2001

ANEXO 8 : Estudio Modelación Hidráulica

CONSORCIO
CISPDR-SIGT

FORMULACIÓN DEL PLAN INTEGRAL PARA EL CONTROL DE INUNDACIONES Y MOVIMIENTOS DE MASA DE LA CUENCA DEL RÍO CAÑETE, DEPARTAMENTO DE LIMA

Código del Proyecto:	Etapa:	Código de Informe:
SIGT 19-01	Entregable Final	SIGT 19-01-IT-MHF-06-Rev1

COMPONENTE A

PERFIL A-1

"CREACIÓN DEL SERVICIO DE PROTECCIÓN CONTRA INUNDACIONES DEL RÍO CAÑETE ENTRE EL TRAMO DESEMBOCADURA DEL RÍO CAÑETE – LOCALIDAD DE PAULLO EN LOS DISTRITOS DE SAN VICENTE DE CAÑETE, NUEVO IMPERIAL Y LUNAHUANA DE LA PROVINCIA DE CAÑETE-DEPARTAMENTO DE LIMA"

ANEXO 08: ESTUDIO MODELACIÓN HIDRAULICA

Versión 1.0

Especialista en Modelización Hidráulica

Ing. Julio Martín Kuroiwa Zevallos

Revisión	Fecha	Hecho Por	Revisado	Aprobado	Descripción
A	10-08-2020	JMKZ	JAOA	JAOA	Emitido para revisión interna
0	28-08-2020	JMKZ	JAOA	JAOA	Emitido para aprobación

INDICE

1. GENERALIDADES 7

1.1. Antecedentes 7

1.2. Objetivos 8

2. BASES TEORICAS 9

2.1. Radio hidráulico en un canal muy ancho 9

2.2. Tirante de diseño (B > 30m) 10

2.3. Velocidad media 11

2.4. Ancho estable o amplitud de cauce 11

2.5. Erosión General Transitoria 15

2.6. Descripción del programa IBER 2D 16

3. METODOLOGÍA DEL ESTUDIO HIDRAULICO 21

3.1. Ubicación de la zona en estudio 22

3.2. Topografía y cubierta del tramo en estudio 24

3.3. Coeficiente del número de Manning (n) 26

3.4. Hidrograma de diseño 29

3.5. Criterios empleados en el trazo de eje de estructuras de defensa 30

3.6. Modelo Digital de Elevación (DEM) 42

3.7. Modelamiento IBER 2D 44

4. ANALISIS Y DISCUSION DE RESULTADOS 51

4.1. Modelamiento por inundación (sin estructuras de defensa) 52

4.1.1. ANÁLISIS PARA EL TR DE 100 AÑOS 53

4.2. Modelamiento con estructuras de defensa 74

4.2.1. SIMULACIÓN IBER 2D CON DIQUES PARA EL T_R DE 100 AÑOS 74

5. CONCLUSIONES 77

6. ANEXOS 77

TOMÁS A. SÁNCHEZ RONDÁN
Representante Legal
Consorcio CISPDR - SIGT

JUAN ARMANDO OLAZÁBAL ÁLVAREZ
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 5289
JEFE DE PROYECTO

Ing. JULIO MARTIN KUROIWA ZEVALLOS
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 42895
ESP. MODELIZACIÓN HIDRÁULICA FLUVIAL

IMAGENES

Imagen 1. Vista satelital del tramo en estudio "Desembocadura río Cañete–Bocatoma Palo Herbay"..... 23
Imagen 2. Vista satelital del tramo en estudio "Puente Paullo - Bocatoma Palo Herbay"..... 23
Imagen 3. Vista satelital de la cobertura sobre la superficie aguas arriba y abajo de la Bocatoma La Fortaleza..... 24
Imagen 4. Vista satelital de la cobertura sobre la superficie aguas arriba y abajo de la Bocatoma Imperial..... 25
Imagen 5. Vista de un Bosque inundable de caña brava y de la granulometría del cauce, ambas fotos aguas abajo de la Bocatoma La Fortaleza..... 26
Imagen 6. Vista de Bosques inundables y granulometría del cauce. Ambas fotos se tomaron aguas abajo de la Bocatoma Imperial..... 26
Imagen 7. Trazo inicial propuesto tomando como referencia la Fluviomorfología del año 2003..... 33
Imagen 8. Vista de trazos de diques colapsados en avenidas del año 2019..... 35
Imagen 9. Trazos definitivos de ejes de diques para el año 2019, aguas arriba de la Bocatoma La Fortaleza..... 36
Imagen 10. Trazos en la Fluviomorfología del año 2009 (imagen superior) y 2013 (imagen inferior)..... 37
Imagen 11. Vista de diques colapsados y transición natural del ancho teórico del cauce..... 40
Imagen 12. Unión de trazos definitivos de ejes de diques de ambos proyectos en la zona de transición natural del cauce (Bocatoma Imperial)..... 41
Imagen 13. Mapa de inundaciones en IBER 2D del tramo "Desembocadura río Cañete - Bocatoma Palo Herbay" para el Tr de 100 años..... 54
Imagen 14. Vistas satelitales de zonas en riesgo aguas abajo de la Bocatoma La Pinta..... 55
Imagen 15. Vista de inundación aguas arriba de Bocatoma La Fortaleza..... 56
Imagen 16. Viviendas cerca de la ribera derecha aguas abajo del Puente Clarita..... 58
Imagen 17. Vista de inundación aguas abajo del Puente Clarita..... 59
Imagen 18. Vistas satelitales y desde el terreno mismo del colapso continuo de los diques rústicos, aguas abajo del Puente Clarita..... 63
Imagen 19. Mapa de inundaciones en IBER 2D del tramo "Puente Paullo - Bocatoma Palo Herbay" para el T_r de 100 años..... 65

TOMAS A. SÁNCHEZ RONDAN
Representante Legal
Consorcio CISPDR - SIGT

JUAN ARMANDO OLAZABAL ÁLVAREZ
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 5289
JEFE DE PROYECTO

Ing. JULIO MARTIN KUROIWA ZEVALLOS
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 42895
ESP. MODELIZACIÓN HIDRÁULICA FLUVIAL

Imagen 20. A, B y C vistas satelitales correspondientes a los años 2015, 2017 y 2019 respectivamente de la zona en riesgo sector Lúcumo. D fotografía de la situación actual de las riberas en riesgo en el sector Lúcumo. 69
Imagen 21. Vista de la inundación según la simulación IBER 2D en el sector Lúcumo. 70
Imagen 22. Vista de la inundación según la simulación IBER 2D aguas abajo y arriba del Puente Socsi 72
Imagen 23. Vista de uno de los espigones existentes que protege el banco elevado, aguas abajo del Puente Socsi. 73
Imagen 24. Vista de un dique enrocado junto a un dique rústico que protege la llanura inundable por donde pasa la carretera Cañete - Yauyos, aguas abajo del Puente Socsi. 73
Imagen 25. Vista del modelamiento hidráulico IBER 2D definitivo en presencia de diques tanto proyectados como existentes que necesitan elevación de corona. 75
Imagen 26. Vista del modelamiento hidráulico IBER 2D definitivo en presencia de diques tanto proyectados como existentes que necesitan elevación de corona. 76

FIGURAS

Figura 1. Radio hidráulico en un canal muy ancho. 9
Figura 2. Muestra una red de elementos triangulares a los que se les ha dado la forma de triángulos rectángulos (Fuente: Blade et al. 2014). 18
Figura 3. Sectorización de la superficie del cauce y áreas inundables 28
Figura 4. Sectorización de la superficie del cauce y áreas inundables. 29
Figura 5. Hidrograma de flujo de la Estación Socsi. 30
Figura 6. Modelo digital de elevación en formato tiff de 0.5 m x 0.5 m de pixel. 42
Figura 7. Modelo digital de elevación en formato tiff de 0.4m x 0.4m de pixel. 43
Figura 8. Generación de la malla estructurada de 5 m de espaciamiento lateral. 45
Figura 9. Generación de la malla estructurada de 4 m de espaciamiento lateral. 46
Figura 10. Vista de condición de entrada y salida en el MDT. 47
Figura 11. Vista de condición de entrada y salida en el MDT. 48
Figura 12. Salida gráfica de inundación para periodo de retorno de 100 años. Corresponde a una sección 600 m aguas arriba del mar y 400 m aguas debajo del actual eje del Puente Aramayo. 83
Figura 13. Desborde del río Cañete con una topografía previa a la construcción del puente. Nótese los desbordes por la margen derecha. 84

TOMÁS A. SÁNCHEZ RONDAN
Representante Legal
Consorcio CISPDR - SIGT

JUAN ARMANDO OQUENDO ÁLVAREZ
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 5289
JEFE DE PROYECTO

Ing. JULIO MARTIN KURONIYA ZEVALLOS
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 42895
ESP. MODELIZACIÓN HIDRÁULICA FLUVIAL

Figura 14. Modelación hidráulica en la zona del puente Henry Aramayo, a un kilómetro de la costa. Nótese el remanso generado aguas arriba.....85
Figura 15. Tramo entre la Bocatoma Fortaleza y el Puente Clarita donde hubo desbordes y que fueron visitados en Agosto de 2019.....86
Figura 16. Acercamiento de sector donde ocurrieron desbordes en el tramo Fortaleza - Puente Clarita. Los puntos 1 y 2 corresponden a puntos de desborde.....87
Figura 17. Cauce del río Cañete en estación seca mirando en dirección aguas abajo y defensas rústicas en margen derecha. Este es el punto 1 de las figuras anteriores, en el que hubo desbordes durante el Niño Costero de 2017 y durante el Niño de 1983...87
Figura 18. Campo de cultivo donde se ha sembrado árboles de manzana. Nótese los depósitos de cantos y bolones que no han sido removidos por los agricultores. Esta se encuentra en la localidad "2", ubicada aguas arriba de "1". El ANA ha instalado un hito indicando el límite de la faja marginal del río Cañete. Este está detrás de unas defensas conformadas hacia el interior del río. 88
Figura 19. Punto de desborde 2. Nótese una primera línea de defensa, que es un dique rústico, conformado con material del río. 88
Figura 20. Punto de desborde 2, nótese las defensas rústicas conformadas por material propio y que no tendría un comportamiento adecuado frente a nuevos eventos. 89
Figura 21. Vista de Bocatoma Fortaleza, en la que se muestra el barraje fijo (en la parte superior, central) y el barraje móvil en la parte baja. El barraje móvil está compuesto por tres compuertas y se cierra cuando pasa una gran avenida.....90
Figura 22. Barraje fijo, por donde pasa el caudal en caso de una avenida. El barraje móvil se cierra cuando los caudales suben por encima de un umbral dado. El valor del umbral para cerrar la toma es bastante menor a los caudales de diseño. 90
Figura 23. Vista de Bocatoma Nuevo Imperial, en la que se muestra el barraje fijo (en la parte central) y el barraje móvil en la ribera derecha. El barraje móvil está compuesto por tres compuertas y se cierra cuando pasa una gran avenida.....91
Figura 24. Barraje fijo, por donde pasa el caudal en caso de una avenida. El barraje móvil se cierra cuando los caudales suben por encima de un umbral dado. El valor del umbral para cerrar la toma es bastante menor a los caudales de diseño. 92
Figura 25. Puente Catapalla, mirando en dirección aguas abajo. Fotografía tomada el 19 de diciembre de 2019. 93
Figura 26. Puente Catapalla, mirando en dirección aguas abajo. Fotografía tomada el 11 de mayo de 2019.....93
Figura 27. Puente Pacarán, aguas abajo de Zúñiga. Nótese que no tiene pilares. El levantamiento LiDAR registró los estribos y es suficiente para modelar adecuadamente el terreno. Fotografía tomada el 11 de mayo de 2019.....94

TOMAS A. SÁNCHEZ RONDAN
Representante Legal
Consorcio CISPDR - SIGT

JUAN ARMANDO OLAZABAL ÁLVAREZ
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 5289
JEFE DE PROYECTO

Ing. JULIO MARTIN KUROIWA ZEVALLOS
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 42895
ESP. MODELIZACIÓN HIDRÁULICA FLUVIAL

Figura 28. Vista de Puente Socsi desde margen izquierda. Nótese que el Puente Socsi no tiene estribos y el flujo para encauzado por las defensas de las márgenes izquierda y derecha. Fuente: https://www.construccionyvivienda.com/component/k2/samayca-ingenieros-.....95
Figura 29. Vista en planta del río Cañete en el tramo del puente Henry Aramayo. Nótese que el puente se encuentra aproximadamente a 920 m del inicio del eje.....96
Figura 30. Sección de la progresiva 1+000 en la que se muestra la salida del nivel del agua.....97

TABLAS

Tabla 1. Inversa de coeficientes de rugosidad según el material de lecho de río. 11
Tabla 2. Factores del cauce según material 12
Tabla 3. Valores del Coeficiente K según el material del cauce.....13
Tabla 4. Valores de K para el método de Manning-Strickler.....14
Tabla 5. Valores de "m" para el método de Manning-Strickler.....15
Tabla 6. Valores de $K1$ (Condiciones de fondo del cauce). 15
Tabla 7. Tamaño de malla en una serie de estudios de ingeniería y de investigación. En los tres primeros se empleó el programa Iber 2D, en el resto el programa River 2D. 19
Tabla 8. Numero de Manning "n" para canales naturales. 27
Tabla 9. Llanuras de inundación.....27
Tabla 10. Asignación del coeficiente de Manning (n) al cauce y áreas adyacentes. 28
Tabla 11. Asignación del coeficiente de Manning (n) al cauce y áreas adyacentes. 28
Tabla 12. Parámetros hidráulicos del Tramo en estudio.....34
Tabla 13. Métodos de cálculo para el ancho estable (Be) del tramo en estudio.....34
Tabla 14. Parámetros hidráulicos del Tramo en estudio.....38
Tabla 15. Métodos de cálculo para el ancho estable (B_e) del tramo en estudio 38
Tabla 16. Ventana de **Datos** de procesamiento en IBER 2D. 50
Tabla 17. Ventana de **Datos** de procesamiento en IBER 2D. 51

TOMÁS A. SÁNCHEZ RONDAN
Representante Legal
Consorcio CISPDR - SIGT

JUAN ARMANDO OLAZÁBAL ÁLVAREZ
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 5289
JEFE DE PROYECTO

Ing. JULIO MARTIN KUROIWA ZAVALLOS
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 42895
ESP. MODELIZACIÓN HIDRÁULICA FLUVIAL

1. GENERALIDADES

1.1. Antecedentes

Los problemas de inundación a nivel de cuenca son a consecuencia de falta de recubrimiento de vegetación, protección de los bancos de riberas y principalmente por eventos extraordinarios desencadenados por fenómenos del niño. En efecto, los pobladores y obras hidráulicas ubicadas en las partes bajas son quienes sufren principalmente el problema de inundación, socavación y colmatación.

El desborde del río Cañete en la parte baja (tramo Desembocadura río Cañete – Puente Paullo) ha provocado grandes daños durante la ocurrencia de eventos extremos, en particular, asociados a El Niño Extremadamente Intenso. Las inundaciones han afectado áreas de cultivos adyacentes a las riberas del río. Además, se han visto afectadas diversas estructuras hidráulicas, como bocatomas, y tramos de vías. Esta situación ha perjudicado a los pobladores de esta parte del país, ya que su principal ingreso para subsistir es la agricultura. El fenómeno de inundaciones es ocasionado eventualmente durante la estación lluviosa comúnmente dada desde el mes de diciembre hasta abril.

Ante lo mencionado el Consorcio CISPDR-SIGT, viene ejecutando los estudios de preinversión a Nivel de Perfil, para la "Formulación del plan integral para el control de inundaciones y movimientos de masa de la cuenca del río Cañete", y de esta manera formular un plan de acción integral para el control de estos fenómenos presentes en los cauces y quebradas de la cuenca del río Cañete.

El Fenómeno del Niño genera caudales extremos en las cuencas de la vertiente del Pacífico. El calentamiento del Océano Pacífico, en particular de la Región Niño 1+2 (frente a la Costa Peruana), conjuntamente con la convergencia intertropical, la disminución de la circulación sobre el Pacífico Occidental y la presencia de los Andes generan el aumento de precipitación de

TOMÁS A. SÁNCHEZ RONDAN
Representante Legal
Consorcio CISPDR - SIGT

JUAN ARMANDO OLAZÁBAL ÁLVAREZ
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 5289
JEFE DE PROYECTO

Ing. JULIO MARTIN KUROIWA ZEVALLOS
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 42895
ESP. MODELIZACIÓN HIDRÁULICA FLUVIAL

hasta dos órdenes de magnitud principalmente sobre la Vertiente del Pacífico, lo que genera caudales extremos en los ríos de esta hoya hidrográfica. Se han generado caudales de gran magnitud los años 1972, 1983, 1998 y 2017. En el último caso, se activaron quebradas a lo largo de la cuenca, tanto en las provincias de Cañete como la de Yauyos. En la provincia de Cañete los efectos de los flujos de escombros afectaron a una mayor cantidad de personas y propiedades en los distritos de Lunahuaná, Pacarán y Zúñiga, así como a la infraestructura vial y edificaciones, así como inundación de cultivos. El río Cañete inundó cultivos tanto en la parte media como en la parte baja y ocasionó la pérdida de parte de la plataforma de la vía Cañete – Yauyos en varios sectores. La erosión excesiva de las márgenes del río Cañete ocasionó la caída de muros perimétricos y puso en peligro las edificaciones construidas cerca de la margen derecha en el tramo entre Pacarán y Lunahuaná. Además, ocasionó la caída de un puente colgante en Catapalla.

La presente Modelación Hidráulica 2D del río Cañete en el tramo indicado es parte del proyecto "Creación del Servicio de Protección contra Inundaciones del río Cañete comprendido entre el Tramo Desembocadura del río Cañete – Localidad de Paullo, correspondiente al Distrito San Vicente de Cañete, Nuevo Imperial y de Lunahuaná, ubicados en la Provincia de Cañete, Departamento de Lima".

1.2. Objetivos

Objetivo principal

- Diseñar estructuras de defensa para el control de inundaciones en el tramo "Desembocadura río Cañete – Puente Paullo", mediante el empleo del programa de modelación bidimensional de lecho móvil IBER v2.5.1.

TOMÁS A. SÁNCHEZ RONDAN
Representante Legal
Consorcio CISPDR - SIGT

JUAN ARMANDO OLAZÁBAL ÁLVAREZ
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 5289
JEFE DE PROYECTO

Ing. JULIO MARTIN KUROIWA ZEVALLOS
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 42895
ESP. MODELIZACIÓN HIDRÁULICA FLUVIAL

Objetivos específicos

- Identificar, mediante modelamiento numérico IBER 2D, las áreas expuestas a inundaciones para caudales correspondientes a 10, 100 y 500 años de periodo de retorno.
- Identificar la fragilidad de bancos ribereños frente a las fuertes velocidades erosivas, mediante observaciones de la migración lateral registradas históricamente en imágenes satelitales.
- Corroborar, mediante visitas in situ, los riesgos de las áreas expuestas a inundación y de bancos frágiles frente a la erosión que ocasionan los flujos en máximas avenidas.
- Definir trazos y diseñar estructuras de defensa para la protección de los sectores vulnerables en el tramo de estudio.
- Ejecutar modelamientos IBER 2D con estructuras de defensa, ensambladas sobre la superficie topográfica en condiciones actuales, para un caudal de diseño de 100 años de periodo de retorno.

2. BASES TEORICAS

2.1. Radio hidráulico en un canal muy ancho

Cuando el ancho "b" de un canal o río es mucho mayor que el tirante, se dice que es un canal muy ancho. Esto permite hacer un cálculo más rápido y fácil del radio hidráulico (Rocha, 2007).

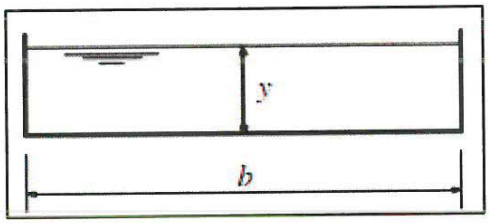


Figura 1. Radio hidráulico en un canal muy ancho.

TOMÁS A. SÁNCHEZ RONDAN
Representante Legal
Consorcio CISPDR - SIGT

JUAN ARMANDO OLAZÁBAL ÁLVAREZ
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 5289
JEFE DE PROYECTO

Ing. JULIO MARTIN KUROIWA ZEVALLOS
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 42895
ESP. MODELIZACIÓN HIDRÁULICA FLUVIAL

$$A = by$$

$$P = b + 2y$$

$$R = \frac{by}{b+2y} = \frac{y}{1+2\frac{y}{b}}$$

En un canal muy ancho la relación b/y es muy pequeña, por lo que, se puede considerar que:

$$R = y$$

2.2. Tirante de diseño (B > 30m)

Se procede a calcular el tirante de diseño en función al ancho estable mayor a 30 metros, para lo cual se ha empleado la fórmula de Manning - Strickler:

$$y = \left(\frac{Q}{Ks\ B\ S^{0.5}}\right)^{\frac{3}{5}}$$

Dónde:

B : Ancho efectivo del cauce (m)

Q : Caudal de diseño (m3/s)

Ks : Inversa del coeficiente de rugosidad

S : Pendiente media del tramo

TOMÁS A. SÁNCHEZ RONDAN
Representante Legal
Consorcio CISPDR - SIGT

JUAN ARMANDO OLAZÁBAL ÁLVAREZ
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 5289
JEFE DE PROYECTO

Ing. JULIO MARTIN KUROIWA LEW
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 42895
ESP. MODELIZACIÓN HIDRÁULICA FLUVIAL

Tabla 1. Inversa de coeficientes de rugosidad según el material de lecho de río.

Inversa del Coeficiente de rugosidad (Ks)	
Valores para Ks para Cauces Naturales	**Ks**
Cauce con fondo solido sin irregularidades	40
Cauces de rio con acarreo irregular	33 - 35
Cauces de Rios con Vegetacion	30 - 35
Cauces naturales con derrubio e irregularidades	30
Cauces de Rio con fuerte transporte de acarreo	28
Torrentes con piedras de tamaño de una cabeza	25 - 28
Torrentes con derrubio grueso y acarreo movil	19 - 22

2.3. Velocidad media

Con el resultado del tirante de diseño, se calcula la velocidad promedio, según la fórmula de Manning-Strickler. La fórmula es una evolución de la fórmula de Chézy para el cálculo de la velocidad del agua en canales abiertos, propuesta por el ingeniero irlandés Robert Manning en 1889:

$$V_m = K_s R_h^{2/3} S^{1/2}$$

Dónde:

V_m : Velocidad media (m/s)
Q : Caudal de diseño (m3/s)
R : Radio hidráulico (m)
K_s : Inversa del coeficiente de rugosidad
S : Pendiente media del tramo

2.4. Ancho estable o amplitud de cauce

La morfología que presenta el río es generada por la pendiente y la amplitud generada por la cantidad de material en arrastre, lo que ocasiona varias formas del cauce natural y diferentes anchos. Por lo cual, por seguridad se debe

TOMÁS A. SÁNCHEZ RONDAN
Representante Legal
Consorcio CISPDR - SIGT

JUAN ARMANDO OLAZABAL ÁLVAREZ
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 5289
JEFE DE PROYECTO

Ing. JULIO MARTIN KUROIWA ZEVALLOS
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 42895
ESP. MODELIZACIÓN HIDRÁULICA FLUVIAL

realizar el cálculo del ancho de un rio utilizando varios parámetros de métodos distintos.

- **Método de Blench – Altunin**

La teoría de régimen se desarrolló inicialmente en la india para diseñar canales de riego. Una gran cantidad de investigadores han hecho aportes a esta teoría entre ellos Blench, cuyo método se recomienda.

$$B := 1.81\sqrt{\frac{Q \cdot Fb}{Fs}}$$

Tabla 2. Factores del cauce según material

FACTOR DE FONDO (FB)	FACTOR DE ORILLA (FS)
0.80 – MAT. FINOS (DM<0.50 MM)	0.10 – MAT. SUELTOS
1.20 – MAT. GRUESOS (DM>0.50 MM)	0.20 – MAT. LIGERAMENTE COHESIVOS
	0.30 – MAT. COHESIVOS

- **Método de Julien y Wargadalam**

En el año 2002 Julien y Wargadalam mejoraron los estudios de anchos estables (B = W).

proponiendo el siguiente análisis:

$$W = 1.33\, Q^{\frac{2+4m}{5+6m}}\, d_s^{\frac{-4m}{5+6m}}\, S^{\frac{-1-2m}{5+6m}}$$

$$m = \frac{1}{\ln\left(\frac{12.2h}{d_s}\right)}$$

Dónde:

W : Ancho efectivo del cauce asociado al caudal (m)

Q : Descarga de diseño (m3/s)

d_s : Diámetro medio del material del lecho de río (m)

h : Calado medio del cauce (m)

TOMÁS A. SÁNCHEZ RONDAN
Representante Legal
Consorcio CISPDR - SIGT

JUAN ARMANDO OLAZABAL ALVAREZ
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 5289
JEFE DE PROYECTO

Ing. JULIO MARTIN KUROIWA ZEVALLOS
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 42895
ESP. MODELIZACIÓN HIDRÁULICA FLUVIAL

➢ **Método de Altunin**

La ecuación propuesta por este método es la siguiente:

$$B = A\,Q^{0.5} / S^{0.2}$$

En la ecuación propuesta para evaluar el coeficiente A, "n" es el coeficiente de rugosidad y K un coeficiente que depende de la resistencia de las orillas.

$$A = (n * k^{5/3})^{(3/(3+5m))}$$

Los valores "K" a adoptarse dependen de las características del cauce, el cual se muestran a continuación:

Tabla 3. Valores del Coeficiente K según el material del cauce.

Valores del Coeficiente K	Material de la Orilla del Río
3 a 4	Material de cauce muy resistente
16 a 20	Material fácilmente erosionable
8 a 12	Material aluvial
10	En los problemas de ingeniería

Los valores de "m" son de acuerdo a:

m = { 0.5 Ríos de montaña; 0.7 Cauces arenosos; 1 Cauces aluviales

➢ **Método de Petits**

Dentro de otros métodos americanos el de Pettit proporciona resultados comparables con otras fórmulas.

TOMÁS A. SÁNCHEZ RONDAN
Representante Legal
Consorcio CISPDR - SIGT

JUAN ARMANDO OLAZABAL ÁLVAREZ
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 5289
JEFE DE PROYECTO

Ing. JULIO MARTIN KUROIWA ZEVALLOS
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 42895
ESP. MODELIZACIÓN HIDRÁULICA FLUVIAL

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

Dónde:

B : Ancho efectivo del cauce asociado al caudal (m)

Q : Descarga de diseño (m^3/s)

➢ **Método de Manning Strickler**

El método de Manning Strickler se basa en la siguiente ecuación:

$$B = \left(Q^{\frac{1}{2}} x S^{\frac{1}{5}}\right)\left(nK^{\frac{5}{3}}\right)^{\frac{3}{3+5m}}$$

Donde:

Q : Caudal de diseño (m3/s)

B : amplitud del cauce (m)

S : Pendiente media del tramo

n : Coeficiente de rugosidad de Manning

K : Coeficiente de material del cauce (tabla N° 4)

m : Coeficiente de tipo de río (tabla N° 5)

Tabla 4. Valores de K para el método de Manning-Strickler

COEFICIENTE MATERIAL DE CAUCE	K
Material de cauce muy resistente	3 a 4
Material facilmente erosionable	16 a 20
Material aluvial	8 a 12
Valor práctico	10

TOMÁS A. SÁNCHEZ RONDAN
Representante Legal
Consorcio CISPDR - SIGT

JUAN ARMANDO OLAZABAL ÁLVAREZ
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 5289
JEFE DE PROYECTO

Ing. JULIO MARTIN KUROIWA ZEVALLOS
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 42895
ESP. MODELIZACIÓN HIDRÁULICA FLUVIAL

Tabla 5. Valores de "m" para el método de Manning-Strickler.

COEFICIENTE DE TIPO DE RÍO	m
Para ríos de montaña	0.50
Para cauces arenosos	0.70
Para caudales aluviales	1.00

- **Método de Simons y Henderson**

Otro método que también se utiliza es el de SIMONS y HENDERSON, que utiliza la siguiente formula:

$$B = K_1(Q)^{1/2}$$

Donde:

Q : Caudal de diseño (m^3/s)

B : amplitud estable del cauce (m).

K1 : Coeficiente de material del cauce (tabla N° 6)

Tabla 6. Valores de $K1$ (Condiciones de fondo del cauce).

Condiciones de Fondo de Río	K1
Fondo y orillas de arena	5.7
Fondo de arena y orillas de material cohesivo	4.2
Fondo y orillas de material cohesivo	3.6
Fondo y orilla de grava	2.9
Fondo de arena y orilla de material no cohesivo	2.8

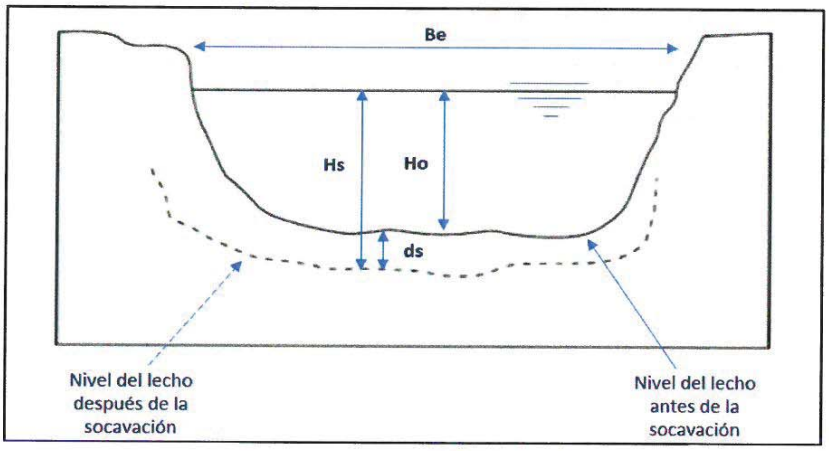
2.5. Erosión General Transitoria

La erosión general transitoria (EGT) es un descenso temporal del nivel del lecho producida durante la ocurrencia de una avenida. Existen numerosas fórmulas para la estimación de la erosión general; de los cuales, para el caso del presente estudio se utilizó la fórmula de Lischtvan – Lebediev.

TOMÁS A. SÁNCHEZ RONDAN
Representante Legal
Consorcio CISPDR - SIGT

JUAN ARMANDO OLAZABAL ALVAREZ
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 5289
JEFE DE PROYECTO

Ing. JULIO MARTIN KUROIWA ZEVALLOS
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 42895
ESP. MODELIZACIÓN HIDRÁULICA FLUV...



$$H_s = \left(\frac{\alpha \cdot {H_0}^{5/3}}{0{,}68 \cdot \beta \cdot {d_m}^{0{,}28}} \right)^{\frac{1}{1+x}}$$

$$\alpha = \frac{Q_d}{Be \,.\, {y_m}^{5/3}}$$

Dónde:

H_s : Tirante después de la erosión (m)

H_o : Tirante máximo antes de la erosión (m)

Q_d : Descarga de diseño (m3/s)

B_e : Ancho efectivo del cauce asociado a Qd (m)

Y_m : Tirante medio antes de la erosión

x : Coeficiente que depende del "dm" de granos

d_m : Diámetro medio de las partículas del material del lecho (mm)

β : Coeficiente de frecuencia

d_s : Profundidad socavada (m)

2.6. Descripción del programa IBER 2D

Iber es un modelo matemático bidimensional para la simulación del flujo en ríos y estuarios. Fue desarrollado por una serie de instituciones españolas, entre ellas, centros de investigación de las universidades Universidade da Coruña,

TOMAS A. SÁNCHEZ RONDAN
Representante Legal
Consorcio CISPDR - SIGT

JUAN ARMANDO OLAZABAL ALVAREZ
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 5289
JEFE DE PROYECTO

Ing. JULIO MARTIN KUROIWA ZEVALLOS
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 42895
ESP. MODELIZACIÓN HIDRÁULICA FLUVIAL

Universidade de Santiago de Compostela, Universitat Politècnica de Catalunya, y el Centre Internacional de Mètodes Numèrics en Enginyeria y promovido por el Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX. Bladé et al. (2014) describen, de manera sucinta, las consideraciones teóricas y los métodos empleados para resolver las ecuaciones de movimiento.

El módulo hidrodinámico de Iber resuelve las ecuaciones de St. Venant bidimensionales, incorporando los efectos de la turbulencia y rozamiento superficial por viento. Las ecuaciones se muestran debajo:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial hU_x}{\partial x} + \frac{\partial hU_y}{\partial y} = 0$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(hU_x) + \frac{\partial}{\partial x}\left(hU_x^2 + g\frac{h^2}{2}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(hU_xU_y\right) = -gh\frac{\partial Z_b}{\partial x} + \frac{\tau_{s,x}}{\rho} - \frac{\tau_{b,x}}{\rho} + \frac{\partial}{\partial x}\left(\nu_t h\frac{\partial U_x}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(\nu_t h\frac{\partial U_x}{\partial y}\right)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}\left(hU_y\right) + \frac{\partial}{\partial x}\left(hU_xU_y\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(hU_y^2 + g\frac{h^2}{2}\right) = -gh\frac{\partial Z_b}{\partial y} + \frac{\tau_{s,y}}{\rho} - \frac{\tau_{b,y}}{\rho} + \frac{\partial}{\partial x}\left(\nu_t h\frac{\partial U_y}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(\nu_t h\frac{\partial U_y}{\partial y}\right)$$

Por otro lado, la resistencia al flujo se calcula con la ecuación de Manning, como se presenta debajo:

$$\tau_{b,x} = \rho gh\frac{n^2U_x|U|^2}{h^{4/3}} \qquad \tau_{b,y} = \rho gh\frac{n^2U_y|U|^2}{h^{4/3}}$$

Donde: h es el tirante, U_x y U_y son las velocidades horizontales promediadas en profundidad, g es la aceleración de la gravedad, r es la densidad del agua, Z_b es la cota del fondo, t_s es la fricción en la superficie libre debida al rozamiento producido por el viento, t_b es la fricción debida al rozamiento del fondo y nt es la viscosidad turbulenta.

TOMAS A. SÁNCHEZ RONDAN
Representante Legal
Consorcio CISPDR - SIGT

JUAN ARMANDO OLAZABAL ALVAREZ
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 5289
JEFE DE PROYECTO

Ing. JULIO MARTIN KUROIWA ZEVALLOS
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 42895
ESP. MODELIZACIÓN HIDRAULICA FLUVIA

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 (frentes de inundación).

La discretización del dominio espacial se realiza con volúmenes finitos en mallas no estructuradas, admitiéndose estas mixtas formadas por elementos triangulares y cuadrangulares. La Figura 3, que se presenta debajo, muestra una malla de cálculo formada por una Red Irregular de Triángulos Rectángulos (RTIN).

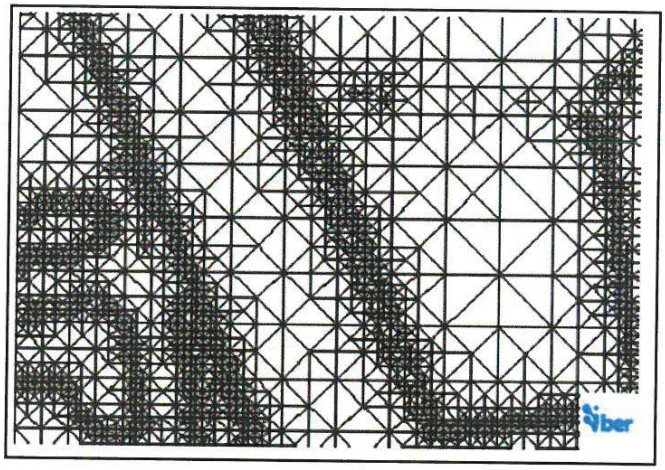


Figura 2. Muestra una red de elementos triangulares a los que se les ha dado la forma de triángulos rectángulos (Fuente: Blade et al. 2014).

Tamaño de los elementos de la malla para modelación hidráulica 2D

La incorporación de modelos bidimensionales en estudios fluviales es relativamente reciente. Esto se debe, en gran parte, a que el hardware necesario para poder ejecutar estos programas no estaba disponible, en principio, y cuando estuvo disponible, el precio fue elevado. Posteriormente, el costo de los equipos fue disminuyendo. En tiempos recientes la disponibilidad

TOMÁS A. SÁNCHEZ RONDAN
Representante Legal
Consorcio CISPDR - SIGT

JUAN ARMANDO OLAZABAL ALVAREZ
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 5289
JEFE DE PROYECTO

ING. JULIO MARTIN KUROIWA ZEVALLOS
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 42895
ESP. MODELIZACION HIDRÁULICA FLUVIAL

de computadoras personales con un hardware apropiado (por ejemplo, una computadora i9 de décima generación, con procesadores gráficos adecuados) permite ejecutar una simulación de un tramo de río en un plazo razonable (entre horas y dos días). El tiempo de ejecución aumenta con la densidad de las mallas para un mismo tramo. Una simulación adecuada se logra con un balance entre la precisión de las salidas y el tiempo de ejecución. A manera de ejemplo, se incluyen dimensiones de la malla que se han empleado en estudios recientes en la siguiente tabla.

Tabla 7. Tamaño de malla en una serie de estudios de ingeniería y de investigación. En los tres primeros se empleó el programa Iber 2D, en el resto el programa River 2D.

Nº	Río	País	Ancho medio (m)	Dimensiones de la malla (m x m)	Tipo de estudio	Nivel de estudio
1	Arroyo de la Almucera	España	250	25 x 25	Inundación	Preliminar
2	Ranchería	Colombia	500	23.4 x 23.4	Inundación	Preliminar
3	Ctalamuchita	Argentina	35	1 x1 a 10 x 10	Puentes	Ingeniería
4	Ica	Perú	60	2.5 a 5	Inundación	Ingeniería

Cabe notar que el tamaño de la malla se encuentra en el orden de 1/10 a 1/30 el ancho del cauce. De otro lado, el programa también permite definir áreas a las que se puede asignar coeficientes de Manning. Las áreas se definen en base a las fotografías aéreas o satelitales tomando en cuenta la ecuación de Cowan y las tablas existentes en referencias como Chow (1959) u otros.

En los contornos de entrada se fija el caudal de agua y se asume que la dirección del flujo es perpendicular al contorno. En caso de que el flujo entre en régimen supercrítico, se impone adicionalmente el tirante. La distribución del caudal unitario a lo largo del contorno se realiza de forma proporcional al calado en cada punto de este, según la expresión $q_n = C \cdot h^{5/3}$, donde C es una

TOMÁS A. SÁNCHEZ RONDAN
Representante Legal
Consorcio CISPDR - SIGT

JUAN ARMANDO OLAZABAL ALVAREZ
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 5289
JEFE DE PROYECTO

Ing. JULIO MARTIN KUROIWA ZEVALLOS
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 42895
ESP. MODELIZACIÓN HIDRÁULICA FLUVIAL

constante que asegura que la integral del caudal unitario q_n a lo largo del contorno considerado es igual al caudal total de entrada.

En los contornos de salida se impone el nivel de la lámina de agua en caso se produzca un régimen subcrítico, mientras que no es necesario imponer ninguna condición en caso de que el régimen sea supercrítico. En los contornos de salida se considera asimismo la posibilidad de introducir una relación de curva de gasto que defina la relación entre la cota de la lámina de agua y el caudal específico desaguado en cada punto del contorno.

Las condiciones internas son aquellas configuraciones geométricas particulares tales como compuertas, vertederos o puentes que entran en carga. Las ecuaciones de Saint Venant dejan de ser válidas al no cumplirse la distribución hidrostática por lo que se deben emplear aquellas relaciones que relacionan los caudales que pasan con el ancho y la carga de aquellas estructuras.

En la primera versión del programa Iber se incluye un módulo hidrodinámico, un módulo de turbulencia y un módulo de transporte de sedimentos. Se asume que la granulometría es uniforme, por carga de fondo y por carga en suspensión.

Otras capacidades del programa incluyen en las ecuaciones del modelo los efectos de las precipitaciones y del transporte de sedimentos. En general, según los autores del programa, se puede emplear el programa Iber para las siguientes aplicaciones:

- ✓ Simulación del flujo en superficie libre en cauces naturales.
- ✓ Evaluación de zonas inundables.
- ✓ Cálculo de las zonas de flujo preferente.
- ✓ Cálculo hidráulico de encauzamientos.
- ✓ Cálculo hidráulico de redes de canales en superficie libre.
- ✓ Cálculo de corrientes de marea en estuarios.
- ✓ Estabilidad de los sedimentos del lecho.

TOMÁS A. SÁNCHEZ RONDAN
Representante Legal
Consorcio CISPDR - SIGT

JUAN ARMANDO OLAZABAL ÁLVAREZ
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 5289
JEFE DE PROYECTO

Ing. JULIO MARTIN KUROIWA ZEVALLOS
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 42895
ESP. MODELIZACIÓN HIDRÁULICA FLUVI

- ✓ Procesos de erosión y sedimentación por transporte de material no cohesivo.

En este estudio el programa Iber se empleará fundamentalmente para definir la extensión de las áreas de inundación y, además, estimar los tirantes y velocidades de una manera más detallada que en un modelo unidimensional.

El transporte de sedimentos, tanto en fondo como en suspensión, se calcula mediante ciertas ecuaciones predefinidas. El transporte en fondo se puede calcular tomando en cuenta los siguiente métodos o información: umbral de movimiento de Shields, Meyer- Peter- Müller, Van Rijn, etc. El transporte en suspensión toma en cuenta las siguientes:

- ✓ Incorporación de transporte por difusión turbulenta.
- ✓ Término de deposición/resuspensión.
- ✓ Cálculo de la concentración de sedimento en suspensión según las formulaciones de Van Rijn, Smith McLean, Ariathurai.
- ✓ Cálculo de la velocidad de sedimentación de las partículas según van Rijn
- ✓ Condición de contorno de concentración de sedimento en suspensión variable en tiempo.

3. METODOLOGÍA DEL ESTUDIO HIDRAULICO

El método empleado para el diseño de estructuras de defensa ribereña se realizó a partir de: identificación de sectores expuestos a riesgos por inundaciones, mediante simulaciones IBER 2D; así como, identificación de riberas sometidas a fuerte y constante erosión lateral, mediante observaciones de la migración del río en imágenes satelitales registradas durante la mayor cantidad de años posibles (2003 – 2020). Posteriormente, para una mejor toma de decisiones: la magnitud de estos riesgos fue corroborado mediante visitas in situ, realizadas a estas zonas identificadas a lo largo de las riberas (áreas sometidas a inundaciones y bancos expuestos erosión). Durante las

TOMÁS A. SÁNCHEZ RONDAN
Representante Legal
Consorcio CISPDR - SIGT

JUAN ARMANDO OLAZÁBAL ÁLVAREZ
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 5289
JEFE DE PROYECTO

Ing. JULIO MARTIN KUROIWA ZEVALLOS
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 42895
ESP. MODELIZACIÓN HIDRÁULICA FLUVIAL

inspecciones realizadas durante el año 2019 se pudo ver los efectos del Niño Costero 2017.

Bajo el análisis y criterio mencionado anteriormente, se procedió a fijar los trazos de eje de defensas ribereñas en estos sectores en peligro. Para ello, en lo posible se creyó conveniente fijar trazos que no irrumpan el libre paso del flujo y siga su curso desarrollándose naturalmente, es decir, sin obstaculizar su paso y/o estrechar su ancho actual. Puesto que, obras de protección ribereña construidas anteriormente han colapsado en su mayoría. Al parecer, al momento de diseñar estos diques se trató de imponer medidas muy apegadas estrictamente a teorías desarrolladas en otros países. Sin embargo, estas teorías han sido elaboradas en lugares donde la climatología, fluviomorfología, entre otros, son muy diferentes a la del rio aluvial Cañete.

En el presente informe se detalla minuciosamente los criterios técnicos empleados en el diseño de las estructuras.

3.1. Ubicación de la zona en estudio

Políticamente el tramo "Desembocadura río Cañete – Puente Paullo" del río Cañete, que forma parte del proyecto, se ubica en el departamento de Lima, provincias de Cañete. La longitud del tramo es de alrededor de 16 kilómetros.

- **Ubicación Política**

Departamento	: Lima
Provincia	: Cañete
Distrito	: San Vicente de Cañete, Nuevo Imperial y Lunahuaná.
Localidades	: Isla Baja, Herbay Alto, Pampa Castilla, Herbay Bajo. Paullo, Lúcumo, Socsi, La Toma, Caltopa, El Paraíso y Caltopilla.

TOMÁS A. SÁNCHEZ RONDAN
Representante Legal
Consorcio CISPDR - SIGT

JUAN ARMANDO OLAZÁBAL ÁLVAREZ
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 5289
JEFE DE PROYECTO

Ing. JULIO MARTIN KUROIWA ZEVALLOS
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 42895
ESP. MODELIZACIÓN HIDRÁULICA FLUVIAL

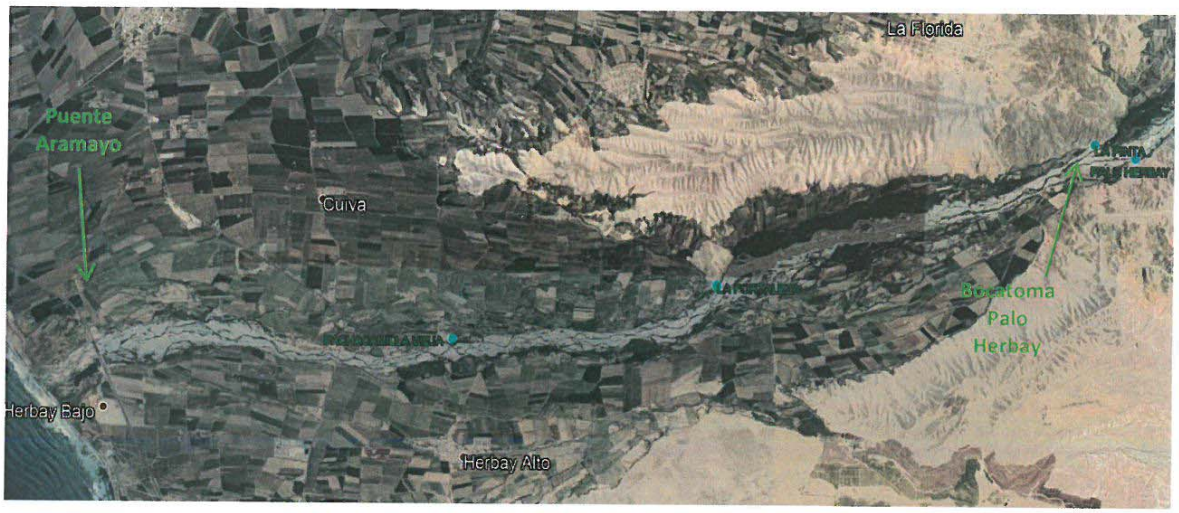


Imagen 1. Vista satelital del tramo en estudio "Desembocadura río Cañete–Bocatoma Palo Herbay".

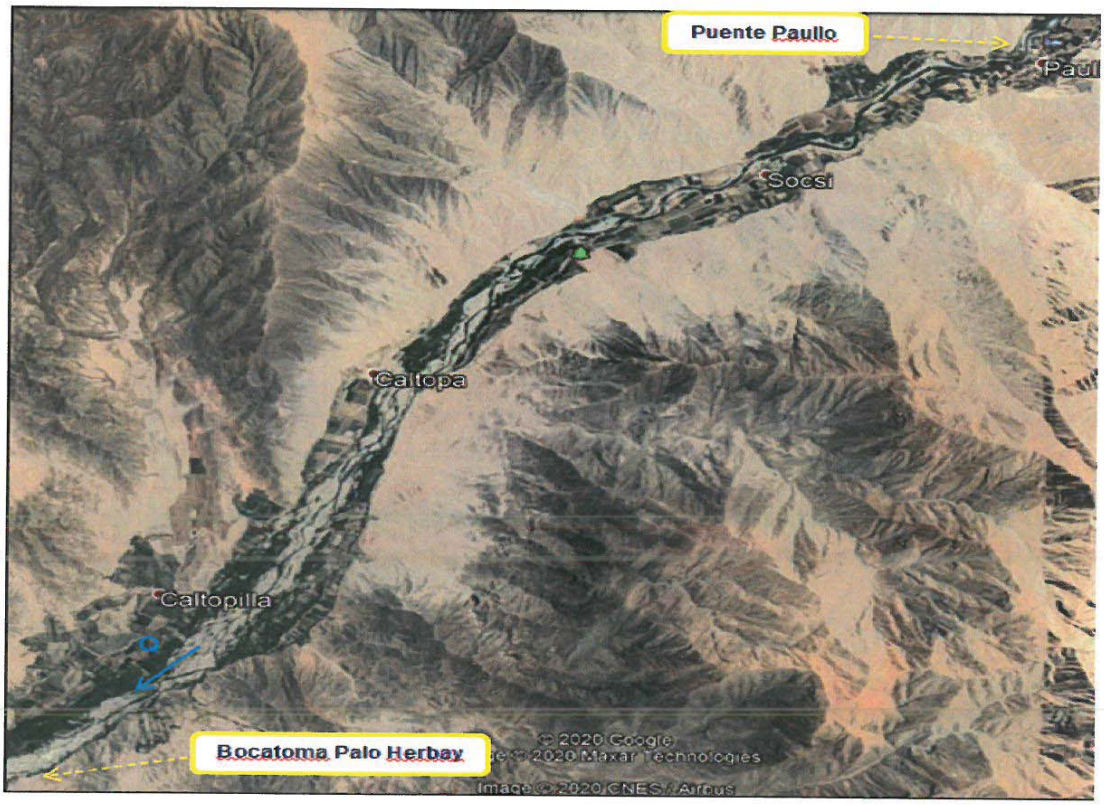


Imagen 2. Vista satelital del tramo en estudio "Puente Paullo - Bocatoma Palo Herbay".

TOMÁS A. SÁNCHEZ RONDAN
Representante Legal
Consorcio CISPDR - SIGT

JUAN ARMANDO OLAZABAL ALVAREZ
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 5289
JEFE DE PROYECTO

Ing. JULIO MARTIN KUROIWA ZEVALLOS
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 42895
ESP. MODELIZACIÓN HIDRÁULICA FLUVIAL

3.2. Topografía y cubierta del tramo en estudio

En la parte baja la topografía del Río Cañete en este tramo es de un valle amplio, el cual presenta una llanura frágil a inundaciones en lado derecho aguas arriba de la Bocatoma La Fortaleza. La longitud de este tramo del río Cañete es de aproximadamente 17 km, el cual presenta una pendiente promedio de 1.1 %. El terreno está cubierto en su mayoría por cultivos de surcos rectos; también, en las áreas adyacentes a las riberas se hallan bosques de bastante maleza y cañaverales.

El río según la forma en planta es clasificado como trenzado. Además, este tramo de río presenta caudal discontinuo, presentando máximas avenidas de ocurrencia en las estaciones de lluvia en la serranía.

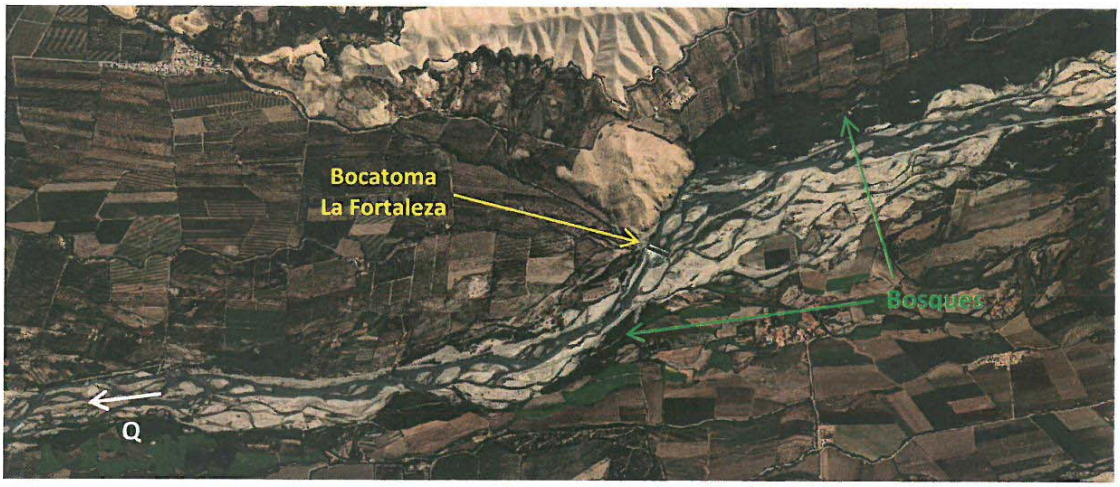


Imagen 3. Vista satelital de la cobertura sobre la superficie aguas arriba y abajo de la Bocatoma La Fortaleza.

La topografía del Río Cañete en este tramo es de un valle amplio desde La Bocatoma Nuevo Imperial hacia aguas abajo y de un valle estrecho hacia aguas arriba del mismo. La parte amplia presenta una llanura frágil a inundaciones en lado derecho. Por otro lado, la parte estrecha presenta menos riesgo por inundación, sin embargo, sufre fuerte erosión lateral de bancos con cultivos sobre su superficie. La longitud de todo el tramo en estudio es de

TOMÁS A. SÁNCHEZ RONDAN
Representante Legal
Consorcio CISPDR - SIGT

JUAN ARMANDO OLAZABAL ÁLVAREZ
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 5289
JEFE DE PROYECTO

Ing. JULIO MARTIN KUROIWA ZEVALLOS
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 42895
ESP. MODELIZACIÓN HIDRÁULICA FLUVIAL

aproximadamente 14.5 km, el cual presenta una pendiente promedio de 1.2 %. Las áreas adyacentes a las riberas están cubiertas en su mayoría por cultivos de surcos rectos; también, hay presencia de bosques de maleza densa en la parte amplia del valle (parte baja). De otro lado, el río según la forma en planta es trenzado aguas abajo de la Bocatoma Imperial. En cambio, aguas arriba de esta bocatoma el cauce deja de ser trenzado, siendo su cauce encajonado en el lecho de un valle muy cerrado. Además, este tramo de río presenta un caudal muy variable. En la temporada de lluvia (Diciembre – Abril) los caudales son significativamente mayores debido a lluvias en la cuenca media y alta.

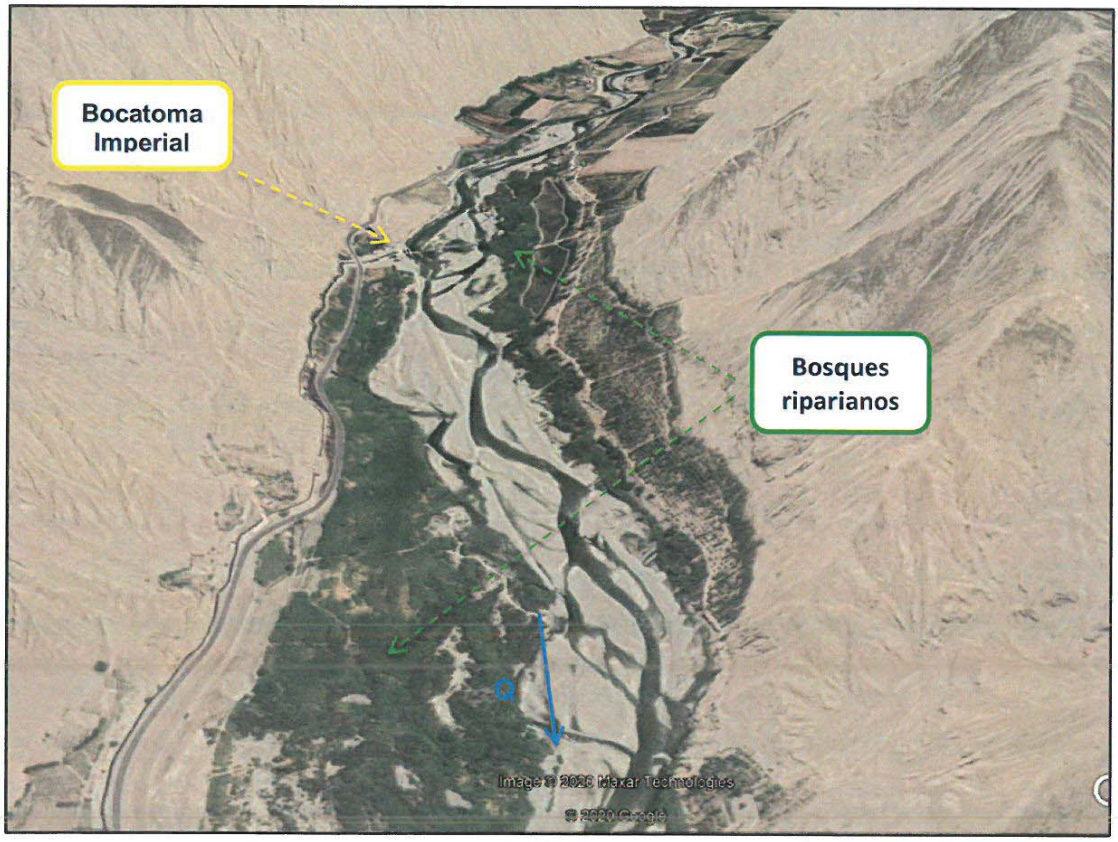


Imagen 4. Vista satelital de la cobertura sobre la superficie aguas arriba y abajo de la Bocatoma Imperial.

TOMAS A. SÁNCHEZ RONDAN
Representante Legal
Consorcio CISPDR - SIGT

JUAN ARMANDO QUAZABAL ALVAREZ
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 5289
JEFE DE PROYECTO

Ing. JULIO MARTIN KUROIWA ZEVALLOS
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 42895
ESP. MODELIZACIÓN HIDRÁULICA FLUVIAL

3.3. Coeficiente del número de Manning (n)

Para la rugosidad se ha empleado un valor que represente la superficie de interés. Este valor se estimó teniendo en cuenta que el material del lecho es en su mayoría canto rodado. Por otro lado, las llanuras de inundación están cubiertas de cultivos y bosques de densa maleza y cañaverales.



Imagen 5. Vista de un Bosque inundable de caña brava y de la granulometría del cauce, ambas fotos aguas abajo de la Bocatoma La Fortaleza.



Imagen 6. Vista de Bosques inundables y granulometría del cauce. Ambas fotos se tomaron aguas abajo de la Bocatoma Imperial.

La cobertura de la superficie fue sectorizada en tres partes tales como cultivos, bosques y cauce propio del río. De manera que, a cada tipo de cobertura se le

TOMÁS A. SÁNCHEZ RONDAN
Representante Legal
Consorcio CISPDR - SIGT

JUAN ARMANDO OLAZABAL ÁLVAREZ
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 5289
JEFE DE PROYECTO

Ing. JULIO MARTIN KUROIWA ZEVALLOS
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 42895
ESP. MODELIZACIÓN HIDRÁULICA FLUVIAL

asignó valores "n" de Manning de acuerdo a las tablas desarrolladas por Chow (1959).

Tabla 8. Numero de Manning "n" para canales naturales.

1. Main Channels			
a. clean, straight, full stage, no rifts or deep pools	0.025	0.03	0.033
b. same as above, but more stones and weeds	0.03	0.035	0.04
c. clean, winding, some pools and shoals	0.033	0.04	0.045
d. same as above, but some weeds and stones	0.035	0.045	0.05
e. same as above, lower stages, more ineffective slopes and sections	0.04	0.048	0.055
f. same as "d" with more stones	0.045	0.05	0.06
g. sluggish reaches, weedy, deep pools	0.05	0.07	0.08
h. very weedy reaches, deep pools, or floodways with heavy stand of timber and underbrush	0.075	0.1	0.15

Fuente: Chow 1959

Tabla 9. Llanuras de inundación.

3. Floodplains			
a. Pasture, no brush			
1.short grass	0.025	0.03	0.035
2. high grass	0.03	0.035	0.05
b. Cultivated areas			
1. no crop	0.02	0.03	0.04
2. mature row crops	0.025	0.035	0.045
3. mature field crops	0.03	0.04	0.05
c. Brush			
1. scattered brush, heavy weeds	0.035	0.05	0.07
2. light brush and trees, in winter	0.035	0.05	0.06
3. light brush and trees, in summer	0.04	0.06	0.08
4. medium to dense brush, in winter	0.045	0.07	0.11
5. medium to dense brush, in summer	0.07	0.1	0.16
d. Trees			
1. dense willows, summer, straight	0.11	0.15	0.2
2. cleared land with tree stumps, no sprouts	0.03	0.04	0.05
3. same as above, but with heavy growth of sprouts	0.05	0.06	0.08
4. heavy stand of timber, a few down trees, little undergrowth, flood stage below branches	0.08	0.1	0.12
5. same as 4. with flood stage reaching branches	0.1	0.12	0.16

Fuente: Chow 1959

TOMÁS A. SÁNCHEZ RONDAN
Representante Legal
Consorcio CISPDR - SIGT

JUAN ARMANDO OLAZÁBAL ÁLVAREZ
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 5289
JEFE DE PROYECTO

Ing. JULIO MARTIN KUROIWA ZEVALLOS
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 42895
ESP. MODELIZACIÓN HIDRÁULICA FLUVIAL

Los diferentes tipos de cobertura fueron materializados de color, tal como se puede observar en la figura 3(Tramo Desembocadura río Cañete - Bocatoma Palo Herbay) y figura 4(Tramo Bocatoma Palo Herbay – Localidad Paullo). Los valores de Manning asignados a cada sector se los indica en las siguientes tablas:

Tabla 10. Asignación del coeficiente de Manning (n) al cauce y áreas adyacentes.

Color	Descripción	Manning
	río	0.033
	cultivo	0.04
	bosque	0.07

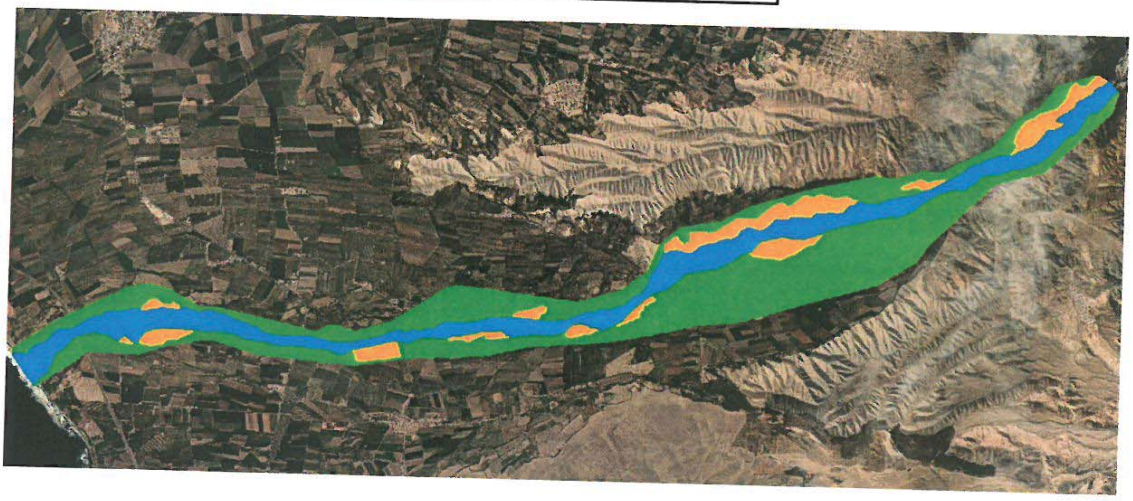


Figura 3. Sectorización de la superficie del cauce y áreas inundables

Tabla 11. Asignación del coeficiente de Manning (n) al cauce y áreas adyacentes.

Color	Descripción	Manning
	cultivo	0.04
	cauce	0.033
	bosque	0.07

TOMÁS A. SÁNCHEZ RONDAN
Representante Legal
Consorcio CISPDR - SIGT

JUAN ARMANDO OLAZABAL ALVAREZ
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 5289
JEFE DE PROYECTO

Ing. JULIO MARTIN KUROIWA ZEVALLOS
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 42895
ESP. MODELIZACIÓN HIDRAULICA FLUVIAL

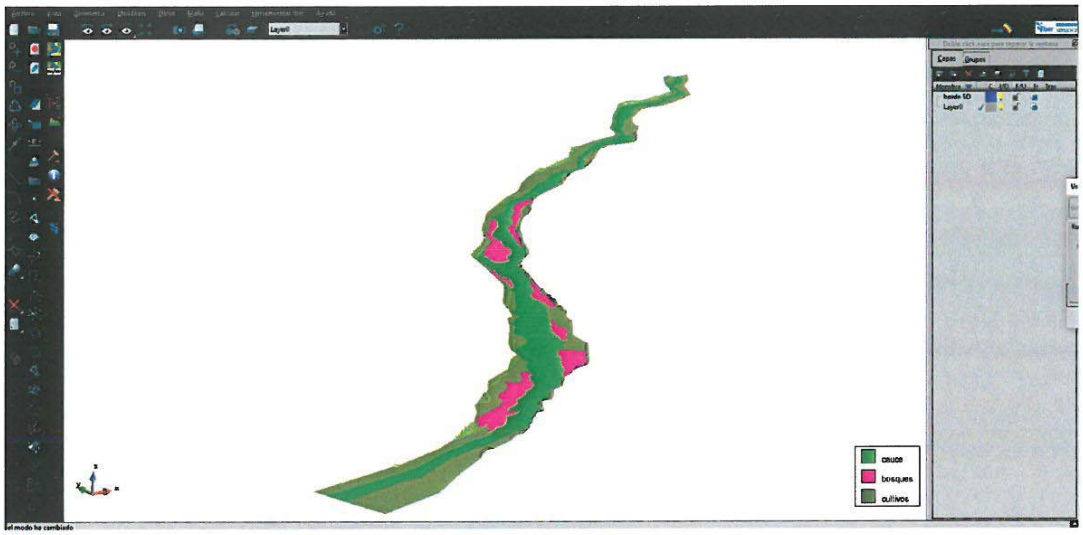


Figura 4. Sectorización de la superficie del cauce y áreas inundables.

Mayores detalles referidos a las consideraciones para ajustar el coeficiente de Manning y la cartografía modelada en el programa Iber 2D se han incluido al final de este documento al inicio de los Anexos.

3.4. Hidrograma de diseño

El hidrograma empleado para las simulaciones corresponde a períodos de retorno (T_r) de 10, 100 y 500 años. De donde, el caudal de diseño (1064 m^3/s) utilizado para las estructuras de defensa pertenece a un T_r de 100 años, tal como lo indica los TDRs.

TOMÁS A. SÁNCHEZ RONDAN
Representante Legal
Consorcio CISPDR - SIGT

JUAN ARMANDO OLAZÁBAL ÁLVAREZ
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 5289
JEFE DE PROYECTO

Ing. JULIO MARTIN KUROIWA ZEVALLOS
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 42895
ESP. MODELIZACIÓN HIDRÁULICA FLUVIAL

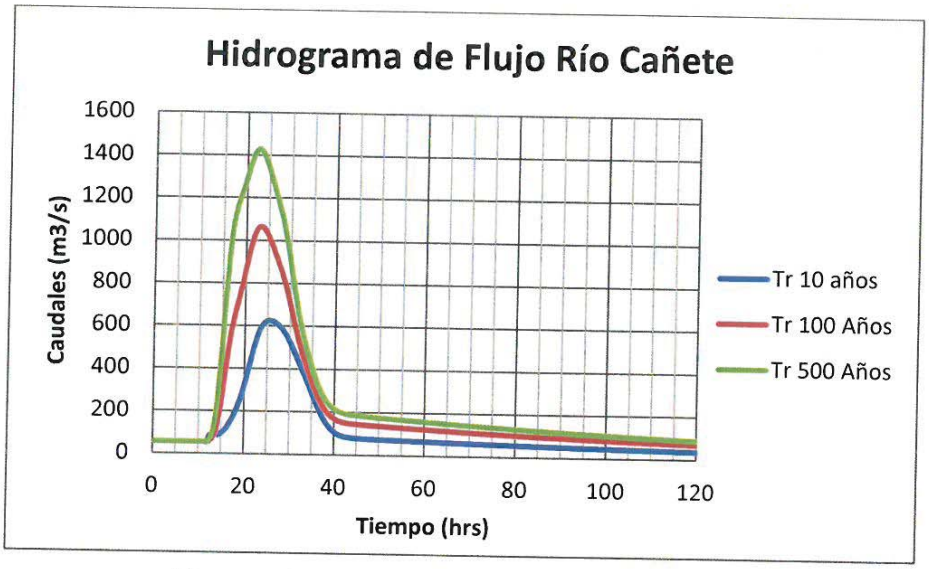


Figura 5. Hidrograma de flujo de la Estación Socsi.

3.5. Criterios empleados en el trazo de eje de estructuras de defensa

En época de avenidas se produce el desbordamiento del río, inundando sobre todo el tramo aguas arriba de la Bocatoma La Fortaleza y por el lado derecho aguas abajo de la Bocatoma Imperial (según vestigios y declaraciones de los pobladores). En el lugar se ubican extensas áreas de cultivos, el cual son afectadas por las inundaciones, aguas arriba de la bocatoma Imperial se manifiesta erosión en la base de los bancos; debido que, cultivos y algunas viviendas se hallan sobre la superficie de estos bancos. Este problema ocasiona pérdidas económicas a los agricultores, así como también pone en riesgo la vida humana. Motivo por la cual, para controlar la vulnerabilidad de las zonas en peligro, se definieron trazos de eje de defensas ribereñas como medida de protección.

El trazo de eje de las estructuras protección se realizó de acuerdo con criterios y experiencias del proyectista. El procedimiento se detalla cronológicamente a continuación:

TOMÁS A. SÁNCHEZ RONDAN
Representante Legal
Consorcio CISPDR - SIGT

JUAN ARMANDO OLAZÁBAL ÁLVAREZ
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 5289
JEFE DE PROYECTO

Ing. JULIO MARTIN KUROIWA ZEVALLOS
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 42895
ESP. MODELIZACIÓN HIDRÁULICA FLUVIAL

Paso N°1

Modelamiento del río en condiciones actuales de terreno con el software IBER 2D, a fin de identificar áreas inundables y posteriormente realizar trazos de diques de protección en las zonas de desbordamiento del río. El modelamiento numérico de inundaciones se explicará detalladamente más adelante.

Paso N°2

Análisis de la erosión lateral en las riberas por medio de una revisión de registros históricos en imágenes satelitales. Es decir, identificación de tramos donde se ha desencadenado grandes migraciones lateras a causa de las fuertes velocidades erosivas y del material frágil de los bancos. Cabe mencionar que, para este tramo se dispuso de imágenes satelitales registradas a partir del año 2002 a la actualidad.

Por ejemplo:

- Aguas arriba de la Bocatoma La Fortaleza en el año 2003 se observó una enorme migración lateral en ambas riberas (imagen 7). Incluso, las áreas del lado de la ribera derecha, donde hoy se encuentran algunas áreas cultivadas, pertenecían para ese tiempo a zonas activas por donde pasaba el flujo. Tales zonas actualmente están cubiertas en su mayoría por maleza y cañaverales, y en menor grado por cultivos. De otro lado, la existencia de extensas áreas cultivadas del lado izquierdo de la Bocatoma en ese mismo año (2003), han desaparecido en la actualidad (2020) a causa de desbordamientos y de la fuerte erosión lateral.
- Por ejemplo, aguas abajo de la Bocatoma Imperial, a la altura del Centro Poblado El Paraíso, en el año 2013 se observó una enorme migración lateral en la ribera derecha. Tiempo atrás para el año 2009, Las áreas adyacentes a esta ribera, eran cubiertas de considerables áreas cultivadas y bosque frondosos (imagen superior 8). Sin embargo, estas áreas vegetativas correspondían a zonas riparianas, es decir, pertenecían a

TOMÁS A. SÁNCHEZ RONDAN
Representante Legal
Consorcio CISPDR - SIGT

JUAN ARMANDO OLAZÁBAL ÁLVAREZ
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 5289
JEFE DE PROYECTO

Ing. JULIO MARTIN KURO
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 42695
ESP. MODELIZACIÓN HIDRÁULICA FLUVIAL

zonas activas por donde pasa el flujo en grandes eventos. Puesto que, estas áreas cultivadas desaparecieron totalmente, a causa de desbordamientos y de la fuerte erosión lateral, para el año 2013 (imagen inferior 8) y no han sido invadidas por agricultores a la actualidad (2020).

Paso N°3

Corroboración in situ de los sectores ribereños que se encuentran en peligro, tanto por inundación como por erosión lateral. Para ello se recolectó información directa por parte de los pobladores de la zona, rastros de obras hidráulicas colapsadas, áreas inundadas y de marcas de agua que han dejado las últimas inundaciones.

Paso N°4

A partir del análisis detallado en los pasos anteriores se trazaron los ejes de las defensas, tomando como referencia los tramos críticos corroborados. Además, para el trazado se tuvo en cuenta que las obras civiles y cultivos existentes no se vean afectados por la obra nueva. Por este motivo se propuso un trazo conservador que no seguía de manera exacta las metodologías encontradas en los métodos propuestos en la bibliografía revisada. Puesto que, estas teorías elaboradas en otros países, en laboratorio o para ríos de características distintas no cumplen en su totalidad con la dinámica del flujo que desarrollan los ríos peruanos, no obstante, sirven de soporte para la elaboración del presente diseño de defensas. Los ríos de montaña no han sido tan estudiados como los ríos de baja pendiente, en los que se ha recolectado una gran cantidad de datos.

TOMAS A. SÁNCHEZ RONDAN
Representante Legal
Consorcio CISPDR - SIGT

JUAN ARMANDO OLAZABAL ÁLVAREZ
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 5289
JEFE DE PROYECTO

Ing. JULIO MARTIN KUROIWA ZEVALLOS
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 42895
ESP. MODELIZACIÓN HIDRAULICA FLUVIAL

A.- Tramo: Desembocadura río cañete – Bocatoma Palo Herbay



Imagen 7. Trazo inicial propuesto tomando como referencia la Fluviomorfología del año 2003.

Tomando como ejemplo el mismo tramo mostrado en la imagen 7 el ancho entre trazos debe ser de prioridad mayor al ancho estable calculado teóricamente. La razón es porque se hallan actualmente vestigios de diques colapsados en casi todo el tramo en estudio; pues, el colapso muy probablemente se debió a causa de que el ancho entre diques existentes corresponde a un rango teórico. Esto indica que, como proyectista se debe aprender de los errores cometidos por nuestros antecesores y no tanto afianzarse a cálculos teóricos. Por lo que, de los diversos anchos estables teóricos se elegiría el mayor, con el fin aportar más seguridad al diseño de estas nuevas obras proyectadas.

Aclarado lo anterior, se procedió a estimar anchos teóricos que se muestran en la tabla 13, a fin de elegir el ancho que se ajuste más a la del tramo de río en estudio. De acuerdo con esta tabla se decidió elegir el ancho teórico de 205 m, estimado por el método de Blench y Altunin, ya que se ajusta más al lecho del tramo en estudio. Cabe indicar que, al elegir este ancho de más magnitud no quiere decir que se cumplió estrictamente con este cálculo teórico, sino que en lo posible se realizaron trazos tomando como referencia el mínimo de 205 m.

TOMAS A. SÁNCHEZ RONDAN
Representante Legal
Consorcio CISPDR - SIGT

JUAN ARMANDO OLAZÁBAL ÁLVAREZ
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 5289
JEFE DE PROYECTO

Ing. JULIO MARTIN KUROIWA ZEVALLOS
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 42895
ESP. MODELIZACIÓN HIDRÁULICA FLUVIAL

Tabla 12. Parámetros hidráulicos del Tramo en estudio.

Parámetros hidráulicos			
Tirante medio:	h =	1.32	m
Diámetro 50:	dm =	73.3	mm
Caudal diseño:	Q =	1064	m3/s
Pendiente:	S =	0.011	
Manning:	n =	0.033	

Tabla 13. Métodos de cálculo para el ancho estable (Be) del tramo en estudio

METODOS	Be (m)	MATERIAL
Julien y Wargadalam	107	Granular
Altunin	106	Grava a más
Pettis	145	----
Simons y Henderson	95	Grava
Blench y Altunin	205	Gruesos
Manning y Strickler	120	Aluvial grueso

Es importante mencionar que, los diques colapsados fueron construidos con un ancho teórico muy estrecho de alrededor de 131 m. Según parece, estos diques existentes no han sido capaz de resistir los grandes flujos desencadenados en los últimos años, sobre todo a los flujos del Niño Costero del 2017. Tal como se observa en la imagen 8, aguas arriba de La Bocatoma La Fortaleza se puede apreciar desborde en varios tramos cortos y consecutivos del dique del lado derecho.

Considerando los criterios técnicos anteriormente detallados se procedieron a realizar trazos propios preliminares en los sectores en riesgo. Parte de estos trazos se pueden observar mediante líneas de color magenta en la imagen 7 y 8 correspondientes a los años 2003 y 2019, respectivamente.

TOMAS A. SÁNCHEZ RONDAN
Representante Legal
Consorcio CISPDR - SIGT

JUAN ARMANDO OLAZABAL ÁLVAREZ
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 5289
JEFE DE PROYECTO

Ing. JULIO MARTIN KUROIWA ZEVALLOS
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 42895
ESP. MODELIZACIÓN HIDRÁULICA FLUVIAL

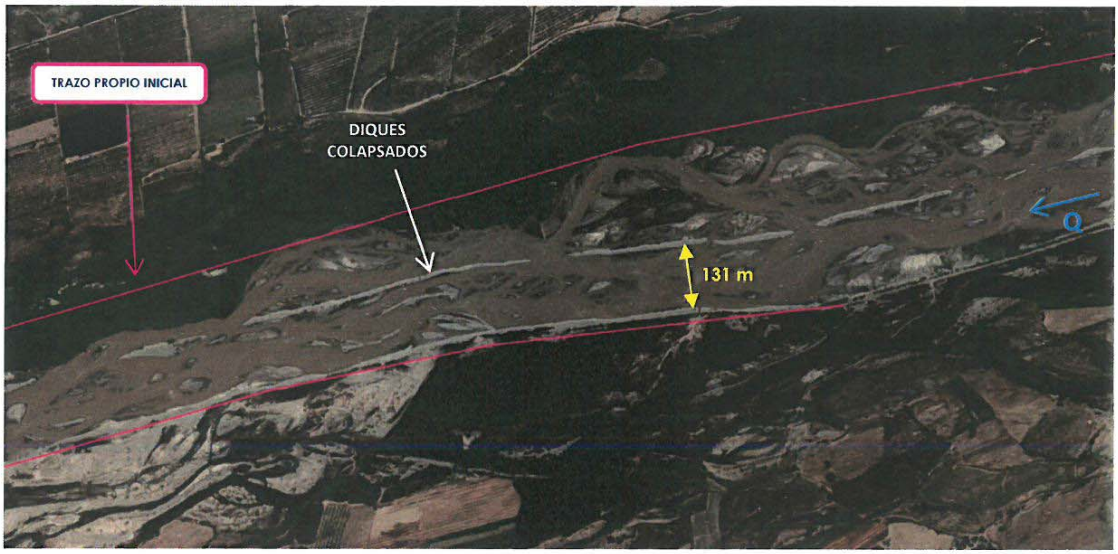


Imagen 8. Vista de trazos de diques colapsados en avenidas del año 2019.

Luego, por motivos que en este tramo de estudio se contaba con un proyecto avanzado de protección parcial de riberas (Valles Vulnerables), hubo la necesidad de acoplarse a los trazos de este proyecto (ver planos en el acápite de anexos). Adicionalmente, en la imagen 9 se muestra un corto tramo aguas arriba de la Bocatoma La Fortaleza, lugar donde se estrechó el trazo propio, con el propósito de unir y formar ambos trazos de diques en uno solo. Es así que, bajo estas consideraciones se elaboraron trazos definitivos en todos los sectores expuestos a graves riesgos en el tramo de estudio "Desembocadura río Cañete - Bocatoma Palo Herbay".

TOMÁS A. SÁNCHEZ RONDAN
Representante Legal
Consorcio CISPDR - SIGT

JUAN ARMANDO OLAZÁBAL ÁLVAREZ
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 5289
JEFE DE PROYECTO

Ing. JULIO MARTIN KUROIWA ZEVALLOS
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 42895
ESP. MODELIZACIÓN HIDRÁULICA FLUVIAL

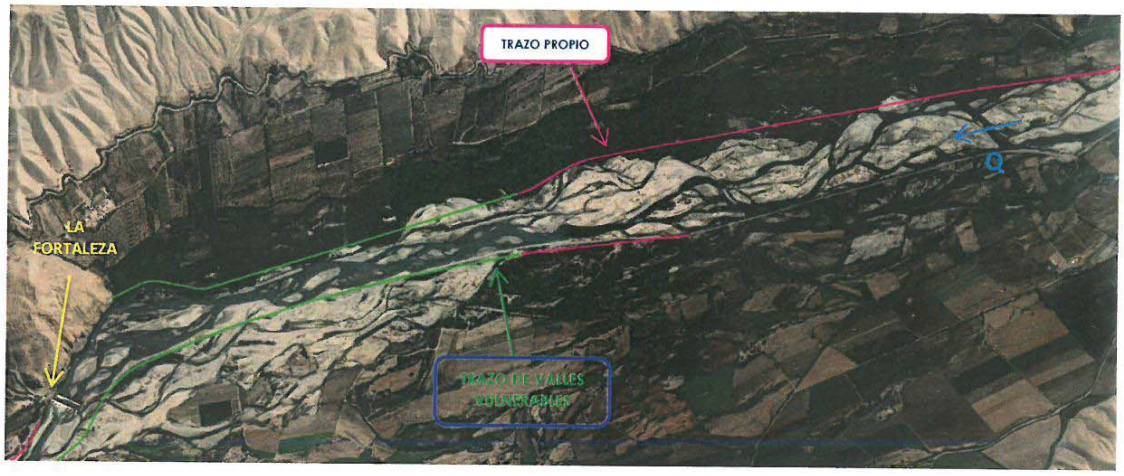


Imagen 9. Trazos definitivos de ejes de diques para el año 2019, aguas arriba de la Bocatoma La Fortaleza.

B.- Tramo: Bocatoma Palo Herbay-Puente Paullo

Tomando como ejemplo el mismo tramo mostrado en la imagen 10: el ancho entre trazos fue de prioridad mayor al ancho estable calculado teóricamente (B_e). La razón fue porque se hallan actualmente diques colapsados; pues, el colapso muy probablemente se debió a causa de que el ancho entre diques existentes corresponde a un rango teórico. Esto indica que, como proyectista se debe aprender de los errores cometidos en la zona del estudio y no seguir exactamente cálculos teóricos que se derivan de pruebas de laboratorio así como de ríos que tienen otros parámetros. Por lo que, de los diversos anchos estables teóricos se eligió el mayor, con el fin aportar más seguridad al diseño de estas nuevas obras proyectadas.

Sin embargo, por motivos que a partir de la Bocatoma Imperial hacia aguas arriba ancho del cauce es encajonado, se tomó un ancho mínimo teórico calculado de B_e = 95 m debido a que en esta parte del tramo en estudio el río deja de ser un rio trenzado de llanura, y tiende a tomar un comportamiento de rio de montaña de cauce estrecho.

TOMAS A. SANCHEZ RONDAN
Representante Legal
Consorcio CISPDR - SIGT

JUAN ARMANDO OLAZABAL ÁLVAREZ
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 5289
JEFE DE PROYECTO

Mg. JULIO MARTIN KUROIWA ZEVALLOS
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 42895
ESP. MODELIZACIÓN HIDRÁULICA FLUVIAL

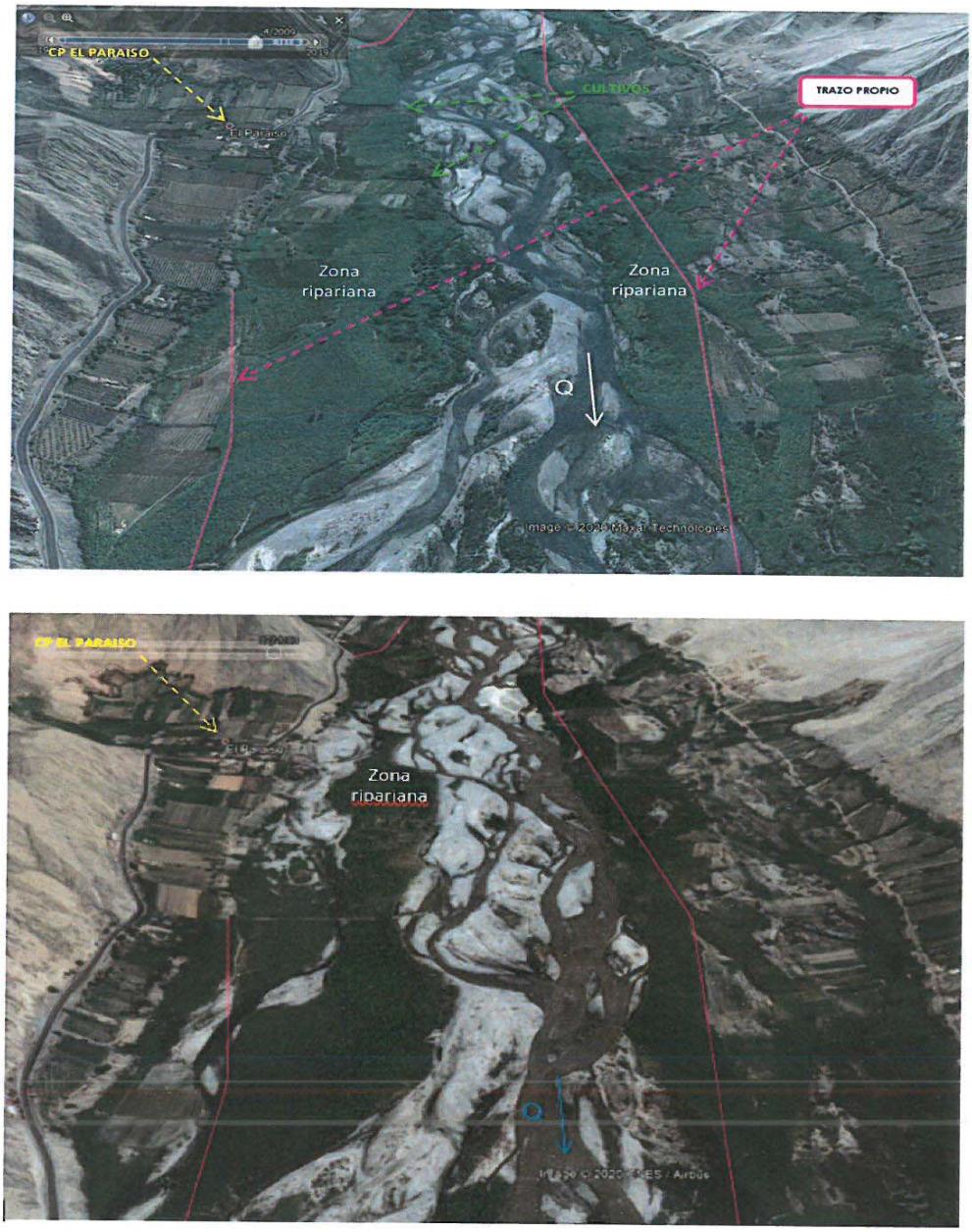


Imagen 10. Trazos en la Fluviomorfología del año 2009 (imagen superior) y 2013 (imagen inferior).

TOMÁS A. SÁNCHEZ RONDAN
Representante Legal
Consorcio CISPDR - SIGT

JUAN ARMANDO OLAZÁBAL ÁLVAREZ
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 5289
JEFE DE PROYECTO

Ing. JULIO MARTIN KUROIWA ZEVALLOS
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 42895
ESP. MODELIZACIÓN HIDRÁULICA FLUVIAL

Aclarado lo anterior, se procedió a estimar anchos teóricos que se muestran en la tabla 15, a fin de elegir los anchos que se ajusten más al amplio cauce aguas abajo de la Bocatoma Imperial y al estrecho cauce aguar arriba de la misma. De acuerdo con esta tabla se decidió elegir el ancho teórico máximo de B_e = 205 m, estimado por el método de Blench y Altunin, para la parte del amplio cauce trenzado; así mismo, para la parte del estrecho cauce se decidió elegir el ancho teórico mínimo de B_e = 95 m, estimado por el método de Simons y Henderson. Cabe indicar que, al elegir los anchos de mayor y menor magnitud no quiere decir que se cumplió estrictamente con este cálculo teórico, sino que en lo posible se realizaron trazos tomando como referencia estos dos anchos teóricos.

Tabla 14. Parámetros hidráulicos del Tramo en estudio.

Parámetros hidráulicos			
Tirante medio:	h =	1.44	m
Diámetro D_{50}:	dm =	0.0733	m
Caudal diseño:	Q =	1064	m^3/s
Pendiente:	S =	0.012	
Manning:	n =	0.033	

Tabla 15. Métodos de cálculo para el ancho estable (B_e) del tramo en estudio

METODOS	B (m)	MATERIAL	SUBTRAMO
Julien y Wargadalam	112	Granular	----
Altunin	118	Grava a más	----
Pettis	145	----	----
Simons y Henderson	95	Grava	Aguas arriba Imperial
Blench y Altunin	205	Gruesos	Aguas Abajo Imperial
Manning y Strickler	118	Aluvial grueso	----

TOMÁS A. SÁNCHEZ RONDAN
Representante Legal
Consorcio CISPDR - SIGT

JUAN ARMANDO OLAZÁBAL ÁLVAREZ
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 5289
JEFE DE PROYECTO

Ing. JULIO MARTIN KUROIWA ZEVALLOS
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 42895
ESP. MODELIZACIÓN HIDRÁULICA FLUVIAL

En la imagen 5 se observan una serie de espigones han sido construidos sobre la ribera izquierda. Durante la visita de campo se corroboró que los espigones muestran serias deficiencias que han conducido a su colapso. Se pudo notar que, en un proyecto anterior, se tomó la decisión de solucionar problemas previos colocando diques delante de las puntas de los espigones, lo que no ha funcionado en la práctica. El actual proyecto recomienda que el diseñador debe adaptarse a la naturaleza del flujo y no al contrario. Es decir, en esta parte del tramo en estudio el río presenta naturalmente un cauce muy ancho, advirtiendo que no necesita ser forzado a ser estrechado. Dado que, los diques colapsados fueron construidos con un ancho teórico muy estrecho de alrededor de 102 m, los restos de diques y espigones indican que no han sido capaz de resistir la dinámica de los fuertes flujos en eventos máximos, como los del niño 2017. Según rastros que han dejado desbordes de flujo, aguas abajo de La Bocatoma Imperial se nota que el flujo ha destruido ciertos tramos cortos y consecutivos de los diques de ambos lados.

En la imagen 11 se observan una serie de espigones han sido construidos sobre la ribera izquierda. Durante la visita de campo se corroboró que los espigones muestran serias deficiencias que han conducido a su colapso. Se pudo notar que, en un proyecto anterior, se tomó la decisión de solucionar problemas previos colocando diques delante de las puntas de los espigones, lo que no ha funcionado en la práctica. El actual proyecto recomienda que el diseñador debe adaptarse a la naturaleza del flujo y no al contrario. Es decir, en esta parte del tramo en estudio el río presenta naturalmente un cauce muy ancho, advirtiendo que no necesita ser forzado a ser estrechado. Dado que, los diques colapsados fueron construidos con un ancho teórico muy estrecho de alrededor de 102 m, los restos de diques y espigones indican que no han sido capaz de resistir la dinámica de los fuertes flujos en eventos máximos, como los del niño 2017. Según rastros que han dejado desbordes de flujo, aguas abajo de La Bocatoma Imperial se nota que el flujo ha destruido ciertos tramos cortos y consecutivos de los diques de ambos lados.

TOMAS A. SÁNCHEZ RONDAN
Representante Legal
Consorcio CISPDR - SIGT

JUAN ARMANDO OLAZABAL ÁLVAREZ
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 5289
JEFE DE PROYECTO

Ing. JULIO MARTIN KUROIWA ZEVALLOS
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 42895
ESP. MODELIZACIÓN HIDRÁULICA FLUVIAL



Imagen 11. Vista de diques colapsados y transición natural del ancho teórico del cauce.

Considerando los criterios técnicos anteriormente detallados se procedió a realizar trazos propios preliminares en los sectores en riesgo. Posteriormente, debido a que en este tramo de estudio se contaba con un proyecto avanzado de protección parcial de riberas (Valles Vulnerables), hubo la necesidad de reducir el ancho del cauce y acoplar los trazos propios a los de este proyecto (ver líneas de color verde, imagen 12). Otro motivo por el cual el ancho del cauce se redujo fue porque aguas arriba de la Bocatoma Imperial el cauce

TOMAS A. SÁNCHEZ RONDAN
Representante Legal
Consorcio CISPDR - SIGT

JUAN ARMANDO OLAZABAL ÁLVAREZ
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 5289
JEFE DE PROYECTO

Ing. JULIO MARTIN KUROIWA ZEVALLOS
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 42895
ESP. MODELIZACIÓN HIDRÁULICA FLUVIAL

empieza a estrecharse naturalmente hasta menos de la mitad del cauce aguas abajo. En las imágenes 11 y 12 se muestra un corto tramo aguas abajo de la Bocatoma Imperial, lugar donde ocurre la fuerte transición del ancho del cauce; motivo por el cual, el ancho teórico también fue cambiado radicalmente desde 205 m a 95 m. Razón por la cual, el trazo propio es estrechado considerablemente con el propósito de adaptarse a la transición natural del cauce además de unir y formar ambos trazos de diques en uno solo.

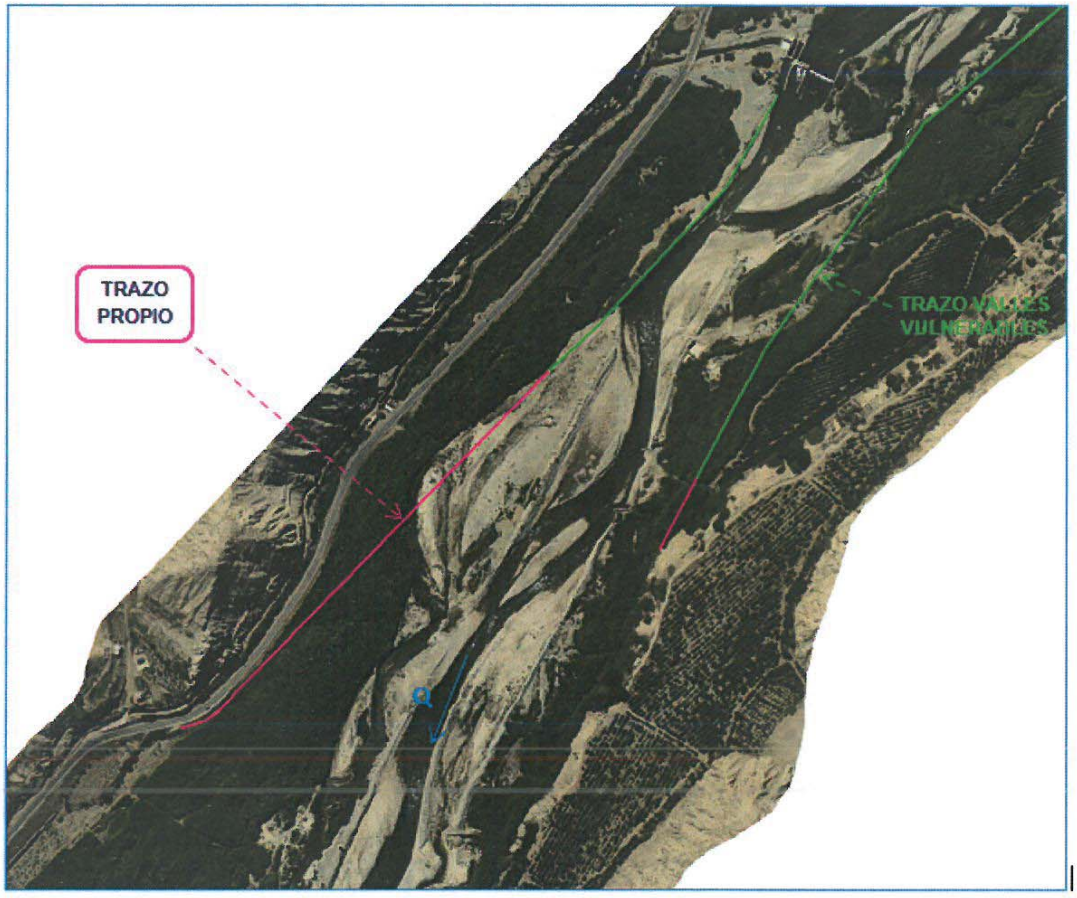


Imagen 12. Unión de trazos definitivos de ejes de diques de ambos proyectos en la zona de transición natural del cauce (Bocatoma Imperial).

TOMÁS A. SÁNCHEZ RONDAN
Representante Legal
Consorcio CISPDR - SIGT

JUAN ARMANDO OLAZÁBAL ÁLVAREZ
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 5289
JEFE DE PROYECTO

Ing. JULIO MARTIN KUROIWA ZEVALLOS
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 42895
ESP. MODELIZACIÓN HIDRÁULICA FLUVIAL

Paso N°5

Modelación en IBER 2D del río con los trazos de eje definitivos de diques y con el caudal de diseño de 1064 m^3/s, correspondiente a un T_r de 100 años. Para ello, los diques preliminares ensamblados en la superficie de terreno fueron dimensionados provisionalmente en base a la experiencia del proyectista. Pues, estos trazos y dimensiones sufrirían luego pequeñas modificaciones hasta lograr cumplir con el objetivo del proyecto, es decir la protección.

Cabe indicar que, la Simulación IBER 2D fue de manera consecutiva e iterativa hasta lograr que el flujo no genere desbordes a las áreas de protección, así mismo se recolecte una confiable data hidráulica. Dado que de esta data (calados, áreas hidráulicas y espejos de agua) depende un buen diseño definitivo del enrocado de los diques.

3.6. Modelo Digital de Elevación (DEM)

El DEM utilizado para el tramo: Desembocadura río Cañete – Bocatoma Palo Herbay fue en formato tiff, cuyos pixeles fueron de 0.5m x 0.5m. Sin antes indicar que, la resolución del vuelo LiDAR fue 0.3 m x 0.3 m, no obstante, se disminuyó a una dimensión prudente de 0.5 m x 0.5 m por motivos de capacidad de rendimiento de procesador. La resolución de este formato se muestra en la siguiente figura:

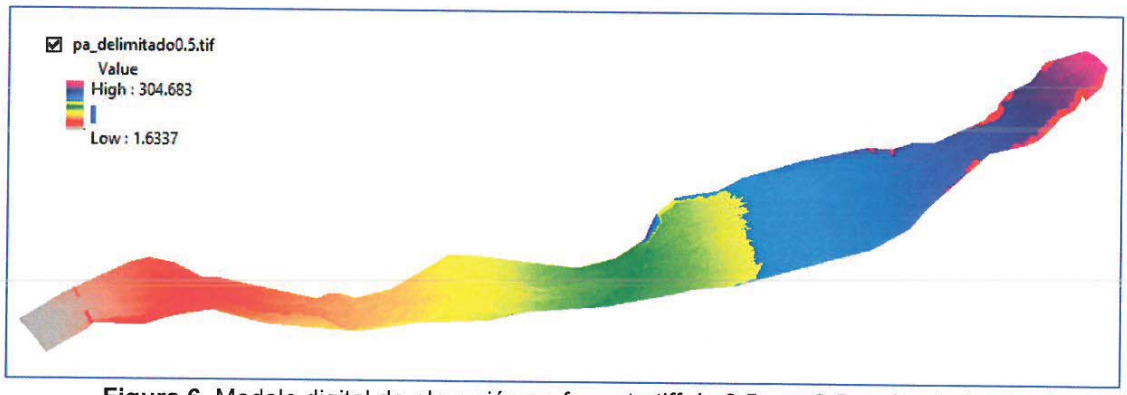


Figura 6. Modelo digital de elevación en formato tiff de 0.5 m x 0.5 m de pixel.

TOMAS A. SÁNCHEZ RONDAN
Representante Legal
Consorcio CISPDR - SIGT

JUAN ARMANDO OLAZABAL ALVAREZ
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 5289
JEFE DE PROYECTO

Ing. JULIO MARTIN KUROIWA ZEVALLOS
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 42895
ESP. MODELIZACIÓN HIDRÁULICA FLUVIAL

El DEM utilizado para el tramo: Bocatoma Palo Herbay – Puente Paullo fue en formato tiff, cuyos pixeles fueron de 0.4 m x 0.4m. Sin antes indicar que, la resolución del vuelo LiDAR fue 0.3 m x 0.3 m, no obstante, se disminuyó a una dimensión prudente de 0.4 m x 0.4 m por motivos de capacidad de rendimiento de procesador. La resolución de este formato se muestra en la siguiente figura:

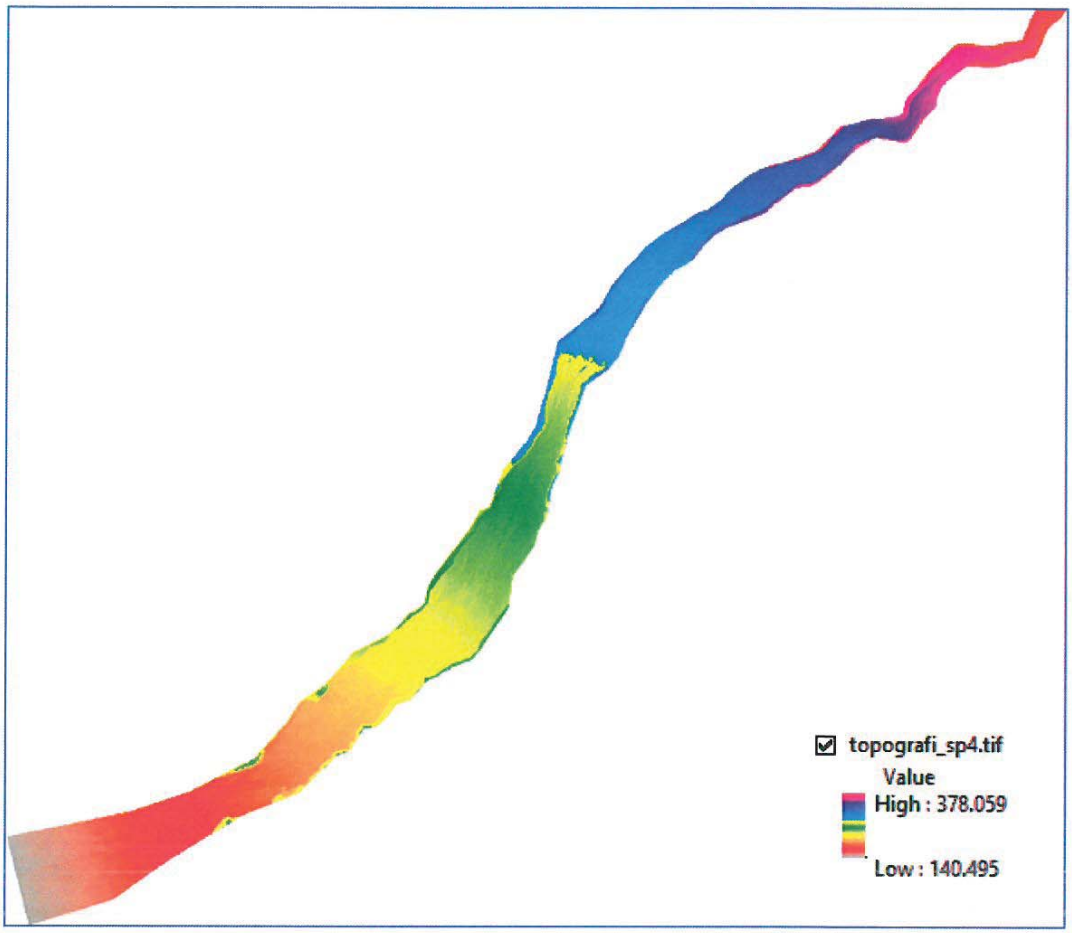


Figura 7. Modelo digital de elevación en formato tiff de 0.4m x 0.4m de pixel.

TOMAS A. SÁNCHEZ RONDAN
Representante Legal
Consorcio CISPDR - SIGT

JUAN ARMANDO OLAZÁBAL ÁLVAREZ
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 5289
JEFE DE PROYECTO

Ing. JULIO MARTIN KUROIWA ZEVALLOS
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 42895
ESP. MODELIZACIÓN HIDRÁULICA FLUVIAL

3.7. Modelamiento IBER 2D

A. Geometría del modelo 2D – editar Malla

Para empezar a realizar los cálculos IBER se necesitó delimitar una área de trabajo por medio de un formato dxf. Luego, al área delimitada se lo asigno un determinado tamaño de malla no estructurada. A continuación, a esta área se le asigno una elevación mediante una geometría en formato ASCII, importada desde el programa ArcMap 10.2.

Es importantes mencionar que, durante el proceso continuo de simulaciones IBER 2D se fueron probando diferentes tamaños de espaciamiento lateral de la malla triangular. Este procedimiento fue con el fin de lograr que los calados del modelamiento se asemejen a las marcas de agua halladas en las visitas en campo. De igual modo, el modelamiento IBER 2D tuvo que ser consecutivo hasta lograr que sus resultados de desborde e inundación concuerde con la información recibida por parte de los pobladores, rastros hallados en campo e imágenes satelitales.

Tramo: Desembocadura río Cañete – Bocatoma Palo Herbay

El proceso de mallado definitivo fue de mallas estructuradas de 5 m de espaciamiento lateral para tota la superficie. Previamente, se probó con mallas de 25, 10, 5 y 3. De los cuales, la malla de 0.5 m fue suficiente para permitir que el modelo se adecue apropiadamente a la superficie batimétrica e inundaciones, incluyendo todas las obstrucciones y demás detalles presentes.

TOMÁS A. SÁNCHEZ RONDAN
Representante Legal
Consorcio CISPDR - SIGT

JUAN ARMANDO OLAZÁBAL ÁLVAREZ
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 5289
JEFE DE PROYECTO

Ing. JULIO MARTIN KUROIWA ZEVALLOS
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 42895
ESP. MODELIZACIÓN HIDRÁULICA FLUVIAL

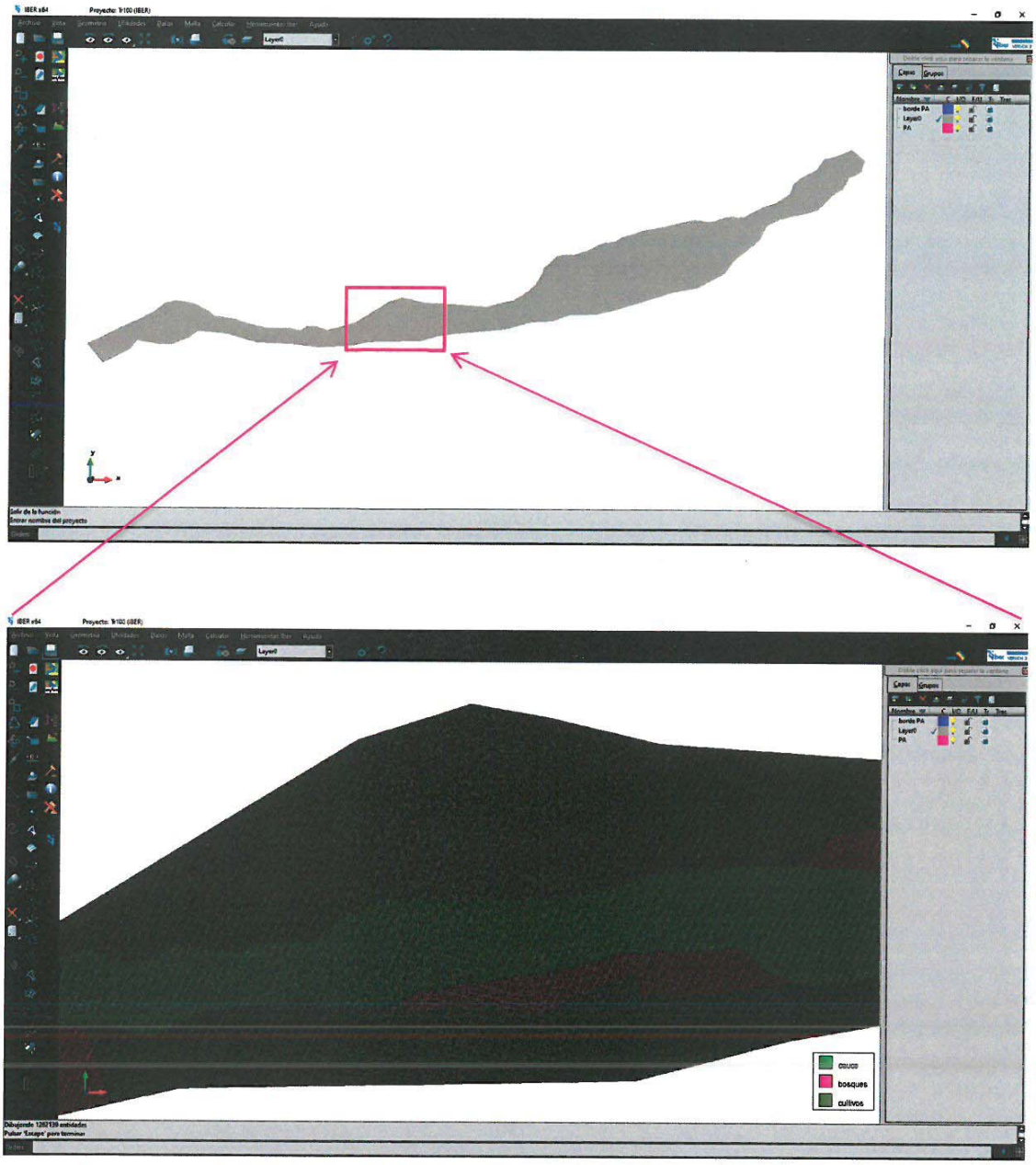


Figura 8. Generación de la malla estructurada de 5 m de espaciamiento lateral.

TOMAS A. SÁNCHEZ RONDAN
Representante Legal
Consorcio CISPDR - SIGT

JUAN ARMANDO OLAZÁBAL ÁLVAREZ
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 5289
JEFE DE PROYECTO

Ing. JULIO MARTIN KUROIWA ZEVALLOS
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 42895
ESP. MODELIZACIÓN HIDRÁULICA FLUVIAL

Tramo: Bocatoma Palo Herbay – Puente Paullo

El proceso de mallado definitivo fue de mallas estructuradas de 4 m de espaciamiento lateral para tota la superficie; sin antes indicar que, previamente, se probó con mallas de 10 y 5. De los cuales, la malla de 0.4 m fue suficiente para permitir que el modelo se adecue apropiadamente a la superficie batimétrica e inundaciones, incluyendo todas las obstrucciones y demás detalles presentes.

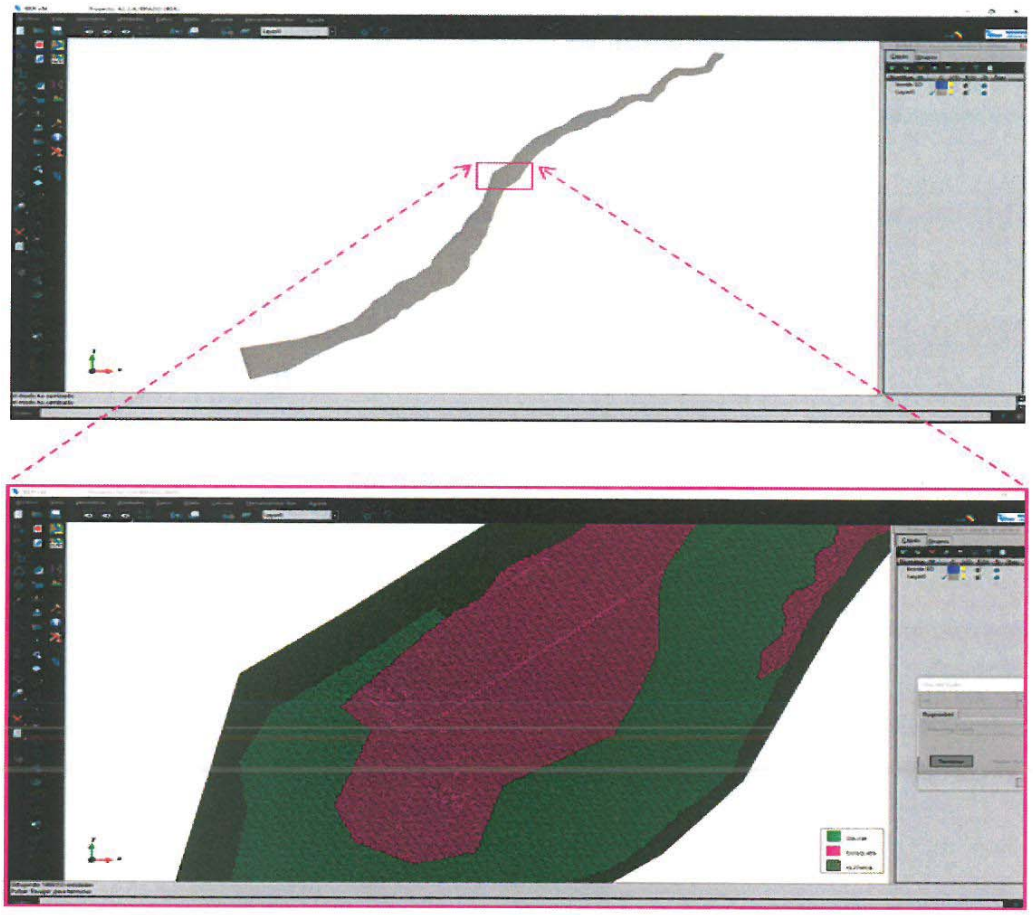


Figura 9. Generación de la malla estructurada de 4 m de espaciamiento lateral.

TOMÁS A. SÁNCHEZ RONDAN
Representante Legal
Consorcio CISPDR - SIGT

JUAN ARMANDO OLAZABAL ALVAREZ
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 5289
JEFE DE PROYECTO

Ing. JULIO MARTIN KUROIWA ZEVALLOS
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 42695
ESP. MODELIZACIÓN HIDRÁULICA FLUVIAL

B. Condiciones de contorno

Tramo: Desembocadura río Cañete – Bocatoma Palo Herbay

La condición inicial del modelo es el hidrograma de entrada para cada uno de los escenarios, en donde los caudales llegan a un máximo de 625 $m3/s$, para un Tr de 10 años; 1064 $m3/s$, Tr de 100 años; y 1428 $m3/s$, Tr de 500 años. A fin de atenuar el ingreso brusco del flujo, el punto de inicio de descarga se ubicó a 2.1 km aproximadamente aguas guas arriba de la Bocatoma Palo Herbay. El punto de condición de salida se ubicó lo más alejado posible, es decir hasta el litoral marino.

Para el caso del modelamiento de inundaciones se emplearon los caudales del hidrograma correspondiente a períodos de retorno (T_r) de 10, 100 y 500 años. Para el caso del modelamiento con estructuras de defensa (diques de enrocado) se emplearon solo los correspondientes al Tr de 100 años, tal como lo indica los TDRs.

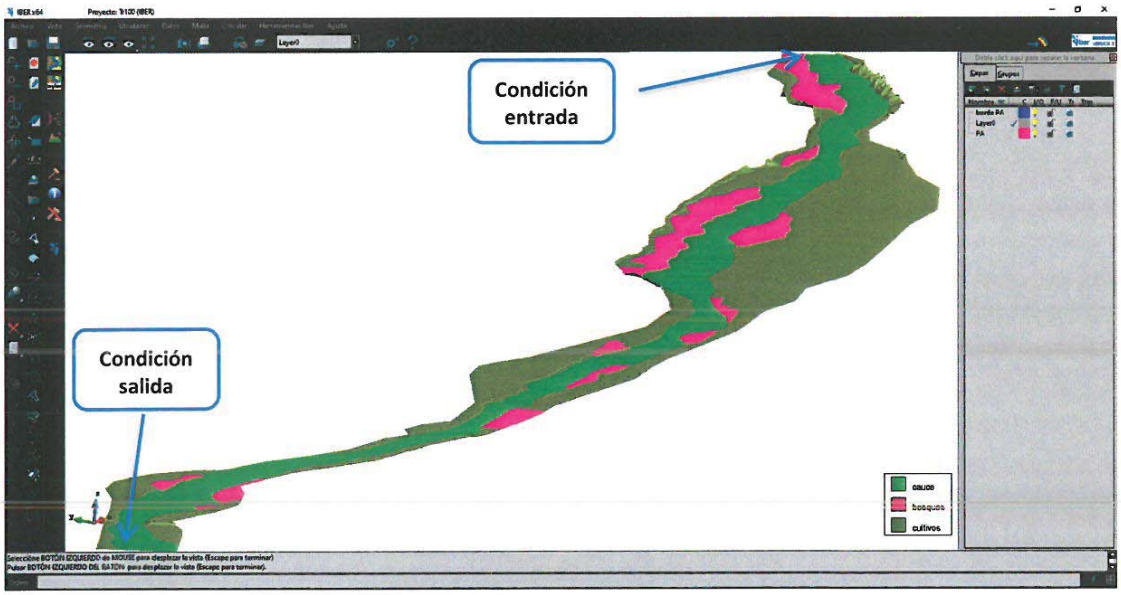


Figura 10. Vista de condición de entrada y salida en el MDT.

TOMÁS A. SÁNCHEZ RONDAN
Representante Legal
Consorcio CISPDR - SIGT

JUAN ARMANDO OLAZÁBAL ÁLVAREZ
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 5289
JEFE DE PROYECTO

Ing. JULIO MARTIN KUROIWA ZEVALLOS
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 42895
ESP. MODELIZACIÓN HIDRAULICA FLUVIAL

Tramo: Bocatoma Palo Herbay – Puente Paullo

La condición inicial del modelo es el hidrograma de entrada para cada uno de los escenarios, en donde los caudales llegan a un máximo de 625 m^3/s, para un T_r de 10 años; 1064 m^3/s, T_r de 100 años; y 1428 m^3/s, T_r de 500 años. A fin de atenuar el ingreso brusco del flujo, el punto de inicio de descarga se ubicó a 0.57 km aproximadamente aguas arriba del Puente Paullo. El punto de condición de salida se ubicó aproximadamente a unos 3.5 km de la parte final del tramo (Bocatoma Palo Herbay).

Para el caso del modelamiento de inundaciones se emplearon los caudales del hidrograma correspondiente a períodos de retorno (T_r) de 10, 100 y 500 años. Para el caso del modelamiento con estructuras de defensa (diques de enrocado) se emplearon solo los caudales correspondientes al T_r de 100 años, tal como lo indica los TDRs.

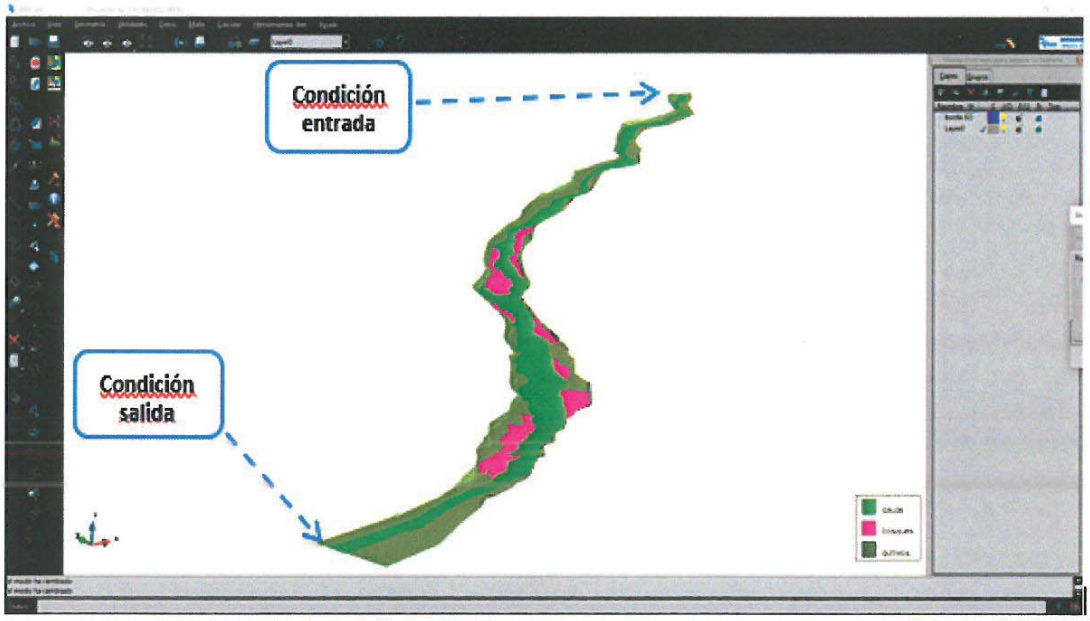


Figura 11. Vista de condición de entrada y salida en el MDT.

TOMÁS A. SÁNCHEZ RONDAN
Representante Legal
Consorcio CISPDR - SIGT

JUAN ARMANDO OLAZÁBAL ÁLVAREZ
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 5289
JEFE DE PROYECTO

Ing. JULIO MARTIN KUROIWA ZEVALLOS
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 42895
ESP. MODELIZACION HIDRÁULICA FLUVIAL

C. Número de Courant e Incremento de Tiempo

El incremento de tiempo máximo (Δt) es relacionado al Número de Courant (C o CFL), obtenido de la relación entre espacio (Δx), velocidad y tiempo. Cabe precisar que dicha relación debe ser menor igual a la unidad.

IBER 2D hace referencia a dos formas para elegir el valor de éstos parámetro. Estas se basan en el Número de Courant, el cual es aplicado según la ecuación de Saint Venant u Onda Difusa. Para resolver el presente modelo se aplicó la ecuación de Saint Venant.

$$C = \frac{V * \Delta T}{\Delta X} \leq 1.0$$

Donde:

C : Número de Courant
V : Velocidad
Δx : Tamaño de malla o celda
Δt : Incremento de tiempo máximo

Tramo: Desembocadura río Cañete – Bocatoma Palo Herbay

La estrecha relación entre los dos parámetros (espacio y tiempo), hiso que debamos obtener un intervalo de tiempo adecuado para que funcione bien. Es así que, se probó con diferentes tamaños de celda (Δx) y también con diferentes pasos de tiempo (Δt) para poder tener una buena precisión numérica y reducir al mínimo el tiempo de cálculo. Luego de varias simulaciones se optó por un tamaño definitivo de malla de 5 m, de donde se obtuvo una velocidad media de 3.5 m/s, por lo que reemplazando estos valores se obtuvo un incremento de tiempo máximo (Δt) para el cálculo computacional como:

C =	0.8	
V =	3.5	m/s
ΔX =	5	m
ΔT =	**1.14**	**s**

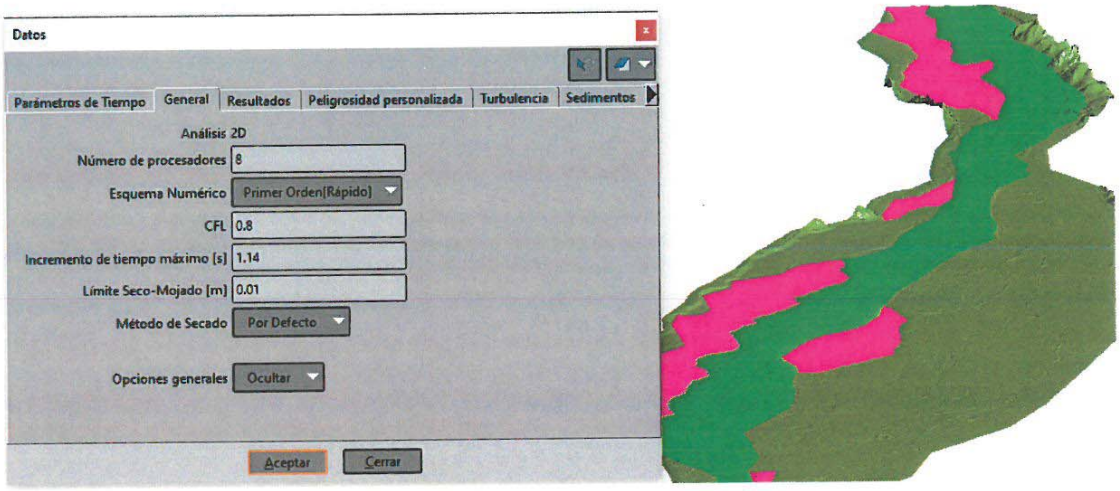
TOMÁS A. SÁNCHEZ RONDAN
Representante Legal
Consorcio CISPDR - SIGT

JUAN ARMANDO OLAZÁBAL ÁLVAREZ
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 5289
JEFE DE PROYECTO

Ing. JULIO MARTIN KUROIWA ZEVALLOS
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 42895
ESP. MODELIZACIÓN HIDRÁULICA FLUVIAL

A continuación, se muestra una imagen de la ventana de análisis para definir el procesamiento en flujo en condiciones no permanentes.

Tabla 16. Ventana de **Datos** de procesamiento en IBER 2D.



Tramo: Bocatoma Palo Herbay – Puente Paullo

La estrecha relación entre los dos parámetros (espacio y tiempo), hiso que debamos obtener un intervalo de tiempo adecuado para que funcione bien. Es así que, se probó con diferentes tamaños de celda (Δx) y también con diferentes pasos de tiempo (Δt) para poder tener una buena precisión numérica y reducir al mínimo el tiempo de cálculo. Luego de varias simulaciones se optó por un tamaño definitivo de malla de 4 m, de donde se obtuvo una velocidad media de 4.2 m/s, por lo que reemplazando estos valores se obtuvo un incremento de tiempo máximo (Δt) para el cálculo computacional como:

C =	0.8	
V =	4.2	m/s
ΔX =	4	m
ΔT =	**0.76**	**s**

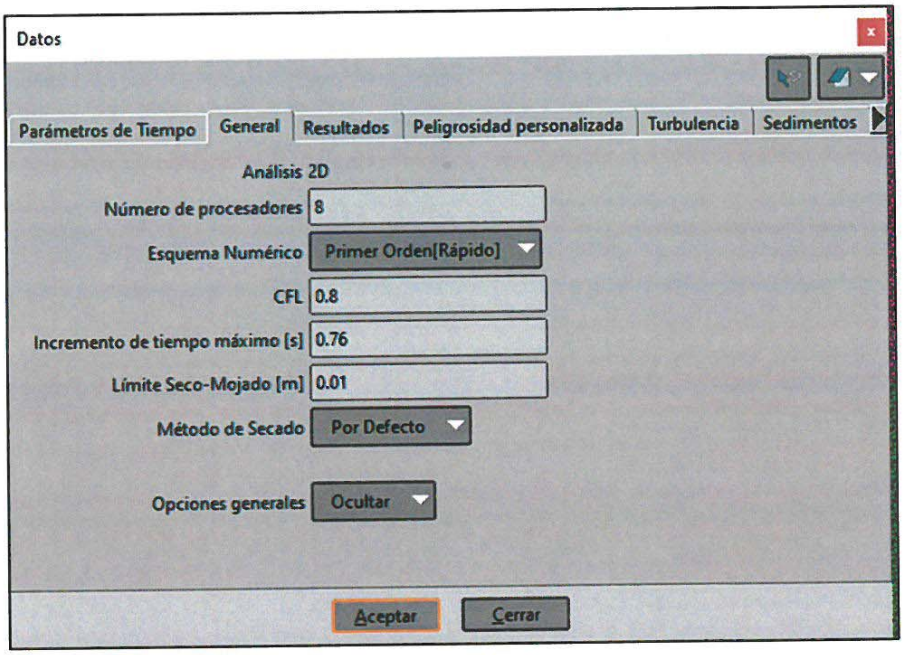
TOMÁS A. SÁNCHEZ RONDAN
Representante Legal
Consorcio CISPDR - SIGT

JUAN ARMANDO OLAZABAL ÁLVAREZ
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 5289
JEFE DE PROYECTO

Ing. JULIO MARTIN KUROIWA ZEVALLOS
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 42895
ESP. MODELIZACIÓN HIDRAULICA FLUVIAL

A continuación, se muestra una imagen de la ventana de análisis para definir el procesamiento en flujo en condiciones no permanentes.

Tabla 17. Ventana de **Datos** de procesamiento en IBER 2D.



4. ANALISIS Y DISCUSION DE RESULTADOS

Primero antes que todo es importante mencionar lo siguiente:

El acarreo de material sedimentológico y vegetativo rico en nutrientes, proveniente la parte alta de la cuenca, permite el crecimiento desmesurado de maleza; en otras palabras, las llanuras de inundación son cubiertas rápidamente de densa vegetación (zonas riparianas). Estas zonas pueden permanecer intactas por años, tiempo en el que además se van creando desvíos de flujos por otras partes más alejadas al eje de cauce original. De ello resulta, la aparición de islas y barras compactas difíciles de distinguir debido al

TOMÁS A. SÁNCHEZ RONDAN
Representante Legal
Consorcio CISPDR - SIGT

JUAN ARMANDO OLAZÁBAL ÁLVAREZ
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 5289
JEFE DE PROYECTO

Ing. JULIO MARTIN KUROIWA ZEVALLOS
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 42895
ESP. MODELIZACION HIDRÁULICA FLUVIAL

rápido crecimiento de densa vegetación. Parte de las áreas de estas islas y barras es posteriormente ocupada por agricultores, que no miden el grado del peligro que presentan estas zonas. Peligro que se manifiesta en eventos tan fuertes, como el fenómeno del niño u otro, el cual tienen la capacidad de devastar todas estas islas y barras cubiertas de maleza y cultivos. Según lo visto en imágenes satelitales históricas de estos eventos cíclicos, desarrollados naturalmente a lo largo de los años, fue y sería complicado disponer de una topografía que muestre las condiciones más críticas de inundaciones. Incluso, las inundaciones tan críticas no ocurrirían ni con una simulación IBER 2D, por más que la superficie topográfica usada fuese limpiada de obstáculos (diques rústicos u otros) colocados recientemente. Dicho de otro modo, el retiro de estos obstáculos artesanales de la superficie topográfica no mostraría las peores situaciones de inundación; ya que, el levantamiento topográfico con vuelo LIDAR fue llevado a cabo en el año 2019. En efecto, el riesgo por inundaciones dado en el año 2019 no es el mismo que el riesgo de años anteriores, tales como los ocurridos durante el último fenómeno del niño (2017) u otro como el fuerte evento dado en el año 2013. De modo que, para iniciar el trazo de eje de diques se tomó como referencia los rastros de las inundaciones registradas en la larga data disponible de imágenes satelitales, esto es, desde el año 2003 a la actualidad (2020). Luego, el trabajo fue muy bien mejorado mediante las simulaciones IBER 2D en condiciones de terreno para el año 2019, tiempo en el que se realizó el levantamiento topográfico con vuelo LIDAR.

Este acápite consiste en mostrar la evolución del flujo a lo largo de su recorrido del tramo "Desembocadura río Cañete — Puente Paullo" en condiciones terreno sin presencia de diseño de diques, así como con presencia de diques.

4.1. Modelamiento por inundación (sin estructuras de defensa)

Los modelamientos hidráulicos por inundación se elaboraron para periodos de retorno (Tr) de 10, 100 y 500 años, el cual se muestran gráficamente en el

TOMAS A. SANCHEZ RONDAN
Representante Legal
Consorcio CISPDR - SIGT

JUAN ARMANDO OLAZABAL ÁLVAREZ
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 5289
JEFE DE PROYECTO

Ing. JULIO MARTIN KUROIWA ZEVALLOS
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 42895
ESP. MODELIZACIÓN HIDRÁULICA FLUVIAL

acápite de anexos MAPAS DE INUNDACIONES. De estos, los resultados de las inundaciones ocurridas para el Tr de 100 años, se analizó y discutió al detalle por corresponder al Tr de diseño de las estructuras de defensa. cabe recalcar que, el caudal pico correspondiente al Tr de diseñó es de 1064 m^3/s.

4.1.1. Análisis para el Tr de 100 años

Tramo: Desembocadura río Cañete – Bocatoma Palo Herbay

Primero antes de empezar, para un mejor entendimiento de los resultados se muestra el mapa de inundaciones completo del tramo "Desembocadura río Cañete - Bocatoma Palo Herbay" en la imagen 13. En la imagen se puede observar que ocurre bastante inundación aguas arriba de la Bocatoma La Fortaleza, cuya ubicación es casi al centro de este tramo. De otro lado, el desborde aguas abajo de esta bocatoma parece ser poco o casi nada según la imagen, pero si se observa minuciosamente se nota que ocurrieron leves inundaciones. Ahora bien, el motivo principal por el que no ocurrieron inundaciones fue porque se han construido diques rústicos en años recientes, según registros de imágenes satelitales. Estos diques han sido levantados con material propio del río sin ningún tipo de planificación ni diseño, en consecuencia, serían a la larga averiados con facilidad en ocurrencia de máximas avenidas. Por lo que, las áreas de cultivo y centros poblados adyacentes a las riberas serían gravemente afectados.

TOMÁS A. SÁNCHEZ RONDAN
Representante Legal
Consorcio CISPDR - SIGT

JUAN ARMANDO OLAZABAL ALVAREZ
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 5289
JEFE DE PROYECTO

Ing. JULIO MARTIN KUROIWA ZEVALLOS
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 42895
ESP. MODELIZACIÓN HIDRÁULICA FLUVIAL

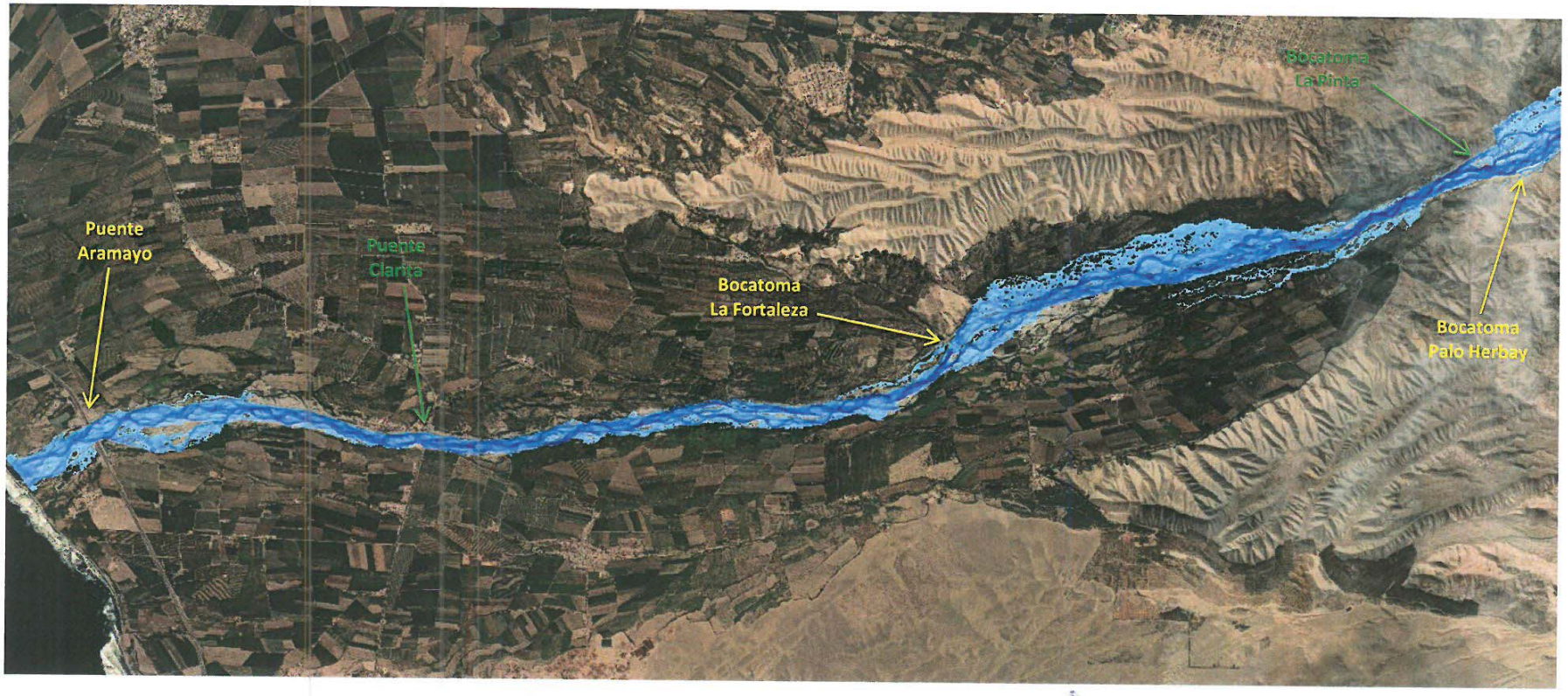


Imagen 13. Mapa de inundaciones en IBER 2D del tramo "Desembocadura río Cañete - Bocatoma Palo Herbay" para el Tr de 100 años.

TOMÁS A. SÁNCHEZ RONDAN
Representante Legal
Consorcio CISPDR - SIGT

JUAN ARMANDO OLAZABAL ALVAREZ
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 5289
JEFE DE PROYECTO

Ing. JULIO MARTIN KUROIWA ZEVALLOS
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 42895
ESP. MODELIZACION HIDRÁULICA FLUVIAL

Ahora veamos, aguas abajo de la Bocatoma Palo Herbay se aprecia el desborde de flujo a través de la rotura en un trecho de un dique existente (imagen 14). El flujo que desborda afecta áreas de cultivos adyacentes del lado de la ribera izquierda; por supuesto que, estos daños fueron corroborados por agricultores.

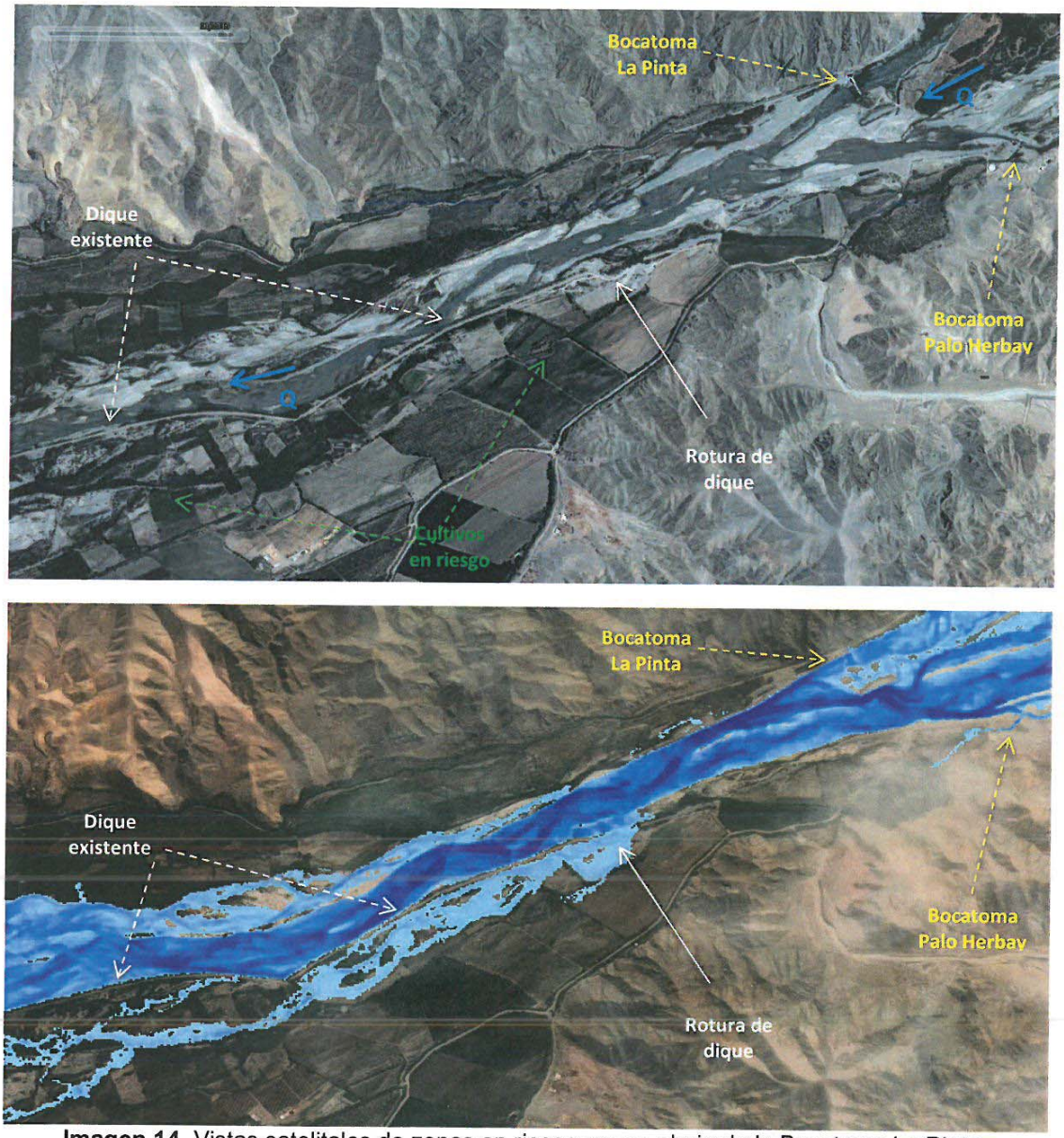


Imagen 14. Vistas satelitales de zonas en riesgo aguas abajo de la Bocatoma La Pinta.

TOMAS A. SÁNCHEZ RONDAN
Representante Legal
Consorcio CISPDR - SIGT

JUAN ARMANDO OLAZABAL ALVAREZ
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 5289
JEFE DE PROYECTO

Ing. JULIO MARTIN KUROKAWA ZEVALLOS
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 42895
ESP. MODELIZACION HIDRAULICA FLUVIAL

Unos metros más abajo de la rotura se observa unos menores desbordes que igualmente afectan los cultivos. Sin embargo, estos desbordes de menor magnitud transitan sobre la cresta del dique existente, el cual cuenta con una longitud aproximada de 2.5 km a partir de la rotura indicada. Cabe aclarar que, este dique ha cumplido su función de defensa hasta la actualidad; por lo que, se decidió mantenerlo esta estructura sin antes recomendar su mantenimiento y elevación de cresta de 1 m.

A continuación, al final del dique existente se inicia una estructura tipo dique rústico hasta la Bocatoma La Fortaleza. Al parecer, tal dique rustico anteriormente se hallaba reemplazado por un dique diseñado, pero que al haber sido colapsado fue remplazado por este dique rústico que aún permanece a la actualidad. Si bien los diques rústicos aun cumplen con proteger áreas adyacentes, esto no sería por mucho tiempo. La razón es porque: los diques han sido construidos rústicamente con material propio del lecho del río, o sea, con piedra amontonada en la lateral derecha. Lo peor del caso, en la visita de campo, antes de llegar a la Bocatoma Fortaleza, se observó que gran longitud de estos diques han colapsado en su totalidad. Lo mencionado se puede corroborar en la imagen siguiente:

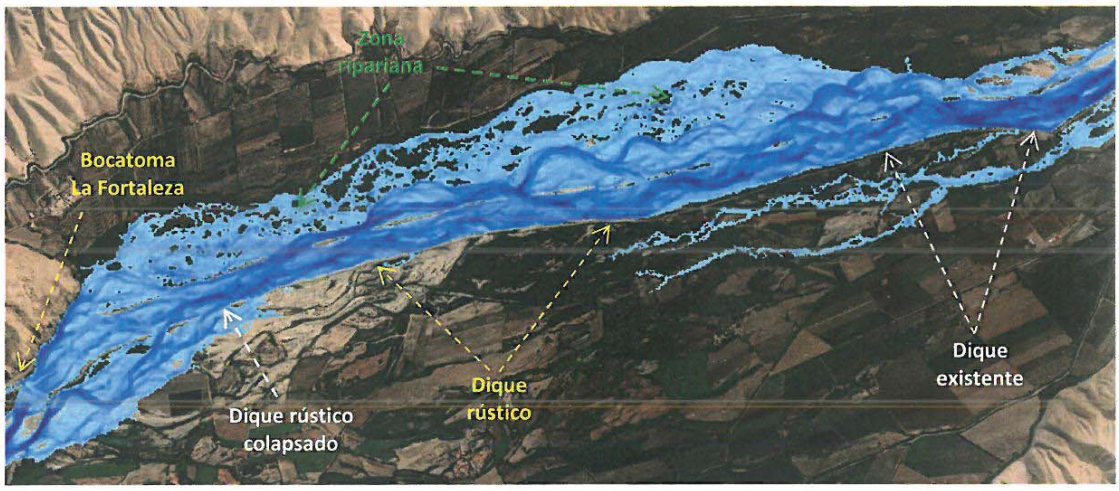


Imagen 15. Vista de inundación aguas arriba de Bocatoma La Fortaleza.

TOMÁS A. SÁNCHEZ RONDAN
Representante Legal
Consorcio CISPDR - SIGT

JUAN ARMANDO OLAZÁBAL ÁLVAREZ
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 5289
JEFE DE PROYECTO

Ing. JULIO MARTÍN KUROIWA ZEVALLOS
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 42895
ESP. MODELIZACIÓN HIDRÁULICA FLUVIAL

En el otro lado (orilla derecha, imagen 15) se observa que ocurre bastante inundación a partir de la bocatoma la fortaleza hacia arriba. La longitud de ribera por donde desborda el flujo es de aproximadamente 3.5 km. El área inundada adyacente a esta ribera pertenece a una zona activa, según se muestra en imágenes satelitales hasta el año 2003. En dicha zona activa o mejor conocida como zona ripariana (riparian zone, en inglés) ha ocurrido una migración lateral de hasta casi 300 m; sin embargo, dentro de esta zona en peligro se hallan considerables áreas de cultivo expuestas a inundación.

En lo que respecta al tramo restante (Bocatoma La Fortaleza – Desembocadura río Cañete), el desborde e inundación bajó considerablemente. El motivo principal por el que no ocurrieron inundaciones fue porque se han construido grandes longitudes de diques rústicos, que han sido también capturados al momento de realizar el levantamiento topográfico con vuelo LIDAR. Sin embargo, al revisar registros históricos de imágenes satelitales se notó que los diques han sido destruidos con facilidad después de cada avenida extraordinaria. Posteriormente, estos diques rústicos con el afán de protección han sido reconstruidos consecutivamente a lo largo de los años, pero no han funcionado como se esperaba.

Para ilustrar mejor, se enfoca y hace un análisis en la simulación por inundación IBER 2D, en un tramo corto aguas abajo del Puente Clarita: las viviendas ubicadas en las inmediaciones del puente están sujetas a graves peligros por erosión lateral más que por inundación; la razón es porque, las viviendas están asentadas sobre un área elevada, cuyo material del banco ribereño es muy frágil para hacer frente a las fuertes velocidades del flujo en crecidas (imagen 16).

TOMÁS A. SÁNCHEZ RONDAN
Representante Legal
Consorcio CISPDR - SIGT

JUAN ARMANDO OLAZABAL ÁLVAREZ
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 5289
JEFE DE PROYECTO

Ing. JULIO MARTIN KUROIWA ZEVALLOS
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 42895
ESP. MODELIZACIÓN HIDRAULICA FLUVIAL



Imagen 16. Viviendas cerca de la ribera derecha aguas abajo del Puente Clarita.

A continuación de las viviendas se halla una inmensa área o llanura de inundación, pero que no ha sido inundado por las simulaciones IBER 2D; debido que, el dique rustido existente ha obstaculizado el paso del flujo a la llanura. Del mismo modo, la llanura de inundación ubicada del otro lado (ribera izquierda) no fue afectada de acuerdo con las simulaciones, a causa también de la existencia de otra obra rústica. No obstante, ocurre un desborde mínimo por la entrada de un dren colector, que vierte al río las aguas provenientes de los cultivos. Lo mencionado se puede observar en la imagen siguiente:

TOMÁS A. SÁNCHEZ RONDAN
Representante Legal
Consorcio CISPDR - SIGT

JUAN ARMANDO OLAZÁBAL ÁLVAREZ
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 5289
JEFE DE PROYECTO

Ing. JULIO MARTIN KUROIWA ZEVALLOS
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 42895
ESP. MODELIZACIÓN HIDRÁULICA FLUVIAL

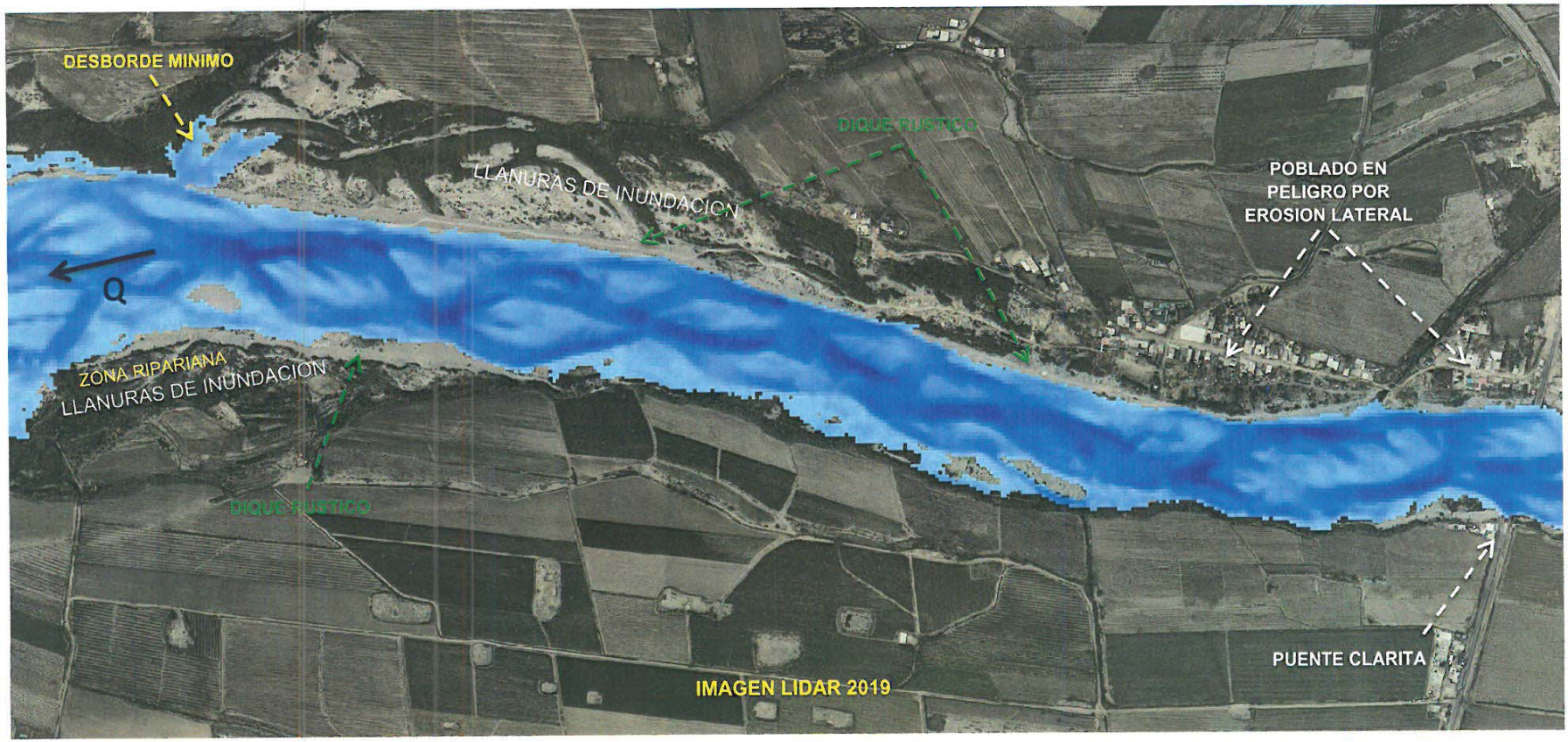


Imagen 17. Vista de inundación aguas abajo del Puente Clarita.

TOMÁS A. SÁNCHEZ RONDAN
Representante Legal
Consorcio CISPDR - SIGT

JUAN ARMANDO OLAZABAL ÁLVAREZ
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 5289
JEFE DE PROYECTO

Ing. JULIO MARTIN KUROIWA ZEVALLOS
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 42895
ESP. MODELIZACIÓN HIDRÁULICA FLUVIAL

Con respecto a, las áreas que no fueron inundadas en la simulación IBER 2D se debió corregir mediante la desaparición de estos muros, que representan diques rústicos. Trabajo que debió realizarse en la superficie topográfica levantada por el vuelo LIDAR. Ahora bien, tal trabajo no fue necesario ya que el desborde y recubrimiento por parte del agua en las llanuras de inundación fueron observadas en imágenes satelitales de una serie de años anteriores. Específicamente, las áreas en peligro por la presencia de inundaciones fueron detectados gracias a imágenes satelitales disponibles desde el año 2003. De igual modo, la migración lateral de bancos ribereños de material frágil fue identificada gracias a las imágenes satelitales.

Dicho lo anterior, para una mejor comprensión se recurrió a un análisis grafico del mismo tramo de la simulación IBER 2D en la imagen 17; esto es, el mismo tramo es aguas abajo del Puente Clarita. Para ello se muestra la imagen 18 en donde:
En la imagen 18A correspondiente al año 2009 se aprecia un trazo de un dique de la ribera derecha, que ha sido en la parte media totalmente destruida por el flujo. Aguas arriba y detrás de este rastro de dique se nota la llanura de inundación totalmente descubierta, probablemente hubo presencia de una avenida de algún año reciente. Razón por la cual, autoridades u otra entidad se vio en la necesidad de construir el dique rustico que ha sido captado por la imagen satelital de ese año. Además, en el centro poblado cerca al Puente Clarita se observa que se encuentra totalmente desprotegida, expuesto a riesgo por erosión. De otro lado, en la ribera izquierda se halla la llanura de inundación ocupada por una área ripariana cubierta en su totalidad por maleza.

Luego, en la imagen 18B correspondiente al año 2017 ya no se puede visualizar ningún tipo de estructura de defensa (dique). Los diques que fueron construidos artesanalmente en años anteriores han desaparecido en su totalidad, ocasionando grandes áreas inundadas y poniendo en peligro la vida humana de los pobladores. Así mismo, la zona ripariana ubicada en la llanura inundable izquierda ha

TOMÁS A. SÁNCHEZ RONDAN
Representante Legal
Consorcio CISPDR - SIGT

JUAN ARMANDO OLAZÁBAL ÁLVAREZ
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 5289
JEFE DE PROYECTO

Ing. JULIO MARTIN KUROIWA ZEVALLOS
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 42895
ESP. MODELIZACIÓN HIDRÁULICA FLUVIAL

desaparecido en su totalidad producto del desborde. Este fenómeno hidráulico se explica y guarda coherencia con lo visto en la imagen; puesto que, en ese año (2017) ocurrió el fenómeno del niño que acarreo graves daños a lo largo de la costa peruana.

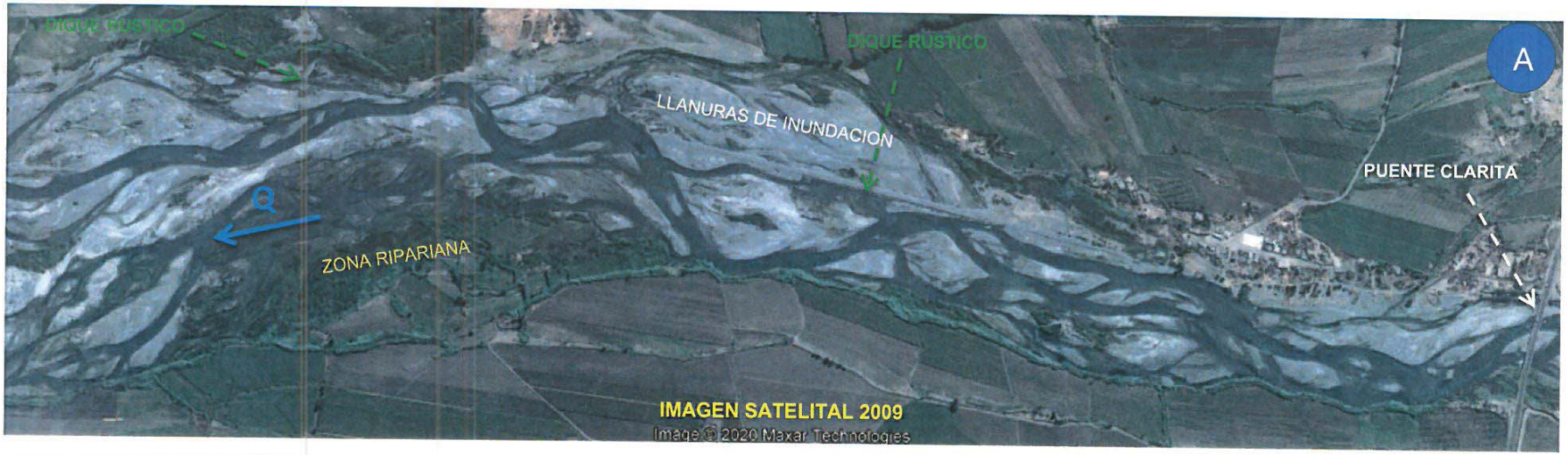
Ya para el año 2019, según la imagen 18C, se observa que toda la ribera derecha ha sido nuevamente protegida por diques. Lo mismo ocurrió con la llanura inundada de la ribera izquierda, que ha sido protegida a partir de un punto donde la ribera no ha sufrido migración lateral hacia el puente Aramayo.

El análisis explicado hasta este punto ha sido empleado para todo el tramo de estudio; motivo por el cual, a los diques existentes no se los limpió de la superficie topográfica porque la magnitud de inundaciones fue registrada en las imágenes satelitales.

TOMÁS A. SÁNCHEZ RONDAN
Representante Legal
Consorcio CISPDR - SIGT

JUAN ARMANDO OLAZÁBAL ÁLVAREZ
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 5289
JEFE DE PROYECTO

Ing. JULIO MARTIN KUROIWA ZEVALLOS
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 42895
ESP. MODELIZACIÓN HIDRÁULICA FLUVIAL





TOMÁS A. SÁNCHEZ RONDAN
Representante Legal
Consorcio CISPDR - SIGT

JUAN ARMANDO OLAZÁBAL ÁLVAREZ
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 5289
JEFE DE PROYECTO

Ing. JULIO MARTIN KUROIWA ZEVALLOS
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 42895
ESP. MODELIZACIÓN HIDRÁULICA FLUVIAL

1036

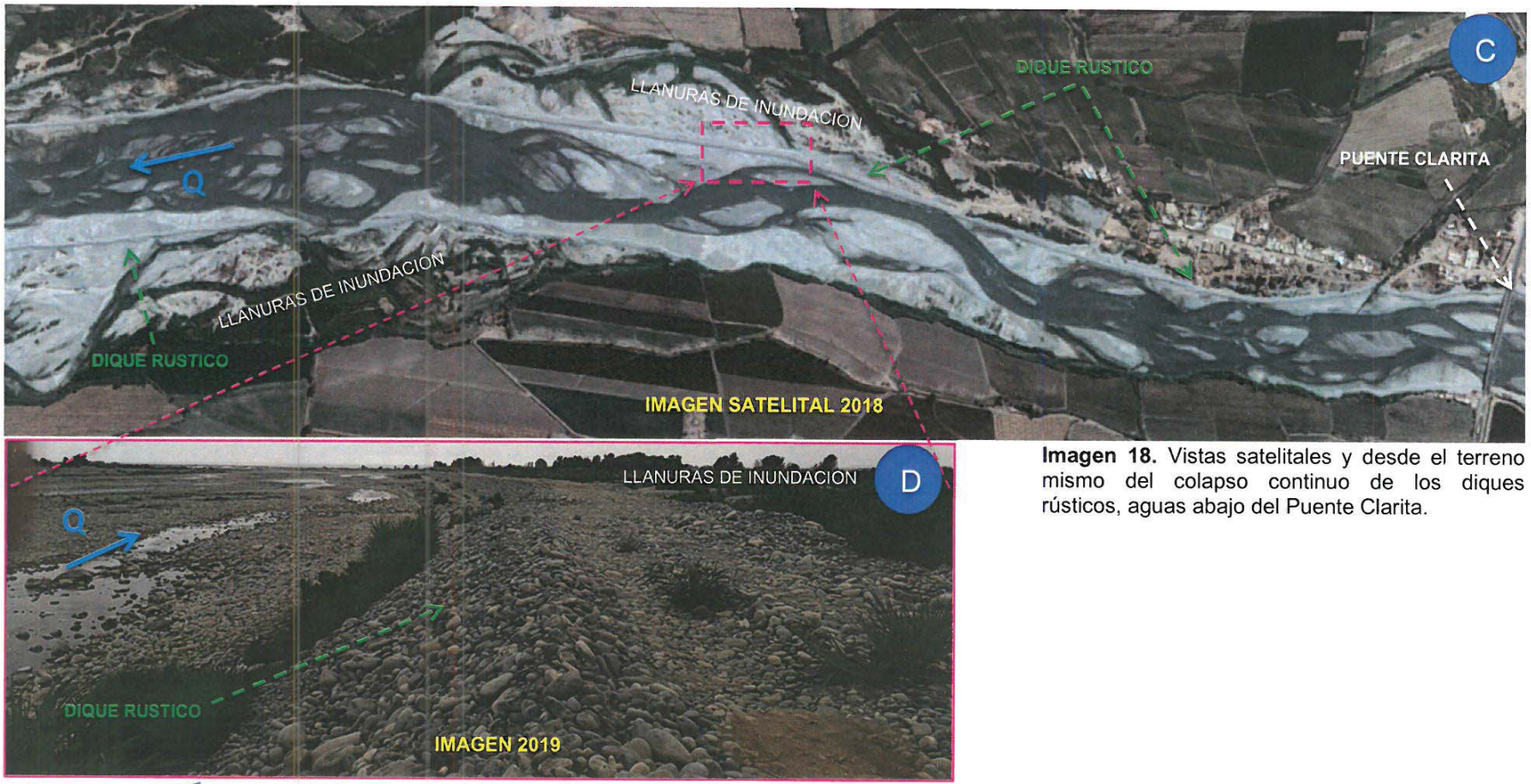


Imagen 18. Vistas satelitales y desde el terreno mismo del colapso continuo de los diques rústicos, aguas abajo del Puente Clarita.

TOMÁS A. SÁNCHEZ RONDAN
Representante Legal
CMODELACION HIDRAULICA

JUAN ARMANDO OLAZÁBAL ÁLVAREZ
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 5289
JEFE DE PROYECTO

Ing. JULIO MARTIN KUROIWA ZEVALLOS
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 42895
ESP. MODELIZACIÓN HIDRÁULICA FLUVIAL

Tramo: Bocatoma Palo Herbay – Puente Paullo

Ante todo, para un mejor entendimiento de los resultados se muestra el mapa de inundaciones IBER 2D completo del tramo "Bocatoma Palo Herbay - Puente Paullo" en la imagen 19. En la imagen se puede observar que ocurre bastante inundación, sobre todo del lado derecho, aguas abajo del Puente Socsi. Justo en este lado derecho se encuentran la mayor cantidad de áreas de cultivos, la Bocatoma Imperial y la Carretera Cañete – Yauyos. Lo peor del caso, la carretera llega hacer afectada por inundación a la altura donde se ubica la bocatoma. Por otra parte, el desborde e inundación parece ser de poca magnitud aguas arriba del Puente Socsi, pero si se observa minuciosamente se nota que si hay ocurrencia de menores inundaciones. El motivo principal por el cual las inundaciones son bajas es porque el cauce empieza a ser más encajonado naturalmente, tendiendo a comportarse como un río montañoso.

Adicionalmente, se debe tomar en cuenta que, desde la Bocatoma Imperial hacia aguas arriba se encuentran numerosos espigones de gaviones y diques de enrocados diseñados como defensas de protección. Los diques se encuentran en su mayoría cumpliendo correctamente su función en contra la socavación, sin embargo, para que pueda cumplir su función contra inundaciones las cotas de sus coronas deben ser incrementadas. Los bordes libres de estos diques existentes no son suficientes para evitar inundaciones ocasionadas por un caudal de 1064 m^3/s correspondiente a un T_r de 100 años. De otro lado, los espigones hechos de gaviones han sido inundados totalmente por este mismo caudal. Además, la mayoría de estos espigones han sido afectados estructuralmente en forma grave, sobre todo en las bases de las puntas, según se pudo apreciar en las visitas de campo. Por lo indicado anteriormente, el colapso de estos espigones es inminente.

TOMAS A. SÁNCHEZ RONDAN
Representante Legal
Consorcio CISPDR - SIGT

JUAN ARMANDO OLAZÁBAL ÁLVAREZ
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 5289
JEFE DE PROYECTO

Ing. JULIO MARTIN KUROIWA ZEVALLOS
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 42895
ESP. MODELIZACIÓN HIDRÁULICA FLUVIA

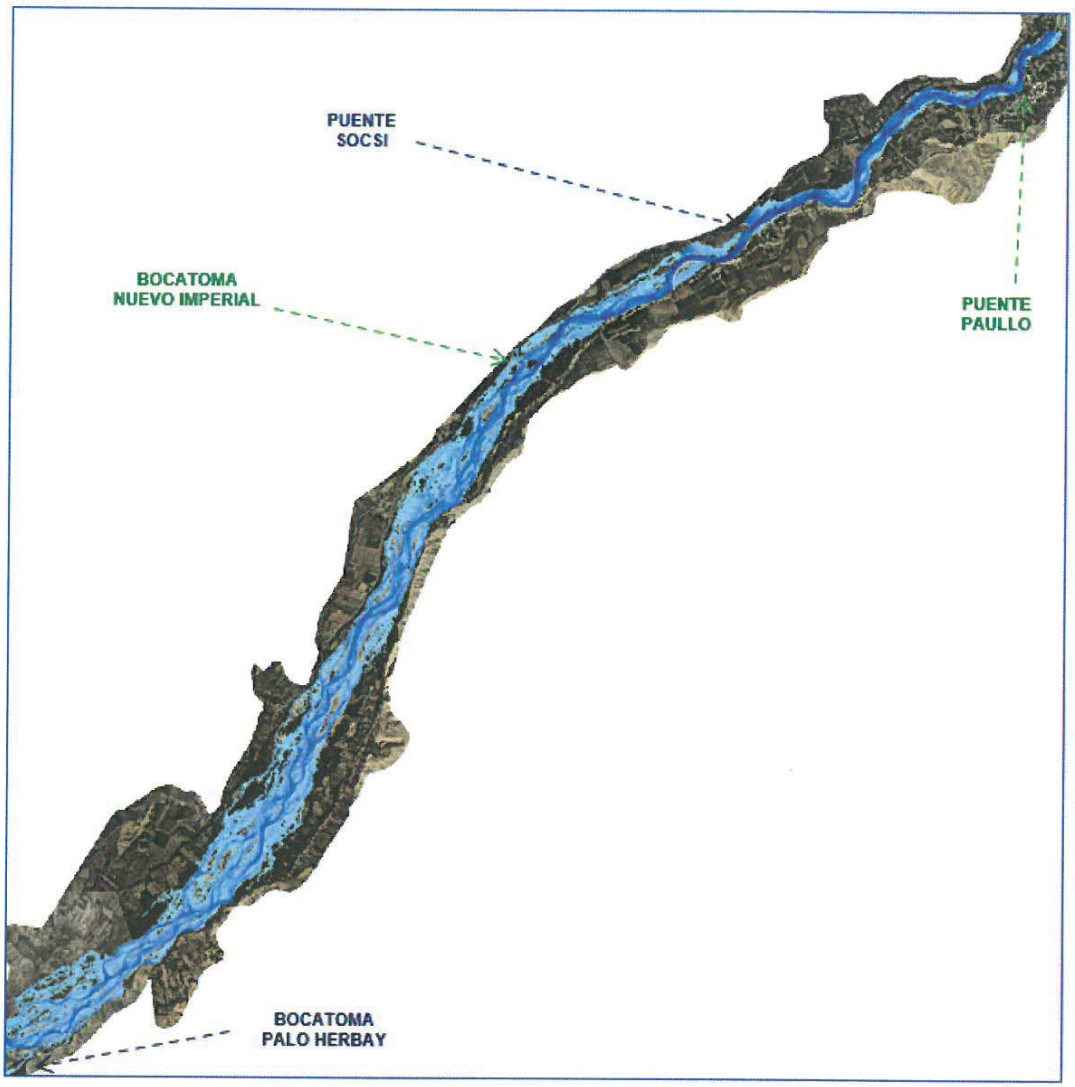


Imagen 19. Mapa de inundaciones en IBER 2D del tramo "Puente Paullo - Bocatoma Palo Herbay" para el T_r de 100 años.

Aparte de las simulaciones IBER 2D, se recurrieron a registros históricos de imágenes satelitales, a fin de identificar y analizar el riesgo de los sectores vulnerables. Estos sectores fueron identificados con facilidad debido a los graves daños que han ocasionado las avenidas máximas, por medio de

TOMÁS A. SÁNCHEZ RONDAN
Representante Legal
Consorcio CISPDR - SIGT

JUAN ARMANDO OLAZÁBAL ÁLVAREZ
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 5289
JEFE DE PROYECTO

Ing. JULIO MARTIN KUROIWA ZEVALLOS
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 42895
ESP. MODELIZACIÓN HIDRAULICA FLUVIAL

inundaciones y fuertes velocidades erosivas en las bases de bancos de material frágil.

Para enfatizar en el análisis se detalla uno de los puntos más críticos, el cual se ubica a la altura del Centro Poblado Lúcumo, aguas abajo del Puente Paullo. En este sector, no solo las áreas de cultivos y estructuras hidráulicas están expuestas a riesgos en máximas avenidas, sino también se halla en riesgo la vida humana (imagen 20).

En la imagen 20A, correspondiente el año 2015, se observa que, en el afán de ganar terreno, algunos pobladores han construido espigones sin ningún tipo de diseño ni planificación. Se aprecia que el ancho del cauce del río ha sido reducido desde ambos lados de una manera muy exagerada, llegando a medir 44 metros sin incluir la longitud del espigón. En todo caso, si se restase la longitud de esta estructura el ancho libre para el paso flujo llega exageradamente a medir alrededor de 25 metros. Esto conlleva a que en este punto se tenga un área hidráulica exageradamente reducida para el tránsito de avenidas de gran magnitud y no podría soportar el caudal de diseño de 1064 m^3/s.

A continuación, según la imagen 8B: el enorme flujo para el año 2017, fecha en que ocurrió el ultimo niño costero, devastó con todo lo que irrumpió su paso en ambas riberas. Es decir, la enorme avenida ocasionó la desaparición de los espigones, una vivienda, un canal de regadío y áreas de cultivo, llegando el cauce a alcanzar un ancho de hasta 124 metros. La inversión en espigones hechos probablemente de forma rústica no cumplió su cometido, error del cual debió servir como base para no repetir este tipo de diseño. Sin embargo, a pesar de haber experimentado la capacidad de destrucción que puede causar una máxima avenida se volvió a cometer la misma irresponsabilidad, incluso llegando a poner nuevamente en riesgo la vida humana. Se ha construido una vivienda poco después de la ocurrencia del Niño Costero y que actualmente mantiene la ocupación.

TOMÁS A. SÁNCHEZ RONDAN
Representante Legal
Consorcio CISPDR - SIGT

JUAN ARMANDO OLAZABAL ÁLVAREZ
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 5289
JEFE DE PROYECTO

Ing. JULIO MARTIN KUROIWA ZEVALLOS
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 42895
ESP. MODELIZACIÓN HIDRÁULICA FLUVIAL

En el año 2019, como se observa en la imagen 20C, se reconstruyó el canal de regadío que fue destruido en el fenómeno del niño del 2017. Para proteger este canal y cultivos que se ubican en el lado cóncavo de la curvatura del río, se han construido espigones de gaviones a lo largo de la ribera. Esta medida ingenieril fue necesaria y correcta, ya que además se protege las enormes cárcavas que contienen cultivos y viviendas en su cima. Como se sabe, en las bases de los bancos del lado cóncavo en una curvatura es donde se desarrollan fuertes erosiones generadas por las líneas de corriente del flujo helicoidal principal. Así que, el sistema de espigones diseñado de gaviones ha cumplido su función correctamente a actualidad, no obstante, está presentando deficiencias sobre todo en las bases de las puntas. A su vez, en el lado convexo (izquierdo o interior) de la curvatura, sin ningún tipo de diseño ni planificación, se ha construido un dique compacto de roca para proteger la vivienda ubicada dentro del cauce. Con este dique el ancho del cauce ha sido reducido nuevamente de manera considerable.

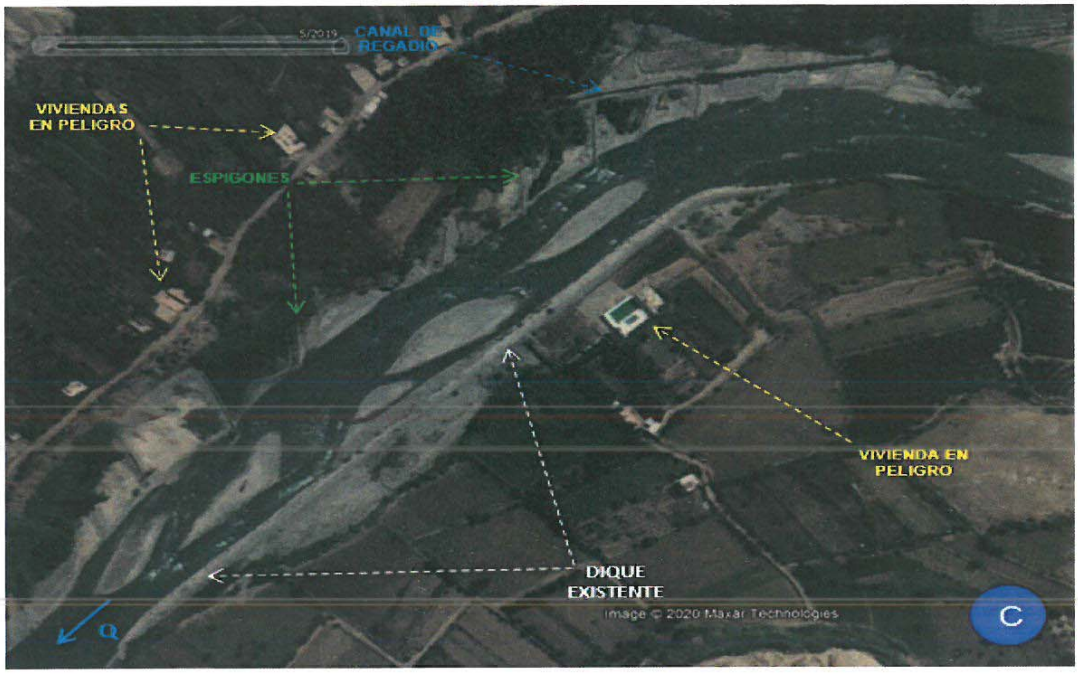


TOMÁS A. SÁNCHEZ RONDAN
Representante Legal
Consorcio CISPDR - SIGT

JUAN ARMANDO OLAZÁBAL ÁLVAREZ
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 5289
JEFE DE PROYECTO

Ing. JULIO MARTIN KUROIWA ZEVALLOS
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 42895
ESP. MODELIZACIÓN HIDRÁULICA FLUVIAL





TOMÁS A. SÁNCHEZ RONDAN
Representante Legal
Consorcio CISPDR - SIGT

JUAN ARMANDO OLAZABAL ALVAREZ
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 5289
JEFE DE PROYECTO

Ing. JULIO MARTIN KUROIWA ZEVALLOS
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 42895
ESP. MODELIZACION HIDRAULICA FLUVIAL

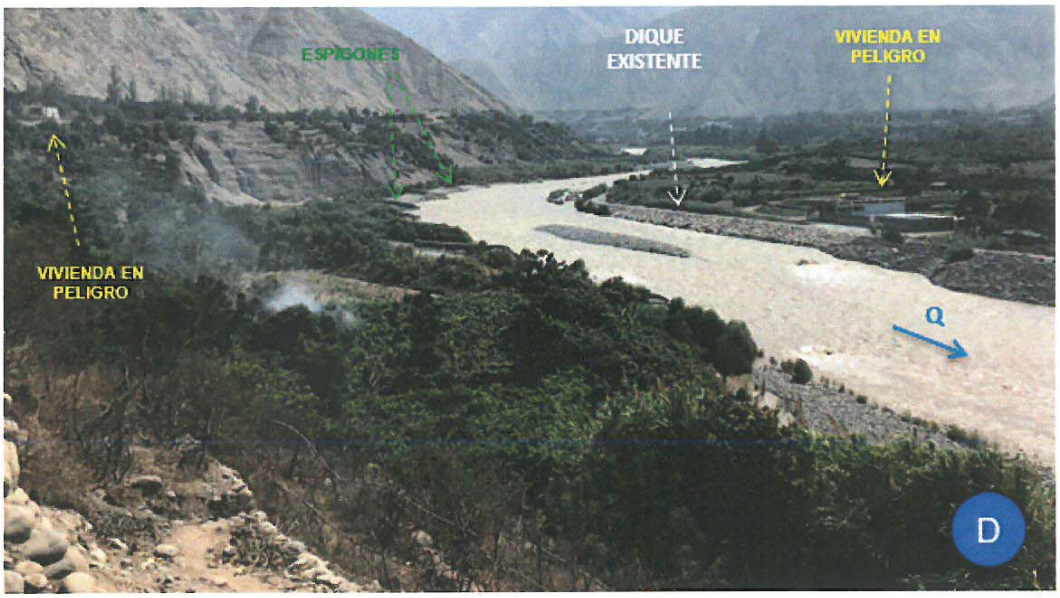


Imagen 20. A, B y C vistas satelitales correspondientes a los años 2015, 2017 y 2019 respectivamente de la zona en riesgo sector Lúcumo. D fotografía de la situación actual de las riberas en riesgo en el sector Lúcumo.

La vista panorámica en la imagen 20D confirma lo antes detallado. Así que, por el lado cóncavo (derecho) es necesario reforzar la protección con diques; y por el lado convexo (izquierdo) se debe retirar el dique existente y ensanchar los más posible el cauce antes de proyectar una nueva defensa.

El grado de peligrosidad del sector mostrado en la imagen anterior queda reconfirmado mediante los resultados de la simulación IBER 2D, tal como lo muestra la imagen 21. Esta imagen muestra que para un caudal de diseño de 1064 m^3/s: el flujo rebosa sobre el dique existente, llegando a alcanzar gran parte de la vivienda y cultivos. Así mismo, el nivel del flujo en el otro lado cubre totalmente a los espigones, alcanzando y afectando el canal de regadío y cultivos adyacentes.

TOMÁS A. SÁNCHEZ RONDAN
Representante Legal
Consorcio CISPDR - SIGT

JUAN ARMANDO OLAZÁBAL ÁLVAREZ
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 5289
JEFE DE PROYECTO

Ing. JULIO MARTIN KUROIWA ZEVALLOS
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 42895
ESP. MODELIZACIÓN HIDRÁULICA FLUVIAL

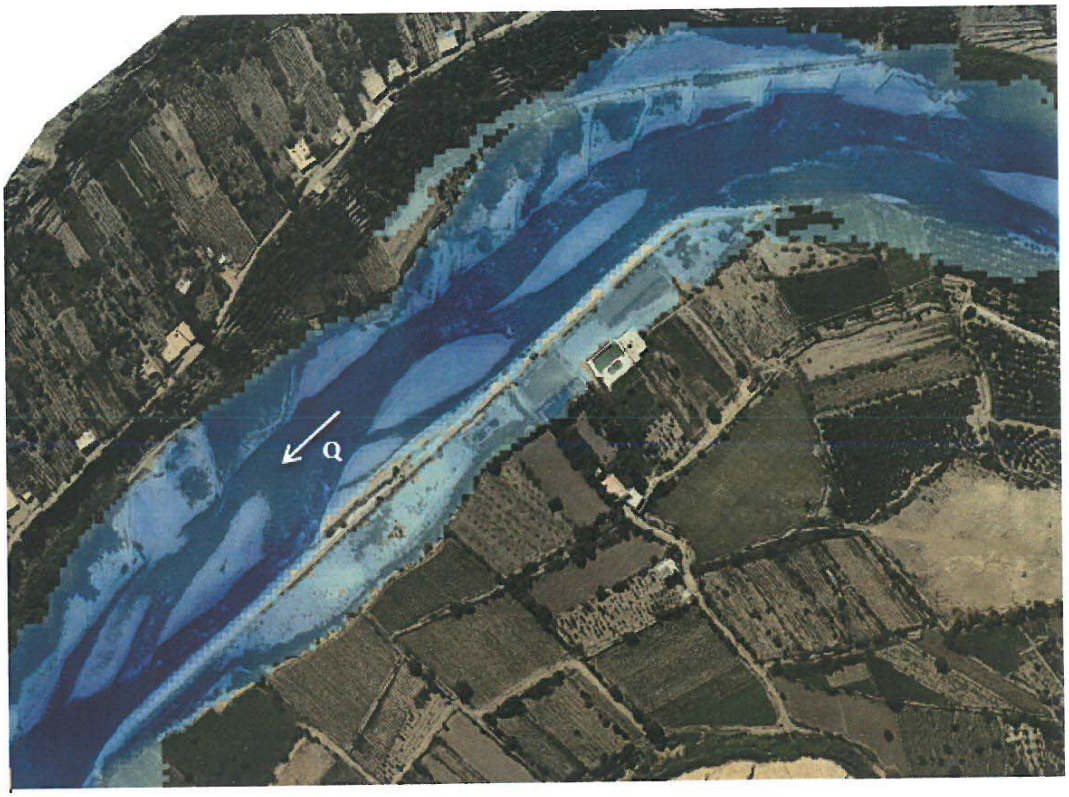


Imagen 21. Vista de la inundación según la simulación IBER 2D en el sector Lúcumo.

Otro de los puntos críticos se presenta en las inmediaciones del Puente Socsi, lugar donde la sección del cauce no soporta el paso de un caudal de diseño de 1064 m^3/s. O sea, el excesivo caudal causa desbordes por ambas riberas a lo largo de un considerable recorrido, tal como se observa en la imagen 22. De acuerdo con esta imagen con simulación IBER 2D, el ancho del cauce en el eje del puente contiene tan solo unos 54 metros. Además, a pesar de haberse construido diques enrocados en ambas laderas, no son capaces de evitar desbordes para el presente caudal de diseño. Según la imagen, ambas riberas quedarían expuestos a inundaciones ambas riberas aguas arriba del puente, llevándose la peor parte los moradores que habitan en las viviendas.

TOMÁS A. SÁNCHEZ RONDAN
Representante Legal
Consorcio CISPDR - SIGT

JUAN ARMANDO OLAZÁBAL ÁLVAREZ
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 5289
JEFE DE PROYECTO

Ing. JULIO MARTIN KUROIWA ZEVALLOS
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 42895
ESP. MODELIZACIÓN HIDRÁULICA FLUVIAL

Aguas abajo del Puente Socsi, por la ribera izquierda, se da inicio a bancos elevados de material frágil (cárcavas) y susceptible frente a fuertes velocidades erosivas. Las bases de estos bancos en la actualidad se hallan protegidos por una serie continua y consecutiva de espigones hasta la altura del CP Caltopa. Sin embargo, en ciertos tramos se notó que los espigones están empezando a presentar deficiencias estructurales a causa de la fuerte socavación. Por este motivo, en los tramos en donde aún se presencia riesgos se consideró reforzar su protección con trazos de dique a través de las zonas de empotramiento de los espigones.

Por la ribera derecha se cuenta con llanuras inundables cubiertas por cultivos y varias viviendas. Como agravante, en estas zonas inundables se encuentra un largo tramo de la carretera Cañete – Yauyos. Las inundaciones, según las simulaciones IBER 2D (imagen 22), suceden a pesar de que las riberas están protegidas en ciertos tramos con diques de enrocado. Estas estructuras puedan que aun cumplan su función de proteger contra la erosión, sin embargo, su borde libre de diseño sería insuficiente para el caudal de 1064 m^3/s.

Cabe indicar que, gran parte de la carretera en peligro e inmediaciones de la Bocatoma Nuevo Imperial pertenecen al tramo de estudio del proyecto "Valles Vulnerables". Por este motivo, en el tramo de "Valles Vulnerables, en este estudio se complementan tramos que faltaría por cubrir el desborde de flujo. Dee otro lado, se emiten algunas recomendaciones de elevación de cotas de corona para los diques existentes.

TOMÁS A. SÁNCHEZ RONDAN
Representante Legal
Consorcio CISPDR - SIGT

JUAN ARMANDO OLAZÁBAL ÁLVAREZ
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 5289
JEFE DE PROYECTO

Ing. JULIO MARTIN KUROIWA ZEVALLOS
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 42895
ESP. MODELIZACIÓN HIDRÁULICA FLUVIAL

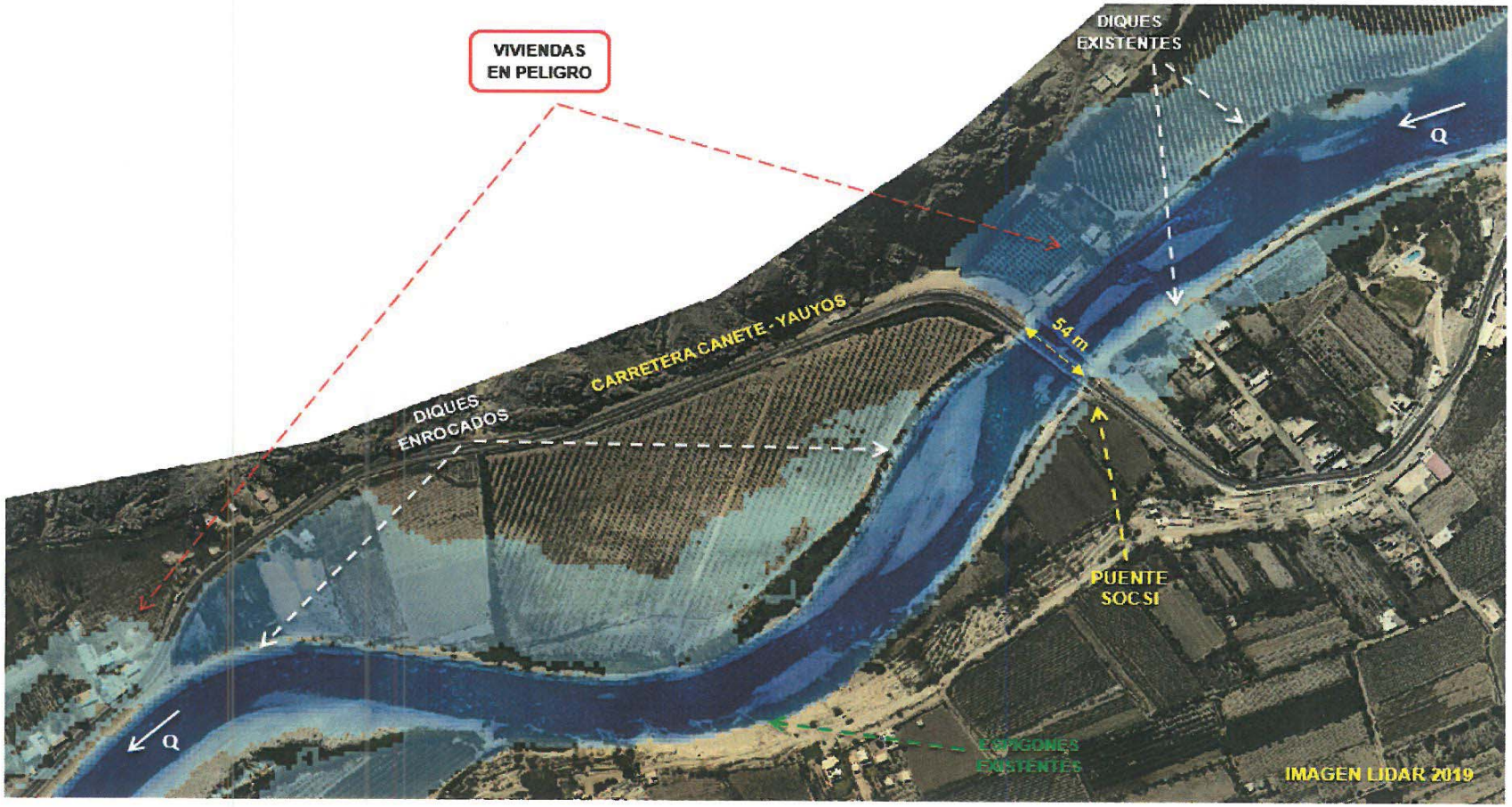


Imagen 22. Vista de la inundación según la simulación IBER 2D aguas abajo y arriba del Puente Socsi

TOMÁS A. SÁNCHEZ RONDÓN
Representante Legal
Consorcio CISPDR - SIGT

JUAN ARMANDO OLAZÁBAL ÁLVAREZ
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 5289
JEFE DE PROYECTO

Ing. JULIO MARTIN KUROIWA ZEVALLOS
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 42895
ESP. MODELIZACIÓN HIDRÁULICA FLUVIAL

En las siguientes imágenes se muestra la situación actual de los espigones y diques de enrocado, así como montículos de material propio del cauce que actúan como diques rústicos en el tramo mostrado en la imagen 22.

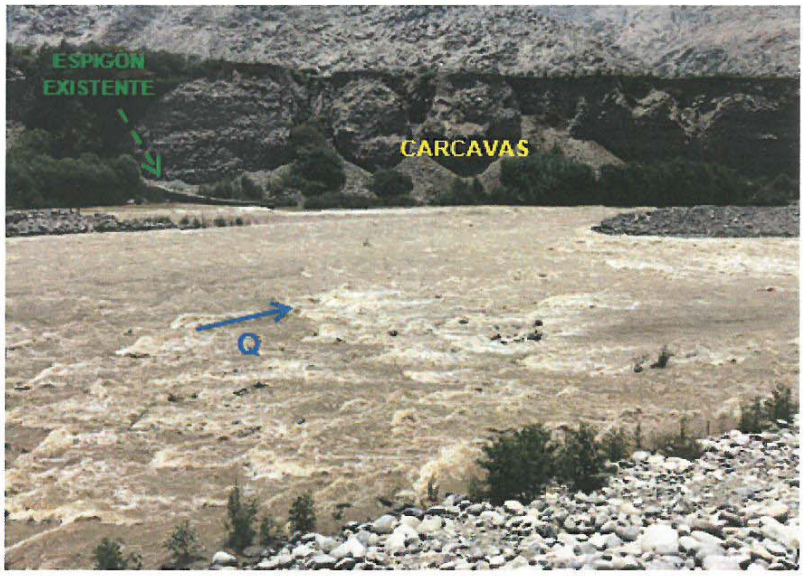


Imagen 23. Vista de uno de los espigones existentes que protege el banco elevado, aguas abajo del Puente Socsi.

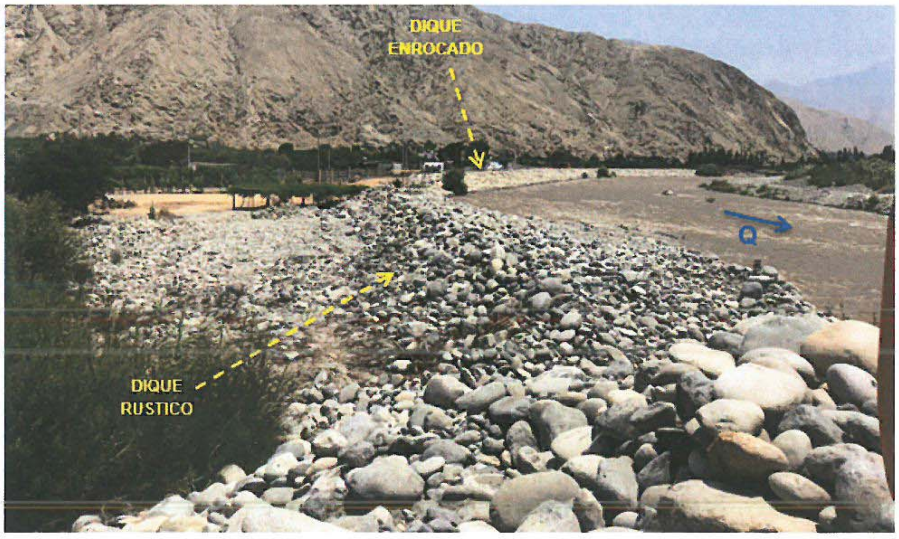


Imagen 24. Vista de un dique enrocado junto a un dique rústico que protege la llanura inundable por donde pasa la carretera Cañete - Yauyos, aguas abajo del Puente Socsi.

TOMÁS A. SÁNCHEZ RONDAN
Representante Legal
Consorcio CISPDR - SIGT

JUAN ARMANDO OLAZABAL ÁLVAREZ
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 5289
JEFE DE PROYECTO

Ing. JULIO MARTIN KUROIWA ZEVALLOS
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 42895
ESP. MODELIZACIÓN HIDRÁULICA FLUVIAL

A partir de la Bocatoma hacia aguas abajo se omite ahondar en detalles; puesto que, el río se ensancha de manera natural, comportándose como un río de llanura de material aluvial. Dicho de otro modo, el flujo del río empieza a comportarse hidráulicamente de manera similar al tramo Desembocadura río Cañete – Bocatoma Palo Herbay ya explicado.

4.2. Modelamiento con estructuras de defensa

El modelamiento hidráulico IBER 2D con defensas consistió en tres pasos fundamentales: primero el trazo de ejes, segundo el diseño de la sección del dique y enrocado, por último, la simulación numérica con el caudal de diseño (1064 m^3/s) para el T_r 100 años según los términos de referencia. La secuencia de los resultados finales se muestra a continuación:

4.2.1. Simulación IBER 2D con diques para el T_r de 100 años

Es importante recalcar que: después de una serie de modelamientos IBER 2D con el fin de lograr resultados confiables que guarden concordancia con la información recolectada de las imágenes satelitales, testimonios de pobladores de la zona y marcas de agua encontradas en campo, se procedió a ensamblar los diques diseñados a la superficie topográfica. Una vez ensamblados los diques se ejecutaron algunas simulaciones más hasta lograr que el desborde del flujo sea controlado. Paralelamente, los datos hidráulicos se fueron actualizando en los cuadros de cálculos hasta llegar al último modelamiento IBER 2D, cuyos resultados definitivos y confiables se muestra en la imagen 25, 26.

Los detalles de profundidades y velocidades del flujo encausado se muestran en los MAPAS DE MODELAMIENTO IBER 2D que se ubican en el acápite de anexos.

TOMÁS A. SÁNCHEZ RONDAN
Representante Legal
Consorcio CISPDR - SIGT

JUAN ARMANDO OLAZÁBAL ÁLVAREZ
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 5289
JEFE DE PROYECTO

Ing. JULIO MARTIN KUROIWA ZEVALLOS
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 42895
ESP. MODELIZACIÓN HIDRAULICA FLUVIAL

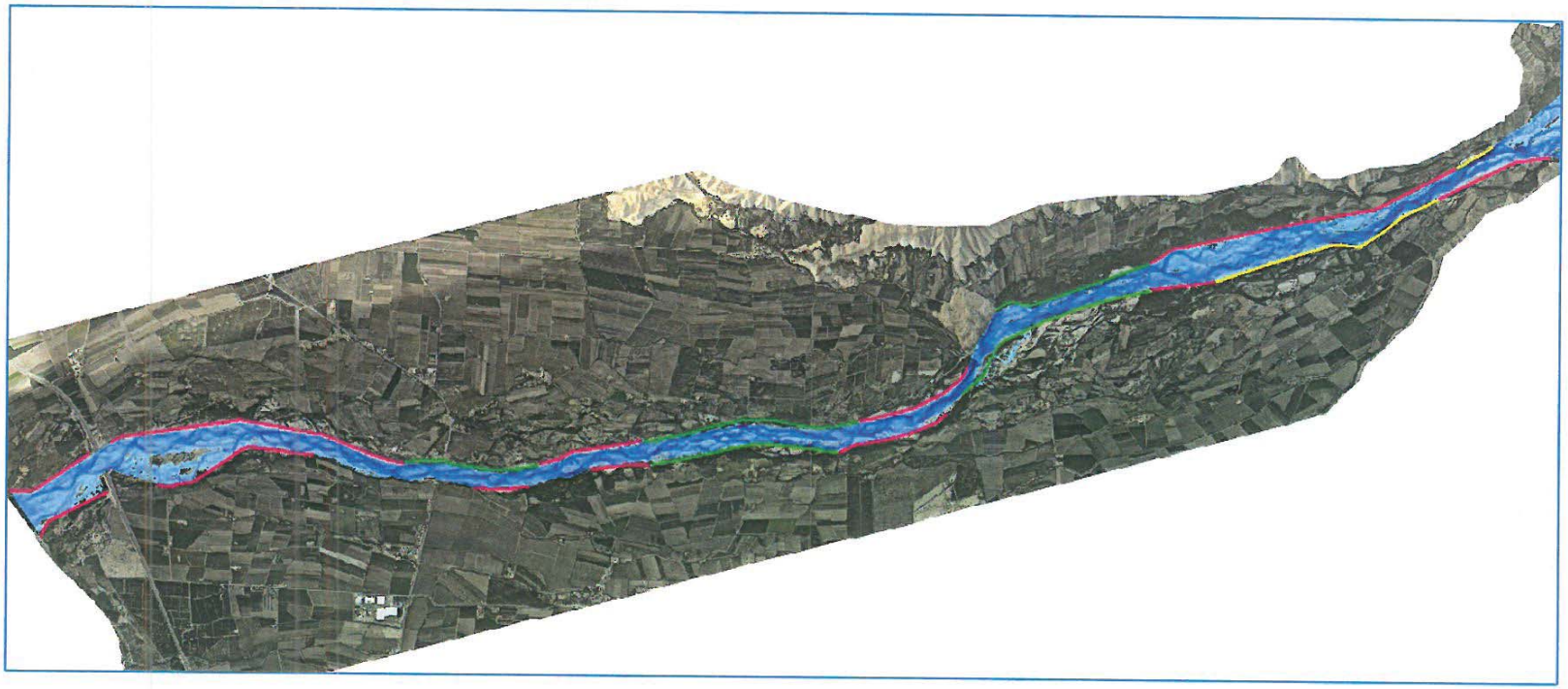


Imagen 25. Vista del modelamiento hidráulico IBER 2D definitivo en presencia de diques tanto proyectados como existentes que necesitan elevación de corona.

TOMAS A. SÁNCHEZ RONDAN
Representante Legal
Consorcio CISPDR - SIGT

JUAN ARMANDO OLAZÁBAL ÁLVAREZ
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 5289
JEFE DE PROYECTO

Ing. JULIO MARTIN KUROIWA ZEVALLOS
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 42895
ESP. MODELIZACIÓN HIDRÁULICA FLUVIAL

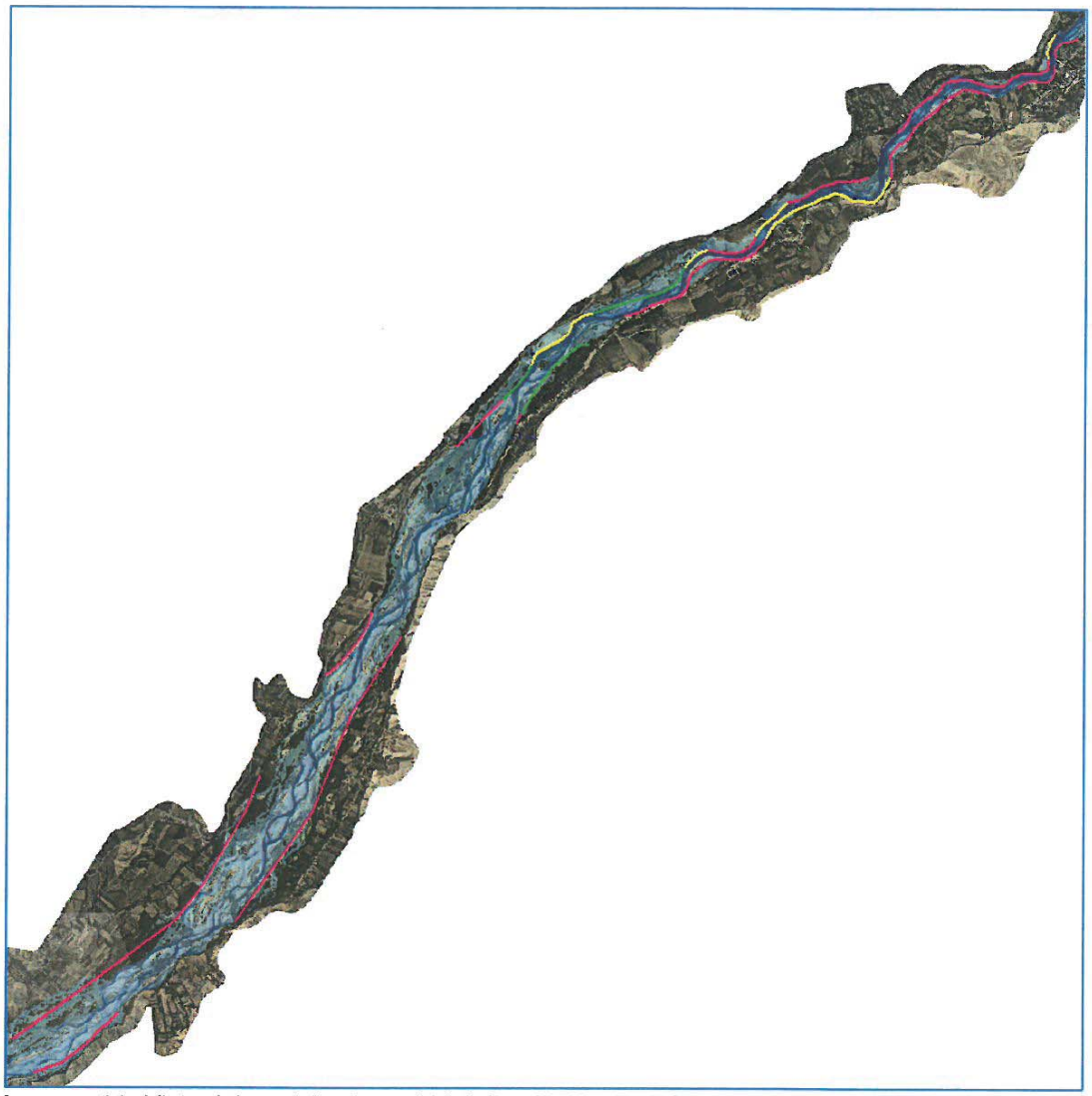


Imagen 26. Vista del modelamiento hidráulico IBER 2D definitivo en presencia de diques tanto proyectados como existentes que necesitan elevación de corona.

TOMÁS A. SÁNCHEZ RONDAN
Representante Legal
Consorcio CISPDR - SIGT

JUAN ARMANDO OLAZÁBAL ÁLVAREZ
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 5289
JEFE DE PROYECTO

Ing. JULIO MARTIN KUROIWA ZEVALLOS
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 42895
ESP. MODELIZACIÓN HIDRÁULICA FLUVIAL

5. CONCLUSIONES

- Se identificó el riesgo de áreas expuestas a inundaciones, mediante modelamientos IBER 2D, para caudales de 625, 1064 y 1428 m^3/s correspondientes a 10, 100 y 500 años de periodo de retorno respectivamente.
- Se identificó el riesgo de las riberas expuestas a erosión, basándose en la migración lateral, observadas en el registro histórico de imágenes satelitales disponibles desde el año 2002.
- Se corroboraron los sectores expuestos a graves riesgos por inundación y erosión lateral, mediante información recolectada por parte de testimonios de pobladores de la zona, marcas de agua y estructuras en colapso encontradas en campo.
- Se definieron trazos de eje, para estructuras de defensa ribereña, cuya longitud total de la margen izquierda es de 14.51 km y de la derecha de 17.41 km.
- Se pudo verificar, mediante modelamientos IBER 2D con diques proyectados, que el flujo de 1064 m^3/s estará encauzado sin generar desbordes que pongan en riesgo la vida, infraestructura, propiedades o cultivos de las poblaciones anteriormente afectadas por las inundaciones del río Cañete.

6. ANEXOS

TOMÁS A. SÁNCHEZ RONDAN
Representante Legal
Consorcio CISPDR - SIGT

JUAN ARMANDO OLAZÁBAL ÁLVAREZ
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 5289
JEFE DE PROYECTO

Ing. JULIO MARTIN KUROIWA ZEVALLOS
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 42895
ESP. MODELIZACIÓN HIDRÁULICA FLUVIAL

ACLARACIONES SOBRE EL MODELAMIENTO HIDRÁULICO

TOMAS A. SÁNCHEZ RONDAN
Representante Legal
Consorcio CISPDR - SIGT

JUAN ARMANDO OLAZABAL ÁLVAREZ
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 5289
JEFE DE PROYECTO

Ing. JULIO MARTIN KUROIWA ZEVALLOS
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 42895
ESP. MODELIZACIÓN HIDRÁULICA FLUVIAL

COMENTARIOS Y ACLARACIONES SOBRE MODELACIÓN DEL TERRENO Y CALIBRACION DE MODELO HIDRAULICO EN RIO CAÑETE

Introducción

Con la finalidad de agilizar la lectura del texto principal, en este anexo se está incorporando respuestas extendidas a algunas observaciones que fueron formuladas durante las revisiones del texto por parte de la supervisión del estudio o de los asesores o miembros de la entidad contratante.

Modelación del terreno

Además de las consideraciones expresadas en el texto principal, hubo revisiones internas de la cartografía LiDAR y la batimetría entregada al especialista de modelación hidráulica para revisión. Hubo intercambio de correos electrónicos, llamadas telefónicas y además algunos textos como el que se presenta a continuación.

La especialidad de hidráulica ha revisado los modelos digitales de terreno de tal manera que los errores fueron corregidos por la especialidad de cartografía de tal manera que se procesaran los datos correctos. Debajo se incluye un ejemplo, de la topografía recibida el día 02/11/2019.

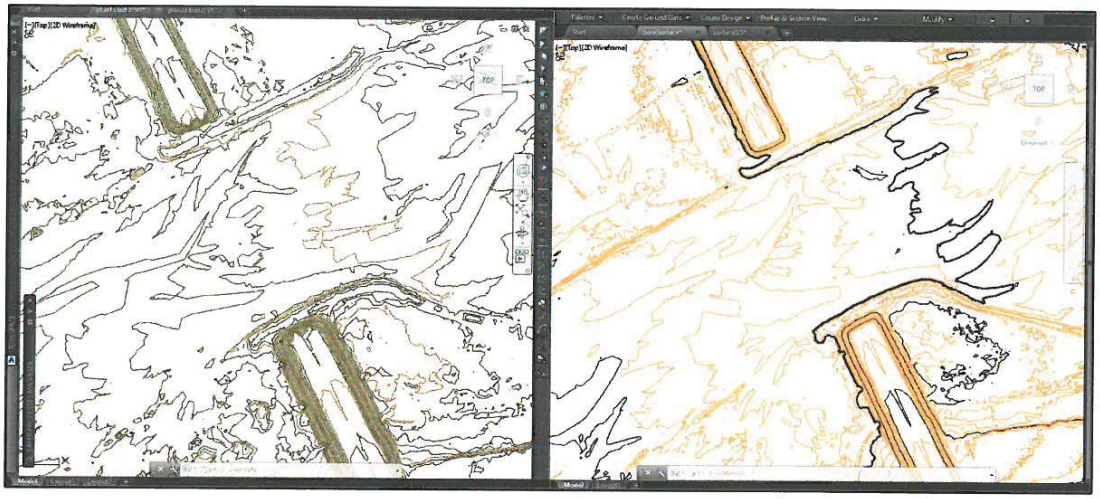
Extracto de informe interno (como ejemplo)

Puente Aramayo

TOMÁS A. SÁNCHEZ RONDAN
Representante Legal
Consorcio CISPDR - SIGT

JUAN ARMANDO OLAZÁBAL ÁLVAREZ
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 5289
JEFE DE PROYECTO

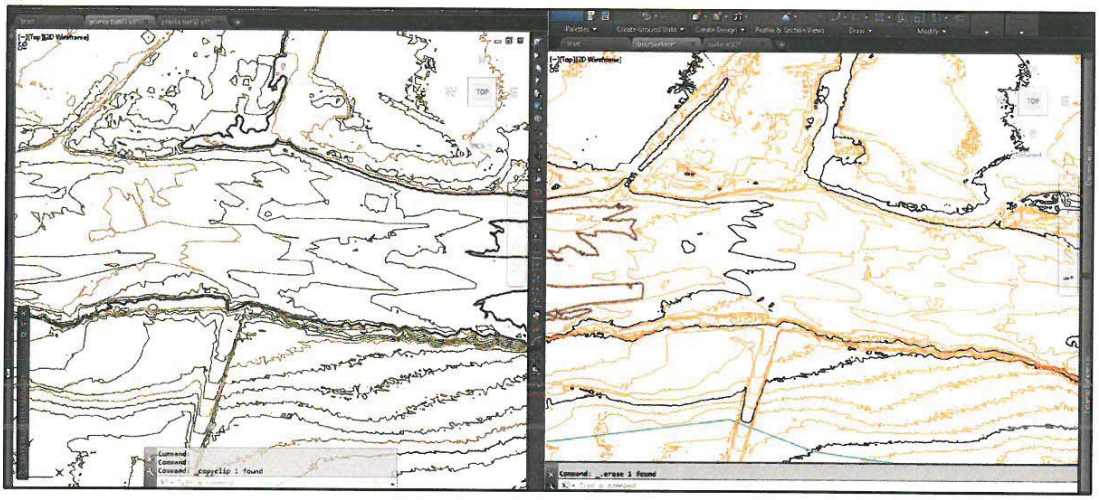
Ing. JULIO MARTIN KUROIWA ZEVALLOS
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 42895
ESP. MODELIZACIÓN HIDRÁULICA FLUVIAL



Topografia recientemente recibida, 02/11/2019 Topografia anteriormente recibida.

*La topografía entregada anteriormente define mejor las estructuras como defensa de los estribos del puente.

Puente Clarita



Topografía recientemente recibida, 02/11/2019 Topografía anteriormente recibida.

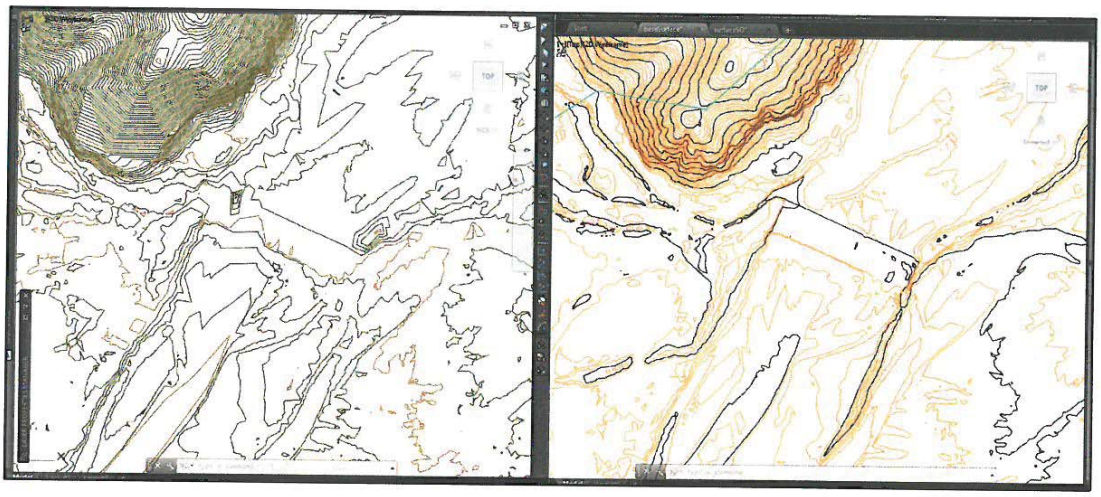
*La topografia anterior representa mejor los terraplenes donde se conecta los puentes.

TOMAS A. SANCHEZ RONDAN
Representante Legal
Consorcio CISPDR - SIGT

JUAN ARMANDO OLAZABAL ÁLVAREZ
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 5289
JEFE DE PROYECTO

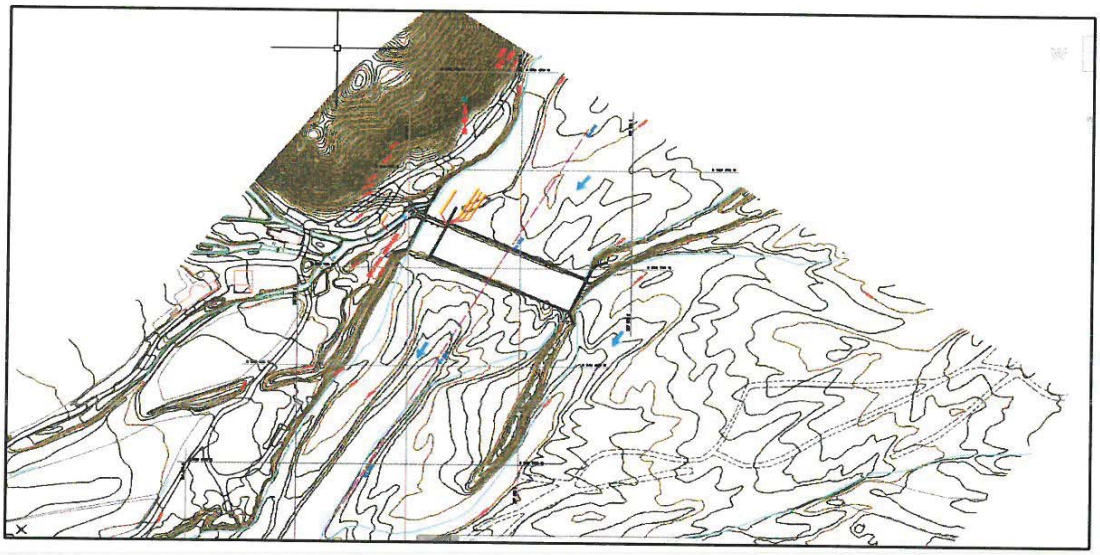
Ing. JULIO MARTIN KURDIWA ZEVALLOS
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 42895
ESP. MODELIZACIÓN HIDRÁULICA FLUV...

Bocatoma La Fortaleza



Topografia recientemente recibida, 02/11/2019 Topografía anteriormente recibida.

*En la Bocatoma La Fortaleza se observa que las curva de nivel recibidas anteriormente definen mejor la superficie; además, los bancos laterales (diques con vegetación) presentan similitud con las fotografías tomadas en campo.



2019-07-04A Plano Bocatoma La Fortaleza (curvas de nivel adecuada que se necesitaría para el estudio).

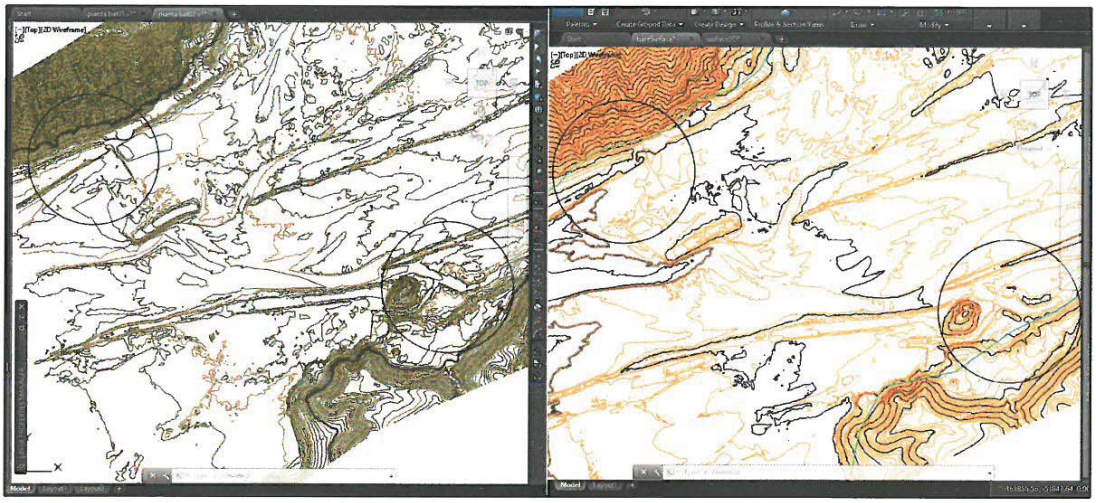
¿Porqué no se acopló este levantamiento en detalle al plano enviado?

TOMÁS A. SÁNCHEZ RONDAN
Representante Legal
Consorcio CISPDR - SIGT

JUAN ARMANDO OLAZÁBAL ÁLVAREZ
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 5289
JEFE DE PROYECTO

Ing. JULIO MARTIN KUROIWA ZEVALLOS
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 42895
ESP. MODELIZACIÓN HIDRÁULICA FLUVIAL

Bocatomas La Pinta y Palo Herbay



Topografía recientemente recibida, 02/11/2019 Topografía anteriormente recibida.

*Las curvas de la topografía + batimetría anterior representan mejor la topografía en las inmediaciones de las bocatomas La Pinta y Palo Herbay.

=== Fin de extracto de informe interno ========

No se incluyó esta información en los informes entregados porque la versión final de la cartografía / topografía ya ha sido corregida. En todo caso, se consideró que era la especialidad de cartografía la encargada de emitir el reporte final con nuestras observaciones y la manera cómo se efectuaron las correcciones.

Las bocatomas fueron modeladas a partir del levantamiento LiDAR. Por lo tanto, el modelo Iber incorpora la geometría de las bocatomas. En el caso de los puentes, los estribos han sido incorporados a la topografía cuando se construyó el Modelo Digital de Elevación.

TOMÁS A. SÁNCHEZ RONDAN
Representante Legal
Consorcio CISPDR - SIGT

JUAN ARMANDO OLAZÁBAL ÁLVAREZ
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 5289
JEFE DE PROYECTO

Ing. JULIO MARTIN KUROIWA ZEVALLOS
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 42895
ESP. MODELIZACIÓN HIDRÁULICA FLUVI

Comentarios sobre Modelación hidráulica

En el tramo entre el puente Henry Aramayo (ubicado aguas abajo) y el puente Clarita ocurrieron inundaciones que se desbordaron por la margen derecha. La Figura 12, que se presenta debajo, muestra que para el caudal de diseño ocurre desborde por la margen izquierda, llegando a inundar la planicie derecha (a la izquierda del límite del cauce, indicado por un punto rojo). Esto ocurría para la condición original, antes que COVI instalara las defensas. En todo caso, esto ocurre en un punto no protegido de la margen derecha, ubicado aproximadamente 600 m aguas arriba del mar. Nótese que el coeficiente de Manning es 0.055 para el cauce principal y 0.075 para las márgenes izquierda y derecha. Con estos coeficientes los desbordes ocurrieron sobre la margen derecha, como en los eventos extremos que han ocurrido en la parte baja del río.

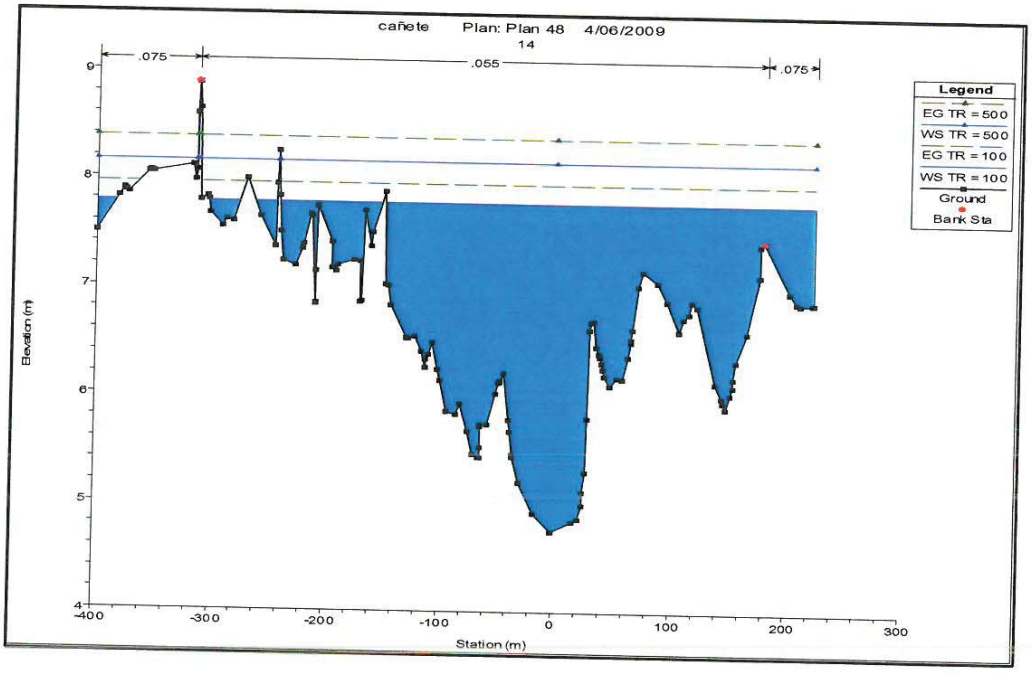


Figura 12. Salida gráfica de inundación para periodo de retorno de 100 años. Corresponde a una sección 600 m aguas arriba del mar y 400 m aguas debajo del actual eje del Puente Aramayo.

TOMÁS A. SÁNCHEZ RONDAN
Representante Legal
Consorcio CISPDR - SIGT

JUAN ARMANDO OLAZABAL ALVAREZ
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 5289
JEFE DE PROYECTO

Ing. JULIO MARTIN KUROIWA ZEVALLOS
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 42895
ESP. MODELIZACIÓN HIDRÁULICA FLUVIAL

Posteriormente, la concesionaria vial a cargo del tramo Pucusana – Ica, Concesionaria Vial del Perú S.A. (COVIPERU), desarrolló los estudios para la construcción del puente Henry Aramayo, obra que permite el cruce de la vía sobre el río Cañete. Se diseñó el puente y se construyeron defensas en ambas márgenes para proteger el puente y las riberas. En el caso de la defensa ribereña de la margen derecha, esta fue conformada por material propio y es mantenida por COVIPERU. Sin embargo, esto alteró el comportamiento del río durante las crecidas extraordinarias que ocurren cada cierto tiempo. Por ejemplo, ya no se presentaban los desbordes por la margen derecha. La Figura 13 presenta los desbordes que ocurren alrededor de la sección 0 + 925 (Puente Henry Aramayo) con una topografía anterior a la construcción del Puente Henry Aramayo. El coeficiente de Manning en el cauce principal es 0.055. Con este valor se pudo reproducir los desbordes del río.

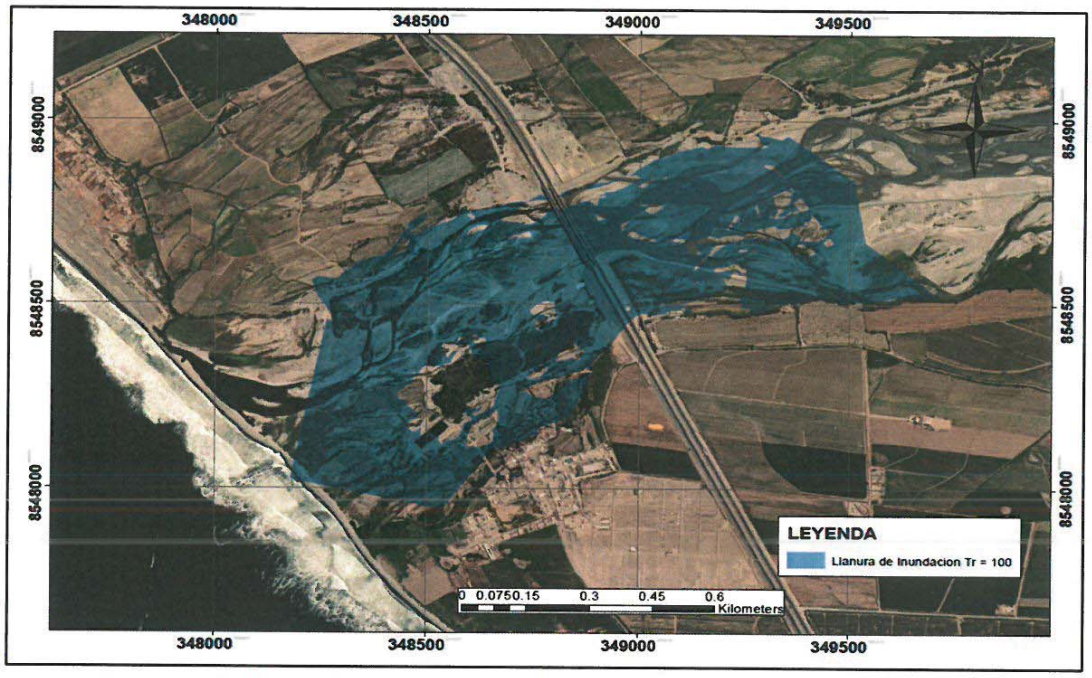


Figura 13. Desborde del río Cañete con una topografía previa a la construcción del puente. Nótese los desbordes por la margen derecha.

TOMÁS A. SÁNCHEZ RONDAN
Representante Legal
Consorcio CISPDR - SIGT

JUAN ARMANDO OLAZÁBAL ÁLVAREZ
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 5289
JEFE DE PROYECTO

Ing. JULIO MARTIN KUROIWA ZEVALLOS
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 42895
ESP. MODELIZACIÓN HIDRÁULICA FLUVIAL

En la sección del Puente Clarita se genera un estrechamiento que. a su vez, produce un remanso aguas arriba de la sección del puente y una diferencia de niveles del agua entre la sección aguas arriba y aguas abajo del puente. Esta sección no es recomendable para estimar el coeficiente de Manning porque los niveles aguas arriba del puente se mantendrán sin que las modificaciones al coeficiente de Manning modifiquen el nivel del agua inmediatamente aguas arriba de la sección de cruce. Se puede notar que aguas arriba del remanso hay un cambio fuerte de pendiente y el remanso ya no afecta las secciones ubicadas aguas arriba. En estas secciones sí es factible estimar el coeficiente de Manning en base a eventos ocurridos, tales como desbordes ya que, al no haber marcas de agua, se debe buscar otro tipo de evidencia.

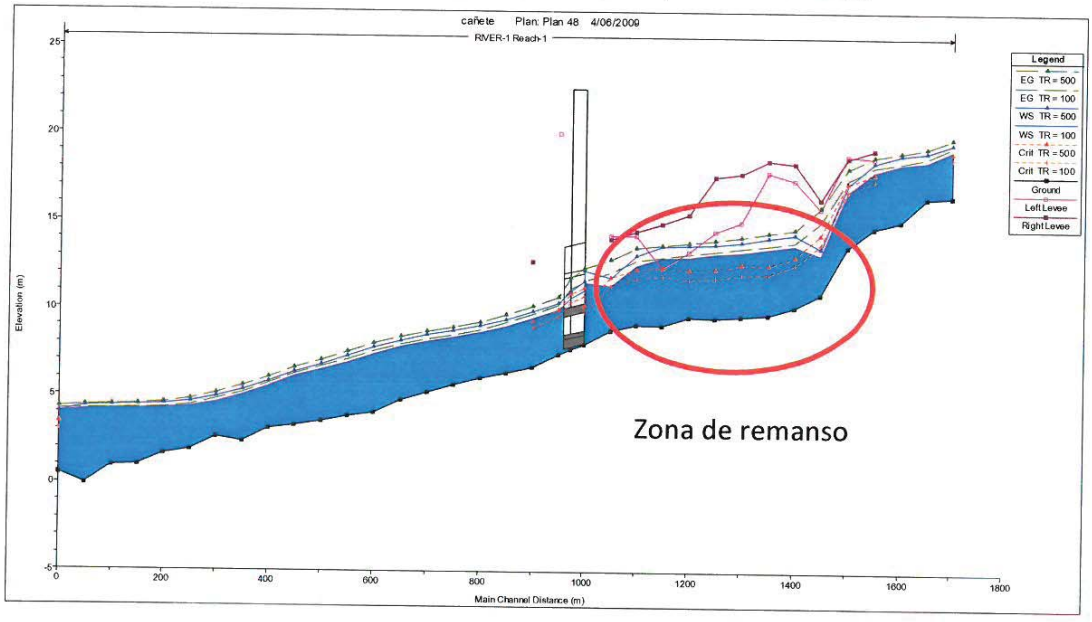


Figura 14. Modelación hidráulica en la zona del puente Henry Aramayo, a un kilómetro de la costa. Nótese el remanso generado aguas arriba.

Aguas arriba del Puente Clarita hay secciones donde hubo desbordes en el Niño Costero de 2017. Aún se puede distinguir los depósitos de partículas de gran tamaño en los campos de cultivo, donde los agricultores solo han retirado el material suficiente para poder trazar los surcos y sembrar frutales y

TOMÁS A. SÁNCHEZ RONDAN
Representante Legal
Consorcio CISPDR - SIGT

JUAN ARMANDO OLAZABAL ÁLVAREZ
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 5289
JEFE DE PROYECTO

Ing. JULIO MARTIN KUROIWA ZEVALLOS
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 42895
ESP. MODELIZACIÓN HIDRÁULICA

productos de panllevar. En la Figura 15, que se muestra a continuación, se han ubicados dos de los puntos visitados en una inspección de campo donde hubo desbordes durante el Niño Costero y en otros eventos mayores. Este tramo se ubica entre la Bocatoma Fortaleza y el Puente Clarita. Nótese los puntos 1 y 2 donde hubo desbordes. En estos puntos ocurren desbordes similares a los que han ocurrido en la zona del estudio o crecidas que llegan cerca de la corona de las defensas ribereñas cuando el coeficiente de Manning es 0.055, el cual se asumió en las simulaciones del programa Iber 2D.

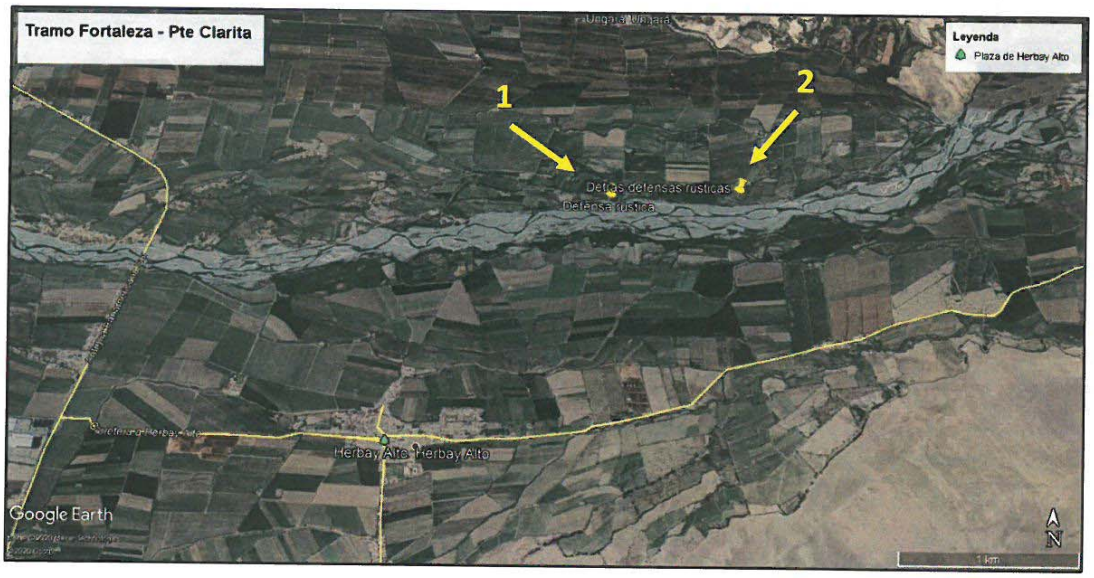


Figura 15. Tramo entre la Bocatoma Fortaleza y el Puente Clarita donde hubo desbordes y que fueron visitados en Agosto de 2019.

TOMÁS A. SÁNCHEZ RONDAN
Representante Legal
Consorcio CISPDR - SIGT

JUAN ARMANDO OLAZÁBAL ÁLVAREZ
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 5289
JEFE DE PROYECTO

Ing. JULIO MARTIN KUROIWA ZEVALLOS
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 42895
ESP. MODELIZACIÓN HIDRÁULICA FLUVIAL

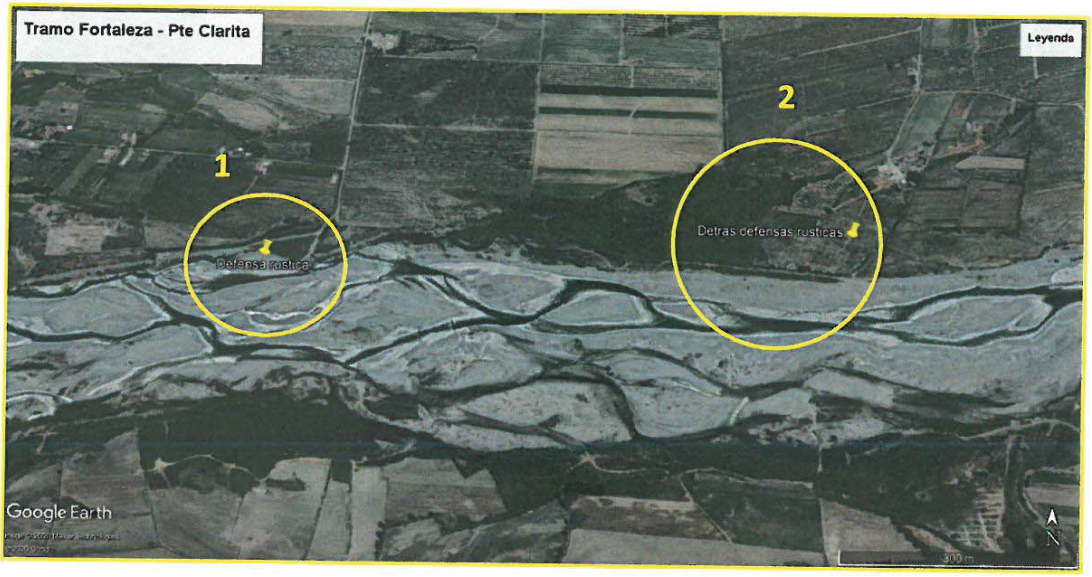


Figura 16. Acercamiento de sector donde ocurrieron desbordes en el tramo Fortaleza - Puente Clarita. Los puntos 1 y 2 corresponden a puntos de desborde.



Figura 17. Cauce del río Cañete en estación seca mirando en dirección aguas abajo y defensas rústicas en margen derecha. Este es el punto 1 de las figuras anteriores, en el que hubo desbordes durante el Niño Costero de 2017 y durante el Niño de 1983.

TOMÁS A. SÁNCHEZ RONDAN
Representante Legal
Consorcio CISPDR - SIGT

JUAN ARMANDO OLAZÁBAL ÁLVAREZ
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 5289
JEFE DE PROYECTO

Ing. JULIO MARTIN KUROIWA ZEVALLOS
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 42895
ESP. MODELIZACIÓN HIDRÁULICA FLUVIAL



Figura 18. Campo de cultivo donde se ha sembrado árboles de manzana. Nótese los depósitos de cantos y bolones que no han sido removidos por los agricultores. Esta se encuentra en la localidad "2", ubicada aguas arriba de "1". El ANA ha instalado un hito indicando el límite de la faja marginal del río Cañete. Este está detrás de unas defensas conformadas hacia el interior del río.

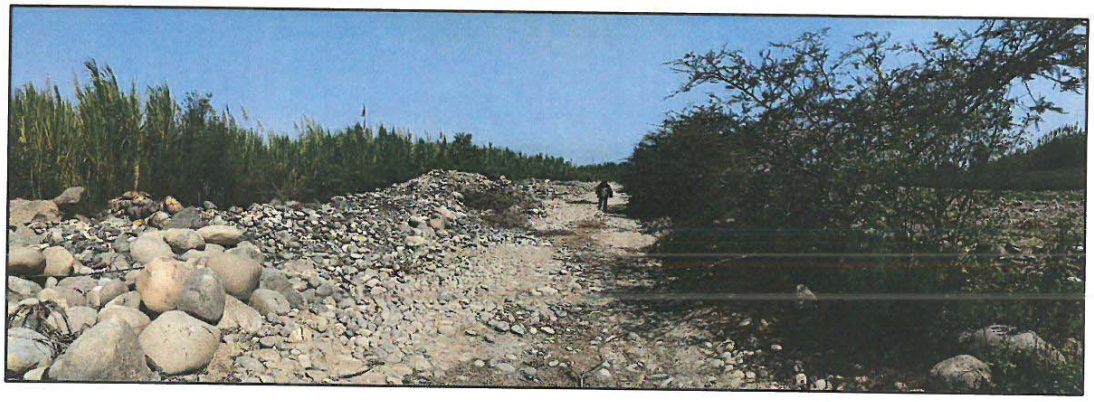


Figura 19. Punto de desborde 2. Nótese una primera línea de defensa, que es un dique rústico, conformado con material del río.

TOMÁS A. SÁNCHEZ RONDAN
Representante Legal
Consorcio CISPDR - SIGT

JUAN ARMANDO LAZABAL ALVAREZ
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 5289
JEFE DE PROYECTO

Ing. JULIO MARTIN KUROIWA ZEVALLOS
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 42895
ESP. MODELIZACIÓN HIDRÁULICA FLUVIAL

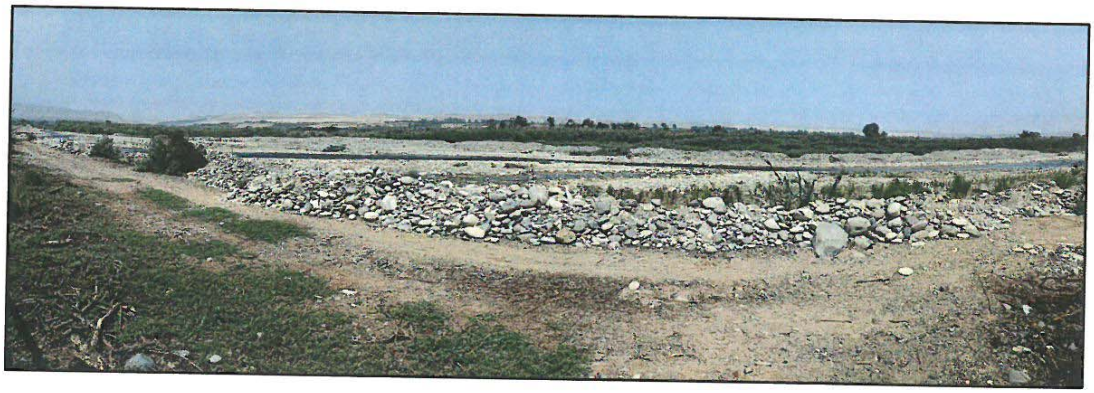


Figura 20. Punto de desborde 2, nótese las defensas rústicas conformadas por material propio y que no tendría un comportamiento adecuado frente a nuevos eventos.

En las secciones donde hay puentes la topografía de los estribos ha sido recogida en el levantamiento LiDAR. Esto es suficiente para representar adecuadamente la geometría del puente para fines de modelamiento hidráulico donde los puentes no se apoyan sobre pilares. El programa Iber 2D, o similares, reconocerían la topografía del cauce y los estribos y generaría las líneas de corriente que se ajustarían a las que ocurrirían en realidad.

La topografía LiDAR, particularmente con la resolución solicitada en los TdR ha permitido reproducir en detalle la geometría de las bocatomas. Cuando ocurre un evento extremo las bocatomas se cierran para evitar daños severos a este tipo de estructuras. En casi todos los casos, las bocatomas están compuestas por un barraje móvil y un barraje fijo. El barraje móvil se cierra y el caudal discurre por el barraje fijo o por otros cauces si el barraje no cierra por completo el cauce. Por ejemplo, la Bocatoma Fortaleza se muestra en la Figura 21 y la Figura 22 muestra el barraje fijo, por donde pasa el flujo durante eventos extremos. Se debe enfatizar que la bocatoma no cubre todo el cauce y parte del flujo pasa por la margen izquierda sin pasar por el barraje fijo.

TOMÁS A. SÁNCHEZ RONDAN
Representante Legal
Consorcio CISPDR - SIGT

JUAN ARMANDO OLAZÁBAL ÁLVAREZ
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 5289
JEFE DE PROYECTO

Ing. JULIO MARTIN KUROIWA ZEVALLOS
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 42895
ESP. MODELIZACIÓN HIDRÁULICA FLUVIAL

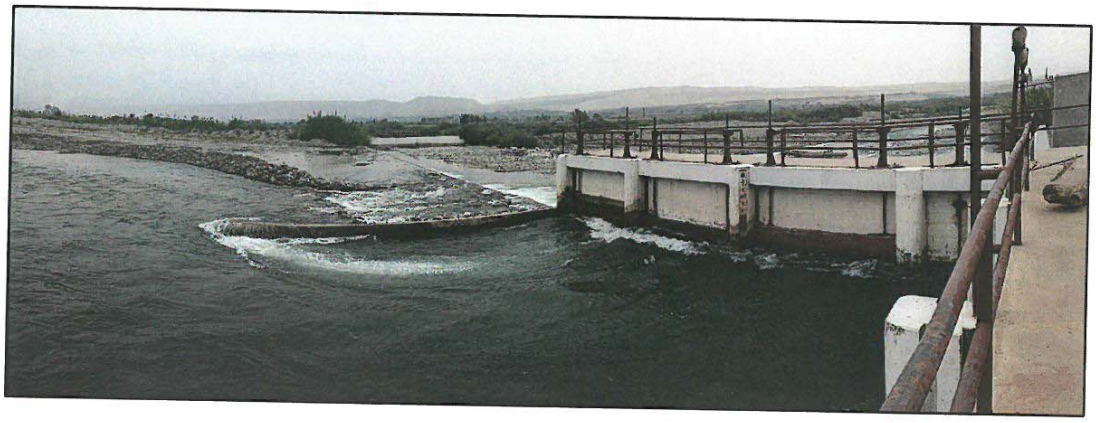


Figura 21. Vista de Bocatoma Fortaleza, en la que se muestra el barraje fijo (en la parte superior, central) y el barraje móvil en la parte baja. El barraje móvil está compuesto por tres compuertas y se cierra cuando pasa una gran avenida.



Figura 22. Barraje fijo, por donde pasa el caudal en caso de una avenida. El barraje móvil se cierra cuando los caudales suben por encima de un umbral dado. El valor del umbral para cerrar la toma es bastante menor a los caudales de diseño.

TOMÁS A. SÁNCHEZ RONDAN
Representante Legal
Consorcio CISPDR - SIGT

JUAN ARMANDO OLAZABAL ÁLVAREZ
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 5289
JEFE DE PROYECTO

Ing. JULIO MARTIN KUROIWA ZEVALLOS
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 42895
ESP. MODELIZACIÓN HIDRÁULICA FLUVIAL

La topografía LiDAR, particularmente con la resolución solicitada en los TdR ha permitido reproducir en detalle la geometría de las bocatomas. Cuando ocurre un evento extremo las bocatomas se cierran para evitar daños severos a este tipo de estructuras. En casi todos los casos, las bocatomas están compuestas por un barraje móvil y un barraje fijo. El barraje móvil se cierra y el caudal discurre por el barraje fijo o por otros cauces si el barraje no cierra por completo el cauce. Por ejemplo, la Bocatoma Nuevo imperial se muestra en la Figura 23 y la Figura 24 muestra el barraje fijo, por donde pasa el flujo durante eventos extremos. Se debe enfatizar que la bocatoma no cubre todo el cauce y parte del flujo pasa por la margen izquierda sin pasar por el barraje fijo.

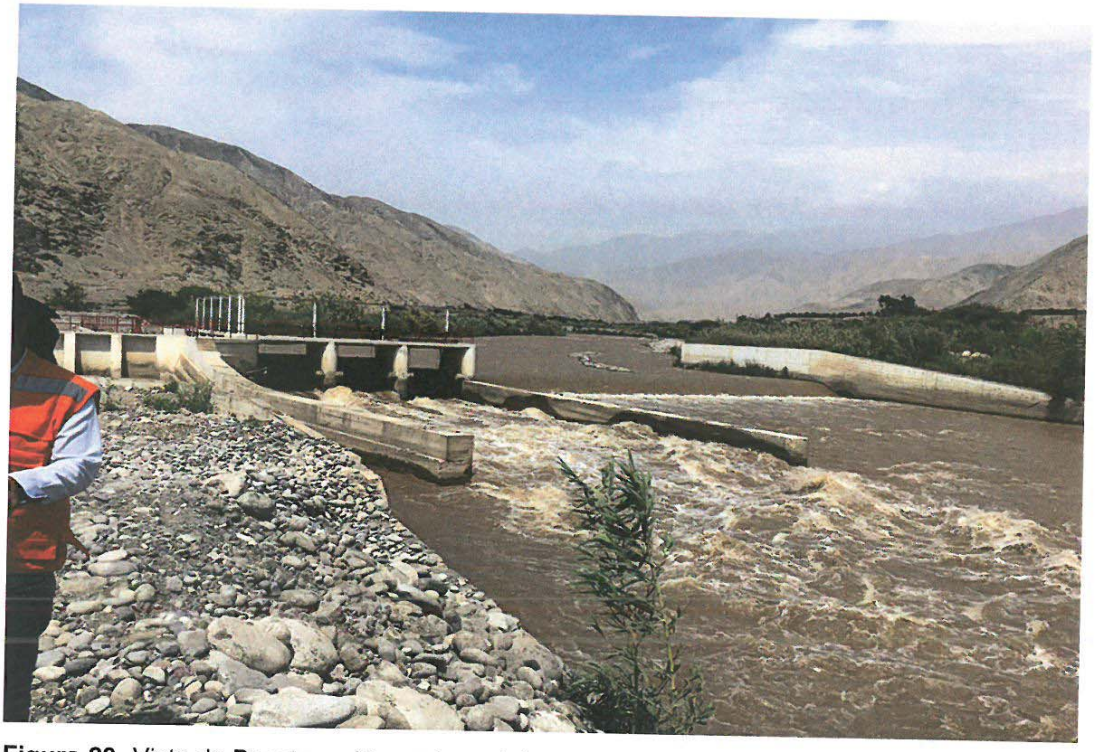


Figura 23. Vista de Bocatoma Nuevo Imperial, en la que se muestra el barraje fijo (en la parte central) y el barraje móvil en la ribera derecha. El barraje móvil está compuesto por tres compuertas y se cierra cuando pasa una gran avenida.

TOMÁS A. SÁNCHEZ RONDAN
Representante Legal
Consorcio CISPDR - SIGT

JUAN ARMANDO OLAZÁBAL ÁLVAREZ
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 5289
JEFE DE PROYECTO

Ing. JULIO MARTIN KUROIWA ZEVALLOS
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 42895
ESP. MODELIZACIÓN HIDRÁULICA FLUVIAL

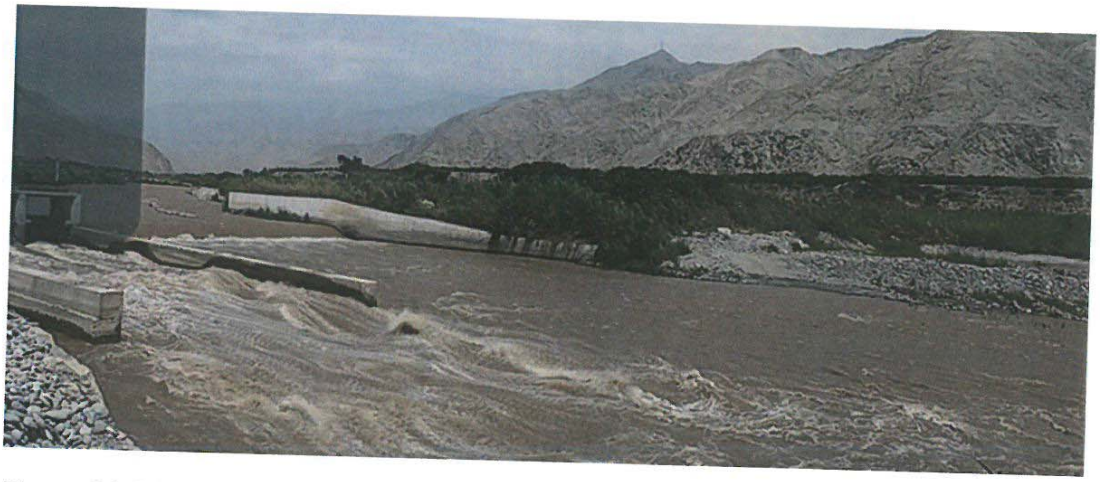


Figura 24. Barraje fijo, por donde pasa el caudal en caso de una avenida. El barraje móvil se cierra cuando los caudales suben por encima de un umbral dado. El valor del umbral para cerrar la toma es bastante menor a los caudales de diseño.

En el caso de los puentes la cartografía LiDAR ha capturado los puntos de los estribos. En el caso de los puentes que se sustentan solo sobre estribos, esta modelación es suficiente, sobre todo si el tablero se encuentra muy por encima del nivel del agua para las avenidas de diseño. Existen puentes peatonales, como el Puente Catapalla, que no tienen pilares intermedios y que se muestra en la siguiente figura, tomada el 19 de diciembre de 2019. Este caso es muy particular porque este puente estaba inventariado como "caído" (como resultado de las primeras inspecciones que se realizaron a la zona del estudio) e incluso no debe aparecer en los vuelos LiDAR. En las Figuras 25 y 26, en la página siguiente, se muestra el mismo Puente Catapalla en una fotografía tomada en Mayo de 2019. Estas pequeñas diferencias no invalidan los resultados generales porque el río Cañete tiene un ancho bastante ancho.

TOMÁS A. SÁNCHEZ RONDAN
Representante Legal
Consorcio CISPDR - SIGT

JUAN ARMANDO OLAZÁBAL ÁLVAREZ
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 5289
JEFE DE PROYECTO

Ing. JULIO MARTIN KUROIWA ZEVALLOS
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 42895
ESP. MODELIZACIÓN HIDRAULICA FLUVI...

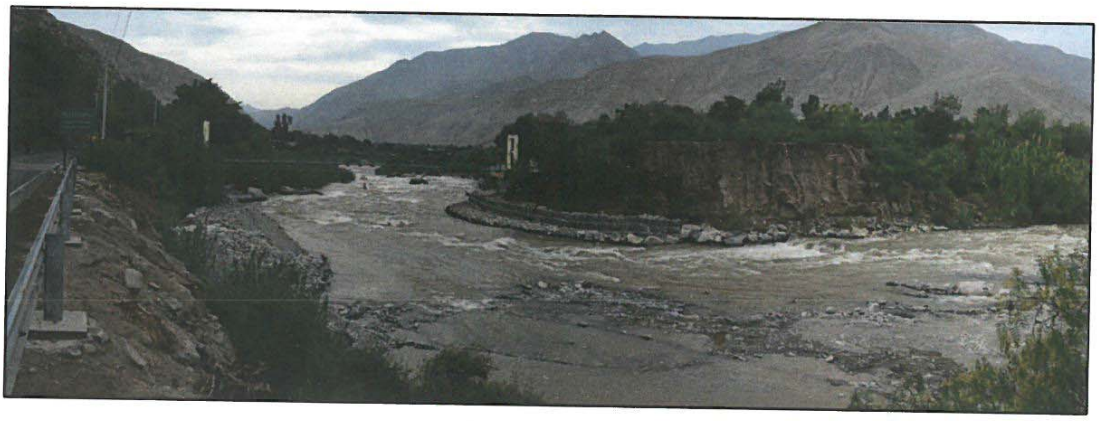


Figura 25. Puente Catapalla, mirando en dirección aguas abajo. Fotografía tomada el 19 de diciembre de 2019.

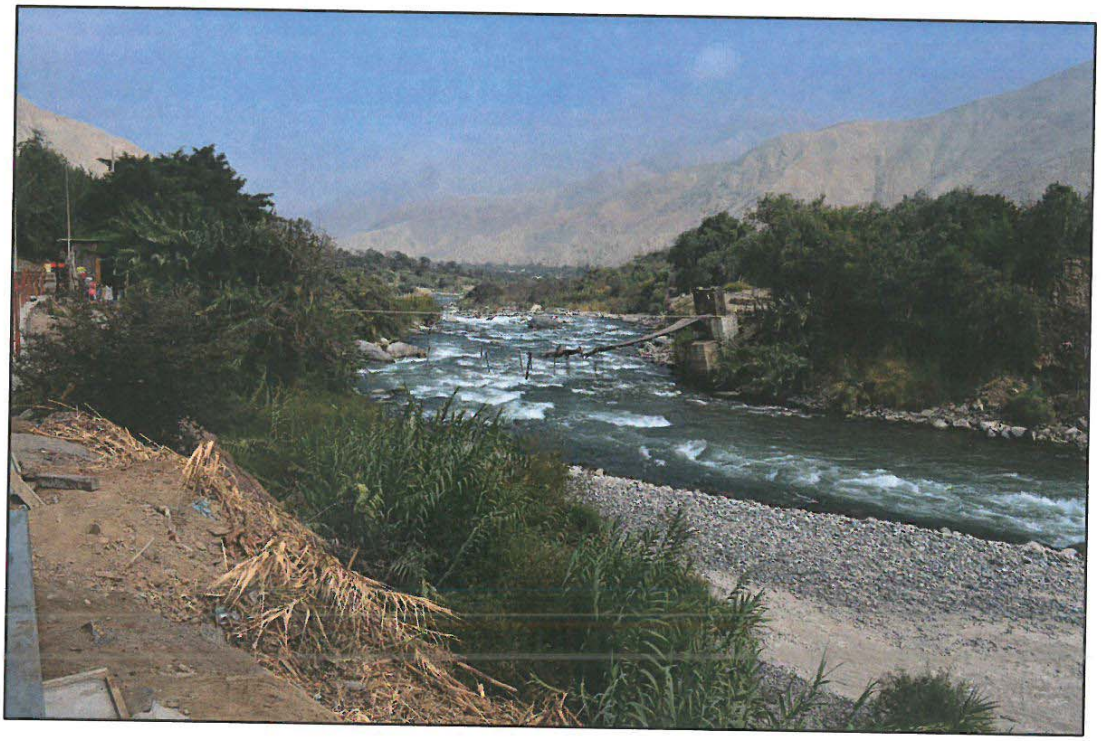


Figura 26. Puente Catapalla, mirando en dirección aguas abajo. Fotografía tomada el 11 de mayo de 2019.

Otro puente que solo se apoya sobre estribos es el Puente Pacarán, que se muestra en la siguiente fotografía, que fue tomada en mayo de 2019. Los

TOMÁS A. SÁNCHEZ RONDAN
Representante Legal
Consorcio CISPDR - SIGT

JUAN ARMANDO OLAZÁBAL ÁLVAREZ
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 5289
JEFE DE PROYECTO

Ing. JULIO MARTIN KUROIWA ZEVALLOS
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 42895
ESP. MODELIZACIÓN HIDRÁULICA FLUVIAL

estribos del puente fueron captados por el levantamiento LiDAR y son suficientes para representar la geometría del cauce alrededor de la abertura del puente.



Figura 27. Puente Pacarán, aguas abajo de Zúñiga. Nótese que no tiene pilares. El levantamiento LiDAR registró los estribos y es suficiente para modelar adecuadamente el terreno. Fotografía tomada el 11 de mayo de 2019.

La geometría de los estribos de este puente se refleja en la cartografía LiDAR, así como los puentes similares a este. En la siguiente figura se puede apreciar el puente Socsi, que es postensado y atirantado, y que solo se apoya sobre estribos. La fuente a consultar se incluye debajo de la fotografía.

TOMÁS A. SÁNCHEZ RONDAN
Representante Legal
Consorcio CISPDR - SIGT

JUAN ARMANDO OLAZÁBAL ÁLVAREZ
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 5289
JEFE DE PROYECTO

Ing. JULIO MARTIN KUROIWA ZEVALLOS
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 42895
ESP. MODELIZACIÓN HIDRÁULICA FLUVIAL



Figura 28. Vista de Puente Socsi desde margen izquierda. Nótese que el Puente Socsi no tiene estribos y el flujo para encauzado por las defensas de las márgenes izquierda y derecha. Fuente: https://www.construccionyvivienda.com/component/k2/samayca-ingenieros-

Los únicos puentes que tienen pilares que marginalmente afectan el paso del flujo son el Puente Clarita, que debería ser demolido pues presenta un grave riesgo a la seguridad de los usuarios, y el puente Henry Aramayo. En ambos casos el ancho del cauce es mucho mayor que el ancho ocupado por los pilares, pero se está analizando ambos casos. En todo caso, el proyecto Valles Vulnerables está desarrollando estudios de defensas ribereñas y en este momento se está revisando la intervención en el tramo Puente Clarita – Puente Henry Aramayo.

TOMAS A. SÁNCHEZ RONDAN
Representante Legal
Consorcio CISPDR - SIGT

JUAN ARMANDO OLAZÁBAL ÁLVAREZ
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 5289
JEFE DE PROYECTO

Ing. JULIO MARTIN KUROIWA ZEVALLOS
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 42895
ESP. MODELIZACIÓN HIDRÁULICA FLUVIAL

Salidas de la modelación hidráulica y uso para diseño de medidas estructurales

En la figura que se presenta debajo se incluye el eje del río con las progresivas que servirán como referencia en todos los estudios básicos. Se ha homologado la información cartográfica en todos estos estudios para que no haya problemas de compatibilidad en la información entregada. A continuación, se presenta la Figura 29, en la que se muestran las progresivas alrededor del Puente Henry Aramayo.

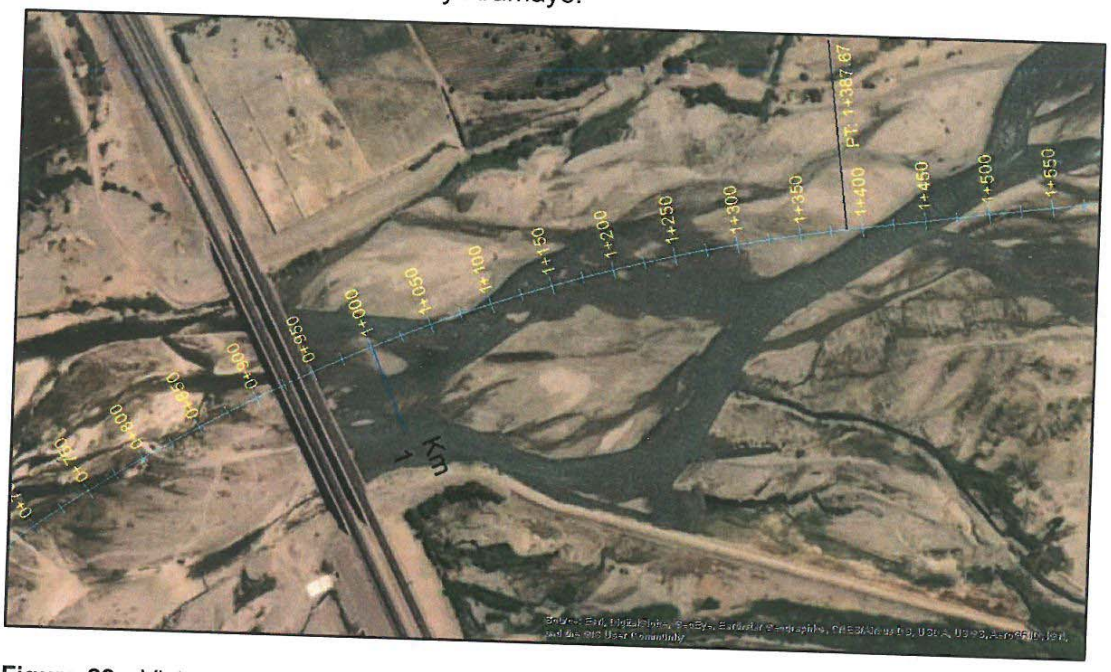


Figura 29. Vista en planta del río Cañete en el tramo del puente Henry Aramayo. Nótese que el puente se encuentra aproximadamente a 920 m del inicio del eje.

En la siguiente figura se incluye un ejemplo de la salida del Iber 2D en la que se presenta la superficie del agua para la avenida de diseño (centenaria). La salida genera una superficie de agua de la que se extraen las secciones en los puntos indicados. Esto se hará para todas las secciones de interés, aunque se sugirió que se impriman solo los tramos de intervención y se conserve las secciones en archivo digital para futura referencia.

TOMÁS A. SÁNCHEZ RONDAN
Representante Legal
Consorcio CISPDR - SIGT

JUAN ARMANDO OLAZABAL ÁLVAREZ
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 5289
JEFE DE PROYECTO

Ing. JULIO MARTIN KUROIWA ZEVALLOS
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 42895
ESP. MODELIZACIÓN HIDRÁULICA FLUVIAL

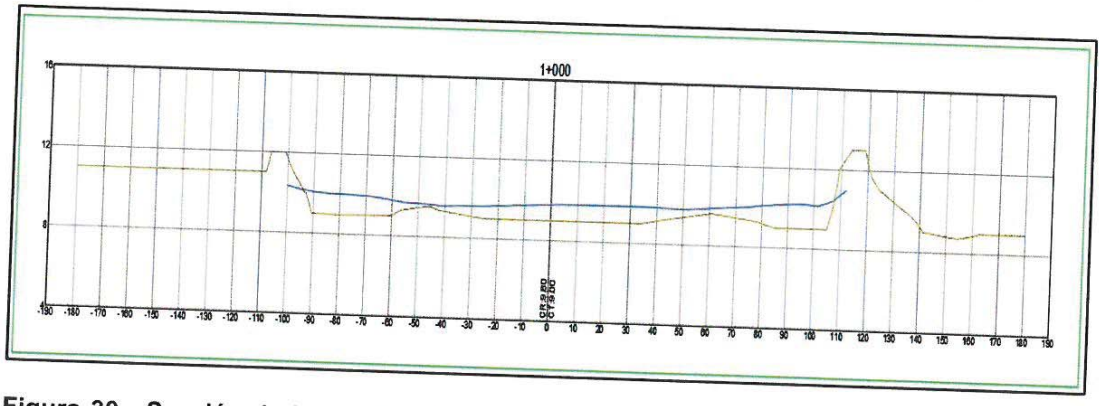


Figura 30. Sección de la progresiva 1+000 en la que se muestra la salida del nivel del agua.

El principal objetivo de evaluar tirantes como velocidades es determinar la magnitud del daño que puede ocurrir como consecuencia de desbordes inundaciones o huaycos. En el caso del río Cañete, la mayor parte de las inundaciones ocurren por desborde y se considera que generan daños cuando los cultivos son inundados, aunque la velocidad no sea muy alta. Esto se debe a que los cultivos no son especies arbóreas, que pueden resistir altas velocidades e inundación, aunque no por mucho tiempo (si las raíces se encuentran sumergidas por un tiempo considerable, las especies arbóreas pueden pudrirse y echarse a perder en forma definitiva).

TOMÁS A. SÁNCHEZ RONDAN
Representante Legal
Consorcio CISPDR - SIGT

JUAN ARMANDO OLAZABAL ÁLVAREZ
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 5289
JEFE DE PROYECTO

Ing. JULIO MARTIN KUROIWA ZEVALLOS
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 42898
ESP. MODELIZACIÓN HIDRAULICA FLUVIAL

MAPAS DE INUNDACIONES EN IBER 2D

Tr 10, 100 y 500 años

TOMÁS A. SÁNCHEZ RONDAN
Representante Legal
Consorcio CISPDR - SIGT

JUAN ARMANDO OLAZÁBAL ÁLVAREZ
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 5289
JEFE DE PROYECTO

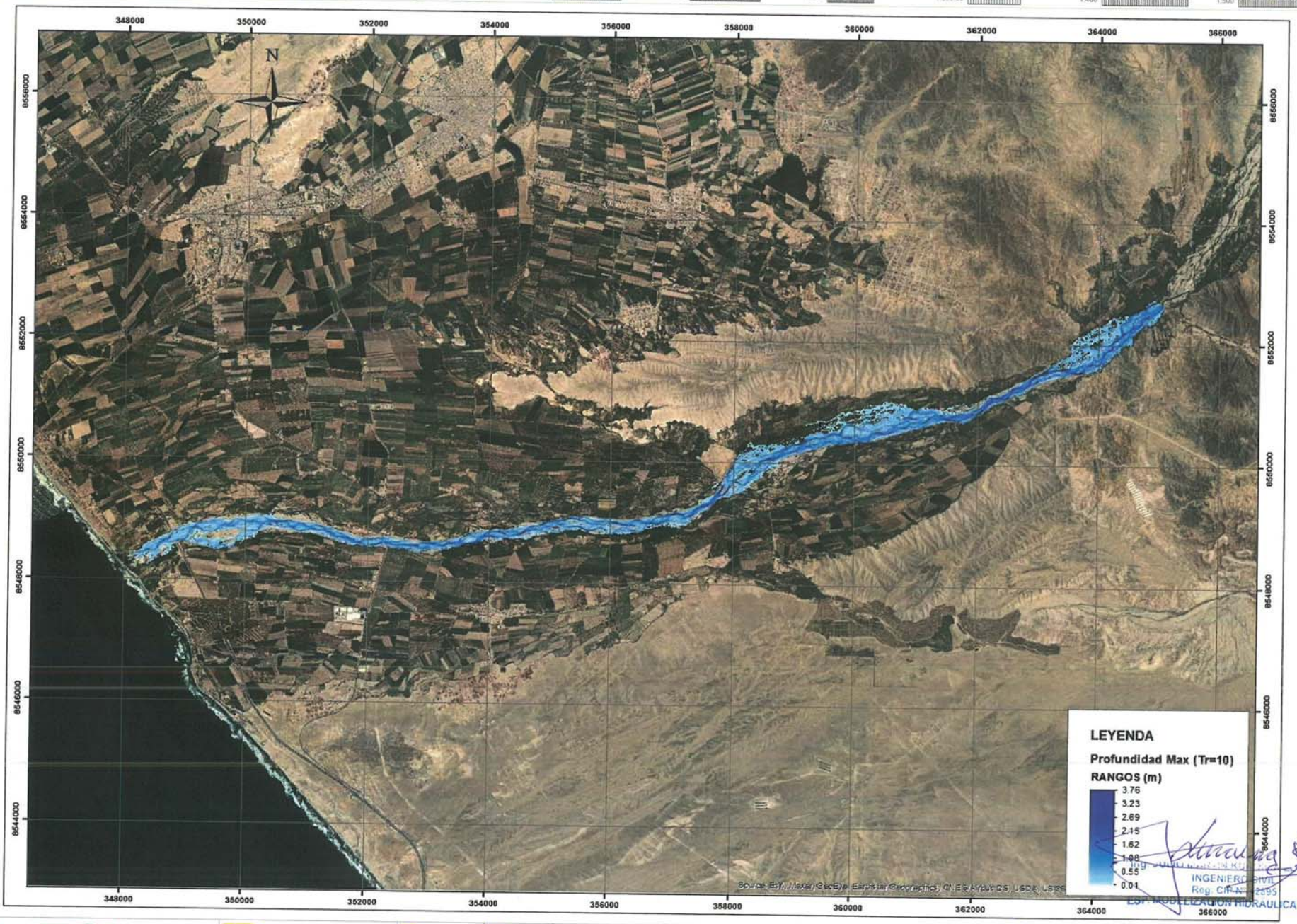
Ing. JULIO MARTIN KUROIWA ZEVALLOS
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 42895
ESP. MODELIZACIÓN HIDRÁULICA FLUVIAL

LISTA DE MAPAS	
A1-P1	COMPETE DESDE LA DESEMBOCADURA DEL RIO CAÑETE HASTA EL DISTRITO DE CALTOPILLA (D1-D12)
A1-P1-01	TR-10 años sin defensas ribereñas
A1-P1-02	TR-100 años sin defensas ribereñas
A1-P1-03	TR-500 años sin defensas ribereñas
A1-P1-04	TR-100 años con defensas ribereñas
A1-P2	COMPETE DESDE EL DISTRITO DE CALTOPILLA HASTA EL DISTRITO DE PAULLO (D13-D25)
A1-P2-01	TR-10 años sin defensas ribereñas
A1-P2-02	TR-100 años sin defensas ribereñas
A1-P2-03	TR-500 años sin defensas ribereñas
A1-P2-04	TR-100 años con defensas ribereñas

TOMÁS A. SÁNCHEZ RONDAN
Representante Legal
Consorcio CISPDR - SIGT

JUAN ARMANDO OLAZABAL ALVAREZ
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 5289
JEFE DE PROYECTO

Ing. JULIO MARTIN KUROIWA ZEVALLOS
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 42895
ESP. MODELIZACION HIDRAULICA FLUVIAL



PSI PROGRAMA SUBSECTORIAL DE IRRIGACIONES	CONSORCIO CISPDR-SIGT	BACH.WALTER CHUAN H. WALTER S. ORE ROJAS ING. A. MANSEN V. CIP 14199 ING. J. KUROIWA Z. CIP 42995	ING. J. OLAZABAL A. CIP 5289	REVISIONES N° FECHA DESCRIPCION A 05/09/19 EMITIDO PARA REVISIÓN INTERNA 0 09/09/19 EMITIDO PARA ENTREGA	FORMULACION DEL PLAN INTEGRAL DE CONTROL DE INUNDACIONES Y MOVIMIENTOS DE MASA DE LA CUENCA DEL RIO CAÑETE DEPARTAMENTO DE LIMA	MAPA DE TR PROFUNDIDAD MAX 10 AÑOS SIN ESTRUCTURAS_RIO CAÑETE CUENCA DEL RIO CAÑETE DEPARTAMENTO DE LIMA	GRÁFICA FECHA: AGOSTO 2020 018-2019-HCA-A1-P1-01		

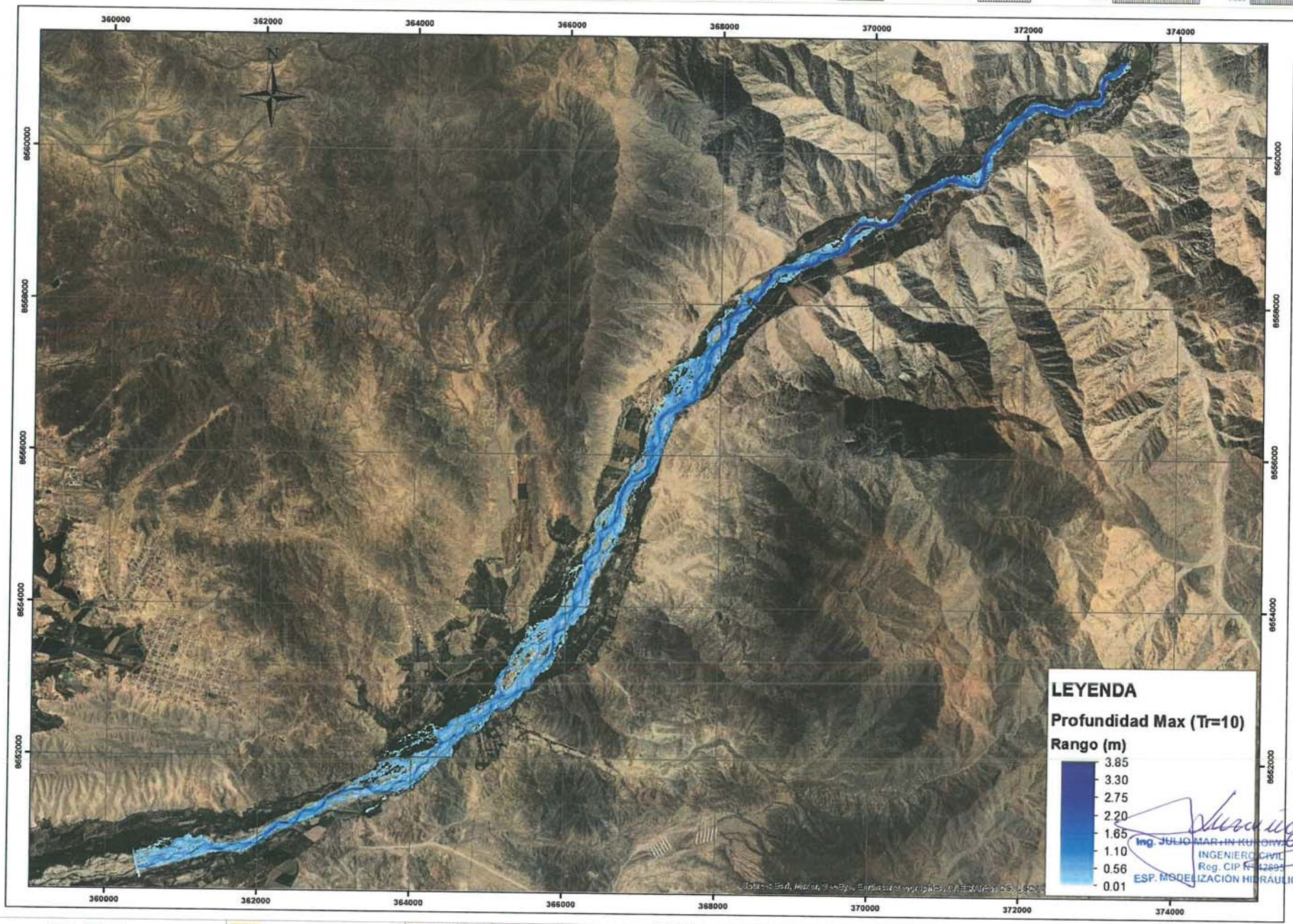
TOMAS A. SANCHEZ KONDAN
Representante Legal
Consorcio CISPDR - SIGT

JUAN ARMANDO OLAZABAL ALVAREZ
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 5289

ESP. MODELACION HIDRAULICA FLUVIAL

1:75 1:100 1:125 1:150 1:200 1:250 1:300 1:333.33 1:400 1:500

1990



PSI PROGRAMA SUBSECTORIAL DE IRRIGACIONES

CONSORCIO CISPDR-SIGT

Gestión	BACH.WALTER CHUAN H.
Diseño	WALTER S. ORE ROJAS
Revisión	ING. A. MANSEN V. CIP 14159
Aprobado	ING. J. KUROIWA Z. CIP 42895

ING. J. OLAZABAL A. CIP 5269

REVISIONES		
N°	FECHA	DESCRIPCION
A	05/08/19	EMITIDO PARA REVISION INTERNA
0	08/08/19	EMITIDO PARA ENTREGA

FORMULACION DEL PLAN INTEGRAL DE CONTROL DE INUNDACIONES Y MOVIMIENTOS DE MASA DE LA CUENCA DEL RIO CAÑETE DEPARTAMENTO DE LIMA

MAPA DE TR PROFUNDIDAD MAX 10 AÑOS SIN ESTRUCTURAS_RIO CAÑETE

CUENCA DEL RIO CAÑETE DEPARTAMENTO DE LIMA

GRÁFICA

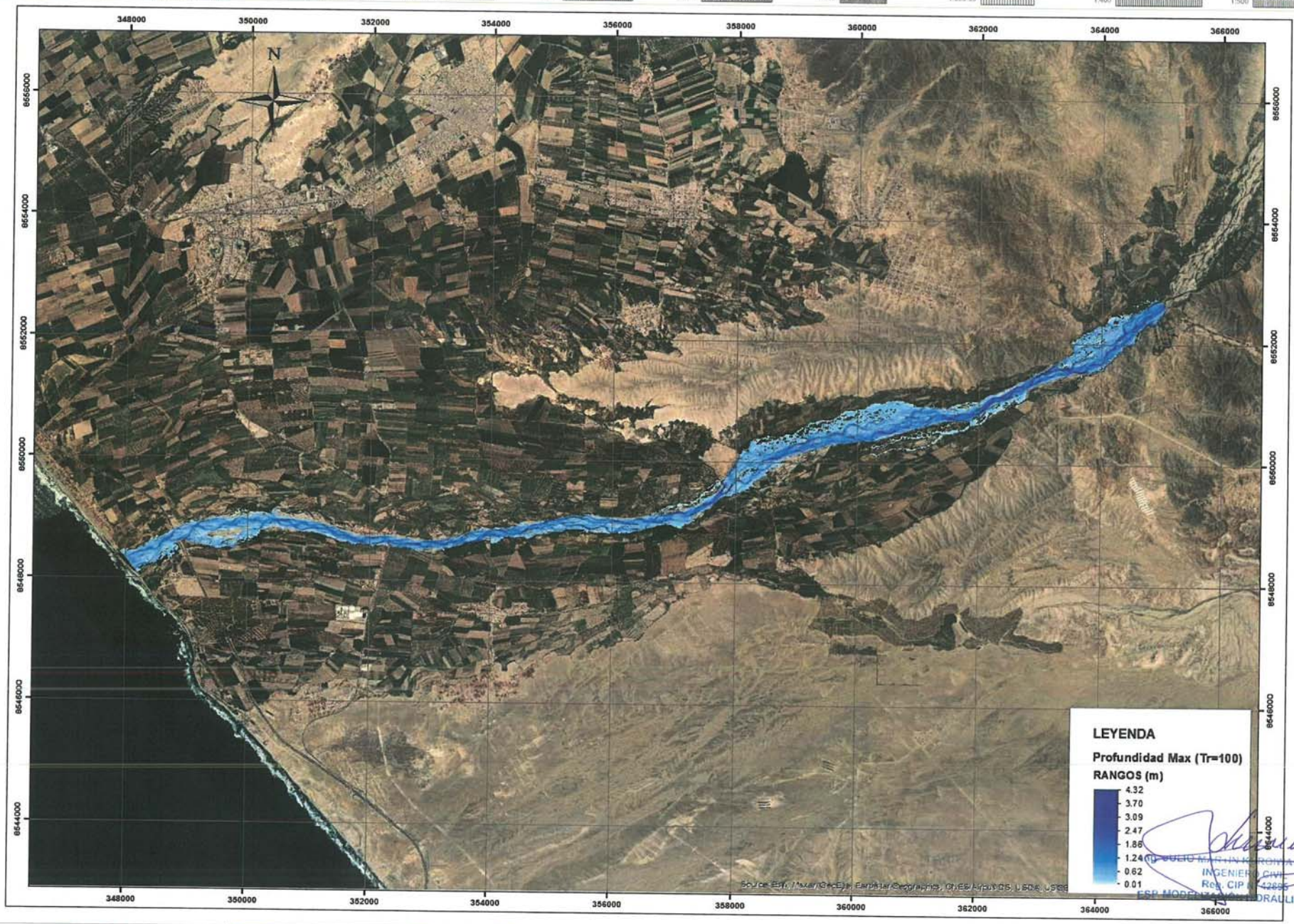
FECHA: AGOSTO 2020

018-2019-HCA-A1-P2-01

TOMAS A. SÁNCHEZ RONDÁN
Representante Legal
Consorcio CISPDR - SIGT

JUAN ARMANDO OLAZÁBAL ÁLVAREZ
INGENIERO CIVIL

Ing. JULIO MARTIN KUROIWA ZEVALLOS
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 42895
ESP. MODELIZACION HIDRAULICA FLUVIAL



PSI PROGRAMA SUBSECTORIAL DE IRRIGACIONES

CONSORCIO CISPDR-SIGT

Diseño:	BACH.WALTER CHUAN H.
Dibujo:	WALTER S. ORE ROJAS
Verificó:	ING. A. MANSEN V. CIP 14199
Revisó:	ING. J. KUROIWA Z. CIP 42895
Aprobó:	ING. J. OLAZABAL A. CIP 5289

REVISIONES

N°	FECHA	DESCRIPCION
A	05/08/19	EMITIDO PARA REVISIÓN INTERNA
0	08/08/19	EMITIDO PARA ENTREGA

TOMAS A. SANCHEZ RONDAN
Representante Legal
Consorcio CISPDR - SIGT

FORMULACION DEL PLAN INTEGRAL DE CONTROL DE INUNDACIONES Y MOVIMIENTOS DE MASA DE LA CUENCA DEL RIO CAÑETE DEPARTAMENTO DE LIMA

PLANO: MAPA DE TR PROFUNDIDAD MAX 100 AÑOS SIN ESTRUCTURAS_RIO CAÑETE

CUENCA DEL RIO CAÑETE DEPARTAMENTO DE LIMA

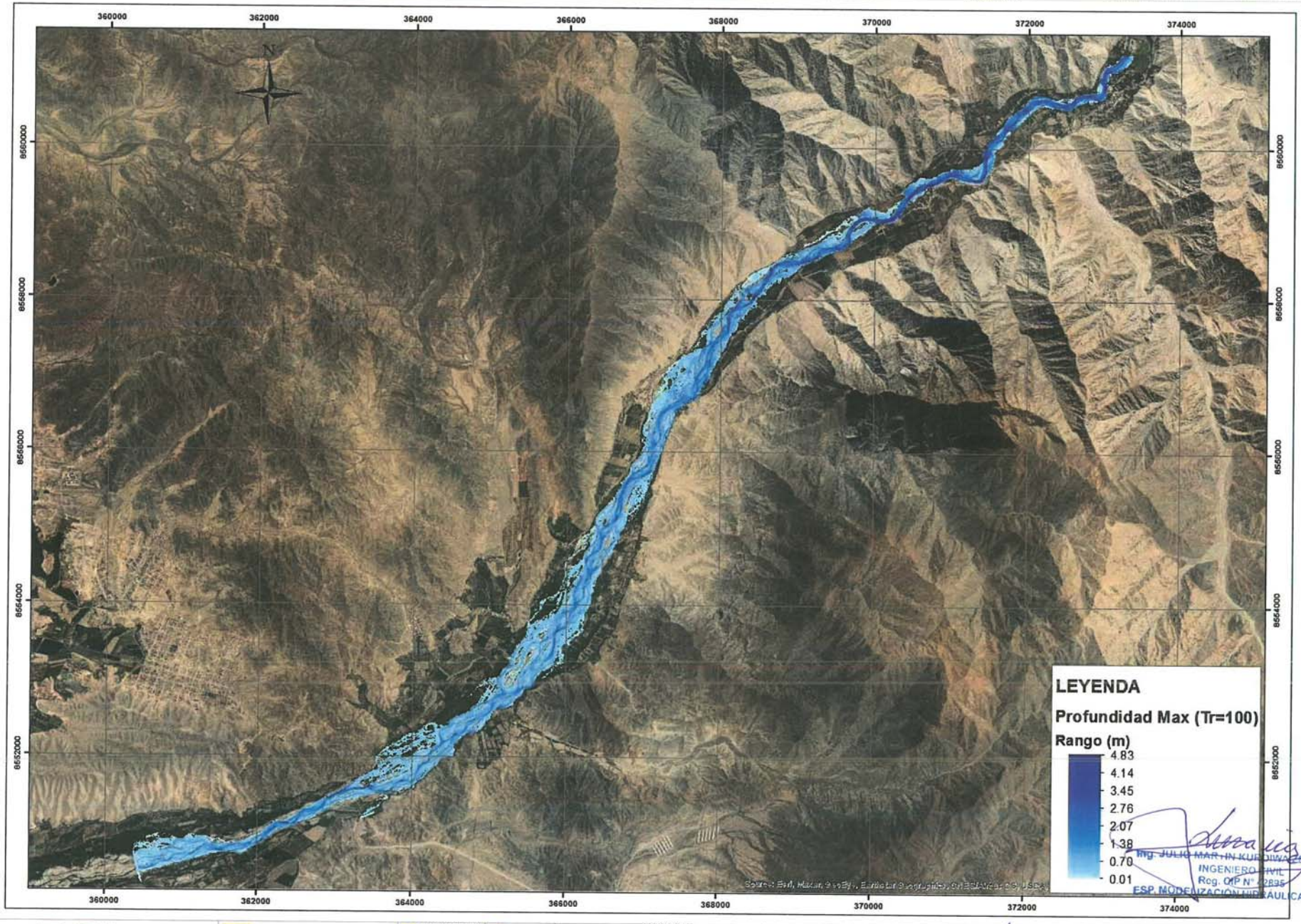
GRÁFICA

FECHA: AGOSTO 2020

PLANO N°: 018-2019-HCA-A1-P1-02

JUAN ARMANDO OLAZABAL ALVAREZ
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 5289

JULIO MARTIN KURONIWA ZEVALLOS
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 42895
ESP. MODELAMIENTO HIDRAULICA FLUVIAL



PSI PROGRAMA SUBSECTORIAL DE IRRIGACIONES

CONSORCIO CISPDR-SIGT

Diseño	BACH.WALTER CHUAN H.
Dibujo	WALTER S. ORE ROJAS
Verificó	ING. A. MANSEN V. CIP 14159
Revisó	ING. J. KUROIWA Z. CIP 42095
Aprobó	ING. J. OLAZABAL A. CIP 5289

REVISIONES

N°	FECHA	DESCRIPCION
A	05/09/19	EMITIDO PARA REVISIÓN INTERNA
0	09/09/19	EMITIDO PARA ENTREGA

TOMAS A. SANCHEZ RONDAN
Representante Legal
Consorcio CISPDR - SIGT

FORMULACION DEL PLAN INTEGRAL DE CONTROL DE INUNDACIONES Y MOVIMIENTOS DE MASA DE LA CUENCA DEL RIO CAÑETE DEPARTAMENTO DE LIMA

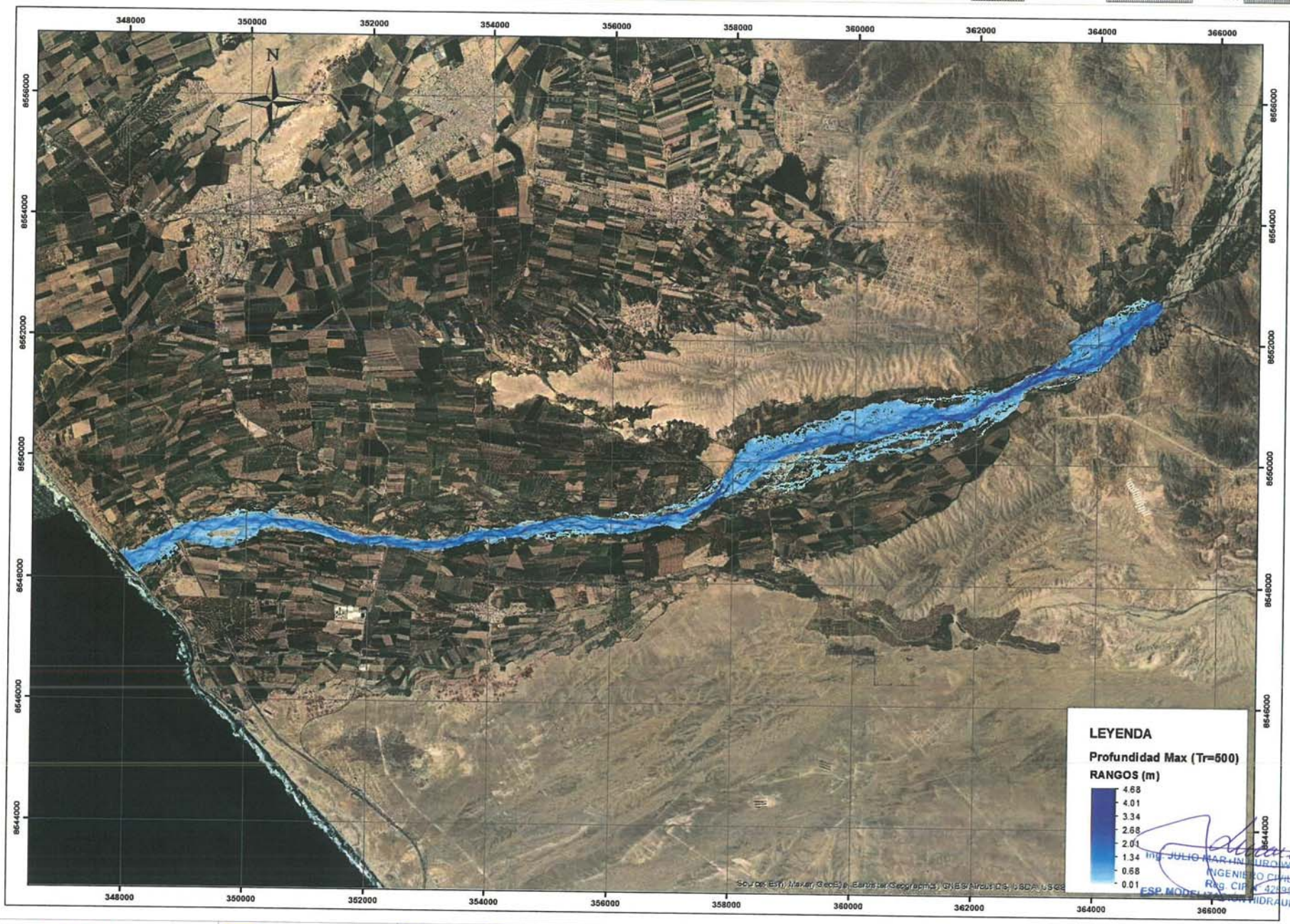
MAPA DE TR PROFUNDIDAD MAX 100 AÑOS SIN ESTRUCTURAS_RIO CAÑETE

CUENCA DEL RIO CAÑETE DEPARTAMENTO DE LIMA

JUAN ARMANDO OLAZABAL ALVAREZ
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 5289

Ing. JULIO MARTIN KUROIWA ZEVALLOS
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 42095
ESP. MODERNIZACION HIDRAULICA FLUVIAL

GRÁFICA	
FECHA:	AGOSTO 2020
	018-2019-HCA-A1-P2-02



PSI PROGRAMA SUBSECTORIAL DE IRRIGACIONES

CONSORCIO CISPDR-SIGT

Jefe:	BACH.WALTER CHUAN H.
Diseño:	WALTER S. ORE ROJAS
Revisó:	ING. A. MANSEN V. CIP 14199
Proyectó:	ING. J. KUROWA Z. CIP 42895
Aprobó:	ING. J. OLAZABAL A. CIP 5289

REVISIONES

N°	FECHA	DESCRIPCION
A	05/09/19	EMITIDO PARA REVISIÓN INTERNA
0	09/09/19	EMITIDO PARA ENTREGA

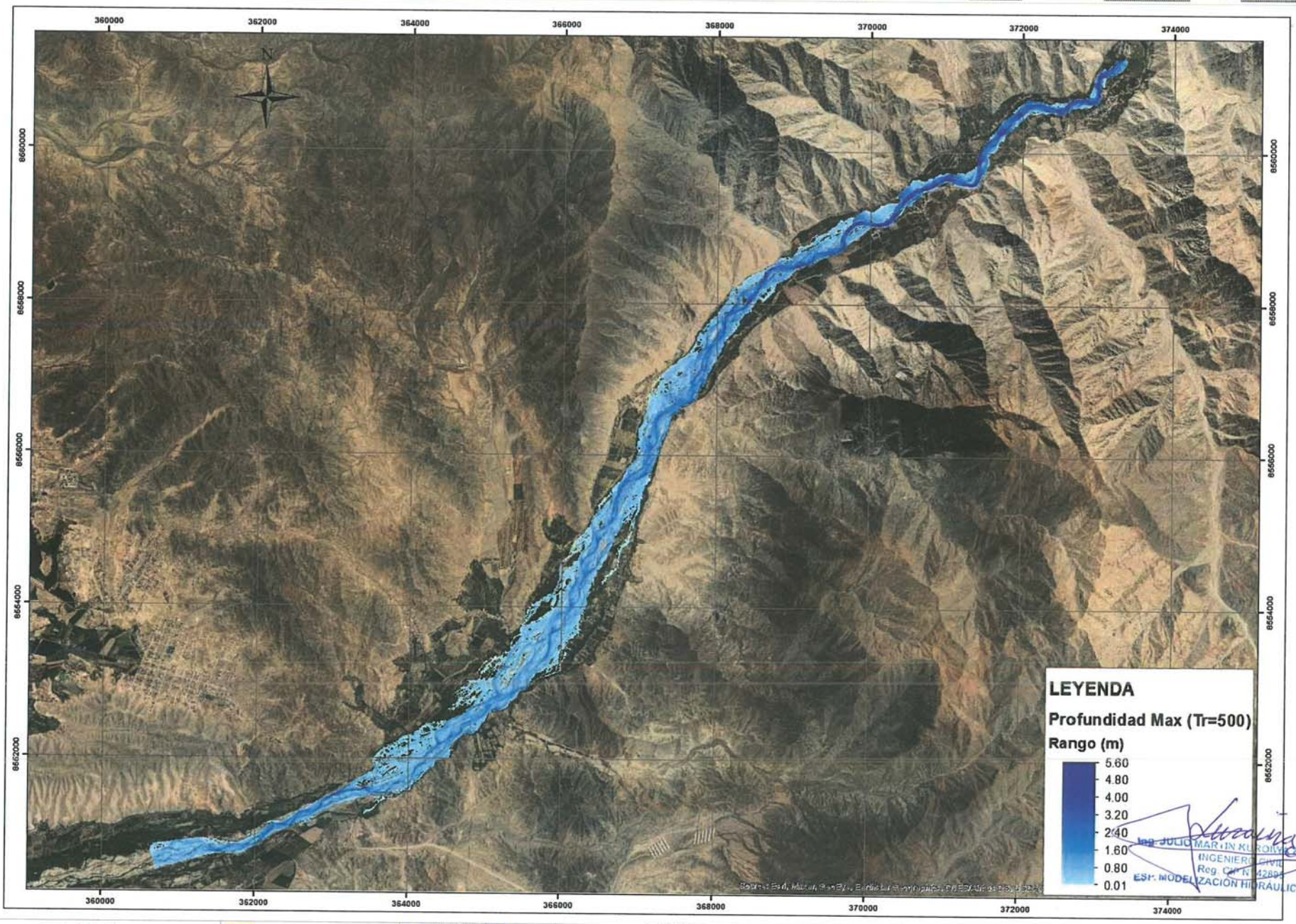
TOMAS A. SANCHEZ RONDAN
Representante Legal
Consorcio CISPDR - SIGT

FORMULACION DEL PLAN INTEGRAL DE CONTROL DE INUNDACIONES Y MOVIMIENTOS DE MASA DE LA CUENCA DEL RIO CAÑETE DEPARTAMENTO DE LIMA

JUAN ARMANDO OLAZABAL ALVAREZ
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 5289

PLANO:	MAPA DE TR PROFUNDIDAD MAX 500 AÑOS SIN ESTRUCTURAS_RIO CAÑETE
UBICACIÓN:	CUENCA DEL RIO CAÑETE DEPARTAMENTO DE LIMA
GRÁFICA	
FECHA:	AGOSTO 2020
PLANO N°:	018-2019-HCA-A1-P1-03

Ing. JULIO MARTIN KUROWA ZAVALOS
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 42895
ESP. MODELACION HIDRAULICA FLUVIAL

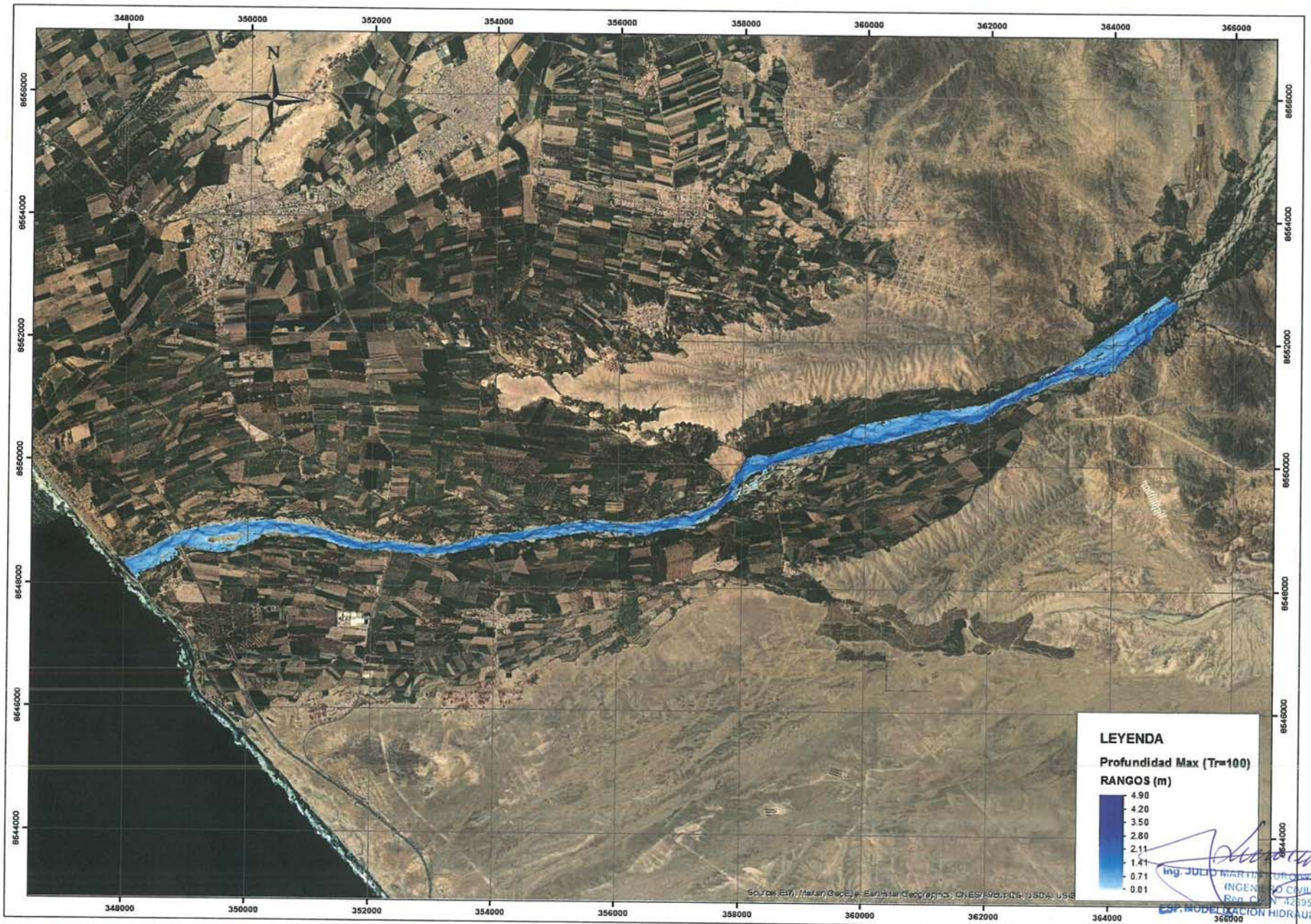


PSI PROGRAMA SUBSECTORIAL DE IRRIGACIONES	CONSORCIO CISPDR-SIGT	Diseño: BACH.WALTER CHUAN H. / Dibujo: WALTER S. ORE ROJAS / Verificó: ING. A. MANSEN V. CIP 18199 / Aprobó: ING. J. KUROWA Z. CIP 42895	ING. J. OLAZABAL A. CIP 5289	REVISIONES: N° 0 FECHA 09/09/19 DESCRIPCION EMITIDO PARA ENTREGA	FORMULACION DEL PLAN INTEGRAL DE CONTROL DE INUNDACIONES Y MOVIMIENTOS DE MASA DE LA CUENCA DEL RIO CAÑETE DEPARTAMENTO DE LIMA	MAPA DE TR PROFUNDIDAD MAX 500 AÑOS SIN ESTRUCTURAS_RIO CAÑETE / CUENCA DEL RIO CAÑETE DEPARTAMENTO DE LIMA	GRÁFICA FECHA: AGOSTO 2020	018-2019-HCA-A1-P2-03

TOMAS A. SANCHEZ RUIZDAN
Representante Legal
Consorcio CISPDR - SIGT

JUAN ARMANDO OLAZABAL ALVAREZ
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 5289

Ing. JULIO MARTIN KUROIWA ZEVALLOS
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 42895
ESP. MODELIZACIÓN HIDRÁULICA FLUVIAL

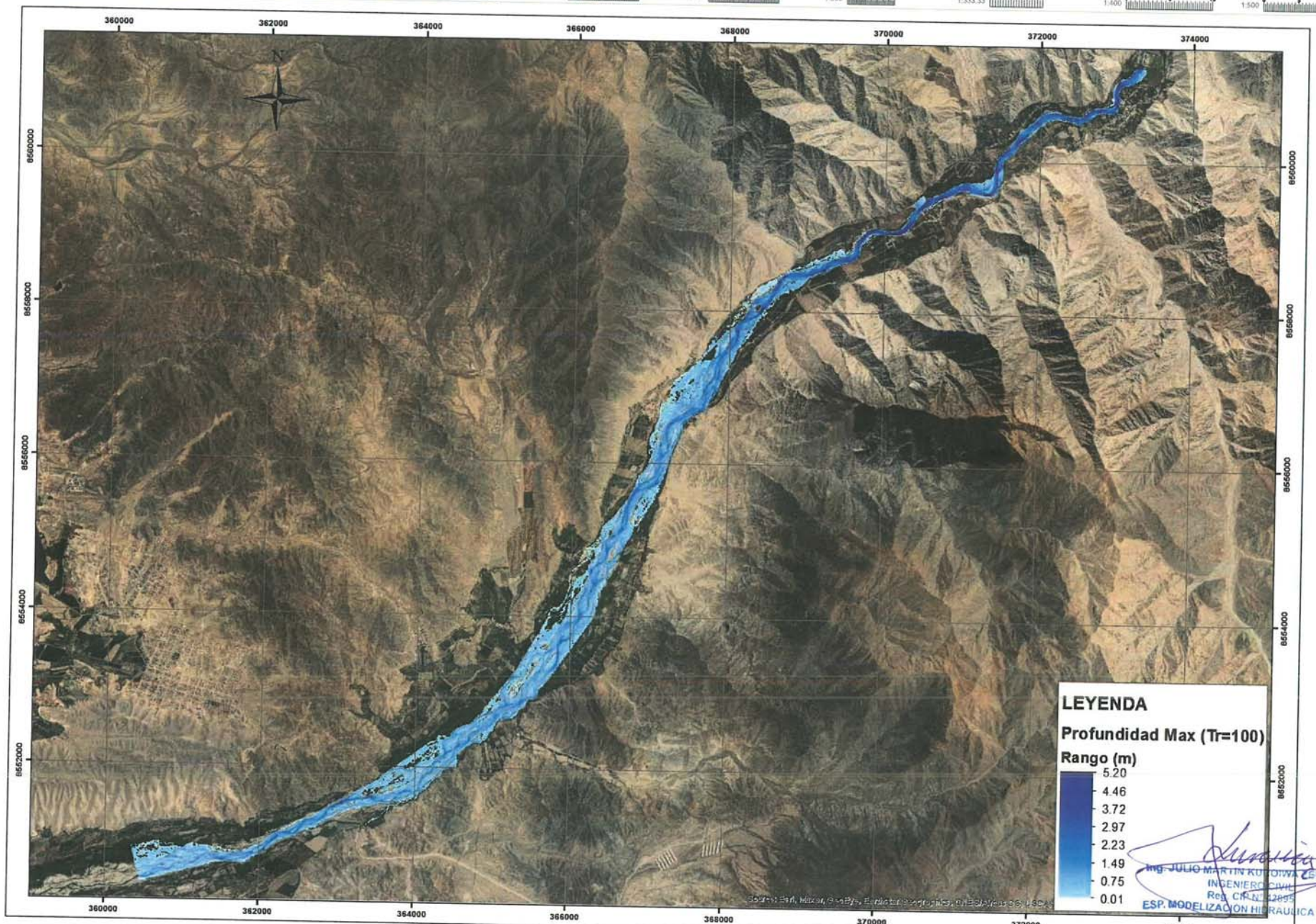


PSI PROGRAMA SUBSECTORIAL DE IRRIGACIONES	CONSORCIO CISPDR-SIGT	Diseño: BACH.WALTER CHUAN H.	Revisó: WALTER S. ORE ROJAS	Aprobó: ING. A. MANSEN V. CIP 14159	Proyectó: ING. J. KUROIWA Z. CIP 42895	ING. J. OLAZABAL A. CIP 5288	REVISIONES N° / FECHA / DESCRIPCION: A 05/09/19 EMITIDO PARA REVISIÓN INTERNA; 0 09/09/19 EMITIDO PARA ENTREGA	FORMULACION DEL PLAN INTEGRAL DE CONTROL DE INUNDACIONES Y MOVIMIENTOS DE MASA DE LA CUENCA DEL RIO CAÑETE DEPARTAMENTO DE LIMA	MAPA DE TR PROFUNDIDAD MAX 100 AÑOS CON ESTRUCTURAS_RIO CAÑETE	CUENCA DEL RIO CAÑETE DEPARTAMENTO DE LIMA	GRÁFICA FECHA: AGOSTO 2020	018-2019-HCA-A1-P1-04

Tomas A. Sanchez Kondos
Representante Legal
Consorcio CISPDR - SIGT

JUAN ARMANDO OLAZABAL ALVAREZ
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 5283
JEFE DE PROYECTO

Ing. JULIO MARTIN QUIROZ VALLOS
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 42895
ESP. MODELACIÓN HIDRAULICA FLUVIAL



PSI PROGRAMA SUBSECTORIAL DE IRRIGACIONES

CONSORCIO CISPDR-SIGT

Consultor	BACH.WALTER CHUAN H.
Consultor	WALTER S. ORE ROJAS
Consultor	ING. A. MANSEN V. CIP 14199
Proyectista	ING. J. KUROIWA Z. CIP 42895
Revisado	ING. J. OLAZABAL A. CIP 5289

REVISIONES

N°	FECHA	DESCRIPCION
A	05/09/19	EMITIDO PARA REVISION INTERNA
0	09/09/19	EMITIDO PARA ENTREGA

TOMAS A. SANCHEZ RONDON
Representante Legal
Consorcio CISPDR - SIGT

FORMULACION DEL PLAN INTEGRAL DE CONTROL DE INUNDACIONES Y MOVIMIENTOS DE MASA DE LA CUENCA DEL RIO CAÑETE DEPARTAMENTO DE LIMA

MAPA DE TR PROFUNDIDAD MAX 100 AÑOS CON ESTRUCTURAS_RIO CAÑETE

CUENCA DEL RIO CAÑETE DEPARTAMENTO DE LIMA

GRÁFICA

FECHA: AGOSTO 2020

018-2019-HCA-A1-P2-04

JUAN ARMANDO OLAZABAL ALVAREZ
INGENIERO CIVIL

Ing. JULIO MARTIN KUROIWA ZEVALLOS
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 42895
ESP. MODELIZACION HIDRAULICA FLUVIAL