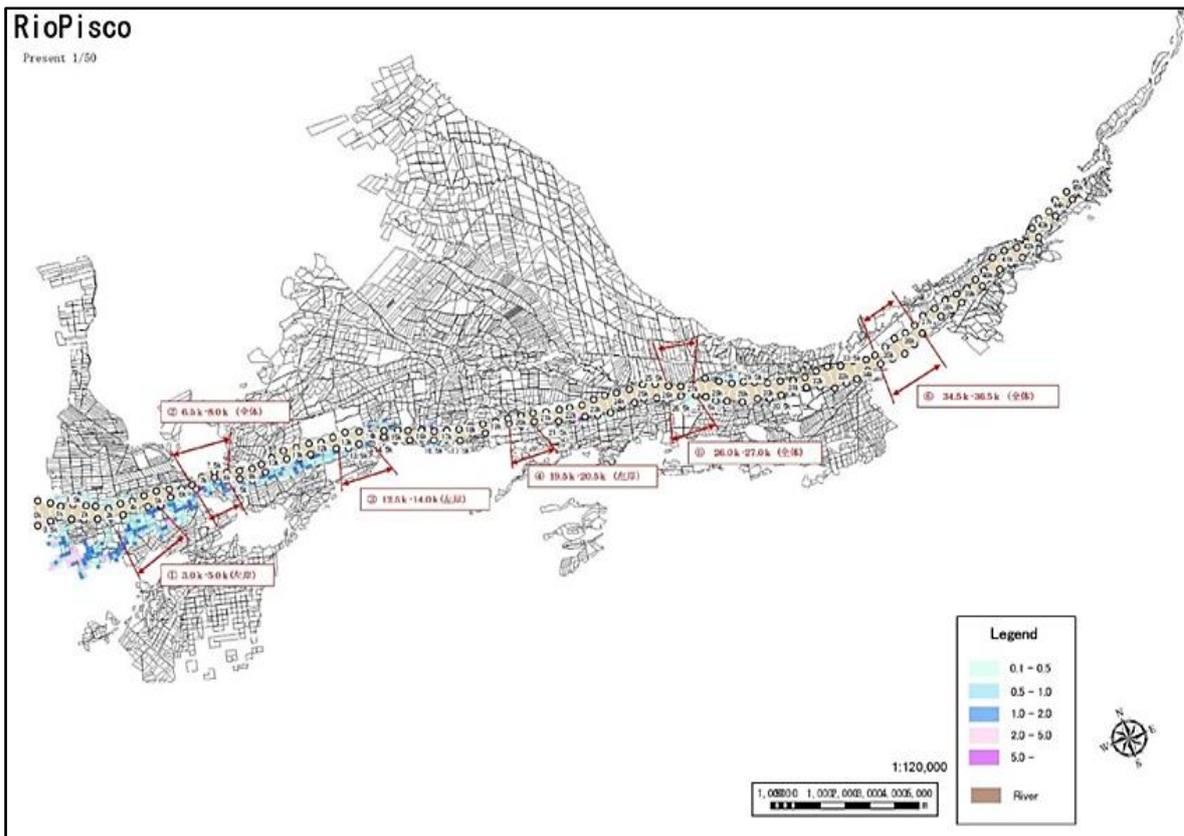


Figura 10: Medidas de control para inundaciones – Tr 50 años

FUENTE: Estudio de factibilidad

4.2.4. Revisión y análisis del estudio de hidráulica fluvial y área de inundación no aprobado por PSI

De acuerdo a la revisión de la información existente del estudio de hidráulica fluvial y área de inundación no aprobado por PSI se identificaron las problemáticas específicas de las simulaciones en el tramo Pi-02.

Se identificó que la información de las simulaciones presentó una corrida en HEC-RAS 1D en todos los tramos, lo cual no es recomendado para evaluar las llanuras de inundación.

Se identificó que los sectores sólo fueron discretizados en uno o dos sectores, sin incluir los sectores donde se encontraban estructuras u otros elementos que permitirían tener una definición mayor para el coeficiente de Manning y las simulaciones (ver *Figura 11*).

Se identificó que los modelamientos presentaban un tamaño de malla único, sin presentar alguna variación entre el cauce de los demás modelamientos, lo cual es recomendado para el modelamiento de este tipo de simulaciones (ver *Figura 12*).

Se identificó que las simulaciones fueron realizadas con un valor permanente, sin embargo cabe indicar que el análisis en 2D (ver *Figura 13*) corresponde a un flujo gradualmente variado que incluso en la simulación 1D se debe incluir con un hidrograma.

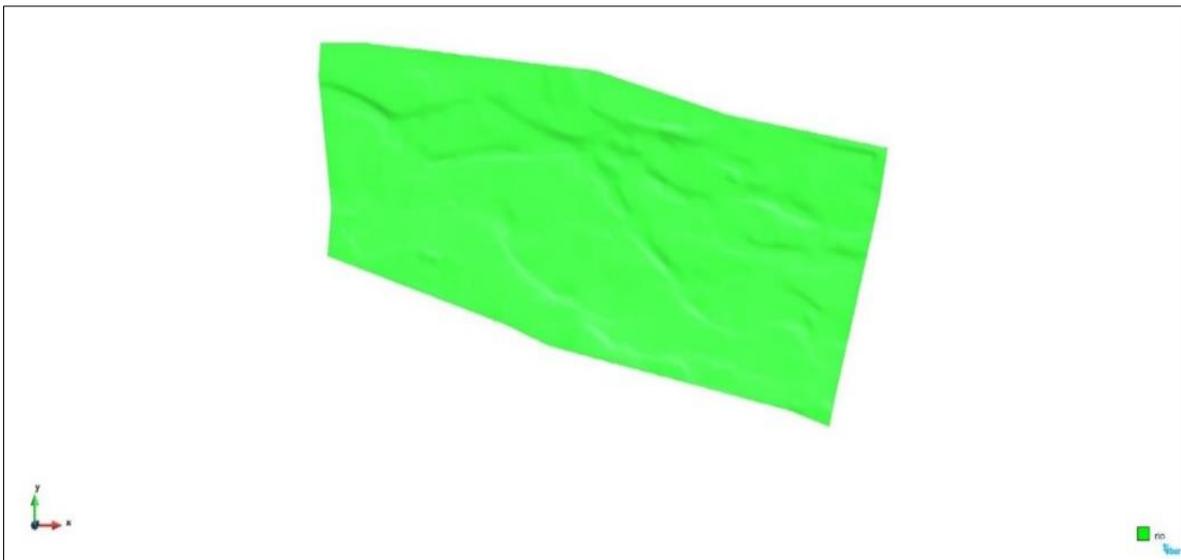


Figura 11: Discretización del coeficiente de Manning en las simulaciones

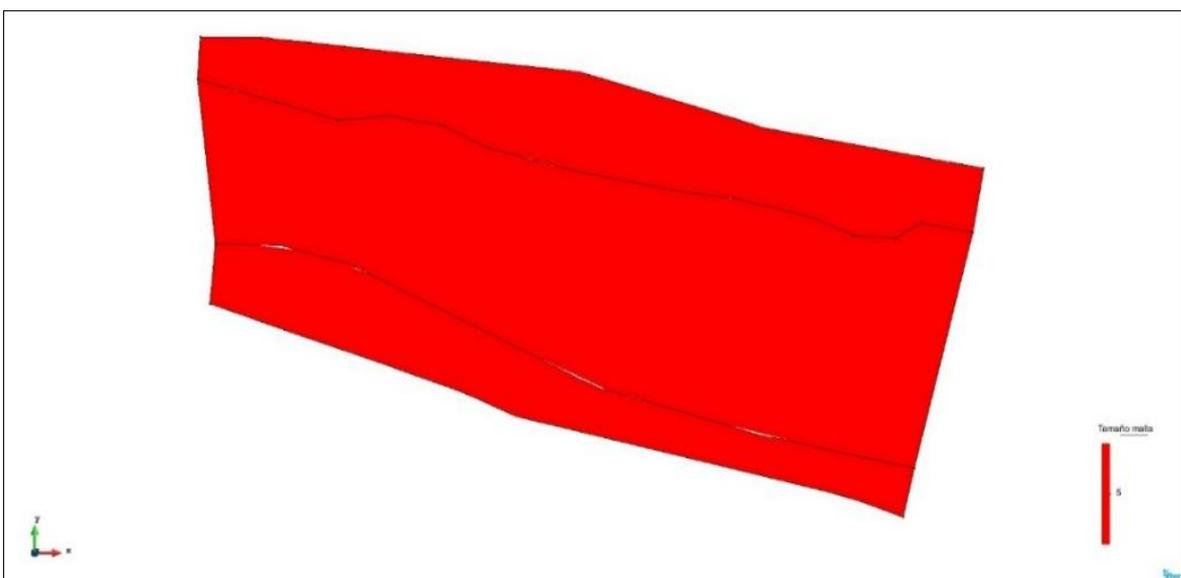


Figura 12: Tamaño de la malla

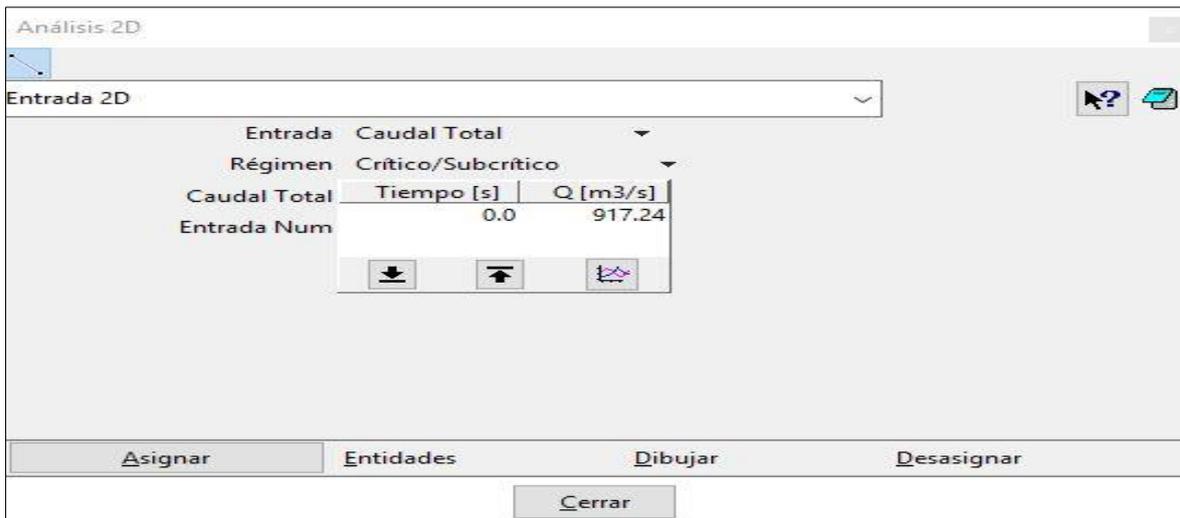


Figura 13: Inclusión de los datos de entrada

4.2.5. Desarrollo a partir del estudio topográfico aprobado por PSI

De acuerdo a la revisión de la información existente del estudio topográfico aprobado por PSI se realizó el procesamiento de la información digital, se utilizó las redes irregulares de triángulos (TIN), que permiten representar la morfología de la superficie. La información topográfica fue representada mediante vértices conectados y ha sido procesada en ARCGIS con el fin de convertirla a formato ASCII.

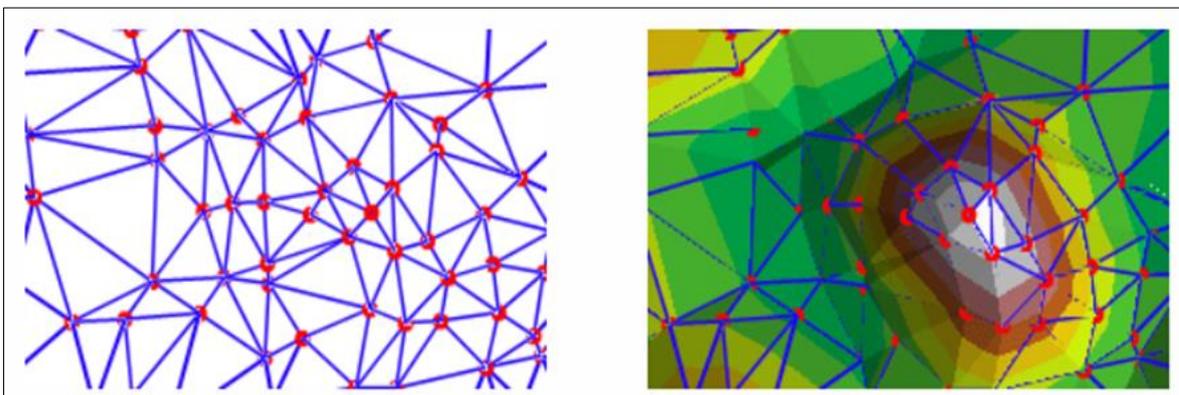


Figura 14: Modelo TIN de terreno

4.2.6. Revisión del estudio hidrológico aprobado por PSI

- Pluviometría

Entre el estudio de Factibilidad y Definitivo se han utilizado registros de precipitación máxima anual de 13 estaciones pluviométricas ubicadas en la cuenca del Río Pisco y cuencas

aledañas, nueve de ellas en la cuenca alta a altitudes superiores a los 3000 m.s.n.m., una en la cuenca media en la altitud de 2174 m.s.n.m. y tres de ellas en la cuenca baja a altitudes desde los 1000 m.s.n.m., hacia abajo. De estas estaciones nueve fueron usadas en común en ambos estudios, tres solo en la Factibilidad y una en el Definitivo, es decir que la Factibilidad utilizó registros de 12 estaciones y el Definitivo de 10 estaciones.

La Tabla 2 presenta la relación de las 13 estaciones indicándose los periodos de registros usados y el número de años resultantes para cada caso. Debe tenerse en cuenta que los periodos indican el año inicial y año final de los registros y que solo en muy pocos casos los periodos fueron continuos y completos ya que en la mayoría de estos hay discontinuidad en ellos.

También se indica los años promedio de registros que para la factibilidad son de 32.6 años y para el Definitivo de 25.3 años.

Tabla 2: Registro de años promedio de registros

Estación	Altitud Msnm	Factibilidad Periodo	Años	Definitivo Periodos	Años
Acnococha	4650	1970-1989	20	1970-1981	12
Choclococha	4550	1975-2010	36	1986-2015	30
Cocas	3246	1964-1981	18	1963-1978	16
Cusicancha	3550	1966-2010	45	1966-2017	52
Pariona	4240	1971-1981	11	1971-1981	11
Tambo	3080	1965-2010	46	1980-2015	36
Ticrapo	2174	1964-1989	26	1969-1984	16
Tотора	3900	1966-1988	23	1978-1987	10
Tunel cero	4425	1971-2010	40	1996-2015	20
Castrovirreyna	3956	1967-2009	43		
Bernales	250	1972-2010	39		
Huamani	800	1967-2010	44		
Huancano	1006			1965-2014	50
Promedio			32.6		25.3

FUENTE: Elaboración propia (Tomando información de los estudios Factibilidad y Definitivo)

La Tabla 3 presenta los resultados obtenidos para las máximas precipitaciones en 24 horas en distintos periodos de retorno Pr en años, que a través del método de Thiessen se calcularon los valores de las precipitaciones ponderadas para la cuenca total.

Tabla 3: Precipitación Máxima en 24 horas para distintos Pr en años

Estación	Pr 02 (mm)	Pr 05 (mm)	Pr 10 (mm)	Pr 25 (mm)	Pr 50 (mm)	Pr 100 (mm)
Acnocoha	27.0	30.0	32.0	33.0	34.0	35.0
Choclococha	36.0	46.0	53.0	61.0	67.0	74.0
Cocas	22.0	26.0	28.0	31.0	32.0	34.0
Cusicancha	19.0	28.0	33.0	40.0	46.0	51.0
Pariona	34.5	40.0	42.5	44.5	45.5	46.0
Tambo	27.0	35.0	39.0	43.0	46.0	48.0
Ticrapo	26.0	35.0	40.0	45.0	48.0	51.0
Totora	26.0	33.0	37.0	40.0	42.0	44.0
Túnel Cero	28.0	35.5	42.0	51.5	60.5	71.5
Huancano	6.0	11.0	14.0	19.0	24.0	28.0
Cuenca Total	20.2	27.0	31.0	35.9	39.8	43.4

FUENTE: Elaboración propia (Tomando información del estudio definitivo)

- Hidrometría

La información hidrométrica utilizada corresponde a los registros de descargas máximas medias diarias anuales pertenecientes a la estación hidrométrica de Letrayoc, en el estudio de Factibilidad durante el periodo 1933-2008 (76 años continuos) y en el Estudio Definitivo durante el periodo 1933-2014 (82 años continuos).

Se actualizó la información de la estación Letrayoc hasta el presente año 2019 es decir que se contó con 87 años continuos de registros, de 1933 hasta 2019.

Debe tenerse en cuenta que los periodos de registros hidrométricos utilizados fueron ampliamente superiores a los de registros pluviométricos con la ventaja que estos registros han sido continuos mientras que los pluviométricos han tenido muchas discontinuidades.

- **Análisis directo e indirecto**

Los procedimientos indirectos precipitación-escorrentía para el cálculo de máximas avenidas en una cuenca se utilizan cuando la información hidrométrica disponible es de corto tiempo y se cuenta con información pluviométrica más amplia, entonces la información hidrométrica se utiliza para calibrar los valores obtenidos con el procedimiento indirecto precipitación-escorrentía. En este caso la información hidrométrica disponible es mucho más amplia que la información pluviométrica con periodos de registro discontinuos y distintos entre las estaciones pluviométricas consideradas. Por tanto, correspondió realizar el procedimiento directo que es más confiable.

- **Análisis de consistencia de la serie**

Se analizó la información hidrométrica de descargas máximas medias diarias registradas en la estación Letrayoc que cubre el periodo 1933-2019, además se realizó un análisis de consistencia mediante el procedimiento de curva masa. Con este análisis se detectó un quiebre que se inicia en el año 1976 por lo que se ha visto la necesidad de proceder con un análisis de consistencia para determinar si los periodos de registro parciales 1933-1975 y 1976-2019 pertenecen a la misma población.

En la Figura 15 se presenta la Curva Masa en la que se observa el quiebre que se inicia en el año 1976.

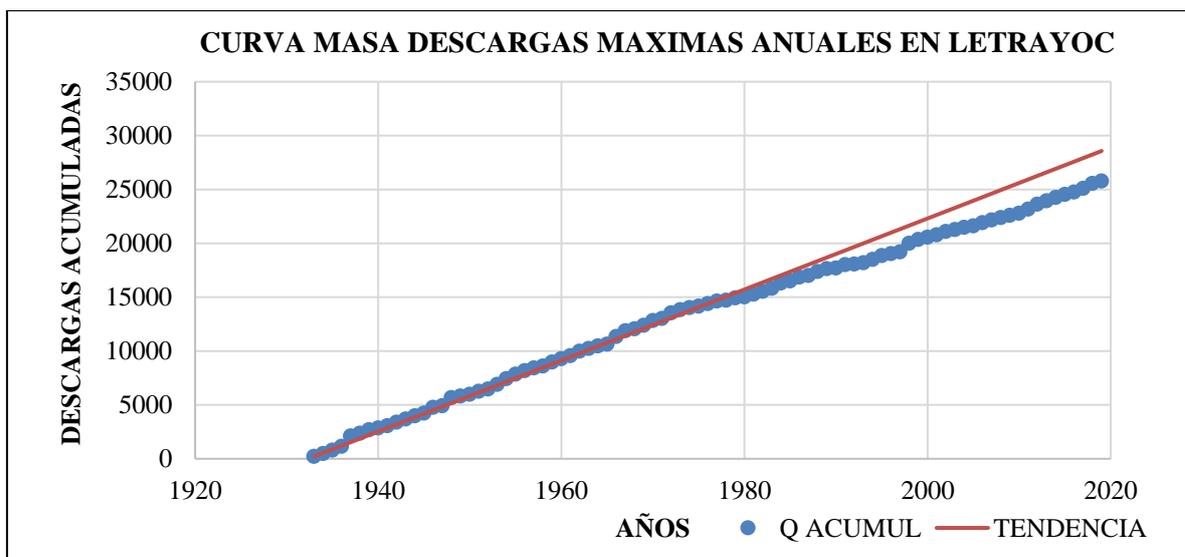


Figura 15: Curva masa descargas máximas anuales en Letrayoc

La Tabla 4 presenta el análisis de consistencia realizado con los valores de medias y desviación estándar de cada sub periodo.

Tabla 4: Análisis de consistencia registros máximos diarios anuales en Letrayoc

Periodo 1	1933-1975	M1	329.6
N1	43 años	S1	174.4
Periodo 2	1976-2019	M2	264.01
N2	44 años	S2	131.26
PRUEBA DE MEDIAS			
Hipótesis H1 M1 igual a M2			
Hipótesis H2 M1 diferente a M2			
Sp = 154.09			
Sd = 33.04			
Tc = 1.98			
a = 0.1			
GL = 85			
T Student 1.66			
Tc > Tstudent por lo tanto M1 y M2 proceden de distintas poblaciones			
PRUEBA DE DESVIACION STANDARD			
Hipótesis H1 S1 igual a S2			
Hipótesis H2 S1 diferente a S2			
Fc = 1.76			
GL numerador = 42			
GI denominador = 43			
Ft = 1.49			
Fc > Ft por lo tanto S1 y S2 proceden de distintas poblaciones			
Procede la corrección de los datos detectados por el análisis de doble masa			

Habiéndose detectado que las series de cada sub periodo no pertenecen a la misma población por diferencias en sus valores medios y desviación standard se ha procedido a corregir los valores del periodo más antiguo 1933-1975 considerando que el periodo 1976-2019 es más confiable por ser el más reciente. En la Tabla 5 se presentan los valores anuales corregidos y en la Figura 4-2 la curva masa preparada con los valores corregidos en la que ya no se presenta el quiebre.

Tabla 5: Descargas máximas anuales Letrayoc (Valores Corregidos de 1933-1975)

Año	Q m³/s	Año	Q m³/s
1933	187.17	1976	237.62
1934	215.01	1977	231.26
1935	250.01	1978	80.33
1936	287.27	1979	213.13
1937	735.49	1980	91.23
1938	206.89	1981	252.00
1939	263.31	1982	274.00
1940	132.86	1983	273.00
1941	175.69	1984	485.65
1942	261.90	1985	200.50
1943	243.19	1986	355.00
1944	238.01	1987	146.20
1945	204.11	1988	369.50
1946	413.44	1989	272.50
1947	124.39	1990	49.38
1948	591.79	1991	325.00
1949	127.53	1992	47.75
1950	133.60	1993	118.00
1951	233.52	1994	312.50
1952	172.52	1995	354.37
1953	337.47	1996	190.00
1954	419.84	1997	150.00
1955	319.57	1998	800.00
1956	265.06	1999	355.00
1957	208.76	2000	215.00
1958	143.40	2001	228.00
1959	306.64	2002	300.00
1960	251.40	2003	176.25
1961	220.69	2004	215.00
1962	334.25	2005	137.50
1963	208.50	2006	287.50
1964	195.40	2007	250.00
1965	138.20	2008	225.00
1966	550.34	2009	210.00
1967	408.75	2010	197.50
1968	158.27	2011	375.00
1969	252.33	2012	462.50
1970	357.87	2013	307.50
1971	162.29	2014	310.00
1972	399.69	2015	290.00
1973	236.93	2016	215.00
1974	162.46	2017	345.00
1975	122.72	2018	455.00
		2019	231.00

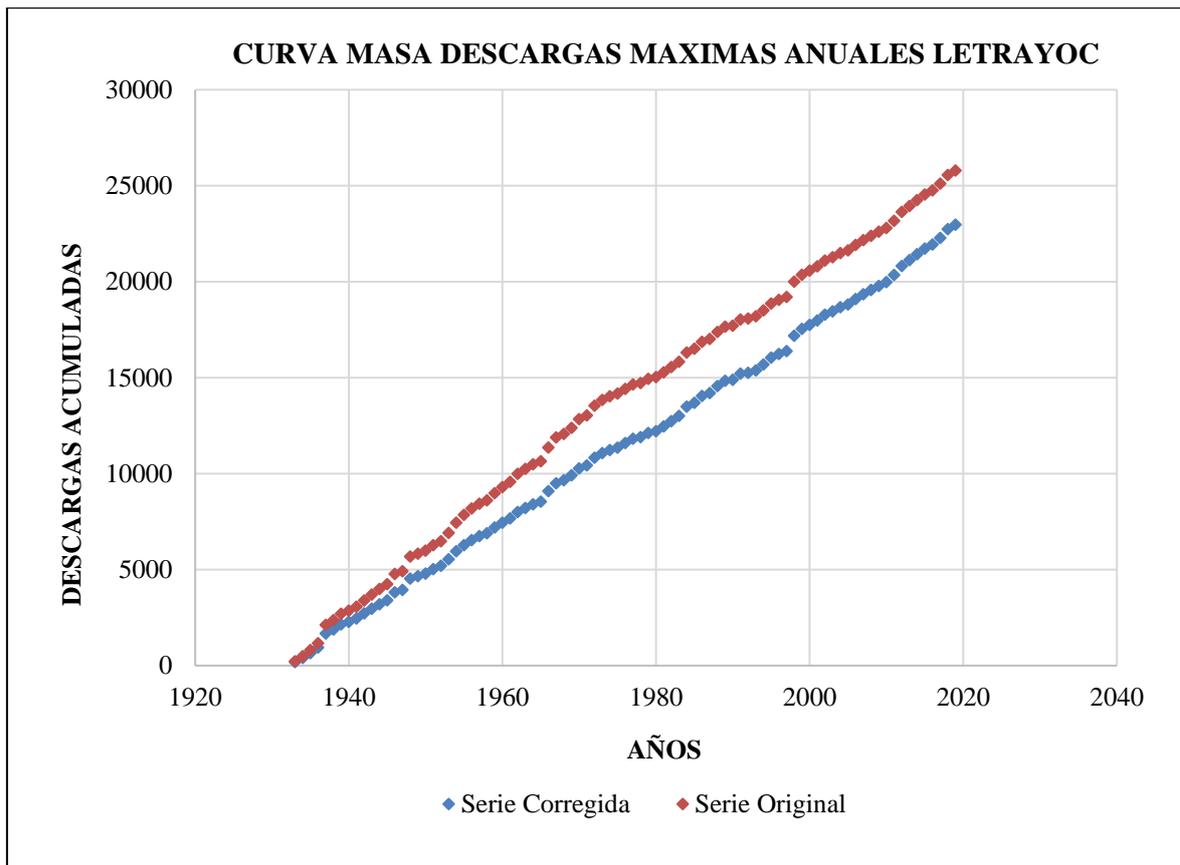


Figura 16: Curva masa descargas máximas anuales corregidas en Letrayoc

- Análisis de frecuencia de la serie corregida

La serie de descargas máximas medias anuales registradas en la estación de Letrados durante el periodo continuo de 87 años continuos 1933-2019 fue analizada con la distribución de frecuencia de Pearson y de Gumbel para determinar los valores máximos correspondientes a diversos periodos de retorno Pr. En la Figura 17 y Figura 18 se presentan los resultados obtenidos en forma gráfica y en los valores resultantes.

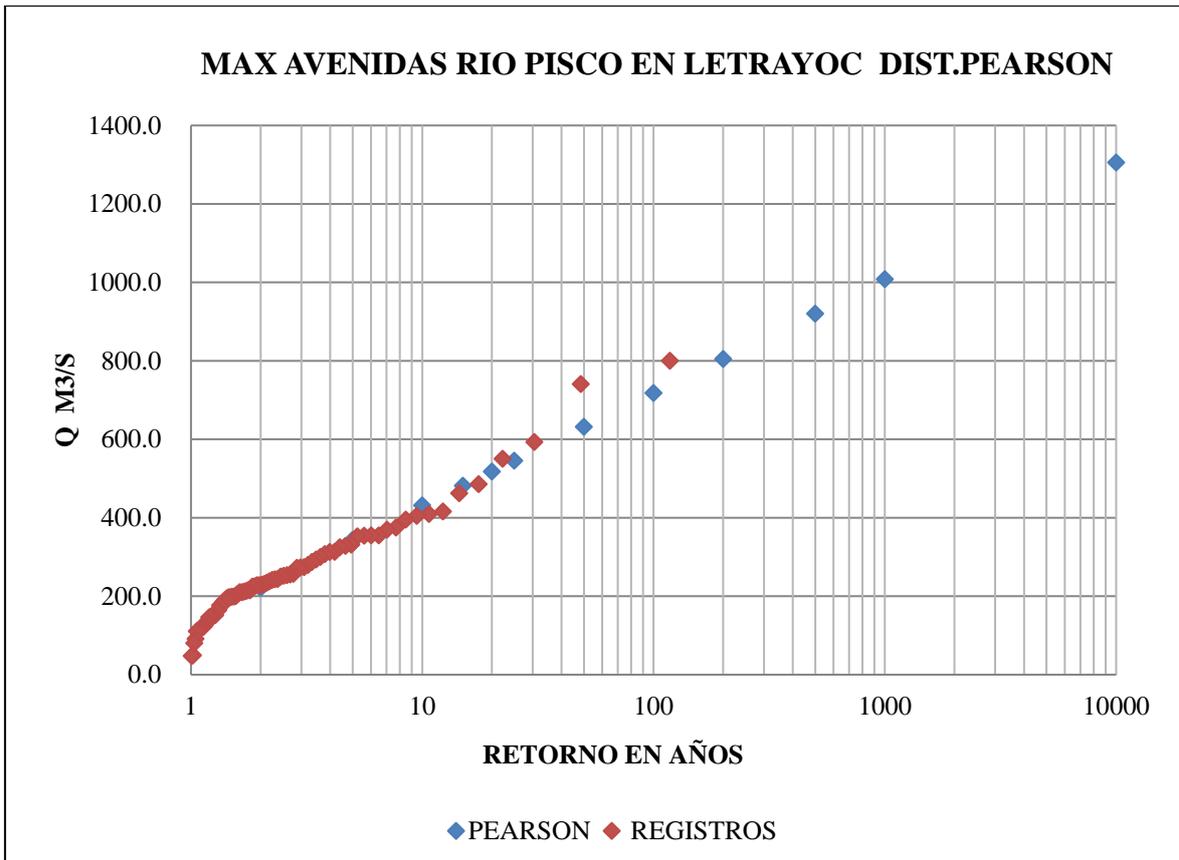


Figura 17: Máximas avenidas Río Pisco en Letrayoc distribución Pearson.

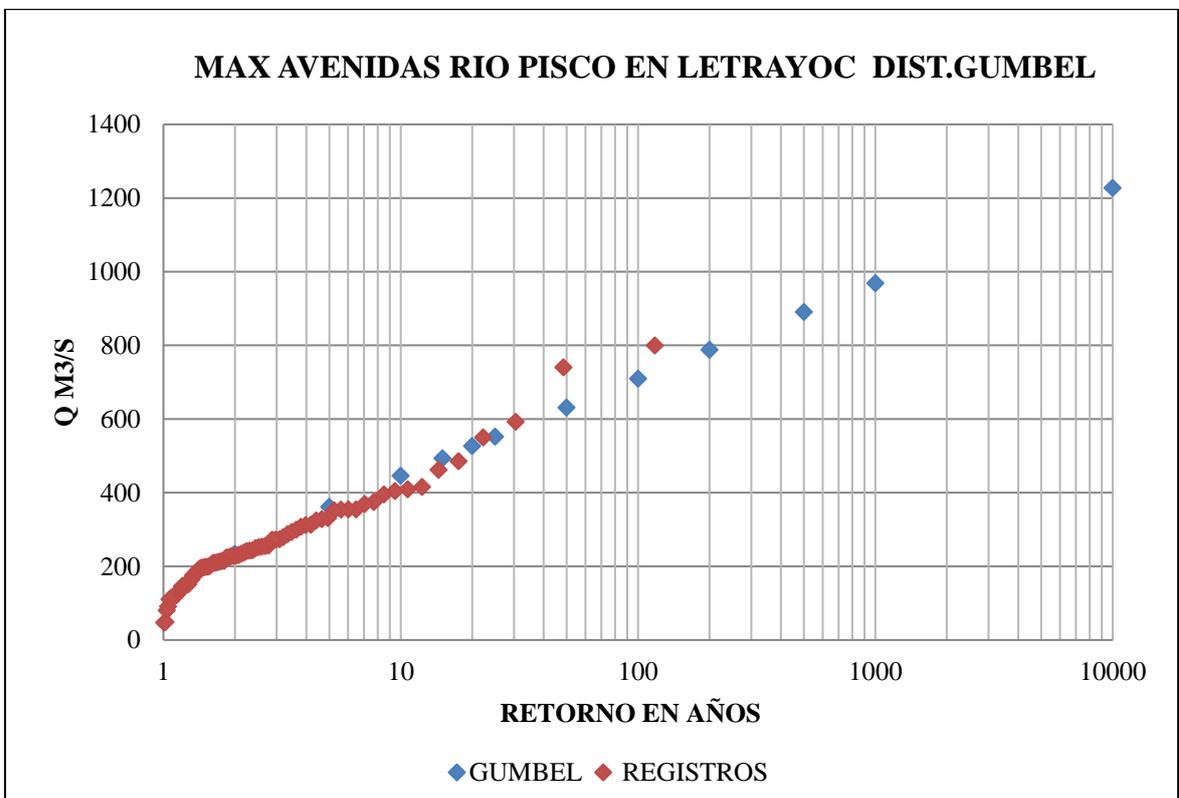


Figura 18: Máximas avenidas Río Pisco en Letrayoc distribución Gumbel.

Tabla 6: Máximas avenidas medias diarias con distribuciones Pearson y Gumbel

Máximas avenidas medias río Pisco en Letrayoc			
Distribución Pearson		Distribución Gumbel	
Pr años	Q m³/s	Pr años	Q m³/s
2	228	2	243
5	346	5	367
10	433	10	448
20	520	20	527
25	548	25	552
50	634	50	629
100	722	100	705
200	810	200	781

Se seleccionó los valores resultantes de la distribución de Pearson ya que sigue mejor la tendencia de los valores altos. Estos resultados representan valores de descargas máximas medias diarias, se han convertido en descargas máximas instantáneas utilizando la ecuación de Fuller que se presenta a continuación:

$$Q_{\text{max inst}} = Q_{\text{max medio}} (1 + 2.66 / A^{0.3})$$

En donde A = Área de la cuenca controlada en km²

Aplicando el valor de la superficie de cuenca A = 3,463 km² se tiene entonces las descargas máximas instantáneas que se presentan en la Tabla 7 calculado con los valores resultantes con la distribución de Pearson.

Tabla 7: Descargas máximas instantáneas en Letrayoc

Distribución Pearson	
Pr años	Q m³/s
2	280
5	426
10	533
25	674
50	780
100	888
200	996

Con el análisis directo de frecuencias se obtiene un solo valor como descarga máxima ya sea como máxima media diaria o máxima instantánea y no la onda de la avenida.

Para poder obtener la onda de la avenida, de utilidad para los diseños de las obras de protección, se tomó en cuenta los valores de las descargas máxima media diaria de 722 m³/s y máxima instantánea de 888 m³/s para el periodo de retorno de 100 años y coeficientes adicionales de distribución de la onda en 24 horas tomados de la onda calculada por CIVV con el programa HEC HMS. Con estos elementos se fue introduciendo, por tanteos, un valor para una descarga base hasta alcanzar el valor de 722 m³/s para la descarga media en 24 horas. El valor de descarga base seleccionada ha sido de 337 m³/s y los valores horarios de la onda, así como su forma se presentan en la Tabla 8 y Figura 19: **Hidrograma avenida en Letrayoc PR 100 años**

Tabla 8: Onda de avenida con PR 100 años en Letrayoc

Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Q m³/s	521	584	653	718	772	817	851	872	886	888	880	867
Hora	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Q m³/s	847	821	786	746	707	672	640	609	581	557	534	512

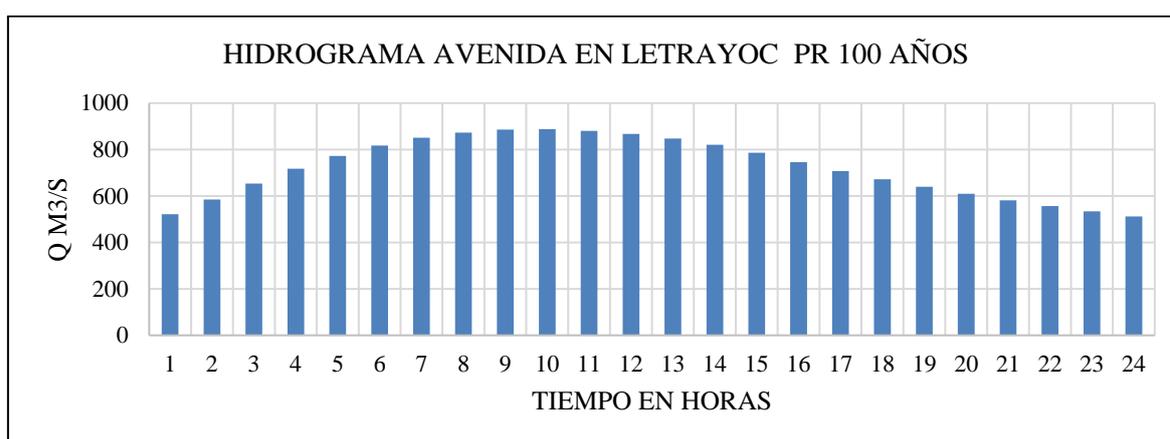


Figura 19: Hidrograma avenida en Letrayoc PR 100 años

Para el desarrollo de las simulaciones se requirió el ingreso de los caudales estimados en el estudio hidrológico con forme a los datos de la Tabla 9 y el acta de acuerdo de fecha 02 de octubre del 2019 de la Figura 20.

Tabla 9: Caudales máximos

Tramos	Período de retorno (años)	Río Pisco (m³/s)
Pi-01 al Pi-06	50	800
Pi-01 al Pi-06	100	900

FUENTE: Estudio Hidrológico, 2019.

ACTA DE ACUERDO

Estando reunidos en las instalaciones del Consorcio SALZGITTER SISA, el día 02 de Octubre del 2019, los siguientes profesionales:

Por el PSI

• Ing. Manuel Armas Ferrer	Coordinador del Programa
• Ing. Rodolfo Mamani Apaza	Administrador de Contratos
• Ing. Walter Suarez Gallegos	Supervisor de Expediente
• Ing. Fabio Rivera Avalos	Especialista en Infraestructura

Por el Consorcio:

• Ing. Luis Torres Lombardi	Jefe de Equipo
• Ing. Eduardo Zegarra	Especialista en Estructuras
• Ing. Jorge Gianella	Especialista en Hidrología
• Ing. Israel Ibáñez	Especialista Ambiental

Se realizó la exposición respecto al Estudio Hidrológico y luego de intercambiar criterios se concluyó en determinar los siguientes caudales para el Proyecto de Control de Inundaciones en el Valle de Pisco:

T50.....800 mcs
T100.....900 mcs

En señal de conformidad se suscribe la presente, siendo las 10.45 am.

Por el PSI:

Manuel Armas Ferrer	Fabio Rivera Avalos
Rodolfo Mamani Apaza	Walter Suarez Gallegos

Figura 20: Acta del uso del caudal

4.3. Contribución en términos de las competencias y habilidades

Ante el problema principal de no haber sido aprobado el estudio de hidráulica fluvial y área de inundación por el PSI, se realizaron diversas acciones pertinentes como parte de la contribución para la mejora del citado estudio.

4.3.1. Desarrollo de la simulación hidráulica IBER, sin proyecto

Las simulaciones fueron realizadas con el software IBER versión 2.4.3, con lo que se realizó la evaluación hidráulica (tirantes máximos, velocidades, niveles de agua) y morfológica (erosión y sedimentación).

Cabe indicar que la simulación hidráulica IBER en todos los tramos de análisis, no fue calibrada ni validada.

A partir de la revisión bibliográfica, se realizó el ingreso de la información.

- Discretización del tramo

Con el uso de ortofotos y del software ARCGIS se discretizó las áreas del tramo Pi-02 a fin de implementar tanto el mallado, como la asignación de valores de Manning. Además, se creó los archivos ASCII con las elevaciones del terreno mostrada en la *Figura 21*.

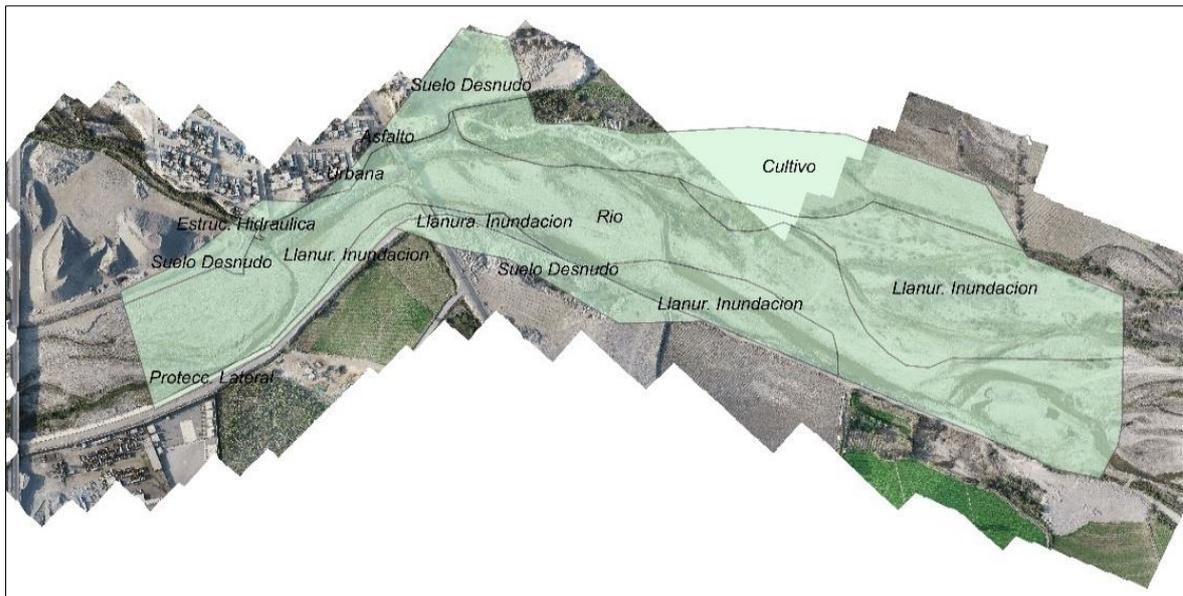


Figura 21: Discretización de los diferentes sectores del río

- Coeficientes de rugosidad

La rugosidad es un factor importante para el cálculo de los valores de tirantes máximos, velocidades máximas, niveles de agua, lo cual permitió representar las características de los diferentes tipos de terreno que intervienen en la simulación.

Con la discretización realizada se asignaron valores estimados de Manning para cada uno de los sectores, las cuales se indican en la Tabla 10 y Figura 22.

Tabla 10: Coeficientes de rugosidad asumidos en las simulaciones

Ítem	Tipo de Suelo	Coefficiente de Rugosidad
1	Cauce del río	0,038
2	Cultivo	0,040
3	Vegetación densa	0,110
4	Estructuras de concreto	0,015
5	Suelo desnudo	0,038
6	Área urbana	0,050
7	Asfalto	0,020
8	cuerpo de agua	0,040
9	Llanura de inundación	0,046
10	Protección lateral	0,035

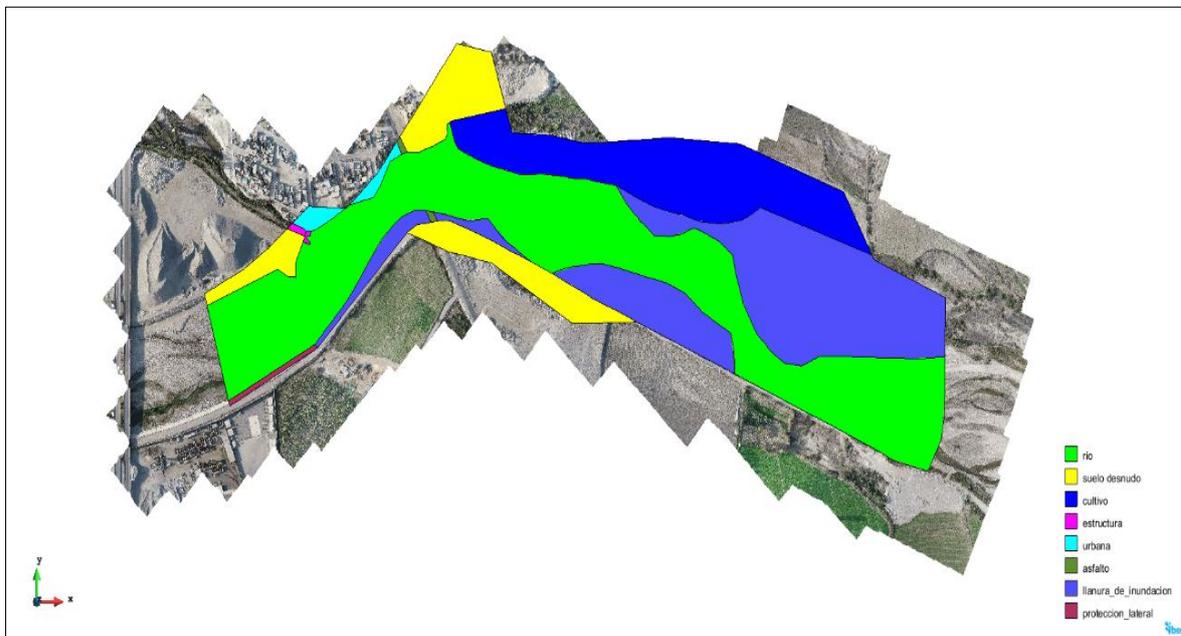


Figura 22: Ingreso de coeficientes de Manning

- Condiciones de contorno

La definición del dominio computacional se realizó con ayuda de una herramienta GIS para luego ser importado en el *software* Iber, el límite de cómputo está en función a los resultados de modelamientos previos con el objetivo de reducir el tiempo de cómputo a la zona estrictamente necesaria. Las condiciones hidráulicas asumidas en la frontera de esta región se le conoce como condiciones de contorno y se distinguen tres tipos: condición de contorno de ingreso, condición de contorno de salida y condición de contorno de no salida.

La condición de contorno de no salida es la condición por defecto, esta condición de contorno se asemeja a una pared infinita por la cual no hay ingreso ni salida de caudal, entonces las otras dos condiciones de contorno se asignan en los sectores donde hay un ingreso o salida de caudal.

Las condiciones de contorno de ingreso en todas las simulaciones es el hidrograma del cauce respectivo, se reproduce el gráfico de los hidrogramas ingresados con el cuadro resumen de caudal pico. Para la condición de salida se asume un flujo subcrítico para las simulaciones en lecho fijo y para las simulaciones en lecho móvil se asume una condición crítica debido a que se produce un cambio de geometría por los procesos erosivos y de sedimentación que constantemente pueden cambiar el régimen de salida, se reproducen las figuras de las zonas ingresadas como condición de salida (ver Figura 23).

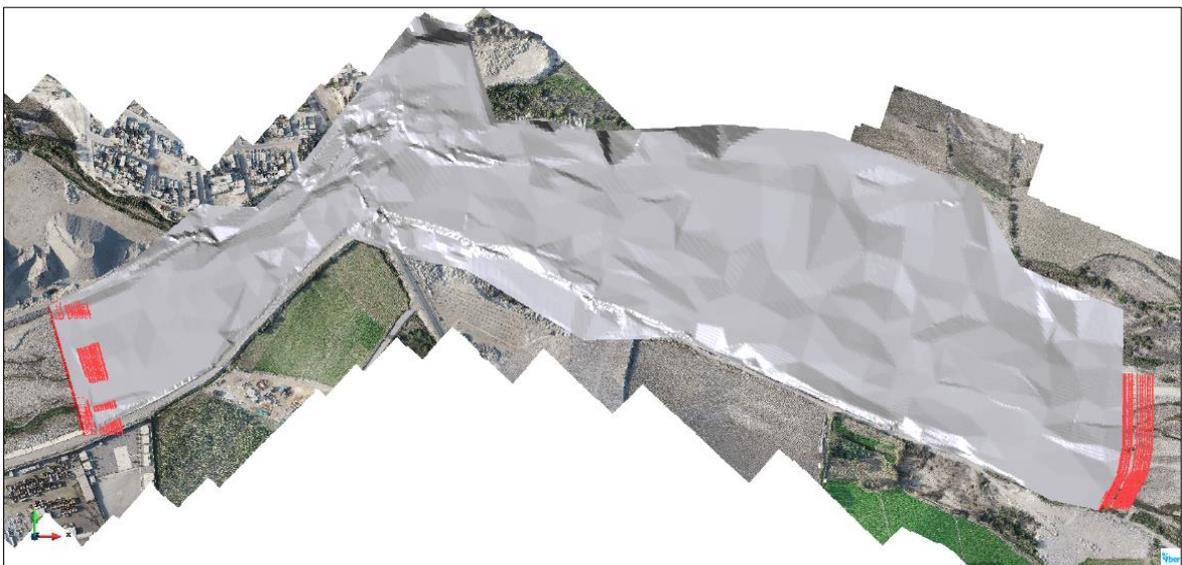


Figura 23: Datos de entrada y salida

- **Condiciones internas**

Dentro de las condiciones internas consideradas en el modelamiento se encuentran las estructuras de cruce como el puente y alcantarilla. En los mapas se incluyen el puente asignado e ingresada al modelamiento.

- **Condiciones iniciales**

Las condiciones iniciales son las condiciones de tirante o cota de agua al inicio de la simulación, para todas las simulaciones realizadas se asumió una condición inicial de tirante cero, es decir cuando la avenida se presente el cauce inicialmente se encuentra totalmente seco. Esta condición es asumida después de la visita de campo en donde se llegó a registrar que el río Pisco en épocas de estiaje se seca completamente, ver Figura 24.

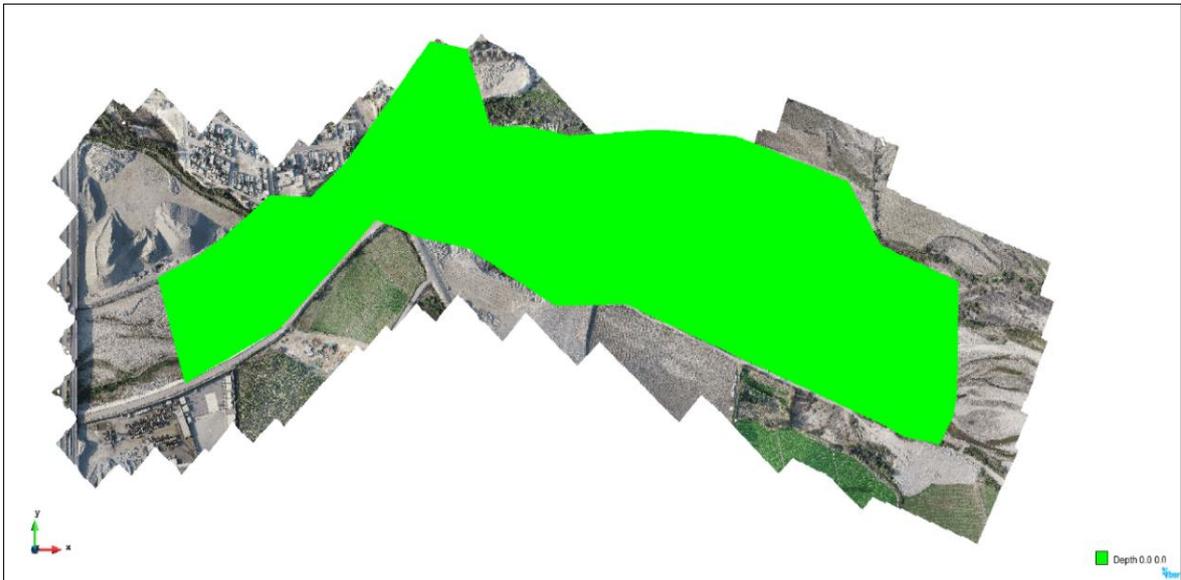


Figura 24: Datos de condiciones iniciales

- **Ingreso de mallado y elevación del terreno**

Se incorporó una herramienta que permite, una vez creada la malla de cálculo, modificar la cota de los nodos de los elementos de la malla a partir de un modelo digital del terreno en formato ASCII de ArcGis, ver Figura 25, Figura 26 y Figura 27.

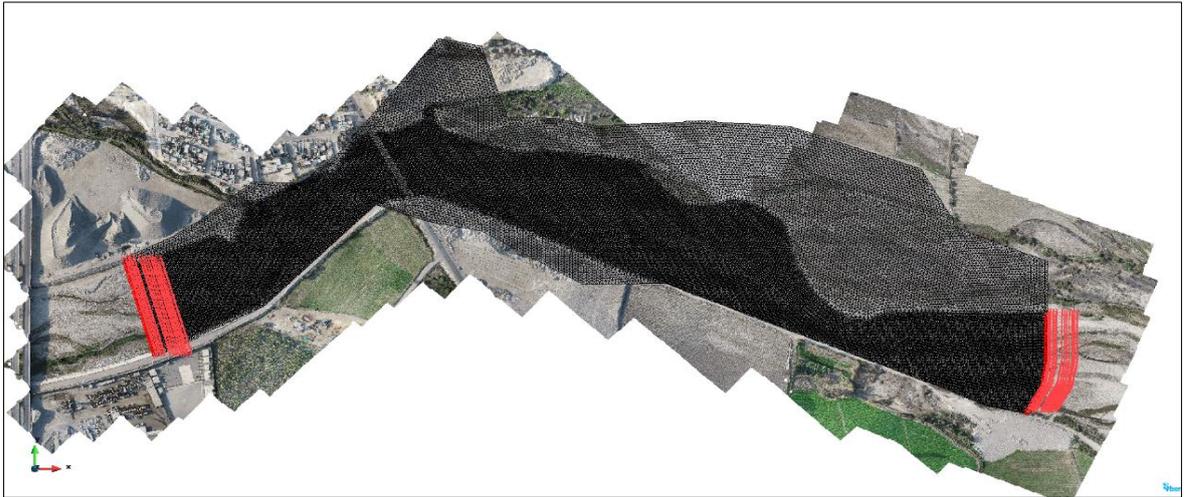


Figura 25: Mallado en el tramo

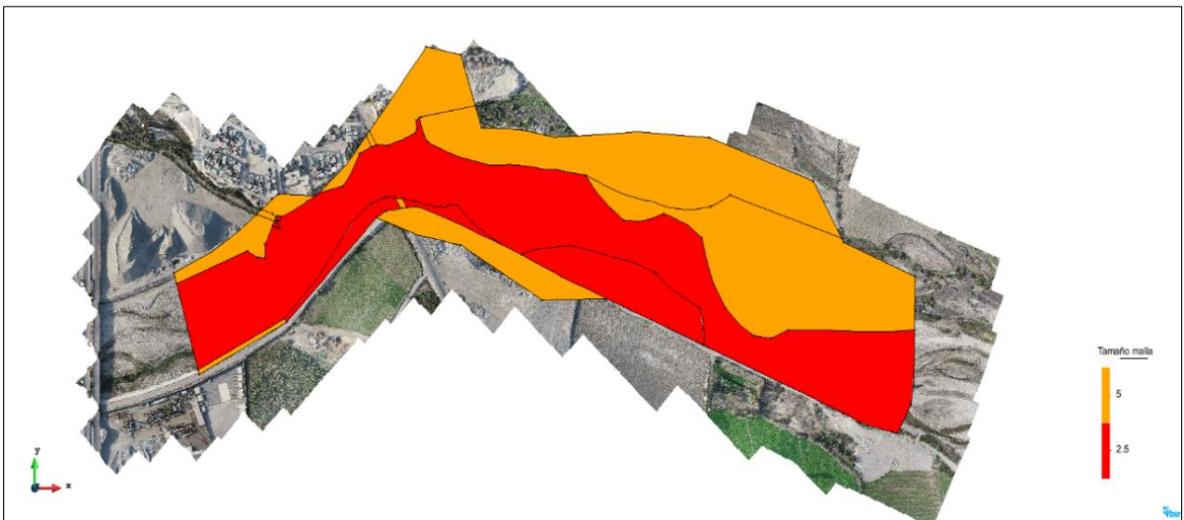


Figura 26: Tamaño de malla

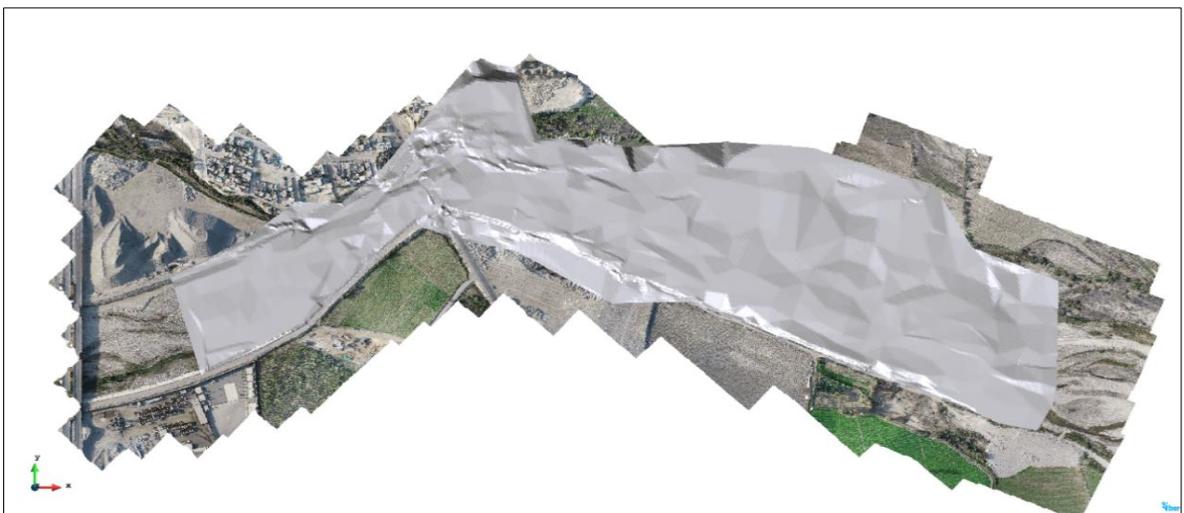


Figura 27: Elevación del terreno

- **Ingreso de datos para transporte de sedimentos**

Se identificaron diferentes diámetros en los tramos, con los resultados de las calicatas realizadas en cada uno de ellos. Para el caso de tramo Pi-02 se usó una longitud de 20,35 mm de diámetro d50 conforme a la Tabla 11 y Figura 28.

Cabe mencionar que las partículas que intervienen en el transporte sólido se pueden clasificar en no cohesivas. Los materiales no cohesivos carecen de esta fuerza adicional, y para ser arrastrados sólo ofrecen la resistencia proveniente de su propio peso y de su forma; de acuerdo a las visitas de campo.

Tabla 11: Diámetros d50

Tramos	D₅₀ (mm)
Tramo Pi-01	22,41
Tramo Pi-02	20,35
Tramo Pi-03	18,44
Tramo Pi-04	16,26
Tramo Pi-05	13,86
Tramo Pi-06	13,52

FUENTE: Estudio de Geología, 2019.

Datos

Parámetros de Tiempo | General | Resultados | Peligrosidad personalizada | Turbulencia | Sedimentos | Via Intenso

Sedimento en Suspensión: Desa

Transporte de Fondo: Activ

Modelo: Meyer-Peter&Müller

d50 [m]: 0.02035

Porosidad: 0.4

Ángulo de Fricción interna [rad]: 0.55

Densidad Relativa: 2.65

Modelo de Avalancha

Instante Inicio Transp. Fondo [s]: 0

Aceptar Cerrar

Figura 28: Ingreso de sedimentos al software Iber

- **Régimen hidrológico**

Conforme a los resultados del estudio de hidrología se usó el hidrograma unitario de máxima avenida para los periodos de retorno establecidos como se visualiza en la Figura 29.

Cabe mencionar que el régimen hidrológico del agua dulce es el modelo predominante del flujo de aguas en un periodo de tiempo. Más específicamente, hace referencia a la duración de las épocas de inundaciones como resultado de la cantidad de agua que hay en superficie (agua de superficie), las precipitaciones y el flujo de las aguas subterráneas.

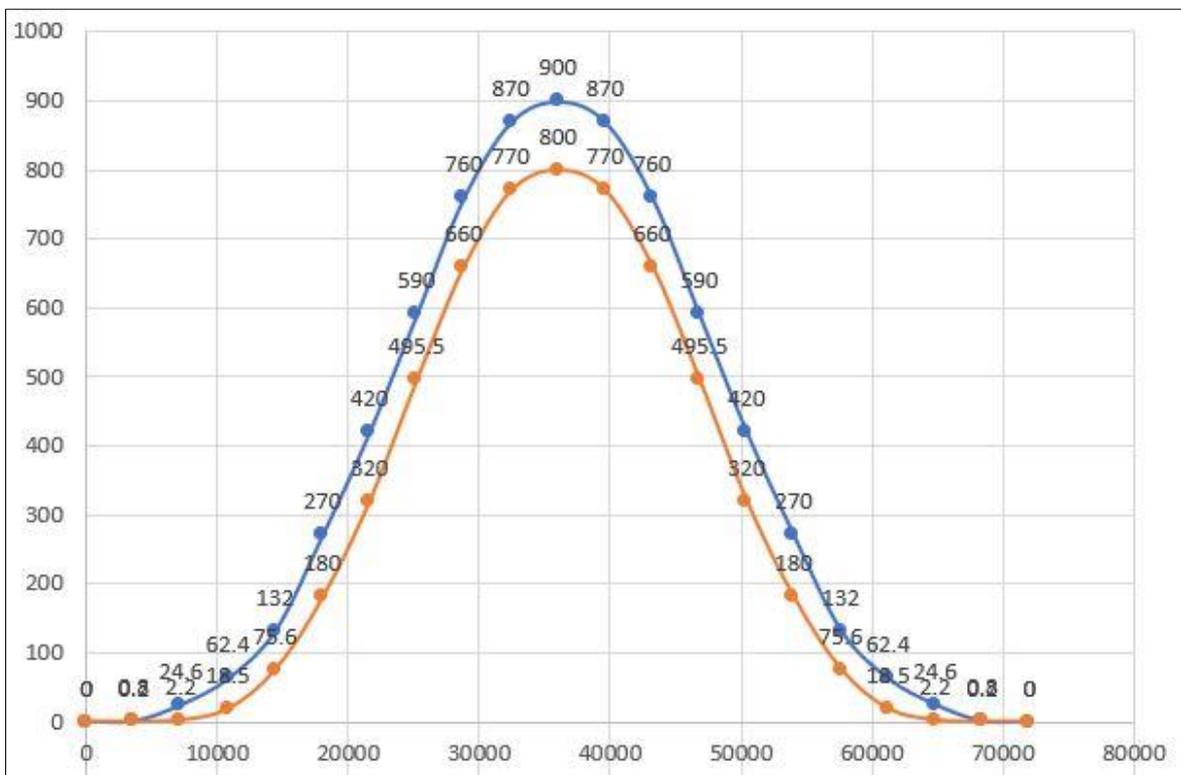


Figura 29: Hidrograma unitario de máxima avenida

- **Sinuosidad del cauce**

Conforme a los resultados topográficas, ortofotos y características del cauce se determinó que el tramo Pi-02 presenta una morfología representativa tipo C señalada en la Figura 2.

- **Ancho estable**

La teoría de régimen evalúa las características de un cauce natural que presente las condiciones de equilibrio es decir de un lecho que no sea erosionado y que no deposite para

un caudal determinado. En ríos de cauce divagante conviene reconocer las condiciones de equilibrio del cauce, puesto que al ser comparadas con la sección real puede dar información sobre la posibilidad de creación de procesos erosivos. Para el caso particular del tramo Pi-02 del río Pisco, las construcciones de los mismos originan un estrechamiento u angostamiento que pueden alterar las condiciones del cauce si es que se escapan de las dimensiones del cauce en equilibrio.

Tras analizar diferentes metodologías aplicada para el método del régimen se obtuvo que el sector de río con un ancho estable, sectores con presencia de llanuras de inundación y la pendiente promedio S (%) obtenida es 0,993, según Tabla 12.

Tabla 12: Pendientes de los tramos

Tramos	S (%)
Tramo Pi-01	0,880
Tramo Pi-02	0,993
Tramo Pi-03	1,165
Tramo Pi-04	1,301
Tramo Pi-05	1,231
Tramo Pi-06	1,544

Se recomendó el ancho estable del río en función a su caudal según Tabla 13.

Tabla 13: Anchos recomendados según caudal

Caudal (m³/s)	Ancho estable (B2)
3000	200
2400	190
1500	120
1000	100
500	70

Tabla 14: Resultados del ancho estable

Método para el cálculo del ancho estable (m)	Tr 50 años (Q= 800m³/s)	Tr 100 años (Q= 900m³/s)
Recomendación práctica	89,27m	95,93m
Método de Pettits	125,58m	133,20m
Método Simons y Henderson	82,02m	87,00m
Método de Blench y Altunin	177,34m	188,10m
Método Manning y Strickler	85,03m	90,19m

Se recomendó asumir un ancho estable de 177,34 m de acuerdo a los cálculos realizados conforme a la Tabla 14.

4.3.2. Análisis de resultados de la simulación hidráulica IBER, sin proyecto

- Área de inundación y Niveles de agua

Los resultados de las simulaciones indicaron que el comportamiento del flujo tiende a formar áreas de inundación en ambas márgenes. Se presentan niveles entre 0,01 m el mínimo y 5,56 m el máximo (ver Figura 30). Los niveles de agua para el tramo varían entre 45,95 msnm hasta los 58,74msnm (Figura 31). La Figura 32 muestra el perfil longitudinal del tramo.

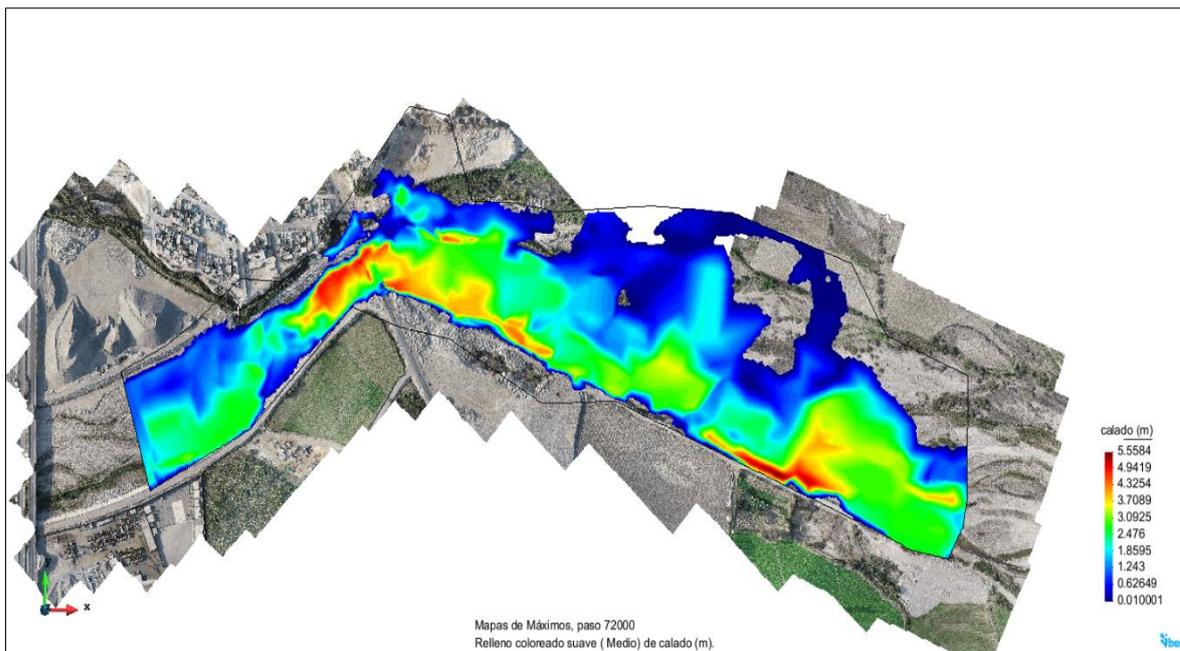


Figura 30: Tirantes máximos – Tramo PI-02 Tr 50 años

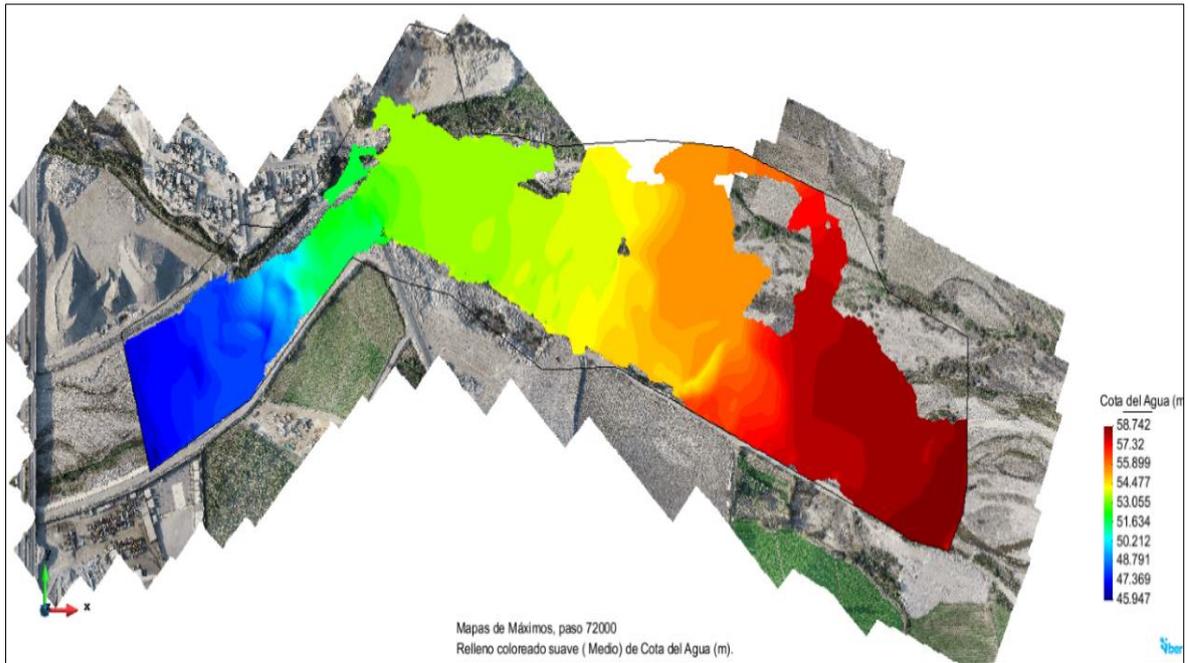


Figura 31: Niveles de agua máximos - Tramo PI-02 Tr 50 años

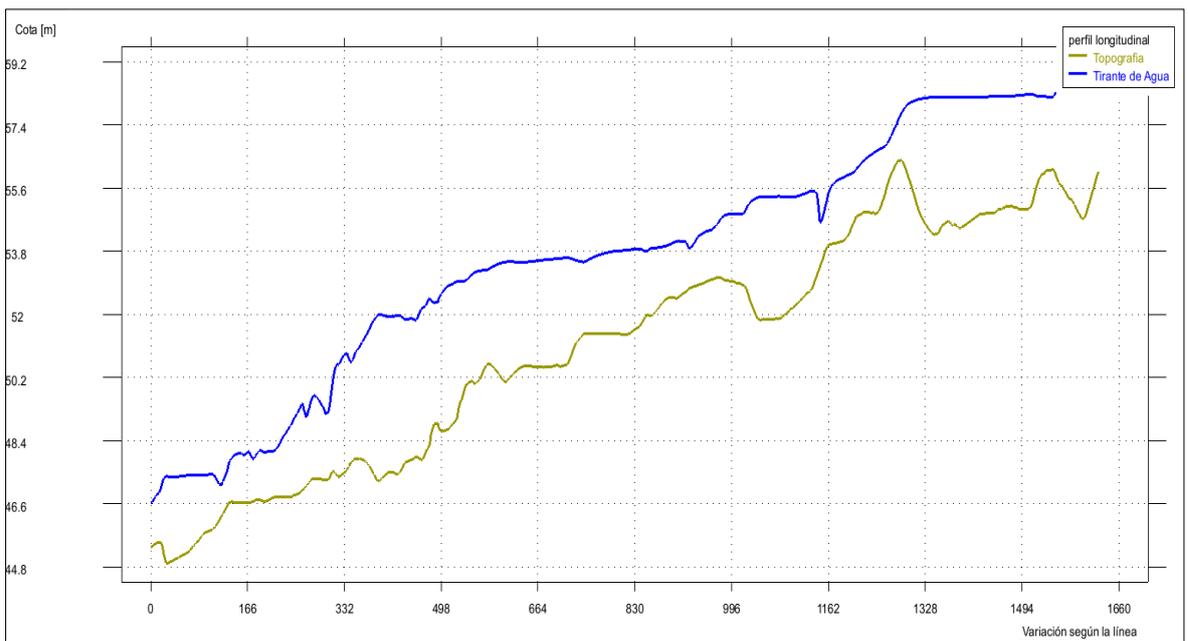


Figura 32: Perfil longitudinal con agua – Tramo PI-02 Tr 50 años

- Velocidad máxima del flujo

El comportamiento de las velocidades del flujo varió entre los 0,0007 m/s en los sectores donde se forman las llanuras de inundación hasta los 11,26 m/s en el sector de la bocatoma Caucato (zona de barraje), siendo coincidentemente los sectores donde se producen mayores calados, ver Figura 33.

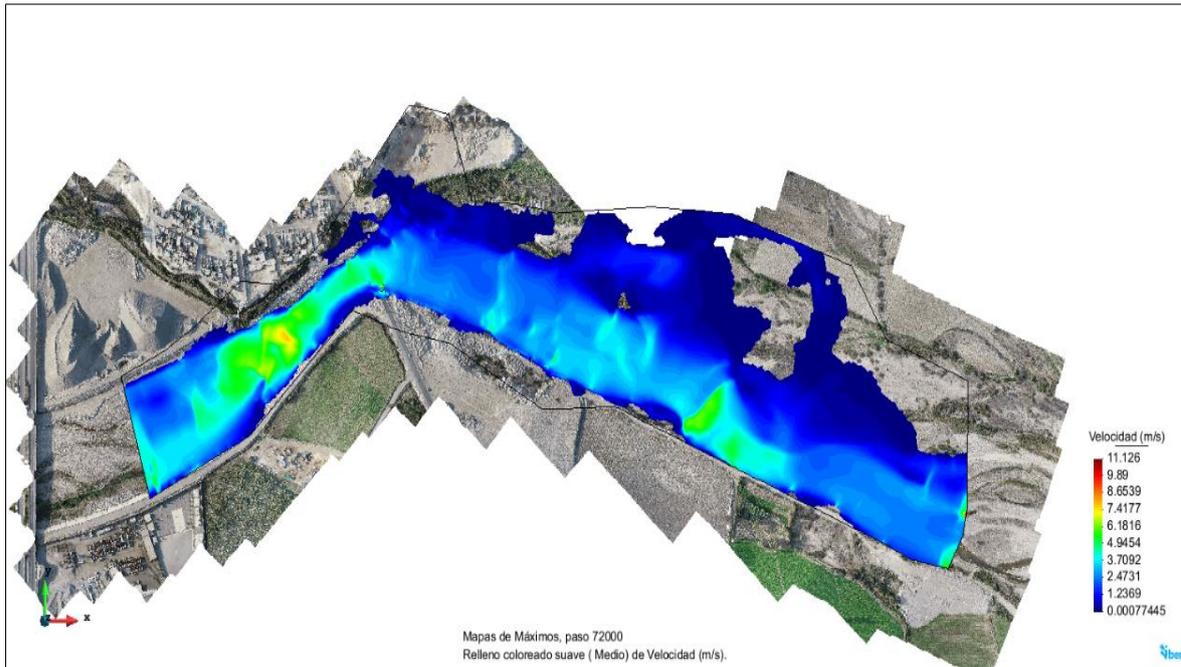


Figura 33: Velocidades máximas – Tramo PI-02 Tr 50 años

- Erosión y sedimentación

De la simulación en lecho móvil, bajo las consideraciones de concentración elegidas, se visualiza ligero cambio en las secciones transversales cercanas al posible dique proyectado, así también sectores donde se presenta sedimentación lo cual fue tomado en cuenta a fin de determinar la cota final del dique. Los resultados presentados (ver Figura 33 y Figura 34) corresponden a un periodo de tiempo parcial con el objetivo de evaluar la evolución de los sedimentos en los primeros instantes de la avenida, ver Tabla 15.

Tabla 15: Estimación del transporte de sedimentos - Tramo PI-02 Tr 50 años

Periodo de Retorno (Años)	Q (m ³ /s)	C (m)	V (m/s)	Coef. Ks	Coef. Kr	Coef. Rizos u	$\frac{\mu SY}{\gamma_s d}$	$0.25 * \left(\frac{\gamma}{g}\right)^{1/3} \frac{1}{\gamma_s d}$	Tf (Kgf/s.m)
50	800.00	5.56	9.57	30.65	40.19	0.67	1.09	0.0348	164.58
100	900.00	5.76	9.89	30.93	40.19	0.68	1.15	0.0348	177.80

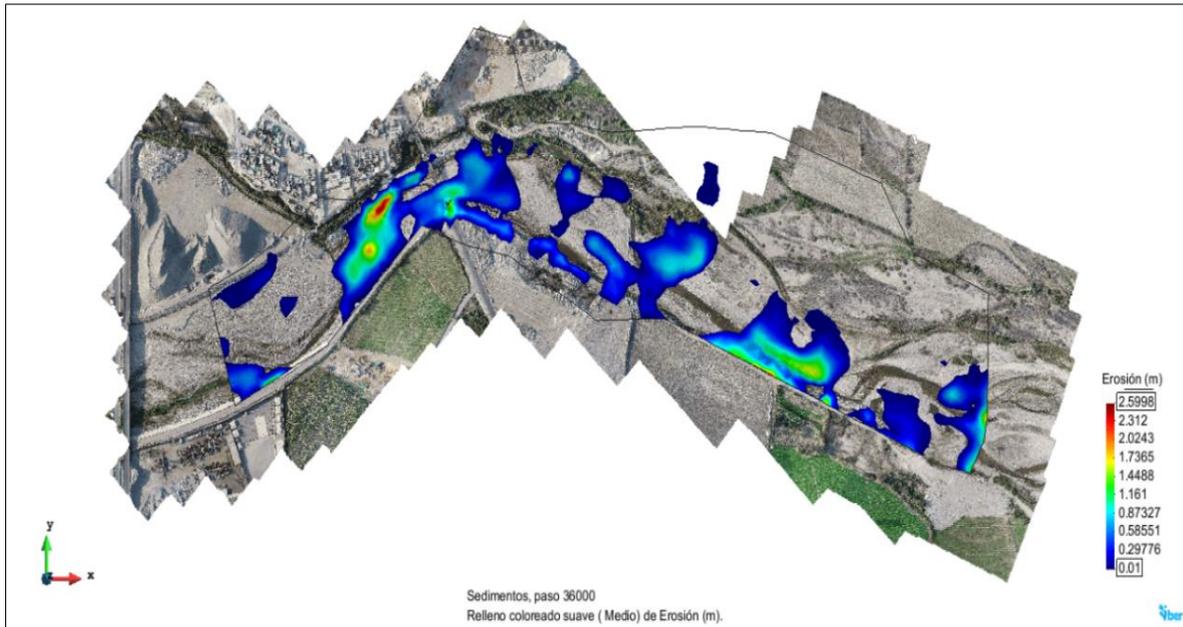


Figura 34: Sedimentación máxima – Tramo PI-02 Tr 50 años

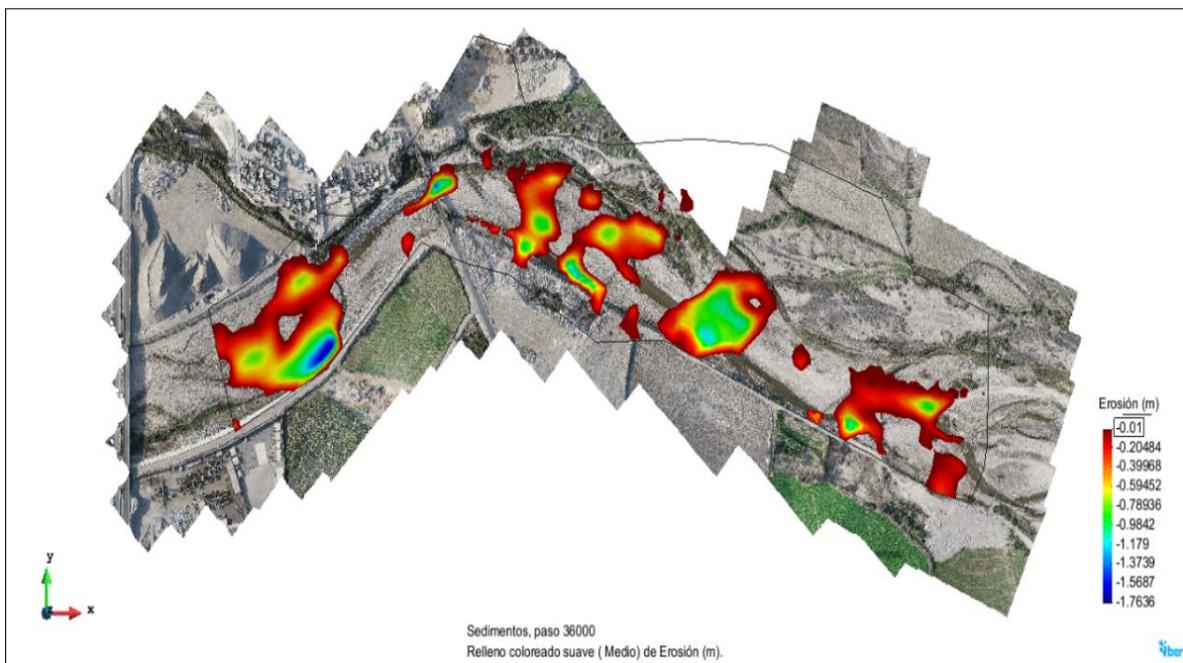


Figura 35: Erosión máxima – Tramo PI-02 Tr 50 años

- Socavación

Tras los resultados de los mapas anteriores se determinó un valor de socavación promedio en los sectores cercanos a los sectores, teniendo una socavación promedio de 0,97m en la margen derecha, 1,63m en el centro del rio y 1,25m en la margen izquierda. En la Figura 36 se presenta una sección representativa con los valores determinados.

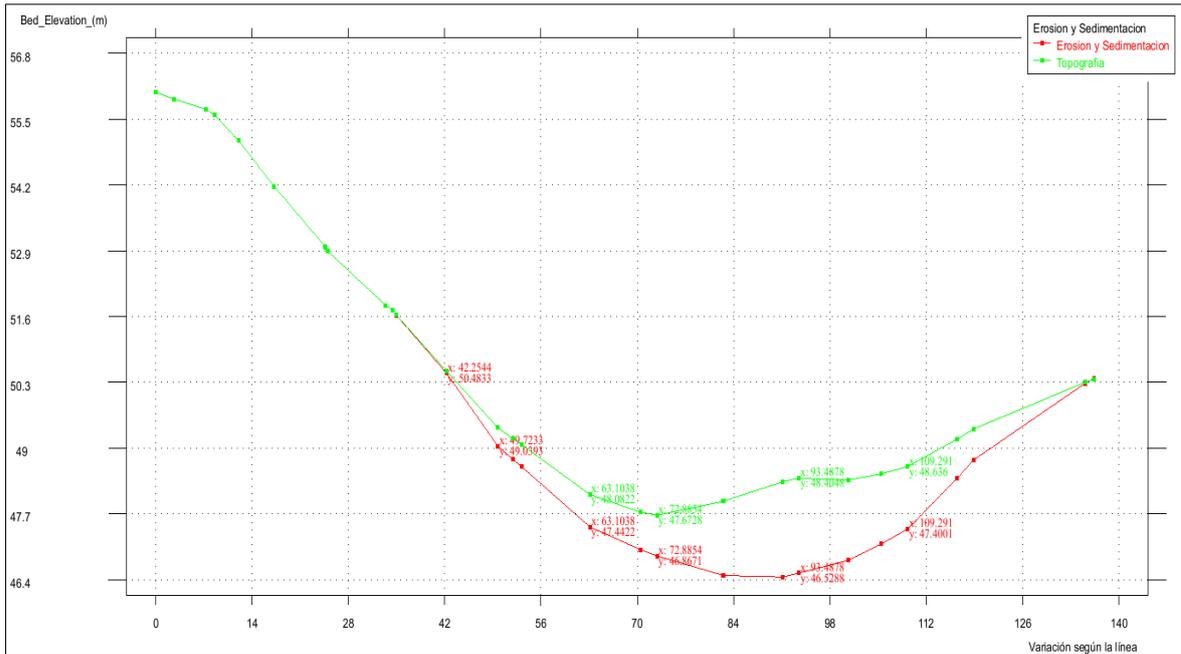


Figura 36: Socavación producida en el sector – Tramo PI-02 Tr 50 años

4.3.3. Planteamiento de trazos de diques

Tras los resultados de la simulación hidráulica (sin proyecto) se identificaron las áreas inundables por lo que se determinó trazar 926 m de dique en la margen izquierda y 600 m de dique en la margen derecha del tramo Pi-02 como se visualiza en la *Figura 37* y *Tabla 16*.

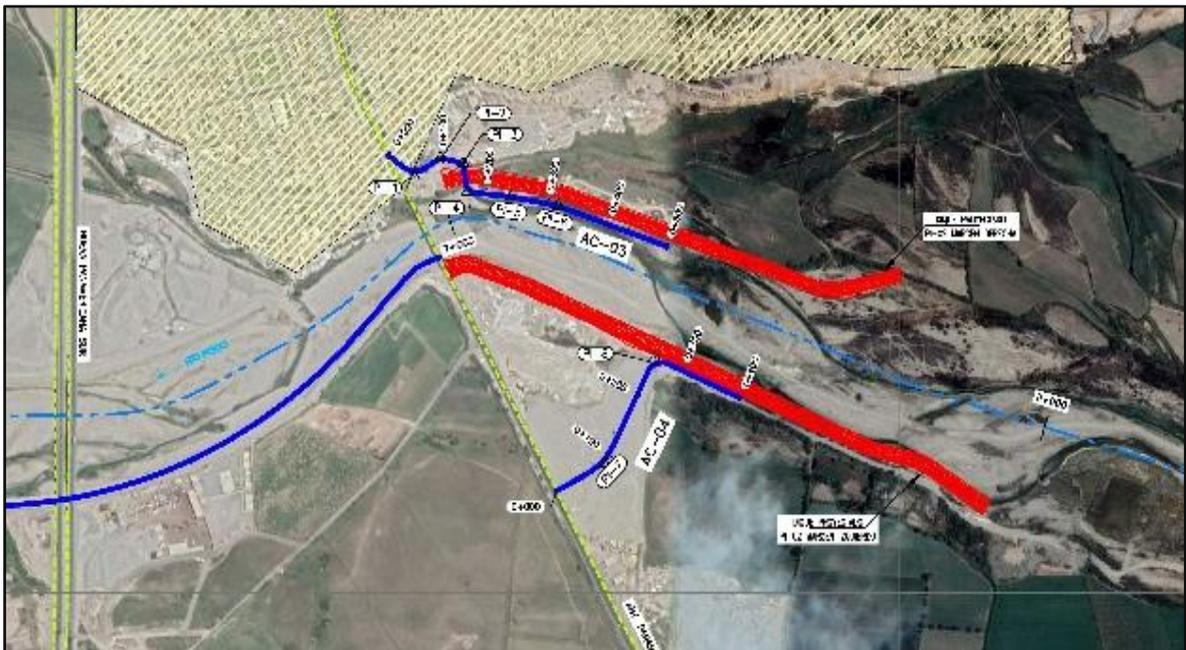


Figura 37: Trazos preliminares del dique

Tabla 16: Ubicación, coordenadas y longitud del tramo Pi-02

Tramo	Región	Provincia	Distrito	Margen	X inicio (Este)	Y inicio (Norte)	X fin (Este)	Y fin (Norte)	Longitud (m)
PI-2	Ica	Pisco	Pisco - San Clemente -	MD	374773,74	8486617,16	375348,55	8486466,96	600,00
			Tupac Amaru	MI	374787,75	8486468,20	375633,25	8486118,58	926,00

Cabe mencionar que el «Reglamento de la Ley de Recursos Hídricos - Ley N° 29338, Art. 113° y 114°» determina que las fajas marginales son bienes de dominio público hidráulico. Están conformadas por las áreas inmediatas superiores a las riberas de las fuentes de agua, naturales o artificiales.

Asimismo, para el trazo definitivo de dique se usó la información correspondiente a la faja marginal proporcionada por la Autoridad Local del Agua (ALA) y los límites catastrales de la zona proporcionado por el PSI como se visualiza en la *Figura 38*.

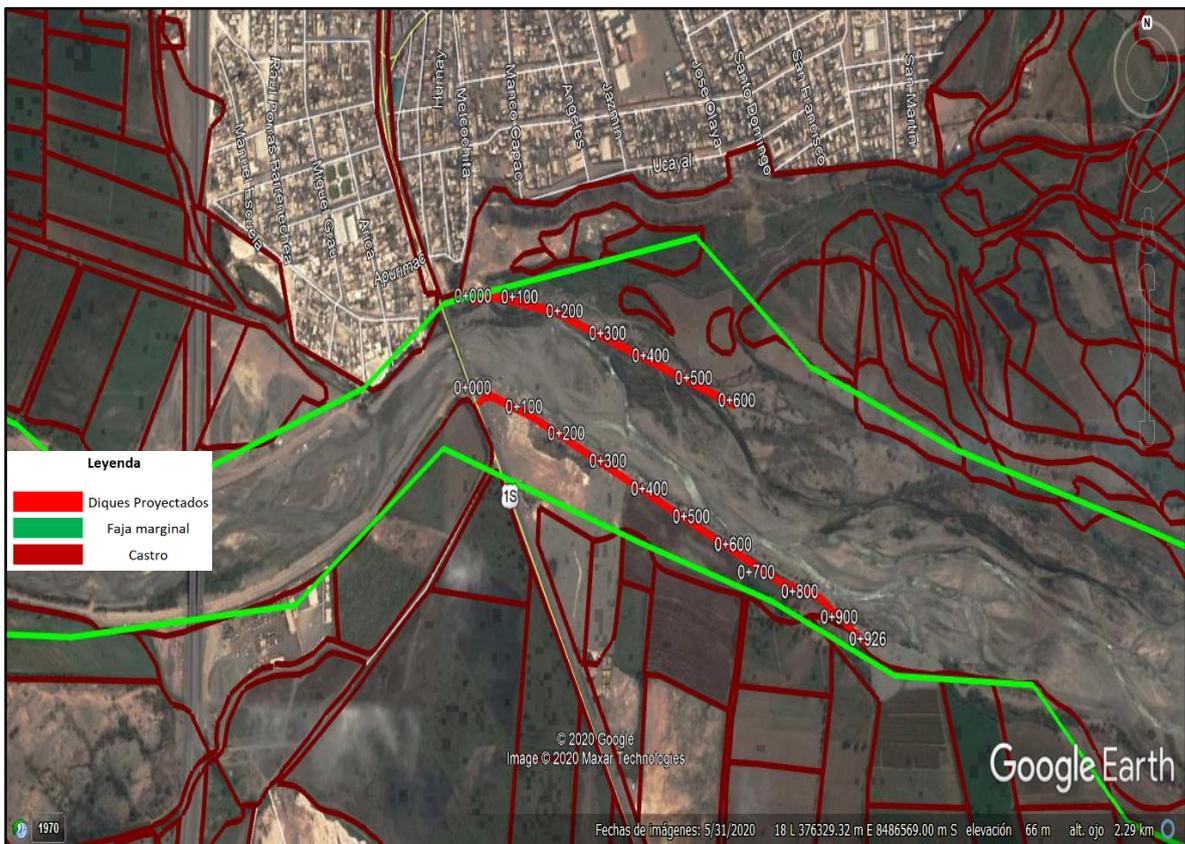


Figura 38: Límites de faja marginal, catastro y diques

FUENTE: Google Earth

4.3.4. Desarrollo de la simulación hidráulica IBER, con proyecto

A continuación, se describen los elementos seguidos para el ingreso de información:

- Ingreso de mallado y elevación del terreno



Figura 39: Elevación del terreno con dique – Tramo PI-02

- Régimen hidrológico

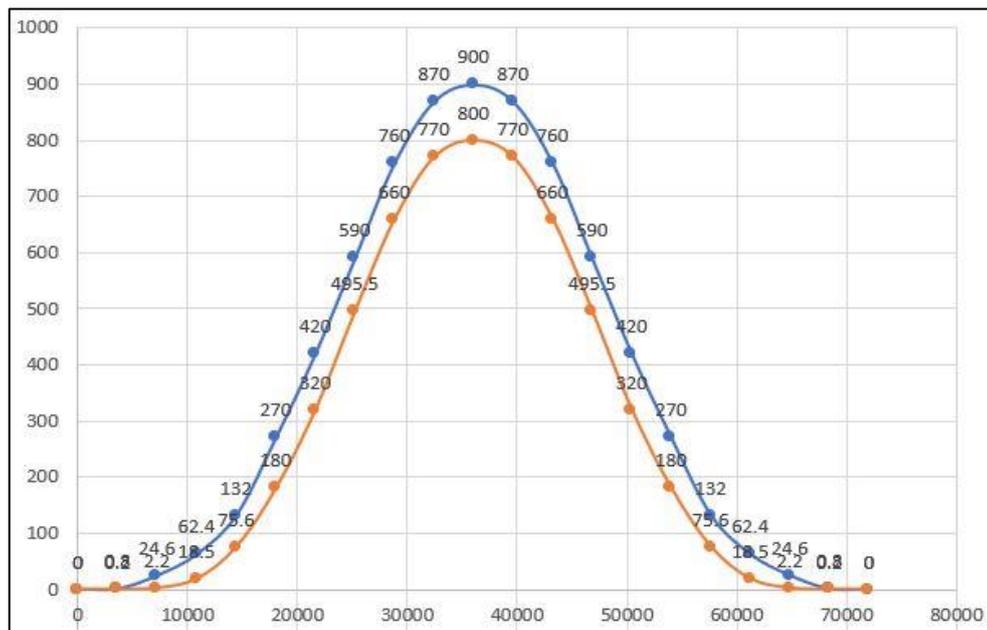


Figura 40: Hidrograma unitario de máxima avenida

4.3.5. Análisis de resultados de la simulación hidráulica IBER, con proyecto

- Comportamiento del flujo y Niveles de agua

Los resultados de las simulaciones indicaron que el comportamiento del flujo con la inclusión de los diques tiende a seguir el trayecto de la ubicación de las estructuras, evitando formar la inundación que se presentaba en la simulación sin proyecto. Los niveles de agua para el tramo varían entre 46,71msnm hasta los 66,44msnm (ver Figura 41 y Figura 42).

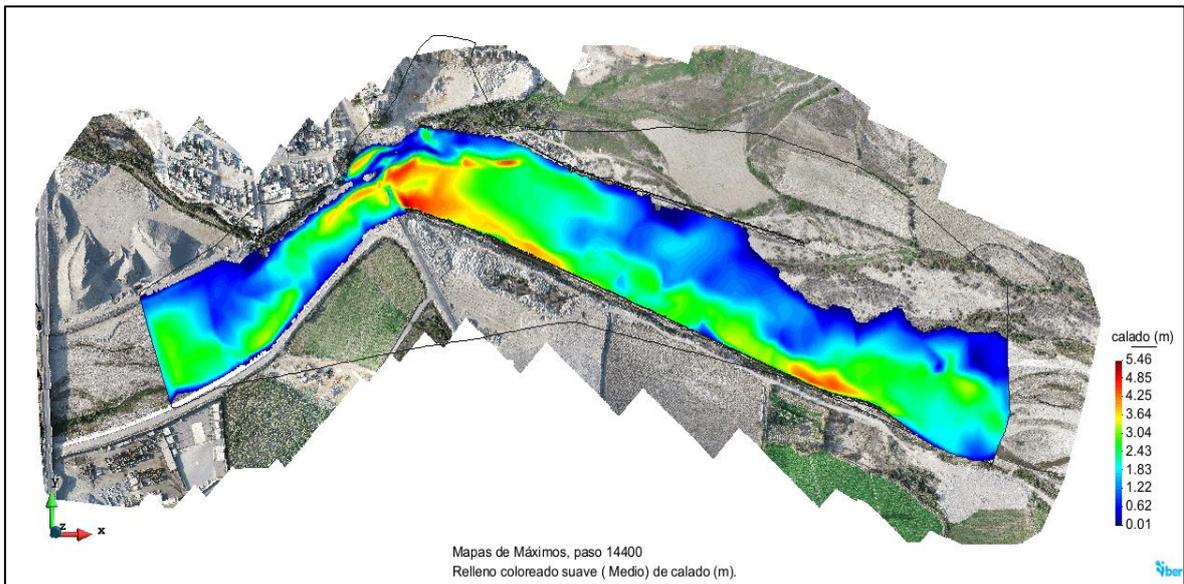


Figura 41: Tirantes máximos con dique – Tramo PI-02 Tr 50 años

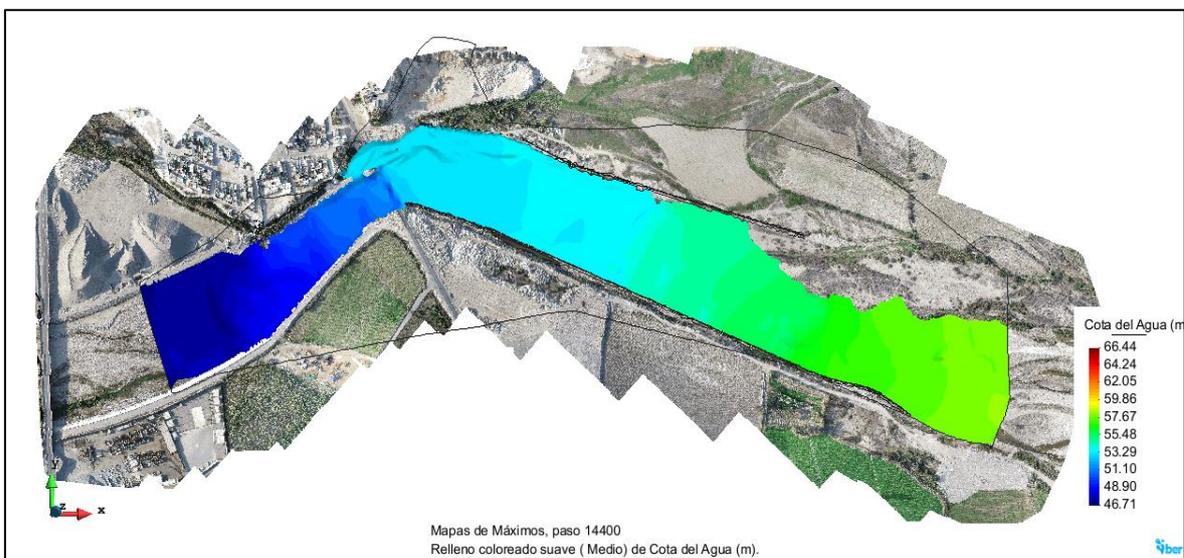


Figura 42: Niveles de agua máximos con dique – Tramo PI-02 Tr 50 años

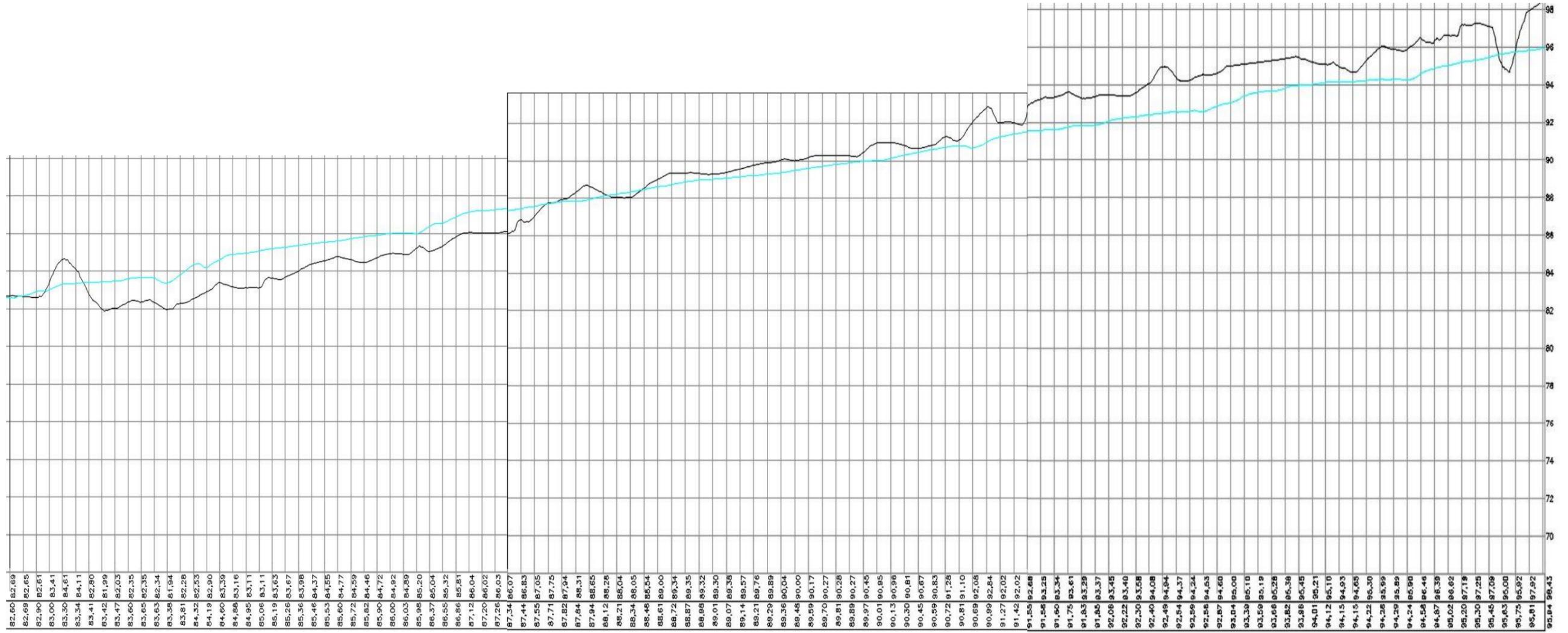
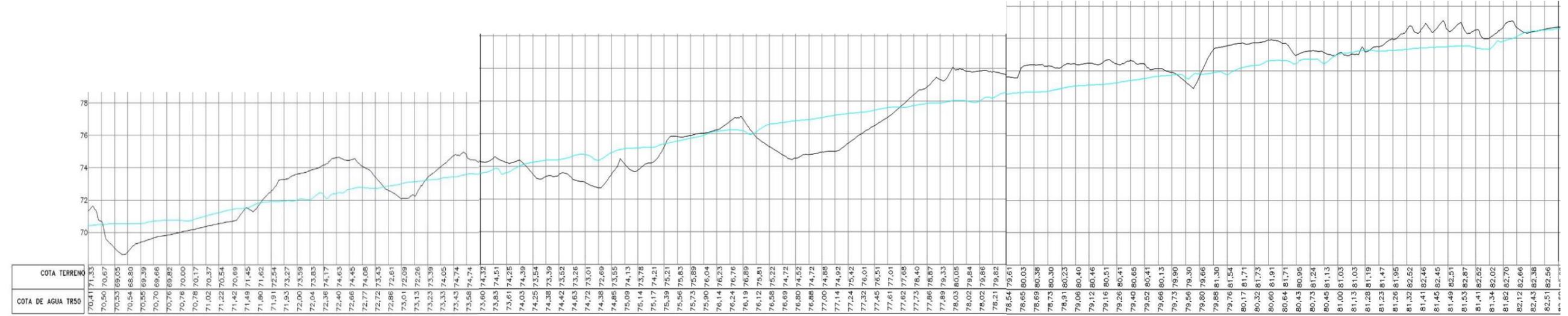


Figura 43: Perfil longitudinal con dique margen derecho – Tramo PI-02 Tr 50 años

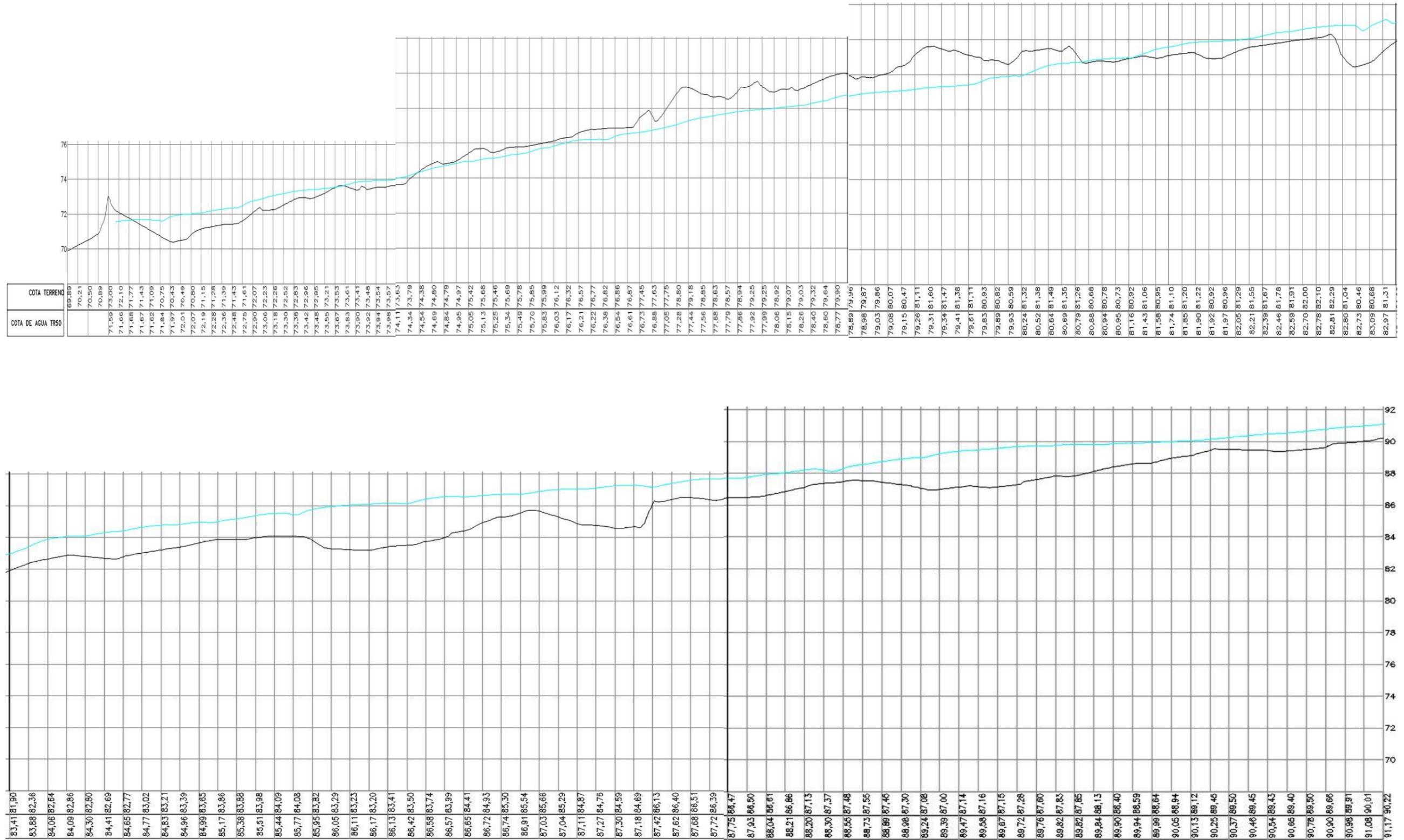


Figura 44: Perfil longitudinal con dique margen izquierdo – Tramo PI-02 Tr 50 años

- Velocidad máxima del flujo

El comportamiento de las velocidades del flujo varió entre los 0,00m/s en los sectores donde se instalaron los diques hasta los 7,93m/s en el sector de la bocatoma Caucato (zona de barraje), siendo coincidentemente los sectores donde se producen mayores calados (ver Figura 45).

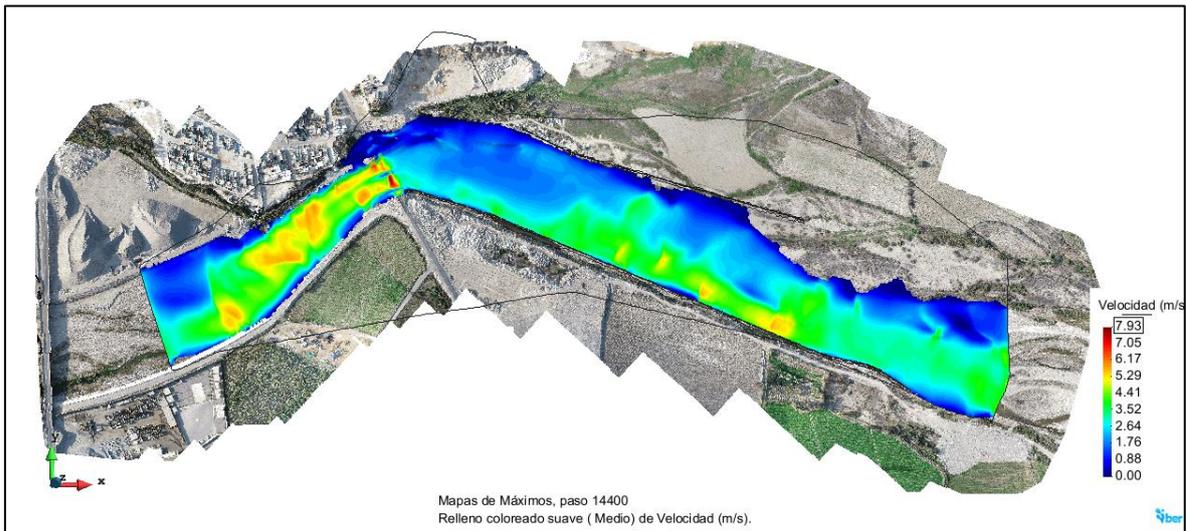


Figura 45: Velocidades máximas con dique – Tramo PI-02 Tr 50 años

4.4. Contribución al centro laboral a partir de la solución de situaciones problemáticas

4.4.1. Determinación del trazo definitivo conforme a los resultados de las simulaciones hidráulicas

Los resultados de las simulaciones y los parámetros de diseños que se infirieron de la misma, fueron remitidos oportunamente al especialista de estructuras hidráulicas a fin de desarrollar los diseños más adecuados de los diques de protección y se cumplan con las fechas contractuales con PSI.

Tras los resultados de las simulaciones hidráulicas con proyecto para periodos de retorno de 50 años y 100 años se verificó que las áreas del tramo Pi-02 se encuentran protegidas en su totalidad contra las inundaciones, es decir que la inclusión de estructuras de protección evitará las inundaciones que se presentaban con las simulaciones hidráulicas sin proyecto.

Por lo antes mencionado, el trazo definitivo del eje del dique se conformó de 600 m en la margen derecha y 926 m margen izquierda, la cual fue aprobada por el PSI y la Junta de Usuarios de Pisco.

4.4.2. Determinación del borde libre conforme a los resultados de las simulaciones hidráulicas

Los resultados de las simulaciones y los parámetros de diseños que se infirieron de la misma, fueron remitidos oportunamente al especialista de estructuras hidráulicas a fin de desarrollar los diseños más adecuados de los diques de protección y se cumplan con las fechas contractuales con PSI.

Respecto a la condición de borde libre se verificó en los perfiles longitudinales de la simulación con proyecto que la diferencia de las cotas de agua varió entre 0,10 m a 0,25 m para el período de retorno de 50 años (con caudal de diseño 800 m³/s) y el período de retorno de 100 años (con caudal de control 900 m³/s), por lo que se consideró 1 m de borde libre en el período de retorno de 50 años para que la cota de la corona del dique sea mayor que la cota que alcanza el agua en el período de retorno de 100 años (ver *Figura 46*).

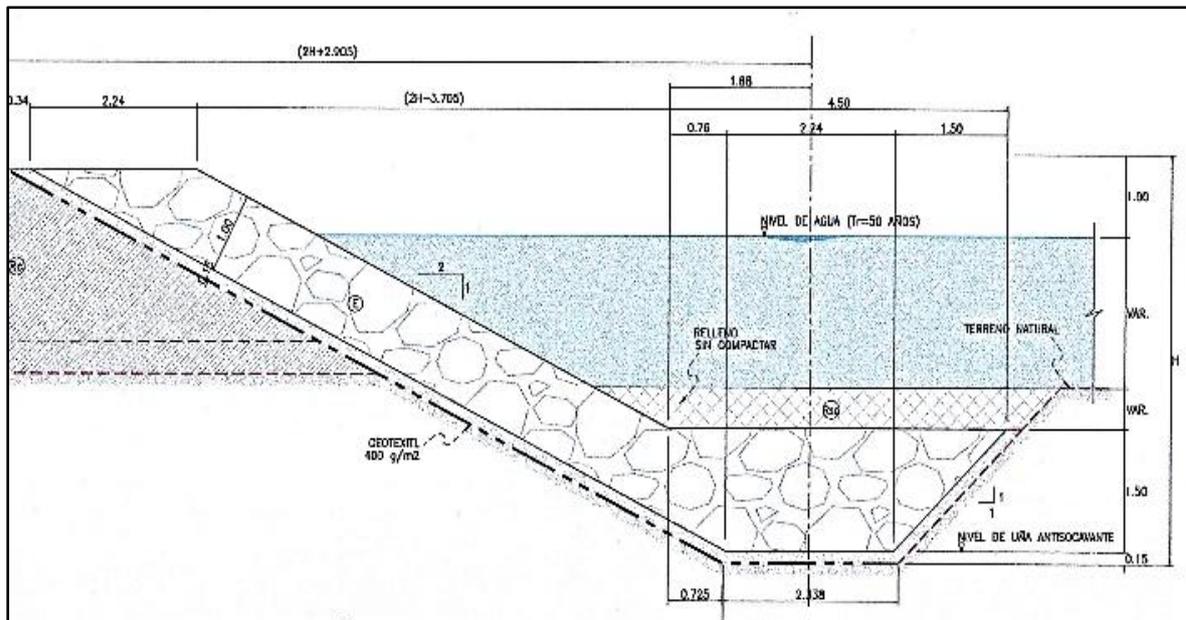


Figura 46: Borde libre Tr=50 años

4.4.3. Consideraciones en el tramo conforme a los resultados de las simulaciones hidráulicas

Tras los resultados de las simulaciones hidráulicas con proyecto se determinó que se protegerá 500 ha en la margen derecha y 200 ha la margen izquierda.

El puente Huamaní no será afectado por los diques propuestos, sin embargo, ya que sus estribos no disponen de diques de protección contiguos tanto aguas arriba como aguas abajo, los estribos del puente se empalmarán a los diques proyectados.

Conforme a los diques proyectados en el tramo Pi-02 (PK 6+500 al 7+900), el dique derecho cruzará al canal aductor de la bocatoma Caucato, por lo cual se ha previsto una estructura de cruce de diámetro 900 mm con una compuerta tipo charnela que permitirá el flujo del agua en un solo sentido como protección ante grandes avenidas. El dique izquierdo que cruza un pequeño canal de drenaje de riego se ha previó una estructura de cruce de diámetro 300 mm con una compuerta tipo charnela, que evita el ingreso del agua del río hacia las tierras de cultivo.

4.4.4. Implementación de equipos computaciones sofisticados

La empresa implementó los equipos computacionales a partir de solicitar ordenadores con las características que demanda el procesamiento de la simulación hidráulica con el programa Iber, por lo que en este caso se adquirió una computadora con procesador i7, novena generación, con 32 Gb de memoria RAM y 4Gb de tarjeta de video a fin de reducir el tiempo del proceso de simulación y obtener los resultados satisfactoriamente (ver *Figura 47*).

Especificaciones del dispositivo	
Nombre del dispositivo	DESKTOP-3DO8DVG
Procesador	Intel(R) Core(TM) i7-9700K CPU @ 3.60GHz 3.60 GHz
RAM instalada	32.0 GB
Id. del dispositivo	8B63BB8B-0425-41E7-90A3-5B4811CDAAC9
Id. del producto	00331-10000-00001-AA829
Tipo de sistema	Sistema operativo de 64 bits, procesador x64
Lápiz y entrada táctil	La entrada táctil o manuscrita no está disponible para esta pantalla

Figura 47: Especificaciones del dispositivo

4.4.5. Comunicación oportuna a partir de la verificación de la calidad de la información

Se verificó la calidad de la información del terreno y de los datos complementarios al realizar una simulación a modo de prueba con un mallado grande que cubrió toda la extensión del tramo verificándose que presentaban había obstrucciones en la topografía por lo que se realizaron las acciones correctivas oportunamente por parte de la empresa contratante evitando pérdidas económicas y de tiempo.

Por lo antes mencionado, se realizó las correcciones al levantamiento topográfico abarcando con amplitud las áreas que se encontraban limitadas de topografía y las ortofotos correspondientes a la misma.

4.4.6. Gestión con entidades a partir de las limitaciones de información

En representación de la empresa del centro laboral se gestionó los requerimientos de información necesarios para complementar el estudio del diseño hidráulico y de esta manera cumplir los plazos de entrega de los avances de los informes y evitar las penalidades del PSI. Por lo antes mencionado, se obtuvo la información correspondiente a la faja marginal proporcionada por la Autoridad Local del Agua (ALA) y los límites catastrales de la zona proporcionado por el Programa Subsectorial de Irrigaciones (PSI).

4.4.7. Determinación de cálculos de la socavación y enrocados

La socavación general es el resultado directo del intercambio entre los sólidos de los contornos del cauce y los transportados por la corriente, tanto en forma de arrastres de fondo como los que flotan suspendidos en el agua.

Conforme con lo indicado es evidente que este proceso depende únicamente del régimen hidráulico del flujo y de las propiedades físicas del sedimento y de los contornos del cauce. En relación a las propiedades hidráulicas del río, como resultado del modelamiento hidráulico mediante el programa IBER se han establecido los tirantes máximos, velocidades máximas y cota del nivel de agua para el tramo Pi-02 con proyecto de diques de protección, para las avenidas de 50 y 100 años.

Para calcular la socavación se determinó: el área hidráulica, el tirante medio, velocidad media y cotas del fondo mínimo del cauce y fondo de socavación mínima, en base secciones cada 100 m en cada tramo correspondiente al caudal de diseño para el período de retorno de 50 años de 800 m³/s, considerando las respectivas secciones.

Respecto a las propiedades de los sólidos de fondo del río se usó una longitud de 20,35 mm de diámetro d₅₀ conforme a Tabla 11.

Para la evaluación de la socavación en el cauce del río se usaron las fórmulas de régimen de Lacey, Blanch, Laursen y Lischtván-Lebediev, adecuadas para la evaluación de la socavación general del cauce principal, tal como se muestra en la Tabla 17.

Cabe mencionar que, en el estudio de hidráulica fluvial no aprobado por PSI, la socavación del cauce principal fue evaluado sólo con la fórmula de Lischtván-Lebediev.

Conforme con la evaluación de la socavación del cauce principal del río Pisco se consideró adecuada la cimentación de la uña anti socavación 1,50 m por debajo del nivel mínimo del lecho de la corriente, debido al estrechamiento moderado del cauce y las altas velocidades que allí se producen.

Tabla 17: Evaluación de la socavación general del cauce principal tramo Pi-02

Q= 800		m ³ /s		TRAMO PI - 2																		
SECCIÓN	B	A	q	y	d _{n50}	β (t ₅₀)	μ	α	x	h _{ms}	h _{ms}	h _{ms}	h _{ms}	S _L	S _B	S _{La}	S _{Le}	S adoptada	v _m	Fondo mínimo	Fondo mínimo socavación	
[km]	[m]	[m ²]	[m ³ /s/m]	[m]	[m]					[m]	[m]	[m]	[m]						[m]	[m/s]	[m.s.n.m.]	[m.s.n.m.]
										Lacey	Blench	Laursen	Levediev									
0+000,00	110,43	334,73	7,24	3,03	11	0,97	1,00	1,141	0,30	3,09	4,15	4,08	3,77	0,06	1,12	1,04	0,74	1,50	2,39	47,31	45,81	
0+100,00	144,23	373,50	5,55	2,59	11	0,97	1,00	1,136	0,30	2,59	3,47	3,24	3,07	0,00	0,88	0,65	0,48	1,50	2,14	48,97	48,97	
0+200,00	149,48	365,35	5,35	2,44	11	0,97	1,00	1,207	0,30	2,52	3,39	3,14	2,99	0,08	0,95	0,70	0,54	1,50	2,19	49,46	49,46	
0+300,00	154,57	282,04	5,18	1,82	11	0,97	1,00	1,900	0,30	2,47	3,32	3,05	2,91	0,64	1,49	1,23	1,09	1,50	2,84	50,54	49,04	
0+400,00	166,44	241,37	4,81	1,45	11	0,97	1,00	2,587	0,30	2,35	3,16	2,87	2,75	0,90	1,71	1,42	1,30	1,50	3,31	51,60	51,60	
0+500,00	177,92	293,18	4,50	1,65	11	0,97	1,00	1,956	0,30	2,25	3,02	2,71	2,61	0,60	1,37	1,06	0,96	1,50	2,73	52,00	50,50	
0+600,00	145,58	260,92	5,50	1,79	11	0,97	1,00	2,078	0,30	2,57	3,45	3,22	3,05	0,78	1,66	1,42	1,26	1,50	3,07	52,20	50,70	
0+700,00	118,95	240,28	6,73	2,02	11	0,97	1,00	2,084	0,30	2,94	3,95	3,82	3,56	0,92	1,93	1,80	1,54	1,50	3,33	52,20	50,70	
0+800,00	145,09	294,91	5,51	2,03	11	0,97	1,00	1,691	0,30	2,58	3,46	3,23	3,06	0,54	1,43	1,19	1,02	1,50	2,71	53,34	51,84	
0+900,00	180,19	329,58	4,44	1,83	11	0,97	1,00	1,623	0,30	2,23	2,99	2,68	2,59	0,40	1,16	0,85	0,76	1,50	2,43	55,00	53,50	
0+926,00	198,27	325,87	4,03	1,64	11	0,97	1,00	1,763	0,30	2,09	2,81	2,47	2,40	0,45	1,16	0,82	0,76	1,50	2,45	54,60	53,10	
													Máximo	0,92	1,93	1,80	1,54					
													Mínimo	0,00	0,88	0,65	0,48					
													Promedio	0,49	1,35	1,11	0,95					

4.4.8. Simulación hidráulica en los tramos Pi-01 (PK 2+900 al 4+900), Pi-02 (PK 6+500 al 7+900), Pi-03 (PK 12+400 al 13+900), Pi-04 (PK 19+500 al 20+500), Pi-05 (PK 25+900 al 26+700) y Pi-06 (PK 34+500 a 36+400)

Tras simular satisfactoriamente con Iber el tramo Pi-02 (PK 6+500 al 7+900) y haber obtenido los parámetros de diseño de los diques se realizó la simulación hidráulica en los tramos Pi-01 (PK 2+900 al 4+900), Pi-02 (PK 6+500 al 7+900), Pi-03 (PK 12+400 al 13+900), Pi-04 (PK 19+500 al 20+500), Pi-05 (PK 25+900 al 26+700) y Pi-06 (PK 34+500 a 36+400) bajo las características y condiciones propias de cada tramo (topografía, geología, hidrología) se obtuvo los resultados esperados.



Figura 48: Ubicación específica de los tramos

- **Tramo Pi-01 (PK 2+900 al 4+900)**

La Figura 49 muestra los resultados de la simulación hidráulica con Iber con y sin proyecto para un periodo de retorno de 50 años, con los trazos de diques definitivos que corresponde a 687 m en la margen izquierda y 2132 m en la margen derecha.

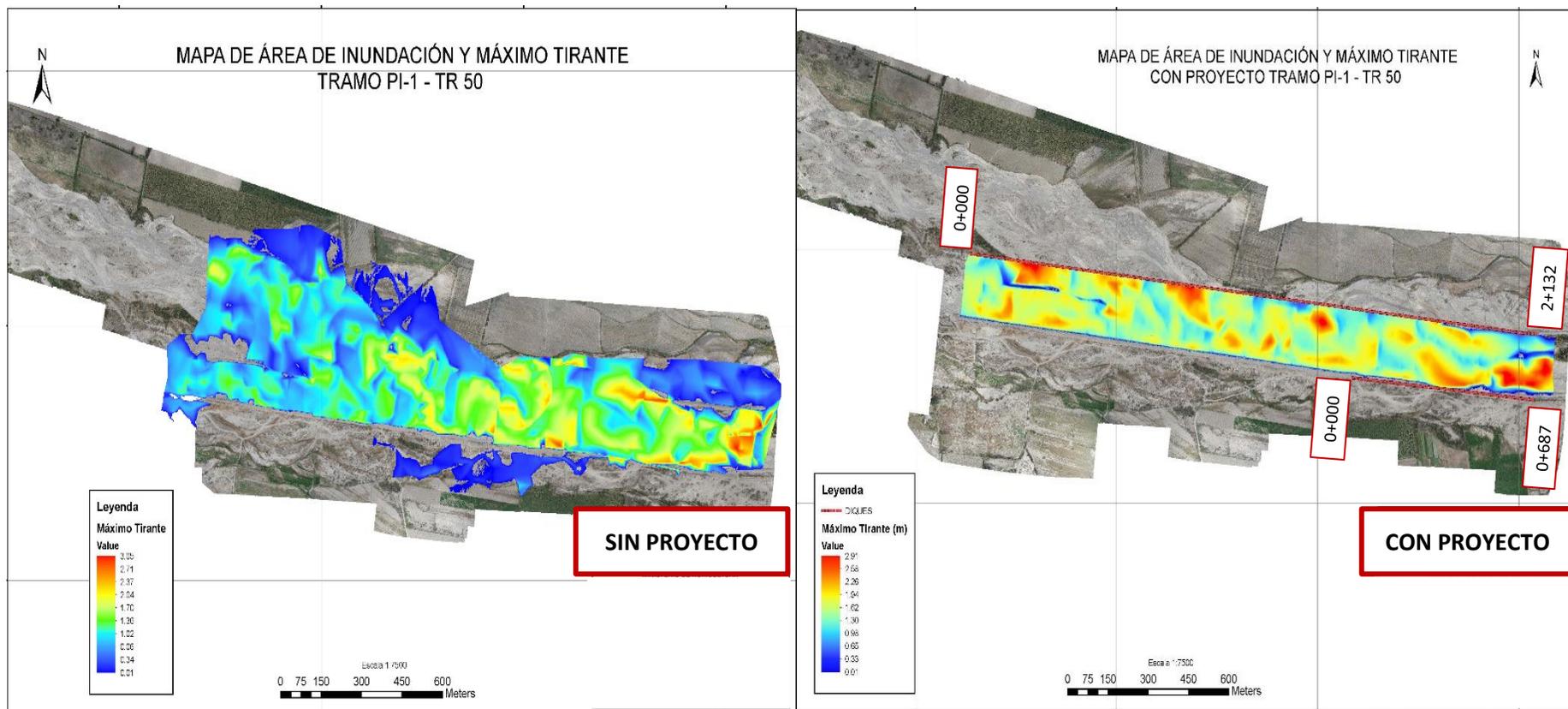


Figura 49: Resultado de simulación hidráulica con y sin proyecto tramo Pi-01

- **Tramo Pi-02 (PK 6+500 al 7+900)**

La figura 50 muestra los resultados de la simulación hidráulica con Iber con y sin proyecto para un periodo de retorno de 50 años, con los trazos de diques definitivos que corresponde a 926 m en la margen izquierda y 600 m en la margen derecha.

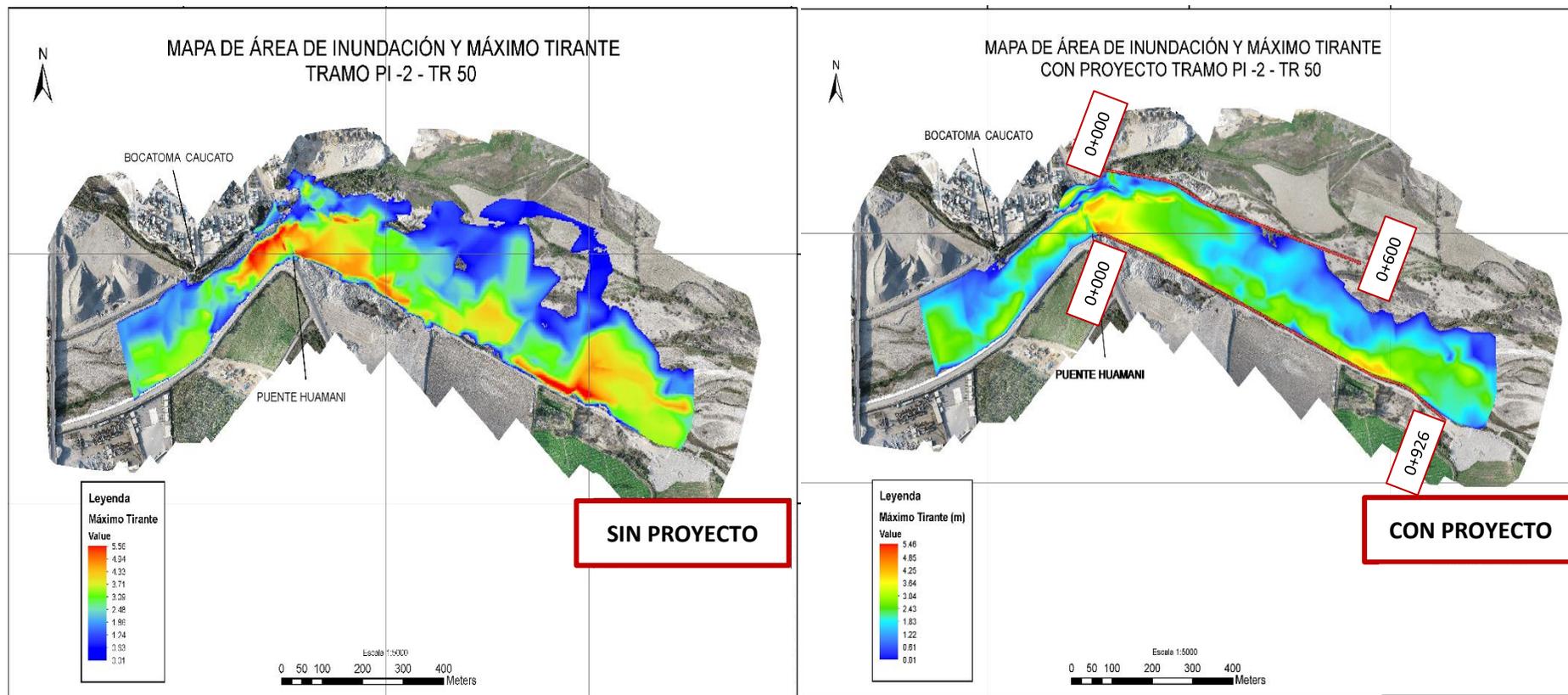


Figura 50: Resultado de simulación hidráulico con y sin proyecto tramo Pi-02

- **Pi-03 (PK 12+400 al 13+900)**

La Figura 51 muestra los resultados de la simulación hidráulica con Iber con y sin proyecto para un periodo de retorno de 50 años, con los trazos de diques definitivos que corresponde a 1859 m en la margen izquierda.

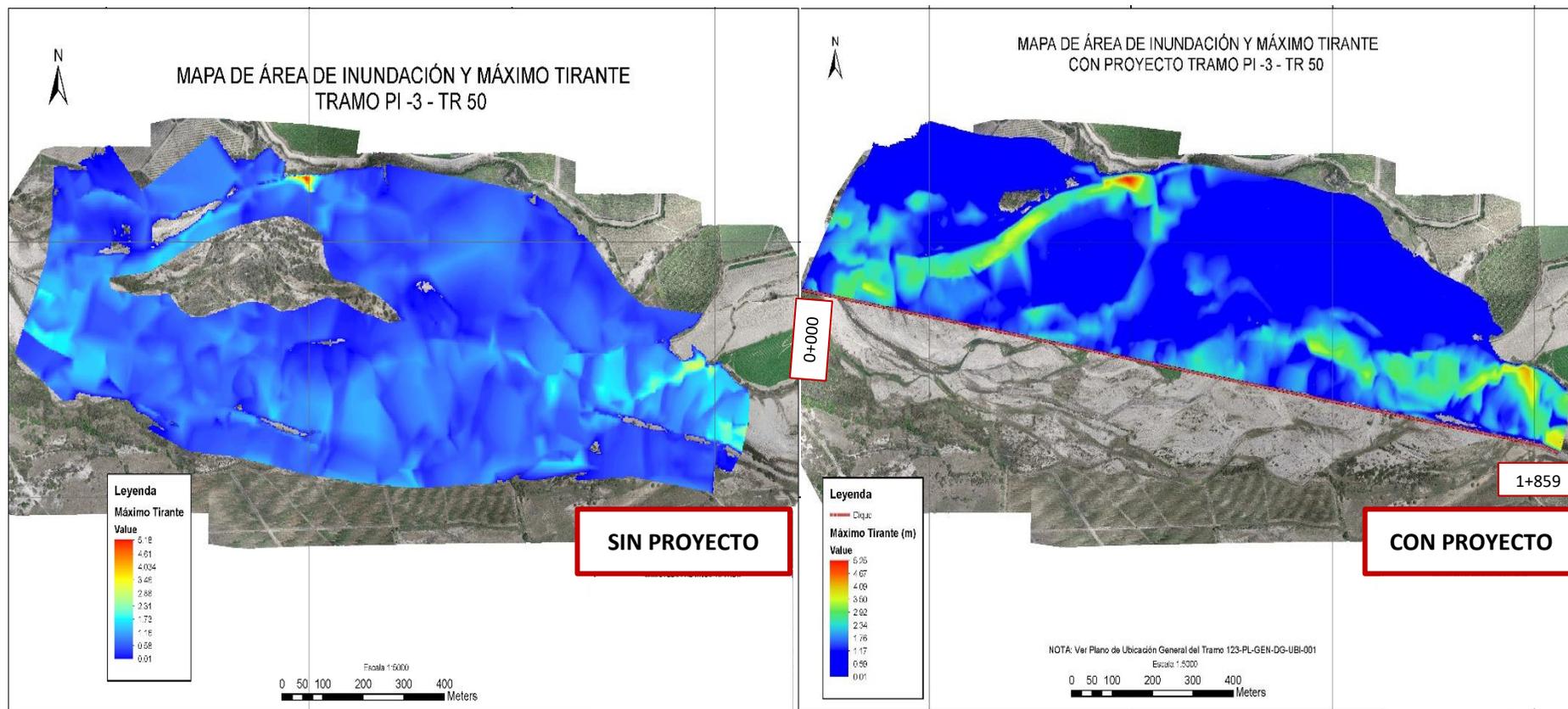


Figura 51: Resultado de simulación hidráulico con y sin proyecto tramo Pi-03

- **Pi-04 (PK 19+500 al 20+500)**

La Figura 52 muestra los resultados de la simulación hidráulica con Iber con y sin proyecto para un periodo de retorno de 50 años, con los trazos de diques definitivos que corresponde a 1053 m en la margen izquierda y 379 m en la margen derecha.

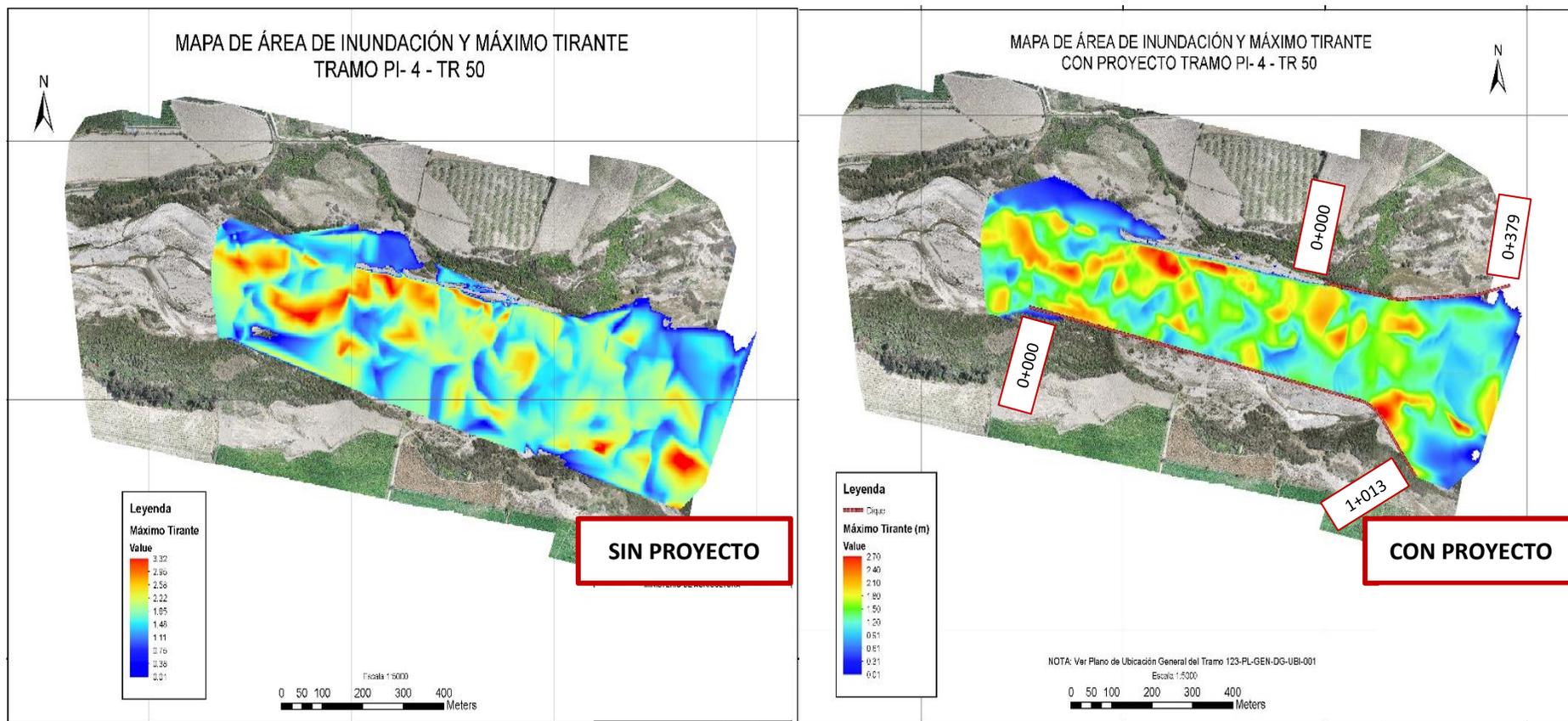


Figura 52: Resultado de simulación hidráulico con y sin proyecto tramo Pi-04

- **Pi-05 (PK 25+900 al 26+700)**

La figura 53 muestra los resultados de la simulación hidráulica con Iber con y sin proyecto para un periodo de retorno de 50 años, con los trazos de diques definitivos que corresponde a 1174 m en la margen izquierda.

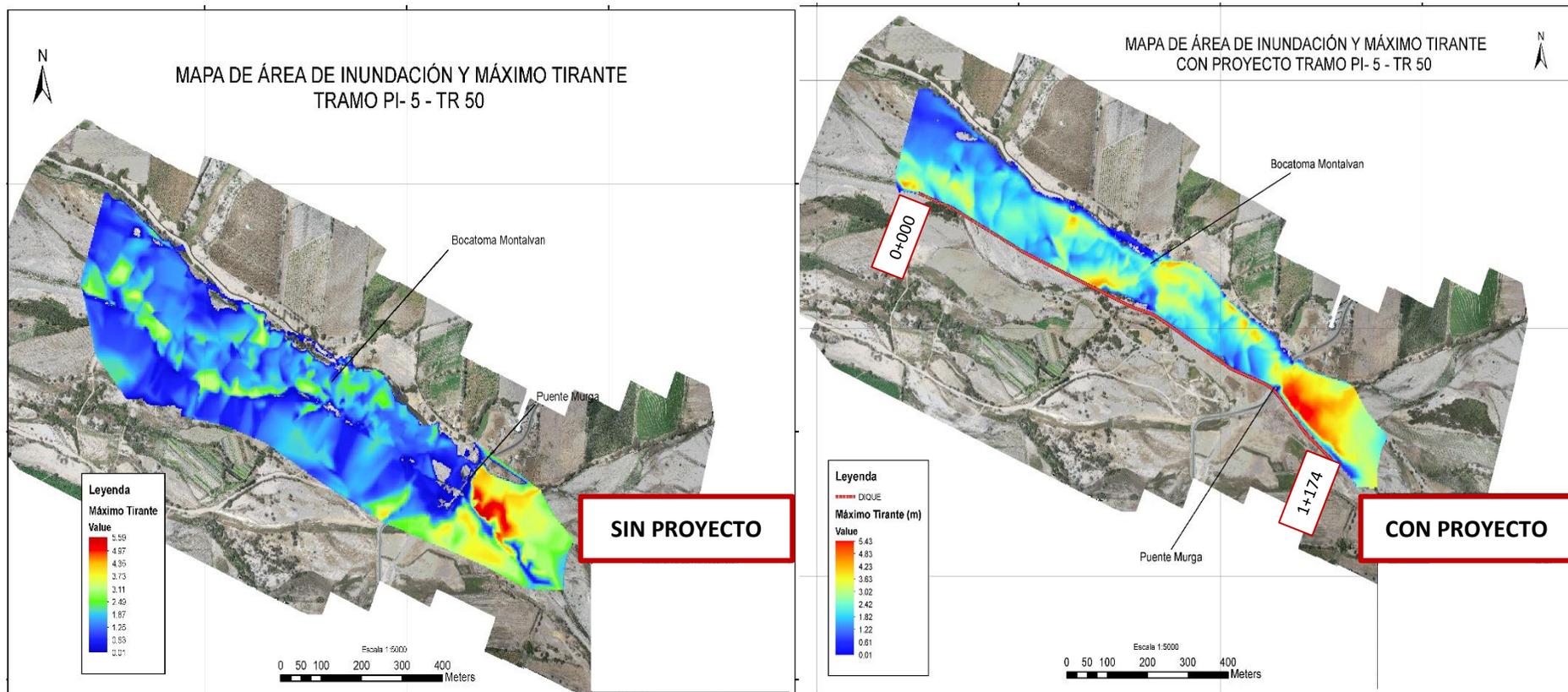


Figura 53: Resultado de simulación hidráulico con y sin proyecto tramo Pi-05

- **Pi-06 (PK 34+500 a 36+400)**

La figura 54 muestra los resultados de la simulación hidráulica con Iber con y sin proyecto para un periodo de retorno de 50 años, con los trazos de diques definitivos que corresponde a 1838 m en la margen izquierda y 1376 en la margen derecha.

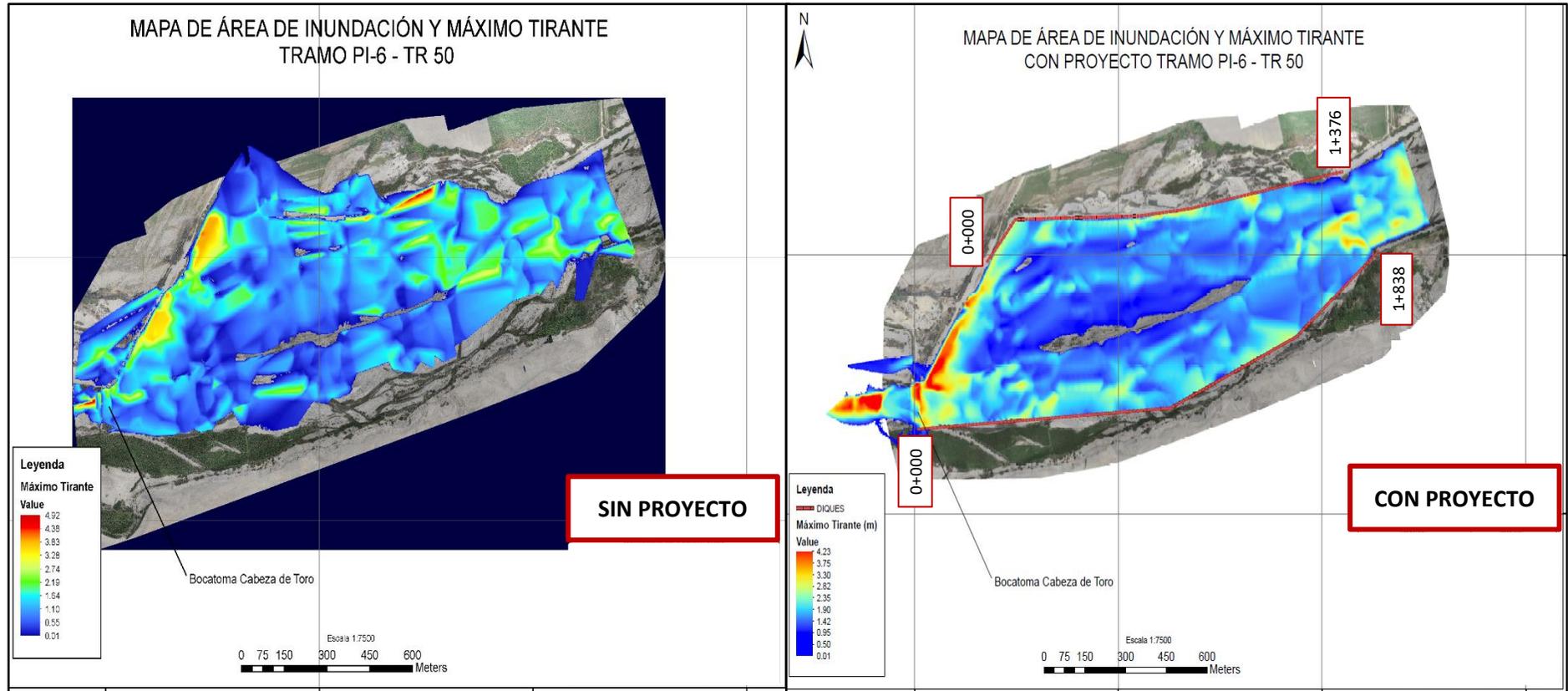


Figura 54: Resultado de simulación hidráulico con y sin proyecto tramo Pi-06

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- Se mejoró el estudio de hidráulica fluvial y área de inundación en seis tramos del río Pisco - Ica, según los caudales y parámetros del estudio hidrológico, simulaciones hidráulicas para periodos de retorno de 50 años y 100 años con y sin proyecto; y la verificación de los cálculos de la socavación y transporte de sedimentos.
- Se obtuvieron los parámetros de diseño de los diques de protección los cuales correspondieron a la cota del nivel que alcanza el agua para un periodo de retorno de 50 años y 100 años (1m de borde libre), el nivel de cota de fondo de la uña antisocavante (1,5 m de altura de uña antisocavante) y el trazo definitivo del eje en seis tramos del río Pisco.
- Se simuló en seis tramos del río Pisco - Ica con uso del software Iber para periodos de retorno de 50 años en régimen permanente con y sin proyecto, por lo que se identificaron los sectores vulnerables a inundación.
- Respecto a la evaluación de la socavación general del cauce principal en seis tramos del río Pisco – Ica, se usaron las fórmulas de régimen de Lacey, Blench, Laursen y Lischtvan-Levediev, con un caudal de diseño de 800 m³/s de período de retorno de 50 años; por lo que se consideró tomar como valor representativo de la socavación promedio más alto de 1,35 m.
- Respecto a la condición de borde libre en seis tramos del río Pisco – Ica, se verificó en los perfiles longitudinales de la simulación con proyecto que la diferencia de las cotas de agua varió entre 0,10 m a 0,25 m para el período de retorno de 50 años (con caudal de diseño 800 m³/s) y el período de retorno de 100 años (con caudal de control 900 m³/s), por lo que se consideró 1 m de borde libre en el período de retorno de 50 años.

5.2. Recomendaciones

- Se recomienda realizar un adecuado levantamiento topográfico abarcando con amplitud las áreas que se encuentran fuera del cauce y de la ribera del río ya que al haber limitaciones topográficas no se podría identificar completamente las áreas inundables que se generan con la simulación hidráulica.
- Se recomienda emplear equipos de computación con las características que demanda el procesamiento de simulación hidráulica con el programa Iber a fin de reducir el tiempo del proceso de simulación y obtener los resultados satisfactoriamente.
- Se recomienda presupuestar el costo y tiempo que implica el proceso de simulación para obtener los mapas de inundación.
- Se recomienda verificar la calidad de la información del terreno y de los datos complementarios realizando a modo de prueba una simulación hidráulica que cubra la zona del proyecto con un mallado más grande que el mallado definitivo.
- Se recomienda en el proceso de ejecución del proyecto construir las obras a partir de abril hasta diciembre con la finalidad de evitar el nivel freático alto y temporadas de lluvia.
- Se recomienda para la ejecución del proyecto se coordine con la Junta de Usuarios y la oficina de ALA del Ministerio de Agricultura, para el apoyo institucional y social.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA. (2014). Ley de Recursos Hídricos y su Reglamento Ley N°29338. (6ta ed.). Lima, Perú. 164 pp.
- Bladé, E.; Cea, L.; Corestein, G.; Escolano, E.; Puertas, J.; Vázquez, E.; Coll, A. (2014). Iber: Herramienta de simulación numérica del flujo en ríos. *Revista Internacional de Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño en Ingeniería* Vol.30 (1), 1-10.
- Bouza, B. (2003). Análisis de la estabilidad del cauce del río Llobregat tras la construcción de la autovía del Baix Llobregat. Cataluña, España. 70 pp.
- Consortio de Ingeniería Valles Vulnerables (2018). Instalación - implementación de medidas de prevención para el control de desbordes e Inundaciones del río Pisco - Provincia Pisco - Departamento de Ica. Departamento de Lima – Perú.
- IBER. (2010). Modelización bidimensional del flujo en lámina libre en aguas poco profundas. ESPAÑA: Manual básico de usuario.
- IBER. (2015). Modelización bidimensional del flujo en lámina libre en aguas poco profundas. ESPAÑA: Manual de referencia hidráulico.
- Nácher, B.; Vallés, F.; Balague, A.; Lobera, G.; López, J.; Verticat, D. & Batalla, R. (2017). Procesos de transporte de sedimentos en un cauce aluvial con modelación hidráulica bidimensional. Jornadas de Ingeniería del Agua.
- Rosgen, D. (1996). Applied River Morphology. Wild-land Hydrology. USA: Pagosa Springs.
- Tomás, A. (s.f.). Manual River: Diseño de Defensas Ribereñas. Lima, Perú. 29 pp.