



FACULTAD DE INGENIERÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

“EVALUACIÓN DE LA SOCAVACIÓN QUE PRODUCIRÁ EN PILARES Y ESTRIBOS DEL PUENTE MOCHE, LA DERIVACIÓN DEL CAUDAL DE LA QUEBRADA SAN IDELFONSO.”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero Civil

Autores:

Carlos Miguel Avalos Castro

Julio Cesar Zegarra Tordoya

Asesor:

Ing. Juan Alejandro Ágreda Barbaran

Trujillo – Perú

2018

APROBACIÓN DEL TRABAJO DE TESIS

El asesor y los miembros del jurado evaluador asignados, **APRUEBAN** la tesis desarrollada por los Bachilleres:

Carlos Miguel Avalos Castro y Julio César Zegarra Tordoya, denominada:

“EVALUACIÓN DE LA SOCAVACIÓN QUE PRODUCIRÁ EN PILARES Y ESTRIBOS DEL PUENTE MOCHE, LA DERIVACIÓN DEL CAUDAL DE LA QUEBRADA SAN IDELFONSO.”

Ing. Juan Alejandro Ágreda Barbarán

ASESOR

Dr. Ing. Guillermo Cabanillas Quiroz

**JURADO
PRESIDENTE**

Ing. Julio Valeriano Murga

JURADO

Ing. Eleodoro Valderrama Fernández

JURADO

DEDICATORIAS

A mis queridos hijos, quienes motivan mi mayor esfuerzo en la constante búsqueda de superación profesional y personal.

A ellos, involuntarios sacrificados de la compañía de su padre, a quienes privé de muchos fines de semana familiar, o unas noches de compañía y afecto, con el único objetivo de alcanzar la meta trazada, para lo cual todo esfuerzo o sacrificio era necesario.

Hoy que se culminó con éxito esta Tesis, solo puedo decirles:

Hijos, esto se los dedico a ustedes por entero.

Carlos Miguel Avalos Castro

A Dios, por darme la oportunidad de vivir y por estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo el periodo de estudio.

A mis padres Néstor y Luchita, por quererme mucho, creer en mí y apoyarme siempre. Gracias por darme una carrera para mi futuro, por cuidar siempre de mí durante todos estos años de mi vida. Nada de esto hubiera sido posible sin su esfuerzo y dedicación.

A mi mamá Nimia, por cuidarme y quererme siempre, apoyarme y enseñarme a buscar ser siempre una buena persona y un buen ser humano, muchas gracias por cada instante de tu vida que lo dedicaste y lo dedicas a mí.

A mi hermanita Brenny, por apoyarme siempre, quererme y buscar siempre lo mejor para mí.

A mi novia Cynthia, en especial, que es la persona que Dios puso en mi camino para quererme, apoyarme y cuidarme, gracias por tu apoyo incondicional, tu paciencia y comprensión, y por ayudarme a ser, cada día que pasa, una mejor persona para bien nuestro y de nuestras familias.

Julio Cesar Zegarra Tordoya

AGRADECIMIENTOS

A mi amada madre quien, aunque nos dejó muy pronto, supo inculcar en sus hijos la llama de la perseverancia y la fe con su carácter fuerte, pero amoroso y noble.

A mi querido padre, quien permanentemente nos motivó a luchar siempre hasta alcanzar las metas necesarias para poder conseguir nuestros más caros anhelos. Gracias padres por confiar en mí.

A mi querida hermana Lucy, sin cuyo apoyo hubiera sido imposible la culminación de ésta empresa.

Gracias, muchas gracias.

Carlos Miguel Avalos Castro

A mis tíos y tías, porque siempre han sido como mis padres, dándome su amor y cuidados, apoyándome siempre durante todo el transcurso de mi vida. A mi viejito José Uldarico Tordoya (QEPD) y mi abuelita Yolanda Argomedo (QEPD), por quererme y apoyarme siempre que estuvieron a mi lado y sé que lo siguen haciendo desde el cielo, esto también se lo debo a ustedes.

Muchas gracias, con todo mi corazón.

Julio Cesar Zegarra Tordoya

ÍNDICE DE CONTENIDOS

| | |
|---|-------------|
| APROBACIÓN DEL TRABAJO | ii |
| DEDICATORIAS | iii |
| AGRADECIMIENTOS | iv |
| ÍNDICE DE CONTENIDOS | v |
| ÍNDICE DE TABLAS | vii |
| ÍNDICE DE FIGURAS..... | ix |
| RESUMEN..... | xii |
| ABSTRACT | xiii |
| | |
| CAPÍTULO 1.- INTRODUCCIÓN | 12 |
| 1.1. Realidad problemática | 12 |
| 1.2. Formulación del problema | 13 |
| 1.3. Justificación | 13 |
| 1.4. Limitaciones | 14 |
| 1.5. Objetivos | 14 |
| 1.6. Hipótesis | 15 |
| CAPÍTULO 2.- MARCO TEÓRICO | 16 |
| 2.1. Antecedentes | 16 |
| 2.2. Bases teóricas | 16 |
| CAPÍTULO 3.- METODOLOGÍA | 33 |
| 3.1. Variable Independiente | 33 |
| 3.2. Variable Dependiente | 33 |

| | |
|---|-----------|
| 3.3. Operacionalización de variables | 33 |
| 3.4. Diseño de Investigación | 33 |
| 3.5. Unidad de estudio | 33 |
| 3.6. Técnicas, instrumentos y procedimientos de recolección de datos | 36 |
| 3.7. Métodos, instrumentos y procedimientos de análisis de datos | 36 |
| CAPITULO 4.- RESULTADOS | 38 |
| 4.1. Calculo del caudal máximo de la cuenca de la quebrada San Idelfonso | 38 |
| 4.2. Cálculo del caudal máximo que pasó por la calle Hipólito Unanue, proveniente de la cuenca de la quebrada San Idelfonso | 51 |
| 4.3. Estudio de mecánica de suelos del rio Moche | 53 |
| 4.4. Mediciones complementarias en el cauce del rio Moche | 64 |
| 4.5. Información histórica del caudal máximo en el río Moche de los últimos 56 años | 67 |
| 4.6. Modelamiento del flujo con el nuevo caudal del rio Moche en HEC-RAS | 69 |
| 4.7. Cálculo de la socavación general del cauce por el método de LISCHTVAN-LEVEDIEV | 76 |
| 4.8. Cálculo de la socavación local de los estribos por el método de K. F. ARTAMONOV | 79 |
| 4.9. Cálculo de la socavación local de los pilares por el método de NEILL | 81 |
| CAPÍTULO 5.- DISCUSIONES | 82 |
| CONCLUSIONES | 83 |
| RECOMENDACIONES | 85 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 87 |
| ANEXOS | 88 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1. Factor de corrección por contracción del cauce..... | 20 |
| Tabla 2. Operacionalización de variables..... | 33 |
| Tabla 3. Precipitaciones máximas del mes de marzo de 2017 de la estación meteorológica de Laredo | 44 |
| Tabla 4. Precipitaciones máximas de los últimos 20 años de la estación meteorológica de Laredo | 45 |
| Tabla 5. Clasificación de la intensidad de precipitación | 47 |
| Tabla 6. Análisis de granulometría calicata N° 1 a 0.3 m | 57 |
| Tabla 7. Análisis de granulometría calicata N° 1 a 1.2 m | 58 |
| Tabla 8. Análisis de granulometría calicata N° 1 a 2.3 m | 59 |
| Tabla 9. Análisis de granulometría calicata N° 2 a 0.3 m | 60 |
| Tabla 10. Análisis de granulometría calicata N° 2 a 1.2 m | 61 |
| Tabla 11. Análisis de granulometría calicata N° 2 a 2.3 m | 62 |
| Tabla 12. Caudales máximos del río Moche de los últimos 56 años | 68 |
| Tabla 13. Tabla de datos de la modelación en HEC-RAS..... | 74 |
| Tabla 14. Selección de los valores de la sección transversal que está debajo del puente HEC-RAS..... | 75 |
| Tabla 15. Coeficiente de contracción | 77 |
| Tabla 16. Valores de X para suelos cohesivos y no cohesivos | 78 |
| Tabla 17. Valores del coeficiente b | 78 |

| | |
|--|----|
| Tabla 18. Valores del coeficiente correctivo P_a | 80 |
| Tabla 19. Valores del coeficiente correctivo P_q | 80 |
| Tabla 20. Valores del coeficiente correctivo P_R | 81 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1. Sección transversal del cauce..... | 19 |
| Figura 2. Intersección del flujo por los estribos. Método de ARTAMONOV..... | 21 |
| Figura 3. Influencia de la forma de la cuenca en el hidrograma. | 26 |
| Figura 4. Divisoria de aguas..... | 28 |
| Figura 5. Partes de un río | 28 |
| Figura 6. Ubicación de la quebrada San Idelfonso..... | 34 |
| Figura 7. Ubicación del río Moche y el puente Moche..... | 35 |
| Figura 8. Delimitación del área de la cuenca con google Earth..... | 39 |
| Figura 9. Inicio del cauce principal de la cuenca de la quebrada San Idelfonso | 39 |
| Figura 10. Recorrido de cauce principal parte 1..... | 40 |
| Figura 11. Recorrido de cauce principal parte 2..... | 40 |
| Figura 12.- Recorrido de cauce principal parte 3..... | 41 |
| Figura 13. Hietograma de la estación pluviométrica de la quebrada San Idelfonso del día 14/03/2017..... | 46 |
| Figura 14. Hietograma de la estación pluviométrica de la quebrada San Idelfonso del día 19/03/2017..... | 46 |
| Figura 15. Localizamos la cuenca en la aplicación GeoHidro | 49 |
| Figura 16. Activamos el programa y nos indica de acuerdo al color en el plano, los valores de CN en la tabla de valores | 49 |
| Figura 17. Hidrograma sintético de la cuenca de la quebrada San Idelfonso | 50 |

| | |
|--|----|
| Figura 18. Altura del tirante parte 1..... | 51 |
| Figura 19. Altura del tirante parte 2..... | 52 |
| Figura 20. Calculo en HCANALES del Caudal máximo en la Hipólito Unanue y su velocidad | 52 |
| Figura 21. realizando el trabajo de las calicatas..... | 53 |
| Figura 22. Foto del suelo del río moche de la primera capa a 0.30 m | 54 |
| Figura 23. Foto del suelo del río moche de la segunda capa a 1.2 m | 54 |
| Figura 24. Foto del suelo del río moche de la segunda capa a 2.3 m | 55 |
| Figura 25. Peso y Tamizado de las muestras en laboratorio..... | 56 |
| Figura 26. Curva Granulométrica de muestra a 0.3 m de la calicata N° 1 | 57 |
| Figura 27. Curva Granulométrica de muestra a 1.2 m de la calicata N° 1 | 58 |
| Figura 28. Curva Granulométrica de muestra a 2.3 m de la calicata N° 1 | 59 |
| Figura 29. Curva Granulométrica de muestra a 0.3 m de la calicata N° 2 | 60 |
| Figura 30. Curva Granulométrica de muestra a 1.2 m de la calicata N° 2 | 61 |
| Figura 31. Curva Granulométrica de muestra a 2.3 m de la calicata N° 2 | 62 |
| Figura 32. Trabajo de nivelación en el lecho del río Moche | 64 |
| Figura 33. Mediciones de taludes en las riberas del río Moche..... | 64 |
| Figura 34. Medición en el lecho del río Moche | 65 |
| Figura 35. Medición en los pilares del puente y la huella del Tirante que dejo la máxima avenida del mes de marzo durante el fenómeno del niño costero | 65 |
| Figura 36. Sección transversal del río moche en AutoCAD parte 1 | 66 |
| Figura 37. Sección transversal del río Moche en AutoCAD parte 2..... | 66 |

| | |
|---|----|
| Figura 38. Sección transversal del puente Moche en AutoCAD | 67 |
| Figura 39. Diagrama de barras de los caudales máximos del río Moche de los últimos 56 años..... | 69 |
| Figura 40. Geometría de las secciones transversales del río Moche cada 20 m | 69 |
| Figura 41. Sección transversal del río Moche 20 m aguas abajo del puente HEC-RAS | 70 |
| Figura 42. Sección transversal del río Moche bajo el puente HEC-RAS | 70 |
| Figura 43. Sección transversal del río Moche 20 m aguas arriba del puente HEC-RAS | 71 |
| Figura 44. Sección transversal del río Moche 40 m aguas arriba del puente HEC-RAS | 71 |
| Figura 45. Sección transversal del río Moche 60 m aguas arriba del puente HEC-RAS | 72 |
| Figura 46. Sección transversal del río Moche 80 m aguas arriba del puente HEC-RAS | 72 |
| Figura 47. Sección transversal del río Moche 100 m aguas arriba del puente HEC-RAS | 73 |
| Figura 48. Vista 3D del flujo del caudal en el río moche (X, Y, Z) HEC-RAS..... | 73 |
| Figura 49. Distancia recorrida y elevación HEC-RAS..... | 74 |

RESUMEN

Tras el desastre que produjo el fenómeno Niño Costero del verano del 2017, el Gobierno Regional y la Autoridad Nacional del Agua (ANA) suscriben un convenio de cooperación institucional para elaborar el proyecto “Desviación de las Aguas de la Quebrada San Idelfonso hacia el Río Moche con fines de Protección contra Inundaciones de la Ciudad de Trujillo y el Distrito de El Porvenir”. En esta coyuntura, los autores, nos abocamos al estudio de las consecuencias que acarrearán la derivación de las aguas de la quebrada San Idelfonso en la cimentación del puente Moche. La presente investigación contiene estudios de antecedentes sobre socavación en puentes en el mundo y en el Perú, así como los fundamentos teóricos en los que se sustentan las diversas fórmulas para el cálculo de socavación. Para el estudio de la cuenca se ha empleado el método de mediciones directas, así como mediciones con herramientas tecnológicas para áreas demasiado extensas. La metodología empleada en el cálculo de socavación general fue por el método de Lischtvan-Levediev, para la socavación en estribos fue por el método de K. F. Artamonov y para la socavación en pilares se utilizó el método de Neill, junto al programa HEC RAS. Para los caudales del río Moche se utilizaron métodos estadísticos con datos proporcionados por las diferentes entidades encargadas de las mediciones meteorológicas e hidráulicas. Los resultados obtenidos del cálculo del caudal de la micro cuenca San Idelfonso y los registros del río Moche nos demuestran que la incidencia de las aguas de la quebrada san Idelfonso representa apenas un 5% del caudal del río, por lo que concluimos que la socavación esperada en los pilares y estribos del puente Moche no representa un peligro para estabilidad del mismo. Consecuentemente, la propuesta de la ANA es técnicamente viable. Sin embargo, pudimos determinarse un error en la apreciación de las autoridades competentes con respecto al caudal que puede generar la micro cuenca San Idelfonso; y es que no se ha considerado que el caudal que se produjo el 19 de marzo del 2017, corresponde a un caudal de rotura de dique, cuyo desborde dejó enormes daños en la ciudad de Trujillo.

Finalmente planteamos unas recomendaciones producto del reconocimiento del terreno hecho tras las dos expediciones realizadas a la cuenca de San Idelfonso, así como de la literatura existente sobre gestión de cuencas.

Palabras claves: Socavación, caudal, cuenca hidrográfica, estribos y pilares.

ABSTRACT

After the disaster that produced the phenomenon Coastal Child of the summer of 2017, the Regional Government and the National Water Authority (ANA) signed an agreement of institutional cooperation to develop the project "Deviation of the waters of the Quebrada San Idelfonso to the River Moche for flood protection purposes of the City of Trujillo and the District of El Porvenir.

In this juncture, the authors, we study the consequences that will lead to the diversion of the waters of the San Idelfonso creek in the foundations of the Moche bridge. The present research contains background studies on scour at bridges in the world and in Peru, as well as the theoretical foundations on which the various formulas for the calculation of scouring are based. For the study of the basin the method of direct measurements has been used, as well as measurements with technological tools for areas too extensive. The methodology used in the calculation of general scour was by the method of Lischtvan-Levediev, for the scour in stirrups was by the method of K. F. Artamonov and for the scour in pillars Neill's method was used, together with the HEC RAS program. For the flows of the Moche river, statistical methods were used with data provided by the different entities in charge of meteorological and hydraulic measurements. The results obtained from the calculation of the San Idelfonso micro-watershed and the Moche river records show us that the incidence of the waters of the San Idelfonso stream represents only 5% of the river's flow, which is why we conclude that the expected scour in the pillars and abutments of the Moche bridge it does not represent a danger for its stability. Consequently, the proposal of the ANA is technically viable. However, we were able to determine an error in the assessment of the competent authorities regarding the flow that can be generated by the San Idelfonso micro-watershed; and it is that it has not been considered that the flow that occurred on March 19, 2017, corresponds to a flow of dam breakage, whose overflow left enormous damage in the city of Trujillo.

Finally, we propose some recommendations resulting from the recognition of the land made after the two expeditions to the San Idelfonso basin, as well as the existing literature on watershed management.

Keywords: Scour, flow, watershed, abutments and pillars.

CAPITULO 1.- INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática.

La situación climática que se presentó en el verano del 2017 representó toda una sorpresa para los países de Ecuador y Perú. Los diversos investigadores de fenómenos atmosféricos no pueden determinar aún la naturaleza del fenómeno ni su carácter cíclico (si es que lo tuviera). En el Perú ninguna entidad relacionada con el monitoreo del clima, llámese Senamhi, Instituto del Mar, etc. detectó la ocurrencia de este fenómeno y las autoridades políticas de las diversas regiones no habían tomado en serio las recomendaciones que en materia de prevención de desastres se habían dictado en espera del ya conocido fenómeno El Niño, y consecuentemente, no se invirtió convenientemente en infraestructura de prevención. En estas circunstancias, en febrero de este año se presenta el ahora denominado fenómeno del Niño Costero, y las intensas precipitaciones fluviales desbordaron ríos en nuestra región norte, principalmente.

En el departamento de La Libertad, se activaron las quebradas León, Indoamericano, San Idelfonso y San Carlos, causando estragos en la ciudad y el distrito de El Porvenir, principalmente. El río Virú aumentó considerablemente su caudal, causando la caída del puente del mismo nombre la noche del sábado 18 de marzo, ¿la causa de su colapso? Socavación en sus pilas.

En la ciudad de Trujillo, el río Moche, aumentó su caudal considerablemente, haciendo peligrar sus estructuras, las cuales soportan estoicamente la arremetida del río. La Quebrada San Idelfonso, ubicada al este de la ciudad, descarga sus aguas hasta en siete oportunidades en tan solo una semana, causando estragos en el distrito de El Porvenir y continúa su paso reclamando su cauce natural, el cual, desde épocas remotas, atravesaba el llano sobre el cual se levantó posteriormente la ciudad de Trujillo.

Ante esta situación, las máximas autoridades de la región plantean una posible solución al desastre que dejó en toda la población el discurrir de las aguas cargadas de lodo que vertió la quebrada de San Idelfonso: La Autoridad Nacional del Agua (ANA) del Ministerio de Agricultura y Riego, y el Gobierno Regional de La Libertad, suscriben un convenio de cooperación interinstitucional para la ejecución de un conjunto de acciones para elaborar los diseños constructivos del proyecto

“Desviación de las Aguas de la Quebrada San Idelfonso hacia el Río Moche con fines de Protección contra Inundaciones de la Ciudad de Trujillo y el Distrito de El Porvenir”.
(Ver anexo 1)

Ante la inminente ejecución de este proyecto, el presente trabajo tiene como finalidad estudiar y evaluar el impacto que tendrá en el puente Moche el soportar el incremento del caudal que originará recibir estas aguas provenientes de la quebrada San Idelfonso, una vez puesto en funcionamiento la derivación proyectada por el Gobierno Regional.

1.2. Formulación del problema

¿En qué medida la derivación del caudal de la quebrada San Idelfonso, influirá en la socavación de los estribos y pilares del puente Moche?

¿Cuáles serán los caudales nuevos producto de la derivación de las aguas de la quebrada San Idelfonso?

A la luz de los resultados, ¿será viable la propuesta formulada por la Autoridad Nacional del Agua (ANA), de desviar las aguas de la quebrada San Idelfonso hacia el río Moche?

¿Qué medidas complementarias deberían tomarse con respecto a las riveras del río Moche para que no se produzcan desbordes e inundaciones?

1.3. Justificación

Es indudable que la derivación de las aguas de la quebrada San Idelfonso generará un incremento en el caudal del río Moche, el cual en los meses de enero febrero y marzo ya ve incrementado su caudal por las lluvias provenientes de su cuenca tributaria a lo largo de su recorrido.

El caudal proveniente de la quebrada San Idelfonso se sumará al del río Moche, y es de suponer, por tanto, que las estructuras estarán mucho más solicitadas con un caudal mayor al proyectado, comprometiendo aún más sus pilares, estribos y el nivel de socavación previsto en su diseño original. En el mismo mes de marzo el colegio de Ingenieros de la Libertad emite un pronunciamiento en el que expresa sus dudas sobre la conveniencia de este proyecto y recomienda estudios previos (Anexo 2).

El presente tema de investigación surge de la necesidad de hacer un estudio del impacto de estas nuevas condiciones hidráulicas a fin de determinar si la estructura del puente puede soportar, sin daños, este evento extremo.

La conveniencia de este estudio radica en que, siendo el puente Moche una infraestructura que conecta a toda la región norte con el resto del país, su operatividad es de vital importancia para el normal desarrollo económico y social, en consecuencia, se busca evitar acciones que puedan afectar su normal operatividad.

1.4. Limitaciones

- a) Una de las mayores limitaciones que hemos encontrado para la elaboración de la presente tesis, ha sido obtener información rápida y oportuna de parte de las diferentes entidades estatales a las que se les ha solicitado, como la Municipalidad Provincial del Porvenir, Dirección General de agricultura y riego, Autoridad Nacional del Agua, Ministerio de Transportes y comunicaciones y Gobierno Regional de la Libertad.
- b) Los datos proporcionados por los diferentes organismos que manejan información meteorológica, no siempre coinciden.
- c) Las estaciones pluviométricas instaladas en el departamento de La Libertad no funcionan permanentemente y en la mayoría de los casos no vienen funcionando del todo, por lo que poseen datos incompletos.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo General. –

Determinar en qué medida la derivación de las aguas de la quebrada san idelfonso influirá en la socavación de los estribos y pilares del puente Moche.

1.5.2. Objetivos Específicos. –

-Determinar el caudal máximo de las nuevas avenidas que incluyan las aguas provenientes de la derivación proyectada.

-Calcular el nivel de socavación en pilares y estribos como consecuencia del nuevo caudal

-Determinar, con los resultados obtenidos, la viabilidad de la propuesta de la Autoridad Nacional del Agua (ANA), de derivar las aguas de la quebrada San Idelfonso hacia el río Moche.

1.6. Hipótesis

La derivación del caudal de la quebrada San Idelfonso hacia el cauce del río Moche, producirá un incremento del nivel de socavación en los pilares y estribos del puente Moche y su posible colapso.

CAPITULO 2.- MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

No existe un caso precedente a este tema, por lo tanto, no tenemos antecedentes que incorporar en este trabajo de investigación.

La derivación de las aguas de la quebrada san Idelfonso hacia el río Moche, es un caso sui generis producto de la necesidad de proteger a una ciudad que ha sido asentada sobre un lecho aluvional.

2.2. Bases teóricas

. Socavación

La socavación es un fenómeno hidrodinámico que es la causa más frecuente de falla que afecta las cimentaciones de los puentes. Dicho fenómeno es una combinación de distintos procesos, unos que se producen a largo plazo y otros transitorios por el paso de avenidas. Para la estimación de la profundidad de socavación, el período de retorno mínimo deberá ser igual al utilizado en el diseño del puente y para un caudal de no más de 500 años de periodo de retorno que es el caudal para verificar la estabilidad de la cimentación del puente. En ese caso, se considera que se trata de un evento extremo. (Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje MTC, 2012).

Para el presente estudio se tendrá en cuenta las características granulométricas del fondo del lecho del río Moche. Rocha (2013) afirma: “El transporte sólido está formado por las partículas en suspensión y por las de fondo. En lo que respecta a este último modo de transporte, y para efectos de la erosión local, es muy importante la curva de distribución granulométrica de las partículas que lo constituyen. Es así como una distribución granulométrica extendida protege de la erosión. Por el contrario, la granulometría casi uniforme, como la de una arena fina, aumenta el peligro de erosión. En general, en el cálculo de la profundidad de socavación en lechos arenosos, no influye el tamaño de los granos. Cuando hay partículas mayores puede producirse, para un cierto caudal, el acorazamiento del lecho, lo que implicaría la disminución de la socavación. Esto fue considerado por Richardson en la fórmula de Colorado State University (CSU)” (p.16).

Se ha considerado datos estadísticos proporcionados por las diferentes instituciones meteorológicas, al respecto el Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje MTC (2012), recomienda: “Para obtener la Avenida de Diseño o el caudal máximo en la sección de interés de un cauce natural (río o quebrada) además de los métodos de análisis regional e hidráulico (sección-pendiente y modelamientos), existen dos formas más comunes de obtenerlo; la primera consiste en la aplicación de teorías estadísticas a series históricas de caudales máximos (método hidrológico) registrados en el tramo fluvial de interés o cercano a él; la segunda forma, se refiere a los métodos indirectos mediante el uso de relaciones precipitación escorrentía (método hidrometeorológico), a partir de información pluviométrica registrada en el área o cuenca hidrográfica de interés” (p.92).

La geometría de los pilares influye decisivamente en el nivel de socavación; al respecto, Rocha (2013) afirma: “El ancho del pilar es sumamente importante en el cálculo de la socavación. Se sabe que mientras mayor sea el ancho del pilar (entendiendo como tal su dimensión en el sentido normal al de la corriente), mayores serán las posibilidades de una socavación más intensa. De acá que haya que preferir pilares delgados” (p.16).

Para la estimación de la socavación local en estribos es muy importante la recomendación que al respecto formula el Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje MTC (2012), el cual afirma:” Existen algunos métodos para la determinación de la socavación local en estribos, entre ellos podemos mencionar: Liu, Chang y Skinner, Laursen, Artamonov, Froehlich, Hire y Melville. Sin embargo, la incertidumbre existente con relación a la aplicabilidad y a los resultados de las ecuaciones es mayor que para el caso de la socavación local en pilares.

Todas las ecuaciones existentes tienen limitaciones de tipo práctico. Por ejemplo, las ecuaciones han sido desarrolladas para cauces de lecho arenoso y no tienen en cuenta la posibilidad de acorazamiento. Las ecuaciones para el cálculo de la socavación local en estribos se basan en información de laboratorio y muy poca información de campo existe para su verificación. Casi todas las ecuaciones dan como resultado valores muy conservadores de socavación debido a que consideran que el estribo está en el cauce principal formado por lechos aluviales y asumen que el caudal de agua obstruido es proporcional a la longitud del estribo, lo cual raramente ocurre en la realidad. El especialista debe determinar la ecuación que mejor se ajusta a las condiciones de un puente en particular.

La socavación local en los estribos depende, entre otros, de la forma del estribo, las características del sedimento, la forma de la sección transversal, la profundidad del flujo en el cauce principal y en las márgenes, el caudal que es interceptado por el estribo y retorna al cauce principal, el alineamiento del cauce, el tiempo de duración de la creciente, etc., factores que no se reflejan debidamente en las ecuaciones existentes” (p.139).

En nuestro país uno de los métodos más usados para el cálculo de socavación general es el llamado Método de Lischtván-Levediev por su alto grado de confiabilidad, a tal punto que la mayoría de los puentes construidos en nuestra red vial han sido diseñados bajo sus parámetros. Al respecto el Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje MTC (2012) textualmente afirma: “El método propuesto por Lischtván-Levediev es el más usado en nuestro país para el cálculo de la socavación general incluyendo el efecto de la contracción de un puente. Se fundamenta en el equilibrio que debe existir entre la velocidad media real de la corriente (V_r) y la velocidad media erosiva (V_e). La velocidad erosiva no es la que da inicio al movimiento de las partículas en suelos sueltos, sino la velocidad mínima que mantiene un movimiento generalizado del material del fondo. Si el suelo es cohesivo, es la velocidad que es capaz de levantar y poner el sedimento en suspensión. La velocidad erosiva está en función de las características del sedimento de fondo y de la profundidad del agua. La velocidad real está dada principalmente en función de las características del río: pendiente, rugosidad y tirante o profundidad del agua.

El método se basa en suponer que el caudal unitario correspondiente a cada franja elemental en que se divide el cauce natural (Figura 1) permanece constante durante el proceso erosivo y puede aplicarse, con los debidos ajustes, para casos de cauces definidos o no, materiales de fondo cohesivos o friccionantes y para condiciones de distribución de los materiales del fondo del cauce homogénea o heterogénea.

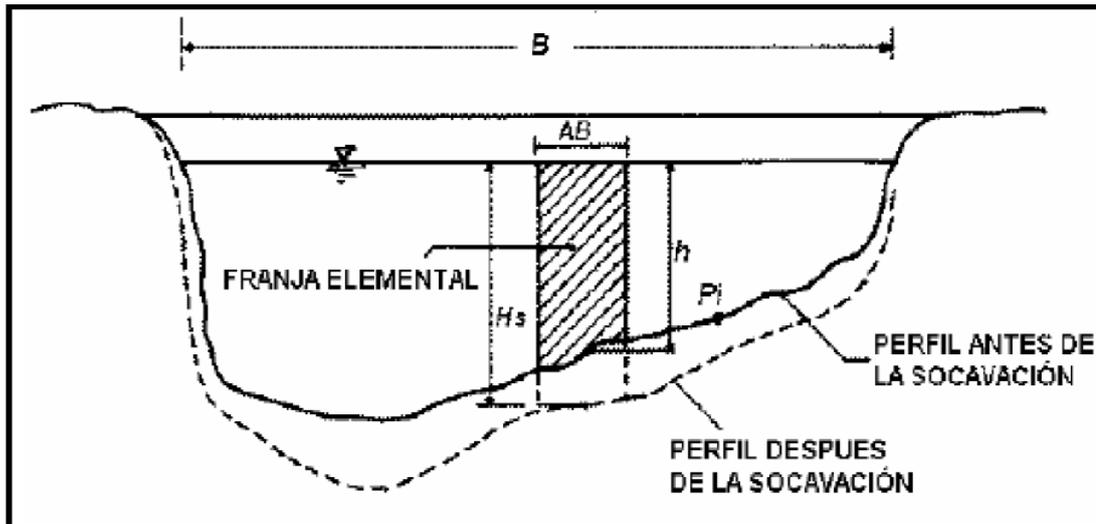


Figura 1. Sección transversal del cauce

(Fuente: Juárez Badillo E. y Rico Rodríguez A. (1992)).

a) Para suelos granulares

Se tiene la siguiente ecuación:

$$H_s = \left[\frac{\alpha h^{5/3}}{0.68 \beta D_m^{0.28}} \right]^{1/1+z}$$

La expresión anterior no considera el efecto de la contracción del flujo debida a la presencia de estribos y pilares, ni el peso específico del agua durante la creciente, por lo que debe corregirse mediante unos factores de ajuste cuando se trata de evaluar un puente.

El factor de corrección por contracción p es menor que 1 y contribuye al incremento de la profundidad de socavación.

En la siguiente tabla se muestra el factor de corrección por contracción del cauce en metros (m):

Tabla 1.
Factor de corrección por contracción del cauce

| V (m/s) | Luz libre (m) | | | | | | | | | | | | |
|------------|---------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 10 | 13 | 16 | 18 | 21 | 25 | 30 | 42 | 52 | 63 | 106 | 124 | 200 |
| <1.0 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| 1.0 | 0.96 | 0.97 | 0.98 | 0.98 | 0.99 | 0.99 | 0.99 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| 1.5 | 0.94 | 0.96 | 0.97 | 0.97 | 0.97 | 0.98 | 0.99 | 0.99 | 0.99 | 0.99 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| 2.0 | 0.93 | 0.94 | 0.95 | 0.96 | 0.97 | 0.97 | 0.98 | 0.98 | 0.99 | 0.99 | 0.99 | 0.99 | 1.00 |
| 2.5 | 0.90 | 0.93 | 0.94 | 0.95 | 0.96 | 0.96 | 0.97 | 0.98 | 0.98 | 0.99 | 0.99 | 0.99 | 1.00 |
| 3.0 | 0.89 | 0.91 | 0.93 | 0.94 | 0.95 | 0.96 | 0.96 | 0.97 | 0.98 | 0.98 | 0.99 | 0.99 | 0.99 |
| 3.5 | 0.87 | 0.90 | 0.92 | 0.93 | 0.94 | 0.95 | 0.96 | 0.97 | 0.98 | 0.98 | 0.99 | 0.99 | 0.99 |
| >4.0 | 0.85 | 0.89 | 0.91 | 0.92 | 0.93 | 0.94 | 0.95 | 0.96 | 0.97 | 0.98 | 0.99 | 0.99 | 0.99 |

(Fuente: “Bridge failures” de D. W. Smith)

V: Velocidad media en la sección transversal.

~: 1.0, si no hay obstáculos.

Para puentes de una sola luz, la luz libre es la distancia entre estribos. Para puentes de varios tramos, la luz libre es la mínima distancia entre dos pilares consecutivos, o entre el pilar y estribo más próximos.

Adicionalmente, el efecto del peso específico del agua durante la creciente se considera en otro factor de corrección ϕ que es mayor o igual que la unidad y su efecto es reducir la profundidad de socavación.

$\phi = 1.0$, si $\gamma_m = 1.0 \text{ T/m}^3$ (agua clara)

$\gamma_m =$ Peso específico de la muestra agua sedimento

$\phi = -0.54 + 1.5143\gamma_m$, si $\gamma_m > 1.0 \text{ T/m}^3$ (Lecho móvil)

(Coeficiente de correlación o de ajuste= 0.9983, (Higuera C. y Pérez G; 1989).)

La ecuación final para el cálculo de la socavación considerando los coeficientes de corrección por contracción y peso específico de agua, es la siguiente:

$$H_s = \left[\frac{\alpha h^{5/3}}{0.68 \beta \alpha \phi D_m^{0.28}} \right]_{1+z}^1$$

Donde:

$H_s - h$: Profundidad de socavación (m)

h : Tirante de agua (m)

D_m : Diámetro característico del lecho (mm)

β : Coeficiente de frecuencia.

α : Factor de corrección por contracción del cauce.

φ : Factor de corrección por forma de transporte de sedimentos.

Otro método que es utilizado en nuestro país, es el Método de K. F. Artamonov, el cual suele ser usado cuando existe limitaciones en la amplia información que otros métodos suelen requerir. Al respecto el Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje MTC (2012) textualmente afirma: “Este método permite determinar no solamente la profundidad de socavación que se produce al pie de estribos sino también al pie de espolones o espigones (p.154). Depende de los siguientes factores:

- . Porción del caudal que es interceptado por la estructura al meterse dentro de la corriente Q_1 o Q_2 (ver Figura 2).
- . Talud que tienen los lados del estribo (mH: 1.0V)
- . Ángulo entre el eje longitudinal del puente y la corriente (θ)

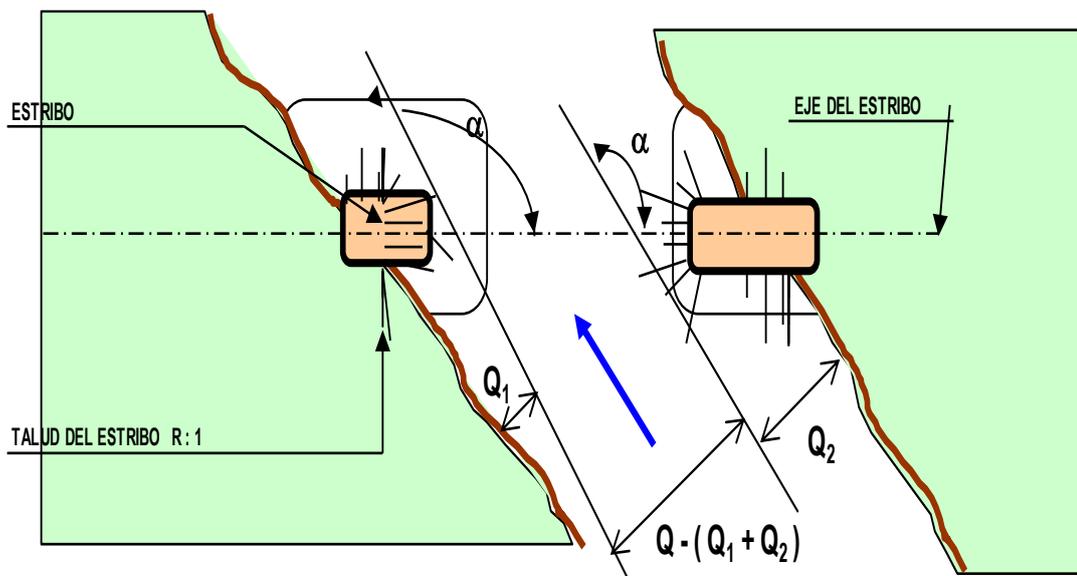


Figura 2. Intersección del flujo por los estribos. Método de ARTAMONOV
 (Fuente: Juárez Badillo, E. y Rico Rodríguez, A; 1002)

$$H_T = K_\theta K_Q K_m h$$

Donde:

H_T : Profundidad del agua al pie del estribo o espigón medida desde la superficie libre de la corriente.

K_θ : Coeficiente que depende del ángulo que forma la corriente con el eje longitudinal del puente.

K_Q : Coeficiente que depende de la relación entre el gasto teórico interceptado por el estribo Q_1 o Q_2 y el caudal total Q_d que escurre por la sección transversal.

K_m : Coeficiente que depende del talud que tienen los lados del estribo.

h : Tirante de agua en la zona cercana al estribo o al espigón antes de la socavación.

Coeficiente de corrección K_θ .

| | | | | | |
|------------|------|------|------|------|------|
| θ | 20° | 60° | 90° | 120° | 150° |
| K_θ | 0.84 | 0.94 | 1.00 | 1.07 | 1.19 |

(Fuente: Juárez Badillo, E. y Rico Rodríguez, A., 1992).

Coeficiente de corrección K_Q .

| | | | | | | | | |
|-----------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Q_1/Q_d | 0.1 | 0.2 | 0.3 | 0.4 | 0.5 | 0.6 | 0.7 | 0.8 |
| K_Q | 2.00 | 2.65 | 3.22 | 3.45 | 3.67 | 3.87 | 4.06 | 4.20 |

(Fuente: Juárez Badillo, E. y Rico Rodríguez, A., 1992).

Coeficiente de corrección K_m .

| | | | | | | |
|-----------|------|------|------|------|------|------|
| Talud m | 0.0 | 0.5 | 1.0 | 1.5 | 2.0 | 3.0 |
| K_m | 1.00 | 0.91 | 0.85 | 0.83 | 0.61 | 0.50 |

(Fuente: Juárez Badillo, E. y Rico Rodríguez, A., 1992).

La siguiente ecuación se usa cuando el puente no está sesgado respecto al flujo ($\theta = 90^\circ$) y la pared de los estribos es vertical:

$$H_T = K_Q h$$

El método que arroja los resultados más conservadores para el cálculo de la socavación local en pilares, es el método de Neill. Al respecto el Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje MTC (2012) textualmente afirma: “Esta ecuación es utilizada por que proporciona la máxima profundidad de socavación que se espera para cualquier velocidad.

Su fórmula es: $Y_s = 1.5 * (a'')^{0.7} * h^{0.3}$

Dónde:

Y_s : Profundidad de socavación medida a partir del fondo del cauce (mm)

a'' : Ancho proyectado del pilar (m)

h : Profundidad del flujo aguas arriba del pilar (m)

. Puente

La AASHTO define a un puente como cualquier estructura que tiene una abertura no menor a 6100 mm y que forma parte de una carretera o está ubicada sobre o debajo de una carretera.

Parte de la estructura del puente

Los componentes principales de una estructura del puente son:

- Superestructura
- Subestructura

Superestructura

Son los componentes estructurales del puente que constituyen el tramo horizontal.

a) Tablero. - Es el componente, con o sin superficie de rodamiento, que soporta las cargas de rueda en forma directa y es soportado por otros componentes.

b) Estructura Portante. - Es el componente estructural que soporta al tablero y se apoya en sus extremos con la subestructura, es decir transmite las cargas procedentes del tablero a los estribos y/o pilas.

c) Accesorios del tablero. - Son elementos que sirven para dar funcionalidad al puente y seguridad tanto a los peatones: Cordón barrera, barandas, barreras

Subestructura

Son los componentes estructurales del puente que soportan el tramo horizontal, los componentes más importantes son:

- Pilares
- Estribos
- Fundaciones

a) Pilares

Son elementos de apoyo intermedios los cuales conducen los esfuerzos de la superestructura hacia las fundaciones están diseñados para resistir presiones hidráulicas, cargas de viento, cargas de impacto, etc., son más susceptibles a los efectos de la socavación por lo que las fundaciones deberán estar por debajo de la altura máxima de socavación.

Pueden ser de concreto o acero, aun en puentes de acero los pilares de concreto son a menudo adoptados, en algunos casos los pilares muy altos son elaborados en segmentos de concreto prefabricado.

Los pilares pueden ser de una sección transversal constante o variable eso dependerá de la altura del pilar, también pueden tener una sección llena o una sección hueca la elección de los pilares depende de la constructibilidad y la estética.

Podemos clasificar a los pilares en cuatro tipos:

- Circulares.
- Rectangulares.
- Semicirculares.
- Biselada.

b) Estribos

Son los que proveen soporte a la superestructura, establecen la conexión entre la superestructura y el terraplén, son diseñados para soportar la carga de la superestructura la cual es transmitida por medio de los elementos de apoyo, el peso de la losa de transición y las presiones del suelo (empuje de tierras).

Los estribos están conformados por una losa de fundación que transmite el peso de los estribos directamente al suelo, la losa sirve de cubierta para un sistema de pilotes que soportan la carga, el muro frontal, asiento del puente, muro de retención encima

del asiento del puente, losa de aproximación, los estribos también poseen juntas de dilatación o expansión que ajustan los desplazamientos de la superestructura.

a) Fundaciones

Se encuentran bajo el terreno de la superficie son encargados de transmitir toda la carga al suelo, al absorber dicha carga el suelo se contrae dando origen a los asentamientos.

En todo diseño de fundaciones dos condiciones se deben satisfacer: “que el asentamiento total de la estructura este limitado a una cantidad tolerablemente pequeña y que en lo posible el asentamiento diferencial de las distintas partes de la estructura se elimine”. (Arthur Nilson, 2000)

. Conceptos Hidrológicos

Caudal

Volumen de agua que pasa por una determinada sección transversal en la unidad de tiempo, generalmente se expresan en m^3/s .

Conceptos

Tirante

Es la distancia vertical medida del fondo del lecho de un canal, a la altura libre del agua.

Caudal máximo instantáneo

Para la determinación del caudal máximo instantáneo ($Q_{m\acute{a}x}$) ocurrido en una sección de control, en un lapso determinado, generalmente durante el transcurso del pasaje de una onda de avenida, debe disponerse de un instrumento registrador. Se expresan en m^3/s y se le asocia la fecha en que se ha registrado.

Hidrograma

Un hidrograma de caudal es una gráfica o una tabla que muestra la tasa de flujo como función del tiempo en un lugar dado de la corriente. En efecto el hidrograma es una

expresión integral de las características fisiográficas y climáticas que rigen las relaciones entre la lluvia y escorrentía de una cuenca de drenaje particular.

Según Heras (1983), el hidrograma permite representar la variación del caudal de un río, en función del tiempo. El hidrograma, está en función del aporte de precipitaciones que puedan ocurrir en la superficie de la cuenca y de las características físicas de ella, tal como se puede apreciar en la Figura 3, donde se observa una comparación de dos hidrogramas en función de la forma de la cuenca. (Fuente: Foro Peruano para el Agua)

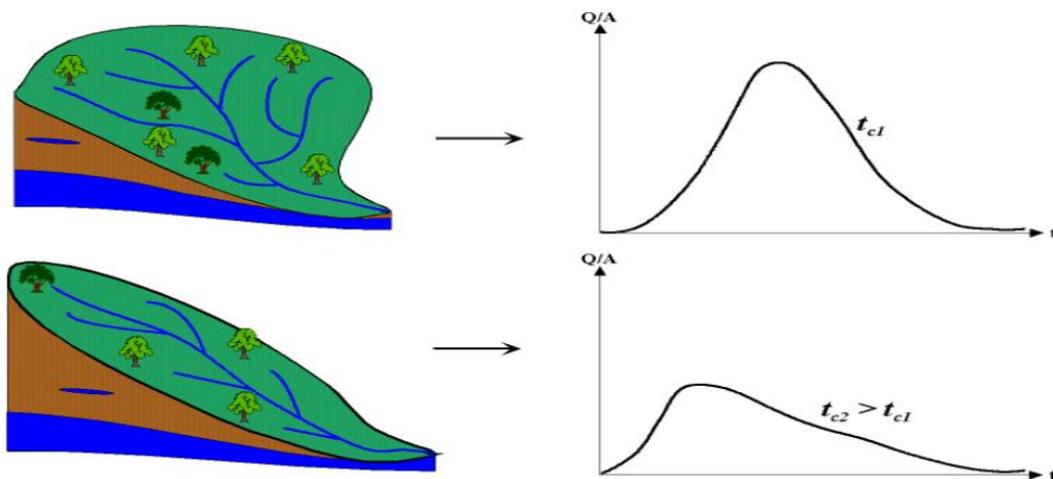


Figura 3. Influencia de la forma de la cuenca en el hidrograma.
 (Fuente: Musy André, 2001)

. Aspectos básicos sobre cuencas hidrográficas

Cuenca hidrográfica

Desde el punto de vista hidrológico, una cuenca hidrográfica es definida como el área geográfica natural o unidad de territorio delimitada por una divisoria topográfica (Divortium Aquarum), que capta las precipitaciones y drena el agua de escorrentía hacia un colector común, denominado río principal.

En la cuenca hidrográfica, se distinguen por lo general tres sectores característicos: Alto, Medio y Bajo, los cuales en función a las características topográficas del medio pueden influir en sus procesos hidrometeorológicos y en el uso de sus recursos (Llerena, 2003).

Arreola-Muñoz (s/f), establece que “las cuencas tienen un funcionamiento territorial altitudinal ya que implica la relación directa entre las partes altas, cercanas al parteaguas, la zona de tránsito o intermedia y la parte baja de deposición y

desembocadura, de tal forma que la parte alta afecta de manera determinante a la parte baja.

Subcuencas

Conjunto de microcuencas que drenan a un solo cauce con caudal fluctuante, pero permanente.

Microcuencas

Una microcuenca es toda área en la que su drenaje va a dar al cauce principal de una subcuenca; es decir, que una subcuenca está dividida en varias microcuencas.

Quebradas

Es toda área que desarrolla su drenaje directamente a la corriente principal de una microcuenca.

Cuenca alta

Corresponde generalmente a las áreas montañosas o cabeceras de los cerros, limitadas en su parte superior por las divisorias de aguas.

Cuenca media

Donde se juntan las aguas recogidas en las partes altas y en donde el río principal mantiene un cauce definido. (Sociedad Geográfica de Lima, 2011)

Cuenca baja o zonas transicionales

Donde el río desemboca a ríos mayores o a zonas bajas tales como estuarios y humedales.

Divisoria de aguas

La divisoria de aguas o **divortium aquarum** es una línea imaginaria que delimita la cuenca hidrográfica. Una divisoria de aguas marca el límite entre cuenca hidrográficas y las cuencas vecinas. El agua precipitada a cada lado de la divisoria desemboca generalmente en ríos distintos. También se denomina “parteaguas”.



Figura 4. Divisoria de aguas

(Fuente: <http://recuperapatzcuaro.com/lacuenca.php#>), adaptado por Casa verde (2011).

Río principal

El río principal suele ser definido como el curso con mayor caudal de agua (medio o máximo) o bien con mayor longitud. Tanto el concepto de río principal como el nacimiento del río son arbitrarios, como también lo es la distinción entre el río principal y afluente. Sin embargo, la mayoría de cuencas de drenaje presentan un río principal bien definido desde la desembocadura hasta cerca de la divisoria de aguas. El río principal tiene un curso, que es la distancia entre su nacimiento y su desembocadura. En el curso de un río se distinguen tres partes (ver Figura 5):



Figura 5. Partes de un río

(Fuente: <http://www.curiosfera.com>)

- **Curso alto o superior**, ubicado en lo más elevado del relieve, en donde la erosión de las aguas del río es vertical. Su resultado: la profundización del cauce;
- **Curso medio**, en donde el río empieza a zigzaguear, ensanchando el valle;
- **Curso bajo o inferior**, situado en las partes más bajas de la cuenca. Allí el caudal del río pierde fuerza y los materiales sólidos que lleva se sedimentan, formando las llanuras aluviales o valles.

Otros términos importantes a distinguir en un río son:

- **Cauce**, o también denominado lecho, es el conducto descubierto o acequia por donde corren las aguas para riego u otros usos.
- **Margen derecha**, mirando río abajo, la margen que se encuentra a la derecha.
- **Margen izquierda**, mirando río abajo, la margen que se encuentra a la izquierda.
- **Aguas abajo**, con relación a una sección de un curso de agua, sea principal o afluente; si se sitúa después de la sección considerada, avanzando en el sentido de la corriente.
- **Aguas arriba**, es el contrario de la definición anterior.

Delimitación de una cuenca

La delimitación de una cuenca se puede hacer a partir de fotografías aéreas, sin embargo, lo más común es utilizando los mapas topográficos (escala 1: 100,000). Consiste en trazar la línea divisoria que se denomina parteaguas y se ubica en las partes más altas dividiendo el curso de la escorrentía hacia una u otra cuenca.

(Fuente: Foro Peruano para el Agua)

¿Cómo se traza la línea divisoria de una cuenca?

Una forma práctica y sencilla para trazar la línea divisoria de una cuenca es seguir los siguientes consejos:

1. Se definen la red de drenaje partiendo del cauce principal es decir todas las corrientes.
2. Se ubican los puntos altos que están definidos por las curvas de nivel en el plano (estas curvas son líneas que indican la elevación de los lugares por donde pasan y cuya elevación será igual al valor de la curva).
3. La línea divisoria debe pasar por los puntos altos definidos cortando ortogonalmente las curvas de nivel.

4. En cualquier punto del terreno la línea divisoria debe ser el punto de mayor altitud excepto cerros o puntos altos que se encuentran dentro de la cuenca.
5. La línea divisoria nunca debe cortar un río, quebrada o arroyo.

Una vez establecida la línea divisoria de la cuenca, se puede conocer mediante métodos sencillos, su área que es de mucha importancia para considerarlo al hacer estimaciones de volúmenes precipitados, el perímetro de la cuenca, la forma de ésta etc. (Fuente: Foro Peruano para el Agua)

Área de la cuenca

Está definida como la proyección horizontal de toda el área de drenaje de un sistema de escorrentía dirigido directa o indirectamente a un mismo cauce natural. Representada con la letra “A” mayúscula, es probablemente la característica geomorfológica más importante, y su importancia radica en las siguientes razones:

Perímetro de la cuenca

Es la longitud del contorno del área de la cuenca. Es un parámetro importante, pues en conexión con el área nos puede decir algo sobre la forma de la cuenca Usualmente este parámetro físico es simbolizado por la mayúscula “P”.

Longitud del río principal

Es la longitud del río principal o cauce principal de la cuenca, donde van a drenar todos los afluentes y quebradas. Representada con la letra “L” mayúscula.

Pendiente del cauce principal de la cuenca

Es un parámetro de importancia pues da un índice de la velocidad media de la escorrentía y su poder de arrastre y de la erosión sobre la cuenca.

Uno de los métodos más representativos para el cálculo es el siguiente, se obtiene dividiendo la diferencia total de la altitud mayor del cauce ($H_M - m$) y la altitud menor del cauce ($H_m - m$) entre la longitud horizontal ($L - km$) del curso de agua entre esos dos puntos. Representada como “S (%)”.

$$S(\%) = \frac{H_M - H_m}{1000 * L} * 100$$

Donde:

H_M = Altitud mayor en metros

H_m = Altitud menor en metros

L = Longitud del curso de agua en Km

. Métodos para calcular el caudal de una cuenca hidrográfica

Método racional

Estima el caudal máximo a partir de la precipitación, abarcando todas las abstracciones en un solo coeficiente C (coef. escorrentía) estimado sobre la base de las características de la cuenca. Muy usado para cuencas, $A < 10 \text{ Km}^2$. Considerar que la duración de P es igual a T_c . La descarga máxima de diseño, según esta metodología, se obtiene a partir de la siguiente expresión:

$$Q = 0,278 CIA$$

Donde:

Q : Descarga máxima de diseño (m^3/s)

C : Coeficiente de escorrentía

I : Intensidad de precipitación máxima horaria (mm/h)

A : Área de la cuenca (Km^2).

Método racional modificado

Es el método racional según la formulación propuesta por Témez (1987, 1991) adaptada para las condiciones climáticas de España. Y permite estimar de forma sencilla caudales punta en cuencas de drenaje naturales con áreas menores de 770 km^2 y con tiempos de concentración (T_c) de entre 0.25 y 24 horas, la fórmula es la siguiente:

$$Q = 0,278 CIAK$$

Donde:

- Q : Descarga máxima de diseño (m^3/s)
- C : Coeficiente de escorrentía
- I : Intensidad de precipitación máxima horaria (mm/h)
- A : Área de la cuenca (Km^2).
- K : Coeficiente de uniformidad.

CAPITULO 3.- METODOLOGÍA

3.1. Variable Independiente

Caudal.

3.2. Variable Dependiente

Socavación.

3.3. Operacionalización de variables

| VARIABLE INDEPENDIENTE | DEFINICIÓN CONCEPTUAL | DIMENSIONES | INDICADORES |
|------------------------|---|----------------------|--|
| Caudal | Volumen de agua que pasa por una determinada sección transversal en la unidad de tiempo, generalmente se expresan en m ³ /s. | m ³ /seg. | Nivel de agua |
| | | | Área que ocupa el agua en la sección transversal |
| | | | Velocidad del flujo |
| VARIABLE DEPENDIENTE | DEFINICIÓN CONCEPTUAL | DIMENSIONES | INDICADORES |
| Socavación | Remoción de materiales del lecho de un cauce debido a la acción erosiva del flujo de agua alrededor de una estructura hidráulica | m | Disminución del nivel del lecho del río |

Tabla 2. Operacionalización de variables (Fuente: elaboración propia)

3.4. Diseño de Investigación

Esta tesis es una investigación de campo con un enfoque cuantitativo correlacional, debido a que se busca encontrar la relación del caudal nuevo que generará la derivación de las aguas provenientes de la quebrada San Idelfonso con el nivel de socavación de los pilares y estribos del puente Moche.

3.5. Unidad de estudio

Nuestra unidad de estudio será en primer término, la Quebrada San Idelfonso, La Cuenca que lo contiene, la zona de la ubicación del puente moche, el suelo del cauce de la zona cercana a los estribos y pilares, así como la zona comprendida entre el

punto de unión del canal proyectado por la Autoridad Nacional del Agua (ANA) para la desviación de las aguas de la quebrada San Idelfonso hasta el puente Moche.

Las Zonas de estudio para el presente trabajo de investigación fueron:

Microcuenca de la quebrada San Idelfonso, la cual se encuentra ubicada al noreste del continuo urbano de Trujillo, en los distritos de Florencia de Mora y El Porvenir. Su altitud varía desde los 184 hasta los 1015 metros sobre el nivel del mar. Desciende de los cerros San Idelfonso y El Alto atravesando zonas con depósitos aluviales erosionables hasta llegar a la zona urbana de El Porvenir, donde su cauce natural se encuentra ocupado y urbanizado (barrios 5, 3 y parte del 2) en el sector Río Seco. La quebrada desemboca en el cementerio de Mampuesto.

La zona de estudio presenta, un clima árido con escasas precipitaciones anuales, y éstas muy ligadas al fenómeno El Niño. Esto hace que la cantidad de eventos disponibles para calibrar modelos hidrológicos sea muy escasa.

Este hecho es todavía más patente en las quebradas, donde no se dispone de ninguna fuente instrumental de datos de aforo.

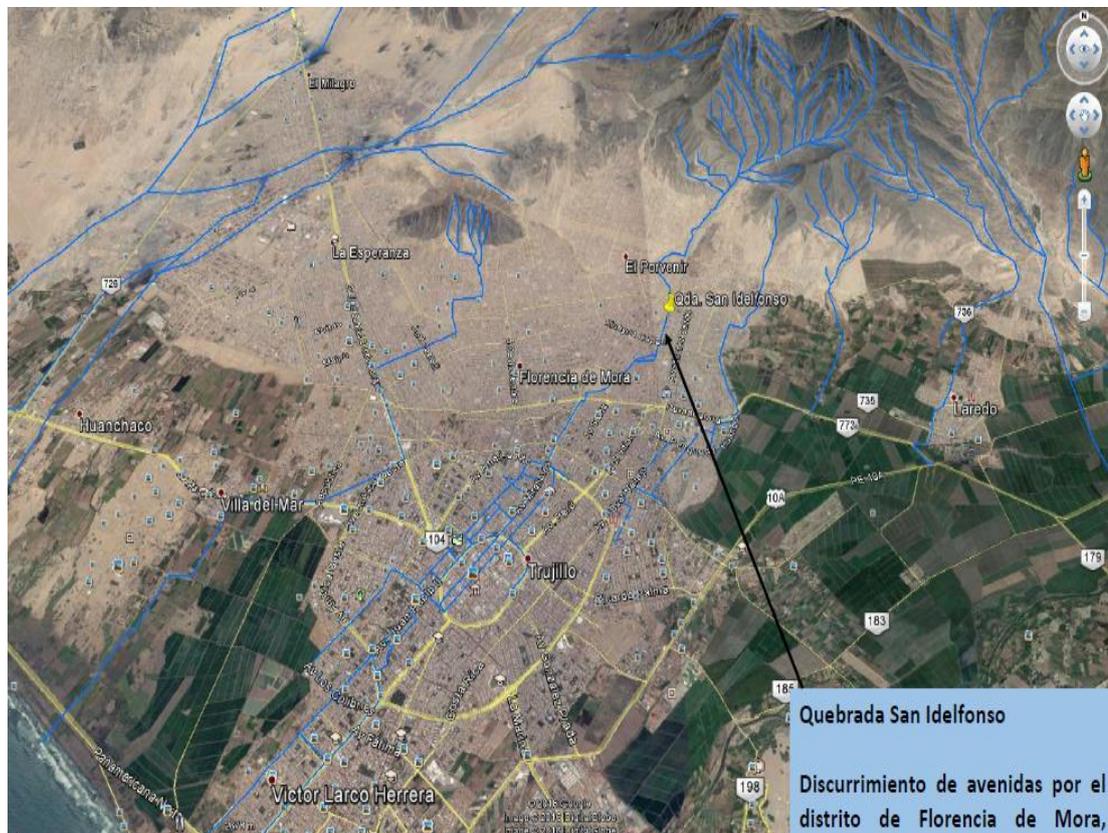


Figura 6. Ubicación de la quebrada San Idelfonso (Fuente: Google Earth Pro)

Zona del río Moche: Se ha elegido la zona comprendida entre los puentes Moche y La Huaca, por ser la zona en la que se proyecta ubicar el punto de encuentro entre el canal proyectado y el río Moche.



Figura 7. Ubicación del río Moche y el puente Moche (Fuente: Google Earth Pro)

3.6. Técnicas, instrumentos y procedimientos de recolección de datos

Para obtener información de las precipitaciones en la cuenca de la quebrada San Idelfonso se solicitó la información de manera formal por intermedio de la Universidad Privada del Norte, a la Autoridad Nacional de Agua (ANA) y además mediante una solicitud al Senamhi, por medio de su portal de acceso a la información pública, de la cual solo pudimos obtener información pluviométrica de la estación de Laredo, ya que era la única en funcionamiento.

Para conocer la constitución del lecho del río moche se realizaron calicatas en puntos cercanos a los pilares y estribos del puente Moche, de donde se extrajeron muestras de diferentes niveles de profundidad, las cuales se analizaron en el laboratorio para un estudio granulométrico.

Para conocer la geometría del terreno del río Moche se realizaron nivelaciones con equipos de Topografía (Teodolito, Nivel, Wincha y Mira).

Para conocer la información de los caudales históricos alcanzados por el río Moche acudimos al proyecto especial Chavimochic, que es la entidad que registra, mantiene y proporciona información oficial hidrológica en la región, así como también al Centro de Operaciones de Emergencia Regional (COER).

3.7. Métodos, instrumentos y procedimientos de análisis de datos

Para el cálculo del área de la cuenca de la quebrada San Idelfonso determinamos los límites y el área de la cuenca vertiente mediante el uso del programa Google Earth pro. Este método ha sido escogido por ser el más adecuado debido a las grandes extensiones a medir. Si bien es cierto que no ofrece una exactitud en sus resultados, para nuestro caso es aceptable dicha información, ya que el margen de error no es significativo como para influir en nuestros cálculos y resultados; la cuenca se llegó a delimitar siguiendo la divisoria de aguas que la separa de las cuencas vecinas e independiza a su red hidrográfica natural.

Para medir la longitud del cauce principal de la cuenca de la quebrada San Idelfonso se realizó un recorrido a pie desde el Dique colapsado hasta la cuenca alta, en donde se ubicó el inicio del cauce principal. La longitud se midió de forma manual con la ayuda de un GPS y un dispositivo electrónico para medición de distancias.

Para conocer el caudal máximo que aporta la cuenca de la quebrada San Idelfonso analizamos los datos obtenidos de precipitaciones máximas provenientes de la base de datos de la estación pluviométrica de Laredo, además de la información obtenida de la longitud del cauce principal medida de forma manual.

Para determinar la constitución del lecho del río moche se analizaron en el laboratorio las muestras extraídas de las calicatas, sometiéndolas a un análisis mecánico mediante el uso de tamices de abertura y numeración, horno de secado de temperatura regulable, balanzas electrónicas de precisión, bandejas metálicas y recipientes, bajo los parámetros de la Norma N.T.P. 399.128: ASTM D-422 para análisis granulométrico. Los estudios de Socavación en general, requieren necesariamente conocer la constitución de suelo del lecho, donde se asienta la fundación de estribos y pilares de un puente.

Para poder realizar la modelación del caudal resultante en el río Moche, producto de la derivación del caudal de la quebrada San Idelfonso se procesaron en el programa HEC-RAS v5.0.3 los datos obtenidos de la geometría del terreno, junto con los caudales y el tipo de suelo. El HEC-RAS v5.0.3 es un programa que está diseñado para realizar cálculos hidráulicos unidimensionales y bidimensionales para una red completa de canales naturales y construidos, fue diseñado por el Centro de Ingeniería Hidrológica del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos (USACE) (CEIWR-HEC), cuyo uso es muy común en América y España como una herramienta complementaria en la ingeniería Hidráulica.

Para elaborar los cálculos de la socavación en pilares y estribos del puente moche se procesó la información obtenida del Centro de Operaciones de Emergencia Regional (COER), junto con los datos obtenidos del cálculo del caudal máximo de la cuenca de la quebrada San Idelfonso. La validez de los datos procesados se justifica por ser datos oficiales obtenidos de organismos del estado como el COER, ANA y SENAMHI.

CAPITULO 4.- RESULTADOS

Para efectos de cálculo de socavación necesitamos saber:

4.1.- Calculo del caudal máximo de la cuenca de la quebrada San Idelfonso

Utilizamos el Método racional modificado de Témez; para calcular el caudal máximo de diseño, haciendo uso de este método nos permitirá hallar el caudal para cuencas de áreas mayores a 10 km² cuya fórmula es la siguiente:

$$Q = 0,278 CIAK$$

Donde:

- Q: Descarga máxima de diseño (m³/s)
- C: Coeficiente de escorrentía para el intervalo en el que se produce
- I: Intensidad de precipitación máxima horaria (mm/h)
- A: Área de la cuenca (Km²)
- K: Coeficiente de Uniformidad

4.1.1. Cálculo del área de la cuenca (A)

Mediante un análisis del Modelo Digital del Terreno, determinamos los límites y el área de la cuenca vertiente mediante el uso del programa Google earth pro. Este método ha sido escogido por ser el más adecuado debido a las grandes extensiones a medir. Si bien es cierto que no ofrece una exactitud en sus resultados, para nuestro caso es aceptable dicha información, ya que el margen de error no es tan significativo como para influir en nuestros cálculos y resultados.



Figura 8. Delimitación del área de la cuenca con google Earth (Fuente: elaboración propia)

Área: 11.81 Km²

- Para medir la longitud del cauce principal se realizó una expedición hasta la cuenca alta, en donde se ubicó el inicio del cauce principal en las coordenadas UTM (725082.7mE, 9112851.8m S) y a una altura de 621 msnm. La longitud total medida fue de 4990 m.



Figura 9. Inicio del cauce principal de la cuenca de la quebrada San Idelfonso (Fuente: Elaboración propia)



Figura 10. Recorrido de cauce principal parte 1 (Fuente: elaboración propia)



Figura 11. Recorrido de cauce principal parte 2 (Fuente: Elaboración propia)



Figura 12. Recorrido de cauce principal parte 3 (Fuente: Elaboración propia)

4.1.2. Cálculo del tiempo de concentración (T_c)

El tiempo de concentración T_c de una determinada cuenca hidrográfica es el tiempo necesario para que el caudal saliente se estabilice, cuando ocurra una precipitación con intensidad constante sobre toda la cuenca. Su fórmula es:

$$T_c = 0.3(L/S^{0.25})^{0.76}$$

Para calcular el Tiempo de Concentración de la Cuenca en horas, determinamos, primero:

- Longitud del cauce mayor o principal (L)

Para poder hallar esta distancia se realizó una caminata desde el Dique colapsado (coordenadas UTM: 721853.7m E – 9110294.2m S altura: 184 m) hasta el punto donde comienza el cauce principal de la cuenca de la Quebrada San Idelfonso (coordenadas UTM: 725082.7m E – 9112851.8m S altura: 621 m), haciendo uso de

un GPS y una aplicación para medir distancias; las distancias se tomaron tanto de subida como de bajada para evitar errores; la longitud fue de:

L = 4.99 Km. ó 4,990 m.

- Pendiente Media del cauce mayor o principal (S)

Si la Cota superior es la 621 m y la inferior 184 m, tenemos:

$$S = H/L$$

Reemplazando valores para la pendiente media:

$$S = (621 - 184) / 4,990 = 437 / 4990$$

S = 0.088 mm

Teniendo la Longitud del cauce principal y la pendiente reemplazamos en la fórmula de T_c :

$$T_c = 0.3 \cdot (4.99 / 0.088^{0.25})^{0.76}$$

$T_c = 1.62$ h

4.1.3. Cálculo del coeficiente de uniformidad (K)

Debemos corregir el valor del Tiempo de Concentración. Aplicamos para ello, el Coeficiente de Uniformidad.

$$K = 1 + \frac{T_c^{1.25}}{T_c^{1.25} + 14}$$

Reemplazando valores tenemos:

$$K = 1 + (1.62^{1.25} / (1.62^{1.25} + 14))$$

K = 1.12

Para un tiempo de concentración (T_c) de 1.62 horas, hemos obtenido un valor K de 1.12.

4.1.4. Cálculo del coeficiente de simultaneidad o factor reductor (K_A)

Hemos obtenido una **precipitación máxima diaria (Pd) de 27.2 mm** que nos fue facilitada por la Estación meteorológica de Laredo (que es la más cercana); esta precipitación se dio el día 20/03/2017 como observamos en la Tabla 3; mediante el cálculo de las precipitaciones por días, meses y años, de los últimos 20 años (ver Tabla 5); se observó que la precipitación máxima diaria que se dio fue la del 20/03/2017, durante el Fenómeno del niño costero.

Una vez obtenido el valor de la precipitación máxima, le aplicaremos el **Factor Reductor (K_A)** de la Lluvia Diaria. Tenemos:

$$\begin{aligned} \text{SI } A < 1 &\rightarrow K_A = 1 \\ \text{SI } 1 \leq A < 3.000 &\rightarrow K_A = 1 - \left(\log_{10} \frac{A}{15} \right) \end{aligned}$$

Si A: Área de la cuenca (Km^2)

Reemplazando valores tenemos:

$$K_A = 1 - (\log_{10} (11.81 / 15))$$

$$K_A = 1.10$$

| Estación : TRUJILLO , Tipo Convencional - Meteorológica | | | | | | | | | | | | |
|---|----------------------|----------------------|-----------------------------|------|------|-------------------------------|------|------|--------------------|-----|--------------------------|--------------------------------|
| Departamento : LA LIBERTAD | | | Provincia : TRUJILLO | | | Distrito : LAREDO | | | Ir : 2017-03 ▼ | | | |
| Latitud : 8° 6' 43" | | | Longitud : 78° 58' 7" | | | Altitud : 65 | | | | | | |
| Día/mes/año | Temperatura Max (°c) | Temperatura Min (°c) | Temperatura Bulbo Seco (°c) | | | Temperatura Bulbo Humedo (°c) | | | Precipitacion (mm) | | Direccion del Viento 13h | Velocidad del Viento 13h (m/s) |
| | | | 07 | 13 | 19 | 07 | 13 | 19 | 07 | 19 | | |
| 01-Mar-2017 | 30.6 | 21.8 | 21.9 | 29.6 | 25.8 | 21.4 | 24.3 | 24 | 0 | 0 | S | 7 |
| 02-Mar-2017 | 30.8 | 21.6 | 22.6 | 29.8 | 26.2 | 22.1 | 24.8 | 24 | 0 | 0 | S | 6 |
| 03-Mar-2017 | 30.8 | 22.1 | 23.4 | 29.3 | 26.1 | 22.5 | 24.4 | 24.4 | 0 | 0 | W | 7 |
| 04-Mar-2017 | 31 | 23.4 | 23.6 | 29.4 | 24.4 | 23 | 24.8 | 23.8 | 0 | 2 | S | 6 |
| 05-Mar-2017 | 30.7 | 23.3 | 23.8 | 29.9 | 26.2 | 23.5 | 24.6 | 24.1 | 0 | 0 | S | 4 |
| 06-Mar-2017 | 30.8 | 22.9 | 24.2 | 28.7 | 25.6 | 23.4 | 24.4 | 24 | 0 | 0 | W | 5 |
| 07-Mar-2017 | 31.6 | 23 | 23.4 | 30.1 | 25.9 | 22.8 | 25.6 | 23.6 | .2 | 0 | SW | 8 |
| 08-Mar-2017 | 29.2 | 23.1 | 23.5 | 27.2 | 25.7 | 23.3 | 23.4 | 23.6 | .6 | 0 | S | 6 |
| 09-Mar-2017 | 30.9 | 23.1 | 23.4 | 30.4 | 25.4 | 22.8 | 25.2 | 24.5 | 0 | .3 | S | 5 |
| 10-Mar-2017 | 32 | 23 | 23.4 | 29.7 | 26.5 | 23.1 | 24.3 | 24 | .7 | 0 | S | 7 |
| 11-Mar-2017 | 31 | 22.8 | 23.3 | 29.5 | 25.6 | 22.8 | 25.6 | 24.1 | 0 | 0 | SW | 8 |
| 12-Mar-2017 | 30.8 | 22.1 | 22.5 | 30.2 | 26.2 | 22 | 25 | 24.6 | 0 | 0 | S | 6 |
| 13-Mar-2017 | 31.5 | 23.9 | 24.6 | 29.4 | 27 | 24 | 24.6 | 24.9 | 0 | 0 | S | 4 |
| 14-Mar-2017 | 30.4 | 23.4 | 23.8 | 28.8 | 24.8 | 23.6 | 25.2 | 24.6 | 5.3 | 4.9 | S | 5 |
| 15-Mar-2017 | 31.2 | 21.2 | 23.6 | 30.2 | 24.2 | 23.4 | 25.4 | 23.6 | 16.9 | .9 | W | 6 |
| 16-Mar-2017 | 30.8 | 23.4 | 23.8 | 30.2 | 27.2 | 23.6 | 25.6 | 25.1 | .6 | 0 | W | 8 |
| 17-Mar-2017 | 31.2 | 22.9 | 23.6 | 30 | 27 | 22.8 | 25.2 | 25 | 0 | 0 | W | 4 |
| 18-Mar-2017 | 31.4 | 22.9 | 23.4 | 30.4 | 27.5 | 23 | 26 | 25 | 0 | 0 | SW | 7 |
| 19-Mar-2017 | 30.8 | 23.5 | 24.4 | 28.6 | 24.8 | 23.5 | 25.4 | 24.6 | 0 | 5.6 | S | 6 |
| 20-Mar-2017 | 30 | 23.4 | 24 | 27.8 | 24 | 23.6 | 23.8 | 23.7 | .2 | 27 | W | 4 |
| 21-Mar-2017 | 29.6 | 23 | 24 | 28.9 | 26.9 | 23.8 | 25.2 | 24.9 | .5 | 0 | S | 4 |
| 22-Mar-2017 | 29.3 | 24 | 24.4 | 28 | 25.6 | 23.6 | 24.8 | 24.8 | 0 | .2 | S | 3 |
| 23-Mar-2017 | 30.4 | 23.8 | 24 | 29.4 | 27 | 23.8 | 25.4 | 24.6 | 3.5 | 0 | S | 2 |
| 24-Mar-2017 | 30.8 | 23.1 | 23.6 | 27 | 26.4 | 23.2 | 23.6 | 23.6 | 0 | 0 | S | 4 |
| 25-Mar-2017 | 30.2 | 23.8 | 24.6 | 29.6 | 26.2 | 23 | 24.6 | 23.6 | 0 | 0 | S | 5 |
| 26-Mar-2017 | 30.4 | 23.1 | 23.8 | 29.2 | 26.4 | 23.1 | 24.6 | 23.4 | 0 | 0 | S | 4 |
| 27-Mar-2017 | 30.4 | 23.3 | 23.7 | 29.8 | 26 | 23.4 | 26 | 25.5 | 0 | 0 | W | 6 |
| 28-Mar-2017 | 30 | 23.8 | 24.2 | 29.4 | 26.2 | 24 | 25.6 | 24.4 | 0 | 0 | W | 7 |
| 29-Mar-2017 | 28.8 | 23.5 | 24.4 | 27.8 | 25.2 | 23.6 | 24.4 | 23.4 | 0 | 0 | S | 4 |

Tabla 3. Precipitaciones máximas del mes de marzo de 2017 de la estación meteorológica de Laredo (Fuente: Senhami)

| | |
|---------------------------|--------------------------|
| Estación: Laredo | Latitud Sud: 8°6' 43" |
| Departamento: La libertad | Longitud Oeste: 78°58'7" |
| Provincia: Trujillo | Altura m.s/nm: 65 |

DATOS DE : PRECIPITACIÓN MÁXIMA EN 24 Hrs. (mm)

| AÑO | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC | ANUAL |
|------|-----|------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------|
| 1998 | 5.7 | 10.9 | 4.3 | 0.0 | 0.4 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.6 | 10.9 |
| 1999 | 2.4 | 4.5 | 0.0 | 0.6 | 0.7 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 1.9 | 0.0 | 0.0 | 1.7 | 4.5 |
| 2000 | 0.9 | 1.1 | 2.6 | 1.8 | 3.9 | 1.2 | 0.4 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 1.7 | 3.9 |
| 2001 | 2.2 | 1.8 | 2.0 | 1.5 | 0.0 | 0.7 | 0.4 | 0.4 | 0.0 | 0.0 | 1.0 | 0.5 | 2.2 |
| 2002 | 0.0 | 3.5 | 0.6 | 0.1 | 1.5 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 3.4 | 0.2 | 3.5 |
| 2003 | 2.3 | 3.2 | 0.0 | 2.4 | 0.4 | 0.3 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.9 | 1.2 | 3.2 |
| 2004 | 1.9 | 3.1 | 1.0 | 0.4 | 0.6 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 1.2 | 0.3 | 0.0 | 0.8 | 3.1 |
| 2005 | 0.8 | 2.6 | 1.9 | 0.0 | 0.4 | 0.4 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 2.6 |
| 2006 | 0.2 | 3.2 | 2.3 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.6 | 0.9 | 3.2 |
| 2007 | 0.0 | 0.9 | 1.6 | 0.6 | 0.6 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 1.4 | 1.6 |
| 2008 | 0.4 | 2.5 | 2.1 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.3 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 1.2 | 2.5 |
| 2009 | 2.3 | 3.8 | 3.1 | 0.0 | 0.0 | 0.3 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.8 | 0.6 | 3.8 |
| 2010 | 0.0 | 1.7 | 1.5 | 0.3 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.3 | 1.7 |
| 2011 | 2.1 | 2.7 | 2.2 | 0.7 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 1.9 | 1.2 | 2.7 |
| 2012 | 0.6 | 0.0 | 1.1 | 0.5 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.3 | 0.0 | 1.7 | 1.7 |
| 2013 | 1.5 | 4.1 | 5.3 | * | 0.0 | 0.0 | * | 0.0 | 0.0 | 0.2 | 0.0 | * | 5.3 |
| 2014 | 0.5 | 0.0 | 0.7 | 0.0 | 0.1 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.1 | 0.0 | 0.0 | 0.6 | 0.7 |
| 2015 | 0.1 | 2.2 | 3.4 | 0.2 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | * | 0.7 | 1.1 | 3.4 |
| 2016 | 0.0 | 8.5 | 0.7 | 0.9 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 8.5 |
| 2017 | 0.0 | 4.6 | 27.2 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 27.2 |
| MAX | 5.7 | 16.2 | 27.2 | 2.4 | 3.9 | 1.2 | 0.4 | 0.4 | 1.9 | 0.3 | 3.4 | 1.7 | 27.2 |

Precip. Máxima diaria (Pd): 27.2 mm

Tabla 4. Precipitaciones máximas de los últimos 20 años de la estación meteorológica de Laredo (Fuente: Senhami)

A continuación, mostramos los Histogramas de la estación pluviométrica de San Idelfonso, los cuales presentan información incompleta al no registrar mediciones de los días 15 y 20 de marzo del 2017 en adelante. Por este motivo los datos de esta estación no han sido tomados en consideración para los cálculos de este trabajo.

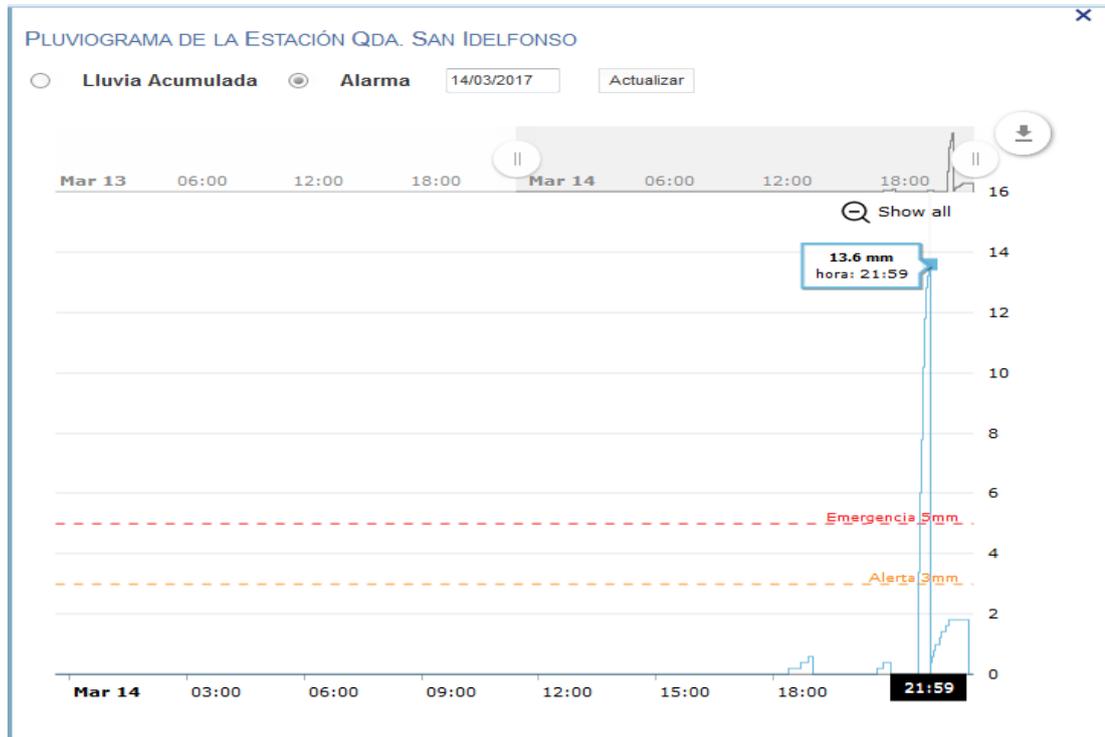


Figura 13. Hietograma de la estación pluviométrica de la quebrada San Idelfonso del día 14/03/2017 (fuente: <http://snirh.ana.gob.pe/visorpluiofen/>)



Figura 14. Hietograma de la estación pluviométrica de la quebrada San Idelfonso del día 19/03/2017 (fuente: <http://snirh.ana.gob.pe/visorpluiofen/>)

4.1.5. Cálculo de la precipitación máxima corregida sobre la cuenca (P)

Por tanto, la Precipitación Máxima Diaria final, se reduce hasta obtener el valor de:

$$P = P_d \cdot K_A$$

Dónde:

Pd: Precipitación máxima diaria (mm)

KA: Factor reductor

Reemplazando valores tenemos:

$$P = 27.2 \cdot 1.10$$

$$P = 30.02 \text{ mm}$$

4.1.6. Cálculo de la intensidad de precipitación (I)

Es la razón de incremento de la altura que alcanza la lluvia respecto al tiempo. Se clasifica en ligera, moderada y fuerte, como observamos en la siguiente tabla facilitada por la Autoridad Nacional del Agua (ANA):

| Intensidad | mm/h | Criterios |
|------------|-------------|---|
| Ligera | 2.5 o menos | Las gotas son fácilmente identificables, unas de otras, las superficies expuestas secas tardan más de dos minutos en mojarse completamente. |
| Moderada | 2.5-7.5 | No se pueden identificar gotas individuales, los charcos se forman rápidamente. Las salpicaduras de la precipitación se observan hasta cierta altura del suelo o de otras superficies planas. |
| Fuerte | > 7.5 | La visibilidad es bastante restringida y las salpicaduras que se producen sobre la superficie se levantan varias pulgadas. |

Tabla 5. Clasificación de la intensidad de precipitación (Fuente: ANA)

Cuya fórmula se representa por:

$$I = \left(\frac{P}{24}\right) \cdot (11)^{\frac{28^{0.1} - T_c^{0.1}}{28^{0.1} - 1}}$$

Reemplazando valores tenemos:

$$I = \left(\frac{30.02}{24}\right) \cdot (11)^{\frac{28^{0.1} - 1.62^{0.1}}{28^{0.1} - 1}}$$

$$I = 10.21 \text{ mm/h}$$

4.1.7. Coeficiente de escorrentía (C)

Es la relación entre la parte de la precipitación que circula superficialmente y la precipitación total, entendiendo que la parte superficial es menor que la precipitación total al descontar la evaporación, evapotranspiración, almacenamiento, etc.; cuya fórmula se representa por:

$$C = \frac{(P_d - P_o) \cdot (P_d + 23 \cdot P_o)}{(P_d + 11 \cdot P_o)^2}$$

El Número de curva (CN) se obtiene de acuerdo a la ubicación geográfica de la cuenca y a las condiciones ambientales utilizando la aplicación **GeoHidro** facilitada por la Autoridad Nacional del Agua (ANA). Ver Gráfico 22 y 23.

Entonces: tomamos el valor promedio de CN = **93**

Reemplazando valores tenemos:

$$P_o = 3.76 \left(\frac{5000}{93}\right) - 50$$

$$C = \frac{(27.2 - 3.76) \cdot (27.2 + 23 \cdot 3.76)}{(27.2 + 11 \cdot 3.76)^2}$$

$$C = 0.57$$

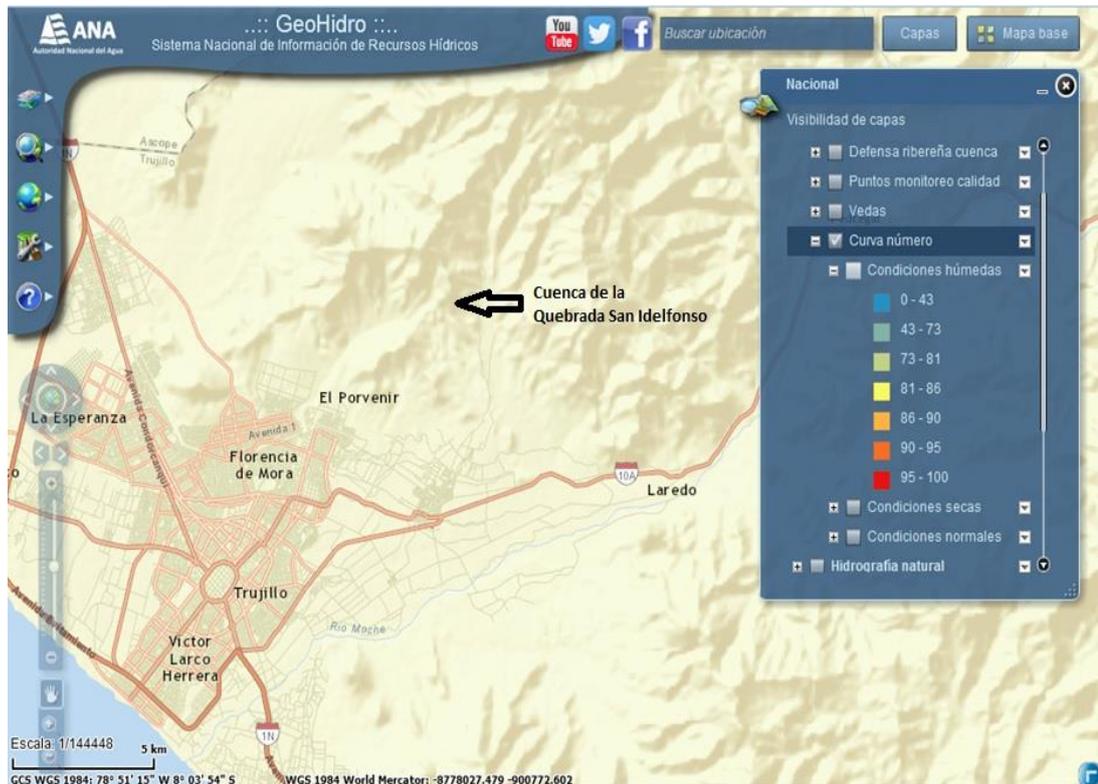


Figura 15. Localizamos la cuenca en la aplicación GeoHidro (Fuente: ANA)

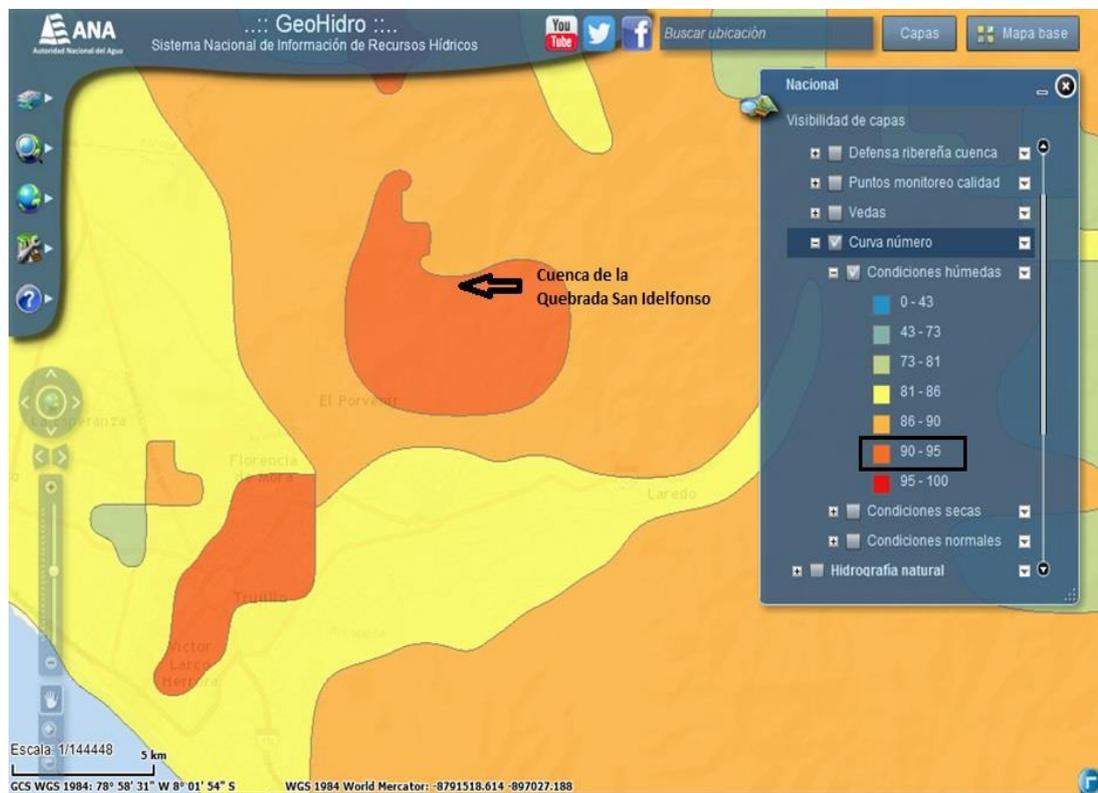


Figura 16. Activamos el programa y nos indica de acuerdo al color en el plano, los valores de CN en la tabla de valores (Fuente: ANA)

Por lo tanto, el caudal máximo de diseño de la cuenca de la quebrada San Idelfonso es:

$$Q = 0.278 \cdot \text{CIAK}$$

$$Q = 0.278 \cdot (0.57 \cdot 10.21 \cdot 11.81 \cdot 1.12)$$

$$Q = 21.16 \text{ m}^3/\text{s}$$

Hidrograma Sintético

HIDROGRAMA SINTETICO DE LA CUENCA SAN IDELFONSO

| Datos de entrada | Cálculos |
|------------------------------------|---|
| Long cauce= 4.99 km. | Pendiente= 0.088 m/m |
| Cota max= 621 m | t conc= 97.0 minutos |
| Cota min= 184 m | t conc= 1.62 horas |
| Superficie= 11.810 km ² | tiempo punta= 3.15 horas |
| Precipitación= 27.2 mm | tiempo base= 4.00 horas |
| | Caudal de la punta= 21.18 m³/seg. |

Tr=500 Años

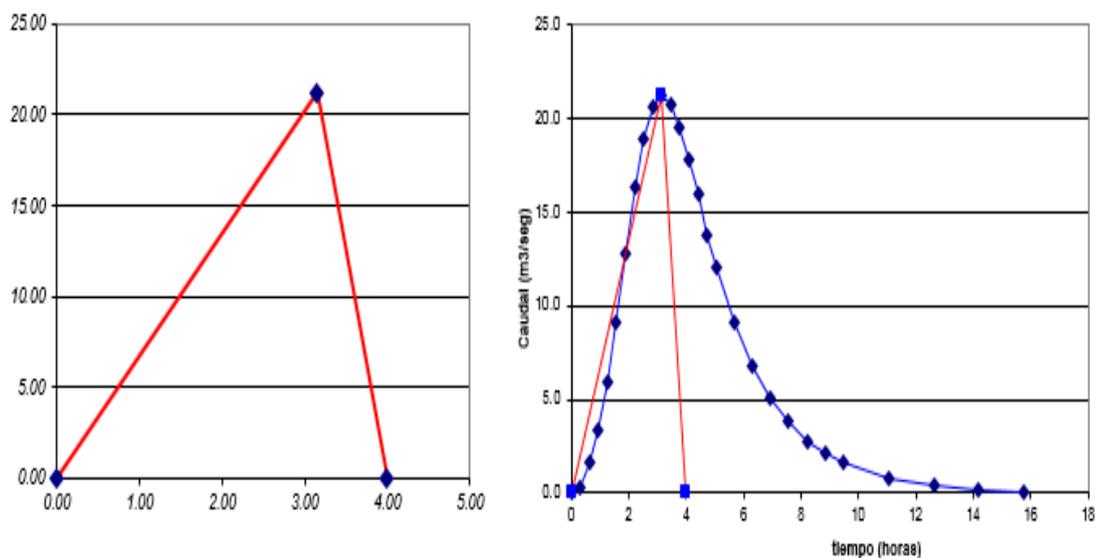


Figura 17. Hidrograma sintético de la cuenca de la quebrada San Idelfonso (Fuente: Elaboración propia)

4.2.- Cálculo del caudal máximo que pasó por la calle Hipólito Unanue proveniente de la cuenca de la quebrada San Idelfonso

Realizamos las mediciones in situ del tirante que alcanzó el agua de la quebrada San Idelfonso en la calle Hipólito Unanue, cuya altura llegó a ser de 1.9 metros contando desde el nivel del sardinel hacia arriba. Además, medimos la longitud del ancho de la calle, cuyas medidas son de 8.9 m de ancho de pista y 4 m de ancho de cada sardinel. La altura del sardinel es de 0.29 m y procedemos a descontarla considerando que fuese la altura del oleaje, la pendiente calculada en la calle con una distancia de 100 m de largo, es de 3.13 %.

Para realizar el cálculo, luego de haber recolectado los datos de campo, se utilizó el programa HCANALES porque se considera la forma de la calle como la de un canal. La misma que posee un suelo de concreto. Como observamos en las imágenes:



Figura 18. Altura del tirante parte 1 (Fuente: Elaboración propia)

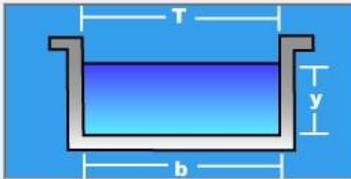


Figura 19. Altura del tirante parte 2 (Fuente: Elaboración propia)

Cálculo del caudal, sección trapezoidal, rectangular, triangular

Lugar: **El Porvenir - Trujillo** Proyecto: **medición del caudal máximo**
 Tramo: **calle Hipólito Unanue** Revestimiento: **concreto**

Datos:
 Tirante (y): **1.6** m
 Ancho de solera (b): **16.9** m
 Talud (Z): **0**
 Coeficiente de rugosidad (n): **0.014**
 Pendiente (S): **0.0313** m/m



Resultados:
 Caudal (Q): **416.4133** m³/s Velocidad (v): **15.3999** m/s
 Área hidráulica (A): **27.0400** m² Perímetro (p): **20.1000** m
 Radio hidráulico (R): **1.3453** m Espejo de agua (T): **16.9000** m
 Número de Froude (F): **3.8871** Energía específica (E): **13.6875** m-Kg/Kg
 Tipo de flujo: **Subcrítico**

Calcular Limpiar Pantalla Imprimir Menú Principal Calculadora

Ingresar el nombre del Proyecto 09:16 a.m. 23/08/2017

Figura 20. Cálculo en HCANALES del Caudal máximo en la Hipólito Unanue y su velocidad (Fuente: Elaboración propia)

Como hemos podido observar el cálculo real del caudal que paso por la calle Hipólito Unanue del Porvenir fue de 416.41 m³/s a una velocidad de 15.39 m/s. El cual se produjo por el desembalse de las aguas almacenadas por varios días de precipitaciones que provocó la rotura del Dique y ocasionó una máxima avenida extraordinaria.

4.3.- Estudio de mecánica de suelos del rio Moche

La metodología utilizada para conocer las características del suelo del cauce del rio Moche, ha sido por exploración, practicado a través de 2 calicatas a cielo abierto. Las calicatas tienen una profundidad de 2.3 m. La ubicación de las calicatas se ha determinado de tal manera que sea representativa dentro de la superficie estudiada. Se tomaron 3 muestras representativas del suelo en cada calicata, la primera a 0.30 metros, la segunda a 1.2 metros y la tercera a 2.3 metros de profundidad. Las muestras obtenidas fueron llevadas a laboratorio para un análisis granulométrico. En las siguientes fotos observamos el tipo de suelo que presenta el lecho del rio Moche:



Figura 21. En la presente imagen observamos como la persona contratada realiza el trabajo de las calicatas, se muestra la presencia de agua proveniente del río la cual tuvimos que ir evacuando por medio de una bomba manual como vemos en el (Anexo 4).

. La presente imagen nos muestra el estrato superficial del lecho del río, cuya profundidad es de aproximadamente 0.40 m.



Figura 22. Foto del suelo del río moche de la primera capa a 0.30 m (Fuente: Elaboración propia)

. La presente imagen nos muestra el siguiente estrato del lecho del río, cuya profundidad es de aproximadamente 1.50 m.



Figura 23. Foto del suelo del río moche de la segunda capa a 1.2 m (Fuente: Elaboración propia)

. La presente imagen nos muestra la parte más profunda de la calicata, cuya profundidad es de aproximadamente 2.30 m.



Figura 24. Foto del suelo del rio moche de la segunda capa a 2.3 m (Fuente: Elaboración propia)

Luego de la toma de muestras de suelo procedimos a llevar las 6 muestras al laboratorio para realizar el análisis de granulometría como podemos observar en la siguiente imagen. La Norma empleada para el análisis granulométrico es la: N.T.P. 399.128: ASTM D-422.



Figura 25. Peso y Tamizado de las muestras en laboratorio (Fuente: Elaboración propia)

Para luego, con los resultados obtenidos, poder elaborar nuestras tablas con las cuales pudimos obtener las curvas granulométricas de cada muestra, el tipo de material al que corresponde cada estrato, los valores del D_{10} , D_{30} , D_{50} y D_{60} para la clasificación del suelo y el diámetro medio. Como se muestra en las siguientes tablas y Gráficos:

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO CALICATA N° 1

Peso de la muestra : **6 Kg**
al: 100 %

(M1) Peso muestra N° 1 (a 0.30 m):

| Peso tara (g) | TAMIZ (N°) | Apertura Tamiz(mm) | Peso incl. tamiz (g) | Peso (g) | Reten. (%) | 100 Porcentaje que Pasa (%) |
|---------------|------------|--------------------|----------------------|----------|------------|--------------------------------|
| 528 | 3" | 76.20 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 100.00 |
| 536 | 2" | 50.80 | 943.00 | 407.00 | 6.78 | 93.22 |
| 564 | 1 1/2" | 38.10 | 1152.00 | 588.00 | 9.80 | 83.42 |
| 534 | 1" | 25.40 | 1030.00 | 496.00 | 8.27 | 75.15 |
| 550 | 3/4" | 19.05 | 1012.00 | 462.00 | 7.70 | 67.45 |
| 528 | 1/2" | 12.70 | 956.00 | 428.00 | 7.13 | 60.32 |
| 526 | 3/8" | 9.53 | 868.00 | 342.00 | 5.70 | 54.62 |
| 504 | N°4 | 4.76 | 940.00 | 436.00 | 7.27 | 47.35 |
| 470 | N°10 | 2.00 | 920.00 | 450.00 | 7.50 | 39.85 |
| 386 | N°20 | 0.84 | 846.00 | 460.00 | 7.67 | 32.18 |
| 376 | N°30 | 0.59 | 754.00 | 378.00 | 6.30 | 25.88 |
| 364 | N°40 | 0.43 | 796.00 | 432.00 | 7.20 | 18.68 |
| 330 | N°60 | 0.25 | 755.00 | 425.00 | 7.08 | 11.60 |
| 328 | N°100 | 0.15 | 707.00 | 379.00 | 6.32 | 5.28 |
| 318 | N°200 | 0.07 | 623.00 | 305.00 | 5.08 | 0.20 |
| | | | Limos: | 12.00 | 0.20 | |

Tabla 6. Análisis de granulometría calicata N° 1 a 0.3 m (Fuente: Elaboración propia)

| | | | | | | | |
|------------------|--------------|--------------------|----------------|---------|--------|-----------|-------|
| FINOS = | 0.20% | ARENA = | 47.15% | GRAVA = | 52.65% | D50: (mm) | 6.50 |
| TIPO DE MATERIAL | ARENA | NOMBRE SEGÚN SUCS: | | GRAVA | NO | D60: (mm) | 12.52 |
| Diámetro medio: | 12.88 mm | ARENA | ARENA UNIFORME | FINO | NO | D30: (mm) | 0.75 |
| | | | | | | D10: (mm) | 0.22 |
| | | | | | | Cu: | 56.91 |
| | | | | | | Cc: | 0.20 |

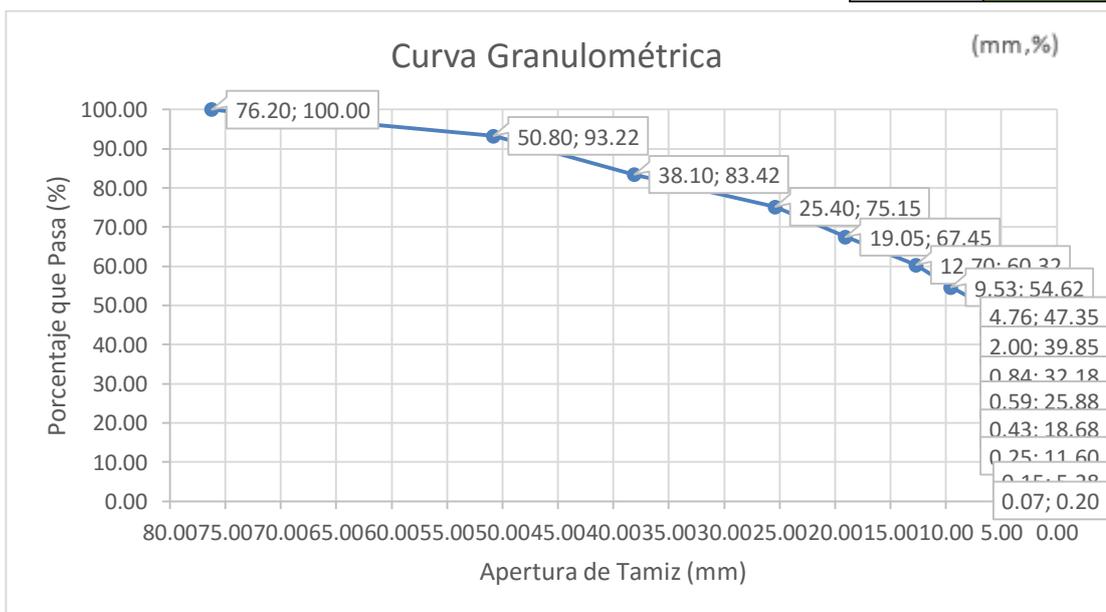


Figura 26. Curva Granulométrica de muestra a 0.3 m de la calicata N° 1 (Fuente: Elaboración propia)

Peso de las muestra : 6 Kg
al: 100 %

(M2) Peso muestra N° 2 (a 1.2 m):

| Peso tara (g) | TAMIZ (N°) | Apertura Tamiz(mm) | Peso incl. tamiz (g) | Peso (g) | Reten. (%) | 100 Porcentaje que Pasa (%) |
|---------------|------------|--------------------|----------------------|----------|------------|--------------------------------|
| 528 | 3" | 76.20 | 2665.00 | 2137.00 | 35.62 | 64.38 |
| 536 | 2" | 50.80 | 2387.00 | 1851.00 | 30.85 | 33.53 |
| 564 | 1 1/2" | 38.10 | 1693.00 | 1129.00 | 18.82 | 14.72 |
| 534 | 1" | 25.40 | 836.00 | 302.00 | 5.03 | 9.68 |
| 550 | 3/4" | 19.05 | 712.00 | 162.00 | 2.70 | 6.98 |
| 528 | 1/2" | 12.70 | 606.00 | 78.00 | 1.30 | 5.68 |
| 526 | 3/8" | 9.53 | 574.00 | 48.00 | 0.80 | 4.88 |
| 504 | N°4 | 4.76 | 539.00 | 35.00 | 0.58 | 4.30 |
| 470 | N°10 | 2.00 | 534.00 | 64.00 | 1.07 | 3.23 |
| 386 | N°20 | 0.84 | 442.00 | 56.00 | 0.93 | 2.30 |
| 376 | N°30 | 0.59 | 410.00 | 34.00 | 0.57 | 1.73 |
| 364 | N°40 | 0.43 | 393.00 | 29.00 | 0.48 | 1.25 |
| 330 | N°60 | 0.25 | 357.00 | 27.00 | 0.45 | 0.80 |
| 328 | N°100 | 0.15 | 347.00 | 19.00 | 0.32 | 0.48 |
| 318 | N°200 | 0.07 | 338.00 | 20.00 | 0.33 | 0.15 |
| | | | Limos: | 9.00 | 0.15 | |

Tabla 7. Análisis de granulometría calicata N° 1 a 1.2 m (Fuente: Elaboración propia)

| | | | | | | | |
|-------------------------|-----------------|----------------|---------------------------|----------------|---------------|------------------|--------------|
| FINOS = | 0.15% | ARENA = | 4.15% | GRAVA = | 95.70% | D50: (mm) | 64.36 |
| TIPO DE MATERIAL | GRAVA | | NOMBRE SEGÚN SUCS: | | | D60: (mm) | 72.59 |
| | | | GRAVA | GRAVA UNIFORME | | D30: (mm) | 48.42 |
| | | | ARENA | NO | | D10: (mm) | 26.20 |
| Diámetro medio: | 52.16 mm | | FINO | NO | | Cu: | 2.77 |
| | | | | | | Cc: | 1.23 |

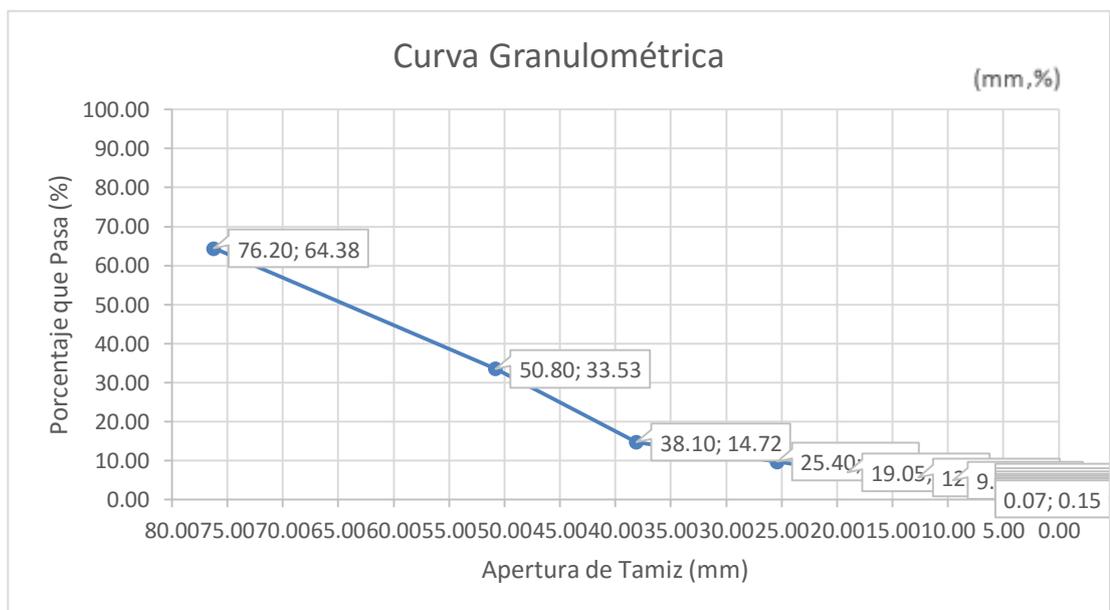


Figura 27. Curva Granulométrica de muestra a 1.2 m de la calicata N° 1 (Fuente: Elaboración propia)

Peso de las muestra : **6 Kg**
al : 100 %

(M3) Peso muestra N° 3 (a 2.3 m):

| Peso tara (g) | TAMIZ (N°) | Apertura Tamiz(mm) | Peso incl. tamiz (g) | Peso (g) | Reten. (%) | 100 Porcentaje que Pasa (%) |
|---------------|------------|--------------------|----------------------|----------|------------|--------------------------------|
| 528 | 3" | 76.20 | 1215.00 | 687.00 | 11.45 | 88.55 |
| 536 | 2" | 50.80 | 1172.00 | 636.00 | 10.60 | 77.95 |
| 564 | 1 1/2" | 38.10 | 883.00 | 319.00 | 5.32 | 72.63 |
| 534 | 1" | 25.40 | 957.00 | 423.00 | 7.05 | 65.58 |
| 550 | 3/4" | 19.05 | 854.00 | 304.00 | 5.07 | 60.52 |
| 528 | 1/2" | 12.70 | 821.00 | 293.00 | 4.88 | 55.63 |
| 526 | 3/8" | 9.53 | 777.00 | 251.00 | 4.18 | 51.45 |
| 504 | N°4 | 4.76 | 798.00 | 294.00 | 4.90 | 46.55 |
| 470 | N°10 | 2.00 | 784.00 | 314.00 | 5.23 | 41.32 |
| 386 | N°20 | 0.84 | 793.00 | 407.00 | 6.78 | 34.53 |
| 376 | N°30 | 0.59 | 761.00 | 385.00 | 6.42 | 28.12 |
| 364 | N°40 | 0.43 | 795.00 | 431.00 | 7.18 | 20.93 |
| 330 | N°60 | 0.25 | 816.00 | 486.00 | 8.10 | 12.83 |
| 328 | N°100 | 0.15 | 799.00 | 471.00 | 7.85 | 4.98 |
| 318 | N°200 | 0.07 | 607.00 | 289.00 | 4.82 | 0.17 |
| | | | Limos: | 10.00 | 0.17 | |

Tabla 8. Análisis de granulometría calicata N° 1 a 2.3 m (Fuente: Elaboración propia)

| | | | | | | | |
|-------------------------|-----------------|---------------------------|---------------|----------------|----------------|------------------|--------------|
| FINOS = | 0.17% | ARENA = | 46.38% | GRAVA = | 53.45% | D50: (mm) | 8.08 |
| TIPO DE MATERIAL | ARENA | NOMBRE SEGÚN SUCS: | | | | D60: (mm) | 18.34 |
| | | GRAVA | NO | ARENA | ARENA UNIFORME | D30: (mm) | 0.66 |
| | | FINO | NO | | | D10: (mm) | 0.21 |
| Diámetro medio: | 20.44 mm | | | | | Cu: | 87.33 |
| | | | | | | Cc: | 0.11 |

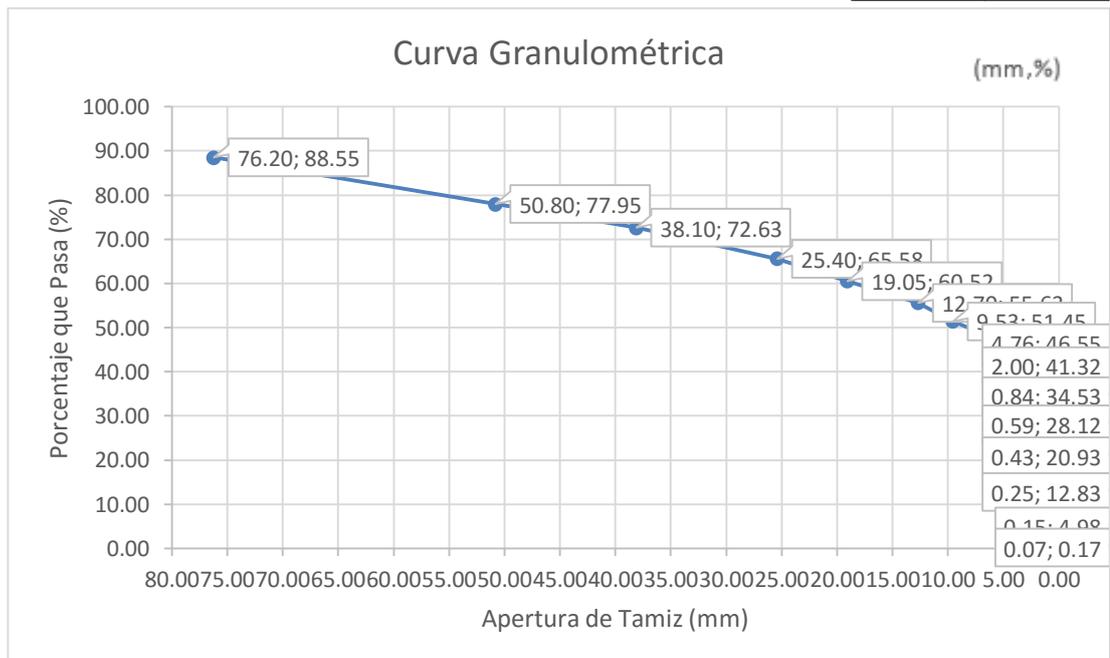


Figura 28. Curva Granulométrica de muestra a 2.3 m de la calicata N° 1 (Fuente: Elaboración propia)

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO CALICATAN° 2

Peso de las muestra : **6 Kg**
al: 100 %

(M1) Peso muestra N° 1 (a 0.30 m):

| Peso tara (g) | TAMIZ (N°) | Apertura Tamiz(mm) | Peso incl. tamiz (g) | Peso (g) | Reten. (%) | 100 Porcentaje que Pasa (%) |
|---------------|------------|--------------------|----------------------|----------|------------|--------------------------------|
| 528 | 3" | 76.20 | 0 | 0.00 | 0.00 | 100.00 |
| 536 | 2" | 50.80 | 853 | 317.00 | 5.28 | 94.72 |
| 564 | 1 1/2" | 38.10 | 1095 | 531.00 | 8.85 | 85.87 |
| 534 | 1" | 25.40 | 1033 | 499.00 | 8.32 | 77.55 |
| 550 | 3/4" | 19.05 | 1020 | 470.00 | 7.83 | 69.72 |
| 528 | 1/2" | 12.70 | 963 | 435.00 | 7.25 | 62.47 |
| 526 | 3/8" | 9.53 | 882 | 356.00 | 5.93 | 56.53 |
| 504 | N°4 | 4.76 | 935 | 431.00 | 7.18 | 49.35 |
| 470 | N°10 | 2.00 | 940 | 470.00 | 7.83 | 41.52 |
| 386 | N°20 | 0.84 | 864 | 478.00 | 7.97 | 33.55 |
| 376 | N°30 | 0.59 | 816 | 440.00 | 7.33 | 26.22 |
| 364 | N°40 | 0.43 | 773 | 409.00 | 6.82 | 19.40 |
| 330 | N°60 | 0.25 | 752 | 422.00 | 7.03 | 12.37 |
| 328 | N°100 | 0.15 | 726 | 398.00 | 6.63 | 5.73 |
| 318 | N°200 | 0.07 | 648 | 330.00 | 5.50 | 0.23 |
| | | | Limos: | 14.00 | 0.23 | |

Tabla 9. Análisis de granulometría calicata N° 2 a 0.3 m (Fuente: Elaboración propia)

| | | | | | | | |
|-------------------------|-----------------|---------------------------|----------------|----------------|---------------|------------------|--------------|
| FINOS = | 0.23% | ARENA = | 49.12% | GRAVA = | 50.65% | D50: (mm) | 5.19 |
| TIPO DE MATERIAL | ARENA | NOMBRE SEGÚN SUCS: | | | | D60: (mm) | 11.38 |
| | | GRAVA | NO | | | D30: (mm) | 0.72 |
| | | ARENA | ARENA UNIFORME | | | D10: (mm) | 0.21 |
| | | FINO | NO | | | Cu: | 54.19 |
| Diámetro medio: | 11.84 mm | | | | | Cc: | 0.22 |

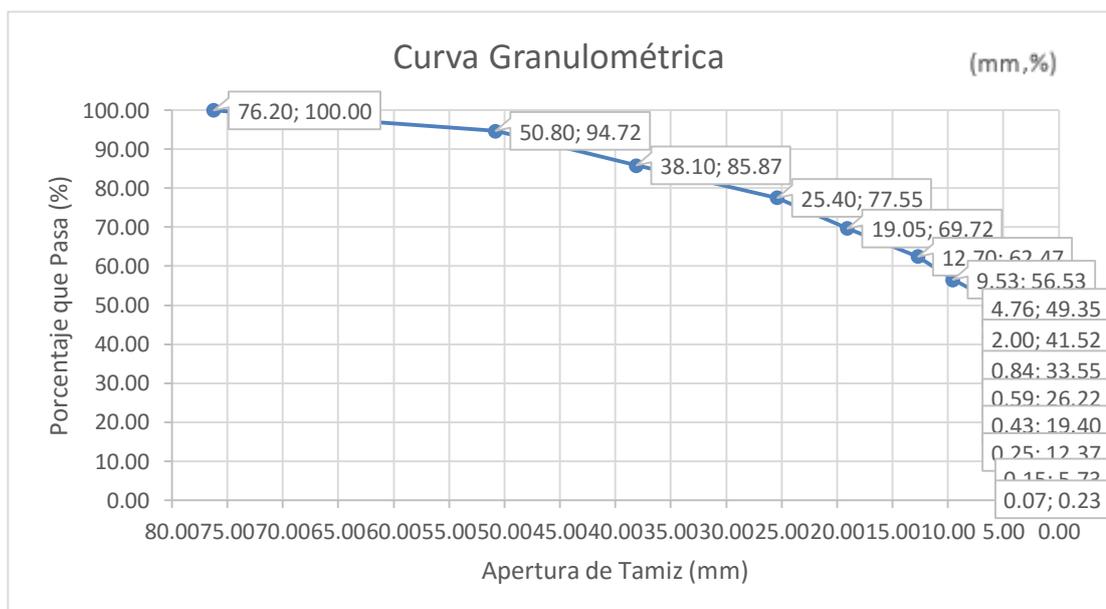


Figura 29. Curva Granulométrica de muestra a 0.3 m de la calicata N° 2 (Fuente: Elaboración propia)

Peso de las muestra : **6 Kg**
al: 100 %

(M2) Peso muestra N° 2 (a 1.2 m):

| Peso tara (g) | TAMIZ (N°) | Apertura Tamiz(mm) | Peso incl. tamiz (g) | Peso (g) | Reten. (%) | 100 Porcentaje que Pasa (%) |
|---------------|------------|--------------------|----------------------|----------|------------|--------------------------------|
| 528 | 3" | 76.20 | 2568.00 | 2040.00 | 34.00 | 66.00 |
| 536 | 2" | 50.80 | 2321.00 | 1785.00 | 29.75 | 36.25 |
| 564 | 1 1/2" | 38.10 | 1435.00 | 871.00 | 14.52 | 21.73 |
| 534 | 1" | 25.40 | 820.00 | 286.00 | 4.77 | 16.97 |
| 550 | 3/4" | 19.05 | 701.00 | 151.00 | 2.52 | 14.45 |
| 528 | 1/2" | 12.70 | 613.00 | 85.00 | 1.42 | 13.03 |
| 526 | 3/8" | 9.53 | 586.00 | 60.00 | 1.00 | 12.03 |
| 504 | N°4 | 4.76 | 542.00 | 38.00 | 0.63 | 11.40 |
| 470 | N°10 | 2.00 | 561.00 | 91.00 | 1.52 | 9.88 |
| 386 | N°20 | 0.84 | 503.00 | 117.00 | 1.95 | 7.93 |
| 376 | N°30 | 0.59 | 450.00 | 74.00 | 1.23 | 6.70 |
| 364 | N°40 | 0.43 | 461.00 | 97.00 | 1.62 | 5.08 |
| 330 | N°60 | 0.25 | 468.00 | 138.00 | 2.30 | 2.78 |
| 328 | N°100 | 0.15 | 409.00 | 81.00 | 1.35 | 1.43 |
| 318 | N°200 | 0.07 | 393.00 | 75.00 | 1.25 | 0.18 |
| | | | Limos: | 11.00 | 0.18 | |

Tabla 10. Análisis de granulometría calicata N° 2 a 1.2 m (Fuente: Elaboración propia)

| | | | | | | | |
|-------------------------|-----------------|---------------------------|----------------|----------------|---------------|------------------|--------------|
| FINOS = | 0.18% | ARENA = | 11.22% | GRAVA = | 88.60% | D50: (mm) | 62.53 |
| TIPO DE MATERIAL | GRAVA | NOMBRE SEGÚN SUCS: | | | | D60: (mm) | 71.07 |
| | | GRAVA | GRAVA UNIFORME | | | D30: (mm) | 45.32 |
| | | ARENA | NO | | | D10: (mm) | 2.19 |
| Diámetro medio: | 48.71 mm | FINO | NO | | | Cu: | 32.45 |
| | | | | | | Cc: | 13.20 |

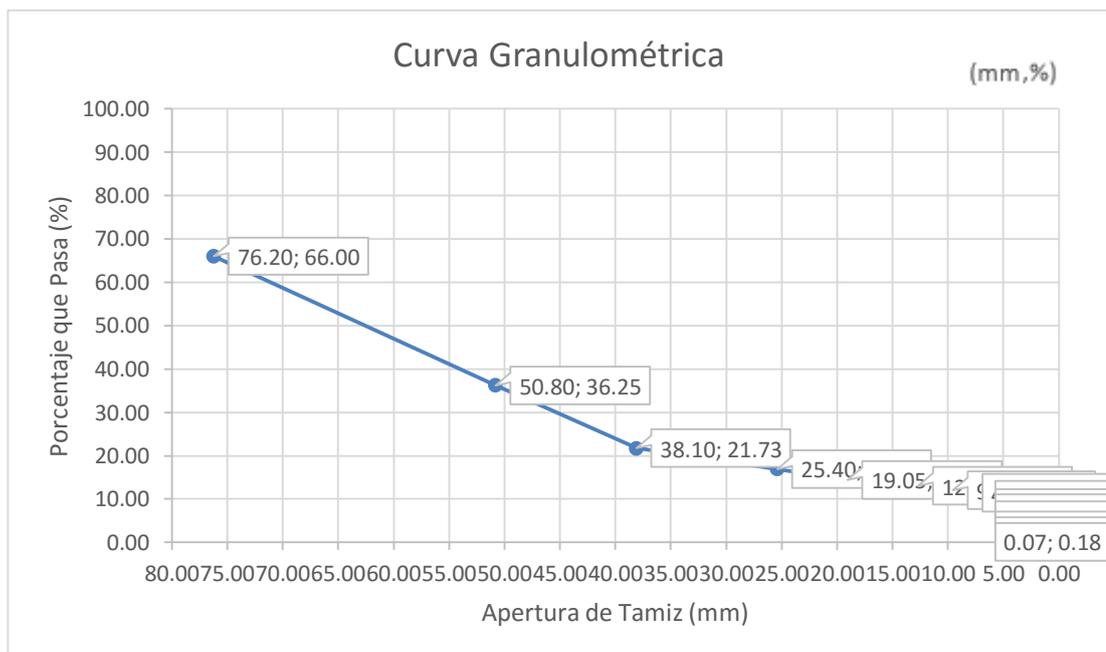


Figura 30. Curva Granulométrica de muestra a 1.2 m de la calicata N° 2 (Fuente: Elaboración propia)

Peso de las muestra : **6 Kg**
al : 100 %

(M3) Peso muestra N° 3 (a 2.3 m):

| Peso tara (g) | TAMIZ (N°) | Apertura Tamiz(mm) | Peso incl. tamiz (g) | Peso (g) | Reten. (%) | 100 Porcentaje que Pasa (%) |
|---------------|------------|--------------------|----------------------|----------|------------|--------------------------------|
| 528 | 3" | 76.20 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 100.00 |
| 536 | 2" | 50.80 | 1074.00 | 538.00 | 8.97 | 91.03 |
| 564 | 1 1/2" | 38.10 | 983.00 | 419.00 | 6.98 | 84.05 |
| 534 | 1" | 25.40 | 997.00 | 463.00 | 7.72 | 76.33 |
| 550 | 3/4" | 19.05 | 978.00 | 428.00 | 7.13 | 69.20 |
| 528 | 1/2" | 12.70 | 930.00 | 402.00 | 6.70 | 62.50 |
| 526 | 3/8" | 9.53 | 854.00 | 328.00 | 5.47 | 57.03 |
| 504 | N°4 | 4.76 | 851.00 | 347.00 | 5.78 | 51.25 |
| 470 | N°10 | 2.00 | 883.00 | 413.00 | 6.88 | 44.37 |
| 386 | N°20 | 0.84 | 870.00 | 484.00 | 8.07 | 36.30 |
| 376 | N°30 | 0.59 | 810.00 | 434.00 | 7.23 | 29.07 |
| 364 | N°40 | 0.43 | 821.00 | 457.00 | 7.62 | 21.45 |
| 330 | N°60 | 0.25 | 827.00 | 497.00 | 8.28 | 13.17 |
| 328 | N°100 | 0.15 | 809.00 | 481.00 | 8.02 | 5.15 |
| 318 | N°200 | 0.07 | 616.00 | 298.00 | 4.97 | 0.18 |
| | | | Limos: | 11.00 | 0.18 | |

Tabla 11. Análisis de granulometría calicata N° 2 a 2.3 m (Fuente: Elaboración propia)

| | | | | | | | |
|-------------------------|-----------------|---------------------------|----------------|----------------|---------------|------------------|--------------|
| FINOS = | 0.18% | ARENA = | 51.07% | GRAVA = | 48.75% | D50: (mm) | 4.26 |
| TIPO DE MATERIAL | ARENA | NOMBRE SEGÚN SUCS: | | | | D60: (mm) | 11.25 |
| | | GRAVA | NO | | | D30: (mm) | 0.62 |
| | | ARENA | ARENA UNIFORME | | | D10: (mm) | 0.21 |
| Diámetro medio: | 12.52 mm | FINO | NO | | | Cu: | 53.57 |
| | | | | | | Cc: | 0.16 |

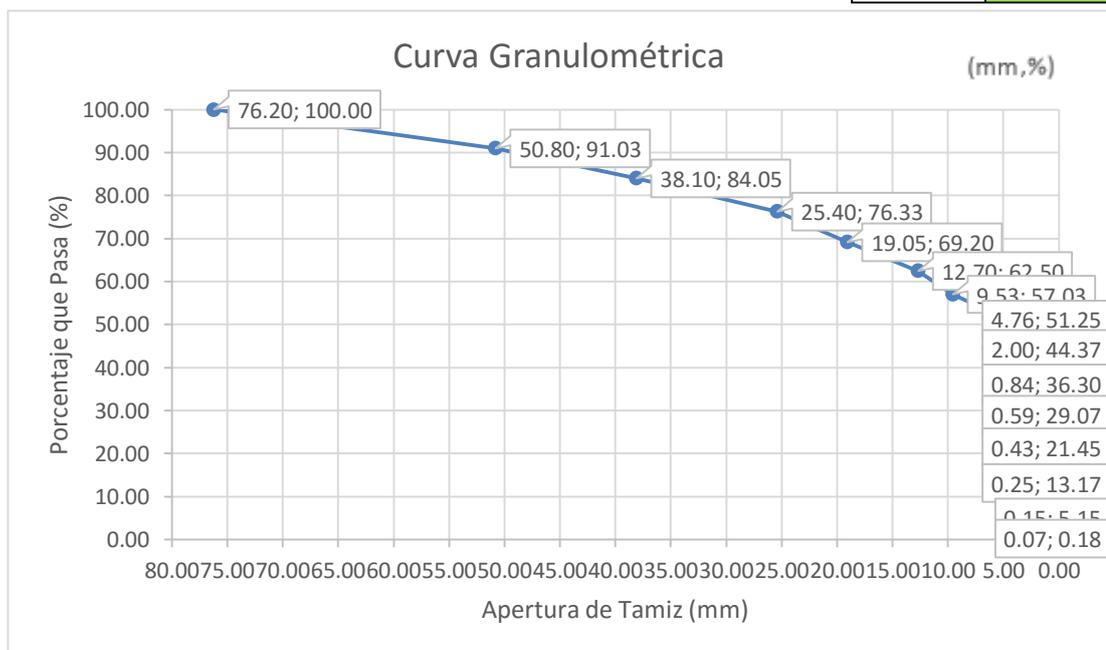


Figura 31. Curva Granulométrica de muestra a 2.3 m de la calicata N° 2 (Fuente: Elaboración propia)

Para el cálculo del D_{50} se utilizó una plantilla de Excel para análisis granulométrico obtenida de <https://civilgeeks.com>.

El valor de D_{50} a considerar, es el mayor obtenido en la segunda muestra de cada calicata, es decir a 1.20 metros de profundidad, este valor es de 64.36 mm. Se consideró este valor ya que se observó que entre los 0.35 a 0.40 metros de profundidad el material que se muestra es producto de la sedimentación.

El suelo del lecho del río se considera como suelo acorazado.

El diámetro medio a utilizar para el análisis de socavación será el del suelo acorazado, es decir el obtenido a 1.2 m de profundidad. Como se realizaron 2 calicatas hemos considerado el promedio entre ambos valores; nuestro diámetro medio es 50.44 mm.

Calculamos también el peso específico de la muestra:

| | | |
|-----------------------------------|---------------|--------------------------|
| Altura del recipiente: | 20.5 | cm |
| Diametro del recipiente: | 20.3 | cm |
| Peso del recipiente + la muestra: | 16.53 | Kg |
| Peso del recipiente: | 3.34 | Kg |
| Peso de la muestra: | 13.19 | Kg |
| | 0.0132 | Ton |
| Radio: | 10.15 | cm |
| Área base circular: | 323.71 | cm ² |
| Volumen del Cilindro: | 6636.0 | cm ³ |
| Peso específico: | 1.987 | Ton/m³ |

4.4.- Mediciones complementarias en el cauce del río Moche

Se realizaron mediciones de Topografía básica en el cauce del río moche para calcular la pendiente y las secciones transversales del río, desde el puente moche 20 metros aguas abajo y 20 metros aguas arriba, hasta llegar a los 100 metros, estos datos de las secciones transversales se utilizaron para el modelamiento en HEC RAS. La pendiente que calculamos fue de 0.8%.



Figura 32. Trabajo de nivelación en el lecho del río Moche (Fuente: Elaboración propia)



Figura 33. Mediciones de taludes en las riveras del río Moche (Fuente: Elaboración propia)



Figura 34. Medición en el lecho del río Moche (Fuente: Elaboración propia)



Figura 35. Medición en los pilares del puente y la huella del Tirante que dejó la máxima avenida del mes de marzo durante el fenómeno del niño costero (Fuente: Elaboración propia)

4.4.1- Resultados de trabajo de gabinete

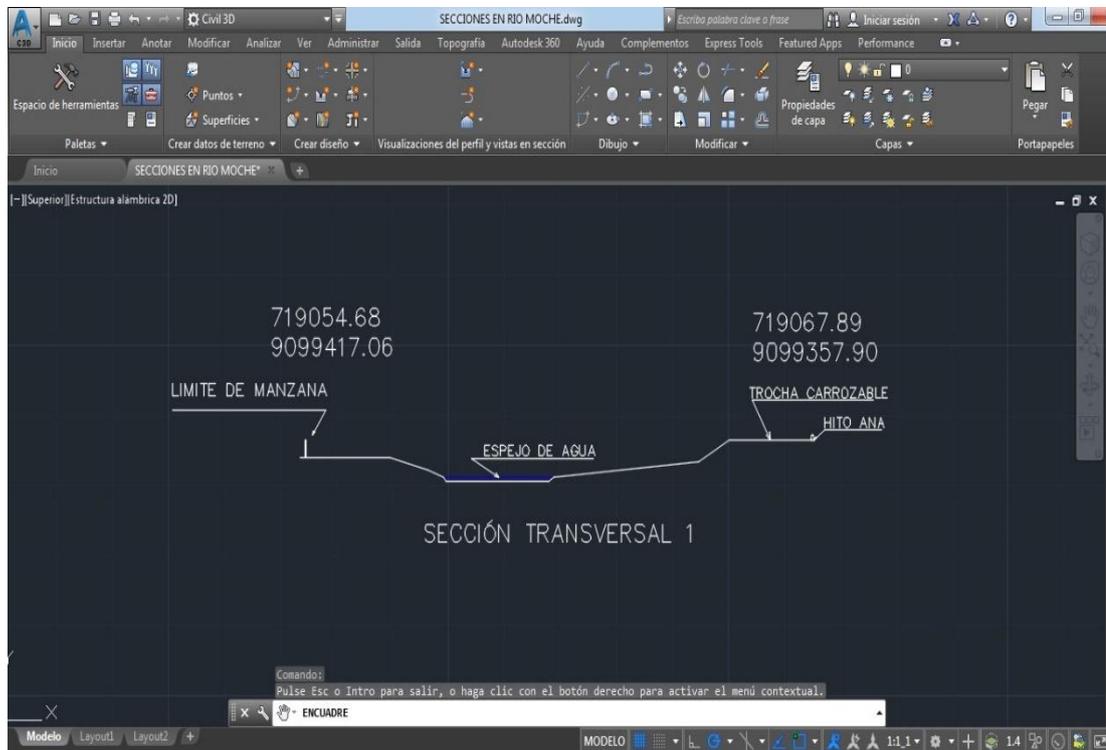


Figura 36. Sección transversal del río Moche en AutoCAD parte 1 (Fuente: Elaboración propia)

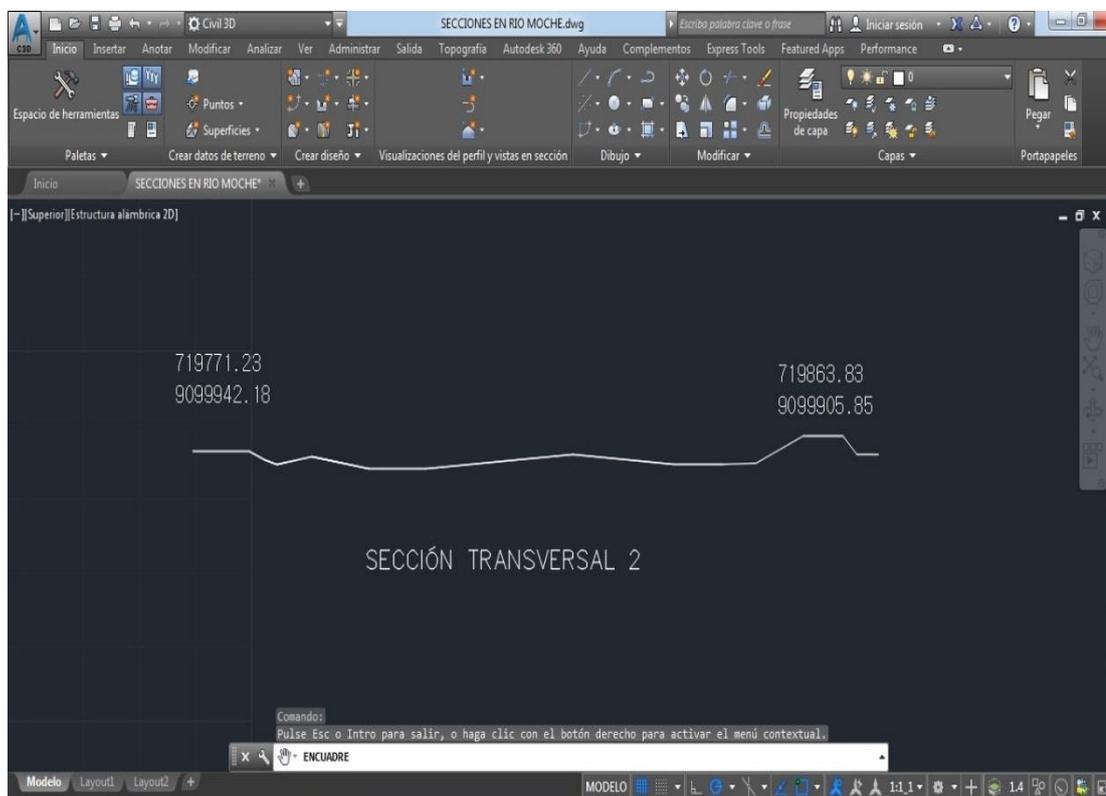


Figura 37. Sección transversal del río Moche en AutoCAD parte 2 (Fuente: Elaboración propia)

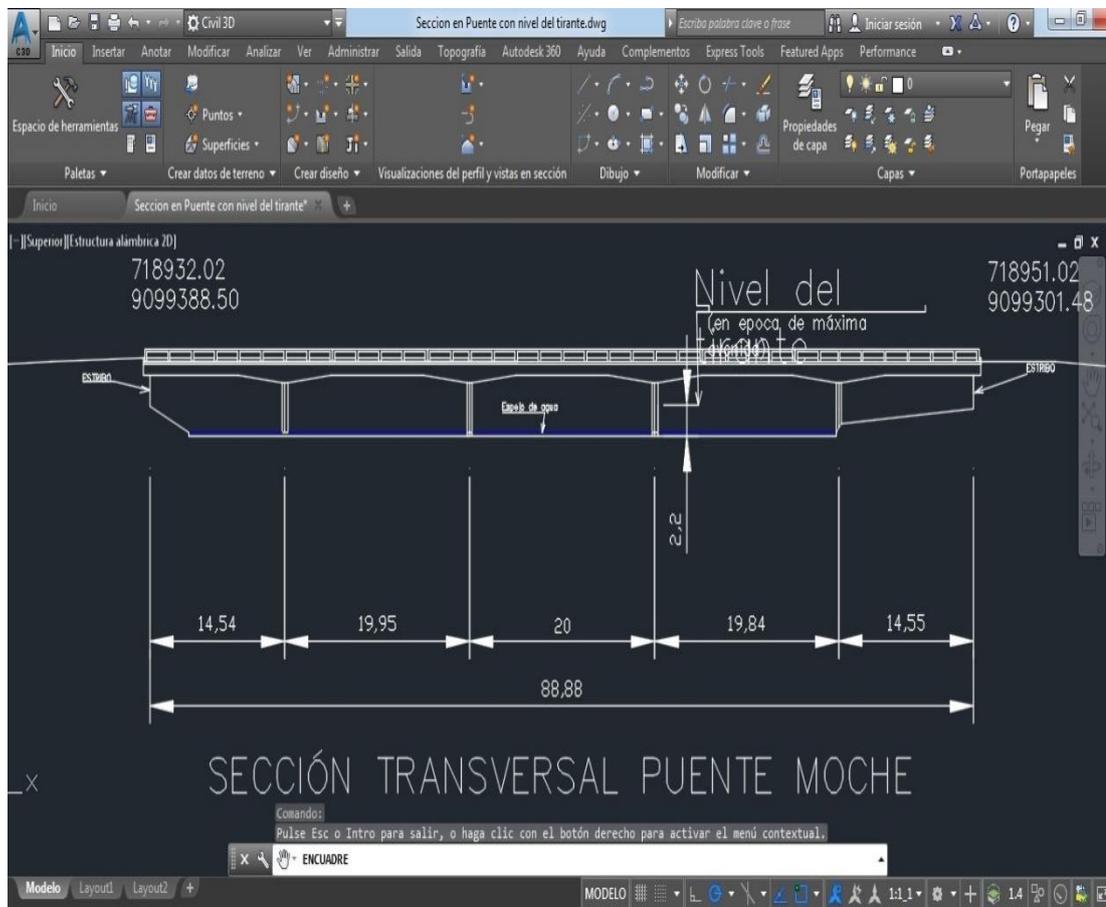


Figura 38. Sección transversal del puente Moche en AutoCAD (Fuente: Elaboración propia)

4.5.- Información histórica del caudal máximo en el río Moche de los últimos 56 años.

La información de estos caudales máximos la obtuvimos de la estación meteorológica de Quirihuac que está a cargo del proyecto especial Chavimochic; comprende desde el año 1960 hasta el 2015, además el Centro de Operaciones de Emergencia Nacional (COEN) y Defensa Civil de La Libertad proporcionaron la información del caudal máximo que se dio en el río Moche durante este año a causa del fenómeno de El niño costero que fue calculado en $419 \text{ m}^3/\text{s}$.

A continuación, mostramos una tabla elaborada con los datos proporcionados. Del (Anexo 5).

| Año | Qmax. (m3/seg) (1) | Qmax. (m3/seg) (2) |
|-----------------------|--------------------|--------------------|
| 1960 | 196.63 | 238.36 |
| 1961 | 43.92 | 52.70 |
| 1962 | 180.31 | 216.37 |
| 1963 | 117.57 | 141.08 |
| 1964 | 119.19 | 143.03 |
| 1965 | 78.40 | 94.08 |
| 1966 | 58.45 | 70.14 |
| 1967 | 336.60 | 403.92 |
| 1968 | 23.42 | 28.10 |
| 1969 | 91.81 | 110.17 |
| 1970 | 96.10 | 115.32 |
| 1971 | 117.63 | 141.16 |
| 1972 | 138.25 | 165.90 |
| 1973 | 152.96 | 183.55 |
| 1974 | 50.29 | 60.35 |
| 1975 | 170.88 | 205.06 |
| 1976 | 112.85 | 135.42 |
| 1977 | 201.52 | 241.82 |
| 1978 | 24.00 | 28.80 |
| 1979 | 54.88 | 65.86 |
| 1980 | 56.00 | 67.20 |
| 1981 | 160.00 | 192.00 |
| 1982 | 90.00 | 108.00 |
| 1983 | 280.00 | 336.00 |
| 1984 | 152.00 | 182.40 |
| 1985 | 20.80 | 24.96 |
| 1986 | 72.00 | 86.40 |
| 1987 | 64.00 | 76.80 |
| 1988 | 98.53 | 118.24 |
| 1989 | 40.00 | 48.00 |
| 1990 | 22.64 | 27.17 |
| 1991 | 44.50 | 53.40 |
| 1992 | 26.02 | 31.22 |
| 1993 | 66.97 | 80.36 |
| 1994 | 204.80 | 245.76 |
| 1995 | 23.84 | 28.61 |
| 1996 | 64.00 | 76.80 |
| 1997 | 200.00 | 240.00 |
| 1998 | 850.00 | 1020.00 |
| 1999 | 371.80 | 446.16 |
| 2000 | 85.83 | 103.00 |
| 2001 | 66.94 | 80.33 |
| 2002 | 149.98 | 179.98 |
| 2003 | 109.46 | 131.35 |
| 2004 | 42.51 | 51.01 |
| 2012 | 112.57 | 135.08 |
| 2013 | 130.00 | 156.00 |
| 2014 | 72.50 | 87.00 |
| 2015 | 225.00 | 270.00 |
| 2017 | 406.00 | 419.00 |
| Caudal máximo: | 850.00 | 1020.00 |

Tabla 12. Caudales máximos del río Moche de los últimos 56 años (Fuente: Elaboración propia)

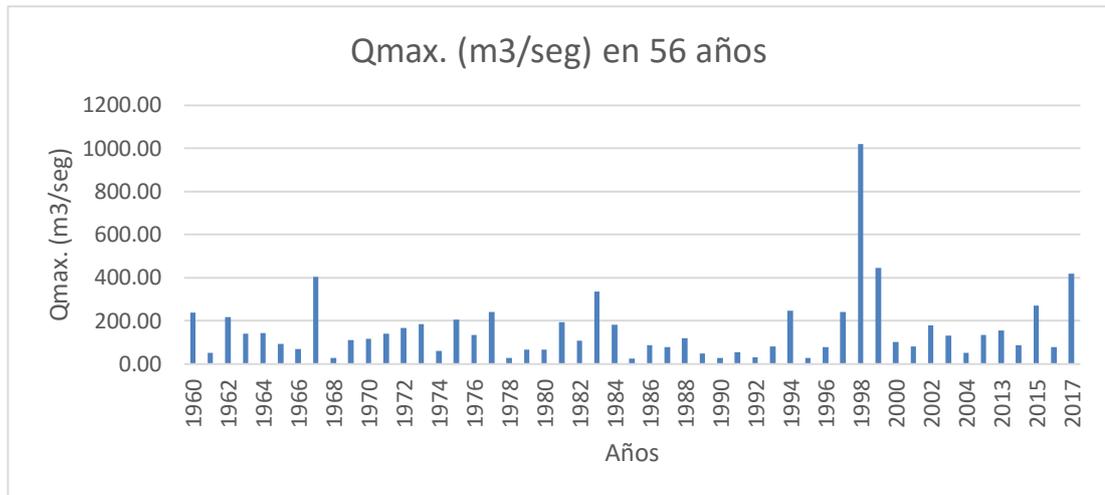


Figura 39. Diagrama de barras de los caudales máximos del río Moche de los últimos 56 años (Fuente: Elaboración propia)

4.6.- Modelamiento del flujo con el nuevo caudal del río Moche en HEC-RAS

Haciendo uso de la información obtenida de las secciones transversales del río Moche, su pendiente y el caudal máximo que alcanzó durante el fenómeno del Niño costero (2017), procedemos a realizar el modelamiento en Hec-Ras para calcular el tirante aproximado y la velocidad media. Se tomó como caudal de diseño la suma del caudal de la quebrada de San Idelfonso con la del río Moche, por lo tanto, el caudal de diseño a utilizar será de $440.16 \text{ m}^3/\text{s}$ que viene hacer el caudal que llegará al río moche cuando las aguas de la quebrada de san Idelfonso sean canalizadas como se muestra en el (Anexo 1).

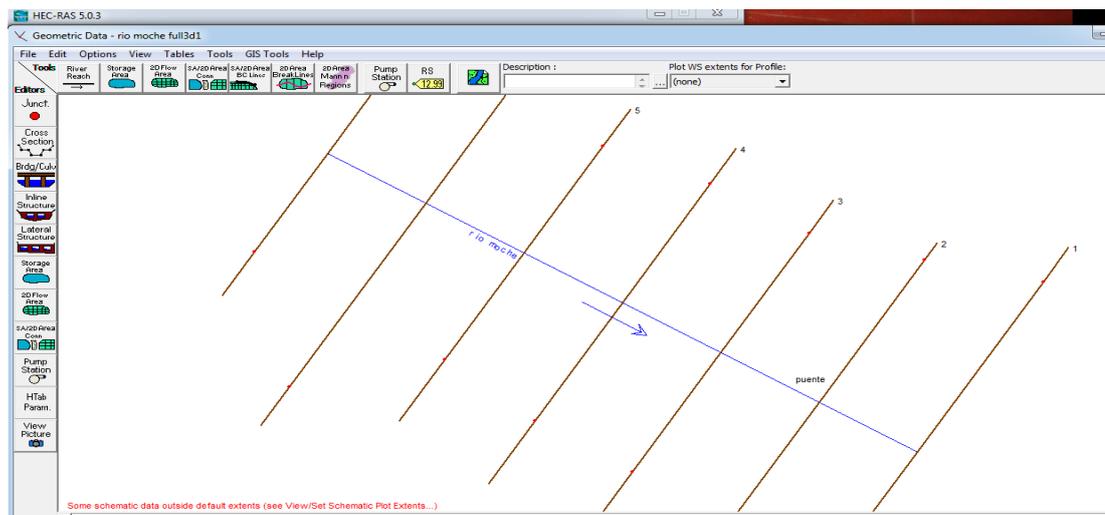


Figura 40. Geometría de las secciones transversales del río Moche cada 20 m (Fuente: Elaboración propia)

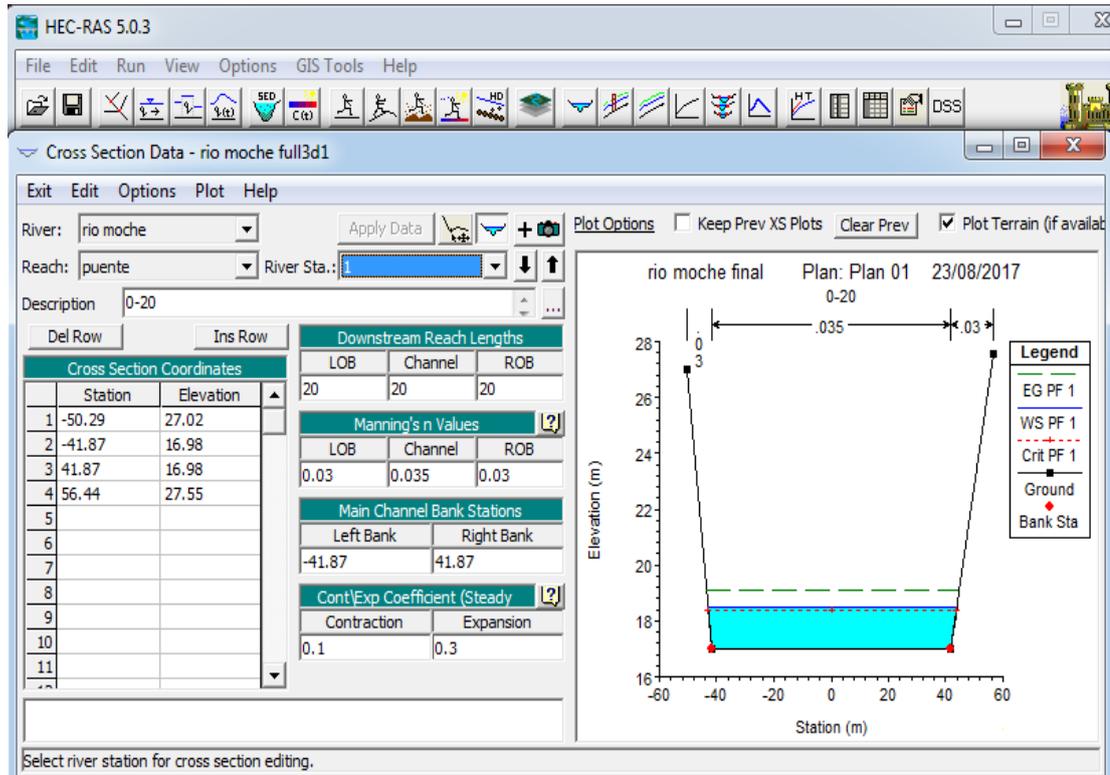


Figura 41. Sección transversal del río Moche 20 m aguas abajo del puente HEC-RAS (Fuente: Elaboración propia)

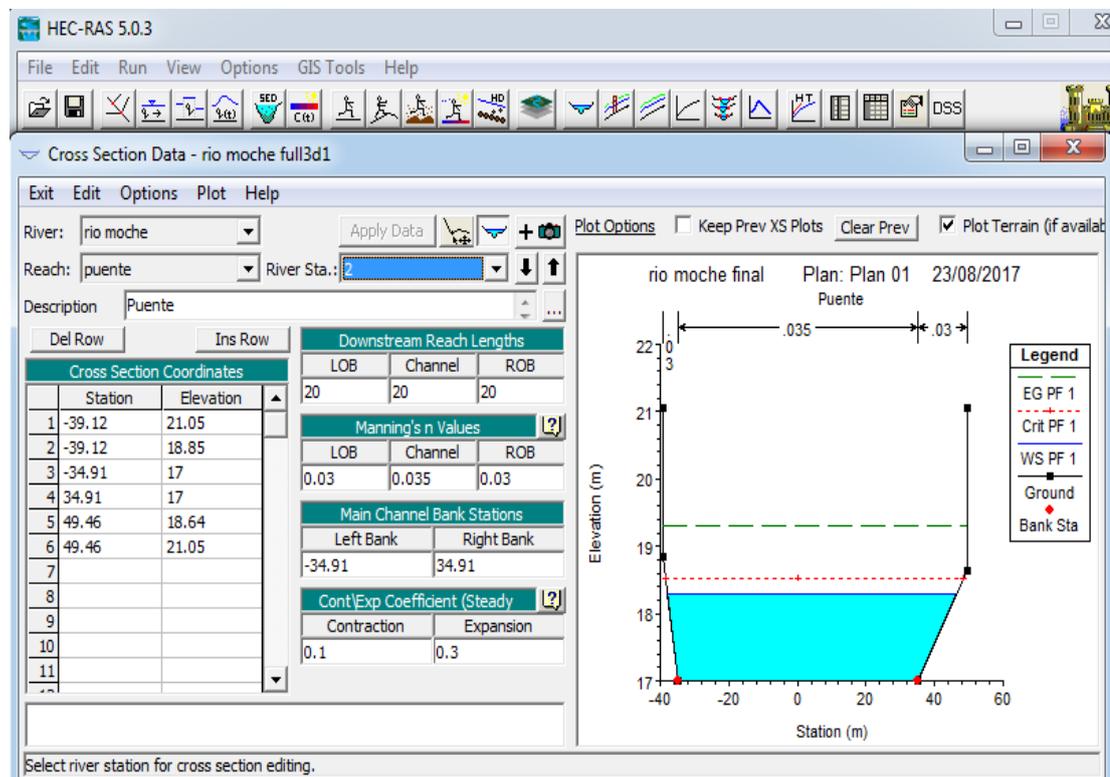


Figura 42. Sección transversal del río Moche bajo el puente HEC-RAS (Fuente: Elaboración propia)

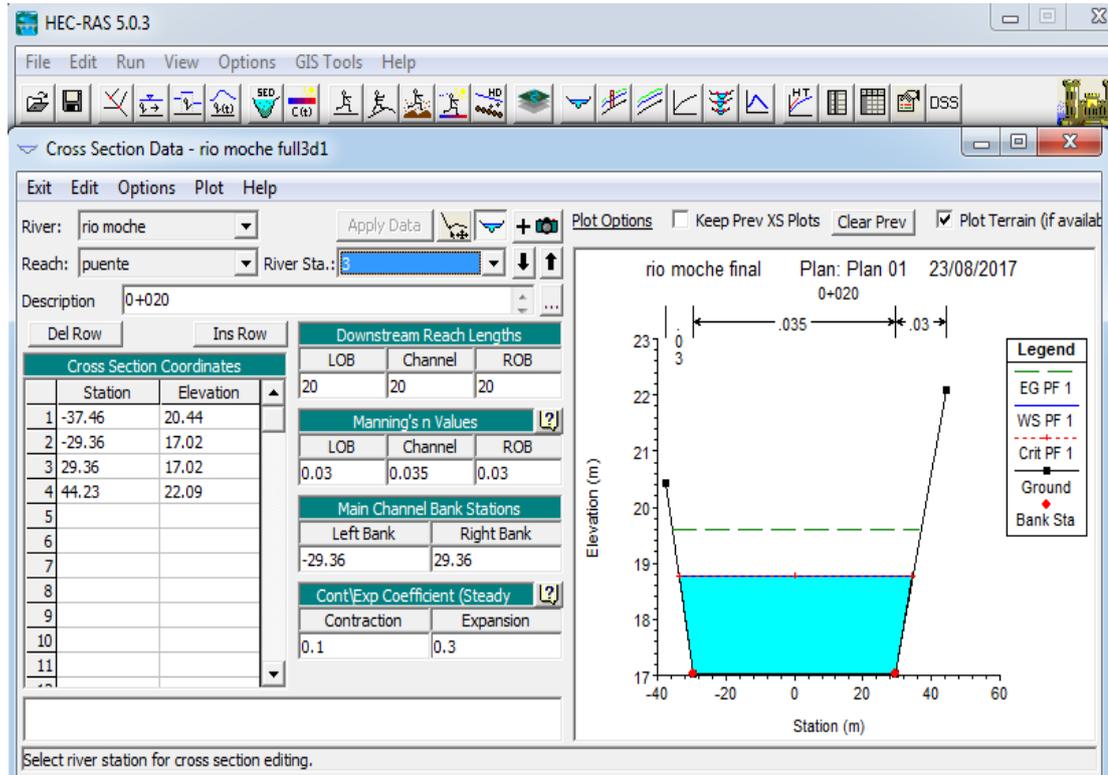


Figura 43. Sección transversal del río Moche 20 m aguas arriba del puente HEC-RAS (Fuente: Elaboración propia)

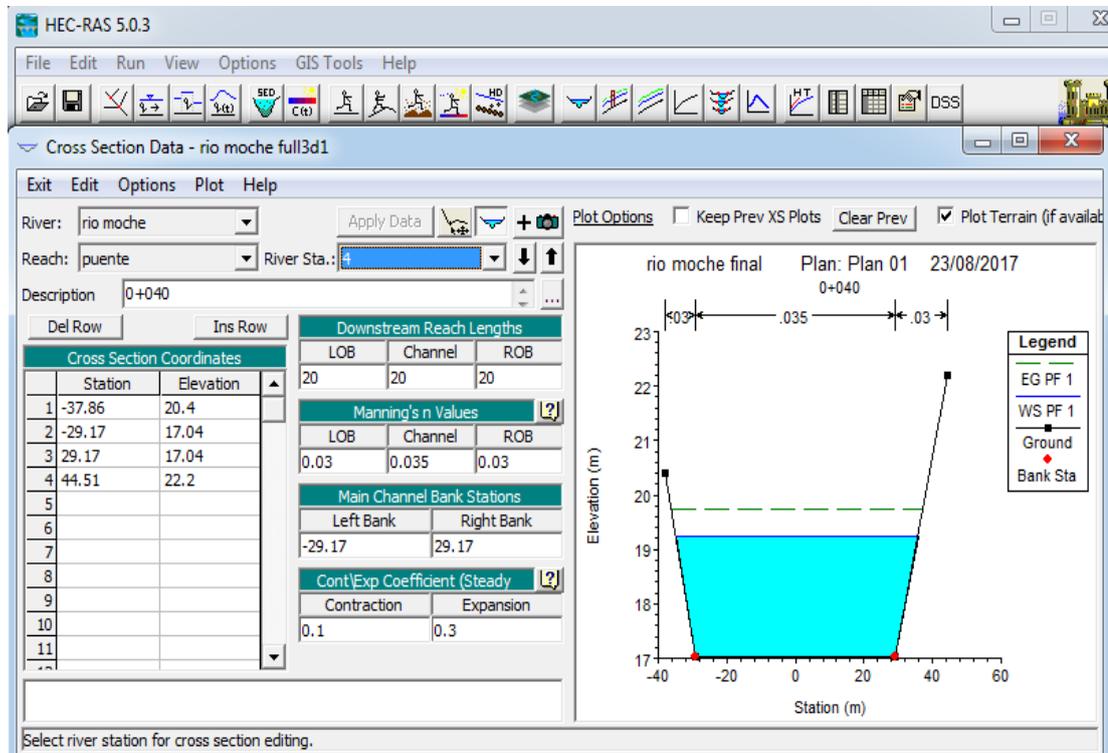


Figura 44. Sección transversal del río Moche 40 m aguas arriba del puente HEC-RAS (Fuente: Elaboración propia)

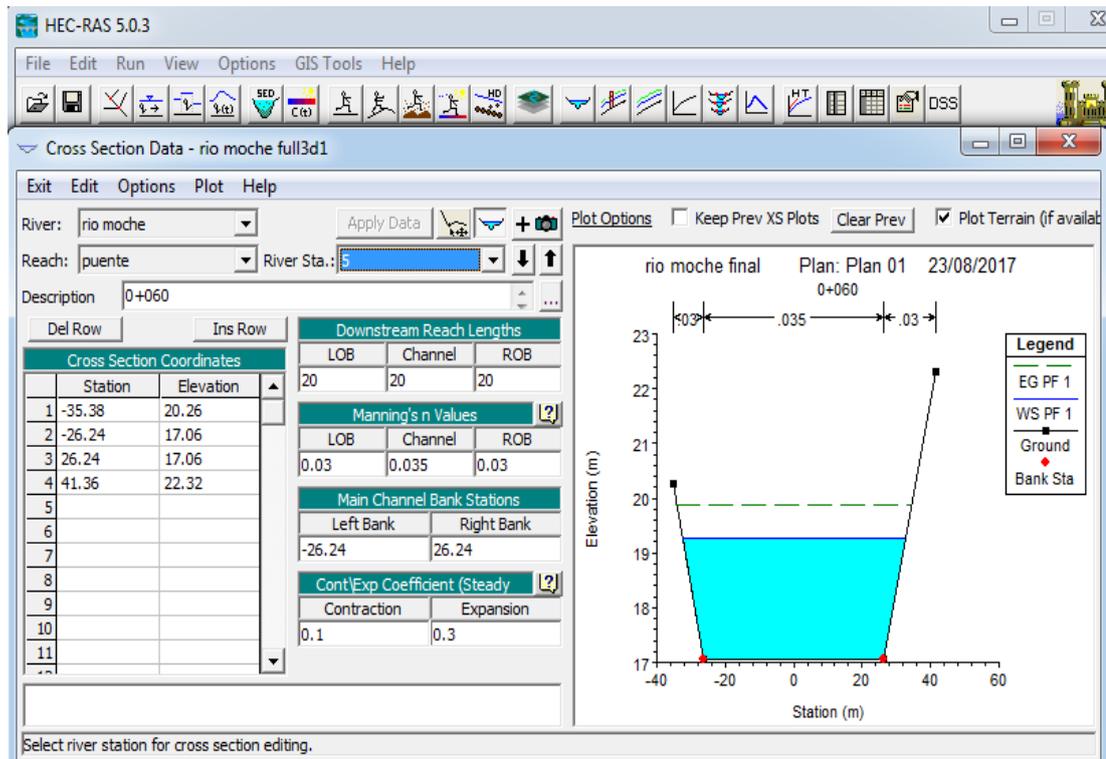


Figura 45. Sección transversal del río Moche 60 m aguas arriba del puente HEC-RAS (Fuente: Elaboración propia)

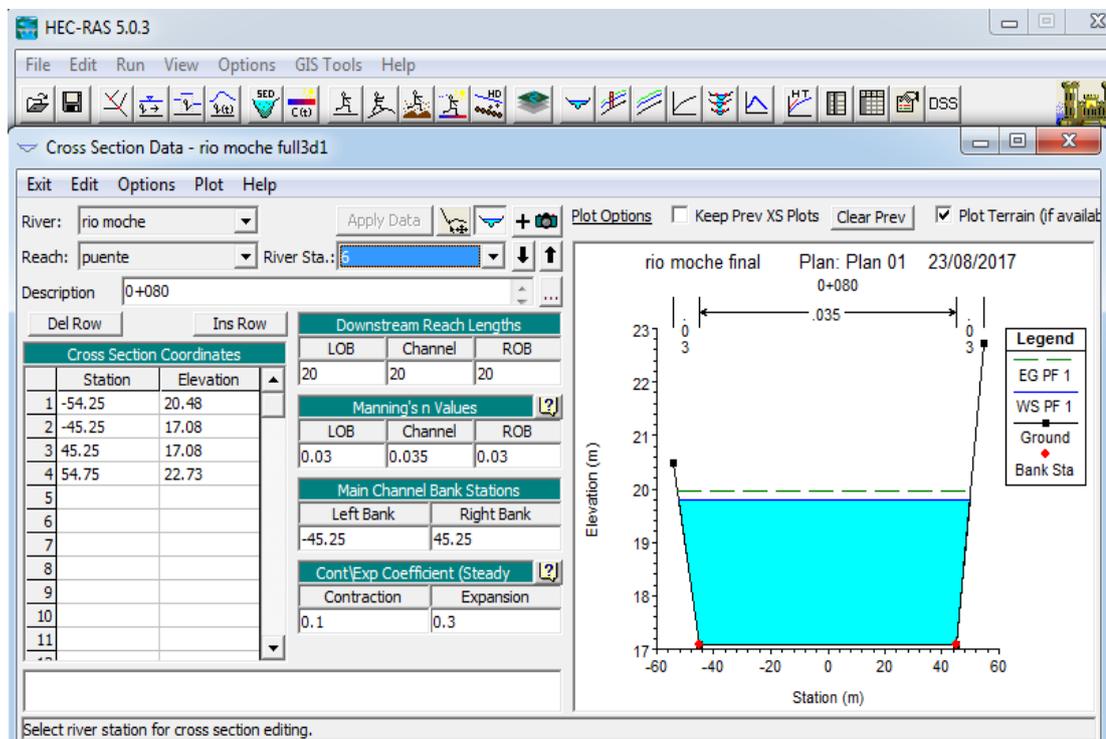


Figura 46. Sección transversal del río Moche 80 m aguas arriba del puente HEC-RAS (Fuente: Elaboración propia)

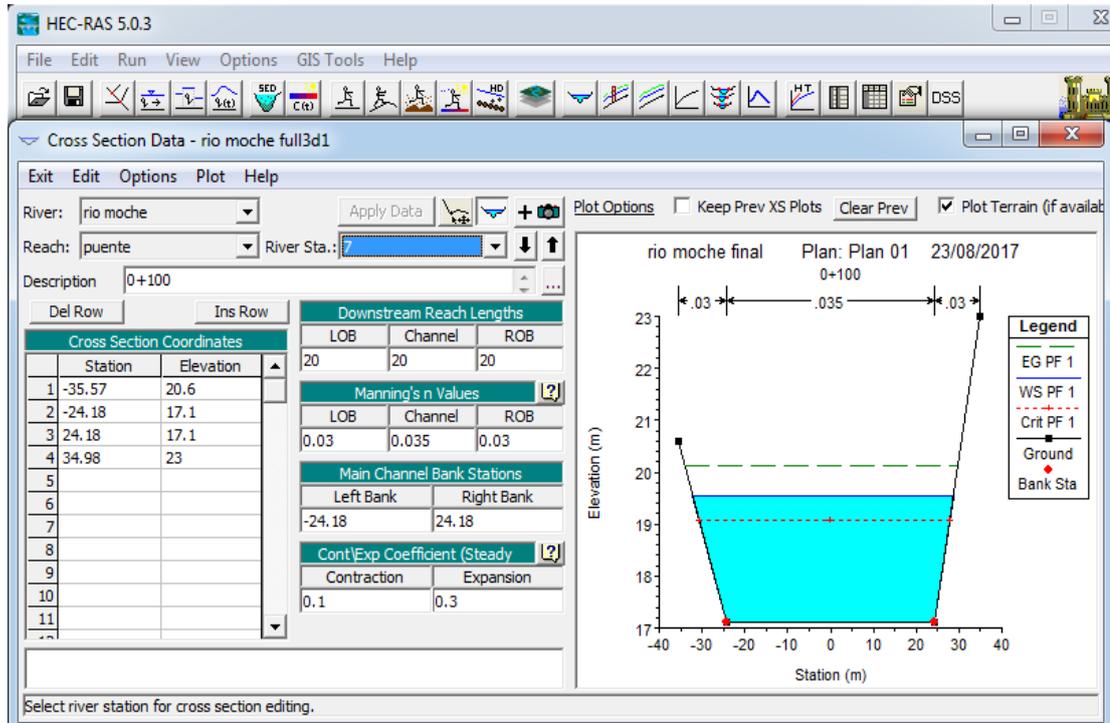


Figura 47. Sección transversal del río Moche 100 m aguas arriba del puente HEC-RAS (Fuente: Elaboración propia)

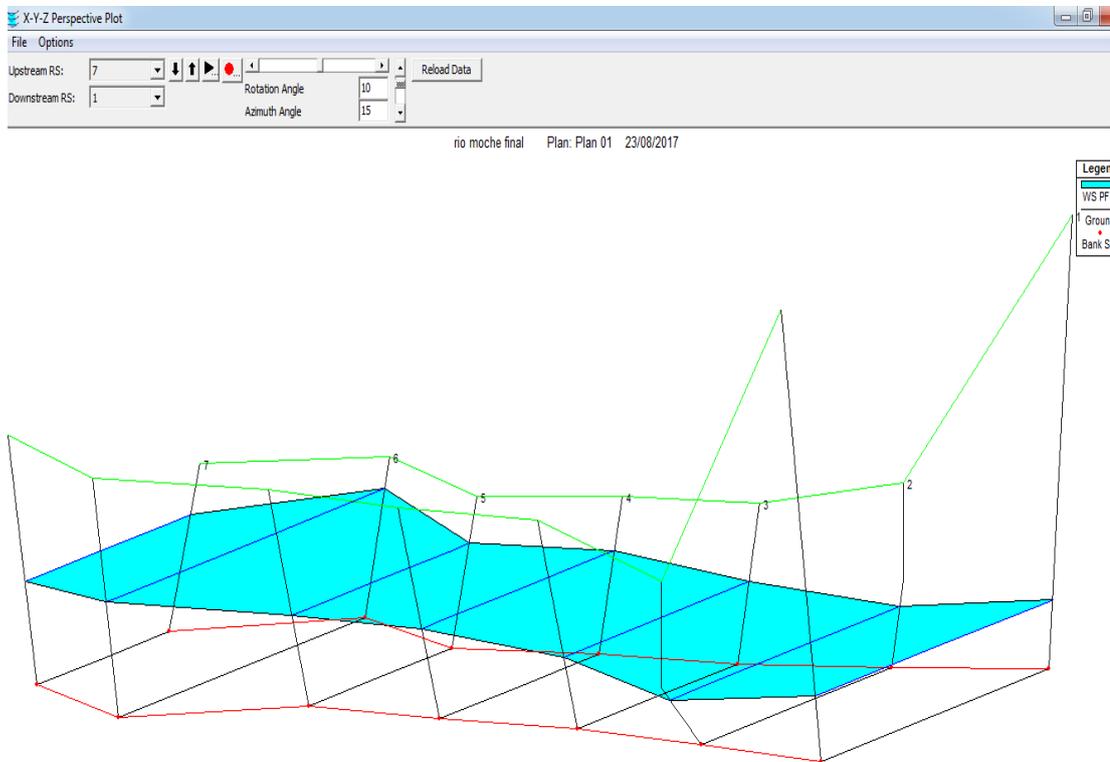


Figura 48. Vista 3D del flujo del caudal en el río moche (X, Y, Z) HEC-RAS (Fuente: Elaboración propia)

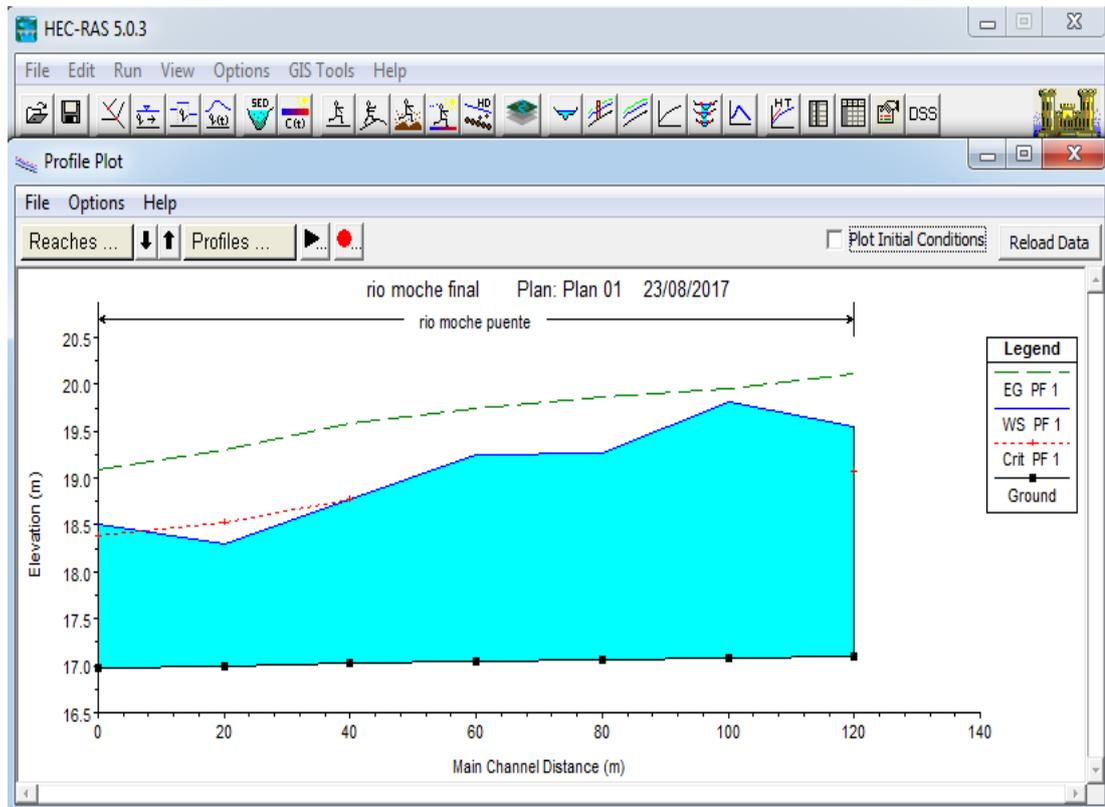
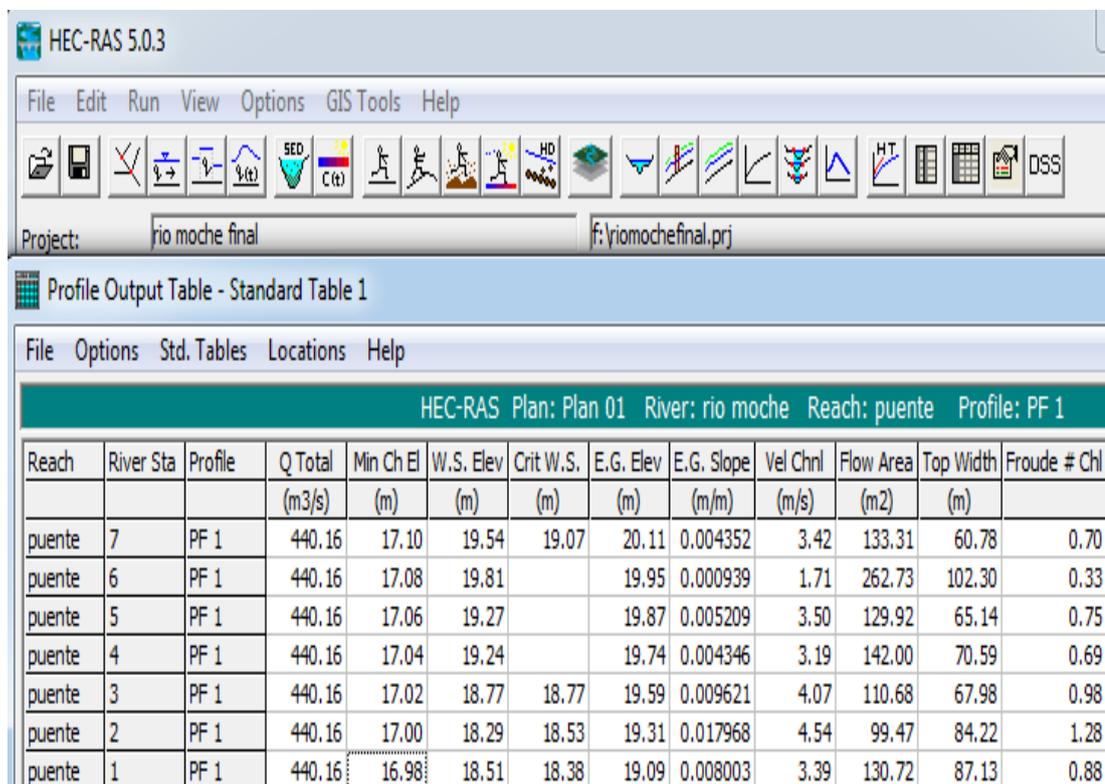


Figura 49. Distancia recorrida y elevación HEC-RAS (Fuente: Elaboración propia)



Project: rio moche final f:\riomochefinal.prj

Profile Output Table - Standard Table 1

HEC-RAS Plan: Plan 01 River: rio moche Reach: puente Profile: PF 1

| Reach | River Sta | Profile | Q Total (m ³ /s) | Min Ch El (m) | W.S. Elev (m) | Crit W.S. (m) | E.G. Elev (m) | E.G. Slope (m/m) | Vel Chnl (m/s) | Flow Area (m ²) | Top Width (m) | Froude # Chl |
|--------|-----------|---------|--------------------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|---------------------|-------------------|--------------------------------|------------------|--------------|
| puente | 7 | PF 1 | 440.16 | 17.10 | 19.54 | 19.07 | 20.11 | 0.004352 | 3.42 | 133.31 | 60.78 | 0.70 |
| puente | 6 | PF 1 | 440.16 | 17.08 | 19.81 | | 19.95 | 0.000939 | 1.71 | 262.73 | 102.30 | 0.33 |
| puente | 5 | PF 1 | 440.16 | 17.06 | 19.27 | | 19.87 | 0.005209 | 3.50 | 129.92 | 65.14 | 0.75 |
| puente | 4 | PF 1 | 440.16 | 17.04 | 19.24 | | 19.74 | 0.004346 | 3.19 | 142.00 | 70.59 | 0.69 |
| puente | 3 | PF 1 | 440.16 | 17.02 | 18.77 | 18.77 | 19.59 | 0.009621 | 4.07 | 110.68 | 67.98 | 0.98 |
| puente | 2 | PF 1 | 440.16 | 17.00 | 18.29 | 18.53 | 19.31 | 0.017968 | 4.54 | 99.47 | 84.22 | 1.28 |
| puente | 1 | PF 1 | 440.16 | 16.98 | 18.51 | 18.38 | 19.09 | 0.008003 | 3.39 | 130.72 | 87.13 | 0.88 |

Tabla 13. Tabla de datos de la modelación en HEC-RAS (Fuente: Elaboración propia)

| Reach | River Sta | Profile | Q Total (m ³ /s) | Min Ch El (m) | W.S. Elev (m) | Crit W.S. (m) | E.G. Elev (m) | E.G. Slope (m/m) | Vel Chnl (m/s) | Flow Area (m ²) | Top Width (m) | Froude # Chl |
|---------------|-----------|-------------|--------------------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|---------------------|-------------------|--------------------------------|------------------|--------------|
| 0+100 | 7 | PF 1 | 440.16 | 17.1 | 19.54 | 19.07 | 20.11 | 0.004352 | 3.42 | 133.31 | 60.78 | 0.7 |
| 0+080 | 6 | PF 1 | 440.16 | 17.08 | 19.81 | | 19.95 | 0.000939 | 1.71 | 262.73 | 102.3 | 0.33 |
| 0+060 | 5 | PF 1 | 440.16 | 17.06 | 19.27 | | 19.87 | 0.005209 | 3.5 | 129.92 | 65.14 | 0.75 |
| 0+040 | 4 | PF 1 | 440.16 | 17.04 | 19.24 | | 19.74 | 0.004346 | 3.19 | 142 | 70.59 | 0.69 |
| 0+020 | 3 | PF 1 | 440.16 | 17.02 | 18.77 | 18.77 | 19.59 | 0.009621 | 4.07 | 110.68 | 67.98 | 0.98 |
| puente | 2 | PF 1 | 440.16 | 17 | 18.29 | 18.53 | 19.31 | 0.017968 | 4.54 | 99.47 | 84.22 | 1.28 |
| 0-020 | 1 | PF 1 | 440.16 | 16.98 | 18.51 | 18.38 | 19.09 | 0.008003 | 3.39 | 130.72 | 87.13 | 0.88 |

Tabla 14. Selección de los valores de la sección transversal que está debajo del puente HEC-RAS (Fuente: Elaboración propia)

Donde:

- Q Total : Caudal total
- Min Ch El : Elevación mínima del canal principal
- W.S. Elev : Calculo de la superficie del agua a partir de la ecuación de energía
- Crit W.S. : Elemento crítico de la superficie del agua. Superficie correspondiente a la energía mínima en la curva de energía versus profundidad
- E.G. Elev : Línea de gradiente de energía para la elevación calculada de WS
- E.G. Slope : Pendiente de la línea de grado energético
- Vel Chnl : Velocidad media de flujo en el canal principal
- Flow Area : Área total del flujo activo de la sección transversal
- Top Width : Anchura superior de la sección transversal húmeda
- Froude # Chl : Número de Froude para el canal principal

4.7.- Cálculo de la socavación general del cauce por el método de Lischtván-Levediev.

Después de haber recolectado la información necesaria mediante los procedimientos anteriores procedemos a elaborar un cuadro de Excel en base a las fórmulas que se usan en el método de Lischtván-Levediev.

Procedemos a ingresar los datos en la tabla:

DETERMINACION DE LA PROFUNDIDAD DE SOCAVACION

TIPO DE CAUCE **2** (ver cuadro adjunto)

| CAUCE | TIPO |
|-------------------|------|
| SUELO COHESIVO | 1 |
| SUELO NO COHESIVO | 2 |

A.- Cálculo de la socavación general en el cauce:

H_s = profundidad de socavación (m)

Q_d = caudal de diseño

B_e = ancho efectivo de la superficie de agua

H_o = tirante antes de la erosión

V_m = velocidad media en la sección

m = coeficiente de contracción. Ver tabla N° 1

g_d = peso específico del suelo del cauce

dm = diámetro medio

x = exponente variable. Ver tabla N° 2

Tr = Periodo de retorno del gasto de diseño

b = coeficiente que depende de la frecuencia del caudal de diseño. Ver tabla N° 3

A = área de la sección hidráulica

H_m = profundidad media de la sección

a = $\sqrt[3]{Q_d / (H_m^{5/3} B_e)}$

440.16 m³/seg

90.00 m

2.20 m

4.54 m/seg

0.90

1.98 Tn/m³

50.44 mm

0.280

500.00 años

1.05

183.00 m²

2.033 m

1.665

Entonces,

$$H_s = 2.29 \text{ m}$$

ds = profundidad de socavación respecto al fondo del cauce

$$ds = 0.09 \text{ m}$$

Asumimos

$$ds = 0.10 \text{ m}$$

Tomando en cuenta que se realizó una inspección in situ en el lecho del río moche y en las estructuras del puente, donde pudimos ver la marca del tirante que dejó la máxima avenida ocasionada por el fenómeno del niño costero, el valor del tirante que pudimos medir en todos los pilares y estribos del puente fue el mismo, 2.20 m. Ver (Gráfico 40).

Para la obtención de datos en el método de lischvan-levediev fue necesario el uso de las siguientes tablas:

| COEFICIENTE DE CONTRACCION, m | | | | | | | | | | | | | |
|---|-----------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Velocidad media en la sección, en m / seg | Longitud libre entre dos estribos | | | | | | | | | | | | |
| | 10 | 13 | 16 | 18 | 21 | 25 | 30 | 42 | 52 | 63 | 106 | 124 | 200 |
| Menor de 1 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| 1.00 | 0.96 | 0.97 | 0.98 | 0.99 | 0.99 | 0.99 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| 1.50 | 0.94 | 0.96 | 0.97 | 0.97 | 0.97 | 0.98 | 0.99 | 0.99 | 0.99 | 0.99 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| 2.00 | 0.93 | 0.94 | 0.95 | 0.96 | 0.97 | 0.97 | 0.98 | 0.98 | 0.99 | 0.99 | 0.99 | 0.99 | 1.00 |
| 2.50 | 0.90 | 0.93 | 0.94 | 0.95 | 0.96 | 0.96 | 0.97 | 0.98 | 0.98 | 0.99 | 0.99 | 0.99 | 1.00 |
| 3.00 | 0.89 | 0.91 | 0.93 | 0.94 | 0.95 | 0.96 | 0.96 | 0.97 | 0.98 | 0.98 | 0.99 | 0.99 | 0.99 |
| 3.50 | 0.87 | 0.90 | 0.92 | 0.93 | 0.94 | 0.95 | 0.96 | 0.97 | 0.98 | 0.98 | 0.99 | 0.99 | 0.99 |
| 4.00 o mayor | 0.85 | 0.89 | 0.91 | 0.92 | 0.93 | 0.94 | 0.95 | 0.96 | 0.97 | 0.98 | 0.99 | 0.99 | 0.99 |

Tabla 15. Coeficiente de contracción (Fuente: Manual de Hidrología Hidráulica y Drenaje del MTC)

| SUELOS COHESIVOS | | SUELOS NO COHESIVOS | |
|--------------------------------------|------|---------------------|------|
| P. específico gd (T/m ³) | x | dm (mm) | x |
| 0.80 | 0.52 | 0.05 | 0.43 |
| 0.83 | 0.51 | 0.15 | 0.42 |
| 0.86 | 0.50 | 0.50 | 0.41 |
| 0.88 | 0.49 | 1.00 | 0.40 |
| 0.90 | 0.48 | 1.50 | 0.39 |
| 0.93 | 0.47 | 2.50 | 0.38 |
| 0.96 | 0.46 | 4.00 | 0.37 |
| 0.98 | 0.45 | 6.00 | 0.36 |
| 1.00 | 0.44 | 8.00 | 0.35 |
| 1.04 | 0.43 | 10.00 | 0.34 |
| 1.08 | 0.42 | 15.00 | 0.33 |
| 1.12 | 0.41 | 20.00 | 0.32 |
| 1.16 | 0.40 | 25.00 | 0.31 |
| 1.20 | 0.39 | 40.00 | 0.30 |
| 1.24 | 0.38 | 60.00 | 0.29 |
| 1.28 | 0.37 | 90.00 | 0.28 |
| 1.34 | 0.36 | 140.00 | 0.27 |
| 1.40 | 0.35 | 190.00 | 0.26 |
| 1.46 | 0.34 | 250.00 | 0.25 |
| 1.52 | 0.33 | 310.00 | 0.24 |
| 1.58 | 0.32 | 370.00 | 0.23 |
| 1.64 | 0.31 | 450.00 | 0.22 |
| 1.71 | 0.30 | 570.00 | 0.21 |
| 1.80 | 0.29 | 750.00 | 0.20 |
| 1.89 | 0.28 | 1000.00 | 0.19 |
| 2.00 | 0.27 | | |

Tabla 16. Valores de X para suelos cohesivos y no cohesivos (Fuente: Manual de Hidrología Hidráulica y Drenaje del MTC)

VALORES DEL COEFICIENTE b

| Periodo de retorno del gasto de diseño (años) | Coficiente b |
|---|--------------|
| 2 | 0.82 |
| 5 | 0.86 |
| 10 | 0.90 |
| 20 | 0.94 |
| 50 | 0.97 |
| 100 | 1.00 |
| 500 | 1.05 |

Tabla 17. Valores del coeficiente b (Fuente: Manual de Hidrología Hidráulica y Drenaje del MTC)

La socavación general respecto al fondo del cauce es de:

$$ds = 0.10 \text{ m}$$

4.8.- Cálculo de la socavación local de los estribos por el método de K. F. ARTAMONOV.

Después de haber recolectado la información necesaria mediante los procedimientos anteriores procedemos a elaborar un cuadro de Excel en base a las fórmulas que se usan en el método de K. F. Artamonov.

Procedemos a ingresar los datos en las tablas:

A.- Cálculo de la socavación al pie de estribos:

1.- Estribo margen izquierda aguas abajo

St = tirante incrementado al pie del estribo debido a la socavación en mts.

Ho = tirante que se tiene en la zona cercana al estribo antes de la erosión **2.20** m

Q = caudal de diseño **440.16** m³/seg

Q1 = caudal que teóricamente pasaría por el lugar ocupado por el estribo de la margen izquierda **5.00** m³/seg

Q1/Q = 0.01136

Pq = coeficiente que depende de la relación Q1/Q. Ver tabla N° 5 **2.00**

a = ángulo que forma el eje del estribo con la corriente **90.00** °

Pa = coeficiente que depende del ángulo a. Ver tabla N° 4 **1.00**

R = talud que tiene el estribo **6.93**

PR = coeficiente que depende del talud que tiene el estribo. Ver tabla N° 6 **0.86**

Entonces,

$$\mathbf{St = 3.78 \text{ m}}$$

ds = profundidad de socavación respecto al fondo del cauce

$$\mathbf{So = 1.58 \text{ m}}$$

Asumimos

$$\mathbf{So = 1.60 \text{ m}}$$

B.- Estribo margen derecha aguas abajo

St = tirante incrementado al pie del estribo debido a la socavación en mts.

Ho = tirante que se tiene en la zona cercana al estribo antes de la erosión **2.20** m

Q = caudal de diseño **440.16** m³/seg

Q1 = caudal que teóricamente pasaría por el lugar ocupado por el estribo de la margen derecha **5.00** m³/seg

Q1/Q = 0.01

Pq = coeficiente que depende de la relación Q1/Q. Ver tabla N° 5 **2.00**

a = ángulo que forma el eje del estribo con la corriente **90.00** °

Pa = coeficiente que depende del ángulo a . Ver tabla N° 4 **1.00**

R = talud que tiene el estribo **6.93**

PR = coeficiente que depende del talud que tiene el estribo. Ver tabla N° 6 **0.86**

Entonces,

$$\mathbf{St = 3.78 \text{ m}}$$

ds = profundidad de socavación respecto al fondo del cauce

$$\mathbf{So = 1.58 \text{ m}}$$

Asumimos

$$\mathbf{So = 1.60 \text{ m}}$$

Para la obtención de datos en el método de K. F. Artamonov fue necesario el uso de las siguientes tablas:

VALORES DEL COEFICIENTE CORRECTIVO P_a EN FUNCION DE a

| a | 30° | 60° | 90° | 120° | 150° |
|-----------|------|------|------|------|------|
| Pa | 0.84 | 0.94 | 1.00 | 1.07 | 1.19 |

Tabla 18. Valores del coeficiente correctivo Pa (Fuente: Manual de Hidrología Hidráulica y Drenaje del MTC)

VALORES DEL COEFICIENTE CORRECTIVO P_q EN FUNCION DE Q_1/Q

| Q₁/Q | 0.10 | 0.20 | 0.30 | 0.40 | 0.50 | 0.60 | 0.70 | 0.80 |
|------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| P_q | 2.00 | 2.65 | 3.22 | 3.45 | 3.67 | 3.87 | 4.06 | 4.20 |

Tabla 19. Valores del coeficiente correctivo Pq (Fuente: Manual de Hidrología Hidráulica y Drenaje del MTC)

VALORES DEL COEFICIENTE CORRECTIVO P_R EN FUNCION DE R

| | | | | | | |
|---------|------|------|------|------|------|------|
| TALUD R | 0 | 0.50 | 1.00 | 1.50 | 2.00 | 3.00 |
| P_R | 1.00 | 0.91 | 0.85 | 0.83 | 0.61 | 0.50 |

Tabla 20. Valores del coeficiente correctivo P_R (Fuente: Manual de Hidrología Hidráulica y Drenaje del MTC)

La socavación local de los estribos con respecto al fondo del cauce es de:

$$S_o = 1.6 \text{ m}$$

4.9.- Calculo de la socavación local de los pilares por el método de NEILL.

La fórmula a utilizar es: $Y_s = 1.5 * (a'')^{0.7} * h^{0.3}$

Dónde:

Y_s : Profundidad de socavación medida a partir del fondo del cauce (mm)

a'' : Ancho proyectado del pilar (m)

h : Profundidad del flujo aguas arriba del pilar (m)

El ancho proyectado del pilar (a'') según el plano y las mediciones in situ es de 0.6 m, la profundidad de flujo aguas arriba del pilar (h) la obtuvimos mediante el programa HEC-RAS, tomamos la profundidad que se dio en la sección transversal a 20 metros aguas arriba del puente, que fue de 1.77 m.

Reemplazando valores en la formula nos da: $Y_s = 1.24 \text{ m}$

Debemos de tomar en cuenta que según el Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje del MTC (pág. 113 del manual), la mayoría de ecuaciones para hallar la socavación local en pilares y estribos son aplicables para cauces aluviales y no consideran la posibilidad de que materiales más gruesos y de mayor peso, presentes en el lecho, acoracen el hoyo que se produce por la socavación, lo que limitaría su profundidad. Es decir, los resultados deben evaluarse tomando en consideración la experiencia y el criterio del Ingeniero.

CAPÍTULO 5.- DISCUSIONES

Esta investigación tuvo como propósito, evaluar el nivel de socavación que se produciría en los estribos y pilares del puente Moche, como consecuencia de la derivación de las aguas de la quebrada San Idelfonso, ya que se esperaba que, a un mayor caudal, siguiera un incremento en los niveles de socavación.

Sin embargo, las mediciones efectuadas en este trabajo a la cuenca de la quebrada dan como resultado que el aporte de la misma, no significa un aumento del caudal esperado. Pero, ¿por qué las autoridades de la Región se alarmaron tanto y esperaban que se podría volver a repetir el desastre y aún en magnitudes más peligrosas?

El presente estudio nos permitió determinar que la cuenca no puede arrojar caudales como los que se vieron pasar en dos oportunidades, si no es porque se construyó un dique que embalsó agua durante varios días de fuertes precipitaciones, y el cual, al ser rebalsado, causó la rotura del mismo y desembalsó con un caudal de magnitud extrema.

En estas circunstancias, la hipótesis planteada deviene en nula. No por errores en los fundamentos teóricos de las fórmulas hidráulicas, sino por una errónea percepción del fenómeno que motivó los deslizamientos aluviales producidos por el niño costero.

CONCLUSIONES

1.- En esta tesis se buscó determinar en qué medida la derivación de las aguas de la quebrada San Idelfonso influirá en la socavación de los estribos y pilares del puente Moche; encontrándose que no llegará a representar un nivel importante de socavación, conforme lo demuestran los cálculos de las páginas 88,89,90 y 91.

2.- Se buscó determinar el caudal máximo de las nuevas avenidas que incluyan las aguas provenientes de la derivación proyectada, encontrándose que dicho caudal llegará a 440.16 m³/s.

3.- Se calculó el nivel de socavación en pilares y estribos como consecuencia del nuevo caudal, el cual llegará a 1.34 m en los pilares y 1.70 m en los estribos del puente Moche.

4.- Se determinó, a la luz de los resultados obtenidos, que la propuesta presentada por la Autoridad Nacional de Agua (ANA) es perfectamente viable al no producirse niveles de socavación que hagan peligrar la cimentación de estribos y pilares del puente Moche.

La estadística histórica de las máximas avenidas que consideramos en el presente estudio comprenden los últimos 56 años y confirma que durante todo este tiempo el río Moche no ha registrado niveles de socavación importantes.

En el año 1998 se produjo un caudal máximo de 1020 m³/s tras lo cual no llegó a producirse socavación que afirme lo contrario.

Los planos originales del puente moche, nos indican la profundidad de su cimentación, la cual se encuentra muy por debajo de la cota del lecho del cauce, según se puede apreciar en los planos original del puente Moche que datan del año 1956 (Ver Anexo 6).

5.- Desbordes de los años 1998 y 2017:

Los enormes caudales que se precipitaron sobre la ciudad en los años de 1998 primero y 2017 después, son producto del colapso de diques que fueron construidos sin criterio técnico. De ambos sucesos de roturas de dique se deduce que las obras realizadas como prevención de desastres estuvieron mal diseñadas y ejecutadas.

En el caso del año 1998, se diseñó un primer proyecto el cual, por problemas de presupuesto, se redujo drásticamente en un 40% sin ningún sustento técnico, lo cual sumado a un retraso de las obras por parte del contratista ocasionó que no estuvieran concluidas al momento de presentarse las máximas precipitaciones, según informe de la Defensoría del Pueblo (Ver Anexo 3).

En el caso del presente año, ocurrido en marzo, se construyó un dique constituido principalmente por relleno de arena sin piedras de gran diámetro ni material aglomerante como concreto y solamente con piedras en la parte superficial, ocasionando que al colmatarse el dique las aguas erosionaran rápidamente la corona y abrieran el dique destruyéndolo en su casi totalidad, conforme se aprecia en las imágenes presentadas en el Anexo 7.

El caudal calculado por la ANA del presente año, de $75 \text{ m}^3/\text{s}$ según informes oficiales (Ver Anexo 1), no corresponden a un caudal real, además de estar mal calculado, sino es producto del embalse producido por la construcción de un dique ubicado en las coordenadas UTM (721855 E, 9110285) y a una altura de 184 msnm, el cual sufrió la rotura como consecuencia de la colmatación del mismo tras varios días de intensas precipitaciones.

Como consecuencia de la rotura de este dique se produjo un desembalse que arrojó un caudal de $416.41 \text{ m}^3/\text{s}$ (cálculos demostrados en el presente trabajo), el mismo que discurrió por el cauce natural de la quebrada que se encuentra poblada de viviendas asentadas producto de un desordenado crecimiento urbano, ocasionando graves daños. La estimación de este caudal se calculó con las mediciones realizadas en la Av. Hipólito Unanue del Distrito de El Porvenir, la cual recibió la totalidad del caudal proveniente de la Quebrada San Idelfonso (Págs. 61, 62 y 63).

RECOMENDACIONES

1.- Aun cuando el aporte de la quebrada San Idelfonso no representa un caudal significativo para el propio caudal del río Moche, es necesario se considere en el proyecto de la ANA, la defensa de las riveras del río, ya que históricamente se han registrado inundaciones a lo largo de sus márgenes, tal como ha sucedido en el presente año en que se realizó este estudio.

2.- Sin considerar los costos que implica el pago por las expropiaciones necesarias por los terrenos por donde se proyecta el canal (a lo largo de 10.3 km.), sugerimos se modifique levemente el punto de encuentro entre el canal y el río, ya que, conforme está ubicado en la actualidad en el plano del Anexo 1, dicho canal entraría al río a una distancia de aproximadamente 100 metros aguas arriba del puente “La Huaca” ubicado en el caserío de Santa Rosa. Consecuentemente, para evitar cualquier incidencia en la cimentación de dicho puente, sería preferible modificar dicho punto de intersección a una distancia de 100 metros aguas abajo, aproximadamente.

3.- Una alternativa más económica sería el llevar el canal por las calles Hipólito Unanue, Moscoso y Atahualpa, hasta el sector del cementerio Mampuesto y unirlo al canal existente “La Mochica”. Este canal sería techado y al ras de la pista. La ventaja sería que la distancia se reduce a 5,859 mts. aproximadamente, además no se tendría que pagar expropiaciones. En cuanto al canal la mochica, tiene una capacidad de 3 m³/s y se encuentra en operatividad actualmente. (Anexo 8)

4.- El dique destruido debe ser remplazado por otro de concreto armado que incluya aliviaderos para que se pueda descargar el agua acumulada de forma controlada. De esta manera, el caudal que discurriría por el canal no representaría peligro ya que se puede descargar en cantidades mínimas de forma que no sobrepase la capacidad del canal la Mochica.

5.- Recomendamos instalar pluviómetros dentro del área de la cuenca de la quebrada San Idelfonso, a fin de contar con mediciones fidedignas.

6.- Consideramos debe realizarse un proyecto integral para solucionar el problema de inundaciones en la ciudad de Trujillo, en consecuencia, se debería realizar un trabajo que implique el manejo o gestión de cuencas.

Existe valiosa experiencia en la ingeniería peruana que pueden aportar significativamente en la solución de este problema.

Contamos con una ingeniería preparada para afrontar los fenómenos naturales con éxito, siempre y cuando se lleven a cabo con un criterio estrictamente técnico, lo cual no se ha dado hasta la actualidad en el tratamiento de la quebrada San Idelfonso.

Desde épocas prehispánicas los antiguos peruanos manejaban las cuencas en forma armoniosa con la naturaleza, cuyas evidencias permanecen hasta la actualidad.

En los cauces secundarios de la cuenca se deberían colocar muros transversales de roca del lugar y concreto para retener los sedimentos, combinados con mallas dinámicas, según detallamos en el Anexo 9.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1.- Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, Perú, setiembre 2012
- 2.- Manual de Puentes del Ministerio de Transporte y Comunicaciones, Perú, marzo 2016
- 3.- Ingeniería de Ríos, Guillermo Benjamín Pérez Morales, Jesús Alberto Rodríguez, Juan Pablo Molina Aguilar, Universidad Michoacana, Méjico 2009.
- 4.- Modelación de huaycos como herramienta para la Gestión y Prevención de Desastres. Juan Cabrera C. Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Ingeniería.
- 5.- El Niño, Oscilación del Sur, Centro de Predicciones Climáticas y el Instituto Internacional de Investigación de Clima y Sociedad, San Juan, Puerto Rico, mayo 2017.
- 6.- Erosión en pilares y estribos de puentes, Arturo Rocha, 2008
- 7.- Documento, Propuesta ANA, DESVIO DE LA QUEBRADA SAN IDELFONSO - PROTECCIÓN DE LA CIUDAD DE TRUJILLO CONTRA INUNDACIONES, abril, 2017.
- 8.- Informe Técnico del SANHAMI sobre Precipitación Anual según departamentos del 2001 al 2015
- 9.- Manejo y Gestión de Cuencas Hidrográficas, Absalón Vásquez, 2016
- 10.- Manual de erosión y socavación en obras hidráulicas, Adolfo Guitelman, 1999

ANEXOS

ANEXO 1: PROPUESTA DE LA AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA (ANA)



DESVIO DE LA QUEBRADA SAN IDELFONSO PROTECCIÓN DE LA CIUDAD DE TRUJILLO CONTRA INUNDACIONES

Problema:

El cauce natural de las quebradas León, río Seco y San Idelfonso, tienen como delta final la ciudad de Trujillo. Las dos primeras tienen cuencas muy pequeñas, generando caudales bajos y muy poco frecuentes, afectando cuando ello ocurre a la zona de la esperanza y el Milagro en la parte norte de la ciudad de Trujillo. La Quebrada San Idelfonso, tiene una cuenca aguas arriba de la Ciudad de Trujillo de aproximadamente 15 Km² la cual al activarse discurre hacia la zona central de la ciudad de Trujillo, inundando las calles de la ciudad, por no haber un cauce de drenaje.

El presente año (2017), la quebrada San Idelfonso se ha mantenido activada varios días entre marzo y abril, llegando a descargar un máximo de 75 m³/s, causando severos daños a la ciudad.

Alternativas de solución:

El desarrollo urbano de la ciudad de Trujillo ha desaparecido todo vestigio de cauce de drenaje de esta quebrada, más aun la orientación de sus calles no permite el paso de las aguas de lluvias en dirección al mar y hace impensable económica y socialmente, plantear la construcción de un cauce o ducto de evacuación cruzando la ciudad.

La alternativa, técnica y económicamente más viable es construir un cauce Bypass que bordee el extremo sur de la ciudad, iniciándose en el límite noreste de la ciudad y descargando en el río Moche (zona de Nueva victoria). En su recorrido pasa por zona agrícolas y excepcionalmente afectaría algunas viviendas.

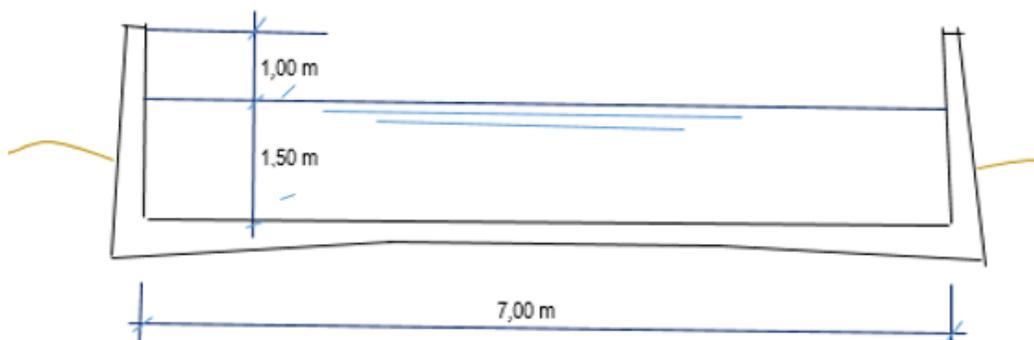
Características del Cauce Bypass:

Longitud: 10,3 Km aproximadamente

Sección: Rectangular, de concreto armado (7,00 m de ancho y 2,50 m de profundidad)

Caudal: Q = 75 m³/s, más un bordo libre para Q = 150 m³/s.

Sección típica del cauce Bypass San Idelfonso





PERÚ

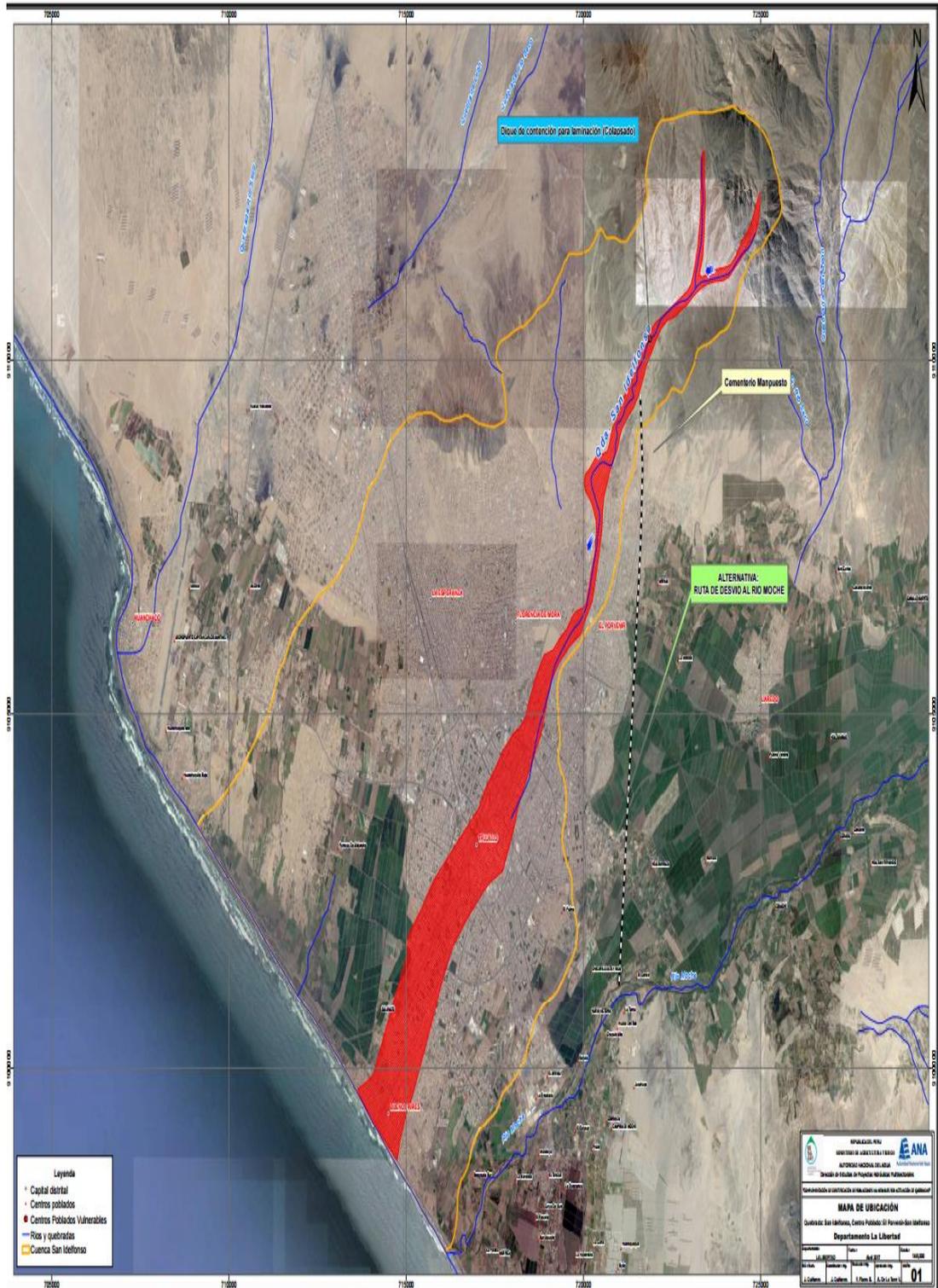
Ministerio
de Agricultura y Riego



COSTO APROXIMADO DEL PROYECTO DE DESVÍO DE LA Q. SAN IDELFONSO

| | |
|--|-------------------------|
| Excavación: $10 \text{ m}^3/\text{m} \times \text{S/} 6/\text{m}^3 \times 10300 =$ | S/. 618 000 |
| Concreto $210 \text{ Kg}/\text{cm}^2$: $4,48 \text{ m}^3/\text{m} \times 10300 \text{ m} \times \text{S/} 450/\text{m}^3 =$ | S/. 20 764 800 |
| Acero: $80 \text{ kg}/\text{m}^3 \times 4,48 \text{ m}^3/\text{m} \times 10300 \text{ m} \times \text{S/} 5/\text{Kg} =$ | S/. 18 457 600 |
| Encofrado (4 usos): $10,8 \text{ m}^2/\text{m} \times 10300 \text{ m} \times \text{S/} 20/\text{m}^2 =$ | S/. 2 224 800 |
| Juntas 6" cada 9 m: $12,4 \text{ m} \times 45/9 \times 10300 \text{ m} =$ | S/. 638 600 |
| Obras de Arte (6 puentes + inicio y descarga) $8 \times 400 000$ | S/. 3 200 000 |
| Sub Total costo directo | S/.45 903 800 |
| Costo Indirecto (40%) | S/.18 361 520 |
| Sub Total sin IGV | S/.64 265 320 |
| IGV | S/.11 567 758 |
| Sub total con IGV | S/.75 833 078 |
| Expropiaciones | S/. 1 030 000 |
| Supervisión (7% del costo de obra) | S/. 5 308 315 |
| TOTAL GENERAL | S/.82 171 393 |
| TOTAL GENERAL | US \$ 25 000 000 |

Ing. Abelardo De La Torre Villanueva
Jefe de la ANA
CEL 999 424 731
Email: adelatorrev@yahoo.com



ANEXO 2.- Posición del colegio de Ingenieros con respecto al proyecto de la derivación de las aguas de la quebrada San Idefonso al río Moche.



Publicado: 24/04/2017

Colegio de Ingenieros no aprueba desviación de quebrada

Manifiestan no estar de acuerdo con la propuesta de la Autoridad Nacional del Agua y señalan que debería pasar antes por evaluación

[f Compartir](#) [t Compartir](#)



Expertos señalan que para evitar futuras inundaciones se debe realizar un estudio especializado.

El **Colegio de Ingenieros del Perú**-Consejo Departamental La Libertad manifestó no estar de acuerdo con la propuesta de la Autoridad Nacional del Agua (ANA) respecto a desviar las aguas de la quebrada San Idefonso para evitar más inundaciones en los distritos de El Porvenir, Trujillo y Víctor Larco.

Según señalan los miembros de la Orden, esa iniciativa debería pasar antes por una evaluación y calificación por parte de técnicos y profesionales entendidos en la materia.

El decano de los ingenieros libertefños, **Luis Mesones Odar**, observó que este proyecto de la ANA, que tiene un costo de 82 millones de soles, plantee que las aguas vayan al río Moche –mediante una canalización– sin que antes no hayan recibido el visto bueno de los ingenieros o arquitectos.

“El Colegio de Ingenieros no conoce ni el título del proyecto. Es increíble. Lo poco que sabemos es que es un proyecto de canalización de 10 kilómetros para llevar las aguas de San Idefonso hacia el río Moche. Pero si este año el río Moche se ha desbordado sin tener los afluentes de las quebradas, ¿qué pasará cuando lleguen esas aguas?” acotó.

En ese sentido, **Mesones Odar** recomendó hacer un proyecto paralelo para el río Moche y aclaró que no están en contra de canalizar la quebrada San Idefonso y desviar las aguas al río Moche. Lo que sugiere es que antes se hagan mediciones con sus estudios respectivos.

Otra de las quebradas que sería canalizada es la de San Carlos, en el distrito de **Laredo**; y El León, en el distrito de Huanchaco.

Para los ingenieros, se tiene que medir la cantidad de agua de dichas quebradas para ver si el río Moche podrá soportar esa descarga de agua. Como se sabe, **San Idefonso** es la más pequeña. San Carlos es más grande. *“Toda esa agua de las quebradas, ¿resistirá el río Moche?”*, se preguntó el especialista.



CARTA AL DIRECTOR

Escribenos al correo:
vespertinosatelite@hotmail.com
publicaremos tu comentario

más información
más deporte en

TODO
DEPORTE



ANEXO 3.- Informe de defensoría del pueblo

Informe sobre las medidas de protección adoptadas con ocasión del fenómeno El Niño en la quebrada San Idefonso en Trujillo

El presente Anexo ha omitido, por razones de espacio, aquellas partes que no aportan al presente trabajo de investigación, por lo que indicamos solo las partes más relevantes.

I. Antecedentes

Con fecha 19 de febrero de 1998 un grupo de 433 ciudadanos, identificados como "damnificados Río Seco" (Distrito de El Porvenir en la Provincia de Trujillo, Departamento de La Libertad), encabezados por los señores Máximo Alza Rosales, Oswaldo Facho Rumiche y Víctor Rebaza Benítez formularon una queja ante la Defensoría del Pueblo, contra el Proyecto Especial Chavimochic (P.E. Chavimochic) y el Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI). Los recurrentes afirmaban que se había producido un retraso negligente en el inicio de las obras de prevención contra el fenómeno El Niño en el cauce de la quebrada San Idefonso - Sector Río Seco, que no se había respetado el estudio técnico elaborado al efecto y que la calidad de las obras realizadas había resultado deficiente.

Posteriormente, el 30 de marzo de 1998, el señor Jorge Demetrio Romero Casamayor interpuso otra queja con motivo de la ruptura de las estructuras de la conexión Mampuesto - Canal La Mochica, ocurrida el 11 de febrero del mismo año, al haber colapsado la obra ejecutada por el Consorcio Chimú (Asociación Odebretch de Brasil y Graña y Montero del Perú), por encargo del P.E. Chavimochic.

Atendiendo a lo previsto en el artículo 13º de la Ley N° 26520, Ley Orgánica de la Defensoría del Pueblo, que dispone la acumulación de las quejas cuyos contenidos se refieran a temas o aspectos vinculados, se inició una investigación no jurisdiccional acerca de las obras de prevención ante el fenómeno El Niño en la Quebrada San Idefonso de Trujillo.

II. Competencia de la Defensoría del Pueblo

El artículo 162º de la Constitución Política del Estado y el artículo 9º inciso 1) de la Ley N° 26520 disponen que corresponde a esta institución, defender los derechos constitucionales y fundamentales de la persona y la comunidad, así como supervisar el cumplimiento de los deberes de la administración estatal.

En tal sentido, uno de los objetivos de la supervisión defensorial es velar porque la actuación de la administración estatal sea eficiente y garantice la plena vigencia de los derechos constitucionales y fundamentales de la persona y de la comunidad.

No corresponde a la Defensoría del Pueblo suplir ni interferir en las funciones que competen a otras instituciones, sino cuidar que éstas se desarrollen de manera regular, brindando protección en caso necesario a quienes ven afectados sus derechos, individual o colectivamente. Por ello, es también función de la Defensoría del Pueblo, formular las recomendaciones o medidas que resulten aconsejables a las distintas autoridades involucradas a partir de sus investigaciones de carácter no jurisdiccional, instándolas, en su caso, a actuar conforme a sus atribuciones.

III. Hechos

Como consecuencia del fenómeno El Niño, el día 9 de febrero de 1998 tuvo lugar una brusca avenida de agua, lodo y otros materiales en el cauce de la quebrada San Ildelfonso (Trujillo), la misma que no pudo ser retenida por los dos diques de contención que habían sido construidos, para estos efectos, en la parte alta de la quebrada.

Al día siguiente, 10 de febrero, se produjo una segunda avenida que afectó las viviendas ubicadas a lo largo del cauce de la quebrada San Ildelfonso (sector Río Seco), llegando las aguas hasta el sector del Mampuesto arqueológico, donde se encuentra ubicado el cementerio del mismo nombre. Este Mampuesto arqueológico de origen pre hispánico constituye un dique artificial de tierra, de aproximadamente 650 metros de longitud y con una altura que fluctúa entre los cuatro y seis metros. Es en la depresión formada por este dique donde se fueron acumulando las aguas que discurrían por la quebrada, hasta alcanzar un volumen calculado en 430,000 metros cúbicos.

El día 11 de febrero, a horas 9.50 de la mañana, se produjo el colapso de la obra de interconexión del Mampuesto al canal La Mochica Alta. Esta obra fue prevista para servir de desfogue a las aguas embalsadas hacia el canal mencionado y fue construida en el mismo muro del Mampuesto arqueológico. El violento colapso originó la destrucción de las viviendas ubicadas en sus inmediaciones, así como la inundación de las zonas aledañas y de gran parte del Trujillo monumental, por cuyas calles y avenidas discurrieron las aguas y restos procedentes del cementerio de Mampuesto con dirección al mar.

Como consecuencia de los hechos descritos y, de acuerdo a la información proporcionada por el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI), en los sectores Río Seco y Mampuesto del Distrito El Porvenir han sido afectadas 1,006 viviendas y 5,916 personas damnificadas, mientras que en el distrito de Florencia de Mora fueron 42 las viviendas afectadas y 210 las personas damnificadas.

Anteriormente, con fecha 19 de junio de 1997 - a través del Decreto Supremo N° 031-97-PCM - el gobierno había declarado en emergencia varios departamentos del país, entre ellos el de La Libertad, y había exonerado al Consejo Transitorio de Administración Regional de La Libertad (CTAR-LL) de las restricciones presupuestales contempladas en la Ley N° 26703, Ley de Gestión Presupuestaria del Estado. Asimismo, se había aprobado el Decreto de Urgencia N° 088 -97, del 17 de setiembre de 1997, que autorizaba el giro de recursos para la financiación de proyectos de emergencia y asignaba al CTAR-LL, un gasto de capital ascendente a S/.1'500,000 nuevos soles.

IV. Conclusiones

1. Lo ocurrido en la quebrada de San Ildelfonso, como consecuencia del fenómeno El Niño en febrero del presente año, ha puesto de manifiesto un problema de fondo que data de mucho tiempo atrás, vinculado al desarrollo urbano de la ciudad de Trujillo. En efecto, este desarrollo no ha observado una planificación que atienda a la delimitación de las áreas inhabitables o de seguridad, como habría correspondido por los antecedentes de desastres naturales registrados en la zona y conforme lo establecido en el artículo 64° de la Ley Orgánica de Municipalidades. A consecuencia de ello, un importante sector de la población se ha asentado en áreas que corresponden al cauce de la quebrada, exponiéndose así de manera permanente al riesgo de sufrir las consecuencias de fenómenos de esta naturaleza.
2. La legislación vigente para situaciones de emergencia natural, no contribuye a establecer un marco de competencias definidas para las instituciones estatales llamadas a actuar en salvaguarda de los derechos fundamentales de las personas. Por el contrario, este marco normativo diversifica las responsabilidades entre distintas autoridades de un mismo ámbito geográfico, sin establecer con precisión a cuál de ellas corresponde conducir la planificación, la ejecución de las obras, las

actividades de prevención o la atención de desastres. Tampoco se prevé el tipo de apoyo o cooperación que deben mantener en estos casos.

3. Se ha establecido que el inicio de las obras de protección realizadas en la quebrada de San Idefonso se verificó recién en el mes de noviembre de 1997, a pesar de que el gobierno central había declarado en emergencia el Departamento de La Libertad en junio del mismo año, ante la previsible presencia del fenómeno El Niño. De esta manera, cabe afirmar que la ejecución de tales obras no resultó oportuna. En efecto, ello explica que ni la construcción de los diques ni la de la conexión Mampuesto - Canal La Mochica, estuvieran concluidas en un 100% al momento en que se produjeron las avenidas de agua durante la segunda semana de febrero de 1998.

4. La decisión de reajustar el diseño de obras atendiendo a razones de presupuesto, para limitar el gasto a S/. 804,359.97 por debajo de S/. 1,330,359.34, calculado originalmente, no estuvo acompañada de un estudio que permitiera establecer los márgenes de mayor riesgo que una opción de esa naturaleza podía suponer. Esta decisión, adoptada por la Presidencia del CTAR-LL mediante Resolución Presidencial Regional N° 375-97, determinó en un primer momento, la reducción de las obras a sólo uno de los tres diques inicialmente proyectados en el estudio de ingeniería básica elaborado por el ingeniero Abel del Carpio, por encargo del P.E. Chavimochic.

Por lo tanto, el riesgo derivado de esta reducción no pudo ser calculado convenientemente. Tampoco se pudo garantizar que se alcanzaría los márgenes de protección esperados en función de la propuesta inicial, máxime cuando luego se procedió a sustituir, sin mayor explicación, el badén originalmente previsto por una alcantarilla de doble ducto, cuya utilidad o bondad técnica no fue explicitada en ningún momento.

5. El informe de la Comisión Técnica Consultiva del Colegio de Ingenieros de la Libertad, determina - como se observa también en los informes remitidos por el CTAR-LL y el P.E. Chavimochic - que los diques construidos en la parte alta de la quebrada no se hallaban concluidos al 9 de febrero, cuando tuvo lugar la primera avenida de agua y que, asimismo, tampoco se hallaban en capacidad de soportar el caudal de referencia, calculado en un aproximado de 26m³/seg.

6. El hecho de que las obras de construcción de los diques no hubieran concluido dentro de los 75 días originalmente pactados como plazo para su ejecución, se

atribuye a un atraso de 12 días y a que se dispuso trasladar parte de la maquinaria a otras obras durante 4 días. No obstante, ello, el retraso observado debe ser examinado también en relación a la omisión incurrida en el contrato de obras, celebrado el 10 de octubre de 1997, pues no se señaló una fecha precisa de inicio de las mismas a pesar que en la cláusula Novena se había pactado la vigencia del acuerdo desde la suscripción del convenio.

7. Conforme se desprende también del informe elaborado por la misma Comisión Técnica Consultiva del Colegio de Ingenieros de La Libertad, la Gerencia de Operaciones del CTAR-LL, no habría cumplido con su obligación de supervisar las obras finalmente ejecutadas, pues no aparece en el cuaderno de obras ninguna anotación que indique la visita de la profesional designada para llevar a cabo esta supervisión ni su expresa aceptación a las modificaciones al proyecto, verificadas atendiendo a las sugerencias del ingeniero consultor Carlos Cullas Sotomayor.

8. En el desarrollo de la presente investigación defensorial se advierten indicios razonables que permiten presumir que existió de parte de algunos funcionarios o servidores públicos un incumplimiento en sus deberes de función. En efecto, puede señalarse que el entonces Presidente del CTAR La Libertad no cumplió con celebrar el convenio con el P.E. Chavimochic oportunamente, teniendo en cuenta la presencia inminente del fenómeno El Niño. Asimismo, se advierte que el P.E. Chavimochic no inició las obras tan pronto percibió el adelanto del 50% del costo de las obras, lo que unido al atraso en el cronograma impidió que la construcción de los diques culminara antes del 9 de febrero de 1998, fecha de la primera avenida en la quebrada San Idefonso.

En consecuencia, estimamos pertinente que el desempeño de tales funcionarios, sea objeto de un examen exhaustivo por parte de la Contraloría General de la República, para que, en su caso, se establezcan las responsabilidades que correspondan por la actuación que les cupo desde la función que desempeñaron.

9. En el análisis de la información obtenida durante la investigación defensorial, se ha podido identificar diversos aspectos que merecen un mayor esclarecimiento, por cuanto expresan cuestiones que no han sido absueltas definitivamente y que se encuentran referidas a temas sin duda relevantes. La precisión de estos aspectos, podría orientar la labor de las instancias oficiales destinatarias del informe, y aportar así elementos sustantivos para ampliar los alcances de las actuales conclusiones, enriqueciendo las propuestas o recomendaciones que se detallan más adelante. Las

cuestiones que consideramos deberán ser materia de este mayor esclarecimiento son las siguientes:

- a) Cuál fue la razón por la que la construcción de los diques en la parte alta de la quebrada de San Idefonso se inició el 20 de noviembre de 1997, a pesar de que el contrato entre el CTAR-LL y el P.E. Chavimochic se celebró el 10 de octubre del mismo año. Esta objetiva dilación, que habría impedido la conclusión de las obras antes del 9 de febrero de 1998 merece ser explicada, toda vez que durante el período intermedio no parece que hubiera tenido lugar ninguna actividad de naturaleza pre - operativa, como por ejemplo la instalación de campamentos o acarreo de material de construcción.
- b) Por qué si los expedientes técnicos desarrollados sobre la base del estudio hidrológico de la quebrada estimaban un aproximado en la descarga máxima instantánea de 26 m³ /segundo, no se concertaron obras de protección en proporción al caudal señalado.
- c) Cuáles fueron las razones por las que no se cortó el ingreso de agua hacia el canal La Mochica proveniente de la quebrada de Caballo Muerto inutilizando así el citado canal como vía de desfogue.
- d) Si el CETAR-LL había recibido un estudio técnico que aconsejaba realizar obras para la protección de la zona de la quebrada de San Idefonso ascendentes a más de 1,300,000.00 nuevos soles por qué se redujo el presupuesto a sólo S/. 804,000 nuevos soles, considerando las obvias desventajas que ello supondría para el diseño original y el objetivo que se perseguía. En todo caso, sería necesario conocer si dicha entidad realizó alguna gestión especial ante el gobierno central para obtener los recursos suficientes para solventar el íntegro del valor de las obras.
- e) Por qué al modificarse el proyecto original a sugerencia del ingeniero y experto en presas Carlos Culla Sotomayor, se mantuvo el monto de S/. 804,000.00 nuevos soles, si las modificaciones implicaban obras adicionales como la construcción de un segundo dique en la quebrada y la sustitución del badén por alcantarillado en la zona de Río Seco.
- f) Si alguna entidad involucrada en el presente caso ha podido establecer el caudal que efectivamente se produjo en la quebrada, el día 9 de febrero de 1998.

V. Recomendaciones

De conformidad con lo dispuesto por el artículo 26º de la Ley N° 26520, Ley Orgánica de la Defensoría del Pueblo, corresponde a esta institución:

1. RECORDAR a las autoridades de los gobiernos locales que, de conformidad con el inciso 2º del artículo 65º de la Ley N° 23854, Ley Orgánica de Municipalidades, les compete, formular, aprobar y supervisar los planes de desarrollo de los asentamientos humanos, en concordancia con los planes nacionales y regionales, así como los planos urbanos, con el apoyo técnico de los organismos especializados del Estado. En tal sentido, es necesario que estas entidades, en coordinación con la Dirección Regional Agraria de La Libertad, órgano sectorial competente según lo establece el artículo 52º de la Resolución Ministerial N° 147-94/PRES, Reglamento de Organización y Funciones del Consejo Transitorio de Administración Regional - Región La Libertad, cumplan con delimitar las áreas inhabitables o de seguridad que por su demostrado peligro deban ser consideradas como no aptas para vivienda, y se proceda en consecuencia a la reubicación de la población que actualmente permanece en situación de riesgo por encontrarse asentada en tales áreas.

2. SUGERIR al Instituto Nacional de Defensa Civil - INDECI - que, en cumplimiento de lo previsto en el inciso c) del artículo 5º y en el artículo 7º del Decreto Ley N° 19338, Ley del Sistema de Defensa Civil, modificado por el Decreto Legislativo N° 442, asuma la dirección y conducción, en coordinación con los Concejos Distritales, Provinciales y Regionales de Defensa Civil, un plan integral de prevención contra fenómenos naturales, particularmente en relación al fenómeno El Niño, cuya recurrencia o periodicidad amerita un esfuerzo especial por mantener una política preventiva, que haga posible minimizar los riesgos de su aparición. Adicionalmente, atendiendo a lo contemplado en el inciso d) del artículo 5º de la citada ley, **SUGERIR TAMBIÉN** a esta entidad lleve a cabo programas de información y formación de una conciencia de alerta temprana ante la posible verificación de desastres naturales. Dichos programas deben estar dirigidos tanto a la población como a las propias autoridades, funcionarios y servidores públicos, orientando este esfuerzo en la perspectiva de asumir una responsabilidad compartida en el cuidado del entorno, respetando los espacios naturales tales como valles, quebradas, cauces de ríos secos, dunas, playas, etc.

3. ADVERTIR a las entidades del Estado que participaron en la planificación, diseño y ejecución de la obras de prevención del fenómeno El Niño en la zona del

Mampuesto arqueológico que, por constituir este último un bien calificado como patrimonio cultural de la Nación, las decisiones adoptadas para edificar las estructuras de conexión al canal La Mochica debieron contar con la autorización previa del Instituto Nacional de Cultura, en cumplimiento de lo señalado en el artículo 12º de la Ley Nº 24047, Ley General de Amparo al Patrimonio Cultural de la Nación. En tal sentido, sus consideraciones deberán tenerse presente al momento de planificar, diseñar y ejecutar las obras de reconstrucción que puedan aprobarse de acuerdo con los programas que a nivel nacional se vienen desarrollando para tal efecto.

4. RECOMENDAR al Congreso de la República, a través de la Comisión de descentralización, evaluar la normatividad vigente sobre las competencias establecidas para las diferentes entidades estatales a las que corresponde asumir roles activos en casos de desastres naturales, particularmente al interior del país. En tal sentido, parece necesario delimitar con mayor precisión tales roles a fin de contribuir a una mayor agilidad en el proceso de toma de decisiones y un adecuado nivel de coordinación, reconociendo la función de conducción que cabría fortalecer en favor de los alcaldes provinciales y distritales.

5. RECOMENDAR: al Ministro de la Presidencia, de conformidad con lo previsto en los artículos 2º y 3º inciso j) del Decreto Ley Nº 25556, Ley Orgánica del Ministerio de la Presidencia, en el artículo 14º de la Ley Nº 26922, Ley Marco de Descentralización, y en el artículo 24º de la Ley Orgánica de la Defensoría del Pueblo, abrir proceso administrativo a los funcionarios que participaron en la fase previa así como en la celebración y ejecución del contrato de obras con el Proyecto Especial Chavimochic, a fin de establecer su posible responsabilidad con relación a:

a) El atraso en la definición de las medidas de prevención a adoptar y en la celebración del contrato para la ejecución de obras, así como por la ostensible reducción de las mismas - en relación con las recomendadas originalmente en el estudio de ingeniería básica - sin contar con elementos de juicio razonables que sustentaran tal decisión.

b) Haber omitido señalar con precisión la fecha de inicio de la ejecución de las obras a cargo del Proyecto Especial Chavimochic.

c) No haber cumplido con la debida supervisión de la ejecución de las obras, particularmente en lo relativo al cronograma de las mismas. En efecto, el atraso, de cuando menos 12 días, resultó determinante en el hecho de que los diques

construidos se hallaran inconclusos al momento de producirse la primera avenida de aguas el 9 de febrero de 1998.

6. RECOMENDAR al Jefe del Instituto Nacional de Desarrollo -INADE- de acuerdo a lo previsto en el artículo 7º del Decreto Legislativo N° 599, Ley de Organización y Funciones del INADE, abrir proceso administrativo a los funcionarios del Proyecto Especial Chavimochic que participaron en las obras de prevención emprendidas en la quebrada de San Idefonso, a fin de determinar las responsabilidades que correspondan por la dilación en la construcción de los dos diques en la parte alta de la quebrada, al haber excedido los 75 días pactados de acuerdo al cronograma aprobado al efecto.

Adicionalmente, por haber iniciado las obras con fecha 20 de noviembre no obstante haber recibido el adelanto correspondiente al día siguiente de la suscripción del contrato con el CTAR-LL.

7. PONER EN CONOCIMIENTO de la Contraloría General de la República el presente informe en atención a lo previsto en la parte final del artículo 26º de la Ley Orgánica de la Defensoría del Pueblo e **INSTAR** a esta misma institución a fin de que, en ejercicio de las atribuciones que le confiere el artículo 19º del Decreto Ley N° 26162, Ley del Sistema Nacional de Control, proceda a efectuar una auditoría gubernamental sobre los hechos materia de la investigación desarrollada, orientada a determinar si los bienes y recursos públicos asignados al CTAR-LL, fueron utilizados en forma eficiente para brindar protección a las áreas urbanas que serían afectadas por el fenómeno El Niño en la ciudad de Trujillo, verificando si la actuación de los servidores y funcionarios públicos se ajustó a los deberes que resultan exigibles en situaciones de esta naturaleza.

8. ENCARGAR a la Oficina de la Representación de la Defensoría del Pueblo en Trujillo realizar las acciones necesarias a fin de promover se atienda a la brevedad la situación de las personas damnificadas como consecuencia de los hechos materia de la presente investigación. Ello debe comprender tanto su reubicación como un plan de asistencia integral en el que participen instituciones públicas y privadas convocadas al efecto.

Trujillo, agosto de 1998

ANEXO 4.- Utilizando una bomba manual para retirar el agua de infiltraciones, de las calicatas hechas en el rio Moche.



ANEXO 5.- Información de caudales máximos del Rio Moche de los últimos 20 años, de la estación de aforo de Quirihuaac.

Cuadro 4.2: Caudales Máximos del Rio Moche

CAUDALES MÁXIMOS DIARIOS RÍO MOCHE

PERÍODO: 1960 a 2015

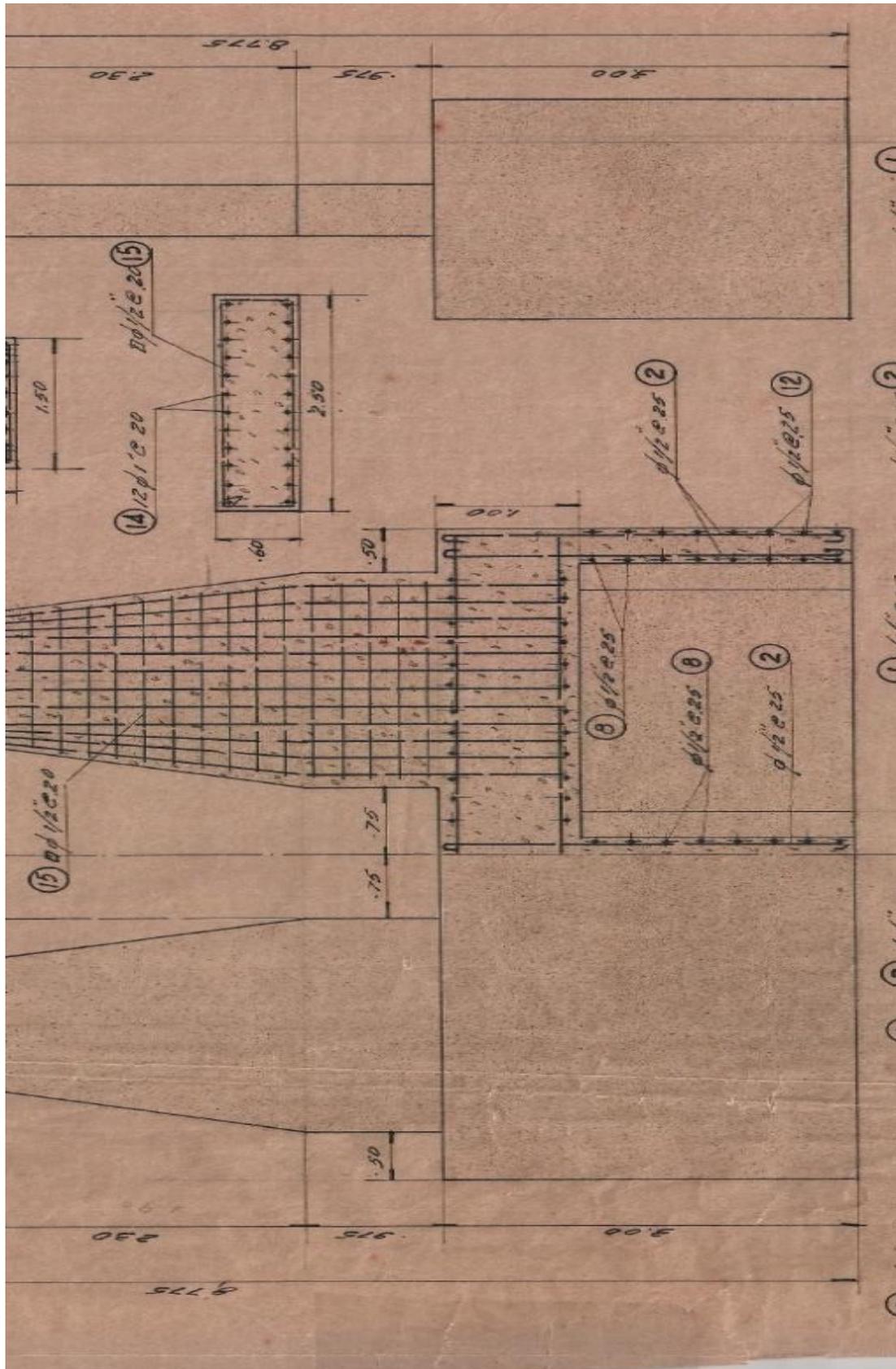
Estación de Aforo : Quirihuaac
Longitud : 78°52'00.0" W

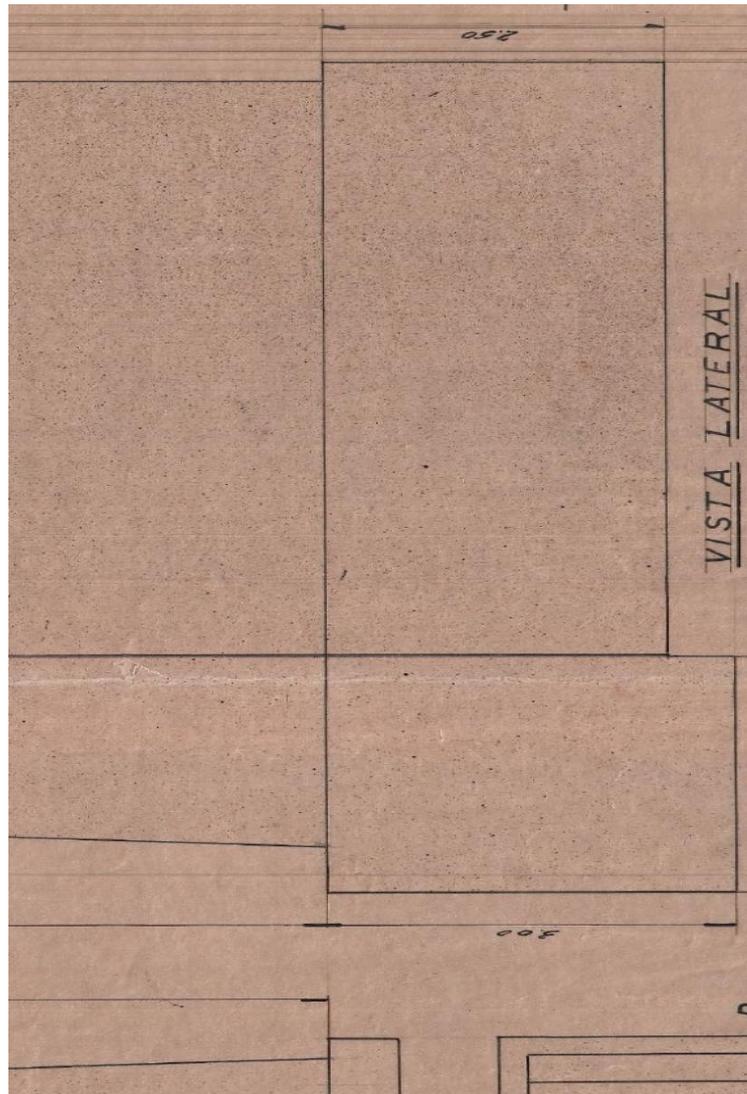
Latitud : 08°05'00.0" S

Area Cuenca: 1839 km²
Altitud: 200 msnm

| Nº | Año | Q _{max} (m ³ /seg) (1) | Q _{inst} (m ³ /seg) (2) |
|----------------------|-------|--|---|
| 1 | 1,960 | 198.63 | 238.38 |
| 2 | 1,961 | 43.92 | 52.70 |
| 3 | 1,962 | 180.31 | 216.37 |
| 4 | 1,963 | 117.57 | 141.08 |
| 5 | 1,964 | 119.19 | 143.03 |
| 6 | 1,965 | 78.40 | 94.08 |
| 7 | 1,966 | 58.45 | 70.14 |
| 8 | 1,967 | 336.60 | 403.92 |
| 9 | 1,968 | 23.42 | 28.10 |
| 10 | 1,969 | 91.81 | 110.17 |
| 11 | 1,970 | 96.10 | 115.32 |
| 12 | 1,971 | 117.63 | 141.16 |
| 13 | 1,972 | 136.25 | 165.90 |
| 14 | 1,973 | 152.96 | 183.55 |
| 15 | 1,974 | 50.29 | 60.35 |
| 16 | 1,975 | 170.88 | 205.06 |
| 17 | 1,976 | 112.85 | 135.42 |
| 18 | 1,977 | 201.52 | 241.82 |
| 19 | 1,978 | 24.00 | 28.80 |
| 20 | 1,979 | 54.88 | 65.86 |
| 21 | 1,980 | 56.00 | 67.20 |
| 22 | 1,981 | 160.00 | 192.00 |
| 23 | 1,982 | 90.00 | 108.00 |
| 24 | 1,983 | 280.00 | 336.00 |
| 25 | 1,984 | 152.00 | 182.40 |
| 26 | 1,985 | 20.80 | 24.96 |
| 27 | 1,986 | 72.00 | 86.40 |
| 28 | 1,987 | 64.00 | 76.80 |
| 29 | 1,988 | 98.53 | 118.24 |
| 30 | 1,989 | 40.00 | 48.00 |
| 31 | 1,990 | 22.84 | 27.17 |
| 32 | 1,991 | 44.50 | 53.40 |
| 33 | 1,992 | 26.02 | 31.22 |
| 34 | 1,993 | 66.97 | 80.36 |
| 35 | 1,994 | 204.80 | 245.76 |
| 36 | 1,995 | 23.84 | 28.61 |
| 37 | 1,996 | 64.00 | 76.80 |
| 38 | 1,997 | 200.00 | 240.00 |
| 39 | 1,998 | 850.00 | 1020.00 |
| 40 | 1,999 | 371.80 | 446.16 |
| 41 | 2,000 | 85.83 | 103.00 |
| 42 | 2,001 | 66.94 | 80.33 |
| 43 | 2,002 | 149.98 | 179.98 |
| 44 | 2,003 | 109.46 | 131.35 |
| 45 | 2,004 | 42.51 | 51.01 |
| 46 | 2,012 | 112.57 | 135.08 |
| 47 | 2,013 | 130.00 | 156.00 |
| 48 | 2,014 | 72.50 | 87.00 |
| 49 | 2,015 | 225.00 | 270.00 |
| CAUDAL MÁXIMO | | 850.00 | 1,020.00 |

(1) Caudales máximos diarios en m³/seg. (2) Caudales máximos instantáneos en m³/seg.





ANEXO 7.- Fotos del Dique construido en la quebrada San Idelfonso que llegó a colapsar durante el fenómeno de El Niño Costero.

. Foto del Dique antes de las precipitaciones.



. Fotos del Dique después de su rotura.



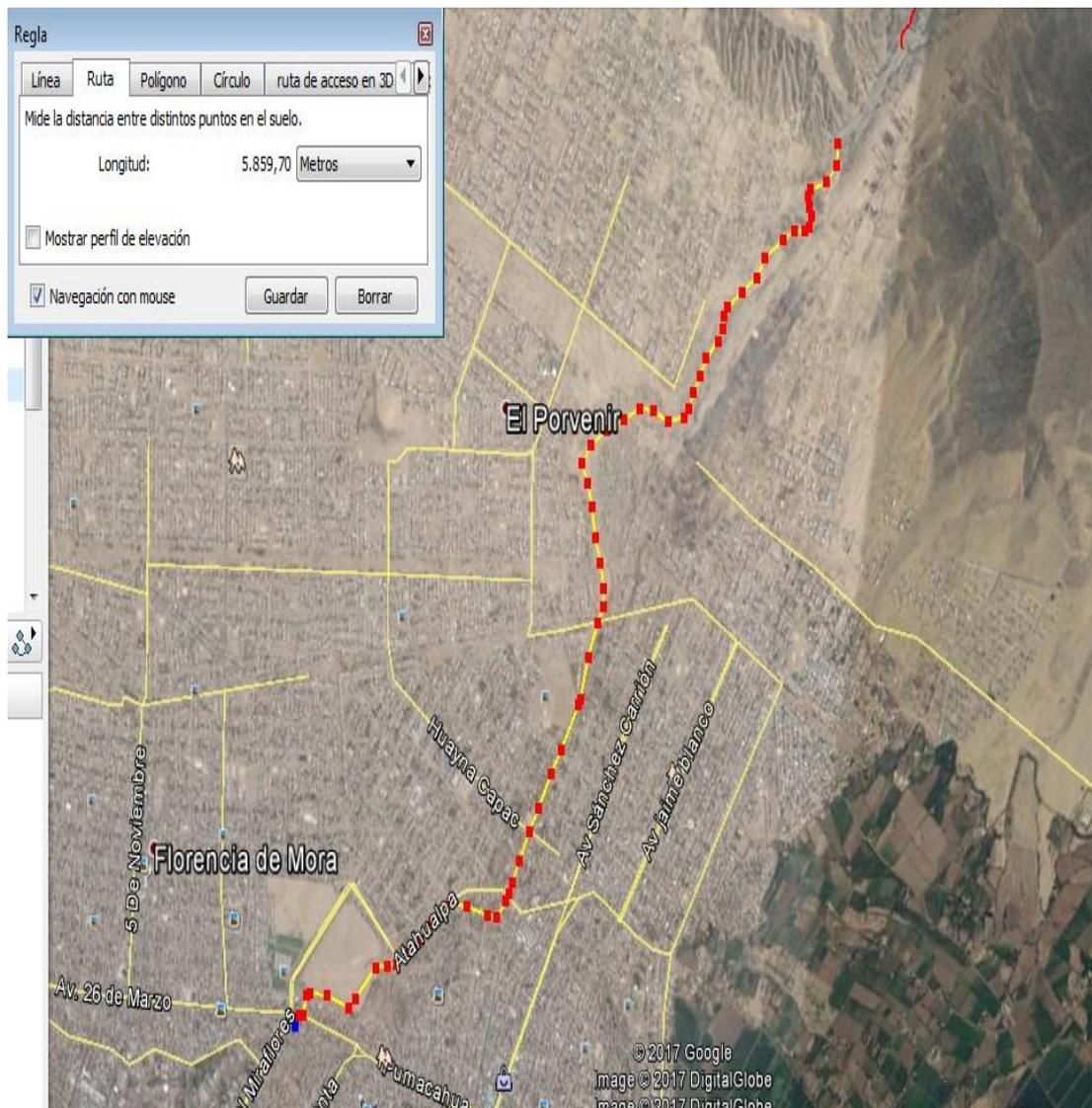
. Foto de la altura del Dique.



. Foto del exterior e interior del Dique, hecho con relleno de hormigón.



ANEXO 8.- Alternativa de llevar el canal por las calles Hipólito Unanue, Moscoso y Atahualpa, hasta el sector del cementerio Mampuesto y unirlo al canal existente “La Mochica”.



ANEXO 9.- Manejo de cuencas con muros transversales de roca del lugar y concreto para retener los sedimentos, combinados con mallas dinámicas.

Muros transversales de roca



Mallas dinámicas



Lugares del cauce principal de la cuenca de San Idelfonso donde se podrían colocar muros transversales y mallas dinámicas para retener rocas y sedimentos.





ANEXO 10.- Publicación del Centro de Operaciones de Emergencia Regional (COER) sobre el caudal que alcanzó el río Moche en el Niño Costero.



 EDICIÓN NACIONAL 

 INICIAR SESIÓN
  RESUMEN DE LA HORA

Portada > La Libertad

La Libertad: riesgo de desborde de río Moche

Caudal tiene volumen de 419 metros cúbicos por segundo y hay tendencia al aumento, según Centro de Operaciones de Emergencia Regional.

Redacción 24 de marzo del 2017 - 7:36 AM Valoración: ★ 5/5










Río Moche podría desbordarse. | Fuente: RPP Noticias/Archivo | Fotógrafo: Rolando Gonzales

Disfruta lo mejor de los Andes

Aumentó el caudal del río Moche y hay riesgo de desborde y afectación al puente del mismo nombre, alertó el Centro de Operaciones de Emergencia Regional (COER) La Libertad.

La organización gubernamental precisó que el caudal tiene un volumen de 419 metros cúbicos por segundo y hay una tendencia al aumento. Asimismo, recomendó tomar las precauciones y mantener la calma.

A consecuencia de las intensas lluvias en la sierra liberteña, el río Moche aumentó su caudal e inundó sembríos en los distritos trujillanos de Simbal, Laredo y Moche hace dos semanas.

SUTARGET
Enlaces patrocinados

¡Hogar Protegido las 24
Monitorea desde tu smart con Alarma Verisure
www.verisure.pe

Tu Casa en tu Celular
y segura las 24/7 con tu Alarma Liderman.
www.lidermanalarmas.com

Paute en la web aquí
Su marca en ppales portales paga por resultados
Peru

Ingresa aquí!
¿Vas vender tu auto, y no sabes dónde anunciar?
gogo.pe