

	PRESIDENCIA DEL CONSEJO DE MINISTROS "AUTORIDAD PARA LA RECONSTRUCCIÓN CON CAMBIOS"	Revisión: R01
	CONTRATO: ENTREGA DE LAS DEFENSAS RIBEREÑAS DEL RÍO CAÑETE Y DEL RÍO HUAURA (PAQUETE 5)	Emisión: 19/03/2023
	LIMA	Página: 1 de 44



REVISIÓN DE DOCUMENTOS TÉCNICOS

☒ A- ACEPTADO

☐ B- ACEPTADO CON COMENTARIOS

☐ C- RECHAZADO

Rogelio Gonzales **03/04/2023**

FIRMA FECHA



PARA CONSTRUCCIÓN

FECHA: 03/04/2023.

ESTUDIO DE HIDRÁULICA FLUVIAL EXPEDIENTE TÉCNICO FAST TRACK TRAMO 2.2 (HUAURA 3 – PAQUETE 4) FINAL RIO HUAURA

400200-OHL001-501-XX-BD-HD-004001

DIRECCIÓN DE SOLUCIONES INTEGRALES

REV N°	FECHA	DESCRIPCIÓN	ELAB. POR	REV. POR	APROB. POR
R00	11/11/2022	Emitido para Aprobación	A. Bravo (TYP SA)	B. Lucas	J. López Q.
R01	19/03/2023	Emitido para Aprobación	A. Bravo (TYP SA)	B. Lucas	J. López Q.
			FIRMAS:	  	

***"ENTREGA DE LAS DEFENSAS
RIBEREÑAS DEL RÍO HUAURA
(PAQUETE 5)"***

*Proyecto3: "Creación del servicio de protección en las
riberas del Río Huaura Vulnerable ante peligro de
inundaciones en las localidades de 5 Distritos de la
Provincia de Oyón y 6 Distritos de la Provincia de
Huaura – Departamento de Lima"*

Octubre 2022

Hoja de control de calidad

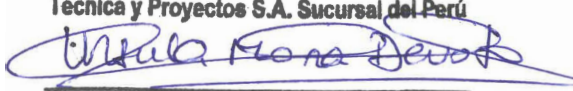
Documento	ESTUDIO DE HIDRÁULICA FLUVIAL		
Proyecto	Proyecto3: "Creación del servicio de protección en las riberas del Río Huaura Vulnerable ante peligro de inundaciones en las localidades de 5 Distritos de la Provincia de Oyón y 6 Distritos de la Provincia de Huaura – Departamento de Lima"		
Código	400200-OHL001-501-XX-BD-HD-004001-R01		
Autores:	Firma:	LCH	LCH
	Fecha:	10/10/2022	27/02/2023
Verificado	Firma:	ABB	ABB
	Fecha:	10/10/2022	27/02/2023
Destinatario	Autoridad de la Reconstrucción con Cambios		
Notas			



Luis G. Chinchay Vega
INGENIERO CIVIL
CIP: 128792



ALBERTO BRAVO BLANCO
Ingeniero Agrónomo
CIP N° 2735-T



Técnica y Proyectos S.A. Sucursal del Perú
Úrsula Mora Devoto
Representante Legal

ÍNDICE

ESTUDIO DE HIDRÁULICA FLUVIAL	6
1 GENERALIDADES	6
1.1 INTRODUCCIÓN	6
1.2 OBJETIVOS	7
1.2.1 Objetivos Generales	7
1.2.2 Objetivos Específicos	7
2 INFORMACIÓN BÁSICA	8
2.1 Topografía	8
2.2 Hidrología	9
2.3 Geotecnia	9
3 ANÁLISIS DEL TRAMO DE ESTUDIO	11
3.1 Clasificación de tipo de río según Rosgen	11
3.1.1 Conceptos de Clasificación de Ríos	11
3.1.2 Sistema de Clasificación de Ríos	12
3.2 Caracterización Morfológica Nivel I	12
3.2.1 Morfología de los tramos	14
3.2.2 Pendiente del relieve	19
3.2.3 Resumen del análisis a Nivel I	21
3.3 Caracterización Morfológica Nivel II	27
3.3.1 Análisis de la geometría del cauce	31
3.3.2 Morfología de la sección transversal	34
3.3.3 Morfología del perfil del cauce	38
3.3.4 Material del cauce	39
3.3.5 Resumen del análisis a Nivel II	41
4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	42

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Topografía del Paquete 4A.....	8
Ilustración 2 Topografía del Paquete 4B.....	9
Ilustración 3 Discretización de Sectores Granulométricos	10
Ilustración 4 Clasificación de ríos de acuerdo con la morfología de la sección transversal y morfología en planta	13
Ilustración 5 Vista área de la zona de desembocadura del río Huaura	14
Ilustración 6 Vista área representativa del tramo 1 (1+000 – 3+000), correspondiente a un tipo D.....	14
Ilustración 7 Vista área representativa del tramo 2 (3+000 – 3+700), correspondiente a un tipo G.....	15
Ilustración 8 Vista área representativa del tramo 3 (3+700 – 27+150), correspondiente a un tipo D....	15
Ilustración 9 Vista área representativa del tramo 4 (27+150 – 27+850), correspondiente a un tipo D .	16
Ilustración 10 Vista área representativa del tramo 5 (27+850 - 45+600), correspondiente a un tipo D	16
Ilustración 11 Vista área representativa del tramo 6 (45+600 - 47+500), correspondiente a un tipo G	17
Ilustración 12 Vista área representativa del tramo 7 (47+500 - 50+000), correspondiente a un tipo D	17
Ilustración 13 Vista área representativa del tramo 8 (50+000 - 56+000), correspondiente a un tipo G	18
Ilustración 14 Vista área representativa del tramo 9 (56+000 - 59+000), correspondiente a un tipo B	18
Ilustración 15 Perfil longitudinal del relieve del río Huaura (0+000 – 59+000)	20
Ilustración 16 Sector de la estructura proyectada en el Paquete 4A del km 2+300 al km 4+500.....	25
Ilustración 17 Sector de las estructuras proyectadas en el Paquete 4B del km 49+000 al km 50+500	25
Ilustración 18 Sector de las estructuras proyectadas en el Paquete 4B del km 50+000 al km 51+000	26
Ilustración 19 Sector de las estructuras proyectadas en el Paquete 4B del km 51+000 al km 51+500	26
Ilustración 20: Esquema de caracterización Morfológica a Nivel II.....	27
Ilustración 21 Esquema de medición de la Descarga de banco completo	29
Ilustración 22 Interpretación de los resultados de la clasificación morfológica de Nivel II	30
Ilustración 23 Geometría del cauce en marzo 2007 del km 2+300 al km 4+500.....	31
Ilustración 24 Geometría del cauce en noviembre 2011 del km 2+300 al km 4+500.....	31
Ilustración 25 Geometría del cauce en febrero 2014 del km 2+300 al km 4+500.....	31
Ilustración 26 Geometría del cauce en marzo 2015 del km 2+300 al km 4+500.....	32
Ilustración 27 Geometría del cauce en octubre 2019 del km 2+300 al km 4+500.....	32
Ilustración 28 Geometría del cauce en octubre 2021 del km 2+300 al km 4+500.....	32
Ilustración 29 Geometría del cauce en marzo 2003 del km 48+000 al km 52+000	33
Ilustración 30 Geometría del cauce en agosto 2009 del km 48+000 al km 52+000	33
Ilustración 31 Geometría del cauce en marzo 2016 del km 48+000 al km 52+000	33
Ilustración 32 Geometría del cauce en marzo 2018 del km 48+000 al km 52+000	33
Ilustración 33 Geometría del cauce en agosto 2019 del km 48+000 al km 52+000.....	34
Ilustración 34 Geometría del cauce en marzo 2022 del km 48+000 al km 52+000	34
Ilustración 35 Sección transversal de topografía del río Huaura en la progresiva 3+125 correspondiente al tipo G.....	35
Ilustración 36 Sección transversal de topografía del río Huaura en la progresiva 3+300 correspondiente al tipo G	35

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 37 Sección transversal de topografía del río Huaura en la progresiva 3+650 correspondiente al tipo G.....	36
Ilustración 38 Sección transversal de topografía del río Huaura en la progresiva 3+770 correspondiente al tipo D.....	36
Ilustración 39 Sección transversal de topografía del río Huaura en la progresiva 49+675 correspondiente al tipo G.....	36
Ilustración 40 Sección transversal de topografía del río Huaura en la progresiva 50+300 correspondiente al tipo G.....	37
Ilustración 41 Sección transversal de topografía del río Huaura en la progresiva 51+100 correspondiente al tipo G.....	37
Ilustración 42 Perfil longitudinal del tramo de estudio Paquete 4A	39
Ilustración 43 Perfil longitudinal del tramo de estudio Paquete 4B	39
Ilustración 44: Distribución del D50 del lecho del río a lo largo del Huaura	40

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Sectores granulométricos	9
Tabla 2 Jerarquía de clasificación del río Huaura.....	12
Tabla 3 Tramos analizados del río Huaura desde la desembocadura hasta la progresiva 59+000	13
Tabla 4 Tramos analizados del río Huaura desde la desembocadura hasta la progresiva 59+000	19
Tabla 5 Resumen de los criterios descriptivos para la clasificación general	21
Tabla 6 Clasificación de la corriente de nivel II.....	27
Tabla 7 Clasificación de tamaño de partículas.....	40
Tabla 8 Resumen de resultados por tramos del río Huaura Paquete 4A para la clasificación de tipo de río	41
Tabla 9 Resumen de resultados por tramos del río Huaura Paquete 4B para la clasificación de tipo de río	41

ESTUDIO DE HIDRÁULICA FLUVIAL

1 GENERALIDADES

1.1 INTRODUCCIÓN

El presente informe forma por parte de los Diseños del proyecto denominado “Entrega de las Defensas Ribereñas del río Cañete y río Huaura (Paquete 5)” (en adelante el Proyecto), promovido por la **ARCC** con el soporte de **UKDT**, en el marco de un acuerdo GtG entre Perú y el Reino Unido. Este proyecto es desarrollado por **OHL** quien ha adjudicado, junto **ARCC**, la confección de los diseños a **TYPESA**. El objeto del Proyecto puede resumirse en:

- Alcanzar una capacidad hidráulica suficiente de los ríos Cañete y Huaura para conducir flujos máximos extraordinarios con el mejor periodo de retorno posible sin daños a los bienes ni riesgos para la vida, reduciendo los efectos provocados por el cambio climático y fenómenos naturales que afectan cíclicamente al Perú.

Los principales antecedentes técnicos de este proyecto son los denominados Planes Integrales de Cuenca (PI) redactados por el PSI (Programa Subsectorial de Irrigaciones, adscrito al Ministerio de Agricultura y Riego). Existe un PI para el río Cañete y otro para el río Huaura. Los PI, tras diversos estudios técnicos (recogidos en 5 entregables), concretan una serie de actuaciones, a mencionar: defensas ribereñas, diques de protección y canales. Estas quedaron definidas en tres estudios de perfil declarados viables.

El marco en el que se desarrollan los proyectos del convenio establecido se define a través de fases denominadas RIBA. El presente estudio surge como consecuencia de la finalización de la fase RIBA 3, donde se determinaron las actuaciones en un modelo integral de la cuenca de estudio para la determinación del caudal de hidrograma de diseño óptimo mediante el análisis costo – beneficio (SCBA), llegando a establecer un periodo de retorno de 100 años para el futuro cercano del escenario RCP 8.5 del cambio climático.

El presente informe se centra en análisis de la morfodinámica fluvial en el tramo donde se implantará el Paquete 4A y 4B del río Huaura que definen las obras de protección contra las inundaciones entre las progresivas 2+300 a 4+500 y del 48+500 a 52+000 respectivamente del río Huaura, definiendo el muro en la

margen izquierda MU-PR-02-I y el dique MU-PR-01A-D para el Paquete 4A y los diques y/o protección de talud, DI-PR-61A-D, DI-PR-61B-D, DI-PR-58B-I, DI-PR-59-I, DI-PR-58C-I, DE-PR-59-I, PT-PR-52BIS-D y muros DI-PR-52BIS-D, MU-PR-53A-D, MU-PR-54A-I, MU-PR-53B-D, MU-PR-54B-I, DI-PR-61BIS-D, DI-PR-57-I para el Paquete 4B.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivos Generales

Realizar el estudio de hidráulica fluvial del río Huaura en el tramo entre las progresivas 2+300 a 4+500 y del 48+500 a 52+000, con el fin de entender el comportamiento del río en su estado natural para tener más información para la elaboración de los diseños de las actuaciones propuestas.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Realizar la clasificación morfológica a Nivel I y Nivel II desde las progresivas 2+300 a 4+500 definido por el Paquete 4A y del 48+500 a 52+000 definido por el Paquete 4B, todo esto conforme la metodología definida por D. Rosgen.
- Caracterizar las principales variables que intervienen en el comportamiento del río, como son la pendiente del relieve del terreno, el ancho – profundidad media del cauce considerando el concepto de llenado del banco y de inundación ordinaria.
- Calcular las relaciones de atrincheramiento y profundidad en base a la caracterización de las variables indicadas en la viñeta anterior.
- Caracterizar el material del cauce (composición granulométrica).

2 INFORMACIÓN BÁSICA

En este capítulo se describen los aspectos básicos referentes a la información básica empleada para poder realizar el modelamiento hidráulico, es decir la topografía, el hidrograma de diseño y la geotecnia principalmente; dado que en este paquete no se encuentra ninguna estructura principal existente como pudiera ser el caso de algún puente o bocatoma, no se precisa un ítem relacionado a esta información.

2.1 Topografía

La topografía empleada, corresponde a la topografía realizada por OHLA como parte del desarrollo de los estudios para la ingeniería de detalle durante los meses de noviembre de 2021 a febrero de 2022, esta ha sido realizada combinando las técnicas de aerofotogrametría (Vuelo drone UAV) para los sectores que no presentan cuerpos de agua y para el sector del río propiamente dicho y cuerpos de agua mediante método convencional (Levantamiento con Estación Total).

La información base fue entregada mediante un archivo *.xml, que corresponde al archivo de la superficie TIN del Civil 3D. Dado que el software HEC-RAS no puede trabajar con superficies TIN, esta fue exportada en formato raster GeoTiff estableciendo una resolución de píxel de 0.5 m correctamente georreferenciada en el Datum WGS 84 proyección UTM zona 18S para la generación del MDE compatible con el HEC-RAS.

Ilustración 1 Topografía del Paquete 4A
(Elaboración propia, 2022)

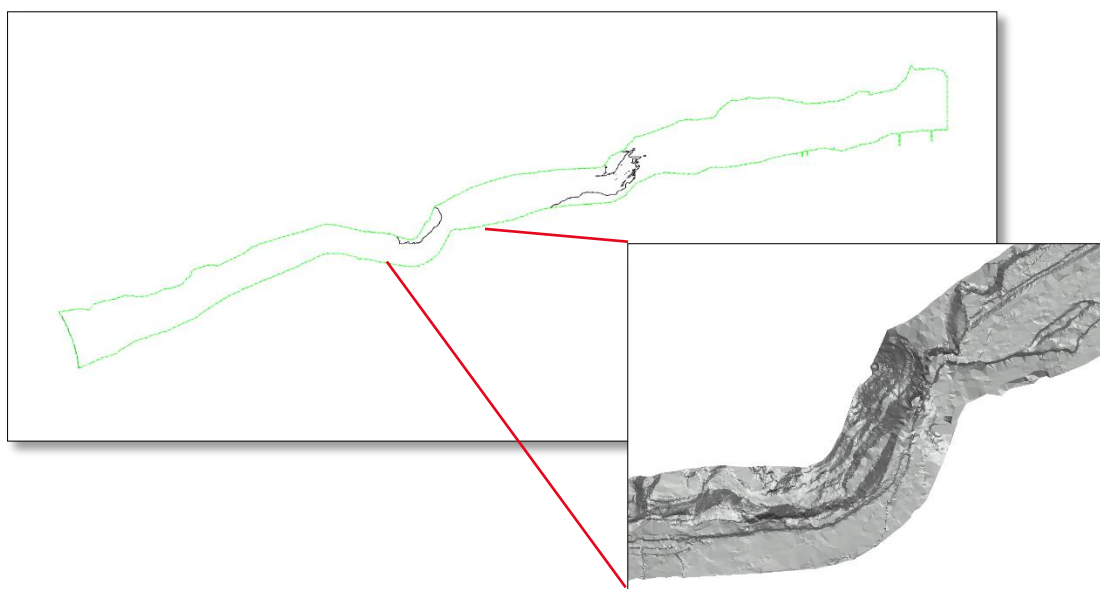
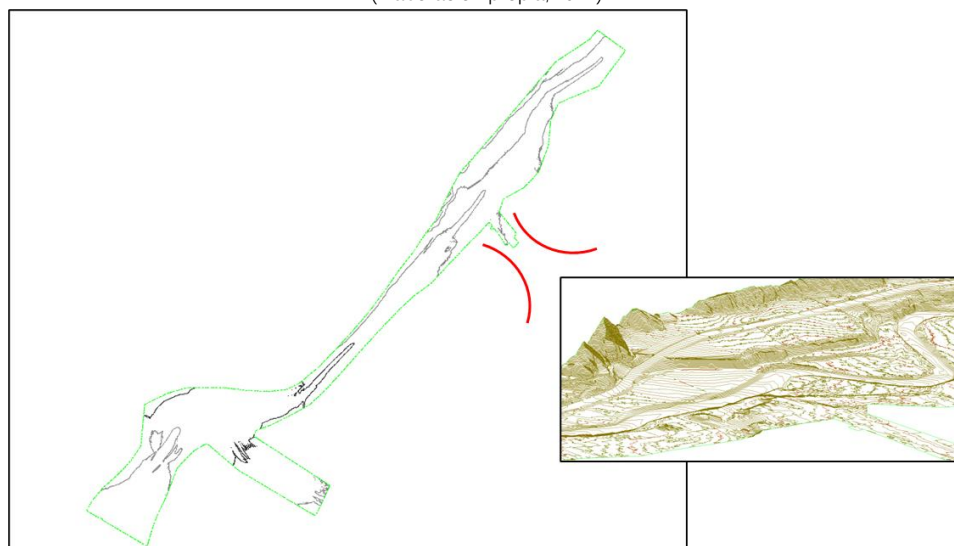


Ilustración 2 Topografía del Paquete 4B
(Elaboración propia, 2022)



2.2 Hidrología

La información hidrológica empleada para el estudio de hidráulica fluvial corresponde a lo presentado en el documento 400200-OHL001-501-XX-BD-HY-004001-R00 en el ítem II-1.4.

2.3 Geotecnia

La información geotécnica empleada es la obtenida en la campaña realizada para la ingeniería de detalle de las actuaciones propuestas en el río Huaura correspondientes a la fase RIBA 4. Dicha información corresponde a los análisis granulométricos integrales del material que compone el lecho del río, realizados en el propio cauce del río a diferentes progresivas según se muestra en la siguiente tabla.

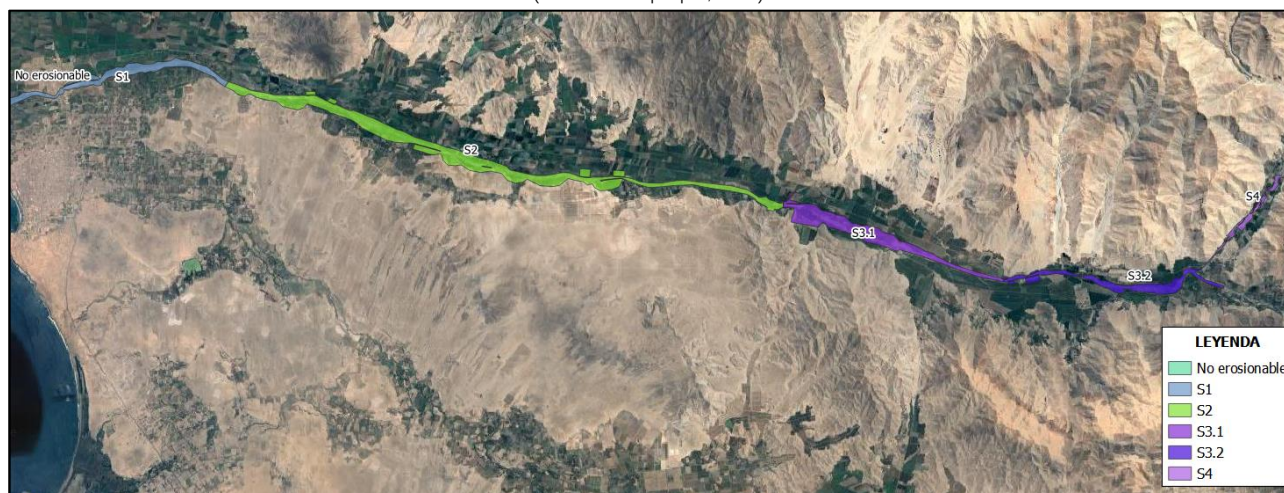
Tabla 1 Sectores granulométricos
(Elaboración propia a partir del estudio Geotécnico)

SECTOR	CALICATA	PROGRESIVA	d10	d30	d50	d60
S1	C-CB-DD14-01	km 3+600	0.21	8.40	24.67	39.22
	C-CB-DD13-01	km 6+200	2.29	20.84	50.07	66.14
	C-CB-DI17-02	km 7+200	0.36	2.30	13.44	17.21
	C-CB-DD13-05	km 7+500	1.65	15.11	32.17	44.35
S2	C-CB-DD12-01	km 13+300	6.39	13.67	18.84	24.46
	C-CB-DD11-01	km 14+500	0.78	9.67	27.37	40.69
	C-CB-DI16-01	km 17+700	1.26	13.93	37.42	52.67
	C-CB-DI15-01	km 26+100	1.29	20.62	35.45	43.78
	C-CB-DD10-01	km 26+200	0.69	15.16	33.80	43.77
	C-CB-DI14-01	km 31+200	9.89	33.67	56.51	67.10
S3.1	C-CB-DI13-03	km 34+200	0.41	2.18	10.90	14.84

SECTOR	CALICATA	PROGRESIVA	d10	d30	d50	d60
	C-CB-DI13-06	km 35+000	3.44	12.73	16.47	18.73
	C-CB-DD09-02	km 36+100	0.45	5.99	36.09	46.64
	C-CB-DD08-01	km 38+600	19.45	50.88	68.93	85.48
	C-CB-DI12-04	km 38+620	1.93	19.32	37.97	49.02
	C-CB-DD07-01	km 39+600	1.50	17.18	36.76	47.69
	C-CB-DI12-08	km 39+850	0.98	12.92	32.04	42.79
S3.2	C-CB-DI11-03	km 43+500	2.08	30.03	56.14	74.69
	C-CB-DD06-02	km 43+900	0.83	10.48	37.79	50.80
	C-CB-DI10-01	km 44+200	1.81	14.10	34.95	44.39
	C-CB-DD05-01	km 45+500	0.79	10.67	20.12	24.47
	C-CB-DI09-02	km 47+200	0.62	2.30	19.53	37.66
	C-CB-DI09-05	km 48+300	0.63	7.83	32.94	42.96
	C-CM-DD04-01	km 48+900	0.82	10.10	29.34	44.61
S4	C-CM-DD03-02	km 50+700	0.65	11.32	24.54	45.22
	C-CM-DI05-02	km 50+850	0.60	1.98	20.49	34.53
	C-CM-DD02-01	km 52+300	1.81	18.58	52.36	61.43
	C-CM-DI03-01	km 52+450	0.59	12.19	39.21	49.84
	C-CM-DD01-01	km 52+800	1.54	10.02	19.45	28.84
	C-CM-DI02-01	km 52+950	0.66	2.22	17.52	25.62
	C-CM-DI01-01	km 53+150	1.64	15.14	36.95	48.38
	C-CA-DD01-01	km 58+150	2.05	30.73	53.92	68.45

Luego del análisis de las curvas granulométricas obtenidas a lo largo del río, se definieron cuatro (4) sectores con similares características granulométricas asociadas principalmente al coeficiente de curvatura (C_u) y D50 de cada curva estudiada, así mismo, estos fueron discretizados a nivel de subsectores siguiendo el mismo criterio descrito.

Ilustración 3 Discretización de Sectores Granulométricos
(Elaboración propia, 2022)



3 ANÁLISIS DEL TRAMO DE ESTUDIO

En este ítem se describe el comportamiento fluvial del tramo de estudio, este punto es de suma importancia para la proyección de las actuaciones, debido a que permitirá definir correctamente sus ubicaciones y además ayudará a definir los parámetros a emplear en los diseños.

3.1 Clasificación de tipo de río según Rosgen

Desde hace mucho tiempo hemos clasificado a los ríos, por su forma o por su edad, sin mayor criterio que el visual y/o de las evidencias que la historia registra respecto a su comportamiento. Sin embargo, tenemos un resumen técnico de las investigaciones realizadas durante muchos años por investigadores de todo el mundo y que es resumida de manera muy integral por David L. Rosgen, el cual se usará para clasificar el río Huaura.

3.1.1 Conceptos de Clasificación de Ríos

La morfología del cauce actual está gobernada por las leyes de la física como puede observarse a partir de las configuraciones del cauce y los procesos fluviales relacionados. El patrón morfológico de un río se encuentra influenciado directamente por ocho variables principales, (Leopold et al. 1964), que incluyen:

- El ancho de cauce
- La profundidad
- Velocidad
- Descarga
- Pendiente de cauce
- Rugosidad de los materiales que constituyen el cauce
- El caudal sólido
- El tamaño de los sedimentos

Un cambio en cualquiera de estas variables origina una serie de ajustes del cauce que conducen a un cambio en otras, obteniéndose como resultado una alteración del patrón de cauce. Las variables que pueden medirse directamente y que, de acuerdo con la teoría y la experiencia, parecen gobernar la morfología del cauce, han sido incluidas en el presente procedimiento de clasificación.

El presente sistema de clasificación ha evolucionado a partir de la observación de campo de cientos de ríos de diferentes tamaños y los esfuerzos iniciales para el desarrollo de dicho procedimiento comenzaron en 1973, presentándose a la comunidad científica una versión preliminar. (Rosgen, 1985).

3.1.2 Sistema de Clasificación de Ríos

La clasificación de ríos consiste en una organización de datos sobre formas de cauce, el nivel de clasificación debe estar en proporción con el nivel de planificación inicial de los objetivos. Puesto que los objetivos varían, resulta conveniente contar con una jerarquía de clasificación. Las características de los tipos de ríos deben ser susceptibles de ser divididas en niveles más específicos, los cuales deben proporcionar indicaciones sobre el potencial de la corriente, estabilidad, estados existentes, etc, para responder a una resolución superior de datos e interpretaciones cuando la planificación lo requiera. En la Tabla 2 se muestra un sistema propuesto de clasificación.

El río en el momento presente y la evolución de su cauce se encuentran influenciados por la vegetación, régimen de flujo, escombros, formas de deposición, configuración de meandros, confinamiento del valle y cauce, erosión de riberas, estabilidad de cauce, etc. Con el propósito de conseguir una mayor brevedad y claridad nos centraremos en un tipo de nivel donde se evalúa la caracterización morfológica general (Nivel I).

Tabla 2 Jerarquía de clasificación del río Huaura
(Rosgen, 1985)

Nivel de detalle	Descripción	Información requerida	Objetivos
I	Caracterización morfológica general	Morfología del terreno, litología, suelos, clima, historia de la sedimentación, relieve de la cuenca, morfología del río, patrón general del río.	Descripción generalizada de las características fluviales, evolución morfológica del terreno, morfología del valle, pendientes asociadas del río.
II	Descripción morfológica (tipos de ríos)	Patrones del cauce, relación de atrincheramiento, relación ancho/profundidad, sinuosidad, material del cauce, pendiente.	Este nivel delinea los tipos homogéneos de ríos, describiendo pendiente específica, dimensiones, etc. Proporciona un nivel de interpretación y extrapolación más detallado que el nivel I.

3.2 Caracterización Morfológica Nivel I

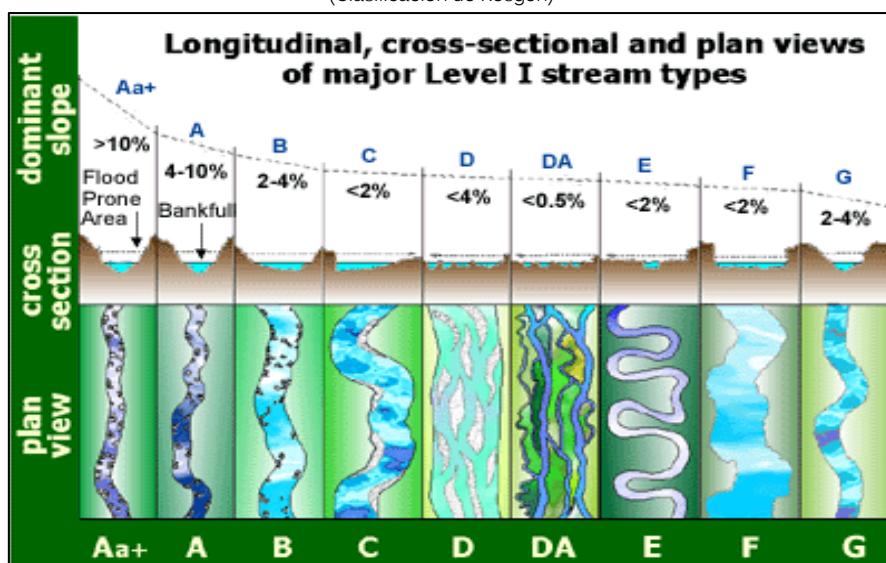
En este nivel se describirá una caracterización general que integre la morfología del terreno y las características fluviales de la morfología del valle con el relieve del cauce, patrón, forma y dimensión. El nivel I combina las influencias del clima, historia sedimentológica, y zonas de vida con la morfología del cauce.

La presencia, descripción y dimensiones de las llanuras de inundación, terrazas, abanicos, deltas y planicies de erosión laminar son algunos ejemplos de las características identificadas de los valles. La historia de la erosión y sedimentación cubre los patrones del cauce a este nivel. Inicialmente pueden esbozarse

categorías generalizadas de “tipos de ríos” utilizando descripciones generales de los perfiles longitudinales, de las secciones transversales y vistas en planta del valle y cauce.

La ventaja de una clasificación general amplia es que permite una delimitación inicial rápida de los tipos de corrientes e ilustra la distribución de estos tipos que se encontrarían dentro de un área de estudio dada. La clasificación de Nivel I se puede delinear en fuentes de información comunes, como mapas topográficos y fotografías aéreas (Applied River Morphology, 1996).

Ilustración 4 Clasificación de ríos de acuerdo con la morfología de la sección transversal y morfología en planta
(Clasificación de Rosgen)



El río Huaura se dividió en nueve (09) tramos desde la progresiva 0+000 al 59+000 (Thalweg), tomando como referencia el tramo del río en que se implantarán las actuaciones, desde la zona de desembocadura hasta el centro poblado de Sayán. Esta primera discretización ha sido elaborada en base a imágenes aéreas y satelitales, tal como se detalla en el siguiente acápite.

Tabla 3 Tramos analizados del río Huaura desde la desembocadura hasta la progresiva 59+000
(Elaboración propia, 2022)

Tramo	Progresiva
-	0+000 - 1+000
1	1+000 - 3+000
2	3+000 - 3+700
3	3+700 - 27+150
4	27+150 - 27+850
5	27+850 - 45+600
6	45+600 - 47+500
7	47+500 - 50+000
8	50+000 - 56+000
9	56+000 - 59+000

3.2.1 Morfología de los tramos

En este punto, mediante el análisis de fotografías aéreas obtenidas del vuelo drone realizado por OHLA (2021) e imágenes satelitales de Google Earth que permite ver cronológicamente como se ha comportado el río. Se estimó una primera clasificación asemejando las imágenes a las características de acuerdo con cada tipo según lo planteado por Rosgen, esta clasificación se corroboró en base a la información de relieve (pendiente de cada tramo), siguiendo lo antes descrito se identificó que desde la desembocadura existe una predominancia del tipo D, seguido por algunos tramos de tipo G y finalmente de tipo B,

Ilustración 5 Vista área de la zona de desembocadura del río Huaura
(OHLA, 2021)



Ilustración 6 Vista área representativa del tramo 1 (1+000 – 3+000), correspondiente a un tipo D
(OHLA, 2021)



Ilustración 7 Vista área representativa del tramo 2 (3+000 – 3+700), correspondiente a un tipo G
(OHLA, 2021)



Ilustración 8 Vista área representativa del tramo 3 (3+700 – 27+150), correspondiente a un tipo D
(OHLA, 2021)



Ilustración 9 Vista área representativa del tramo 4 (27+150 – 27+850), correspondiente a un tipo D
(Google Earth, 2021)



Ilustración 10 Vista área representativa del tramo 5 (27+850 - 45+600), correspondiente a un tipo D
(OHLA, 2021)

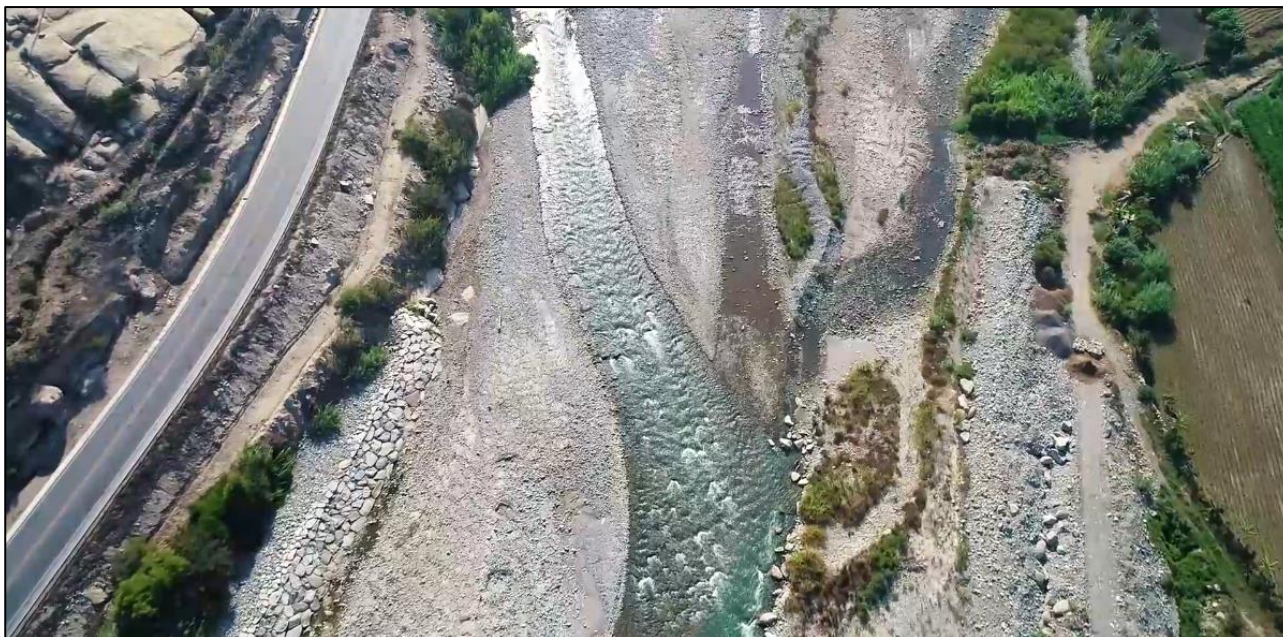


Ilustración 11 Vista área representativa del tramo 6 (45+600 - 47+500), correspondiente a un tipo G
(OHLA, 2021)



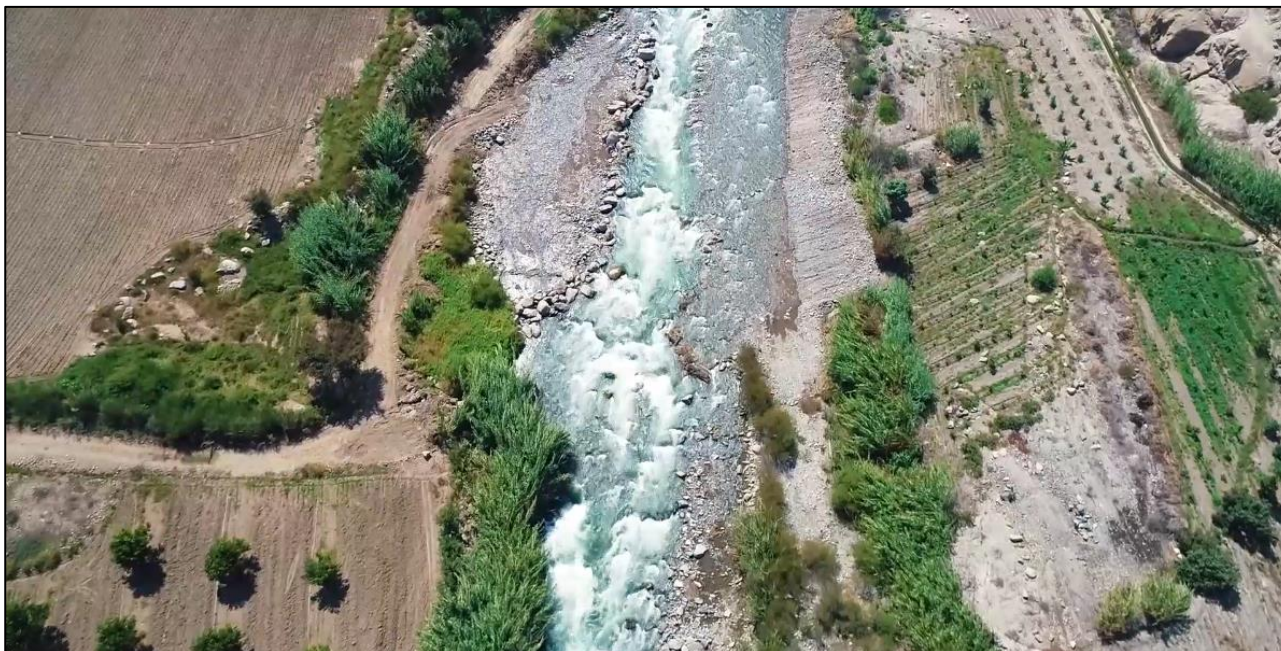
Ilustración 12 Vista área representativa del tramo 7 (47+500 - 50+000), correspondiente a un tipo D
(OHLA, 2021)



Ilustración 13 Vista área representativa del tramo 8 (50+000 - 56+000), correspondiente a un tipo G
(OHLA, 2021)



Ilustración 14 Vista área representativa del tramo 9 (56+000 - 59+000), correspondiente a un tipo B
(OHLA, 2021)



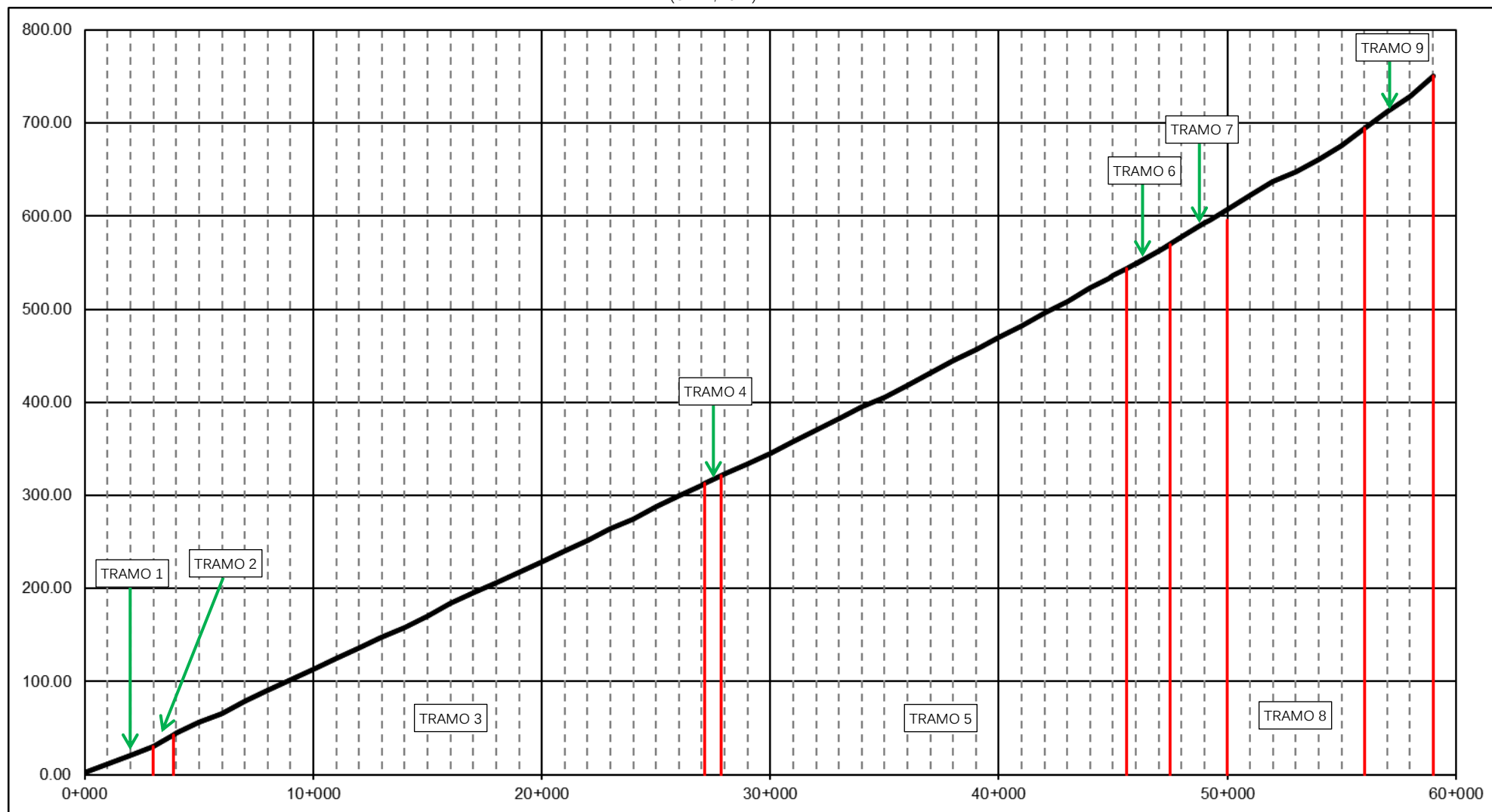
3.2.2 Pendiente del relieve

En este punto se caracteriza la pendiente en líneas generales, de acuerdo con los tramos según el tipo de río relacionando la diferencia de altitudes entre el punto inicial y el punto final del tramo. Como es de esperar estos valores de pendiente representativos sirven para poder cuantificar y aproximar más la clasificación en el que se define cada tramo de río en base a información topográfica.

Tabla 4 Tramos analizados del río Huaura desde la desembocadura hasta la progresiva 59+000
(Elaboración propia, 2022)

Tramo	Progresiva	Pendiente del relieve (%)
-	0+000 - 1+000	0.9%
1	1+000 - 3+000	0.9%
2	3+000 - 3+700	1.4%
3	3+700 - 27+150	1.2%
4	27+150 - 27+850	1.2%
5	27+850 - 45+600	1.3%
6	45+600 - 47+500	1.3%
7	47+500 - 50+000	1.5%
8	50+000 - 56+000	1.6%
9	56+000 - 59+000	2.2%

Ilustración 15 Perfil longitudinal del relieve del río Huaura (0+000 – 59+000)
(OHLA, 2021)



3.2.3 Resumen del análisis a Nivel I

Para entender el comportamiento del río, conforme cada tramo discretizado según Rosgen, se necesita conocer la siguiente tabla, que se relaciona con la Ilustración 4.

Tabla 5 Resumen de los criterios descriptivos para la clasificación general
(Rosgen, 1985)

Tipo de río	Descripción general	Relación de atrincheramiento	Relación ancho / profundidad	Sinuosidad	Pendiente	Características de la morfología del terreno / suelos
Aa+	Muy empinado, profundamente atrincherado, ríos con transporte de escombros.	< 1.4	< 12	1.0 a 1.1	>0.10	Relieve muy alto; lecho de roca o características de erosión / sedimentación; flujo potencia de escombros 1. Ríos profundamente atrincherados. Caídas verticales Con / pozas de erosión profundas; caídas de agua.
A	Ríos empinados, atrincherados, cascadas, gradas/pozas. Alta energía/ transporte de escombros asociados con suelos sedimentarios. Muy estable si el lecho es rocoso o si en el cauce predominan los bloques.	< 1.4	< 12	1.0 a 1.2	0.04 a 0.10	Relieve alto. Lecho de roca. Ríos atrincherados y confiados con tramos de cascadas. Pozas profundas frecuentemente espaciadas, asociadas con una morfología del lecho tipo grada- poza.
B	Moderadamente atrincherados, gradiente moderada, cauce dominado por rápidos con pozas espaciadas irregularmente. Planta y perfil muy estables. Orillas estables.	1.4 a 2.2	> 12	> 1.2	0.02 a 0.039	Relieve moderado. Deposición coluvial y/o residual. Atrincheramiento y relación ancho/ profundidad moderados. Valles estrechos con pendiente suave. Predominio de rápidas con pozas ocasionales.

Tipo de río	Descripción general	Relación de atrincheramiento	Relación ancho / profundidad	Sinuosidad	Pendiente	Características de la morfología del terreno / suelos
C	Gradiente baja, meandriformes, barras de sedimentaciones laterales (point-bar), rápido/poza, cauces aluviales con llanuras de inundación extensas, bien definidas.	> 2.2	> 12	> 1.4	< 0.02	Valles extensos con terrazas en asociación con llanuras de inundación, suelos aluviales. Cauces ligeramente atrincherados con meandros bien definidos. Morfología del lecho tipo rápido-poza.
D	Cauce trenzado con barras longitudinales y transversales. Cauces muy anchos con orillas erosionables.	no disponible	> 40	no disponible	< 0.04	Valles extensos con abanicos aluviales y coluviales. Escombros glaciales y características de deposición. Ajuste lateral activo, con suministro abundante de sedimentos.
DA	Anastomosis (cauces múltiples) estrechos y profundos con llanuras de inundaciones expandidas con buena vegetación y humedales asociados. Relieve muy suave con	> 4.0	< 40	variable	< 0.005	Valles extensos, de baja gradiente con suelos finos aluviales y/o lacustrinos. Anastomosis (cauces múltiples), control geológico que genera deposición fina con barras provistas de buena vegetación que son lateralmente estables, llanuras de

Tipo de río	Descripción general	Relación de atrincheramiento	Relación ancho / profundidad	Sinuosidad	Pendiente	Características de la morfología del terreno / suelos
	sinuosidades altamente variables. Orillas estables.					inundación extensas con humedales.
E	Baja gradiente, meandriforme, rápido / poza, ríos con relación ancho / profundidad baja y poca deposición. Muy eficientes y estables. Relación de anchos de meandros alta.	> 2.2	> 12	> 1.5	< 0.02	Valles /praderas extensas. Materiales aluviales con llanuras de inundación. Altamente sinuosos con orillas estables, con buena vegetación. Morfología rápida /poza con relación ancho / profundidad baja.
F	Cauce atrincherado, meandriforme, morfología tipo rápido / poza, gradientes bajas con relación ancho / profundidad alta.	< 1.4	> 12	> 1.4	< 0.02	Atrincherado en material altamente intemperizado. Gradientes suaves, relación ancho / profundidad alta. Meandriforme, lateralmente inestable, con velocidades altas de erosión de las orillas. Morfología rápido-poza.

Tipo de río	Descripción general	Relación de atrincheramiento	Relación ancho / profundidad	Sinuosidad	Pendiente	Características de la morfología del terreno / suelos
G	"Quebrada" (cárcava) atrincherada, morfología grada /poza y baja relación ancha / profundidad, con gradientes moderadas.	< 1.4	< 12	> 1.2	0.02 a 0.039	Quebrada (cárcava), morfología grada /poza con pendientes moderadas y baja relación ancho / profundidad. Valles estrechos, o profundamente tallados en materiales aluviales o coluviales; por ejemplo, abanicos o deltas. Inestable, con problemas de control de la pendiente y altas velocidades de erosión de las orillas.

- Se realizó el análisis de los tramos del río Huaura desde la desembocadura hasta el km 60 aproximadamente, se evidenció que existe una predominancia del río tipo D, seguido tramos de tipo G y B., cabe mencionar que para el Paquete 4 dividido en dos tramos 4A y 4B de progresivas de la 2+300 al 4+500 y 48+500 al 52+000 respectivamente predomina el tipo G, tal como se muestra en la **Ilustración 7 y Ilustración 13**
- Los tramos donde se presentó el tipo G se deben principalmente al impacto de las estructuras hidráulicas como bocatomas y puentes que afectan el comportamiento del flujo y consecuentemente la morfología del tramo.
- Los tramos donde se implantará las actuaciones del Paquete 4A y 4B, se encuentra ubicado en el tramo 2 y tramo 8 respectivamente de la **Ilustración 15**, el cual se aprecia que el río es tipo G en ambos tramos. A continuación, se puede observar las siguientes ilustraciones para mayor conocimiento.

Ilustración 16 Sector de la estructura proyectada en el Paquete 4A del km 2+300 al km 4+500
(Elaboración propia, 2023)



Ilustración 17 Sector de las estructuras proyectadas en el Paquete 4B del km 49+000 al km 50+500
(Elaboración propia, 2023)



3.3 Caracterización Morfológica Nivel II

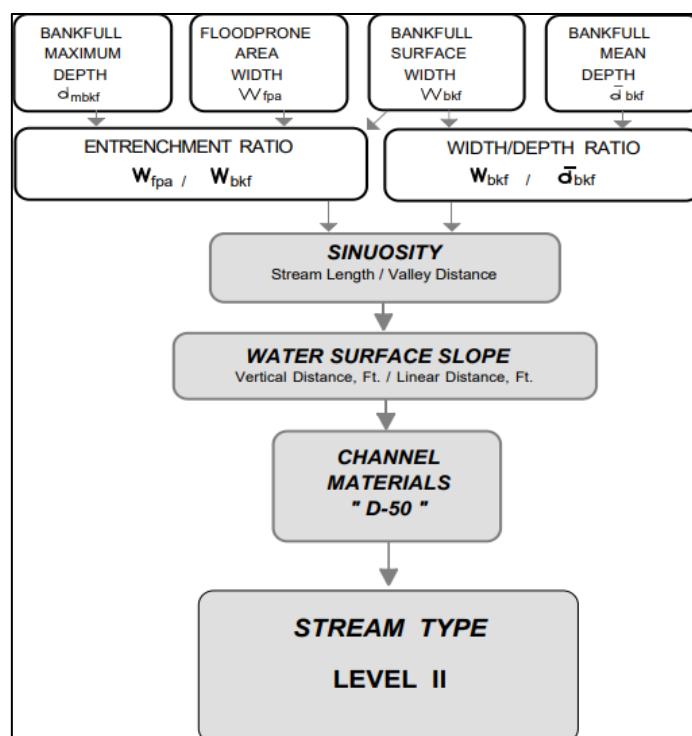
Mientras que la caracterización morfológica de Nivel I se distingue principalmente sobre la base de las formas de relieve del valle y las dimensiones del canal observables en fotos aéreas y mapas; la caracterización morfológica de Nivel II se determinan con mediciones de campo de alcances de canales específicos y características fluviales dentro del valle del río. Esta caracterización de manera completa (Rosgen, 1985) está definida por:

Tabla 6 Clasificación de la corriente de nivel II
(Elaboración propia, 2022)

Mediciones transversales	Relación de atrincheramiento
	Relación ancho/profundidad
	Materiales del cauce
Mediciones de perfil longitudinal	Pendiente
	Características de la cama
Mediciones de patrón	Sinuosidad
	Relación de ancho del meandro

De acuerdo con la información disponible, se caracterizarán algunos puntos de los indicados en la tabla anterior, con el fin de tener una mejor apreciación sobre la caracterización morfológica de Nivel I. Para corroborar la clasificación asignada a los tramos donde se encuentra el Paquete 4A y 4B (Tipo G) se requiere seguir el siguiente esquema.

Ilustración 20: Esquema de caracterización Morfológica a Nivel II
(Elaboración propia)



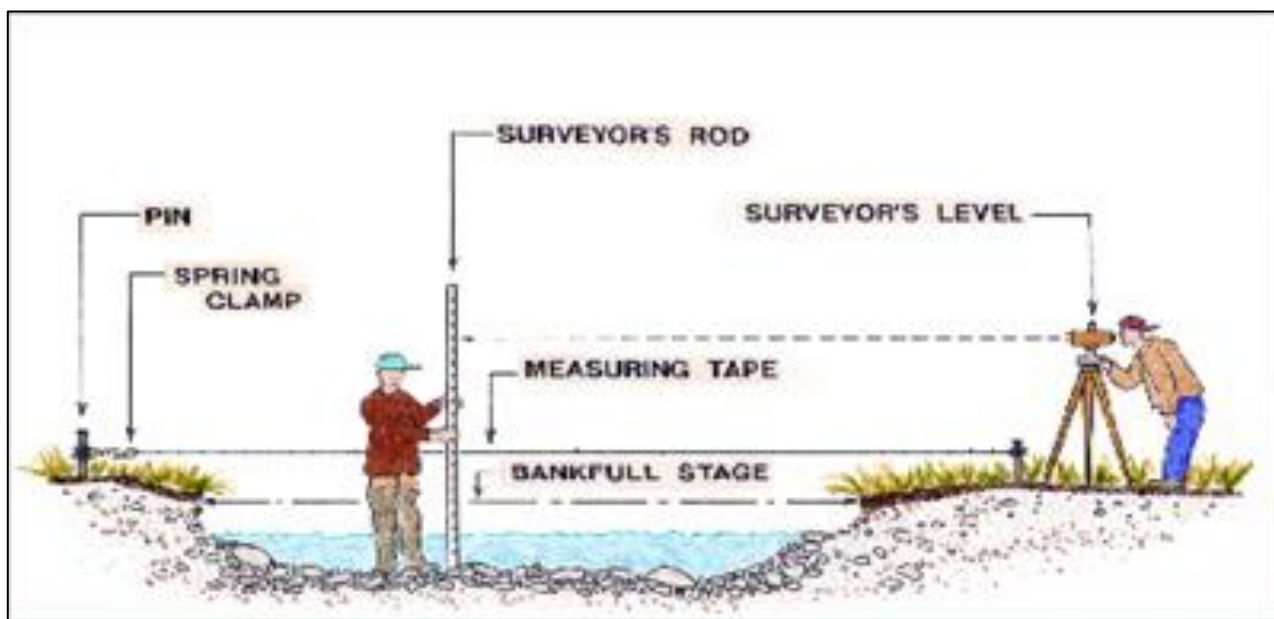
A continuación, se menciona un abreviado descripción de los pasos a seguir para realizar esta caracterización:

- Paso 1. Identificar el tipo de cauce de acuerdo con lo observado en la caracterización morfológica del Nivel I.
- Paso 2. Determinar el ratio de atrincheramiento.
- Paso 3. Determinar el ancho y la profundidad promedio del banco del cauce lleno (Bankfull) y calcular el ratio de ancho/profundidad.
- Paso 4. Determinar la pendiente del canal.
- Paso 5. Utilizando los datos del paso 1 y 2, en la Ilustración 4 asignamos una letra que representa el tipo de cauce. Si los resultados son ambiguos, se debe tener mayor consideración a lo observado en la vista en planta que a la pendiente del canal o atrincheramiento.
- Paso 6. Determinar el D50 del cauce del río y clasificar en términos del tamaño de la partícula.
- Paso 7. Asignar un número de 1 a 6, dependiendo de los resultados de este paso. Esto corresponde a los resultados de clasificación de Rosgen nivel II.
- Paso 8. Determinar la longitud del valle y del canal para obtener la sinuosidad.
- Paso 9. Verificar los valores de pendiente, ratio de atrincheramiento, ratio de ancho/tirante y sinuosidad. Con estos valores se ingresa a la Ilustración 22.
- Paso 10. Si los pasos 4 y 9 son completados con resultados satisfactorios, procedemos a la interpretación.
- Paso 11. Si los resultados del tipo de cauce no encajan en el paso 4 o si uno o más valores en el paso 9 se encuentran fuera de los rangos indicados, se necesitan estudios adicionales. Las alteraciones antropogénicas en algunos cauces son tan recientes que estos en un estado transitorio y son difíciles de clasificar. Sin embargo, con un análisis adicional se puede identificar una tendencia de clasificación.

Para la estimación de los datos indicados en este acápite se necesita definir el concepto de “Descarga de banco completo” o *Bankfull Discharge* la determinación más consistente se obtiene de la identificación de la parte superior de la llanura de inundación. Esta elevación es donde comienzan las inundaciones incipientes para aquellos caudales que se extienden por encima de la etapa de ribera. Muchas llanuras de inundación se construyen a medida que el río se mueve lateralmente, lejos de las barras de punto establecidas. La elevación de la parte superior de las barras de punto y la etapa de ribera comparten así una elevación común que está directamente relacionada con el desarrollo de llanuras de inundación dentro del valle, dado el régimen climático actual. Es importante que el observador de campo reconozca la diferencia física y morfológica entre una terraza baja y una llanura de inundación, ya que los canales aluviales con llanuras de inundación bien desarrolladas a menudo pueden tener terrazas fluviales de baja elevación (antiguas llanuras de inundación abandonadas) adyacentes al canal. Para aquellos tipos de arroyos que

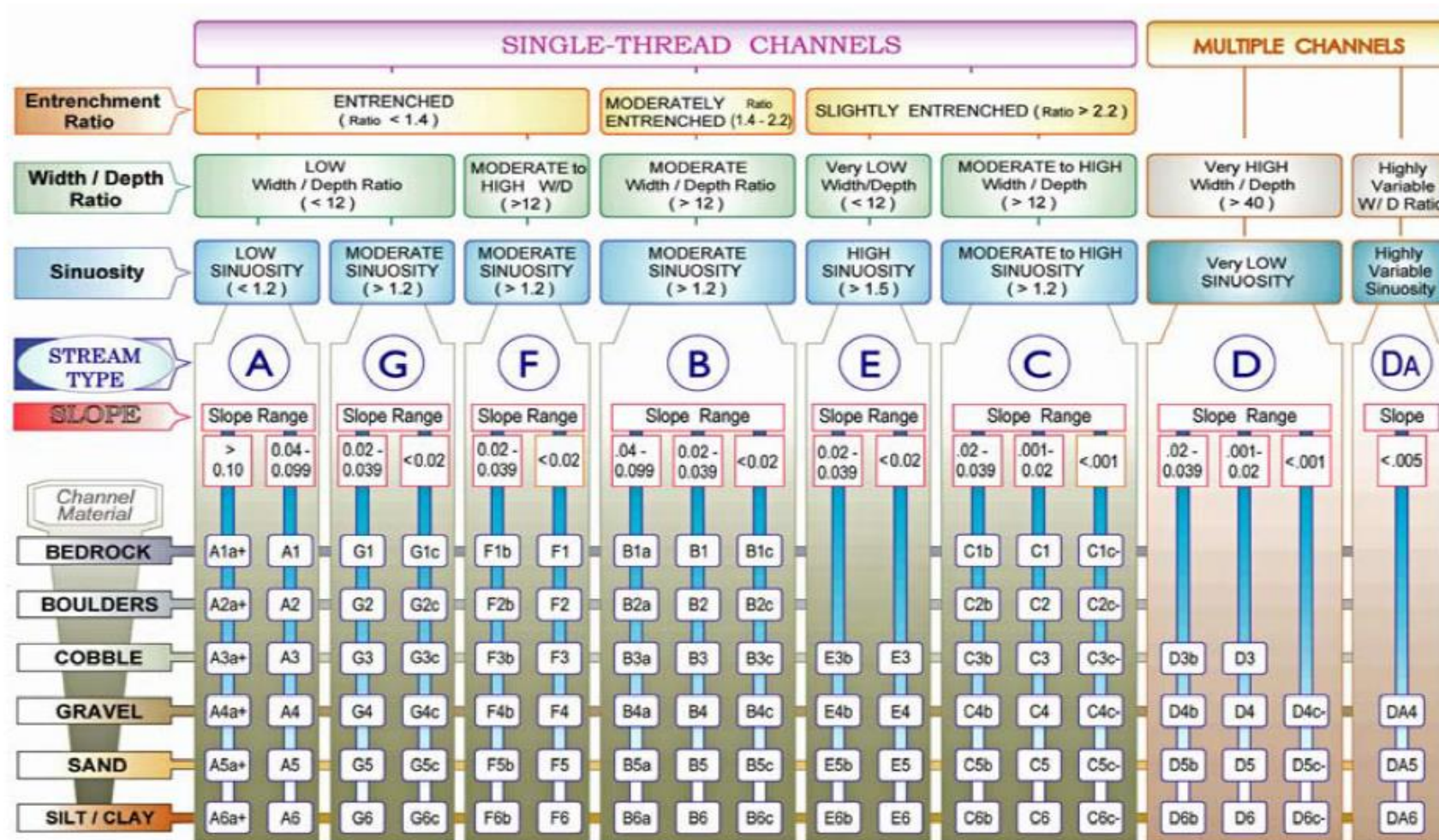
exhiben una llanura de inundación bien desarrollada, como los tipos "C", "D", "DA" y "E", la etapa de llenado de banco se identifica fácil y confiablemente como la elevación de la llanura de inundación (Rosgen, 1985).

Ilustración 21 Esquema de medición de la Descarga de banco completo
(EPA, 2018)



Una vez caracterizado el tramo de río hasta Nivel II, en base a la siguiente ilustración se define la interpretación de los resultados según Rosgen. La definición y aplicación de esta jerarquización es clave para definir las medidas de restauración y/o protección de la zona de estudio.

Ilustración 22 Interpretación de los resultados de la clasificación morfológica de Nivel II
(Rosgen, 1985)



KEY to the ROSGEN CLASSIFICATION of NATURAL RIVERS. As a function of the "continuum of physical variables" within stream reaches, values of **Entrenchment** and **Sinuosity** ratios can vary by +/- 0.2 units; while values for **Width / Depth** ratios can vary by +/- 2.0 units.

3.3.1 Análisis de la geometría del cauce

A continuación, en las siguientes ilustraciones se observa los cambios en la geometría del cauce entre el periodo de marzo del 2007 a octubre del 2021 del km 2+300 al km 4+500 del Paquete 4A.

Ilustración 23 Geometría del cauce en marzo 2007 del km 2+300 al km 4+500

(Elaboración propia, 2022)

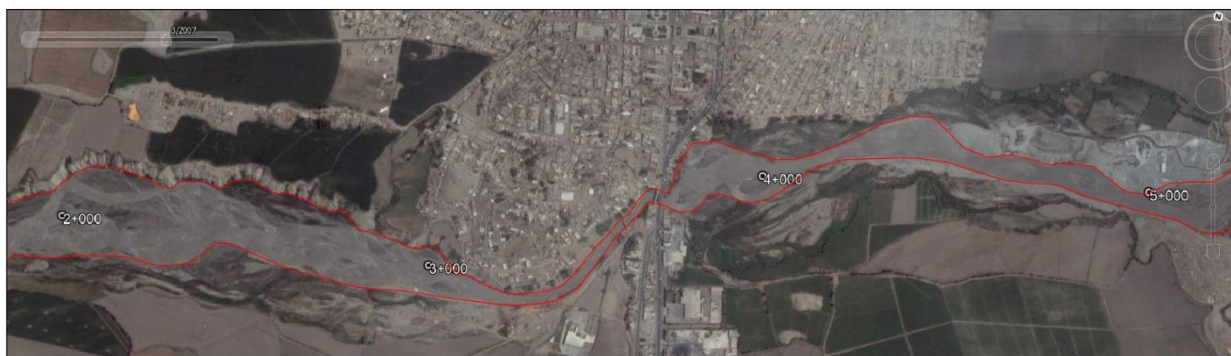


Ilustración 24 Geometría del cauce en noviembre 2011 del km 2+300 al km 4+500

(Elaboración propia, 2022)

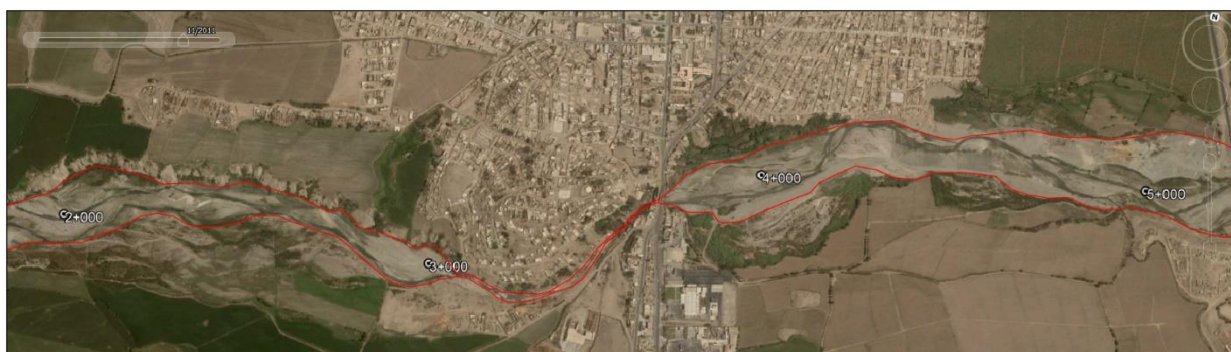


Ilustración 25 Geometría del cauce en febrero 2014 del km 2+300 al km 4+500

(Elaboración propia, 2022)



Ilustración 26 Geometría del cauce en marzo 2015 del km 2+300 al km 4+500
(Elaboración propia, 2022)



Ilustración 27 Geometría del cauce en octubre 2019 del km 2+300 al km 4+500
(Elaboración propia, 2022)

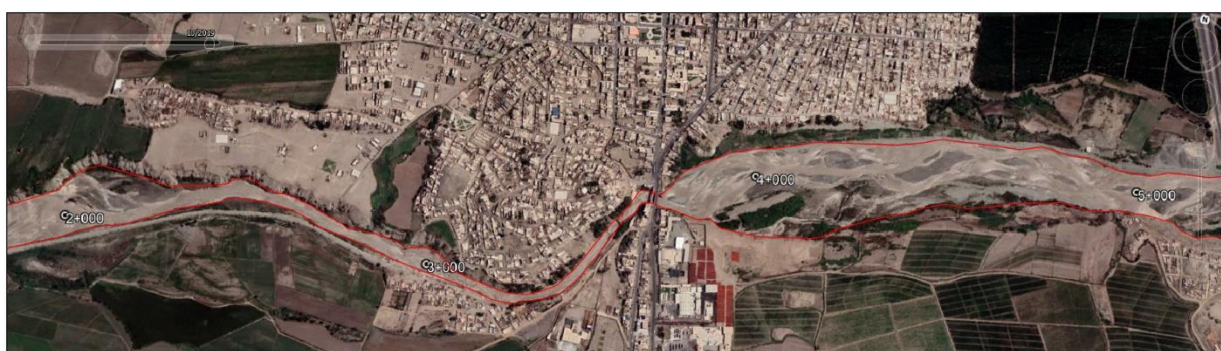
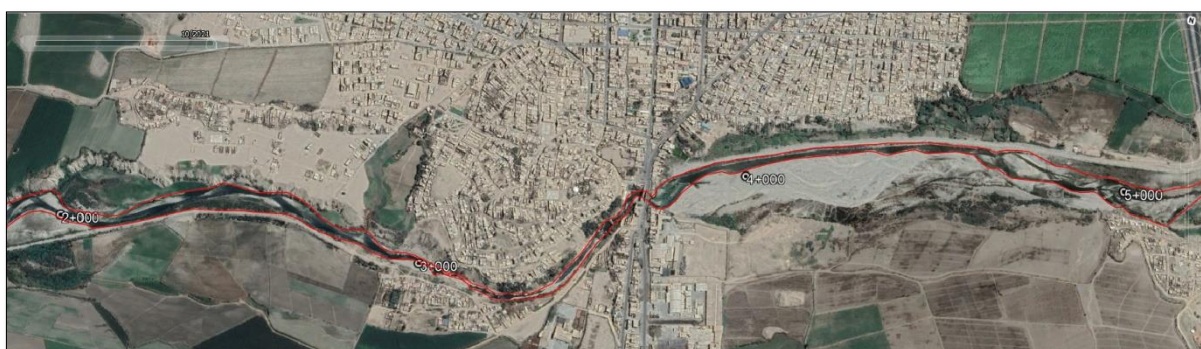


Ilustración 28 Geometría del cauce en octubre 2021 del km 2+300 al km 4+500
(Elaboración propia, 2022)



A continuación, en las siguientes ilustraciones se observa los cambios en la geometría del cauce entre el periodo de marzo del 2003 a marzo del 2022 del km 48+000 al km 52+000 del Paquete 4B.

Ilustración 29 Geometría del cauce en marzo 2003 del km 48+000 al km 52+000
(Elaboración propia, 2022)

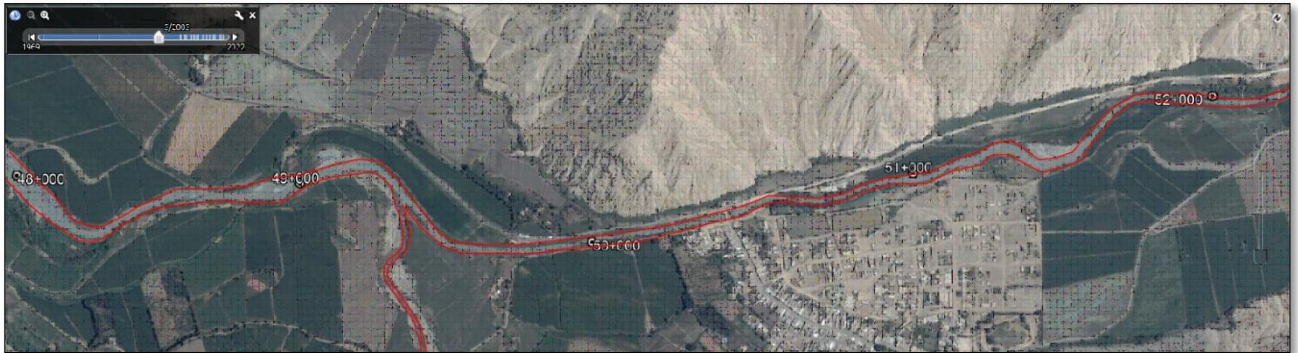


Ilustración 30 Geometría del cauce en agosto 2009 del km 48+000 al km 52+000
(Elaboración propia, 2022)

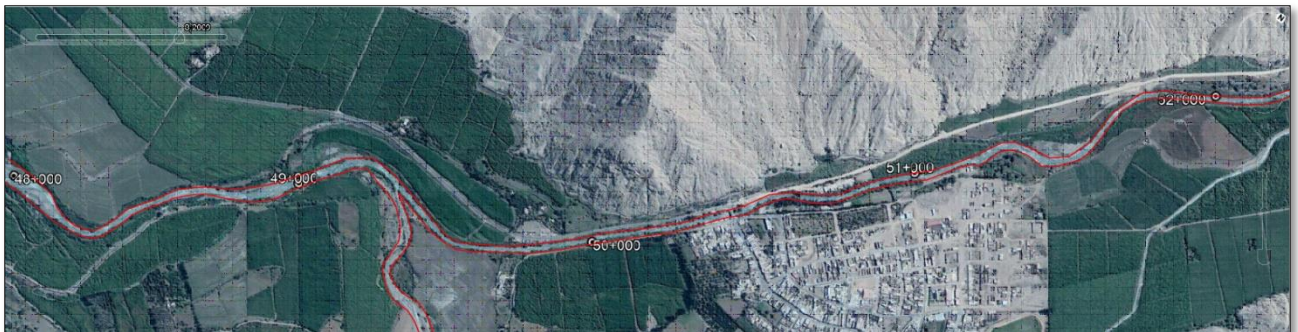


Ilustración 31 Geometría del cauce en marzo 2016 del km 48+000 al km 52+000
(Elaboración propia, 2022)

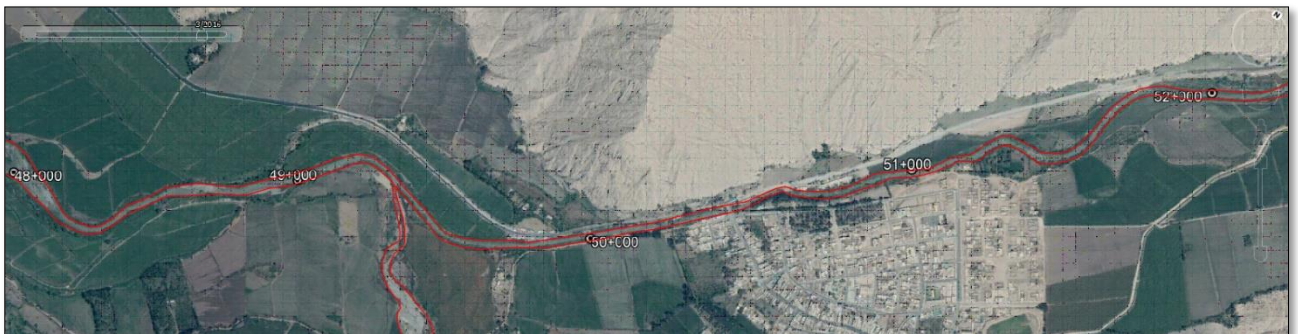


Ilustración 32 Geometría del cauce en marzo 2018 del km 48+000 al km 52+000
(Elaboración propia, 2022)

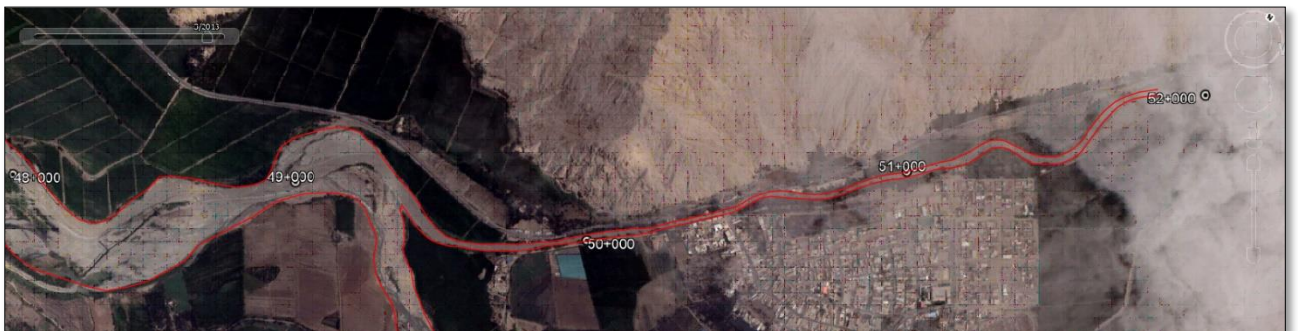


Ilustración 33 Geometría del cauce en agosto 2019 del km 48+000 al km 52+000
(Elaboración propia, 2022)

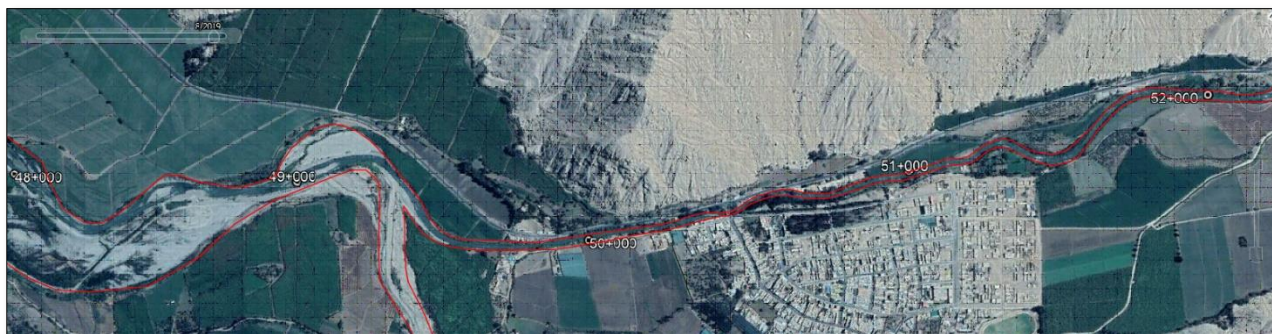


Ilustración 34 Geometría del cauce en marzo 2022 del km 48+000 al km 52+000
(Elaboración propia, 2022)



Como se observa en las imágenes se ratifica el tipo de río según Rosgen que corresponde a un río atrincherado. Además, se puede apreciar que el ancho promedio para el tramo de río de tipo G es 30 m (a la altura de la bocatoma Carquín-Paquete 4A), cabe mencionar que a la altura del dique MU-PR-01A-D (km 3+770) el río es de tipo D tal como se muestra en la **Ilustración 38** y a la altura de la zona de Sayán -Paquete 4B el río es de tipo G con un ancho promedio de 25 m.

La morfología de estos tramos no sufre variaciones significativas en épocas de crecidas, salvo en la zona de implantación del dique MU-PR-01A-D, además se puede observar la similitud del cauce en cada imagen mostradas líneas arriba. Por lo tanto, para definir la envolvente de inundaciones, se han tenido en cuenta tanto los procesos naturales acaecidos en el pasado, como las actuaciones antrópicas, cuya funcionalidad a de perdurar en el tiempo, limitando la zona de inundación, cortando consecuentemente el movimiento del río.

3.3.2 Morfología de la sección transversal

La forma de una sección transversal que variaría desde una corriente estrecha y profunda hasta una amplia y poco profunda puede ser inferida en este nivel general. La manera en que el cauce ha sido tallado en el valle también puede ser deducida en este nivel, así como la información concerniente a las llanuras de inundación, terrazas, taludes coluviales, características de control estructural, confinamiento (contención lateral), atrincheramiento (contención vertical) y las dimensiones del valle versus el cauce.

De acuerdo con la clasificación de tipos de ríos según Rosgen, la mayor parte del tramo del río Huaura estudiado se encuentra clasificado en el tipo G.

3.3.2.1 Ancho de cauce

El ancho de cauce del tramo al cual corresponde al tipo G no sufre variaciones significativas a lo largo del tiempo, esto debido a que en estos tramos el río se presenta de manera encajonada presentando mayores cotas de agua en máximas avenidas. Los procesos erosivos y los procesos de sedimentación que se dan constantemente afectan directamente en los niveles de agua.

En las secciones mostradas se presenta el nivel de agua dado por la descarga máxima del banco, así como su ancho y el estimado del tirante máximo de avenidas y su ancho de inundación.

Ilustración 35 Sección transversal de topografía del río Huaura en la progresiva 3+125 correspondiente al tipo G
(Elaboración propia)

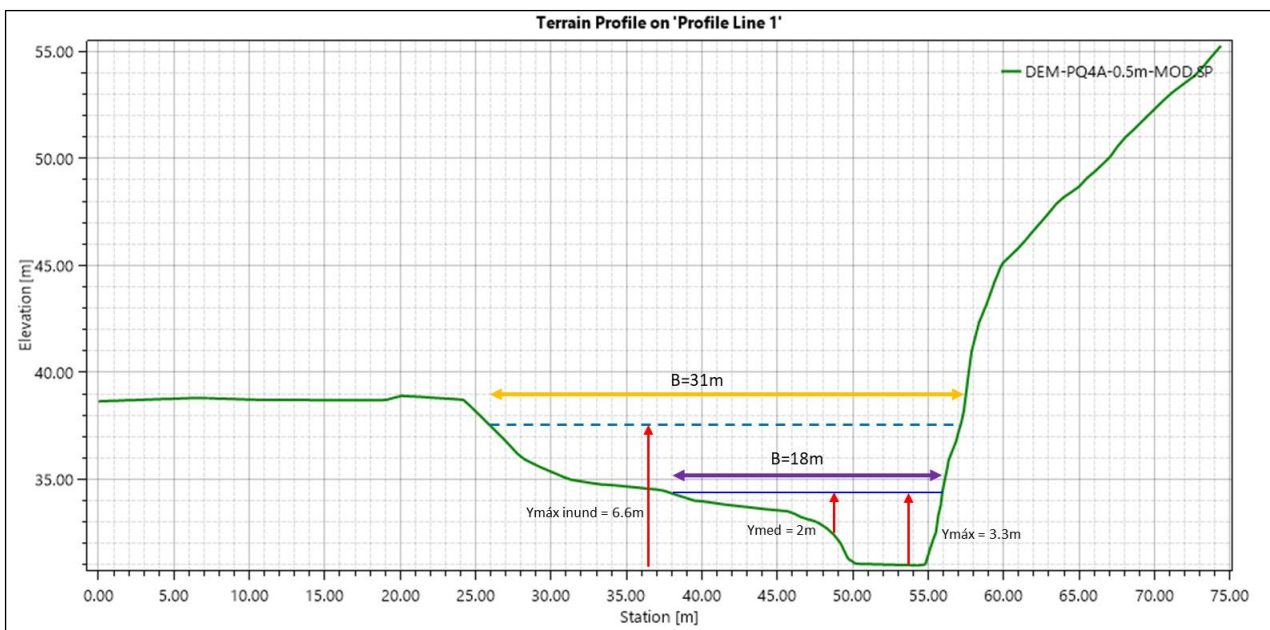


Ilustración 36 Sección transversal de topografía del río Huaura en la progresiva 3+300 correspondiente al tipo G
(Elaboración propia)

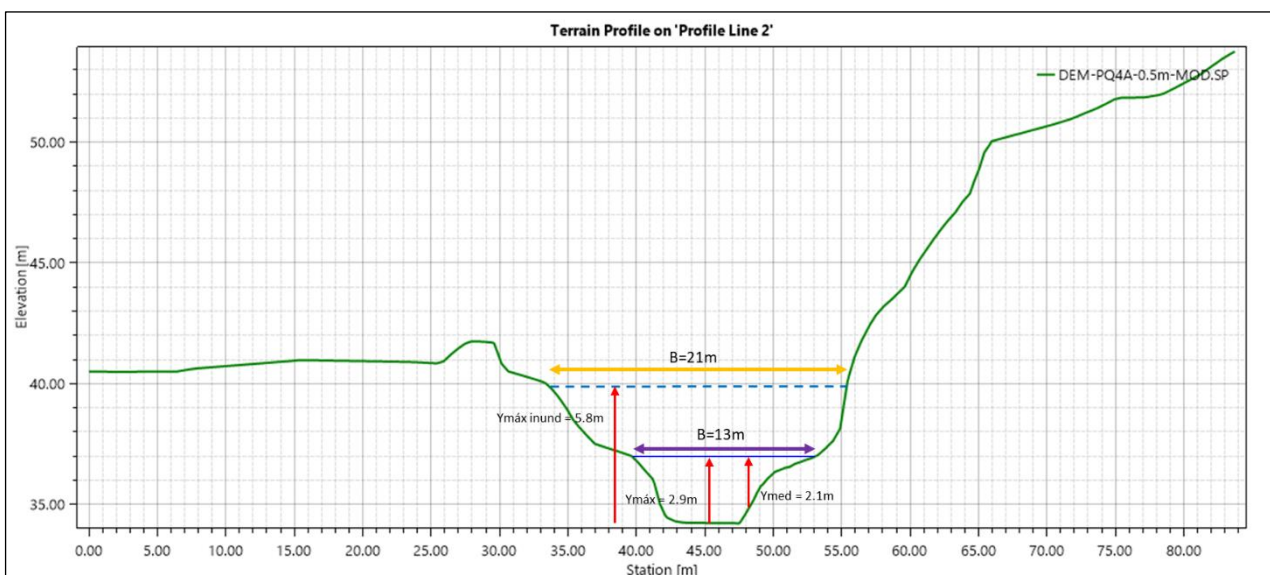


Ilustración 37 Sección transversal de topografía del río Huaura en la progresiva 3+650 correspondiente al tipo G
(Elaboración propia)

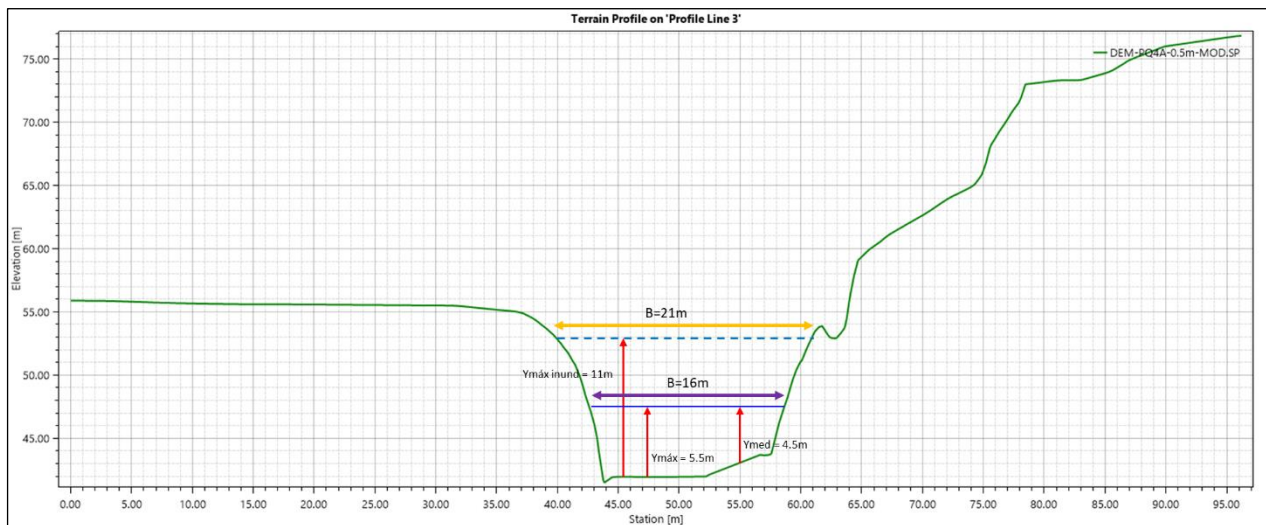


Ilustración 38 Sección transversal de topografía del río Huaura en la progresiva 3+770 correspondiente al tipo D
(Elaboración propia)

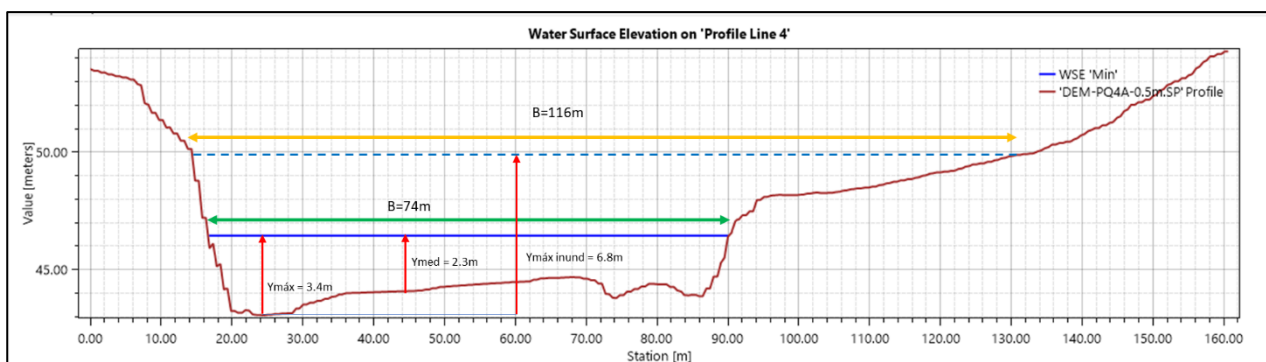


Ilustración 39 Sección transversal de topografía del río Huaura en la progresiva 49+675 correspondiente al tipo G
(Elaboración propia)

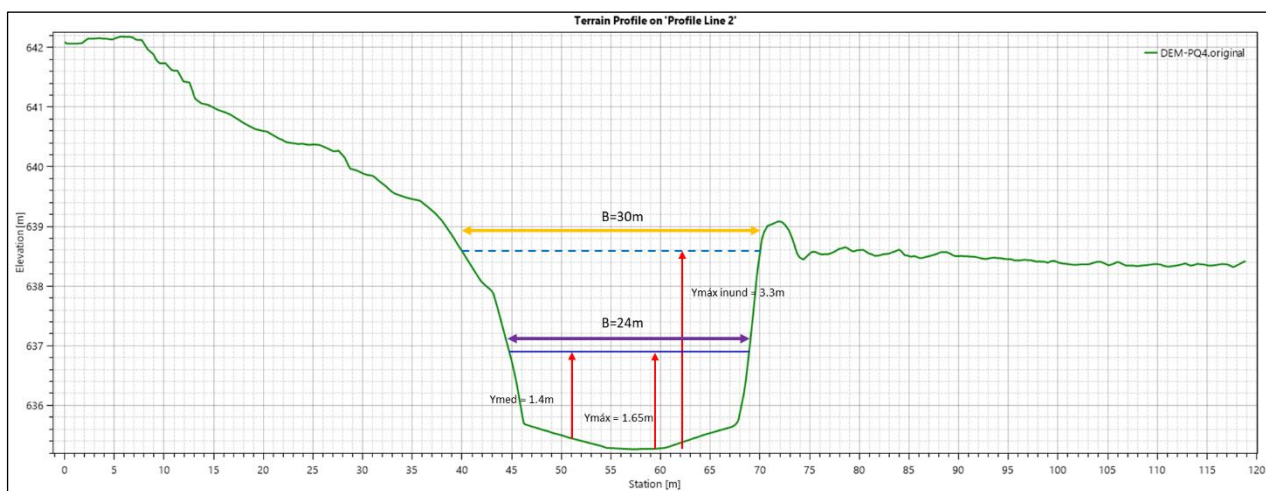


Ilustración 40 Sección transversal de topografía del río Huaura en la progresiva 50+300 correspondiente al tipo G
(Elaboración propia)

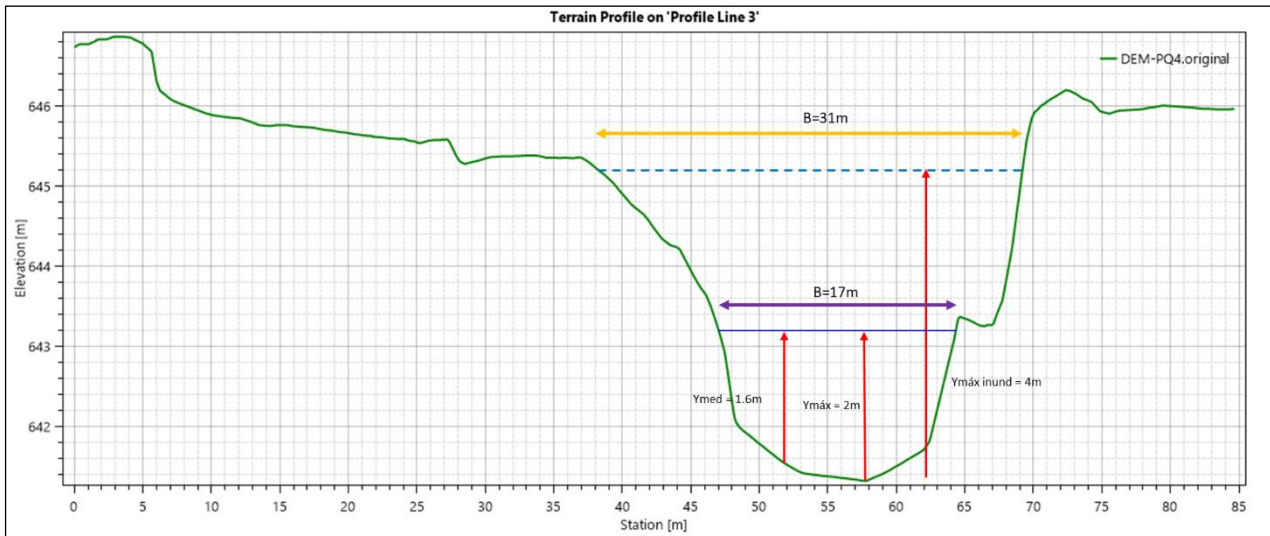
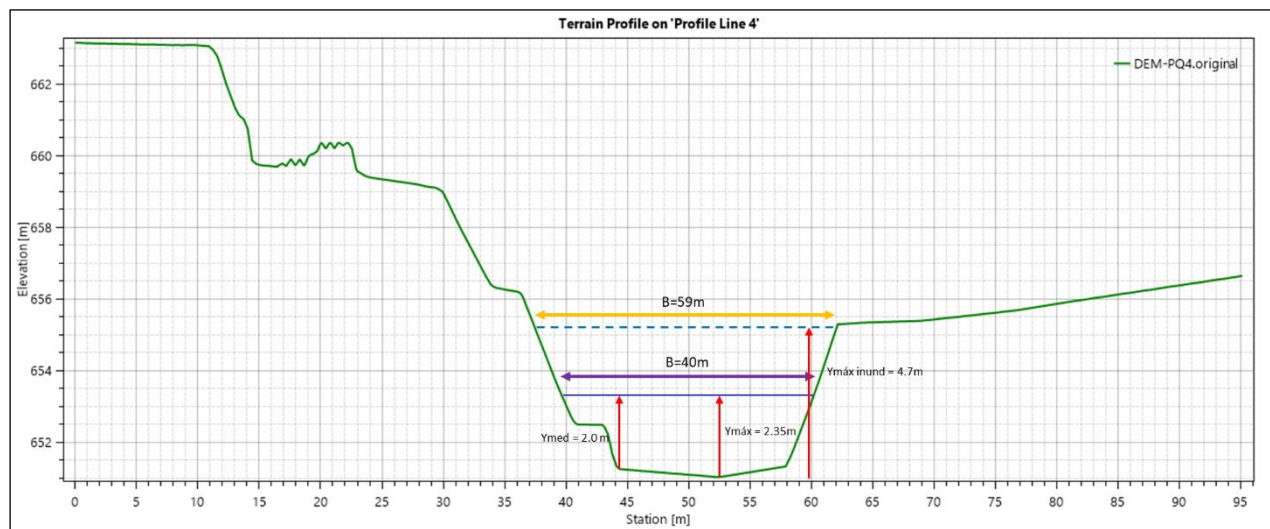


Ilustración 41 Sección transversal de topografía del río Huaura en la progresiva 51+100 correspondiente al tipo G
(Elaboración propia)



3.3.2.2 Relación de atrincheramiento

El término "relación de atrincheramiento", es la contención vertical del río, se ha definido cuantitativamente (Rosgen 1994) un método consistente para la determinación del campo. La relación de atrincheramiento es la relación entre el ancho del área propensa a inundaciones y el ancho de la superficie del canal lleno del banco. El ancho del área propensa a inundaciones se mide a la elevación que corresponde al doble de la profundidad máxima del canal lleno del banco como se toma de la etapa de llenado del banco establecida.

Para los tipos de corrientes que solo están ligeramente atrincheradas (por ejemplo, los tipos de corrientes "C", "D", "DA" y "E"), la relación de flujos entre las riberas y llanuras de inundación no son muy superiores.

En el tramo 1, tramo 3 y tramo 4 analizado la relación de atrincheramiento es mayor a 2.2, que indica sólo ligero atrincheramiento en una llanura de inundación bien desarrollada, mismo que coincide con la clasificación de tipo D.

En el tramo 2 la relación de atrincheramiento es menor a 1.2, que indica que esta parte del río es atrincherado, estos tipos de río tienen altas velocidades de erosión en las orillas y un alto suministro de sedimentos, sin embargo, este tramo en el río Huaura está ubicado en un lecho rocoso por lo que no existe riesgo de que el cauce sufra alteraciones (se atrinchiere más).

3.3.2.3 Relación de ancho profundidad

La relación anchura/profundidad (W/D) se define como la relación entre la anchura de la superficie del banco y la profundidad media del canal de la superficie del banco. La relación ancho/profundidad es clave para comprender la distribución de la energía disponible dentro de un canal y la capacidad de varias descargas que ocurren dentro del canal para mover sedimentos. De los criterios de Nivel II, la relación W/D es el indicador más sensible y positivo de las tendencias en la inestabilidad del canal.

Las relaciones anchura/profundidad deben determinarse en los alcances de referencia seleccionados utilizando los mismos criterios para determinar los indicadores de la descarga completa del banco. Es decir, el alcance seleccionado debe ser libre de ajustar sus límites en respuesta a flujos frecuentes y no debe tener una deposición excesiva, ni constricciones. Siempre que sea posible, debe establecerse al menos una o más secciones transversales permanentes para permitir la re-explotación, de modo que los cambios en el estado o la estabilidad de una corriente puedan determinarse de manera efectiva.

La relación ancho profundidad en los tramos 1, 3 y 4 se encuentran valores superiores a 40, lo que es indicativo de grandes anchos y pocas profundidades correspondientes a los ríos de tipo D, en este tipo de ríos el esfuerzo cortante sobre los bancos es mayor, por consiguiente, tiene un proceso de erosión acelerada sobre las márgenes, así mismo la relación para el tramo 2 se encuentra valores menores a 12, lo que es un indicativo que sea inestable, con problemas de control de la pendiente y altas velocidades de erosión en las orillas, sin embargo, al encontrarse en una formación rocosa no se apreciarían los fenómenos descritos asociado a este tipo de ríos (Tipo G).

3.3.3 Morfología del perfil del cauce

La pendiente de la superficie del agua es un determinante importante de la morfología del canal del río y de las funciones sedimentarias, hidráulicas y biológicas relacionadas. La pendiente de la superficie del agua se determina a lo largo del perfil longitudinal del canal midiendo la diferencia en la elevación de la superficie del agua por unidad de longitud de corriente.

Las pendientes del tramo de estudio del paquete 4A y 4B han sido medidas a lo largo del eje del Talweg usando herramientas de sistemas de información geográfica, quedando establecido para el paquete 4A en un valor promedio de 0.009 m/m para el tramo 1, 0.014 m/m para el tramo 2, 0.012 m/m para el tramo 3, tal como se ve en la Ilustración 42 y de 0.015 m/m para el tramo 1, 0.012 m/m para el tramo 2, tal como se ve

en la Ilustración 43. Estos valores de pendiente han sido estimados empleando la batimetría de la fase RIBA 4 del proyecto.

Ilustración 42 Perfil longitudinal del tramo de estudio Paquete 4A

(Elaboración propia, 2022)

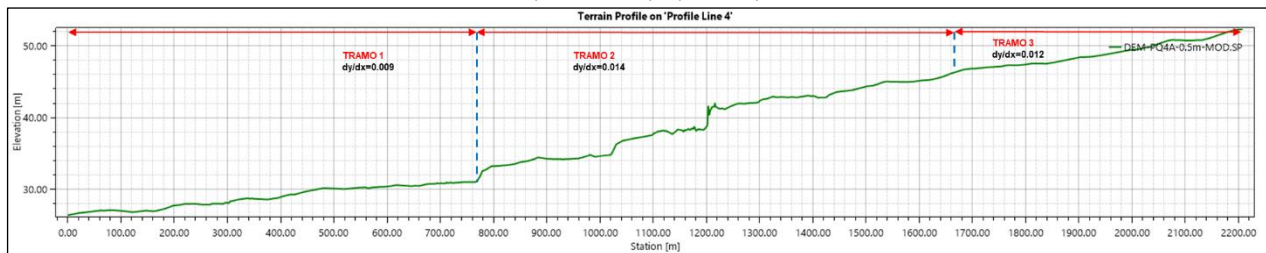
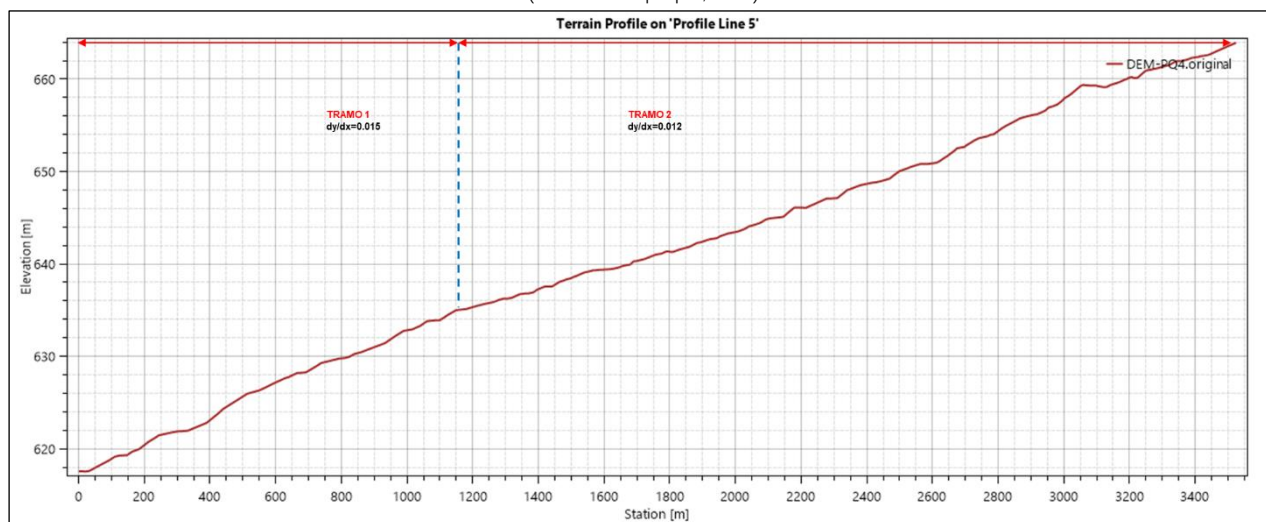


Ilustración 43 Perfil longitudinal del tramo de estudio Paquete 4B

(Elaboración propia, 2022)



3.3.4 Material del cauce

Los materiales del lecho y de las márgenes del río no sólo son críticos para el transporte de sedimentos y el comportamiento hidráulico, sino que también modifican la forma, planta y perfil del río.

A menudo un buen trabajo de reconocimiento de suelos asociado con los relieves o morfología del terreno puede predecir los materiales del cauce en el nivel de descripción general.

El tamaño dominante de las partículas es identificado en la curva granulométrica, como el tamaño medio de los materiales del cauce, o aquel tamaño para el cual el 50% de las partículas es igual o más fino (D50). La distribución de porcentajes mostrados en la Ilustración 44, es utilizada a menudo para detectar distribuciones bimodales que pueden estar escondidas en las curvas de porcentajes acumulados. Estos datos son empleados en la evaluación biológica, cálculo del transporte de sedimentos y otras aplicaciones.

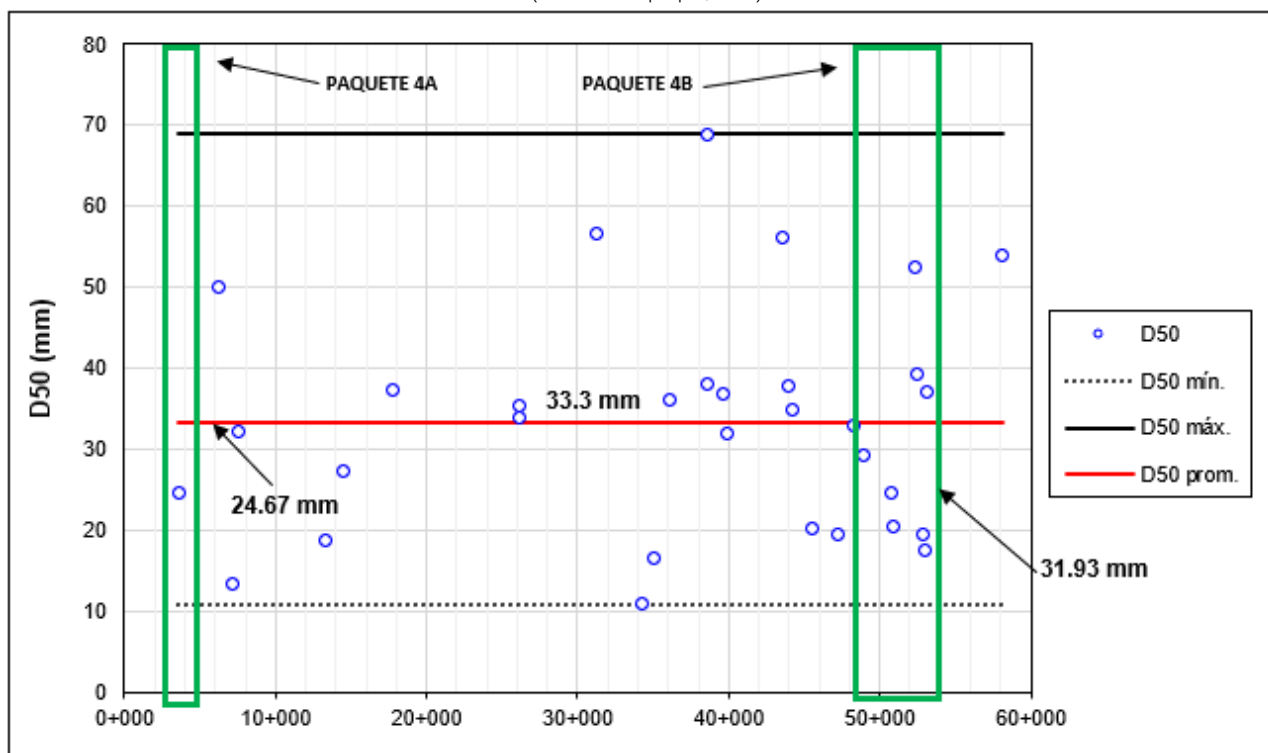
Basado en el tamaño del D50, el material del cauce es clasificado en una de las seis categorías de tamaño de partículas:

Tabla 7 Clasificación de tamaño de partículas
(National Engineering Handbook)

Nombre	Tamaño de partículas (mm)
Roca madre	Mayor a 2048
Canto rodado	De 256 a 2047.9
Roca fragmentada	De 64 a 255.9
Grava	De 2 a 63.9
Arena	De 0.062 a 1.99
Limo/Arcilla	Menor a 0.062

Para el estudio se tomaron las muestras del lecho del río en la época de vaciante, en las que se analizaron obteniéndose en resumen de los diámetros de las partículas en diferentes progresivas a lo largo del río.

Ilustración 44: Distribución del D50 del lecho del río a lo largo del Huaura
(Elaboración propia, 2022)



En el tramo correspondiente al Paquete 4A, el D50 se encuentra alrededor de 24.67mm y para el Paquete 4B, el D50 es de 31.93mm, además analizando las curvas granulométricas correspondiente a estos sectores se puede evidenciar que el material predominante son las gravas (aproximadamente 60%) que van desde finas hasta gruesas.

3.3.5 Resumen del análisis a Nivel II

- De acuerdo con el análisis del nivel II y las mediciones definidas en los ítems anteriores se corrobora el tipo de clasificación del río, en los tramos donde se implantará el Paquete 4A y 4B, siendo predominantemente este el tipo G.

Tabla 8 Resumen de resultados por tramos del río Huaura Paquete 4A para la clasificación de tipo de río
(Elaboración propia, 2022)

Tramo	Longitud eje (m)	Longitud tramos rectos	Longitud eje / recto	Pendiente (m/m)	Pendiente (%)	Ancho promedio (m)	Tirante promedio (m)	Anchura / calado	Tipo de río según Rosgen
1	700	696	1.00	0.009	0.9%	25	2.5	10	G
2	900	807	1.10	0.014	1.4%	30	2.60	11.5	G
3	600	589	1.02	0.012	1.2%	80	0.80	85.5	D

Tabla 9 Resumen de resultados por tramos del río Huaura Paquete 4B para la clasificación de tipo de río
(Elaboración propia, 2022)

Tramo	Longitud eje (m)	Longitud tramos rectos	Longitud eje / recto	Pendiente (m/m)	Pendiente (%)	Ancho promedio (m)	Tirante promedio (m)	Anchura / calado	Tipo de río según Rosgen
1	1150	1000	1.15	0.015	1.5%	90	2	45	D
2	2350	2262	1.03	0.012	1.2%	30	4	7.5	G

- La clasificación tipo "D" está configurado de manera única como un sistema de canales múltiples que exhibe un patrón trenzado o de barras trenzadas con una relación ancho/profundidad del canal muy alto y una pendiente del canal generalmente igual a la pendiente del valle correspondiente. Los canales de corriente tipo "D" se encuentran en accidentes geográficos y tipos de valles relacionados que consisten en abanicos de depósito empinados, valles glaciares empinados, valles de inundación glaciaria, amplios valles montañosos aluviales y deltas. Si bien los tipos de arroyos "D" muy anchos y poco profundos no tienen una incisión profunda, pueden estar contenidos lateralmente en valles más estrechos o confinados. Las tasas de erosión de los bancos son característicamente altas y las proporciones de ancho de los meandros son muy bajas. El suministro de sedimentos es generalmente ilimitado y las características del lecho son el resultado de un proceso de convergencia/divergencia de la socavación local del lecho y la deposición de sedimentos. Las características de múltiples canales se muestran como una serie de varios tipos de barras e islas sin vegetación que cambian de posición con frecuencia durante los eventos de escorrentía. Los ajustes en los patrones de los canales pueden iniciarse con cambios naturales o impuestos en las condiciones de la forma de relieve circundante, el área de la cuenca contribuyente o el sistema de canales existente. La agregación y la extensión lateral son procesos dominantes de ajuste del canal que ocurren dentro de una variedad de paisajes, desde el desierto hasta las llanuras glaciares. Por lo general, el régimen de escorrentía es "llamativo", especialmente en paisajes áridos

con extremos de etapa muy variables que ocurren anualmente, lo que genera un suministro de sedimentos muy alto. Los patrones de canales trenzados se pueden encontrar desarrollándose en materiales muy gruesos ubicados en valles con pendientes moderadamente empinadas, a muy anchas, planas, valles de bajo gradiente que contienen materiales más finos.

- La clasificación tipo "G" o "barranco" es un canal escalonado/de pozo, estrecho y profundo, con una sinuosidad de baja a moderada. Las pendientes del canal son generalmente superiores a 0.02 m/m, aunque los canales "G" pueden estar asociados a pendientes más suaves cuando se producen como barrancos "descendentes" en praderas. Los canales del tipo "G" se encuentran en una variedad de tipos de terreno que incluyen abanicos aluviales, conos de escombros, praderas o canales más antiguos. La "zanja de cabeza de abanico", que es una característica del canal profundamente inciso en los abanicos aluviales, es típica de los canales de tipo "G". Con la excepción de los canales que contienen materiales de roca y cantos rodados, los tipos de arroyos "G" tienen tasas de erosión de las orillas muy altas y un alto suministro de sedimentos, con pendientes de moderadas a empinadas, una baja relación anchura/profundidad del canal y un alto suministro de sedimentos, este genera altas tasas de transporte de sedimentos suspendidos y de carga de suspensión.
- De la clasificación nivel II e Ilustración 22, los tramos 1, 2 del Paquete 4A se encuentra predominantemente en el nivel G4c, es decir la pendiente se encuentra en el orden menores a 0.02 m/m, la relación ancho/profundidad menor a 12 y el D50 en 24.67mm correspondiente a un cauce donde predominan las gravas.
- De la clasificación nivel II e Ilustración 22, el tramo 3 del Paquete 4A se encuentra en el nivel D4, es decir la pendiente se encuentra en el orden de 0.001 m/m a 0.02 m/m, la relación ancho/profundidad mayor a 40 y el D50 en 24.67 mm correspondiente a un cauce donde predominan las gravas.
- De la clasificación nivel II e Ilustración 22, el tramo 1 del Paquete 4B se encuentra en el nivel D4, es decir la pendiente se encuentra en el orden de 0.001 m/m a 0.02 m/m, la relación ancho/profundidad mayor a 40 y el D50 en 31.93 mm correspondiente a un cauce donde predominan las gravas.
- De la clasificación nivel II e Ilustración 22, el tramo 2 del Paquete 4B se encuentra predominantemente en el nivel G4c, es decir la pendiente se encuentra en el orden menores a 0.02 m/m, la relación ancho/profundidad menor a 12 y el D50 en 31.93 mm correspondiente a un cauce donde predominan las gravas.
- Se recomienda el control de la erosión en las márgenes mediante la implantación de vegetación.

4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Se ha realizado el estudio de hidráulica fluvial conforme la metodología planteada por Rosgen, para el río Huaura entre la desembocadura y el km 60 (altura de Sayán) se caracterizó a Nivel I y para el tramo del Paquete 4A y 4B a Nivel II.

- Los tramos 1 y 2 concerniente al Paquete 4A (ver **Ilustración 42**) como el tramo 2 del Paquete 4B (ver **Ilustración 43**) se ha definido que se encuentran en un sector donde el río es tipo G, con relaciones de ancho/profundidades menores a 12 que no indica inestabilidad del cauce, es decir los brazos del río no varían con cada evento de crecida.
- El tramo 3 concerniente al Paquete 4A (ver **Ilustración 42**) como el tramo 1 del Paquete 4B (ver **Ilustración 43**) se ha definido que se encuentran en un sector donde el río es tipo A, con relaciones de ancho/profundidades mayores a 40 que indica inestabilidad del cauce, es decir los brazos del río pueden variar con cada evento de crecida.
- La implantación del muro del Paquete 4A MU-PR-02-I dado su conceptualización (Naturalización) no afecta la morfología del río debido a su implantación alejados del cauce principal.
- La implantación del dique del Paquete 4A MU-PR-01A-D afecta la morfología del río debido a su implantación cercana al cauce principal.
- La implantación de los diques del Paquete 4B DI-PR-61B-D y el muro DI-PR-52BIS-D dado su conceptualización (Naturalización) no afectarán la morfología del río debido a su implantación alejados del cauce principal.
- La implantación de los muros del Paquete 4B MU-PR-53A-D, MU-PR-54A-I, MU-PR-53B-D, MU-PR-54B-I DI-PR-57-I, DI-PR-59-I, DI-PR-61BIS-D, los enrocados DI-PR-61A-D, DI-PR-58B-D y diques DI-PR-58C-I, DE-PR-59-D afectan la morfología del río dado que se realiza una limpieza de cauce.