



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA**



---

**INFORME N° 01-2024-UNACH/UI/MAST**

**A** : **Dr. Ing. Elmer Natividad Chávez Vásquez.**  
Presidente del jurado de tesis FCI-UNACH.

**ASUNTO** : Constancia de Originalidad de Turnitin de ENNIN DELGADO IRIGOÍN.

**FECHA** : Colpa Matara, 04 de enero del 2024.

**REFERENCIA:** i) Envío de tesis en digital en su versión final  
ii) CARTA N° 01 - 2024 - EPIC - UNACH/ENCHV / conformidad por parte del presidente del jurado de tesis.  
iii) INFORME N° 046-2023-UNACH/MGHT / Conformidad por parte del secretario del jurado de tesis.  
iv) Carta N° 037-2023- CRCR-EPIC/UNACH / Conformidad por parte del vocal del jurado de tesis

---

De mi mayor consideración

Es grato dirigirme a Usted para expresar mi saludo, y a la vez alcanzar la constancia de originalidad de TURNITIN de la tesis denominada: **“INFLUENCIA DE LOS PARÁMETROS HIDROLÓGICOS Y GEOMORFOLÓGICOS DE LA QUEBRADA LA POTRERA EN LA SOCAVACIÓN LOCAL DEL PUENTE COLPAMAYO, CHOTA, 2021”**, elaborado por el bachiller en ingeniería civil **ENNIN DELGADO IRIGOÍN**, para continuar con sus trámites ante la UNACH.

Sin otro particular, es propicia la ocasión para reiterarle las muestras de mi distinguida consideración y estima.

Atentamente,



Miguel Ángel SILVA TARRILLO  
INGENIERO CIVIL  
N° 187732

---

Ing. Miguel Ángel Silva Tarrillo  
Jefe de la unidad de investigación  
FCI-UNACH

CC.

Archivo

Adjunto:

- 1) Constancia de originalidad.
- 2) Reporte TURNITIN



Colpa Matara, 04 de enero del 2024.

C.O. N° 01-2024-UI-EPIC

### CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD

El que suscribe, Jefe de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de Chota, hace constar que el Informe Final de Tesis titulado: **“INFLUENCIA DE LOS PARÁMETROS HIDROLÓGICOS Y GEOMORFOLÓGICOS DE LA QUEBRADA LA POTRERA EN LA SOCAVACIÓN LOCAL DEL PUENTE COLPAMAYO, CHOTA, 2021”**, elaborado por el bachiller en ingeniería civil: **ENNIN DELGADO IRIGOÍN**, para optar el Título Profesional de ingeniero civil, presenta un índice de similitud de 17% excluyendo citas, bibliografía y fuentes que tengan menos de 10 palabras; por lo tanto, cumple con los criterios de evaluación de originalidad establecidos en el acápite g) del artículo 20 del Reglamento de Grados y Títulos UNACH, aprobado mediante la Resolución C.O. N° 120-2022-UNACH con fecha de 03 de marzo de 2022.

Se expide la presente, en conformidad a la directiva antes mencionada, para los fines que estime pertinentes.

  
Miguel Ángel SILVA TARRILLO  
INGENIERO CIVIL

Ing. Miguel Ángel Silva Tarrillo  
Jefe de la unidad de investigación  
FCI-UNACH

# Influencia de los parámetros hidrológicos y geomorfológicos de la quebrada La Potrera en la socavación local del Puente Colpamayo, Chota, 2021

## INFORME DE ORIGINALIDAD



## FUENTES PRIMARIAS

|   |   |    |
|---|---|----|
| 1 | <a href="https://hdl.handle.net">hdl.handle.net</a><br>Fuente de Internet                             | 3% |
| 2 | <a href="https://repositorio.unc.edu.pe">repositorio.unc.edu.pe</a><br>Fuente de Internet             | 1% |
| 3 | <a href="https://www.repositorio.unach.edu.pe">www.repositorio.unach.edu.pe</a><br>Fuente de Internet | 1% |
| 4 | <a href="https://pdfs.semanticscholar.org">pdfs.semanticscholar.org</a><br>Fuente de Internet         | 1% |
| 5 | <a href="https://upc.aws.openrepository.com">upc.aws.openrepository.com</a><br>Fuente de Internet     | 1% |
| 6 | Submitted to Universidad Nacional Autonoma de Chota<br>Trabajo del estudiante                         | 1% |
| 7 | Submitted to Universidad Andina Nestor Caceres Velasquez<br>Trabajo del estudiante                    | 1% |
| 8 | <a href="https://repositorio.upao.edu.pe">repositorio.upao.edu.pe</a>                                 |    |

---

Fuente de Internet

1 %

---

9

[repositorio.unasam.edu.pe](https://repositorio.unasam.edu.pe)

Fuente de Internet

<1 %

---

10

[1library.co](https://1library.co)

Fuente de Internet

<1 %

---

11

[portal.unach.edu.pe](https://portal.unach.edu.pe)

Fuente de Internet

<1 %

---

12

[repositorio.lamolina.edu.pe](https://repositorio.lamolina.edu.pe)

Fuente de Internet

<1 %

---

13

[repositorio.ucv.edu.pe](https://repositorio.ucv.edu.pe)

Fuente de Internet

<1 %

---

14

[www.scielo.org.mx](https://www.scielo.org.mx)

Fuente de Internet

<1 %

---

15

[repositorio.unesum.edu.ec](https://repositorio.unesum.edu.ec)

Fuente de Internet

<1 %

---

16

[repositorio.unach.edu.pe](https://repositorio.unach.edu.pe)

Fuente de Internet

<1 %

---

17

[repositorio.unheval.edu.pe](https://repositorio.unheval.edu.pe)

Fuente de Internet

<1 %

---

18

Submitted to Universidad de Guayaquil

Trabajo del estudiante

<1 %

---

19

[es.scribd.com](https://es.scribd.com)

Fuente de Internet

<1 %

---



|    |  |      |
|----|--|------|
| 20 | <a href="http://cybertesis.unmsm.edu.pe">cybertesis.unmsm.edu.pe</a><br>Fuente de Internet         | <1 % |
| 21 | <a href="http://repositorio.urp.edu.pe">repositorio.urp.edu.pe</a><br>Fuente de Internet           | <1 % |
| 22 | <a href="http://www.tdx.cat">www.tdx.cat</a><br>Fuente de Internet                                 | <1 % |
| 23 | <a href="http://repository.ucatolica.edu.co">repository.ucatolica.edu.co</a><br>Fuente de Internet | <1 % |
| 24 | <a href="http://docplayer.es">docplayer.es</a><br>Fuente de Internet                               | <1 % |
| 25 | <a href="http://www.scribd.com">www.scribd.com</a><br>Fuente de Internet                           | <1 % |
| 26 | <a href="http://repositorio.unprg.edu.pe">repositorio.unprg.edu.pe</a><br>Fuente de Internet       | <1 % |
| 27 | <a href="http://www.dspace.uce.edu.ec">www.dspace.uce.edu.ec</a><br>Fuente de Internet             | <1 % |
| 28 | <a href="http://repositorio.untumbes.edu.pe">repositorio.untumbes.edu.pe</a><br>Fuente de Internet | <1 % |
| 29 | Submitted to Escuela Superior Politécnica del Litoral<br>Trabajo del estudiante                    | <1 % |
| 30 | <a href="http://rdi.uncoma.edu.ar">rdi.uncoma.edu.ar</a><br>Fuente de Internet                     | <1 % |
| 31 | <a href="http://repositorio.unap.edu.pe">repositorio.unap.edu.pe</a>                               |      |

Fuente de Internet

<1 %

32

[repositorio.unal.edu.co](https://repositorio.unal.edu.co)

Fuente de Internet

<1 %

33

Submitted to unasam

Trabajo del estudiante

<1 %

34

[doczz.es](https://doczz.es)

Fuente de Internet

<1 %

35

[repositorio.udh.edu.pe](https://repositorio.udh.edu.pe)

Fuente de Internet

<1 %

36

Submitted to Universidad Nacional de San  
Cristóbal de Huamanga

Trabajo del estudiante

<1 %

37

EQUILIBRIO AMBIENTAL S.A.C.. "DIA de  
Uncapampa-IGA0013803", R.D.G. N° 038-  
2015-MINAGRI-DVDIAR-DGAAA, 2021

Publicación

<1 %

38

[www.academia.edu](https://www.academia.edu)

Fuente de Internet

<1 %

39

[dspace.unitru.edu.pe](https://dspace.unitru.edu.pe)

Fuente de Internet

<1 %

40

Submitted to Webster University

Trabajo del estudiante

<1 %

41

[renati.sunedu.gob.pe](https://renati.sunedu.gob.pe)

Fuente de Internet

<1 %

|    |   |      |
|----|---|------|
| 42 | <a href="https://dspace.ueb.edu.ec">dspace.ueb.edu.ec</a><br>Fuente de Internet                     | <1 % |
| 43 | <a href="https://repositoriodigital.ucsc.cl">repositoriodigital.ucsc.cl</a><br>Fuente de Internet   | <1 % |
| 44 | <a href="https://www.slideshare.net">www.slideshare.net</a><br>Fuente de Internet                   | <1 % |
| 45 | <a href="https://www.thermal-engineering.org">www.thermal-engineering.org</a><br>Fuente de Internet | <1 % |
| 46 | <a href="https://alicia.concytec.gob.pe">alicia.concytec.gob.pe</a><br>Fuente de Internet           | <1 % |
| 47 | Submitted to Universidad Cooperativa de Colombia<br>Trabajo del estudiante                          | <1 % |
| 48 | <a href="https://crc.gov.co">crc.gov.co</a><br>Fuente de Internet                                   | <1 % |
| 49 | <a href="https://www.fic.umich.mx">www.fic.umich.mx</a><br>Fuente de Internet                       | <1 % |
| 50 | <a href="https://www.fceia.unr.edu.ar">www.fceia.unr.edu.ar</a><br>Fuente de Internet               | <1 % |
| 51 | Submitted to Pontificia Universidad Católica del Ecuador - PUCE<br>Trabajo del estudiante           | <1 % |
| 52 | <a href="https://llamkasun.unat.edu.pe">llamkasun.unat.edu.pe</a><br>Fuente de Internet             | <1 % |

|    |  |      |
|----|--|------|
| 53 | <a href="http://repositorio.ug.edu.ec">repositorio.ug.edu.ec</a><br>Fuente de Internet               | <1 % |
| 54 | <a href="http://www.epn.edu.ec">www.epn.edu.ec</a><br>Fuente de Internet                             | <1 % |
| 55 | Submitted to Universidad de Cantabria<br>Trabajo del estudiante                                      | <1 % |
| 56 | <a href="http://oa.upm.es">oa.upm.es</a><br>Fuente de Internet                                       | <1 % |
| 57 | <a href="http://repositorio.uteq.edu.ec">repositorio.uteq.edu.ec</a><br>Fuente de Internet           | <1 % |
| 58 | <a href="http://ribuni.uni.edu.ni">ribuni.uni.edu.ni</a><br>Fuente de Internet                       | <1 % |
| 59 | <a href="http://tesis.pucp.edu.pe">tesis.pucp.edu.pe</a><br>Fuente de Internet                       | <1 % |
| 60 | <a href="http://uvadoc.uva.es">uvadoc.uva.es</a><br>Fuente de Internet                               | <1 % |
| 61 | <a href="http://dspace.ucuenca.edu.ec">dspace.ucuenca.edu.ec</a><br>Fuente de Internet               | <1 % |
| 62 | <a href="http://horizon.documentation.ird.fr">horizon.documentation.ird.fr</a><br>Fuente de Internet | <1 % |
| 63 | <a href="http://repositorio.uncp.edu.pe">repositorio.uncp.edu.pe</a><br>Fuente de Internet           | <1 % |
| 64 | <a href="http://repositorio.unu.edu.pe">repositorio.unu.edu.pe</a><br>Fuente de Internet             | <1 % |

65

[repositorio.uss.edu.pe](https://repositorio.uss.edu.pe)

Fuente de Internet

<1 %

66

"Encyclopedic Dictionary of Landscape and Urban Planning", Springer Nature, 2010

Publicación

<1 %

67

Submitted to Submitted on 1690860803385

Trabajo del estudiante

<1 %

68

Submitted to Universidad Central de Colombia

Trabajo del estudiante

<1 %

69

[www.senace.gob.pe](http://www.senace.gob.pe)

Fuente de Internet

<1 %

70

Submitted to University of Arizona Global Campus (UAGC)

Trabajo del estudiante

<1 %

71

[kupdf.net](http://kupdf.net)

Fuente de Internet

<1 %

72

[repositorio.unh.edu.pe](https://repositorio.unh.edu.pe)

Fuente de Internet

<1 %

73

[repositorio.upn.edu.pe](https://repositorio.upn.edu.pe)

Fuente de Internet

<1 %

74

[tesis.usat.edu.pe](https://tesis.usat.edu.pe)

Fuente de Internet

<1 %

75

[www.unesco.org](http://www.unesco.org)

Fuente de Internet

<1 %

|    |  |      |
|----|--|------|
| 76 | <a href="http://girh-tdps.com">girh-tdps.com</a><br>Fuente de Internet   | <1 % |
| 77 | <a href="http://monsanto.es">monsanto.es</a><br>Fuente de Internet   | <1 % |
| 78 | <a href="http://repositorio.senamhi.gob.pe">repositorio.senamhi.gob.pe</a><br>Fuente de Internet   | <1 % |
| 79 | ITALPCER INGENIERIA Y MEDIO AMBIENTE SOCIEDAD ANONIMA CERRADA. "Informe de Gestión Ambiental del Proyecto Instalación y Represamiento de la Laguna Estanco y Sistema de Riego por Aspersión en las Comunidades Campesinas de San Pedro de Racco - Quiulacocha. Distrito de Simón Bolívar - Pasco - Pasco-IGA0013828", R.D.G. N° 121-2018-MINAGRI-DVDIAR-DGAAA, 2021<br>Publicación | <1 % |
| 80 | Submitted to Universidad Pontificia Bolivariana<br>Trabajo del estudiante  | <1 % |
| 81 | Submitted to Universidad Privada Antenor Orrego<br>Trabajo del estudiante  | <1 % |
| 82 | Submitted to Universidad Ricardo Palma<br>Trabajo del estudiante   | <1 % |
| 83 | <a href="http://shaker.umh.es">shaker.umh.es</a><br>Fuente de Internet   | <1 % |

|    |   |      |
|----|---|------|
| 84 | <a href="http://www.redalyc.org">www.redalyc.org</a><br>Fuente de Internet  | <1 % |
| 85 | <a href="http://catalonica.bnc.cat">catalonica.bnc.cat</a><br>Fuente de Internet  | <1 % |
| 86 | <a href="http://fdocuments.ec">fdocuments.ec</a><br>Fuente de Internet  | <1 % |
| 87 | <a href="http://www.ceselmed.com">www.ceselmed.com</a><br>Fuente de Internet  | <1 % |
| 88 | <a href="http://www.serex.gov.do">www.serex.gov.do</a><br>Fuente de Internet  | <1 % |
| 89 | CESEL S A. "EIA-SD del Proyecto Línea de Transmisión en 220 kV S.E. Carabayllo - S.E. Nueva Jicamarca-IGA0003081", R.D. N° 352-2013-MEM/AE, 2020<br>Publicación | <1 % |
| 90 | Submitted to Universidad de Piura<br>Trabajo del estudiante   | <1 % |
| 91 | <a href="http://core.ac.uk">core.ac.uk</a><br>Fuente de Internet  | <1 % |
| 92 | <a href="http://ewh.ieee.org">ewh.ieee.org</a><br>Fuente de Internet  | <1 % |
| 93 | <a href="http://idus.us.es">idus.us.es</a><br>Fuente de Internet  | <1 % |
| 94 | <a href="http://prezi.com">prezi.com</a><br>Fuente de Internet  | <1 % |

---

|     |  |      |
|-----|--|------|
| 95  | <a href="http://purl.org">purl.org</a><br>Fuente de Internet                               | <1 % |
| 96  | <a href="http://repositorio.unfv.edu.pe">repositorio.unfv.edu.pe</a><br>Fuente de Internet | <1 % |
| 97  | <a href="http://sites.google.com">sites.google.com</a><br>Fuente de Internet               | <1 % |
| 98  | <a href="http://www.bid.org.br">www.bid.org.br</a><br>Fuente de Internet                   | <1 % |
| 99  | <a href="http://www.coursehero.com">www.coursehero.com</a><br>Fuente de Internet           | <1 % |
| 100 | <a href="http://www.gravitystands.com">www.gravitystands.com</a><br>Fuente de Internet     | <1 % |
| 101 | <a href="http://zagan.unizar.es">zagan.unizar.es</a><br>Fuente de Internet                 | <1 % |

---

Excluir citas      Activo  
Excluir bibliografía      Activo

Excluir coincidencias < 10 words



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE  
CHOTA**

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**Influencia de los parámetros hidrológicos y geomorfológicos de la  
quebrada La Potrera en la socavación local del Puente Colpamayo,**

**Chota, 2021**

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

**Presentado por: ENNIN DELGADO IRIGOÍN**

**Asesor: Dr. LUIS ALBERTO ORBEGOSO NAVARRO**

**Chota – Perú**

**2024**



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA

"Un sueño hecho realidad"

## FORMATO DE AUTORIZACIÓN PARA PUBLICACIÓN DE TESIS Y TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN, PARA OPTAR GRADOS ACADÉMICOS Y TÍTULOS PROFESIONALES EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL DIGITAL – UNACH

### 1. DATOS DEL AUTOR:

Apellidos y nombres: Delgado Irigoín Ennin

Código del alumno: 2015052008

Correo electrónico: ennindelgado@gmail.com

Teléfono: 980251360

DNI: 47458074

### 2. MODALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN:

Trabajo de investigación

Trabajo de suficiencia profesional

Trabajo académico

Tesis

### 3. TÍTULO PROFESIONAL O GRADO ACADÉMICO:

Bachiller

Licenciado

Título

Magister

Segunda especialidad

Doctor

### 4. TÍTULO DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN:

Influencia de los parámetros hidrológicos y geomorfológicos de la quebrada La Potrera en la socavación local del Puente Colpamayo, Chota, 2021.

### 5. FACULTAD DE: Ciencias de la Ingeniería

### 6. ESCUELA PROFESIONAL DE: Ingeniería Civil

### 7. ASESOR:

Apellidos y Nombres: Dr. Orbegoso Navarro Luis Alberto

Teléfono: 939185560

Correo electrónico: laorbegoson@unach.gob.pe

D.N.I: 31664516

A través de este medio autorizo a la Universidad Nacional Autónoma de Chota publicar el trabajo de investigación en formato digital en el Repositorio Institucional Digital, Repositorio Nacional Digital de Acceso Libre (ALICIA) y el Registro Nacional de Trabajos de Investigación (RENATI).

Asimismo, por el presente dejo constancia que los documentos entregados a la UNACH, versión digital, son las versiones finales del trabajo sustentado y aprobado por el jurado y son de autoría del suscrito en estricto respeto de la legislación en materia de propiedad intelectual.

Ennin Delgado Irigoín

DNI.47458074



**Influencia de los parámetros hidrológicos y geomorfológicos  
de la quebrada La Potrera en la socavación local del Puente**

**Colpamayo, Chota, 2021**

**POR:**

**Ennin Delgado Irigoín**

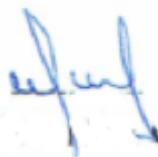
**Presentada a la Facultad de Ciencias de la Ingeniería de la  
Universidad Nacional Autónoma de Chota para optar el título  
de  
INGENIERO CIVIL**

**APROBADA POR EL JURADO INTEGRADO POR**



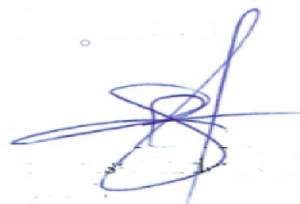
-----  
**Dr. Ing. Elmer Natividad Chávez Vásquez**

**PRESIDENTE**



-----  
**Dra. Ing. Martha Gladys Huamán Tanta**

**SECRETARIO**



-----  
**Dra. Ing. Carmen Rosa Cárdenas Rosales**

**VOCAL**





# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA

Ley de Creación N° 29531

LICENCIADA CON RESOLUCIÓN DE CONSEJO DIRECTIVO N° 160-2018-SUNEDU/CD

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL



## ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Los miembros del jurado de tesis que suscriben, reunidos en la sala de docentes de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería del campus universitario-Colpamatará, para escuchar y evaluar la sustentación presentado por el Bachiller en Ingeniería Civil Ennin Delgado Irigoín, denominado: **“INFLUENCIA DE LOS PARÁMETROS HIDROLÓGICOS Y GEOMORFOLÓGICOS DE LA QUEBRADA LA POTRERA EN LA SOCAVACIÓN LOCAL DEL PUENTE COLPAMAYO, CHOTA, 2021”**; escuchada la sustentación, las respuestas a las preguntas y observaciones formuladas, la declaramos: **APROBADO**


15

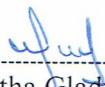
CON EL CALIFICATIVO (\*)

QUINCE

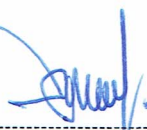
En consecuencia, se le declara **EXPEDITO** para conferirle el Título de Ingeniero civil, elevando la presente acta al coordinador de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería a fin de que se emita el acto resolutivo., en conformidad con la ley universitaria y el estatuto de la Universidad.

Chota, 10 de enero del 2024

  
-----  
Dr. Elmer Natividad Chávez Vásquez  
PRESIDENTE

  
-----  
Dra. Martha Gladys Huamán Tanta  
SECRETARIO

  
-----  
Dra. Carmen Rosa Cárdenas Rosales  
VOCAL

  
-----  
Dr. Luis Alberto Orbegoso Navarro  
ASESOR

(\*) De acuerdo al reglamento específico del proyecto y tesis de investigación de la EPIC, aprobada con Resolución de coordinación N° 141-2020, Artículo 21, cuya calificación es: ( 20 Summa Cum Laude); (18-19: Aprobado con excelencia); (15-17: Aprobado con mención honrosa); (12-14: Aprobado); (0-11: Desaprobado).



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA

Ley de Creación N° 29531

LICENCIADA CON RESOLUCIÓN DE CONSEJO DIRECTIVO N° 160-2018-SUNEDU/CD

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL



## ACTA DE CONFORMIDAD DE TESIS

Los miembros del jurado, luego de evaluar la Tesis denominada: “**INFLUENCIA DE LOS PARÁMETROS HIDROLÓGICOS Y GEOMORFOLÓGICOS DE LA QUEBRADA LA POTRERA EN LA SOCAVACIÓN LOCAL DEL PUENTE COLPAMAYO, CHOTA, 2021**”:, presentado por el Bachiller en Ingeniería Civil Ennin Delgado Irigoín y sustentada el día de 10 de enero del 2024, por Resolución de Coordinación N°005-2024-FCI/UNACH, la declaramos **CONFORME**.

Chota, 30 de enero del 2024

Dr. Elmer Natividad Chávez Vásquez  
Tanta  
PRESIDENTE

Dra. Carmen Rosa Cárdenas Rosales  
VOCAL

Dra. Martha Gladys Huamán  
SECRETARIO

Dr. Luis Alberto Orbegoso Navarro  
ASESOR

## **DEDICATORIA**

A mis padres Edilberto Delgado Saldaña y Crecencia Irigoín Tarrillo, por ustedes me convertí en lo que soy hoy, te debo muchos de mis logros, incluido este. Me pusieron reglas y cierta libertad, pero al final me motivaron a lograr mis deseos.

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios por no abandonarme en los momentos más difíciles que afronte. A mis docentes, asesor Dr. LUIS ALBERTO ORBEGOSO NAVARRO por impartir su sabiduría y desarrollarme profesionalmente, a mi padre, madre y hermanos por apoyarme en todo el tiempo de mi carrera universitaria.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

|  |            |
|--|------------|
| <b>RESUMEN .....</b>   | <b>xi</b>  |
| <b>ABSTRACT .....</b>  | <b>xii</b> |
| <b>CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN .....</b>  | <b>13</b>  |
| <b>1.1. Planteamiento del problema .....</b>   | <b>13</b>  |
| <b>1.2. Formulación del problema.....</b>  | <b>14</b>  |
| <b>1.3. Justificación e importancia .....</b>  | <b>15</b>  |
| <b>1.4. Delimitación de la investigación .....</b>   | <b>17</b>  |
| <b>1.5. Limitaciones .....</b>   | <b>19</b>  |
| <b>1.6. Objetivos.....</b>   | <b>20</b>  |
| 1.6.1. Objetivo general.....   | 20         |
| 1.6.2. Objetivos específicos .....   | 20         |
| <b>CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO .....</b>  | <b>21</b>  |
| <b>2.1. Antecedentes de la investigación .....</b>   | <b>21</b>  |
| 2.1.1. Antecedentes internacionales.....   | 21         |
| 2.1.2. Antecedentes nacionales .....   | 25         |
| 2.1.3. Antecedentes regionales .....   | 28         |
| <b>2.2. Bases teórico – científicas .....</b>  | <b>31</b>  |
| 2.2.1. Interacción río – puente .....  | 31         |
| 2.2.2. Socavación y sedimentación en puentes.....  | 32         |
| 2.2.3. Parámetros geomorfológicos e hidrológicos que influyen en la socavación de un puente..... | 34         |
| <b>2.3. Marco conceptual.....</b>  | <b>37</b>  |
| 2.3.1. Hidráulica fluvial .....  | 37         |
| 2.3.2. Puentes .....   | 42         |
| 2.3.3. Sedimentos.....   | 44         |
| 2.3.4. Socavación .....  | 49         |
| 2.3.5. Socavación general .....  | 50         |
| 2.3.6. Socavación local .....  | 51         |



|   |            |
|---|------------|
| 2.3.7. Estudio hidrológico e hidráulico.....  | 52         |
| 2.3.8. Medidas de protección contra la socavación en puentes .....  | 63         |
| <b>2.4. Hipótesis.....</b>  | <b>65</b>  |
| <b>2.5. Operacionalización de variables.....</b>  | <b>65</b>  |
| 2.5.1. Variable independiente: Parámetros hidrológicos y geomorfológicos .....  | 65         |
| 2.5.2. Variable dependiente: Socavación local del puente .....  | 65         |
| <b>CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO .....</b>   | <b>68</b>  |
| <b>3.1. Tipo y nivel de investigación.....</b>  | <b>68</b>  |
| <b>3.2. Diseño de investigación.....</b>  | <b>69</b>  |
| <b>3.3. Métodos de investigación .....</b>  | <b>69</b>  |
| <b>3.4. Población, muestra y muestreo.....</b>  | <b>71</b>  |
| 3.4.1. Población .....  | 71         |
| 3.4.2. Muestra .....  | 71         |
| <b>3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....</b>   | <b>73</b>  |
| 3.5.1. Técnicas de recolección de datos.....  | 73         |
| 3.5.2. Instrumentos de recolección de datos .....   | 74         |
| <b>3.6. Técnicas de procesamiento y análisis de datos.....</b>  | <b>75</b>  |
| 3.6.1. Procedimiento para la recolección de datos.....  | 75         |
| 3.6.2. Procesamiento de datos.....  | 106        |
| 3.6.3. Análisis de datos .....  | 106        |
| <b>3.7. Aspectos éticos.....</b>  | <b>107</b> |
| <b>CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>  | <b>108</b> |
| <b>4.1. Descripción de resultados.....</b>  | <b>108</b> |
| 4.1.1. Caracterización geomorfológica de la Quebrada La Potrera .....   | 108        |
| 4.1.2. Caudales máximos de la Quebrada La Potrera en el puente Colpamayo .....  | 109        |
| 4.1.3. Caracterización granulométrica (Diámetros característicos) de los sedimentos que se acumulan en el puente Colpamayo..... | 114        |
| 4.1.4. Determinación de la socavación por medio del modelo hidráulico.....  | 116        |
| 4.1.5. Descripción de las alternativas para evitar la socavación en el puente Colpamayo .....                                   | 121        |

|  |            |
|--|------------|
| <b>4.2. Contrastación de hipótesis .....</b>                       | <b>134</b> |
| <b>4.3. Discusión de resultados .....</b>                          | <b>137</b> |
| <b>CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>            | <b>143</b> |
| <b>5.1. Conclusiones .....</b>                                     | <b>143</b> |
| <b>5.2. Recomendaciones y/o sugerencias .....</b>                  | <b>144</b> |
| <b>CAPÍTULO VI. REFERENCIAS .....</b>                              | <b>145</b> |
| <b>CAPÍTULO VII. ANEXOS .....</b>                                  | <b>153</b> |
| Anexo A. Matriz de consistencia.....                               | 153        |
| Anexo B. Panel fotográfico .....                                   | 154        |
| Anexo C. Parámetros geomorfológicos de la quebrada La Potrera..... | 163        |
| Anexo D. Parámetros hidrológicos de la quebrada La Potrera.....    | 173        |
| Anexo E. Estudio de mecánica de suelos in situ y ex situ.....      | 183        |
| Anexo F. Certificados de calibración .....                         | 196        |
| Anexo G. Plano de traviesas.....                                   | 221        |

## ÍNDICE DE TABLAS

|  |     |
|--|-----|
| <b>Tabla 1.</b> Tamaño de cada grupo de sedimentos.....  | 45  |
| <b>Tabla 2</b> Tipos de socavación local .....   | 50  |
| <b>Tabla 3</b> Criterios Usuales para Definición de Periodos de Retorno .....  | 57  |
| <b>Tabla 4</b> Matriz de Operacionalización de Variables .....   | 67  |
| <b>Tabla 5</b> Tipo de Investigación .....   | 69  |
| <b>Tabla 6</b> Ubicación Geográfica del Puente Colpamayo.....  | 71  |
| <b>Tabla 7</b> Ubicación hidrográfica del área de interés .....  | 71  |
| <b>Tabla 8</b> Fuentes, Técnicas e Instrumentos para la Recolección de Datos .....   | 74  |
| <b>Tabla 9</b> Parámetros Geomorfológicos e Hidrológicos de la Quebrada La Potrera según el Expediente Técnico (2018) .....  | 77  |
| <b>Tabla 10</b> Ubicación Geográfica Estación Chota .....  | 87  |
| <b>Tabla 11</b> Precipitación Máxima en 24 h Estación Chota (1971-2021).....   | 88  |
| <b>Tabla 12</b> Parámetros de Forma de las Subdivisiones de la Quebrada La Potrera .....   | 90  |
| <b>Tabla 13</b> Precipitación Máxima 24 h Histórica y Corregida.....   | 91  |
| <b>Tabla 14</b> Precipitación Máxima 24 horas Transpuesta a la quebrada de Estudio .....   | 92  |
| <b>Tabla 15</b> Valores de Delta Teórico y Tabular para la Estación Chota .....  | 94  |
| <b>Tabla 16</b> Uso de suelo .....   | 99  |
| <b>Tabla 17</b> Coeficientes “X” para suelos cohesivos.....  | 104 |
| <b>Tabla 18</b> Coeficientes “X” para suelos no cohesivos.....   | 105 |
| <b>Tabla 19</b> Coeficientes de frecuencia $\beta$ . .....   | 105 |
| <b>Tabla 20</b> Parámetros de la Quebrada La Potrera.....  | 109 |
| <b>Tabla 21</b> Precipitaciones máximas según distribución Gamma 3P.....   | 110 |
| <b>Tabla 22</b> Número Curva (CN) Ponderado para la Quebrada La Potrera.....   | 110 |
| <b>Tabla 23</b> Curva Número (CN) y tiempos de concentración según software HEC HMS .....  | 111 |
| <b>Tabla 24</b> Caudales Máximos de la Quebrada La Potrera .....   | 111 |
| <b>Tabla 25</b> Datos Recolectados en la Medición de Sedimentos .....  | 116 |
| <b>Tabla 26</b> Profundidad de Socavación en el Puente Colpamayo, Quebrada La Potrera.....   | 120 |
| <b>Tabla 27</b> Dimensiones de la Travesía para la Quebrada La Potrera, en el Puente Colpamayo.....  | 127 |
| <b>Tabla 28</b> Correlaciones de Pearson de los Parámetros Hidrológicos y Geomorfológicos con la Socavación y Sedimentación en la Quebrada La Potrera, Puente Colpamayo..... | 135 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|                  |   |     |
|------------------|---|-----|
| <b>Figura 1</b>  | Morfológica de los Ríos.....  | 40  |
| <b>Figura 2.</b> | Resultado del Tránsito de Crecientes en un Río .....  | 58  |
| <b>Figura 3.</b> | Grafía de la Ecuación de Energía .....  | 61  |
| <b>Figura 4</b>  | Ubicación política del tramo en estudio .....   | 72  |
| <b>Figura 5</b>  | Vista en Elevación del Puente Colpamayo .....   | 75  |
| <b>Figura 6</b>  | Predimensionamiento de los Estribos del Puente Colpamayo .....  | 76  |
| <b>Figura 7</b>  | Quebrada la Potrera .....   | 78  |
| <b>Figura 8</b>  | Topo-batimetría de la Quebrada La Potrera .....   | 79  |
| <b>Figura 9</b>  | Evidencias de las huellas hídricas.....   | 80  |
| <b>Figura 10</b> | Excavación de Calicata en la Ribera de la Quebrada La Potrera, Aguas Abajo del Puente Colpamayo ..... | 81  |
| <b>Figura 11</b> | Excavación de Sedimentos en la Quebrada La Potrera en el Puente Colpamayo.....                        | 82  |
| <b>Figura 12</b> | Análisis de Granulometría Fluvial en la Quebrada La Potrera en el Puente Colpamayo .....              | 83  |
| <b>Figura 13</b> | Ensayos de Clasificación del Suelo .....  | 85  |
| <b>Figura 14</b> | Ensayo de Corte Directo del Suelo.....  | 85  |
| <b>Figura 15</b> | Interfaz Landviewer.....  | 86  |
| <b>Figura 16</b> | Localización: Estación Chota .....  | 87  |
| <b>Figura 17</b> | Pmáx 24 horas (1971-2021) en la Estación Chota.....   | 89  |
| <b>Figura 18</b> | Subdivisión de Cuenca .....   | 89  |
| <b>Figura 19</b> | Análisis de Datos Atípicos.....   | 90  |
| <b>Figura 20</b> | Número de Curva para la Quebrada en Condiciones Húmedas.....  | 95  |
| <b>Figura 21</b> | Huella Histórica en el Puente y Nivel de Agua .....   | 97  |
| <b>Figura 22</b> | Modelo Digital de Terreno .....   | 98  |
| <b>Figura 22</b> | Base de Datos del Software Iber.....  | 98  |
| <b>Figura 23</b> | Uso de suelo quebrada la Potrera.....   | 99  |
| <b>Figura 24</b> | Coefficiente de rugosidad asignado al modelo Iber .....   | 100 |
| <b>Figura 26</b> | Condiciones de Entrada y Salida .....   | 100 |
| <b>Figura 27</b> | Condiciones de entrada y salida.....  | 101 |
| <b>Figura 28</b> | Generación de la malla computacional.....   | 101 |
| <b>Figura 29</b> | Vista 3D de la topo batimetría del Río .....  | 102 |
| <b>Figura 30</b> | Sección transversal de cauce.....   | 103 |
| <b>Figura 31</b> | Viviendas Expuestas a Inundaciones de la Quebrada La Potrera .....                                    | 108 |
| <b>Figura 32</b> | Hidrograma Tr 50 años.....  | 112 |

|   |     |
|---|-----|
| <b>Figura 33</b> Hidrograma Asociado al Tr 100 años.....  | 112 |
| <b>Figura 34</b> Hidrograma Asociado al Tr 500 años.....  | 113 |
| <b>Figura 35</b> Curva Granulométrica de los Sedimentos de la Quebrada La Potrera alrededor del Puente Colpamayo .....  | 115 |
| <b>Figura 36</b> Mapa de Tirantes, TR 50, Aguas claras.....   | 117 |
| <b>Figura 37</b> Mapa de Velocidades, TR 50 Aguas claras .....  | 117 |
| <b>Figura 38.</b> Tirantes máximos, TR 100 años – Aguas claras.....   | 118 |
| <b>Figura 39</b> Sección Transversal – Puente de la quebrada La Potrera .....   | 118 |
| <b>Figura 40</b> Tirantes máximos, TR 500 años – Aguas claras.....  | 119 |
| <b>Figura 41.</b> Cambio morfológico.....   | 119 |
| <b>Figura 42</b> Estructuras Tipo Traviesas .....   | 122 |
| <b>Figura 43</b> Matriz de Correlación de Pearson entre los Parámetros Hidrológicos y Geomorfológicos con la Socavación y Sedimentación en la Quebrada La Potrera, Puente Colpamayo ..... | 135 |
| <b>Figura 44</b> Modelo de Regresión entre Socavación-Erosión y el Caudal Máximo de la Quebrada La Potrera en el Puente Colpamayo .....   | 136 |
| <b>Figura 45</b> Prueba de Normalidad para Socavación-Erosión Lateral .....   | 136 |

## RESUMEN

La investigación tuvo como objetivo general: Evaluar la influencia de los parámetros hidrológicos y geomorfológicos de la quebrada La Potrera que inciden en la socavación local del puente Colpamayo. El tipo de investigación fue aplicada, explicativa. La metodología ha consistido en determinar los parámetros morfométricos de la quebrada La Potrera, habiéndose obtenido: un área de 30.90 km<sup>2</sup>; longitud del cauce principal, 10 km; pendiente de la cuenca 0.23 m/m; coeficiente de gravelius, 1.56; el cauce presenta una configuración “sinuosa”; un tiempo de concentración de 2.67 horas; valores representativos que han permitido encontrar mediante la aplicación del hidrograma unitario, un caudal de 104.10 m<sup>3</sup>/s para un tiempo de retorno de 50 años. El tirante máximo obtenido en el puente Colpamayo para Tr 100 años es 2.40 m y el gálibo en el puente es de 1.80 m. El diámetro medio o D50 usado en el modelo de transporte de sedimentos es de 0.40mm, el tipo de suelo es arena limosa. El cauce presenta agradación de 1.05 m de espesor, mientras que los estribos presentan erosión, el más afectado es el estribo derecho debido a la configuración en curva que presenta el lecho en planta, por lo que, las estructuras propuestas para evitar la sedimentación son las traviesas.

**Palabras Claves:** modelamiento, agradación, caudales máximos, periodo de retorno.

## ABSTRACT

The general objective of the research was: To evaluate the influence of the hydrological and geomorphological parameters of the La Potrera creek that affect the local scour of the Colpamayo bridge. The type of research was applied, explanatory. The methodology consisted of determining the morphometric parameters of La Potrera stream, having obtained: an area of 30.90 km<sup>2</sup>; length of the main channel, 10 km; slope of the basin 0.23 m/m; gravelius coefficient, 1.56; the channel presents a "sinuous" configuration; a time of concentration of 2.67 hours; representative values that have allowed finding, through the application of the unit hydrograph, a flow of 104.10 m<sup>3</sup>/s for a return time of 50 years. The maximum flow obtained at the Colpamayo bridge for Tr 100 years is 2.40 m and the bridge clearance is 1.80 m. The mean diameter or D50 used in the sediment transport model is 0.40 mm, and the soil type is silty sand. The channel has aggradation of 1.05 m thick, while the abutments show erosion, the most affected is the right abutment due to the curved configuration of the bed in plan, so the structures proposed to prevent sedimentation are the sleepers.

**Keywords:** modeling, aggradation, peak flows, return period.

# CAPÍTULO I.

## INTRODUCCIÓN

### 1.1. Planteamiento del problema

El diseño y construcción de un puente requiere tener en cuenta diversos aspectos técnicos relacionados con la hidráulica fluvial y la geomorfología del cauce (Gurung et al., 2020), debido a que, hay una interacción profunda entre el río y el diseño del puente, cada uno tratando de influir en el otro (Gara et al., 2020); un puente puede afectar la dirección natural del flujo del río, especialmente si esta conserva o no su geometría natural y, si se encuentra bien ubicado con respecto a la sinuosidad o morfología del cauce; aspectos que deben tener especial atención cuando se trata de puentes ubicados en las partes medias a medias altas de una cuenca o subcuenca alto andina, donde se presentan incrementos considerables en la capacidad del flujo en los cauces, debido a fuertes precipitaciones o crecidas (Gurnell & Hill, 2021), generando problemas de socavación y sedimentación, tal como se puede observar en el puente Colpamayo, ubicado antes de su confluencia al río Chotano, cercano a las instalaciones de la Sub Región Chota, una infraestructura relativamente nueva (construida el año 2018-2019), que ya ha llamado la atención de la prensa local de la ciudad de Chota, al difundir en el año 2021, que, como consecuencia de fuertes lluvias, probablemente se estén generando problemas de socavación y/o sedimentación ya que el cauce debajo del puente se encuentra colmatado por bolonerías y gravas provenientes de las partes altas de la quebrada. La socavación puede ser general, por contracción o local, pero la socavación local - erosión se considera como el principal responsable del daño de un puente (Wang et al., 2019); no obstante, la socavación del cauce de un río es inevitable, debido a la velocidad de la corriente



de agua, los procesos de erosión en la ribera y las máximas avenidas recurrentes por precipitaciones extremas (Jaramillo-Mejía y Reyes-Salazar, 2020), sin embargo, la aparición de socavación en puentes puede provocar problemas estructurales con consecuencias catastróficas (Rodríguez, 2019); según Moya (2017) la gran mayoría de colapsos de puentes se deben no a problemas estructurales, sino a temas hídricos. Esto, ha llevado a que, durante los últimos años, investigadores hayan mostrado interés en el estudio de la socavación y sedimentación de cauces alrededor de puentes (Jaramillo-Mejía y Reyes-Salazar, 2020).

En base a evidencias de sedimentación en la quebrada la Potrera, alrededor del puente Colpamayo (Vásquez, 2021), es que se ha utilizado un modelo digital hidráulico en el área del puente para calcular la profundidad de socavación local del estribo, entendiendo que la socavación es un problema complejo donde varios investigadores han hecho propuestas independientes unos de otros, pues no hay una recurso confiable y conciso para el caso de estribos; sin embargo, se ha dado especial atención al cálculo de la socavación general y local en estribos. Por lo tanto, el objetivo fue determinar los parámetros hidrológicos y geomorfológicos que inciden en la sedimentación y socavación local del puente Colpamayo – Quebrada La Potrera -Chota.

## **1.2. Formulación del problema**

¿Influyen los parámetros hidrológicos y geomorfológicos de la quebrada La Potrera en la socavación local del Puente Colpamayo - Chota?

### **1.3. Justificación e importancia**

La socavación puede conducir a la erosión de los terrenos circundantes y posiblemente a la formación de nuevas vías de agua. Esto puede aumentar el riesgo de inundaciones en áreas cercanas al puente y representar una amenaza para las comunidades locales. El puente es una infraestructura crucial para la conectividad y el desarrollo de una región. La socavación local del puente puede causar daños estructurales y poner en peligro la seguridad de las personas que lo utilizan. Comprender cómo los parámetros hidrológicos y geomorfológicos afectan la socavación ayudarían a prevenir y mitigar estos daños, protegiendo así la inversión en infraestructuras y los recursos asociados. La investigación científica proporciona información sobre cómo estos parámetros afectan la socavación y ayuda a prever y planificar medidas de protección.

Como consecuencia de las fuertes lluvias que caen en el ámbito de Chota, durante los meses de temporada (diciembre – abril) de cada año, se hace necesario corroborar la estabilidad y seguridad del puente Colpamayo, especialmente desde el punto de vista de una socavación local, ya que el puente es de mucha importancia en el flujo vehicular interprovincial, especialmente porque después de las lluvias, se presentan acumulaciones de sedimentos de piedras y gravas provenientes de la erosión del cauce de la quebrada La Potrera, pues conforme lo distingue Barbosa (2013), Uno de los factores básicos para valorar la profundidad de socavación de cualquier tipo de cauce natural es el tipo de material del lecho que conforma el cauce y está sujeto a las fuerzas erosivas del flujo, estando relacionado con las características geomorfológicas de la corriente de ríos de montaña como es el caso de la Quebrada La Potrera.

### **a. Justificación social**

Esta investigación es relevante desde el punto de vista social debido a que la socavación del Puente Colpamayo en la quebrada La Potrera de Chota representa un riesgo latente para la comunidad local. La integridad y el buen estado de este puente son cruciales para la conectividad y el tránsito seguro de personas y mercancías en la zona. Por lo tanto, entender los parámetros hidrológicos y geomorfológicos que influyen en este fenómeno permitirá a las Autoridades Locales tomar medidas preventivas y correctivas adecuadas para garantizar la seguridad y bienestar de la población en base a los resultados de esta investigación.

### **b. Justificación ambiental**

La quebrada La Potrera y su entorno natural son de gran importancia desde el punto de vista ambiental, ya que albergan una diversidad biológica significativa y cumplen funciones ecológicas clave, como el mantenimiento del ciclo hidrológico y la conservación del suelo. La socavación del Puente Colpamayo puede conducir a la alteración de los procesos naturales en la quebrada, incluida la erosión acelerada de sus márgenes y el desplazamiento de sedimentos hacia el cuerpo de agua. Por lo tanto, comprender los factores hidrológicos y geomorfológicos implicados en este proceso es esencial para implementar estrategias de manejo y conservación adecuadas en la quebrada y asegurar la sostenibilidad ambiental en la región.

### **c. Justificación económica**

El Puente Colpamayo es un componente crucial de la infraestructura vial de la región, ya que facilita el transporte de personas y bienes entre diferentes comunidades y áreas económicas. La socavación del puente puede generar

interrupciones significativas en el flujo económico al dificultar el acceso a lugares clave, como centros urbanos, mercados y servicios básicos. Además, las reparaciones y reconstrucciones asociadas con el colapso del puente representan un alto costo financiero para el gobierno y las autoridades locales. Por lo tanto, investigar la influencia de los parámetros hidrológicos y geomorfológicos en la socavación del Puente Colpamayo ha ayudado a prevenir daños económicos significativos y a optimizar la inversión en infraestructuras viales en el futuro.

#### **d. Justificación técnica**

La investigación de los parámetros hidrológicos y geomorfológicos de la quebrada La Potrera en relación con la socavación local del Puente Colpamayo requiere de un enfoque técnico preciso y detallado. Comprender cómo los patrones de flujo de agua, la sedimentación y la erosión se relacionan con la estabilidad del puente implica la aplicación de técnicas especializadas, como análisis hidrológicos, monitoreo del caudal, mediciones topográficas y modelado computacional. Las conclusiones y recomendaciones obtenidas a partir de esta investigación proporcionarán una base sólida para el diseño, la construcción y el mantenimiento de infraestructuras viales en entornos similares, además de contribuir al avance de la ciencia y la ingeniería en el campo de la hidrología y geomorfología fluvial.

#### **1.4. Delimitación de la investigación**

Está enmarcada en el Sur de la línea ecuatorial y al lado Occidental del meridiano de Greenwich, en el sistema UTM WGS-84 17s en las coordenadas 759966.00 m E, 9273351.00 m S a 2322 msnm en el emplazamiento del puente Colpamayo en la quebrada La Potrera del distrito de Chota, Cajamarca.

Temporalmente se ha efectuado desde la segunda semana del mes de octubre del 2021, en las que se realizó el levantamiento topográfico y se procedió con la metodología hasta diciembre del 2022.

Se realizó el levantamiento topo-batimétrico con una estación Total Leica. Posteriormente, obtenida la nube de puntos, se realizaron los planos de planta y secciones de la quebrada, el cual es el insumo para el modelamiento hidráulico.

En campo también se realizó el análisis de mecánica de suelos fluvial que consistió en la toma de muestras de suelo en el borde y eje del río para determinar sus principales características físico mecánicas, en ambos casos se hizo por medio de calicatas, en el caso del muestreo en la ribera del río se hizo por medio de una calicata de 2 m de profundidad, mientras que dentro del cauce de la quebrada se tomaron muestras de los sedimentos en diferentes profundidades (10 a 50 cm) y distancias desde la orilla con la finalidad de caracterizarlos. Obtenidas las muestras se analizaron en el laboratorio GSE-Chota a granulometría, límite líquido, límite plástico y corte directo.

En el Puente Colpamayo, ubicado en la intersección del cauce de la quebrada La Potrera y el Jr. Sagrado Corazón de Jesús, punto donde se ha realizado la delimitación de La Potrera, para determinar sus parámetros geomorfológicos.

Se ha utilizado información meteorológica disponible de precipitación correspondiente a la Estación Chota (760025.00 m E, 9275725.00 m S, 2442 msnm), registrando el período de 1971 a 2021 (se solicitaron 50 datos anuales, pero solo se obtuvo una data de 40 años debido a que, del año 1983 al año 1992 no se registraron datos pluviométricos). La data de precipitaciones pasó por un análisis de datos atípicos (outliers), también se ha amplificado por 1.13 de acuerdo

a la Organización Meteorológica Mundial. Luego se realizó la transferencia de información pluviométrica a la cuenca por la diferencia de alturas, siendo la escala 1:34. Para obtener los caudales máximos se construyó en HEC HMS usando el método de bloque alterno un hietograma de diseño, así mismo dada la configuración geomorfológica del cauce se usó el Método Muskingum ( $X=0.2$  y  $K= 0.96$ ).

Finalmente se modeló hidráulicamente en Iber usando los coeficientes Manning determinados en base al uso de suelo de las ocho (8) zonas identificadas en la inspección de campo. Se procedió a ingresar la pendiente e hidrograma. Una vez establecida la geometría espacial se crea la malla, teniendo un modelo digital que simula al real. En el modelo por medio método de Lischtvan Levediev (1984), se ha estimado la socavación en el puente.

### **1.5. Limitaciones**

La quebrada La Potrera no tiene una estación meteorológica dentro de su extensión, no obstante, se han usado los datos pluviométricos de la estación Chota ubicada a las afueras de la ciudad, por su cercanía al cauce de estudio, pero se ha realizado la respectiva transposición de datos, utilizando la fórmula de Ortiz-Vera (2015).

Solo se ha planteado una propuesta técnica (traviesas) siendo la más recomendable para el área de estudio, sin embargo, es preciso que, el ente gubernamental complemente la mismo con defensas ribereñas.

## **1.6. Objetivos**

### **1.6.1. Objetivo general**

Determinar la influencia de los parámetros hidrológicos y geomorfológicos de la quebrada La Potrera que inciden en la socavación local del puente Colpamayo en Chota.

### **1.6.2. Objetivos específicos**

- Caracterizar los parámetros morfométricos (Área, pendiente, altitud media, longitud del curso primario, tiempo de concentración) de la Quebrada La Potrera.
- Determinar caudales máximos para períodos de retorno de 50, 100 y 500 años, aplicando el método racional modificado o HEC HMS
- Caracterizar granulométricamente (diámetros característicos) de los sedimentos que se acumulan en el cauce del puente Colpamayo.
- Estimar la socavación en estribos del puente Colpamayo por medio del modelamiento hidráulico Lischtván Lebediev.

## CAPÍTULO II.

### MARCO TEÓRICO

#### **2.1. Antecedentes de la investigación**

##### **2.1.1. Antecedentes internacionales**

Castaneda (2023) evaluó la socavación de muelles en cuatro puentes con 12 combinaciones de enfoques hidrológicos e hidráulicos para un total de 48 simulaciones. Cada simulación se analizó para evaluar la profundidad potencial de socavación del muelle utilizando las metodologías FHWA HEC-18 y el Método de observación para socavación. Existen varias alternativas para calcular el flujo máximo: las ecuaciones de regresión regional (RRE), el análisis de frecuencia de inundaciones (FFA) y los modelos distribuidos utilizando HEC-HMS 4.9 se evaluaron utilizando el número de curva SCS para abstracciones y diferentes condiciones de humedad antecedentes. El flujo máximo se estimó para un evento de 100 años y los modelos hidrológicos se simularon para un evento basado en. Se utilizó HEC-RAS 6.1/6.2 para el análisis hidráulico y se utilizaron 1D-WSPRO, 1D-Energy, conexión 2D SA y modificación del terreno 2D con pilares elevados como enfoques de modelado de puentes. Los resultados mostraron que las ecuaciones de regresión, utilizadas a menudo por los DOT estatales, no siempre arrojan el peor escenario hidrológico en comparación con la simulación de los modelos hidrológicos. Los resultados de los modelos 1D son muy similares y, en la mayoría de los casos, producen menos profundidad de socavación. Los enfoques 2D representan mejor el canal de acceso para los puentes con configuraciones complejas y representan grandes velocidades y, por lo tanto, mayor profundidad de socavación que los modelos 1D.



Akay (2021) evaluó el riesgo de falla por socavación del puente Çatalzeytin ubicado en la cuenca occidental del Mar Negro, Turquía, para posibles inundaciones futuras y se consideraron contramedidas de socavación apropiadas en función de consideraciones económicas y de constructibilidad. La idoneidad de la vía fluvial en los tramos del puente y la criticidad de la socavación alrededor de los cimientos del puente considerados para los cálculos de riesgo en HYRISK se estimaron mediante análisis hidrológicos e hidráulicos de la cuenca y el arroyo. Dado que la cuenca del puente no está calibrada, se adoptó el concepto de hidrograma unitario instantáneo geomorfológico para estimar las descargas máximas con varios períodos de retorno que se utilizarán en el modelado hidráulico. Los resultados de la simulación Monte Carlo indicaron que la mayoría de las descargas máximas simuladas estaban en el intervalo de confianza del 95%. Los resultados del modelo hidráulico de HECRAS indicaron que la adecuación de las vías fluviales y la criticidad de la socavación eran críticas para las descargas con períodos de retorno de 200 y 500 años. El riesgo de falla por socavación del puente Çatalzeytin se clasificó como alto y se propuso reducir el riesgo mediante la construcción de escollera parcialmente inyectada como la alternativa más factible que, en consecuencia, aumentaría la vida útil esperada del puente.

Yang et al. (2021) investigaron los procesos relacionados con las inundaciones alrededor de los sitios de puentes en un canal compuesto con diferentes configuraciones de estribos/terraplenes. Los resultados muestran que un estribo/terraplén más largo empuja la zona de alto cizallamiento en la llanura aluvial (alrededor del pie del estribo) más hacia la pendiente del banco y causa un mayor riesgo de socavación en el área del pie, mientras que la presurización del flujo vertical tuvo un efecto más significativo en la mejora. esquila de cama

general. El banco del canal principal tiende a mantener una pendiente constante (2:1) a medida que la socavación avanza gradualmente durante las inundaciones. La socavación del lecho del canal está estrechamente relacionada con la relación de contracción de la descarga unitaria determinada por las contracciones de flujo tanto laterales como verticales. En cuanto a la interacción entre procesos dinámicos, las formas de lecho migratorias mejoraron la erosión de los sedimentos mediante procesos cíclicos de “incrustación-aventamiento” cuando se encontraron con rocas de escollera sueltas desestabilizadas. Por lo tanto, las rocas que se deslizan hacia el canal principal pueden causar un mayor riesgo de hundimiento del lecho y luego de falla del terraplén. En general, los procesos observados proporcionan una imagen clara de cómo la morfología del canal se altera dinámicamente por múltiples factores durante las inundaciones extremas.

Sarif et al. (2021) tuvieron como fin explorar la dinámica de cambio del curso del río entre 1794 y 2017 utilizando mapas históricos y superposición de polígonos en Farakka Barrage. La sinuosidad la calculan como una medida de la extensión de los cambios morfométricos. Asimismo, al cuantificar la cantidad de erosión de la tierra en el área de estudio, el estudio afirma que el río dinámico ha sido la causa de grandes daños en las riberas adyacentes. La mayor dinámica del río está asociada con cambios en los patrones de erosión y deposición. Por lo tanto, se han cuantificado la distribución espacial y los cambios temporales en la erosión y la deposición.

Dhali et al. (2020) analizaron la respuesta del flujo de sedimentos, la socavación-erosión de puentes sobre la morfología del lecho del río y la resiliencia geomórfica en la parte media-baja del río Chel, zona de las estribaciones orientales del Himalaya, India. La aglomeración de sedimentos, la bifurcación del flujo, el

volumen de la masa de agua estacional, los cambios de elevación del lecho y la socavación son una disposición dinámica importante para el cambio de la morfología del lecho del río. La barra de puntos, la barra lateral, el canal activo trezado, las ondulaciones y el aumento en la elevación del lecho son cambios rápidos en la parte superior a la inferior de los puentes que se examinaron en el estudio. En la estación seca (diciembre a febrero), una enorme cantidad de sedimento se levantó creando incómodos agujeros, así mismo, una serie de canales emergentes controlan principalmente la formación de un nuevo canal activo en la próxima temporada de lluvias.

Reyes & Reyes (2020) en su investigación analizaron la profundidad de socavación local de pilas mediante las ecuaciones propuestas en la literatura, para lo cual, previamente caracterizaron el funcionamiento hidráulico del río en Riosucio Caldas, determinaron los parámetros geotécnicos del subsuelo e identificaron las condiciones críticas y propensas a las que está sometido el puente del municipio. A partir de los resultados realizaron el mejoramiento de la subrasante de cimentación mediante el uso de materiales cementantes, concluyendo que al mejorar el suelo con adición de aditivos la magnitud de la profundidad de socavación esperada disminuye en un 40%.

Rubio (2019) en su investigación tuvo como fin determinar la socavación que hay en los pilares del puente del río Cabaña, para ello determinó las condiciones geológicas, determinando que estaba conformado por arcillas de alta plasticidad con mezcla de arena, también efectuó un monitoreo metódico durante 4 meses aplicando el método FHWA (HEC-18) para estimar la socavación local. Concluyendo que correspondientemente en los pilares 1 y 2 con 28.822% y

26.77% hay más socavación que, en el pilar 5 que, muestra mínima socavación (2.25%).

### **2.1.2. Antecedentes nacionales**

Luliquis & Vincés (2022) llevaron a cabo un estudio en la región de Piura utilizando datos geológicos e hidrológicos con el objetivo de analizar la socavación local mediante la modelización numérica en los softwares HEC-RAS (1D) e Iber (2D), comparando escenarios sin la instalación de collares en los pilares y con su instalación. Utilizando los registros de caudales máximos instantáneos de la estación hidrométrica en el puente Sánchez Cerro en Piura, se determinó un caudal de diseño de 6239.14 m<sup>3</sup> /s, con un tiempo de retorno de 500 años, que se utilizó en todas las simulaciones del estudio. Los resultados mostraron que el modelo bidimensional representaba mejor el proceso de erosión del cauce, ya que a través de la simulación de transporte de sedimentos se obtuvieron diferentes valores de socavación local para cada pilar, lo que permitió identificar los pilares en los que se deben instalar los collares. Los pilares P1, P2, P3, P4, P7, P8 y P9 mostraron reducciones en las profundidades socavadas del 15.84%, 38.79%, 43.73%, 33.91%, 31.52%, 24.92% y 17.89%, respectivamente. Por otro lado, se observó que, en las zonas laterales del tramo estudiado, donde se encuentran los pilares P5, P6 y P10, hubo un proceso de agradación, con un aumento en el nivel del fondo de 9, 3 y 48 cm, respectivamente.

Almonte & de la Cruz (2022) afirman que cuando el caudal de un río aumenta, es probable que se produzca un proceso de socavación que puede afectar la subestructura de un puente, como los estribos y los pilares, lo que podría resultar en un colapso parcial o total de la estructura. Por lo tanto, el objetivo del estudio fue evaluar y diseñar medidas de protección contra la socavación hidráulica en el

puente Unocolla en la ciudad de Juliaca, Puno. Para esto, se recopiló información topográfica, hidrológica y sedimentológica, y se llevó a cabo un modelamiento hidráulico utilizando el software Hec-Ras. Se determinaron las profundidades de socavación para cada pilar, siendo 1.2 m para el pilar 1, 2.46 m para el pilar 2, 1.2 m para el pilar 3 y 1.2 m para el pilar 4. Como alternativa de solución, se propuso el proceso de enrocado.

Palma (2022) tuvo como objetivo estimar la profundidad de socavación local en el puente Jangas utilizando ecuaciones empíricas. El puente se encuentra en el distrito de Jangas, provincia de Huaraz, departamento de Ancash. Se determinó un periodo de retorno de 500 años para calcular los caudales máximos de diseño, los cuales fueron validados mediante rastros de paleocrecida aguas arriba. Se aplicaron varios métodos empíricos para estimar la socavación local y se validaron mediante observaciones directas en campo. Los resultados mostraron que, con un caudal máximo de diseño de 734.00 m<sup>3</sup>/s, los métodos de Liu, Chang y Skinner, Artamonov, Froehlich, Laursen y Hire estimaron socavaciones de 2.00 m., 1.95 m., 3.31 m., 4.08 m. y 12.05 m., respectivamente. Con el caudal máximo de diseño del Gobierno Regional de Ancash (2017), las estimaciones fueron de 2.01 m., 1.88 m., 3.33 m., 4.06 m. y 11.82 m. El método de observación directa en campo arrojó una socavación de 3.10 m. En conclusión, el método de Froehlich fue el que mejor se adaptó para estimar y predecir la socavación local en el puente Jangas, considerando el material del lecho clasificado como grava bien graduada.

Diego & Zerpa (2019) en su tesis tuvo como objetivo estimar la socavación en los puentes Cuzco, Ascensión y Callqui Grande para Tr 50, 75, 100, 150, 200 hasta 500 años, utilizó el sistema de modelamiento hidrológico para calcular el caudal de diseño y para estimar las elevaciones de socavación se

utilizaron los métodos Laursen haciendo uso del software HEC-RAS. Concluyeron que el caudal máximo horario incide significativamente en la socavación local en pilares de puentes sobre el curso del río Ichu en la ciudad de Huancavelica.

Esparza (2019) en su tesis realizó el modelamiento del cauce del río Chicama de 2 km (300 m) de extensión con referencia al Puente Careaga aguas arriba y aguas abajo del puente 1700 m, para esto analizó la data topográfica del tramo de estudio, determinó los caudales y precisó la velocidad del flujo. Concluyendo que la colocación de un dique en el margen derecho del río Chicama, aguas abajo puente Careaga favorece efectivamente evitando el desbordamiento en ese margen del río.

Gerónimo (2019) en su investigación tuvo por objetivo estimar la socavación del río Martho al pie de estribos del puente Sinsicap, realizó estudios básicos de ingeniería, topografía del cauce 700 y 500 m aguas arriba y abajo, estudio granulométrico en el lecho del río, cálculo hidrológico de precipitaciones e intensidades máximas con los softwares Hidroesta, ArcGis y AutoCAD, posteriormente realizó el análisis de socavación con el programa HEC-RAS. Concluyendo, que la socavación total para un tiempo de retorno de 137 años equivale a 3.05 y 3.19 m para estribo derecho e izquierdo, correspondientemente.

Quispe (2019) en su investigación tuvo por fin realizar una modelación para el control de la socavación del estribo del puente Marita sobre el río Karacha en la carretera Sankos-Saxamarca, teniendo en cuenta el caudal máximo para evitar el colapso del puente. Realizó la topografía, el estudio de mecánica de suelos e hidrológico utilizando los softwares HEC-HMS y HEC-RAS para conocer los niveles de agua en el puente y el aliviadero respectivo. Concluyendo

que disminuyendo el paso del agua por debajo del puente y derivándolo por una alcantarilla de alivio, se controla la socavación de los estribos del puente Marita.

Condori (2018) tuvo por fin el análisis de socavación que se da en los pilares de los puentes Central y Ramana de Putina en Tr 50 años, además de proponer alternativas para proteger de la socavación a estos pilares, para ello utilizó métodos empíricos y experimentales, con data de las características de la cuenca, precipitaciones, caudal de aforo, velocidad de flujo, etc., concluyendo, que la hondura de socavación local de los pilares del puente Central y Ramana varían correspondientemente de 0.91 m a 1.55 m y 1.01 m a 1.56 m, mientras que con el modelo físico resulta 1.15 m y 1.35 m.

Felipe-Matías (2016) en su noción de maestría tuvo como fin determinar la socavación transversal, general y local del puente Colpa Alta, para lo que utilizó Factores hidráulicos que le proporcionó el HEC-RAS, para aplicar los métodos Artamanov, Straub y Masa. Concluyendo, que por el método Straub se obtiene la mayor socavación transversal siendo está igual a 7.53 y 7.31 m para el estribo derecho e izquierdo.

### **2.1.3. Antecedentes regionales**

Idrogo (2022) tuvo por objetivo evaluar el estado y la funcionalidad técnica de las obras de arte de la carretera CA-105, específicamente los puentes y pontones ubicados en el tramo que va desde el Km 65+000 al Km 78+000 en Chota. Para ello, se llevó a cabo una inspección visual, física e hidráulica de cinco puentes y pontones, utilizando la “Guía para inspección de puentes” del MTC (2006). Los resultados mostraron que el puente N° 2 está en buen estado visual, mientras que el puente N° 1 y el pontón N° 1 se encuentran en estado regular, el pontón N° 3 está en mal estado y el pontón N° 2 está en muy mal estado. En cuanto

a los elementos estructurales, los ensayos de esclerometría revelaron que los puentes N° 1 y N° 2 tienen un promedio de resistencia de 245.10 y 276.40 kg/cm<sup>2</sup>, respectivamente, mientras que los pontones N° 2 y N° 3 solo alcanzan 114.40 y 176.60 kg/cm<sup>2</sup>. También se determinó, a través del análisis hidráulico, que el pontón N° 1, el puente N° 1, el puente N° 2 y el pontón N° 3 tienen un borde libre de 50, 30, 40 y 60 cm, respectivamente, para caudales máximos con un período de retorno de 25 años. Sin embargo, el pontón N° 2 no cumple con la capacidad hidráulica requerida. En resumen, se concluyó que el pontón N° 2 es la obra hidráulica en peor estado y se sugirió diseñar un puente tipo losa para su reemplazo.

Tenorio & Valdera (2021) tuvieron como objetivo calcular los niveles de socavación en los estribos de los puentes El Callejón, La Rinconada y Chonta en el río Chonta - Cajamarca mediante la simulación hidráulica. Para esto, se recopiló información hidrológica del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología y se procesó utilizando parámetros estadísticos y el modelo HEC-HMS para determinar los caudales máximos en diferentes periodos de retorno. Se construyeron modelos físicos de los estribos y se tuvieron en cuenta variables como la pendiente del río, el tamaño de los sedimentos y el caudal para recrear las condiciones de socavación. Los resultados obtenidos por el software HEC-HMS fueron de 170 m<sup>3</sup>/s para T-10 años, 216 m<sup>3</sup>/s para T-25 años, 254.8 m<sup>3</sup>/s para T-50 años, 291.3 m<sup>3</sup>/s para T-100 años y 313.8 m<sup>3</sup>/s para T-150 años en el puente Chonta. La precisión obtenida de los datos de socavación fue del 98.78% en el puente Chonta, 96.67% en el puente El Callejón y 96.59% en el puente La Rinconada, lo cual permitió calibrar el modelo hidráulico con los datos obtenidos en el lugar. En consecuencia, se estimaron los niveles de socavación para caudales



máximos probables en diferentes periodos de retorno, obteniendo profundidades de 1.50m a 1.65m para el puente Chonta, 1.95m a 2.00m para el puente El Callejón y 0.50m a 0.75m para el puente La Rinconada.

Vásquez & Llique (2017) en su artículo científico hicieron un estudio experimental para estimar el aumento en la hondura de socavación cuando una estructura de captación dreña en un río con un lecho no cohesivo. Los resultados muestran un efecto aditivo en la hondura de socavación para sedimentos de capas no cohesivas con gradación no homogénea y contenido de arena y grava de 30% a 60%, y también confirman que la hondura de socavación en la descarga de la estructura de drenaje se ve directamente afectada por la corriente aguas abajo, aumentando la socavación en hondura entre un 75 % y 300 % para diferentes condiciones de contracción del cauce, desde una pendiente suave de alrededor del 0.1 % hasta una pendiente pronunciada de alrededor del 2.4 %.

Pajares & Vásquez (2017) en su tesis tuvieron como principal objetivo determinar cuál de las metodologías entre la FDOT y la HEC-18 es más precisa para calcular la socavación en pilares de puentes en lechos arenosos. Analizaron 146 bases de datos Pier Scour de 2014 del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS) para puentes ubicados en los Estados Unidos, Canadá y Serbia. Concluyendo que, el método FDOT da mejores resultados para los cálculos de socavación, especialmente para los casos en que el caudal varía de 0.65 a 1.50 con respecto a la celeridad crítica.

León (2016) en su noción de doctorado evaluó la hondura de socavación del río Crisnejas, porque el muro falló al desestabilizarse su cimentación. Consideró máximas avenidas a través de modelos matemáticos y lo cotejó con un modelo hidráulico en laboratorio para Tr 50 años. El caudal lo modeló por análisis

dimensional y similitud dinámica. Las muestras de suelo las tomó del fondo del río. Para los modelos matemáticos la hondura de socavación iba de 1.80 a 2.54 m y para el modelo en laboratorio la hondura era 2.80 m. Concluyó que la hondura de socavación del río Crisnejas en el punto de estudio es 2.80 m.

## **2.2. Bases teórico – científicas**

### **2.2.1. Interacción río – puente**

La interacción hidrológica entre un río y un puente se refiere a cómo el flujo de agua del río afecta el puente y cómo el puente puede afectar el flujo de agua en el río.

Cuando un río fluye bajo un puente, el agua puede ejercer una presión sobre los pilares y las bases del puente. Esta presión depende del caudal del río, la velocidad del agua y la forma y diseño del puente. Si la presión del agua es demasiado fuerte, puede debilitar o dañar la estructura del puente. Por lo tanto, es importante diseñar puentes para soportar la presión hidráulica.

Además, el flujo de agua en el río puede verse afectado por la presencia del puente. La geometría del puente y su ubicación pueden generar perturbaciones en el flujo natural del río, lo que puede resultar en cambios en la velocidad y dirección del agua. Estos cambios en el flujo pueden causar erosión o sedimentación aguas arriba o aguas abajo del puente, lo que puede tener un impacto en la forma en que el agua se mueve y en el ecosistema acuático.

Los puentes también pueden obstaculizar el paso libre de sedimentos y objetos flotantes a través del río. Esto puede causar una acumulación de sedimentos y la formación de bancos de arena o grava cerca del puente. Además, los puentes pueden actuar como barreras para los peces y otros organismos

acuáticos que intentan desplazarse a lo largo del río, lo que puede interrumpir los patrones migratorios y tener un impacto en la biodiversidad del ecosistema fluvial.

Los ríos son fluidos cambiantes en la naturaleza. La estabilidad de los ríos puede verse gravemente perturbada por la construcción de puentes, por ello, es importante recordar que, si el tramo de río involucrado es inestable, el puente también lo será. Siendo así, el estudio hidráulico debe depender de las características del puente tales como: su importancia en la red vial, costo, consecuencias de su falla, tipo de estructura, riesgo aceptable, etc. Es importante señalar que una buena operación hidráulica depende no solo del correcto análisis sino también de una comprensión profunda de la hidráulica local en la que se diseña (Scacchi et al., 2003).

En resumen, la interacción hidrológica entre río - puente es un aspecto sustancial a considerar en el diseño y construcción de puentes, así como en la gestión de los ecosistemas fluviales. El flujo de agua del río puede afectar la estructura del puente, mientras que el puente puede influir en el flujo y las características hidrológicas del río.

### **2.2.2. *Socavación y sedimentación en puentes***

Los principales problemas hídricos que afectan a los puentes son la erosión de los vanos del puente (pilares y estribos) y la deposición, la primera de las cuales destruye los cimientos del puente provocando el colapso, y la segunda también indirectamente, debido a que los sedimentos reducen el flujo de agua del área de paso, resultando en la inundación, donde el flujo de agua fluirá sobre el propio puente. Aunque mucha gente tiende a pensar solo en fenómenos causados por pilares de puentes que no coinciden cuando se habla de socavación, la socavación total suele ser el resultado de tres componentes: (Campa-Rodriguez, 2015)

La socavación natural se refiere a los cambios a largo plazo en la elevación del canal del río, generalmente debido a causas naturales, y afecta el alcance del río en el que se encuentra el puente. Los procesos que ocurren se llaman deposición y degradación. La sedimentación implica la deposición de material erosionado de un canal o cuenca, mientras que la degradación implica la erosión total de un canal como resultado de un suministro insuficiente de sedimentos aguas arriba que hace que el canal se hunda o se arrastre durante un período de tiempo relativamente largo (Toapaxi et al., 2015).

La socavación por contracción se refiere al descenso del lecho del río cerca del puente. Estas inmersiones pueden ser suaves o profundas, por lo que algunas partes de la sección transversal pueden tener socavaciones más profundas. La socavación por contracción ocurre cuando el área de la sección transversal de un canal disminuye por pilares y/o estribos. La disminución en el área de la sección transversal del canal en la ubicación del puente, debido a la constricción a la que está sujeto, da como resultado un aumento en la velocidad del flujo, lo que resulta en un esfuerzo cortante en el lecho. El aumento del esfuerzo cortante puede exceder el umbral del esfuerzo cortante del lecho del canal y mover sedimentos a lo largo (o casi todo) el ancho del canal (Campa-Rodriguez, 2015).

La socavación es un fenómeno tridimensional complicado que resulta del encuentro del flujo de agua con pilares y estribos. En el caso de pilotes, hay una aceleración del flujo descendente a través de la cara del pilote, creando un gradiente de presión. Este gradiente crea un flujo vertical de agua hacia el fondo del canal que golpea el lecho del río creando una erosión muy localizada (agujeros) alrededor de la estructura que puede conducir al asentamiento y/o rotación de la estructura (Nalluri et al. 1999).

### ***2.2.3. Parámetros geomorfológicos e hidrológicos que influyen en la socavación de un puente***

Los parámetros que influyen en la socavación son los parámetros hidráulicos y geomorfológicos. En los parámetros geomorfológicos las características de mayor interés son la pendiente, la geometría de la sección transversal, su forma en planta, las características del material del lecho y las condiciones de borde del canal. Entre los factores hidráulicos, es importante verificar que el flujo de agua, tales como celeridad, persistencia, caudal y frecuencia, así como la tasa y tipo de sedimento transportado durante tales eventos, para valorar la socavación (Barbosa, 2013).

Los parámetros geomorfológicos presentes en la quebrada que pueden influir en la socavación de un puente son: (Barbosa, 2013)

**Área de la cuenca:** Cuanto mayor sea el área de la cuenca, es probable que también lo sea la cantidad de agua que fluye hacia el puente. Esto puede aumentar la velocidad y la fuerza del flujo de agua, lo que a su vez puede aumentar la erosión y la socavación en los cimientos del puente.

**Pendiente de la cuenca:** La pendiente del terreno puede determinar la velocidad y volumen de agua que fluye a través de la misma. Si la topografía es abrupta, puede haber un mayor riesgo de socavación debido a la mayor velocidad del agua. La pendiente de la cuenca determina la velocidad a la que el agua fluye hacia el puente. Una pendiente pronunciada aumentará la velocidad del flujo, lo que puede llevar a una mayor erosión y socavación del puente. Si la pendiente es muy alta, el agua puede volverse turbulenta y causar daños adicionales.

**Altitud media de la cuenca:** La altitud media de la cuenca puede influir en la cantidad de precipitación que cae en ella. Si la altitud media es alta, es probable

que haya más precipitación, lo que puede aumentar el flujo y la socavación del puente. Además, la altitud puede estar relacionada con la elevación del terreno circundante, lo que podría influir en la cantidad y velocidad del agua que fluye hacia el puente.

**Longitud del curso principal:** La longitud del curso principal se refiere a la distancia que recorre el agua desde su origen hasta llegar al puente. Una longitud mayor implica un mayor tiempo de viaje y, por lo tanto, un mayor tiempo para que la erosión y la socavación tengan efecto en el puente. Sin embargo, también puede aumentar la cantidad total de agua que fluye hacia el puente.

**Tiempo de concentración:** El tiempo de concentración se refiere al tiempo que tarda un punto en la cuenca en influir en el flujo del agua hacia el puente. Si el tiempo de concentración es muy corto, puede haber un flujo de agua repentino y rápido hacia el puente, lo que puede aumentar la erosión y la socavación. Por el contrario, si el tiempo de concentración es largo, puede haber una acumulación gradual de agua que también puede tener efectos negativos en el puente a lo largo del tiempo.

**Vegetación y uso del suelo:** Puede ayudar a reducir la velocidad del flujo de agua y prevenir la socavación. Por otro lado, la falta de vegetación o la presencia de especies invasivas pueden aumentar el riesgo de socavación. La alteración del uso del suelo, como la deforestación, la urbanización o la agricultura intensiva, puede llevar a un aumento en la erosión del suelo y la sedimentación en los ríos. Esto puede incrementar el riesgo de socavación.

En cuanto a los parámetros hidrológicos, los siguientes aspectos pueden influir en la socavación de un puente: (Barbosa, 2013)

**Precipitación:** La cantidad de precipitación que cae en un área determinada puede aumentar el caudal de los ríos y arroyos cercanos al puente. Si la precipitación es muy intensa y durante un largo período de tiempo, puede provocar un aumento significativo en el nivel del agua y, por lo tanto, aumentar las posibilidades de socavación del suelo que sustenta los cimientos del puente.

**Intensidad máxima:** La intensidad máxima de lluvia se refiere a la tasa máxima a la que cae la precipitación en un determinado lapso de tiempo. Si la intensidad de la lluvia supera la capacidad de absorción del suelo, el agua se acumulará rápidamente en la superficie, aumentando el caudal y la velocidad del agua que fluye bajo el puente. Esto puede provocar una mayor erosión del lecho del río y aumentar el riesgo de socavación del puente.

**Tiempo de retorno:** El tiempo de retorno se refiere al período promedio en el que se espera que ocurra una cierta intensidad de precipitación. Por ejemplo, un tiempo de retorno de 10 años significa que existe una probabilidad del 10% de que ocurra una lluvia de determinada intensidad cada año. Si la frecuencia de precipitaciones intensas es alta, aumenta la probabilidad de que ocurra una inundación y, por lo tanto, aumenta el riesgo de socavación bajo el puente.

**Caudal:** El caudal del río es uno de los primordiales factores hidrológicos que influyen en la socavación. Un aumento repentino en el caudal debido a lluvias intensas puede erosionar rápidamente el lecho y las bases de los puentes.

**Tirante de agua:** El tirante de agua se refiere a la altura del agua sobre el lecho del río o arroyo. Un aumento en el tirante de agua puede aumentar la presión hidrostática y la fuerza del agua que fluye bajo el puente. Esta presión puede acelerar la erosión del suelo y aumentar la posibilidad de socavación del puente.

**Velocidad del agua:** La velocidad del agua en el río también es un factor importante. Cuanto mayor sea la velocidad del agua, mayor será la erosión y el riesgo de socavación. Esto puede estar relacionado con la topografía y el caudal.

**Sedimentación:** La acumulación excesiva de sedimentos en el río puede reducir la profundidad del canal y aumentar el riesgo de socavación. Los ríos que transportan una gran cantidad de sedimentos tienen más probabilidades de experimentar socavación.

**Cambios en la dirección del flujo:** Como meandros o cambios en la pendiente del terreno, pueden aumentar la turbulencia y la erosión en el lecho del río. Estos cambios pueden ocurrir naturalmente o ser causados por actividades humanas.

Los parámetros geomorfológicos e hidrológicos de una quebrada pueden influir en la socavación de un puente. La topografía, geología, el caudal, velocidad del agua, sedimentación y cambios en la dirección del flujo, son elementos clave a tener en cuenta para evaluar el riesgo de socavación.

## **2.3. Marco conceptual**

### **2.3.1. *Hidráulica fluvial***

La hidráulica fluvial es una rama de la hidráulica que se enfoca en el estudio de los ríos y sus características. Según Rocha (1998) la morfología fluvial consiste en el análisis de los cambios que sufre un río en su cauce (perfil longitudinal) y sección transversal (cauce y márgenes), con el fin de vislumbrar y explicar los fenómenos de erosión - sedimentación, y cómo el río tomó su forma actual, es decir analiza cómo el agua interactúa con el lecho del río y las orillas, así como el impacto de factores como el clima, la topografía y la vegetación en la dinámica fluvial.



### **2.3.1.1.Cauce del río**

Se definen como cauces los terrenos o zonas cubiertas por agua en el momento de máxima crecida ordinaria (promedio del caudal máximo anual producido en su estado natural durante 10 años consecutivos, que representa el comportamiento hidráulico del caudal), teniendo en cuenta sus características geomorfológicas y características ecológicas (Hernández, 2018).

Los ríos son corrientes naturales de agua que fluyen constantemente. Tiene un caudal estimado, inconstante durante el año, que fluye hacia un mar, lago u otro río, en cuyo caso se denomina afluente. Siendo, la última parte del río el estuario, pero a veces, terminan en áreas desérticas, donde el agua se pierde por ósmosis y evaporación (Felipe-Matías, 2016).

### **2.3.1.2.Clasificación morfológica de los ríos**

De acuerdo con las formas geométricas del planeamiento actual, los ríos se pueden dividir en tres tipos básicos: lineales, serpenteantes y reticulados. Los parámetros utilizados para esta clasificación son la meandrosidad (sinuosidad del río) y la multiplicidad. Este último depende del número de barras que dividen la corriente en múltiples brazos (Horacio y Ollero, 2011).

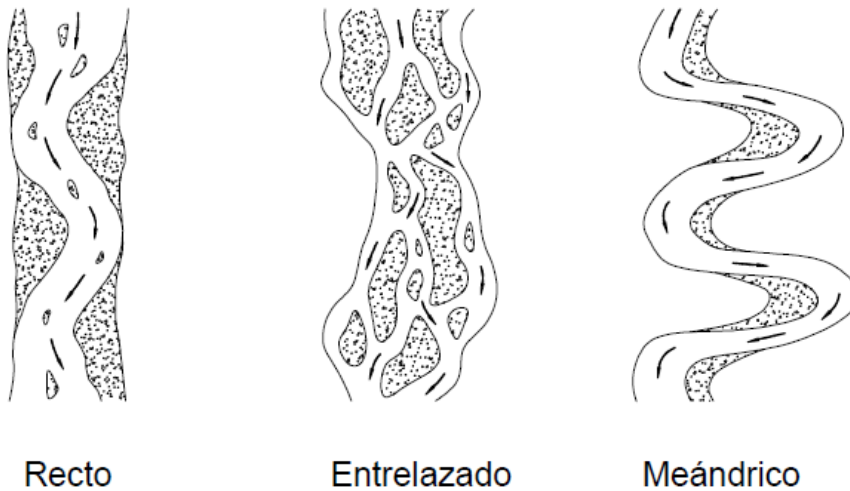
**Rectilíneo.** Los ríos rectos casi no existen en la naturaleza, generalmente solo se son un tramo del río, aunque a veces aparece un sistema de cauces rectos formado por terraplenes paralelos, pero en su interior, cuando el caudal es menor a su capacidad, el río desarrolla sus propios meandros (Rocha, 1998). Estas tienen una baja tortuosidad (inferior a 1.5) y multiplicidad número 1, es decir, monocal. Son muy inestables y tienden a evolucionar hacia otro tipo de ríos. Tienen un alto flujo de energía y fuertes capacidades de erosión (López, 2005).

**Anastomasado (trenzado).** Suele corresponder a un río ancho con fuerte pendiente formando un pequeño cinturón, donde el río discurre alrededor de pequeñas islas en varios cauces o brazos. Lane señaló que hay dos razones para la existencia de ríos entrecruzados, y son: Exceso de sedimentos que el río no puede transportar en su totalidad, uno de los cuales se deposita y provoca la formación de islas y fuertes pendientes, que forman pequeños cinturones; así mismo, los ríos siguen patrones de drenaje en función de la estructura geológica y las características del suelo, algunas áreas tienen un patrón de drenaje en forma de trellis (retícula), donde los ríos principales y sus afluentes se cruzan entre sí formando un entramado de corrientes entrecruzadas. Cualquiera de estos factores, o ambos, hacen que los ríos se entrelacen (Rocha, 1998). A medida que la isla de sedimentos se estabiliza, la vegetación pionera puede crecer primero en ella y luego volverse más estable utilizando el agua proporcionada por el propio río (Felipe-Matías, 2016).

**Meándricos.** Están formados por una serie de líneas curvas, que se caracterizan por un carácter muy dinámico no por la naturaleza del terreno sino por la naturaleza del comportamiento del río (Rocha, 1998). Este tipo de río tiene una gran tortuosidad (superior a 1.5) y un solo cauce. Su principal especialidad es una unidad geométrica denominada meandro, que es una curva completa en el curso de un río, formada por dos arcos consecutivos. A diferencia de los dos tipos anteriores, los ríos serpenteantes combinan características de erosión (generalmente en las partes cóncavas) y de depósito (en orillas convexas) que aparentemente se dan por la diferencia de celeridad del agua entre las dos orillas (Felipe-Matías, 2016).

## Figura 1

### Morfológica de los Ríos



Nota: (Rocha, 1998).

#### 2.3.1.3. Tipos de ríos de acuerdo con su régimen hidrológico

Existen diferentes tipos de ríos de acuerdo con su régimen hidrológico, es decir, la variabilidad en el caudal de agua a lo largo del año. Algunos de los tipos de ríos más comunes son:

**Efímeros.** aquellos ríos que transportan agua durante los períodos de fuertes lluvias y permanecen secos el resto del tiempo, como los ríos costeros (Rocha, 1998).

**Intermitentes.** Son ríos que tienen un caudal de agua que varía a lo largo del año, llegando incluso a secarse durante algunas temporadas. Estos ríos dependen principalmente de las lluvias estacionales.

**Perennes** Formados por cauces situados en zonas con abundantes precipitaciones y pocas variaciones a lo largo del año. Sin embargo, inclusive en superficies con poca lluvia, pueden existir ríos de flujo constante si hay un suministro adecuado de agua subterránea (es decir, agua subterránea). La mayoría de los caudales de los ríos experimentan variaciones estacionales y diurnas por las fluctuaciones en

la cubierta vegetal, precipitaciones y otros cambios climáticos como la nubosidad, la insolación, la evaporación o más bien la evapotranspiración (López, 2005).

**Estacional.** Estos ríos provienen de regiones de clima tipo mediterráneo, donde las estaciones varían mucho, con inviernos húmedos y veranos secos, y viceversa. Más zonas montañosas que zonas llanas (Horacio y Ollero, 2011).

**Transitorios.** Son ríos en desiertos o zonas de clima seco que tienen caudales esporádicos y pueden no recibir lluvias durante años. Esto se debe al hecho de que las tormentas son raras en las zonas de clima desértico. Pero cuando caen lluvias torrenciales, a menudo aguaceros torrenciales, el río crece rápidamente (Hernández, 2018).

**Alóctonos.** Son ríos, generalmente de zonas secas, cuyas aguas provienen de zonas por lo demás lluviosas (Felipe-Matías, 2016).

#### **2.3.1.4. Tipos de ríos de acuerdo con su edad**

Según Rocha (1998) pueden ser:

**Río joven.** Es el estado inicial del río, cuando el agua forma el cauce inicial, tiene una sección transversal en forma de V y es muy irregular.

**Río maduro.** Cuando un río madura, su sección aumenta, su pendiente disminuye y el río está en equilibrio o cerca de él. La pendiente del río permite trasladar los aportes sólidos que llegan hasta él. Hay desarrollo agrícola y urbano en las llanuras circundantes.

**Río viejo.** Los ríos más antiguos corresponden a estados de desarrollo más avanzados. La pendiente del río tiende a estabilizarse. Los ríos son canalizados y controlados. Todo el valle está muy utilizado. Importante desarrollo urbano, agrícola e industrial.

### 2.3.1.5. Flujo de un río y grados de libertad

Los flujos de un río según sus grados de libertad pueden ser: (Felipe-Matías, 2016).

**Flujo con un grado de libertad.** Conciernen a un río de fondo rígido y de contorno inmutable. Solo puede subir o bajar las correas a medida que cambia el flujo. Esto puede suceder si el fondo y la pendiente no varían cuando cambia el flujo de agua.

**Flujo con dos grados de libertad.** Corresponde a un río de fondo, cuyo desplazamiento lateral está limitado por condiciones naturales, cerros o condiciones impuestas, cauces. Este tipo de ríos adquieren su propia profundidad y pendiente ante los cambios de caudal, por lo que se requieren dos ecuaciones para obtener la pendiente y profundidad de la capa de agua, una de resistencia y otra de transporte de sedimentos.

**Flujo con tres grados de libertad.** En este punto, puede ajustar el ancho, la pendiente y la profundidad de la capa de agua. Corresponde a la parte recta del cauce natural, cuya parte es erosionable en el fondo y en las paredes. Los ríos y arroyos que desembocan en aluviones suelen tener tres grados de libertad.

**Flujo con cuatro grados de libertad.** Los ríos pueden cambiar su ancho, profundidad, pendiente y plan de curso, al igual que un río serpenteante.

### 2.3.2. Puentes

Estructuras más grandes que constituyen parte del sistema de drenaje lateral de una carretera para superar o cruzar obstáculos naturales, que pueden ser el curso de un arroyo o río. Los puentes son obras permanentes y pueden prestar servicio durante muchos años. Cuanto mayor sea la categoría de vía a la que pertenece, mayor será el tiempo de uso continuo del puente (Ochoa, 2017).

### **2.3.2.1. Alineación del puente respecto a la corriente**

El flujo de la tormenta generalmente tiene una dirección primaria a lo largo de la cual se deben alinear los puntales para que el ángulo de ataque sea cero. Sin embargo, la orientación del flujo de corriente eventualmente cambiará. Esta probabilidad debe ser considerada en el diseño. El efecto del ángulo de ataque sobre la erosión localizada dentro de los pilares es muy fuerte, y su fuerte efecto es una de las razones por las que se prefieren los pilares circulares para la erosión independientemente del ángulo de ataque.

Un sistema de drenaje de una cuenca hidrológica responde dinámicamente a un conjunto de factores ambientales que establecen su condición fluvial, correspondientes a las variables del río. En el proceso dinámico se consideran como variables independientes la geología, el clima, la topografía, el tiempo, el uso del suelo, la permeabilidad y la cobertura vegetal, las cuales interactúan de manera holística para controlar las variables dependientes como el flujo de líquido ( $QW$ ), la carga de sedimentos ( $QS$ ) y la pendiente ( $S$ ) del canal. La variable dependiente determina a su vez las características morfológicas de las causas, ya sean trezadas, serpenteantes o rectas (Felipe-Matías, 2016).

### **2.3.2.2. Partes de la estructura**

Según el MTC (2018), entre las estructuras de un puente tenemos:

- Gálidos: los gálidos horizontal y vertical para puentes urbanos serán el ancho y la altura necesaria para el paso del tráfico vehicular. El galibo vertical no será menor que 5.00 m
- Barreras de concreto: Se diseñan con altura, capacidad resistente y perfil interno adecuados.
- Barandas: Deben ser detalladas para que sean seguras, económicas y estéticas.

- Losas de transición: tendrán un espesor mínimo de 0.20 m y una longitud límite justificado dentro de la geometría del puente y los accesos.
- Estribos: serán dimensiones considerando la función de servir.
- Cortinas: elementos transversales externos.
- Alas: son estructuras laminares solidarias con las cortinas y con una geometría apropiada para la contención lateral de los terraplenes de acceso.

### **2.3.3. Sedimentos**

Material sólido, transportado por factores como viento, agua o hielo, que se deposita en capas de forma no consolidada (Arias-Madrid et al., 2012).

En cuencas hidrológicas es forzoso determinar la fuente del material transportado y la forma o modo de transporte. Cuando llovía y se iniciaba la escorrentía superficial se transportaba el material. Los canales naturales transportarán material desde el lecho mismo y desde la cuenca. Las que salen de la cama pueden ser finas o gruesas, y las que salen de la palangana son muy finas. Si la partícula entregada tiene menos de 0.0625 mm de diámetro, se dice que es de la cuenca, de lo contrario, su origen será el lecho (Felipe-Matías, 2016).

#### **2.3.3.1. Tamaño y forma del sedimento**

Los sedimentos naturales están compuestos por partículas que varían en tamaño, forma y densidad. Desde el punto de vista de la resistencia de los sedimentos al arrastre y su comportamiento al ser transportados por el flujo de agua, se dividen principalmente en: sedimentos cohesivos y no cohesivos. El tamaño de las partículas se precisa generalmente en procesos de su volumen o por el tamaño de malla, con el criterio principal basado en diámetro nominal.

**Tabla 1.***Tamaño de cada grupo de sedimentos*

| <b>Grupo</b> | <b>Clase</b> | <b>Tamaño, en mm</b> |
|--------------|--------------|----------------------|
| Bolos        | Muy grandes  | 2048-4096            |
|              | Grandes      | 1024-2048            |
|              | Medianos     | 512-1024             |
|              | Pequeños     | 256-512              |
| Cantos       | Grandes      | 128-256              |
|              | Pequeños     | 64-128               |
| Grava        | Muy gruesa   | 32-64                |
|              | gruesa       | 16-32                |
|              | Mediana      | 8-16                 |
|              | fina         | 4-8                  |
|              | Muy fina     | 2-4                  |
| Arena        | Muy gruesa   | 1-2                  |
|              | gruesa       | 0.5-1                |
|              | mediana      | 0.25-0.5             |
|              | Fina         | 0.125-0.25           |
|              | Muy fina     | 0.062-0.125          |
| Limo         | Grueso       | 0.031-0.062          |
|              | Mediano      | 0.016-0.031          |
|              | Fino         | 0.008-0.016          |
|              | Muy fino     | 0.004-0.008          |
| Arcilla      | gruesa       | 0.002-0.004          |
|              | Mediana      | 0.001-0.002          |
|              | fina         | 0.0005-0.001         |
|              | Muy fina     | 0.00024-0.0005       |

Nota: (García y Maza, 2017)

**2.3.3.2. Transporte de sedimentos**

Los modelos de transporte según Sánchez et al. (2009) son los siguientes:

El modelo de Sunamura y Horikawa (1971) es el más básico y se aplicó inicialmente solo de manera unidireccional para identificar la fuente del material sedimentario y el destino final de las partículas con base en la comparación de dos parámetros estructurales (m y s).



Gao y Collins (1992) desplegaron un modelo 2D fácil de aplicar. Los vectores de tendencia se determinan comparando cuadrículas de muestreo de parámetros de textura de sitios "vecinos". Las estaciones "cercanas" se determinan en función de las distancias características que representan la escala espacial muestreada. Sin embargo, los resultados de dicho análisis vectorial pueden verse afectados por el tamaño de la distancia característica; en otras palabras, si la distancia característica es demasiado grande, promoverá el cambio de dirección de los vectores restantes de transmisión, lo que resultará en direcciones de transmisión no representativas.

El transporte de sedimentos se produce por: (Felipe-Matías, 2016)

**Suspensión.** El material sigue el mismo movimiento del agua y se mueve a la misma velocidad. Son las partículas finas, como limo y arcilla, que se asientan por gravedad solo cuando el agua fluye lentamente o se estanca.

**Saltación.** Las partículas se mueven mediante sucesivos saltos discretos. Este tipo de transporte involucra arena en las cuencas de los ríos y grava en las cuencas de inundación. A diferencia de las formas de transporte anteriores, este es un transporte individual en lugar de colectivo.

**Arrastre.** Adecuado para el transporte a gran escala de materiales de cualquier tamaño. El material de gran tamaño ocurre solo durante inundaciones severas, cuando todos los materiales se transportan juntos, mezclados en tamaño; esto ocurre particularmente en fuentes superficiales con condiciones de inundación.

Además de debe conocer también: (Felipe-Matías, 2016)

**Carga.** Transporte de cantidades definidas de material, independientemente de su dimensión.

**Competencia.** Transporte de material de una dimensión determinada. Por ejemplo, al acrecentar la carga de finos, la escorrentía se vuelve más viscosa, lo que lleva a un acrecentamiento en la densidad del flujo, lo que puede afectar la competencia por trasladar partículas más grandes. Según la naturaleza del sedimento y su principal forma de transporte, la carga sedimentaria se puede dividir en:

- **Cargas suspendidas.** Por lo general, consiste en depósitos de limo y arcilla, donde, el sedimento se mueve en suspensión.
- **Cargas de fondo.** Los materiales transportados son arena y materiales más gruesos que se transportan regularmente en o cerca del fondo del lecho a medida que se mueven arrastrando el material debido a su peso.

### 2.3.3.3. Distribución del transporte de sedimentos

La distribución de sedimentos con tamaños de partículas que van desde arenas finas a gruesas indica que las condiciones hidrodinámicas deben ser lo suficientemente intensas para limitar la deposición y el contenido (Sánchez et al., 2008).

Se usan cuatro zonas para definir la distribución de sedimentos: zona superior, media, inferior y fondo. Se calcula el volumen de transporte de sedimentos de forma independiente para cada área y se suman (Valverde, 2019).

Para la zona inferior:

$$g_{ssl} = \frac{\left(\frac{R}{11.24}\right)^{1+n_p-0.756z} - (2D_m)^{1+n_p-0.756z}}{1+n_p-0.756z} \quad (1)$$

Para la zona media:

$$g_{ssM} = M \frac{\left(\frac{R}{11.24}\right)^{0.244z} - \left(\frac{R}{2.5}\right)^{1+n_p-z} - \left(\frac{R}{11.24}\right)^{1+n_p-z}}{1+n_p-z} \quad (2)$$

Para la zona superior:

$$g_{ssU} = M \frac{\left(\frac{R}{11.24}\right)^{0.244Z} \left(\frac{R}{2.5}\right)^{0.5Z} \left[ R^{1+n_p-1.5Z} - \left(\frac{R}{2.5}\right)^{1+n_p-1.5Z} \right]}{1+n_p-1.5Z} \quad (3)$$

Zona de fondo:

$$g_{sb} = M(2d_m)^{1+n_p} 0.756z \quad (4)$$

Donde:

- $M = 43.2CL (1 + n_v)VR^{0.756z - n_v}$
- $n_v = 0.1198 + 0.00048 T$
- $Z = \omega V CzDS$
- $Cz = 260.67 - 0.667$
- $T =$  Temperatura del agua (T)
- Velocidad de caída ( $\omega$ )
- Velocidad media del flujo ( $v$ )
- Pendiente de la corriente real ( $S$ ).

$$gS = g_{ssL} + g_{ssM} + g_{ssU} + g_{sb} \quad (5)$$

- $g_{ssL}$ : Transporte de sedimentos en suspensión en la zona inferior, en toneladas/día/pie.
- $g_{ssM}$ : Transporte de sedimentos en suspensión en la zona media, en toneladas/día/pie.
- $g_{ssU}$ : Transporte de sedimentos en suspensión en la zona superior, en toneladas/día/pie.
- $g_{sb}$ : Transporte de sedimentos de fondo, en toneladas/día/pie.
- $g_s$ : Transporte total de sedimentos, en toneladas/día/pie.

La ecuación de difusión de sedimentos se ha verificado en diferentes ríos, se expresa mediante la siguiente formula:

$$E_s \frac{dC}{dz} + CW_s = 0 \quad (6)$$

Donde:  $E_s$ : es el coeficiente de difusión de remolino,  $C$ : es la concentración de sedimentos en suspensión y  $W_s$ : la velocidad de caída del grano.

#### **2.3.4. Socavación**

Esto ocurre cuando el flujo del agua es lo suficientemente intenso como para remover el suelo o sedimentos en un área determinada. La socavación puede ser causada por la fuerza del agua al golpear contra el suelo, arrastrando partículas y creando agujeros o cavidades. Manera de erosión que sucede cuando los eventos naturales o las influencias humanas hacen que el poder erosivo del agua sea mayor que la capacidad del material de la tierra para resistir su impacto (Esteves, 2018). La socavación es un proceso que consiste en la erosión o desgaste del terreno cercano a una estructura, como un río o una costa.

##### **2.3.4.1. Tipos de socavación**

Según Galiano y Toapaxi, (2010)

- Socavación general: Conocido como normal, reside en una mengua general del fondo debido a un acrecentamiento en el arrastre del sedimento debido a un aumento de caudal (inundación). Ocurre debido a un desequilibrio entre la entrada de sólidos para entregar agua a una sección y el material eliminado.
- Socavación local. Se origina por la presencia de angosturas, recodos o estructuras en el río, que provocan un acrecentamiento de la fuerza del flujo para remover material del lecho del río. Tiene un área de influencia limitada con turbulencia dinámica y la creación de remolinos y remolinos debido al flujo obstruido.

**Tabla 2**

*Tipos de socavación local*

| <b>Socavación</b>                   | <b>Descripción</b>   |
|-------------------------------------|--|
| Socavación Local en Estrechamientos | Ocurre a lo largo del estrechamiento más o menos brusco del canal. Por ejemplo, en la base de un puente al otro lado del río.  |
| Socavación Local en Curvas          | En la curva del cauce, la velocidad es mayor en su parte exterior (el valle), aumentando la capacidad de arrastre de sólidos y provocando mayor profundidad de socavación en esa zona.   |
| Socavación Local en Pilas:          | La socavación en el pilar es más rápida, lo que ocurre debido a la mayor velocidad alrededor del pilar, lo que conduce a la formación de vórtice frontal, vórtice lateral y vórtice de estela detrás del pilar, que es la principal causa de dicho daño. |

Nota: (Galiano y Toapaxi, 2010).

Se presenta una lista de los métodos de socavación contemplados en el Decreto Supremo N° 034-2008-MTC: (Felipe-Matías, 2016)

1. Socavación general

1.1 Método de Lischtvan – Levediev

1.1.1 Para suelos granulares

1.1.2 Para suelos cohesivos

2. Socavación local

2.1 Estimación de la socavación local en estribos

2.2.1 Método de Artamonov

2.2.2 Método de Laursen

2.2.3 Método de Melville

2.2.4 Método de Froehlich

**2.3.5. Socavación general**

Hundimiento del fondo del río cuando se produce un flujo de agua debido al aumento de la capacidad de carga de la materia sólida del flujo debido al aumento de la velocidad. La causa específica de que el agua fluya por el fondo es

una cuestión de equilibrio entre la contribución del flujo de agua a los sólidos de una determinada fracción. Durante las inundaciones, la velocidad del agua y la capacidad de remolque aumentan. La relación entre la velocidad promedio del agua ( $v_r$ ) y la velocidad promedio ( $V_e$ ) solicitada para arrastrar las partículas del fondo precisa la capacidad de arrastre del material en esta región. La velocidad promedio del flujo de agua depende de las propiedades del río, mientras que la celeridad necesaria para el arrastre depende de las propiedades del agua. Para suelos granulares, la celeridad de arrastre no es la velocidad a la que las partículas comienzan a moverse, sino la velocidad a la que se mantiene el movimiento general de las partículas. Asimismo, la caracterización de los materiales se realiza a partir de la dimensión de las partículas. En suelos cohesivos, la celeridad de arrastre será capaz de suspender las partículas. Debe tenerse en cuenta que, para la misma velocidad media del flujo de agua, cuando el agua lleva una gran cantidad de finos en suspensión, la socavación general se reduce porque la viscosidad de la mezcla reduce el grado de turbulencia; por lo tanto, si para una hondura de capa de agua-sedimento dada, debe haber un estado que cause la misma erosión que en el caso del agua limpia, por tanto, la velocidad promedio debe aumentarse (Felipe-Matías, 2016).

### ***2.3.6. Socavación local***

Ocurre alrededor de un obstáculo en el flujo siendo consecuencia de la perturbación del flujo por el obstáculo o la estructura. Estas perturbaciones se pueden definir como aumentos en las celeridades locales o formación de vórtices. El desarrollo del proceso de socavación depende fundamentalmente de la velocidad de escorrentía y de la intensidad de la turbulencia (Peñaloza, 2017).

La socavación local es un fenómeno que ocurre cuando el agua de un río o arroyo erosiona el lecho del mismo alrededor de los pilares de un puente. Esta erosión debilita la base de los pilares y puede causar daños graves en la estructura del puente, comprometiendo su estabilidad y seguridad.

La estimación de la socavación local se realiza a través de estudios geotécnicos e hidráulicos. Los estudios geotécnicos involucran la evaluación del suelo y las características del lecho del río, como su resistencia y permeabilidad. Por otro lado, los estudios hidráulicos se centran en analizar las características del flujo de agua, como el caudal, la velocidad y la dirección de las corrientes.

Con estos estudios, se determina la profundidad y el alcance de la socavación local alrededor de los pilares del puente. También se evalúa el riesgo de futuros procesos de socavación, teniendo en cuenta variables como el régimen de lluvias, la erosión del terreno y el comportamiento del río.

La estimación precisa de la socavación local es de gran importancia en los puentes, ya que permite tomar medidas preventivas o correctivas para garantizar su seguridad y prolongar su vida útil. Al conocer la magnitud de la socavación, se pueden diseñar soluciones de protección y estabilización, como la construcción de enrocados o muros de contención, para evitar que el agua erosione el lecho del río y debilite la estructura del puente (Peñaloza, 2017).

### **2.3.7. Estudio hidrológico e hidráulico**

La hidrología es la ciencia natural que estudia el origen del agua, su circulación y distribución en la superficie terrestre, sus propiedades químicas y físicas, y su relación con el medio ambiente, incluidos los seres vivos. Una cuenca hidrológica es una cuenca de flujo de agua, una cuenca de flujo de agua. Toda el agua que cae por precipitación se junta para formar un cauce (Villón, 2004).

### 2.3.7.1. Cuenca hidrográfica y sus propiedades geomorfológicas

Las cuencas hidrológicas o de captación, también conocidas como cuencas de captación, son extensiones de terreno que recogen aguas de escorrentía y las trasladan a los denominados cuerpos de agua superficiales. El agua que fluye hacia cuerpos de agua superficiales o cuerpos de agua se denomina escorrentía superficial, y el que fluye a través de ríos hacia el océano se denomina escorrentía de los ríos (Romero et al., 2009).

La delimitación de las cuencas hidrográficas es una elección en sí misma. El tamaño o superficie de la cuenca dependerá del método y la escala utilizada en la delimitación, que a su vez dependerá del criterio de quienes desarrollen, interpreten y apliquen el método (García y Kauffer, 2011).

Los indicadores geomórficos seleccionados incluyen área, longitud de la cuenca y su perímetro, pendiente promedio de la cuenca, curva altimétrica, histograma de frecuencia altimétrica, altura y elevación promedio, densidad de drenaje, perfil del canal principal y pendiente promedio. Además del índice de forma de la cuenca y el tiempo de concentración (Morales et al., 2019).

$$F = \frac{A}{L^2} \quad (7)$$

Donde: F Factor de forma. A= Superficie. L= Extensión del cauce principal.

$$K_c = 0.28PA^{-1/2} \quad (8)$$

Donde: Kc= factor de Gravelius. P= Perímetro. A= Superficie.

$$H = \frac{1}{A} \sum_{i=1}^n H_i \times A_i \quad (9)$$

Donde: H= Altitud media (msnm). Hi= Altura de la superficie acopiada Ai sobre la curva Hi. A= Superficie. n= Número de superficies parciales

$$S_c = \frac{C}{A} \sum_{i=1}^n l_i \quad (10)$$



Donde: Sc= Pendiente de la cuenca. C= Equidistancia entre curvas de nivel. A= Superficie. Li= longitud de cada curva de nivel

$$S_o = \left[ \frac{\sum_{i=1}^n L_i}{\sum_{i=1}^n \left(\frac{L_i}{S_i}\right)^{1/2}} \right]^2 \quad (11)$$

Donde: So= Pendiente del cauce principal. Li= longitud de cada tramo de pendiente Si. n= número de tramos de similar pendiente

$$Tc = 0.3 \left( \frac{L}{S^{0.25}} \right)^{0.75} \quad (12)$$

Donde se muestra la fórmula de Témez con: Tc= tiempo de concentración (horas). L= longitud del cauce principal, en km. S= pendiente del máximo recorrido.

### 2.3.7.2. Análisis de precipitaciones e intensidades máximas

#### a) Precipitaciones máximas

Villón (2002), afirma que la precipitación es toda forma de humedad originándose en las nubes, llega hasta la superficie del suelo.

La precipitación máxima en 24 horas generalmente tiene las características de alta intensidad y corta duración, en el análisis se debe considerar su frecuencia, duración y precipitación acumulada. Estos tres factores están relacionados por una curva denominada frecuencia-duración-altura (IDF) de las precipitaciones (Coras-Merino, et al., 2005).

$$P_d = P_{24h} \left( \frac{d}{1440} \right)^{0.25} \quad (13)$$

Donde: Pd= precipitación total (mm), d= duración en minutos, P<sub>24h</sub>= precipitación máxima en 24 horas (mm).

#### b) Transferencia de precipitaciones máximas

Se realiza de acuerdo con los parámetros donde reside: (Ortiz, 2015, p. 30).

$$\frac{I_o t_o}{H_o} = \frac{I_d t_d}{H_d} \quad (14)$$

Donde:  $I_d$ = intensidad de lluvia en la quebrada destino.  $I_o$ = intensidad de lluvia en la quebrada de origen.  $t_c$ = escala de periodos de duración .  $H_c$ = escala de altitudes.

Si para lluvia se tiene “ $LT^{-1}$ ” (Ortiz, 2015, p. 30), se obtiene:

$$I_x = I_e \frac{H_x}{H_e} \quad (15)$$

Donde:  $I_x$ = intensidad buscada para la quebrada x.  $I_e$ = intensidades calculadas para la estación.  $H_x$ = altitud media de la quebrada x.  $H_e$ = altitud de la estación

### c) Análisis de frecuencias (Modelos de distribución)

El objetivo del análisis de frecuencia es estimar la cantidad, intensidad o caudal máximo de lluvia (según sea el caso) para diferentes periodos de retorno por la aplicación de un modelo probabilístico (que puede ser discreto o continuo). El análisis se basa en las diferentes distribuciones de frecuencia usadas en el análisis de los eventos hidrológicos más grandes. En el caso del evento más grande, la distribución de frecuencia más común es: (MTC, 2018)

$$f(x) = \frac{1}{(x-x_0)\sqrt{(2\pi)S_y}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln(x-x_0)\mu_y}{S_y}\right)^2} \quad (16)$$

Donde, representa la distribución log normal 3 parámetros *para*  $x > x_0$ ,

Donde:  $x_0$  parámetro de posición,  $\mu_y$  parámetro de escala o media, y  $S_y^2$  parámetro de forma o varianza.

Distribución Log Normal 2 parámetros

$$P(x \leq x_i) = \frac{1}{S\sqrt{(2\pi)}} \int_{-\infty}^{x_i} e^{-\frac{(x-\bar{X})^2}{2S^2}} \quad (17)$$

Donde:  $\bar{X}$  y  $S$  son los parámetros de la distribución.

Distribución Log Normal 3 parámetros

$$f(x) = \frac{1}{(x-x_0)\sqrt{(2\pi)S_y}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln(x-x_0)\mu_y}{S_y}\right)^2} \quad (18)$$

Para  $x > x_0$ , Donde:  $x_0 =$  *parámetro de posición*,  $\mu_y =$  *parámetro de escala o media*.  $Sy^2 =$  *parámetro de forma o varianza*

Distribución Gumbel

$$F(x) = -e^{-e^{-\alpha(x-\beta)}} \quad (19)$$

$$\alpha = \frac{1.2825}{\sigma} \quad (20)$$

$$\beta = \mu - 0.45\sigma \quad (21)$$

Donde:  $\alpha =$  *Parámetro de concentración*.  $\beta =$  *Parámetro de localización*.

Distribución Log Gumbel

$$y = \frac{\ln x - \mu}{\alpha} \quad (22)$$

$$G(y) = e^{-e^{-y}} \quad (23)$$

#### **d) Prueba de bondad de ajuste (Prueba de Kolmogorov-Smirnov)**

La prueba consiste en comparar el valor absoluto máximo de la diferencia D entre las funciones de distribución de probabilidad observada  $F_o(xm)$  y la estimada  $F(xm)$ : (MTC, 2018)

$$D = \text{máx}|F_o(xm) - F(xm)| \quad (24)$$

$$F_o(xm) = 1 - \frac{m}{n+1} \quad (25)$$

#### **e) Periodo de retorno**

Este es el intervalo de un torrente. Es el número de años transcurridos desde el evento de ajuste o liberación (Villón, 2002, p. 241). Si un evento Q ocurre cada T años, su probabilidad P es igual a 1 entre T eventos. Es decir:

$$\text{Pr}(T, N) = 1 - \left(1 - \frac{1}{T}\right)^N \quad (26)$$

Dónde:  $\text{Pr}(T, N)$ : probabilidad (%) de que un evento con período de retorno T ocurra al menos una vez en N años. T: periodo de retorno en años.

**Tabla 3***Criterios Usuales para Definición de Periodos de Retorno*

| <b>Tipo de proyecto</b>   | <b>Periodo de retorno<br/>(años)</b>                       |
|---|--|
| Rebosaderos para crecientes de proyectos hidroeléctricos, dependiendo de si la presa es de tierra o enrocado, o de concreto | $\geq 1000$ años, o criterio de creciente máxima probable. |
| Drenaje pluvial   | 2 - 10   |
| Sumideros   | 1.1 - 5  |

Nota: (MTC, 2018).

**f) Intensidades máximas**

Intensidad máxima anual (en mm/hora), cada precipitación dividida por su respectiva duración. Posteriormente, estos datos se ajustan a una función de distribución de probabilidad que proporciona un buen ajuste para el valor máximo de la intensidad (Pizarro et al., 2006).

**2.3.7.3. Modelo hidrológico HEC HMS**

Los modelos de cuencas reflejan cómo entendemos los sistemas de cuencas y sus respuestas. Su poder predictivo depende de cómo los construyamos y cómo los apliquemos. El modelo HEC-HMS es un modelo de lluvia y escorrentía desarrollado por el Centro de Ingeniería Hidrológica de EE. UU. HEC. Cuerpo de Ingenieros del Ejército USACE, diseñado para simular los hidrogramas de escorrentía que ocurren en un punto de la red fluvial debido a un evento de lluvia. El predecesor del modelo, HEC-1, nació como un modelo de eventos y es considerado por muchos como el modelo más general y probablemente el modelo más utilizado para este tipo de hidrología de inundaciones.

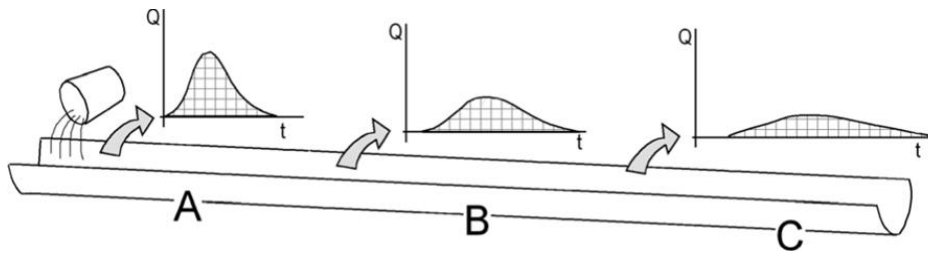
**a) Tránsito de avenidas**

Las transiciones de inundación se definen como el establecimiento gradual de la forma de las olas crecientes a lo largo del tiempo en puntos sucesivos de un

río o a través de un embalse. En la Figura 2, en la que se observa un río principal que tiene hidrograma A, B y C, donde A está caracterizado por un caudal pico elevado y de corta permanencia, el cual va cambiando hasta hacerse extenso y de poca magnitud en C.

**Figura 2.**

*Resultado del Tránsito de Crecientes en un Río*



**b) Método de Muskingum**

Método de cálculo del nivel de agua de una inundación a su paso por un cauce, según los efectos de estratificación. Toma dos parámetros, uno relacionado con la cabida de acopio de agua (laminación) de cada tramo del cauce, de naturaleza adimensional (X), y otro afín con el tiempo requerido para que la onda de crecida pase por el canal (K). Considere primero que la cantidad de agua S acumulada durante un período de tiempo es proporcional a la cantidad de agua que entra en I y sale de O en la forma ( Enríquez & Enríquez , 2011):

$$S = K[XI + (1 - X) O] \tag{27}$$

Donde: S = capacidad de almacenamiento de la sección del canal en consideración, I = entrada a esa sección, O = salida a esa sección, K = parámetro dependiente del acopio en cuña tal que X=0 está coligado con el embalse - tipo de almacenamiento, en cambio X=0.5 atañe una cuña completamente expandida.

El rango de valor real de X es: 0.2-0.35, la sección ubicada en la parte inferior de la cuenca toma 0.2 y la sección ubicada en la parte superior de la cuenca toma un valor más alto.

Valor de K:

$$K=0.18 * \left( \frac{\Delta x}{S^{0.25}} \right)^{0.76} \quad (28)$$

Donde:  $\Delta x$  = recorrido máximo, en km. S = pendiente máxima. O = caudal de salida en el tramo. Otra opción, es:

$$K=0.6 t_c \quad (29)$$

Donde:  $t_c$  = tiempo de concentración, en hr

Según, las cuantificaciones se deben efectuar: (Villon, 2016):

$$\Delta t > \frac{2Kx}{n} \quad (30)$$

Donde:  $\Delta t$  = es la ampliación de tiempo. n = número de tramos a usarse en el método de Muskingum.

#### 2.3.7.4. Caudales máximos

Los caudales máximos corresponden a diferentes períodos de retorno. Por lo general, para el diseño hidrológico, se estudia el caudal máximo durante la temporada anual de inundaciones. Este análisis se utiliza para caracterizar el conjunto estadístico de tráfico en términos de probabilidad de excedencia. En general, las estructuras hidráulicas deben diseñarse para poder evacuar el flujo de agua con una probabilidad excesiva (Ivanova y Corredor, 2006).

**Método Racional.** Lorenzo y García (2011) señala que: El método racional sirve para calcular los caudales pico en cuencas pequeñas y medianas con tiempos de concentración ( $t_c$ ) entre 0.25 y 24 horas.

$$Q_p = \frac{C.I.A}{3,6} \quad (31)$$

Donde:  $Q_p$ : ( $m^3 s^{-1}$ ) es la caudal punta,  $I$ : ( $mm.h^{-1}$ ) la máxima intensidad media para un intervalo de duración igual al tiempo de concentración,  $C$ : el coeficiente de escorrentía,  $A$ : la superficie ( $km^2$ ).

**Método racional modificado.** Puede estimar fácilmente el caudal máximo de cuencas naturales con un área menor a  $770 km^2$  y  $T_c$  de 0.25 a 24 horas, calculado por: (MTC, 2018, pp. 50-51)

$$Q = 0.278CIAK \quad (32)$$

Donde:  $Q$ = Caudal ( $m^3/s$ ),  $C$ = coeficiente de escorrentía,  $I$ = intensidad de precipitación máxima horaria ( $mm/h$ ),  $A$ = superficie ( $km^2$ ),  $K$ = coeficiente de uniformidad.

#### 2.3.7.5. Modelamiento hidráulico

Hall et al. (2009), señala que la modelización matemática del caudal de agua en los ríos consiste en tratar de comprender los valores de las variables hidráulicas (profundidad hidráulica, velocidad, caudal, etc.) a partir de la resolución de métodos numéricos obtenidos a través de una serie de ecuaciones. suposición. La modelización matemática es siempre una aproximación a la realidad, y cuanto más adecuado sea el esquema numérico de las ecuaciones de partida y su resolución al fenómeno real que se estudia, mejor. Asimismo, Szymkiewicz (2010), señala que la razón para no usar la ecuación completa es reducir el tiempo de cálculo, pero eso es menos relevante hoy que hace unos años para explicar las inundaciones en las llanuras del lecho de los ríos adyacentes.

#### Ecuaciones

Se pueden modelar tanto los flujos estacionarios como los no estacionarios que cambian gradualmente.

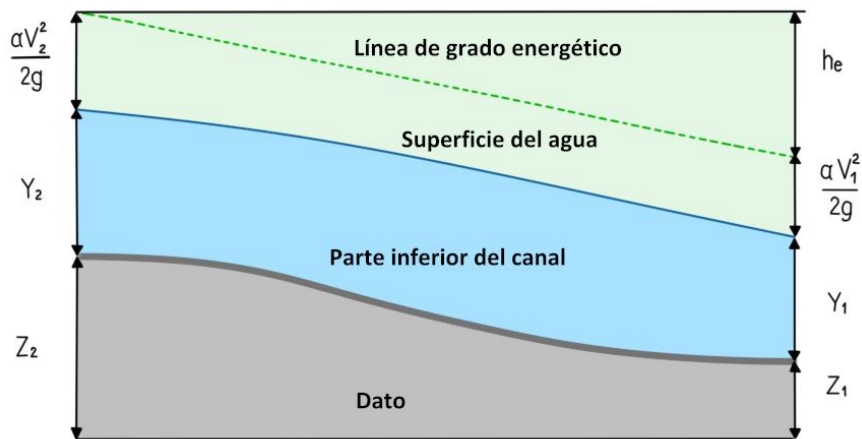
**Ecuación de energía.** El perfil de flujo se calcula usando la ecuación de energía entre dos secciones consecutivas y un proceso iterativo llamado método de paso estándar.

$$Z_2 + Y_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} = Z_1 + Y_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} + h_e \quad (33)$$

Donde:  $Z_1$  y  $Z_2$  = Son la altura de la vertiente en la unidad.  $Y_1$  y  $Y_2$  = La altura del agua en la unidad.  $V_1$  y  $V_2$  = Las celeridades medias.  $\alpha_1$  y  $\alpha_2$  = Coeficientes de celeridad.  $g$  = gravedad.  $h_e$  = la pérdida de energía.

**Figura 3.**

*Grafía de la Ecuación de Energía*



**Ecuación de Continuidad.** Representa la conservación de masa para un sistema unidimensional.

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial S}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} - q_1 = 0 \quad (34)$$

donde:  $X$  = recorrido a lo largo del cauce.  $t$  = tiempo.  $Q$  = caudal.  $A$  = superficie de la sección transversal.  $S$  = Almacenamiento de la parte no transportada de la sección transversal.  $q_1$  = entrada lateral por unidad de distancia.

**Ecuación de Momento.** Establece que la tasa de cambio de la cantidad de movimiento es igual a la fuerza externa que actúa sobre el sistema.



$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial(VQ)}{\partial x} + gA \left( \frac{\partial z}{\partial x} + S_f \right) = 0 \quad (35)$$

Donde:  $g$  = Gravedad.  $S_f$  = Pendiente de fricción.  $V$  = Velocidad.

### 2.3.7.6. Módulo hidrodinámico

#### **Hidrodinámica de flujo no estacionario 2D**

La hidrodinámica de flujo no estacionario 2D se refiere al estudio del movimiento de un fluido en dos dimensiones, teniendo en cuenta las variaciones en el tiempo. En este tipo de flujo, las propiedades del fluido, como la velocidad, la presión y la densidad, pueden cambiar en el tiempo y en diferentes puntos del dominio de flujo. Esto implica que las ecuaciones de la hidrodinámica, como la ecuación de continuidad y las ecuaciones de Navier-Stokes, deben considerar las derivadas temporales y espaciales. La solución de las ecuaciones de la hidrodinámica de flujo no estacionario 2D puede ser compleja y requiere la aplicación de métodos numéricos y técnicas de simulación. Estas herramientas permiten predecir y analizar el comportamiento del fluido en diferentes situaciones, como flujos alrededor de cuerpos sólidos, flujos en canales y tuberías, entre otros.

#### **Transporte de sedimentos/cálculos de límites móviles**

Este componente del sistema de modelado está diseñado para simular cálculos de transporte de sedimentos/límites móviles 1D y 2D resultantes de la erosión y la deposición durante períodos de mediano a largo plazo.

El potencial de transporte de sedimentos se calcula por fracción de tamaño de partícula, lo que consiente la simulación de clasificación y blindaje hidrodinámico. Las particularidades clave incluyen la capacidad de modelar redes fluviales completas, dragado de canales, varias alternativas de invasión y diques, y cálculos de transporte de sedimentos utilizando varias ecuaciones diferentes. El modelo está diseñado para representar tendencias de erosión y deposición a largo

plazo en canales que pueden resultar de cambios en la frecuencia y duración de la descarga, el nivel del agua o la geometría del canal. El sistema se puede utilizar para evaluar la sedimentación del embalse, diseñar la construcción del canal requerido para mantener la profundidad, predecir el efecto del dragado en las tasas de sedimentación, valorar la posible socavación máxima y evaluar la deposición del canal.

#### Metodología de trabajo en IBER

Para poder realizar cálculos en Iber se deben realizar los siguientes pasos:

Crear o importar geometría.

Crear o importar un uso de la tierra

Cree una cuadrícula y defina la entrada y la salida del flujo.

Introducir datos hidráulicos (caudal no estacionario).

Defina las circunstancias de contorno.

Definir parámetros de flujo no newtonianos.

Efectuar la simulación.

#### **2.3.8. Medidas de protección contra la socavación en puentes**

Los principales factores que afectan la socavación en estribos son: propiedades del líquido (densidad, viscosidad, gravedad); propiedades del flujo de agua (profundidad, velocidad, ángulo); propiedades del material en el fondo del cauce (densidad y tamaño de las partículas, dirección). Las profundidades de socavación de la pila en materiales cohesivos pueden ser las mismas que en materiales no cohesivos, no obstante, en suelos cohesivos puede llevar más tiempo alcanzar la hondura mayor de socavación (Rubio, 2019). Existen medidas estructurales específicas que se pueden implementar para proteger a un puente de la socavación.

Estas incluyen:

**Muros de escollera:** Se pueden construir muros de escollera en la base de los estribos del puente para protegerlos. Estos muros actúan como una barrera física que evita que el agua erosione el suelo debajo de la estructura.

**Diques:** La construcción de un dique suele hacerse en cuencas de todo el mundo, principalmente en áreas semiáridas, debido a la torrencialidad de las precipitaciones y, en consecuencia, intensidad de los procesos de erosión y sedimentación (Díaz, 2008).

**Anclajes de refuerzo:** Se pueden utilizar sistemas de anclajes para reforzar la base de los estribos del puente. Estos anclajes se entierran en el suelo y se anclan a una profundidad suficiente para proporcionar una mayor resistencia a la socavación.

**Pantallas de pilotes:** Se pueden construir pantallas de pilotes alrededor de los estribos y pilares del puente. Estas pantallas consisten en pilotes horizontales o verticales que actúan como una barrera para evitar la socavación.

**Paredes de contención:** Se pueden construir paredes de contención en los alrededores de los estribos y pilares del puente. Estas paredes ayudan a retener el suelo y evitar que se erosione bajo la estructura.

**Reforzamiento de la superestructura:** Se puede realizar un refuerzo especial en la superestructura del puente para aumentar su resistencia a la socavación. Esto puede incluir la adición de refuerzos de acero, hormigón u otros materiales resistentes para acrecentar la capacidad de carga de la estructura.

**Uso de materiales resistentes al agua:** En la construcción de puentes expuestos a la socavación, se pueden utilizar materiales que sean resistentes al agua y no se deterioren fácilmente cuando están en contacto con ella. Esto ayuda a evitar la erosión prematura de los materiales y la reducción de la firmeza de la estructura.

## 2.4. Hipótesis

H0: Los parámetros hidrológicos y geomorfológicos influyen en la socavación local del puente Colpamayo, Quebrada La Potrera – Chota.

H1: Los parámetros hidrológicos y geomorfológicos no influyen en la socavación local del puente Colpamayo, Quebrada La Potrera – Chota.

## 2.5. Operacionalización de variables

### 2.5.1. *Variable independiente: Parámetros hidrológicos y geomorfológicos*

Son aquellas características propias de la quebrada que se relacionan con su superficie y red hídrica, entendiendo al cauce del río, como un complejo dinámico de doble transporte (agua y sedimentos), que, frente a máximas avenidas tiene un incremento en su caudal, generando procesos de erosión por velocidad del flujo, siendo así, los parámetros geomorfológicos son el área, altitud media, pendiente, longitud del cauce principal, índice de compacidad, tiempo de concentración, mientras que, los parámetros hidráulicos dependen de las precipitaciones pluviales, y son la intensidad máxima, el caudal máximo, el tirante y la velocidad hidráulica.

**Parámetros geomorfológicos.** Son los parámetros característicos del cauce de la quebrada en análisis.

**Parámetros hidrológicos.** Representa la modelación del flujo hídrico del cauce y las condiciones de las precipitaciones pluviales.

### 2.5.2. *Variable dependiente: Socavación local del puente*

Se producen por estrechamientos, curvas o estructuras del río, lo que causa un acrecentamiento en la intensidad del flujo capaz de remover o acumular material en el lecho del río (Toapaxi et al., 2015).

**Sedimentos:** La sedimentación es la acumulación de material transportado en el lecho del puente, en cambio, la socavación local es la es erosión por flujo debido al bloqueo del pilar del puente o de la cimentación, donde el sedimento es arrastrado desde los pilares o cimientos del puente y el pozo de socavación se forma cerca de los pilares o cimientos (Wang, et al., 2019).

**Socavación local:** Es una socavación que ocurre en el área que rodea a una estructura en particular, muy probablemente en estribos (Esteves, 2018).

**Tabla 4**

*Matriz de Operacionalización de Variables*

| <b>Variables</b>                                    | <b>Definición conceptual</b>  | <b>Dimensiones</b>         | <b>Definición operacional</b>  | <b>Indicadores</b>           | <b>Ítem</b>                 |                   |                                     |   |
|---|---|----------------------------|--|------------------------------|-----------------------------|-------------------|-------------------------------------|---|
| VI<br><br>Parámetros hidrológicos y geomorfológicos | Son aquellas características propias de la quebrada que se relacionan con su superficie y red hídrica, entendiendo al cauce del río, como un complejo dinámico de doble transporte (agua y sedimentos), que, frente a máximas avenidas tiene un incremento en su caudal, generando procesos de erosión por velocidad del flujo. | Parámetros geomorfológicos | Son los parámetros característicos del cauce de la quebrada en análisis.                                     | Área                         | Km <sup>2</sup>             |                   |                                     |   |
|   |   |                            |  | Pendiente                    | %                           |                   |                                     |   |
|   |   |                            |  | Altitud media                | msnm                        |                   |                                     |   |
|   |   |                            |  | Longitud del curso primario  | m                           |                   |                                     |   |
|   |   |                            |  | Tiempo de concentración      | Minutos                     |                   |                                     |   |
|   |   | Parámetros hidráulicos     | Representa la modelación del flujo hídrico del cauce y las condiciones de las precipitaciones pluviales.     | Precipitación                | mm                          | Intensidad máxima | mm/hr                               |   |
|   |   |                            |  |                              |                             | Tiempo de retorno | Años                                |   |
|   |   |                            |  |                              |                             | Caudal máximo     | m <sup>3</sup> /s                   |   |
|   |   |                            |  |                              |                             | Tirante           | m                                   |   |
|   |   |                            |  |                              |                             | Velocidad         | m/s                                 |   |
| VD<br><br>Socavación local del puente               | Se producen por estrechamientos, curvas o estructuras en el río, lo que provoca un acrecentamiento en la intensidad del flujo capaz de remover o acumular material en el lecho del río (Toapaxi et al., 2015).  | Sedimentación              | Material sólido, trasladado por el agua que se deposita en capas no consolidadas (Arias-Madrid et al., 2012) | Clasificación granulométrica | %                           |                   |                                     |   |
|   |   |                            |  | Límites de plasticidad       | %                           |                   |                                     |   |
|   |   |                            |  | Volumen de sedimentos        | m <sup>3</sup>              |                   |                                     |   |
|   |   | Socavación                 | Se da en áreas próximas a una estructura en específico   | Socavación                   | Hondura de socavación local | m                 | Hondura de socavación general       | m   |
|   |   |                            |  |                              |                             |                   | Descripción de método de protección | Es el medio de protección de la obra hidráulica |
|   |   |                            |  | Dimensiones                  | m                           |                   |                                     |   |

## CAPÍTULO III.

### MARCO METODOLÓGICO

#### 3.1. Tipo y nivel de investigación

El enfoque es mixto. Cuantitativo porque busca recopilar datos numéricos para comprender y cuantificar la relación entre los parámetros hidrológicos y geomorfológicos de la quebrada y el proceso de socavación del puente, no obstante, también es cualitativo porque las medidas que, se tomen a partir de los resultados alcanzados serán descritas.

Este estudio también es de tipo aplicado, ya que busca aplicar los resultados y conclusiones obtenidos a la planificación y descripción de propuestas de protección de infraestructuras de puentes, para minimizar el riesgo de socavación y mejorar su durabilidad.

Además, el nivel explicativo de la investigación implica la búsqueda de información para comprender las causas y los mecanismos detrás de la socavación del puente, identificando cómo los parámetros de la quebrada influyen en este proceso. El objetivo es proporcionar una explicación científica y teórica de este fenómeno para informar la toma de decisiones y la implementación de medidas preventivas y correctivas.

Los medios para obtener datos fueron documentales y de campo, porque se usaron datos de las estaciones meteorológicas para el procesamiento de los mismos en gabinete, pero también se utilizarán datos de campo estimados por el levantamiento topográfico.

Finalmente, según la temporalización la investigación fue de tipo transversal, debido a que su realización ha apuntado a un momento y tiempo definido.

**Tabla 5**

*Tipo de Investigación*

| <b>Criterio</b>                   | <b>Tipo de investigación</b>   |
|-----------------------------------|--------------------------------|
| Finalidad                         | Aplicada                       |
| Control de diseño de la prueba    | no experimental                |
| Estrategia o enfoque metodológico | Cuantitativa                   |
| Temporalidad                      | Transversal (sincrónica)       |
| Objetivos                         | descriptiva, correlacional     |
| Contexto donde sucede             | Biblioteca, laboratorio, campo |
| Fuente de datos                   | mixta                          |
| Intervención disciplinaria        | interdisciplinaria.            |

Nota: (Grajales, 2000).

**3.2. Diseño de investigación**

El diseño fue no experimental, descriptiva causal simple, porque no se han alterado las variables del estudio, solo se ha observado y registrado las condiciones hidrológicas y geomorfológicas de la quebrada y se ha analizado cómo están relacionadas con el fenómeno de socavación local del puente; así mismo, se ha buscado una relación causal entre los parámetros de la quebrada y la socavación del puente, por lo que se han analizado los datos recopilados para determinar si existe una relación de causa y efecto entre estas variables.

$$m \begin{matrix} \cdot \cdot & x1 & \cdot \cdot \\ & & y \\ \cdot \cdot & x2 & \cdot \cdot \end{matrix} \quad (36)$$

Donde, m es la muestra, el emplazamiento donde se ubica el puente, x1 los parámetros hidrológicos de la quebrada, x2 parámetros geomorfológicos, “y” es la socavación del puente.

**3.3. Métodos de investigación**

El método determinista, el cual se basa en utilizar un razonamiento lógico para obtener conclusiones a partir de premisas o supuestos iniciales. Siendo así,



el uso del método determinista para analizar la influencia de los parámetros de la quebrada en la socavación del puente, implicó seguir los siguientes pasos:

**Recopilación de datos:** Se recopiló información sobre los parámetros de la quebrada, como la precipitación, caudal del río, características del suelo y relieve. Esta información se ha obtenido a partir de registros históricos, estudios previos o mediciones en campo.

**Análisis de los parámetros hidrológicos:** Se analizaron los datos de precipitación y caudal del río para determinar los eventos de mayor caudal y duración, así como las tendencias históricas.

**Análisis de los parámetros geomorfológicos:** Se analizaron los datos relacionados con la geometría y forma del cauce del río, la pendiente del terreno y la presencia de obstáculos naturales (como rocas o vegetación) que puedan influir en la socavación del puente.

**Modelado hidrológico y geomorfológico:** A partir de los datos recopilados y analizados, se desarrolló un modelo hidrológico y geomorfológico que represente el comportamiento de la quebrada. Este modelo fue desarrollado mediante herramientas computacionales.

**Evaluación de la socavación del puente:** A partir del modelo desarrollado, se ha simulado el comportamiento del flujo en la quebrada y evaluado la socavación del puente en diferentes escenarios hidrológicos y geomorfológicos.

**Análisis de riesgo y recomendaciones:** Finalmente, se ha realizado un análisis de riesgo para evaluar las consecuencias de la socavación del puente y proponer recomendaciones para su prevención o mitigación, esto ha incluido acciones como la implementación de medidas de control de erosión.

### 3.4. Población, muestra y muestreo

#### 3.4.1. Población

Los puentes ubicados sobre el cauce de la quebrada La Potrera, distrito de Chota, provincia de Chota. Sobre esta quebrada se ubican tres puentes, el primero en la zona conocida como Las Lagunas, el segundo atraviesa el cauce de la quebrada para conectar con la ex plaza de ganado, y el último, el puente Colpamayo.

#### 3.4.2. Muestra

La muestra no probabilística determinada por conveniencia tomando como criterio aquel puente que ha presentado problemas de sedimentación y erosión durante las fuertes precipitaciones del año 2021 (Vásquez, 2021), siendo el puente Colpamayo, sobre el cauce de la quebrada La Potrera, distrito de Chota (Figura 4), mismo que se ha analizado 12 veces el ancho del cauce aguas arriba y 6 veces el ancho del río aguas abajo, conforme a lo indicado por el manual del MTC (2018).

**Tabla 6**

*Ubicación Geográfica del Puente Colpamayo*

| Punto      | Coordenadas UTM WGS84 (zona 17S) |         | Altitud (msnm) |
|------------|----------------------------------|---------|----------------|
|            | E                                | N       |                |
| Estructura | 759966                           | 9273351 | 2322           |

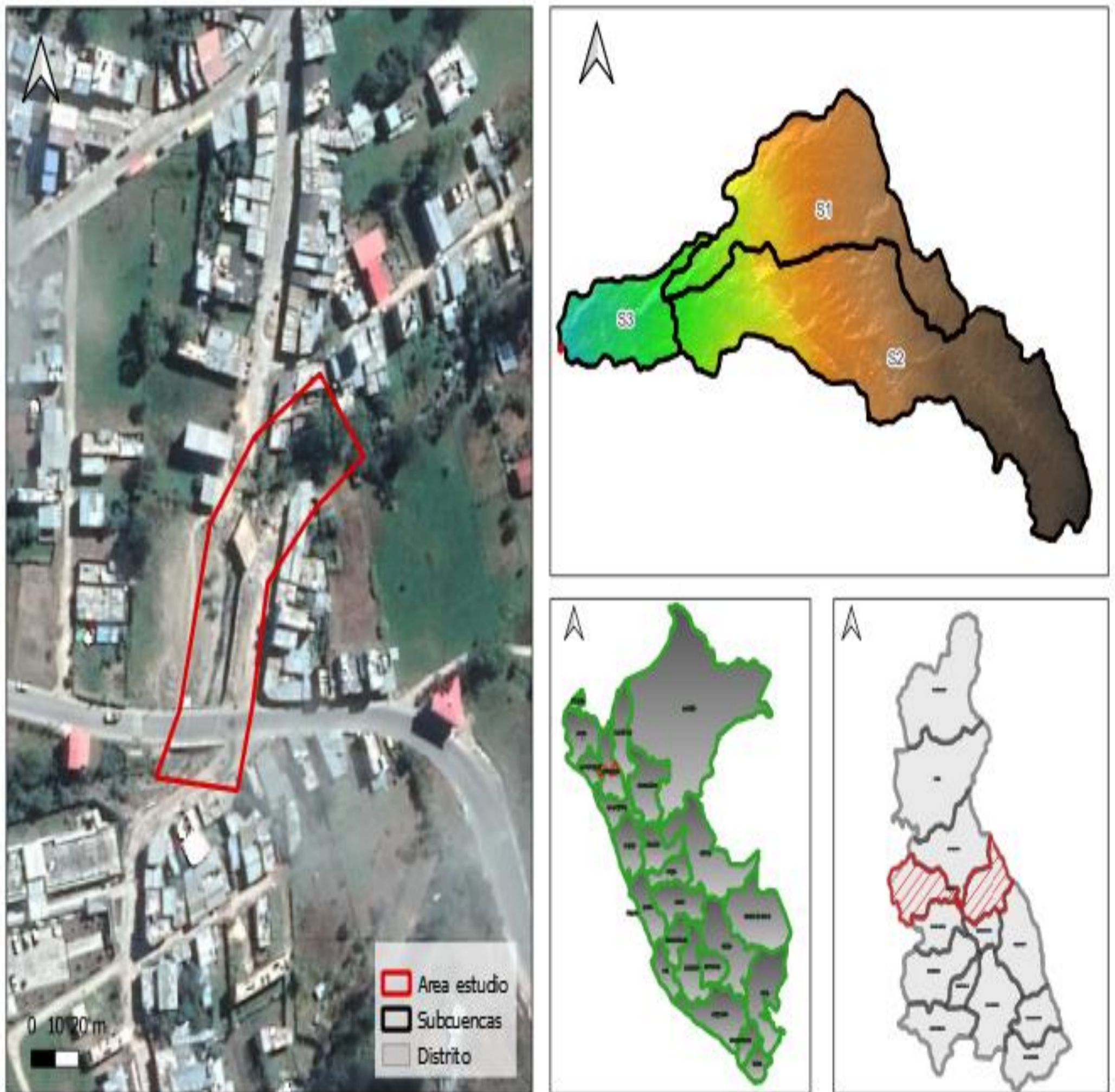
**Tabla 7**

*Ubicación hidrográfica del área de interés*

|                     | Nivel 1                         | Nivel 2       | Nivel 3 | Nivel 4      | Nivel 5 |
|---------------------|---------------------------------|---------------|---------|--------------|---------|
| Unidad Hidrográfica | Región hidrográfica de Amazonas | Alto amazonas | Marañón | Alto Marañón | Chamaya |
| Código              | 4                               | 49            | 498     | 4989         | 49896   |

**Figura 4**

*Ubicación política del tramo en estudio*



### 3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

#### 3.5.1. *Técnicas de recolección de datos*

**Observación.** Implica visualización directa de las condiciones hidrológicas y geomorfológicas de la quebrada y del puente. Se han registrado datos como caudales, niveles de agua, características del lecho del río y del puente, y cualquier otro aspecto relevante que pueda influir en la socavación del puente.

**Revisión documental.** Esta técnica consiste en la recopilación de documentos y estudios previos relacionados con la hidrología y geomorfología de la quebrada y la socavación local del puente. Se han analizado informes técnicos, mapas, fotografías, registros históricos de eventos extremos, entre otros documentos relevantes, así como, la data pluviométrica de la estación Chota. La revisión documental ha permitido obtener información sólida y confiable sobre las condiciones pasadas y presentes de la quebrada y del puente.

**Estudios básicos.** Estos estudios incluyen la recolección de datos básicos sobre la quebrada, se ha realizado mediciones de caudales, muestreos de sedimentos, análisis de suelos, y topografía. Los estudios básicos proveen información detallada sobre las condiciones actuales de la quebrada y ayudan a comprender cómo interactúa con la socavación local del puente.

**Análisis de contenido.** Esta técnica implica el análisis de la información recopilada de las técnicas anteriores, como la observación, la revisión documental y los estudios básicos. Se buscan patrones, tendencias y relaciones entre la quebrada y la socavación. Permite identificar las variables clave que influyen en la socavación y establecer conclusiones sólidas sobre la influencia de los parámetros de la quebrada en el puente.

### 3.5.2. Instrumentos de recolección de datos

**Cuaderno de campo.** Medio de registro de la información observada, así mismo se han utilizado instrumentos como cámaras fotográficas para registrar visualmente el estado actual del puente y su entorno.

**Reportes documentales.** Principalmente se ha integrado por la información existente relacionada con la quebrada y el puente, como, estudios previos, el expediente técnico del puente, y los datos hidrológicos de la estación meteorológica.

**Informe de estudios básicos.** Es el medio en el que se han presentado los resultados de los estudios básicos: levantamiento topográfico, el análisis de sedimentación y mecánica de suelos fluvial.

**Matriz de análisis.** Los instrumentos utilizados en este caso son los propios documentos escritos, así como herramientas de software para facilitar el análisis de contenido, como programas de procesamiento, para estimar la socavación local y general en el puente Colpamayo.

**Tabla 8**

*Fuentes, Técnicas e Instrumentos para la Recolección de Datos*

| Variables                                 | Recolección de datos |                       |                             |
|---|----------------------|-----------------------|-----------------------------|
|   | Fuente               | Técnica               | Instrumento                 |
| VI  | Primaria             | Observación           | Cuaderno de campo           |
| Parámetros hidrológicos y geomorfológicos | Secundaria           | Revisión documental   | Reportes documentales       |
|   | Primaria             | Estudios básicos      | Informe de estudios básicos |
| VD  | Primaria             | Análisis de contenido | Matriz de análisis          |
| Socavación local del puente               |                      |                       |                             |

### 3.6. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

#### 3.6.1. Procedimiento para la recolección de datos

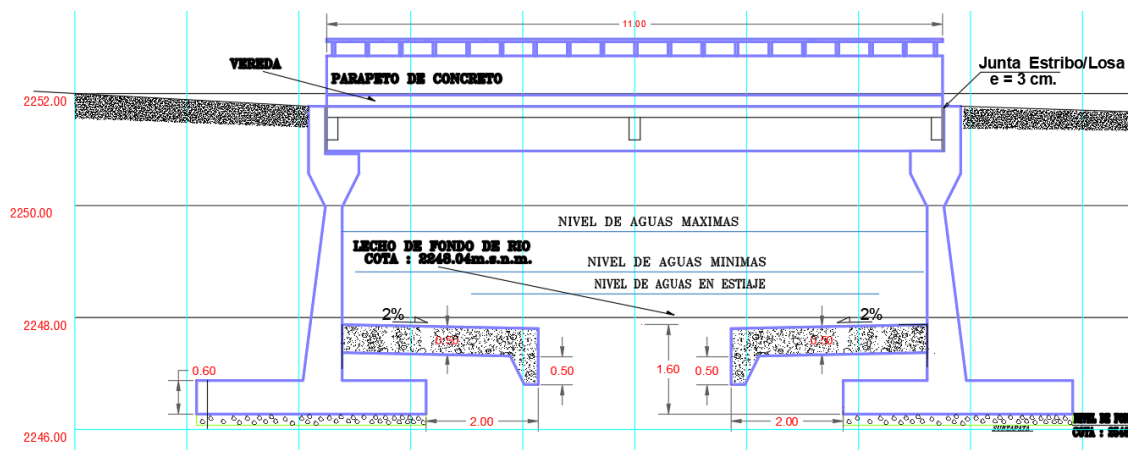
##### 3.6.1.1. Descripción del puente Colpamayo

Es de tipo Puentes losa apoyado en estribos de concreto armado, la superestructura del puente tiene una luz entre los ejes de los apoyos de 11 m y está diseñada para una carga vehicular de HL-93 y carga peatonal de diseño una carga viva de 510 kg/cm<sup>2</sup>, según la Norma AASHTO de 1996. Sus características son las siguientes:

- Luz: 11.00 m.
- Vehículo de diseño: HL-93
- Carga peatonal: Carga viva de 510 kg/cm<sup>2</sup>
- Ancho de Calzada: 6.70 m.
- Veredas: 1.10 mx0.20m de espesor.
- Ancho total: 9.10 m.
- Apoyos: Un apoyo fijo y un apoyo móvil.
- Juntas de dilatación: 2, una al inicio y otra al final
- Barandas: Tubulares a cada lado

#### Figura 5

##### Vista en Elevación del Puente Colpamayo

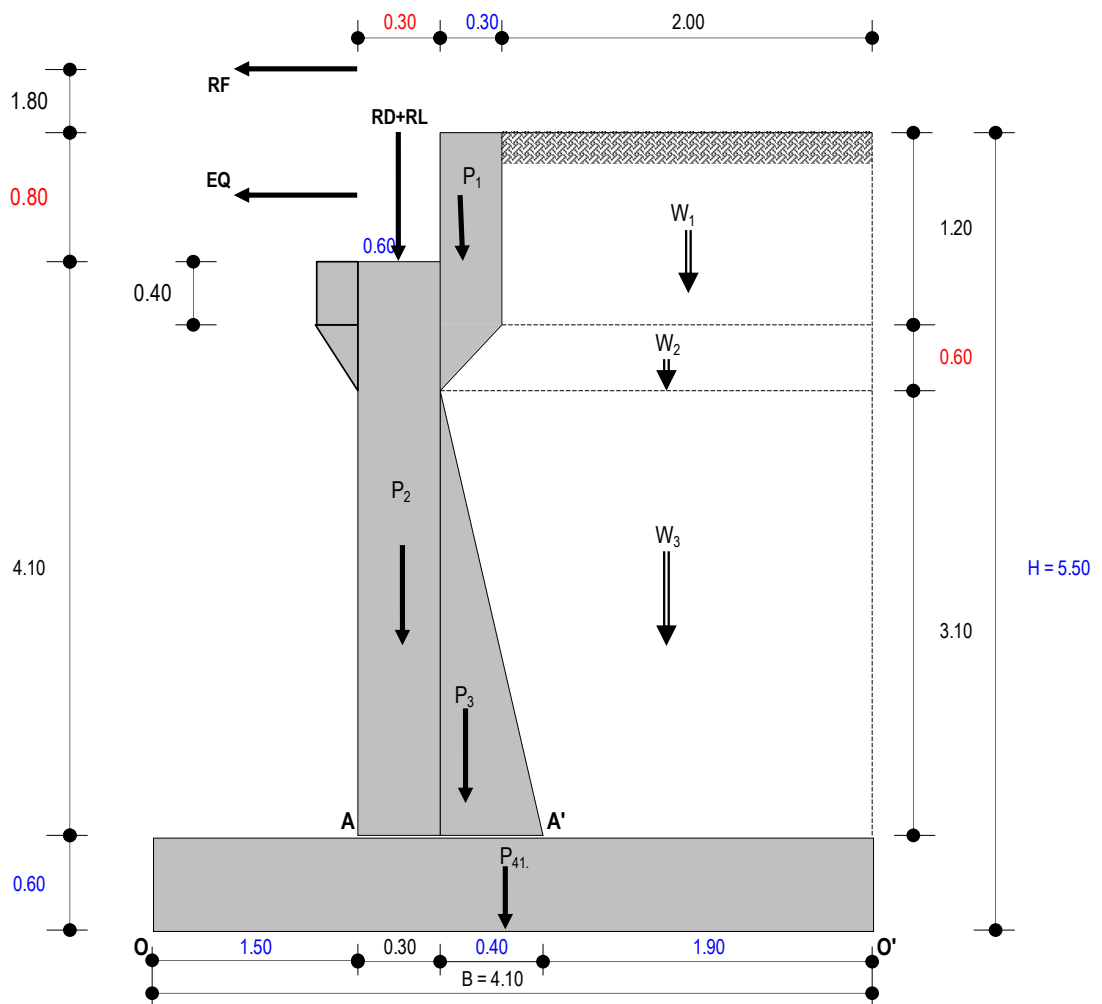


Nota: Tomado del Expediente Técnico (2018).

La erosión del suelo alrededor de los estribos puede debilitar la base de sustentación de estas estructuras, así mismo, la socavación del suelo alrededor de los cimientos puede debilitar su capacidad de carga y provocar el hundimiento o deslizamiento del puente; es decir, si el agua erosiona el suelo debajo de los cimientos, pueden producirse huecos o cavidades que comprometan la resistencia de la base del puente. Por ello, es que se les da mayor interés a los estribos, estos tienen una altura de 4.90 m y 0.60 m de talón (cimentación).

**Figura 6**

*Predimensionamiento de los Estribos del Puente Colpamayo*



Nota: Tomado del Expediente Técnico (2018).



Los parámetros geomorfológicos de una quebrada son características del terreno que pueden influir en la aparición y la magnitud de la socavación en un determinado curso de agua. Estos parámetros permiten conocer las características del terreno, su relieve y su comportamiento hidrológico. Por lo que, para el análisis comparativo de la investigación, se ha considerado pertinente detallar el análisis hidrológico y geomorfológico de la quebrada La Potrera realizado como parte del Expediente Técnico (2018) para el diseño hidráulico del puente Colpamayo.

### **Tabla 9**

*Parámetros Geomorfológicos e Hidrológicos de la Quebrada La Potrera según el Expediente Técnico (2018)*

| <b>Parámetros geomorfológicos e hidrológicos</b> |          |
|--|----------|
| Área (km <sup>2</sup> )                          | 23.04    |
| Perímetro (km)                                   | 25.31    |
| Orden de la cuenca                               | 2        |
| Altitud media (msnm)                             | 2,971.42 |
| Pendiente del cauce primario (%)                 | 12.30    |
| Pendiente de la cuenca (%)                       | 23.25    |
| Longitud de la quebrada (km)                     | 7.91     |
| Tiempo de concentración (minutos)                | 60       |
| Tiempo de retorno Tr (años)                      | 50       |
| Coefficiente de escorrentía                      | 0.49     |
| Intensidad máxima (mm/h)                         | 28.24    |
| Caudal (m <sup>3</sup> /s)                       | 88.56    |

Nota: Tomado del Expediente Técnico (2018).

Tal como se detalla en la Tabla 9, la quebrada La Potrera presenta una extensión de 23.04 km<sup>2</sup>, en los cuales utilizando los datos pluviométricos de la estación Cutervo determinaron una intensidad máxima de 28.24 mm/h, siendo el caudal máximo 88.56 m<sup>3</sup>/s para un Tr de 50 años, según el Expediente Técnico (2018).



### 3.6.1.2. Trabajo de campo

El estudio se inició desde la segunda semana de octubre del 2021, en las que se realizó el levantamiento topográfico y se procedió con la metodología descrita hasta diciembre del 2022.

#### **Figura 7**

*Quebrada la Potrera*



Nota: (foto tomada 18/05/2021)

#### **a) Topo-Batimetría**

Se inspeccionó visualmente el lugar para identificar superficies que muestran evidencia histórica de desbordamiento para realizar la topografía con una estación Total Leica.

Se tomaron puntos en el eje y borde del río en una extensión longitudinal de 12 veces el ancho del cauce aguas arriba y 6 veces el ancho del río aguas abajo, conforme a lo indicado por el manual del MTC (2018).

Posteriormente, obtenida la nube de puntos, se procesaron los datos para elaborar el plano topo-batimétrico, el cual fue el insumo para la modelación hidráulica.

## Figura 8

### *Topo-batimetría de la Quebrada La Potrera*



#### **b) Aforo y huellas hídricas**

Porque la quebrada la Potrera no tiene medidas hidrométricas, se realizaron estudios de campo en dos secciones cuya separación entre ellas fue de 10 m (Figura 9). Este estudio se realizó para determinar particularidades físicas del cauce y poder hacer el respectivo análisis del tránsito de avenidas por el Modelo de Muskingum. En el estudio de campo se inspeccionó visualmente para comprobar las huellas hídricas del cauce, de donde se pudo obtener una altura de 1.90 m respecto al cauce para la huella de agua de eventos anuales.

## Figura 9

### *Evidencias de las huellas hídricas*



#### **c) Estudio de mecánica de suelos fluvial**

En campo también se realizó el análisis de mecánica de suelos fluvial que consistió en la toma de muestras de suelo en el borde y eje del río para determinar sus principales características físico mecánicas, en ambos casos se hizo por medio de calicatas, en el caso del muestreo en la ribera del río se hizo por medio de una calicata de 2 m de profundidad, mientras que dentro del cauce de la quebrada se tomaron muestras de los sedimentos en diferentes profundidades (10 a 50 cm) y distancias desde la orilla con la finalidad de caracterizarlos, siendo así, los puntos de muestreo en la quebrada se ubicaron estratégicamente aguas abajo y arriba del puente Colpamayo.



## Figura 10

*Excavación de Calicata en la Ribera de la Quebrada La Potrera, Aguas Abajo del Puente Colpamayo*



Una vez obtenidas las muestras de suelo, se lleva a cabo una serie de análisis en el laboratorio; estos análisis incluyen la determinación de la granulometría, que proporciona información sobre el tamaño del suelo y su distribución, ensayos de los límites de consistencia, para conocer el límite líquido y límite plástico, y ensayos de corte directo de las partículas. Además de los ensayos de laboratorio, también se han llevado a cabo ensayos in situ en el río, como la granulometría fluvial para determinar el diámetro de las rocas y bolones del cauce.

## Figura 11

*Excavación de Sedimentos en la Quebrada La Potrera en el Puente Colpamayo*



### **a) Prueba in situ: granulometría fluvial**

Para la prueba de granulometría fluvial es importante seleccionar una sección representativa del río donde se encuentre una variabilidad de tamaños de rocas. Se requiere de una balanza de precisión, una cinta métrica, un tamiz y una bandeja de muestreo. Se deben tomar rocas de diferentes tamaños para obtener una muestra representativa. Se coloca la muestra recolectada en el tamiz y se agita suavemente para separar las partículas más finas de las rocas. Es importante tamizar la muestra por completo para obtener los diámetros más representativos de las distintas partículas. Se separan las rocas tamizadas y se miden los diámetros



de cada una de ellas utilizando una cinta métrica. Es recomendable medir el mayor y el menor diámetro de cada partícula para obtener una medida más precisa.

### **Figura 12**

*Análisis de Granulometría Fluvial en la Quebrada La Potrera en el Puente Colpamayo*



Es importante realizar varias mediciones y tomar muestras en diferentes puntos del río para obtener resultados más representativos y evitar sesgos en los resultados.

#### **b) Prueba ex situ en laboratorio**

En el ensayo de granulometría, se recolecta una muestra representativa del sedimento que se quiere analizar. La muestra se lava y se seca, para eliminar cualquier tipo de impureza o agua presente en ella. A continuación, se realiza un análisis granulométrico mediante el uso de tamices de diferentes tamaños. La

muestra se coloca en el tamiz más grueso y se agita durante un tiempo determinado para separar las partículas de mayor tamaño. Luego, se repite el proceso con los tamices de menor tamaño, hasta obtener una distribución completa de las partículas presentes en el sedimento. Una vez obtenido el análisis granulométrico, se calcula el porcentaje de cada fracción de tamaño de partículas y se representa en una curva granulométrica.

En el ensayo de límite líquido, la muestra de sedimento se pone en un recipiente. Se le adiciona agua y se combina hasta que la muestra adquiera la consistencia de un lodo. Se coloca la mezcla en un aparato llamado Casagrande, que es un dispositivo de penetración. Se mide el número de golpes necesarios para que la muestra se cierre a una determinada profundidad. Este número de golpes se utiliza para calcular el límite líquido de la muestra.

En el ensayo de límite plástico, se toma otra porción de la muestra y se moldea en forma de una tira. Se enrolla y se aplana hasta que adquiera una consistencia plástica. Se coloca la tira en una bandeja de vidrio y se realiza una ranura en el centro con un instrumento llamado cortador de losas. Se van cerrando los bordes de la ranura, hasta que la tira se parta en dos. Se mide la humedad de la muestra en este punto, y se utiliza para calcular el límite plástico.

En el ensayo de corte directo, se toma otra porción de la muestra y se compacta en una caja de corte. Se aplica una fuerza normal sobre la muestra y se aplica una fuerza tangencial en la dirección del corte. Se mide la resistencia al corte y se utiliza para calcular la resistencia del sedimento.

**Figura 13**

*Ensayos de Clasificación del Suelo*



**Figura 14**

*Ensayo de Corte Directo del Suelo*





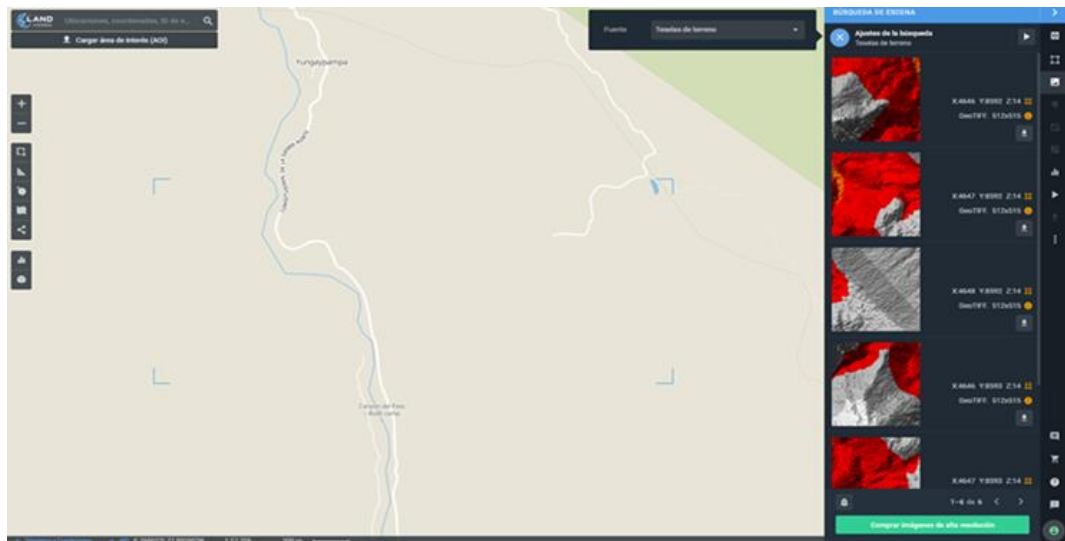
### 3.6.1.3. Información básica

#### a) Modelo digital de elevación

Para delimitar la cuenca de la Quebrada la Potrera se utilizó un modelo digital de elevación (DEM) con una resolución espacial de 5 m obtenido de la plataforma Land Viewer (Figura 15).

**Figura 15**

*Interfaz Landviewer*

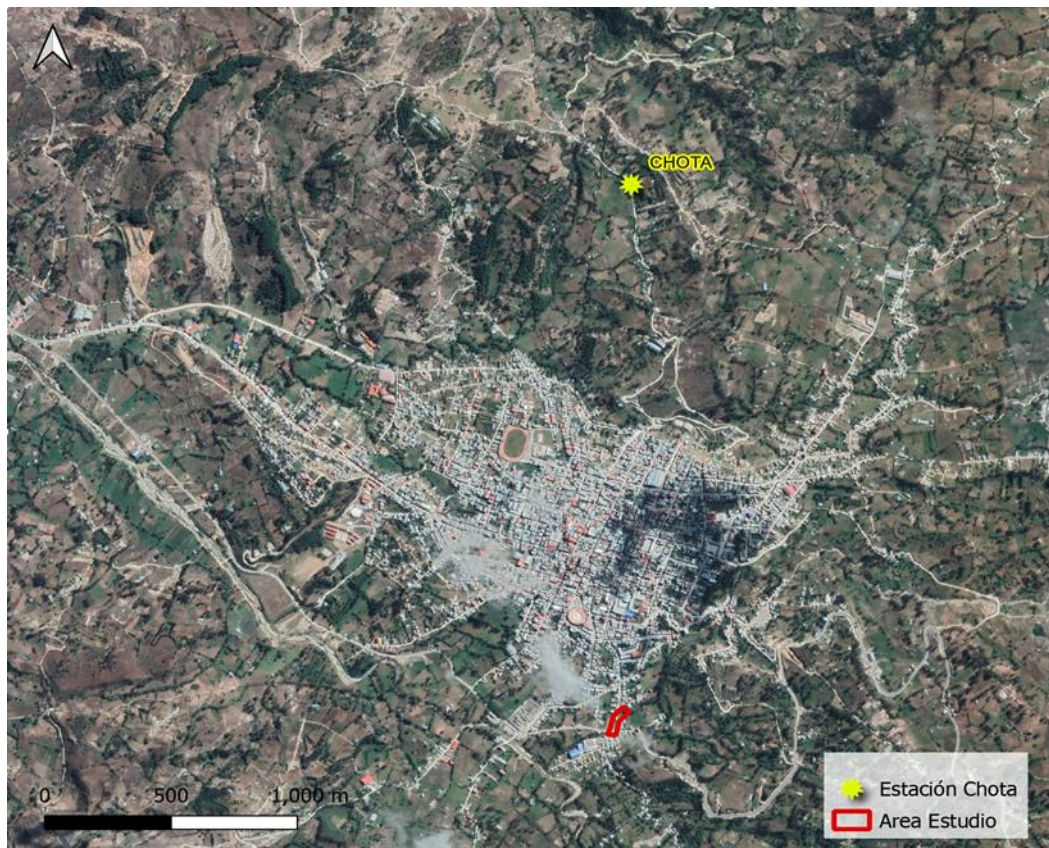


#### b) Información pluviométrica

Para el desarrollo se usó la data meteorológica disponible de la precipitación en la Estación Chota, el periodo de registro es de 1971 – 1982 y 1993- 2021 (40 datos anuales), de lo cual el año más lluvioso fue en 1980 con una precipitación de 160.5 mm, operada por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI). La estación de Chota está situada a 5 km del proyecto (Figura 16), las coordenadas se presentan en la Tabla 10.

**Figura 16**

*Localización: Estación Chota*



Nota: (Google earth, 2023).

**Tabla 10**

*Ubicación Geográfica Estación Chota*

| Departamento | Provincia | Distrito | Coord. Geográficas |              | Altitud<br>(msnm) |
|--------------|-----------|----------|--------------------|--------------|-------------------|
|              |           |          | Latitud            | Longitud     |                   |
| Cajamarca    | Cajamarca | Chota    | 6°32'49.6"         | 78°38'55.06" | 2442              |

En la Tabla 11 se muestra las precipitaciones máximas en 24 h registrados en la estación Chota del periodo 1971 – 2021.

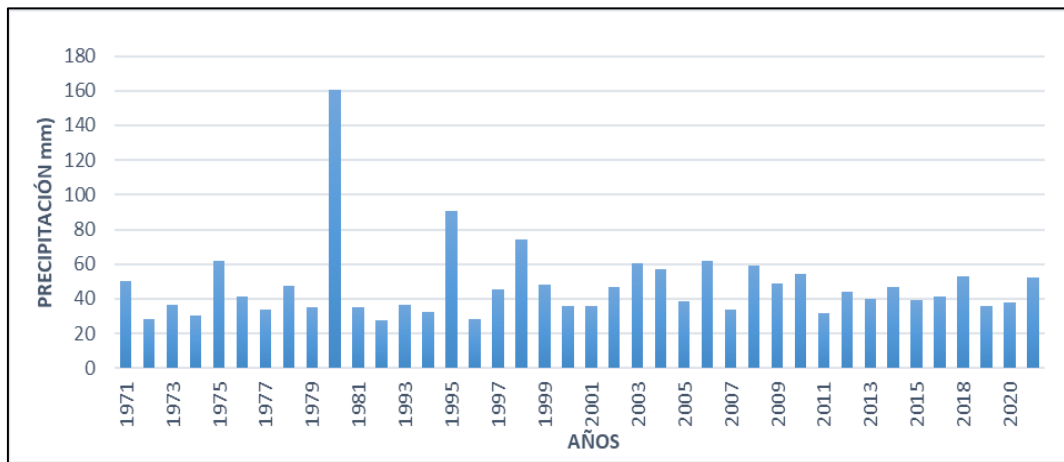
**Tabla 11***Precipitación Máxima en 24 h Estación Chota (1971-2021)*

| <b>Año</b> | <b>Pmax24h</b> |
|------------|----------------|
| 1971       | 50.2           |
| 1972       | 28             |
| 1973       | 36.6           |
| 1974       | 30.2           |
| 1975       | 62             |
| 1976       | 41.0           |
| 1977       | 34.0           |
| 1978       | 47.2           |
| 1979       | 34.8           |
| 1980       | 160.5          |
| 1981       | 35.0           |
| 1982       | 27.5           |
| 1993       | 36.6           |
| 1994       | 32.5           |
| 1995       | 90.8           |
| 1996       | 28.3           |
| 1997       | 45.2           |
| 1998       | 74.3           |
| 1999       | 48.2           |
| 2000       | 35.6           |
| 2001       | 35.9           |
| 2002       | 47.0           |
| 2003       | 60.7           |
| 2004       | 57.0           |
| 2005       | 38.3           |
| 2006       | 61.8           |
| 2007       | 33.7           |
| 2008       | 59.1           |
| 2009       | 49.0           |
| 2010       | 54.2           |
| 2011       | 31.4           |
| 2012       | 44.1           |
| 2013       | 40.2           |
| 2014       | 46.8           |
| 2015       | 39.0           |
| 2017       | 41.4           |
| 2018       | 52.7           |
| 2019       | 35.8           |
| 2020       | 38.2           |
| 2021       | 52.0           |

Nota: (SENAMHI, 2021).

**Figura 17**

*Pmáx 24 horas (1971-2021) en la Estación Chota*



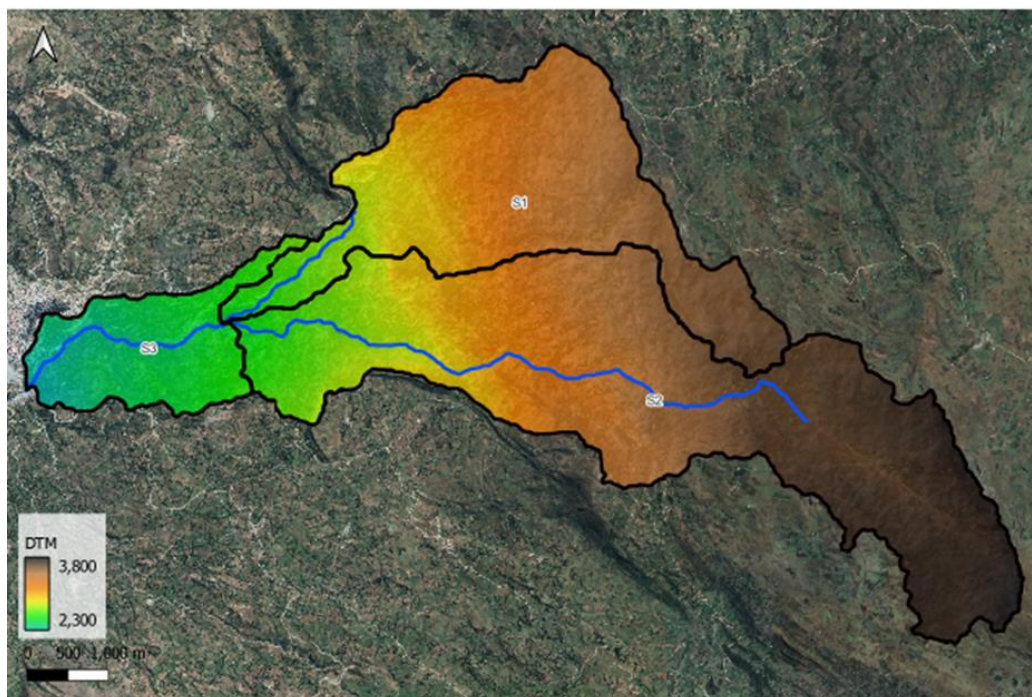
### 3.6.1.4. Análisis hidrológico

#### a) Subdivisión de la quebrada La Potrera

Se ha utilizado el programa HEC HMS, que cuenta con herramientas GIS, permitiendo la subdivisión de la quebrada para un mejor análisis hidrológico.

**Figura 18**

*Subdivisión de Cuenca*



Como resultado de dicho proceso se obtienen tres subdivisiones cuyos principales parámetros se puntualizan en la Tabla 12.

**Tabla 12**

*Parámetros de Forma de las Subdivisiones de la Quebrada La Potrera*

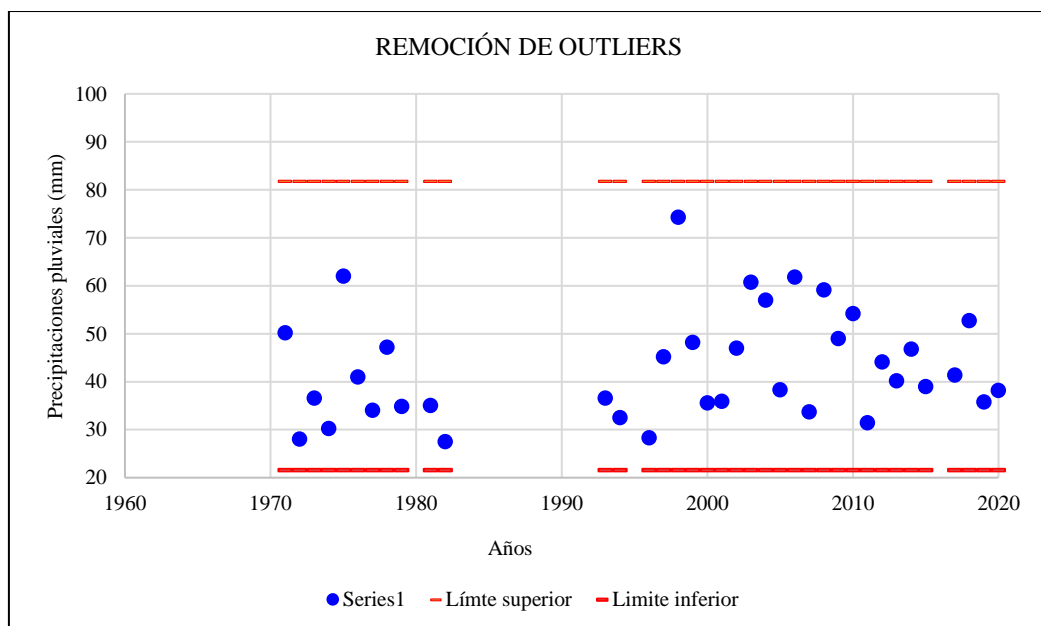
| Subdivisión | Área (Km2) | Perímetro (km) | Pendiente cuenca | Long. cauce principal (km) | Pendiente cauce (m/m) |
|-------------|------------|----------------|------------------|----------------------------|-----------------------|
| S1          | 9.93       | 27.83          | 0.21             | 5.83                       | 0.09                  |
| S2          | 17.43      | 38.88          | 0.20             | 7.30                       | 0.11                  |
| S3          | 3.55       | 14.5           | 0.204            | 2.75                       | 0.07                  |
| Total       | 30.90      | 31.05          |                  | 10.05                      | 0.10                  |

**b) Análisis de datos atípicos (outliers)**

A la información disponible de la estación Chota se ha evaluado la consistencia por la prueba de datos dudosos (Outliers), son definidos por observaciones que se alejan significativamente de la mayor parte de los datos. En la Figura 19 se muestran las precipitaciones corregidas, indicándose la presencia de dos valores atípicos que correspondió al año 1980 (160.5 mm) y 1995 (90.8 mm).

**Figura 19**

*Análisis de Datos Atípicos*



### c) Corrección de PPmáx 24 horas

La Organización Meteorológica Mundial (OMM) recomienda un coeficiente de corrección para datos de estaciones que se registran una vez al día de 1.13. Para el caso de la estación Chota, según fuentes del SENAMHI indican que la medición de la precipitación máxima se realiza al finalizar el día, lo cual es considerado como una medición al día, por lo que, los valores históricos y corregidos PPmáx 24 h se presentan en la Tabla 13.

**Tabla 13**

*Precipitación Máxima 24 h Histórica y Corregida*

| Factor de corrección |           | 1.13      |
|----------------------|-----------|-----------|
| PPmáx                |           |           |
| Año                  | Histórico | Corregido |
| 1971                 | 50.2      | 56.7      |
| 1972                 | 28        | 31.6      |
| 1973                 | 36.6      | 41.4      |
| 1974                 | 30.2      | 34.1      |
| 1975                 | 62        | 70.1      |
| 1976                 | 41        | 46.3      |
| 1977                 | 34        | 38.4      |
| 1978                 | 47.2      | 53.3      |
| 1979                 | 34.8      | 39.3      |
| 1981                 | 35        | 39.6      |
| 1982                 | 27.5      | 31.1      |
| 1993                 | 36.6      | 41.4      |
| 1994                 | 32.5      | 36.7      |
| 1996                 | 28.3      | 32.0      |
| 1997                 | 45.2      | 51.1      |
| 1998                 | 74.3      | 84.0      |
| 1999                 | 48.2      | 54.5      |
| 2000                 | 35.6      | 40.2      |
| 2001                 | 35.9      | 40.6      |
| 2002                 | 47        | 53.1      |
| 2003                 | 60.7      | 68.6      |
| 2004                 | 57        | 64.4      |
| 2005                 | 38.3      | 43.3      |



| <b>Factor de corrección</b> |                  | <b>1.13</b>      |
|-----------------------------|------------------|------------------|
| <b>PPmáx</b>                |                  |                  |
| <b>Año</b>                  | <b>Histórico</b> | <b>Corregido</b> |
| <b>2006</b>                 | 61.8             | 69.8             |
| <b>2007</b>                 | 33.7             | 38.1             |
| <b>2008</b>                 | 59.1             | 66.8             |
| <b>2009</b>                 | 49               | 55.4             |
| <b>2010</b>                 | 54.2             | 61.2             |
| <b>2011</b>                 | 31.4             | 35.5             |
| <b>2012</b>                 | 44.1             | 49.8             |
| <b>2013</b>                 | 40.2             | 45.4             |
| <b>2014</b>                 | 46.8             | 52.9             |
| <b>2015</b>                 | 39               | 44.1             |
| <b>2017</b>                 | 41.4             | 46.8             |
| <b>2018</b>                 | 52.7             | 59.6             |
| <b>2019</b>                 | 35.8             | 40.5             |
| <b>2020</b>                 | 38.2             | 43.2             |
| <b>2021</b>                 | 52               | 58.8             |

#### **d) Transferencia de datos a la quebrada La Potrera**

Las precipitaciones máximas se consiguieron por la transposición de data pluviométrica de la estación Chota, cuya cota es de 2442 m.s.n.m. hacia la cuenca de estudio que tiene elevación media de 3267 m.s.n.m., donde se obtiene una escala de altitudes de 1.34 (ver Tabla 14). La lluvia transmitida es más alta que la lluvia fuente porque la elevación de la estación de origen es proporcionalmente más baja que la elevación promedio del destino.

**Tabla 14**

*Precipitación Máxima 24 horas Transpuesta a la quebrada de Estudio*

| <b>Factor de corrección</b> |                            | <b>1.34</b>                |
|-----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| <b>Año</b>                  | <b>PPmáx 24h histórico</b> | <b>PPmáx 24h corregido</b> |
| <b>1971</b>                 | 56.7                       | 76.0                       |
| <b>1972</b>                 | 31.6                       | 42.4                       |
| <b>1973</b>                 | 41.4                       | 55.4                       |
| <b>1974</b>                 | 34.1                       | 45.7                       |

| <b>Factor de corrección</b> |                            | <b>1.34</b>                |
|-----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| <b>Año</b>                  | <b>PPmáx 24h histórico</b> | <b>PPmáx 24h corregido</b> |
| <b>1975</b>                 | 70.1                       | 93.9                       |
| <b>1976</b>                 | 46.3                       | 62.1                       |
| <b>1977</b>                 | 38.4                       | 51.5                       |
| <b>1978</b>                 | 53.3                       | 71.5                       |
| <b>1979</b>                 | 39.3                       | 52.7                       |
| <b>1981</b>                 | 39.6                       | 53.0                       |
| <b>1982</b>                 | 31.1                       | 41.6                       |
| <b>1993</b>                 | 41.4                       | 55.4                       |
| <b>1994</b>                 | 36.7                       | 49.2                       |
| <b>1996</b>                 | 32.0                       | 42.9                       |
| <b>1997</b>                 | 51.1                       | 68.4                       |
| <b>1998</b>                 | 84.0                       | 112.5                      |
| <b>1999</b>                 | 54.5                       | 73.0                       |
| <b>2000</b>                 | 40.2                       | 53.9                       |
| <b>2001</b>                 | 40.6                       | 54.4                       |
| <b>2002</b>                 | 53.1                       | 71.2                       |
| <b>2003</b>                 | 68.6                       | 91.9                       |
| <b>2004</b>                 | 64.4                       | 86.3                       |
| <b>2005</b>                 | 43.3                       | 58.0                       |
| <b>2006</b>                 | 69.8                       | 93.6                       |
| <b>2007</b>                 | 38.1                       | 51.0                       |
| <b>2008</b>                 | 66.8                       | 89.5                       |
| <b>2009</b>                 | 55.4                       | 74.2                       |
| <b>2010</b>                 | 61.2                       | 82.1                       |
| <b>2011</b>                 | 35.5                       | 47.5                       |
| <b>2012</b>                 | 49.8                       | 66.8                       |
| <b>2013</b>                 | 45.4                       | 60.9                       |
| <b>2014</b>                 | 52.9                       | 70.9                       |
| <b>2015</b>                 | 44.1                       | 59.1                       |
| <b>2017</b>                 | 46.8                       | 62.7                       |
| <b>2018</b>                 | 59.6                       | 79.8                       |
| <b>2019</b>                 | 40.5                       | 54.2                       |
| <b>2020</b>                 | 43.2                       | 57.8                       |
| <b>2021</b>                 | 58.8                       | 78.7                       |



### e) Análisis de frecuencia

En la prueba de ajuste para la estación Chota, se ha utilizado el Software Hidroesta verificando que, el modelo Gamma generalizada 3 parámetros se ajusta a los datos pluviométricos. Los cálculos se adjuntan a continuación.

**Tabla 15**

*Valores de Delta Teórico y Tabular para la Estación Chota*

| Distribución teórica de probabilidades | Parámetros                     |                  |            |                             |                  |            |
|--|--------------------------------|------------------|------------|-----------------------------|------------------|------------|
|  | Método de máxima verosimilitud |                  |            | Método de momentos lineales |                  |            |
|  | $\Delta$ teórico               | $\Delta$ tabular | Se ajustan | $\Delta$ teórico            | $\Delta$ tabular | Se ajustan |
| Normal                                 | 0.1149                         | 0.2236           | SÍ         | 0.1154                      | 0.2236           | SÍ         |
| Log-Normal de 2 parámetros             | 0.0944                         | 0.2236           | SÍ         | 0.0904                      | 0.2236           | SÍ         |
| Log-Normal de 3 parámetros             | 0.0744                         | 0.2236           | SÍ         |                             |                  |            |
| Gamma (2 parámetros)                   | 0.1043                         | 0.2236           | SÍ         | 0.1287                      | 0.2236           | SÍ         |
| Gamma generalizada (3 parámetros)      | 0.08216                        | 0.2236           | SÍ         | 0.06199                     | 0.2236           | SÍ         |
| Log-Pearson tipo III                   | 0.0808                         | 0.2236           | SÍ         | 0.06794                     | 0.2236           | SÍ         |
| Gumbel                                 | 0.0856                         | 0.2236           | SÍ         | 0.0752                      | 0.2236           | SÍ         |
| Log-Gumbel                             | 0.0997                         | 0.2236           | SÍ         | 0.0912                      | 0.2236           | SÍ         |

### f) Hietograma de diseño

El método de bloque alterno es una manera fácil de hacer un hietograma generado por  $n$  intervalos de tiempo consecutivos de duración  $\Delta t$  para una duración total  $T_d = n \cdot \Delta t$ .

Después de seleccionar  $T_r$ , la intensidad de cada duración  $\Delta t$ ,  $2\Delta t$ ,  $3\Delta t$ ,  $4\Delta t$  se lee de la curva IDF y la profundidad de lluvia se obtiene multiplicando la intensidad por la duración.

Usando la diferencia de la profundidad de precipitación sucesiva, se puede hallar la cantidad de precipitación que debe agregarse por cada unidad de tiempo adicional  $\Delta t$ . Estos incrementos o bloques se reorganizan en orden cronológico de manera que la máxima intensidad se produce en el centro de la duración deseada

Td, y otros bloques se organizan alternativamente a la derecha e izquierda del bloque central en orden descendente para formar el hietograma de diseño.

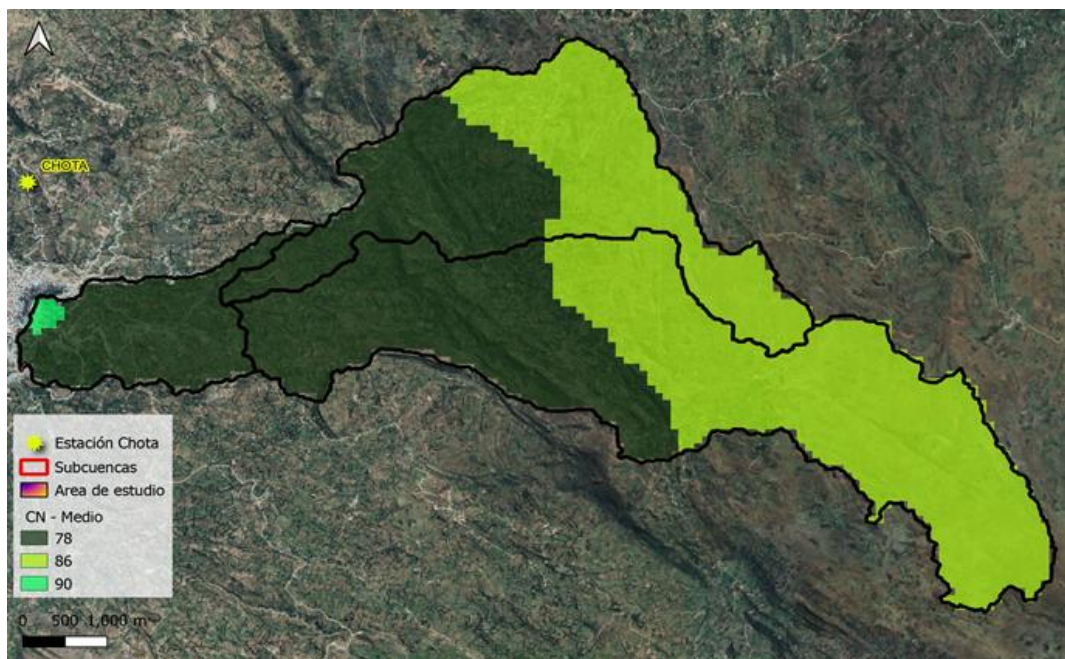
### g) Modelación hidrológica

#### Numero de curva (CN) estimado en el programa ArcGIS 10.5

El número de la curva CN es un número hidrológico adimensional que varía según la capacidad de infiltración del suelo, el hidrotipo del suelo y el tipo de cobertura vegetal. En general, las cuencas tienen una cubierta vegetal variable y un uso del suelo variable, por lo que el número de curvas está determinado por un promedio ponderado de la CN para cada área. Los números de curva son para condiciones de fondo de humedad normal (Condición II); para condiciones secas (Condición I) o condiciones húmedas (Condición III). Este estudio se llevó a cabo en condiciones húmedas utilizando datos de la Autoridad Nacional del Agua (shapefile) que fue cargado en su totalidad en el programa ArcGIS 10.5, y luego se verificó en el mismo que CN pasa por la quebrada en estudio.

#### Figura 20

*Número de Curva para la Quebrada en Condiciones Húmedas*



**Abstracciones iniciales.** Se determinó aplicando la siguiente ecuación

$$Ia = \frac{500}{CN} - 50.8 \quad (37)$$

Donde: Ia: Atracciones iniciales, CN: Curva número.

**Tiempo de concentración.** Aplicando la fórmula de Témez (MTC, 2018)

$$t_c = 0.3 * \left( \frac{L}{S^{0.25}} \right)^{0.76} \quad (38)$$

Donde: L Longitud del cauce principal, S Pendiente del cauce principal, Tc Tiempo de Concentración.

**Tiempo de retardo.** Se determina aplicando la siguiente formula:

$$Ia = 0.6 * Tc \quad (39)$$

Donde: Lag time tiempo de retardo, Tc tiempo de concentración.

### **Método Muskingum**

Para calcular K y X de Muskingum hay diversos métodos o técnicas de optimización empíricos. Así tenemos la siguiente fórmula para K.

$$K = 0.18 \left( \frac{\Delta x}{S^{0.25}} \right)^{0.76} \quad (40)$$

Donde:  $\Delta x$  Distancia máxima (km), S Pendiente máxima de la cuenca.

El parámetro X, depende de la pendiente media del tramo, a más pendiente más alta será su valor. En general, se usan valores entre 0.2 para las pendientes más bajas y 0.35 para las pendientes más altas.

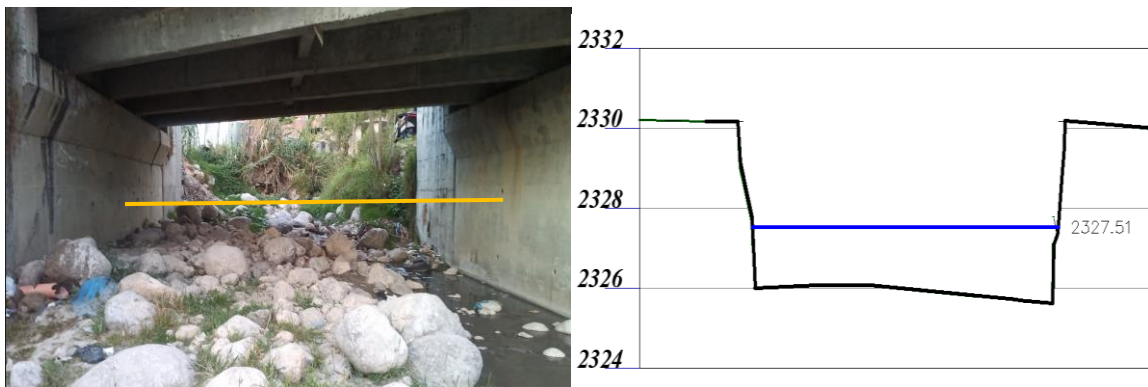
Para el caso de estudio se obtiene un valor de K de 0.965 y se asume un valor de 0.2 para X debido a la baja pendiente del tramo de la quebrada.

### 3.6.1.5. Calibración

En campo, se ha identificado el nivel de agua o también denominado huella hídrica del cauce en la quebrada La Potrera (marca que deja el agua en una superficie al estar en contacto con esta), siendo igual a 2327.51 msnm (1.51 m desde el fondo del cauce), altura mostrada en la Figura 21 y que coincide con el evento del 14 de marzo de 2019 según refieren pobladores locales y según se puede evidenciar en fotografías y videos del evento pluvial, y a partir de dicha sección transversal se ha verificado el tiempo de retorno ( $T_r$ ) que cubre el caudal de la sección transversal definida, siendo este un  $T_r$  de 3.33 años, por lo que, se ha considerado el mismo como el periodo de calibración. Conociendo el tiempo de retorno, se puede determinar la probabilidad de que ocurra un determinado caudal en un periodo de tiempo específico.

**Figura 21**

*Huella Histórica en el Puente y Nivel de Agua*



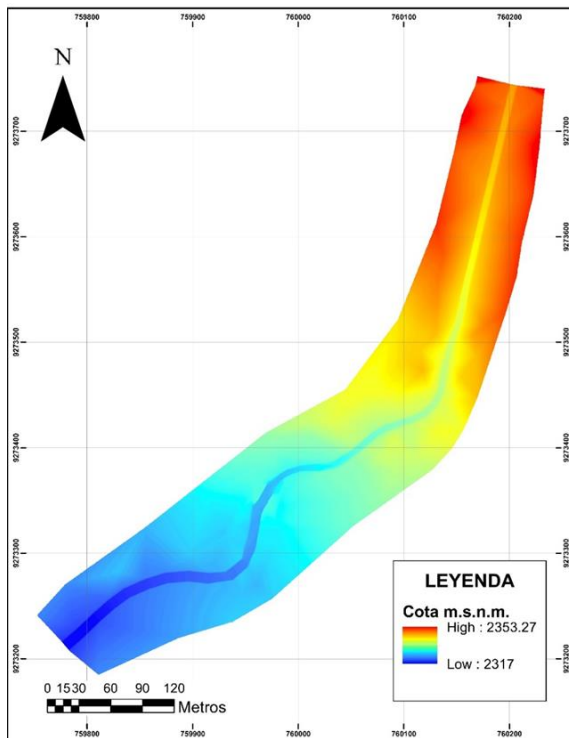
### 3.6.1.6. Modelación hidráulica

#### a) Topografía

El modelo digital que se utilizó para el modelamiento hidráulico proviene del levantamiento topográfico realizado para la quebrada.

**Figura 22**

*Modelo Digital de Terreno*

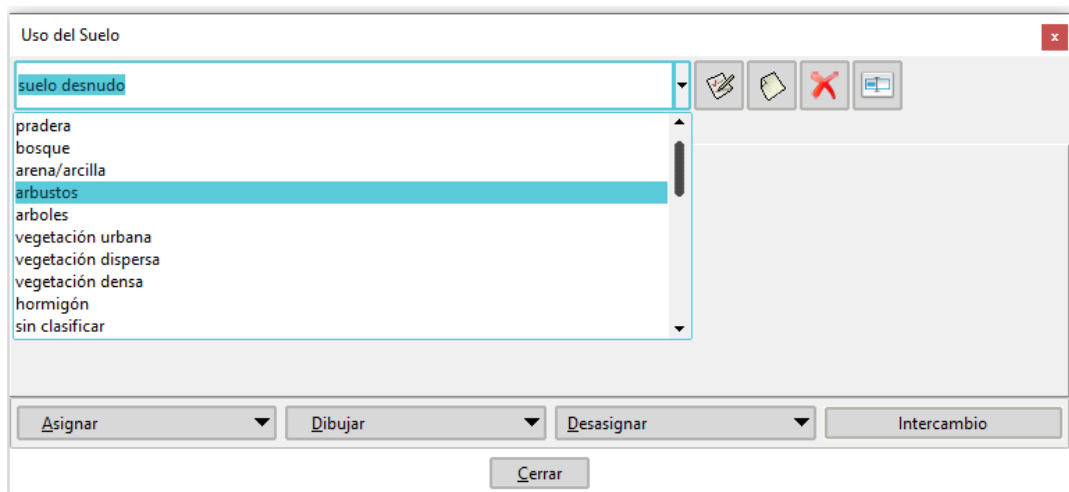


**b) Coeficiente de rugosidad**

El coeficiente de Manning es un índice el cual establece la tenacidad de un flujo al discurrir sobre un cauce. El software Iber tiene a disposición una amplia base de datos de coeficientes de rugosidad para disímiles tipos de suelo.

**Figura 23**

*Base de Datos del Software Iber*



A partir de las visitas de campo y fotografías, se han identificado 8 zonas de uso de suelo y los valores se usaron de la base de datos disponible en el modelo Iber.

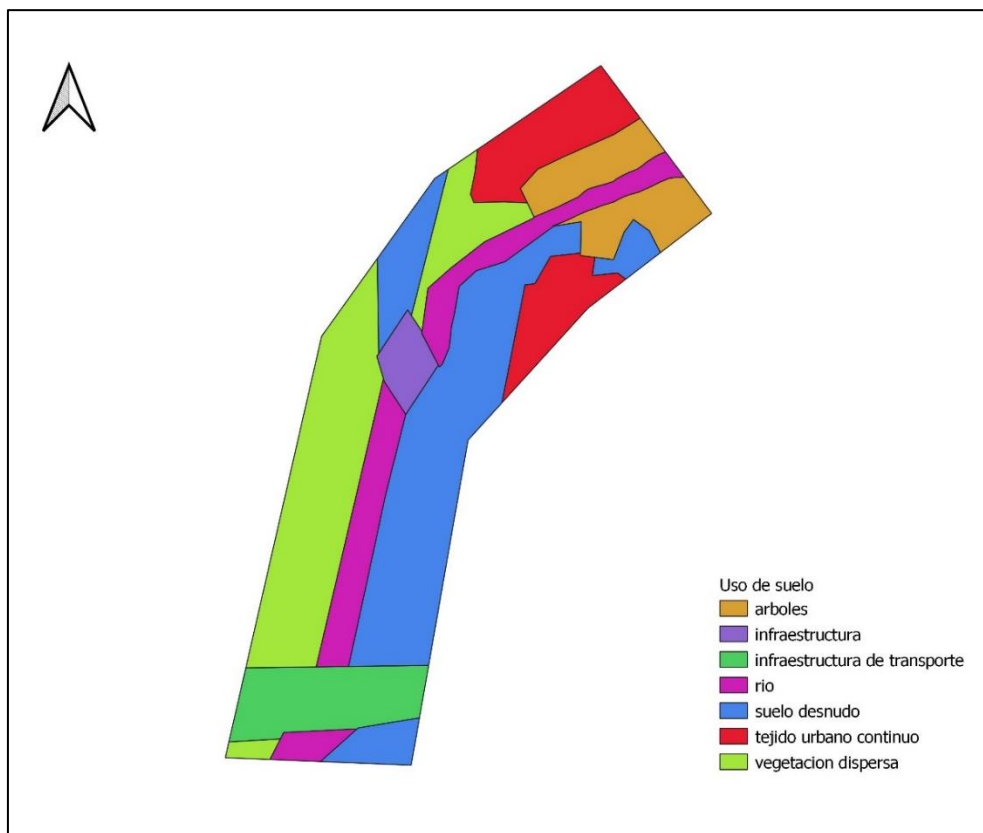
**Tabla 16**

*Uso de suelo*

| Uso del suelo                 | Valor de rugosidad |
|-------------------------------|--------------------|
| Suelo desnudo                 | 0.023              |
| Tejido urbano continuo        | 0.1                |
| Vegetación dispersa           | 0.08               |
| árboles                       | 0.12               |
| Río                           | 0.025              |
| Infraestructura de transporte | 0.1                |
| Infraestructura               | 0.023              |

**Figura 24**

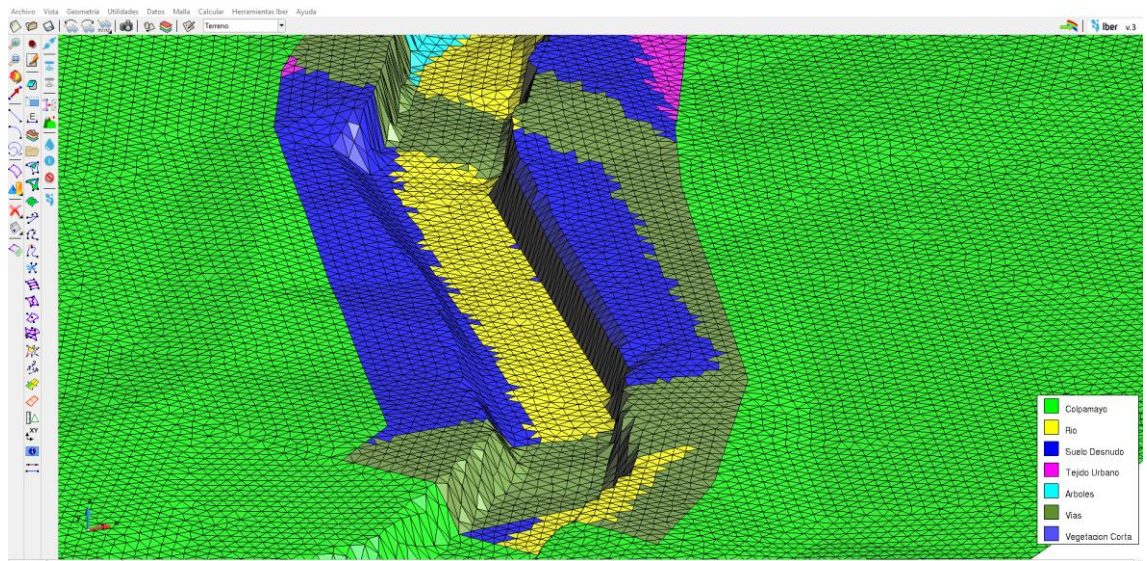
*Uso de suelo quebrada la Potrera*





**Figura 25**

*Coefficiente de rugosidad asignado al modelo Iber*

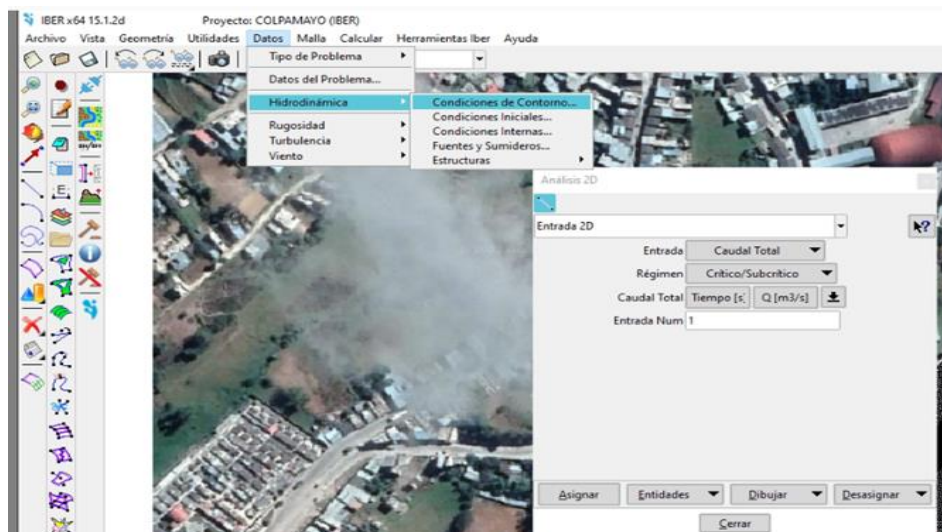


**c) Condiciones de contorno**

Se ingresaron la pendiente energía e hidrograma. Los diversos tipos de condiciones se definen en el menú de datos > Hidrodinámica > Condiciones de contorno (Figura 26).

**Figura 26**

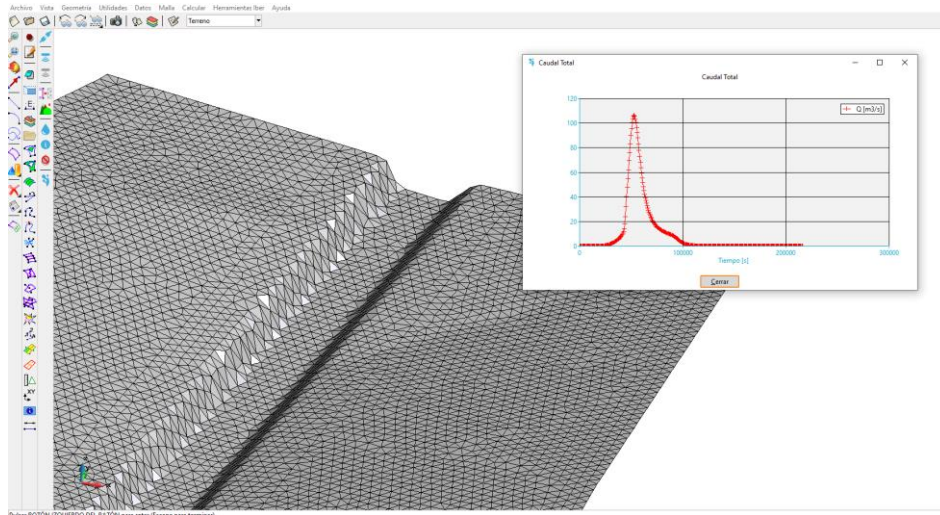
*Condiciones de Entrada y Salida*



En la Figura 27 se presenta el hidrograma del Tr 100 años que se usó para determinar los niveles máximos del cauce.

**Figura 27**

*Condiciones de entrada y salida*



**d) Mallado**

Después de crear la geometría, se procede a generar la malla, lógicamente, cuanto más pequeñas sean las celdas, mayor será la precisión.

**Figura 28**

*Generación de la malla computacional*

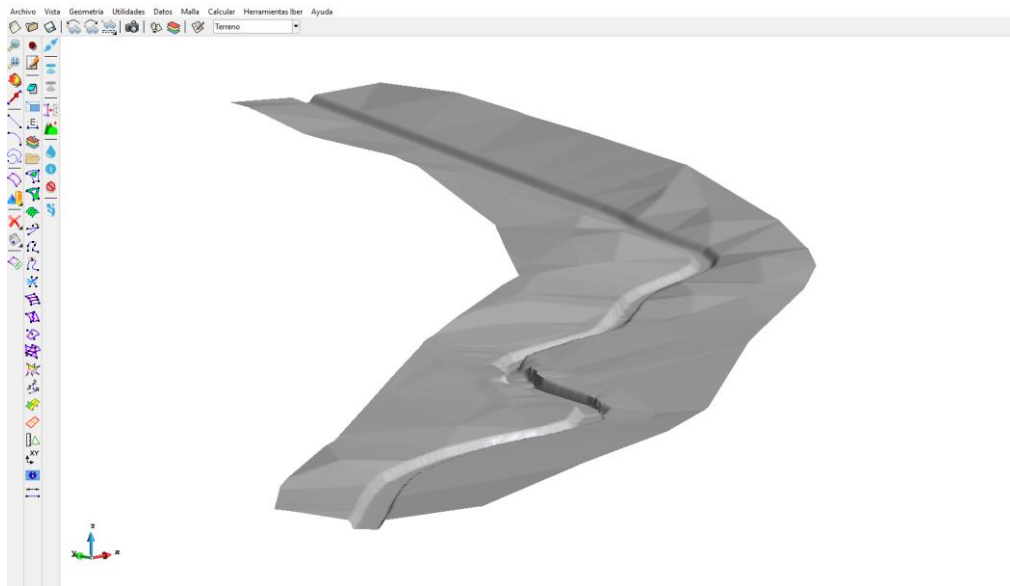


Se importa el terreno para modificar los nodos y representar el relieve de la topografía del cauce (Figura 29).



## Figura 29

### *Vista 3D de la topo batimetría del Río*



#### **e) Socavación general y local**

En el tramo de evaluación de la quebrada La Potrera, se incluye el análisis de la variabilidad de erosión natural del río, mediante metodología empírica del cálculo de “Socavación General”. La socavación es un tipo de erosión hídrica que hace referencia a la pérdida del material de fondo del cauce y sus riberas del río, asociado a un evento extremo de incremento del caudal. La disminución de este nivel en relación con el nivel de referencia se denomina hondura de socavación. La altura de socavación alcanzada depende del tipo y tamaño de las partículas del lecho del río y de la intensidad y duración del evento hidrológico.

Las metodologías empíricas de socavación general a emplear fueron:

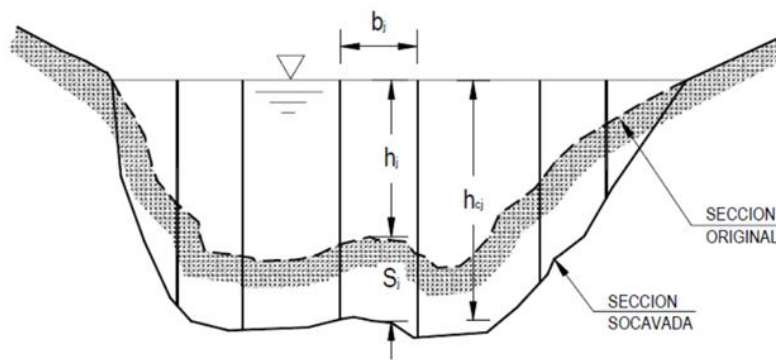
- Método de Lischvan Levediev (1984).
- Método de Blench (1969).
- Método de Del Campo Ordoñez.

### Método de Lischtván Lebediev

El método de Lischtván Lebediev (Juárez Badillo y Rico Rodríguez, 1984) supone que el proceso de erosión se detiene cuando la celeridad media  $U_r$  del flujo de agua es igual a la velocidad  $U_e$  manteniendo el equilibrio o estado de la sección, la cual es mayor que la velocidad crítica, por lo que se el método asume las condiciones del lecho vivo (Basile, 2018).

**Figura 30**

*Sección transversal de cauce*



El supuesto básico de este método consiste en suponer que la distribución lateral de un flujo específico permanece constante durante el desarrollo del proceso de erosión, la fórmula para suelos granulares está dada por: (MTC, 2018, pp. 106-108)

$$H_s = \left[ \frac{\alpha \times h^{5/3}}{0.68 \times \beta \times \mu \times D_m^{0.28}} \right]^{1/x} \quad (41)$$

Donde:  $H_s$ - $h$ : Hondura de socavación (m).  $H$ : Tirante de agua (m).  $\mu$ : Coeficiente de contracción (considera valor de 1 debido a que no hay obstáculo en el cauce).  $X$ : Coeficiente que depende del diámetro medio del material del lecho. (Para 86 mm se obtiene  $x$  de 0.287).  $D_m$ : Diámetro medio (mm).  $B$ : Coeficiente de

frecuencia. (Para Tr 500 años se considera 1.05). A: Coeficiente de sección dependiente de características hidráulicas.

$$\alpha = \frac{Q}{Be \times y_m^{5/3}} \quad (42)$$

Donde, Be: Ancho efectivo (m). Ym: tirante medio (m). Q: Caudal (m3/s).

Se considera que un suelo es cohesivo si contiene una cantidad significativa de arcilla, la cual proporciona cohesión a las partículas. Por otro lado, los suelos no cohesivos están compuestos principalmente por arena y grava, que no tienen la misma capacidad de cohesión.

No existe un diámetro límite específico y universalmente aceptado que marque la transición entre suelo cohesivo y no cohesivo. Sin embargo, se pueden establecer que los suelos cohesivos tienen una alta parte de partículas finas (menores a 0.075 mm), como arcilla y limo, mientras que los suelos no cohesivos contienen una mayor parte de partículas gruesas (mayores a 0.075 mm), como arena y grava.

**Tabla 17**

*Coeficientes "X" para suelos cohesivos*

| $\gamma_d$ (T/m3) | x    | $\gamma_d$ (T/m3) | x    |
|-------------------|------|-------------------|------|
| <b>0.80</b>       | 0.52 | <b>1.20</b>       | 0.39 |
| <b>0.83</b>       | 0.51 | <b>1.24</b>       | 0.38 |
| <b>0.86</b>       | 0.5  | <b>1.28</b>       | 0.37 |
| <b>0.88</b>       | 0.49 | <b>1.34</b>       | 0.36 |
| <b>0.90</b>       | 0.48 | <b>1.40</b>       | 0.35 |
| <b>0.93</b>       | 0.47 | <b>1.46</b>       | 0.34 |
| <b>0.96</b>       | 0.46 | <b>1.52</b>       | 0.33 |
| <b>0.98</b>       | 0.45 | <b>1.58</b>       | 0.32 |
| <b>1.00</b>       | 0.44 | <b>1.64</b>       | 0.31 |
| <b>1.04</b>       | 0.43 | <b>1.71</b>       | 0.30 |
| <b>1.08</b>       | 0.42 | <b>1.80</b>       | 0.29 |
| <b>1.12</b>       | 0.41 | <b>1.89</b>       | 0.28 |
| <b>1.16</b>       | 0.4  | <b>2.00</b>       | 0.27 |

Nota: Tomado del manual de Medina (2018, p. 21).

**Tabla 18***Coefficientes "X" para suelos no cohesivos*

| <b>dm (mm)</b> | <b>x</b> | <b>dm (mm)</b> | <b>x</b> |
|----------------|----------|----------------|----------|
| <b>0.05</b>    | 0.43     | <b>40.00</b>   | 0.30     |
| <b>0.15</b>    | 0.42     | <b>60.00</b>   | 0.29     |
| <b>0.50</b>    | 0.41     | <b>90.00</b>   | 0.28     |
| <b>1.00</b>    | 0.40     | <b>140.00</b>  | 0.27     |
| <b>1.50</b>    | 0.39     | <b>190.00</b>  | 0.26     |
| <b>2.50</b>    | 0.38     | <b>250.00</b>  | 0.25     |
| <b>4.00</b>    | 0.37     | <b>310.00</b>  | 0.24     |
| <b>6.00</b>    | 0.36     | <b>370.00</b>  | 0.23     |
| <b>8.00</b>    | 0.35     | <b>450.00</b>  | 0.22     |
| <b>10.00</b>   | 0.34     | <b>570.00</b>  | 0.21     |
| <b>15.00</b>   | 0.33     | <b>750.00</b>  | 0.20     |
| <b>20.00</b>   | 0.32     | <b>1000.00</b> | 0.19     |
| <b>25.00</b>   | 0.31     |                |          |

Nota: Tomado del manual de Medina (2018, p. 21).

**Tabla 19***Coefficientes de frecuencia  $\beta$ .*

| <b>Probabilidad Excedencia</b> | <b>Periodo de Retorno</b> | <b><math>\beta</math></b> |
|--------------------------------|---------------------------|---------------------------|
| <b>(%)</b>                     | <b>(años)</b>             |                           |
| <b>0.1</b>                     | 1000.00                   | 1.07                      |
| <b>0.2</b>                     | 500.00                    | 1.05                      |
| <b>0.3</b>                     | 333.33                    | 1.03                      |
| <b>1</b>                       | 100.00                    | 1                         |
| <b>2</b>                       | 50.00                     | 0.97                      |
| <b>5</b>                       | 20.00                     | 0.94                      |
| <b>10</b>                      | 10.00                     | 0.9                       |
| <b>20</b>                      | 5.00                      | 0.86                      |
| <b>50</b>                      | 2.00                      | 0.82                      |
| <b>100</b>                     | 1.00                      | 0.77                      |

Nota: (Medina, p. 22).

### **3.6.2. *Procesamiento de datos***

Para el procesamiento, presentación e interpretación de datos, se hará uso de técnicas de análisis estadístico, mediante el procesamiento de los datos en los siguientes programas de software:

- Microsoft Excel 2022. Se ha utilizado para registrar el análisis de los parámetros de la quebrada, tanto geomorfológicos como hidrológicos, y para el procesamiento de estos en tablas y diagramas.
- HIDROESTA. Se ha utilizado para verificar el modelo de distribución que mejor se ajusta a la pluviometría de la estación Chota.
- HEC-HMS. Se ha utilizado para delimitar la cuenca hidrográfica de la quebrada La Potrera a fin de que los parámetros geomorfológicos se determinen automáticamente por medio de este programa, así mismo, permite el análisis de las intensidades máximas y la formulación del hidrograma de caudales máximos.
- Iber 3.2.2. Programa de modelamiento que se ha utilizado para simular las condiciones reales del estudio a fin de determinar la socavación local en la quebrada La Potrera – Puente Colpamayo.
- Civil 3D 2022. Programa de versión libre para estudiantes que se ha utilizado para procesar la data topográfica.
- AutoCAD 2022. Se ha utilizados las versiones libres para estudiantes, a fin de plasmar los planos topográficos y de la quebrada.

### **3.6.3. *Análisis de datos***

Para el análisis de datos se ha usado el programa Minitab 22, para ver si se acepta o rechaza la hipótesis nula ( $H_0$ ) o hipótesis alternativa ( $H_1$ ), con un nivel de confianza del 95%, a 0.05 de nivel de significancia (límite para juzgar un resultado

como estadísticamente significativo, también conocido como nivel alfa, que está dado en función del nivel de confianza), previa verificación de la normalidad, para determinar el uso de pruebas paramétricas o no paramétricas.

### 3.7. Aspectos éticos

En general, la investigación en este campo debe seguir los principios éticos establecidos en la investigación científica, como el respeto, la minimización de riesgos y la maximización de beneficios, además de los requisitos éticos y legales establecidos por la EPIC-UNACH. Pero fundamentalmente se ha considerado los aspectos éticos parafraseados de Arias y Giraldo (2011):

**Cuidado y uso responsable de los recursos:** La investigación debe ser realizada de manera responsable y cuidadosa, evitando cualquier daño innecesario a la quebrada o al puente. Se deben tomar las precauciones necesarias para minimizar cualquier posible impacto negativo.

**Transparencia y honestidad:** Es importante ser transparente y honesto sobre los métodos usados, los resultados derivados y las conclusiones presentadas. Esto incluye proporcionar información precisa y completa sobre la metodología utilizada y los posibles sesgos o limitaciones del estudio.

**Beneficio y justicia:** La investigación debe realizar un balance entre los beneficios potenciales y los posibles riesgos o daños involucrados. Se debe garantizar que los beneficios de la investigación sean equitativamente distribuidos y que no se perjudique a ninguna comunidad o grupo en particular.

## CAPÍTULO IV.

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1. Descripción de resultados

##### 4.1.1. Caracterización geomorfológica de la Quebrada La Potrera

La quebrada La Potrera tiene una superficie de 30.9 km<sup>2</sup>, con perímetro de 42 km, longitud de cauce principal de 17.9 km (Tabla 20), con altitud media 3,267 msnm y factor de Gravelius de 1.56 por lo que su forma es oblonga. Dentro de la zona de estudio, tal como se puede observar en la Figura 31, se ha caracterizado que, en la parte final de las aguas emitidas, los alrededores se encuentran viviendas debidamente consolidadas, las que estarían expuestas a inundaciones.

#### Figura 31

*Viviendas Expuestas a Inundaciones de la Quebrada La Potrera*



**Tabla 20***Parámetros de la Quebrada La Potrera*

| <b>Parámetro geomorfológico</b>       | Valor    |
|---------------------------------------|----------|
| Área (km <sup>2</sup> )               | 30.90    |
| Perímetro (km)                        | 31.05    |
| Coefficiente de compacidad            | 1.564    |
| Altitud media (msnm)                  | 3,267.00 |
| Pendiente de la cuenca (m/m)          | 0.203    |
| Coefficiente orográfico               | 0.35     |
| Número de orden                       | 4        |
| Longitud de la red hídrica (km)       | 40.23    |
| Relación de confluencias              | 1.88     |
| Longitud del máximo recorrido (km)    | 10.05    |
| Pendiente del cauce principal (m/m)   | 0.10     |
| Tiempo de concentración Témez (horas) | 2.67     |

La quebrada descrita tiene un área de 30.9 km<sup>2</sup>, pendiente 0.203, coeficiente de gravelius 1.56 y un tiempo de concentración de XY minutos, drenando hacia el cauce del río Chotano como punto de confluencia. La quebrada tiene una pendiente de 20.3%, la misma que probablemente influye en procesos de erosión leve a moderada, acarreando materiales finos y gruesos (piedras) que son las que están afectando la estabilidad de los estribos, tal como se puede corroborar a través de los análisis de granulometría.

**4.1.2. Caudales máximos de la Quebrada La Potrera en el puente Colpamayo**

Los caudales máximos para diferentes tiempos de retorno se han calculado siguiendo el procedimiento que se describe:

**4.1.2.1. Análisis de frecuencias y cálculo de precipitaciones**

Mediante el análisis de frecuencias a través del software HIDROESTA 2.0, se determinó que la información se ajusta a la distribución Gamma Generalizado 3P y se obtuvo las precipitaciones para diferentes tiempos de retorno.



**Tabla 21***Precipitaciones máximas según distribución Gamma 3P*

| <b>Periodo de retorno</b> | <b>Probabilidad de excedencia</b> | <b>Precipitación</b> |
|---------------------------|-----------------------------------|----------------------|
| <b>Tr (años)</b>          | <b>q</b>                          | <b>XT (mm)</b>       |
| <b>50</b>                 | 0.020                             | 110.98               |
| <b>100</b>                | 0.010                             | 119.90               |
| <b>200</b>                | 0.005                             | 128.56               |
| <b>500</b>                | 0.002                             | 139.65               |

**4.1.2.2. Curva número (CN)**

La curva número se ha estimado a través del software HEC HMS, para distintas condiciones de humedad del suelo; sin embargo, para el presente trabajo, se está considerando que la quebrada está húmeda por ser la condición crítica de mayor escurrimiento superficial, correspondiendo un valor promedio de número curva de 90.

**Tabla 22***Número Curva (CN) Ponderado para la Quebrada La Potrera*

| <b>Subdivisiones</b> | <b>Curva Número</b> |        |       |
|----------------------|---------------------|--------|-------|
|                      | Húmeda              | Normal | Seca  |
| <b>S1</b>            | 91.47               | 82.45  | 66.64 |
| <b>S2</b>            | 91.60               | 82.69  | 67.01 |
| <b>S3</b>            | 89.28               | 78.40  | 60.47 |

**4.1.2.3. Tiempo de concentración**

El tiempo de concentración promedio para la quebrada La Potrera, se estima en 2.67 horas, calculado a del software HEC HMS, según se indica.

**Tabla 23***Curva Número (CN) y tiempos de concentración según software HEC HMS*

| Subdivisiones | Número de curva (CN) | Abstracciones Iniciales | Témez (Horas) | Témez (min) | Lag time |
|---------------|----------------------|-------------------------|---------------|-------------|----------|
| S1            | 91.47                | 4.74                    | 2.72          | 163.26      | 97.95    |
| S2            | 91.60                | 4.66                    | 3.68          | 220.68      | 132.41   |
| S3            | 89.28                | 6.10                    | 1.61          | 96.57       | 57.94    |
| Quebrada      | 90.78                |                         | 2.67          |             |          |

**4.1.2.4.Caudales máximos**

El caudal extraordinario es necesario para determinar la socavación. En muchos casos, los caudales máximos asociados a diferentes  $T_r$  son suficientes, mientras que en otros se requiere un hidrograma completo (caudales no permanentes). En la Tabla 24 se detallan los caudales máximos para la quebrada máxima obtenidos a través del software HEC HMS, donde un caudal máximo de 136.7 m<sup>3</sup>/s para  $T_r$  500 años indica que se espera que, en promedio, solo ocurra un evento de esta magnitud cada 500 años en la quebrada. Este nivel de caudal es bastante alto y demuestra la capacidad de la quebrada para transportar grandes volúmenes de agua durante condiciones extremas.

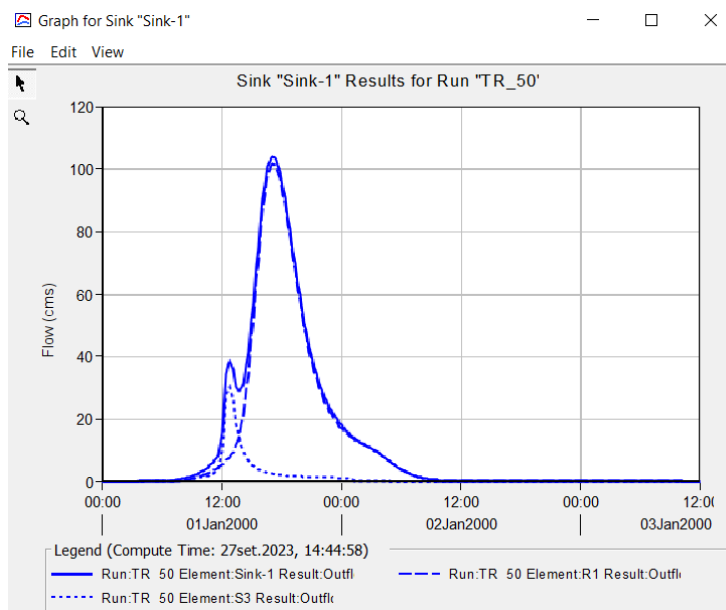
**Tabla 24***Caudales Máximos de la Quebrada La Potrera*

| Periodo retorno | Q <sub>máx</sub> (m <sup>3</sup> /s) |
|-----------------|--------------------------------------|
| <b>50</b>       | 104.1                                |
| <b>100</b>      | 114.4                                |
| <b>200</b>      | 124.0                                |
| <b>500</b>      | 136.7                                |

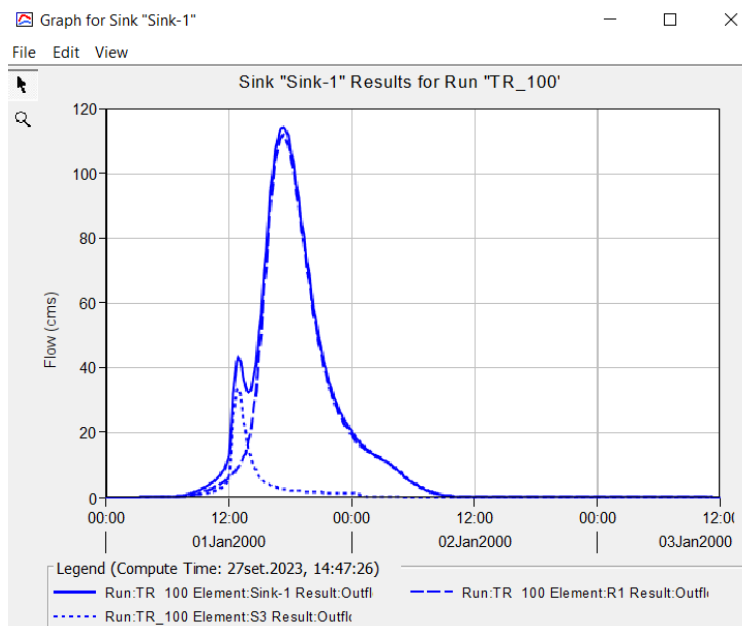
El hidrograma de flujo no permanente, también conocido como hidrograma de crecida, es de gran utilidad en el análisis de socavación de una quebrada debido a que proporciona información importante sobre las características hidrológicas de

una lluvia intensa y su efecto en el cauce de la quebrada. Así mismo, el análisis de socavación de una quebrada implica evaluar la capacidad de transporte de sedimentos y su relación con la altura y velocidad del flujo. La crecida generada por un hidrograma de flujo no permanente puede movilizar diferentes tipos y tamaños de sedimentos. Siendo así, se detallan los hidrogramas de los diferentes periodos de retorno:

**Figura 32** Hidrograma Tr 50 años.

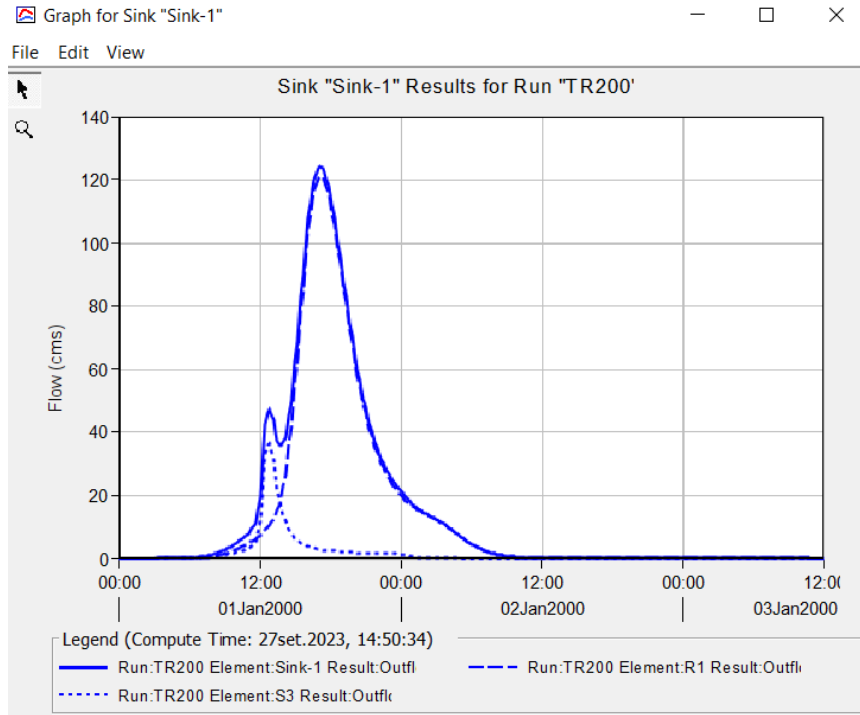


**Figura 33** Hidrograma Asociado al Tr 100 años.



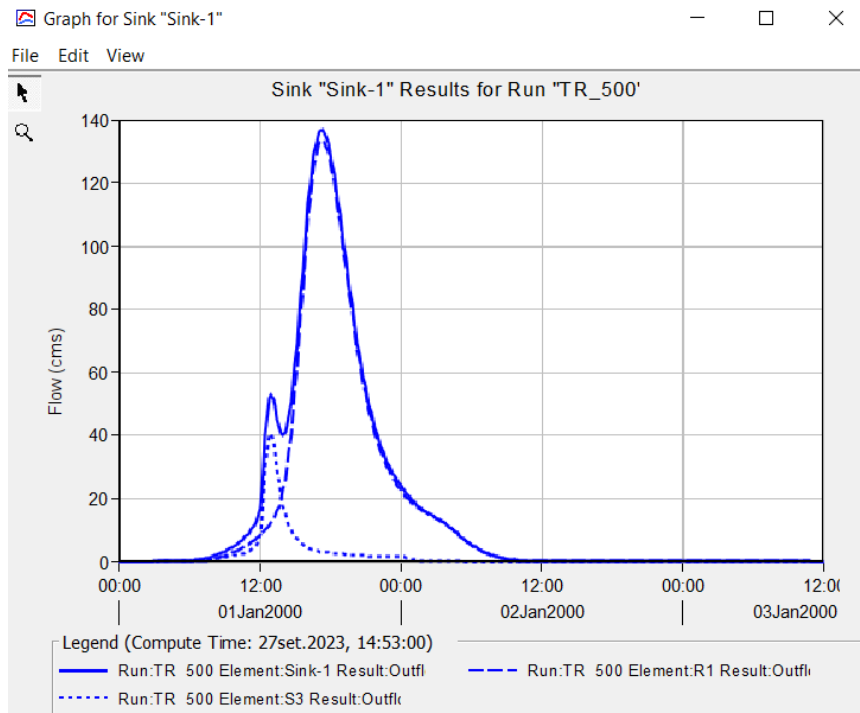
## Figura

*Hidrograma Asociado al Tr 200 años.*



## Figura 34

*Hidrograma Asociado al Tr 500 años.*

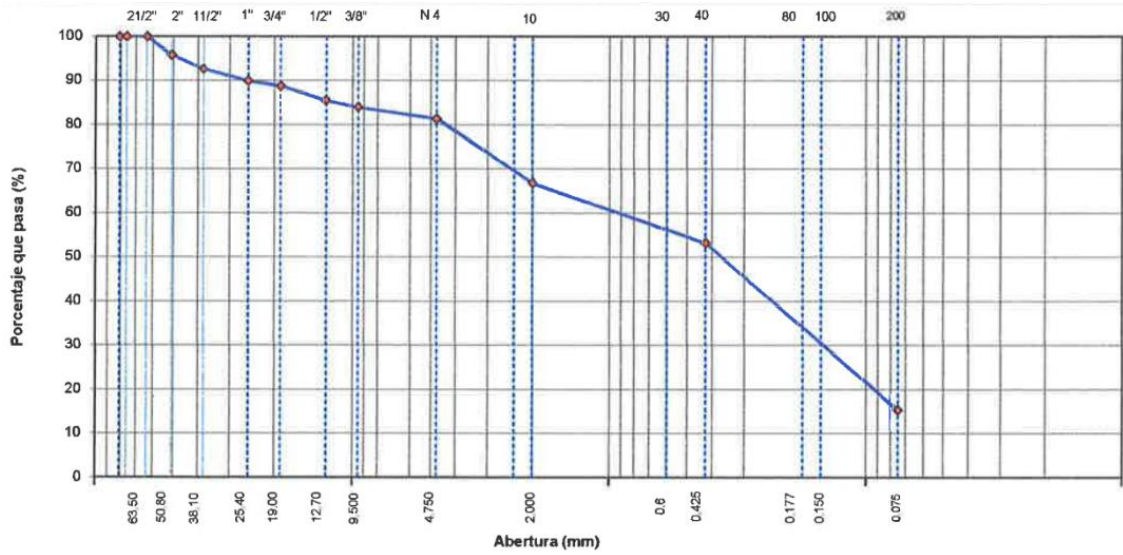


#### ***4.1.3. Caracterización granulométrica (Diámetros característicos) de los sedimentos que se acumulan en el puente Colpamayo***

El material encontrado bajo el puente está integrado por 15.4% de arcilla, sedimento fino menor a 0.002 mm, partículas tan pequeñas que muchas veces suelen mantenerse en suspensión en el agua del río dándole un color turbio; 20.1% de limos de 0.002 mm a 0.15 mm, los cuales se encuentra tanto en suspensión como en el lecho del río; 45.8% de arena de 0.15 mm a 4.75 mm, partículas más grandes y pesadas por lo que, se depositan en el fondo del río; 18.7% de gravas de 4.75 mm a 64 mm sedimentos más pesados que la arena que se encuentran en forma de bancos en el fondo del cauce. En promedio la muestra de suelo de la calicata M1, indican la presencia de material areno – limoso, cuyo diámetro de sus partículas es menor de 0.40 mm, material desprendido del proceso de erosión de la quebrada, que, para estos casos, sería una erosión leve de sus laderas y que incrementan los materiales de sedimentación en el cauce del puente Colpamayo. No obstante, en el cauce también se ha encontrado material grueso que, no ha sido recolectado como muestra, por su diámetro, pero que si se han medio en campo, siendo así, se ha encontrado cantos rodados, rocas grandes con diámetro promedio de 90 mm, y que están ubicados en los márgenes y en el centro del cauce.

**Figura 35**

*Curva Granulométrica de los Sedimentos de la Quebrada La Potrera alrededor del Puente Colpamayo*



Así mismo, es difícil proporcionar una estimación precisa del volumen de sedimentos acumulados en una quebrada en un período de tiempo determinado, para ello Cervantes-Córdova et al. (2016) ha brindado un acercamiento al cálculo detallando la estimación de sedimentos por fórmulas complejas, no obstante, para determinar el volumen de sedimentos en campo a partir de las observaciones y mediciones continuas la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO, 1997) detalla métodos de medición directa, como la “Trampa de arrastre de fondo” que consiste en realizar un pequeño hoyo lo suficientemente grande para colocar un depósito de metal en el cauce donde se suele depositar los sedimentos, este se deja por un lapso de tiempo controlado, en este caso por 24 horas, y luego se controla el volumen y/o peso que ha sido cubierto por sedimentos, obteniendo de esta forma el volumen aproximado de sedimentos que se sitúan, alrededor del puente Colpamayo en la quebrada La Potrera siendo aproximadamente de 0.001 a 0.007 m<sup>3</sup>/semanales.

**Tabla 25***Datos Recolectados en la Medición de Sedimentos*

| N° de muestreo | Área del círculo (m <sup>2</sup> ) | Altura (mm) | Altura (m) | Volumen retenido (m <sup>3</sup> ) | Tiempo (hr) | Sedimentos           |                           |
|----------------|------------------------------------|-------------|------------|------------------------------------|-------------|----------------------|---------------------------|
|                |                                    |             |            |                                    |             | (m <sup>3</sup> /hr) | (m <sup>3</sup> /semanal) |
| 1              | 0.031                              | 1.00        | 0.01       | 0.0003                             | 24          | 0.000013             | 0.002                     |
| 2              | 0.031                              | 2.00        | 0.02       | 0.0006                             | 24          | 0.000026             | 0.004                     |
| 3              | 0.031                              | 1.50        | 0.015      | 0.0005                             | 24          | 0.000020             | 0.003                     |
| 4              | 0.031                              | 2.50        | 0.025      | 0.0008                             | 24          | 0.000033             | 0.005                     |
| 5              | 0.031                              | 2.00        | 0.02       | 0.0006                             | 24          | 0.000026             | 0.004                     |
| 6              | 0.031                              | 0.50        | 0.005      | 0.0002                             | 24          | 0.000007             | 0.001                     |
| 7              | 0.031                              | 3.00        | 0.03       | 0.0009                             | 24          | 0.000039             | 0.007                     |
| Promedio       |                                    |             |            | 0.004                              |             |                      | 0.004                     |

Nota: Se utilizó un balde de 4 lts de 20 cm de diámetro y 18 cm de alto para simular el ensayo de “Trampa de arrastre de fondo” de la FAO (1997), para ello se excavó en el lecho, y se colocó el balde al nivel del fondo del cauce.

#### **4.1.4. Determinación de la socavación por medio del modelo hidráulico**

Para estimar la socavación en el puente Colpamayo ubicado sobre la quebrada La Potrera primero se ha modelado hidráulicamente el cauce. La modelización hidráulica de aguas claras se realizó usando el módulo hidrodinámico Iber 3.2.2, tal como, se describe:

##### **4.1.4.1. Escenario a Tr 50 años**

Los resultados derivados conciernen a Tr de 50 años, donde la quebrada La Potrera a la altura del Puente Colpamayo alcanza tirantes máximos de 2.31 m, siendo controlado parcialmente por el galibo del puente por lo que, la inundación que se presenta en esta sección del cauce no es notoria.

**Figura 36**

*Mapa de Tirantes, TR 50, Aguas claras*



**Figura 37**

*Mapa de Velocidades, TR 50 Aguas claras*





#### 4.1.4.2. Escenario a Tr 100 años

En la Figura 38 se detalla que la inundación se produce antes del puente en la margen izquierda, además en la sección del puente se alcanza tirantes máximos de 2.40 m.

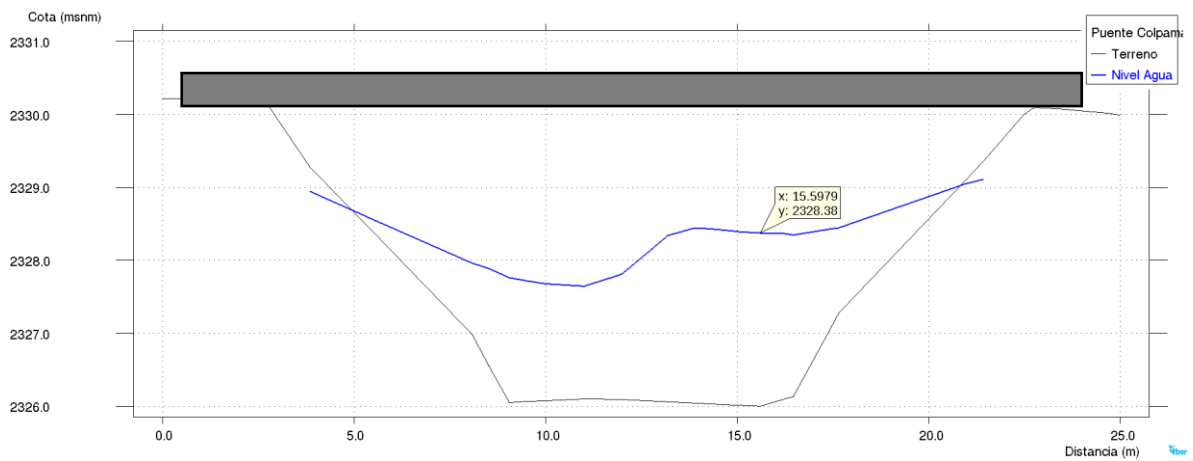
**Figura 38.** Tirantes máximos, TR 100 años – Aguas claras



En la Figura 39 se muestra el nivel de agua para Tr 100 años, en el puente de la quebrada La Potrera.

**Figura 39**

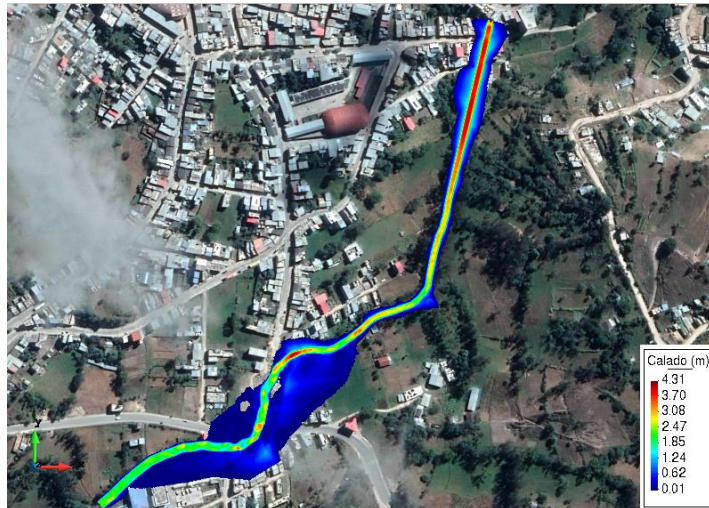
*Sección Transversal – Puente de la quebrada La Potrera*



#### 4.1.4.3. Escenario Tr 500 años

En la Figura 40 se detalla que, para Tr 500 años, se obtiene tirante máximo de 3.10 m en el lecho del río.

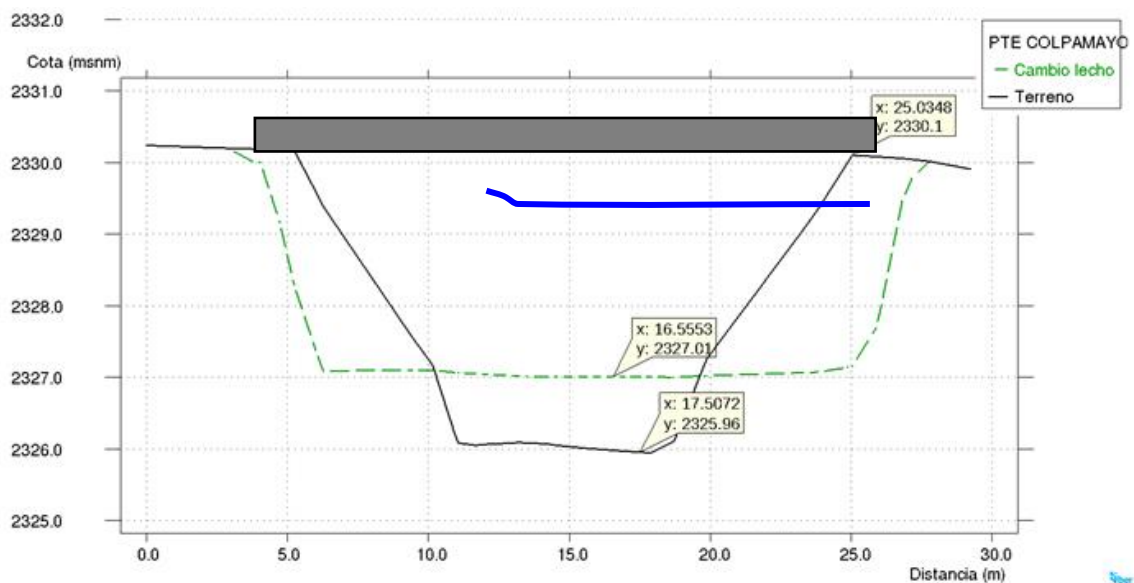
**Figura 40** Tirantes máximos, TR 500 años – Aguas claras



#### 4.1.4.4. Profundidad de socavación

La modelización hidráulica de transporte de sedimentos se realizó usando el módulo de transporte de sedimentos en Iber 3.2.2. En el cauce existe agradación de 1.05 m y en los estribos existe erosión de hasta 5 m y podría generar colapso del puente.

**Figura 41** Cambio morfológico



La agradación de un río se refiere al proceso en el cual el cauce del río se llena o eleva con sedimentos transportados por el agua. Esto ocurre cuando la capacidad de transporte de sedimentos del río es menor que la cantidad de sedimentos que está siendo transportada. Cuando se habla de una agradación de 1.05 m en el cauce de la quebrada La Potrera significa que la elevación del lecho del río ha aumentado en 1.05 m debido a la acumulación de sedimentos. Esto puede tener un impacto significativo en el flujo del agua, ya que puede provocar desbordamientos y cambios en el curso de la quebrada. Además, la agradación también puede afectar negativamente a la infraestructura existente, como el puente Colpamayo.

Así mismo, tener una erosión lateral del borde del cauce de la quebrada La Potrera de 5 m donde se ubican los estribos del puente Colpamayo significa que existe un desgaste o desplazamiento del suelo en los costados del cauce del río justo en los puntos donde se apoyan los estribos del puente, lo que es causado por el flujo del agua que golpea y arrastra el suelo, provocando un desgaste y una posible deformación o debilitamiento de los estribos del puente, por tanto, es importante tomar medidas para remediar esta situación y evitar posibles daños estructurales en el puente Colpamayo.

**Tabla 26**

*Profundidad de Socavación en el Puente Colpamayo, Quebrada La Potrera*

| Periodo retorno | Q <sub>máx</sub> (m <sup>3</sup> /s) | Socavación          |                |
|-----------------|--------------------------------------|---------------------|----------------|
|                 |                                      | Erosión lateral (m) | Agradación (m) |
| <b>50</b>       | 104.1                                | 3.50                | 0.83           |
| <b>100</b>      | 114.4                                | 4.10                | 0.88           |
| <b>200</b>      | 124.0                                | 4.49                | 0.95           |
| <b>500</b>      | 136.7                                | 5.00                | 1.05           |

Finalmente, se ha identificado que a medida que aumenta el Tr y caudal de una quebrada, se intensifica la energía del flujo de agua y se incrementa la capacidad de transporte de sedimentos. Esto aumenta el potencial de socavación en el fondo y las paredes de la quebrada, así como la deposición de sedimentos en zonas más bajas. Estos fenómenos pueden tener consecuencias a nivel geomorfológico, hidrológico y ecológico, afectando la estabilidad y la calidad del agua en la quebrada e infraestructuras hidráulicas que se encuentren en el cauce, como en el caso del estudio, el puente Colpamayo.

#### ***4.1.5. Descripción de las alternativas para evitar la socavación en el puente Colpamayo***

Existen diversas alternativas para evitar la socavación en el puente Colpamayo debido a la erosión lateral y agradación en el cauce de la quebrada La Potrera. El uso de traviesas, enrocado de protección, muros de contención, reforestación, diques de contención, cimentación profunda, geotextiles, construcción de terrazas y banales, y geomallas de alta resistencia son opciones efectivas que pueden ser implementadas dependiendo de las características y necesidades del sitio. Cada una de estas alternativas tiene sus ventajas y desventajas, por lo que es importante realizar un estudio y análisis detallado antes de decidir cuál es la más adecuada para proteger el puente.

En el caso del estudio se han tomado en cuenta dos alternativas para evitar la socavación en el puente Colpamayo entre ellas (1) la construcción de traviesas y (2) la construcción de enrocado, por ser propuestas que pueden ser planteadas con mayor facilidad en el emplazamiento del estudio.

#### 4.1.5.1. Traviesas para evitar la socavación

Una de las alternativas para evitar la socavación en el puente Colpamayo debido a la erosión lateral y agradación en el cauce de la quebrada La Potrera es la instalación de traviesas. Estas consisten en estructuras de madera, acero o concreto armado colocadas estratégicamente en la orilla del río para proteger el terreno cercano al puente. Estas traviesas actúan como barreras que desvían el flujo del agua lejos de la base del puente, evitando así la erosión del suelo y la socavación de los cimientos. Además, las traviesas también pueden ser utilizadas para estabilizar el cauce del río y prevenir la agradación del lecho.

Siendo así, debido a la fuerte agradación que presenta el cauce se propone la construcción de estructuras denominadas “Traviesas” sobre el lecho a lo ancho del cauce (de orilla a orilla), de baja altura, incluso sin sobresalir del lecho debido a que su función es fijar el cauce en una cota a lo largo de la sección que protegen, es decir la solución consiste en impedir la profundización del cauce (Figura 42).

**Figura 42** Estructuras Tipo Traviesas



Nota: Laboratorio Nacional de Hidráulica – UNI.

Las traviesas se instalan enterradas en el suelo, de manera que un extremo queda anclado firmemente en el lecho de la quebrada, mientras que el otro extremo se eleva por encima del nivel del agua. Esto crea una barrera física que ayuda a desviar el flujo del agua y minimiza la erosión. La altura y la separación de las traviesas dependen del grado de protección necesario y del caudal de la quebrada. Por lo general, se colocan a intervalos regulares a lo largo de la quebrada, formando una serie de pilares que funcionan como diques naturales. Estos pilares desvían el agua y frenan su velocidad, lo que reduce la posibilidad de socavación. Existen diferentes fórmulas y criterios que se utilizan para determinar la altura y separación entre traviesas en una quebrada. Algunos de los más comunes son: el criterio de velocidad de flujo por la ecuación de Manning, el criterio de la capacidad de transporte por la fórmula Shields, el criterio de la estabilidad del suelo que se basa en la estabilidad del suelo circundante entre otros.

**a. Altura de la traviesa por la ecuación de Manning**

La ecuación de Manning se utiliza para calcular la altura y separación de las traviesas en una quebrada, considerando el flujo de agua y las características geométricas del canal. La ecuación es la siguiente:

$$Q = \frac{1}{n} \times A \times R^{2/3} \times S^{1/2} \quad (43)$$

Donde: Q Caudal (m<sup>3</sup>/s), n Coeficiente de rugosidad del canal, A Área de la sección transversal del canal (m<sup>2</sup>), R Radio hidráulico (m), S Pendiente del canal (m/m).

El caudal en la quebrada es de 136.7 m<sup>3</sup>/s, la rugosidad en río es 0.025, y la pendiente del cauce es de 0.09 m/m.

Se quiere calcular la altura y separación de las traviesas; para ello, primero, se determina el área de la sección transversal del río. Para ello, se debe conocer la

geometría de la quebrada. Para objeto del estudio, se ha considerado una forma rectangular con una base de 11 m y una altura desconocida (h).

$$A = Base \times Altura = 11 \times h \quad (44)$$

Luego, se calcula el radio hidráulico, que está dado por:

$$R = A/P \quad (45)$$

Donde P es el perímetro de la sección transversal del cauce. Para el caso de un canal rectangular, el perímetro es igual a:

$$P = 2 \times base + 2 \times altura = 2 \times 11 + 2 \times h = 22 + 2h \quad (46)$$

Por lo tanto:

$$R = A/(22 + 2h) \quad (47)$$

$$R = 11h/(22 + 2h) \quad (48)$$

Sustituyendo los valores conocidos en la ecuación de Manning:

$$136.7 = \frac{1}{0.025} \times 11h \times \left(\frac{11h}{22+2h}\right)^{2/3} \times 0.09^{1/2} \quad (49)$$

$$136.7 = 40 \times 11h \times \left(\frac{11h}{22+2h}\right)^{2/3} \times 0.30 \quad (50)$$

$$136.7 = 132 \times h \times \left(\frac{11h}{22+2h}\right)^{2/3} \quad (51)$$

$$1.035 = h \times \left(\frac{11h}{22+2h}\right)^{2/3} \quad (52)$$

$$h = 1.48 \text{ m} \quad (53)$$

Resolviendo la ecuación resultante, se ha determinado que la altura aproximada de las traviesas sería de h=1.50 m.

### **b. Altura de la traviesa por la fórmula de Shields**

La fórmula de Shields se utiliza para calcular la altura mínima de una traviesa en una quebrada, con el objetivo de evitar la sedimentación. La fórmula es la siguiente:

$$\tau = \rho g h s D \quad (54)$$

Donde:  $\tau$  Esfuerzo de corte crítico (N/m<sup>2</sup>),  $\rho$  Densidad del agua (kg/m<sup>3</sup>),  $g$  gravedad (m/s<sup>2</sup>),  $h_s$  Montículo del sedimento (m),  $D$  Diámetro de la partícula sedimentaria (m).

La quebrada se considera con una densidad de agua de 1000 kg/m<sup>3</sup>, una altura de sedimentación de 1.5 m y un diámetro de partícula de 0.004 m.

$$\tau = 1000 \times 9.8 \times 1.5 \times 0.004 \quad (55)$$

$$\tau = 58.80 \text{ N/m}^2 \quad (56)$$

El esfuerzo de corte crítico obtenido es de 58.80 N/m<sup>2</sup>.

La altura mínima de la traviesa se determina tomando en cuenta que el esfuerzo de arrastre del flujo de agua debe ser mayor o igual al esfuerzo de corte crítico.

Esto se expresa mediante la siguiente ecuación:

$$\tau = \rho g h D / Dv \quad (57)$$

Donde:  $\tau$  Esfuerzo de arrastre del flujo (N/m<sup>2</sup>),  $\rho$  Densidad del agua (kg/m<sup>3</sup>),  $g$  gravedad (m/s<sup>2</sup>),  $h$  Altura del flujo de agua (m),  $D$  Diámetro de la partícula sedimentaria (m),  $v$  Velocidad del flujo de agua (m/s).

Se determina la altura mínima de la traviesa para una velocidad de flujo de agua de 5 m/s. Sustituyendo los valores en la fórmula:

$$58.80 = 1000 \times 9.8 \times h \times 0.04/5 \quad (58)$$

$$h = 0.75 \text{ m} \quad (59)$$

La altura mínima de la traviesa será mayor a 0.75 m.

### c. Separación de la traviesa por la fórmula de Shields

El cálculo de la separación de una traviesa en una quebrada también se puede realizar utilizando la fórmula de Shields. La fórmula para calcular la separación mínima es la siguiente:

$$s = 0.25 \times (D/h_s)^{1/3} \times (\tau / \rho g)^{1/6} \quad (60)$$



Donde:  $s$  Separación mínima de la traviesa (m),  $D$  Diámetro de la partícula sedimentaria de mayor tamaño (mm) siendo las grabas de 2 ½”,  $h_s$  = Altura de la sedimentación (m),  $\tau$  Esfuerzo de corte crítico (N/m<sup>2</sup>),  $\rho$  Densidad del agua (kg/m<sup>3</sup>),  $g$  gravedad (m/s<sup>2</sup>).

Sustituyendo los valores en la fórmula, tenemos:

$$s = 0.25 \times (63.5/1.5)^{1/3} \times (58.80 / 1000 \times 9.8)^{1/6} \quad (61)$$

$$s = 0.371 \text{ m} \quad (62)$$

$$s = 40 \text{ cm} \quad (63)$$

Por lo tanto, la separación mínima de la traviesa en esta quebrada sería de aproximadamente 40 cm.

#### **d. Ancho de la traviesa y diámetro de piedra de relleno**

Para calcular el ancho de la traviesa, debemos tener en cuenta el tamaño de la piedra que se utilizará como relleno.

Para calcular el diámetro de la piedra que se utilizará como relleno dentro de una traviesa, podemos utilizar la fórmula de Darcy-Weisbach. Esta fórmula relaciona la velocidad del agua con la pérdida de energía debido a la presencia de la piedra.

La fórmula de Darcy-Weisbach es la siguiente:

$$\Delta h = f \times \left(\frac{L}{A}\right) \times \left(\frac{v^2}{2g}\right) \quad (64)$$

Donde:  $\Delta h$  Pérdida de energía debido a la presencia de la piedra (m),  $f$  Factor de fricción (adimensional),  $L$  Longitud de la traviesa (m),  $A$  Ancho de la traviesa (m),  $v$  Velocidad del agua (m/s),  $g$  Aceleración gravitacional (m/s<sup>2</sup>).

De los cálculos anteriores se tienen los siguientes valores:

- Pérdida de energía ( $\Delta h$ ) = 0.25 m
- Longitud de la traviesa ( $L$ ) = 11 m
- Velocidad del agua ( $v$ ) = 5 m/s

- Aceleración gravitacional ( $g$ ) = 9.8 m/s<sup>2</sup>

Además, se necesita el factor de fricción ( $f$ ) para el flujo a través de la piedra. El factor de fricción depende del tipo de piedra y puede ser determinado experimentalmente o utilizando tablas y gráficos específicos. En el caso del estudio se considerará un factor de fricción ( $f$ ) de 0.02.

$$A = \sqrt{\frac{f \times L \times v^2}{2 \times g \times \Delta h}} \quad (65)$$

$$A = \sqrt{\frac{0.02 \times 11 \times 5^2}{2 \times 9.8 \times 0.25}} \quad (66)$$

$$A = 1.10 \text{ m} \quad (67)$$

Por lo tanto, el ancho de la traviesa sería de aproximadamente 1.10 m.

#### **e. Dimensiones de las traviesas**

Es importante tener en cuenta que en la práctica se deben considerar otros factores y realizar un análisis más completo para determinar las dimensiones adecuadas de las traviesas en un tramo específico de la quebrada.

**Tabla 27**

*Dimensiones de la Traviesa para la Quebrada La Potrera, en el Puente*

*Colpamayo*

| <b>Dimensiones de la traviesa (m)</b> |       |
|---------------------------------------|-------|
| Longitud                              | 11.00 |
| Ancho                                 | 1.10  |
| Altura                                | 1.50  |
| Separación mínima                     | 0.40  |

#### **f. Procedimiento para construcción de traviesas**

En la práctica se deben considerar múltiples factores para la construcción en base a las especificaciones locales y las normativas aplicables. Los pasos clave son:

- Selección de materiales: se deben utilizar materiales adecuados y de calidad, como madera tratada, concreto o acero, dependiendo de las necesidades y requisitos del proyecto.
- Diseño estructural: se debe realizar un diseño estructural detallado que incluya cálculos de carga, resistencia y estabilidad para determinar las dimensiones adecuadas de las traviesas.
- Preparación del terreno: se debe limpiar y nivelar el terreno donde se instalarán las traviesas, eliminando cualquier obstáculo o material no deseado.
- Instalación de cimientos: se debe construir una base sólida y plana que servirá como cimiento para las traviesas. Esto puede incluir la excavación de zanjas o la construcción de pilotes o vigas de apoyo.
- Colocación de las traviesas: una vez que se ha preparado el cimiento, se deben colocar las traviesas de manera uniforme y alineadas según el diseño planificado.
- Fijación de las traviesas: se deben utilizar métodos de fijación adecuados para asegurar que las traviesas estén firmemente ancladas al cimiento y no se muevan.
- Relleno y compactación: se debe rellenar el espacio entre las traviesas con material adecuado, como piedra, tierra o concreto, y luego compactar para garantizar la estabilidad y el nivel adecuado.
- Mantenimiento regular: una vez que las traviesas están instaladas, es importante realizar un mantenimiento regular para asegurarse de que estén en buen estado y realizar reparaciones o reemplazos según sea necesario.

#### 4.1.5.2. Enrocado para evitar la socavación

Otra opción efectiva es el enrocado de protección. Consiste en la colocación de grandes rocas o piedras en las orillas del río, formando una barrera resistente al flujo del agua. Estas rocas actúan como un escudo protector que disipa la energía del agua y evita su impacto directo sobre el terreno circundante. De esta manera, se reduce el riesgo de erosión lateral y socavación debajo del puente. Además, el enrocado también puede ayudar a regular el caudal y la velocidad del agua, previniendo la agradación en el lecho de la quebrada.

**Figura 43**

*Enrocado que se ha Construido Aledaño al Puente Colpamayo*



##### **a. Distancia del enrocado**

Para determinar la distancia del enrocado se puede utilizar el método de Simons y Henderson, el método de Pettis, el método de Altunin – Manning o el método

de Blench, obteniendo anchos de 31.02, 47.49, 39.37, 67.06, 70 y 50.99 m, por lo que, finalmente se elige un ancho o distancia de enrocado de 50 m.

$$B = K1 \times Q^{1/2} = 31.02 \text{ m} \quad (68)$$

Donde, por el método de Simons y Henderson, K1 es un factor adimensional que se refiere al suelo encontrado en el lugar, siendo 3 para el caso, mientras que Q es el caudal mismo que corresponde a 114.4 m<sup>3</sup>/s para un Tr de 100 años.

$$B = 4.4 \times Q^{1/2} = 47.49 \text{ m} \quad (69)$$

Donde, por el método de Pettis, para Q igual a 114.4 m<sup>3</sup>/s para un Tr de 100 años.

$$B = Q^{1/2} / S^{1/2} \left( nK^{5/3} \right)^{\frac{3}{3+5m}} = 39.37 \text{ m} \quad (70)$$

Donde, por el método de Altunin – Manning, para Q igual a 114.4 m<sup>3</sup>/s para un Tr de 100 años, n rugosidad de Manning igual a 0.035, K el coeficiente del material del cauce que oscila de 8 a 12, y en este caso se a tomado 12, y m es otro coeficiente de acuerdo al tipo de río siendo igual a 1.

$$B = 1.81(Q \times Fb/Fs)^{1/2} = 67.06 \text{ m} \quad (71)$$

Donde, por el método de Blench, para Q igual a 114.4 m<sup>3</sup>/s para un Tr de 100 años, Fb es el factor de fondo igual a 1.20, y Fs el factor de orilla igual a 0.10 para materiales sueltos.

#### **b. Altura del enrocado**

Para determinar la altura del enrocado se puede utilizar el método de Manning – strickler (ecuación 72), no obstante, en el caso del estudio se ha definido en base a la altura del nivel del agua para un Tr de 100 años, siendo así se ha propuesto una altura de enrocado de 3 m.

$$t = (Q / (Ks \times B \times S^{1/2}))^{3/5} \quad (72)$$

Donde,  $t$  es el tirante,  $Q$  el caudal,  $B$  el ancho o distancia del enrocado,  $S$  la pendiente del tramo de estudio,  $K_s$  es un coeficiente adimensional que se elige en base a las características del cauce.

$$H_M = y + BL \quad (73)$$

Donde,  $H_M$  es la altura del muro,  $y$  es el tirante de diseño también denominado  $t$ ,  $BL$  es el borde libre.

### c. Profundidad de uña

La profundidad de uña se define en base a la profundidad de socavación utilizando como formula de estimación la multiplicación de este por un factor de seguridad que en el caso del estudio es 1.50, por tanto, la uña será de 1.60 m.

$$P_{uña} = FS \times H = 1.575 \text{ m} \quad (74)$$

Donde,  $FS$  factor de seguridad igual a 1.5,  $H_S$  es la profundidad de socavación.

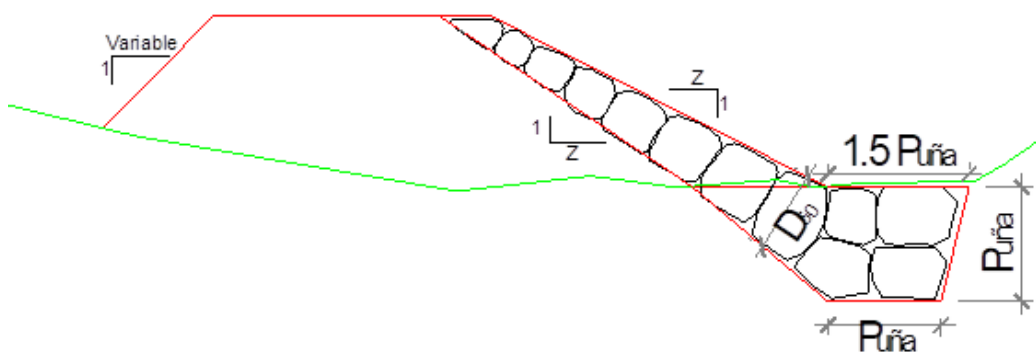
En el caso del estudio no se identifico socavación de la profundidad, sino socavación en erosión de hasta 5 m, pero socavación de fondo de acuerdo a la Figura 41, solamente representa 1.05 m.

$$H = Ts - t \quad (75)$$

$$H = 2327.01 - 2325.96 = 1.05 \text{ m} \quad (76)$$

Donde,  $T_s$  es la cota del terreno socavado,  $t$  la cota del terreno sin socavar y  $H$  la profundidad de socavación.

**Figura 44** Diagrama del Pie de Talud de un Enrocado



#### d. Diámetro de roca

Para el diámetro de roca se utiliza la fórmula de Maynard, determinado un diámetro D100 de 0.80 m y D50 de 0.39 m.

$$F = C2 \times V / (gy)^{0.5} \quad (77)$$

$$d50 = y \times C1 \times F^3 \quad (78)$$

Donde, C1 coeficiente adimensional, C2 coeficiente por ubicación de roca, “y” altura hidráulica, V velocidad en el centro del cauce, g gravedad.

#### e. Dimensiones del enrocado

Es importante tener en cuenta que en la práctica se deben considerar otros factores y realizar un análisis más completo para determinar las dimensiones adecuadas del enrocado en un tramo específico de la quebrada.

**Tabla 28**

*Dimensiones del Enrocado para la Quebrada La Potrera, en el Puente Colpamayo*

| Dimensiones del enrocado (m) |       |
|------------------------------|-------|
| Longitud                     | 50.00 |
| Profundidad de Uña           | 1.60  |
| Altura                       | 3.00  |
| Diámetro de roca             |       |
| Principal                    | 0.80  |
| Secundaria                   | 0.39  |

#### f. Procedimiento para construcción de enrocado

El procedimiento de construcción de enrocado de protección del cauce de un río incluye los siguientes pasos:

- Evaluación de las características del cauce del río: Antes de comenzar la construcción del enrocado, se deben evaluar las características del cauce del río, como el caudal, la velocidad del agua, el tipo de sedimentos y la pendiente

del terreno. Esto permitirá determinar el tipo de enrocado requerido y la resistencia necesaria.

- Diseño del enrocado: En base a la evaluación de las características del cauce, se debe realizar un diseño del enrocado que cumpla con los requisitos de protección y estabilidad. Esto incluye determinar el tamaño y tipo de las piedras a utilizar, así como la cantidad y distribución adecuada.
- Preparación del terreno: Antes de comenzar la construcción del enrocado, se debe limpiar y nivelar el terreno en el área donde se realizará el enrocado. Esto implica remover vegetación, sedimentos y otros obstáculos para asegurar una base firme y estable.
- Colocación de la base de piedra: Se comienza colocando una capa de piedra de tamaño grande en la base del enrocado. Estas piedras, conocidas como piedras de escollera, actúan como base sólida y estable para el enrocado principal.
- Colocación del enrocado principal: A continuación, se colocan las piedras más pequeñas que formarán el enrocado principal. Estas piedras deben ser colocadas de manera ordenada y compacta, de manera que haya pocos espacios entre ellas y se evite el desplazamiento.
- Ajuste y compactación: Durante la colocación del enrocado, se debe asegurar que las piedras estén acomodadas de forma adecuada y que no haya huecos entre ellas. Además, se debe realizar una compactación del enrocado para aumentar su resistencia y estabilidad.
- Control de erosión: Por último, se pueden implementar medidas adicionales de control de erosión, como la construcción de traviesas en las zonas expuestas al agua para evitar la erosión del suelo.



#### 4.2. Contrastación de hipótesis

A partir de los datos de la Tabla 26 se ha hecho el análisis estadístico en el programa Minitab 22, analizando inicialmente la normalidad de estos, llegando a verificar que, siguen una tendencia normal (Figura 47), por lo que se han aplicado pruebas paramétricas como la correlación de Pearson. La correlación de Pearson (Tabla 29) entre el Tr y el caudal máximo es 0.699 por tanto tienen una relación positiva directa y alta, siendo en ambos casos parámetros hidrológicos que se correlacionan entre sí; la relación entre socavación-erosión lateral y periodo de retorno es 0.820, correlación alta directa y positiva, pero la relación entre la socavación y el periodo de retorno es 0.981 muy alta; así mismo, la relación entre la sedimentación-gradación y el periodo de retorno es 0.984, correlación muy alta directa y positiva, mientras que, la relación entre la sedimentación y el caudal máximo es 0.808, correlación positiva, directa y muy alta; además, la correlación entre sedimentación y socavación es 0.906, directa, muy alta y positiva (Figura 45). Por tanto, considerando que, el valor p es 0.000 para todos los casos, se rechaza la hipótesis nula ( $H_0$ ) y se acepta la hipótesis alternativa ( $H_1$ ), al ser el valor p menor que 0.05 (nivel de significancia) para un nivel de confianza del 95%. Siendo así, se concluye que,  $H_1$ : Los parámetros hidrológicos y geomorfológicos influyen en la socavación del puente Colpamayo, Quebrada La Potrera – Chota, siendo el principal parámetro hidrológico que, influye en la socavación-erosión lateral del puente el caudal máximo de avenida frente a una precipitación extrema, tal como, se distingue en la Figura 46.

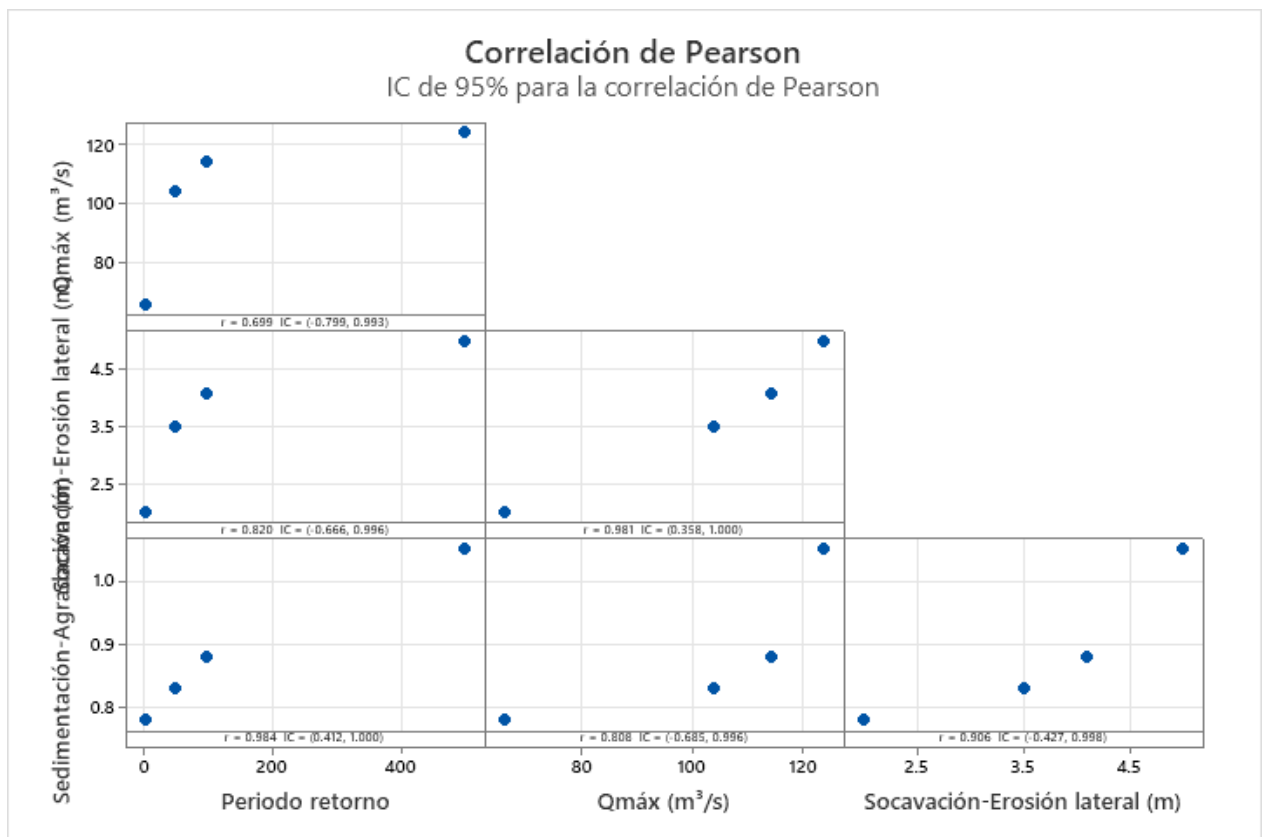
**Tabla 29**

*Correlaciones de Pearson de los Parámetros Hidrológicos y Geomorfológicos con la Socavación y Sedimentación en la Quebrada La Potrera, Puente Colpamayo*

| <b>Coefficientes de correlación de Pearson</b> | <b>Periodo retorno (Tr) años</b> | <b>Q<sub>máx</sub> (m<sup>3</sup>/s)</b> | <b>Socavación-erosión lateral (m)</b> |
|--|----------------------------------|--|---------------------------------------|
| Q <sub>máx</sub> (m <sup>3</sup> /s)           | 0.699                            |  |                                       |
| Socavación-Erosión lateral (m)                 | 0.820                            | 0.981                                    |                                       |
| Sedimentación-Agradación (m)                   | 0.984                            | 0.808                                    | 0.906                                 |

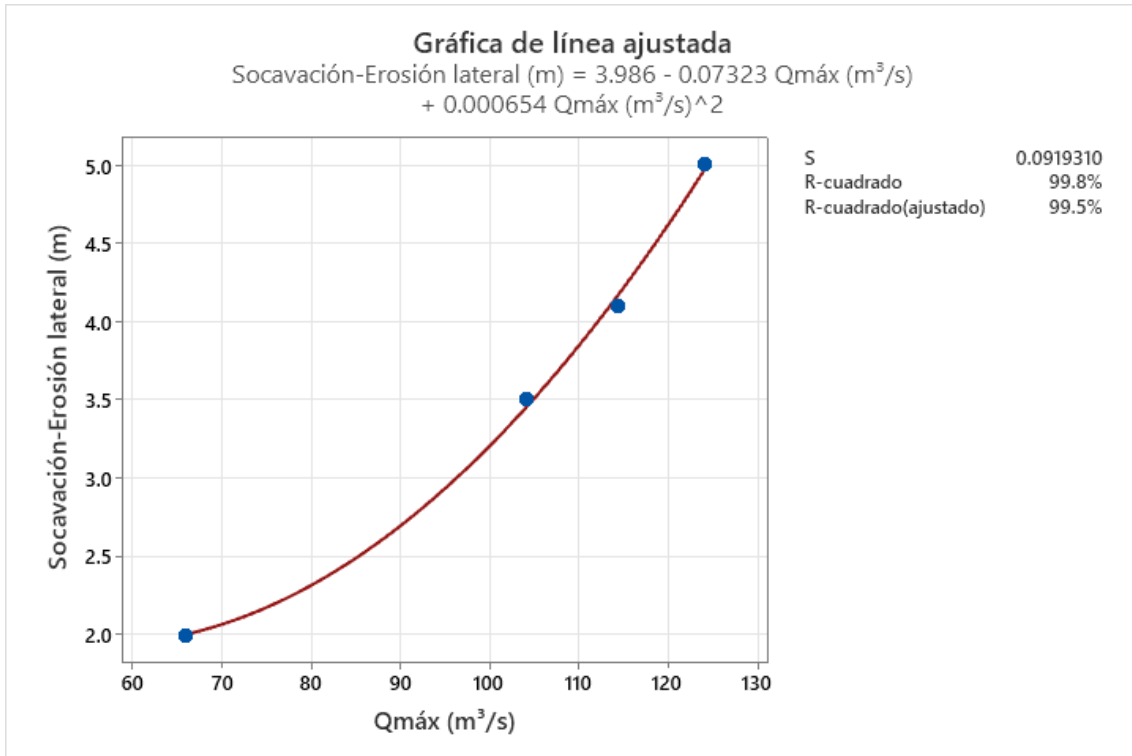
**Figura 45**

*Matriz de Correlación de Pearson entre los Parámetros Hidrológicos y Geomorfológicos con la Socavación y Sedimentación en la Quebrada La Potrera, Puente Colpamayo*



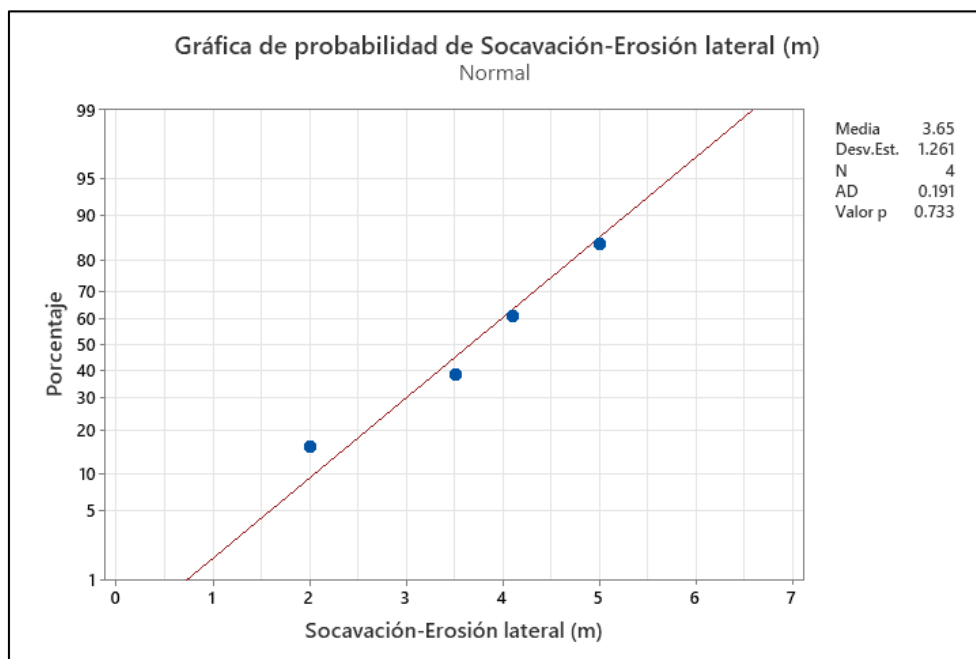
**Figura 46**

*Modelo de Regresión entre Socavación-Erosión y el Caudal Máximo de la Quebrada La Potrera en el Puente Colpamayo*



**Figura 47**

*Prueba de Normalidad para Socavación-Erosión Lateral*



### 4.3. **Discusión de resultados**

La quebrada La Potrea presenta un área de 30.9 km<sup>2</sup> y la longitud del cauce principal es de 10.05 km, siendo relativamente mayores que el área determinada en el proyecto de construcción del Puente Colpamayo (23.04 km<sup>2</sup>), esto debido a que, ambas cuencas se delimitaron en programas distintos, mientras que en el Expediente Técnico (2018) utilizaron ArcGIS 10.5, y en este estudio se ha usado HEC HMS, mismo que, admite la delimitación automática de la quebrada por subdivisiones (S1, S2 y S3), por tanto, tiene mayor exactitud en la extensión de la superficie (Castro y Maidment, 2020), siendo así, esta variabilidad en los parámetros geomorfológicos genera cambios en los parámetros hidrológicos, al modificar principalmente el área de la quebrada, tiempo de concentración y altitud media (Mahala, 2020), influyendo así también en la socavación-erosión y sedimentación-gradación estimada en la quebrada La Potrera para el Puente Colpamayo. El tiempo de concentración en la quebrada La Potrera es de 2.7 h, 3.7 h y 1.6 h para las subdivisiones S1, S2 y S3, respectivamente, siendo en promedio (2.67 h) mayor al tiempo de concentración determinado en el expediente técnico (2018) de 60 minutos, no obstante, un tiempo de concentración mayor implica que el agua tiene más oportunidades de infiltrarse en el suelo o ser retenida por obstáculos antes de llegar al punto de salida de la quebrada. Esto puede tener varios efectos, como la reducción del volumen de agua que finalmente sale de la cuenca (Liu et al., 2023), la acumulación de sedimentos o la mayor probabilidad de inundaciones en caso de lluvias intensas (Alam et al., 2021).

Los caudales obtenidos de la modelización hidrológica de la quebrada La Potrera en el puente Colpamayo fueron 114.4 m<sup>3</sup>/s para Tr 100 y 136.7 m<sup>3</sup>/s para

Tr 500 años, por tanto, los caudales estimados en la investigación son superiores a los calculados en el Expediente Técnico (2018), no obstante, esta diferencia no es significativa, lo que, significa que, hidrológicamente el cálculo de tirantes en la quebrada La Potrera fue realizado pertinentemente en el Expediente Técnico (2018) aun con las diferencias en el cálculo, programas y metodologías empleadas, pero el déficit en el estudio data en la falta de un modelamiento hidráulico que, permita calcular la socavación-erosión y sedimentación de la quebrada, lo que puede traer severas consecuencias según Trueheart et al. (2020), por lo que en la actualidad ante precipitaciones extremas el puente Colpamayo se ve afectado por erosión y sedimentación debido a la ausencia de obras de protección hidráulica, no obstante, esto se puede corregir por medio del planteamiento de propuestas técnicas.

Los sedimentos de un río son partículas de diferentes tamaños que son trasladados por el flujo del agua (Waldschläger y Schüttrumpf, 2019). Estos sedimentos pueden ser arena, arcilla, limo, grava, rocas, entre otros. En la quebrada la Potrera – Puente Colpamayo el diámetro medio (D50) usado en el modelo de transporte de sedimentos es de 0.40 mm, el tipo de suelo es arena limosa, tal como en el análisis de Vásquez y Llique (2017) donde los sedimentos del lecho estaban formados por arenas y gravas, en cambio, Rubio (2019) determinó que los sedimentos del río Cabaña estaban conformados por arcillas de alta plasticidad con mezcla de arena. El análisis de los sedimentos es importante, porque actúan como herramienta erosiva, a medida que el agua fluye, los sedimentos impactan y golpean el fondo y las paredes de la quebrada, causando la remoción de más material y la erosión del lecho (Fan et al., 2023; Yuan et al., 2021).

El modelamiento hidráulico de la quebrada La Potrera en el Puente Colpamayo se calibró para Tr 3.3 años, siendo el fenómeno más recurrente en el área según la huella hídrica, no obstante, se ha estimado el tirante máximo, altura de galibo, sedimentación y socavación para Tr de 50, 100 y 500 años. El tirante máximo en un puente se refiere a la distancia vertical entre la estructura del puente y el nivel del agua o suelo en el punto más profundo del cuerpo de agua que cruza (Wahyudi, 2022), mientras que, el galibo, por otro lado, se refiere a la distancia vertical entre la parte más baja de la estructura del puente, como suelo o piso del puente, y el nivel más alto que puede tener un objeto que pase por debajo del puente sin chocar con la estructura. (Montenegro et al., 2021) El tirante máximo obtenido en el puente Colpamayo para Tr 100 años es 2.40 m y el galibo en el puente es de 1.80 m, por tanto, cumple con el requisito dado por el MTC (2018) de que, un puente tenga como mínimo una altura de galibo de 1.50 m, siendo así, hidrológicamente el puente cumple con su finalidad de paso del cauce de la quebrada La Potrera, pero hidrológicamente presenta agradación-sedimentación y erosión lateral-socavación local. El cauce presenta agradación de más de 1 m de espesor, mientras que los estribos presentan erosión lateral de hasta 5 m, siendo el más afectado el estribo derecho debido a la configuración en curva que presenta el lecho en planta, tal como, Rubio (2019) que determinó mayor socavación en los pilares 1 y 2 del puente del río Cabaña, Condori (2018) que estimó hasta 1.56 m de hondura de socavación en los puentes Central y Ramana de Putina, pero inferior al estimado por León (2016) quien estimó 2.80 m de socavación en el río Crisnejas de Cajamarca y Gerónimo (2019) quien determinó que la socavación para Tr de 137 años en el puente Sinsicap era 3.05 m. Así mismo, la erosión transversal en el Puente Colpamayo es menor que, la erosión transversal en el

puente Colpa Alta de 7.53 m analizado por Felipe-Matías (2016). En el expediente técnico (2018) se ha diseñado estructuralmente los estribos y cimentación del puente Colpamayo, no obstante, no se ha tomado en cuenta las consideraciones hidráulicas, por lo que presenta un ancho de talón desde el borde del río hacia el suelo lateral de tan solo 2.60 m, sin embargo, la erosión lateral puede llegar a ocupar una profundidad de hasta 5 m para Tr de 500 años, lo que, dejaría expuesta a la estructura significando así un problema de estabilidad para la estructura, en otras palabras podría fallar por cuestiones hidráulicas, si no se realizan obras de protección frente a socavación, erosión, sedimentación y agradación en la quebrada La Potrera.

Las estructuras propuestas para evitar la sedimentación en el cauce de la quebrada La Potrera en el puente Colpamayo son las traviesas que consisten en construcciones transversales sobre el cauce que ayude a fijar la cota del lecho, asimismo se debe construir defensas ribereñas que estabilicen el cauce, en cambio, Reyes y Reyes (2020) propusieron el mejoramiento del suelo de cimentación reduciendo la profundidad de socavación esperada en 40%. El mejoramiento del suelo de cimentación equivale al uso de traviesas debido a que, en ambos casos se está dando mayor resistencia al suelo que tiene contacto con el flujo hídrico, pero las traviesas actúan como estructuras de retención, desviando la fuerza del agua y reduciendo su velocidad; esto ayuda a prevenir la erosión del suelo en las orillas de la quebrada, evitando así la pérdida de tierra y la formación de surcos. Así mismo, Esparza (2019) propuso la colocación de un dique en el margen derecho del río Chicama, aguas abajo del puente Careaga, reduciendo no solo la erosión lateral, sino también evitando la inundación en el margen del río, esta es otra de las propuestas que se ha considerado pertinente en la presente investigación que, si

bien no ha sido desarrollada debería ser ejecutada por el ente gubernamental para la protección del puente Colpamayo considerando que, el principal problema es la erosión lateral del cauce. Además, de las propuestas ya mencionadas, Quispe (2019) también tuvo otra ingeniosa propuesta para la reducción de la socavación que, involucraba reducir el paso del agua por debajo del puente Marita en Ayacucho derivándolo por una alcantarilla, sin embargo, esta propuesta no es viable en el contexto local porque considerando los registros pluviométricos anteriores (Vásquez, 2021) es posible que una alcantarilla no tenga la capacidad suficiente para manejar todo el flujo de agua adicional que se deriva del puente; esto podría llevar a un desbordamiento de agua y a inundaciones en áreas cercanas; así mismo, si se desvía una gran cantidad de agua hacia una alcantarilla de alivio, la velocidad del agua aumentará significativamente, lo que, puede provocar problemas de erosión en la estructura de la alcantarilla y en los alrededores, lo que podría comprometer su estabilidad; además, la construcción y el mantenimiento de una alcantarilla de alivio requerirían recursos adicionales, como mano de obra, materiales e inversiones financieras, en cambio, las traviesas son obras financieramente más económicas según Farroñan (2022).

De lo descrito, se puede argumentar que, la geomorfología y la hidrología son dos disciplinas clave para entender y analizar los procesos en una quebrada (Diego y Zerpa, 2019). Estos parámetros son fundamentales para evaluar y prevenir la socavación y sedimentación, especialmente en estructuras como puentes que están expuestas a la acción constante del agua. El principal factor que influye en la socavación y sedimentación de la quebrada La Potrera es el caudal, un mayor caudal implica una mayor cantidad de agua que fluye bajo el puente, lo que puede aumentar la fuerza de la corriente y, en consecuencia, el riesgo de



socavación. Además, un alto caudal puede llevar consigo mayores cantidades de sedimentos, lo que aumenta la probabilidad de sedimentación en el puente tal como argumentan Vásquez y Llique (2017), esto debido a que, la mayor dinámica de la quebrada está asociada con cambios en los patrones de erosión y deposición (Sarif et al., 2021).

Finalmente, los parámetros geomorfológicos e hidrológicos desempeñan un papel crucial en la evaluación y control de la socavación y sedimentación en puentes. El área, el tiempo de concentración, el caudal y el tiempo de retorno son factores clave que influyen en el volumen de agua y sedimentos que llegan al puente y la fuerza de la corriente. Por lo tanto, es fundamental considerar estos parámetros al diseñar, construir y proteger puentes para garantizar su estabilidad y durabilidad frente a los procesos de socavación y sedimentación.

## CAPÍTULO V.

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1. Conclusiones

La conclusión general de la investigación es: Que, en atención a los principales parámetros hidrológicos y geomorfológicos que se han calculado en función a la quebrada La Potrera, estos si influyen significativamente en la socavación local del puente Colpamayo, como ejemplo, analizamos que el coeficiente de correlación Pearson entre el periodo de retorno y la socavación-erosión lateral es 0.699 (relación positiva, directa y alta) y entre el caudal máximo y la socavación-erosión lateral es 0.981 (relación positiva, directa y exacta), lo que implica que una mayor cantidad de agua puede fluir bajo el puente, aumentando la fuerza de la corriente y, en consecuencia, se incrementa el riesgo de socavación.

En cuanto a los objetivos específicos, podemos concluir:

- 1) La quebrada La Potrera presenta una superficie de 30.9 km<sup>2</sup>, pendiente 0.203 m/m, longitud de cauce primario de 10.05 km, altitud media de 3,267 msnm, coeficiente de Gravelius de 1.56, y tiempo de concentración de 2.67 hr. el que según parecería es bastante amplio para una pequeña quebrada, sin embargo, si analizamos los hidrogramas para distintos tiempos de concentración, aproximadamente a la hora de una lluvia extraordinaria, se presentaría un pico bastante considerable, cuyos caudales se expresan en la conclusión siguiente, contribuyendo a la sedimentación y acarreo de material deleznable (rocas) conforme se puede comprobar con los materiales depositados en el lecho del puente Colpamayo.
- 2) El modelo hidrológico a la mejor función de probabilidad fue la distribución Gamma 3P, obteniéndose para tiempos de retorno de: 50, 100 y 500 años, los

caudales de: 104.1, 114.4 y 136.7 m<sup>3</sup>/s, respectivamente; estos caudales influyen significativamente en intensificar la energía del flujo de agua e incrementar la capacidad de transporte de sedimentos.

- 3) El tipo de suelo predominante en el lecho del puente Colpamayo, corresponden a una arena limosa con diámetro medio (D50) de sedimentos de 0.40 mm, lo que demuestra que es una pequeña cuenca que está en pleno proceso erosivo, contribuyendo al desprendimiento de material grueso (piedras) que afecta la estructura del puente al colapsar con ella.
- 4) La quebrada La Potrera, presenta a lo largo de su cauce, una agradación de 1.05 m. y en los estribos del puente Colpamayo existe socavación local - erosión lateral de hasta 5 m que podría generar su colapso, siendo el más afectado el estribo derecho como consecuencia de la configuración en curva con que llega el cauce de la quebrada a dicho punto.

## **5.2. Recomendaciones y/o sugerencias**

Se recomienda implementar estructuras de solución (traviesas) para evitar colapso del puente Colpamayo por erosión (erosión de los estribos), así como descolmatar su cauce debido a la sedimentación (reducción de la capacidad hidráulica), previendo probables inundaciones o desbordes del fluido. Además se debe plantear la construcción de defensas ribereña en el margen derecho e izquierdo del cauce del río para proteger al puente. Así mismo, se recomienda instalar una estación hidrométrica para tener mediciones de caudales y reducir la incertidumbre en el cálculo de caudales en la quebrada La Potrera.

## CAPÍTULO VI. REFERENCIAS

- Akay, H. (2021). Mitigation of scour failure risk of a river bridge located in an ungauged basin. *The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering*, 16(1), 37-56. [10.7250/bjrbe.2021-16.514](https://doi.org/10.7250/bjrbe.2021-16.514)
- Alam, A., Ahmed, B., & Sammonds, P. (2021). Flash flood susceptibility assessment using the parameters of drainage basin morphometry in SE Bangladesh. *Quaternary International*, 575, 295-307. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2020.04.047>
- Almonte Pilco, N. A., & de la Cruz Vega, S. A. (2022). Evaluación y diseño de protección frente a la socavación hidráulica del puente Unocolla, Juliaca–Puno. *LLamkasun: Revista de Investigación Científica y Tecnológica*, 3(1), 74-78. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8510592>
- Arias-Madrid, D., López-Paz, O. A., & Jiménez-Builes, J. A. (2012). Análisis de sedimentos utilizando un enfoque de la programación estructurada. *Revista Scielo*, 29(2), 49-67.
- Arias Valencia, M. M., & Giraldo Mora, C. V. (2011). O rigor científico na investigação qualitativa. *Investigación y educación en enfermería*, 29(3), 500-514. [http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0120-53072011000300020&script=sci\\_abstract&tlng=pt](http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0120-53072011000300020&script=sci_abstract&tlng=pt)
- Barbosa Gil, S. (2013). *Metodología para calcular la profundidad de socavación general en ríos de montaña (lecho de gravas)*. [Tesis de maestría en ingeniería, Universidad Nacional de Colombia]. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/20971>
- Basile, P. A. (2018). *Transporte de sedimentos y morfodinámica de ríos aluviales*. Universidad Nacional de Rosario. <http://hdl.handle.net/2133/10738>
- Campa-Rodriguez, A., & Astorga-Bustillos, F. R. (2015). Métodos para el cálculo de la socavación local en pilas de puentes. *Tecnociencia Chihuahua*, 9(1), 36-48. <https://doi.org/10.54167/tch.v9i1.601>
- Castaneda Galvis, L. F. (2023). Effect of hydrologic and hydraulic calculation approaches on pier scour estimates.[Thesis submitted to the graduate Faculty of civil Environmental Engineering, Auburn University]. <https://etd.auburn.edu/handle/10415/9073>

- Castro, C. V., & Maidment, D. R. (2020). GIS preprocessing for rapid initialization of HEC-HMS hydrological basin models using web-based data services. *Environmental Modelling & Software*, 130, 104732. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2020.104732>
- Cervantes-Córdoba, A., Ferreira, A.M., Guzmán-Arias, I., Villagra-Mendoza, K. (2016). Cuantificación del transporte de sedimentos en el río La Estrella, Limón, Costa Rica. *Tecnología en marcha*, 26(3), 86-100. DOI: 10.18845/tm.v29i6.2905
- Condori (2018). *Análisis y alternativas de protección contra la socavación en los puentes Central y Ramana de localidad de Putina*. [Tesis de grado, Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez].
- Coras-Merino, P. M., Arteaga-Ramírez, R., & Vázquez-Peña, M. (2005). Análisis de frecuencias de lluvias máximas con fines de drenaje superficial local, Tabasco, México. *Terra Latinoamericana*, 23(1), 113-120.
- Dhali, M. K., Ayaz, S., Sahana, M., & Guha, S. (2020). Response of sediment flux, bridge scouring on river bed morphology and geomorphic resilience in middle-lower part of river Chel, Eastern Himalayan foothills zone, India. *Ecological Engineering*, 142, 105632. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2019.105632>
- Díaz, M. A. R. (2008). Los diques de corrección hidrológica como instrumentos de cuantificación de la erosión. *Cuadernos de investigación geográfica/Geographical Research Letters*, (34), 83-99.
- Diego, R. y Zerpa, K.C. (2019). *Inundaciones y la incidencia de socavación de puentes sobre el curso del río Ichu en la ciudad de Huancavelica*. [Tesis de grado, Universidad Nacional de Huancavelica].
- Enríquez , M., & Enríquez , M. (2011). *Aplicación del método de muskingum (modelo hidrológico) en el pronóstico de crecientes e inundaciones en la zona Quevedo – Mocache*. [Tesis para optar el título de Ing. Gestión Ambiental, Universidad Técnica Estatal De Quevedo]. 44 p.
- Esparza, F.V. (2019). *Estudio de socavación del cauce en el río Chicama a 2 km aguas abajo del puente Careaga – Chicama – Ascope – La Libertad*. [Tesis de grado, Universidad Privada Antenor Orrego].
- Esteves, M. A. N. (2018). *Evaluación de métodos para el cálculo de la socavación en puentes. Caso del puente sobre el Río Shanusi en el distrito de Yurimaguas, provincia de Alto Amazonas, 2018*. [Tesis de grado, Universidad Nacional de Trujillo]. <https://afly.co/x7t3>

- Expediente Técnico. (2018). *Creación del puente carrozable sobre el río Colpamayo en el Jr Sagrado Corazón de Jesús, de la ciudad de Chota*. Municipalidad Provincial de Chota (MPCH).
- Fan, N., Zhong, Q., Nie, R., & Liu, X. (2023). Interaction of various-sized particles in river flow. *Scientific Reports*, 13(1), 10503. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-37460-y>
- Farroñan, R.W. (2022). *Defensa en pilas y estribos para puentes debido a los efectos de erosión local y socavación*. [Tesis de grado, Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo]. <http://hdl.handle.net/20.500.12423/5301>
- Felipe-Matías, E. (2016). *Socavación producida por el río Huallaga al puente Colpa Alta en la provincia de Huánuco, utilizando los Métodos de Artamanov, Straub y Maza, en el HEC-RAS*. [Tesis de Máster en Ingeniería Civil con Mención en Ingeniería Vial, Universidad de Piura].
- Galiano, L. M., & Toapaxi, J. A. (2010). Análisis de la socavación en cauces naturales, *Revista Politécnica*, 35(3), 1-11.
- Gara, F., Nicoletti, V., Carbonari, S., Ragni, L., & Dall'Asta, A. (2020). Dynamic monitoring of bridges during static load tests: influence of the dynamics of trucks on the modal parameters of the bridge. *Journal of Civil Structural Health Monitoring*, 10, 197-217. <https://doi.org/10.1007/s13349-019-00376-1>
- García, M. y Maza, J. A. (2017). *Origen y propiedades de los sedimentos*. *Manual de ingeniería de ríos*. <https://n9.cl/3aurq>
- García, A., & Kauffer, E. F. (2011). Las cuencas compartidas entre México, Guatemala y Belice: un acercamiento a su delimitación y problemática general. *Frontera norte*, 23(45), 131-161.
- Gerónimo, M.B. (2019). *Estimación de la socavación producida por el flujo de agua del río Martho al pie de estribos del puente Sinsicap utilizando el programa HEC-RAS, SINSICAP – provincia de Otuzco, 2019*. [Tesis de grado, Universidad Nacional de Trujillo].
- Ghosh, A., Roy, M. B., Roy, P. K., & Mukherjee, S. (2021). Assessing the nature of sediment transport with bridge scour by 1D sediment transport model in the sub-catchment basin of Bhagirathi–Hooghly River. *Modeling Earth Systems and Environment*, 7(4), 2823-2845. <https://doi.org/10.1007/s40808-020-01058-4>
- Grajales, T. (2000). Tipos de investigación. *Cmaps*, 1(1), 112-116. <https://cmapspublic2.ihmc.us/rid=1RM1F0L42-VZ46F4-319H/871.pdf>

- Gurnell, A. M., & Hill, C. T. (2021). River channel changes through time and across space: Using three commonly available information sources to support river understanding and management in a national park. *Earth Surface Processes and Landforms*. <https://doi.org/10.1002/esp.5267>
- Gurung, N., Arnaud-Fassetta, G., Fort, M., Bell, R., & Sherchan, B. (2020). Construction of road bridges without consideration of geo-hazards and river-flow dynamics—a case study from Ghatte Khola, Myagdi, Nepal. *Géomorphologie: relief, processus, environnement*, 26(3), 195-215. <https://doi.org/10.4000/geomorphologie.14777>
- Hall, J. W., Boyce, S. A., Wang, Y., Dawson, R. J., Tarantola, S., & Saltelli, A. (2009). Sensitivity analysis for hydraulic models. *Journal of Hydraulic Engineering*, 135(11), 959-969. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HY.1943-7900.0000098](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HY.1943-7900.0000098)
- Hamidifar, H., Mohammad Ali Nezhadian, D., & Carnacina, I. (2022). Experimental study of debris-induced scour around a slotted bridge pier. *Acta Geophysica*, 1(1), 1-15. <https://doi.org/10.1007/s11600-021-00722-2>
- Hernández, N. C. (2018). El río y su territorio. Espacio de libertad: un concepto de gestión, *Revista Redalyc*, 34(56), 1012-7089
- Horacio, J. y Ollero, A. (2011). Clasificación geomorfológica de cursos fluviales a partir de Sistemas De Información Geográfica (S.I.G.), *Revista Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 56(1), 373-396.
- Idrogo, N.A. (2022). Evaluación de la condición global y funcionalidad técnica de las obras de arte de la carretera ca-105, km 65+000 al km 78+000, Chota. [Tesis de grado, Universidad Nacional Autónoma de Chota]. <http://hdl.handle.net/20.500.14142/323>
- Ivanova, Y., & Corredor, J. (2006). Evaluación de la sensibilidad de los caudales máximos de diseño ante la influencia del cambio climático. *Avances en Recursos Hidráulicos*, (13), 89-98
- Jaramillo-Mejía, P. y Reyes-Salazar, J. (2020). Evaluación del efecto del paramento inclinado de pilares en la socavación local. *Tecnología y ciencias del agua*, 10(5): 106-125. DOI: 10.24850/j-tyca-2019-05-04
- Juárez Badillo, L., & Rodríguez, A. R. (1984). *Mecánica de Suelos, Tomo III: Flujo de Agua en Suelos—Apéndice III Socavación*. Limusa.

- León, L.A. (2016). *Evaluación de la socavación del cauce del río Crisnejas adyacente al muro de encausamiento, en el ámbito geográfico del centro poblado de Aguas Calientes – San Marcos – Cajamarca*. [Tesis de doctorado en gestión ambiental y recursos naturales, Universidad Nacional de Cajamarca].
- Liu, C., Qu, L., Clausen, J., Lei, T., & Yang, X. (2023). Impact of Riparian Buffer Zone Design on Surface Water Quality at the Watershed Scale, a Case Study in the Jinghe Watershed in China. *Water*, 15(15), 2696. <https://doi.org/10.3390/w15152696>
- López, R. (2005). Características hidráulicas y geomorfológicas de ríos de montaña (III). *Cimbra*, 2005, núm. 363, p. 28-32.
- Lorenzo, R. G., & García, C. C. (2011). Estimación de caudales de avenida y delimitación de áreas inundables mediante métodos hidrometeorológicos e hidráulicos y técnicas SIG, estudio aplicado al litoral sur de la Región de Murcia. *Papeles de Geografía*, (53-54), 107-123.
- Luliquis, S.F. & Vines, S.W. (2022). *Evaluación conceptual y numérica de la socavación local de pilares con collares para el puente Andrés Avelino Cáceres utilizando HEC-RAS e Iber - Piura – Perú*. [Tesis de grado, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC)]. <http://hdl.handle.net/10757/667101>
- Mahala, A. (2020). The significance of morphometric analysis to understand the hydrological and morphological characteristics in two different morpho-climatic settings. *Applied Water Science*, 10(1), 1-16. <https://doi.org/10.1007/s13201-019-1118-2>
- Medina, A.A. (2018). *Estudio de socavación en estructuras de protección ribereña fundadas sobre cauces variables del río Chillón – Puente Piedra en el 2017*. [Tesis para obtener el título de Ingeniero Civil, Universidad César Vallejo].
- Ministerio de Transporte y Comunicaciones, MTC. (2018). Manual de hidrología, hidráulica y drenaje. Lima: Empresa editorial Macro E.I.R.L.
- Montenegro, P. A., Carvalho, H., Ribeiro, D., Calçada, R., Tokunaga, M., Tanabe, M., & Zhai, W. M. (2021). Assessment of train running safety on bridges: A literature review. *Engineering Structures*, 241, 112425. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2021.112425>
- Morales, D., Velez, F., & Guerrero, B. (2019). Caracterización hidrogeológica y geomorfológica de la cuenca y embalse del parque natural la nitrera, concordia (antioquia). *Revista de la Facultad de Ciencias*, 8(1), 73-99.



- Moya, V. (21 de marzo, 2017). Colapso puente en Perú importancia de socavación hidráulica. *iagua*. <https://n9.cl/0mek>
- Nalluri, C., Saldarriaga, J. G., & Plata, F. (1999). Revisión de ecuaciones que predicen la socavación local alrededor de pilas de puente. *Revista de Ingeniería*, (9), 52-60. <https://doi.org/10.16924/revinge.9.7>
- Ochoa, T. (2017). Hidrología hidráulica y socavación en puentes. *Editorial ECOE*. <https://afly.co/x843>
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (FAO, 1997). *Medición sobre el Terreno de la Erosión del Suelo y de la Escorrentía. (Boletín de Suelos de la FAO - 68). Capítulo 5 - Transporte de sedimentos*. FAO. <https://www.fao.org/3/t0848s/t0848s07.htm>
- Ortiz-Vera, O. (2015). Similitud Hidráulica de Sistemas Hidrológicos Altoandinos y Transferencia de Información Hidrometeorológica. *Tecnología y ciencias del agua*, 6(4), 25-44. ISSN 0187-8336.
- Palma, M.E.R. (2022). *Estimación de la profundidad de socavación local en el puente jangas mediante ecuaciones empíricas, Huaraz, Ancash*. [Tesis de grado, Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo]. <http://repositorio.unasam.edu.pe/handle/UNASAM/5167>
- Pajares, M. y Vásquez, L. (2017). *Análisis comparativo de la socavación en pilares cilíndricos cimentados en lechos arenosos determinada con las metodologías del Circular de ingeniería hidráulica No. 18 (HEC-18) y del Departamento de Transporte de Florida (FDOT)*. [Tesis de grado, Universidad Nacional de Cajamarca].
- Peñaloza, C. (2017). *Estudio comparativo de métodos de cálculo de socavación local en una cepa circular en río de lecho arenoso*. [Archivo PDF]. <https://afly.co/x813>
- Pizarro, R., Sangüesa, C., & Aravena, D. (2006). Influencia de los embalses y lagos en las intensidades máximas de precipitación. *IAHS-AISH publication*, 270-274.
- Príncipe, J.C. (2019). *Evaluación de los puentes con socavación ubicados en la provincia de Yungay- Ancash*. [Tesis de pregrado, Universidad San Pedro]. <http://repositorio.usanpedro.edu.pe/handle/USANPEDRO/11382>
- Quispe, N.A. (2019). *Modelamiento hidrológico e hidráulico para control de socavación de estribos del puente Marita de la carretera Sancos Saccsamarca, provincia de Huanca Sancos – Ayacucho*. [Tesis de grado, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga].

- Reyes, C.A. y Reyes, J.C. (2020). *Determinación de la socavación para las pilas del puente localizado en el municipio de Riosucio Caldas*. [Tesis de grado, Universidad Católica de Colombia]
- Rodríguez, J. (2019). *Socavación en lechos de ríos y fondos marinos*. [Trabajo de maestría, Universidad de Sevilla].
- Romero, A. M., Gómez, K. F., Sánchez, J. O., & García-Luján, C. (2009). Monitoreo de la calidad microbiológica del agua en la Cuenca hidrográfica del Río Nazas, México. *Química Viva*, 8(1), 35-47.
- Rubio, J.L. (2019). *Determinación de la socavación local en los pilares del puente sobre el río Cabaña*. [Trabajo de grado, Universidad de Moa]. <https://afly.co/x853>
- Sánchez, A., Álvarez-Legorreta, T., Sáenz-Morales, R., Ortiz-Hernández, M., López-Ortiz, B. E., & Aguiñiga, S. (2008). Distribución de parámetros texturales de los sedimentos superficiales en la Bahía de Chetumal: Implicaciones en la inferencia de transporte. *Revista mexicana de ciencias geológicas*, 25(3), 523-532.
- Sánchez, A., Carriquiry, J., Barrera, J., & López-Ortiz, B. E. (2009). Comparación de modelos de transporte de sedimento en la Bahía Todos Santos, Baja California, México. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 61(1), 13-24.
- Scacchi, G., Schreider, M., & Fuentes Aguilar, R. (2003). Erosión en estribos de puentes aliviadores y su interacción con la distribución de caudales. In *Primer Simposio Regional sobre Hidráulica de Ríos*. [http://irh-fce.unse.edu.ar/Rios2003/TC/TC\\_2\\_9.pdf](http://irh-fce.unse.edu.ar/Rios2003/TC/TC_2_9.pdf)
- Szymkiewicz, R. (2010). *Numerical modeling in open channel hydraulics* (Vol. 83). Springer Science & Business Media.
- Tenorio, J. D., & Valdera, C. E. (2020). *Niveles de socavación mediante modelamiento hidráulico en estribos de los puentes "El Callejón, La Rinconada y Chonta", ubicados en el río Chonta - Cajamarca* [Tesis de licenciatura, Universidad Privada del Norte]. Recuperado de <https://hdl.handle.net/11537/25366>
- Toapaxi Álvarez, J. A., Galiano Ayala, L. M., Castro Delgado, M. A., Hidalgo Bustamante, X. D. R., & Valencia Bonilla, N. T. (2015). Análisis de la Socavación en Cauces Naturales. *Revista Politécnica*, 35(3), 83. Recuperado a partir de [https://revistapolitecnica.epn.edu.ec/ojs2/index.php/revista\\_politecnica2/article/view/368](https://revistapolitecnica.epn.edu.ec/ojs2/index.php/revista_politecnica2/article/view/368)
- Trueheart, M. E., Dewoolkar, M. M., Rizzo, D. M., Huston, D., & Bombliés, A. (2020). Simulating hydraulic interdependence between bridges along a river corridor

- under transient flood conditions. *Science of the Total Environment*, 699, 134046. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134046>
- Valverde, A. M. (2019). *Estimación de sedimentos, mediante el modelo unidimensional HEC-RAS, en el río costero tropical Hato – Panamá*. [Tesis de grado, Universidad Agraria La Molina]. <https://afly.co/x863>
- Vásquez, A. (2021, 14 de marzo). *Chota, puente Sagrado Corazón en riesgo de colapsar*. Andina Radio. <https://web.facebook.com/watch/?v=247739480419140>
- Vásquez, L. y Llique, R.H. (2017). Efectos de la contracción del cauce, lecho no cohesivo y pendiente de ríos, en la profundidad de socavación en estructuras de captación. *Caxamarca*, 16(2): 25-35.
- Villón, M. (2002). *Hidrología*, 2ª ed. Editorial MaxSoft.
- Villón, M. (2004). *Hidrología. Editorial Tecnológica de Costa Rica*. <https://afly.co/x873>
- Villón, M. (2006). *Hidrología estadística*. Instituto tecnológico de Costa Rica.
- Villon, B. M. (2016). *HEC-HMS Ejemplos*. Lima, Perú: MaxSoft.
- Wahyudi Efendi, A. W. (2022). Structural Design Tuak River Pedestrian Suspension Bridge Anchor Block Type Rigid Symmetric with LISA. *Elektrise: Jurnal Sains dan Teknologi Elektro*, 12(01), 37-48. <https://doi.org/10.47709/elektrise.v12i01.1572>
- Waldschläger, K., & Schüttrumpf, H. (2019). Erosion behavior of different microplastic particles in comparison to natural sediments. *Environmental science & technology*, 53(22), 13219-13227. DOI: 10.1021/acs.est.9b05394.
- Wang, S., Wei, K., Shen, Z. y Xiang, Q. (2019). Experimental investigation of local scour protection for cylindrical bridge piers using anti-scour collars. *Water*, 11(7): 1-19. <https://doi.org/10.3390/w11071515>
- Yang, Y., Xiong, X., Melville, B. W., & Sturm, T. W. (2021). Dynamic morphology in a bridge-contracted compound channel during extreme floods: Effects of abutments, bed-forms and scour countermeasures. *Journal of Hydrology*, 594, 125930. <https://doi.org/10.1016/j.jhidrol.2020.125930>
- Yuan, S., Tang, H., Li, K., Xu, L., Xiao, Y., Gualtieri, C., ... & Melville, B. (2021). Hydrodynamics, sediment transport and morphological features at the confluence between the Yangtze River and the Poyang Lake. *Water Resources Research*, 57(3), e2020WR028284. <https://doi.org/10.1029/2020WR028284>

## CAPÍTULO VII. ANEXOS

### Anexo A. Matriz de consistencia

**Tesis:** Influencia de los parámetros hidrológicos y geomorfológicos de la quebrada La Potrera en la socavación local del Puente Colpamayo, Chota, 2021

**Tesista:** Ennin Delgado Irigoín

| Formulación del problema   | Objetivos   | Hipótesis  | Variables | Dimensiones                 | Indicadores  | Metodología   |
|--|---|--|-----------|-----------------------------|--|---|
| ¿Cuáles son los parámetros hidrológicos y geomorfológicos de la quebrada La Potrera que influyen en la socavación local del Puente Colpamayo en Chota? | <p><b>Objetivo general</b><br/>Evaluar la influencia de los parámetros hidrológicos y geomorfológicos de la quebrada La Potrera en la socavación local del puente Colpamayo en Chota.</p> <p><b>Objetivos específicos</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>□ Caracterizar los parámetros morfométricos de la Quebrada La Potrera.</li> <li>□ Determinar caudales máximos para períodos de retorno de 50, 100 y 500 años, aplicando el método racional modificado o HEC HMS</li> <li>□ Caracterizar granulométricamente (diámetros característicos) de los sedimentos que se acumulan en el cauce del puente Colpamayo.</li> <li>□ Estimar la socavación en estribos del puente Colpamayo por medio del modelamiento hidráulico Lischtvan Lebediev.</li> </ul> | H1: Los parámetros hidrológicos y geomorfológicos influyen en la socavación local del puente Colpamayo, Quebrada La Potrera – Chota. | VI        | Parámetros geomorfológicos  | <p>Área</p> <hr/> <p>Pendiente</p> <hr/> <p>Altitud media</p> <hr/> <p>Longitud del curso principal</p> <hr/> <p>Tiempo de concentración</p> <hr/> <p>Precipitación</p> <hr/> <p>Intensidad máxima</p> <hr/> <p>Tiempo de retorno</p> <hr/> <p>Caudal máximo</p> <hr/> <p>Tirante</p> <hr/> <p>Velocidad</p> | <p>Enfoque: Mixto</p> <p>Tipo: Aplicado</p> <p>Nivel: Explicativo</p> <p>Diseño: No experimental descriptiva causal simple</p> <p>Método: Determinista</p> <p>Muestra: La muestra no probabilística determinada por conveniencia tomando como criterio aquel puente que ha presentado problemas de sedimentación y erosión durante las fuertes precipitaciones del año 2021 (Vásquez, 2021), siendo el puente Colpamayo, sobre el cauce de la quebrada La Potrera, distrito de Chota, mismo que se ha analizado 12 veces el ancho del cauce aguas arriba y 6 veces el ancho del río aguas abajo, conforme a lo indicado por el manual del MTC (2018).</p> |
|  |   |  | VD        | Socavación local del puente | <p>Sedimentación</p> <hr/> <p>Socavación</p> <hr/> <p>Descripción de método de protección</p>  |   |

*Anexo B. Panel fotográfico*

Fotografía 1. Puente Colpamayo ubicado en el Jr. Sagrado Corazón de Jesús, ciudad de Chota



Fotografía 2. Vista del puente Colpamayo ubicado en el Jr. Sagrado Corazón de Jesús





Fotografía 3. Vista de desprendimiento lateral de tierra en el puente Colpamayo ubicado en el Jr. Sagrado Corazón de Jesús



Fotografía 4. Vista de acumulación de sedimentos en la base del puente Colpamayo ubicado en el Jr. Sagrado Corazón de Jesús



Fotografía 5. Vista del incremento del caudal en el cauce de la quebrada La Potrera frente a precipitaciones pluviales, puente Colpamayo ubicado en el Jr. Sagrado Corazón de Jesús



Nota: (Vásquez, 2021. Fecha: 14 de marzo del 2021.

Fotografía 6. Puente Colpamayo en la quebrada La Potrera





Fotografía 7. Vista del nivel de agua en el Puente Colpamayo en la quebrada La Potrera



Fotografía 8. Excavación de una calicata en el borde de la ribera de la quebrada La Potrera





Fotografía 9. Midiendo la profundidad de la calicata en el borde de la ribera de la quebrada La Potrera



Fotografía 10. Toma de muestras de los sedimentos del cauce de la quebrada La Potrera





Fotografía 11. Granulometría fluvial de los sedimentos del cauce de la quebrada La Potrera



Fotografía 12. Granulometría del suelo en laboratorio, puente Colpamayo





Fotografía 13. Corte directo del suelo en laboratorio, puente Colpamayo



Fotografía 14. Estacionamiento para realizar la topografía de la quebrada La Potrera en el Puente Colpamayo





Fotografía 15. Realización del levantamiento topográfico de la quebrada La Potrera en el Puente Colpamayo



Fotografía 16. Toma de puntos en la quebrada La Potrera en el Puente Colpamayo





Fotografía 17. Finalización de la realización del levantamiento topográfico de la quebrada La Potrera en el Puente Colpamayo



*Anexo C. Parámetros geomorfológicos de la quebrada La Potrera*



PARÁMETROS GEOMORFOLÓGICOS  
QUEBRADA LA POTRERA

**RESPONSABLE:** ENNIN DELGADO IRIGOÍN  
**MICROCUCENA:** QUEBRADA LA POTRERA  
**UBICACIÓN:** Distrito: CHOTA  
Provincia: CHOTA  
Región: CAJAMARCA  
**PUNTO DE DELIMITACIÓN:** Este: 759956.013075 m  
Norte: 9273462.99999 m



1) Delimitación de la microcuenca de la quebrada La Potrera en el programa ArcMAP 10.5

Consiste en definir la línea de divisorio aquarum, que es una línea curva cerrada que parte y llega al punto de captación mediante la unión de todos los puntos altos e interceptando en forma perpendicular a todas las curvas de altitudes del plano o carta topográfica, por cuya razón a dicha línea divisoria también se le conoce con el nombre de línea neutra de flujo.



2) Parámetros geomorfológicos

2.1. Área (A)

Cuadro N° 01. Tamaño relativo de los sistemas hidrológicos

| Unid. Hidrológica | Área (km2) | N° de orden |
|-------------------|------------|-------------|
| Micro cuenca      | 50         | 1, 2, 3     |
| Sub cuenca        | 500        | 4, 5        |
| Cuenca            | más        | 6 a más     |

|     |       |     |             |
|-----|-------|-----|-------------|
| Ac= | 30.90 | Km2 | Microcuenca |
|-----|-------|-----|-------------|

2.2. Perímetro (P)

|     |       |    |
|-----|-------|----|
| Pc= | 31.05 | Km |
|-----|-------|----|

2.3. Longitud al centroide (Lc)

|             |     |            |      |
|-------------|-----|------------|------|
| Centroide x | Cx= | 765118.90  | m    |
| Centroide y | Cy= | 9274669.05 | m    |
| Centroide z | Cz= | 3120.70    | msnm |

2.4. Coeficiente de Gravelius o índice de compacidad (Kc)

$$k = 0.28 \left( \frac{Pc}{\sqrt{Ac}} \right)$$

P= perímetro de la cuenca 31.05  
A= área de la cuenca 30.90

Cuadro N° 02. Formas de la cuenca de acuerdo al índice de compacidad

| Clase de forma | índice de compacidad |      | Forma de la cuenca                 |
|----------------|----------------------|------|------------------------------------|
| Clase I        | 1                    | 1.25 | Casi redonda a oval - redonda      |
| Clase II       | 1.26                 | 1.5  | Oval redonda a oval oblonga        |
| Clase III      | 1.51                 | 1.75 | Oval oblonga a rectangular-oblonga |

Si K menor o igual a 1 la cuenca tiene forma circular

Si k mayor a 1 la cuenca tiene forma alargada

La tormenta se da en una parte

La tormenta se da en toda su extensión

|    |       |
|----|-------|
| K= | 1.564 |
|----|-------|

Clase II

Forma roval redonda



**PARÁMETROS GEOMORFOLÓGICOS  
QUEBRADA LA POTRERA**

**RESPONSABLE:** ENNIN DELGADO IRIGOÍN  
**MICROCUENCA:** QUEBRADA LA POTRERA  
**UBICACIÓN:** Distrito: CHOTA  
Provincia: CHOTA  
Región: CAJAMARCA  
**PUNTO DE DELIMITACIÓN:** Este: 759956.013075 m  
Norte: 9273462.99999 m



**2.5. Altitud media (H)**

**Datos:** Elevación mínima Hmín= 2350.00 msnm  
Elevación máxima Hmáx= 3750.00 msnm

**Áreas parciales entre altitudes**

| PARCIALES         | ALTITUDES |      | AREA (Km2)   |
|-------------------|-----------|------|--------------|
| Área 1            | 2350      | 2450 | 1.17         |
| Área 2            | 2450      | 2550 | 1.55         |
| Área 3            | 2550      | 2650 | 1.67         |
| Área 4            | 2650      | 2750 | 1.88         |
| Área 5            | 2750      | 2850 | 2.08         |
| Área 6            | 2850      | 2950 | 1.99         |
| Área 7            | 2950      | 3050 | 1.89         |
| Área 8            | 3050      | 3150 | 1.90         |
| Área 9            | 3150      | 3250 | 2.15         |
| Área 10           | 3250      | 3350 | 2.41         |
| Área 11           | 3350      | 3450 | 2.93         |
| Área 12           | 3450      | 3550 | 3.55         |
| Área 13           | 3550      | 3650 | 3.31         |
| Área 14           | 3650      | 3750 | 2.43         |
| <b>Área total</b> |           |      | <b>30.90</b> |

**2.5.1.) Estimación de la altitud media (H) por fórmula**

$$H = \frac{1}{A} \sum_{i=1}^n H_i \times A_i$$

Hi= Altura correspondiente al área acumulada Ai

A= Área de la cuenca

N= Número de áreas parciales

| ALTITUD MEDIA |          |                  |                  |
|---------------|----------|------------------|------------------|
| ITEM          | PROMEDIO | ÁREA ENTRE COTAS | AixHi            |
| 1             | 2,400    | 1.173            | 2815.31          |
| 2             | 2,500    | 1.550            | 3875.00          |
| 3             | 2,600    | 1.673            | 4350.78          |
| 4             | 2,700    | 1.877            | 5066.63          |
| 5             | 2,800    | 2.078            | 5817.40          |
| 6             | 2,900    | 1.993            | 5780.53          |
| 7             | 3,000    | 1.889            | 5668.49          |
| 8             | 3,100    | 1.898            | 5882.53          |
| 9             | 3,200    | 2.149            | 6875.92          |
| 10            | 3,300    | 2.405            | 7938.03          |
| 11            | 3,400    | 2.932            | 9967.28          |
| 12            | 3,500    | 3.546            | 12409.42         |
| 13            | 3,600    | 3.306            | 11902.40         |
| 14            | 3,700    | 2.430            | 8991.00          |
| <b>TOTAL</b>  |          | <b>30.90</b>     | <b>97,340.73</b> |

**H = 3,267.00 m**





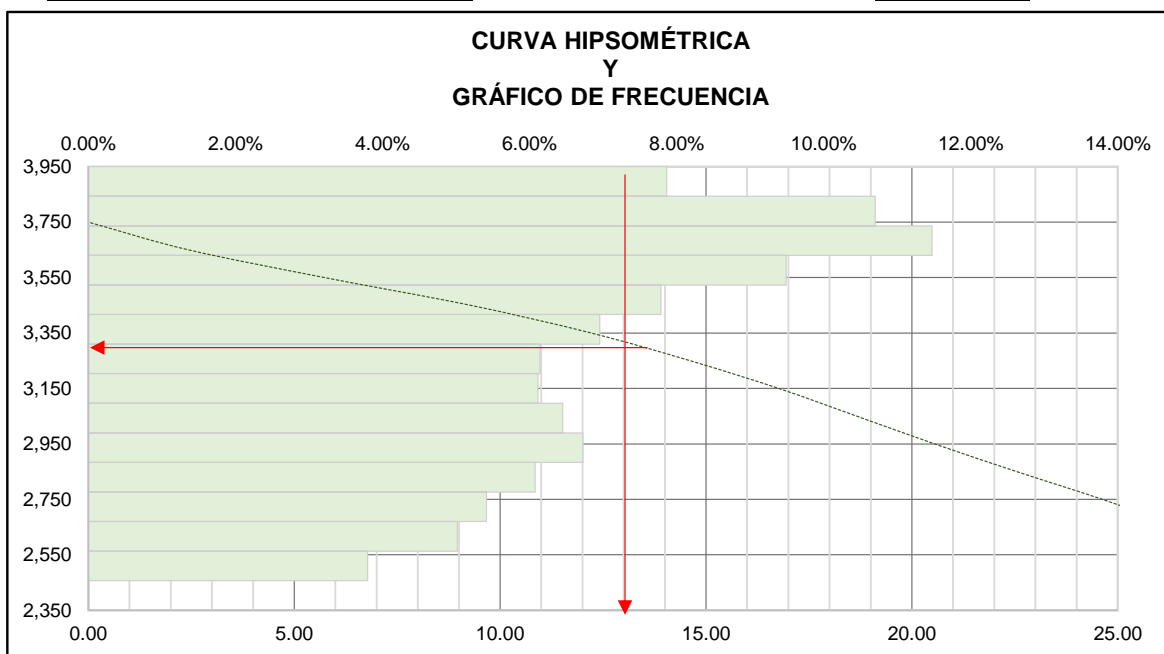
PARÁMETROS GEOMORFOLÓGICOS  
QUEBRADA LA POTRERA

**RESPONSABLE:** ENNIN DELGADO IRIGOÍN  
**MICROCUCENCA:** QUEBRADA LA POTRERA  
**UBICACIÓN:** Distrito: CHOTA  
Provincia: CHOTA  
Región: CAJAMARCA  
**PUNTO DE DELIMITACIÓN:** Este: 759956.013075 m  
Norte: 9273462.99999 m



2.5.2.) Estimación de la altitud media (H) por el método gráfico

| Método gráfico para el cálculo de la altitud media (H) |                     |                     |                       |                                      |                          |                                     |
|--|---------------------|---------------------|-----------------------|--------------------------------------|--------------------------|-------------------------------------|
| <i>I<br/>T<br/>E<br/>M</i>                             | <i>ALTITUD msnm</i> | <i>AREA PARCIAL</i> | <i>AREA ACUMULADA</i> | <i>AREA QUE QUEDA SOBRE LA CURVA</i> | <i>% DE AREA PARCIAL</i> | <i>% QUE QUEDA SOBRE LA ALTITUD</i> |
| PMB  | 2,350               | 0.000               | 0                     | 30.90                                | 0.00%                    | 100.00%                             |
| A1   | 2,450               | 1.173               | 1.17                  | 29.73                                | 3.80%                    | 96.20%                              |
| A2   | 2,550               | 1.550               | 2.72                  | 28.18                                | 5.02%                    | 91.19%                              |
| A3   | 2,650               | 1.673               | 4.40                  | 26.50                                | 5.42%                    | 85.77%                              |
| A4   | 2,750               | 1.877               | 6.27                  | 24.63                                | 6.07%                    | 79.70%                              |
| A5   | 2,850               | 2.078               | 8.35                  | 22.55                                | 6.72%                    | 72.97%                              |
| A6   | 2,950               | 1.993               | 10.34                 | 20.55                                | 6.45%                    | 66.52%                              |
| A7   | 3,050               | 1.889               | 12.23                 | 18.67                                | 6.12%                    | 60.41%                              |
| A8   | 3,150               | 1.898               | 14.13                 | 16.77                                | 6.14%                    | 54.27%                              |
| A9   | 3,250               | 2.149               | 16.28                 | 14.62                                | 6.95%                    | 47.31%                              |
| A10  | 3,350               | 2.405               | 18.69                 | 12.21                                | 7.79%                    | 39.53%                              |
| A11  | 3,450               | 2.932               | 21.62                 | 9.28                                 | 9.49%                    | 30.04%                              |
| A12  | 3,550               | 3.546               | 25.16                 | 5.74                                 | 11.47%                   | 18.56%                              |
| A13  | 3,650               | 3.306               | 28.47                 | 2.43                                 | 10.70%                   | 7.86%                               |
| A14  | 3,750               | 2.430               | 30.90                 | 0.00                                 | 7.86%                    | 0.00%                               |
| $\Sigma T =$   |                     | 30.90               |                       |                                      | 100.00%                  |                                     |





PARÁMETROS GEOMORFOLÓGICOS  
QUEBRADA LA POTRERA

**RESPONSABLE:** ENNIN DELGADO IRIGOÍN  
**MICROCUENCA:** QUEBRADA LA POTRERA  
**UBICACIÓN:** Distrito: CHOTA  
Provincia: CHOTA  
Región: CAJAMARCA  
**PUNTO DE DELIMITACIÓN:** Este: 759956.013075 m  
Norte: 9273462.99999 m



2.6. Pendiente de la cuenca (Sc)

$$S_c = \frac{C}{A} \sum_{i=1}^n l_i$$

Sc= Pendiente de la cuenca  
C= Equidistancia entre curvas de nivel  
A= Área de la cuenca  
li= Longitud de cada curva de nivel

0.1 km  
30.90 km<sup>2</sup>

Cuadro N° 03. Clasificación de las cuencas de acuerdo a la pendiente promedio

| Clase de forma |    | índice de compacidad | Símbolo |
|----------------|----|----------------------|---------|
| 0              | 3  | Plano                | P1      |
| 3              | 7  | Suave                | P2      |
| 7              | 12 | Mediano              | P3      |
| 12             | 20 | Accidentado          | P4      |
| 20             | 35 | Fuerte               | P5      |
| 35             | 50 | Muy Fuerte           | P6      |
| 50             | 75 | Escarpado            | P7      |
| >              | 75 | Muy escarpado        | P8      |

Estimación de la pendiente de la cuenca (Sc)

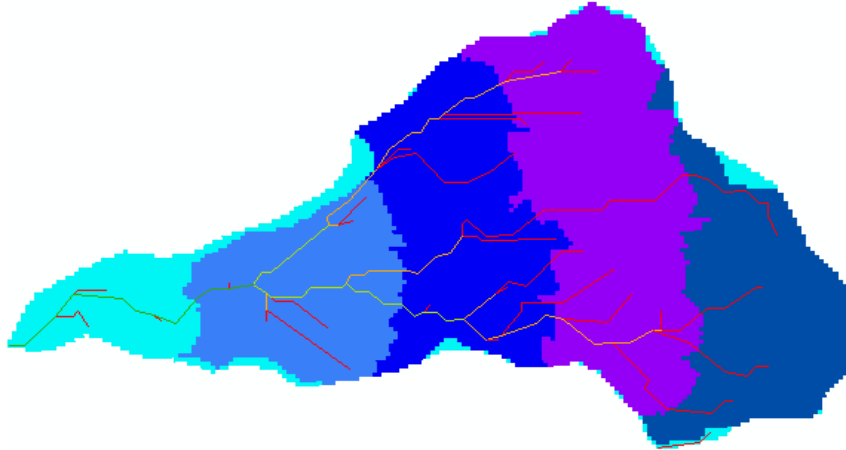
| CURVA DE NIVEL |          | LONGITUD (Km) |
|----------------|----------|---------------|
| Curva 1        | 2,350.00 | 1.723         |
| Curva 2        | 2,450.00 | 2.900         |
| Curva 3        | 2,550.00 | 2.477         |
| Curva 4        | 2,650.00 | 2.745         |
| Curva 5        | 2,750.00 | 3.199         |
| Curva 6        | 2,850.00 | 4.630         |
| Curva 7        | 2,950.00 | 4.533         |
| Curva 8        | 3,050.00 | 4.553         |
| Curva 9        | 3,150.00 | 4.832         |
| Curva 10       | 3,250.00 | 5.173         |
| Curva 11       | 3,350.00 | 5.574         |
| Curva 12       | 3,450.00 | 7.274         |
| Curva 13       | 3,550.00 | 6.782         |
| Curva 14       | 3,650.00 | 5.950         |
| Curva 15       | 3,750.00 | 0.396         |
| <b>TOTAL</b>   |          | <b>62.741</b> |

**Sc = 20.30% 0.203**



**PARÁMETROS GEOMORFOLÓGICOS  
QUEBRADA LA POTRERA**

**RESPONSABLE:** ENNIN DELGADO IRIGOÍN  
**MICROCUCENA:** QUEBRADA LA POTRERA  
**UBICACIÓN:** Distrito: CHOTA  
Provincia: CHOTA  
Región: CAJAMARCA  
**PUNTO DE DELIMITACIÓN:** Este: 759956.013075 m  
Norte: 9273462.99999 m

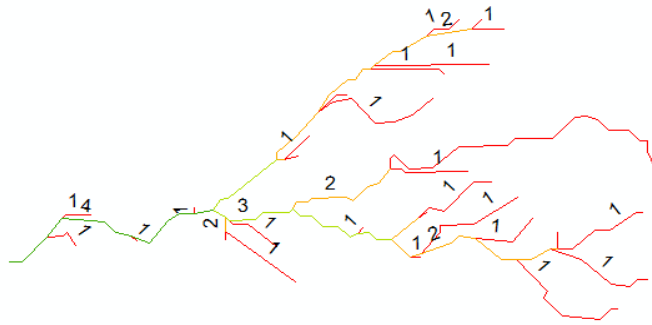


**2.7. Número de orden de la cuenca (N)**

N= 4

**2.8. Longitud de la red hídrica**

| ORDEN        | Longitud de cauces (km) | Número de cauces |
|--------------|-------------------------|------------------|
| 1            | 24.90                   | 29               |
| 2            | 8.26                    | 15               |
| 3            | 3.81                    | 6                |
| 4            | 3.26                    | 5                |
| <b>Total</b> | <b>40.23</b>            | <b>55.00</b>     |



**2.9. Longitud del máximo recorrido (L)**

L (km) 10.05 Km

L (m) 10051

**2.10. Pendiente del cauce principal o del máximo recorrido (So)**

**2.10.1. MÉTODO I. Pendiente uniforme**

$$S_o = \frac{\Delta H}{L}$$

Hmáx= Altura máxima 3650.00  
Hmín= Altura mínima 2350.00  
 $\Delta H$ = Diferencia de alturas 1300.00  
L= longitud del cauce principal 10.05

12.93 %



PARÁMETROS GEOMORFOLÓGICOS  
QUEBRADA LA POTRERA

**RESPONSABLE:** ENNIN DELGADO IRIGOÍN  
**MICROCUCENA:** QUEBRADA LA POTRERA  
**UBICACIÓN:** Distrito: CHOTA  
Provincia: CHOTA  
Región: CAJAMARCA  
**PUNTO DE DELIMITACIÓN:** Este: 759956.013075 m  
Norte: 9273462.99999 m



2.10.2. MÉTODO II. Ecuación de Taylor y Schwarz

$$S_o = \left[ \frac{\sum_{i=1}^n l_i}{\sum_{i=1}^n \left( \frac{l_i}{S_i} \right)^{1/2}} \right]^2$$

Li= longitud de cada tramo de pendiente Si  
n= Número de tramos de similar pendiente

| LONG. PARCIALES | ALTITUDES     |       | DESNIVEL | PENDIENTE ENTRE TRAMOS |               |
|-----------------|---------------|-------|----------|------------------------|---------------|
|                 | Li (m)        | Hi    |          | Hf                     | hi (m)        |
| 1,882.73        | 2,350         | 2,450 | 100.00   | 0.0531                 | 8,169.26      |
| 1,162.07        | 2,450         | 2,550 | 100.00   | 0.0861                 | 3,961.40      |
| 785.08          | 2,550         | 2,650 | 100.00   | 0.1274                 | 2,199.75      |
| 789.38          | 2,650         | 2,750 | 100.00   | 0.1267                 | 2,217.85      |
| 622.74          | 2,750         | 2,850 | 100.00   | 0.1606                 | 1,554.05      |
| 455.10          | 2,850         | 2,950 | 100.00   | 0.2197                 | 970.85        |
| 266.16          | 2,950         | 3,050 | 100.00   | 0.3757                 | 434.24        |
| 785.96          | 3,050         | 3,150 | 100.00   | 0.1272                 | 2,203.43      |
| 284.92          | 3,150         | 3,250 | 100.00   | 0.3510                 | 480.94        |
| 320.58          | 3,250         | 3,350 | 100.00   | 0.3119                 | 573.98        |
| 449.06          | 3,350         | 3,450 | 100.00   | 0.2227                 | 951.60        |
| 894.62          | 3,450         | 3,550 | 100.00   | 0.1118                 | 2,675.85      |
| 1,353.00        | 3,550         | 3,650 | 100.00   | 0.0739                 | 4,976.78      |
| <b>TOTAL</b>    | <b>10,051</b> |       |          |                        | <b>31,370</b> |

S = 10.27 % 0.10

2.11. Tiempo de concentración (Tc)

Fórmula del método racional modificado (MTC, 2018)

$$Tc = 0.3 \left( \frac{L}{S^{0.25}} \right)^{0.76}$$

Donde: L= Longitud del cauce mayor (km) 10.05 Km  
So= Pendiente promedio del cauce mayor (m/m) 0.103 m/m

Tc= 2.67 horas

Tc= 160.25 minutos

Fórmula de KIRPICH

$$Tc = 0,020 * L^{0.75} * S^{-0.40}$$

Donde: L = Longitud del curso mayor en metros = 10,051.42 m  
S = Pendiente = H/L = 13.93 %  
H = Diferencia entre altitud máxima y mínima = 1,400 m

Tc= 44.17 minutos

Tc= 0.74 horas



**PARÁMETROS GEOMORFOLÓGICOS  
QUEBRADA LA POTRERA**

**RESPONSABLE:** ENNIN DELGADO IRIGOÍN  
**MICROCUCNA:** QUEBRADA LA POTRERA  
**UBICACIÓN:** Distrito: CHOTA  
Provincia: CHOTA  
Región: CAJAMARCA  
**PUNTO DE DELIMITACIÓN:** Este: 759956.013075 m  
Norte: 9273462.99999 m



**Fórmula de GIANDOTTI**

$$T_c = (4 \cdot S^{1/2} + 1,5 \cdot L / (0,8 \cdot H^{1/2}))$$

Donde: S = Superficie de la cuenca en Km<sup>2</sup> = 30.90 Km<sup>2</sup>  
L = Longitud del Río Principal en Km = 10.05 Km  
H = Altitud Media en metros, descontando la cota de origen de la cuenca sobre el punto en estudio = 917.00 m

**Tc= 1.54 horas**

**Tc= 92.41 minutos**

**Fórmula de TEMEZ**

$$T_c = 0,3 \cdot (L/n^{1/4,0,75})$$

Donde: L = Longitud del cauce principal en Km = 10.05 Km  
n = Pendiente media del curso principal = 10.27 %

**Tc= 2.60 horas**

**Tc= 155.70 minutos**

**2.12. Coeficiente orográfico (Co)**

$$C_o = \frac{H^2}{A}$$

H= Altitud media del relieve 3.27 km  
A= área de la cuenca 30.90 km<sup>2</sup>

**Co= 0.345**

**2.13. Relación de confluencias (Rc)**

$$R_c = \frac{n_i}{n_{i+1}}$$

ni= Número total de cauces de orden i  
ni+1= Número total de cauces de orden i+1

| Orden | Número de cauces | Rc parciales |
|-------|------------------|--------------|
| 1     | 29               | 1.933        |
| 2     | 15               | 2.500        |
| 3     | 6                | 1.200        |
| 4     | 5                |              |

**Rc promedio= 1.878**

**2.14. Relación de longitudes (Rl)**

$$R_l = \frac{L_i}{L_{i-1}}$$

Li= Longitud promedio de todos los cauces de orden i  
Li+1= Longitud promedio de todos los cauces de orden i-1



PARÁMETROS GEOMORFOLÓGICOS  
QUEBRADA LA POTRERA

**RESPONSABLE:** ENNIN DELGADO IRIGOÍN  
**MICROCUCENA:** QUEBRADA LA POTRERA  
**UBICACIÓN:** Distrito: CHOTA  
Provincia: CHOTA  
Región: CAJAMARCA  
**PUNTO DE DELIMITACIÓN:** Este: 759956.013075 m  
Norte: 9273462.99999 m



| Orden | Longitud de cauces (km) | Rc parciales |
|-------|-------------------------|--------------|
| 1     | 24.89920547             | 0.332        |
| 2     | 8.260591046             | 0.462        |
| 3     | 3.813777338             | 0.854        |
| 4     | 3.255685589             |              |

**Rl promedio= 0.549**

2.15 Factor de forma (F)

$$F = \frac{A}{L^2}$$

A= Área de la cuenca 30.90 km<sup>2</sup>  
L= Longitud de máximo recorrido 10.05 Km

**F= 0.306**

2.16. Rectángulo equivalente

$$L = \frac{K\sqrt{A}}{1.12} \left[ 1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{K}\right)^2} \right]$$

$$l = \frac{K\sqrt{A}}{1.12} \left[ 1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{K}\right)^2} \right]$$

Donde: A= área de la cuenca 30.90 km<sup>2</sup>  
kc= coeficiente de Gravelius 1.564  
Factor raíz(1-(1.12/k)^2) 0.487

**L= 13.181**

**l= 2.34**

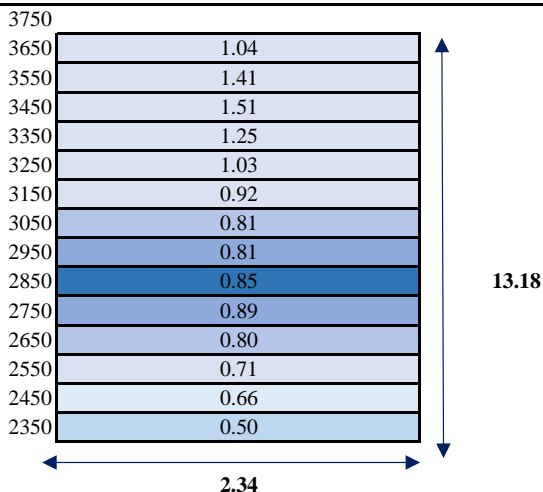
| CÁLCULO DEL RECTÁNGULO EQUIVALENTE |      |      |      |       |
|------------------------------------|------|------|------|-------|
| Altitudes                          |      | Ap   | Ap/l |       |
| 2350                               | 2450 | 1.17 | 0.50 | → L1  |
| 2450                               | 2550 | 1.55 | 0.66 | → L2  |
| 2550                               | 2650 | 1.67 | 0.71 | → L3  |
| 2650                               | 2750 | 1.88 | 0.80 | → L4  |
| 2750                               | 2850 | 2.08 | 0.89 | → L5  |
| 2850                               | 2950 | 1.99 | 0.85 | → L6  |
| 2950                               | 3050 | 1.89 | 0.81 | → L7  |
| 3050                               | 3150 | 1.90 | 0.81 | → L8  |
| 3150                               | 3250 | 2.15 | 0.92 | → L9  |
| 3250                               | 3350 | 2.41 | 1.03 | → L10 |
| 3350                               | 3450 | 2.93 | 1.25 | → L11 |
| 3450                               | 3550 | 3.55 | 1.51 | → L12 |
| 3550                               | 3650 | 3.31 | 1.41 | → L13 |
| 3650                               | 3750 | 2.43 | 1.04 | → L14 |





**PARÁMETROS GEOMORFOLÓGICOS  
QUEBRADA LA POTRERA**

**RESPONSABLE:** ENNIN DELGADO IRIGOÍN  
**MICROCUENCA:** QUEBRADA LA POTRERA  
**UBICACIÓN:** Distrito: CHOTA  
Provincia: CHOTA  
Región: CAJAMARCA  
**PUNTO DE DELIMITACIÓN:** Este: 759956.013075 m  
Norte: 9273462.99999 m



**2.1.7. Resumen de resultados**

| Parámetro geomorfológico              | Valor    |
|---------------------------------------|----------|
| Área (km <sup>2</sup> )               | 30.90    |
| Perímetro (km)                        | 31.05    |
| Coefficiente de compacidad            | 1.564    |
| Altitud media (msnm)                  | 3,267.00 |
| Pendiente de la cuenca (m/m)          | 0.203    |
| Coefficiente orográfico               | 0.35     |
| Número de orden                       | 4        |
| Longitud de la red hídrica (km)       | 40.23    |
| Relación de confluencias              | 1.88     |
| Longitud del máximo recorrido (km)    | 10.05 Km |
| Pendiente del cauce principal (m/m)   | 0.10     |
| Tiempo de concentración Temez (horas) | 2.67     |

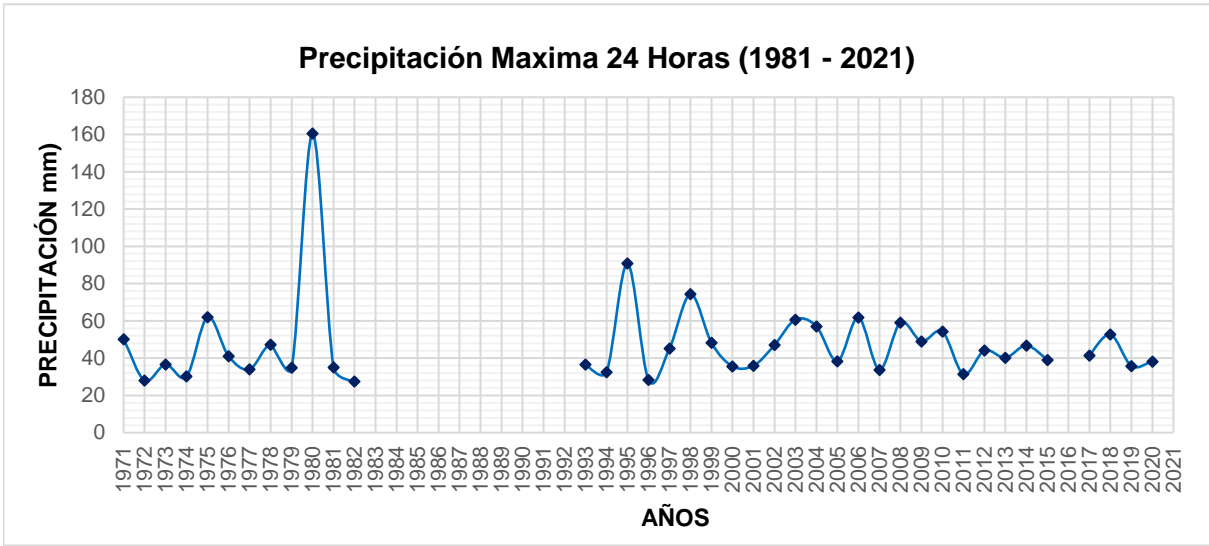
*Anexo D. Parámetros hidrológicos de la quebrada La Potrera*



## ANÁLISIS VISUAL (DATA PLUVIOMÉTRICA)

| Precipitación Maxima 24 Horas (1971 - 2021) |          |
|---|----------|
| AÑO   | PpMax24H |
| 1971  | 50.2     |
| 1972  | 28       |
| 1973  | 36.6     |
| 1974  | 30.2     |
| 1975  | 62       |
| 1976  | 41.0     |
| 1977  | 34.0     |
| 1978  | 47.2     |
| 1979  | 34.8     |
| 1980  | 160.5    |
| 1981  | 35.0     |
| 1982  | 27.5     |
| 1983  |          |
| 1984  |          |
| 1985  |          |
| 1986  |          |
| 1987  |          |
| 1988  |          |
| 1989  |          |
| 1990  |          |
| 1991  |          |
| 1992  |          |
| 1993  | 36.6     |
| 1994  | 32.5     |
| 1995  | 90.8     |
| 1996  | 28.3     |
| 1997  | 45.2     |
| 1998  | 74.3     |
| 1999  | 48.2     |
| 2000  | 35.6     |
| 2001  | 35.9     |
| 2002  | 47.0     |
| 2003  | 60.7     |
| 2004  | 57.0     |
| 2005  | 38.3     |
| 2006  | 61.8     |
| 2007  | 33.7     |
| 2008  | 59.1     |
| 2009  | 49.0     |
| 2010  | 54.2     |
| 2011  | 31.4     |

|      |      |
|------|------|
| 2012 | 44.1 |
| 2013 | 40.2 |
| 2014 | 46.8 |
| 2015 | 39.0 |
| 2016 |      |
| 2017 | 41.4 |
| 2018 | 52.7 |
| 2019 | 35.8 |
| 2020 | 38.2 |
| 2021 | 52.0 |



## ANÁLISIS ATÍPICOS

| Año  | Precipitación<br>Histórica máx 24h | Log  |
|------|------------------------------------|------|
| 1971 | 50.2                               | 1.70 |
| 1972 | 28                                 | 1.45 |
| 1973 | 36.6                               | 1.56 |
| 1974 | 30.2                               | 1.48 |
| 1975 | 62                                 | 1.79 |
| 1976 | 41                                 | 1.61 |
| 1977 | 34                                 | 1.53 |
| 1978 | 47.2                               | 1.67 |
| 1979 | 34.8                               | 1.54 |
| 1981 | 35                                 | 1.54 |
| 1982 | 27.5                               | 1.44 |
| 1993 | 36.6                               | 1.56 |
| 1994 | 32.5                               | 1.51 |
| 1996 | 28.3                               | 1.45 |
| 1997 | 45.2                               | 1.66 |
| 1998 | 74.3                               | 1.87 |
| 1999 | 48.2                               | 1.68 |
| 2000 | 35.6                               | 1.55 |
| 2001 | 35.9                               | 1.56 |
| 2002 | 47                                 | 1.67 |
| 2003 | 60.7                               | 1.78 |
| 2004 | 57                                 | 1.76 |
| 2005 | 38.3                               | 1.58 |
| 2006 | 61.8                               | 1.79 |
| 2007 | 33.7                               | 1.53 |
| 2008 | 59.1                               | 1.77 |
| 2009 | 49                                 | 1.69 |
| 2010 | 54.2                               | 1.73 |
| 2011 | 31.4                               | 1.50 |
| 2012 | 44.1                               | 1.64 |
| 2013 | 40.2                               | 1.60 |
| 2014 | 46.8                               | 1.67 |
| 2015 | 39                                 | 1.59 |
| 2017 | 41.4                               | 1.62 |
| 2018 | 52.7                               | 1.72 |
| 2019 | 35.8                               | 1.55 |
| 2020 | 38.2                               | 1.58 |
| 2021 | 52                                 | 1.72 |

|   |       |
|---|-------|
| Número de registros                             | 38    |
| Precipitación media                             | 43.30 |
| Precipitación máx                               | 74.30 |
| Precipitación mínima                            | 27.50 |
| Desviación estándar de la muestra               | 11.19 |
| Media de logaritmos de registros                | 1.62  |
| Desviación estándar de logaritmos de registros  | 0.11  |
| Coficiente al nivel de significación de 5% (Kn) | 2.66  |
| Logaritmo del límite superior                   | 1.91  |

Logaritmo de límite inferior

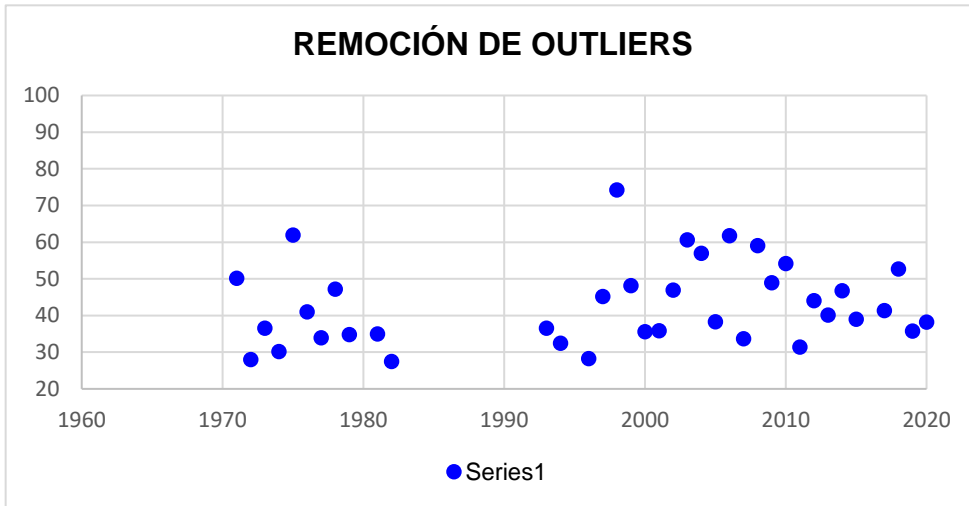
1.33

Límite superior

81.70

Límite inferior

21.573



$K_n$

$$= -3.62201 + 6.28446n^{1/4} - 2.49835n^{1/2} + 0.491436n^{3/4} - 0.037911n$$

$$y_H = \bar{y} + K_n * \sigma$$

$$y_L = \bar{y} - K_n * \sigma$$

## CORRECCIÓN DE PRECIPITACIÓN

### Precipitación máxima de 24 horas (mm)

Factor corrección :

1.13

| Año  | P Máx | P Máx corregida |
|------|-------|-----------------|
| 1971 | 50.2  | 56.7            |
| 1972 | 28    | 31.6            |
| 1973 | 36.6  | 41.4            |
| 1974 | 30.2  | 34.1            |
| 1975 | 62    | 70.1            |
| 1976 | 41    | 46.3            |
| 1977 | 34    | 38.4            |
| 1978 | 47.2  | 53.3            |
| 1979 | 34.8  | 39.3            |
| 1981 | 35    | 39.6            |
| 1982 | 27.5  | 31.1            |
| 1993 | 36.6  | 41.4            |
| 1994 | 32.5  | 36.7            |
| 1996 | 28.3  | 32.0            |
| 1997 | 45.2  | 51.1            |
| 1998 | 74.3  | 84.0            |
| 1999 | 48.2  | 54.5            |
| 2000 | 35.6  | 40.2            |
| 2001 | 35.9  | 40.6            |
| 2002 | 47    | 53.1            |
| 2003 | 60.7  | 68.6            |
| 2004 | 57    | 64.4            |
| 2005 | 38.3  | 43.3            |
| 2006 | 61.8  | 69.8            |
| 2007 | 33.7  | 38.1            |
| 2008 | 59.1  | 66.8            |
| 2009 | 49    | 55.4            |
| 2010 | 54.2  | 61.2            |
| 2011 | 31.4  | 35.5            |
| 2012 | 44.1  | 49.8            |
| 2013 | 40.2  | 45.4            |
| 2014 | 46.8  | 52.9            |
| 2015 | 39    | 44.1            |
| 2017 | 41.4  | 46.8            |
| 2018 | 52.7  | 59.6            |
| 2019 | 35.8  | 40.5            |
| 2020 | 38.2  | 43.2            |
| 2021 | 52    | 58.8            |

## TRANSPOSICIÓN DE PRECIPITACIÓN

### Precipitación máxima de 24 horas (mm)

Factor corrección :

1.34

| Año  | P Máx | P Máx corregida |
|------|-------|-----------------|
| 1971 | 56.7  | 76.0            |
| 1972 | 31.6  | 42.4            |
| 1973 | 41.4  | 55.4            |
| 1974 | 34.1  | 45.7            |
| 1975 | 70.1  | 93.9            |
| 1976 | 46.3  | 62.1            |
| 1977 | 38.4  | 51.5            |
| 1978 | 53.3  | 71.5            |
| 1979 | 39.3  | 52.7            |
| 1981 | 39.6  | 53.0            |
| 1982 | 31.1  | 41.6            |
| 1993 | 41.4  | 55.4            |
| 1994 | 36.7  | 49.2            |
| 1996 | 32.0  | 42.9            |
| 1997 | 51.1  | 68.4            |
| 1998 | 84.0  | 112.5           |
| 1999 | 54.5  | 73.0            |
| 2000 | 40.2  | 53.9            |
| 2001 | 40.6  | 54.4            |
| 2002 | 53.1  | 71.2            |
| 2003 | 68.6  | 91.9            |
| 2004 | 64.4  | 86.3            |
| 2005 | 43.3  | 58.0            |
| 2006 | 69.8  | 93.6            |
| 2007 | 38.1  | 51.0            |
| 2008 | 66.8  | 89.5            |
| 2009 | 55.4  | 74.2            |
| 2010 | 61.2  | 82.1            |
| 2011 | 35.5  | 47.5            |
| 2012 | 49.8  | 66.8            |
| 2013 | 45.4  | 60.9            |
| 2014 | 52.9  | 70.9            |
| 2015 | 44.1  | 59.1            |
| 2017 | 46.8  | 62.7            |
| 2018 | 59.6  | 79.8            |
| 2019 | 40.5  | 54.2            |
| 2020 | 43.2  | 57.8            |
| 2021 | 58.8  | 78.7            |

**Resultados de la prueba de Kolmogorov-Smirnov a un nivel de significancia de 5%**

**Estación: Chota**

| Distribución teórica de probabilidades | Estimación de parámetros       |                  |                       |                             |                  |                       |
|--|--------------------------------|------------------|-----------------------|-----------------------------|------------------|-----------------------|
|  | Metodo de máxima verosimilitud |                  |                       | Metodo de momentos lineales |                  |                       |
|  | $\Delta$ teorico               | $\Delta$ tabular | Se ajustan los datos? | $\Delta$ teorico            | $\Delta$ tabular | Se ajustan los datos? |
| Normal                                 | 0.1149                         | 0.2236           | SÍ                    | 0.1154                      | 0.2236           | SÍ                    |
| Log-Normal de 2 parámetros             | 0.0944                         | 0.2236           | SÍ                    | 0.0904                      | 0.2236           | SÍ                    |
| Log-Normal de 3 parámetros             | 0.0744                         | 0.2236           | SÍ                    |                             |                  |                       |
| Gamma (2 parámetros)                   | 0.1043                         | 0.2236           | SÍ                    | 0.1287                      | 0.2236           | SÍ                    |
| Gamma generalizado (3 parámetros)      | 0.08216                        | 0.2236           | SÍ                    | 0.06199                     | 0.2236           | SÍ                    |
| Log-Pearson tipo III                   | 0.0808                         | 0.2236           | SÍ                    | 0.06794                     | 0.2236           | SÍ                    |
| Gumbel                                 | 0.0856                         | 0.2236           | SÍ                    | 0.0752                      | 0.2236           | SÍ                    |
| Log-Gumbel                             | 0.0997                         | 0.2236           | SÍ                    | 0.0912                      | 0.2236           | SÍ                    |

**Distribución estadística, metodo de estimación y  $\Delta$  teórico de mejor**

| Código | Distribución teórica de mejor ajuste | Estimación de parámetros    | $\Delta$ teórico |
|--------|--------------------------------------|-----------------------------|------------------|
| 107028 | Gamma generalizado (3 parámetros)    | Metodo de momentos lineales | 0.06199          |

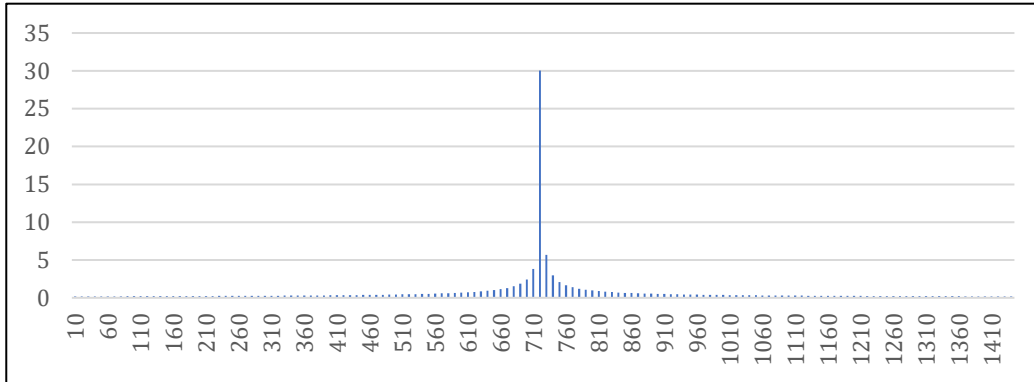
**Análisis de frecuencia a un nivel de confianza de 5%**

| Estación: Chota             |                              |                                       |
|-----------------------------|------------------------------|---------------------------------------|
| Periodo de retorno T (años) | Propabilidad de excedencia q | Precipitación correspondiente XT (mm) |
| 2.33                        | 0.429                        | 65.03                                 |
| 3.3                         | 0.303                        | 71.40                                 |
| 25                          | 0.040                        | 101.75                                |
| 50                          | 0.020                        | 110.98                                |
| 71                          | 0.014                        | 115.53                                |
| 100                         | 0.010                        | 119.90                                |
| 140                         | 0.007                        | 124.14                                |
| 175                         | 0.006                        | 126.92                                |
| 200                         | 0.005                        | 128.56                                |
| 500                         | 0.002                        | 139.65                                |
| 1000                        | 0.001                        | 147.74                                |

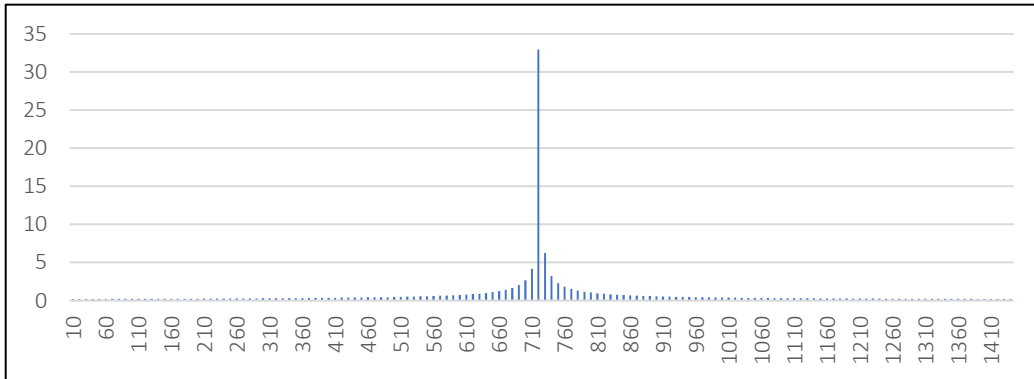
## HIETOGRAMAS

| Tr     | Prob. | P <sub>24h</sub> |
|--------|-------|------------------|
| (años) |       | (mm)             |
| 50     | 0.02  | 104.1            |
| 100    | 0.01  | 114.1            |
| 200    | 0.005 | 124              |
| 500    | 0.002 | 136.7            |

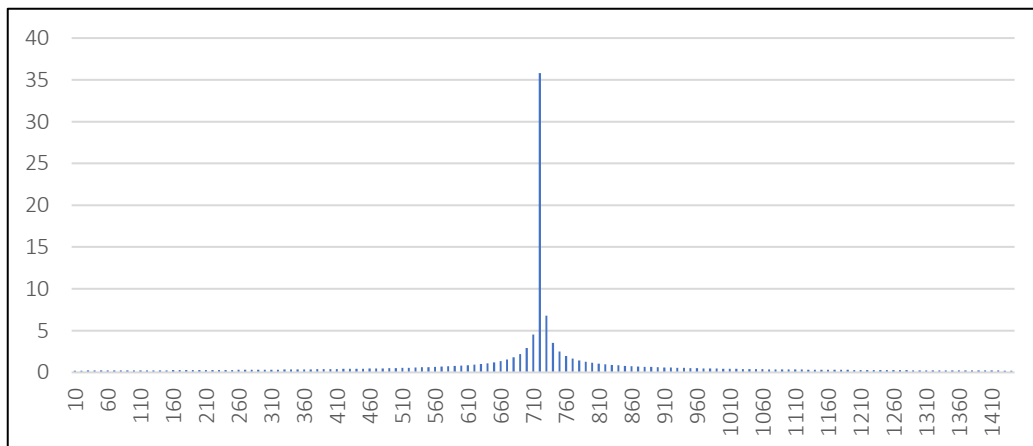
**HIETOGRAMA TR= 50 años**



**HIETOGRAMA TR= 100 años**

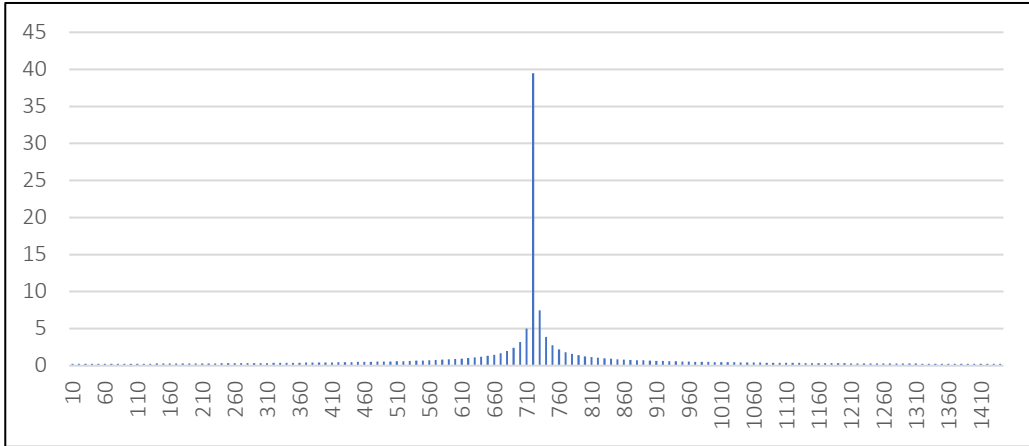


**HIETOGRAMA TR= 200 años**





### HIETOGRAMA TR= 500 años



*Anexo E. Estudio de mecánica de suelos in situ y ex situ*



GSE LABORATORIO, INGENIERIA Y CONSTRUCCION  
"LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS"

# CALICATA N°01 (PUENTE COLPAMAYO)

LABORATORIO  
INGENIERIA & CONSTRUCCION



LABORATORIO  
INGENIERIA & CONSTRUCCION SAC  
*Erlin Clavo Rimarachin*  
LABORATORISTA SUELOS CONCRETO Y ASFALTO



LABORATORIO  
INGENIERIA & CONSTRUCCION SAC  
*Geremias Rimarachin Rimarachin*  
GERENTE GENERAL



LABORATORIO  
INGENIERIA & CONSTRUCCION SAC  
*Henry D. Clavo Rimarachin*  
INGENIERO CIVIL  
No. GP N° 77267



GSE LABORATORIO, INGENIERIA Y CONSTRUCCION  
"LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS"

# ENSAYO DE CLASIFICACION

LABORATORIO  
INGENIERIA & CONSTRUCCION



LABORATORIO  
INGENIERIA & CONSTRUCCION SAC  
Erlin Clavo Rimarachin  
LABORATORISTA SUELOS CONCRETO Y ASFALTO



LABORATORIO  
INGENIERIA & CONSTRUCCION SAC  
Geremias Rimarachin  
GERENTE GENERAL



LABORATORIO  
INGENIERIA & CONSTRUCCION SAC  
HENRY DAVILA CLAVO RIMARACHIN  
INGENIERO CIVIL  
Reg. GIP N° 77263

# REGISTRO DE EXCAVACIÓN DE CALICATA

NORMA : ASTM - D 2488



TESIS : "FACTORES HIDRÁULICOS Y GEOMORFOLÓGICOS QUE INCIDEN EN LA SEDIMENTACIÓN Y SOCAVACIÓN LOCAL DEL PUENTE COLPAMAYO, QUEBRADA LA POTRERA, CHOTA, 2021"

UBICACIÓN: PUENTE COLPAMAYO

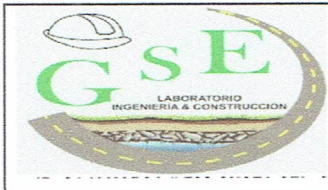
CALICATA N° 01

## PERFORACION AL TIPO CIELO ABIERTO

FECHA: 28/01/2022

| PROFUNDIDAD  | MUESTRA | CONT.HUM.<br>W(%) | LIMITES DE CONSISTENCIA |    |    | SIMBOLOGIA/<br>CLASIFICACION<br>SUCS | DESCRIPCION  |
|--|---------|-------------------|-------------------------|----|----|--------------------------------------|--|
|  |         |                   | LL                      | LP | IP |                                      |  |
| <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg); font-size: small; margin-right: 5px;">PROFUNDIDAD (m)</div> </div> |         |                   |                         |    |    |                                      | <p>Material organico de color marron oscuro, con alto contenido de humedad natural y plasticidad.</p>  |
|  |         | 34.60%            | 15.5%                   | NP | NP | <b>SM</b>                            | <p>Profundidad de 0.20 - 3.00m.<br/>Estrato clasificado en el Sistema "SUCS", como un suelo "SM", Arenas limosas mezcla de arena y limo, identificado en el sistema AASTHO, como A-2-4 (0), Arenas limosas de color plomo con manchas de color marron, con intermedio contenido de humedad y de características no cohesivas(no plastico).</p> |





LABORATORIO DE SUELOS CONCRETO Y PAVIMENTOS

TESIS : "FACTORES HIDRÁULICOS Y GEOMORFOLÓGICOS QUE INCIDEN EN LA SEDIMENTACIÓN Y SOCAVACIÓN LOCAL DEL PUENTE COLPAMAYO, QUEBRADA LA POTRERA, CHOTA, 2021"

**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO**  
(NORMA MTC E 107, ASTM D422, AASTHO T88)

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS CONCRETOS Y PAVIMENTOS

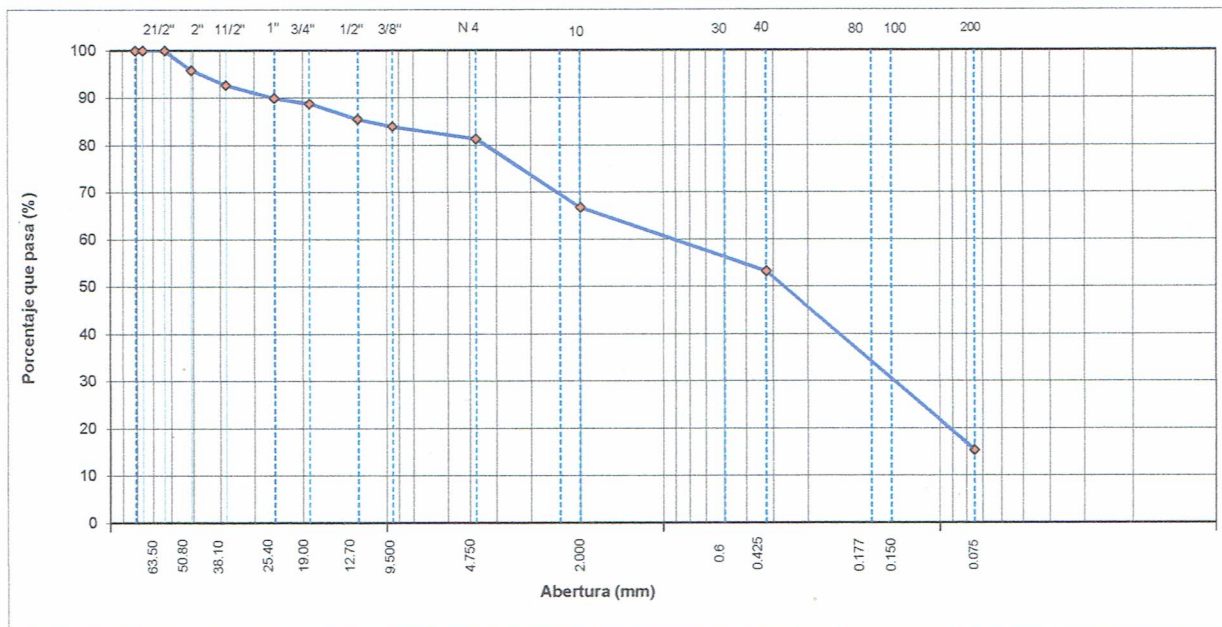
|               |                       |              |            |
|---------------|-----------------------|--------------|------------|
| UBICACIÓN :   | PUENTE COLPAMAYO      | HECHO POR :  | G.R.R      |
| SOLICITANTE : | ENNIN DELGADO IRIGOIN | ING. RESP. : | H.C.R      |
| ESTRATO :     | (0.00 - 3.00 m)       | FECHA :      | 28/01/2022 |

**DATOS DE LA MUESTRA**

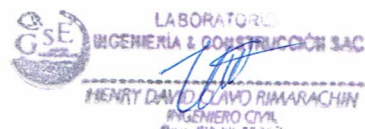
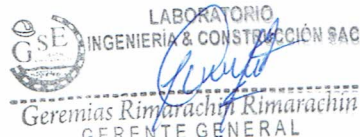
|            |                                   |                 |                 |
|------------|-----------------------------------|-----------------|-----------------|
| MATERIAL : | EXTRAIDO Y MUESTREADO DE CALICATA | TAMAÑO MÁXIMO : |                 |
| CALICATA : | C-1                               | PESO INICIAL :  | 20362.0 g       |
| MUESTRA :  | M - 1                             | FRACCIÓN SECA : | 850.0 g         |
|            |                                   | PROFUND. (M.) : | (0.00 - 3.00 m) |

| TAMIZ    | AASHTO T-27 (mm) | PESO RETENIDO | PORCENTAJE RETENIDO | RETENIDO ACUMULADO | PORCENTAJE QUE PASA | ESPECIFICACIONES A | DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA        |
|----------|------------------|---------------|---------------------|--------------------|---------------------|--------------------|----------------------------------|
| 3 1/2"   | 80.89            |               |                     |                    |                     |                    |                                  |
| 3"       | 76.200           |               |                     |                    |                     |                    |                                  |
| 2 1/2"   | 63.500           |               |                     |                    | 100.0               |                    | %Peso Material >4: 18.7%         |
| 2"       | 50.800           | 850.0         | 4.2                 | 4.2                | 95.8                |                    | % Peso Material <4 81.3%         |
| 1 1/2"   | 38.100           | 652.0         | 3.2                 | 7.4                | 92.6                |                    | Limite Líquido (LL) : 15.5       |
| 1"       | 25.400           | 541.0         | 2.7                 | 10.0               | 90.0                |                    | Limite Plástico (LP) : NP        |
| 3/4"     | 19.000           | 235.0         | 1.2                 | 11.2               | 88.8                |                    | Índice Plástico (IP) : NP        |
| 1/2"     | 12.700           | 652.0         | 3.2                 | 14.4               | 85.6                |                    | Clasificación(SUCS) : SM         |
| 3/8"     | 9.500            | 325.0         | 1.6                 | 16.0               | 84.0                |                    | Clasific.(AASHTO) : A-2-4 (0)    |
| Nº 4     | 4.750            | 546.0         | 2.7                 | 18.7               | 81.3                |                    |                                  |
| Nº 8     | 2.360            |               |                     |                    |                     |                    |                                  |
| Nº 10    | 2.000            | 152.0         | 14.5                | 33.2               | 66.8                |                    | Contenido de Humedad (%) : 34.59 |
| Nº 16    | 1.190            |               |                     |                    |                     |                    | Materia Orgánica :               |
| Nº 20    | 0.840            |               |                     |                    |                     |                    | Índice de Consistencia :         |
| Nº 30    | 0.600            |               |                     |                    |                     |                    | Índice de Liquidez :             |
| Nº 40    | 0.425            | 142.00        | 13.6                | 46.8               | 53.2                |                    | Descripción del (IC) :           |
| Nº 50    | 0.300            |               |                     |                    |                     |                    |                                  |
| Nº 80    | 0.177            |               |                     |                    |                     |                    |                                  |
| Nº 100   | 0.150            | 185.00        | 17.7                | 64.5               | 35.5                |                    | OBSERVACIONES :                  |
| Nº 200   | 0.075            | 210.00        | 20.1                | 84.6               | 15.4                |                    |                                  |
| < Nº 200 | FONDO            | 161.00        | 15.4                | 100.0              |                     |                    |                                  |

**CURVA GRANULOMÉTRICA**



Observaciones:





LABORATORIO DE SUELOS CONCRETO Y PAVIMENTOS

TESIS : "FACTORES HIDRÁULICOS Y GEOMORFOLÓGICOS QUE INCIDEN EN LA SEDIMENTACIÓN Y SOCAVACIÓN LOCAL DEL PUENTE COLPAMAYO, QUEBRADA LA POTRERA, CHOTA, 2021"

### CONTENIDO DE HUMEDAD DEL SUELO

(NORMA MTC E 108, ASTM D 2216)

| LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS CONCRETOS Y PAVIMENTOS |                         |            |              |
|--|-------------------------|------------|--------------|
| UBICACIÓN  | PUENTE COLPAMAYO        | HECHO POR  | : G.R.R      |
| SOLICITANTE  | : ENNIN DELGADO IRIGOIN | ING. RESP. | : H.C.R      |
| ESTRATO  | (0.00 - 3.00 m)         | FECHA      | : 28-ene.-22 |

| DATOS DE LA MUESTRA |                                     |            |                   |
|---------------------|-------------------------------------|------------|-------------------|
| MATERIAL            | : EXTRAIDO Y MUESTREADO DE CALICATA | CALICATA   | : C-1             |
| CALICATA            | : C-1                               | MUESTRA    | : M-1             |
|                     |                                     | PROF. (M.) | : (0.00 - 3.00 m) |


| MUESTRA                         | 1      | 2     | 3     |
|---------------------------------|--------|-------|-------|
| SUELO HUMEDO + CAPSULA          | 1000.0 | 850.0 | 960.0 |
| PESO SUELO SECO + CAPSULA (gr.) | 743.0  | 631.6 | 712.9 |
| PESO DE CAPSULA (gr.)           | 0.0    | 0.0   | 0.0   |
| PESO DEL AGUA                   | 257.0  | 218.4 | 247.1 |
| PESO DE SUELO SECO              | 743.0  | 631.6 | 712.9 |
| CONTENIDO DE HUMEDAD %          | 34.59  | 34.58 | 34.66 |

**PROMEDIO % DE HUMEDAD :** 34.6

**Observaciones:** LAS MUESTRAS FUERON TOMADAS POR EL SOLICITANTE, EL LABORATORIO SOLO SE LIMITO A REALIZAR EL ENSAYO.


**LABORATORIO**  
**INGENIERÍA & CONSTRUCCIÓN SAC**  
*Erlin Clavo Rimarachin*  
 LABORATORISTA SUELOS CONCRETO Y ASFALTO


**LABORATORIO**  
**INGENIERÍA & CONSTRUCCIÓN SAC**  
*Geremias Rimarachin Rimarachin*  
 GERENTE GENERAL


**LABORATORIO**  
**INGENIERÍA & CONSTRUCCIÓN SAC**  
*HENRY DAVID CLAVO RIMARACHIN*  
 INGENIERO CIVIL  
 Reg. CIP N° 77267



**TESIS: "FACTORES HIDRÁULICOS Y GEOMORFOLÓGICOS QUE INCIDEN EN LA SEDIMENTACIÓN Y SOCAVACIÓN LOCAL DEL PUENTE COLPAMAYO, QUEBRADA LA POTRERA, CHOTA, 2021"**

**ENSAYOS DE CONTENIDO DE HUMEDAD**



LABORATORIO INGENIERIA & CONSTRUCCION SAC  
 Erlin Clavo Rimarachin  
 LABORATORIO DE SUELOS CONCRETO Y PAVIMENTO

LABORATORIO INGENIERIA & CONSTRUCCION SAC  
 Geremias Rimarachin Rimarachin  
 GERENTE GENERAL

LABORATORIO INGENIERIA & CONSTRUCCION SAC  
 HENRY DAVID CLAVO RIMARACHIN  
 INGENIERO CIVIL  
 Reg. CIP N° 77262

**DIRECCIÓN: Jr. ANAXIMANDRO VEGA N° 865 – 1ER. PISO.  
 TELF.: 930866995 – 939225167 – CHOTA – CAJAMARCA  
 RUC: 20605442235 EMAIL: [gselaboratorio2019@gmail.com](mailto:gselaboratorio2019@gmail.com)**





LABORATORIO DE SUELOS CONCRETO Y PAVIMENTOS

TESIS : "FACTORES HIDRÁULICOS Y GEOMORFOLÓGICOS QUE INCIDEN EN LA SEDIMENTACIÓN Y SOCACCIÓN LOCAL DEL PUENTE COLPAMAYO, QUEBRADA LA POTRERA, CHOTA, 2021"

### LIMITES DE CONSISTENCIA

(NORMA MTC E 110, ASTM D4318, AASHTO T89; MTC E 111, ASTM D4318, AASHTO T90)

#### LABORATORIO MECANICA DE SUELOS CONCRETOS Y PAVIMENTOS

|               |                       |            |              |
|---------------|-----------------------|------------|--------------|
| UBICACIÓN     | PUENTE COLPAMAYO      | HECHO POR  | : G.R.R      |
| SOLICITANTE : | ENNIN DELGADO IRIGOIN | ING. RESP. | : H.C.R      |
| ESTRATO       | (0.00 - 3.00 m)       | FECHA      | : 28-ene.-22 |

#### DATOS DE LA MUESTRA

|            |                                   |             |                   |
|------------|-----------------------------------|-------------|-------------------|
| MATERIAL : | EXTRAIDO Y MUESTREADO DE CALICATA | CALICATA    | : C-1             |
| CALICATA   | : C-1                             | MUESTRA     | : M-1             |
|            |                                   | PROFUNDIDAD | : (0.00 - 3.00 m) |

#### LIMITE LIQUIDO

| N° TARRO                  |     | 1     | 2     | 3     |       |
|---------------------------|-----|-------|-------|-------|-------|
| PESO TARRO + SUELO HUMEDO | (g) | 48.83 | 49.00 | 49.40 |       |
| PESO TARRO + SUELO SECO   | (g) | 45.60 | 45.20 | 45.30 |       |
| PESO DE AGUA              | (g) | 3.23  | 3.80  | 4.10  |       |
| PESO DEL TARRO            | (g) | 21.52 | 21.30 | 21.60 |       |
| PESO DEL SUELO SECO       | (g) | 24.08 | 23.90 | 23.70 |       |
| CONTENIDO DE HUMEDAD      | (%) | 13.41 | 15.90 | 17.30 | 15.54 |
| NUMERO DE GOLPES          |     | 36    | 24    | 18    | 26.00 |

#### LIMITE PLASTICO

| N° TARRO                  |     |  |  |  |
|---------------------------|-----|--|--|--|
| PESO TARRO + SUELO HUMEDO | (g) |  |  |  |
| PESO TARRO + SUELO SECO   | (g) |  |  |  |
| PESO DE AGUA              | (g) |  |  |  |
| PESO DEL TARRO            | (g) |  |  |  |
| PESO DEL SUELO SECO       | (g) |  |  |  |
| CONTENIDO DE DE HUMEDAD   | (%) |  |  |  |

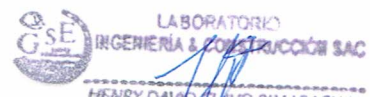
#### CONTENIDO DE HUMEDAD A 25 GOLPES



#### CONSTANTES FISICAS DE LA MUESTRA

|                       |      |
|-----------------------|------|
| LIMITE LIQUIDO        | 15.5 |
| LIMITE PLASTICO       | NP   |
| INDICE DE PLASTICIDAD | NP   |

#### Observaciones:







GSE LABORATORIO, INGENIERIA Y CONSTRUCCION  
"LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS"

# ENSAYO DE CORTE DIRECTO

LABORATORIO  
INGENIERIA & CONSTRUCCION

 LABORATORIO  
INGENIERIA & CONSTRUCCION SAC  
Erin Clavo Rimarachin  
LABORATORISTA SUELOS CONCRETO Y ASFALTO

 LABORATORIO  
INGENIERIA & CONSTRUCCION SAC  
Geremias Rimarachin Rimarachin  
GERENTE GENERAL

 LABORATORIO  
INGENIERIA & CONSTRUCCION SAC  
HENRY DAVID CLAVO RIMARACHIN  
INGENIERO CIVIL  
Reg. CIP N° 77207

DIRECCIÓN: Jr. CAJAMARCA N° 792 – 1ER. PISO.  
TELF.: 930866995 – 939225167 – CHOTA – CAJAMARCA





|   |                |            |
|---|----------------|------------|
| <b>FORMATO</b><br><br><b>ENSAYO DE CORTE DIRECTO EN SUELOS<br/>ASTM D3080</b> | <b>Código</b>  | AE-FO-020  |
|   | <b>Versión</b> | 01         |
|   | <b>Fecha</b>   | 07-05-2018 |
|   | <b>Página</b>  | 2 de 2     |


|                              |  |                         |            |
|------------------------------|--|-------------------------|------------|
| <b>TESIS</b>                 | : "FACTORES HIDRÁULICOS Y GEOMORFOLÓGICOS QUE INCIDEN EN LA SEDIMENTACIÓN Y SOCAVACIÓN LOCAL DEL PUENTE COLPAMAYO, QUEBRADA LA POTRERA, CHOTA, 2021" | <b>Registro N°:</b>     | -          |
| <b>Solicitante</b>           | : ENNIN DELGADO IRIGOÍN  | <b>Muestreado por :</b> | -          |
| <b>Atención</b>              | : -  | <b>Ensayado por :</b>   | G.R.R      |
| <b>Ubicación de Proyecto</b> | : PUENTE COLPAMAYO   | <b>Fecha de Ensayo:</b> | 28/01/2022 |
| <b>Material</b>              | : ARENA LIMOSA   | <b>Turno:</b>           | DIA        |
| <b>Código de Muestra</b>     | : -  | <b>Profundidad:</b>     | 3.00 m     |
| <b>Sondaje / Calicata</b>    | : 01   | <b>Norte:</b>           |            |
| <b>N° de Muestra</b>         | : M-1  | <b>Este:</b>            |            |
| <b>Progresiva</b>            | : -  | <b>Cota:</b>            | -          |

| DATOS DEL ESPECIMEN         | I     | II    | III   |
|-----------------------------|-------|-------|-------|
| Altura de la muestra (mm)   | 23.86 | 23.84 | 24.80 |
| Diámetro (mm)               | 60.60 | 60.60 | 60.60 |
| Area inicial (cm2)          | 28.84 | 28.84 | 28.84 |
| Volumen de la muestra (cm3) | 68.82 | 68.76 | 71.53 |

| DATOS DEL ESPECIMEN                             | I      | II     | III    |
|---|--------|--------|--------|
| Peso humedo de la muestra + Peso del anillo (g) | 214.50 | 214.10 | 214.70 |
| Peso del anillo (g)                             | 84.5   | 84.5   | 84.5   |
| Peso de la muestra humeda (g)                   | 130.00 | 129.6  | 130.2  |
| Peso de la muestra seca (g)                     | 96.30  | 94.80  | 94.10  |
| Contenido de humedad (%)                        | 34.99  | 36.71  | 38.36  |
| Densidad húmeda (g/cm3)                         | 1.889  | 1.883  | 1.892  |
| Densidad seca (g/cm3)                           | 1.399  | 1.378  | 1.367  |

| Realizado por:               | ESPECIMEN 1                 |                           | ESPECIMEN 2             |                           | ESPECIMEN 3             |                           |             |
|------------------------------|-----------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------|
|                              | <i>Altura Inicial:</i>      | 23.9 mm                   | 23.9 mm                 | 23.9 mm                   | 23.9 mm                 | 23.9 mm                   | 23.9 mm     |
| <i>Diámetro de muestra :</i> | 60.6 mm                     | 60.6 mm                   | 60.6 mm                 | 60.6 mm                   | 60.6 mm                 | 60.6 mm                   |             |
| <i>Area Inicial:</i>         | 28.8 cm <sup>2</sup>        | 28.8 cm <sup>2</sup>      | 28.8 cm <sup>2</sup>    | 28.8 cm <sup>2</sup>      | 28.8 cm <sup>2</sup>    | 28.8 cm <sup>2</sup>      |             |
| <i>Densidad Seca:</i>        | 1.399 g/cm <sup>3</sup>     | 1.378 g/cm <sup>3</sup>   | 1.378 g/cm <sup>3</sup> | 1.367 g/cm <sup>3</sup>   | 1.367 g/cm <sup>3</sup> | 1.367 g/cm <sup>3</sup>   |             |
| <i>Humedad:</i>              | 35.0 %                      | 36.7 %                    | 36.7 %                  | 38.4 %                    | 38.4 %                  | 38.4 %                    |             |
| <i>Peso Normal :</i>         | 1.452 kg                    | 2.910 kg                  | 2.910 kg                | 4.355 kg                  | 4.355 kg                | 4.355 kg                  |             |
| <i>Esfuerzo Normal :</i>     | 0.50 kg/cm <sup>2</sup>     | 1.01 kg/cm <sup>2</sup>   | 1.01 kg/cm <sup>2</sup> | 1.51 kg/cm <sup>2</sup>   | 1.51 kg/cm <sup>2</sup> | 1.51 kg/cm <sup>2</sup>   |             |
| Procesado por:               | Deformación horizontal (mm) | Deformación vertical (mm) | Carga (kgf)             | Deformación vertical (mm) | Carga (kgf)             | Deformación vertical (mm) | Carga (kgf) |
|                              | 0.00                        |                           | 0.00                    |                           | 0.00                    |                           | 0.00        |
|                              | 0.25                        |                           | 1.25                    |                           | 2.65                    |                           | 5.73        |
|                              | 0.50                        |                           | 2.35                    |                           | 3.85                    |                           | 8.98        |
|                              | 0.75                        |                           | 2.96                    |                           | 4.26                    |                           | 10.83       |
|                              | 1.00                        |                           | 3.25                    |                           | 4.65                    |                           | 12.47       |
|                              | 1.50                        |                           | 3.65                    |                           | 5.85                    |                           | 14.00       |
|                              | 2.00                        |                           | 4.20                    |                           | 6.52                    |                           | 15.00       |
|                              | 2.50                        |                           | 4.52                    |                           | 6.96                    |                           | 16.00       |
|                              | 3.00                        |                           | 4.96                    |                           | 7.25                    |                           | 17.00       |
|                              | 3.50                        |                           | 5.32                    |                           | 8.95                    |                           | 18.65       |
|                              | 4.00                        |                           | 5.65                    |                           | 9.65                    |                           | 19.00       |
|                              | 4.50                        |                           | 5.85                    |                           | 9.74                    |                           | 20.32       |
|                              | 5.00                        |                           | 6.32                    |                           | 10.85                   |                           | 21.30       |
|                              | 5.50                        |                           | 6.45                    |                           | 11.25                   |                           | 21.65       |
|                              | 6.00                        |                           | 7.54                    |                           | 12.36                   |                           | 22.50       |
|                              | 6.50                        |                           | 7.85                    |                           | 12.85                   |                           | 22.96       |
|                              | 7.00                        |                           | 8.65                    |                           | 13.20                   |                           | 23.10       |
|                              | 7.50                        |                           | 8.59                    |                           | 13.65                   |                           | 23.40       |
|                              | 8.00                        |                           | 8.96                    |                           | 14.25                   |                           | 23.60       |
|                              | 8.50                        |                           | 9.20                    |                           | 15.62                   |                           | 23.80       |
|                              | 9.00                        |                           | 9.65                    |                           | 15.96                   |                           | 24.00       |
|                              | 9.50                        |                           | 9.89                    |                           | 16.52                   |                           | 24.50       |
|                              | 10.00                       |                           | 10.00                   |                           | 17.00                   |                           | 24.90       |

OBSERVACIONES: Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de la Gerencia Técnica de GSE LABORATORIO INGENIERIA & CONSTRUCCION

|  |   |         |            |
|--|---|---------|------------|
|  | <b>INFORME</b>  | Código  | AE-FO-020  |
|  | <b>ENSAYO DE CORTE DIRECTO EN SUELOS<br/>ASTM D3080</b> | Versión | 01         |
|  |   | Fecha   | 07-05-2018 |
|  |   | Página  | 1 de 2     |

**TESIS** : "FACTORES HIDRÁULICOS Y GEOMORFOLÓGICOS QUE INCIDEN EN LA SEDIMENTACIÓN Y SOCAVACIÓN LOCAL DEL PUENTE COLPAMAYO, QUEBRADA LA POTRERA, CHOTA, 2021" Registro N°: -

Solicitante : ENNIN DELGADO IRIGOÍN Muestreado por : -  
 Atención : - Ensayado por : G.R.R  
 Ubicación de Proyecto : PUENTE COLPAMAYO Fecha de Ensayo: 28/01/2022  
 Material : ARENA LIMOSA Turno: DIA

Código de Muestra : - Profundidad: 3.00 m  
 Sondaje / Calicata : 01 Norte:  
 N° de Muestra : M-1 Este:  
 Progresiva : - Cota: -

| ESPECIMEN 1     |       |                    | ESPECIMEN 2     |       |                    | ESPECIMEN 3     |       |                    |
|-----------------|-------|--------------------|-----------------|-------|--------------------|-----------------|-------|--------------------|
| Altura Inicial: | 23.9  | mm                 | Altura Inicial: | 23.9  | mm                 | Altura Inicial: | 23.9  | mm                 |
| Lado de caja :  | 60.6  | mm                 | Lado de caja :  | 60.6  | mm                 | Lado de caja :  | 60.6  | mm                 |
| Area Inicial:   | 28.8  | cm <sup>2</sup>    | Area Inicial:   | 28.8  | cm <sup>2</sup>    | Area Inicial:   | 28.8  | cm <sup>2</sup>    |
| Densidad Seca:  | 1.399 | gr/cm <sup>3</sup> | Densidad Seca:  | 1.399 | gr/cm <sup>3</sup> | Densidad Seca:  | 1.367 | gr/cm <sup>3</sup> |
| Humedad Inic:   | 35.0  | %                  | Humedad Inic:   | 35.0  | %                  | Humedad Inic:   | 38.4  | %                  |
| Esf. Normal :   | 0.50  | kg/cm <sup>2</sup> | Esf. Normal :   | 1.01  | kg/cm <sup>2</sup> | Esf. Normal :   | 1.51  | kg/cm <sup>2</sup> |
| Esf. Corte:     | 0.35  | kg/cm <sup>2</sup> | Esf. Corte:     | 0.59  | kg/cm <sup>2</sup> | Esf. Corte:     | 0.86  | kg/cm <sup>2</sup> |

| Deformacion horizontal (%) | Esfuerzo de Corte (kg/cm <sup>2</sup> ) | Esfuerzo Normalizado (τ/σ) | Deformacion horizontal (%) | Esfuerzo de Corte (kg/cm <sup>2</sup> ) | Esfuerzo Normalizado (τ/σ) | Deformacion horizontal (%) | Esfuerzo de Corte (kg/cm <sup>2</sup> ) | Esfuerzo Normalizado (τ/σ) |
|----------------------------|---|----------------------------|----------------------------|---|----------------------------|----------------------------|---|----------------------------|
| 0.00                       | 0.00                                    | 0.00                       | 0.00                       | 0.00                                    | 0.00                       | 0.00                       | 0.00                                    | 0.00                       |
| 0.41                       | 0.04                                    | 0.11                       | 0.41                       | 0.09                                    | 0.12                       | 0.41                       | 0.20                                    | 0.17                       |
| 0.83                       | 0.08                                    | 0.20                       | 0.83                       | 0.13                                    | 0.17                       | 0.83                       | 0.31                                    | 0.26                       |
| 1.24                       | 0.10                                    | 0.26                       | 1.24                       | 0.15                                    | 0.18                       | 1.24                       | 0.36                                    | 0.31                       |
| 1.65                       | 0.11                                    | 0.28                       | 1.65                       | 0.16                                    | 0.20                       | 1.65                       | 0.43                                    | 0.36                       |
| 2.48                       | 0.13                                    | 0.31                       | 2.48                       | 0.20                                    | 0.25                       | 2.48                       | 0.49                                    | 0.40                       |
| 3.30                       | 0.15                                    | 0.36                       | 3.30                       | 0.23                                    | 0.28                       | 3.30                       | 0.52                                    | 0.42                       |
| 4.13                       | 0.16                                    | 0.38                       | 4.13                       | 0.24                                    | 0.29                       | 4.13                       | 0.55                                    | 0.45                       |
| 4.95                       | 0.17                                    | 0.41                       | 4.95                       | 0.25                                    | 0.30                       | 4.95                       | 0.59                                    | 0.47                       |
| 5.78                       | 0.18                                    | 0.44                       | 5.78                       | 0.31                                    | 0.37                       | 5.78                       | 0.65                                    | 0.51                       |
| 6.60                       | 0.20                                    | 0.46                       | 6.60                       | 0.33                                    | 0.39                       | 6.60                       | 0.66                                    | 0.52                       |
| 7.43                       | 0.20                                    | 0.47                       | 7.43                       | 0.34                                    | 0.39                       | 7.43                       | 0.70                                    | 0.55                       |
| 8.25                       | 0.22                                    | 0.51                       | 8.25                       | 0.38                                    | 0.44                       | 8.25                       | 0.74                                    | 0.57                       |
| 9.08                       | 0.22                                    | 0.51                       | 9.08                       | 0.39                                    | 0.45                       | 9.08                       | 0.75                                    | 0.58                       |
| 9.90                       | 0.26                                    | 0.60                       | 9.90                       | 0.43                                    | 0.49                       | 9.90                       | 0.78                                    | 0.59                       |
| 10.73                      | 0.27                                    | 0.61                       | 10.73                      | 0.45                                    | 0.50                       | 10.73                      | 0.80                                    | 0.60                       |
| 11.55                      | 0.30                                    | 0.67                       | 11.55                      | 0.46                                    | 0.51                       | 11.55                      | 0.80                                    | 0.60                       |
| 12.38                      | 0.30                                    | 0.66                       | 12.38                      | 0.47                                    | 0.52                       | 12.38                      | 0.81                                    | 0.60                       |
| 13.20                      | 0.31                                    | 0.68                       | 13.20                      | 0.49                                    | 0.54                       | 13.20                      | 0.82                                    | 0.60                       |
| 14.03                      | 0.32                                    | 0.69                       | 14.03                      | 0.54                                    | 0.59                       | 14.03                      | 0.83                                    | 0.60                       |
| 14.85                      | 0.33                                    | 0.72                       | 14.85                      | 0.55                                    | 0.59                       | 14.85                      | 0.83                                    | 0.60                       |
| 15.68                      | 0.34                                    | 0.73                       | 15.68                      | 0.57                                    | 0.61                       | 15.68                      | 0.85                                    | 0.60                       |
| 16.50                      | 0.35                                    | 0.73                       | 16.50                      | 0.59                                    | 0.62                       | 16.50                      | 0.86                                    | 0.61                       |

OBSERVACIONES:

INGEOCONTROL SAC

| TECNICO LEM  | JEFE LEM   | CQC - LEM   |
|--|--|---|
| Nombre y firma:<br><br><b>Erlin Clavo Rimarachin</b><br>LABORATORISTA SUELOS CONCRETO Y ASFALTO | Nombre y firma:<br><br><b>Geremias Rimarachin Rimarachin</b><br>GERENTE GENERAL | Nombre y firma:<br><br><b>HENRY DAVID CLAVO RIMARACHIN</b><br>INGENIERO CIVIL<br>Reg. CIP N° 77263 |

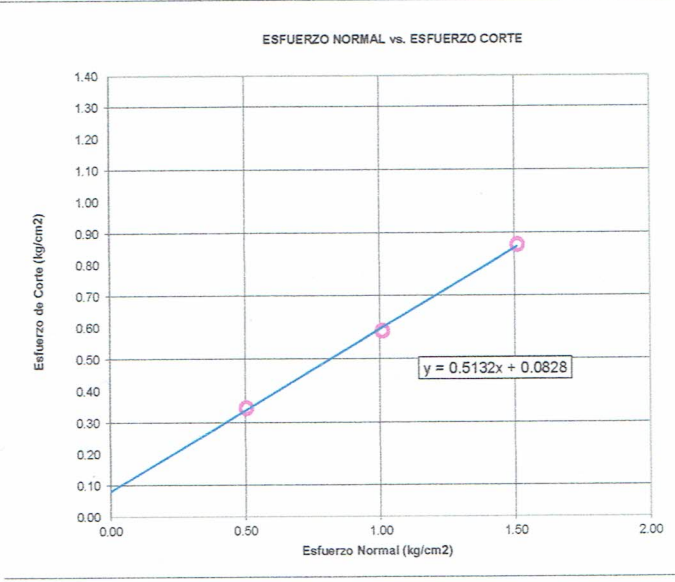
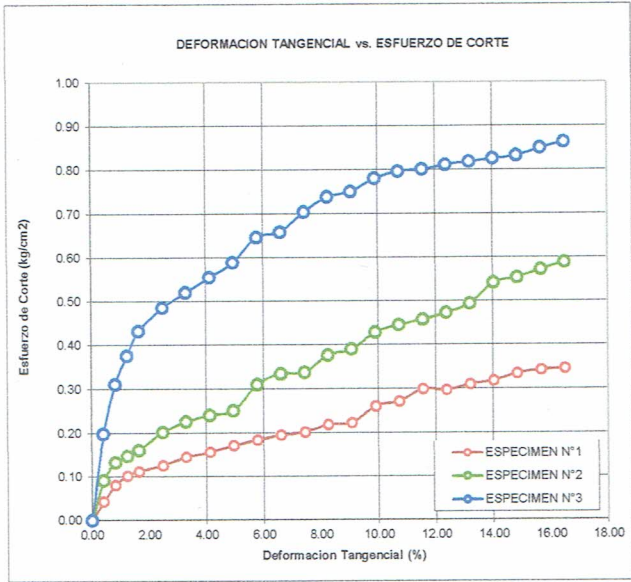


|  |   |         |            |
|--|---|---------|------------|
|  | <b>INFORME</b>  | Código  | AE-FO-020  |
|  | <b>ENSAYO DE CORTE DIRECTO EN SUELOS<br/>ASTM D3080</b> | Versión | 01         |
|  |   | Fecha   | 07-05-2018 |
|  |   | Página  | 2 de 2     |

|                       |  |                  |            |
|-----------------------|--|------------------|------------|
| Proyecto              | : "FACTORES HIDRÁULICOS Y GEOMORFOLÓGICOS QUE INCIDEN EN LA SEDIMENTACIÓN Y SOCACACIÓN LOCAL DEL PUENTE COLPAMAYO, QUEBRADA LA POTRERA, CHOTA, 2021" | Registro N°:     | -          |
| Solicitante           | : ENNIN DELGADO IRIGOÍN  | Muestreado por : | -          |
| Atención              | : -  | Ensayado por :   | G.R.R      |
| Ubicación de Proyecto | : PUENTE COLPAMAYO   | Fecha de Ensayo: | 28/01/2022 |
| Material              | : ARENA LIMOSA   | Turno:           | DIA        |
| Código de Muestra     | : -  | Profundidad:     | 3.00 m     |
| Sondaje / Calicata    | : 01   | Norte:           | -          |
| N° de Muestra         | : M-1  | Este:            | -          |
| Progresiva            | : -  | Cota:            | -          |

**ENSAYO DE CORTE DIRECTO BAJO CONDICIONES CONSOLIDADAS DRENADAS  
ASTM D3080**

VELOCIDAD DE CORTE 0.5 mm/min



**Resultados:**  
 Cohesión  $c$  : 0.08 kg/cm<sup>2</sup>  
 Angulo de fricción  $\phi$  : 27.2°

OBSERVACIONES:

|   |  |   |
|---|--|---|
| <b>INGEOCONTROL SAC</b>   |  |   |
| TECNICO LEM   | JEFE LEM   | CQC - LEM   |
| Nombre y firma:<br><br><b>LABORATORIO INGENIERIA &amp; CONSTRUCCION SAC</b><br>Erlin Clavo Rimarachin<br>LABORATORISTA SUELOS CONCRETO Y ASFALTO | Nombre y firma:<br><br><b>LABORATORIO INGENIERIA &amp; CONSTRUCCION SAC</b><br>Geremias Rimarachin<br>GERENTE GENERAL | Nombre y firma:<br><br><b>LABORATORIO INGENIERIA &amp; CONSTRUCCION SAC</b><br>HENRY DAVO CLAVO RIMARACHIN<br>INGENIERO CIVIL<br>Reg. CIP N° 77203 |



ENSAYO DE LABORATORIO SUELOS CONCRETO Y PAVIMENTOS

GSE LABORATORIO INGENIERIA Y CONSTRUCCIÓN SAC  
 RUC: 20605442235  
 DIRECCION: JR. CAJAMARCA #792 CHOTA - CAJAMARCA  
 CORREO: gselaboratorio2019@gmail.com, CEL. 930866995

(Norma NTP 339.171)

|             |  |                                   |
|-------------|--|-----------------------------------|
| TESIS       | : "FACTORES HIDRÁULICOS Y GEOMORFOLÓGICOS QUE INCIDEN EN LA SEDIMENTACIÓN Y SOCAVACIÓN LOCAL DEL PUENTE COLPAMAYO, QUEBRADA LA POTRERA, CHOTA, 2021" |                                   |
| UBICACIÓN   | : PUENTE COLPAMAYO   |                                   |
| EXPLORACION | : 01   |                                   |
| MUESTRA     | : M-1  |                                   |
| PROFUNDIDAD | : 3.00   | RESP. DE LAB : S.G. N. DE LA CRUZ |
| SOLICITANTE | : ENNIN DELGADO IRIGOÍN  | FECHA : 18/01/2022                |
|             |  | ESTADO : REMOLDEADA               |

|  |   |       |                                |   |        |
|--|---|-------|--------------------------------|---|--------|
| Densidad Húmeda gr/cm <sup>3</sup>     | = | 1.89  | Profundidad de Cimentacion, Df | = | 1.50 m |
| Cohesion del Suelo ,kg/cm <sup>2</sup> | = | 0.08  | Ancho de Cimentacion, B, m     | = | 1.50 m |
| Angulo de Friccion, f, °               | = | 27.17 |                                |   |        |

SEGÚN FORMULA DE CAPACIDAD DE CARGA DE TERZAGHI (1943)

Formulas de capacidad de Carga

|                      | Para falla General                  | Para falla Local                                  |
|----------------------|-------------------------------------|---|
| Cimentacion corrida  | $q_u = c'N_c + gDN_q + 0.5gBN_g$    | $q_u = 2/3 c'N'_c + gDN'_q + 0.5gBN'_g$           |
| Cimentacion cuadrada | $q_u = 1.3c'N_c + gDN_q + 0.4gBN_g$ | $q_u = 2/3 \times 1.3c'N'_c + gDN'_q + 0.4gBN'_g$ |
| Cimentacion circular | $q_u = 1.3c'N_c + gDN_q + 0.3gBN_g$ | $q_u = 2/3 \times 1.3c'N'_c + gDN'_q + 0.3gBN'_g$ |

|                                |                     |       |   |
|--------------------------------|---------------------|-------|---|
| Factores de Capacidad de Carga | Factor de Seguridad | =     | 3 |
|                                | General             | Local |   |
| Nc =                           | 29.63               | 16.44 |   |
| Nq =                           | 16.21               | 6.63  |   |
| Ng =                           | 12.81               | 3.76  |   |

Capacidad de Carga

|                      | Falla Local (kg/cm <sup>2</sup> ) |                  |
|----------------------|-----------------------------------|------------------|
|                      | q <sub>u</sub>                    | q <sub>adm</sub> |
| Cimentacion corrida  | 3.01                              | 1.00             |
| Cimentacion cuadrada | 3.09                              | 1.03             |

Observaciones

*Anexo F. Certificados de calibración*

**Certificado de calibración de la estación total**



# MAC IMPEX SAC

Chiclayo, 03 de marzo del 2021

**CERTIFICADO DE CALIBRACION N° 21-00049**

## DATOS DEL EQUIPO

|        |                |                        |                            |
|--------|----------------|------------------------|----------------------------|
| Nombre | ESTACION TOTAL | Precision Angular      | 3" 1 mgon                  |
| Marca  | LEICA          | Resolucion en pantalla | 0.1" / 0.1 mgon / 0.01 mil |
| Modelo | TS06 PLUS 3"   | Precision de distancia | ± (2mm + 2ppm x D) mse     |
| Serie  | 1367684        | Alcance                | 3500 m.c/01 prisma         |
|        |                | Rango de enfoque       | 1.70 m a infinito          |

## METODOLOGIA APLICADA Y TRAZABILIDAD DE LOS PATRONES

Para controlar y calibrar los ángulos se contrastan con un colimador TOPCON con telescopio de 32x en cuyo retículo enfocado al infinito, el grosor de sus trazos está dentro de 01"; que es patronado periódicamente por un teodolito KERN modelo DKM 2A precisión al 01" con el método de lectura Directa-Inversa

Para controlar y calibrar la constante promedio en las Distancias se hacen las mediciones en una base establecida con una Estación Total Marca TOPCON modelo GPT-3002W nueva de precisión en distancia de +/- (2mm + 2 ppm x D) m.s.e. = línea de la medida. El control angular se ejecuta en la base soporte metálica fijada en cimiento específico a influencias del clima y enfocados los retículos al infinito.

Las distancias son medidas con la Estación total instalada en una base fijada en la pared y el prisma estacionado sobre un trípode KERN de bastón centrador en cada punto de control establecido, tomando en consideración la temperatura y la presión atmosférica.

| MEDICIONES DE PATRON                                 | MEDICIONES ANGULARES   | DIF. |
|--|------------------------|------|
| ANG. HZ: 00°00'00" / 180°00'00"                      | 00°00'00" / 180°00'00" | 00"  |
| ANG. V: 90°00'00" / 270°00'00"                       | 90°00'00" / 270°00'00" | 00"  |
| INCERTIDUMBRE : ANGULARES +/- 03" Distancias +/-03mm |                        |      |

## NORMA APLICADA

Desviación estándar basada en la norma ISO 9001:2000 FM /ISO 14001 para Estación Total GPT-3002W fabricada por TOPCON CORPORATION.

## CALIBRACION Y MANTENIMIENTO

| Fecha      | Mantenimiento | Calibracion | Observacion    |
|------------|---------------|-------------|----------------|
| 03/03/2021 |               | X           | 100% OPERATIVO |

|   |  |
|---|--|
| MAC IMPEX SAC   | Propietario  |
| MAC IMPEX SAC.  | RAFAEL INGENIERÍA Y CONSTRUCCION E.I.R.L   |
| Hamilton Vladimir Coeva Campos<br>DPTO. DE SERVICIO TECNICO | RUC: 20605422269   |
|   | <br><b>Rafael Ingeniería y Construcción E.I.R.L.</b><br><i>Néstor Rafael Livaguc</i><br>TITULAR - GERENTE |

 **TOPCON**



 **GARMIN**

## **Certificado de calibración de los equipos de laboratorio**



Punto de Precisión SAC

# PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C.

## LABORATORIO DE CALIBRACIÓN

### CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° LL - 1001 - 2021

Página : 1 de 2

Expediente : 093-2021  
Fecha de emisión : 2021-07-12

1. Solicitante : GSE LABORATORIO INGENIERIA Y CONSTRUCCIÓN S.A.C.  
Dirección : JR. CAJAMARCA NRO. 792 - CHOTA - CAJAMARCA

2. Instrumento de Medición : COPA CASAGRANDE

Marca de Copa : SHERMAN  
Modelo de Copa : NO INDICA  
Serie de Copa : NO INDICA

Contómetro : DIGITAL  
Marca de Contómetro : CHNT  
Modelo de Contómetro : JDM1-48  
Serie de Contómetro : NO INDICA

El Equipo de medición con el modelo y número de serie abajo. Indicados ha sido calibrado probado y verificado usando patrones certificados con trazabilidad a la Dirección de Metrología del INACAL y otros.

Los resultados son válidos en el momento y en las condiciones de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamentaciones vigentes.

Punto de Precisión S.A.C no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.

#### 3. Lugar y fecha de Calibración

JR. CAJAMARCA NRO. 792 - CHOTA - CAJAMARCA  
08 - JULIO - 2021

#### 4. Método de Calibración

Por Comparación con instrumentos Certificados por el INACAL - DM.  
Tomando como referencia la Norma ASTM D 4318.

#### 5. Trazabilidad

| INSTRUMENTO | MARCA  | CERTIFICADO      | TRAZABILIDAD |
|-------------|--------|------------------|--------------|
| PIE DE REY  | INSIZE | TC - 9991 - 2020 | INACAL - DM  |


#### 6. Condiciones Ambientales

|                | INICIAL | FINAL |
|----------------|---------|-------|
| Temperatura °C | 19,7    | 19,6  |
| Humedad %      | 68      | 69    |

#### 7. Observaciones

Los resultados de las mediciones efectuadas se muestran en la página 02 del presente documento.



  
Jefe de Laboratorio  
Ing. Luis Loayza Capcha  
Reg. CIP N° 152631

Av. Los Ángeles 653 - LIMA 42 Telf. 292-5106 698-9620

www.puntodeprecision.com E-mail: info@puntodeprecision.com / puntodeprecision@hotmail.com

PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO SIN AUTORIZACIÓN DE PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C.





Medidas Verificadas

| COPA CASAGRANDE        |                  |                    |                       |                                       |         |        |        | RANURADOR       |                |       |
|------------------------|------------------|--------------------|-----------------------|---------------------------------------|---------|--------|--------|-----------------|----------------|-------|
| CONJUNTO DE LA CAZUELA |                  |                    |                       |                                       | BASE    |        |        | EXTREMO CURVADO |                |       |
| DIMENSIONES            | A                | B                  | C                     | N                                     | K       | L      | M      | a               | b              | c     |
| DESCRIPCIÓN            | RADIO DE LA COPA | ESPESOR DE LA COPA | PROFUNDIDA DE LA COPA | Copa desde la guía del espesor a base | ESPESOR | LARGO  | ANCHO  | ESPESOR         | BORDE CORTANTE | ANCHO |
| MEDIDA TOMADA          | mm               | mm                 | mm                    | mm                                    | mm      | mm     | mm     | mm              | mm             | mm    |
|                        | 55,48            | 2,18               | 28,01                 | 47,71                                 | 47,23   | 146,95 | 125,34 | 9,79            | 2,03           | 13,26 |
|                        | 55,46            | 2,16               | 27,99                 | 47,72                                 | 47,25   | 146,94 | 125,33 | 9,80            | 2,02           | 13,24 |
|                        | 55,48            | 2,18               | 28,00                 | 47,71                                 | 47,26   | 149,96 | 125,35 | 9,78            | 2,03           | 13,25 |
|                        | 55,47            | 2,18               | 27,98                 | 47,70                                 | 47,22   | 149,95 | 125,36 | 9,77            | 2,04           | 13,23 |
|                        | 55,49            | 2,17               | 28,01                 | 47,70                                 | 47,24   | 149,97 | 125,34 | 9,79            | 2,03           | 13,27 |
| 55,46                  | 2,19             | 28,02              | 47,72                 | 47,22                                 | 149,96  | 125,33 | 9,77   | 2,02            | 13,22          |       |
| PROMEDIO               | 55,47            | 2,18               | 28,00                 | 47,71                                 | 47,24   | 148,96 | 125,34 | 9,78            | 2,03           | 13,25 |
| MEDIDAS STANDARD       | 54               | 2                  | 27                    | 47                                    | 50      | 150    | 125    | 10              | 2              | 13,5  |
| TOLERANCIA ±           | 0,5              | 0,1                | 0,5                   | 1,0                                   | 2,0     | 2,0    | 2,0    | 0,05            | 0,1            | 0,1   |
| ERROR                  | 1,47             | 0,18               | 1,00                  | 0,71                                  | -2,76   | -1,04  | 0,34   | -0,22           | 0,03           | -0,26 |

FIN DEL DOCUMENTO



Jefe de Laboratorio  
Ing. Luis Loayza Capcha  
Reg. CIP N° 152631



Punto de Precisión SAC

LABORATORIO DE CALIBRACIÓN ACREDITADO POR EL  
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA  
CON REGISTRO N° LC - 033



Registro N° LC - 033

## CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° LM-376-2021

Página: 1 de 3

**Expediente** : 093-2021  
**Fecha de Emisión** : 2021-07-12

**1. Solicitante** : GSE LABORATORIO INGENIERIA Y  
CONSTRUCCIÓN S.A.C.  
**Dirección** : JR. CAJAMARCA NRO, 792 - CHOTA - CAJAMARCA

**2. Instrumento de Medición** : **BALANZA**  
**Marca** : OHAUS  
**Modelo** : R21PE30ZH  
**Número de Serie** : 47537336  
**Alcance de Indicación** : 30 000 g  
**División de Escala de Verificación ( e )** : 10 g  
**División de Escala Real (d)** : 1 g  
**Procedencia** : NO INDICA  
**Identificación** : 1  
**Tipo** : ELECTRÓNICA  
**Ubicación** : LABORATORIO  
**Fecha de Calibración** : 2021-07-08

La incertidumbre reportada en el presente certificado es la incertidumbre expandida de medición que resulta de multiplicar la incertidumbre estándar por el factor de cobertura  $k=2$ . La incertidumbre fue determinada según la "Guía para la Expresión de la incertidumbre en la medición". Generalmente, el valor de la magnitud está dentro del intervalo de los valores determinados con la incertidumbre expandida con una probabilidad de aproximadamente 95 %.

Los resultados son válidos en el momento y en las condiciones en que se realizarán las mediciones y no debe ser utilizado como certificado de conformidad con normas de productos o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamentaciones vigentes.

PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.

### 3. Método de Calibración

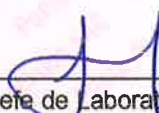
La calibración se realizó mediante el método de comparación según el PC-001 1ra Edición, 2019; Procedimiento para la Calibración de Balanzas de Funcionamiento no Automático Clase III y IIII del INACAL-DM.

### 4. Lugar de Calibración

LABORATORIO de GSE LABORATORIO INGENIERIA Y CONSTRUCCIÓN S.A.C.  
JR. CAJAMARCA NRO, 792 - CHOTA - CAJAMARCA



PT-06.F06 / Diciembre 2016 / Rev 02

  
Jefe de Laboratorio  
Ing. Luis Loayza Capcha  
Reg. CIP N° 152631

Av. Los Ángeles 653 - LIMA 42 Telf. 292-5106

www.puntodeprecision.com E-mail: info@puntodeprecision.com / puntodeprecision@hotmail.com

PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO SIN AUTORIZACIÓN DE PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C.



Punto de Precisión SAC

LABORATORIO DE CALIBRACIÓN ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LC - 033



Registro N° LC - 033

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° LM-376-2021

Página: 2 de 3

5. Condiciones Ambientales

|                  | Mínima | Máxima |
|------------------|--------|--------|
| Temperatura      | 19,0   | 19,2   |
| Humedad Relativa | 69,5   | 70,5   |

6. Trazabilidad

Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales, que realizan las unidades de medida de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

| Trazabilidad | Patrón utilizado              | Certificado de calibración |
|--------------|-------------------------------|----------------------------|
| INACAL - DM  | Juego de pesas (exactitud F1) | PE21-C-0084-2021           |
|              | Pesa (exactitud F1)           | M-0527-2020                |
|              | Pesa (exactitud F1)           | M-0526-2020                |
|              | Pesa (exactitud F1)           | M-0529-2020                |

7. Observaciones

(\*) La balanza se calibró hasta una capacidad de 30 000 g  
 Antes del ajuste, la indicación de la balanza fue de 29 980 g para una carga de 30 000 g  
 El ajuste de la balanza se realizó con las pesas de Punto de Precisión S.A.C.  
 Los errores máximos permitidos (e.m.p.) para esta balanza corresponden a los e.m.p. para balanzas en uso de funcionamiento no automático de clase de exactitud III, según la Norma Metrológica Peruana 003 - 2009. Instrumentos de Pesaje de Funcionamiento no Automático.  
 Se colocó una etiqueta autoadhesiva de color verde con la indicación de "CALIBRADO".  
 Los resultados de este certificado de calibración no debe ser utilizado como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

8. Resultados de Medición

| INSPECCIÓN VISUAL |       |                |          |
|-------------------|-------|----------------|----------|
| AJUSTE DE CERO    | TIENE | ESCALA         | NO TIENE |
| OSCILACIÓN LIBRE  | TIENE | CURSOR         | NO TIENE |
| PLATAFORMA        | TIENE | SIST. DE TRABA | NO TIENE |
| NIVELACIÓN        | TIENE |                |          |

ENSAYO DE REPETIBILIDAD

| Medición<br>N°           | Carga L1= 15 000 g |        | Carga L2= 30 000 g |        |     |      |
|--------------------------|--------------------|--------|--------------------|--------|-----|------|
|                          | I (g)              | ΔL (g) | I (g)              | ΔL (g) |     |      |
|                          | Temp. (°C)         |        | Temp. (°C)         |        |     |      |
|                          |                    |        | Inicial            | Final  |     |      |
|                          |                    |        | 19,2               | 19,1   |     |      |
| 1                        | 15 000             | 0,7    | -0,2               | 30 001 | 0,7 | 0,8  |
| 2                        | 15 000             | 0,6    | -0,1               | 30 000 | 0,6 | -0,1 |
| 3                        | 15 000             | 0,9    | -0,4               | 30 001 | 0,8 | 0,7  |
| 4                        | 15 000             | 0,7    | -0,2               | 30 001 | 0,7 | 0,8  |
| 5                        | 15 001             | 0,8    | 0,7                | 30 001 | 0,6 | 0,9  |
| 6                        | 15 001             | 0,6    | 0,9                | 30 001 | 0,8 | 0,7  |
| 7                        | 15 000             | 0,9    | -0,4               | 30 001 | 0,9 | 0,6  |
| 8                        | 15 000             | 0,7    | -0,2               | 30 001 | 0,8 | 0,7  |
| 9                        | 15 000             | 0,9    | -0,4               | 30 000 | 0,7 | -0,2 |
| 10                       | 15 000             | 0,6    | -0,1               | 30 000 | 0,9 | -0,4 |
| Diferencia Máxima        |                    |        | 1,3                | 1,3    |     |      |
| Error máximo permitido ± |                    |        | 20 g               | ± 30 g |     |      |



PT-06.F06 / Diciembre 2016 / Rev 02

Jefe de Laboratorio  
 Ing. Luis Loayza Capcha  
 Reg. CIP N° 152631

Av. Los Ángeles 653 - LIMA 42 Telf. 292-5106

www.puntodeprecision.com E-mail: info@puntodeprecision.com / puntodeprecision@hotmail.com

PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO SIN AUTORIZACIÓN DE PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C.









Punto de Precisión SAC

LABORATORIO DE CALIBRACIÓN ACREDITADO POR EL  
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA  
CON REGISTRO N° LC - 033



Registro N° LC - 033

## CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° LM-377-2021

Página: 1 de 3

**Expediente** : 093-2021  
**Fecha de Emisión** : 2021-07-12

**1. Solicitante** : GSE LABORATORIO INGENIERIA Y  
CONSTRUCCIÓN S.A.C.  
**Dirección** : JR. CAJÁMARCA NRO. 792 - CHOTA - CAJAMARCA

**2. Instrumento de Medición** : **BALANZA**  
**Marca** : OHAUS  
**Modelo** : NO INDICA  
**Número de Serie** : NO INDICA  
**Alcance de Indicación** : 30 000 g  
**División de Escala de Verificación ( e )** : 1 g  
**División de Escala Real (d)** : 1 g  
**Procedencia** : NO INDICA  
**Identificación** : 2  
**Tipo** : ELECTRÓNICA  
**Ubicación** : LABORATORIO  
**Fecha de Calibración** : 2021-07-08

La incertidumbre reportada en el presente certificado es la incertidumbre expandida de medición que resulta de multiplicar la incertidumbre estándar por el factor de cobertura  $k=2$ . La incertidumbre fue determinada según la "Guía para la Expresión de la incertidumbre en la medición". Generalmente, el valor de la magnitud está dentro del intervalo de los valores determinados con la incertidumbre expandida con una probabilidad de aproximadamente 95 %.

Los resultados son válidos en el momento y en las condiciones en que se realizaron las mediciones y no debe ser utilizado como certificado de conformidad con normas de productos o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamentaciones vigentes.

PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.

### 3. Método de Calibración

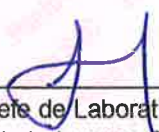
La calibración se realizó mediante el método de comparación según el PC-011 4ta Edición, 2010; Procedimiento para la Calibración de Balanzas de Funcionamiento no Automático Clase I y II del SNM-INDECOPI.

### 4. Lugar de Calibración

LABORATORIO de GSE LABORATORIO INGENIERIA Y CONSTRUCCIÓN S.A.C.  
JR. CAJAMARCA NRO. 792 - CHOTA - CAJAMARCA



PT-06.F06 / Diciembre 2016 / Rev 02

  
Jefe de Laboratorio  
Ing. Luis Loayza Capcha  
Reg. CIP N° 152631

Av. Los Ángeles 653 - LIMA 42 Telf. 292-5106

www.puntodeprecision.com E-mail: info@puntodeprecision.com / puntodeprecision@hotmail.com

PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO SIN AUTORIZACIÓN DE PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C.



5. Condiciones Ambientales

|                  | Mínima | Máxima |
|------------------|--------|--------|
| Temperatura      | 19,4   | 19,7   |
| Humedad Relativa | 68,5   | 69,5   |

6. Trazabilidad

Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales, que realizan las unidades de medida de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

| Trazabilidad | Patrón utilizado              | Certificado de calibración |
|--------------|-------------------------------|----------------------------|
| INACAL - DM  | Juego de pesas (exactitud F1) | PE21-C-0084-2021           |
|              | Pesa (exactitud F1)           | M-0527-2020                |
|              | Pesa (exactitud F1)           | M-0526-2020                |
|              | Pesa (exactitud F1)           | M-0529-2020                |

7. Observaciones

(\*) La balanza se calibró hasta una capacidad de 30 000 g

Antes del ajuste, la indicación de la balanza fue de 29 984 g para una carga de 30 000 g

El ajuste de la balanza se realizó con las pesas de Punto de Precisión S.A.C.

Los errores máximos permitidos (e.m.p.) para esta balanza corresponden a los e.m.p. para balanzas en uso de funcionamiento no automático de clase de exactitud II, según la Norma Metrológica Peruana 003 - 2009. Instrumentos de Pesaje de Funcionamiento no Automático.

Se colocó una etiqueta autoadhesiva de color verde con la indicación de "CALIBRADO".

Los resultados de este certificado de calibración no debe ser utilizado como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

8. Resultados de Medición

| INSPECCIÓN VISUAL |       |                |          |
|-------------------|-------|----------------|----------|
| AJUSTE DE CERO    | TIENE | ESCALA         | NO TIENE |
| OSCILACIÓN LIBRE  | TIENE | CURSOR         | NO TIENE |
| PLATAFORMA        | TIENE | SIST. DE TRABA | NO TIENE |
| NIVELACIÓN        | TIENE |                |          |

ENSAYO DE REPETIBILIDAD

| Medición<br>N°           | Carga L1= 15 000 g |        | Carga L2= 30 000 g |            |     |      |
|--------------------------|--------------------|--------|--------------------|------------|-----|------|
|                          | I (g)              | ΔL (g) | I (g)              | ΔL (g)     |     |      |
|                          | E (g)              |        | E (g)              |            |     |      |
|                          | Temp. (°C)         |        | Inicial 19,6       | Final 19,7 |     |      |
| 1                        | 15 000             | 0,8    | -0,3               | 30 000     | 0,8 | -0,3 |
| 2                        | 15 000             | 0,6    | -0,1               | 29 999     | 0,7 | -1,2 |
| 3                        | 15 000             | 0,9    | -0,4               | 29 999     | 0,6 | -1,1 |
| 4                        | 14 999             | 0,7    | -1,2               | 30 000     | 0,9 | -0,4 |
| 5                        | 15 000             | 0,9    | -0,4               | 30 000     | 0,8 | -0,3 |
| 6                        | 15 000             | 0,8    | -0,3               | 30 000     | 0,7 | -0,2 |
| 7                        | 15 000             | 0,7    | -0,2               | 30 000     | 0,6 | -0,1 |
| 8                        | 15 000             | 0,6    | -0,1               | 29 999     | 0,7 | -1,2 |
| 9                        | 15 000             | 0,9    | -0,4               | 30 000     | 0,9 | -0,4 |
| 10                       | 14 999             | 0,7    | -1,2               | 30 000     | 0,6 | -0,1 |
| Diferencia Máxima        |                    |        | 1,1                | 1,1        |     |      |
| Error máximo permitido ± |                    |        | 2 g                | ± 3 g      |     |      |



Jefe de Laboratorio  
Ing. Luis Loayza Capcha  
Reg. CIP N° 152631







Punto de Precisión SAC

LABORATORIO DE CALIBRACIÓN ACREDITADO POR EL  
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA  
CON REGISTRO N° LC - 033



Registro N° LC - 033

**CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° LM-378-2021**

Página: 1 de 3

|   |   |
|---|---|
| Expediente                                      | : 093-2021  |
| Fecha de Emisión                                | : 2021-07-12  |
| <b>1. Solicitante</b>                           | : <b>GSE LABORATORIO INGENIERIA Y CONSTRUCCIÓN S.A.C.</b> |
| <b>Dirección</b>                                | : JR. CAJAMARCA NRO. 792 - CHOTA - CAJAMARCA              |
| <b>2. Instrumento de Medición</b>               | : <b>BALANZA</b>  |
| <b>Marca</b>                                    | : <b>OHAUS</b>  |
| <b>Modelo</b>                                   | : <b>CL501T</b>   |
| <b>Número de Serie</b>                          | : <b>7131121053</b>                                       |
| <b>Alcance de Indicación</b>                    | : <b>500 g</b>  |
| <b>División de Escala de Verificación ( e )</b> | : <b>0,1 g</b>  |
| <b>División de Escala Real (d)</b>              | : <b>0,1 g</b>  |
| <b>Procedencia</b>                              | : <b>NO INDICA</b>  |
| <b>Identificación</b>                           | : <b>NO INDICA</b>  |
| <b>Tipo</b>                                     | : <b>ELECTRÓNICA</b>                                      |
| <b>Ubicación</b>                                | : <b>LABORATORIO</b>                                      |
| <b>Fecha de Calibración</b>                     | : <b>2021-07-08</b>                                       |

La incertidumbre reportada en el presente certificado es la incertidumbre expandida de medición que resulta de multiplicar la incertidumbre estándar por el factor de cobertura  $k=2$ . La incertidumbre fue determinada según la "Guía para la Expresión de la incertidumbre en la medición". Generalmente, el valor de la magnitud está dentro del intervalo de los valores determinados con la incertidumbre expandida con una probabilidad de aproximadamente 95 %.

Los resultados son válidos en el momento y en las condiciones en que se realizaron las mediciones y no debe ser utilizado como certificado de conformidad con normas de productos o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamentaciones vigentes.

PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.

**3. Método de Calibración**


La calibración se realizó mediante el método de comparación según el PC-011 4ta Edición, 2010; Procedimiento para la Calibración de Balanzas de Funcionamiento no Automático Clase I y II del SNM-INDECOPI.

**4. Lugar de Calibración**

LABORATORIO de GSE LABORATORIO INGENIERIA Y CONSTRUCCIÓN S.A.C.  
JR. CAJAMARCA NRO. 792 - CHOTA - CAJAMARCA



PT-06.F06 / Diciembre 2016 / Rev 02

  
\_\_\_\_\_  
Jefe de Laboratorio  
Ing. Luis Loayza Capcha  
Reg. CIP N° 152631

Av. Los Ángeles 653 - LIMA 42 Telf. 292-5106

www.puntodeprecision.com E-mail: info@puntodeprecision.com / puntodeprecision@hotmail.com

PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO SIN AUTORIZACIÓN DE PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C.



**5. Condiciones Ambientales**

|                  | Mínima | Máxima |
|------------------|--------|--------|
| Temperatura      | 18,7   | 18,9   |
| Humedad Relativa | 69,5   | 70,5   |

**6. Trazabilidad**

Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales, que realizan las unidades de medida de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

| Trazabilidad | Patrón utilizado              | Certificado de calibración |
|--------------|-------------------------------|----------------------------|
| INACAL - DM  | Juego de pesas (exactitud F1) | PE21-C-0084-2021           |

**7. Observaciones**

(\*) La balanza se calibró hasta una capacidad de 500,0 g

Antes del ajuste, la indicación de la balanza fue de 499,6 g para una carga de 500,0 g

El ajuste de la balanza se realizó con las pesas de Punto de Precisión S.A.C.

Los errores máximos permitidos (e.m.p.) para esta balanza corresponden a los e.m.p. para balanzas en uso de funcionamiento no automático de clase de exactitud II, según la Norma Metroológica Peruana 003 - 2009. Instrumentos de Pesaje de Funcionamiento no Automático.

Se colocó una etiqueta autoadhesiva de color verde con la indicación de "CALIBRADO".

Los resultados de este certificado de calibración no debe ser utilizado como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

**8. Resultados de Medición**

| INSPECCIÓN VISUAL |       |                |          |
|-------------------|-------|----------------|----------|
| AJUSTE DE CERO    | TIENE | ESCALA         | NO TIENE |
| OSCILACIÓN LIBRE  | TIENE | CURSOR         | NO TIENE |
| PLATAFORMA        | TIENE | SIST. DE TRABA | NO TIENE |
| NIVELACIÓN        | TIENE |                |          |

**ENSAYO DE REPETIBILIDAD**

| Medición<br>N°           | Temp. (°C) |        |       |           |         |       |
|--------------------------|------------|--------|-------|-----------|---------|-------|
|                          | Inicial    |        |       | Final     |         |       |
|                          | 18,9       |        |       | 18,9      |         |       |
| Carga L1=                | 250,0 g    |        |       |           |         |       |
|                          | I (g)      | ΔL (g) | E (g) | Carga L2= | 500,0 g |       |
|                          | I (g)      | ΔL (g) | E (g) | I (g)     | ΔL (g)  | E (g) |
| 1                        | 250,0      | 0,08   | -0,03 | 500,0     | 0,06    | -0,01 |
| 2                        | 250,1      | 0,07   | 0,08  | 500,1     | 0,07    | 0,08  |
| 3                        | 250,0      | 0,06   | -0,01 | 500,1     | 0,06    | 0,09  |
| 4                        | 250,0      | 0,09   | -0,04 | 500,1     | 0,09    | 0,06  |
| 5                        | 250,0      | 0,07   | -0,02 | 500,0     | 0,08    | -0,03 |
| 6                        | 250,1      | 0,06   | 0,09  | 500,0     | 0,07    | -0,02 |
| 7                        | 250,1      | 0,08   | 0,07  | 500,0     | 0,06    | -0,01 |
| 8                        | 250,0      | 0,09   | -0,04 | 500,0     | 0,08    | -0,03 |
| 9                        | 250,0      | 0,07   | -0,02 | 500,0     | 0,09    | -0,04 |
| 10                       | 250,0      | 0,06   | -0,01 | 500,1     | 0,07    | 0,08  |
| Diferencia Máxima        |            |        | 0,13  | 0,13      |         |       |
| Error máximo permitido ± |            |        | 0,1 g | ± 0,2 g   |         |       |



Jefe de Laboratorio  
Ing. Luis Loayza Capcha  
Reg. CIP N° 152631





Punto de Precisión SAC

LABORATORIO DE CALIBRACIÓN ACREDITADO POR EL  
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA  
CON REGISTRO N° LC - 033



Registro N° LC - 033

## CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° LM-379-2021

Página: 1 de 3

**Expediente** : 093-2021  
**Fecha de Emisión** : 2021-07-12

**1. Solicitante** : GSE LABORATORIO INGENIERIA Y CONSTRUCCIÓN S.A.C.  
**Dirección** : JR. CAJAMARCA NRO. 792 - CHOTA - CAJAMARCA

**2. Instrumento de Medición** : **BALANZA**

**Marca** : NO INDICA

**Modelo** : NO INDICA

**Número de Serie** : NO INDICA

**Alcance de Indicación** : **200 g**

**División de Escala de Verificación ( e )** : **0,01 g**

**División de Escala Real (d)** : **0,01 g**

**Procedencia** : NO INDICA

**Identificación** : NO INDICA

**Tipo** : **ELECTRÓNICA**

**Ubicación** : **LABORATORIO**

**Fecha de Calibración** : **2021-07-08**

La incertidumbre reportada en el presente certificado es la incertidumbre expandida de medición que resulta de multiplicar la incertidumbre estándar por el factor de cobertura  $k=2$ . La incertidumbre fue determinada según la "Guía para la Expresión de la incertidumbre en la medición". Generalmente, el valor de la magnitud está dentro del intervalo de los valores determinados con la incertidumbre expandida con una probabilidad de aproximadamente 95 %.

Los resultados son válidos en el momento y en las condiciones en que se realizarán las mediciones y no debe ser utilizado como certificado de conformidad con normas de productos o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamentaciones vigentes.

PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.

### 3. Método de Calibración


La calibración se realizó mediante el método de comparación según el PC-011 4ta Edición, 2010; Procedimiento para la Calibración de Balanzas de Funcionamiento no Automático Clase I y II del SNM-INDECOPI.

### 4. Lugar de Calibración

LABORATORIO de GSE LABORATORIO INGENIERIA Y CONSTRUCCIÓN S.A.C.  
JR. CAJAMARCA NRO. 792 - CHOTA - CAJAMARCA



PT-06.F06 / Diciembre 2016 / Rev 02

  
Jefe de Laboratorio  
Ing. Luis Loayza Capcha  
Reg. CIP N° 152631

Av. Los Ángeles 653 - LIMA 42 Telf. 292-5106

www.puntodeprecision.com E-mail: info@puntodeprecision.com / puntodeprecision@hotmail.com

PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO SIN AUTORIZACIÓN DE PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C.





**5. Condiciones Ambientales**

|                  | Minima | Máxima |
|------------------|--------|--------|
| Temperatura      | 18,7   | 18,9   |
| Humedad Relativa | 69,5   | 70,5   |

**6. Trazabilidad**

Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales, que realizan las unidades de medida de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

| Trazabilidad | Patrón utilizado              | Certificado de calibración |
|--------------|-------------------------------|----------------------------|
| INACAL - DM  | Juego de pesas (exactitud F1) | PE21-C-0084-2021           |

**7. Observaciones**

(\*) La balanza se calibró hasta una capacidad de 200,00 g

Antes del ajuste, la indicación de la balanza fue de 198,96 g para una carga de 200,00 g

El ajuste de la balanza se realizó con las pesas de Punto de Precisión S.A.C.

Los errores máximos permitidos (e.m.p.) para esta balanza corresponden a los e.m.p. para balanzas en uso de funcionamiento no automático de clase de exactitud II, según la Norma Metrológica Peruana 003 - 2009. Instrumentos de Pesaje de Funcionamiento no Automático.

Se colocó una etiqueta autoadhesiva de color verde con la indicación de "CALIBRADO".

Los resultados de este certificado de calibración no debe ser utilizado como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

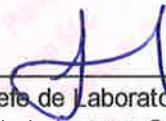
**8. Resultados de Medición**

| INSPECCIÓN VISUAL |       |                |          |
|-------------------|-------|----------------|----------|
| AJUSTE DE CERO    | TIENE | ESCALA         | NO TIENE |
| OSCILACIÓN LIBRE  | TIENE | CURSOR         | NO TIENE |
| PLATAFORMA        | TIENE | SIST. DE TRABA | NO TIENE |
| NIVELACIÓN        | TIENE |                |          |

**ENSAYO DE REPETIBILIDAD**

| Medición<br>N°           | Temp. (°C)         |        |        |                    |        |        |
|--------------------------|--------------------|--------|--------|--------------------|--------|--------|
|                          | Inicial            |        |        | Final              |        |        |
|                          | 18,7               |        |        | 18,8               |        |        |
| N°                       | Carga L1= 100,00 g |        |        | Carga L2= 200,00 g |        |        |
|                          | I (g)              | ΔL (g) | E (g)  | I (g)              | ΔL (g) | E (g)  |
| 1                        | 100,01             | 0,007  | 0,008  | 200,00             | 0,008  | -0,003 |
| 2                        | 100,00             | 0,006  | -0,001 | 200,00             | 0,006  | -0,001 |
| 3                        | 100,02             | 0,007  | 0,018  | 200,00             | 0,007  | -0,002 |
| 4                        | 100,00             | 0,009  | -0,004 | 200,01             | 0,009  | 0,006  |
| 5                        | 100,00             | 0,008  | -0,003 | 200,00             | 0,008  | -0,003 |
| 6                        | 100,00             | 0,007  | -0,002 | 199,99             | 0,007  | -0,012 |
| 7                        | 100,00             | 0,006  | -0,001 | 199,97             | 0,004  | -0,029 |
| 8                        | 100,01             | 0,008  | 0,007  | 199,97             | 0,004  | -0,029 |
| 9                        | 100,01             | 0,007  | 0,008  | 200,00             | 0,008  | -0,003 |
| 10                       | 100,02             | 0,006  | 0,019  | 200,00             | 0,007  | -0,002 |
| Diferencia Máxima        |                    |        | 0,023  |                    |        |        |
| Error máximo permitido ± |                    |        | 0,02 g | ±                  | 0,03 g |        |



  
 Jefe de Laboratorio  
 Ing. Luis Loayza Capcha  
 Reg. CIP N° 152631





Punto de Precisión SAC

LABORATORIO DE CALIBRACIÓN ACREDITADO POR EL  
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA  
CON REGISTRO N° LC - 033



## CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° LM-380-2021

Página: 1 de 3

Expediente : 093-2021  
Fecha de Emisión : 2021-07-12

**1. Solicitante** : GSE LABORATORIO INGENIERIA Y CONSTRUCCIÓN S.A.C.  
**Dirección** : JR. CAJAMARCA NRO. 792 - CHOTA - CAJAMARCA

**2. Instrumento de Medición** : **BALANZA**  
**Marca** : NOTEBOOK  
**Modelo** : NO INDICA  
**Número de Serie** : NO INDICA  
**Alcance de Indicación** : **500 g**  
**División de Escala de Verificación ( e )** : **0,01 g**  
**División de Escala Real (d)** : **0,01 g**  
**Procedencia** : CHINA  
**Identificación** : NO INDICA  
**Tipo** : ELECTRÓNICA  
**Ubicación** : LABORATORIO  
**Fecha de Calibración** : **2021-07-08**

La incertidumbre reportada en el presente certificado es la incertidumbre expandida de medición que resulta de multiplicar la incertidumbre estándar por el factor de cobertura  $k=2$ . La incertidumbre fue determinada según la "Guía para la Expresión de la incertidumbre en la medición". Generalmente, el valor de la magnitud está dentro del intervalo de los valores determinados con la incertidumbre expandida con una probabilidad de aproximadamente 95 %.

Los resultados son válidos en el momento y en las condiciones en que se realizarán las mediciones y no debe ser utilizado como certificado de conformidad con normas de productos o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamentaciones vigentes.

PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.

### 3. Método de Calibración

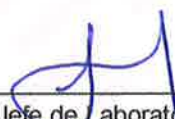
La calibración se realizó mediante el método de comparación según el PC-011 4ta Edición, 2010; Procedimiento para la Calibración de Balanzas de Funcionamiento no Automático Clase I y II del SNM-INDECOPI.

### 4. Lugar de Calibración

LABORATORIO de GSE LABORATORIO INGENIERIA Y CONSTRUCCIÓN S.A.C.  
JR. CAJAMARCA NRO. 792 - CHOTA - CAJAMARCA



PT-06.F06 / Diciembre 2016 / Rev 02

  
Jefe de Laboratorio  
Ing. Luis Loayza Capcha  
Reg. CIP N° 152631

Av. Los Ángeles 653 - LIMA 42 Telf. 292-5106

www.puntodeprecision.com E-mail: info@puntodeprecision.com / puntodeprecision@hotmail.com

PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO SIN AUTORIZACIÓN DE PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C.





Punto de Precisión SAC

LABORATORIO DE CALIBRACIÓN ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LC - 033



Registro N° LC - 033

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° LM-380-2021

Página: 2 de 3

5. Condiciones Ambientales

|                  | Mínima | Máxima |
|------------------|--------|--------|
| Temperatura      | 18,7   | 18,8   |
| Humedad Relativa | 69,5   | 69,5   |

6. Trazabilidad

Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales, que realizan las unidades de medida de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

| Trazabilidad | Patrón utilizado              | Certificado de calibración |
|--------------|-------------------------------|----------------------------|
| INACAL - DM  | Juego de pesas (exactitud F1) | PE21-C-0084-2021           |

7. Observaciones

(\*) La balanza se calibró hasta una capacidad de 500,00 g

Antes del ajuste, la indicación de la balanza fue de 499,50 g para una carga de 500,00 g

El ajuste de la balanza se realizó con las pesas de Punto de Precisión S.A.C.

Los errores máximos permitidos (e.m.p.) para esta balanza corresponden a los e.m.p. para balanzas en uso de funcionamiento no automático de clase de exactitud II, según la Norma Metroológica Peruana 003 - 2009. Instrumentos de Pesaje de Funcionamiento no Automático.

Se colocó una etiqueta autoadhesiva de color verde con la indicación de "CALIBRADO".

Los resultados de este certificado de calibración no debe ser utilizado como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

8. Resultados de Medición


| INSPECCIÓN VISUAL |       |                |          |
|-------------------|-------|----------------|----------|
| AJUSTE DE CERO    | TIENE | ESCALA         | NO TIENE |
| OSCILACIÓN LIBRE  | TIENE | CURSOR         | NO TIENE |
| PLATAFORMA        | TIENE | SIST. DE TRABA | NO TIENE |
| NIVELACIÓN        | TIENE |                |          |

ENSAYO DE REPETIBILIDAD

| Medición<br>N°         | Temp. (°C)         |        |        |                    |        |        |
|------------------------|--------------------|--------|--------|--------------------|--------|--------|
|                        | Inicial<br>18,8    |        |        | Final<br>18,7      |        |        |
|                        | Carga L1= 250,00 g |        |        | Carga L2= 500,00 g |        |        |
|                        | I (g)              | ΔL (g) | E (g)  | I (g)              | ΔL (g) | E (g)  |
| 1                      | 249,98             | 0,006  | -0,022 | 500,00             | 0,008  | -0,003 |
| 2                      | 249,98             | 0,007  | -0,023 | 500,00             | 0,006  | -0,001 |
| 3                      | 249,98             | 0,006  | -0,022 | 500,02             | 0,007  | 0,018  |
| 4                      | 249,98             | 0,004  | -0,020 | 500,02             | 0,009  | 0,016  |
| 5                      | 249,97             | 0,004  | -0,030 | 500,01             | 0,009  | 0,006  |
| 6                      | 249,98             | 0,003  | -0,019 | 500,02             | 0,009  | 0,016  |
| 7                      | 249,97             | 0,002  | -0,028 | 500,03             | 0,008  | 0,027  |
| 8                      | 249,97             | 0,004  | -0,030 | 500,05             | 0,009  | 0,046  |
| 9                      | 249,98             | 0,003  | -0,019 | 500,04             | 0,009  | 0,036  |
| 10                     | 249,98             | 0,004  | -0,020 | 500,06             | 0,008  | 0,057  |
| Diferencia Máxima      |                    |        | 0,011  |                    |        | 0,060  |
| Error máximo permitido | ± 0,03 g           |        |        | ± 0,03 g           |        |        |



PT-06.F06 / Diciembre 2016 / Rev 02

  
 Jefe de Laboratorio  
 Ing. Luis Loayza Capcha  
 Reg. CIP N° 152631

Av. Los Ángeles 653 - LIMA 42 Telf. 292-5106

www.puntodeprecision.com E-mail: info@puntodeprecision.com / puntodeprecision@hotmail.com

PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO SIN AUTORIZACIÓN DE PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C.





Punto de Precisión SAC

# PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C.

## LABORATORIO DE CALIBRACIÓN

### CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° LT - 973 - 2021

Página : 1 de 4

**Expediente** : 093-2021  
**Fecha de emisión** : 2021-07-12

**1. Solicitante** : GSE LABORATORIO INGENIERIA Y CONSTRUCCIÓN S.A.C.  
**Dirección** : JR. CAJAMARCA NRO. 792 - CHOTA - CAJAMARCA

**2. Instrumento de Medición** : ESTUFA  
**Indicación** : DIGITAL  
**Marca del Equipo** : NO INDICA  
**Modelo del Equipo** : JLA-01  
**Serie del Equipo** : JHE-012  
**Capacidad del Equipo** : 80 L  
**Marca de indicador** : AUTONICS  
**Modelo de indicador** : TCN4S  
**Serie de indicador** : NO INDICA  
**Temperatura calibrada** : 110 °C

El instrumento de medición con el modelo y número de serie abajo indicados ha sido calibrado, probado y verificado usando patrones certificados con trazabilidad a la Dirección de Metrología del INACAL y otros.

Los resultados son válidos en el momento y en las condiciones de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamentaciones vigentes.

Punto de Precisión S.A.C no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.

**3. Lugar y fecha de Calibración**  
JR. CAJAMARCA NRO. 792 - CHOTA - CAJAMARCA  
08 - JULIO - 2021

**4. Método de Calibración**  
La calibración se efectuó según el procedimiento de calibración PC-018 del Servicio Nacional de Metrología del INACAL - DM.

**5. Trazabilidad**

| INSTRUMENTO        | MARCA   | CERTIFICADO   | TRAZABILIDAD |
|--------------------|---------|---------------|--------------|
| TERMOMETRO DIGITAL | APPLENT | 150-CT-T-2020 | INACAL - DM  |

**6. Condiciones Ambientales**

|                | INICIAL | FINAL |
|----------------|---------|-------|
| Temperatura °C | 18,7    | 19,1  |
| Humedad %      | 69      | 69    |

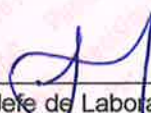
**7. Conclusiones**

La estufa se encuentra dentro de los rangos 110 °C ± 5 °C para la realización de los ensayos de laboratorio según la norma ASTM.

**8. Observaciones**

Con fines de identificación se ha colocado una etiqueta autoadhesiva de color verde con el número de certificado y fecha de calibración de la empresa PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C.



  
Jefe de Laboratorio  
Ing. Luis Loayza Capcha  
Reg. CIP N° 152631





# PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C.

## LABORATORIO DE CALIBRACIÓN

Punto de Precisión SAC

CERTIFICADO DE CALIBRACION N° LT - 973 - 2021

Página : 2 de 4


### CALIBRACIÓN PARA 110 °C

| Tiempo<br>(min.) | Ind. (°C)<br>Temperatura del<br>equipo | TEMPERATURA EN LAS POSICIONES DE MEDICIÓN (°C) |       |       |       |       |                |       |       |       |       | T. prom.<br>(°C) | ΔTMax.<br>- TMin.<br>(°C) |
|------------------|--|--|-------|-------|-------|-------|----------------|-------|-------|-------|-------|------------------|---------------------------|
|                  |  | NIVEL INFERIOR                                 |       |       |       |       | NIVEL SUPERIOR |       |       |       |       |                  |                           |
|                  |  | 1  | 2     | 3     | 4     | 5     | 6              | 7     | 8     | 9     | 10    |                  |                           |
| 0                | 109                                    | 107,4  | 110,9 | 113,4 | 110,9 | 111,5 | 109,5          | 111,5 | 111,3 | 113,4 | 112,6 | 111,2            | 6,0                       |
| 2                | 109                                    | 107,5  | 111,0 | 113,4 | 110,9 | 111,8 | 109,1          | 111,6 | 111,5 | 113,0 | 112,4 | 111,2            | 5,9                       |
| 4                | 109                                    | 107,5  | 111,1 | 114,6 | 111,1 | 111,4 | 109,3          | 111,8 | 111,4 | 113,8 | 112,8 | 111,5            | 7,1                       |
| 6                | 109                                    | 107,5  | 111,3 | 113,7 | 111,4 | 111,4 | 109,3          | 111,8 | 111,6 | 114,2 | 112,5 | 111,5            | 6,7                       |
| 8                | 110                                    | 107,6  | 111,5 | 113,6 | 111,5 | 111,8 | 110,1          | 112,4 | 111,7 | 113,4 | 112,4 | 111,6            | 6,0                       |
| 10               | 110                                    | 107,8  | 111,6 | 113,8 | 111,6 | 111,2 | 109,8          | 112,5 | 111,9 | 113,3 | 112,4 | 111,6            | 6,0                       |
| 12               | 109                                    | 107,8  | 111,5 | 113,8 | 111,4 | 111,8 | 109,9          | 112,5 | 111,9 | 113,8 | 112,8 | 111,7            | 6,0                       |
| 14               | 110                                    | 107,8  | 111,1 | 114,6 | 110,9 | 111,5 | 109,8          | 111,5 | 111,6 | 113,7 | 112,5 | 111,5            | 6,8                       |
| 16               | 109                                    | 107,5  | 111,0 | 113,6 | 110,9 | 111,4 | 109,1          | 112,4 | 111,5 | 113,3 | 112,7 | 111,3            | 6,1                       |
| 18               | 109                                    | 107,8  | 110,9 | 113,8 | 111,4 | 111,8 | 109,8          | 111,6 | 111,3 | 113,4 | 112,6 | 111,4            | 6,0                       |
| 20               | 110                                    | 107,8  | 111,1 | 113,7 | 111,5 | 111,4 | 109,5          | 112,5 | 111,9 | 113,8 | 112,7 | 111,6            | 6,0                       |
| 22               | 109                                    | 107,6  | 111,0 | 113,6 | 111,1 | 111,2 | 109,8          | 112,4 | 111,5 | 113,3 | 112,4 | 111,4            | 6,0                       |
| 24               | 109                                    | 107,4  | 111,1 | 114,6 | 111,5 | 111,5 | 109,3          | 111,5 | 111,6 | 114,2 | 112,5 | 111,5            | 7,2                       |
| 26               | 110                                    | 107,4  | 111,6 | 113,7 | 110,9 | 111,5 | 109,1          | 111,8 | 111,4 | 113,4 | 112,8 | 111,4            | 6,3                       |
| 28               | 109                                    | 107,6  | 111,3 | 113,4 | 111,5 | 111,2 | 109,8          | 111,6 | 111,3 | 113,4 | 112,6 | 111,4            | 5,8                       |
| 30               | 110                                    | 107,5  | 111,1 | 113,7 | 111,1 | 111,8 | 109,5          | 111,8 | 111,6 | 113,0 | 112,5 | 111,4            | 6,2                       |
| 32               | 109                                    | 107,6  | 111,0 | 114,6 | 111,4 | 111,4 | 109,1          | 111,5 | 111,5 | 113,8 | 112,4 | 111,4            | 7,0                       |
| 34               | 110                                    | 107,4  | 110,9 | 113,6 | 110,9 | 111,4 | 109,3          | 111,6 | 111,3 | 113,7 | 112,7 | 111,3            | 6,3                       |
| 36               | 109                                    | 107,6  | 111,6 | 113,4 | 110,9 | 111,4 | 110,1          | 111,5 | 111,4 | 113,4 | 112,8 | 111,4            | 5,8                       |
| 38               | 110                                    | 107,5  | 110,9 | 113,6 | 111,1 | 111,3 | 109,1          | 111,5 | 111,5 | 114,2 | 112,6 | 111,3            | 6,7                       |
| 40               | 109                                    | 107,4  | 111,5 | 114,6 | 110,9 | 111,2 | 110,1          | 111,6 | 111,3 | 113,8 | 112,7 | 111,5            | 7,2                       |
| 42               | 111                                    | 107,4  | 111,0 | 113,8 | 110,9 | 111,8 | 109,5          | 112,4 | 111,7 | 113,7 | 112,6 | 111,5            | 6,4                       |
| 44               | 110                                    | 107,5  | 111,6 | 113,4 | 111,1 | 111,5 | 109,1          | 111,5 | 111,4 | 113,0 | 112,4 | 111,3            | 5,9                       |
| 46               | 111                                    | 107,4  | 111,1 | 113,4 | 110,9 | 111,2 | 109,3          | 111,6 | 111,7 | 113,8 | 112,4 | 111,3            | 6,4                       |
| 48               | 109                                    | 107,6  | 111,3 | 113,7 | 111,4 | 111,8 | 109,5          | 111,8 | 111,3 | 113,4 | 112,6 | 111,4            | 6,1                       |
| 50               | 110                                    | 107,5  | 110,9 | 114,6 | 111,1 | 111,3 | 109,5          | 111,5 | 111,5 | 113,3 | 112,9 | 111,4            | 7,1                       |
| 52               | 110                                    | 107,4  | 111,6 | 113,4 | 110,9 | 111,5 | 109,5          | 111,5 | 111,3 | 113,4 | 112,4 | 111,3            | 6,0                       |
| 54               | 109                                    | 107,5  | 111,1 | 114,6 | 111,4 | 111,8 | 109,1          | 111,6 | 111,4 | 113,0 | 112,4 | 111,4            | 7,1                       |
| 56               | 110                                    | 107,4  | 111,0 | 113,4 | 111,5 | 111,5 | 109,5          | 111,5 | 111,5 | 113,4 | 112,7 | 111,3            | 6,0                       |
| 58               | 109                                    | 107,6  | 111,6 | 113,7 | 111,1 | 111,3 | 109,9          | 111,8 | 111,3 | 113,3 | 112,9 | 111,5            | 6,1                       |
| 60               | 111                                    | 107,8  | 111,0 | 113,8 | 111,1 | 111,3 | 109,1          | 112,4 | 111,6 | 113,0 | 112,8 | 111,4            | 6,0                       |
| <b>T. PROM</b>   | 109,6                                  | 107,6  | 111,2 | 113,8 | 111,2 | 111,5 | 109,5          | 111,8 | 111,5 | 113,5 | 112,6 | 111,4            |                           |
| <b>T. MAX</b>    | 111,0                                  | 107,8  | 111,6 | 114,6 | 111,6 | 111,8 | 110,1          | 112,5 | 111,9 | 114,2 | 112,9 |                  |                           |
| <b>T. MIN</b>    | 109,0                                  | 107,4  | 110,9 | 113,4 | 110,9 | 111,2 | 109,1          | 111,5 | 111,3 | 113,0 | 112,4 |                  |                           |
| <b>DTT</b>       | 2,0                                    | 0,4  | 0,7   | 1,2   | 0,7   | 0,6   | 1,0            | 1,0   | 0,6   | 1,2   | 0,5   |                  |                           |

| Parámetro                               | Valor (°C) | Incertidumbre<br>Expandida (°C) |
|---|------------|---------------------------------|
| Máxima Temperatura Medida               | 114,6      | 0,4                             |
| Mínima Temperatura Medida               | 107,4      | 0,5                             |
| Desviación de Temperatura en el Tiempo  | 1,2        | 0,2                             |
| Desviación de Temperatura en el Espacio | 6,3        | 0,3                             |
| Estabilidad Media (±)                   | 0,6        | 0,02                            |
| Uniformidad Media                       | 7,2        | 0,1                             |

Para cada posición de medición su "desviación de temperatura en el tiempo" DTT esta dada por la diferencia entre la máxima y la mínima temperatura registradas en dicha posición  
 Entre dos posiciones de medición su "desviación de temperatura en el espacio" esta dada por la diferencia entre los promedios de temperaturas registradas en ambas posiciones.  
 La incertidumbre expandida de la medición se ha obtenido multiplicando la incertidumbre estándar de la medición por el factor de cobertura  $k=2$  que, para una distribución normal corresponde a una probabilidad de cobertura de aproximadamente 95 %.

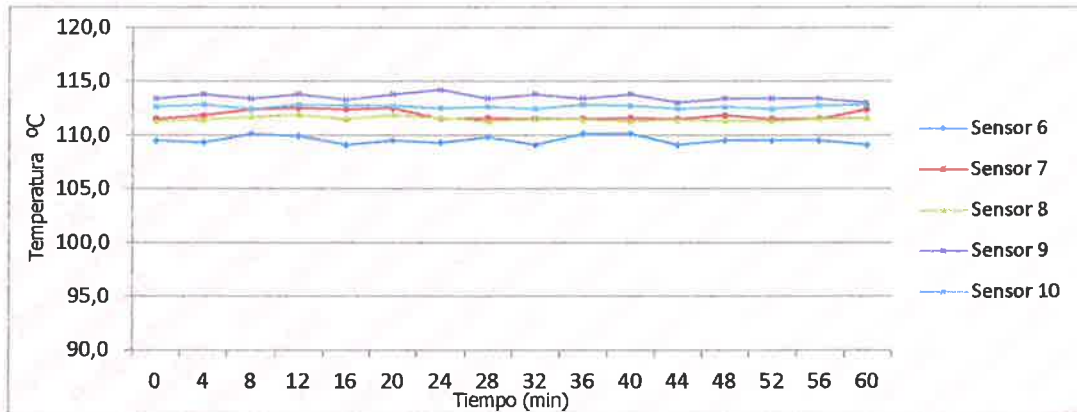
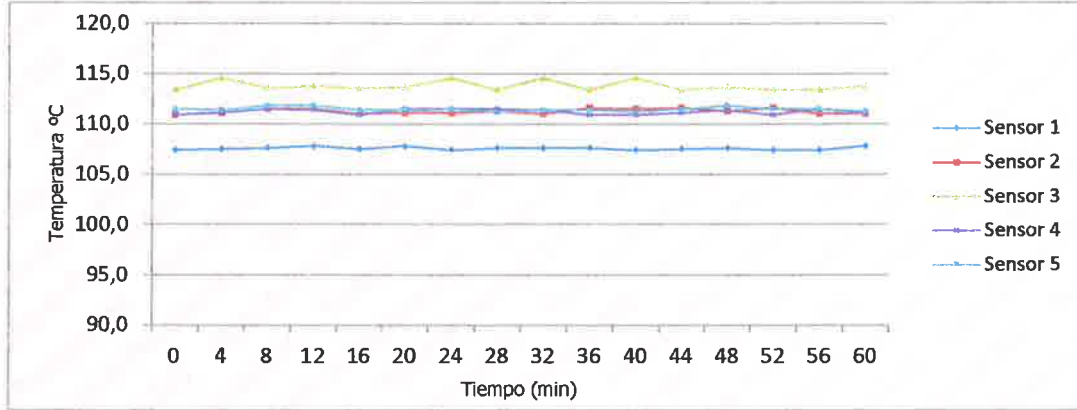



  
 Jefe de Laboratorio  
 Ing. Luis Loayza Capcha  
 Reg. CIP N° 152631





TEMPERATURA DE TRABAJO 110 °C



  
Jefe de Laboratorio  
Ing. Luis Loayza Capcha  
Reg. CIP N° 152631



Punto de Precisión SAC

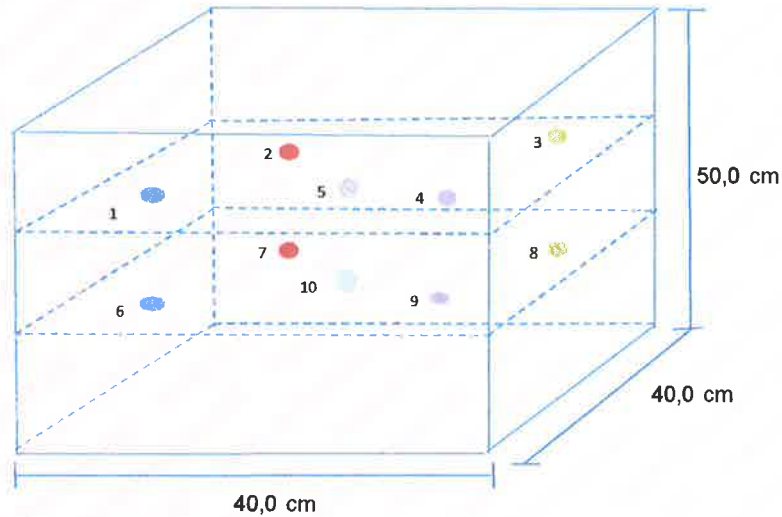
# PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C.

## LABORATORIO DE CALIBRACIÓN

CERTIFICADO DE CALIBRACION N° LT - 973 - 2021

Página : 4 de 4


### DISTRIBUCIÓN DE LOS SENSORES EN EL EQUIPO



- Los Sensores 5 y 10 se ubicaron sobre sus respectivos niveles.
- Los demas sensores se ubicaron a 8 cm de las paredes laterales y a 8 cm del fondo y del frente del equipo.
- Los Sensores del nivel superior se ubicaron a 1,5 cm por encima de la altura mas alta que emplea el usuario.
- Los Sensores del nivel inferior se ubicaron a 1,5 cm por debajo de la parrilla más baja.

FIN DEL DOCUMENTO



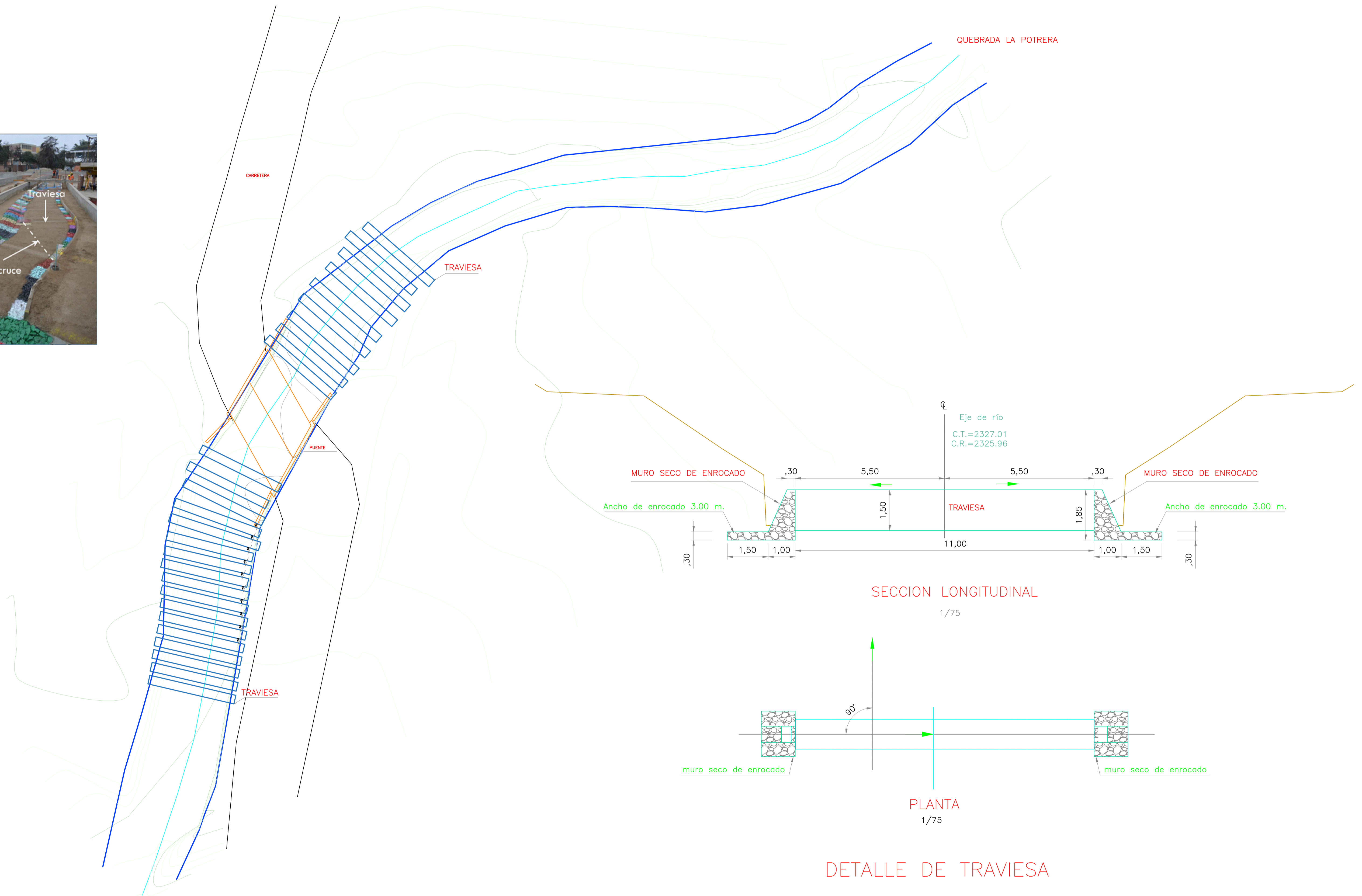
  
Jefe de Laboratorio  
Ing. Luis Loayza Capcha  
Reg. CIP N° 152631

***Anexo G. Plano de traviesas***



**PLANO DE TRAVIESAS  
QUEBRADA LA POTRERA  
PUENTE COLPAMAYO**

ESCALA 1:200



**UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE CHOTA**  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS: **"INFLUENCIA DE LOS PARÁMETROS HIDROLÓGICOS Y GEOMORFOLÓGICOS DE LA QUEBRADA LA POTRERA EN LA SOCAVACIÓN LOCAL DEL PUENTE COLPAMAYO, CHOTA, 2021"**

ASESOR: DR. LUIS ALBERTO ORBEGOSO NAVARRO

DIBUJO Y DISEÑO: ENNIN DELGADO IRIGOÍN

PLANO: **PLANO DE TRAVIESAS  
PUENTE COLPAMAYO**

REGION: CAJAMARCA  
PROVINCIA: CHOTA  
DISTRITO: CHOTA

ESCALA: 1/200  
FECHA: CHOTA, ENERO 2024

LAMINA:  
**ST- 01**