

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



**CONTROL DE INUNDACIONES A TRAVÉS DE LA
IMPLEMENTACIÓN DE UN RESERVORIO DE CONTROL EN LA
ZONA DE HUARMEY MEDIANTE EL USO DE ARCGIS Y HEC-HMS**

Tesis para optar el título profesional de INGENIERO CIVIL

AUTOR:

Jhordan Nick VEGA MELENDEZ

ASESOR:

Msc. Ing. Richard Paul Pehovaz Álvarez

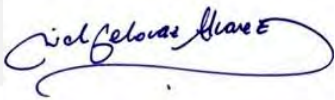
Lima, Noviembre, 2023

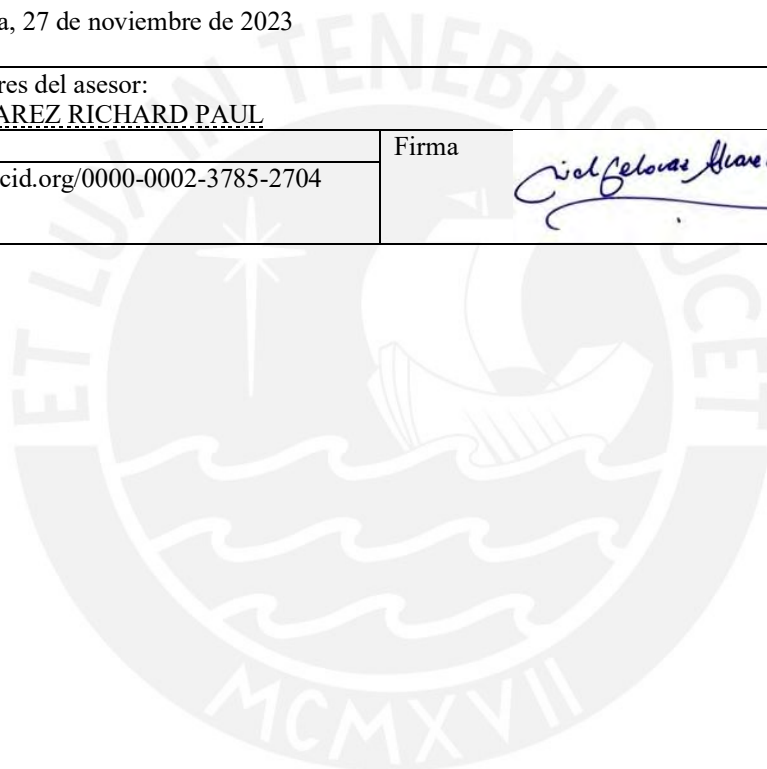
Informe de Similitud

Yo, RICHARD PAUL PEHOVAZ ALVAREZ, docente de la Facultad de Ciencias e Ingeniería de la carrera de INGENIERIA CIVIL de la Pontificia Universidad Católica del Perú, asesor de la tesis titulada: CONTROL DE INUNDACIONES A TRAVÉS DE LA IMPLEMENTACIÓN DE UN RESERVORIO DE CONTROL EN LA ZONA DE HUARMEY MEDIANTE EL USO DE ARCGIS Y HEC-HMS, del autor JHORDAN VEGA MELENDEZ, dejo constancia de lo siguiente:

- El mencionado documento tiene un índice de puntuación de similitud de 21 %. Así lo consigna el reporte de similitud emitido por el software *Turnitin* el 27/11/2023.
- He revisado con detalle dicho reporte y la Tesis o Trabajo de Suficiencia Profesional, y no se advierte indicios de plagio.
- Las citas a otros autores y sus respectivas referencias cumplen con las pautas académicas.

Lugar y fecha: Lima, 27 de noviembre de 2023

| | |
|--|---|
| Apellidos y nombres del asesor: <u>PEHOVAZ ALVAREZ RICHARD PAUL</u> | |
| DNI: 07480773 | Firma  |
| ORCID: https://orcid.org/0000-0002-3785-2704 | |



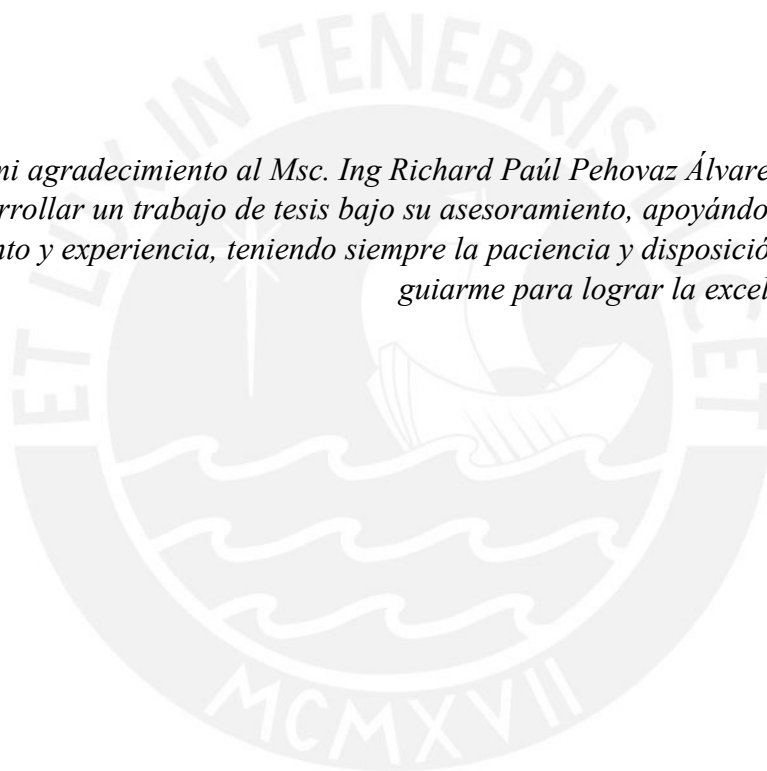
Dedicatoria

A mis queridos padres Teodocio y Nimia, por siempre estar apoyándome, inculcándome valores, disciplina y guiándome con su ejemplo por el camino del bien, gracias por permitirme llegar a estas instancias pese al sacrificio que esto conlleva.

A mis hermanos Orlando y Lucy, así como mi enamorada Karina, por estar siempre conmigo pese a las adversidades apoyándome incondicionalmente para nunca rendirme.

Agradecimiento

Expreso mi agradecimiento al Msc. Ing Richard Paúl Pehovaz Álvarez, por permitirme desarrollar un trabajo de tesis bajo su asesoramiento, apoyándome con su amplio conocimiento y experiencia, teniendo siempre la paciencia y disposición de enseñarme y guiarme para lograr la excelencia académica.



Resumen

La problemática de las inundaciones, no es un tema que se pueda dejar pasar por alto en el Perú, ya que estamos expuestos a constantes fenómenos naturales que provocan inundaciones en algunas zonas del país. El Fenómeno de El Niño en el año 2017 ocasionó grandes inundaciones teniendo como consecuencia daños de gran magnitud, viéndose más reflejado en la costa peruana. Sin embargo, también se vieron daños en otras zonas del país como la sierra y selva. Uno de los problemas a lo que nos enfrentamos en estas situaciones, es la carencia de infraestructura con la que contamos para poder afrontar el crecimiento intempestivo de caudal de los ríos. En este trabajo se presentará un modelo de control de inundaciones, en época de avenidas, por medio de la construcción de elementos estructurales, tales como lo son los reservorios. Estas infraestructuras, permitirán controlar el caudal de manera parcial, atenuando el caudal pico, con la finalidad de mitigar el daño frente a posibles inundaciones.

Para cumplir con la finalidad del trabajo, primero tendremos que tomar en cuenta las consideraciones previas y los antecedentes de la zona de estudio, para así ponernos en contexto de la zona. Posteriormente, se recopilará y analizará la información hidrológica de precipitación de zona en estudio, haciendo uso de la plataforma PISCO de SENAMHI; para luego delimitar la cuenca mediante el software ArcGIS y así obtener los parámetros geomorfológicos, tales como el área, perímetro, longitud de cauce principal, pendiente de la cuenca etc. Una vez se obtenga los parámetros geométricos de la zona, así como la información hidrológicos procesada, se procederá a modelar la cuenca con la ayuda del software Hec-HMS con el objetivo de generar los hidrogramas de crecida de la zona.

Finalmente, se analizará con el método de Transito de Avenidas, la variación en los hidrogramas al tener un reservorio de control como agente laminador frente a posibles inundaciones. Esto se verá reflejado mediante un modelamiento hidráulico aguas debajo de nuestro reservorio, mediante la generación de mapeos de inundación, para un caso sin reservorio y con reservorio, esto nos permitirá verificar el impacto que generará un reservorio de control como agente mitigador frente a posibles inundaciones.

Summary

The problem of flooding is not an issue that can be overlooked in Peru, since we are exposed to constant natural phenomena that cause flooding in some areas of the country. The El Niño Phenomenon in 2017 caused large floods, resulting in large-scale damage, being more reflected on the Peruvian coast. However, damage was also seen in other areas of the country such as the mountains and jungle. One of the problems that we face in these situations is the lack of infrastructure that we have to deal with the untimely growth of river flow. In this work, a flood control model will be presented, in times of floods, through the construction of structural elements, such as reservoirs. These infrastructures will make it possible to partially control the flow, attenuating the peak flow, in order to mitigate the damage in the event of possible flooding.

To fulfill the purpose of the work, we will first have to take into account the previous considerations and the background of the study area, in order to put ourselves in the context of the area. Subsequently, the hydrological information on precipitation of the study area will be collected and analyzed, using the SENAMHI PISCO platform; to then delimit the basin using the ArcGIS software and thus obtain the geomorphological parameters, such as the area, perimeter, length of the main channel, slope of the basin, etc. Once the geometric parameters of the area are obtained, as well as the processed hydrological information, the basin will be modeled with the help of the Hec-HMS software with the aim of generating the flood hydrographs of the area.

Finally, the variation in the hydrographs will be analyzed with the Avenue Transit method by having a control reservoir as a laminating agent against possible flooding. This will be reflected through hydraulic modeling of waters below our reservoir, through the generation of flood mapping, for a case without a reservoir and with a reservoir, this will allow us to verify the impact that a control reservoir will generate as a mitigating agent against possible floods.

INDICE

| | |
|---|-----------|
| 1. INTRODUCCIÓN | 1 |
| 2. GENERALIDADES..... | 2 |
| 2.1 ANTECEDENTES GENERALES..... | 2 |
| 2.2 HIPÓTESIS | 4 |
| 2.3 OBJETIVOS..... | 4 |
| 2.3.1 General..... | 4 |
| 2.3.2 Específicos..... | 4 |
| 2.4 JUSTIFICACIÓN | 4 |
| 2.5 ALCANCE | 5 |
| 3. MARCO TEÓRICO | 6 |
| 3.1 CICLO HIDROLÓGICO | 6 |
| 3.2 CUENCA HIDROGRÁFICA | 7 |
| 3.2.1 Parámetros geomorfológicos de la cuenca..... | 8 |
| 3.3 PRECIPITACIÓN..... | 14 |
| 3.3.1 Medición de Precipitación | 14 |
| 3.3.2 Precipitación media de la cuenca | 15 |
| 3.3.3 Precipitación Máxima en 24 horas | 17 |
| 3.3.4 Análisis de Tormenta | 18 |
| 3.4 ESCORRENTÍA..... | 23 |
| 3.5 INFILTRACIÓN..... | 24 |
| 3.6 HIDROGRAMAS..... | 25 |
| 3.7 CAUDALES MÁXIMOS..... | 26 |
| 3.7.1 Método Directo..... | 26 |
| 3.7.2 Método Empírico | 27 |
| 3.7.3 Método Curva Número..... | 27 |
| 3.8 TIEMPO DE CONCENTRACIÓN..... | 30 |
| 3.8.1 Fórmula de Kirpich..... | 31 |
| 3.8.2 California Culverts Practice..... | 31 |
| 3.8.3 Fórmula de Temez | 31 |
| 3.9 TRÁNSITO DE AVENIDAS | 32 |
| 3.10 RESERVORIOS..... | 34 |
| 3.10.1 Hidrogramas naturales con y sin reservorio | 34 |
| 3.10.2 Tipos de reservorios..... | 35 |
| 3.10.3 Clasificación de Reservorios..... | 38 |
| 3.11 DISTRIBUCIONES PROBABILÍSTICAS | 39 |
| 3.11.1 Función de distribución de probabilidad..... | 39 |
| 3.11.2 Prueba de Bondad de Ajuste Probabilístico | 42 |
| 3.12 MODELAMIENTO HIDROLÓGICO | 43 |
| 3.12.1 Aplicación del Software ArcGIS..... | 43 |
| 3.12.2 Modelo Hidrológico usando Hec - HMS | 44 |
| 3.13 MODELAMIENTO HIDRÁULICO..... | 46 |
| 3.13.1 Modelos Hec – Ras y Hec - GeoRas..... | 46 |
| 4. METODOLOGIA DE TRABAJO. | 47 |
| 4.1 ACTIVIDADES PREVIAS AL ESTUDIO..... | 48 |
| 4.2 RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN..... | 48 |
| 4.3 PROCESAMIENTO DE INFORMACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS | 50 |
| 5. ESTUDIO DE CASO. | 51 |
| 5.1 DATOS GENERALES DE LA ZONA DE ESTUDIO..... | 51 |
| 5.2 ANTECEDENTES DE LA ZONA DE ESTUDIO | 52 |
| 5.2.1 Información histórica de avenidas en Huarney | 53 |
| 5.3 LÍNEA DE BASE CLIMÁTICA | 56 |
| 5.3.1 Características Urbanas | 56 |
| 5.3.2 Clima..... | 56 |
| 5.3.3 Temperatura..... | 57 |
| 5.3.4 Precipitaciones..... | 57 |

| | | |
|------------|---|------------|
| 5.4 | COBERTURA VEGETAL DE LA ZONA | 58 |
| 6. | ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN HIDROLÓGICA..... | 60 |
| 6.1 | INFORMACIÓN METEOROLÓGICA..... | 60 |
| 6.1.1 | Producto PISCO..... | 60 |
| 6.1.2 | Sistema Hidrográfico de la Cuenca | 61 |
| 6.1.3 | Análisis de Precipitación máxima en 24 horas..... | 63 |
| 6.1.4 | Precipitación Total Anual..... | 66 |
| 6.2 | CALCULO DE CURVAS I-D-F | 66 |
| 6.3 | HIETOGRAMAS DE DISEÑO..... | 68 |
| 7. | CÁLCULOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS..... | 69 |
| 7.1 | DELIMITACIÓN Y CARACTERÍSTICAS GEOMORFOLÓGICAS DE LA CUENCA | 69 |
| 7.1.1 | Delimitación de la cuenca Huarney..... | 69 |
| 7.1.2 | Características Geomorfológicas y parámetros de la cuenca. | 70 |
| 7.2 | MODELAMIENTO HIDROLÓGICO DE LA CUENCA | 76 |
| 7.2.1 | Determinación del parámetro Curva Número (CN) | 76 |
| 7.2.2 | Determinación de la Abstracción Inicial (Ia)..... | 77 |
| 7.2.3 | Cálculo del Tiempo de Concentración y Tiempo de Retardo | 78 |
| 7.2.4 | Resultados Obtenidos y Calibración del Modelo Hidrológico..... | 78 |
| 7.3 | TRANSITO DE AVENIDAS CON RESERVORIO | 81 |
| 7.3.1 | Parámetros Geométricos del Reservoirio..... | 81 |
| 7.3.2 | Topografía de la Zona de Estudio | 82 |
| 7.3.3 | Resultado del efecto Laminador del Reservoirio. | 84 |
| 7.4 | MODELAMIENTO HIDRÁULICO..... | 87 |
| 7.4.1 | Geometría del río Huarney | 87 |
| 7.4.2 | Modelamiento en Hec-RAS..... | 89 |
| 7.4.3 | Resultados del modelamiento y mapas de inundación | 93 |
| 8. | CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... | 95 |
| 8.1 | CONCLUSIONES | 95 |
| 8.2 | RECOMENDACIONES | 96 |
| 9. | BIBLIOGRAFÍA | 98 |
| 10. | ANEXOS..... | 100 |

INDICE DE TABLAS

| | |
|---|-----|
| TABLA 1 FORMA DE LA CUENCA SEGÚN EL RANGO..... | 9 |
| TABLA 2 TIPO DE LA CUENCA SEGÚN SU FORMA | 11 |
| TABLA 3 TIPO DE CUENCA SEGÚN SU PENDIENTE..... | 13 |
| TABLA 4 CONDICIÓN HÍDRICA..... | 29 |
| TABLA 5 CURVA NÚMERO PARA ZONAS CON DIFERENTE COBERTURA VEGETAL | 29 |
| TABLA 6 VALORES DE ΣY Y μY | 42 |
| TABLA 7 VALORES CRÍTICOS DE "D" PARA PRUEBA DE BONDAD KOLMORONOV | 43 |
| TABLA 8 METODOLOGÍA DE TRABAJO | 47 |
| TABLA 9 ESTACIONES CON INFLUENCIA DENTRO DE LA CUENCA DEL RÍO HUARMEY (SENAMHI) | 49 |
| TABLA 10 RESUMEN DE LOS EVENTOS HISTÓRICOS OCURRIDOS EN LA CUENCA HUARMEY | 53 |
| TABLA 11 PRECIPITACIONES MÁXIMAS EN 24 HORAS SIN CORRECCIÓN POR SUBCUENCA EN PERIODO DE 1981 - 2018..... | 63 |
| TABLA 12 PRECIPITACIONES MÁXIMAS EN 24 HORAS CON CORRECCIÓN POR SUBCUENCA EN PERIODO DE 1981 - 2018 | 65 |
| TABLA 13 COEFICIENTE DE DURACIÓN | 66 |
| TABLA 14 PRECIPITACIONES MÁXIMAS DE LA SUBCUENCA ALTO HUARMEY | 67 |
| TABLA 15 INTENSIDADES MÁXIMAS PARA ESTACIÓN ALTO HUARMEY..... | 67 |
| TABLA 16 ÁREAS PARCIALES Y ACUMULADAS PARA DETERMINAR LA CURVA HIPSOMÉTRICA | 72 |
| TABLA 17 PARÁMETROS GEOMORFOLÓGICOS DE LA CUENCA DEL RÍO HUARMEY..... | 74 |
| TABLA 18 PARÁMETROS GEOMORFOLÓGICOS DE LAS SUBCUENCAS DEL RÍO HUARMEY | 75 |
| TABLA 19 VALORES DE CURVA NÚMERO PARA CADA SUB CUENCA..... | 77 |
| TABLA 20 VALORES DE ABSTRACCIÓN INICIAL PARA LAS SUBCUENCAS | 77 |
| TABLA 21 TIEMPO DE CONCENTRACIÓN Y TIEMPO DE RETARDO PARA CADA SUBCUENCA | 78 |
| TABLA 22 CAUDALES MÁXIMOS OBSERVADOS PARA DIFERENTES PERIODOS DE RETORNO | 79 |
| TABLA 23 CAUDALES OBTENIDOS Y OBSERVADOS | 81 |
| TABLA 24 DATOS DEL VERTEDERO DEL RESERVORIO PROPUESTO | 82 |
| TABLA 25 ALMACENAMIENTO DEL RESERVORIO..... | 83 |
| TABLA 26 RESULTADOS DEL TRANSIDO DE AVENIDAS - HEC HMS..... | 165 |

INDICE DE FIGURAS

| | |
|---|-----------|
| FIGURA 1 RESERVOIRIO DE DETENCIÓN - BRASIL | 2 |
| FIGURA 2. RESERVOIRIO SECO DESTINADO A ACTIVIDADES DE OCIO. | 3 |
| FIGURA 3. CICLO HIDROLÓGICO | 6 |
| FIGURA 4. CUENCA HIDROGRÁFICA | 7 |
| FIGURA 5. PERÍMETRO Y LONGITUD DE LA CUENCA | 8 |
| FIGURA 6. HIDROGRAMAS SEGÚN LA FORMA DE LA CUENCA | 10 |
| FIGURA 7. TRANSFORMACIÓN DE CUENCA EN RECTÁNGULO EQUIVALENTE..... | 11 |
| FIGURA 8 REPRESENTACIÓN GRÁFICA PARA DETERMINAR LA PENDIENTE | 13 |
| FIGURA 9. PLUVIÓMETRO CONVENCIONAL | 14 |
| FIGURA 10. POLÍGONOS DE THIESSEN | 16 |
| FIGURA 11. REPRESENTACIÓN DE ISOYETAS | 17 |
| FIGURA 12. HIETOGRAMA Y CURVA MASA DE UN EVENTO EN INTERVALO DE 30 MIN | 20 |
| FIGURA 13. REPRESENTACIÓN DE CURVA I D F | 23 |
| FIGURA 14. DISTRIBUCIÓN DE AGUA DE LLUVIA | 24 |
| FIGURA 15. REPRESENTACIÓN DEL MECANISMO DE INFILTRACIÓN..... | 25 |
| FIGURA 16. REPRESENTACIÓN DE UN HIDROGRAMA..... | 26 |
| <i>FIGURA 17. REPRESENTACIÓN GRÁFICA DEL TIEMPO DE CONCENTRACIÓN.....</i> | <i>32</i> |
| FIGURA 18. EFECTOS DE USAR UN RESERVOIRIO COMO MEDIDA DE MITIGACIÓN DE INUNDACIONES | 35 |
| FIGURA 19. OPERACIÓN DE RESERVOIRIO CON Y SIN CONTROL..... | 36 |
| FIGURA 20. RESERVOIRIO CUBIERTO | 36 |
| FIGURA 21. RESERVOIRIO DESCUBIERTO | 37 |
| FIGURA 22. RESERVOIRIO EN SERIE..... | 38 |
| FIGURA 23. RESERVOIRIO EN PARALELO..... | 39 |
| FIGURA 24. MAPA GEOGRÁFICO DE LA CIUDAD DE HUARMEY | 51 |
| FIGURA 25. CUENCA EN ANÁLISIS | 52 |
| FIGURA 26. CIUDAD DE HUARMEY INUNDADA 2017..... | 55 |
| FIGURA 27. VIVIENDAS INUNDADAS EN HUARMEY | 55 |
| FIGURA 28. IMAGEN SATELITAL DE LA CIUDAD DE HUARMEY | 56 |
| FIGURA 29. TEMPERATURA MÁXIMA Y MÍNIMA PROMEDIO DE LA ZONA | 57 |
| FIGURA 30. PRECIPITACIONES DE LLUVIA MENSUAL PROMEDIO DE LA ZONA | 58 |
| FIGURA 31. ZONAS AGRÍCOLAS CERCA DE LA CIUDAD DE HUARMEY | 59 |
| FIGURA 32. CORRELACIÓN DE P _{MAX} 24HR OBS VS P _{MAX} 24HR PISCO..... | 61 |
| FIGURA 33. HIDROGRÁFICO DE LA CUENCA HUARMEY | 62 |
| FIGURA 34. ORDEN DE RÍOS DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA..... | 63 |
| FIGURA 35. REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE LA CUENCA HUARMEY..... | 69 |
| FIGURA 36. MODELO DE ELEVACIÓN DE LA CUENCA HUARMEY, TOMANDO COMO REFERENCIA DEM | 70 |
| FIGURA 37. ÁREAS PARCIALES Y ACUMULADAS PARA LA ELABORACIÓN DE LA CURVA HIPSOMÉTRICA..... | 71 |
| FIGURA 38. CLASIFICACIÓN DE LA CUENCA EN 8 ÁREAS PARA LA ELABORACIÓN DE LA CURVA HIPSOMÉTRICA | 71 |
| FIGURA 39. CURVA HIPSOMÉTRICA DE LA CUENCA HUARMEY..... | 72 |
| FIGURA 40. MAPA DE PENDIENTES DE LA CUENCA HUARMEY | 73 |
| FIGURA 41. PERFIL LONGITUDINAL DEL RÍO PRINCIPAL DE LA CUENCA HUARMEY | 73 |
| FIGURA 42. CURVA NÚMERO DE LA CUENCA DEL RÍO HUARMEY..... | 76 |
| FIGURA 43. HIDROGRAMA PARA Tr = 50 AÑOS | 79 |
| FIGURA 44. HIDROGRAMA PARA Tr = 100 AÑOS | 80 |
| FIGURA 45. HIDROGRAMA PARA Tr = 500 AÑOS | 80 |
| FIGURA 46. CURVAS DE NIVEL DEL RESERVOIRIO EN LA ZONA PROPUESTA | 83 |
| FIGURA 47. EFECTO LAMINADOR DE HIDROGRAMA CON PRESENCIA DE RESERVOIRIO DE CONTROL PARA UN | 85 |
| FIGURA 48 RESULTADOS DEL TRÁNSITO DE AVENIDAS PARA UN Tr = 100 AÑOS | 85 |
| FIGURA 49. EFECTO LAMINADOR DE HIDROGRAMA CON PRESENCIA DE RESERVOIRIO DE CONTROL PARA UN T | 86 |
| = 50 AÑOS | 86 |
| FIGURA 50, RESULTADOS DEL TRÁNSITO DE AVENIDAS PARA UN Tr = 100 AÑOS | 86 |
| FIGURA 51. GEOMETRÍA DIGITALIZADA EN HEC-RAS DEL RÍO HUARMEY AGUAS ABAJO DEL RESERVOIRIO..... | 88 |
| <i>FIGURA 52. SECCIONES TRANSVERSALES DIGITALIZADAS EN HEC RAS DEL RÍO HUARMEY.</i> | <i>88</i> |
| <i>FIGURA 53. COEFICIENTE DE MANNING DE LA ZONA EN ESTUDIO INGRESADAS A HEC RAS</i> | <i>89</i> |

| | |
|---|-----|
| FIGURA 54. REPRESENTACIÓN DIGITAL EN 3D DEL RÍO HUARMEY AGUAS ABAJO SIN EMBALSE $Q=281.20$ m ³ /s PARA UN T = 100 AÑOS | 91 |
| FIGURA 55. REPRESENTACIÓN DIGITAL EN 3D DEL RÍO HUARMEY AGUAS ABAJO SIN EMBALSE $Q=134.40$ m ³ /s PARA UN T = 100 AÑOS | 92 |
| FIGURA 56. VARIACIÓN DE VELOCIDADES A LO LARGO DEL RÍO HUARMEY CON Y SIN RESERVORIO AGUAS ABAJO PARA UN T = 100 AÑOS | 92 |
| FIGURA 57. MAPA DE INUNDACIÓN PARA UN $T_r=100$ AÑOS SIN RESERVORIO..... | 93 |
| FIGURA 58. MAPA DE INUNDACIÓN PARA UN $T_r=100$ AÑOS CON RESERVORIO | 94 |
| FIGURA 59. VARIACIÓN DE TIRANTES CON Y SIN RESERVORIO PARA UN PERIODO DE RETORNO DE T = 100 AÑOS..... | 94 |
| FIGURA 60 MODELO HEC HMS DE LA CUENCA HUARMEY | 104 |
| FIGURA 61 RESULTADOS DE LA LAMINACIÓN DE HIDROGRAMAS DEBIDO A LA PRESENCIA DE UN RESERVORIO DE CONTROL..... | 164 |
| FIGURA 62. COBERTURA VEGETAL CERCA DE LA CIUDAD DE HUARMEY | 194 |
| FIGURA 63. POSIBLE UBICACIÓN DEL RESERVORIO DE CONTROL..... | 194 |
| FIGURA 64. CAUCE DEL RÍO HUARMEY QUE ATRAVIESA POR EL BORDE DERECHO DE LA CIUDAD | 195 |



1. INTRODUCCIÓN

El fenómeno de El niño es un problema eventual que ocurre en las temporadas de verano y se debe a las anomalías que se generan con la temperatura superficial del mar, y estas a su vez son producidas por el cruce de grandes corrientes de vientos calientes y fríos teniendo como escenario la costa peruana. El cruce de estos vientos genera un aumento en la temperatura del mar, produciendo una gran evaporación de agua que luego de un proceso físico se manifestará en forma de fuertes lluvias provocando así inundaciones dentro del territorio nacional (Jose Machare, 1993).

En las últimas décadas, el Estado, con ayuda de universidades y agentes de investigación y prevención, están trabajando en la búsqueda de soluciones que puedan mitigar el impacto que generan las inundaciones en los pobladores que viven en zonas aledañas a lechos de ríos. Existen muchas técnicas disponibles para reducir la vulnerabilidad de las poblaciones frente a estos fenómenos. Entre ellos están la construcción de reservorios, coberturas vegetales, plataformas o canchas de loso, disipadores de energía entre otros (Soluciones Prácticas, 2017).

En muchos países, la implementación de reservorios ha sido una medida de prevención muy utilizada frente a estos fenómenos de inundaciones. Sin embargo, en nuestro país aún existe un bajo índice del uso de este tipo de metodología para hacer frente a estos problemas, ya que requiere de datos hidrológicos representativos, situación precaria en nuestro país debido a la escasez de instrumentos de medición.

Es por este motivo, que el siguiente trabajo, tratará de estudiar una zona determinada, en este caso la ciudad de Huarney, con la intención de evaluar, si la implementación estratégica de un reservorio como elemento de control de inundaciones podría ser factible o no en nuestro país. El análisis se realizará mediante la aplicación del procedimiento de tránsito de avenidas, por lo que en primera instancia se tiene que modelar la cuenca que engloba el lugar de análisis en un programa computacional, que en este caso será con la ayuda de los softwares ArcGIS, y posteriormente se modela la cuenca en Hec-HMS con la finalidad de obtener los hidrogramas de crecidas para el análisis con y sin reservorio, y así verificar si la presencia de este sirve como un control para las inundaciones.

2. GENERALIDADES

2.1 ANTECEDENTES GENERALES

Durante los últimos años, hemos sido testigos de diferente tipo de fenómenos naturales debido a los cambios climáticos que sufre los diversos ecosistemas de nuestro planeta, y dentro de ellos uno de los problemas que aqueja nuestro país es la de las inundaciones generados por el desborde de los ríos, viéndose con mayor intensidad en las ciudades de nuestra costa.

Sin embargo, pese a que nuestro país es uno de los más afectados por las inundaciones, carece de infraestructura que permita, ya sea de manera parcial o total, mitigar los daños generados por estos eventos extremos; previniendo así costos económicos por los daños y pérdidas, y lo más importante, salvaguardar la vida de las personas.

En Brasil, principalmente en el verano, cada año se informa noticias sobre inundaciones en las ciudades que provocan innumerables daños a la población. Frente a este problema, la ingeniería a buscado alternativas para eliminar o al menos minimizar los problemas causados a raíz de estos incidentes. (Associação Brasileira de Cimento Portland, 2012)

Los reservorios de detención, popularmente conocidos como "piscinões", son estructuras de acumulación temporal de las aguas de lluvia, que contribuyen a la reducción de las inundaciones urbanas. Aunque estas estructuras presentan como principal función la amortiguación de las olas de inundación y la reducción de las inundaciones urbanas, pueden también proporcionar la captación de sedimentos y detritos, así como la recuperación de la calidad de las aguas de los arroyos y ríos urbanos. Según informes, se dice que los reservorios pueden captar 380 millones de litros de agua según su tamaño (Associação Brasileira de Cimento Portland, 2012).

Figura 1 Reservorio de Detención - Brasil



Fuente: PET- Engenharia Civil UEM

En caso de los depósitos que almacenan agua sólo durante los eventos de lluvia, se construyen con fondo impermeabilizado; cuando existe riesgo de contaminación de aguas subterráneas por las cargas elevadas de contaminantes. Las impermeabilizaciones en concreto pueden desempeñar otros tipos de funciones, como la implantación de canchas de deportes y áreas de ocio (Associação Brasileira de Cimento Portland, 2012).

Figura 2. Reservorio seco destinado a actividades de ocio.



Fuente: (Associação Brasileira de Cimento Portland, 2012)

Como se mencionó anteriormente, estas implementaciones, llamémoslo así, estructurales de control de inundaciones, todavía no son usados en nuestro país, y esto se debe a la falta de coordinación y gestión entre las autoridades para llevar a cabo este tipo de proyectos, o simplemente por tratarse de un tema que no es de interés.

Es por eso que, en el siguiente trabajo, se elaborará un estudio en la zona costera del país, la cual se ha visto afectada por fenómenos naturales, siendo más precisos, el trabajo se centra en la ciudad de Huarney, ubicada en el departamento de Áncash, aproximadamente a unos 300 km de la ciudad de Lima.

2.2 HIPÓTESIS

La implementación de reservorios serán una medida de prevención y mitigación de las inundaciones, disminuyendo el impacto que se genera en el área afectada, mediante un estudio que nos permita conocer el comportamiento hidrológico de la cuenca para así analizar si la implementación de estas estructuras es factible en la zona de estudio. Además, también permitirá aplicar nuevas y mejores soluciones frente a estos fenómenos en épocas de avenidas.

2.3 OBJETIVOS.

2.3.1 General

Evaluar el control, total o parcialmente las inundaciones que se generan en épocas de avenidas debido al desborde del río Huarmey en la ciudad que lleva el mismo nombre, a través de la construcción estratégica de reservorios que permitan mitigar los daños por inundación.

2.3.2 Específicos

- Delimitación de la cuenca Huarmey haciendo uso del software ArcGIS, con el fin conocer sus parámetros geomorfológicos y así realizar un modelo confiable.
- Evaluar la información hidrológica correspondiente a las estaciones que sean representativas de la cuenca, en este caso usaremos la fuente de la plataforma PISCO, y veremos si es fiable utilizar estos datos en la costa de nuestro país.
- Desarrollar el modelado matemático de la cuenca Huarmey, haciendo uso del software Hec – HMS y Hec - RAS con la finalidad de generar los hidrogramas de avenidas máximas de la cuenca y los mapas de inundación.
- Determinar que parámetros y que consideraciones se deben tomar en cuenta para evaluar y analizar la implementación de un sistema de control de inundaciones, y plantear algunas soluciones estructurales y no estructurales para prevenir y controlar las mismas.
- Verificar con los resultados, si en la zona de estudio es viable el desarrollo de un proyecto de control de inundaciones.

2.4 JUSTIFICACIÓN

El Perú es un país con una gran cantidad de ecosistemas, lo cual lo hace un territorio de una alta diversidad climática en dónde se desarrollan muchos fenómenos naturales que afectan en las infraestructuras construidas, provocando en algunos casos extremos, pérdidas humanas. Los

ríos de la vertiente del Pacífico, presentan frecuentes cambios en sus caudales, viéndose marcados en mayor magnitud en las estaciones de verano e invierno. (Soluciones Prácticas, 2017)

Del mismo modo las alteraciones climáticas como el Fenómeno de El Niño, han hecho que el comportamiento hidrológico de las cuencas del pacífico se vean variables en cuanto a su intensidad. Los fenómenos de El Niño del año 1983 y 1998, impactaron en toda la vertiente del pacífico, generando exceso hídrico que provocaron desastres como inundaciones. (Autoridad Nacional del Agua, s.f.)

Es por ello, que según al Artículo 119° de la Ley 29338, la Autoridad Nacional del Agua, conjuntamente con los Consejos de Cuenca respectivos, vienen fomentando la instauración de programas integrales de control de avenidas, desastres naturales o artificiales y prevención de daños por inundaciones o por otros impactos del agua y sus bienes asociados, promoviendo la coordinación de acciones estructurales, institucionales y operativos necesarias.

De lo mencionado anteriormente, en el este trabajo se realizará un análisis hidrológico de la cuenca del río Huarmey, acompañado de un modelamiento computacional que nos permita evaluar el comportamiento hidrológico en época de avenidas, con el fin implementar medidas de prevención de daños materiales y pérdidas humanas durante las inundaciones (Jose Machare, 1993)

2.5 ALCANCE

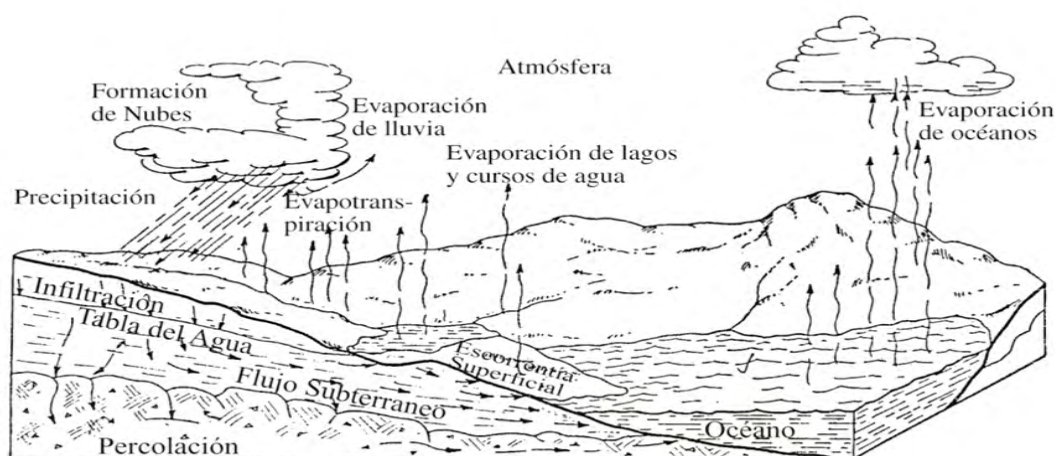
Este trabajo tendrá como finalidad, hacer la delimitación y modelado computacional de una cuenca ubicado en una zona de Huarmey, con el propósito de analizar mediante el procedimiento de tránsito de avenidas, si en dicha zona en estudio, es factible realizar la implementación de un reservorio como medida de control y prevención frente a un evento de inundación en época de avenidas. Además, se plantearán algunas soluciones alternas que puedan ser de utilidad frente a estos eventos. Cabe mencionar que este trabajo también podrá ser utilizado como material de consulta para proyectos futuros que requieran de algún tipo de información o método usado que aquí se detalle.

3. MARCO TEÓRICO

3.1 CICLO HIDROLÓGICO

El ciclo hidrológico, es el cambio de estados (líquido, sólido y gas) y de forma (superficial y subterránea) que presenta el agua dentro de la naturaleza, y la ciencia que se encarga de su estudio es la Hidrología. Cabe mencionar que el Ciclo Hidrológico no es regular, ya que presenta épocas de sequías y también de inundaciones; es por ello que se realizan un sinnúmero de estudios para combatir estas irregularidades (Chereque Wender, 1989).

Figura 3. Ciclo hidrológico



Fuente: (Fattorrelli & Fernandez, 2011)

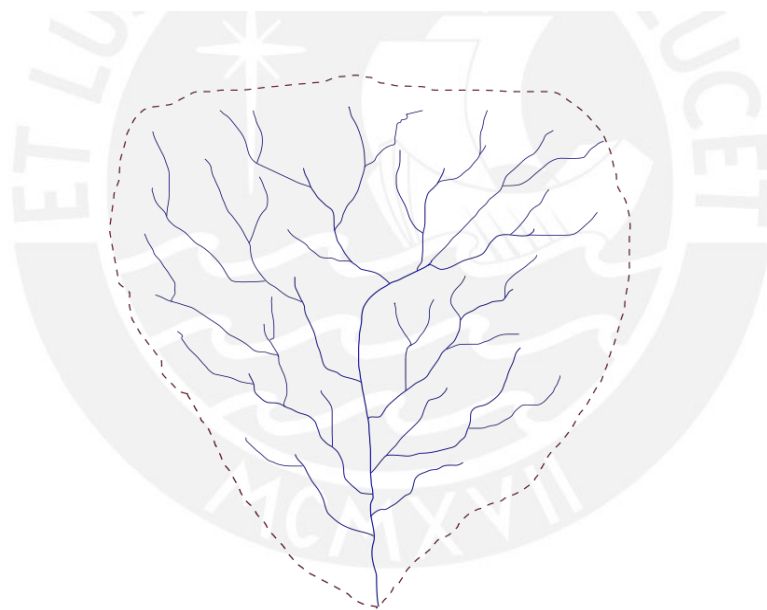
Para proyectos de hidráulica, se requerirán datos de precipitación, caudales, evaporación, temperatura, viento, etc. Esta información, es proporcionada por el Servicio Nacional de Meteorología (SENAMHI), o también por se pueden obtener estos datos desde su plataforma PISCO. Con la ayuda de la hidrología se podrán utilizar y analizar estos datos para realizar estudios particulares en diferentes casos y fines, tal es el caso para saber el abastecimiento de fuentes de agua, riego de cultivos, conocer parámetros para diseño de estructuras hidráulicas, etc. No obstante, no siempre se cuenta con la información necesaria de ciertas zonas, por lo que se tendrá que utilizar métodos estadísticos para completar la información necesaria para el estudio (Chereque Wender, 1989).

3.2 CUENCA HIDROGRÁFICA

Se tiene por entendido que el concepto de cuenca es aquella depresión o forma geográfica de las montañas que van perdiendo altura a medida que se van acercando al nivel de mar, esto a su vez incluye diversos ecosistemas terrestres (selvas, bosques, pastizales, matorrales, manglares entre otros.) y ecosistemas acuáticos (como ríos, quebradas, lagunas, etc) y se ve limitado desde donde el agua de las precipitaciones escurre hasta donde llega a desembocar todas las vertientes que se encuentran dentro de la cuenca.

Cabe mencionar que existe una diferencia entre los conceptos de cuenca Hidrográfica y cuenca Hidrológica, siendo la primera la definición geográfica de la misma, mientras la segunda es un indicador de gestión que se realiza dentro de una cuenca Hidrográfica (Gálvez, 2011). Sin embargo, es en este escenario en donde se desarrolla el ciclo hidrológico.

Figura 4. Cuenca hidrográfica



Fuente: Hidrología UCJV

Para tener un mejor estudio de la cuenca, se puede dividir según su unidad de gestión, y su proporción superficial en:

Subcuenca

Se define como el área en la cual su drenaje se dirige directamente al curso principal de la cuenca, esta está conformada por los ríos secundarios. Un conjunto de subcuencas puede formar una cuenca.

Micro cuenca

Está definida por las quebradas o afluentes de agua que desembocan sobre los ríos secundarios, es decir se drena directamente a la corriente principal de una subcuenca.

Es un hecho también mencionar que, dentro de las cuencas se pueden diferenciar las zonas de la cuenca alta, media y baja. Siendo la primera una zona accidentada con mayor pendiente, en donde podemos encontrar las nacientes de los diferentes afluentes de la propia cuenca; aquí se pueden encontrar las lagunas, lagos, manantiales y hasta nevados según sea el caso. Sin embargo, la zona baja está más ligada a los campos en donde se desarrolla la agricultura, ya que tenemos zonas menos accidentadas y el agua es utilizada de manera óptima. Existen entidades nacionales que se encargan de gestionar, controlar y promover el incentivo social del cuidado de este elemento vital; tal es el caso de la Autoridad Nacional del Agua (ANA)

3.2.1 Parámetros geomorfológicos de la cuenca

- *Área de una cuenca (A)*

Se define como la proyección en planta de todo un sector de drenaje que tiene como vertiente un mismo punto de desfogue en un cauce principal. El área de la cuenca es un parámetro muy importante para el diseño y modelado de la misma.

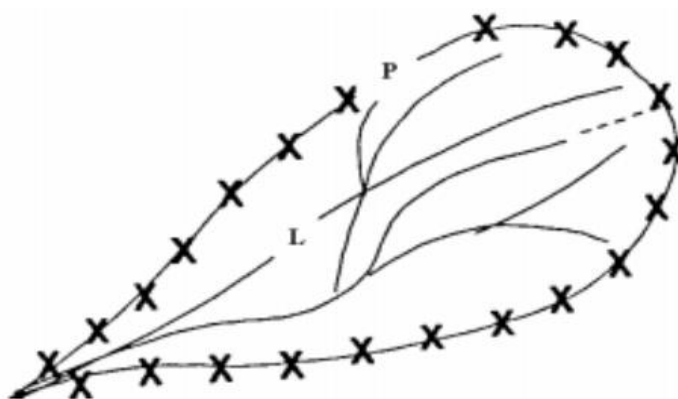
- *Perímetro de cuenca (P)*

El perímetro se define como la longitud que separa el borde del área de toda la cuenca, es decir la distancia limítrofe. Además, este parámetro nos puede dar una idea de cómo será la forma de la cuenca

- *Longitud principal de la cuenca (L)*

La longitud de una cuenca viene definida como la distancia horizontal del cauce principal desde un punto de aforo aguas abajo, hasta un punto aguas arriba en donde el río principal corta con la zona limítrofe de la cuenca.

Figura 5. Perímetro y Longitud de la Cuenca



- *Ancho de la Cuenca*

Finalmente, el ancho de la cuenca es la relación entre el área (A) y la longitud de la misma (L); se designa por la letra W de forma que:

$$W = \frac{A}{L}$$

Dónde:

A: superficie de la cuenca en km².

L: longitud de la cuenca en km.

Coefficiente de Compacidad

También conocido como índice de Gravelius, es la relación entre el perímetro de la cuenca y el perímetro de un círculo que contenga la misma área de la cuenca A:

La relación de area equivalente a un circulo que contenga la misma área de la cuenca, se debe a que en una cuenca circular, las posibilidades de que se presenten avenidas supersiroes es mayor, esto por la simetría de la misma, sin embargo, en la mayoría de los casos, la forma de las cuencas son similares a unas peras.

Es por ello que el coeficiente de compacidad permite definir la forma de la cuenca mediante una comparativa con las formas redondas, dentro de rangos que se muestran en la Tabla 1(FAO, 1985):

Tabla 1 Forma de la Cuenca según el Rango

| Rango | Forma |
|-------------|------------------------------------|
| 1.00 - 1.25 | Redonda a oval redonda (compacta) |
| 1.25 – 1.50 | Oval redonda a oval oblonga |
| 1.50 – 1.75 | Oval oblonga a rectangular oblonga |
| >1.75 | Casi rectangular (alargada) |

La relación que lo define según (Villón Béjar, 2002) es la siguiente:

$$Kc = 0.28 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

En donde:

P: Perímetro de la cuenca en Km

A: Área de la cuenca en Km²

Factor de Forma de Horton

Se tiene entendido por forma de una cuenca, a la proyección de la misma en un plano horizontal en el cual se evidencia su geometría. A su vez, se considera que la forma de una cuenca, influye en el tiempo de concentración, por lo que los hidrogramas al igual que las tasas de flujo se ven modificados por este parámetro. Es decir, para una misma superficie de cuenca y analizando la misma tormenta, el comportamiento de la cuenca es diferente tanto para una cuenca de forma redondeada, como para una cuenca de forma alargada. (Horton, 1945).

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

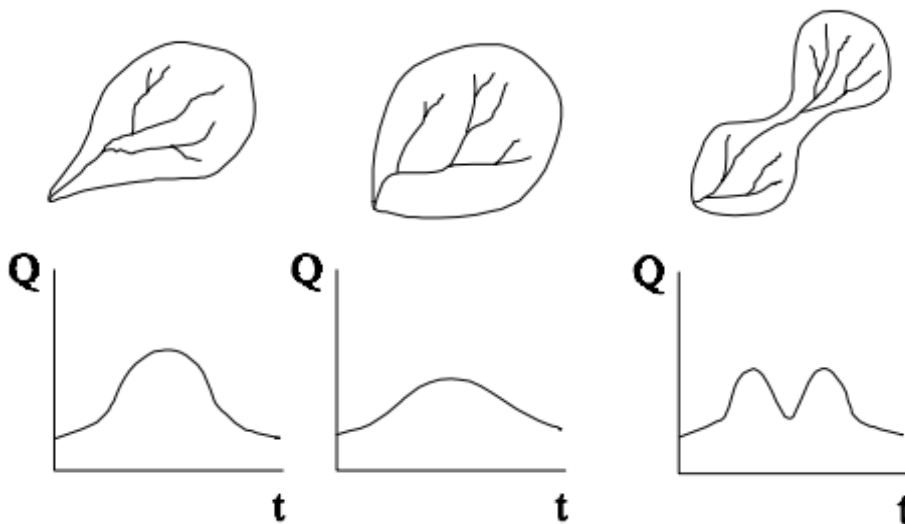
Dónde:

A: Área de la Cuenca

L: Longitud principal de la cuenca

A continuación, en la Figura 6, se muestra algunas formas de cuencas y como estas influyen en sus respectivos hidrogramas.

Figura 6. Hidrogramas según la forma de la cuenca



Fuente: (Horton, 1945)

Por lo anteriormente mencionado, conocer la forma de la cuenca es determinante para presagiar como serán los hidrogramas de caudales máximos; es por esta razón que se han realizado innumerables esfuerzos por poder cuantificar este valor. Dentro de estas teorías, Horton propone un valor adimensional Kf según lo mostrado en Tabla 2

Tabla 2 Tipo de la cuenca según su forma

| Factor de Forma | Tipo de Forma |
|-----------------|-----------------------------|
| 1.00 | Cuadrado con salida central |
| 0.79 | Circular o redonda |
| 0.50 | Cuadrado con salida lateral |
| 0.40 y 0.50 | Oval |
| <0.30 | Rectangular alargada |

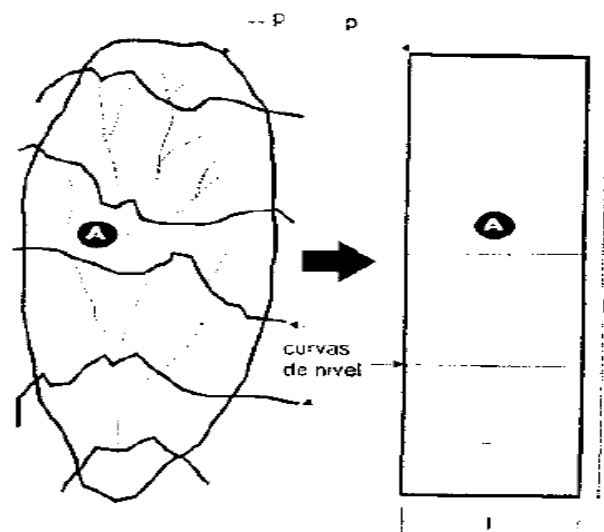
Fuente: (Horton, 1945)

En la Tabla 2 se puede apreciar que la forma de la cuenca varía según su factor de forma

Cálculo del Rectángulo Equivalente

El rectángulo equivalente es la equivalencia que permite representar las características geométricas de la cuenca mediante la representación de un rectángulo, tal como se aprecia en la Figura 7; el cual tenga la mismo área, por lo que el índice de compacidad será el mismo, igual distribución de relieves (curva hipsométrica), e igual distribución de terreno en cuanto a su cobertura vegetal.

Figura 7. Transformación de cuenca en Rectángulo Equivalente



Fuente: (Villón Béjar, 2002)

Los lados del rectángulo están definidos por la siguiente ecuación:

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

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

Donde:

L: Lado mayor

l: Lado menor

Pendiente Media de la Cuenca

Dentro de los parámetros a conocer de una cuenca, la pendiente media es uno de los más importantes, debido a que este influye directamente en el tiempo de concentración en un determinado punto del cauce, además de la velocidad que el flujo alcanza y también por la erosión que este produce. Para su cálculo se emplea el criterio de J.W. Alvord. (Villón Béjar, 2002)

Criterio de ALVORD

$$S_i = \frac{D}{W_i}$$

$$W_i = \frac{a_i}{l_i}$$

Donde:

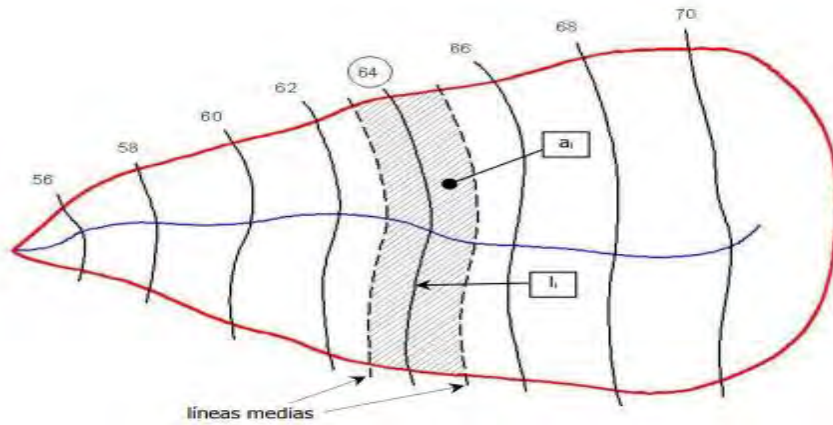
S_i : pendiente de la banda analizada i

D : desnivel entre líneas medias, aceptado como desnivel entre curvas (equidistancia)

W_i : ancho de la banda analizada i

a_i : área de la banda analizada i

l_i : longitud de la curva de nivel correspondiente a la banda analizada i



Fuente: (Villón Béjar, 2002)

De esta manera, la pendiente media de la cuenca viene a estar definido por el promedio de todas las pendientes de cada banda en relación con su propia área:

$$S = \left(\frac{D * l_1}{a_1} * \frac{a_1}{A} \right) + \left(\frac{D * l_2}{a_2} * \frac{a_2}{A} \right) + \dots + \left(\frac{D * l_n}{a_n} * \frac{a_n}{A} \right)$$

$$S = \frac{D}{A} * (l_1 + l_2 + \dots + l_n)$$

Al final se tiene

$$S = \frac{DL}{A}$$

Dónde:

S: pendiente media de la cuenca

D: Desnivel constante entre curvas de nivel en Km

L: longitud total de las curvas de nivel dentro de la cuenca (Figura 8)

A: área de la cuenca

La pendiente se puede clasificar en categorías según la Tabla 3 que se muestra a continuación:

Tabla 3 Tipo de cuenca según su pendiente

| Pendiente media (%) | Tipo de terreno |
|---------------------|-------------------------|
| 2 | Llano |
| 5 | Suave |
| 10 | Accidentado medio |
| 15 | Accidentado |
| 25 | Fuertemente accidentado |
| 50 | Escarpado |
| >50 | Muy escarpado |

3.3 PRECIPITACIÓN

La precipitación es resultado de la condensación de las diferentes representaciones de agua que, organizándose en forma de nubes, y tras un proceso de saturación llega hasta la superficie terrestre (Chereque Wender, 1989). La precipitación se ve manifestada en la superficie en forma de lluvia, garuas, granizada, y nevadas. Según Chereque Moran, algunas maneras de identificar una lluvia según su intensidad son:

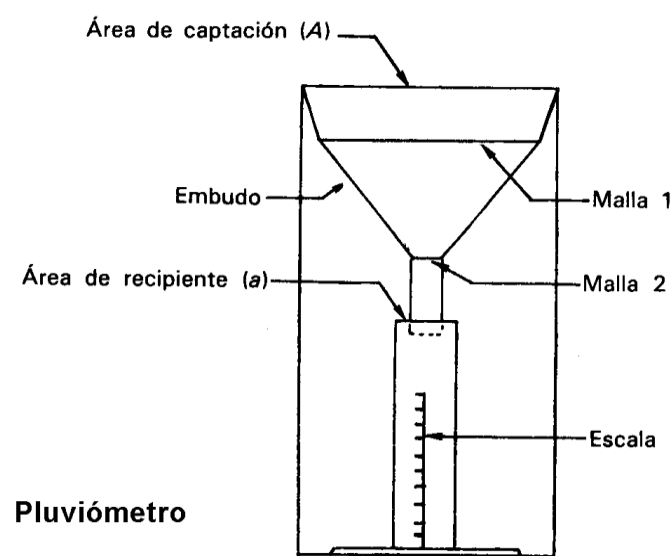
- Lluvia ligera, con tasas de caída de 2.5 mm/h
- Lluvia moderada, con tasas de caída entre 2.5 y 7.6 mm/h
- Lluvia fuerte, con tasas de caída mayores a 7.6 mm/h

3.3.1 Medición de Precipitación

Las precipitaciones son medidas en base a la altura de la lámina de agua que cae por una unidad de área, siendo esta última un área de 1 m². Esto también es representado por el cociente entre el volumen de agua recogido en una superficie determinada por metro cuadrado, teniendo así una medida en mm (Linsley, 1970).

Los equipos más utilizados para medir la precipitación son los pluviómetros. Este equipo mide los litros recogidos en un lugar determinado para un lapso de tiempo, esta medición puede ser representativa para varias hectáreas de una cuenca (Linsley, 1970).

Figura 9. Pluviómetro convencional



Fuente: Gaia.geología.uson

En el Perú, según el SENAMHI, los registros pluviométricos se hacen en las horas sinópticas durante el día, a horas 7 de la mañana y 7 de la noche. Ambas precipitaciones generan la lámina de precipitación del día.

3.3.2 Precipitación media de la cuenca

Para realizar los trabajos de hidrología, se trabaja con los datos de precipitación registrados mediante un instrumento de medición, sin embargo, la escasez de instrumentos que abarquen en su mayoría la zona de estudio, conlleva a utilizar métodos para calcular una precipitación representativa y significativa del lugar de estudio.

Con los datos registrados por los pluviómetros ubicados de manera estratégica para tener datos más certeros, se puede calcular la precipitación media de cuenca. Según Aparicio (Aparicio Mijares, 1992), para realizar este cálculo, se cuenta los siguientes métodos:

i. Promedio Aritmético:

El promedio aritmético, es uno de los métodos más simples para determinar la precipitación media, ya que consiste en promediar las precipitaciones de las estaciones que engloban la zona de estudio, obteniendo así, una precipitación representativa.

Pese a ello, para que el método sea eficiente, la distribución de los pluviómetros usados debe tener una distribución uniforme sobre área y sus medidas individuales no deben variar significativamente.

$$p = \frac{p_1 + p_2 + p_3 + \dots + p_n}{n}$$

Siendo:

Pi: Las precipitaciones registradas en diferentes lugares.

n : Numero de pluviómetros utilizados.

ii. Polígonos de Thiessen:

En el caso de que la distribución de los pluviómetros no es uniforme dentro de la zona de estudio, se usa este método ya que nos permite relacionar una estación con un área de influencia representativa de la misma, tal y como se muestra en la Figura 10; es así que, con las diferentes estaciones disponibles, se pueda abarcar toda la cuenca.

Este método, consiste en unir los diferentes puntos de registro, y trazar las mediatrices de los triángulos que se forman al unir los puntos. Luego se procede a determinar el área de influencia de cada estación como se muestra a continuación:

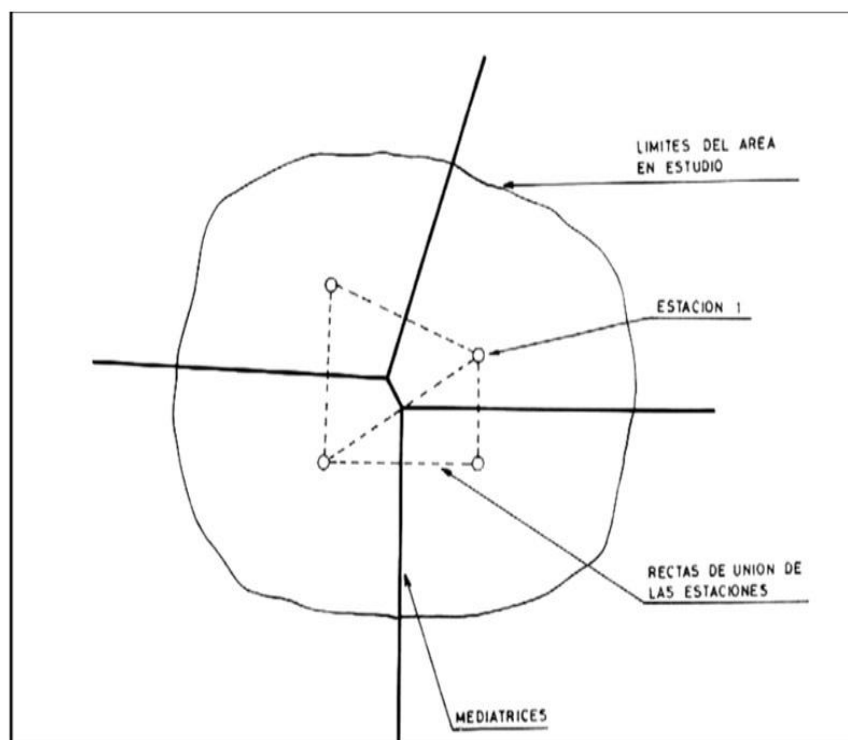
$$p = \frac{p_1a_1 + p_2a_2 + p_3a_3 + \dots + p_n a_n}{a_1 + a_2 + \dots + a_n}$$

Siendo:

P_i : Las precipitaciones registradas en diferentes lugares.

a_i : El área de influencia correspondiente a cada estación de registro.

Figura 10. Polígonos de Thiessen



Fuente: SIANEC (Sistema Integral ANEC)

iii. Curvas Isoyetas:

Al igual que en un estudio topográfico se define las curvas de nivel como la unión de puntos que se encuentran a una misma altura respecto del nivel del mar, una “isoyeta” se define como la unión de puntos que tienen la misma precipitación, y estas forman una línea continua, como lo representa la Figura 11. Para este método, se trazan las Isoyetas de una zona y se calcula el área entre ellas.

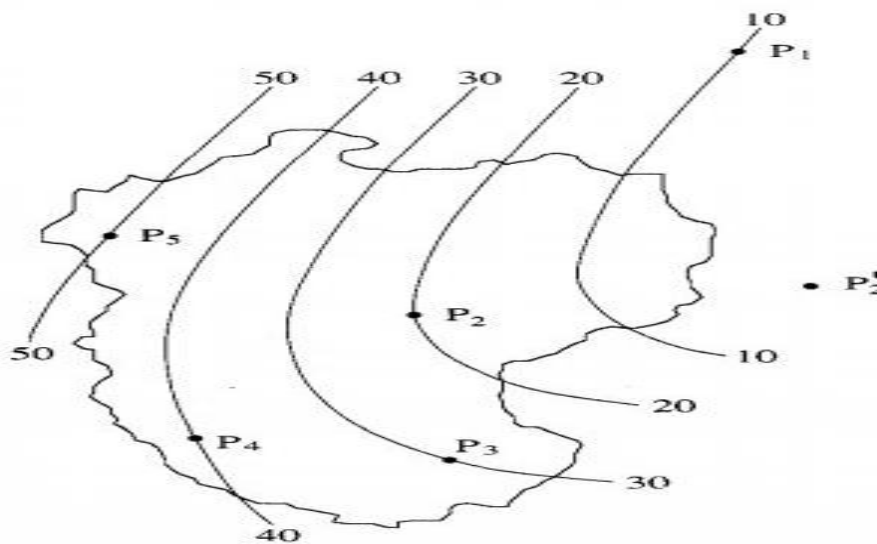
$$p = \frac{\frac{p_0 + p_1}{2} a_1 + \dots + \frac{p_{n-1} + p_n}{2} a_n}{a_1 + a_2 + \dots + a_n}$$

Dónde:

P_i : Las precipitaciones registradas en diferentes lugares.

a_i : El área de influencia correspondiente a cada estación de registro.

Figura 11. Representación de Isoyetas



Fuente: (Chow, 1994)

3.3.3 Precipitación Máxima en 24 horas

Para L.L. Weiss (1964), existe una relación lineal entre las precipitaciones máximas diarias y las precipitaciones máximas en 24 horas, esto independiente de la región de análisis y de la función probabilística a la que pertenezca la serie de datos. Sin embargo, en base a los estudios realizados por su persona, de miles de estaciones analizadas, concluyó que los resultados de un análisis probabilístico de precipitaciones máximas anuales o diarias, comprendidas en un periodo de 24 horas, multiplicadas por un factor equivalente a 1.13 darán como resultado precipitaciones máximas verdaderas. Posteriormente la Organización Meteorológica Mundial (OMM) asevero este postulado dando credibilidad a este factor.

3.3.4 Análisis de Tormenta

Una tormenta, esta definido por el conjunto de lluvias que siguen el mismo patrón de alteraciones meteorológicas con características definidas (Villón Béjar, 2002). Dentro de estas características tenemos, la precipitación, intensidad y duración de una tormenta. La tormenta puede durar minutos, horas e inclusive días, abarcando extensiones variables de una zona (pequeñas y grandes).

El estudio de una tormenta es importante en obras de ingeniería hidráulica para determinar los diferentes parámetros que engloban un buen diseño de infraestructura y a la vez tener en cuenta las características propias de una zona para prevenir eventos extremos (fenómenos naturales)

Dentro de este margen, conocer estos parámetros es fundamental previo a cualquier desarrollo de un proyecto hidráulico. Estos dependerán de la magnitud de la tormenta (intensidad) y la frecuencia con la cual se presenta. Dentro de ellos tenemos:

- Análisis del drenaje de la cuenca a nivel macro y micro
- Calcular los caudales máximos para realizar el diseño de aliviaderos, represas o control de torrentes.
- Conocer los parámetros para el diseño de canales
- Conservación de suelos
- Diseñar las dimensiones geométricas de alcantarillas
- Determinar parámetros de erosión de un cauce, para la proyección de un puente

Elementos de análisis de una tormenta

Según Chereque 1989, los elementos que se deben tener en cuenta para el estudio de tormentas, se mencionan a continuación:

- *Intensidad*

La intensidad está definida como la cantidad de agua caída por unidad determinada de tiempo. Lo que se busca es conocer la intensidad máxima producida por la tormenta, es decir la mayor altura de precipitación registrada en un lapso determinado de tiempo (Chereque Wender, 1989). La intensidad máxima viene dada por la siguiente ecuación.

$$I_{max} = \frac{P}{t}$$

En donde:

I_{max}: Intensidad máxima de la tormenta en mm/hr

P: precipitación en mm

t: Periodo de tiempo registrado en horas

- *Duración*

La duración es el tiempo medido desde el inicio a fin de la tormenta, ya sea en minutos u horas. De igual manera el Periodo de Duración (PD) se define como un determinado periodo de tiempo dentro del total de la tormenta. Se toman periodos característicos como 10 min, 30 min, 60 min (1 hr), 90 min (1.5 hr), 120 min (2 hr), 240 min (4 hr) (Villón Béjar, 2002). Este parámetro es de gran importancia para calcular la intensidad máxima de la tormenta, es decir se determina las intensidades para cada periodo de duración establecido

Cabe mencionar que tanto la intensidad, como la duración de la tormenta se obtiene de la interpretación de un pluviograma.

- *Frecuencia*

Según Máximo Villón, 2002, la frecuencia está definido por el número de veces que ocurre una tormenta con características de intensidad y duración definidas en un lapso considerable (años) de tiempo.

- *Periodo de Retorno*

Es el intervalo de tiempo, en el cual una tormenta de magnitud conocida X es igualada o superada al menos una vez en promedio.

Del mismo modo el periodo de retorno, se define como el inverso de la frecuencia, y se define como $Tr = 1/f$

Hietograma y Curva Masa de Precipitación

Uno de los fines por el que se estudia el comportamiento de las tormentas es para determinar las variaciones de estas en el tiempo, ya que de estas variaciones va a depender el diseño de las infraestructuras que se proyectaran. Estas variaciones se podrán interpretar con la ayuda de los hietogramas y la curva masa de precipitación.

Un hietograma se define como la representación de la variación de la intensidad en expresada en mm/hh de una tormenta, a medida que el tiempo transcurre, este último expresado en

minutos u horas. Este grafico nos permite ver de manera fácil la hora a la cual se produce la máxima intensidad de la tormenta y cual es dicho valor (Villón Béjar, 2002).

La ecuación que representa matemáticamente al hietograma es el siguiente:

$$I = \frac{\delta P}{\delta t}$$

Donde:

I: Intensidad

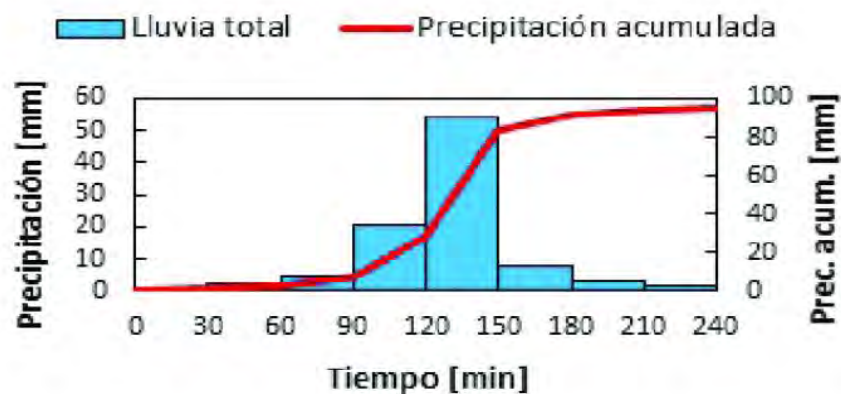
δP : Variación de la precipitación

δt : Variación del tiempo

Por otro lado, en la Figura 12 se muestra un ejemplo de la curva de masa acumulada, la cual representa la precipitación acumulada en el tiempo; dicha información se extrae directamente del pluviograma. La tendencia de la curva crece a lo largo del tiempo, y la tangente en cualquier punto de la curva, viene a representar la intensidad instantánea en dicho punto. Esta curva, se representa mediante la siguiente ecuación.

$$P = \int_0^t f(I) \delta t$$

Figura 12. Hietograma y Curva Masa de un evento en intervalo de 30 min



Fuente: (Roberto J. Marín, 2017)

Curvas de Intensidad – Duración – Frecuencia (I-D-F)

Las curvas IDF, representadas en la Figura 13, son herramientas de gran ayuda para el diseño de estructuras hidráulicas basadas en modelación lluvia – escorrentía. Estas permiten calcular la intensidad de diseño, para una probabilidad de no excedencia y para una duración

determinada. Al analizar una zona de escasas de información pluviográfica, es necesario recurrir a información pluviográfica de lugares cercanos con el similar comportamiento para poder calcular estas curvas (Poveda, 2008). Debido a ello existen muchos métodos para calcular la tendencia de estas curvas.

A manera general, según Ven Te Chow (1994), la intensidad está dada por la tasa temporal de altura de agua (precipitación), y se expresa de la siguiente manera:

$$i = P/Td$$

Siendo:

i: Intensidad (mm/hr)

P: altura de precipitación (mm)

Td: duración en horas (hr)

Cabe mencionar que cuando solo se cuenta con una estación pluviométrica, se debe tener en cuenta que se puede caer en errores, debido que, al contar con una sola estación, solo se obtiene la intensidad media en 24 horas, puesto que las lluvias de corta duración son las más intensas. Por ende, en estos casos es recomendable trabajar con la información de un pluviograma para obtener las intensidades.

Talbot propone una formula empírica para relacionar la intensidad máxima y la duración, para un periodo de retorno establecido (Villón Béjar, 2002), y se expresa así:

$$I_{max} = \frac{a}{b + D}$$

En donde:

I_{max}: Intensidad máxima (mm/hr)

a y *b* : Parámetros que dependen de la ubicación y el periodo de retorno

D: Duración de la precipitación (min)

Los parámetros *a* y *b* se determinan a partir de una lineación previa de la ecuación, es decir transformar la ecuación, para posteriormente determinarlas mediante regresión lineal.

En el supuesto que no se cuente con información pluviográfica para determinar las intensidades en la zona de análisis, o que las tormentas tengan una duración menor a una hora, Dick Peschke

propone una metodología para calcular las intensidades (Guevara, 1991), la cual se muestra a continuación:

$$P_d = P_{24h} \left(\frac{d}{1440} \right)^{.25}$$

En donde:

P_d : Precipitación total (mm)

d : Duración (min)

P_{24h} : Precipitación máxima en 24 horas

La intensidad es determinada a partir de la relación de la precipitación P_d entre la duración d establecida. Las curvas están representadas de la siguiente manera:

$$I = \frac{K T^m}{t^n}$$

En donde:

I : Intensidad máxima (mm/hr)

K, m, n : Factores según la zona de análisis

T : Periodo de Retorno en años

t : Duración de la precipitación (min)

Los parámetros k, m y n son constantes de regresión múltiple, y se calculan previa determinación de la precipitación máxima con la ecuación de Dick Peschke. Para ello se toma los logaritmos de la ecuación anterior antes de aplicar la regresión lineal.

$$\text{Log } I = \log k + m \log T - n \log D$$

$$y = a_0 + a_1 X_1 + a_2 X_2$$

Donde:

$y = \text{Log } I$

$a_0 = \text{Log } K$

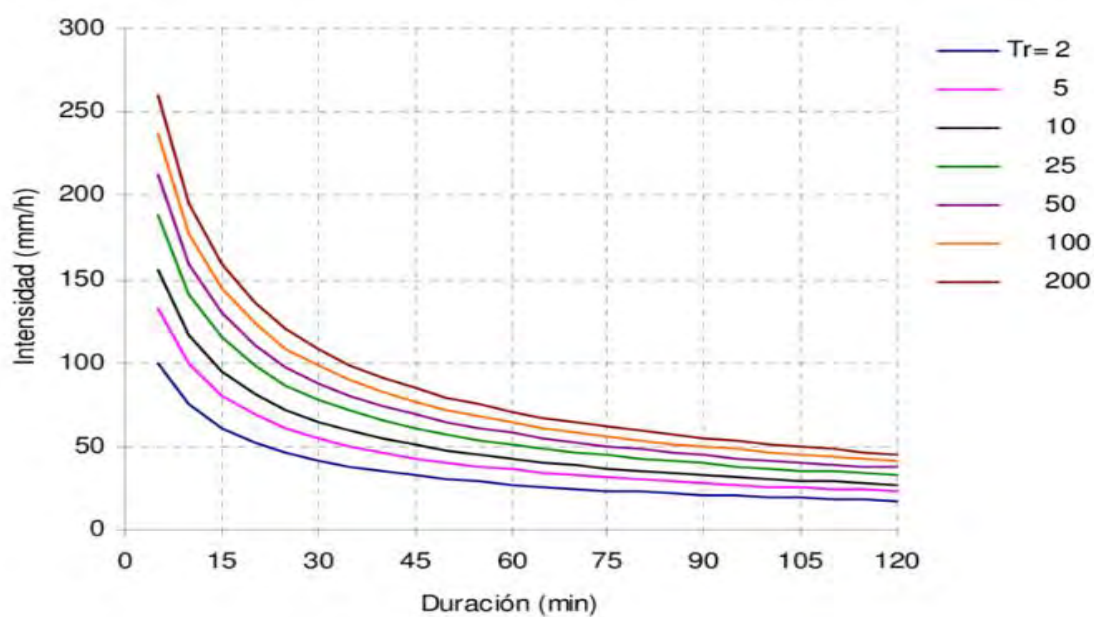
$$X_1 = \text{Log } T$$

$$a_1 = m$$

$$X_2 = \text{Log } D$$

$$a_2 = -n$$

Figura 13. Representación de Curva I D F



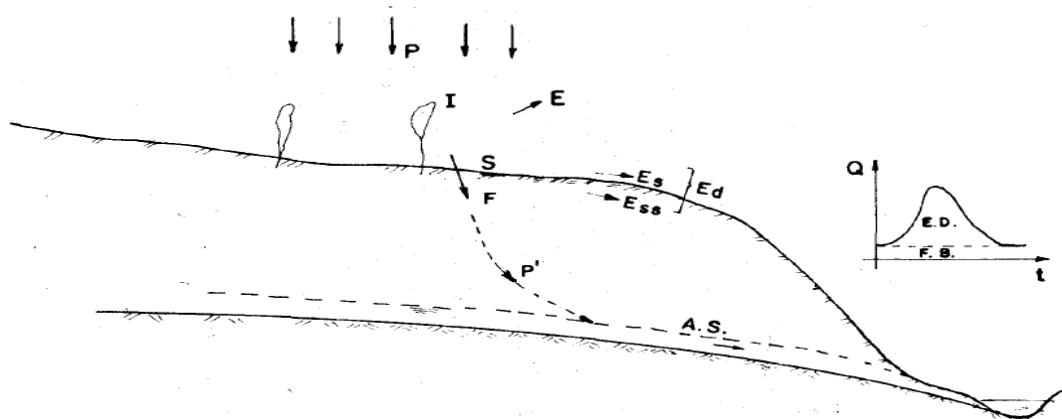
Fuente: (Maza, 2008)

3.4 ESCORRENTÍA

La escorrentía está definida por el exceso de precipitación que no logra infiltrarse en el suelo y fluye a través de la cuenca. El estudio de este tema, es muy importante para la planificación de recursos hídricos y para el diseño de obras.

La circulación de agua recorriendo un cauce, se puede dividir en dos partes, la escorrentía directa (superficial y su superficial) y flujo subterráneo (flujo base). El ciclo de escorrentía se define de la siguiente manera:

Figura 14. Distribución de agua de lluvia



Fuente: (Chereque Wender, 1989)

También se define la ecuación de balance hídrico de la siguiente manera:

$$P = Pn + I + S + E + F$$

Donde:

P: Precipitación total.

Pn: Escorrentía directa

I: Interceptación

S: Almacenamiento Superficial

E: Evaporación

F: Infiltración

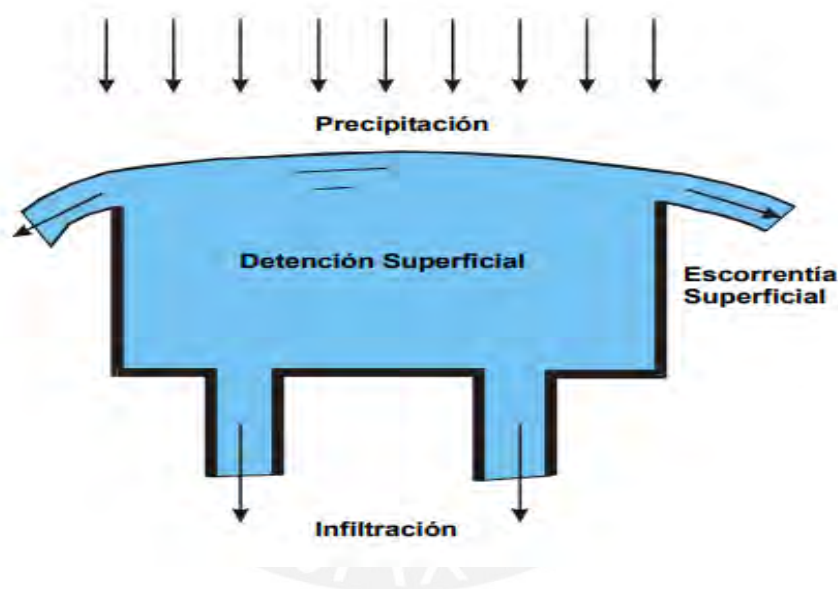
3.5 INFILTRACIÓN

Se entiende por infiltración, al proceso por el cual el agua se introduce a través de del suelo, hacia el interior de la superficie de la tierra, llegando en algunos casos a formar parte del flujo subterráneo de agua. Al hablar de filtración, es necesario hacer mención al término de percolación, ya que ambos están estrictamente ligados. Por ende, también se define a la percolación, como el movimiento del flujo de agua dentro del suelo (Kohler Poulus, 2008).

Cuando se generan grandes lluvias, el exceso de precipitaciones colmata la superficie de suelo, a tal punto de formar una fina capa de agua, en donde al no poder infiltrarse se genera la Escorrentía Superficial (Kohler Poulus, 2008).

En la Figura 15 se puede observar cómo se comporta el flujo de agua, frente a un evento de precipitaciones. Aquí se puede ver que un exceso de agua tiende a generar una escorrentía y también se puede observar que esto conlleva a una infiltración en el suelo. Esta infiltración dependerá básicamente de las propiedades hidrodinámicas del terreno, tal es el caso de la porosidad y permeabilidad. Por eso es necesario conocer el tipo de suelo, el tipo de cobertura vegetal y el contenido de materia orgánica.

Figura 15. Representación del mecanismo de infiltración



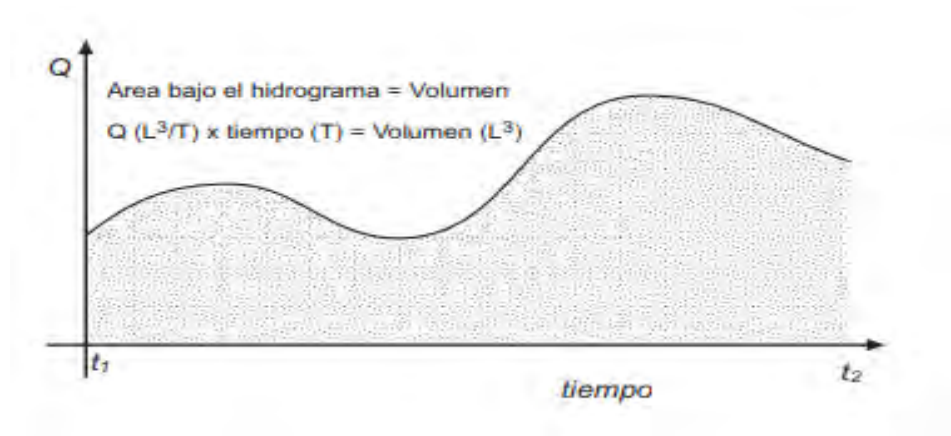
Fuente: Libro de Hidrología para Ingenieros

3.6 HIDROGRAMAS

Un hidrograma es la representación gráfica, ejemplificada en la Figura 16, que relaciona las variaciones de un caudal, ya sea de aumento o disminución, para cualquier instante de tiempo determinado. El área que se encuentra por debajo de la curva, representará el volumen total de fluido en un determinado lapso de tiempo a analizar. (Roman, 2017)

Cabe mencionar que se conoce como Hidrograma Unitario a la respuesta de una cuenca frente a una precipitación efectiva para una lámina unitaria, siendo esta distribuida de manera uniforme a lo largo de toda la cuenca en un lapso de tiempo determinado. Esta teoría desarrolla el supuesto de que la cuenca es un sistema lineal que no varía en el tiempo, en lo que se refiere a precipitación y a escurrimiento directo (Sherman, 1932).

Figura 16. Representación de un hidrograma



Fuente: (Roman, 2017)

3.7 CAUDALES MÁXIMOS

Los diferentes autores dan por entendido que los caudales máximos se definen como la mayor cantidad de volumen de agua que pasa por determinado punto de control, siendo la crecida máxima probable que contempla todos los factores necesarios para que ello ocurra.

Los caudales máximos son de gran utilidad para analizar posibles inundaciones, diseñar estructuras hidráulicas tales como presas, alcantarillas, canales, etc. Sin embargo, estos caudales máximos son calculados mediante diferentes métodos, dependiendo básicamente de la información hidrometeorológica con la se cuente (Villón Béjar, 2002).

3.7.1 Método Directo

También conocido como método hidráulico, de sección y pendiente. En este caso el caudal se calcula una vez dada la avenida, mediante datos obtenidos en campo, en otras palabras, es un método in situ que involucra evaluaciones en un tramo específico del cauce que sea representativo y en donde se vea que las condiciones del nivel de agua sean notorias (Villón Béjar, 2002).

3.7.2 Método Empírico

Para (Villón Béjar, 2002) existe una gran variedad de este tipo de método, y en su mayoría todos son derivados del método racional. Sin embargo, hay una gran incertidumbre con respecto los resultados obtenidos de ellos, ya que, según Villón, es muy complicado poder resumir el comportamiento de escurrimiento de una cuenca simplemente aplicando ecuaciones que involucre básicamente los parámetros geométricos y factores de escurrimiento. Entre los métodos empíricos más usados tenemos al Método Racional y al Método Mac Math.

Método Racional

Este es un método antiguo y su uso ha sido generalizado en todo el mundo, teniendo sus limitaciones, y entre ellas que se usa para cuencas pequeñas con un área que no exceda los 13 km². Este se basa en la suposición de que la escorrentía máxima generada por una precipitación, se produce cuando la duración de la tormenta es igual al tiempo de concentración (t_c). (Fattorrelli & Fernandez, 2011)

Método Mac Math

Como se mencionó anteriormente, en la mayoría de los casos, el resto de métodos son variantes del Racional, tal es el caso del Método Mac Math; simplemente realizando variantes en las fórmulas, dando lugar a los factores de escorrentía representativas de cada cuenca. (Fattorrelli & Fernandez, 2011)

3.7.3 Método Curva Número

Este es un método desarrollado por el Servicio de Conservación de los Suelos (SCS) de los Estados Unidos, usando varias cuencas experimentales. Su principal aplicación es la de calcular caudales máximos de escorrentías a partir de precipitaciones y otros parámetros de la cuenca, y tiene ventajas sobre el método racional, ya que nos permite analizar cuencas de tamaño medio y pequeño.

El nombre del método hace alusión a las curvas que llevan como indicador un número N que varía desde 1 a 100, en donde un $N = 100$ indica que la precipitación escurre sin infiltrarse, es decir sin pérdidas; y un $N = 1$ nos dice que toda la lluvia se infiltra en el terreno; es así que la curva número viene a ser un coeficiente de escorrentía (Villón Béjar, 2002).

Según Béjar, La teoría de este método se explica con las siguientes ecuaciones:

$$\frac{F}{S} = \frac{Q}{Pe}$$

En donde:

F = Infiltración real acumulada

S = Infiltración potencial máxima

Q = Escorrentía total acumulada

Pe = Escorrentía potencial o exceso de precipitación.

A su vez, se define:

$$Pe = P - Ia$$

$$F = Pe - Q$$

Donde P es la precipitación y también, “ Ia ” es la precipitación que se acumula hasta que la escorrentía empieza. A su vez, los desarrolladores de este método, basándose en una gran cantidad de casos experimentales obtuvieron la relación $Ia = 2S$, siendo aceptable para situaciones promedio.

Remplazando todas estas equivalencias, se obtiene lo siguiente:

$$Q = \frac{(P - 0.2S)^2}{P + 0.8S}$$

Esta vendría a ser la ecuación principal del método, en donde las unidades de P y S son las mismas que las de Q , además existe una relación entre el número de curva y S mediante la siguiente ecuación.

$$S = \frac{100}{CN} - 10 \text{ (pulg.)}$$

En este caso S está en pulgadas, para utilizar el valor en centímetros se usa la siguiente ecuación:

$$S = \frac{2540}{CN} - 25.4 \text{ (cm)}$$

Como se mencionó anteriormente, CN es un factor de escorrentía y está relacionado con las condiciones del suelo y los usos agrícolas a los que están destinados, es por ello que se clasifican en 4 grupos hidrológicos yendo desde A hasta D, siendo el primero zonas con un potencial de escorrentía mínimo y el último una zona con alto potencial de escurrimiento. Del mismo modo, existen otros factores para poder asignar un valor de CN, como por ejemplo la cobertura vegetal, cuyos valores se muestran en la Tabla 4, siendo una condición hidrológica.

Tabla 4 Condición Hídrica

| Cobertura Vegetal | Condición Hidrológica |
|--------------------------|------------------------------|
| Mayor al 75% del Área | Buena |
| Entre 50% y 75% del Área | Regular |
| Menor al 50% del Área | Pobre |

Fuente: (Villón Béjar, 2002)

A continuación, en la Tabla 5, se presenta los Números de Curva de escorrentía usados por el Manual de Hidrología del Perú según su condición:

Tabla 5 Curva Número para zonas con diferente cobertura Vegetal

| DESCRIPCIÓN DEL USO DE LA TIERRA | GRUPO HIDROLÓGICO DEL SUELO | | | |
|--|------------------------------------|----|----|----|
| | A | B | C | D |
| Tierra cultivada1: sin tratamientos de conservación | 72 | 81 | 88 | 91 |
| con tratamiento de conservación | 62 | 71 | 78 | 81 |
| Pastizales : condiciones pobres | 68 | 79 | 86 | 89 |
| condiciones óptimas | 39 | 61 | 74 | 80 |
| Vegas de ríos : condiciones óptimas | 30 | 58 | 71 | 78 |
| Bosques : troncos delgados, cubierta pobre, sin hierbas, | 45 | 66 | 77 | 83 |
| cubierta buena2 | 25 | 55 | 70 | 77 |
| Áreas abiertas, césped, parques, campos de golf, cementerios, etc. | 39 | 61 | 74 | 80 |
| óptimas condiciones: cubierta de pasto en el 75% o más | 49 | 69 | 79 | 84 |
| condiciones aceptables cubierta de pasto en el 50 al 75% | | | | |
| Áreas comerciales de negocios (85% impermeables) | 89 | 92 | 94 | 95 |
| Distritos Industriales /72% impermeables) | 81 | 88 | 91 | 93 |
| Residencial: | | | | |
| Tamaño promedio del lote Porcentaje promedio | 77 | 85 | 90 | 92 |
| impermeable | 61 | 75 | 83 | 87 |
| 1/8 acre o menos | 57 | 72 | 81 | 86 |
| | 65 | | | |

| | | | | | |
|--|----|----|----|----|----|
| 1/4 acre | 38 | 54 | 70 | 80 | 85 |
| 1/3 acre | 30 | 51 | 68 | 79 | 84 |
| 1/2 acre | 25 | | | | |
| 1 acre | 20 | | | | |
| | | | | | |
| Parqueadores pavimentados, techos, accesos, etc. | 98 | 98 | 98 | 98 | 98 |
| | | | | | |
| Calles y carreteras: | | | | | |
| Pavimentadas con alcantarillados y cunetas | 98 | 98 | 98 | 98 | 98 |
| Grava | 76 | 85 | 89 | 91 | 91 |
| Tierra | 72 | 82 | 87 | 89 | 89 |

Fuente: (Chow, 1994)

- Grupo A: Suelos arenosos profundos que fueron depositados por el viento, con una tasa de infiltración elevada, es decir con un potencial de escorrentía bajo.
- Grupo B: Suelos poco profundos con una moderada tasa de infiltración, están compuesto por suelos moderadamente finos como la marga arenosa.
- Grupo C: Suelos de bajo contenido orgánico y con alto contenido de arcilla, estos tienen una baja tasa de infiltración.
- Grupo D: Suelos expansivos frente a la presencia de agua, como acillas altamente plásticas y suelos salinos. Estos tienen un gran potencial de escurrimiento con tasas de infiltración muy bajas, por lo que la transmisión del agua también es baja.

3.8 TIEMPO DE CONCENTRACIÓN

El tiempo de concentración está involucrado en el cálculo de la relación precipitación y escorrentía, y está definida por el tiempo transcurrido desde que la precipitación se presenta en la parte más alta de la cuenca, hasta recorrer todo el cauce principal de la misma y llegar a la desembocadura (Aparicio Mijares, 1992). Este parámetro depende de muchos factores tales como la forma geométrica de la cuenca, su área, la pendiente, el suelo y sus características, etc.

Además, es de suma importancia conocer este parámetro, ya que, en los modelos más convencionales utilizados, se asume que el tiempo de concentración de la cuenca es igual a la duración de la tormenta, pues durante este lapso de tiempo, se produce todo el proceso de escorrentía y por ende se generan los caudales máximos.

Según del Manual de Hidrología propuesto por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC), basándose en el Soil Conservation Service (SCS), las fórmulas más usadas en el Perú son las siguientes:

3.8.1 Fórmula de Kirpich

$$t_c = 0.0195 \cdot \frac{L^{0.77}}{S^{0.385}}$$

Siendo:

t_c : Tiempo de concentración (min)

L : Máxima longitud de recorrido (m)

S : Pendiente media de cuenca (m/m)

3.8.2 California Culverts Practice

Básicamente es la misma presentación de la ecuación anterior, solo que en este caso es utilizada para cuencas más pequeñas.

$$t_c = 0.0195 \cdot \left(\frac{L^3}{H} \right)^{0.385}$$

Donde:

t_c : tiempo de concentración (min)

L : Máxima longitud de recorrido (m)

H : Variación de altura entre los puntos extremos del canal principal (m)

3.8.3 Fórmula de Temez

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

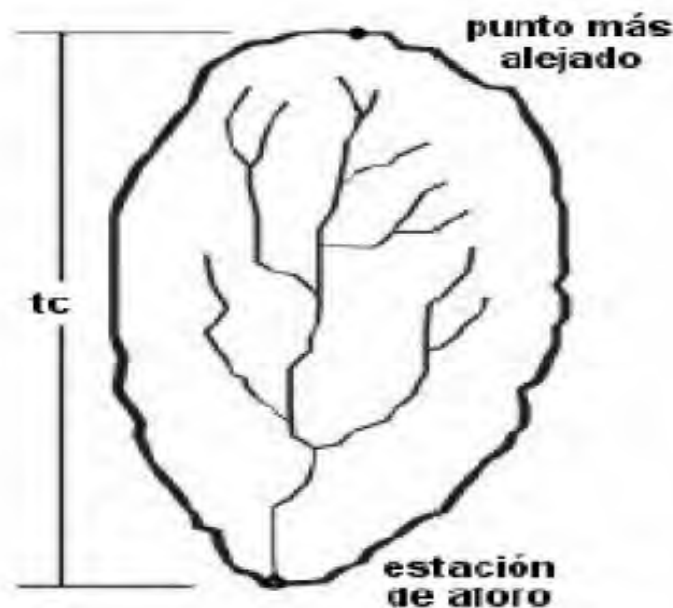
Donde:

t_c : Tiempo de concentración (hr)

L : Máxima longitud de cauce principal (Km)

S: Pendiente media de cuenca m/m

Figura 17. Representación gráfica del Tiempo de Concentración



Fuente: (Chow, 1994)

3.9 TRÁNSITO DE AVENIDAS

En época de altas lluvias, el cauce de los ríos tiende a sufrir un incremento, es decir aumenta su caudal natural. Este aumento no uniforme del caudal, hace que se generen ondas de crecimiento, los cuales son definidas como tránsito. Estas ondas son variadas y van cambiando aguas abajo. Sin embargo, analizar este fenómeno tiene muchas limitaciones y es muy complejo debido a las condiciones naturales. La teoría para estudiar el flujo transitorio no uniforme fue planteada por Saint Venant en 1871, pero requiere de un análisis complejo y muy detallista del caso, es por eso que se han desarrollado algunos métodos para simplificar el análisis de las ecuaciones, pero a la vez obtener resultados factibles para obtener las características más importantes del incremento de flujo. (Chow, 1994)

El tránsito de avenidas es un procedimiento matemático que tiene como finalidad determinar el cambio de intensidad, velocidad y flujo de las ondas mediante los hidrogramas de crecidas, ya sea en uno o varios puntos del recorrido del cauce, y está basado en la ecuación de continuidad.

$$I + O = \frac{\Delta s}{\Delta t}$$

De esta expresión, asumiendo dos instantes de tiempo, tanto para la entrada como salida tendremos lo siguiente:

I1: Entrada tiempo 1

I2: Entrada tiempo 2

O1: Salida tiempo 1

O2: Salida tiempo 2

$$\frac{I1 + I2}{2} - \frac{O1 + O2}{2} = \frac{S2 - S1}{\Delta t}$$

$$\frac{I1 + I2}{2} - O1 = \frac{O1 + O2}{2} + \frac{S2 - S1}{\Delta t} - O1$$

$$\frac{I1 + I2}{2} - O1 = \left(\frac{O2}{2} + \frac{S2}{\Delta t}\right) - \left(\frac{O1}{2} + \frac{S1}{\Delta t}\right)$$

$$\frac{I1 + I2}{2} - O1 = N2 - N1$$

Por lo tanto, se define:

$$N = \frac{O}{2} + \frac{2S}{\Delta t}$$

$$2N = N' = O + \frac{2S}{\Delta t}$$

También se puede deducir lo siguiente:

$$I1 + I2 = O1 + O2 + 2 \times \left(\frac{S2 - S1}{\Delta t}\right) = O1 + O2 + \frac{2S2}{\Delta t} - \frac{2S1}{\Delta t}$$

Despejando:

$$\frac{2S2}{\Delta t} + O2 = I1 + I2 + \frac{2S1}{\Delta t} - O1$$

Por lo tanto, de manera generalizada

$$\frac{2S_i}{\Delta t} + O_i = (I_{i-1} + I_i) + \frac{2S_{i-1}}{\Delta t} - O_{i-1}$$

3.10 RESERVORIOS

Los reservorios desempeñan muchas funciones frente a problemas relacionados con temas hídricos e hidráulicos. Estos garantizan el suministro de agua para el consumo y el riego. Sin embargo, también son usados para el control de caudal con la misión de reducir las inundaciones (Morelli Tucci, 2007).

La ventaja de los reservorios o depósitos de detención como son conocidos en Brasil, pueden tener también un carácter multifuncional, agregando áreas verdes y de diversión. Las ventajas que podemos encontrar pueden ser que después de construidos causan poca interferencia en el tráfico, facilitan su limpieza y reducen su costo, ya que los sedimentos y basura arrastrados por la lluvia se concentran en único punto y redundando, almacenan grandes cantidades de agua (Associação Brasileira de Cimento Portland, 2012).

Por otro lado, la implementación de estos reservorios, solamente para el control de inundaciones, sin la integración de otros usos potenciales como canchas de deporte o áreas de ocio, pueden conducir a la no aceptación de la medida por parte de los pobladores cerca de la zona, debido a la ausencia de mantenimiento planificado y continuo, así como la deficiencia en el adecuado saneamiento (Associação Brasileira de Cimento Portland, 2012).

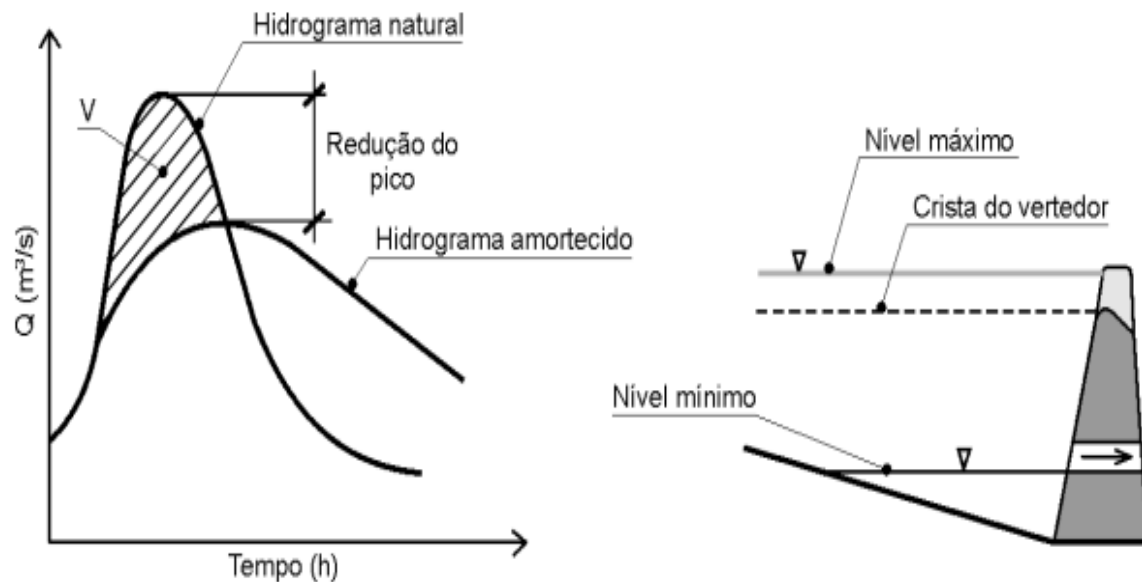
Tomando en cuenta estos factores, se puede decir que la construcción de los reservorios, pueden adecuadas en cuencas hidrográficas urbanas altamente impermeabilizadas, cuencas en donde ocurren grandes inundaciones y generan grandes daños materiales y pérdidas humanas o en áreas de terrenos sin uso o de degradación, pues esto permitiría contar con zonas de áreas verdes y de ocio, valorizando así la zona en mención.

3.10.1 Hidrogramas naturales con y sin reservorio

El reservorio de control de avenidas, funciona reteniendo el volumen de agua que se genera en la época de avenidas, reduciendo el caudal de salida, previniendo así los daños aguas abajo de la estructura. En la Figura 18 puede observar la reducción del pico de caudal, entre el hidrograma natural (sin reservorio) y el hidrograma amortiguado. Se nota, que con la ayuda del

embalse se reduce el caudal de salida, evitando así un desfogue violento que puede ocasionar daños (Morelli Tucci, 2007).

Figura 18. Efectos de usar un reservorio como medida de mitigación de inundaciones



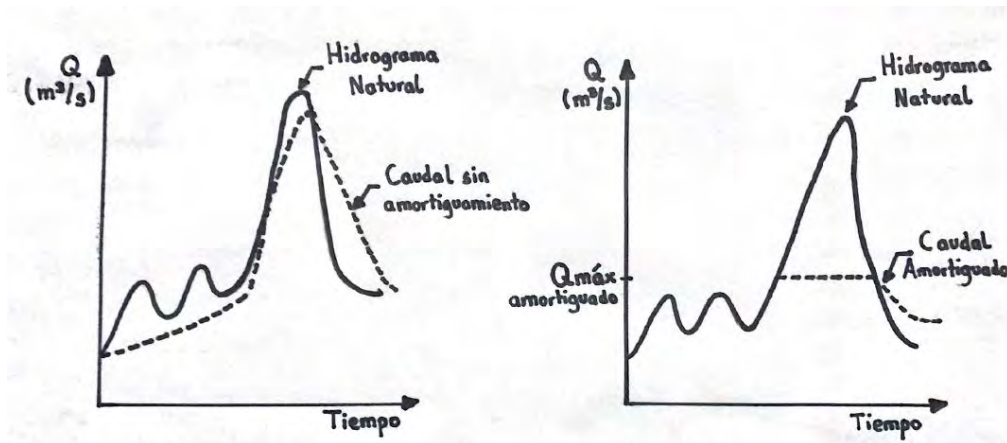
Fuente: Morelli Tucci, 2006

3.10.2 Tipos de reservorios

Existen diferentes tipos de reservorios, según la función a las que estarán destinadas y al uso que tendrán en cada proyecto. Entre ellos se puede encontrar reservorios sin control y con control.

Un reservorio con control, es aquel que cuenta con compuertas de fondo, o una vertiente en la parte superior, que permiten utilizar el volumen disponible para controlar las crecidas. Este tipo de reservorios tendrá una mayor eficiencia a la hora de amortiguar el caudal de salida a comparación de un reservorio sin control, ya que este último almacenará un volumen de agua tal que no supere las condiciones del vertedero libre (Morelli Tucci, 2007). Esto se aprecia en la Figura 19.

Figura 19. Operación de reservorio con y sin control



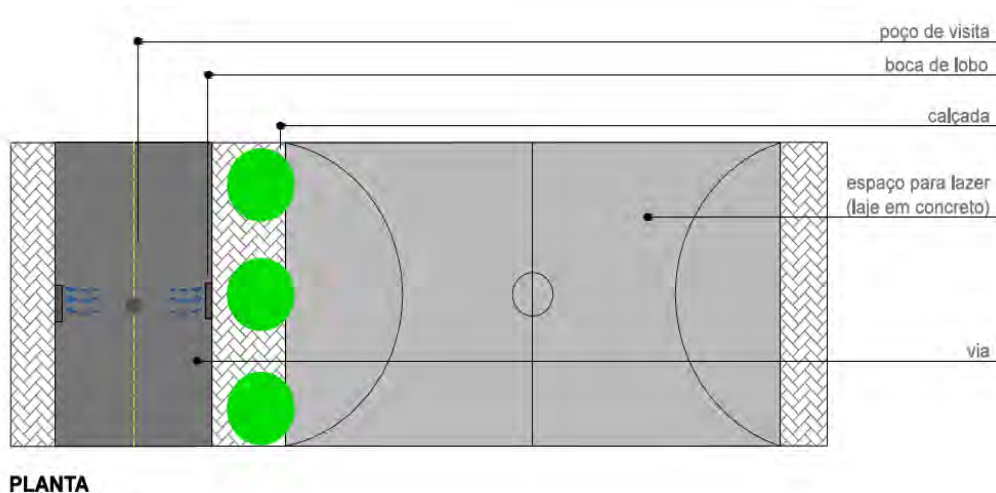
Fuente: Morelli Tucci

Además de lo mencionado anteriormente, se definen dos tipos más de reservorios según su forma, y estas dependerán básicamente de las condiciones de entorno a las cuales estarán destinadas, es decir, dependerán de la zona y de la ocupación que se le otorgue a cada estructura. Cabe mencionar que estas estructuras hidráulicas, han sido usadas en países latinoamericanos como Argentina y Brasil, siendo de mayor representación para este último. Se tienen los siguientes reservorios:

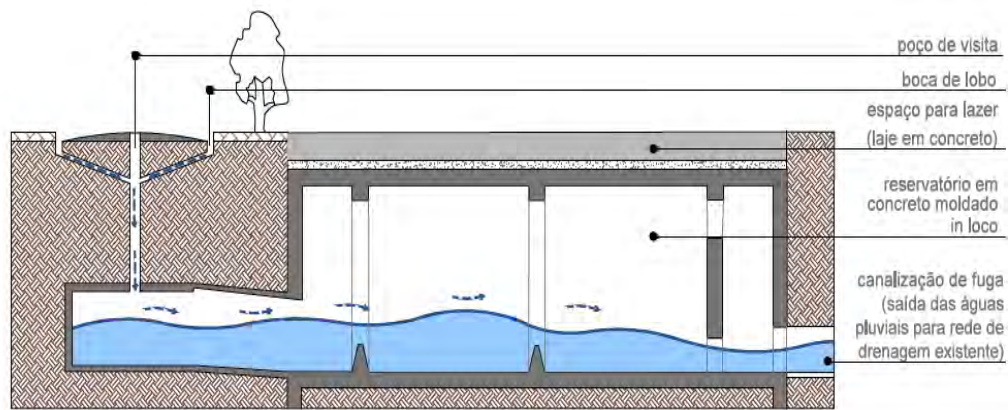
- Reservorio de control subterráneo o cubierto

Este tipo de reservorio se usa en zonas urbanas en donde no existen áreas disponibles para poder implementar los reservorios de techo abierto. La superficie de esta estructura puede ser usada como área para realizar actividades públicas o privadas.

Figura 20. Reservorio cubierto



PLANTA



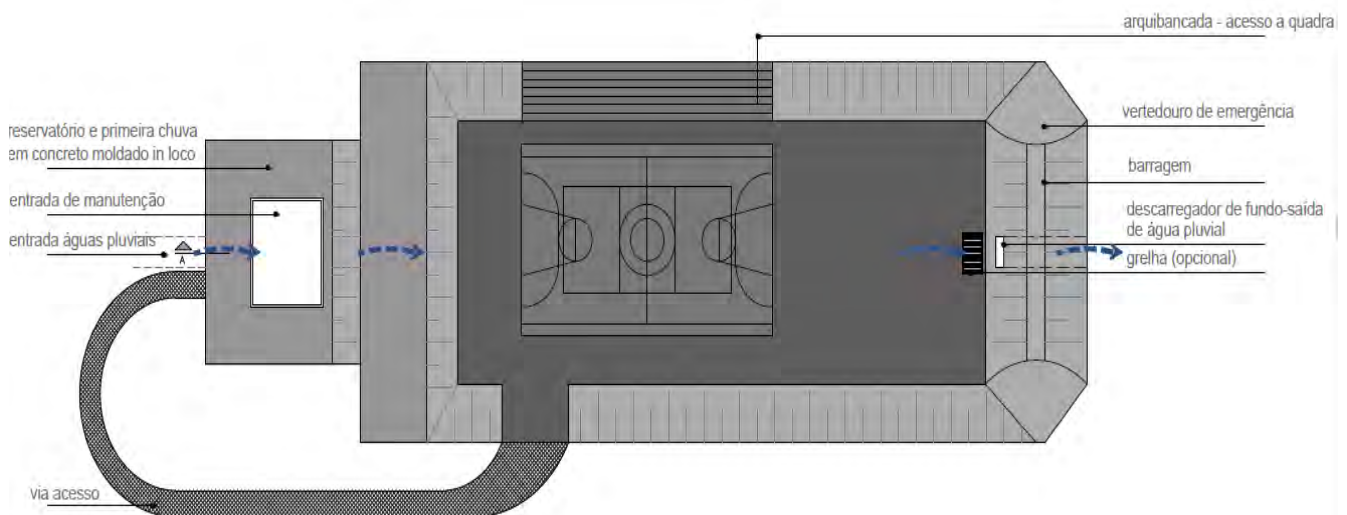
CORTE

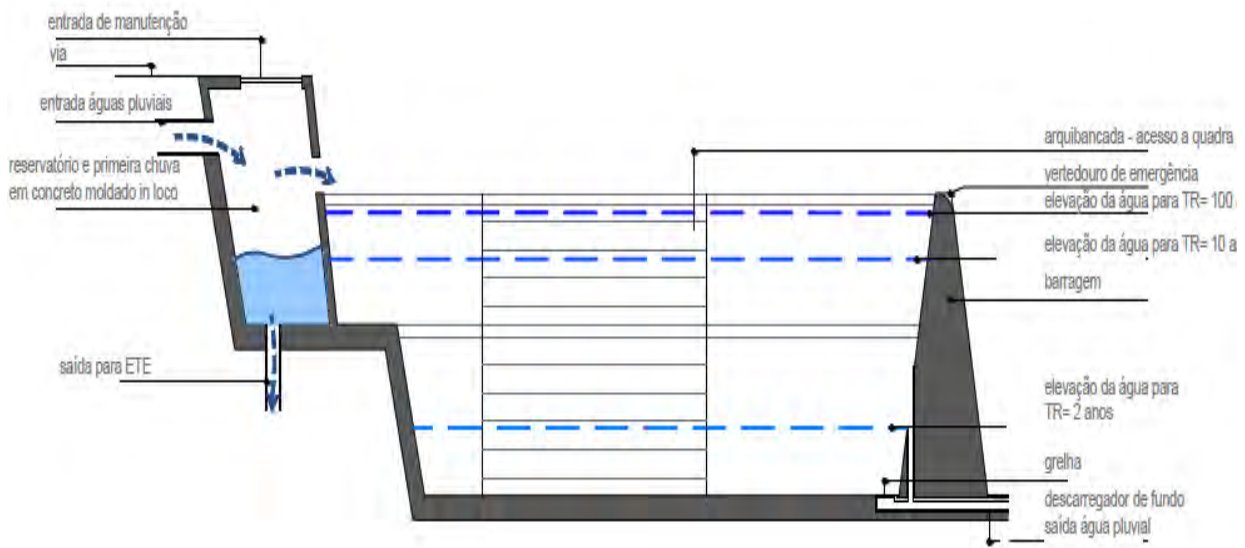
Fuente: (SUDERHSA, 2002)

- Reservorio de control de techo abierto.

Este tipo de reservorios son implementados en zonas donde existan áreas disponibles para desarrollar su construcción.

Figura 21. Reservorio Descubierto





Fuente: (SUDERHSA, 2002)

3.10.3 Clasificación de Reservorios

- Reservorio en serie:

Son aquellos reservorios que se encuentran ubicados en el cauce principal de la cuenca o sistema de drenaje, representada en la Figura 22.

Figura 22. Reservorio en serie

FLUXO DO CORPO D'ÁGUA



RESERVATÓRIO EM SÉRIE



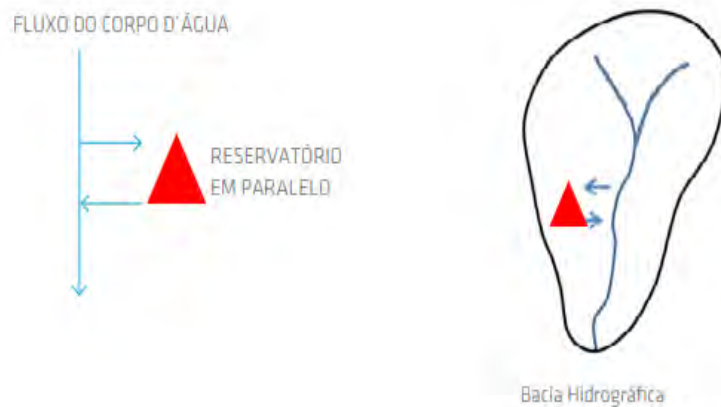
Bacia Hidrográfica

Fuente: (Associação Brasileira de Cimento Portland, 2012)

- Reservorio en Paralelo:

Estos a diferencia de los anteriores, no están ubicados en el cauce principal del sistema de drenaje, véase en la Figura 23, sino en una desviación alterna para trabajar con un almacenamiento temporario.

Figura 23. Reservorio en paralelo



Fuente: (Associação Brasileira de Cimento Portland, 2012)

3.11 DISTRIBUCIONES PROBABILÍSTICAS

Como se sabe, los datos pluviométricos con los que se trabajan, tienden a ser variables aleatorias discretas o continuas, y es por este motivo que se debe realizar un ajuste a una distribución para tener una mejor calidad de los datos (Aparicio Mijares, 1992).

3.11.1 Función de distribución de probabilidad

Existen muchos tipos de funciones a los cuales se pueden ajustar ciertos eventos aleatorios, por ende, la distribución que mejor se ajuste debe escogerse en función a la estación donde se registran los datos (Fattorrelli & Fernandez, 2011). Para el caso de la cuenca de Huarmey, se trabajará con dos tipos de distribuciones, las cuales a su vez también están entre las más usadas en cuando a trabajar con datos hidrológicos se refiere.

Distribución Pearson Tipo III

La función probabilística utilizada es la siguiente:

$$f(x) = \frac{1}{\alpha_1 \Gamma(\beta_1)} \cdot \left[\frac{x - \delta_1}{\alpha_1} \right]^{\beta_1 - 1} \cdot e^{-\frac{x - \delta_1}{\alpha_1}}$$

Dónde:

$\Gamma(\beta_1)$ Es la función Gamma.

α_1 , β_1 y δ_1 son parámetros evaluados que parten de los datos de intensidad observados, que en nuestro caso se estimaran a partir de la lluvia máxima en 24 horas, a través de las siguientes ecuaciones propuestas:

$$\bar{x} = \alpha_1 \cdot \beta_1 + \delta_1$$

$$S^2 = \alpha_1^2 \cdot \beta_1$$

$$\gamma = \frac{2}{\sqrt{\beta_1}}$$

En donde:

X : Media de todos los datos de entrada

S^2 : Varianza de los datos

γ : Coeficiente de Sesgo, y se define como $\gamma = \sum \frac{(x_i - \bar{x})^3 / n}{S^3}$

La función de probabilidad será:

$$f(x) = \frac{1}{\alpha_1 \Gamma(\beta_1)} \cdot \int_0^x e^{-\frac{x - \delta_1}{\alpha_1}} \left[\frac{x - \delta_1}{\alpha_1} \right]^{\beta_1 - 1} \cdot dx$$

Sustituyendo $y = \frac{x - \delta_1}{\alpha_1}$ en la ecuación anterior, tendríamos:

$$f(x) = \frac{1}{\alpha_1 \Gamma(\beta_1)} \cdot \int_0^x e^{-y} [y]^{\beta_1 - 1} \cdot dx$$

Esta ecuación final es una distribución Chi cuadrada con $2\beta_1$ grados de libertad y además $x^2 = 2y$ por lo que finalmente tendríamos:

$$F(x) = F(x^2|v) = Fx^2(2y| 2\beta_1)$$

Esta función es encontrada en las tablas estadísticas.

Distribución Log Pearson Tipo III

Al tomar los logaritmos de los valores de la distribución Pearson, se obtiene la función Log Pearson Tipo III, y para resolverla se sigue el mismo procedimiento anterior mencionado.

Distribución Gumbel

Se toma una suposición de tener N muestras, de las cuales todos ellos contienen “n” eventos. Si se selecciona el máximo “x” de los “n” eventos de cada muestra, se puede demostrar que a medida que “n” aumenta la función de “x” tiende a:

$$F(x) = e^{-e^{-(x-\mu)/\alpha}}$$

Donde:

$$\alpha = S_x/\sigma_y$$

$$u = \bar{x} - \mu_y \cdot \alpha$$

$F(x)$ = Probabilidad que se obtenga un valor igual o menos que x

\bar{X} = Media aritmética de la muestra

S_x = Desviación estándar de la muestra

Tanto σ_y como μ_y se extraen de la Tabla 6 que se muestra a continuación según el número de datos de la muestra.

Tabla 6 Valores de σ_y y μ_y

| n° DATOS | σ_y | μ_y |
|----------|------------|---------|
| 10 | 0.9496 | 0.4952 |
| 15 | 1.0206 | 0.5128 |
| 20 | 1.0628 | 0.5236 |
| 25 | 1.0914 | 0.5309 |
| 30 | 1.1124 | 0.5362 |
| 35 | 1.1285 | 0.5403 |
| 40 | 1.1413 | 0.5436 |
| 45 | 1.1518 | 0.5463 |
| 50 | 1.1607 | 0.5485 |
| 55 | 1.1682 | 0.5504 |
| 60 | 1.1747 | 0.5521 |
| 65 | 1.1803 | 0.5535 |
| 70 | 1.1854 | 0.5548 |
| 75 | 1.1898 | 0.5559 |
| 80 | 1.1938 | 0.5569 |
| 85 | 1.1974 | 0.5578 |
| 90 | 1.2037 | 0.5586 |
| 95 | 1.2037 | 0.5593 |
| 100 | 1.2065 | 0.5600 |

Fuente: (Fattorrelli & Fernandez, 2011)

3.11.2 Prueba de Bondad de Ajuste Probabilístico

Una vez asignada las distribuciones a la serie de datos, se debe realizar una prueba de bondad con la finalidad de validar los resultados que sean más representativos, dicho de otra manera, los que se ajustan mejor. Y dentro de estas la prueba Kolmogorov es una de las más usadas y consta de contratar la variación que existen entre probabilidad teórica, asumiendo el máximo valor absoluto entre la diferencia del valor del modelo y el valor observado (Aparicio Mijares, 1992). Los valores críticos pueden verse en la *tabla 9*.

$$Dn = \max (P(x) - Po(x))$$

Siendo:

Dn = Variación mayor observada entre $P(x)$ y $Po(x)$

$Po(x)$ = Frecuencia acumulada teórica

$P(x)$ = Frecuencia acumulada observada

La función de distribución de probabilidad es calculada de la siguiente manera:

$$Po(x) = 1 - \frac{m}{n + 1}$$

Donde m estaría dada por el orden de “x” y n sería el número total de datos.

Tabla 7 Valores críticos de "d" para prueba de bondad Kolmoronov

| Tamaño de muestra | $\alpha = 0.10$ | $\alpha = 0.05$ | $\alpha = 0.01$ |
|-------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 5 | 0.51 | 0.56 | 0.67 |
| 10 | 0.37 | 0.41 | 0.49 |
| 15 | 0.3 | 0.34 | 0.4 |
| 20 | 0.26 | 0.29 | 0.35 |
| 25 | 0.24 | 0.26 | 0.32 |
| 30 | 0.22 | 0.24 | 0.29 |
| 35 | 0.2 | 0.22 | 0.27 |
| 40 | 0.19 | 0.21 | 0.25 |

Fuente: (MANUAL DE HIDROLOGÍA, HIDRÁULICA Y DRENAJE, 2018)

3.12 MODELAMIENTO HIDROLÓGICO

3.12.1 Aplicación del Software ArcGIS

ArcGIS es un software que trabaja con un Sistema de Información Geográfica completo (SIG) el cual permite trabajar, analizar, organizar y distribuir información geográfica, es decir nos permite hacer un análisis de una determinada zona en estudio haciendo uso de toda la información integrada con la que se cuenta.

Fue desarrollado por la empresa de California Enviromental Systems Research Istitute (ESRI) con la finalidad de hacer un trabajo a nivel multiusuario incorporando nuevas tecnologías experimentales. Es así que, en el área de hidrología, este software es de gran ayuda en la gestión y planificación de recursos ambientales, pues cuenta con una amplia interfaz con opciones de evaluación y análisis de la información.

Dentro las diversas aplicaciones que el software nos brinda, para evaluar y analizar la información hidrológica, las más resaltantes son:

- Planificar y Gestionar de manera óptima y sustentable la dotación hídrica de una zona

- Facilita la organización y administración de la información hidrológica para su procesamiento, ya que realizar este paso es bastante laborioso.
- Permite realizar estudios hidrológicos mediante simulaciones para evaluar posibles inundaciones, así como conocer parámetros geométricos de una cuenca.

3.12.2 Modelo Hidrológico usando Hec - HMS

La Armada Norteamericana desarrolló el sistema de modelo hidrológico (Hec – HMS) con el objetivo de reproducir todos los procesos hidrológicos que tienen lugar en los sistemas de cuencas hidrográficas. El software incluye numerosas técnicas convencionales de análisis hidrológicos, como los hidrogramas unitarios, el trazado hidrológico y la infiltración por eventos.

Hec -HMS también incluye los procesos necesarios para la modelación continua, como la evapotranspiración, el deshielo y cantidad de humedad en los suelos. Además, la simulación de la escorrentía en cuadrículas mediante la transformación lineal cuasi-distribuida de la escorrentía (ModClark) es posible gracias a sus funciones avanzadas. Para la optimización del modelo, la previsión del caudal, la reducción de la profundidad-área, la evaluación de la incertidumbre del modelo, la erosión y el transporte de sedimentos, y la calidad del agua, se ofrecen herramientas de análisis complementarias (US Army Corps of Engineers, 2007).

Con su entorno de trabajo completamente integrado, el programa ofrece una base de datos, herramientas para la introducción de datos, un motor de cálculo y herramientas para la elaboración de informes de resultados. El usuario puede navegar entre los distintos componentes del programa con facilidad gracias a una interfaz gráfica de usuario. Los resultados de la simulación pueden utilizarse junto con otros programas para estudios sobre disponibilidad de agua, drenaje urbano, previsión de caudales, impacto de la urbanización futura, diseño de aliviaderos de embalses, reducción de daños por inundaciones, regulación de llanuras aluviales y explotación de sistemas. Los resultados de la simulación se almacenan en el HEC-DSS (sistema de almacenamiento de datos) (US Army Corps of Engineers, 2007).

Para el funcionamiento del programa, se considera tres componentes fundamentales que caracterizan globalmente el proyecto de simulación de cuenca:

1. Módulo de la precipitación del área, que define una precipitación ficticia o histórica que se utilizará junto con el modelo de precipitación.
2. Módulo de la cuenca, que define visualmente la distribución de los elementos hidrológicos, como subcuencas, tramos de tránsito, enlaces y otros. Cada uno de ellos tiene parámetros y atributos asociados. La técnica del caudal base, las pérdidas iniciales y la forma en que las precipitaciones se convierten en escorrentía son los parámetros del modelo.
3. El módulo de control de especificaciones contiene los intervalos de tiempo necesarios para calcular el hidrograma de escorrentía, así como las fechas y horas de inicio y fin de la simulación (Rapacioli, 2010)

Además, la aplicación contiene distintos modelos para ilustrar los numerosos componentes de la escorrentía, incluidos los modelos de flujo de base, flujo de canal, escorrentía directa y cálculo del volumen de escorrentía.

Los requisitos de información del programa están directamente relacionados con las técnicas de cálculo que utiliza (US Army Corps of Engineers, 2007). Hec-HMS requiere los siguientes cinco conjuntos fundamentales de datos para ejecutar las simulaciones.

1. Información sobre de la precipitación histórica o de diseño.
2. Información sobre las propiedades y atributos del suelo.
3. Información morfométrica de las subcuencas que conforman la cuenca principal.
4. Información hidrológica necesaria para transformar la precipitación en escorrentía directa.
5. Información hidráulica relativa a los distintos segmentos de la red de agua y a las capacidades de los elementos hidráulicos.

Además, se le adiciona al modelo HEC1 lo siguiente:

1. Para crear una representación celda por celda de la cuenca se utiliza una técnica de transformación lineal de la escorrentía que combina datos de precipitación distribuidos procedentes de fuentes como registros de radar (una tecnología aún no utilizada en nuestro país) y estaciones pluviométricas estratégicamente situadas con datos de precipitación distribuidos.

2. El mismo enfoque de las celdas se aplica en algunas opciones para calcular la pérdida de humedad dispersa en los suelos, que puede emplearse en simulaciones con periodos de análisis prolongados.

Debido a que ofrece más posibilidades para la simulación física de los diversos componentes hidrológicos e hidráulicos, el HEC-1 se considera el estándar industrial para los modelos hidrológicos de cuencas en todo el mundo. La principal limitación del modelo es que, al tratarse de un modelo de eventos, se limita a analizar una única tormenta y no tiene en cuenta el restablecimiento de la humedad del suelo durante los periodos de sequía (US Army Corps of Engineers, 2007).

Los modelos basados en la física, que incorporan leyes de conservación de la masa y la energía, describen sin embargo los procesos de escorrentía mediante fórmulas empíricas. La mayoría de ellos recurre a la ecuación diferencial de continuidad, que ilustra cómo la materia se transforma y se conserva en el espacio y en el tiempo (Rapacioli, 2010)

3.13 MODELAMIENTO HIDRÁULICO

El modelamiento hidráulico representa el comportamiento del flujo de un río a través de un cauce preestablecido, lo que permite poder ajustar las solicitaciones y necesidades de diferentes factores de diseño. Realizar este procedimiento, permitirá evaluar y analizar mejoras en obras de canales, presas puentes, etc sobre todo, proporciona métodos para estudiar las posibles inundaciones generadas por los desbordamientos, anteponiendo la situación a una estrategia de protección (French H., 1988).

3.13.1 Modelos Hec – Ras y Hec - GeoRas

Así como el modelo hidrológico, también Hec-Ras es un software creado por la Armada de los Estados Unidos, y fue diseñado para modelar comportamientos de un flujo dentro de un cauce, y así establecer parámetros de diseño más certeros. Además, tiene como enfoque poder representar gráficamente las condiciones de elevación y geometría de superficies de cuerpos de agua a lo largo del recorrido del flujo (US Army Corps of Engineers, 2007).

Por otro lado, Hec-GeoRas, es un complemento del software ArcGIS, que posee herramientas con un mejor desarrollo georreferenciado, gracias a su amigable interfaz que permite interactuar fácilmente a la hora de modelar las condiciones geométricas del cauce en estudio.

Modelamiento en 1D - Unidimensional

Para este tipo de modelamiento, se necesitará de información topográfica y parámetros hidráulicos, mediante la incorporación de secciones transversales a lo largo del cauce, ubicados de tal manera que representen de mejor manera la geometría del eje y los márgenes. Sin embargo, presenta ciertas limitaciones ya que solamente analiza un flujo descendente constante y este será perpendicular a las secciones transversales. (US Army Corps of Engineers, 2007)

Modelamiento en 2D - Bidimensional

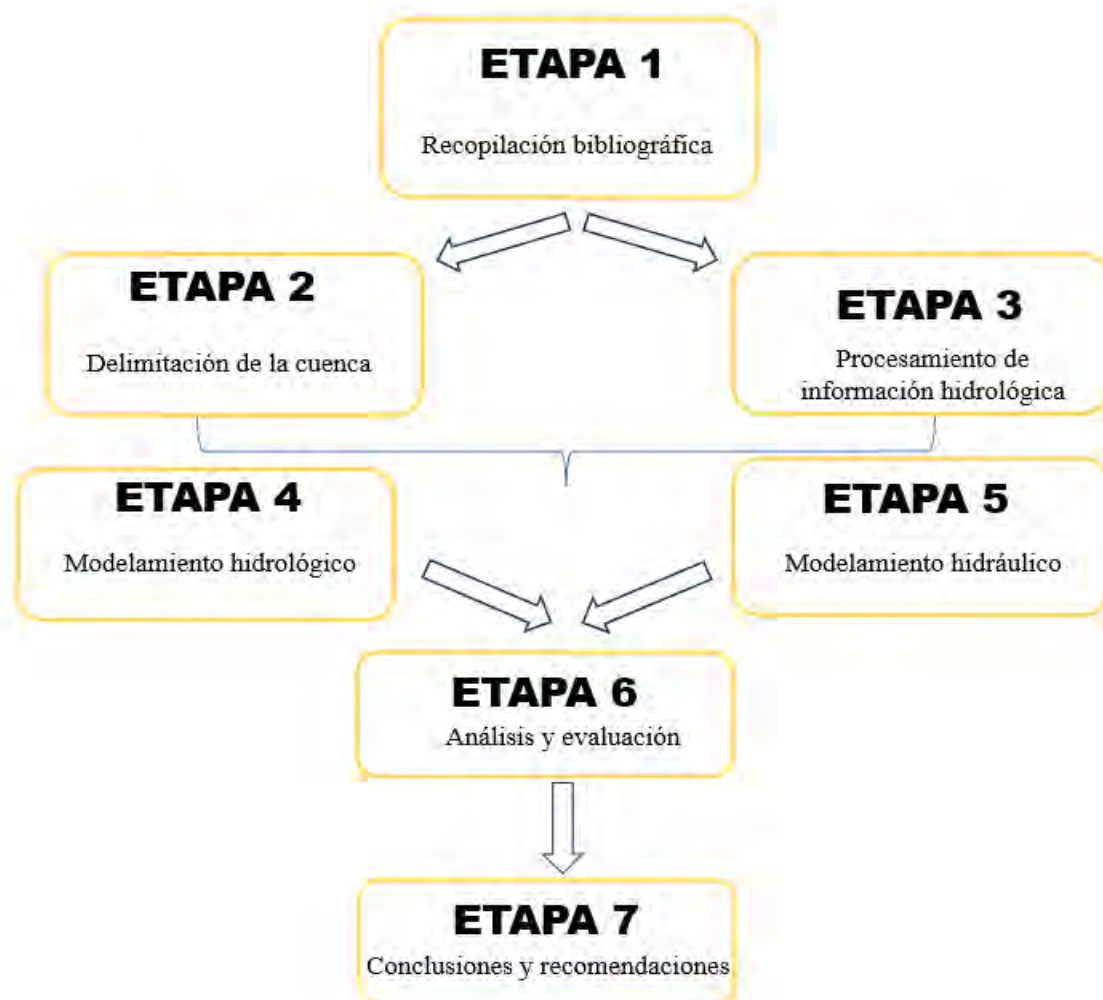
Por otro, el modelamiento bidimensional, expresa en dos dimensiones las ecuaciones que gobiernan el flujo en un río o caudal, que son la conservación de momento y masa, es decir se genera una malla bidimensional, en donde se emplean métodos de elementos finitos para poder representar el modelamiento, esto requiere de una mayor complejidad y mayor tiempo de implementación para su aplicación. (US Army Corps of Engineers, 2007)

4. METODOLOGIA DE TRABAJO.

La metodología de trabajo que se utilizará consistirá de 7 etapas, detalladas a continuación en la Tabla 8.

Tabla 8 Metodología de Trabajo

| | |
|---------|---|
| Etapa 1 | Recopilación Bibliográfica de la teoría necesaria para desarrollar el estudio en mención. |
| Etapa 2 | Delimitación y obtención de los parámetros geomorfológicos de la cuenca por medio del programa ArcGIS |
| Etapa 3 | Trabajar y procesar información hidrológica de precipitaciones obtenidas de la plataforma PISCO. |
| Etapa 4 | Modelamiento hidrológico de la cuenca mediante el software Hec-HMS |
| Etapa 5 | Modelamiento hidráulico de la cuenca mediante el software Hec-RAS y generación de mapas de inundación en su extensión Geo Hec Ras |
| Etapa 6 | Evaluar y analizar cómo influye en la disminución del caudal pico en época de avenidas, la implementación de un reservorio de control como medida cautelar frente a posibles inundaciones en nuestra zona de estudio. |
| Etapa 7 | Conclusiones y recomendaciones de usar este tipo de estructuras en base a los resultados obtenidos |



4.1 ACTIVIDADES PREVIAS AL ESTUDIO

El desarrollo del trabajo estuvo fundamentado con la revisión de distintas fuentes de confiabilidad, como estudios previos, informes, expedientes técnicos, etc. que puedan proveernos de información hidrológica y meteorológica adecuada. Entre las entidades que aportaron con los datos hidrológicos tenemos a la Autoridad Nacional del Agua (ANA) y el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI), mientras para los datos topográficos y de redes hidrográficas se contó con cartas nacionales del Ministerio de Educación (MINEDU) y también se utilizó la delimitación oficial de cuencas y subcuencas del Autoridad Nacional del Agua (ANA), entre otros aportantes.

4.2 RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN

Fue proporcionada por las entidades nacionales mencionadas anteriormente, y además se contó con el apoyo de empresas del sector privado involucradas en los temas de hidrología, quienes

tenían a su alcance datos de precipitaciones históricas de algunas estaciones dentro del rango de la zona de estudio, las cuales nos fueron cedidas para aportar a este trabajo.

- Información Cartográfica: Las cartas nacionales que involucran la cuenca en estudio son las pertenecientes a las hojas: 20g, 20h, 20i, 21g y 21h. Estas contemplan toda la delimitación de la zona.
- Información Meteorológica: Para el estudio se dispone con los datos proporcionados por el SENAMHI de 4 estaciones representativas de la cuenca en estudio.

Tabla 9 Estaciones con influencia dentro de la cuenca del río Huarmey (SENAMHI)

| ESTACIONES DE CUENCA HUARMEY | | | | | |
|------------------------------|------------|------------|-----------|---------------------|---------------------|
| N° | ESTACIÓN | LONGITUD | LATITUD | ALTITUD m.s.n.m. | AÑOS DE REGISTRO |
| 1 | AIJA | 77°36'24'' | 9°46'54'' | 3508 | 1999 - 2019 |
| 2 | COTAPARACO | 77°35'1'' | 9°59'1'' | 3170 | 1995 - 2019 |
| 3 | MALVAS | 77°39'19'' | 9°55'38' | 2979 | 1995 - 2019 |
| 4 | HUARMEY | 77°9'44'' | 10°4'5'' | 8 | 1997 - 2019 |

Fuente: (SENAMHI, 2018)

- Se hizo uso de la base de datos PISCO (Peruvian Interpolated data of the SENAMHI's Climatological and hydrological Observation) versión 2.1, herramienta del SENAMHI para obtener información histórica rasterizada, desde 1981 hasta 2018, de precipitaciones diarias que involucren el área de estudio de nuestra cuenca. Esta data se obtuvo de la plataforma oficial de SENAMHI, para lo cual se utilizó el programa R para decodificar dicha información en valores medios areales de precipitación, trabajando con una escala de subcuencas para el nivel de análisis espacial. Cabe mencionar que esta data presenta un control de calidad automática y visual.
- Para corroborar los caudales calculados por medio la simulación hidrológica en Hec HMS, se contó con la data histórica medida de caudales diarios y mensuales la estación Puente Huamba, para el periodo 1973 – 2002, el cual es una estación representativa de nuestra cuenca.
- Para la batimetría de nuestra zona en estudio se descargaron modelos digitales de elevación del recurso cartográfico disponible en el web autorizado “Alos Palsar”

4.3 PROCESAMIENTO DE INFORMACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Para cumplir adecuadamente los objetivos planteados al inicio y proporcionar un entendimiento claro, se debe procesar los datos en los programas computacionales que serán nuestra herramienta (Hydrognomon, ArcGis, Hec-HMS), con el fin de obtener tablas resúmenes y gráficos que plasmen los caudales máximos en época de avenidas, tanto para la presencia de un reservorio de control como sin la precedencia del mismo.

Por un lado, se hace uso del programa Hydrognomon, el cual permite elegir la mejor distribución que se acomode más a la serie de datos utilizados, validando con su respectiva prueba de bondad, y así calcular las precipitaciones proyectadas para los diferentes periodos de retorno.

Luego el software ArcGIS facilitará hacer una delimitación adecuada de la cuenca y subcuencas en estudio, así como conocer los parámetros geomorfológicos de la misma. Posterior a ello, con los datos históricos de precipitación diaria obtenidas por la plataforma pisco, trabajadas previamente en el software Hydrognomon, se encontrará tanto las precipitaciones máximas en 24 horas como la precipitación total mensual, para luego realizar el análisis de intensidades máximas para diferentes periodos de retorno, y así generar los hietogramas de diseño para ingresarlas al software Hec HMS. Este software permitirá realizar el modelamiento hidrológico de la cuenca a partir del análisis de tormentas previamente mencionado, con el fin de generar los hidrogramas de crecidas y así analizar el tránsito de avenidas mediante implementación de un reservorio de control.

Finalmente, se realizó un modelamiento hidráulico en Hec-Ras, con el fin de representar mediante planos de inundación, la disminución del área afectada frente a la implementación de un reservorio, trabajando la data de elevaciones y parámetros relacionados a las condiciones de terreno de nuestra zona

Al finalizar el trabajo, con los resultados obtenidos de los modelamientos, se verificará si efectivamente el reservorio de control, sirve como un elemento de mitigación frente a una posible inundación; además se evaluará si los datos usados, en su mayoría descargados de plataformas autorizadas, pueden brindar resultados confiables para realizar este tipo de estudios en zonas en las cuales la información a descargar sea representativa de las misma.

5. ESTUDIO DE CASO.

5.1 DATOS GENERALES DE LA ZONA DE ESTUDIO

Este trabajo tiene como objetivo implantar un reservorio de control como medida de prevención ante una posible inundación en época de avenidas en una determinada zona, y para ello se ha elegido la ciudad de Huarney, debido a que tiene antecedentes de inundaciones en épocas de lluvias, al elevarse el caudal en quebradas afluentes dentro de la cuenca, que surcan los alrededores de esta, y produciéndose crecidas eventuales del río Huarney causando grandes pérdidas materiales para los pobladores (Instituto Nacional de Defensa Civil, 2017).

La ciudad de Huarney se ubica en el norte del Perú en el departamento de Ancash, tal cual se muestra en la Figura 24, limitando con el departamento de La Libertad por el norte y el departamento de Lima por el sur, así mismo por el oeste tiene límites con los departamentos de Lambayeque. La ciudad de Huarney cuenta con 27,054 habitantes por lo que entra dentro de la categoría de ciudad y tiene como parámetros de ubicación geográfica una altitud media de 14 msnm. Una latitud sur de $10^{\circ}04'05''$ y una latitud oeste de $78^{\circ}09'08''$ (Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2017). En la Figura 25 se puede apreciar una vista satelital de la cuenca en estudio.

Figura 24. Mapa geográfico de la ciudad de Huarney



Fuente: Peru Tourist Guide

Figura 25. Cuenca en Análisis



Fuente: Google Earth 2019

5.2 ANTECEDENTES DE LA ZONA DE ESTUDIO

A lo largo del tiempo la localidad de Huarmey ha sido testigo de una diversa manifestación de los fenómenos meteorológicos como lo es el caso del Fenómeno de El Niño, en los cuales se han presentado eventuales inundaciones en época de avenidas, debido básicamente a crecida intempestiva del río Huarmey que surca dicha ciudad. El daño a los pobladores ha sido significativo a lo largo del tiempo, llegando a perder la cosecha de cultivos nativos, hasta el punto de deteriorar las viviendas y también las calles de la ciudad.

En marzo del año 2017, la municipalidad provincial de Huarmey informó que, debido a los eventos del Fenómeno de El Niño, el cauce del río Huarmey se incrementó intempestivamente y su desborde, terminó por inundar centenares de viviendas, locales públicos, establecimientos comerciales, vías urbanas, instituciones educativas, establecimientos de salud y puentes, damnificando a muchas familias. Bastaron pocas horas para que gran parte de la población se viera inundada en diferentes sectores, y esto teniendo en cuenta el pobre sistema de drenaje y alcantarillado de la ciudad (Instituto Nacional de Defensa Civil, 2017).

Según el reporte emitido por el Instituto Nacional de Defensa Civil, hubo 14060 damnificados y 4690 personas afectadas, 2562 viviendas fueron catalogadas como inhabitables mientras que se declararon 250 viviendas colapsadas. Los servicios de electricidad colapsaron

por lo que no era posible tender comunicación. A todo esto, las vías de acceso a la ciudad también se vieron afectadas, dejando sin acceso a la ciudad; 8 km de carretera fueron dañados además del daño serio producido a un puente carrozable. Las áreas agrícolas no fueron ajenas al daño, ya que se perdieron centenares de cultivos, así como la producción ya generada por los campesinos y comerciantes de la zona (INDECI, 2017).

Como se menciona anteriormente, el centro poblado de Huarmey se encuentra ubicada en una zona de alto riesgo de inundación pluvial por el desborde del río Huarmey. En general, la cuenca Huarmey es susceptible a peligros hidrometeorológicos debido a fenómenos tales como el Niño costero, causando lluvias torrenciales, inundaciones, deslizamientos. Huaycos, etc. Los eventos más representativos que provocaron estos desastres fueron en los fenómenos de los años 1982-1983; 1997-1998 y 2017 (CENEPRED, 2017), por lo que en este trabajo se tomará como referencia dichos eventos.

5.2.1 Información histórica de avenidas en Huarmey

Se recolectó información de los eventos históricos ocurridos en la ciudad de Huarmey, usando la información de Sistema de Inventario de Desastre (DesInventar), el cual cuenta con datos desde 1970 hasta 2013. A esto se complementó información recopilada por parte de INDECI y SIMPAD hasta el año 2018. De toda la información que se recopiló, se tiene reconocimiento de 23 casos de inundaciones.

A continuación, la Tabla 10 muestra un resumen con los acontecimientos:

Tabla 10 Resumen de los eventos históricos ocurridos en la cuenca Huarmey

| N° | Fecha | Provincia / Distrito | Consecuencia |
|----|------------|----------------------|---|
| 1 | 16/01/1970 | Huarmey/Huarmey | Desborde del río Huarmey cruza la ciudad de este a oeste, no hubo recursos materiales para el rescate. |
| 2 | 17/01/1970 | Huarmey/Huarmey | Desborde del río Huarmey, toda la localidad fue inundada. |
| 3 | 20/01/1970 | Huarmey/Huarmey | Crecida de río Huarmey, familias damnificadas están hospedadas provisionalmente en barrios de la zona urbana; todavía no se recibe ayuda de Lima |
| 4 | 11/03/1972 | Huarmey/Huarmey | Desborde del río Huarmey en Pativilca, Paramonga y Mariscal Castilla. |
| 5 | 17/03/1972 | Huarmey/Huarmey | Desborde del río Huarmey, hubo daños en cultivos, área urbana afectada; pobladores que tienen viviendas cerca al río tuvieron que refugiarse en terrenos altos de Tres Piedras. |

| | | | |
|----|------------|--------------------|---|
| 6 | 31/03/1972 | Aija/Aija | Reporte de desbordes, las vías Aija-Recuay y Aija-Quillos fueron afectadas, canales de riego deteriorados, hubo epidemia de gripe; escasez de víveres y combustible. |
| 7 | 31/03/1972 | Aija/Aija | Reporte de desbordes, escuelas afectadas, canales de riego deteriorados, epidemia de gripe; escasez de víveres y combustible. |
| 8 | 31/03/1972 | Huarmey/ Cochatepi | Reporte de desbordes, canales de riego deteriorados, epidemia de gripe; escasez de víveres y combustible. |
| 9 | 31/03/1972 | Huarmey/Huarmey | Reporte de desbordes en la vía Hirmán-Huambos-Huarmey fueron afectados. |
| 10 | 31/03/1972 | Huarmey/Huayán | Reporte de desbordes, escuelas afectadas, canales de riego deteriorados, epidemia de gripe; escasez de víveres y combustible, vía Irmán, Huambos y Huarmey fueron afectada. Destrucción de carretera que une los Distritos de Huayán al Pueblo de Huarmey y el puente en el sector de Lucma, infraestructura de riego, canales de regadío y 6 pequeños reservorios fueron arrasados. |
| 11 | 11/03/1981 | Aija/Coris | Inundación de 30 km de carretera Chaucayán-Pararín,.50 familias fueron evacuadas y 34 familias damnificadas |
| 12 | 15/02/1982 | Recuay/Pararín | Río Seco se desborda cargado de piedras y lodo, interrumpiendo la Panamericana por 5 horas. |
| 13 | 10/02/1983 | Huarmey/Huarmey | Desborde de Río Seco y Huarmey, hubo más de 100 viviendas inundadas. |
| 14 | 19/03/1983 | Huarmey/Huarmey | 30 viviendas afectadas |
| 15 | 18/04/1994 | Aija/Chuacllan | Desborde del río Santa |
| 16 | 18/04/1994 | Aija/La Merced | Reporte de 30 familias damnificadas. |
| 17 | 6/01/1998 | Huarmey/Huayán | Reporte de desborde de río, director regional de Agricultura manifestó que se continúa con la verificación de daños y el apoyo a los agricultores con herramientas para limpiar canales de regadío- |
| 18 | 21/02/1998 | Huarmey/Huarmey | Caída de 2 postes de alta tensión |
| 19 | 18/02/1999 | Huarmey/Huarmey | Se registraron 25 personas afectadas, 5 viviendas, 2 km de canal de riego, 3 km de caminos rurales en mal estado. |
| 20 | 2/04/2008 | Huayán | Se registraron 25 personas afectadas y 5 viviendas afectadas |
| 21 | 12/01/2009 | Huarmey | Desborde del río Huarmey afecta a 2 viviendas, 2 km de carretera y 1000 personas. |
| 22 | 11/12/2011 | Huarmey | El desborde del río Huarmey en el sector de Huayhua, por el aumento del caudal del río Huarmey se ha inundado una hectárea de tomate y una hectárea maíz en la zona de Ayhuay. |
| 23 | 22/01/2018 | Huarmey/Huarmey | |

En la Figura 26 y Figura 27, se contempla parte de la ciudad de Huarney inundada debido al fenómeno de El Niño ocurrido en el año 2017.

Figura 26. Ciudad de Huarney inundada 2017



Fuente: Radio Bomba

Figura 27. Viviendas inundadas en Huarney



Fuente: CENEPRED, 2017

Según la información compartida por CENEPRED, la inundación que se produjo debido al Fenómeno de El Niño de 2017 abarcó un área aproximada de 2.3 km² que representa un 75% del casco urbano del distrito de Huarmey, con una altura de 1.5 m medida en campo.

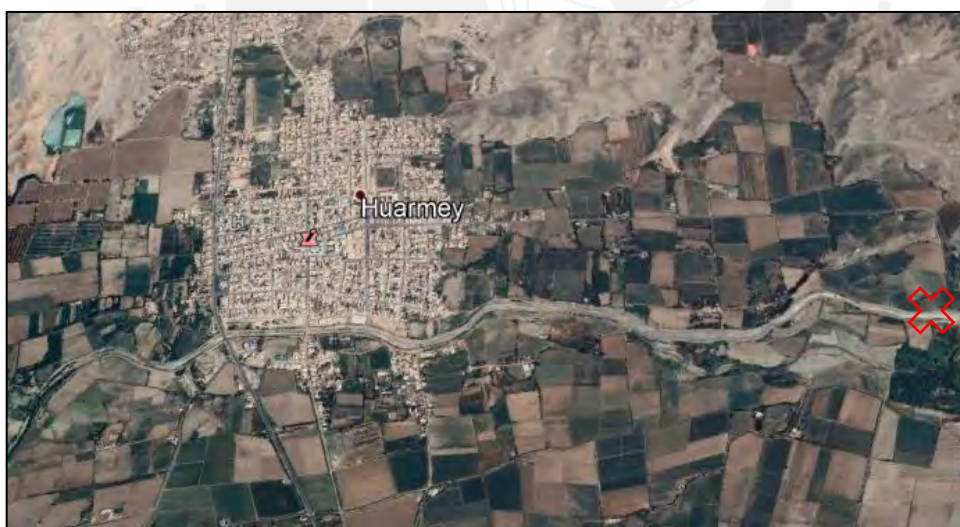
5.3 LÍNEA DE BASE CLIMÁTICA

El río Huarmey, en el cual se desarrollará el estudio, atraviesa lateralmente la ciudad, por lo que la zona de estudio se caracteriza por ser una zona urbana que involucra un importante número de la población. A continuación, se muestra las características urbanas, clima, temperatura y precipitaciones representativas de la zona.

5.3.1. Características Urbanas

El sector donde se proyecta construir el reservorio, está ubicado en una zona de linderos de cultivos a la zona este de la ciudad, según se indica en la Figura 28. Se evidencia un crecimiento no planificado, pero se cuenta con los servicios básicos.

Figura 28. Imagen satelital de la ciudad de Huarmey



Fuente: Google Earth 2019

5.3.2. Clima

Dentro del territorio del departamento Ancash, el clima es variable de acuerdo a la altura. La parte alta cuenta con un clima frío, pero conforme se va descendiendo en altura, se percibe un clima más cálido y húmedo.

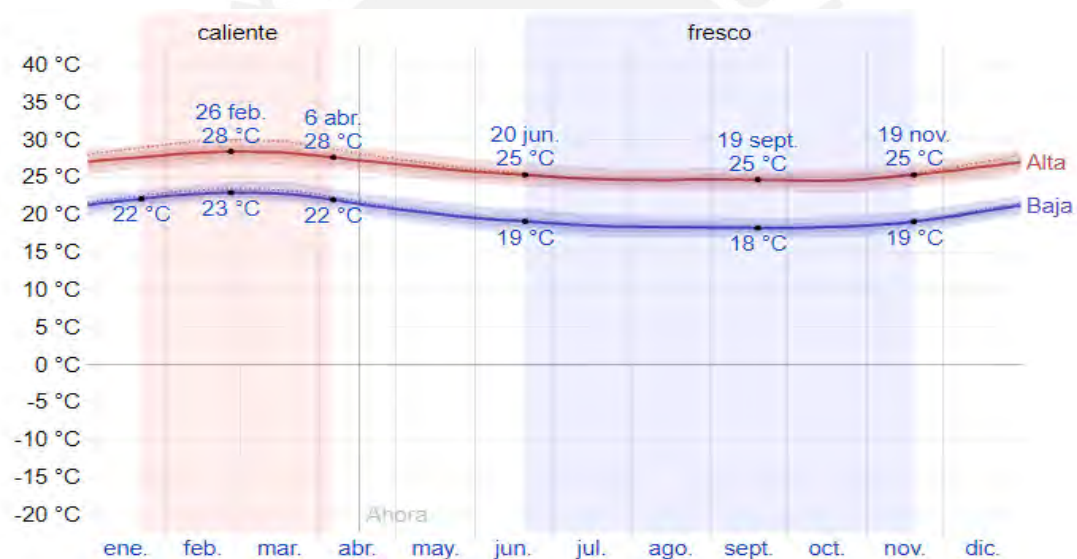
Los veranos son cortos, calurosos, húmedos y sombríos, sobre todo en la región estudiada; en cambio, los inviernos son largos, agradables, ventosos, parcialmente nublados y secos durante todo el año.

5.3.3. Temperatura

Durante el año, la temperatura templada dura dos meses y medio de enero hasta abril, alcanzando 28 °C como temperatura máxima promedio y 23 °C como temperatura mínima promedio

Por otro lado, la temperatura fresca dura 5 meses y esta entre junio y noviembre con una temperatura máximo promedio de 25 °C y una temperatura mínima de 19 °C, en la Figura 29 podemos observar la variación de esta en los diferentes meses del año.

Figura 29. Temperatura máxima y mínima promedio de la zona

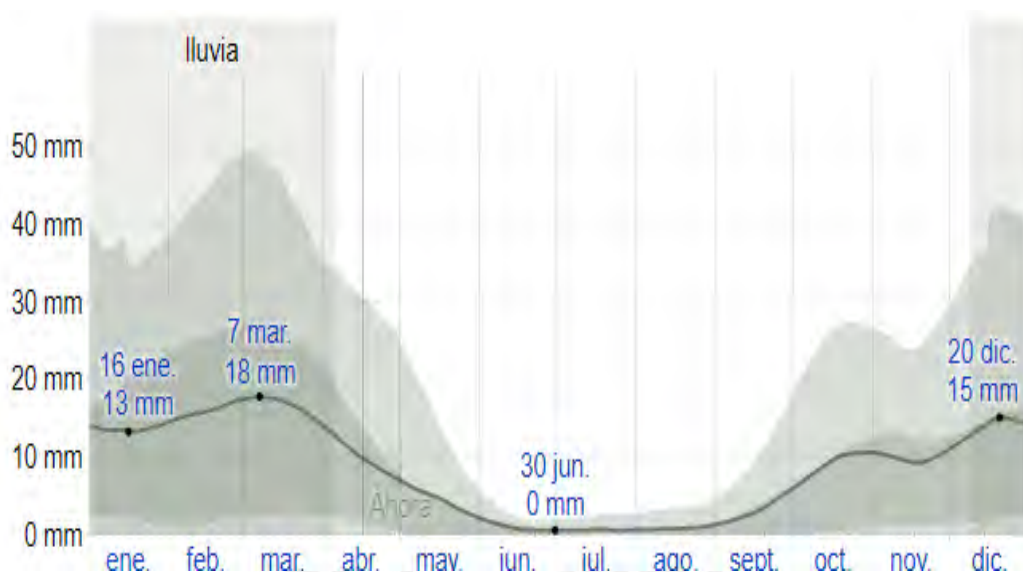


Fuente: (Spark, 2020)

5.3.4. Precipitaciones

Las precipitaciones empiezan en los meses de diciembre hasta abril con acumulaciones totales promedio de 18 mm. A continuación, en la Figura 30 se aprecia un gráfico de la distribución de precipitaciones mensuales promedio.

Figura 30. Precipitaciones de lluvia mensual promedio de la zona



Fuente: (Spark, 2020)

5.4 COBERTURA VEGETAL DE LA ZONA

Según el informe emitido por el Instituto Nacional de Recursos Naturales (INRENA), la cuenca en estudio y en general, el área que abarca el análisis, se ve diferenciado según su altitud.

Es por ello que para la parte baja del valle, cerca de la ciudad de Huarney, se puede encontrar una mezcla entre el desierto costero y tierras de agricultura que requieren un riego artificial; en esta zona se puede observar bosque seco ribereño como se observa en la Figura 31.

En la zona media de la cuenca, donde se evidencia precipitaciones importantes, se puede encontrar un terreno más agrícola, con zonas destinadas al cultivo de productos nativos de la zona, como lo son la papa, el maíz, habas, etc

Por último, la zona alta de la cuenca, se caracteriza por la existencia de mesetas donde se podrá encontrar bojedales, pastos y lagunas.

Figura 31. Zonas agrícolas cerca de la ciudad de Huarmey



Fuente: Fotografía propia (Tomada 26/02/2022)



6. ANALISIS DE LA INFORMACIÓN HIDROLÓGICA

6.1 INFORMACIÓN METEOROLÓGICA

En hidrología, para la estimación de avenidas máximas, es muy importante el análisis previo de las precipitaciones máximas en 24 horas para un cierto periodo de retorno, este periodo será mayor de acuerdo a la importancia del proyecto que se está llevando a cabo, es decir la magnitud del impacto social, ecológico y económico que la obra genera al ejecutarse. Sin embargo, la disposición de periodos de retorno mayores, requieren contar muchos más datos de entrada, es por eso que se recurre a base histórica de datos. (Schnabel, 2008).

La cuenca Huarmey cuenta con 4 estaciones operativas que se encuentran entre los 8 y 3500 m.s.n.m y cubren el área de manera homogénea perteneciente al cauce del río Huarmey (SENAMHI, 2018) sin embargo, para hacer nuestro análisis de tormentas se trabajó con la información historia de datos del producto PISCO, ya que se cuenta con una mayor cantidad de datos abarcando un periodo desde 1981 hasta 2018.

6.1.1 Producto PISCO

El producto grillado PISCO (Peruvian Interpolated data of the SENAMHI's Climatological and hydrological Observation) es el resultado de la fusión de productos de estimación de precipitaciones por satélite, datos climatológicos, analíticos y de estaciones terrestres para crear una base de datos cuadrículada a escala nacional con una alta resolución espacial (~ 5*5 km) que abarca los años 1981-2018. Como resultado, la plataforma hace que los datos pluviométricos estén más ampliamente disponibles para sus numerosas evaluaciones hidrológicas. (SENAMHI, 2018). Cabe mencionar que este producto cuenta con un control de calidad automático.

La calibración de modelos hidrológicos para la previsión de caudales a corto plazo es uno de los usos de este producto, que sortea las restricciones en el uso de modelos matemáticos causadas por la falta de datos de precipitación diaria en muchas de las cuencas del país.

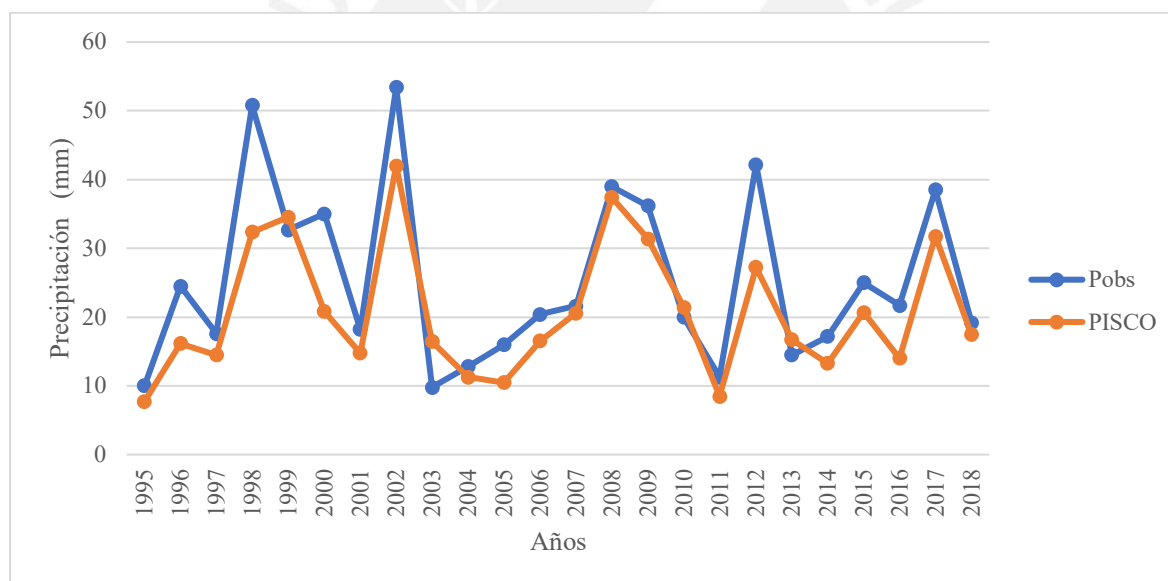
Sin embargo, el producto PISCO también tiene ciertas limitaciones a la hora de su utilización. Es necesario considerar que la predicción de espacio – temporal de datos, será más fiable en lugares en donde se cuente con estaciones pluviométricas. Por este motivo, las aplicaciones del producto se limitan a tamaños regionales debido a la baja densidad de pluviómetros en nuestro país.

Validación de datos de precipitación del producto PISCO

Como se menciona anteriormente, la utilización de la data PISCO, se ve limitada al uso en donde no se cuente con estaciones pluviométricas que puedan dar una validez de la información a procesar, por ello seguidamente se presenta una validación de la data. Con este fin, se toma como referencia la información de precipitaciones máximas diarias de la estación Malvas proporcionada por SENAMHI, ubicada a una altura de 3500 msnm.

En la Figura 32, se puede notar el ajuste de los datos observados de precipitaciones máximas en 24 horas, con los datos obtenidos del producto PISCO en la grilla correspondiente a la estación Malvas, obteniendo un factor de correlación Pearson igual a $r = 0.99$, por lo que debido a la buena cantidad de datos observados de precipitación en la zona, los datos del producto PISCO son confiables para realizar nuestro estudio.

Figura 32. Correlación de Pmax 24hr Obs VS Pmax 24hr PISCO



Fuente: Elaboración propia

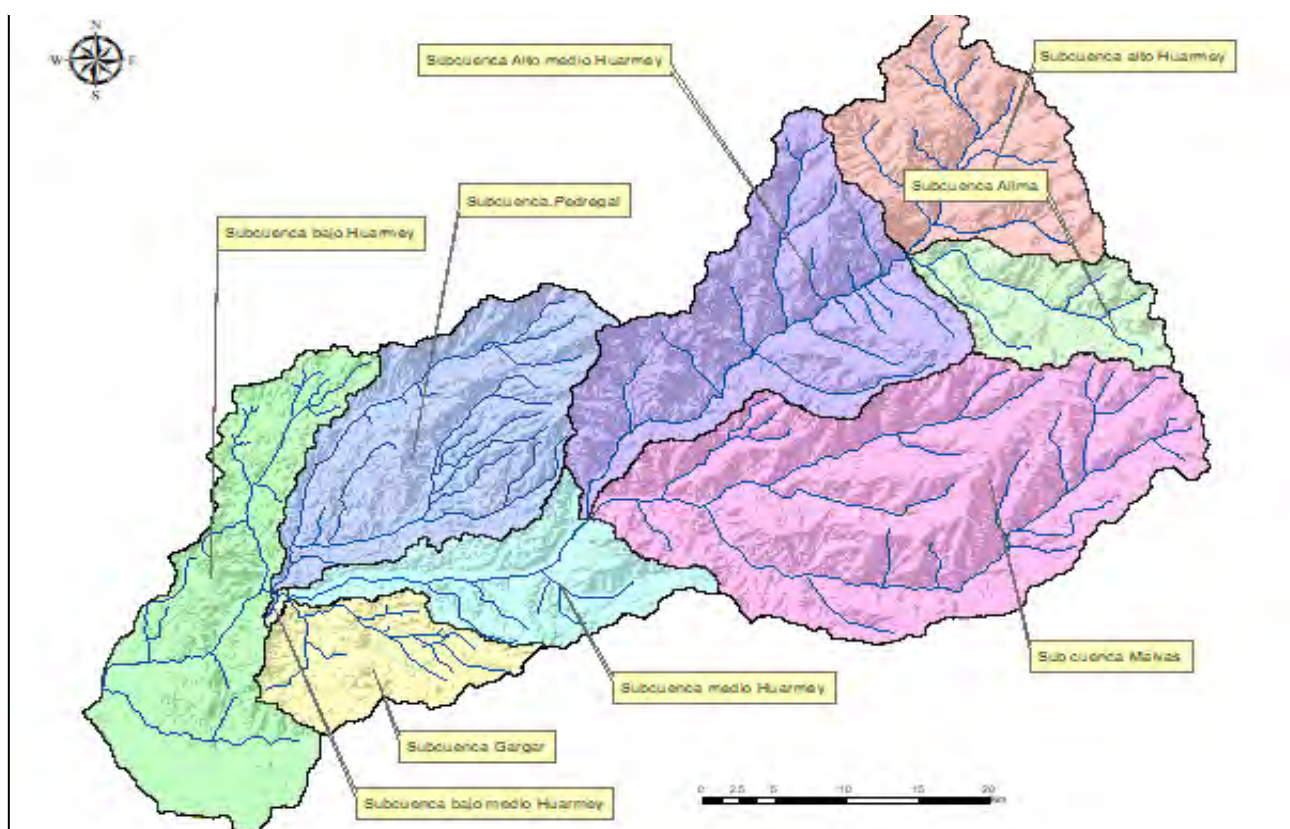
6.1.2 Sistema Hidrográfico de la Cuenca

La cuenca de Huarmey está ubicada, como ya mencionemos, en el departamento de Ancash, en mayor porcentaje dentro de la provincia de Huarmey por la parte baja, Aija y Recuay por la parte alta. Los límites de la cuenca por el norte son las cuencas del río Casma y Culebras, por el sur la del río Fortaleza, por el de la cuenca del río Santa y por el oeste el Océano Pacífico.

El río Huarmey nace en las zonas altoandinas de la cuenca debido a las lagunas, y se va alimentando con los diferentes afluentes que conforman su red hídrica, además de alimentarse de las lluvias ocurridas en la parte alta de la cuenca. El río principal presenta una pendiente aproximada de 4.5% y tiene un recorrido de 97 km. Como una característica de los ríos costeros, este desemboca en el Pacífico y presenta un relieve escarpado y sinuoso, rodeado de quebradas importantes en cuanto a su aporte fluvial.

Usando el software ArcGIS, se delimita la cuenca en 8 subcuencas como se muestra en la Figura 33 para tener un mejor análisis de los eventos extremos, para ello se descargó la información de precipitaciones diarias del producto PISCO, representando una correcta área de influencia para cada subcuenca.

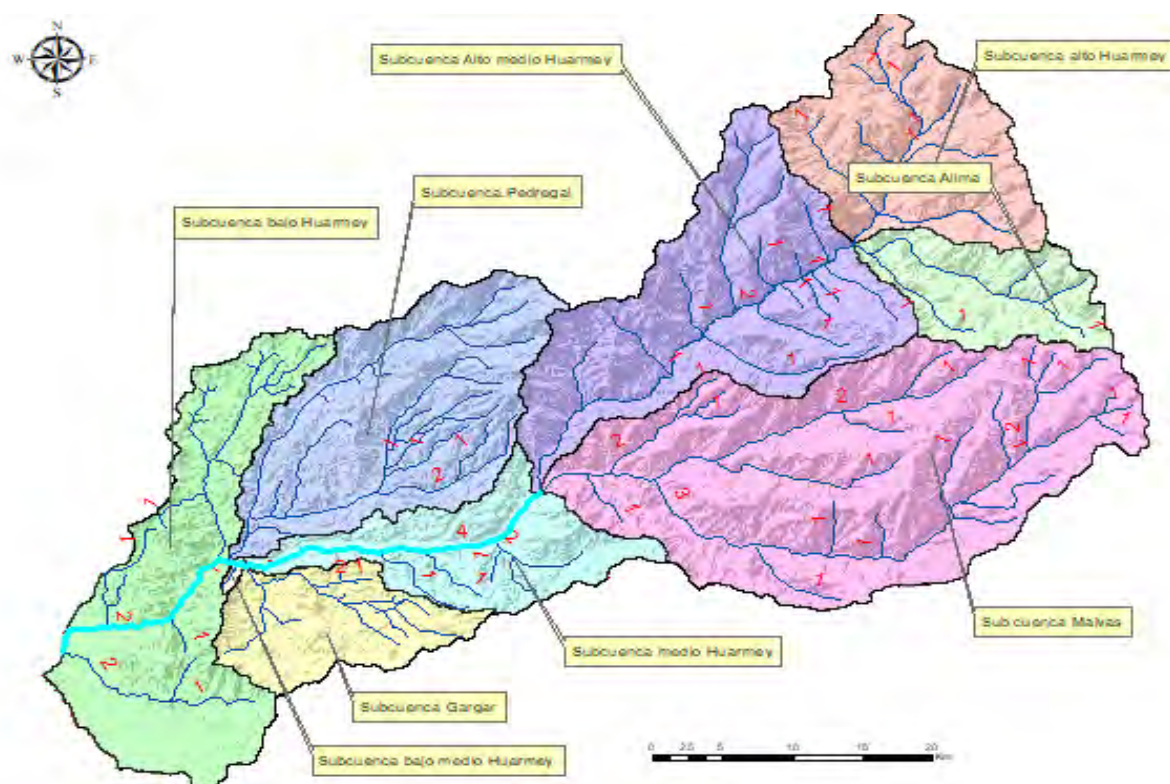
Figura 33. Hidrográfico de la Cuenca Huarmey



Fuente: Elaboración propia

También se generó la red hidrográfica con su correspondiente orden de ríos como se aprecia en la Figura 34.

Figura 34. Orden de Ríos de la Cuenca Hidrográfica



Fuente: Elaboración propia

6.1.3 Análisis de Precipitación máxima en 24 horas

Como se mencionó anteriormente, para el análisis de máximas avenidas, se dispone de la base de datos PISCO. La información descargada corresponde al formato diario, por lo que se tuvo que encontrar las precipitaciones máximas diarias en 24 horas, las cuales se refleja en la Tabla 11. Posteriormente para el cálculo de las intensidades para diferente duración, se usó el método de Dick Peschke mencionado en el apartado del marco teórico.

Tabla 11 Precipitaciones Máximas en 24 horas sin corrección por subcuenca en periodo de 1981 - 2018

| Año /Sub Cuenca | Alto Huaramey | Allma | Alto Medio Huaramey | Malvas | Pedregal | Medio Huaramey | Gargar | Bajo Huaramey |
|-----------------|---------------|-------|---------------------|--------|----------|----------------|--------|---------------|
| 1981 | 25.9 | 45.9 | 23.0 | 42.2 | 4.1 | 5.7 | 0.4 | 0.2 |
| 1982 | 21.1 | 68.6 | 25.7 | 50.5 | 1.7 | 1.6 | 0.1 | 0.1 |
| 1983 | 22.3 | 68.6 | 41.3 | 86.267 | 4.314 | 3.912 | 0.170 | 0.1 |
| 1984 | 12.7 | 20.0 | 9.5 | 21.3 | 2.7 | 5.0 | 0.2 | 0.1 |

| | | | | | | | | |
|-------------|------|------|------|------|------|------|-----|-----|
| 1985 | 11.6 | 13.8 | 7.2 | 15.6 | 1.3 | 1.0 | 0.3 | 0.3 |
| 1986 | 11.3 | 14.2 | 7.3 | 12.6 | 2.0 | 4.3 | 0.3 | 0.2 |
| 1987 | 12.7 | 20.2 | 11.0 | 19.8 | 2.0 | 1.6 | 0.1 | 0.1 |
| 1988 | 11.3 | 17.6 | 10.4 | 21.6 | 2.5 | 4.9 | 0.4 | 0.2 |
| 1989 | 11.7 | 19.2 | 17.3 | 24.1 | 2.2 | 3.9 | 0.3 | 0.2 |
| 1990 | 6.3 | 9.5 | 6.6 | 9.7 | 1.8 | 4.3 | 0.4 | 0.3 |
| 1991 | 12.0 | 18.7 | 7.7 | 15.5 | 1.9 | 1.4 | 0.2 | 0.2 |
| 1992 | 7.7 | 13.4 | 8.4 | 13.9 | 1.0 | 1.7 | 0.2 | 0.1 |
| 1993 | 15.7 | 25.3 | 12.1 | 21.9 | 3.3 | 2.6 | 0.1 | 0.1 |
| 1994 | 14.0 | 20.8 | 10.0 | 14.1 | 5.6 | 7.5 | 0.9 | 0.9 |
| 1995 | 14.7 | 13.4 | 6.7 | 7.7 | 1.4 | 0.9 | 0.0 | 0.0 |
| 1996 | 13.8 | 16.7 | 12.5 | 16.2 | 1.9 | 1.9 | 0.1 | 0.1 |
| 1997 | 13.9 | 19.4 | 9.4 | 14.5 | 3.2 | 1.0 | 0.8 | 0.8 |
| 1998 | 22.1 | 28.2 | 25.6 | 32.4 | 6.3 | 8.7 | 1.0 | 0.7 |
| 1999 | 37.3 | 39.8 | 34.6 | 34.6 | 10.8 | 10.1 | 0.9 | 0.7 |
| 2000 | 13.2 | 17.4 | 14.7 | 20.8 | 4.9 | 6.1 | 0.7 | 0.5 |
| 2001 | 12.2 | 17.3 | 10.8 | 14.8 | 3.4 | 4.7 | 0.5 | 0.4 |
| 2002 | 37.0 | 41.7 | 36.6 | 42.0 | 8.2 | 5.5 | 0.3 | 0.2 |
| 2003 | 10.9 | 13.6 | 9.6 | 16.4 | 3.2 | 5.0 | 0.9 | 1.0 |
| 2004 | 13.1 | 19.7 | 7.9 | 11.3 | 3.1 | 3.5 | 0.5 | 0.3 |
| 2005 | 8.0 | 12.1 | 7.1 | 10.5 | 4.3 | 5.5 | 0.5 | 0.4 |
| 2006 | 14.0 | 16.9 | 14.0 | 16.5 | 3.7 | 4.7 | 0.3 | 0.2 |
| 2007 | 11.9 | 22.5 | 12.2 | 20.6 | 6.3 | 8.4 | 0.6 | 0.5 |
| 2008 | 15.7 | 36.0 | 18.9 | 37.4 | 4.7 | 6.6 | 0.4 | 0.3 |
| 2009 | 26.0 | 36.5 | 27.1 | 31.4 | 7.8 | 10.1 | 1.1 | 0.7 |
| 2010 | 28.1 | 27.6 | 24.0 | 21.4 | 8.2 | 8.2 | 0.8 | 0.6 |
| 2011 | 10.6 | 11.1 | 8.6 | 8.5 | 2.6 | 3.5 | 0.2 | 0.1 |
| 2012 | 24.2 | 26.2 | 22.7 | 27.2 | 6.9 | 7.6 | 0.9 | 0.6 |
| 2013 | 18.3 | 25.4 | 13.8 | 16.7 | 4.7 | 3.1 | 0.1 | 0.1 |
| 2014 | 13.0 | 16.2 | 8.4 | 13.3 | 2.8 | 2.9 | 0.2 | 0.1 |
| 2015 | 13.0 | 22.9 | 11.7 | 20.7 | 4.6 | 5.1 | 0.5 | 0.4 |
| 2016 | 9.8 | 13.4 | 8.2 | 14.0 | 1.6 | 1.4 | 0.2 | 0.1 |
| 2017 | 27.5 | 42.6 | 20.1 | 31.8 | 7.6 | 5.8 | 0.5 | 0.4 |
| 2018 | 26.0 | 20.3 | 15.4 | 17.5 | 4.2 | 4.2 | 0.6 | 0.5 |

Fuente: Elaboración propia

Para convertir las precipitaciones máximas diarias en máximas en 24 horas, se multiplico por un factor de 1.13 en base al estudio realizado por L.L Weiss (1964), en donde demostró que los resultados de las precipitaciones máximas en un intervalo de 24 horas, se asemejaban más a las obtenidas con lluvias máximas verdaderas si se aumentaba en un 13 % de las precipitaciones del análisis probabilístico. Este factor es conocido como corrección por intervalo fijo de corrección.

Cabe mencionar, además, que el OMM, recomienda el uso de este factor, puesto que las observaciones son medidas en pluviómetros. Este factor es utilizado universalmente.

A continuación, en la Tabla 12 se muestra las precipitaciones máximas en 24 horas por subcuenca, las cuales fueron obtenidas de multiplicar por el factor 1.13.

Tabla 12 Precipitaciones Máximas en 24 horas con corrección por subcuenca en periodo de 1981 - 2018

| Año /Sub Cuenca | Alto Huarmey | Allma | Alto Medio Huarmey | Malvas | Pedregal | Medio Huarmey | Gargar | Bajo Huarmey |
|-----------------|--------------|-------|--------------------|--------|----------|---------------|--------|--------------|
| 1981 | 29.3 | 51.9 | 26.0 | 47.7 | 4.6 | 6.4 | 0.4 | 0.2 |
| 1982 | 23.9 | 77.6 | 29.1 | 57.0 | 2.0 | 1.9 | 0.1 | 0.1 |
| 1983 | 25.2 | 77.5 | 46.7 | 97.5 | 4.9 | 4.4 | 0.2 | 0.1 |
| 1984 | 14.4 | 22.6 | 10.7 | 24.0 | 3.0 | 5.7 | 0.2 | 0.2 |
| 1985 | 13.1 | 15.6 | 8.1 | 17.6 | 1.5 | 1.1 | 0.3 | 0.3 |
| 1986 | 12.8 | 16.1 | 8.3 | 14.3 | 2.2 | 4.9 | 0.4 | 0.2 |
| 1987 | 14.4 | 22.8 | 12.4 | 22.4 | 2.3 | 1.8 | 0.1 | 0.1 |
| 1988 | 12.8 | 19.9 | 11.7 | 24.4 | 2.8 | 5.6 | 0.4 | 0.2 |
| 1989 | 13.2 | 21.7 | 19.6 | 27.2 | 2.5 | 4.4 | 0.4 | 0.3 |
| 1990 | 7.1 | 10.7 | 7.5 | 10.9 | 2.0 | 4.9 | 0.4 | 0.3 |
| 1991 | 13.5 | 21.1 | 8.7 | 17.5 | 2.1 | 1.6 | 0.2 | 0.2 |
| 1992 | 8.7 | 15.1 | 9.5 | 15.7 | 1.1 | 2.0 | 0.2 | 0.1 |
| 1993 | 17.8 | 28.6 | 13.7 | 24.8 | 3.7 | 3.0 | 0.1 | 0.1 |
| 1994 | 15.8 | 23.5 | 11.3 | 16.0 | 6.4 | 8.5 | 1.0 | 1.0 |
| 1995 | 16.6 | 15.2 | 7.6 | 8.7 | 1.6 | 1.0 | 0.0 | 0.0 |
| 1996 | 15.6 | 18.9 | 14.1 | 18.3 | 2.1 | 2.1 | 0.1 | 0.1 |
| 1997 | 15.8 | 21.9 | 10.6 | 16.4 | 3.6 | 1.1 | 0.9 | 0.9 |
| 1998 | 24.9 | 31.8 | 29.0 | 36.6 | 7.1 | 9.8 | 1.1 | 0.8 |
| 1999 | 42.1 | 45.0 | 39.1 | 39.1 | 12.2 | 11.5 | 1.0 | 0.8 |
| 2000 | 14.9 | 19.7 | 16.6 | 23.5 | 5.5 | 6.9 | 0.8 | 0.6 |
| 2001 | 13.8 | 19.6 | 12.2 | 16.7 | 3.8 | 5.3 | 0.5 | 0.4 |
| 2002 | 41.8 | 47.1 | 41.3 | 47.5 | 9.2 | 6.2 | 0.3 | 0.2 |
| 2003 | 12.4 | 15.3 | 10.9 | 18.6 | 3.6 | 5.7 | 1.1 | 1.1 |
| 2004 | 14.8 | 22.3 | 8.9 | 12.7 | 3.5 | 4.0 | 0.6 | 0.4 |
| 2005 | 9.0 | 13.6 | 8.0 | 11.9 | 4.9 | 6.2 | 0.5 | 0.4 |
| 2006 | 15.8 | 19.1 | 15.8 | 18.7 | 4.1 | 5.3 | 0.3 | 0.2 |
| 2007 | 13.4 | 25.4 | 13.7 | 23.3 | 7.1 | 9.5 | 0.7 | 0.6 |
| 2008 | 17.7 | 40.7 | 21.4 | 42.3 | 5.3 | 7.5 | 0.5 | 0.4 |
| 2009 | 29.4 | 41.3 | 30.7 | 35.5 | 8.9 | 11.4 | 1.3 | 0.8 |
| 2010 | 31.7 | 31.2 | 27.2 | 24.2 | 9.3 | 9.2 | 0.9 | 0.7 |
| 2011 | 12.0 | 12.5 | 9.8 | 9.6 | 2.9 | 4.0 | 0.2 | 0.2 |

| | | | | | | | | |
|-------------|------|------|------|------|-----|-----|-----|-----|
| 2012 | 27.3 | 29.6 | 25.6 | 30.8 | 7.8 | 8.6 | 1.0 | 0.7 |
| 2013 | 20.7 | 28.8 | 15.6 | 18.9 | 5.3 | 3.5 | 0.1 | 0.1 |
| 2014 | 14.7 | 18.3 | 9.5 | 15.0 | 3.2 | 3.3 | 0.2 | 0.1 |
| 2015 | 14.7 | 25.9 | 13.2 | 23.4 | 5.2 | 5.8 | 0.6 | 0.4 |
| 2016 | 11.0 | 15.1 | 9.3 | 15.8 | 1.8 | 1.5 | 0.2 | 0.1 |
| 2017 | 31.1 | 48.1 | 22.8 | 35.9 | 8.6 | 6.6 | 0.5 | 0.4 |
| 2018 | 29.4 | 22.9 | 17.5 | 19.8 | 4.7 | 4.8 | 0.7 | 0.6 |

Fuente: Elaboración propia

6.1.4 Precipitación Total Anual

Con los datos diarios de precipitación de la plataforma PISCO, se ordenó y organizó el desarrollo de las precipitaciones mensuales y los máximos anuales de cada estación, los cuales se muestran en el *Anexo 01*.

6.2 CALCULO DE CURVAS I-D-F

Como se sabe, en el área de análisis no se cuenta con datos pluviográficos, por lo cual se calculó las intensidades máximas horarias a partir de precipitaciones máximas en 24 horas según el método de Dick Peschke, el cual faculta el cálculo la lluvia máxima en función de precipitaciones máximas. Para la creación de estas curvas se siguió los pasos mencionados por el Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje del MTC.

Tabla 13 Coeficiente de duración

| DURACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN EN HORAS | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 8 | 10 | 12 | 14 | 16 | 18 | 20 | 22 | 24 | 48 |
|--|------|------|------|------|-----|------|------|------|------|------|------|-----|------|------|----|------|
| COEFICIENTE | 0.25 | 0.31 | 0.38 | 0.44 | 0.5 | 0.56 | 0.64 | 0.73 | 0.79 | 0.83 | 0.87 | 0.9 | 0.93 | 0.91 | 1 | 1.32 |

Fuente: (MANUAL DE HIDROLOGÍA, HIDRÁULICA Y DRENAJE, 2018)

Primero se usaron los coeficientes de duración presentados en la Tabla 13, para calcular las precipitaciones máximas para tiempos de duración de 1, 2, 3, 4, 5, 6, 12 y 24 horas. En la Tabla 14 se muestra las precipitaciones máximas para la estación Alto Huarmey.

Tabla 14 Precipitaciones máximas de la subcuenca Alto Huarmey

| PRECIPITACIONES MÁXIMAS PARA DIFERENTES PERIODOS DE RETORNO - ALTO HUARMEY | | | | | | | | | | | | | |
|--|---------------|---------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| mm/día | | | | | | | | | | | | | |
| PERIODO DE RETORNO (años) | P.MA X 24 HRS | DURACIÓN EN MINUTOS | | | | | | | | | | | |
| | | 10 | 20 | 30 | 60 | 90 | 120 | 180 | 240 | 300 | 360 | 720 | 1440 |
| 5 | 24.18 | 6.98 | 8.30 | 9.19 | 10.9 | 12.0 | 12.9 | 14.3 | 15.4 | 16.3 | 17.1 | 20.3 | 24.1 |
| | | | | | 3 | 9 | 9 | 8 | 5 | 4 | 0 | 3 | 8 |
| 10 | 29.85 | 8.62 | 10.2 | 11.3 | 13.4 | 14.9 | 16.0 | 17.7 | 19.0 | 20.1 | 21.1 | 25.1 | 29.8 |
| | | | 5 | 4 | 9 | 2 | 4 | 5 | 7 | 7 | 1 | 0 | 5 |
| 25 | 37.83 | 10.9 | 12.9 | 14.3 | 17.0 | 18.9 | 20.3 | 22.4 | 24.1 | 25.5 | 26.7 | 31.8 | 37.8 |
| | | 2 | 9 | 7 | 9 | 1 | 2 | 9 | 7 | 6 | 5 | 1 | 3 |
| 50 | 44.39 | 12.8 | 15.2 | 16.8 | 20.0 | 22.1 | 23.8 | 26.3 | 28.3 | 29.9 | 31.3 | 37.3 | 44.3 |
| | | 1 | 4 | 6 | 5 | 9 | 5 | 9 | 6 | 9 | 9 | 2 | 9 |
| 100 | 51.49 | 14.8 | 17.6 | 19.5 | 23.2 | 25.7 | 27.6 | 30.6 | 32.9 | 34.7 | 36.4 | 43.3 | 51.4 |
| | | 6 | 8 | 6 | 6 | 5 | 7 | 2 | 0 | 9 | 1 | 0 | 9 |
| 500 | 70.51 | 20.3 | 24.2 | 26.7 | 31.8 | 35.2 | 37.8 | 41.9 | 45.0 | 47.6 | 49.8 | 59.2 | 70.5 |
| | | 6 | 1 | 9 | 6 | 6 | 9 | 3 | 5 | 4 | 6 | 9 | 1 |

Fuente: Elaboración propia

Posterior a determinar de las precipitaciones máximas, se determinó las intensidades haciendo uso de la teoría explicada en el capítulo 4.3.4. En la Tabla 15 se muestran los valores de intensidades para las diferentes duraciones, así como su respectivas curvas IDF.

Tabla 15 Intensidades máximas para estación Alto Huarmey

| INTENSIDADES MÁXIMAS - ALTO HUARMEY mm/hr | | | | | | | | | | | | |
|---|---------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|------|
| PERIODO DE RETORNO (años) | DURACIÓN EN MINUTOS | | | | | | | | | | | |
| | 10 | 20 | 30 | 60 | 90 | 120 | 180 | 240 | 300 | 360 | 720 | 1440 |
| 5 | 41.88 | 24.90 | 18.37 | 10.93 | 8.06 | 6.50 | 4.79 | 3.86 | 3.27 | 2.85 | 1.69 | 1.01 |
| 10 | 51.70 | 30.74 | 22.68 | 13.49 | 9.95 | 8.02 | 5.92 | 4.77 | 4.03 | 3.52 | 2.09 | 1.24 |
| 25 | 65.52 | 38.96 | 28.74 | 17.09 | 12.61 | 10.16 | 7.50 | 6.04 | 5.11 | 4.46 | 2.65 | 1.58 |
| 50 | 76.88 | 45.71 | 33.73 | 20.05 | 14.80 | 11.92 | 8.80 | 7.09 | 6.00 | 5.23 | 3.11 | 1.85 |
| 100 | 89.19 | 53.03 | 39.13 | 23.26 | 17.16 | 13.83 | 10.21 | 8.23 | 6.96 | 6.07 | 3.61 | 2.15 |
| 500 | 122.13 | 72.62 | 53.58 | 31.86 | 23.50 | 18.94 | 13.98 | 11.26 | 9.53 | 8.31 | 4.94 | 2.94 |

Fuente: Elaboración propia

Las tablas de precipitaciones e intensidades máximas, así como su respectiva curva IDF para cada subcuenca, se muestran en el Anexo 03.

6.3 HIETOGRAMAS DE DISEÑO

Como ya se mencionó previamente, un hietograma es la representación de una tormenta a lo largo de una duración determinada de tiempo, es decir, muestra una distribución temporal de la observación de la tormenta. Hay diversas maneras de obtener un hietograma, en este caso en particular, se toma como punto de partida las curvas I-D-F calculadas previamente, y se usa el método de bloque alterno mencionado en el Manual de Hidrología del Ministerio de Transportes (MTC), el cual señala lo siguiente:

Método del Bloque Alterno

El método del bloque alterno, se relaciona con las curvas IDF y determina la precipitación para n intervalos sucesivos de tiempo con una duración Δt , obteniendo una duración total de $T_d = n \cdot \Delta t$

Luego se selecciona un periodo de retorno para leer o calcular la intensidad en las curvas IDF, para las diferentes duraciones Δt (normalmente estas duraciones son expresadas en minutos y son una serie establecida múltiplos de 60 minutos). Una vez teniendo la intensidad se calcula precipitación correspondiente, multiplicando por la duración. Ya con estos valores de precipitación, se procede a ordenar de forma alternada con su respectivo par de duración, de tal manera que la intensidad máxima suceda justo en el centro y el resto de bloques queden ordenados descendientemente a ambos lados del bloque máximo (MANUAL DE HIDROLOGÍA, HIDRÁULICA Y DRENAJE, 2018).

En este caso, se calcula los hietogramas usando hojas de cálculo con este método, ya teniendo como punto de partida nuestras curvas IDF. Los detalles de los diferentes hietogramas de diseño para cada subcuenca se encuentran en el *Anexo 3*.

7. CÁLCULOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.

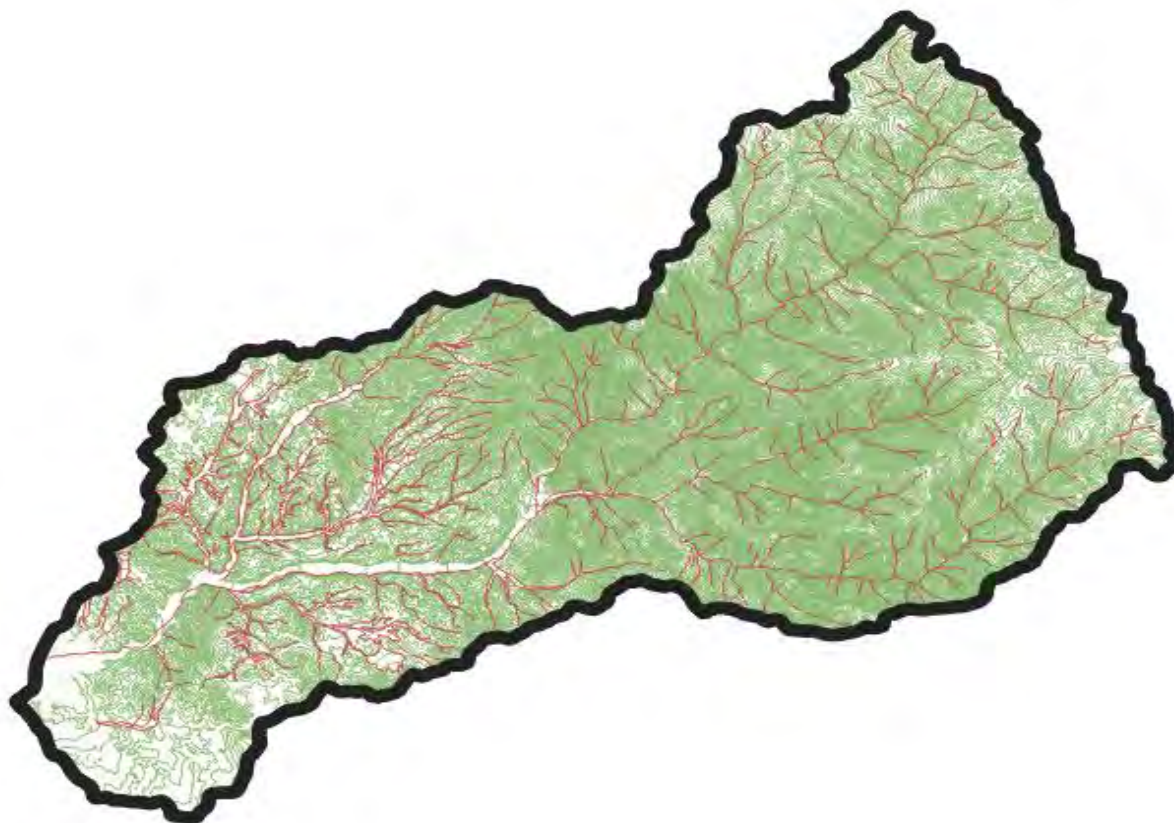
7.1 DELIMITACIÓN Y CARACTERÍSTICAS GEOMORFOLÓGICAS DE LA CUENCA

7.1.1 Delimitación de la cuenca Huarmey

Para delimitar la cuenca en mención, se hizo uso del software computacional ArcGIS para generar los formatos raster, tomando como referencia un DEM de la zona, tanto para las curvas de nivel como para la red hidrográfica, proporcionados por el Ministerio de Educación de manera gratuita y de libre disposición al público.

A continuación, en la Figura 35 se aprecia un esquema de la cuenca delimitada, en donde se puede ver las curvas de nivel y la red hidrográfica perteneciente a la cuenca.

Figura 35. Representación gráfica de la cuenca Huarmey



Fuente: Elaboración propia

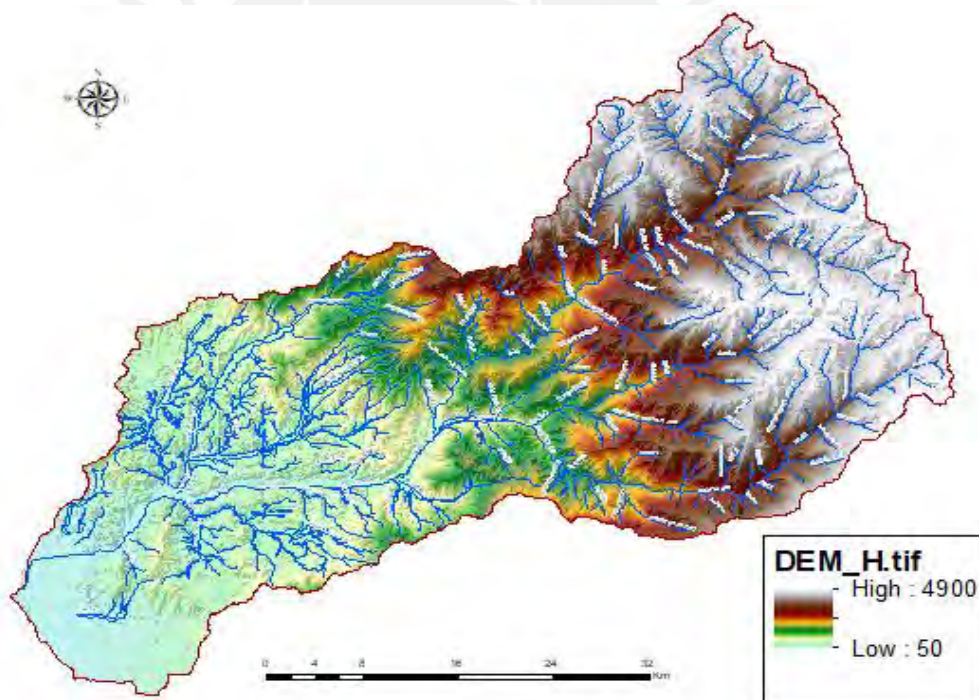
7.1.2 Características Geomorfológicas y parámetros de la cuenca.

El área de la cuenca del río Huarmey es de 2244.99 kilómetros cuadrados que abarcan desde la costa, hasta la zona más alta en donde se encuentra ubicada la estación Malvas.

La cuenca tiene una forma rectangular alargada, y a lo largo de ella podemos encontrar lagunas, quebradas y ríos, los cuales suelen disminuir su caudal en los meses desde julio, hasta octubre.

En cuanto a la topografía de la cuenca, se optó por usar el DEM STRM de 30 m de resolución espacial para trabajar los parámetros morfológicos de la cuenca. Debido a ello la altitud máxima es la cuenca alcanza 4900 msnm según el DEM usado, como se evidencia en la Figura 36.

Figura 36. Modelo de elevación de la cuenca Huarmey, tomando como referencia DEM

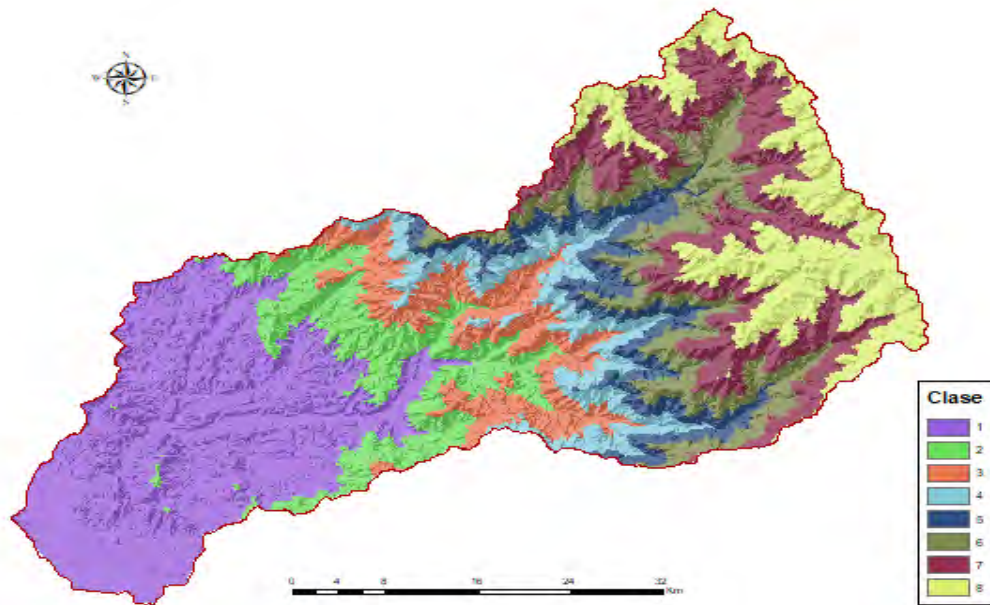


Fuente: Elaboración propia

Cuadro de Áreas Parciales y Acumulados Según la Altitud

Con el Software ArcGIS 10.2 se obtiene las áreas entre curvas de nivel o cotas, es decir las áreas parciales como se muestran en la Figura 37.

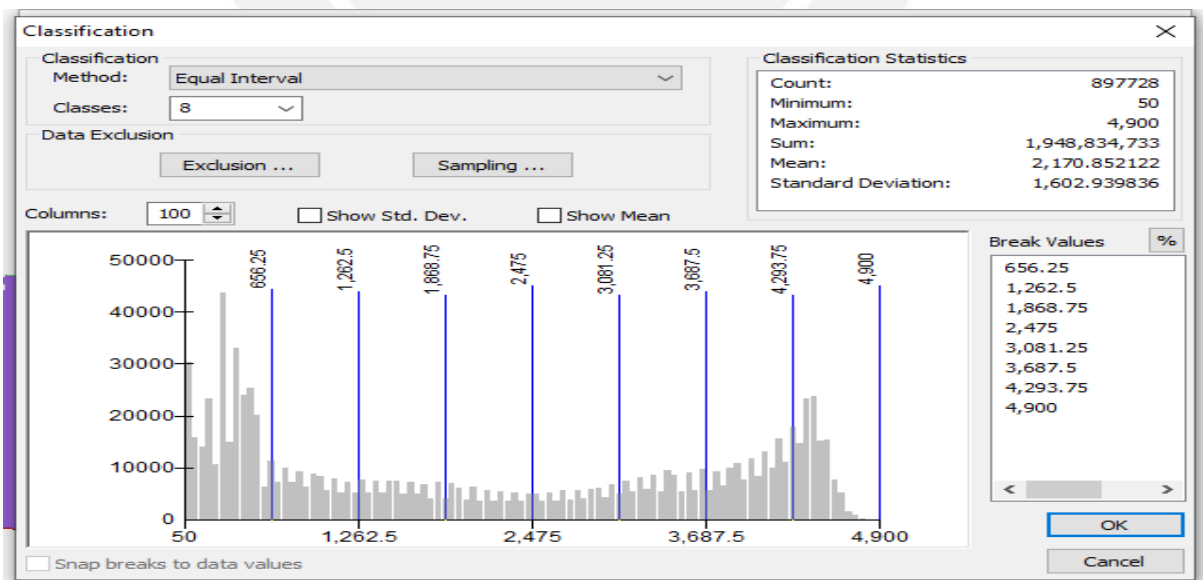
Figura 37. Áreas parciales y acumuladas para la elaboración de la Curva Hipsométrica



Fuente: Elaboración propia

Para la elaboración de la curva hipsométrica, la cuenca se separó en 8 zonas calculando su respectiva área parcial relacionado a las alturas del DEM. En la Figura 38 se muestra la clasificación de las 8 subcuencas.

Figura 38. Clasificación de la cuenca en 8 áreas para la elaboración de la curva hipsométrica



Fuente: Elaboración propia

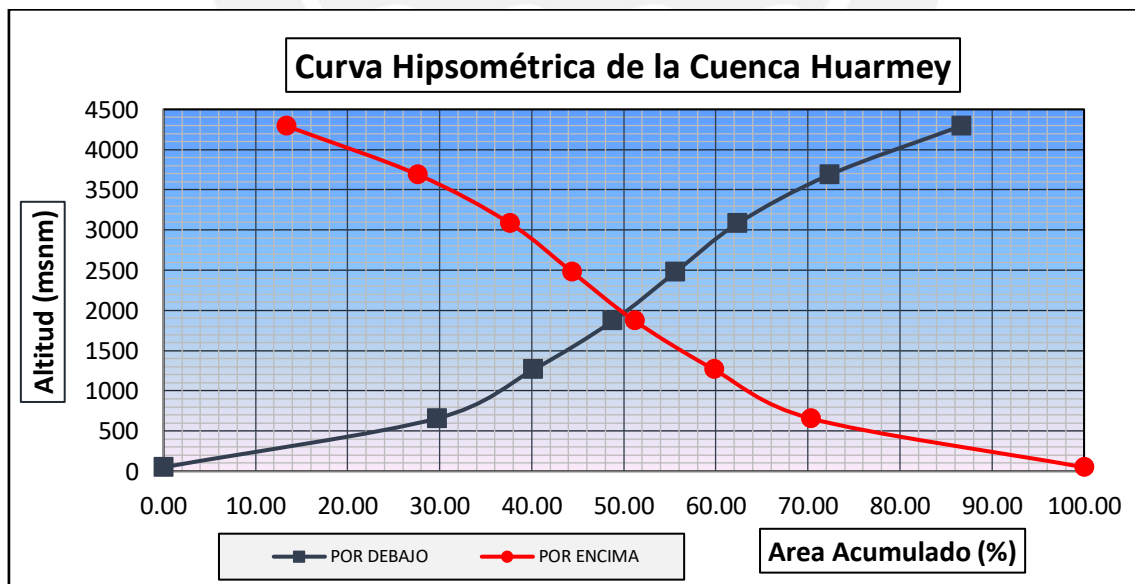
Las áreas parciales y acumuladas para calcular la curva hipsométrica se muestran la Tabla 16, además, la Figura 39 muestra una representación gráfica de la misma.

Tabla 16 Áreas parciales y acumuladas para determinar la Curva Hipsométrica

| ALTITUD m.s.n.m. | AREAS PARCIALES | | AREAS ACUMULADAS | | | |
|---------------------|-----------------|---------------|---------------------|--------|-------------------|--------|
| | Km2 | (%) | POR DEBAJO (KM2) | (%) | POR ENCIMA KM2 | (%) |
| Punto más bajo 0 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 2244.32 | 100.00 |
| 50 | 666.05 | 29.68 | 666.05 | 29.68 | 1578.28 | 70.32 |
| 656.250061 | 235.18 | 10.48 | 901.23 | 40.16 | 1343.09 | 59.84 |
| 1262.506714 | 194.00 | 8.64 | 1095.23 | 48.80 | 1149.10 | 51.20 |
| 1868.75354 | 152.24 | 6.78 | 1247.47 | 55.58 | 996.85 | 44.42 |
| 2475.026123 | 152.19 | 6.78 | 1399.66 | 62.36 | 844.67 | 37.64 |
| 3081.255859 | 224.35 | 10.00 | 1624.00 | 72.36 | 620.32 | 27.64 |
| 3687.500732 | 320.62 | 14.29 | 1944.62 | 86.65 | 299.70 | 13.35 |
| 4293.754395 | 299.70 | 13.35 | 2244.32 | 100.00 | 0.00 | 0.00 |
| 4900 | | | | | | |
| TOTAL | 2244.32 | 100.00 | | | | |

Fuente: Elaboración propia

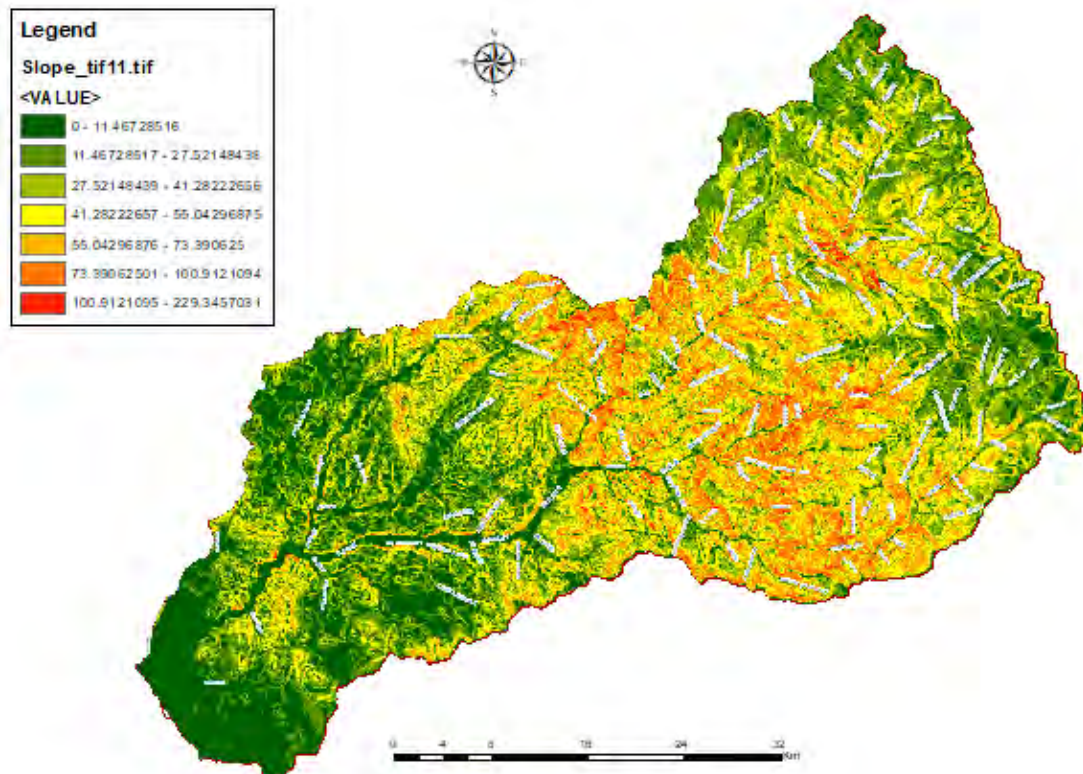
Figura 39. Curva Hipsométrica de la Cuenca Huarmey



Fuente: Elaboración propia

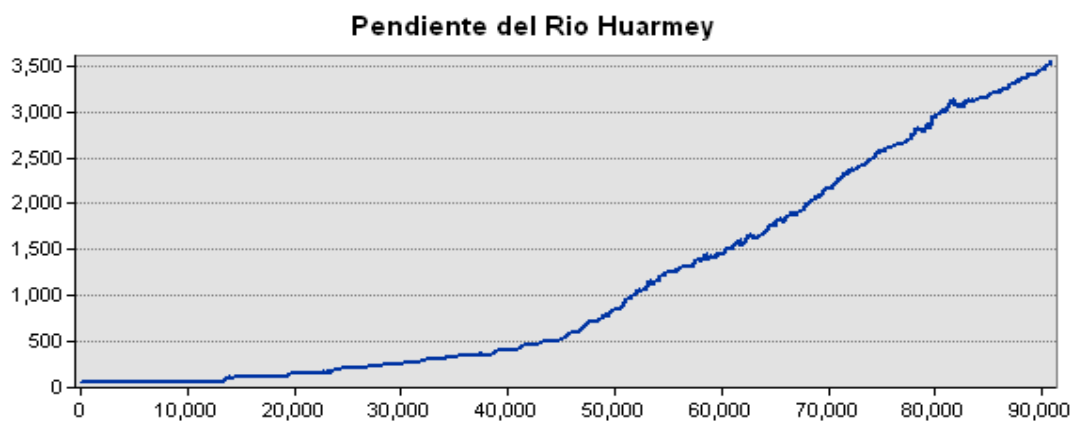
Se le otorga una altitud media de 2198.63 m.s.n.m. y además una pendiente media del orden de 44.1%. en la Figura 40 se muestra las pendientes en porcentaje de toda la cuenca. Así mismo, en la Figura 41 se puede ver la representación del perfil longitudinal del río de la cuenca Huarney.

Figura 40. Mapa de Pendientes de la Cuenca Huarney



Fuente: Elaboración propia

Figura 41. Perfil longitudinal del río principal de la cuenca Huarney



Fuente: Elaboración propia

Según la curva hipsométrica y el perfil del río, se puede decir que se trata de un río maduro, es decir que se presentan en valles amplios y sus pendientes son relativamente pequeñas (García Sánchez & Maza Alvares, 1997).

Por otro lado, el factor de forma de la cuenca que se obtuvo fue de 0.2386, lo cual es un indicador de que la cuenca sería propensa a las crecidas. Del mismo modo el coeficiente de compacidad determinado, fue de 1.59 y esto refleja que la forma de nuestra cuenca tendería a ser de forma oval oblonga o rectangular oblonga.

A continuación, en la *tabla 17, 18 y 19* se presenta el resumen con los parámetros mencionados anteriormente, así como una versión rectangular ficticia de la cuenca.

Tabla 17 Parámetros Geomorfológicos de la cuenca del río Huarmey

| | |
|--|---------|
| AREA km ² | 2244.99 |
| PERIMETRO km | 267.186 |
| ALTITUD MEDIA m.s.n.m. | 2199 |
| LONGITUD DEL CAUCE km | 97 |
| PENDIENTE DEL CAUCE % | 6.1 |
| PENDIENTE MEDIA DE LA CUENCA % | 44.1 |
| COEFICIENTE DE COMPACIDAD | 1.59 |
| FACTOR DE FORMA | 0.2386 |
| RECTANGULO EQUIVALENTE | |
| LADO MAYOR km | 115.09 |
| LADO MENOR km | 19.51 |
| TIEMPO DE CONCENTRACION T _c min | |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 18 Parámetros geomorfológicos de las Subcuencas del Río Huarmey

| SUBCUENCA | AREA (KM ²) | PERIMETRO (KM) | LONGITUD RÍO PRINCIPAL (KM) | PENDIENTE RÍO m/m | COEFICIENTE DE COMPACIDAD Kc | FACTOR DE FORMA Ft | RECTANGULO EQUIVALENTE (KM) | | ALTITUD MEDIA msnm | PENDIENTE DE LA CUENCA % | DENSIDAD DE DRENAJE km/km ² |
|--------------------|----------------------------|-------------------|--------------------------------------|-------------------------|---------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------------|---------------|--------------------------|-----------------------------------|---|
| | | | | | | | LADO MAYOR | LADO MENOR | | | |
| Alto Huarmey | 228.95 | 72.5 | 21.1 | 0.0775 | 1.34 | 0.51 | 28.2 | 8.16 | 3845 | 38 | 0.37 |
| Allma | 120.23 | 55.4 | 20.63 | 0.078 | 1.41 | 0.28 | 22.39 | 5.45 | 3870 | 42 | 0.32 |
| Alto Medio Huarmey | 364.19 | 306.25 | 32.87 | 0.071 | 1.57 | 0.31 | 44.97 | 8.1 | 2940 | 55 | 0.34 |
| Malvas | 603.73 | 604.05 | 54.5 | 0.074 | 6.9 | 0.7 | 49.8 | 10.5 | 2660 | 54 | 0.32 |
| Medio Huarmey | 162.27 | 94.19 | 24.15 | 0.045 | 1.86 | 0.29 | 37.8 | 4.3 | 699 | 39 | 0.33 |
| Pedregal | 312.31 | 89.09 | 33.7 | 0.056 | 1.41 | 0.28 | 35.8 | 8.71 | 1341 | 19 | 0.49 |
| Gargar | 129.44 | 58.71 | 18.93 | 0.038 | 1.44 | 0.35 | 23.65 | 5.45 | 431 | 29 | 0.39 |
| Bajo Huarmey | 320.29 | 112.72 | 17.26 | 0.045 | 1.79 | 1.2 | 49.9 | 6.4 | 102 | 23 | 0.33 |

Fuente: Elaboración propia

7.2 MODELAMIENTO HIDROLÓGICO DE LA CUENCA

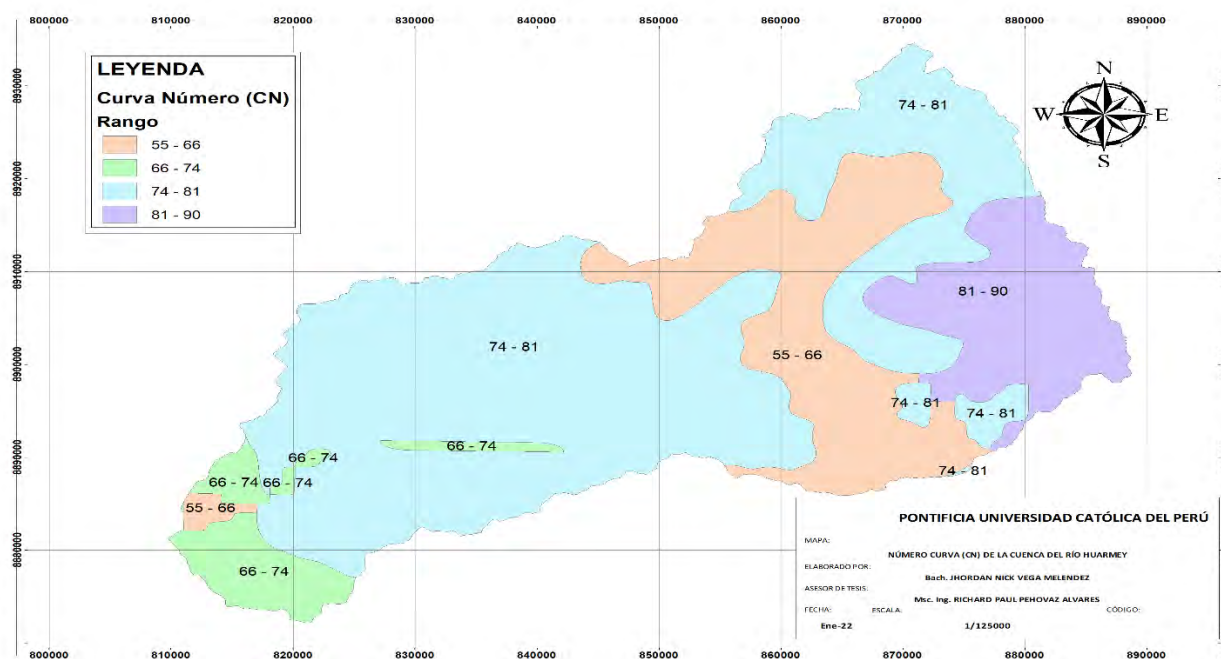
Una vez delimitada la cuenca, se utilizó los datos obtenidos del programa ArcGIS, hacia el programa Hec-HMS, con la finalidad de tener un sistema que englobe los parámetros geométricos de la cuenca, para así complementar nuestro modelado. Además, ello permitirá determinar el escurrimiento superficial producto de las precipitaciones, obteniendo nuestro hidrograma de crecida para los diferentes periodos de retorno, y así analizar la influencia del tránsito de avenidas mediante la incorporación del reservorio de control.

7.2.1 Determinación del parámetro Curva Número (CN)

Como se mencionó anteriormente, para el modelo se optó por utilizar el método desarrollado por Soil Conservation Service (SCS), que se encuentra cargado dentro del software, y el ayuda a determinar las perdidas por infiltración en el terreno. Este método se basa en la calibración del parámetro de Numero de Curva (CN).

Para determinar el Curva Número (CN), se utilizó un archivo shape file compartido por la Autoridad Nacional del Agua (ANA), en donde proporcionan los datos de Curva Número para la cuenca en estudio; tomando en cuenta los parámetros del uso del suelo y los valores de cada grupo hidrológico, según lo mencionado en el inciso 4.7.3.

Figura 42. Curva Número de la cuenca del río Huarmey



Fuente: Elaboración propia

A continuación, se muestra la Tabla 19 que contiene los valores de Curva Número para las diferentes sub cuencas.

Tabla 19 Valores de curva número para cada sub cuenca.

| SUB CUENCA | AREA (km ²) | CURVA NÚMERO (CN) |
|--------------------|----------------------------|-------------------------|
| Alto Huarmey | 228.95 | 78 |
| Allma | 120.23 | 88 |
| Alto Medio Huarmey | 364.19 | 80 |
| Malvas | 603.73 | 83 |
| Medio Huarmey | 162.27 | 83 |
| Pedregal | 312.31 | 85 |
| Gargar | 129.44 | 98 |
| Bajo Huarmey | 320.29 | 98 |

Fuente: Elaboración propia

Es preciso mencionar que el valor de la Curva Número, servirá para la calibración del modelo, ya que, para tener un modelo confiable, los resultados obtenidos del mismo deben ser cuantitativamente similares a los observados, por ello las variaciones de este valor, nos permitirán calibrar de manera correcta al modelo.

7.2.2 Determinación de la Abstracción Inicial (Ia)

Para determinar este parámetro solicitado por el software, o también conocido como Pérdidas Iniciales (Ia), se definió en que es igual a dos veces la Infiltración potencial Máxima (S), o también según lo propuesto por Villón Bejar, se puede calcular con la siguiente ecuación.

$$Ia = \left(\frac{5080}{CN} - 50.8 \right) \quad (mm)$$

Remplazando los valores de la Tabla 19, se encuentra los valores de abstracción inicial. A continuación, se presentará la Tabla 20 con los valores de abstracción inicial para las diferentes sub cuencas.

Tabla 20 Valores de Abstracción Inicial para las subcuencas

| SUB CUENCA | ABSTRACCIÓN INICIAL |
|--------------|------------------------|
| Alto Huarmey | 14.33 |
| Allma | 6.93 |

| | |
|--------------------|-------|
| Alto Medio Huarmey | 12.70 |
| Malvas | 10.40 |
| Medio Huarmey | 10.40 |
| Pedregal | 8.96 |
| Gargar | 1.04 |
| Bajo Huarmey | 1.04 |

Fuente: Elaboración propia

7.2.3 Cálculo del Tiempo de Concentración y Tiempo de Retardo

Para el cálculo del tiempo de concentración se utilizó la fórmula de Kirpich (capítulo 4.8.1.), ya que esta es una de las más utilizadas y además se ajusta al tipo de cuenca que se está analizando, debido a que tenemos zonas rurales y el grado de urbanización es menos que el 4.0%.

Por otro lado, al trabajar con el método del SCS para convertir la precipitación neta en escorrentía directa, el software solicita ingresar el parámetro de tiempo de retardo, el cual viene a estar calculado por el 60% del tiempo de concentración $Lag\ Time = 0.6 T_c$. En la Tabla 21 se muestran los resultados.

Tabla 21 Tiempo de Concentración y Tiempo de Retardo para cada Subcuenca

| SUBCUENCA | Tc | | Lag. Time | |
|--------------------|-------|--------|-----------|--------|
| | Hrs | Min | Hrs | Min |
| Alto Huarmey | 1.856 | 111.35 | 1.11 | 66.81 |
| Allma | 1.819 | 109.16 | 1.09 | 65.50 |
| Alto Medio Huarmey | 2.700 | 162.02 | 1.62 | 97.21 |
| Malvas | 3.923 | 235.36 | 2.35 | 141.22 |
| Medio Huarmey | 2.538 | 152.31 | 1.52 | 91.39 |
| Pedregal | 3.016 | 180.96 | 1.81 | 108.58 |
| Gargar | 2.246 | 134.76 | 1.35 | 80.85 |
| Bajo Huarmey | 1.960 | 117.60 | 1.18 | 70.56 |

Fuente: Elaboración propia

7.2.4 Resultados Obtenidos y Calibración del Modelo Hidrológico

Una vez realizada la simulación en el modelo Hec-Hms, siguiendo todo el procedimiento mencionado detallado en el *Anexo 01*, se obtuvo los resultados de los caudales picos para los periodos de retorno de 50, 100 y 500 años, siendo $210.2\ m^3/s$, $281.2\ m^3/s$ y $574.1\ m^3/s$ respectivamente.

Para la confiabilidad de los resultados, se usó como calibración del modelo, el valor del parámetro curva número (CN), teniendo como referencia los eventuales caudales observados en la Tabla 22 para distintos periodos de retorno presentados en el informe a la Autoridad Nacional del Agua (ANA) que tiene por nombre “*Estudio de Máximas Avenidas en las Cuencas del Centro de la Vertiente del Pacífico*”, del Ministerio de Agricultura.

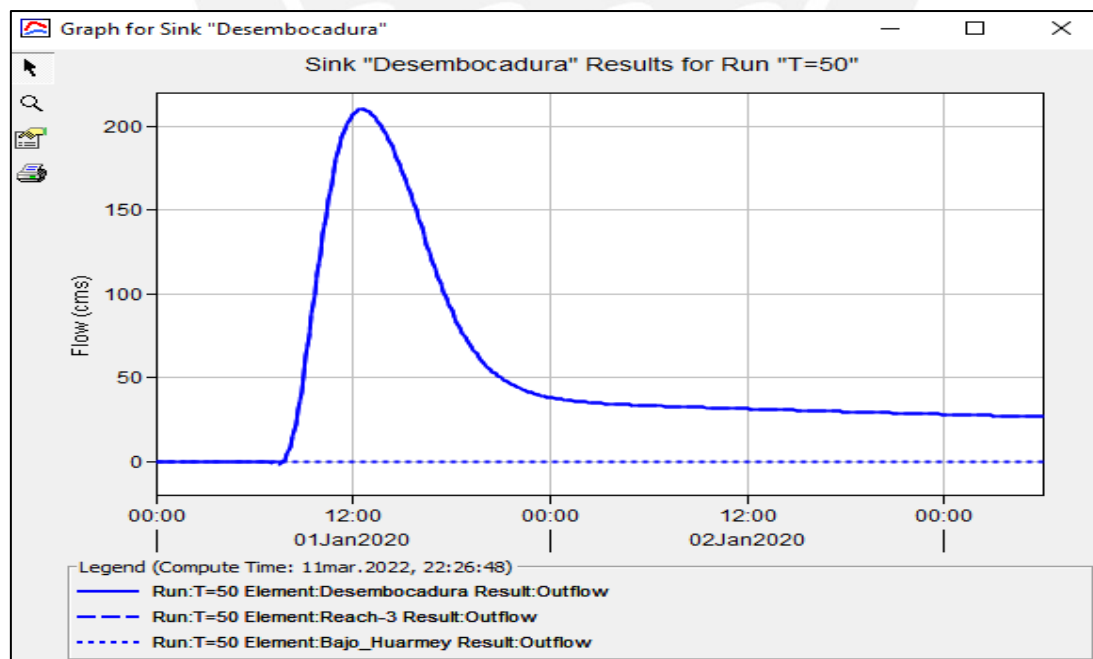
Tabla 22 Caudales máximos observados para diferentes periodos de retorno

| ITEM | TIEMPO DE RETORNO (Tr) | CAUDALES OBSERVADOS (m ³ /s) |
|------|------------------------|---|
| 1 | 25 | 167.1 |
| 2 | 50 | 215.5 |
| 3 | 75 | 245.3 |
| 4 | 100 | 268.4 |
| 5 | 200 | 327.2 |

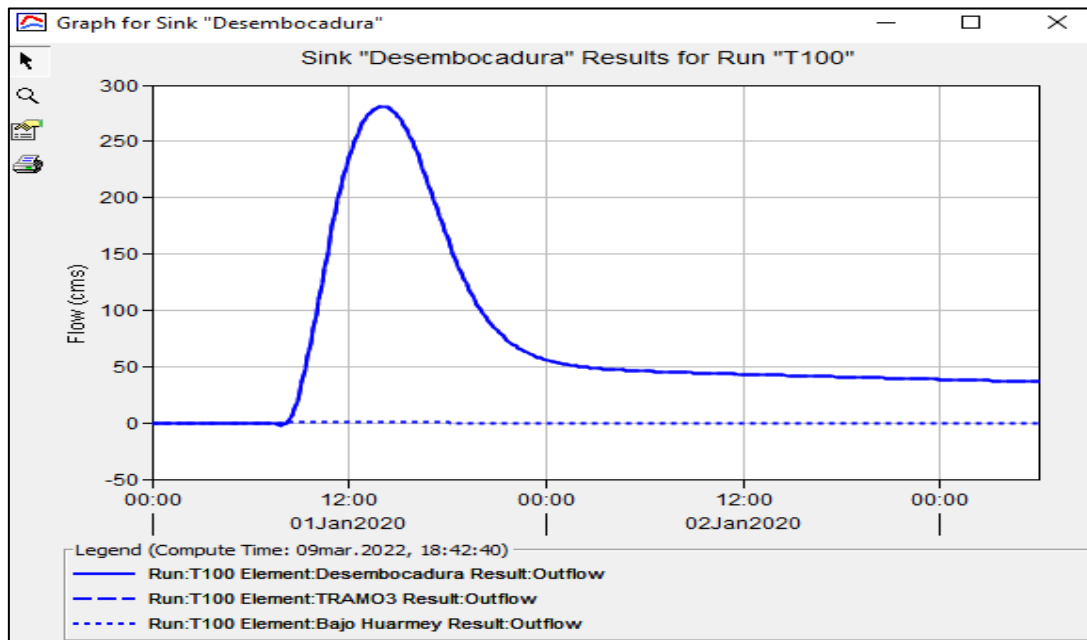
Fuente: (Apacla Nalvarte, 2010)

A continuación, en la Figura 43, 44 y 45 se presenta los hidrogramas para los diferentes periodos de retorno:

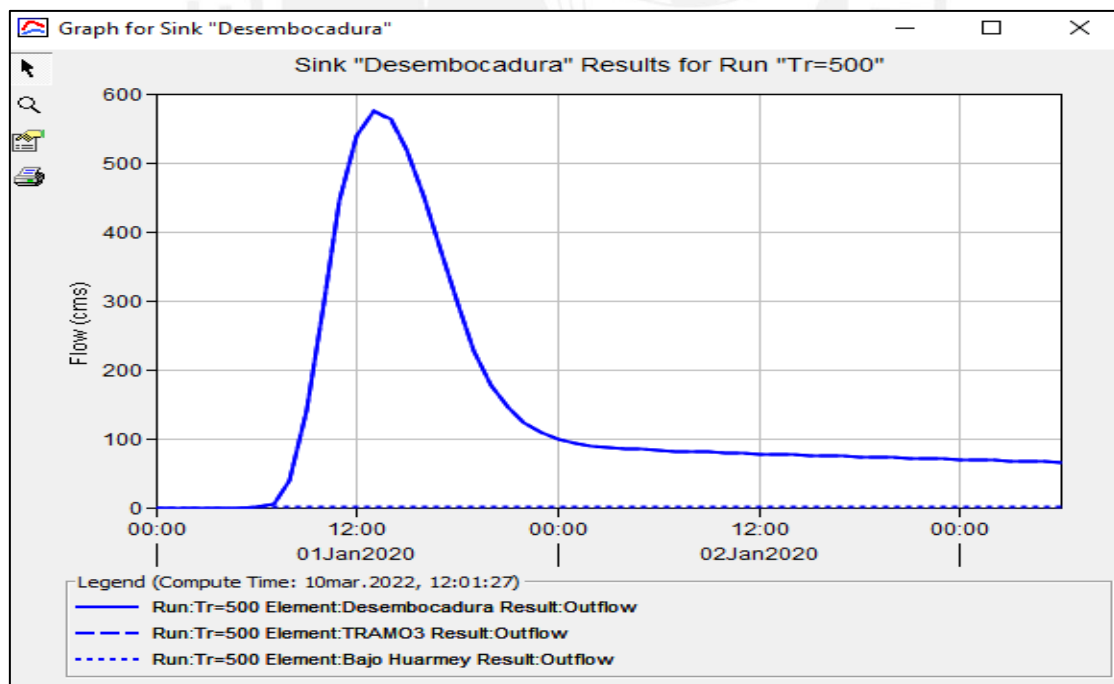
Figura 43. Hidrograma para Tr = 50 años



Fuente: Elaboración propia

Figura 44. Hidrograma para $Tr = 100$ años

Fuente: Elaboración propia

Figura 45. Hidrograma para $Tr = 500$ años

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 23 se presenta un resumen con los caudales para los diferentes periodos de retorno obtenidos, así como los caudales pico tomados del informe del ANA (Apaclla Nalvarte, 2010). Además, se observa los porcentajes de error porcentual de caudales picos son menores a 5%, por lo que se puede considerar los resultados obtenidos del modelo como aceptables.

Tabla 23 Caudales obtenidos y observados

| Caudales para diferentes Periodos de Retorno | | | |
|---|-----------|------------|------------|
| Periodo de Retorno (años) | 50 | 100 | 500 |
| Caudal Obtenido del Modelo (m³/s) | 210.2 | 281.2 | 574.1 |
| Caudal Observado (ANA) (m³/s) | 215.5 | 268.4 | - |
| Error Porcentual % | 2.46 | 4.77 | - |

Fuente: Elaboración propia

7.3 TRANSITO DE AVENIDAS CON RESERVORIO

A continuación, se presenta los cálculos respectivos correspondientes al tránsito de avenidas, para lluvias con un periodo de retorno de 50, 100 y 500 años. Cabe mencionar que los hidrogramas de entrada para este periodo de retorno fueron obtenidos del modelo Hec – HMS.

7.3.1 Parámetros Geométricos del Reservorio

Dentro de los parámetros del reservorio, se consideró la siguiente ecuación para la descarga del vertedero, la cual es planteada por Ven Te Chow, siendo un vertedero rectangular de cresta libre no controlada, donde la altura de descarga según la topografía de la zona es 58.5 msnm. y una longitud considerada para fines prácticos de este trabajo será de 10 m. Además, para el coeficiente C se usará un valor de 1.84 debido al tipo de vertedero considerado, ya que es un valor experimental aceptado.

$$Q = CLH^{3/2}$$

Donde:

Q = Caudal de salida m³/s

C = Coeficiente variable de caudal

L = Longitud Efectiva de la Cresta (m)

H = Cabeza total en la cresta incluyendo la cabeza velocidad de la cresta (m)

$NAMO$ = Nivel de Aguas Máximas Ordinarias

Tabla 24 Datos del vertedero del reservorio propuesto

| DATOS | | |
|-----------|------|------|
| L | 10 | m |
| C | 1.84 | |
| COTA NAMO | 58.5 | msnm |

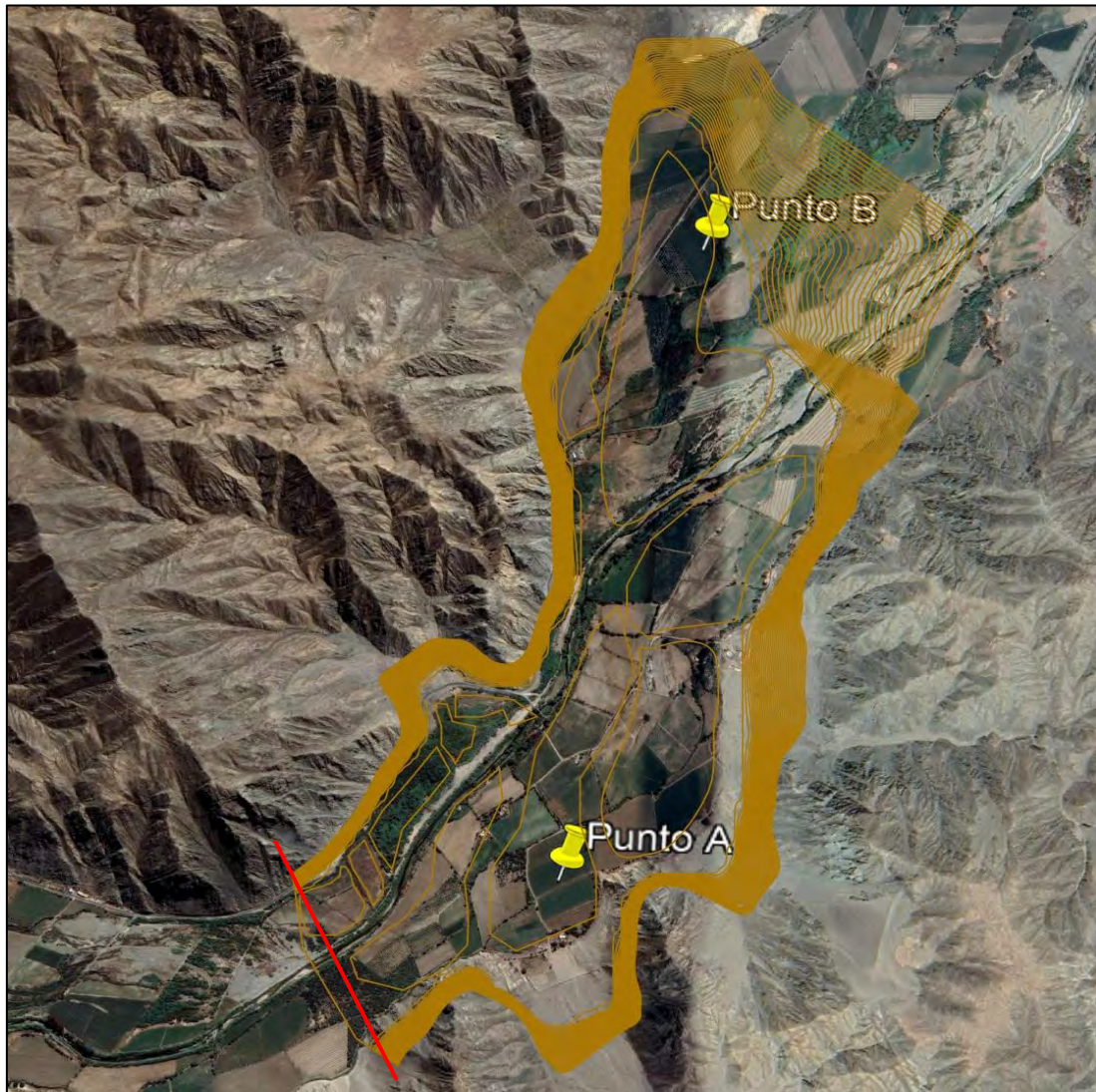
Fuente: Elaboración propia

7.3.2 Topografía de la Zona de Estudio

Al no contar con un estudio topográfico a detalle en la zona, se optó por realizar un análisis con la información proporcionada por algunos satélites de la NASA y la que el Ministerio de Educación proporciona en sus cartas nacionales.

Para ello, usando el modelo de elevación de terreno (DEM) descargado del satélite de la NASA - ALOS PALSAR, y haciendo una interpolación con la información de las cartas del MINEDU, se obtuvieron con un intervalo de 12.5 m. Es necesario precisar que para el análisis se requieren curvas de nivel de 1 a 2 m, para que los resultados sean confiables, es por eso que con ayuda del software ArcGIS se interpoló estas curvas de tal manera que se obtuviera curvas de nivel a cada metro; todo esto proyectado en el mismo sistema UTM – WGS 1984 – Zona 17 Sur. En la Figura 46 se puede ver la representación gráfica de las curvas de nivel.

Figura 46. Curvas de nivel del reservorio en la zona propuesta



Fuente: Elaboración propia

A continuación, en la Tabla 25 se presenta el almacenamiento del reservorio según el área de influencia de las curvas de nivel, esto fue determinado mediante una intersección de planos referenciales con la topografía del vaso laminar ubicados a cada 1 m, con la finalidad de encontrar el área de influencia la cual nos permite conocer el volumen.

Tabla 25 Almacenamiento del reservorio

| ELEVACIÓN m.s.n.m. | ÁREA (1000 m ²) | VOLUMEN m ³ | VOLUMEN ACUMULADO m ³ | VOLUMEN ACUMULADO MM ³ |
|-----------------------|--------------------------------|---------------------------|--|---|
| 51 | 1504.344 | 0 | 0 | 0 |
| 52 | 1537.652 | 1520997.9 | 1520997.9 | 1.521 |
| 53 | 1564.971 | 1551311.2 | 3072309.2 | 3.072 |

| | | | | |
|----|----------|-----------|------------|--------|
| 54 | 1589.650 | 1577310.1 | 4649619.3 | 4.650 |
| 55 | 1613.160 | 1601405.0 | 6251024.3 | 6.251 |
| 56 | 1636.226 | 1624693.3 | 7875717.7 | 7.876 |
| 57 | 1659.281 | 1647753.4 | 9523471.1 | 9.523 |
| 58 | 1682.396 | 1670838.1 | 11194309.2 | 11.194 |
| 59 | 1705.688 | 1694042.0 | 12888351.2 | 12.888 |
| 60 | 1729.238 | 1717463.4 | 14605814.6 | 14.606 |
| 61 | 1753.146 | 1741192.4 | 16347006.9 | 16.347 |
| 62 | 1777.246 | 1765196.1 | 18112203.1 | 18.112 |
| 63 | 1801.695 | 1789470.3 | 19901673.4 | 19.902 |

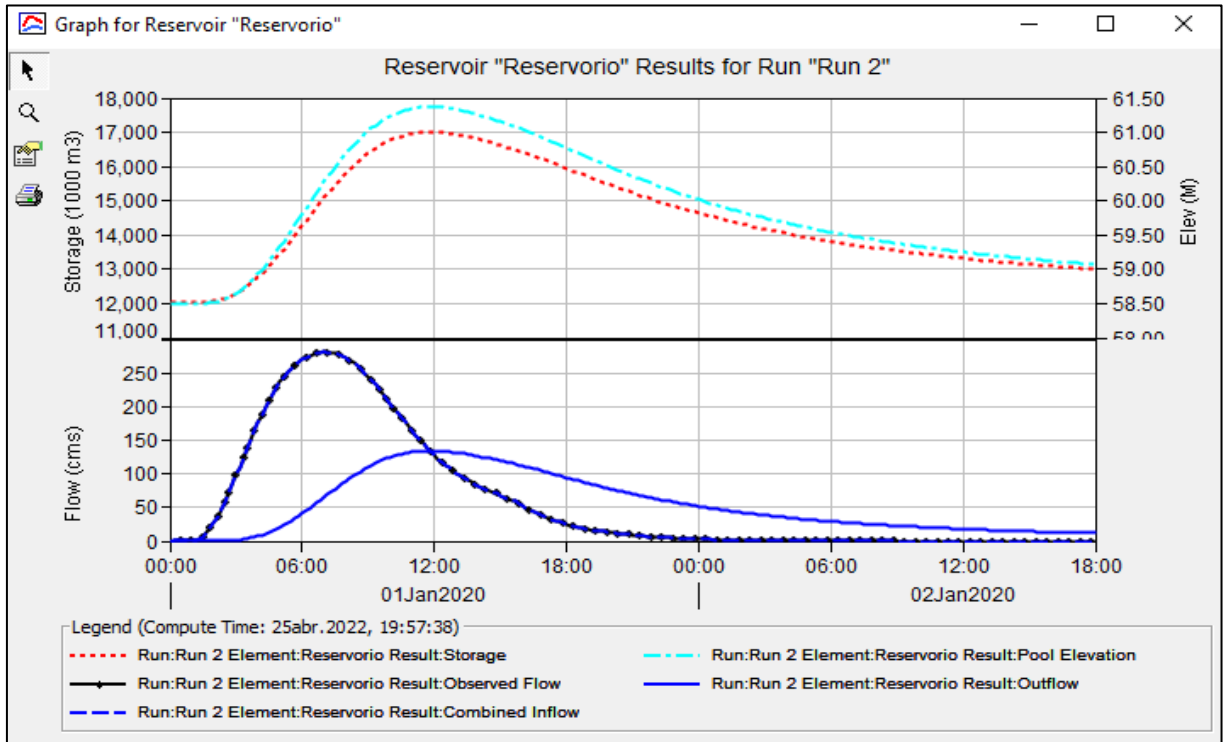
Fuente: Elaboración propia

7.3.3 Resultado del efecto Laminador del Reservorio.

Tomando como referencia el procedimiento hecho para el modelado de la cuenca, se crean los componentes de la misma manera, incluyendo esta vez dentro de los elementos hidrológicos a una fuente, la cual permitirá atenuar el hidrograma de entrada con la implementación del reservorio de control como tal, en donde se considerará los parámetros geométricos y de almacenamiento del mismo. El detalle se muestra en el *Anexo 07*.

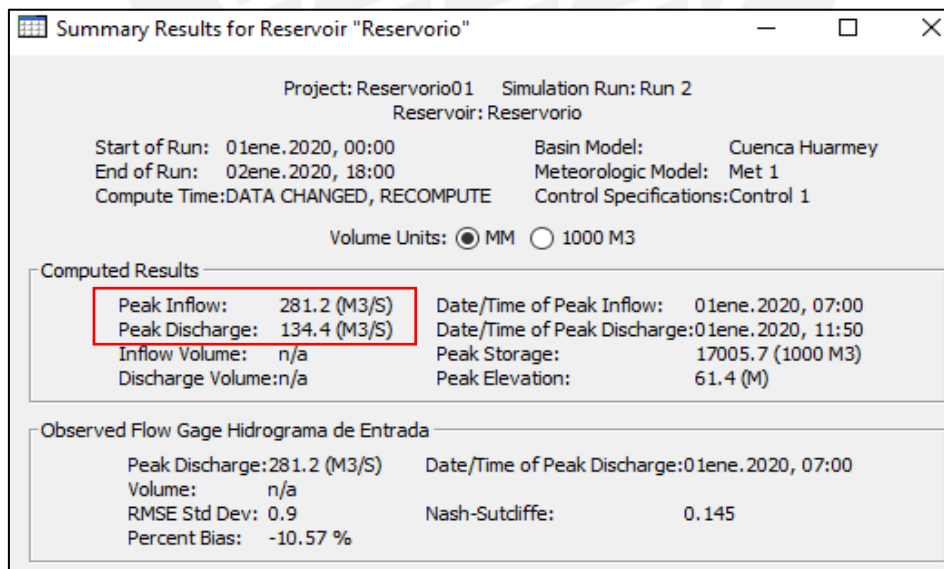
Una vez completado todo el procedimiento anterior, se corre el software para calcular los resultados, los cuales se representan en la Figura 47, en donde se puede apreciar una laminación considerable del caudal pico.

Figura 47. Efecto laminador de hidrograma con presencia de Reservorio de Control para un



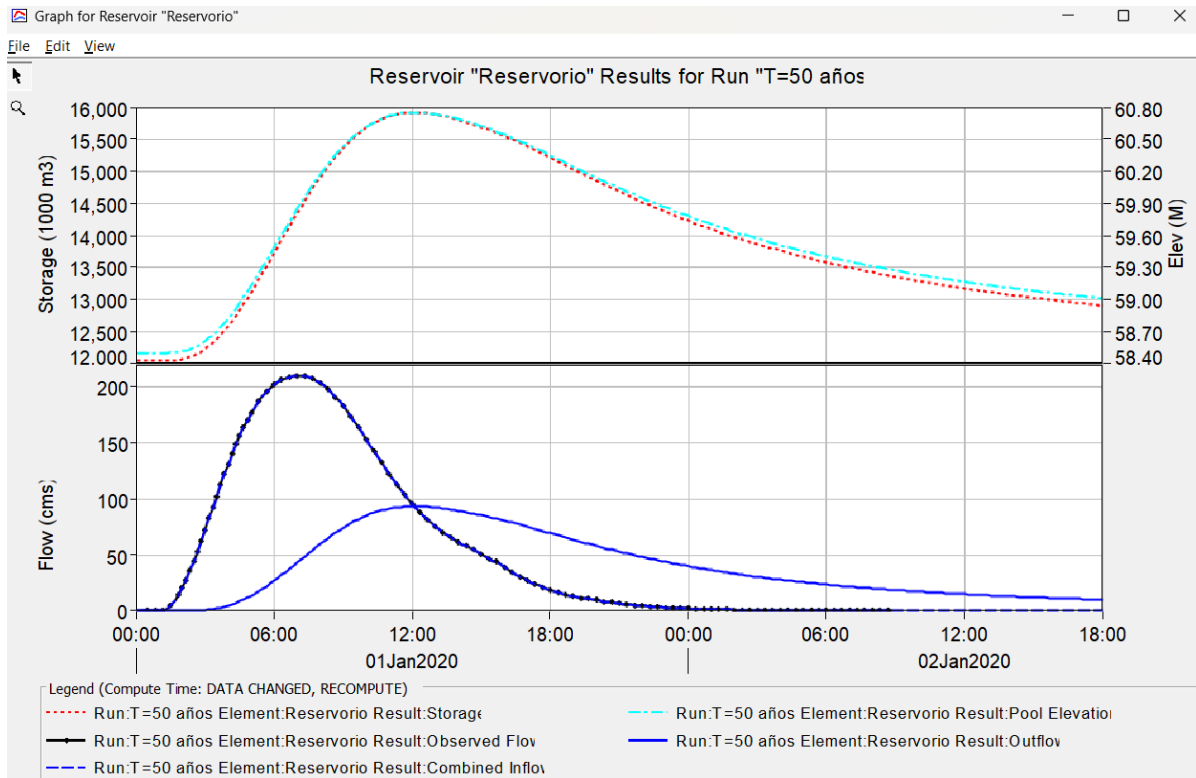
Fuente: Elaboración propia

Figura 48 Resultados del Tránsito de Avenidas para un $Tr = 100$ años



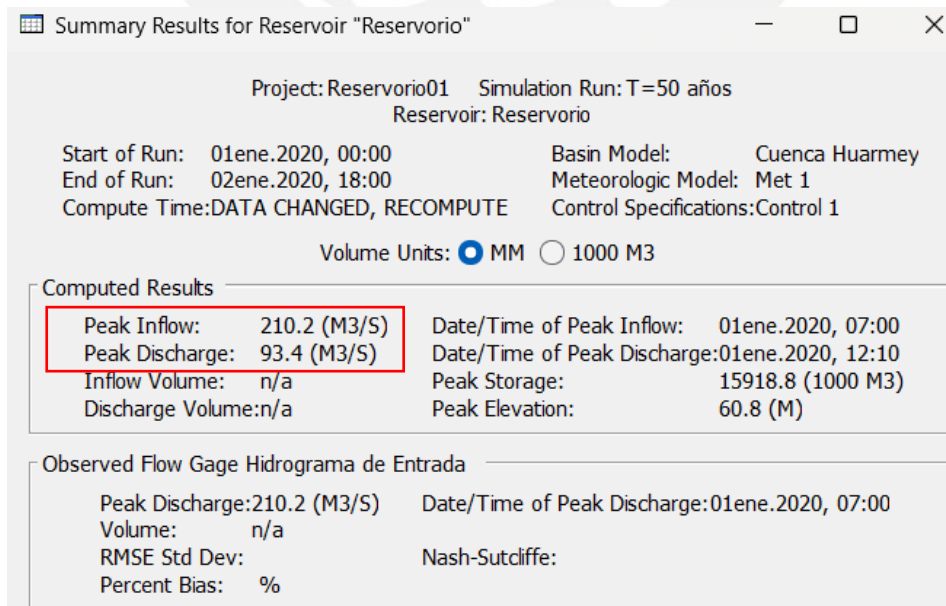
Fuente: Elaboración propia

Figura 49. Efecto laminador de hidrograma con presencia de Reservorio de Control para un T = 50 años



Fuente: Elaboración propia

Figura 50. Resultados del Tránsito de Avenidas para un Tr = 100 años



Fuente: Elaboración propia

Como se observa, el caudal pico de entrada se reduce de 210.2 m³/s a 93.4 m³/s para un periodo de retorno de 50 años representando una reducción del 55.56% menos, mientras que para un periodo de retorno de 100 años, el caudal pico se reduce de 281.20 m³/s a 134.40 m³/s en un 52.20 %, viendo una evidente laminación por presencia del reservorio de control. Sin embargo, estos valores dependerán de las dimensiones geométricas del reservorio y del vaso que contiene la piscina nivelada.

Cabe mencionar, que según Sergio Fattorelli (2011) el funcionamiento de esta clase de intervención será óptimo para periodos de retorno de 50 años, ya que para periodos de retorno mayores no se evidencia la máxima eficacia en la optimización del embalse.

Es así, que la eficiencia máxima del embalse de laminación se da para eventos en los cuales el periodo de retorno es menor a los de diseños de las estructuras involucradas y su uso será más adecuado a medida que las crecientes sean menores en eventos que corresponden a bajos periodos de retorno. Es por esta razón que no se hace una evaluación para un periodo de retorno de 500 años, ya que involucraría una estructura super dimensionada y la eficiencia del embalse no sería adecuada (Fattorrelli & Fernandez, 2011).

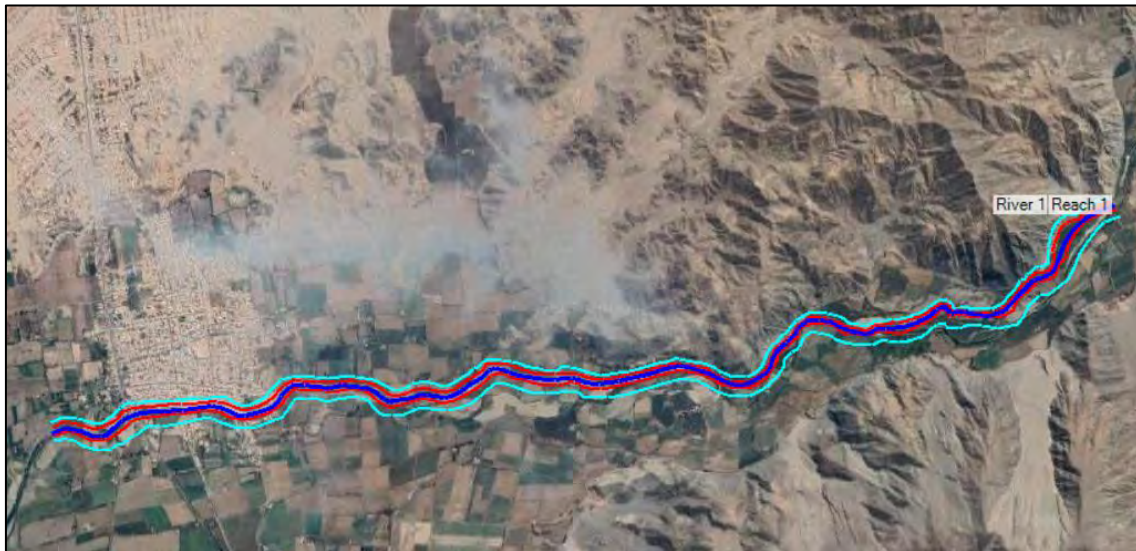
7.4 MODELAMIENTO HIDRÁULICO

Para complementar el trabajo, se realizó un modelamiento hidráulico unidimensional en el software Hec-RAS con la finalidad de obtener los mapas de inundación. Como punto de partida se procesaron los datos geográficos en ArcGIS para definir el TIN (Triangular Irregular Networks) del área en estudio.

7.4.1 Geometría del río Huarmey

Se empieza definiendo el recorrido del cauce del río y sus márgenes en el modelo de elevación digital trabajado previamente como se muestra en la Figura 51. Ambos serán dibujados sobre el DEM usando las herramientas de *Bank Lines* para demarcar el cauce del río y la herramienta *Flow Path* para delimitar la llegada del flujo. Una vez creado los elementos, se dan los atributos correspondientes tanto para el eje del río como para los márgenes derecho e izquierdo.

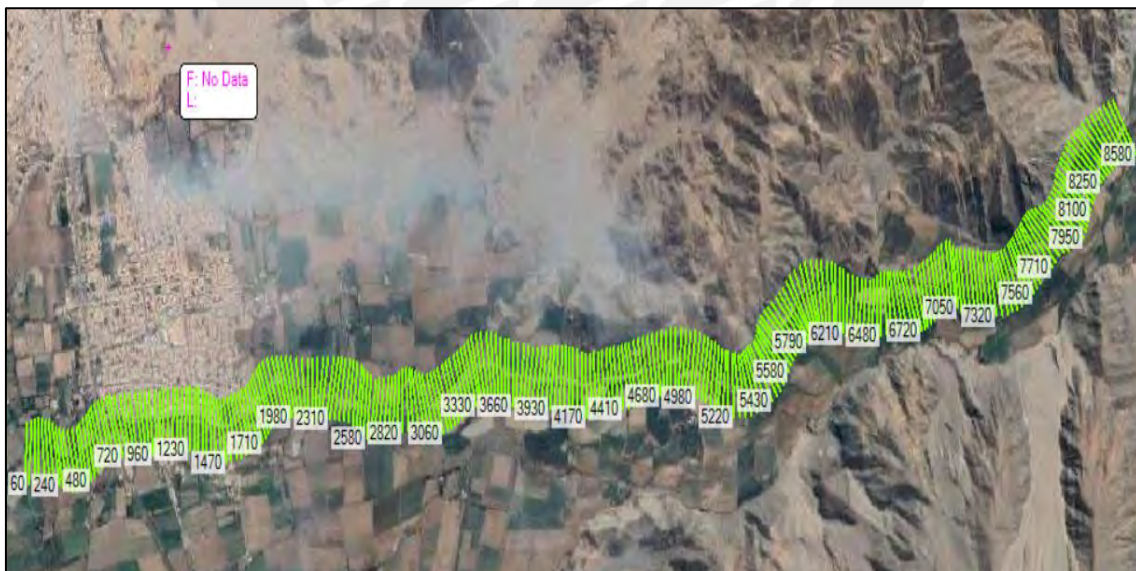
Figura 51. Geometría digitalizada en Hec-RAS del río Huarmey aguas abajo del reservorio.



Fuente: Elaboración propia

Posterior a la definición de la trayectoria, en la Figura 52 se muestra cómo se crearon las secciones transversales al eje del río con el comando *Cut Line*, cada 30 m entre sección para tener un mejor resultado. Cabe mencionar que las secciones no pueden interceptarse entre sí para una buena interpretación del software y no tenga lugar una interferencia o error a la hora de correr el programa.

Figura 52. Secciones transversales digitalizadas en Hec RAS del río Huarmey.

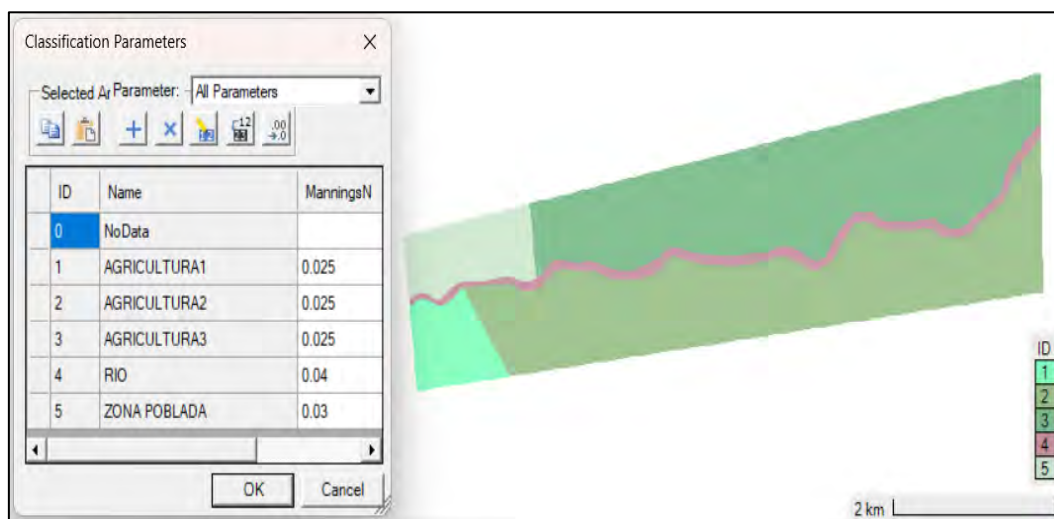


Fuente: Elaboración propia

7.4.2 Modelamiento en Hec-RAS

Establecida la geometría, se configura la geometría del terreno para ingresar los parámetros de rugosidad (Chow, 1994). Para ingresar el coeficiente de datos Manning se consideraron 5 zonas según la *Figura 53*, considerando la cobertura y el uso suelos en la zona en estudio.

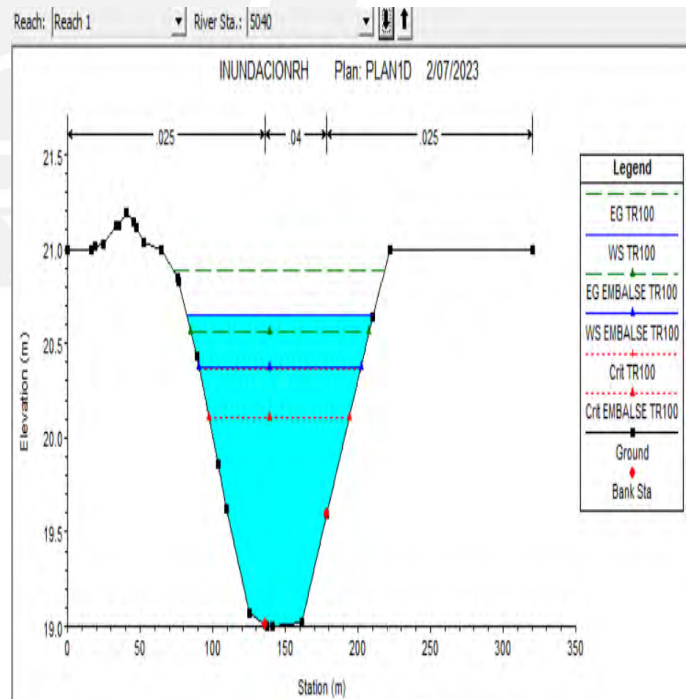
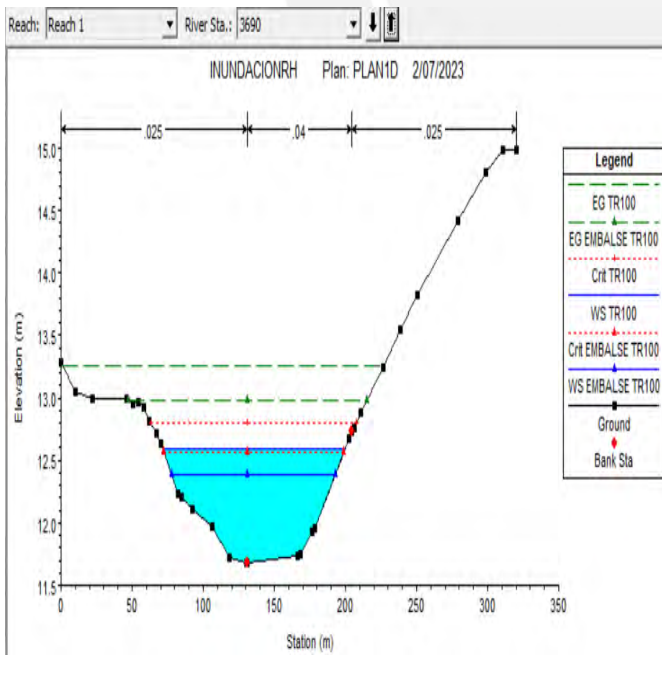
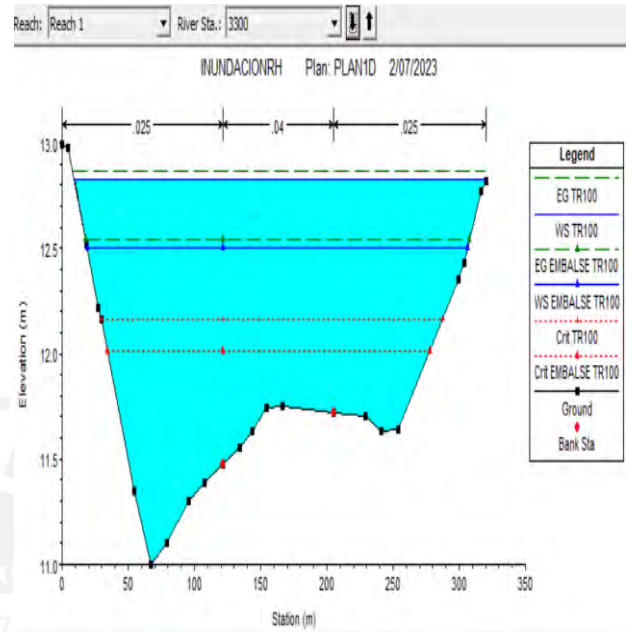
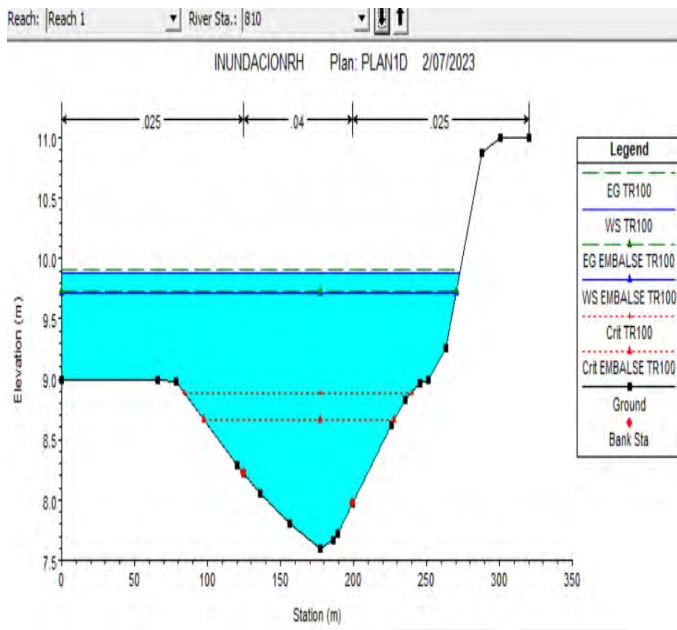
Figura 53. Coeficiente de Manning de la zona en estudio ingresadas a Hec RAS



Fuente: Elaboración propia

Las 3 primeras zonas, están cubiertas por cultivos agrícolas por lo que se optó por un coeficiente de 0.25, mientras que la zona 4 que define el trayecto del río, al ser un cauce pedregoso con curvas sinuosas no uniformes, se le asignó un coeficiente de 0.04. Por último, la zona 5 representa el área poblada, por lo que se consideró un coeficiente de 0.03.

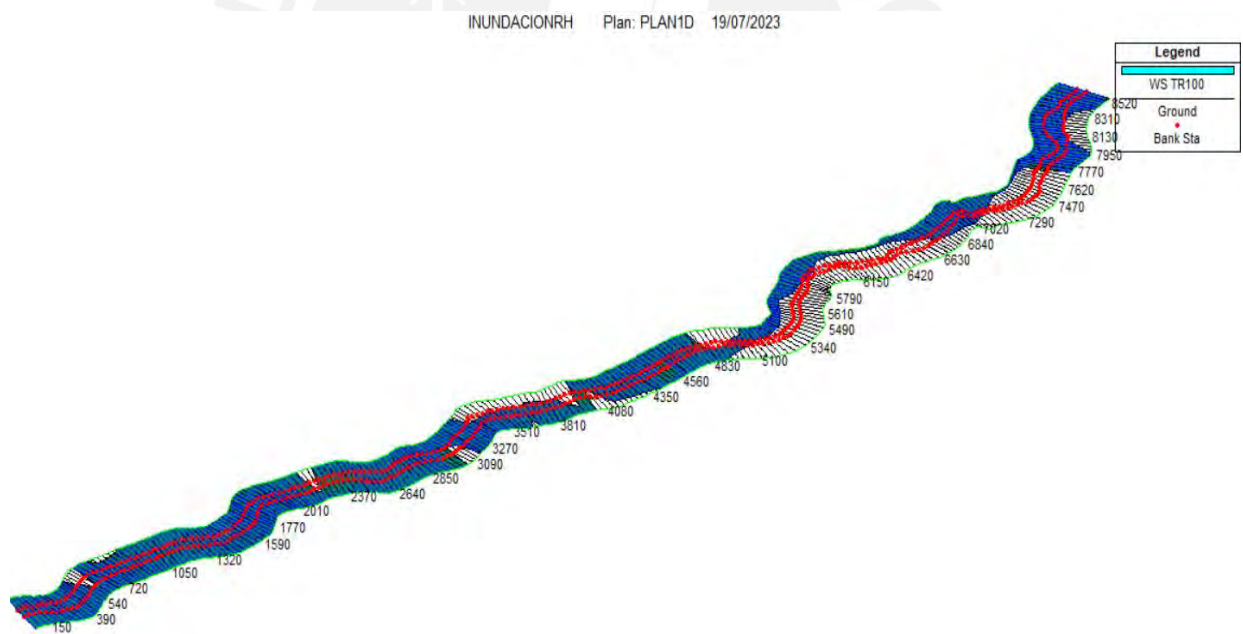
Una vez ingresado el parámetro de rugosidad, se incluyen los hidrogramas de entrada para un periodo de retorno de 100 años, ya que, según la Autoridad Nacional del Agua, para evaluar zonas que contemplen áreas urbanas se considera el periodo de 100 años. Se analiza tanto para el caso con y sin reservorio, en donde se obtienen las secciones transversales del río Huarmey, dentro de las cuales las más representativas son las de las progresivas que se presentan a continuación y el resto en el *Anexo 10*.



Del modelamiento hidráulico, se obtuvieron los tirantes y velocidades, así como una representación en 3D del río para un periodo de retorno de $T_r=100$ años con y sin embalse. Como se muestra en la Figura 54 y 56, se nota que existe una pequeña variación visible con respecto a la extensión de la inundación cuando está presente el reservorio. En la zona media, entre las estaciones 4+000 y 4+800, se nota una reducción en el área de inundación, esto debido a que en ese sector del río los relieves están más marcados, mientras que en la zona baja, entre las estaciones 2+000 y 3+000, la variación no es tan demarcada.

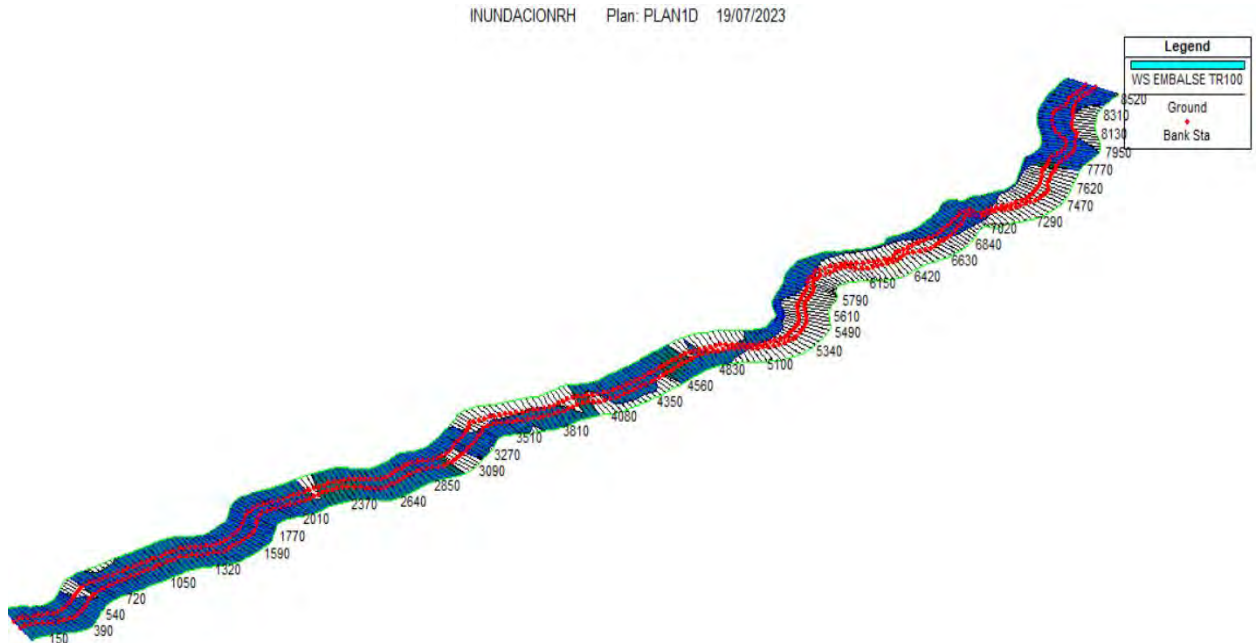
Sin embargo, a lo largo de todo el río aguas abajo del reservorio, se ve una reducción en los márgenes de la sección transversal y en la velocidad de flujo, en el caso sin reservorio alcanzando velocidades máximas de 3.01 m/s y con reservorio de 2.85 m/s .

Figura 54. Representación digital en 3D del río Huarmey aguas abajo sin embalse $Q=281.20$ m³/s para un $T = 100$ años



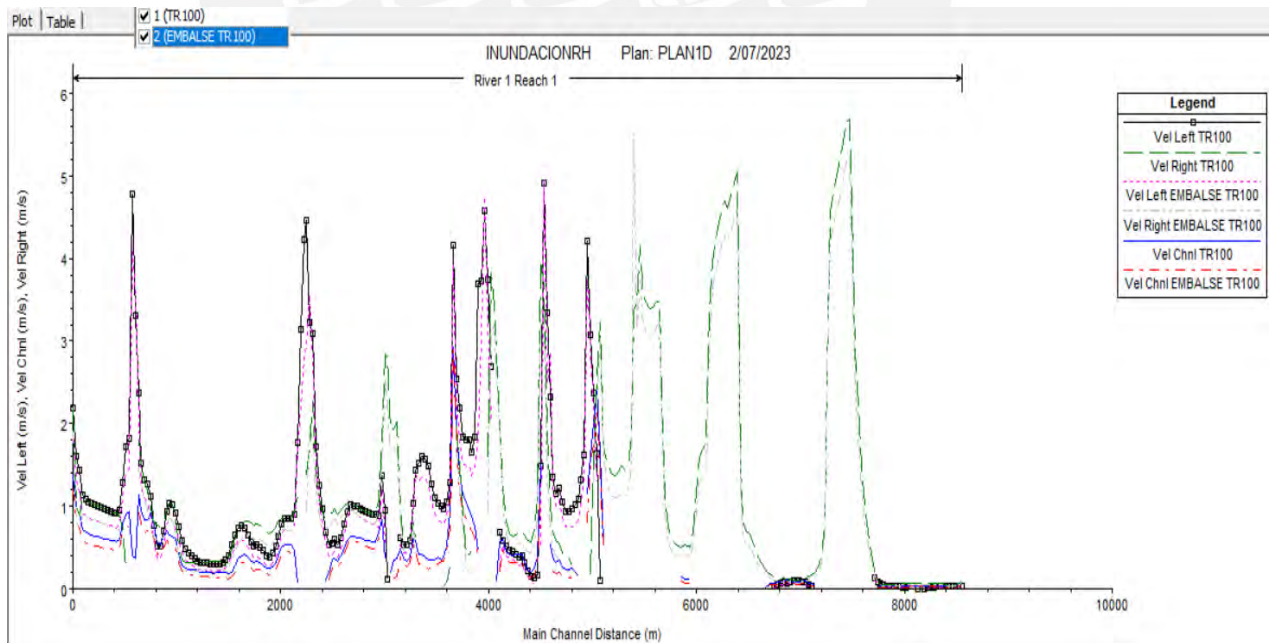
Fuente: Elaboración propia

Figura 55. Representación digital en 3D del río Huarmey aguas abajo sin embalse $Q=134.40$ m^3/s para un $T = 100$ años



Fuente: Elaboración propia

Figura 56. Variación de velocidades a lo largo del río Huarmey con y sin reservorio aguas abajo para un $T = 100$ años



Fuente: Elaboración propia

7.4.3 Resultados del modelamiento y mapas de inundación

Del modelamiento hidráulico en Hec-GeoRas, y con la ayuda de las herramientas de simulación del software, se obtuvieron los planos de inundación que representa el área afectada en la zona; para un periodo de $T_r = 100$ años con y sin reservorio.

Figura 57. Mapa de inundación para un $T_r=100$ años sin reservorio

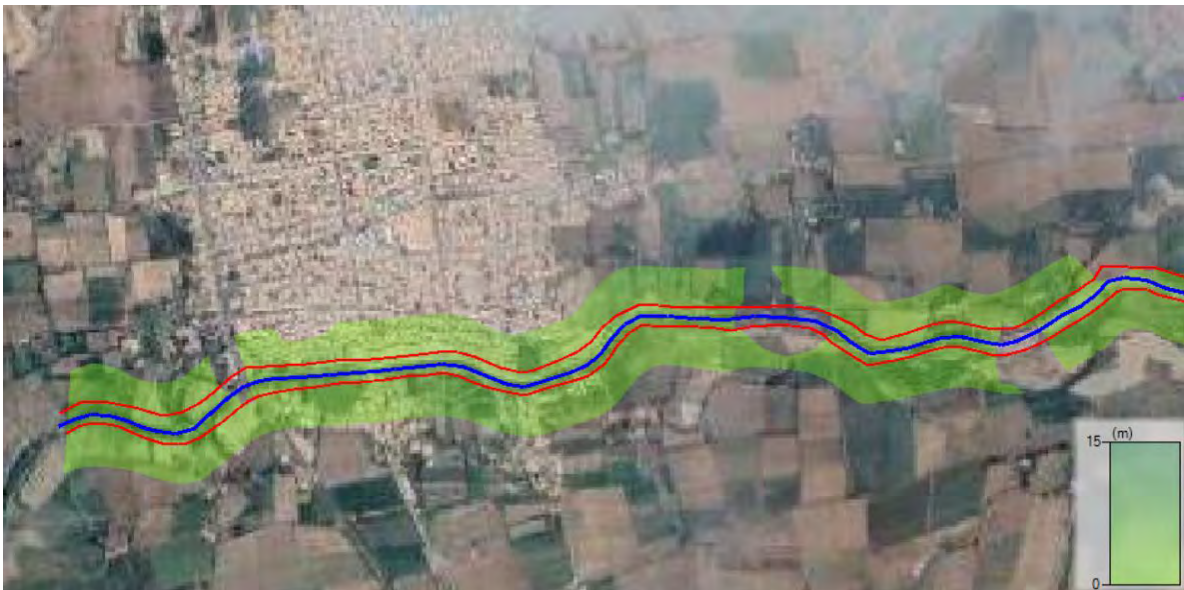


Fuente: Elaboración propia

En la Figura 57 se observa la simulación del área inundada en la ciudad de Huarney, que se encuentra enmarcada entre las progresivas 0+540 1+940 de todo el modelo. Además, se evidencia sectores vacíos debido a la baja precisión de los modelos digitales de elevación descargados, y al ser una zona con una poca variación de relieves, es decir llana, la interpolación de los datos en estos sectores no son reconocidas por el software Hec_RAS, sin embargo, para fines prácticos de interpretación son aceptables para el desarrollo del presente trabajo.

Por otro parte, Las secciones transversales están divididas cada 30 m, lo cual permite cuantificar mejor el área de inundación. Como podemos observar en la Figura 57 y Figura 58, la inundación se extiende desde zonas de cultivos hasta zonas urbanas, lo que significa que, si bien es cierto, existe una laminación en el área afectada, todavía se ven afectas zonas dentro de la ciudad y alrededores.

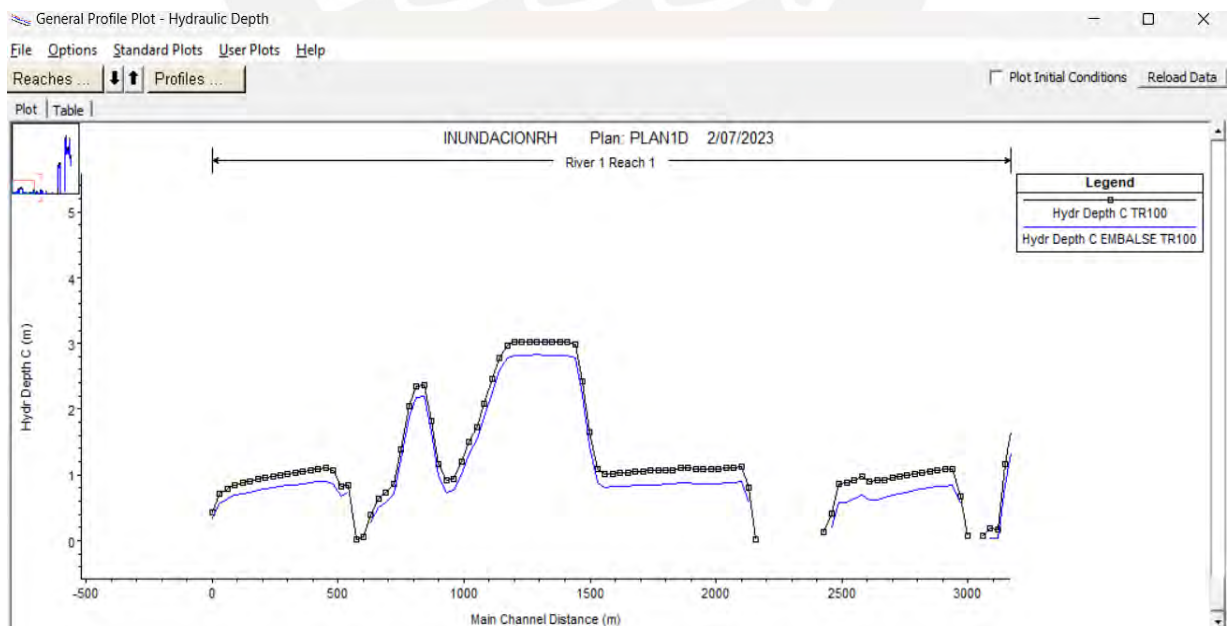
Figura 58. Mapa de inundación para un $T_r=100$ años con reservorio



Fuente: Elaboración propia

Se obtuvieron las áreas totales de inundación con y sin reservorio, las cuales ascienden a 22.91 Ha y 27.20 Ha respectivamente, además como se puede observar en la Figura 59, los tirantes máximos de agua para el caso sin reservorio son alrededor de 3.03 m, siendo mayores que para el caso con la presencia de reservorio, los cuales ascienden a 2.83m.

Figura 59. Variación de tirantes con y sin reservorio para un periodo de retorno de $T = 100$ años



Fuente: Elaboración propia

8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

8.1 CONCLUSIONES

- El uso del software ArcGIS nos permite conocer los parámetros geomorfológicos de la cuenca a partir de la delimitación de la misma, obtenida de los modelos digitales de elevación proporcionado por las cartas nacionales del Ministerio de Educación. El área que se obtuvo asciende a 2244.9 km², llegando a considerarse una cuenca grande. Además, otro de los parámetros obtenidos, es el índice de compacidad o índice de Gravelius que resulto igual a 1.59, definiendo así una forma oval oblonga de la cuenca. Para finalizar, el factor de forma obtenido en la cuenca es de 0.2386, siendo este el indicador que la cuenca del río Huarmey tiene tendencias a presentar crecidas en época de avenidas.
- Con el fin de evaluar si la información proporcionada por la data PISCO es confiable para realizar análisis de inundaciones, se realizó una validación mediante un ajuste de los datos observados en la estación Malvas y los datos de la plataforma correspondientes a la misma grilla de la estación, obteniendo un factor de correlación de Pearson igual a 0.99, por lo que podemos decir que ambas variables están correlacionadas. Además, Los caudales máximos obtenidos del modelo Hec HMS para los diferentes periodos de retorno son muy semejantes a los caudales estimados en el estudio presentado al Autoridad Nacional del Agua, por lo que se puede decir que es aceptable trabajar con los datos de la plataforma PISCO en esta zona.
- Con la ayuda del software Hec HMS y Hec Ras, se modeló de la cuenca obteniendo los hidrogramas de diseño con el método de la SCS para periodos de 50, 100 y 200 años, los cuales ascienden a 210.2 m³/s, 281.2 m³/s y 574.1 m³/s respectivamente. Asimismo, del modelamiento hidráulico en Hec – RAS, El área de inundación obtenida sin reservorio es de 27.21 Ha, mientras que el área inundación cuando se implementa el reservorio de control es de 22.91Ha; por lo que en efecto se puede concluir que la implementación de un reservorio de control reduce el área afectada por la inundación en un 15.83%.
- La presencia de un reservorio de control, además de mitigar la inundación en la zona de estudio, también nos permitirá tener un mejor control del caudal generado por avenidas. Además, se puede contar con el reservorio como una infraestructura

de entretenimiento si se le da una adecuada implementación y las condiciones sociales son favorables. Cabe mencionar que dentro de consideraciones que son importantes a tener en cuenta, esta realizar la evaluación de la zona en la que se piensa establecer un reservorio, ya que este implicará generar láminas de inundación aguas arriba del mismo, por lo que una correcta planificación del área de implicancia es primordial para evitar pérdidas de inversión.

- Con los resultados obtenidos, se puede concluir que efectivamente la implementación de un reservorio en la zona de Huarmey, si logra laminar las inundaciones aguas abajo del mismo, disminuyendo el área afectada. Sin embargo, las condiciones geográficas y de ubicación en el que se decidió implementar el reservorio, necesitan ser reajustadas en diferentes puntos con el fin de evaluar una mejor optimización de laminación; es decir, realizar diferentes simulaciones con el fin de obtener respuestas variables y de esta manera tener una mejor eficiencia del sistema propuesto.

Por último, se reflejada la disminución del caudal pico del hidrograma con un reservorio de control, por lo que se puede concluir que existirá una laminación del impacto que podría generar los flujos de agua en época de avenidas.

8.2 RECOMENDACIONES

- Se recomienda implementar una estación hidrométrica operativa en la ciudad de Huarmey, con la finalidad de registrar los caudales del río Huarmey para ser de utilidad frente a algún estudio posterior que se quiera realizar en la zona, esto ayudará a realizar la calibración y validación de los modelos.
- En cuanto al análisis hidráulico, para obtener resultados que se ajusten mejor a la realidad, se recomienda hacer un levantamiento de toda la batimetría del río y alrededores, con el fin de representar mejor el lecho del río y sus secciones, esto nos permitirá poder evaluar condiciones más críticas y específicas según se requiera.
- Es de suma importancia que los órganos nacionales encargados de prevenir y preparar a la población para enfrentar desastres naturales, concienticen y pongan en práctica estudios relacionados a técnicas de control de inundaciones en las

zonas más vulnerables de nuestro litoral peruano, ya que nos aqueja una carencia de sistemas de protección frente a fenómenos naturales.

- Para los interesados en la materia de hidrología e hidráulica, se recomienda usar las herramientas que proporcionan los programas computacionales aquí mencionados, tales como Hec HMS, Hec RAS y ArcGIS

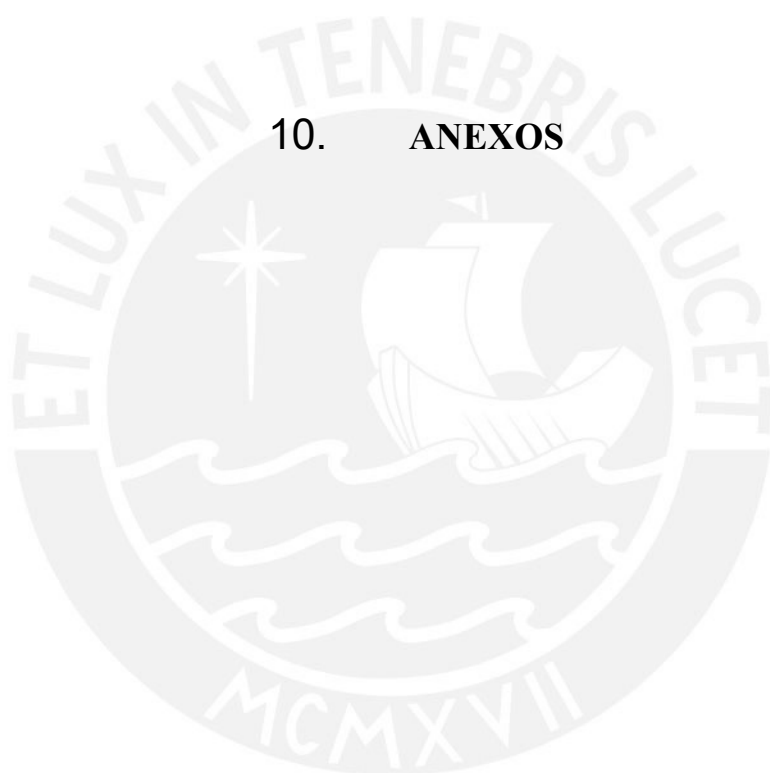


9. BIBLIOGRAFÍA

- US Army Corps of Engineers. (03 de noviembre de 2007). *Hydrologic Engineering Center*. Recuperado el viernes de mayo de 2018, de Hydrologic Engineering Center: <http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/>
- Apaella Nalvarte, R. (2010). *ESTUDIO DE MÁXIMAS AVENIDAS EN LAS CUENCAS DE LA ZONA CENTRO DE LA VERTIENTE DEL PACÍFICO*. Lima.
- Aparicio Mijares, F. J. (1992). *FUNDAMENTOS DE HIDROLOGÍA DE SUPERFICIE*. México D.F: LIMUSA S.A. Grupo Noriega Editores.
- Associação Brasileira de Cimento Portland. (2012). RESERVATÓRIOS DE DETENCAO. *Solucoes para Cidades*, 2-8.
- Association, A. P. (16 de Abril de 2018). *American Planning Association*. Obtenido de <https://www.planning.org/planificacion/2/4.htm>
- Autoridad Nacional del Agua. (s.f.). *A.N.A.* Recuperado el mayo de 2018, de ANA: <http://www.ana.gob.pe/>
- CENEPRED. (2017). *INFORME DE EVALUACION DE RISEGO POR DESBORDE DEL RIO HUARMEY E INFORMACION PLUVIAL EN EL CENTRO POBLADO DE HUARMEY, DISTRITO Y PROVINCIA DE HUARMEY, DEPARTAMENTO DE ANCASH*. Centro Nacional de Estimacion, Prevencion y Reducción del Riesgo de Desastres. Lima . Peru: CENEPRED. Obtenido de <http://cenepred.gob.pe/web/planes/>
- Chereque Wender, M. (1989). *Hidrologia para Estudiantes de Ingenieria Civil*. Lima: CONCYTEC.
- Chow, V. T. (1994). *Hidrologia Aplicada*. (M. Edna, Ed.) Bogota, Colombia: NOMOS S. A.
- Fattorrelli, S., & Fernandez, P. C. (2011). *Diseño Hidrológico*. Zaragoza: Edición Digital - Estudio Fernandez - Dorca.
- French H., R. (1988). *HIDRÁULICA DE CANALES ABIERTOS*. MÉXICO: LIBROS MCGRAW-HILL/INTERAMERICANA DE MÉXICO, S. A.
- Gálvez, D. J. (2011). *AguasSubterranas y Acuíferos*. Lima: Zaniel I. Novoa Goicochea.
- García Sanchez, J., & Maza Alvares, J. (1997). *Morfología de Rios*. UNAM.
- Horton, R. E. (1945). EROSIONAL DEVELOPMENT OF STREAMS AND THEIR DRAINAGE BASINS. En R. E. Horton, *EROSIONAL DEVELOPMENT OF STREAMS AND THEIR DRAINAGE BASINS*. California.
- Ibañez Asensio, S. (2004). *Morfología de las Cuencas Hidrográficas*. Valencia: UNIVERSIDAD POLITECNICA DE VALENCIA.
- ILLA, P. S. (1983). *Estudio de la hidrología del Perú / IILA, SENAMHI, UNI*. Lima: Imprenta FAP.
- Informatica, I. N. (17 de Octubre de 2017). *Instituto Nacional de Estadística e Informática*. Recuperado el 18 de Seiembre de 2018, de Dirección Nacional de Censos y Encuestas: <https://www.inei.gob.pe/>
- Instituto Nacional de Defensa Civil. (2017). *Inundaciones en el la ciudad de Huarney por desborde del río Huarney*. INDECI, Ancash, Huarney. Obtenido de <https://www.indeci.gob.pe/>
- Instituto Nacional de Estadística e Informatica. (17 de Octubre de 2017). *Instituto Nacional de Estadística e Informática*. Recuperado el 18 de Seiembre de 2018, de Dirección Nacional de Censos y Encuestas: <https://www.inei.gob.pe/>

- Jose Machare, L. O. (22 de Enero de 1993). REGISTRO DEL FENOMENO DEL NIÑO EN EL PERU. *REGISTRO DEL FENOMENO DEL NIÑO EN EL PERU*. Lima, Lima, Peru.
- Kohler Poulus, L. (2008). *Hidrologia para Ingenieros*. McGraw-hill Latinoamericana S. A.
- Linsley, R. K. (1970). *Ingeniería de los recursos hidráulicos / Joseph B. Franzini*. Mexico: Compania Editorial Continental.
- MANUAL DE HIDROLOGÍA, HIDRÁULICA Y DRENAJE. (2018). *MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES*. MANUAL, MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES, Lima, Lima. Obtenido de <https://www.gob.pe/mtc>
- Maza, J. A. (2008). *CRECIDAS DE LOS DISEÑOS DE LOS ALIVIADEROS DE LAS PRESAS "LOS BLANCOS" Y "LOS TORDILLOS"*. Mendoza. Obtenido de https://www.researchgate.net/figure/Figura-3232-Curvas-IDF-obtenidas-con-relaciones-generalizadas-de-Bell-para-datos_fig5_281451866
- Morelli Tucci, C. E. (2007). *Gestion de Inundaciones Urbanas*. (A. P. Nespolo, Trad.) Porto Alegre, Brasil: Evangraf.
- Poveda, G. (2008). Estimación de curvas IDF basadas en las propiedades de escala de la. *ResearchGate*. Obtenido de ResearchGate: https://www.researchgate.net/profile/German_Poveda/publication/237046111_Estimacion_de_curvas_IDF_basadas_en_las_propiedades_de_escala_de_la_lluvia/links/0c96051afe683d28e9000000.pdf
- Rapacioli, R. (2010). *Tecnología y Ciencias del Agua*. Morales: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
- Roberto J. Marín, J. P. (2017). MODELACIÓN DE LA CONTRIBUCIÓN ARBÓREA EN ANÁLISIS. *EIA, ISSN 1794-1237*, 13-28.
- Roman, F. J. (2017). *Hidrologia Superficial y Subterránea*. Madrid.
- Schnabel, S. (2008). *PRECIPITACION COMO FACTOR EN PROCESOS HIDROLOGICOS*. Departamento de Geografía.
- SENAMHI. (2018). *Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú*. Obtenido de Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú: <https://www.senamhi.gob.pe/>
- Soil Conservation Service SCS. (Noviembre de 2018). *Soil Conservation Service*. Obtenido de Soil Conservation Service: <https://www.scs.nsw.gov.au/>
- Soluciones Practicas.org. (16 de Abril de 2017). *Soluciones practicas*. Obtenido de Soluciones practicas: <https://solucionespracticas.org.pe/>
- Spark, W. (16 de Abril de 2020). *Weather Spark*. Obtenido de Weather Spark: <https://es.weatherspark.com/>
- SUDERHSA. (2002). *MANUAL DE DRENAGEM URBANA*. Curitiba.
- Villón Béjar, M. (2002). *HIDROLOGÍA*. Lima: Editorial Villón.
- Weiss, L. (1964). *Ratio of true to fixed interval maximum rainfall*. *journal hydraulics*. ASCE 90.

10. ANEXOS

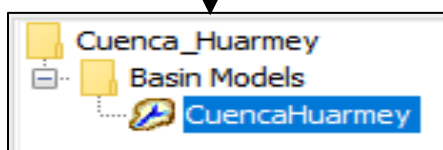
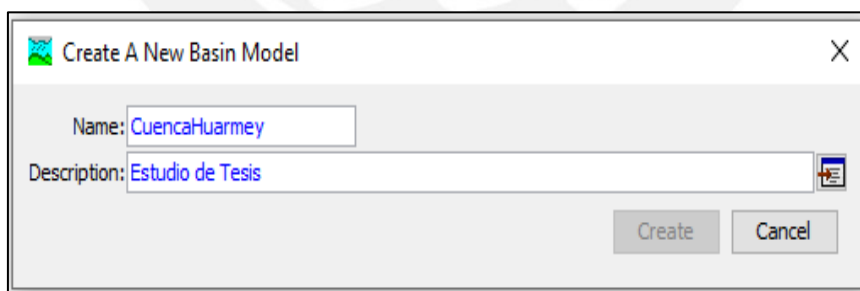
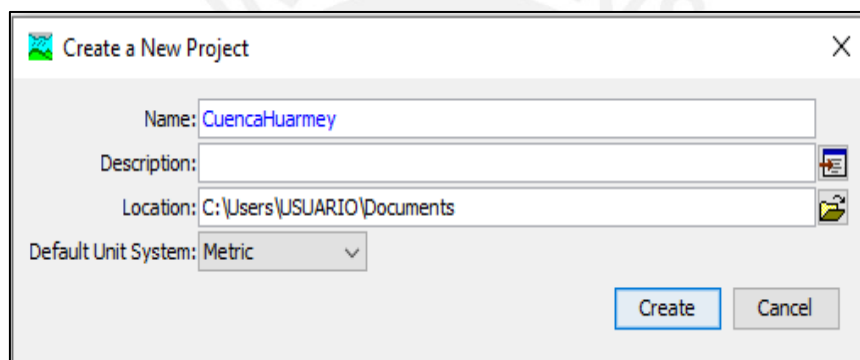


ANEXO 01. Proceso de modelamiento hidrológico en el software Hec-HMS para la cuenca del río Huarmey.

Para generar la simulación usando el software Hec HMS se debe seguir una serie de pasos secuenciados los cuales se detallarán a continuación:

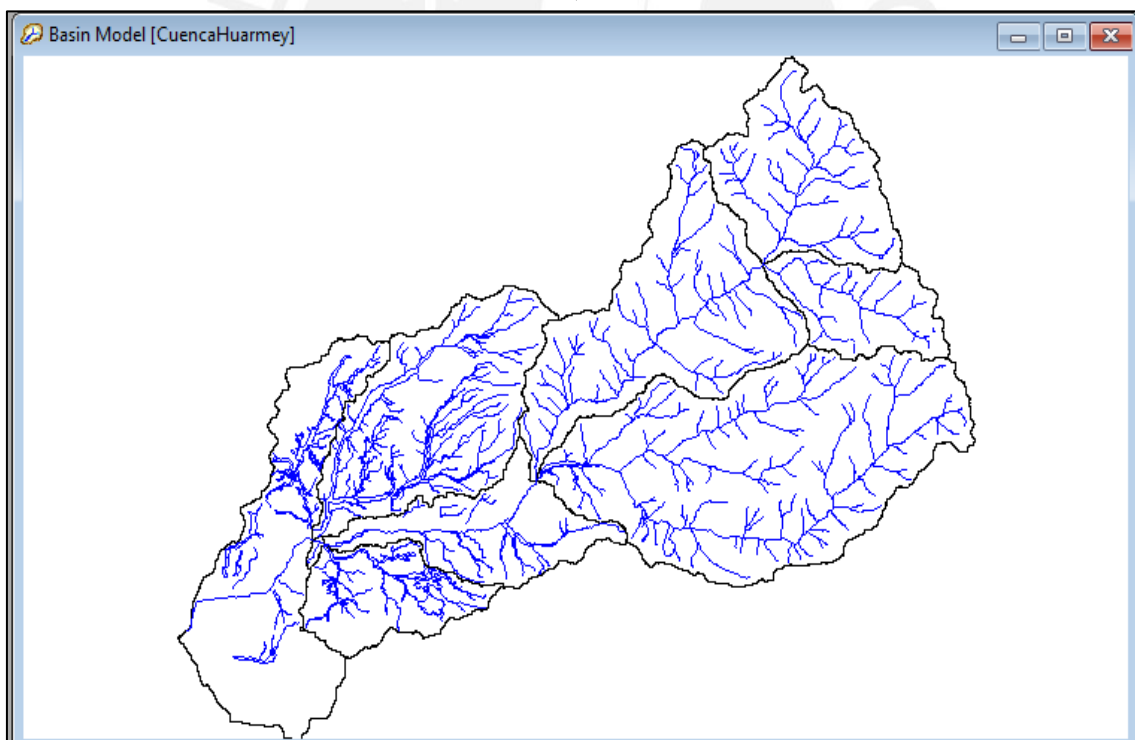
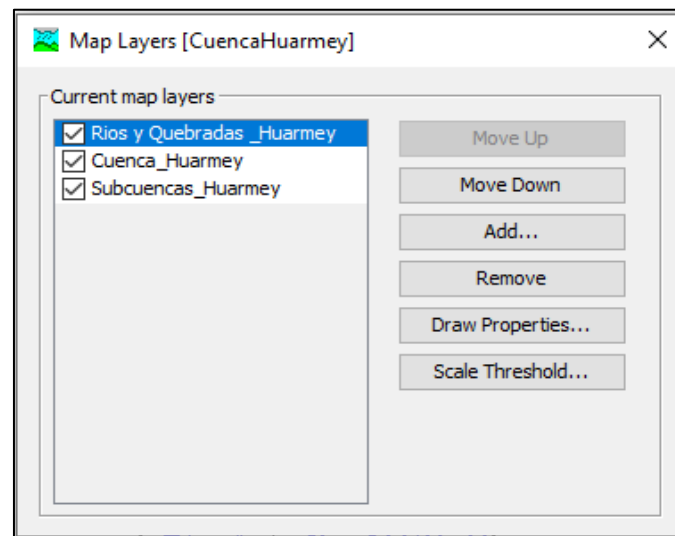
Creación del Modelo Hidrológico.

- En primer lugar se debe crear un nuevo modelo ingresando en File/New, y se procede a llenar la información requerida para luego presionar en Create.
- Luego se define el modelo de la cuenca en Components/Basin Model Manager/New, con esto el interfaz del software apertura una ventana de trabajo en la cual se ingresarán los parámetros esquemáticos de la cuenca.



- Para tener un gráfico que ilustre la forma geométrica de la cuenca, sub cuencas y la red hidrográfica, se da clic en la opción VIEW para luego elegir la opción MAP

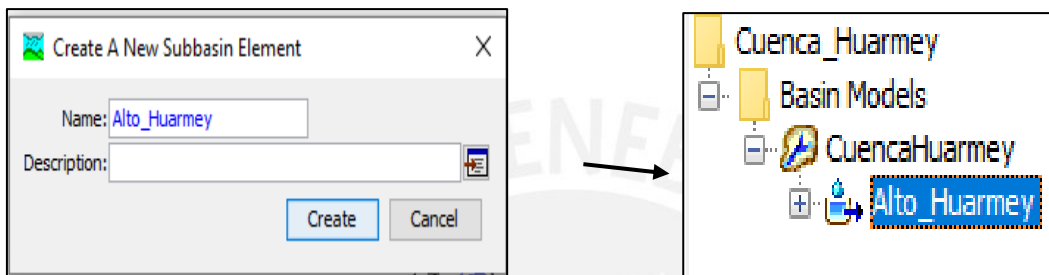
LAYERS, aquí podremos importar un archivo formato shape obtenido de la delimitación, conteniendo la forma de cuenca.



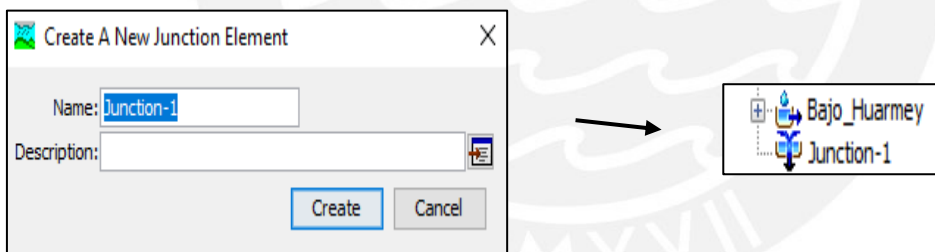
Creación de Elementos Hidrológicos.

Para este trabajo de tesis, se trabajaron con 8 sub cuencas, las cuales contaron con un registro de precipitación cada una de ellas, y a su vez se crearon 3 uniones de cauce, 3 extensiones de transito de caudal y un elemento de sumidero que representa el punto de aforo de la cuenca en la parte baja de la misma.

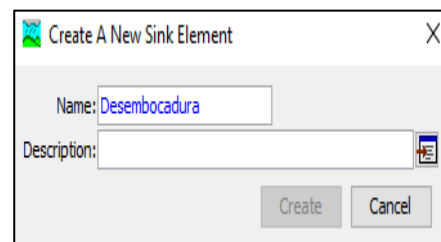
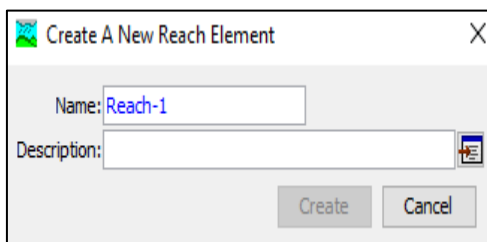
- Para la crear los componentes de cada sub cuenca, se busca dentro de la barra de herramientas la opción SUBBASIN CREATION TOOL, y se asigna el nombre de la sub cuenca a representar.



- Luego se crea las uniones de cada sub cuenca, dando clic en la herramienta JUNCTION CREATION TOOL, donde también se puede dar un nombre para cada unión, en nuestro caso lo dejamos por defecto.

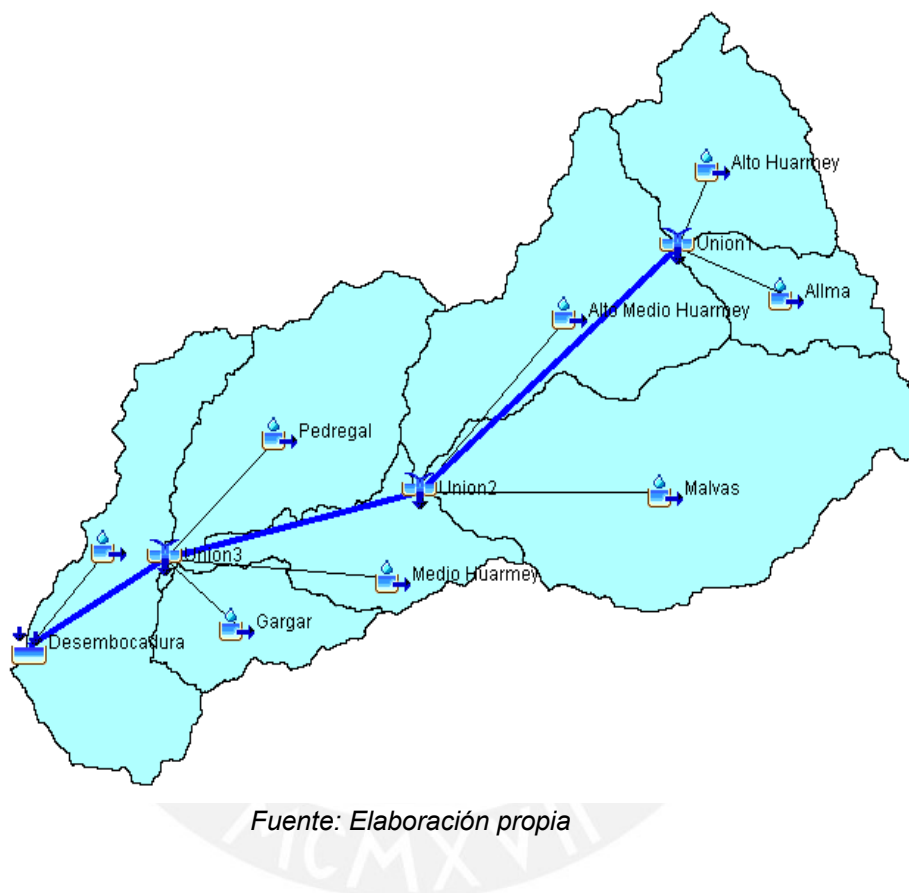


- Del mismo modo se crea la estación de aforo y las 3 extensiones de tránsito de caudal, buscando los íconos correspondientes en la barra de herramientas y renombrando en caso se vea conveniente.



- Posterior a ello, se concreta todas las estaciones con cada unión más cercana, dando anti clic en cada elemento para luego seleccionar la opción CONECT DOWNSTREAM, y de la misma manera para los cauces hasta llegar a la estación de aforo, de tal manera que se tenga un sistema conectado entre todos sus elementos.

Figura 60 Modelo Hec HMS de la Cuenca Huarmey



Introducción de Datos Requeridos para el Modelo

Una vez que todos los elementos de la cuenca se encuentren conectados entre sí, se procede a ingresar los datos requeridos por el programa.

- Primero se ingresan los datos de cada sub cuenca, como el área correspondiente a cada una, y de ser necesario también una breve descripción.
- Luego se debe elegir el método para determinar la lluvia efectiva dando click en PARAMETERS/LOSS/SCS CURVE NUMBER. Se abrirá una tabla para llenar

los parámetros de curva número y de Abstracción Inicial indicados en la *tabla 19*, *20* y *21*.

The image shows two screenshots from a software application. The top-left screenshot shows a menu with 'Loss' selected. The top-right screenshot shows a sub-menu with 'SCS Curve Number' highlighted. The bottom screenshot shows a dialog box titled 'Curve Number Loss [CuencaHuarmey]' with a table of data.

| Subbasin | Initial Abstraction (MM) | Curve Number | Impervious (%) |
|--------------------|--------------------------|--------------|----------------|
| Alto_Huarmey | 14.33 | 78 | 0 |
| Allma | 6.93 | 88 | 0.0 |
| Malvas | 10.4 | 83 | 0.0 |
| Alto_Medio_Huarmey | 12.7 | 80 | 0.0 |
| Medio_Huarmey | 10.4 | 83 | 0.0 |
| Pedregal | 8.96 | 85 | 0.0 |
| Gargar | 1.04 | 98 | 0.0 |
| Bajo_Huarmey | 1.04 | 98 | 0.0 |

- Continuamos llenando los datos para el método correspondiente a la transformación de precipitación efectiva en escorrentía directa PARAMETERS/TRASFOM/SCS UNIT HYDROGRAPH. Se abrirá una tabla en donde se ingresará el tiempo de retardo de cada sub cuenca (Lag Time).

The image shows a screenshot of the 'Transform' menu in the software. The 'SCS Unit Hydrograph' option is highlighted with a red box.

SCS Transform[CuencaHuaramey]

Show Elements: All Elements Sorting: Hydrologic

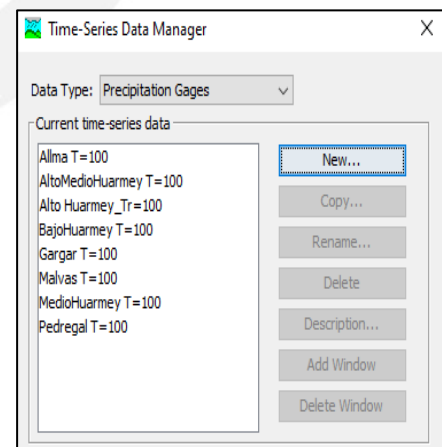
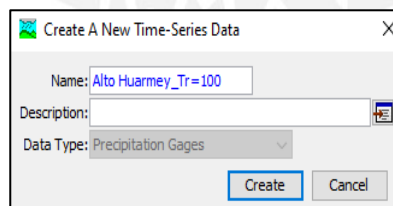
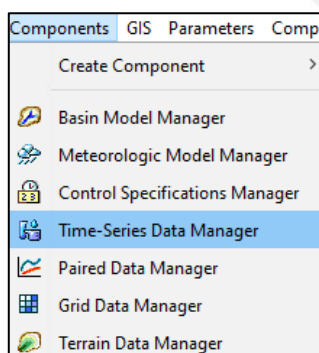
| Subbasin | Graph Type | Lag Time (MIN) |
|---------------------|--------------------|----------------|
| Alto_Huaramey | Standard (PRF 484) | 66.81 |
| Allma | Standard (PRF 484) | 65.5 |
| Malvas | Standard (PRF 484) | 141.22 |
| Alto_Medio_Huaramey | Standard (PRF 484) | 97.21 |
| Medio_Huaramey | Standard (PRF 484) | 91.39 |
| Pedregal | Standard (PRF 484) | 108.58 |
| Gargar | Standard (PRF 484) | 80.85 |
| Bajo_Huaramey | Standard (PRF 484) | 70.56 |

Compute: All Elements Print Apply Close

Creación del Administrador de datos del Modelo .

Este paso nos permitirá ingresar los datos de precipitación de nuestros hietogramas de diseño calculadas mediante el método de bloque alterno (revisar anexos).

- Para crear el componente nos dirigimos a las opciones en COMPONENTS/TIME-SERIE DATA MANAGER/NEW, se abrirá una ventana en la cual tendremos que crear un nuevo elemento para cada sub cuenca, nombrándolos con el mismo nombre de la misma para facilitar su identificación.



- Ahora se ingresa los hietogramas del *anexo 05* para cada una de las estaciones, considerando una duración de tormenta de 12 horas, ya que es el tiempo más frecuente de lluvias que se presentan en la zona.

Time-Series Gage Time Window Table Graph

Gage Name: Allma T=100

Description:

Data Source: Manual Entry

Units: Incremental Millimeters

Time Interval: 1 Hour

Time-Series Gage Time Window Table Graph

Gage Name: Allma T=100

*Start Date (ddMMYYYY) 01ene.2020

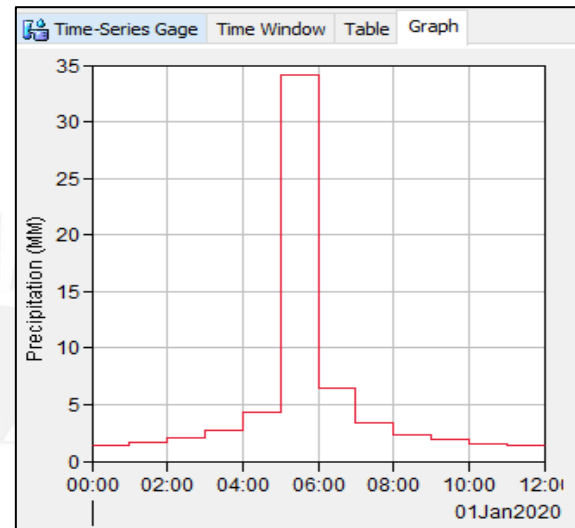
*Start Time (HH:mm) 00:00

*End Date (ddMMYYYY) 01ene.2020

*End Time (HH:mm) 12:00

Time-Series Gage Time Window Table Graph

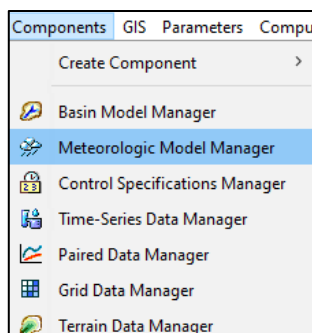
| Time (ddMMYYYY, HH:mm) | Precipitation (MM) |
|------------------------|--------------------|
| 01ene.2020, 00:00 | |
| 01ene.2020, 01:00 | 1.46 |
| 01ene.2020, 02:00 | 1.71 |
| 01ene.2020, 03:00 | 2.09 |
| 01ene.2020, 04:00 | 2.76 |
| 01ene.2020, 05:00 | 4.32 |
| 01ene.2020, 06:00 | 34.07 |
| 01ene.2020, 07:00 | 6.45 |
| 01ene.2020, 08:00 | 3.34 |
| 01ene.2020, 09:00 | 2.38 |
| 01ene.2020, 10:00 | 1.88 |
| 01ene.2020, 11:00 | 1.57 |
| 01ene.2020, 12:00 | 1.36 |



Creación del Modelo Meteorológico.

Este componente nos permitirá conectar cada serie de datos de precipitación con las subcuencas.

- En la barra de opciones, dar clic en COMPONENTS/METEOROLOGIC MODEL MANAGER/NEW, se especifica el periodo de retorno para poder identificarlo.

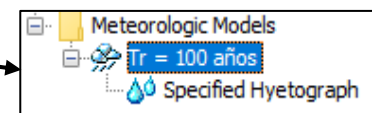


Create A New Meteorologic Model

Name: Tr = 100 años

Description:

Create Cancel



- Se hace un reconocimiento el modelo con la cuenca que se está trabajando, para luego asociar cada estación a cada sub cuenca.

| Met Name: Tr = 100 años | |
|-------------------------|-------------------|
| Basin Model | Include Subbasins |
| CuencaHuarmey | Yes |

| Specified Hyetograph | |
|-------------------------|------------------------|
| Met Name: Tr = 100 años | |
| Subbasin Name | Gage |
| Allma | Allma T=100 |
| Alto_Huarmey | Alto Huarmey Tr=100 |
| Alto_Medio_Huarmey | AltoMedioHuarmey T=100 |
| Bajo_Huarmey | BajoHuarmey T=100 |
| Gargar | Gargar T=100 |
| Malvas | Malvas T=100 |
| Medio_Huarmey | MedioHuarmey T=100 |
| Pedregal | Pedregal T=100 |

Creación del Control de Especificaciones.

Como último paso para terminar con el modelado de la cuenca, se crea este componente, que tiene como finalidad dar un formato de salida de los resultados.

| Create A New Control Specifications | |
|---|-----------|
| Name: | Control 1 |
| Description: | |
| <input type="button" value="Create"/> <input type="button" value="Cancel"/> | |

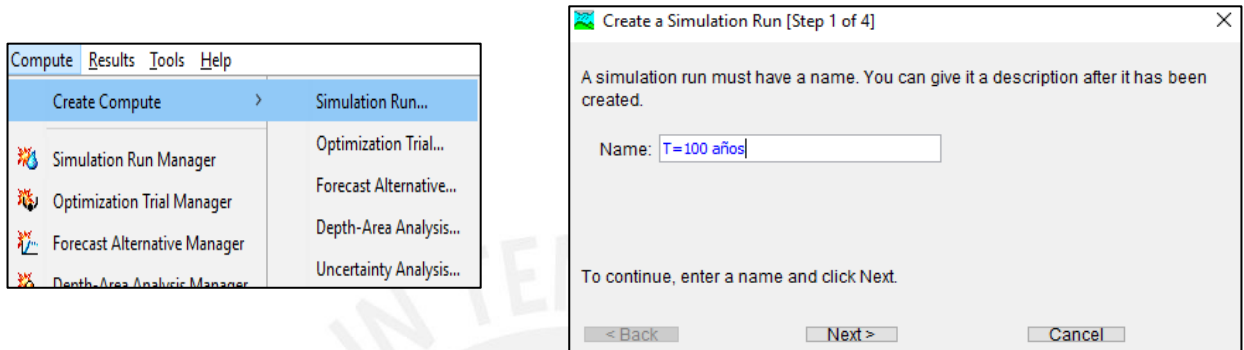


Para este trabajo de tesis, se consideró un inicio de tormenta a las 00:00 horas del 1 enero de 2020 hasta las 06:00 horas del 2 enero de 2020.

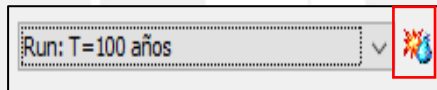
| Control Specifications | |
|------------------------|------------|
| Name: Control 1 | |
| Description: | |
| *Start Date (ddMMYYYY) | 01ene.2020 |
| *Start Time (HH:mm) | 00:00 |
| *End Date (ddMMYYYY) | 02ene.2020 |
| *End Time (HH:mm) | 06:00 |
| Time Interval: | 10 Minutes |

Cabe mencionar que toda la secuencia de los pasos aquí mencionados se realizó análogamente para todas las estaciones y para los diferentes periodos de retorno.

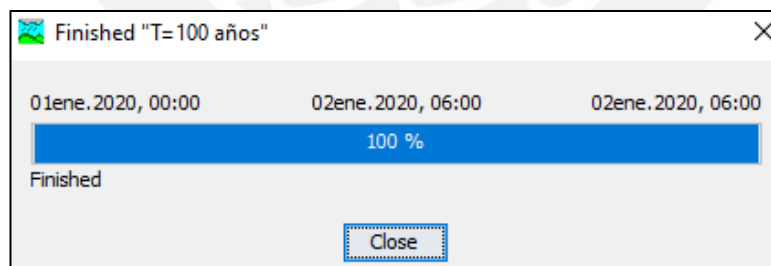
Para terminar, se tiene que crear una simulación para poder correr el programa y obtener los resultados requeridos.



Una vez creada la simulación, se selecciona y da clic en el siguiente ícono para correr el programa.



A continuación, se nos presentará una ventana mostrando la correcta ejecución de la simulación.



ANEXO 02. Información pluviométrica de cada estación, descargada de la plataforma PISCO

| Precipitación Mensual (mm) Alto Huarmey | | | | | | | | | | | | | | |
|---|--------|--------|--------|-------|-------|------|------|-------|-------|--------|-------|--------|-------------|-------------------|
| | ene | feb | mar | abr | may | jun | jul | ago | sep | oct | nov | dic | Total Anual | Total Media Anual |
| 1981 | 80.86 | 155.77 | 84.33 | 16.47 | 1.28 | 0.21 | 0.11 | 6.62 | 2.15 | 23.59 | 75.73 | 64.08 | 511.20 | 42.60 |
| 1982 | 56.71 | 84.28 | 55.86 | 28.57 | 1.60 | 0.12 | 1.62 | 3.66 | 6.36 | 147.44 | 56.01 | 47.00 | 489.22 | 40.77 |
| 1983 | 116.72 | 183.33 | 208.33 | 62.35 | 14.41 | 2.90 | 0.47 | 0.17 | 3.12 | 28.09 | 36.91 | 48.96 | 705.75 | 58.81 |
| 1984 | 56.37 | 192.51 | 99.67 | 20.44 | 17.93 | 4.13 | 2.53 | 0.37 | 10.86 | 51.40 | 33.67 | 35.87 | 525.75 | 43.81 |
| 1985 | 22.68 | 79.07 | 53.36 | 25.61 | 15.56 | 0.17 | 3.25 | 1.58 | 18.59 | 13.43 | 16.11 | 46.09 | 295.50 | 24.62 |
| 1986 | 119.10 | 75.62 | 52.52 | 26.42 | 1.86 | 0.06 | 0.30 | 1.83 | 8.39 | 12.46 | 23.04 | 73.75 | 395.33 | 32.94 |
| 1987 | 116.90 | 75.41 | 52.60 | 20.02 | 2.12 | 0.37 | 0.55 | 2.43 | 11.73 | 15.97 | 45.46 | 53.39 | 396.95 | 33.08 |
| 1988 | 101.87 | 74.56 | 40.82 | 37.92 | 12.96 | 0.42 | 0.20 | 5.21 | 9.17 | 20.35 | 35.69 | 36.72 | 375.89 | 31.32 |
| 1989 | 99.20 | 164.57 | 100.78 | 23.92 | 6.88 | 1.50 | 0.24 | 5.54 | 11.06 | 49.30 | 16.85 | 17.11 | 496.97 | 41.41 |
| 1990 | 55.52 | 35.40 | 41.81 | 11.23 | 7.72 | 1.92 | 0.26 | 1.44 | 4.14 | 50.42 | 61.55 | 44.01 | 315.43 | 26.29 |
| 1991 | 32.55 | 56.82 | 102.52 | 25.07 | 7.39 | 0.22 | 1.06 | 0.59 | 1.34 | 41.71 | 32.04 | 20.69 | 322.01 | 26.83 |
| 1992 | 18.67 | 46.48 | 50.14 | 23.88 | 5.09 | 2.65 | 0.28 | 4.55 | 10.06 | 29.82 | 13.17 | 20.29 | 225.07 | 18.76 |
| 1993 | 64.79 | 124.67 | 162.74 | 41.06 | 12.04 | 0.20 | 1.19 | 0.66 | 13.58 | 44.60 | 52.78 | 80.22 | 598.51 | 49.88 |
| 1994 | 89.16 | 119.69 | 108.06 | 32.43 | 15.56 | 0.72 | 0.24 | 1.07 | 10.96 | 13.18 | 28.68 | 69.77 | 489.51 | 40.79 |
| 1995 | 45.99 | 59.72 | 71.13 | 26.70 | 7.31 | 0.40 | 0.28 | 1.15 | 5.20 | 27.70 | 46.98 | 48.90 | 341.47 | 28.46 |
| 1996 | 81.42 | 118.62 | 91.53 | 24.49 | 9.87 | 0.21 | 0.07 | 2.40 | 4.24 | 26.69 | 16.08 | 26.11 | 401.72 | 33.48 |
| 1997 | 60.03 | 88.70 | 30.11 | 24.61 | 5.88 | 0.42 | 0.23 | 1.19 | 11.93 | 23.19 | 87.95 | 159.15 | 493.39 | 41.12 |
| 1998 | 236.99 | 291.08 | 198.26 | 43.37 | 6.10 | 1.21 | 0.08 | 1.53 | 10.33 | 44.64 | 16.44 | 35.87 | 885.91 | 73.83 |
| 1999 | 88.19 | 314.64 | 63.80 | 38.59 | 19.71 | 2.44 | 0.62 | 0.61 | 19.28 | 24.12 | 37.58 | 55.25 | 664.84 | 55.40 |
| 2000 | 70.53 | 136.11 | 80.11 | 32.58 | 20.20 | 0.68 | 0.67 | 8.17 | 12.91 | 17.98 | 19.26 | 87.46 | 486.66 | 40.56 |
| 2001 | 139.06 | 110.27 | 133.00 | 24.33 | 7.78 | 1.97 | 0.42 | 0.42 | 19.19 | 23.74 | 62.80 | 27.41 | 550.40 | 45.87 |
| 2002 | 35.13 | 139.26 | 85.18 | 30.23 | 7.01 | 1.63 | 0.64 | 0.31 | 10.65 | 44.64 | 84.27 | 56.08 | 495.04 | 41.25 |
| 2003 | 62.67 | 76.91 | 63.37 | 20.08 | 8.10 | 1.00 | 1.62 | 0.76 | 3.32 | 19.70 | 27.53 | 76.90 | 361.95 | 30.16 |
| 2004 | 35.49 | 76.99 | 56.93 | 22.23 | 6.45 | 1.37 | 2.07 | 0.45 | 17.84 | 45.09 | 46.94 | 60.50 | 372.37 | 31.03 |
| 2005 | 59.44 | 52.70 | 91.90 | 19.45 | 4.01 | 0.13 | 0.08 | 2.80 | 4.22 | 23.04 | 14.87 | 55.38 | 328.04 | 27.34 |
| 2006 | 63.26 | 112.27 | 123.48 | 36.80 | 2.27 | 5.75 | 1.14 | 7.01 | 12.26 | 29.33 | 52.61 | 72.07 | 518.23 | 43.19 |
| 2007 | 75.57 | 52.04 | 134.07 | 42.97 | 11.71 | 0.89 | 0.79 | 1.37 | 2.51 | 37.61 | 31.19 | 30.74 | 421.45 | 35.12 |
| 2008 | 98.50 | 112.50 | 97.00 | 27.97 | 3.36 | 1.89 | 2.63 | 2.99 | 5.52 | 42.03 | 47.99 | 30.26 | 472.63 | 39.39 |
| 2009 | 201.05 | 140.48 | 151.51 | 37.14 | 12.69 | 1.51 | 0.60 | 5.68 | 5.64 | 54.68 | 58.39 | 62.65 | 732.04 | 61.00 |
| 2010 | 61.99 | 102.65 | 75.97 | 27.99 | 7.05 | 1.77 | 0.53 | 1.65 | 12.75 | 18.12 | 34.03 | 77.80 | 422.31 | 35.19 |
| 2011 | 82.03 | 68.97 | 74.00 | 36.96 | 3.79 | 0.47 | 3.64 | 1.51 | 4.78 | 11.25 | 43.84 | 90.03 | 421.27 | 35.11 |
| 2012 | 81.19 | 125.42 | 87.96 | 52.80 | 4.22 | 2.46 | 0.10 | 0.41 | 11.96 | 33.31 | 43.42 | 60.63 | 503.88 | 41.99 |
| 2013 | 40.44 | 163.02 | 145.28 | 16.65 | 9.02 | 0.73 | 0.42 | 3.95 | 6.19 | 42.52 | 28.99 | 61.83 | 519.06 | 43.25 |
| 2014 | 69.51 | 108.20 | 103.54 | 28.74 | 17.18 | 1.87 | 0.92 | 2.25 | 10.64 | 22.16 | 38.03 | 81.07 | 484.10 | 40.34 |
| 2015 | 73.52 | 93.47 | 108.35 | 30.35 | 11.91 | 0.49 | 0.78 | 1.75 | 6.17 | 24.52 | 41.71 | 47.99 | 441.02 | 36.75 |
| 2016 | 34.83 | 112.50 | 64.57 | 21.58 | 4.98 | 1.10 | 0.24 | 0.53 | 13.04 | 19.39 | 5.30 | 50.73 | 328.78 | 27.40 |
| 2017 | 224.68 | 261.24 | 411.29 | 61.66 | 24.59 | 6.42 | 0.08 | 3.78 | 45.66 | 79.23 | 38.19 | 43.94 | 1200.74 | 100.06 |
| 2018 | 184.45 | 130.98 | 200.53 | 88.45 | 31.07 | 2.63 | 0.86 | 40.88 | 86.76 | 34.13 | 37.89 | 61.09 | 899.72 | 74.98 |

| Precipitación Mensual (mm) Allma | | | | | | | | | | | | | | |
|----------------------------------|--------|--------|--------|--------|-------|------|------|-------|--------|--------|--------|--------|-------------|-------------------|
| | ene | feb | mar | abr | may | jun | jul | ago | sep | oct | nov | dic | Total Anual | Total Media Anual |
| 1981 | 107.20 | 176.34 | 143.62 | 37.73 | 1.80 | 0.13 | 0.06 | 9.10 | 1.84 | 28.42 | 148.76 | 125.16 | 780.16 | 65.01 |
| 1982 | 69.09 | 85.82 | 128.01 | 94.49 | 1.73 | 0.06 | 0.58 | 3.20 | 6.10 | 413.77 | 86.35 | 52.46 | 941.65 | 78.47 |
| 1983 | 153.50 | 387.37 | 462.58 | 124.14 | 20.86 | 1.25 | 0.17 | 0.18 | 2.93 | 37.06 | 46.16 | 76.94 | 1313.15 | 109.43 |
| 1984 | 90.48 | 233.47 | 155.11 | 32.52 | 28.10 | 2.81 | 0.91 | 0.39 | 13.11 | 69.43 | 49.30 | 46.85 | 722.48 | 60.21 |
| 1985 | 33.04 | 86.46 | 107.45 | 51.93 | 18.95 | 0.09 | 1.28 | 1.38 | 26.05 | 19.62 | 18.37 | 59.31 | 423.92 | 35.33 |
| 1986 | 152.68 | 86.58 | 90.38 | 57.17 | 1.85 | 0.03 | 0.12 | 1.83 | 8.25 | 13.13 | 26.06 | 107.47 | 545.53 | 45.46 |
| 1987 | 165.65 | 85.79 | 98.17 | 28.24 | 1.96 | 0.20 | 0.30 | 2.45 | 9.97 | 17.90 | 55.88 | 65.81 | 532.32 | 44.36 |
| 1988 | 142.37 | 85.08 | 76.29 | 83.74 | 19.94 | 0.20 | 0.09 | 4.71 | 7.85 | 21.29 | 41.87 | 52.12 | 535.56 | 44.63 |
| 1989 | 134.11 | 213.42 | 170.28 | 51.58 | 7.18 | 0.72 | 0.16 | 4.77 | 13.12 | 64.59 | 23.28 | 41.76 | 724.97 | 60.41 |
| 1990 | 62.77 | 42.40 | 68.40 | 17.15 | 8.78 | 0.85 | 0.11 | 1.38 | 4.78 | 68.44 | 88.14 | 56.47 | 419.68 | 34.97 |
| 1991 | 41.91 | 62.01 | 175.57 | 51.16 | 12.06 | 0.11 | 0.42 | 0.75 | 1.48 | 80.00 | 41.17 | 25.40 | 492.05 | 41.00 |
| 1992 | 31.52 | 53.36 | 80.01 | 57.20 | 4.63 | 1.15 | 0.10 | 3.80 | 9.67 | 40.91 | 13.27 | 23.84 | 319.44 | 26.62 |
| 1993 | 77.39 | 141.63 | 275.97 | 78.07 | 17.75 | 0.10 | 0.45 | 0.77 | 12.20 | 57.04 | 70.20 | 89.25 | 820.81 | 68.40 |
| 1994 | 112.52 | 139.27 | 189.93 | 66.95 | 25.37 | 0.35 | 0.09 | 0.94 | 14.56 | 14.79 | 40.14 | 81.38 | 686.29 | 57.19 |
| 1995 | 64.44 | 59.19 | 107.27 | 50.09 | 9.12 | 0.20 | 0.12 | 1.03 | 4.88 | 39.36 | 66.04 | 55.33 | 457.07 | 38.09 |
| 1996 | 111.06 | 134.68 | 145.94 | 50.72 | 17.03 | 0.11 | 0.03 | 2.01 | 4.09 | 32.65 | 19.40 | 25.54 | 543.25 | 45.27 |
| 1997 | 80.62 | 101.69 | 57.06 | 51.98 | 9.30 | 0.17 | 0.07 | 1.19 | 16.36 | 29.94 | 122.24 | 217.01 | 687.62 | 57.30 |
| 1998 | 327.57 | 315.89 | 330.63 | 78.00 | 6.61 | 0.62 | 0.05 | 1.53 | 9.89 | 57.86 | 18.41 | 47.66 | 1194.72 | 99.56 |
| 1999 | 120.93 | 349.11 | 112.15 | 85.82 | 26.15 | 1.07 | 0.21 | 0.54 | 22.27 | 37.50 | 44.79 | 59.98 | 860.51 | 71.71 |
| 2000 | 105.20 | 166.53 | 128.51 | 69.59 | 26.30 | 0.32 | 0.19 | 9.34 | 23.72 | 25.48 | 27.80 | 100.63 | 683.61 | 56.97 |
| 2001 | 191.65 | 127.70 | 217.14 | 57.53 | 8.27 | 0.94 | 0.17 | 0.45 | 22.51 | 32.70 | 90.38 | 30.63 | 780.06 | 65.01 |
| 2002 | 46.89 | 155.45 | 135.02 | 81.15 | 7.18 | 1.64 | 0.29 | 0.39 | 16.24 | 54.58 | 123.98 | 67.73 | 690.54 | 57.54 |
| 2003 | 86.31 | 89.07 | 102.69 | 39.20 | 7.69 | 0.53 | 1.01 | 0.82 | 3.62 | 24.91 | 33.87 | 106.75 | 496.46 | 41.37 |
| 2004 | 46.10 | 87.51 | 88.81 | 49.47 | 6.48 | 0.75 | 0.54 | 0.55 | 23.09 | 57.47 | 66.04 | 79.28 | 506.09 | 42.17 |
| 2005 | 79.63 | 55.95 | 137.33 | 40.86 | 6.30 | 0.08 | 0.04 | 2.28 | 4.18 | 29.63 | 17.00 | 72.33 | 445.60 | 37.13 |
| 2006 | 85.91 | 130.99 | 205.85 | 77.95 | 2.29 | 2.54 | 0.93 | 6.70 | 10.89 | 36.85 | 76.10 | 89.37 | 726.38 | 60.53 |
| 2007 | 100.83 | 61.91 | 234.36 | 82.61 | 17.71 | 0.60 | 0.21 | 1.54 | 2.64 | 49.07 | 34.47 | 32.48 | 618.44 | 51.54 |
| 2008 | 129.39 | 126.29 | 187.78 | 71.38 | 3.79 | 0.81 | 0.95 | 2.75 | 4.83 | 51.52 | 79.00 | 36.02 | 694.51 | 57.88 |
| 2009 | 255.08 | 173.23 | 248.71 | 72.82 | 12.81 | 0.60 | 0.23 | 5.20 | 9.65 | 71.33 | 77.05 | 62.73 | 989.45 | 82.45 |
| 2010 | 77.17 | 106.12 | 126.09 | 55.70 | 10.28 | 0.85 | 0.23 | 1.42 | 14.83 | 23.66 | 40.12 | 94.13 | 550.60 | 45.88 |
| 2011 | 109.79 | 73.36 | 122.52 | 83.54 | 4.35 | 0.24 | 1.70 | 1.55 | 5.10 | 14.30 | 59.53 | 109.10 | 585.08 | 48.76 |
| 2012 | 107.49 | 138.44 | 167.02 | 114.16 | 4.44 | 1.20 | 0.05 | 0.49 | 18.39 | 56.23 | 61.57 | 64.14 | 733.62 | 61.13 |
| 2013 | 50.06 | 180.62 | 222.16 | 32.05 | 11.06 | 0.38 | 0.19 | 3.71 | 7.42 | 61.18 | 41.47 | 71.28 | 681.59 | 56.80 |
| 2014 | 98.13 | 115.18 | 160.63 | 55.76 | 25.62 | 0.78 | 0.49 | 3.48 | 14.24 | 30.43 | 63.13 | 88.74 | 656.61 | 54.72 |
| 2015 | 99.71 | 120.08 | 198.20 | 67.28 | 11.22 | 0.21 | 0.19 | 1.81 | 6.58 | 34.99 | 56.76 | 66.00 | 663.03 | 55.25 |
| 2016 | 51.60 | 124.90 | 102.21 | 52.66 | 6.48 | 0.84 | 0.12 | 0.57 | 16.42 | 22.20 | 6.56 | 53.10 | 437.65 | 36.47 |
| 2017 | 206.12 | 220.65 | 533.27 | 106.19 | 47.75 | 3.38 | 0.07 | 4.39 | 42.93 | 86.67 | 41.19 | 54.35 | 1346.95 | 112.25 |
| 2018 | 173.13 | 130.60 | 237.96 | 148.12 | 31.42 | 2.33 | 0.78 | 68.48 | 125.95 | 47.35 | 43.21 | 64.59 | 1073.93 | 89.49 |

| Precipitación Mensual (mm) Malvas | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------------|--------|--------|--------|-------|-------|------|------|-------|-------|--------|-------|--------|-------------|-------------------|
| | ene | feb | mar | abr | may | jun | jul | ago | sep | oct | nov | dic | Total Anual | Total Media Anual |
| 1981 | 87.43 | 147.59 | 102.93 | 24.83 | 0.92 | 0.14 | 0.05 | 1.95 | 0.22 | 7.32 | 86.49 | 110.12 | 570.00 | 47.50 |
| 1982 | 38.19 | 48.39 | 127.03 | 86.34 | 0.53 | 0.04 | 0.11 | 0.18 | 0.80 | 282.64 | 40.05 | 24.78 | 649.08 | 54.09 |
| 1983 | 112.41 | 531.49 | 475.08 | 78.48 | 12.38 | 0.44 | 0.04 | 0.03 | 0.45 | 13.97 | 15.84 | 58.15 | 1298.77 | 108.23 |
| 1984 | 75.76 | 205.18 | 100.09 | 10.40 | 16.23 | 2.06 | 0.15 | 0.06 | 3.84 | 22.70 | 21.63 | 25.43 | 483.53 | 40.29 |
| 1985 | 25.45 | 67.71 | 89.86 | 27.98 | 8.99 | 0.06 | 0.36 | 0.25 | 9.12 | 7.57 | 5.33 | 35.58 | 278.26 | 23.19 |
| 1986 | 99.15 | 62.71 | 71.37 | 35.01 | 0.61 | 0.01 | 0.06 | 0.24 | 1.46 | 2.02 | 7.35 | 74.18 | 354.17 | 29.51 |
| 1987 | 127.31 | 67.58 | 88.05 | 7.30 | 0.73 | 0.13 | 0.09 | 0.30 | 1.16 | 3.37 | 22.62 | 35.14 | 353.79 | 29.48 |
| 1988 | 111.72 | 59.21 | 60.09 | 55.35 | 11.01 | 0.06 | 0.06 | 0.34 | 0.88 | 3.31 | 16.80 | 34.97 | 353.80 | 29.48 |
| 1989 | 93.94 | 208.41 | 127.75 | 33.19 | 1.94 | 0.24 | 0.05 | 0.29 | 4.19 | 23.36 | 9.89 | 41.84 | 545.08 | 45.42 |
| 1990 | 32.36 | 35.58 | 48.83 | 5.05 | 2.97 | 0.43 | 0.07 | 0.15 | 1.13 | 25.27 | 39.66 | 34.91 | 226.40 | 18.87 |
| 1991 | 28.13 | 47.07 | 130.20 | 29.76 | 7.17 | 0.07 | 0.14 | 0.18 | 0.30 | 43.48 | 16.08 | 16.11 | 318.70 | 26.56 |
| 1992 | 30.37 | 44.56 | 53.63 | 43.24 | 1.00 | 0.28 | 0.05 | 0.31 | 1.79 | 14.94 | 2.63 | 11.89 | 204.69 | 17.06 |
| 1993 | 43.98 | 109.69 | 222.01 | 39.44 | 10.30 | 0.05 | 0.11 | 0.13 | 1.53 | 18.43 | 26.03 | 45.30 | 517.00 | 43.08 |
| 1994 | 77.20 | 104.72 | 148.59 | 39.17 | 15.50 | 0.10 | 0.04 | 0.05 | 4.82 | 2.77 | 17.41 | 50.78 | 461.14 | 38.43 |
| 1995 | 49.92 | 38.59 | 61.65 | 25.85 | 3.96 | 0.08 | 0.06 | 0.08 | 0.83 | 15.80 | 26.44 | 27.36 | 250.61 | 20.88 |
| 1996 | 82.96 | 106.71 | 101.05 | 30.90 | 10.77 | 0.08 | 0.01 | 0.17 | 0.72 | 9.26 | 6.03 | 7.66 | 356.33 | 29.69 |
| 1997 | 56.40 | 81.83 | 49.94 | 36.09 | 5.63 | 0.10 | 0.03 | 0.15 | 5.26 | 9.82 | 58.33 | 155.54 | 459.10 | 38.26 |
| 1998 | 251.43 | 261.90 | 263.66 | 43.34 | 2.76 | 0.18 | 0.01 | 0.16 | 1.42 | 20.25 | 5.40 | 33.74 | 884.26 | 73.69 |
| 1999 | 90.79 | 310.01 | 86.79 | 57.39 | 12.29 | 0.40 | 0.08 | 0.06 | 6.36 | 15.25 | 16.66 | 29.43 | 625.52 | 52.13 |
| 2000 | 87.74 | 151.66 | 93.13 | 45.68 | 13.85 | 0.19 | 0.08 | 1.55 | 10.43 | 9.01 | 12.32 | 57.45 | 483.08 | 40.26 |
| 2001 | 147.25 | 100.79 | 157.31 | 40.99 | 2.64 | 0.22 | 0.08 | 0.06 | 6.33 | 11.75 | 36.42 | 14.68 | 518.52 | 43.21 |
| 2002 | 30.45 | 138.81 | 88.91 | 65.81 | 2.67 | 1.86 | 0.13 | 0.06 | 5.80 | 17.89 | 65.45 | 30.71 | 448.55 | 37.38 |
| 2003 | 66.00 | 62.40 | 69.14 | 21.80 | 2.07 | 0.34 | 0.75 | 0.13 | 0.75 | 8.52 | 15.03 | 75.57 | 322.50 | 26.88 |
| 2004 | 33.59 | 70.14 | 57.80 | 32.51 | 1.78 | 0.49 | 0.19 | 0.10 | 7.72 | 19.40 | 29.09 | 49.80 | 302.59 | 25.22 |
| 2005 | 59.43 | 37.85 | 84.66 | 24.30 | 3.49 | 0.05 | 0.02 | 0.15 | 0.69 | 9.57 | 4.72 | 45.24 | 270.16 | 22.51 |
| 2006 | 62.54 | 108.87 | 153.49 | 47.66 | 0.61 | 0.63 | 0.29 | 0.60 | 1.35 | 10.28 | 32.82 | 53.27 | 472.43 | 39.37 |
| 2007 | 66.39 | 49.88 | 181.32 | 45.44 | 10.42 | 0.41 | 0.08 | 0.26 | 0.55 | 16.92 | 8.40 | 15.74 | 395.81 | 32.98 |
| 2008 | 93.75 | 106.76 | 167.20 | 55.52 | 1.16 | 0.33 | 0.23 | 0.22 | 0.68 | 15.03 | 37.63 | 20.39 | 498.89 | 41.57 |
| 2009 | 189.80 | 156.56 | 171.00 | 41.99 | 2.88 | 0.22 | 0.10 | 0.32 | 3.87 | 24.18 | 29.92 | 24.65 | 645.49 | 53.79 |
| 2010 | 45.62 | 75.04 | 89.36 | 34.34 | 5.45 | 0.40 | 0.07 | 0.10 | 3.99 | 7.34 | 14.06 | 55.44 | 331.21 | 27.60 |
| 2011 | 76.83 | 47.53 | 79.17 | 55.39 | 1.18 | 0.12 | 0.88 | 0.18 | 1.02 | 3.87 | 22.90 | 63.03 | 352.11 | 29.34 |
| 2012 | 74.70 | 106.54 | 142.59 | 72.00 | 1.36 | 0.44 | 0.02 | 0.07 | 7.19 | 25.49 | 25.71 | 26.71 | 482.82 | 40.23 |
| 2013 | 30.22 | 141.45 | 151.72 | 16.26 | 4.38 | 0.20 | 0.10 | 0.33 | 2.07 | 23.99 | 18.32 | 37.59 | 426.63 | 35.55 |
| 2014 | 73.57 | 76.62 | 99.18 | 30.43 | 15.85 | 0.22 | 0.26 | 0.89 | 4.82 | 10.07 | 30.92 | 42.12 | 384.95 | 32.08 |
| 2015 | 69.07 | 103.96 | 160.23 | 43.50 | 3.32 | 0.11 | 0.07 | 0.18 | 1.52 | 13.68 | 23.00 | 45.11 | 463.75 | 38.65 |
| 2016 | 42.58 | 99.44 | 68.60 | 36.61 | 3.05 | 0.97 | 0.07 | 0.07 | 5.08 | 4.14 | 1.68 | 20.62 | 282.90 | 23.58 |
| 2017 | 152.65 | 182.38 | 372.05 | 43.03 | 14.89 | 1.40 | 0.05 | 0.38 | 7.10 | 22.20 | 15.11 | 24.25 | 835.48 | 69.62 |
| 2018 | 104.76 | 86.34 | 130.27 | 60.25 | 11.43 | 1.98 | 0.19 | 22.13 | 48.01 | 15.99 | 12.90 | 27.79 | 522.04 | 43.50 |

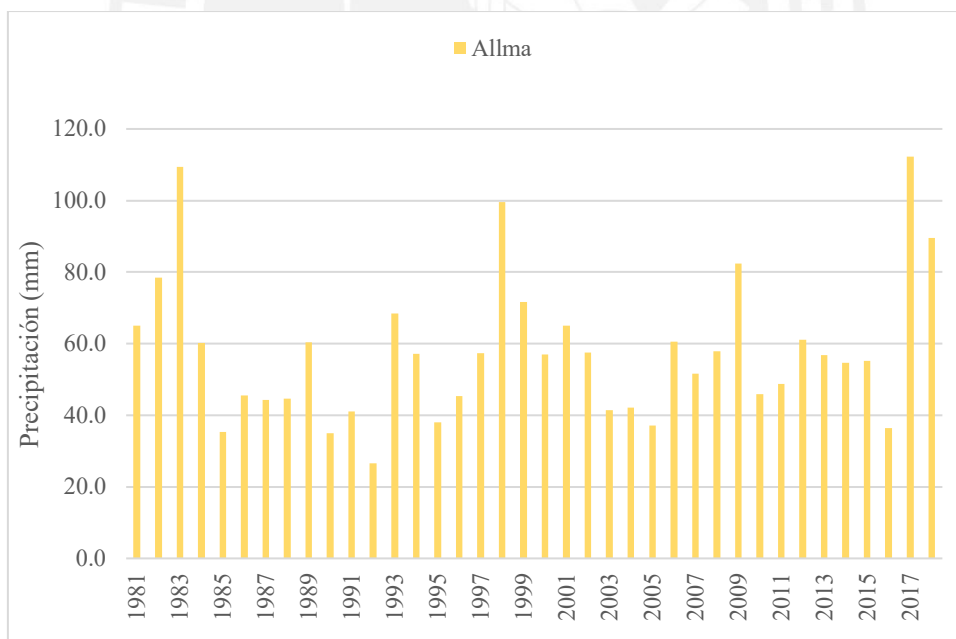
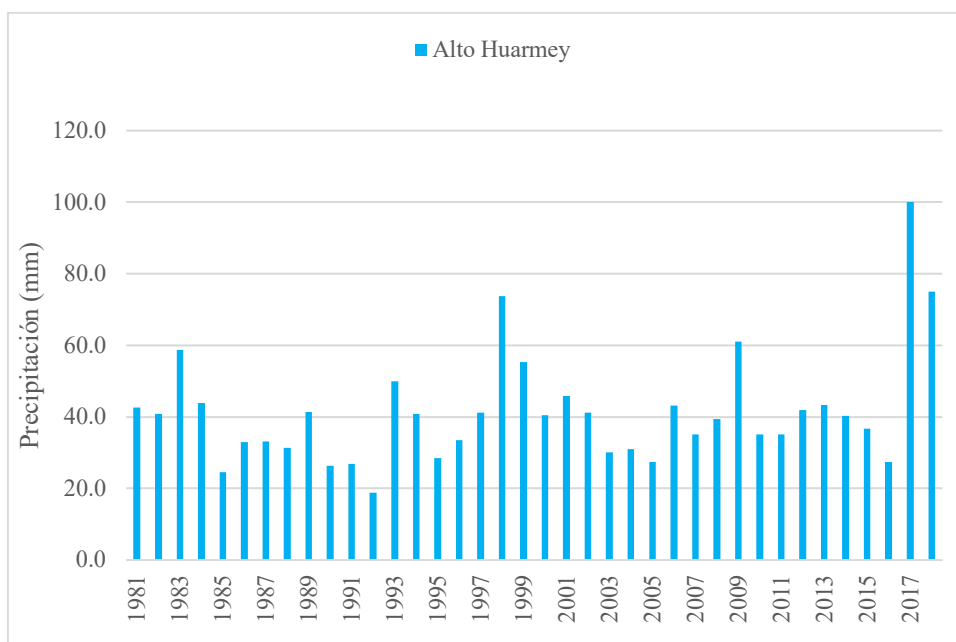
| Precipitación Mensual (mm) Medio Alto Huarney | | | | | | | | | | | | | | |
|---|--------|--------|--------|-------|------|------|------|-------|-------|--------|-------|-------|-------------|-------------------|
| | ene | feb | mar | abr | may | jun | jul | ago | sep | oct | nov | dic | Total Anual | Total Media Anual |
| 1981 | 51.47 | 114.48 | 53.98 | 10.72 | 0.55 | 0.14 | 0.05 | 2.12 | 0.25 | 5.77 | 55.96 | 62.22 | 357.72 | 29.81 |
| 1982 | 22.52 | 41.47 | 58.63 | 36.75 | 0.39 | 0.05 | 0.16 | 0.30 | 0.82 | 146.02 | 27.63 | 17.08 | 351.83 | 29.32 |
| 1983 | 68.55 | 348.67 | 232.01 | 42.45 | 7.49 | 0.70 | 0.06 | 0.05 | 0.48 | 9.68 | 11.70 | 34.50 | 756.34 | 63.03 |
| 1984 | 39.84 | 155.47 | 56.46 | 5.91 | 8.96 | 1.75 | 0.23 | 0.10 | 2.94 | 15.05 | 14.65 | 15.21 | 316.56 | 26.38 |
| 1985 | 14.09 | 55.23 | 42.92 | 12.84 | 5.64 | 0.08 | 0.81 | 0.62 | 6.66 | 4.58 | 4.29 | 22.50 | 170.26 | 14.19 |
| 1986 | 60.47 | 49.87 | 38.66 | 16.17 | 0.50 | 0.02 | 0.08 | 0.39 | 1.29 | 1.83 | 6.05 | 45.71 | 221.03 | 18.42 |
| 1987 | 73.40 | 53.86 | 44.58 | 5.55 | 0.61 | 0.18 | 0.15 | 0.49 | 1.32 | 3.10 | 16.57 | 22.17 | 221.97 | 18.50 |
| 1988 | 63.12 | 48.35 | 29.98 | 26.16 | 6.14 | 0.10 | 0.09 | 0.57 | 0.97 | 2.92 | 13.23 | 21.62 | 213.25 | 17.77 |
| 1989 | 55.18 | 157.02 | 68.04 | 16.02 | 1.35 | 0.34 | 0.07 | 0.51 | 3.06 | 16.06 | 7.43 | 23.31 | 348.40 | 29.03 |
| 1990 | 22.60 | 27.37 | 26.58 | 3.02 | 1.96 | 0.65 | 0.11 | 0.25 | 0.96 | 16.89 | 28.67 | 22.96 | 152.03 | 12.67 |
| 1991 | 17.11 | 38.62 | 68.56 | 13.75 | 3.96 | 0.11 | 0.21 | 0.30 | 0.32 | 24.95 | 11.67 | 10.90 | 190.46 | 15.87 |
| 1992 | 17.06 | 34.97 | 29.08 | 20.10 | 0.87 | 0.45 | 0.08 | 0.62 | 1.63 | 9.99 | 2.55 | 8.05 | 125.45 | 10.45 |
| 1993 | 27.38 | 88.07 | 121.36 | 20.11 | 6.03 | 0.08 | 0.16 | 0.19 | 1.59 | 12.75 | 18.96 | 30.70 | 327.40 | 27.28 |
| 1994 | 48.98 | 80.20 | 76.19 | 18.92 | 8.51 | 0.15 | 0.05 | 0.09 | 3.66 | 2.26 | 12.43 | 35.73 | 287.16 | 23.93 |
| 1995 | 28.71 | 33.93 | 35.64 | 12.49 | 2.45 | 0.12 | 0.09 | 0.13 | 0.85 | 9.96 | 18.76 | 18.51 | 161.63 | 13.47 |
| 1996 | 47.48 | 83.36 | 55.41 | 15.22 | 5.73 | 0.11 | 0.02 | 0.33 | 0.70 | 6.67 | 4.56 | 6.28 | 225.86 | 18.82 |
| 1997 | 32.88 | 65.36 | 25.23 | 17.98 | 3.22 | 0.17 | 0.05 | 0.25 | 4.12 | 7.25 | 42.90 | 99.69 | 299.09 | 24.92 |
| 1998 | 155.37 | 233.39 | 156.41 | 22.53 | 1.97 | 0.28 | 0.02 | 0.26 | 1.42 | 13.21 | 4.49 | 22.00 | 611.36 | 50.95 |
| 1999 | 54.43 | 285.63 | 44.26 | 27.04 | 6.92 | 0.59 | 0.13 | 0.13 | 5.05 | 9.85 | 12.71 | 20.69 | 467.42 | 38.95 |
| 2000 | 52.22 | 114.39 | 54.07 | 21.27 | 7.96 | 0.28 | 0.12 | 1.80 | 7.34 | 5.96 | 8.72 | 39.24 | 313.38 | 26.12 |
| 2001 | 84.10 | 83.46 | 85.61 | 19.87 | 1.85 | 0.32 | 0.12 | 0.11 | 4.91 | 7.63 | 25.35 | 10.47 | 323.81 | 26.98 |
| 2002 | 16.97 | 117.03 | 49.59 | 29.00 | 1.98 | 1.37 | 0.20 | 0.10 | 4.16 | 12.86 | 43.73 | 20.53 | 297.53 | 24.79 |
| 2003 | 38.25 | 49.81 | 36.75 | 10.95 | 1.57 | 0.35 | 0.70 | 0.21 | 0.76 | 6.05 | 12.34 | 45.90 | 203.63 | 16.97 |
| 2004 | 21.29 | 55.99 | 33.52 | 14.91 | 1.30 | 0.49 | 0.31 | 0.15 | 5.83 | 14.12 | 20.95 | 31.69 | 200.57 | 16.71 |
| 2005 | 33.65 | 32.07 | 52.92 | 11.39 | 1.88 | 0.07 | 0.03 | 0.27 | 0.68 | 7.83 | 3.97 | 28.33 | 173.09 | 14.42 |
| 2006 | 36.20 | 89.62 | 83.18 | 21.91 | 0.49 | 0.93 | 0.32 | 0.86 | 1.39 | 7.70 | 23.96 | 34.13 | 300.68 | 25.06 |
| 2007 | 38.18 | 37.82 | 99.70 | 22.33 | 5.69 | 0.38 | 0.14 | 0.41 | 0.56 | 11.85 | 7.35 | 12.38 | 236.78 | 19.73 |
| 2008 | 57.29 | 90.30 | 85.21 | 24.38 | 0.90 | 0.47 | 0.31 | 0.37 | 0.78 | 10.44 | 25.99 | 13.55 | 310.00 | 25.83 |
| 2009 | 129.17 | 126.05 | 99.64 | 20.58 | 2.16 | 0.35 | 0.15 | 0.54 | 2.75 | 16.58 | 22.49 | 18.42 | 438.89 | 36.57 |
| 2010 | 27.97 | 74.22 | 48.60 | 16.78 | 3.12 | 0.44 | 0.10 | 0.18 | 3.20 | 5.56 | 11.08 | 35.55 | 226.79 | 18.90 |
| 2011 | 46.75 | 43.53 | 43.49 | 25.55 | 0.87 | 0.16 | 0.93 | 0.28 | 0.99 | 3.10 | 16.56 | 41.06 | 223.27 | 18.61 |
| 2012 | 45.59 | 93.00 | 70.93 | 33.63 | 1.00 | 0.53 | 0.04 | 0.12 | 5.21 | 15.64 | 18.23 | 20.01 | 303.92 | 25.33 |
| 2013 | 19.43 | 122.42 | 93.93 | 7.93 | 2.82 | 0.27 | 0.14 | 0.56 | 1.71 | 15.54 | 12.63 | 25.25 | 302.63 | 25.22 |
| 2014 | 41.56 | 61.73 | 57.90 | 14.78 | 8.70 | 0.33 | 0.28 | 0.96 | 3.66 | 7.12 | 21.01 | 28.79 | 246.82 | 20.57 |
| 2015 | 39.12 | 79.61 | 85.62 | 20.15 | 2.50 | 0.15 | 0.12 | 0.28 | 1.27 | 9.91 | 16.73 | 27.47 | 282.94 | 23.58 |
| 2016 | 24.33 | 80.69 | 38.69 | 16.68 | 1.83 | 0.78 | 0.09 | 0.11 | 3.84 | 3.68 | 1.54 | 15.14 | 187.40 | 15.62 |
| 2017 | 104.35 | 159.79 | 246.32 | 28.80 | 8.22 | 2.14 | 0.07 | 0.80 | 9.89 | 21.83 | 13.03 | 18.10 | 613.32 | 51.11 |
| 2018 | 81.21 | 82.04 | 96.46 | 41.79 | 8.76 | 1.72 | 0.23 | 21.97 | 36.99 | 11.35 | 11.33 | 21.72 | 415.56 | 34.63 |

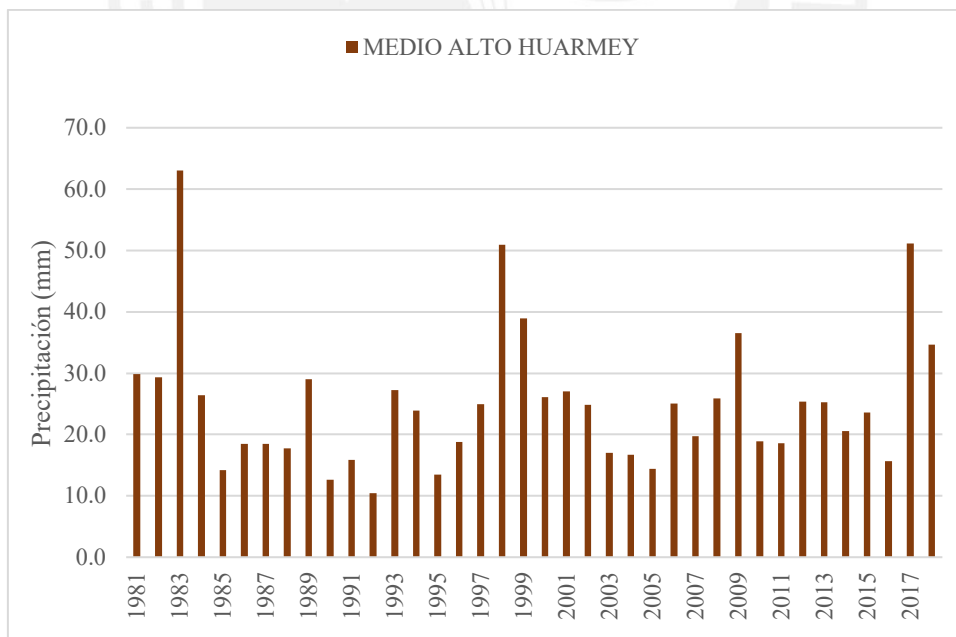
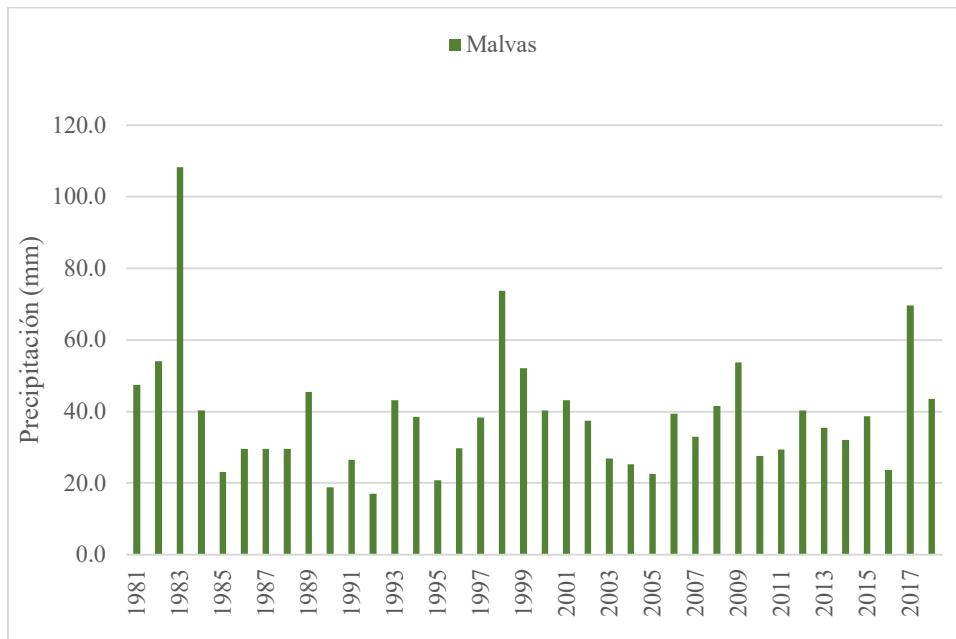
| Precipitación Mensual (mm) Medio Huarney | | | | | | | | | | | | | | |
|--|--------|--------|--------|-------|-------|------|------|-------|-------|--------|-------|--------|-------------|-------------------|
| | ene | feb | mar | abr | may | jun | jul | ago | sep | oct | nov | dic | Total Anual | Total Media Anual |
| 1981 | 71.22 | 128.83 | 81.12 | 18.63 | 0.86 | 0.15 | 0.06 | 3.15 | 0.64 | 10.44 | 72.99 | 80.50 | 468.59 | 39.05 |
| 1982 | 36.06 | 50.72 | 86.08 | 56.90 | 0.70 | 0.06 | 0.39 | 0.99 | 2.03 | 208.28 | 38.91 | 25.93 | 507.06 | 42.26 |
| 1983 | 95.11 | 365.27 | 324.74 | 63.24 | 10.87 | 0.98 | 0.13 | 0.07 | 1.04 | 15.53 | 18.85 | 46.18 | 942.01 | 78.50 |
| 1984 | 57.59 | 172.93 | 84.70 | 11.69 | 13.95 | 2.26 | 0.60 | 0.14 | 5.07 | 26.72 | 21.70 | 23.54 | 420.88 | 35.07 |
| 1985 | 20.39 | 61.27 | 64.92 | 22.98 | 9.05 | 0.09 | 1.06 | 0.68 | 10.43 | 7.92 | 7.23 | 32.10 | 238.12 | 19.84 |
| 1986 | 88.52 | 57.30 | 55.12 | 27.32 | 0.81 | 0.03 | 0.11 | 0.65 | 2.91 | 4.29 | 10.19 | 61.88 | 309.14 | 25.76 |
| 1987 | 103.40 | 60.21 | 63.76 | 9.91 | 0.95 | 0.20 | 0.20 | 0.87 | 3.47 | 6.11 | 24.96 | 33.48 | 307.52 | 25.63 |
| 1988 | 90.30 | 55.14 | 44.98 | 42.22 | 9.68 | 0.14 | 0.10 | 1.51 | 2.69 | 6.97 | 19.07 | 29.59 | 302.39 | 25.20 |
| 1989 | 80.02 | 168.83 | 99.77 | 25.74 | 2.78 | 0.51 | 0.10 | 1.52 | 5.28 | 26.50 | 10.40 | 28.91 | 450.38 | 37.53 |
| 1990 | 33.68 | 30.56 | 39.07 | 6.02 | 3.63 | 0.80 | 0.13 | 0.49 | 1.75 | 27.96 | 40.02 | 31.40 | 215.50 | 17.96 |
| 1991 | 24.67 | 43.11 | 101.58 | 23.81 | 6.04 | 0.12 | 0.34 | 0.36 | 0.54 | 37.00 | 17.78 | 14.58 | 269.93 | 22.49 |
| 1992 | 22.58 | 38.84 | 43.89 | 31.29 | 1.80 | 0.78 | 0.11 | 1.34 | 3.51 | 16.58 | 4.83 | 11.95 | 177.48 | 14.79 |
| 1993 | 41.75 | 98.64 | 170.77 | 34.23 | 9.03 | 0.09 | 0.32 | 0.28 | 4.14 | 22.30 | 29.24 | 45.86 | 456.64 | 38.05 |
| 1994 | 68.24 | 93.52 | 112.88 | 31.48 | 12.93 | 0.23 | 0.08 | 0.29 | 5.80 | 4.95 | 17.90 | 47.16 | 395.46 | 32.95 |
| 1995 | 40.52 | 38.64 | 54.48 | 22.05 | 4.11 | 0.15 | 0.11 | 0.33 | 1.77 | 16.44 | 28.12 | 27.88 | 234.60 | 19.55 |
| 1996 | 68.38 | 94.56 | 82.13 | 24.61 | 8.74 | 0.12 | 0.03 | 0.71 | 1.48 | 12.25 | 7.67 | 10.82 | 311.49 | 25.96 |
| 1997 | 47.76 | 72.37 | 36.32 | 27.48 | 4.78 | 0.18 | 0.07 | 0.42 | 6.43 | 11.88 | 58.04 | 130.76 | 396.49 | 33.04 |
| 1998 | 210.03 | 240.14 | 208.45 | 36.72 | 3.12 | 0.41 | 0.03 | 0.52 | 3.39 | 23.21 | 7.37 | 28.70 | 762.09 | 63.51 |
| 1999 | 75.66 | 281.59 | 66.09 | 43.49 | 11.94 | 0.85 | 0.19 | 0.20 | 8.71 | 15.50 | 19.42 | 30.63 | 554.28 | 46.19 |
| 2000 | 69.86 | 126.26 | 75.75 | 34.96 | 12.92 | 0.32 | 0.19 | 3.16 | 10.06 | 10.05 | 12.44 | 54.98 | 410.95 | 34.25 |
| 2001 | 119.70 | 91.27 | 125.19 | 30.59 | 3.42 | 0.58 | 0.15 | 0.16 | 8.66 | 13.06 | 38.26 | 15.34 | 446.38 | 37.20 |
| 2002 | 26.20 | 121.63 | 73.71 | 45.80 | 3.28 | 1.56 | 0.25 | 0.14 | 6.44 | 21.91 | 60.75 | 31.84 | 393.50 | 32.79 |
| 2003 | 54.23 | 57.68 | 56.12 | 18.14 | 3.13 | 0.45 | 0.84 | 0.31 | 1.34 | 10.08 | 16.29 | 62.90 | 281.50 | 23.46 |
| 2004 | 28.91 | 62.20 | 48.62 | 24.66 | 2.58 | 0.63 | 0.54 | 0.21 | 9.31 | 23.15 | 29.73 | 44.05 | 274.59 | 22.88 |
| 2005 | 48.94 | 36.53 | 74.87 | 19.27 | 3.03 | 0.07 | 0.03 | 0.76 | 1.46 | 11.90 | 6.62 | 39.98 | 243.47 | 20.29 |
| 2006 | 52.10 | 96.39 | 120.84 | 37.29 | 0.92 | 1.66 | 0.46 | 2.13 | 3.70 | 13.69 | 33.73 | 48.68 | 411.60 | 34.30 |
| 2007 | 57.26 | 43.42 | 141.36 | 37.84 | 8.93 | 0.49 | 0.22 | 0.59 | 0.99 | 19.72 | 12.90 | 16.96 | 340.68 | 28.39 |
| 2008 | 79.74 | 95.16 | 121.47 | 39.19 | 1.53 | 0.66 | 0.67 | 0.89 | 1.74 | 19.47 | 35.70 | 19.32 | 415.55 | 34.63 |
| 2009 | 166.24 | 133.54 | 141.42 | 34.30 | 4.73 | 0.50 | 0.21 | 1.59 | 3.95 | 28.34 | 33.14 | 29.48 | 577.42 | 48.12 |
| 2010 | 42.13 | 75.32 | 71.39 | 27.29 | 4.93 | 0.65 | 0.16 | 0.47 | 5.64 | 9.14 | 17.02 | 51.20 | 305.35 | 25.45 |
| 2011 | 65.73 | 47.75 | 65.44 | 41.90 | 1.64 | 0.20 | 1.34 | 0.52 | 1.84 | 5.28 | 25.11 | 58.80 | 315.55 | 26.30 |
| 2012 | 64.42 | 98.96 | 104.19 | 55.81 | 1.82 | 0.83 | 0.04 | 0.17 | 7.63 | 24.10 | 26.76 | 30.51 | 415.22 | 34.60 |
| 2013 | 27.99 | 129.84 | 127.82 | 13.92 | 4.80 | 0.33 | 0.17 | 1.22 | 2.87 | 25.28 | 18.48 | 37.01 | 389.74 | 32.48 |
| 2014 | 60.08 | 73.44 | 85.14 | 25.37 | 13.38 | 0.56 | 0.37 | 1.26 | 5.73 | 11.83 | 28.87 | 44.16 | 350.19 | 29.18 |
| 2015 | 58.36 | 87.83 | 121.61 | 33.28 | 4.76 | 0.19 | 0.21 | 0.58 | 2.45 | 14.79 | 24.63 | 38.06 | 386.75 | 32.23 |
| 2016 | 33.62 | 89.11 | 56.68 | 27.03 | 3.01 | 0.88 | 0.11 | 0.19 | 6.43 | 7.44 | 2.42 | 24.37 | 251.30 | 20.94 |
| 2017 | 142.22 | 174.44 | 325.50 | 43.37 | 15.84 | 2.48 | 0.07 | 1.33 | 16.01 | 33.88 | 18.67 | 25.65 | 799.47 | 66.62 |
| 2018 | 107.57 | 87.88 | 128.96 | 61.39 | 14.23 | 1.96 | 0.36 | 26.93 | 52.72 | 18.55 | 17.47 | 31.47 | 549.47 | 45.79 |

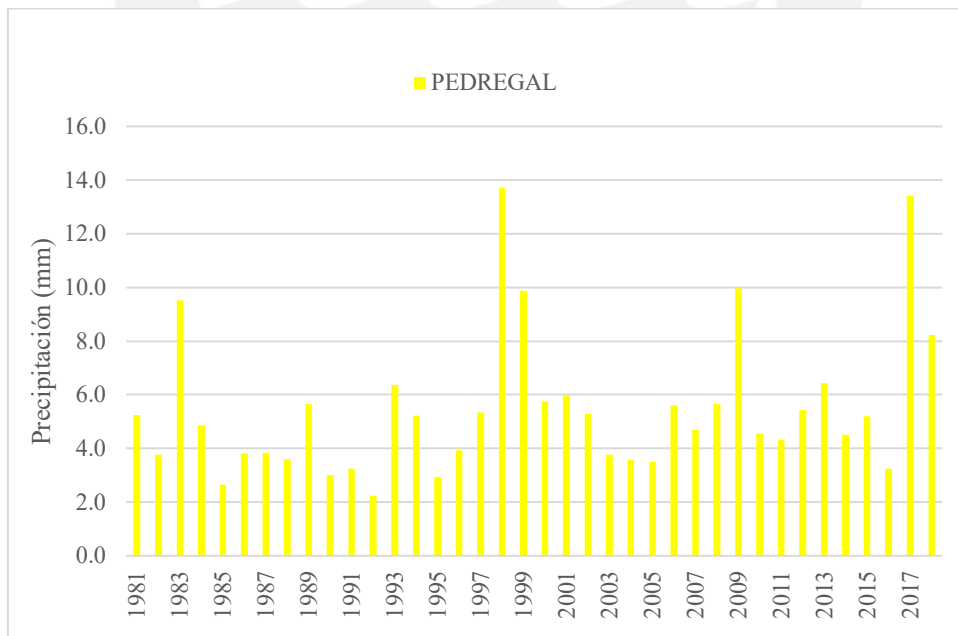
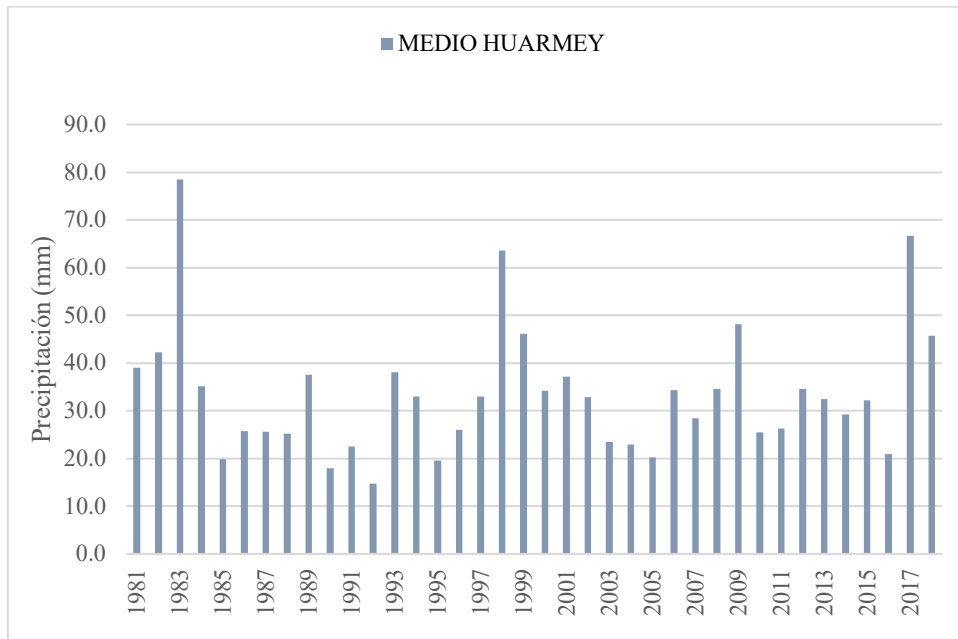
| Precipitación Mensual (mm) Pedregal | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------------------------------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------------|-------------------|
| | ene | feb | mar | abr | may | jun | jul | ago | sep | oct | nov | dic | Total Anual | Total Media Anual |
| 1981 | 11.85 | 21.23 | 10.83 | 2.14 | 0.18 | 0.11 | 0.03 | 0.85 | 0.06 | 1.27 | 7.37 | 7.11 | 63.04 | 5.25 |
| 1982 | 4.58 | 8.16 | 7.53 | 4.91 | 0.23 | 0.07 | 0.10 | 0.20 | 0.22 | 10.14 | 5.20 | 3.87 | 45.20 | 3.77 |
| 1983 | 16.33 | 29.96 | 41.20 | 13.01 | 2.60 | 0.88 | 0.05 | 0.05 | 0.14 | 1.58 | 3.16 | 5.38 | 114.34 | 9.53 |
| 1984 | 6.11 | 24.29 | 14.50 | 1.89 | 2.24 | 0.97 | 0.14 | 0.10 | 0.35 | 2.35 | 2.87 | 2.60 | 58.44 | 4.87 |
| 1985 | 2.51 | 9.34 | 6.67 | 2.12 | 2.13 | 0.10 | 1.43 | 1.12 | 0.62 | 0.51 | 1.15 | 4.01 | 31.72 | 2.64 |
| 1986 | 14.79 | 7.48 | 9.26 | 3.15 | 0.31 | 0.03 | 0.08 | 0.36 | 0.24 | 0.35 | 1.64 | 8.01 | 45.69 | 3.81 |
| 1987 | 15.74 | 8.78 | 8.60 | 2.53 | 0.44 | 0.24 | 0.16 | 0.51 | 0.41 | 0.70 | 4.37 | 3.71 | 46.20 | 3.85 |
| 1988 | 13.90 | 7.51 | 5.48 | 5.69 | 2.19 | 0.12 | 0.10 | 0.48 | 0.29 | 0.53 | 3.21 | 3.79 | 43.29 | 3.61 |
| 1989 | 12.97 | 26.56 | 15.66 | 3.67 | 0.58 | 0.39 | 0.08 | 0.41 | 0.48 | 2.58 | 2.02 | 2.47 | 67.87 | 5.66 |
| 1990 | 7.39 | 4.29 | 6.32 | 0.94 | 1.22 | 0.85 | 0.13 | 0.26 | 0.20 | 2.59 | 6.82 | 5.18 | 36.19 | 3.02 |
| 1991 | 4.21 | 7.11 | 14.79 | 2.52 | 0.94 | 0.15 | 0.21 | 0.37 | 0.12 | 2.89 | 2.99 | 2.63 | 38.94 | 3.25 |
| 1992 | 3.73 | 5.82 | 6.47 | 4.07 | 0.56 | 0.49 | 0.10 | 0.67 | 0.37 | 1.60 | 0.91 | 2.03 | 26.81 | 2.23 |
| 1993 | 6.64 | 17.44 | 30.12 | 5.36 | 1.91 | 0.12 | 0.14 | 0.20 | 0.38 | 2.08 | 5.02 | 6.95 | 76.36 | 6.36 |
| 1994 | 13.79 | 13.68 | 14.53 | 4.08 | 2.23 | 0.15 | 0.05 | 0.06 | 0.45 | 0.38 | 2.78 | 10.43 | 62.62 | 5.22 |
| 1995 | 6.08 | 6.42 | 8.84 | 2.52 | 0.89 | 0.13 | 0.08 | 0.10 | 0.23 | 1.30 | 4.54 | 3.96 | 35.09 | 2.92 |
| 1996 | 9.78 | 14.20 | 13.30 | 3.94 | 1.25 | 0.13 | 0.02 | 0.34 | 0.20 | 1.05 | 1.13 | 1.91 | 47.25 | 3.94 |
| 1997 | 7.11 | 10.65 | 4.80 | 4.40 | 1.15 | 0.23 | 0.06 | 0.24 | 0.76 | 1.39 | 10.82 | 22.60 | 64.23 | 5.35 |
| 1998 | 42.44 | 57.70 | 48.36 | 5.79 | 1.02 | 0.32 | 0.02 | 0.25 | 0.43 | 1.77 | 1.55 | 4.93 | 164.60 | 13.72 |
| 1999 | 13.30 | 77.25 | 8.54 | 5.63 | 2.41 | 0.67 | 0.12 | 0.14 | 0.78 | 1.54 | 3.10 | 5.01 | 118.49 | 9.87 |
| 2000 | 13.51 | 18.62 | 15.55 | 4.32 | 2.66 | 0.36 | 0.11 | 0.83 | 0.70 | 0.97 | 1.92 | 9.49 | 69.03 | 5.75 |
| 2001 | 17.19 | 18.35 | 19.68 | 5.10 | 0.83 | 0.30 | 0.12 | 0.10 | 0.69 | 1.07 | 5.72 | 2.56 | 71.72 | 5.98 |
| 2002 | 2.98 | 23.84 | 12.06 | 5.27 | 0.89 | 0.64 | 0.19 | 0.10 | 0.67 | 2.31 | 10.91 | 3.67 | 63.54 | 5.29 |
| 2003 | 9.01 | 9.86 | 7.72 | 2.71 | 0.75 | 0.28 | 0.25 | 0.20 | 0.26 | 1.02 | 4.73 | 8.35 | 45.13 | 3.76 |
| 2004 | 5.91 | 9.36 | 8.97 | 2.74 | 0.68 | 0.38 | 0.27 | 0.16 | 0.77 | 2.49 | 4.64 | 6.48 | 42.85 | 3.57 |
| 2005 | 6.57 | 5.94 | 17.40 | 2.38 | 0.62 | 0.08 | 0.03 | 0.19 | 0.19 | 1.68 | 1.67 | 5.29 | 42.04 | 3.50 |
| 2006 | 7.89 | 19.52 | 19.52 | 4.20 | 0.28 | 0.83 | 0.14 | 0.51 | 0.28 | 1.38 | 6.14 | 6.70 | 67.38 | 5.62 |
| 2007 | 7.71 | 6.38 | 26.75 | 4.91 | 1.41 | 0.26 | 0.13 | 0.41 | 0.20 | 1.93 | 2.27 | 4.08 | 56.43 | 4.70 |
| 2008 | 14.28 | 18.16 | 18.59 | 4.10 | 0.53 | 0.51 | 0.17 | 0.31 | 0.22 | 1.50 | 6.38 | 3.00 | 67.74 | 5.65 |
| 2009 | 42.14 | 26.66 | 30.47 | 4.96 | 1.06 | 0.38 | 0.14 | 0.37 | 0.31 | 2.60 | 5.87 | 4.57 | 119.52 | 9.96 |
| 2010 | 6.59 | 20.42 | 11.17 | 3.58 | 0.92 | 0.33 | 0.09 | 0.14 | 0.50 | 1.03 | 2.66 | 7.17 | 54.60 | 4.55 |
| 2011 | 11.65 | 9.62 | 10.45 | 5.10 | 0.46 | 0.19 | 0.42 | 0.24 | 0.26 | 0.60 | 4.22 | 8.51 | 51.72 | 4.31 |
| 2012 | 11.30 | 20.01 | 13.62 | 7.17 | 0.51 | 0.44 | 0.03 | 0.12 | 0.65 | 2.22 | 3.95 | 5.31 | 65.33 | 5.44 |
| 2013 | 5.14 | 28.39 | 29.29 | 1.69 | 1.34 | 0.32 | 0.13 | 0.47 | 0.34 | 2.29 | 2.44 | 5.35 | 77.19 | 6.43 |
| 2014 | 8.51 | 11.43 | 15.46 | 3.35 | 2.04 | 0.32 | 0.15 | 0.42 | 0.53 | 1.18 | 4.53 | 6.23 | 54.14 | 4.51 |
| 2015 | 7.91 | 16.21 | 21.51 | 4.24 | 1.14 | 0.17 | 0.11 | 0.24 | 0.24 | 1.86 | 3.91 | 4.86 | 62.42 | 5.20 |
| 2016 | 5.26 | 13.69 | 9.60 | 3.45 | 0.64 | 0.45 | 0.09 | 0.10 | 0.54 | 0.72 | 0.58 | 3.75 | 38.88 | 3.24 |
| 2017 | 28.57 | 32.41 | 75.49 | 6.75 | 2.70 | 1.40 | 0.10 | 0.45 | 1.53 | 3.53 | 3.37 | 4.51 | 160.79 | 13.40 |
| 2018 | 22.87 | 18.21 | 22.85 | 9.59 | 3.05 | 1.08 | 0.23 | 7.34 | 3.22 | 1.78 | 3.23 | 5.21 | 98.65 | 8.22 |

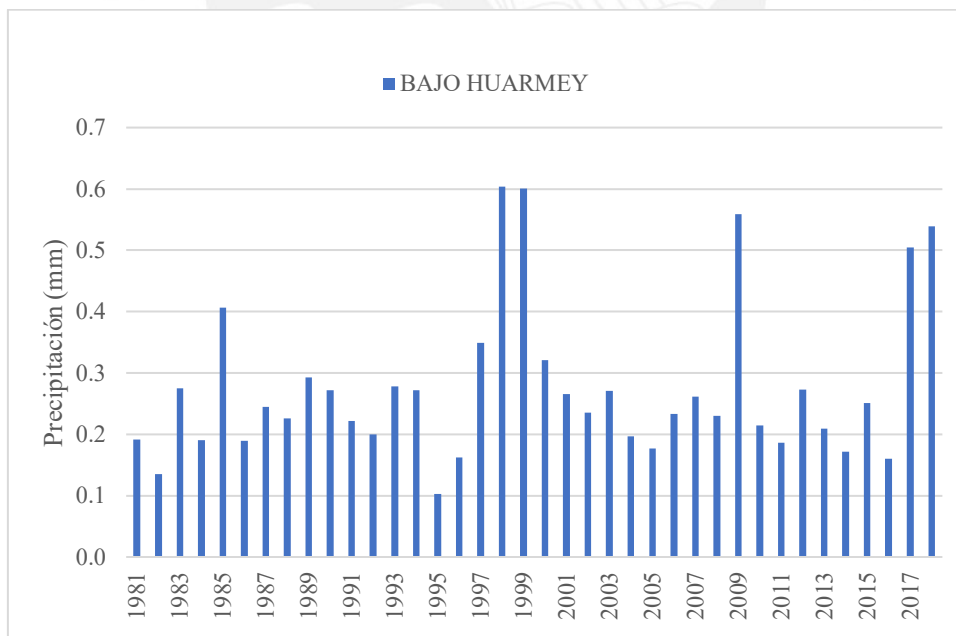
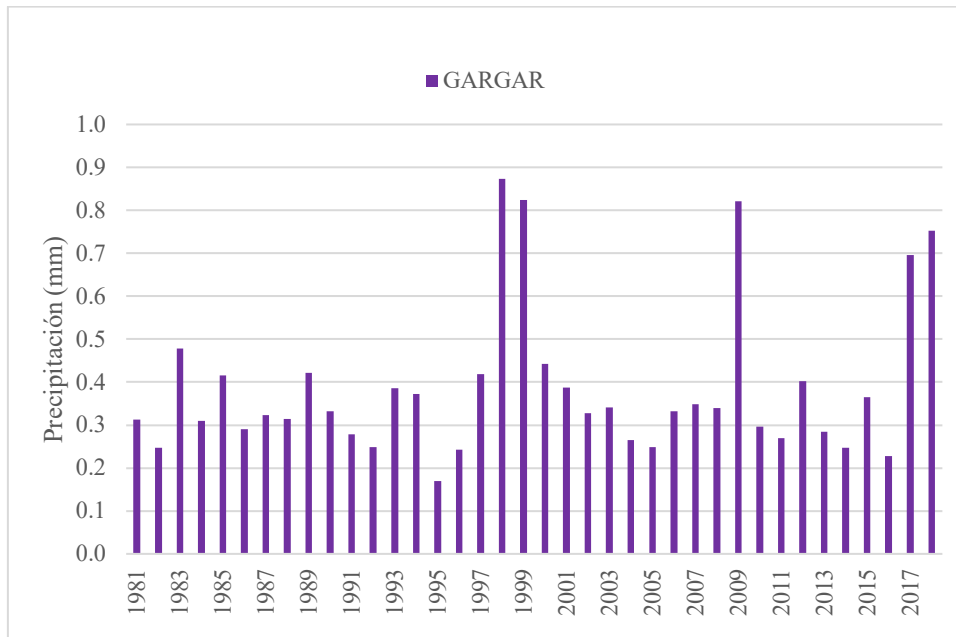
| Precipitación Mensual (mm) Gargar | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------------|-------------------|
| | ene | feb | mar | abr | may | jun | jul | ago | sep | oct | nov | dic | Total Anual | Total Media Anual |
| 1981 | 0.88 | 1.01 | 0.33 | 0.28 | 0.01 | 0.06 | 0.03 | 0.32 | 0.04 | 0.19 | 0.19 | 0.43 | 3.76 | 0.31 |
| 1982 | 0.25 | 0.38 | 0.17 | 0.50 | 0.01 | 0.04 | 0.07 | 0.08 | 0.13 | 0.87 | 0.17 | 0.29 | 2.97 | 0.25 |
| 1983 | 0.94 | 0.73 | 1.08 | 1.38 | 0.12 | 0.60 | 0.04 | 0.02 | 0.08 | 0.26 | 0.10 | 0.39 | 5.74 | 0.48 |
| 1984 | 0.33 | 0.83 | 0.65 | 0.29 | 0.10 | 0.49 | 0.09 | 0.05 | 0.17 | 0.41 | 0.11 | 0.21 | 3.72 | 0.31 |
| 1985 | 0.17 | 0.30 | 0.20 | 0.24 | 0.11 | 0.07 | 2.14 | 1.09 | 0.27 | 0.06 | 0.05 | 0.28 | 4.98 | 0.42 |
| 1986 | 1.34 | 0.27 | 0.32 | 0.36 | 0.01 | 0.02 | 0.06 | 0.18 | 0.11 | 0.05 | 0.05 | 0.71 | 3.48 | 0.29 |
| 1987 | 1.10 | 0.35 | 0.24 | 0.30 | 0.02 | 0.23 | 0.14 | 0.43 | 0.34 | 0.16 | 0.23 | 0.32 | 3.87 | 0.32 |
| 1988 | 1.14 | 0.31 | 0.18 | 0.70 | 0.07 | 0.11 | 0.16 | 0.37 | 0.24 | 0.08 | 0.08 | 0.34 | 3.77 | 0.31 |
| 1989 | 1.20 | 1.13 | 0.55 | 0.53 | 0.04 | 0.27 | 0.10 | 0.26 | 0.24 | 0.47 | 0.13 | 0.15 | 5.06 | 0.42 |
| 1990 | 0.90 | 0.16 | 0.20 | 0.13 | 0.07 | 0.76 | 0.23 | 0.26 | 0.15 | 0.38 | 0.26 | 0.47 | 3.99 | 0.33 |
| 1991 | 0.34 | 0.28 | 0.51 | 0.31 | 0.02 | 0.13 | 0.36 | 0.48 | 0.11 | 0.42 | 0.14 | 0.24 | 3.34 | 0.28 |
| 1992 | 0.35 | 0.26 | 0.20 | 0.48 | 0.07 | 0.34 | 0.14 | 0.39 | 0.28 | 0.26 | 0.03 | 0.20 | 2.99 | 0.25 |
| 1993 | 0.45 | 0.72 | 1.00 | 0.72 | 0.05 | 0.10 | 0.15 | 0.14 | 0.23 | 0.30 | 0.20 | 0.59 | 4.64 | 0.39 |
| 1994 | 1.31 | 0.49 | 0.43 | 0.46 | 0.05 | 0.09 | 0.05 | 0.03 | 0.22 | 0.05 | 0.09 | 1.21 | 4.47 | 0.37 |
| 1995 | 0.36 | 0.21 | 0.28 | 0.26 | 0.02 | 0.07 | 0.08 | 0.05 | 0.12 | 0.14 | 0.15 | 0.28 | 2.03 | 0.17 |
| 1996 | 0.60 | 0.49 | 0.43 | 0.50 | 0.02 | 0.11 | 0.02 | 0.18 | 0.19 | 0.13 | 0.05 | 0.20 | 2.91 | 0.24 |
| 1997 | 0.48 | 0.42 | 0.14 | 0.42 | 0.04 | 0.12 | 0.03 | 0.11 | 0.45 | 0.17 | 0.27 | 2.37 | 5.02 | 0.42 |
| 1998 | 3.55 | 2.63 | 1.89 | 0.63 | 0.13 | 0.22 | 0.02 | 0.23 | 0.40 | 0.24 | 0.06 | 0.48 | 10.48 | 0.87 |
| 1999 | 1.15 | 6.42 | 0.20 | 0.49 | 0.06 | 0.46 | 0.08 | 0.04 | 0.34 | 0.18 | 0.08 | 0.39 | 9.89 | 0.82 |
| 2000 | 1.45 | 0.84 | 0.78 | 0.41 | 0.05 | 0.22 | 0.08 | 0.29 | 0.27 | 0.12 | 0.05 | 0.77 | 5.32 | 0.44 |
| 2001 | 0.80 | 1.27 | 0.49 | 1.07 | 0.02 | 0.14 | 0.08 | 0.05 | 0.29 | 0.12 | 0.17 | 0.17 | 4.65 | 0.39 |
| 2002 | 0.15 | 0.92 | 0.33 | 0.61 | 0.08 | 0.35 | 0.17 | 0.05 | 0.34 | 0.26 | 0.48 | 0.22 | 3.94 | 0.33 |
| 2003 | 0.95 | 0.31 | 0.19 | 0.40 | 0.05 | 0.13 | 0.12 | 0.11 | 0.19 | 0.09 | 0.98 | 0.58 | 4.10 | 0.34 |
| 2004 | 0.64 | 0.28 | 0.22 | 0.26 | 0.01 | 0.18 | 0.17 | 0.09 | 0.32 | 0.26 | 0.15 | 0.60 | 3.18 | 0.26 |
| 2005 | 0.31 | 0.19 | 1.06 | 0.24 | 0.01 | 0.05 | 0.02 | 0.06 | 0.11 | 0.49 | 0.09 | 0.34 | 2.98 | 0.25 |
| 2006 | 0.40 | 0.91 | 0.55 | 0.44 | 0.02 | 0.36 | 0.07 | 0.23 | 0.13 | 0.17 | 0.26 | 0.44 | 3.98 | 0.33 |
| 2007 | 0.39 | 0.27 | 1.30 | 0.47 | 0.03 | 0.19 | 0.10 | 0.30 | 0.16 | 0.21 | 0.07 | 0.69 | 4.18 | 0.35 |
| 2008 | 0.79 | 1.05 | 0.57 | 0.40 | 0.01 | 0.27 | 0.09 | 0.13 | 0.11 | 0.17 | 0.20 | 0.29 | 4.07 | 0.34 |
| 2009 | 4.13 | 1.94 | 1.87 | 0.47 | 0.05 | 0.19 | 0.10 | 0.14 | 0.14 | 0.31 | 0.21 | 0.31 | 9.85 | 0.82 |
| 2010 | 0.35 | 1.46 | 0.27 | 0.32 | 0.02 | 0.15 | 0.07 | 0.06 | 0.22 | 0.12 | 0.07 | 0.45 | 3.55 | 0.30 |
| 2011 | 0.60 | 0.44 | 0.34 | 0.53 | 0.01 | 0.11 | 0.21 | 0.13 | 0.13 | 0.08 | 0.13 | 0.53 | 3.23 | 0.27 |
| 2012 | 1.18 | 1.22 | 0.35 | 0.77 | 0.01 | 0.20 | 0.03 | 0.05 | 0.28 | 0.28 | 0.11 | 0.35 | 4.83 | 0.40 |
| 2013 | 0.27 | 0.84 | 0.71 | 0.17 | 0.04 | 0.19 | 0.12 | 0.20 | 0.21 | 0.26 | 0.07 | 0.33 | 3.41 | 0.28 |
| 2014 | 0.51 | 0.32 | 0.39 | 0.38 | 0.03 | 0.16 | 0.10 | 0.15 | 0.25 | 0.15 | 0.13 | 0.39 | 2.96 | 0.25 |
| 2015 | 0.50 | 0.97 | 0.95 | 0.45 | 0.08 | 0.10 | 0.07 | 0.11 | 0.13 | 0.57 | 0.12 | 0.32 | 4.37 | 0.36 |
| 2016 | 0.54 | 0.45 | 0.28 | 0.45 | 0.02 | 0.20 | 0.09 | 0.04 | 0.27 | 0.09 | 0.02 | 0.27 | 2.73 | 0.23 |
| 2017 | 1.39 | 0.97 | 2.78 | 0.68 | 0.08 | 0.55 | 0.22 | 0.23 | 0.63 | 0.36 | 0.11 | 0.34 | 8.34 | 0.70 |
| 2018 | 1.67 | 1.19 | 0.51 | 1.11 | 0.10 | 0.77 | 0.18 | 1.83 | 1.04 | 0.24 | 0.08 | 0.32 | 9.03 | 0.75 |

| Precipitación Mensual (mm) Bajo Huarmey | | | | | | | | | | | | | | |
|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------------|-------------------|
| | ene | feb | mar | abr | may | jun | jul | ago | sep | oct | nov | dic | Total Anual | Total Media Anual |
| 1981 | 0.50 | 0.64 | 0.18 | 0.14 | 0.00 | 0.05 | 0.02 | 0.24 | 0.03 | 0.10 | 0.10 | 0.29 | 2.29 | 0.19 |
| 1982 | 0.11 | 0.24 | 0.08 | 0.23 | 0.00 | 0.03 | 0.06 | 0.07 | 0.11 | 0.35 | 0.10 | 0.23 | 1.62 | 0.13 |
| 1983 | 0.44 | 0.33 | 0.56 | 0.71 | 0.08 | 0.53 | 0.04 | 0.02 | 0.07 | 0.17 | 0.05 | 0.29 | 3.30 | 0.28 |
| 1984 | 0.14 | 0.45 | 0.41 | 0.17 | 0.05 | 0.35 | 0.08 | 0.04 | 0.13 | 0.24 | 0.06 | 0.16 | 2.28 | 0.19 |
| 1985 | 0.09 | 0.16 | 0.09 | 0.11 | 0.07 | 0.06 | 2.57 | 1.23 | 0.21 | 0.03 | 0.04 | 0.22 | 4.88 | 0.41 |
| 1986 | 0.78 | 0.15 | 0.19 | 0.17 | 0.01 | 0.01 | 0.06 | 0.15 | 0.09 | 0.03 | 0.03 | 0.62 | 2.28 | 0.19 |
| 1987 | 0.61 | 0.22 | 0.16 | 0.19 | 0.01 | 0.22 | 0.15 | 0.45 | 0.36 | 0.10 | 0.18 | 0.29 | 2.93 | 0.24 |
| 1988 | 0.65 | 0.19 | 0.11 | 0.39 | 0.03 | 0.10 | 0.17 | 0.38 | 0.26 | 0.05 | 0.06 | 0.30 | 2.71 | 0.23 |
| 1989 | 0.72 | 0.71 | 0.36 | 0.32 | 0.03 | 0.23 | 0.11 | 0.27 | 0.24 | 0.31 | 0.11 | 0.12 | 3.51 | 0.29 |
| 1990 | 0.59 | 0.10 | 0.14 | 0.08 | 0.05 | 0.73 | 0.26 | 0.29 | 0.16 | 0.22 | 0.20 | 0.44 | 3.26 | 0.27 |
| 1991 | 0.20 | 0.18 | 0.34 | 0.17 | 0.01 | 0.13 | 0.41 | 0.55 | 0.12 | 0.24 | 0.11 | 0.22 | 2.67 | 0.22 |
| 1992 | 0.21 | 0.18 | 0.13 | 0.27 | 0.06 | 0.31 | 0.16 | 0.40 | 0.30 | 0.15 | 0.03 | 0.18 | 2.39 | 0.20 |
| 1993 | 0.24 | 0.47 | 0.69 | 0.42 | 0.03 | 0.09 | 0.16 | 0.14 | 0.24 | 0.17 | 0.15 | 0.54 | 3.34 | 0.28 |
| 1994 | 0.85 | 0.27 | 0.23 | 0.23 | 0.02 | 0.07 | 0.05 | 0.02 | 0.18 | 0.03 | 0.05 | 1.28 | 3.26 | 0.27 |
| 1995 | 0.17 | 0.11 | 0.15 | 0.13 | 0.01 | 0.05 | 0.08 | 0.05 | 0.11 | 0.07 | 0.09 | 0.22 | 1.23 | 0.10 |
| 1996 | 0.30 | 0.28 | 0.29 | 0.29 | 0.01 | 0.10 | 0.02 | 0.18 | 0.19 | 0.06 | 0.03 | 0.18 | 1.95 | 0.16 |
| 1997 | 0.26 | 0.27 | 0.09 | 0.24 | 0.02 | 0.12 | 0.03 | 0.11 | 0.47 | 0.09 | 0.19 | 2.31 | 4.19 | 0.35 |
| 1998 | 2.06 | 1.84 | 1.32 | 0.37 | 0.10 | 0.20 | 0.02 | 0.25 | 0.43 | 0.14 | 0.05 | 0.47 | 7.24 | 0.60 |
| 1999 | 0.70 | 4.70 | 0.12 | 0.25 | 0.03 | 0.42 | 0.08 | 0.04 | 0.34 | 0.09 | 0.06 | 0.37 | 7.21 | 0.60 |
| 2000 | 0.89 | 0.52 | 0.57 | 0.21 | 0.02 | 0.20 | 0.07 | 0.25 | 0.26 | 0.06 | 0.03 | 0.75 | 3.85 | 0.32 |
| 2001 | 0.40 | 0.89 | 0.31 | 0.71 | 0.01 | 0.12 | 0.08 | 0.04 | 0.29 | 0.06 | 0.11 | 0.16 | 3.18 | 0.27 |
| 2002 | 0.07 | 0.62 | 0.21 | 0.33 | 0.05 | 0.28 | 0.17 | 0.04 | 0.33 | 0.14 | 0.39 | 0.20 | 2.82 | 0.24 |
| 2003 | 0.58 | 0.19 | 0.11 | 0.24 | 0.04 | 0.11 | 0.10 | 0.11 | 0.21 | 0.05 | 0.98 | 0.53 | 3.25 | 0.27 |
| 2004 | 0.40 | 0.17 | 0.14 | 0.13 | 0.01 | 0.15 | 0.17 | 0.09 | 0.32 | 0.14 | 0.10 | 0.55 | 2.36 | 0.20 |
| 2005 | 0.15 | 0.11 | 0.79 | 0.12 | 0.01 | 0.04 | 0.02 | 0.06 | 0.12 | 0.34 | 0.06 | 0.30 | 2.12 | 0.18 |
| 2006 | 0.20 | 0.61 | 0.35 | 0.22 | 0.02 | 0.31 | 0.07 | 0.22 | 0.13 | 0.09 | 0.18 | 0.40 | 2.80 | 0.23 |
| 2007 | 0.19 | 0.17 | 0.90 | 0.25 | 0.02 | 0.17 | 0.11 | 0.31 | 0.17 | 0.11 | 0.05 | 0.69 | 3.13 | 0.26 |
| 2008 | 0.41 | 0.72 | 0.36 | 0.20 | 0.01 | 0.23 | 0.09 | 0.12 | 0.12 | 0.09 | 0.14 | 0.28 | 2.76 | 0.23 |
| 2009 | 2.58 | 1.37 | 1.36 | 0.25 | 0.03 | 0.16 | 0.10 | 0.13 | 0.13 | 0.17 | 0.14 | 0.28 | 6.71 | 0.56 |
| 2010 | 0.18 | 1.06 | 0.18 | 0.17 | 0.01 | 0.13 | 0.07 | 0.05 | 0.22 | 0.07 | 0.05 | 0.40 | 2.57 | 0.21 |
| 2011 | 0.31 | 0.29 | 0.20 | 0.28 | 0.01 | 0.10 | 0.19 | 0.11 | 0.14 | 0.04 | 0.09 | 0.48 | 2.24 | 0.19 |
| 2012 | 0.73 | 0.85 | 0.21 | 0.41 | 0.00 | 0.16 | 0.03 | 0.05 | 0.28 | 0.14 | 0.07 | 0.33 | 3.27 | 0.27 |
| 2013 | 0.14 | 0.55 | 0.50 | 0.09 | 0.02 | 0.17 | 0.12 | 0.19 | 0.22 | 0.13 | 0.05 | 0.31 | 2.50 | 0.21 |
| 2014 | 0.26 | 0.20 | 0.26 | 0.21 | 0.02 | 0.14 | 0.10 | 0.13 | 0.25 | 0.08 | 0.09 | 0.35 | 2.06 | 0.17 |
| 2015 | 0.26 | 0.66 | 0.66 | 0.24 | 0.06 | 0.09 | 0.06 | 0.10 | 0.13 | 0.39 | 0.09 | 0.28 | 3.02 | 0.25 |
| 2016 | 0.33 | 0.27 | 0.19 | 0.25 | 0.01 | 0.16 | 0.09 | 0.04 | 0.27 | 0.05 | 0.01 | 0.25 | 1.93 | 0.16 |
| 2017 | 0.74 | 0.61 | 2.05 | 0.38 | 0.05 | 0.48 | 0.23 | 0.23 | 0.67 | 0.20 | 0.09 | 0.34 | 6.06 | 0.50 |
| 2018 | 1.01 | 0.86 | 0.32 | 0.66 | 0.07 | 0.68 | 0.19 | 1.29 | 0.89 | 0.13 | 0.06 | 0.31 | 6.47 | 0.54 |





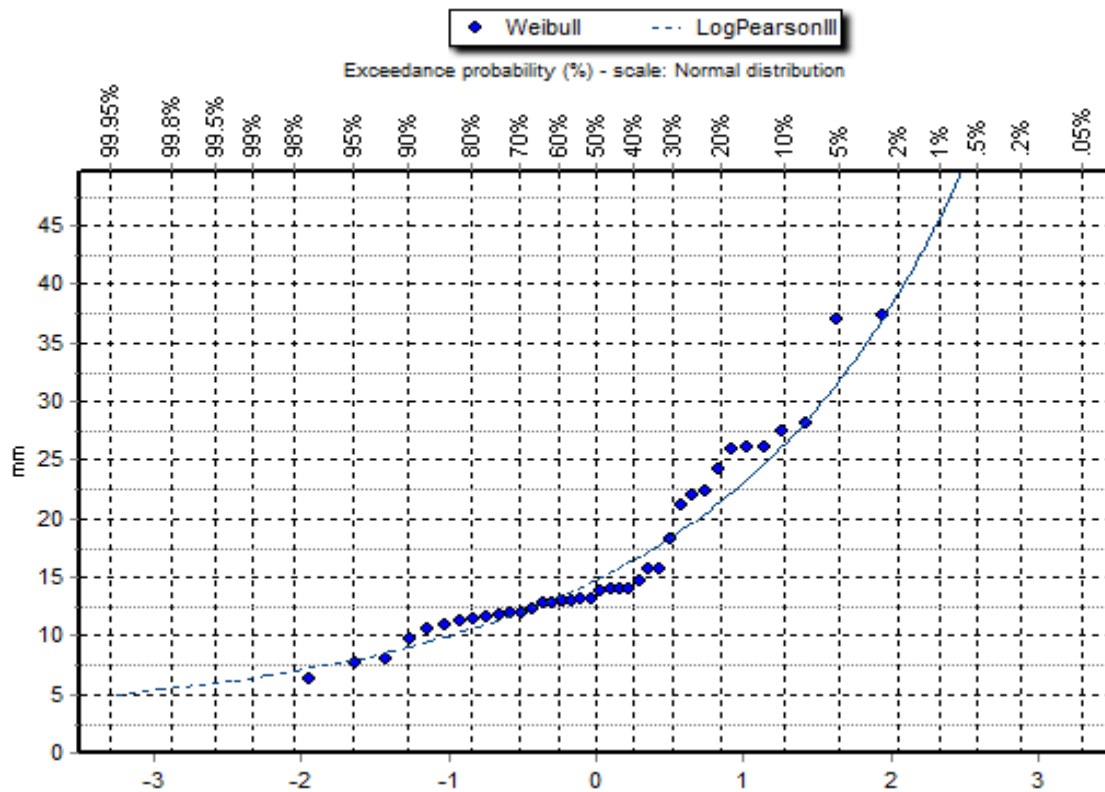




ANEXO 03. Prueba de Bondad de Kolmogorov – Smirnov usando software HYDROGNOMON

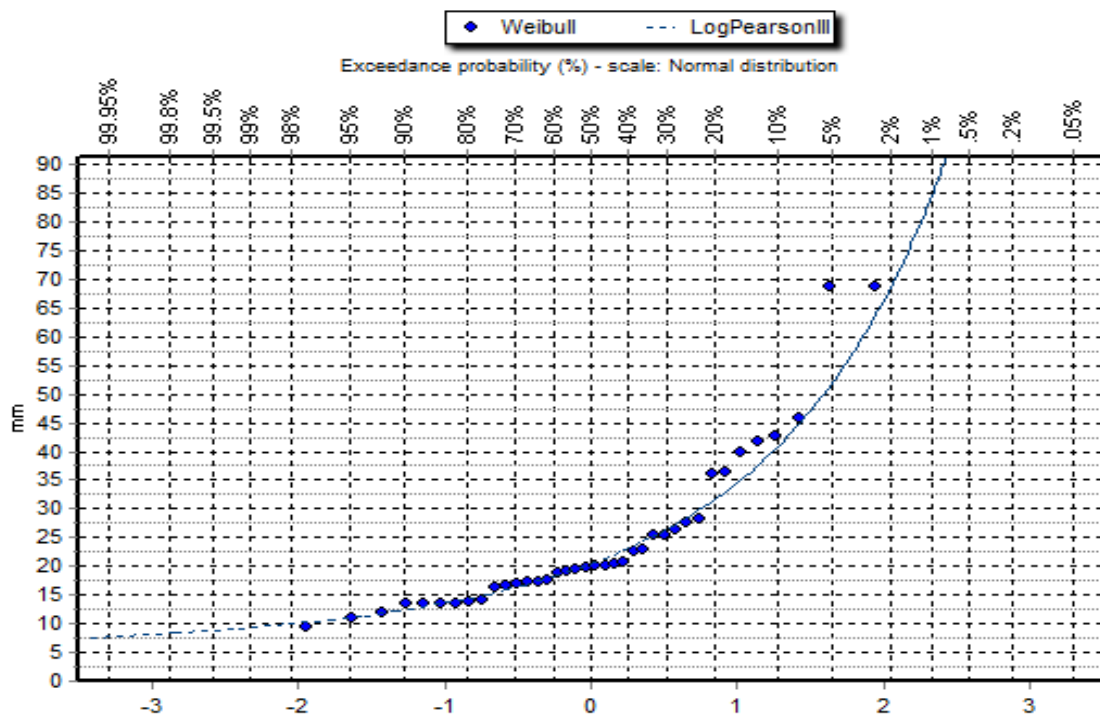
ESTACIÓN ALTO HUARMEY

| Kolmogorov-Smirnov test for:All data | a=1% | a=5% | a=10% | Attained a | DMax |
|--------------------------------------|--------|--------|--------|------------|---------|
| Exponential | ACCEPT | ACCEPT | ACCEPT | 75.84% | 0.105 |
| Log Pearson III | ACCEPT | ACCEPT | ACCEPT | 42.76% | 0.13811 |
| Pearson III | ACCEPT | ACCEPT | ACCEPT | 32.23% | 0.15091 |
| LogNormal | ACCEPT | ACCEPT | ACCEPT | 28.99% | 0.15539 |
| EV1-Max (Gumbel) | ACCEPT | ACCEPT | ACCEPT | 20.82% | 0.1686 |
| Gamma | ACCEPT | ACCEPT | ACCEPT | 20.60% | 0.16901 |
| Normal | ACCEPT | REJECT | REJECT | 4.19% | 0.22165 |



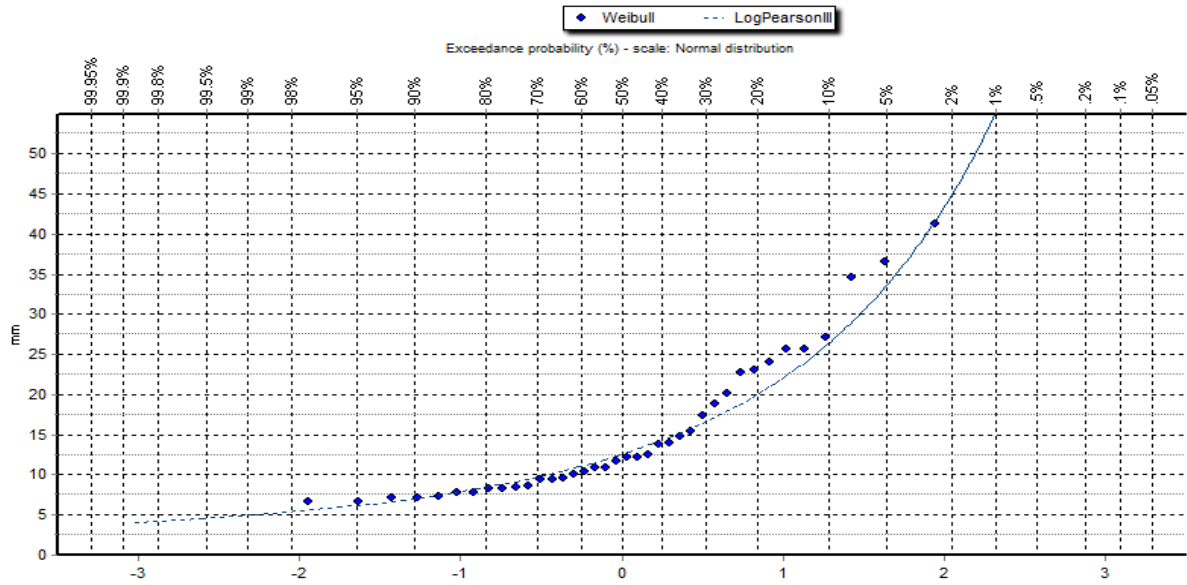
ESTACIÓN ALLMA

| Kolmogorov-Smirnov test for:All data | a=1% | a=5% | a=10% | Attained a | DMax |
|--------------------------------------|--------|--------|--------|------------|---------|
| Log Pearson III | ACCEPT | ACCEPT | ACCEPT | 96.40% | 0.07721 |
| Exponential | ACCEPT | ACCEPT | ACCEPT | 93.02% | 0.0841 |
| Pearson III | ACCEPT | ACCEPT | ACCEPT | 82.72% | 0.09776 |
| LogNormal | ACCEPT | ACCEPT | ACCEPT | 72.93% | 0.1079 |
| Gamma | ACCEPT | ACCEPT | ACCEPT | 55.66% | 0.12465 |
| EV1-Max (Gumbel) | ACCEPT | ACCEPT | ACCEPT | 44.45% | 0.13624 |
| Normal | ACCEPT | ACCEPT | REJECT | 9.88% | 0.19505 |



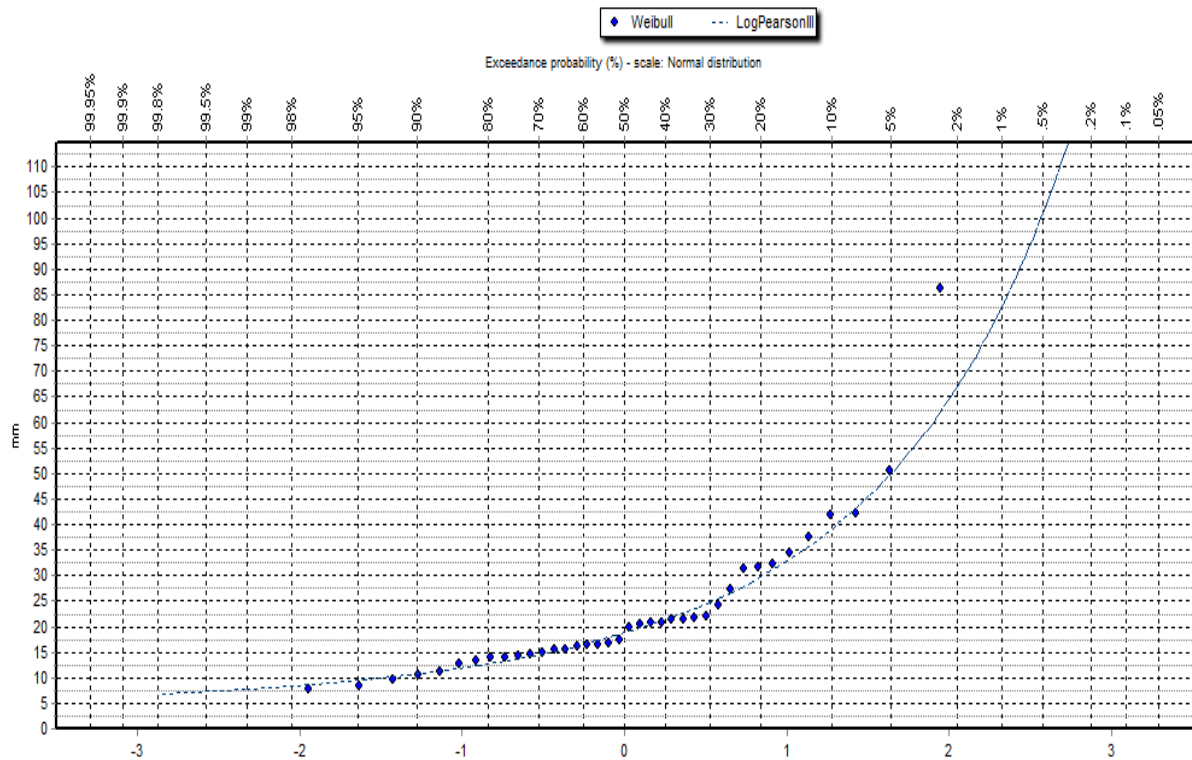
ESTACIÓN ALTO MEDIO HUARMEY

| Kolmogorov-Smirnov test for:All data | a=1% | a=5% | a=10% | Attained a | DMax |
|--------------------------------------|--------|--------|--------|------------|---------|
| Exponential | ACCEPT | ACCEPT | ACCEPT | 98.38% | 0.07083 |
| Log Pearson III | ACCEPT | ACCEPT | ACCEPT | 93.78% | 0.08277 |
| LogNormal | ACCEPT | ACCEPT | ACCEPT | 82.16% | 0.09838 |
| Pearson III | ACCEPT | ACCEPT | ACCEPT | 66.36% | 0.11427 |
| Gamma | ACCEPT | ACCEPT | ACCEPT | 55.13% | 0.12517 |
| EV1-Max (Gumbel) | ACCEPT | ACCEPT | ACCEPT | 53.60% | 0.1267 |
| Normal | ACCEPT | ACCEPT | ACCEPT | 14.16% | 0.18276 |



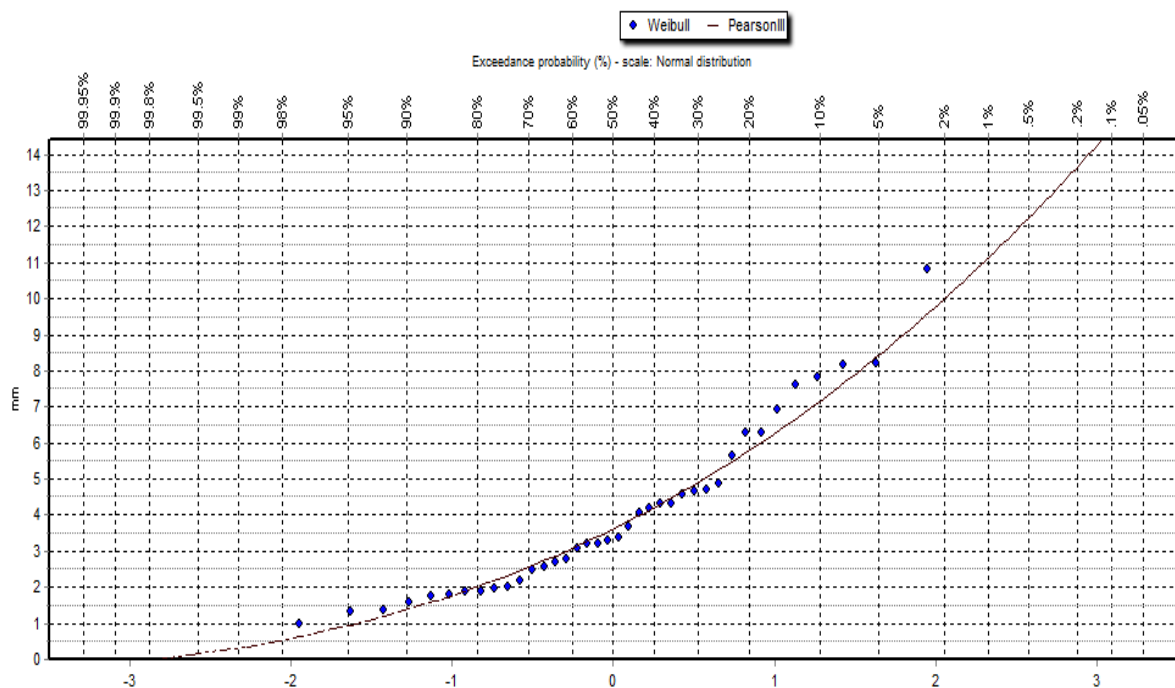
ESTACIÓN MALVAS

| Kolmogorov-Smirnov test for:All data | a=1% | a=5% | a=10% | Attained a | DMax |
|--------------------------------------|--------|--------|--------|------------|---------|
| Log Pearson III | ACCEPT | ACCEPT | ACCEPT | 97.46% | 0.07422 |
| LogNormal | ACCEPT | ACCEPT | ACCEPT | 77.18% | 0.10364 |
| Pearson III | ACCEPT | ACCEPT | ACCEPT | 75.37% | 0.10548 |
| Exponential | ACCEPT | ACCEPT | ACCEPT | 64.20% | 0.11634 |
| Gamma | ACCEPT | ACCEPT | ACCEPT | 48.93% | 0.13147 |
| EV1-Max (Gumbel) | ACCEPT | ACCEPT | ACCEPT | 34.50% | 0.14794 |
| Normal | ACCEPT | REJECT | REJECT | 4.88% | 0.21713 |



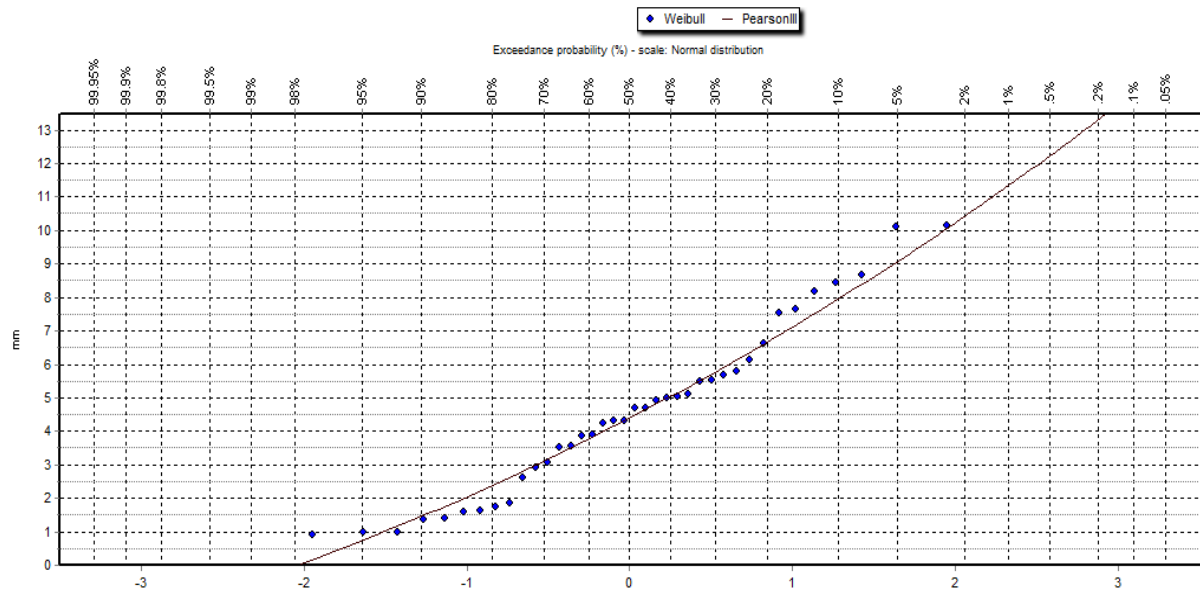
ESTACIÓN PEDREGAL

| Kolmogorov-Smirnov test for:All data | a=1% | a=5% | a=10% | Attained a | DMax |
|--------------------------------------|--------|--------|--------|------------|---------|
| Pearson III | ACCEPT | ACCEPT | ACCEPT | 99.88% | 0.05733 |
| Gamma | ACCEPT | ACCEPT | ACCEPT | 99.83% | 0.05894 |
| EV1-Max (Gumbel) | ACCEPT | ACCEPT | ACCEPT | 98.86% | 0.06844 |
| Log Pearson III | ACCEPT | ACCEPT | ACCEPT | 98.66% | 0.06954 |
| LogNormal | ACCEPT | ACCEPT | ACCEPT | 83.29% | 0.09712 |
| Exponential | ACCEPT | ACCEPT | ACCEPT | 62.58% | 0.1179 |
| Normal | ACCEPT | ACCEPT | ACCEPT | 60.82% | 0.11961 |



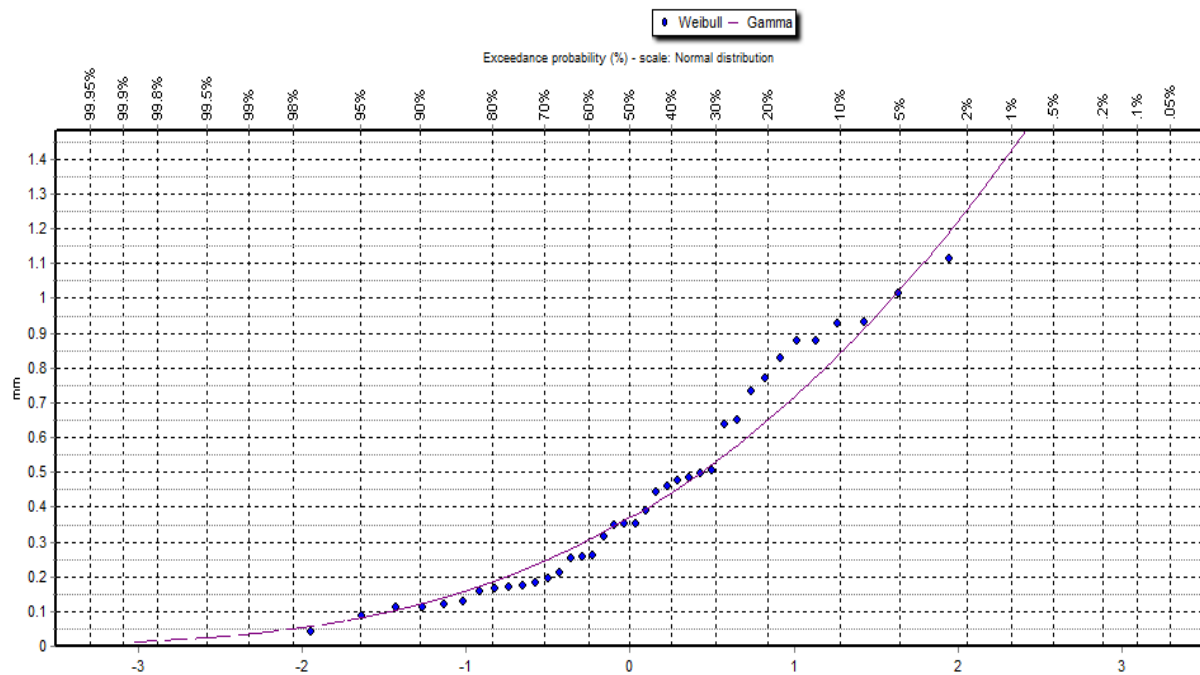
ESTACIÓN MEDIO HUARMEY

| Kolmogorov-Smirnov test for:All data | a=1% | a=5% | a=10% | Attained a | DMax |
|--------------------------------------|--------|--------|--------|------------|---------|
| Normal | ACCEPT | ACCEPT | ACCEPT | 90.62% | 0.08788 |
| Pearson III | ACCEPT | ACCEPT | ACCEPT | 86.80% | 0.09298 |
| Gamma | ACCEPT | ACCEPT | ACCEPT | 62.48% | 0.118 |
| EV1-Max (Gumbel) | ACCEPT | ACCEPT | ACCEPT | 59.73% | 0.12066 |
| Exponential | ACCEPT | ACCEPT | ACCEPT | 38.60% | 0.1429 |
| LogNormal | ACCEPT | ACCEPT | ACCEPT | 25.30% | 0.16095 |
| Log Pearson III | ACCEPT | ACCEPT | ACCEPT | 19.17% | 0.17173 |



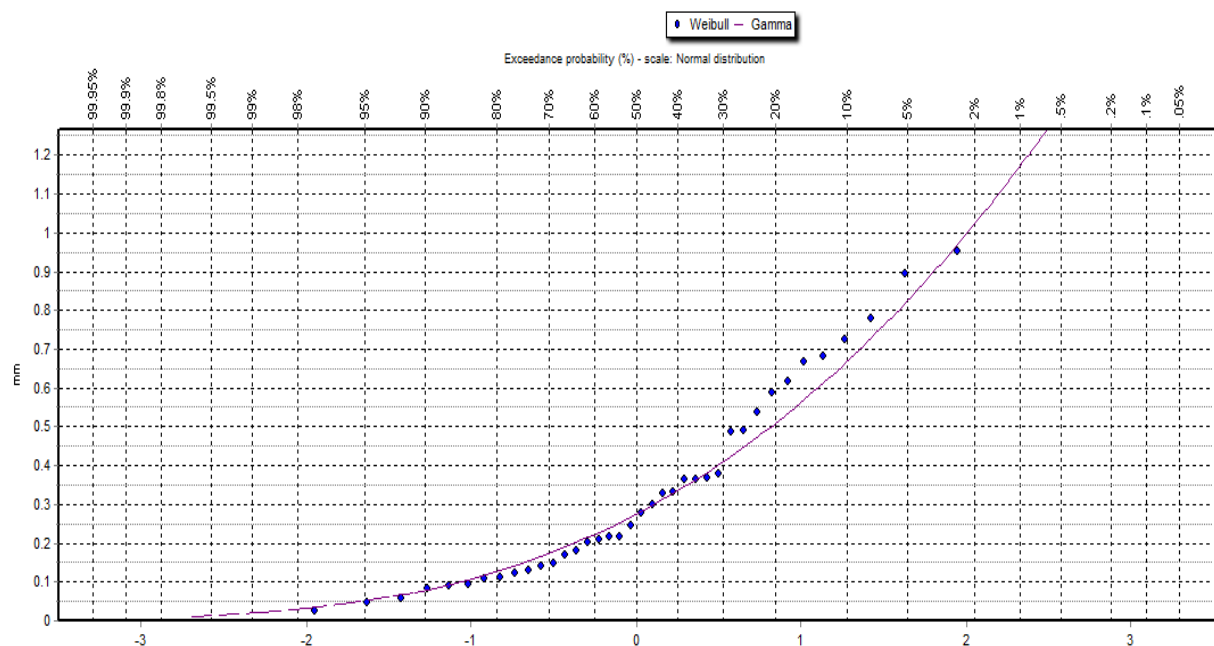
ESTACIÓN GARGAR

| Kolmogorov-Smirnov test for:All data | a=1% | a=5% | a=10% | Attained a | DMax |
|--------------------------------------|--------|--------|--------|------------|---------|
| Gamma | ACCEPT | ACCEPT | ACCEPT | 86.97% | 0.09278 |
| Log Pearson III | ACCEPT | ACCEPT | ACCEPT | 81.63% | 0.09896 |
| EV1-Max (Gumbel) | ACCEPT | ACCEPT | ACCEPT | 76.36% | 0.10447 |
| Pearson III | ACCEPT | ACCEPT | ACCEPT | 75.88% | 0.10496 |
| Normal | ACCEPT | ACCEPT | ACCEPT | 50.20% | 0.13015 |
| Exponential | ACCEPT | ACCEPT | ACCEPT | 49.24% | 0.13114 |
| LogNormal | ACCEPT | ACCEPT | ACCEPT | 36.02% | 0.14603 |



ESTACIÓN BAJO HUARMEY

| Kolmogorov-Smirnov test for:All data | a=1% | a=5% | a=10% | Attained a | DMax |
|--------------------------------------|--------|--------|--------|------------|---------|
| Gamma | ACCEPT | ACCEPT | ACCEPT | 97.00% | 0.07559 |
| Log Pearson III | ACCEPT | ACCEPT | ACCEPT | 82.85% | 0.09761 |
| Pearson III | ACCEPT | ACCEPT | ACCEPT | 77.48% | 0.10333 |
| EV1-Max (Gumbel) | ACCEPT | ACCEPT | ACCEPT | 74.45% | 0.10639 |
| Exponential | ACCEPT | ACCEPT | ACCEPT | 67.26% | 0.1134 |
| LogNormal | ACCEPT | ACCEPT | ACCEPT | 57.21% | 0.12312 |
| Normal | ACCEPT | ACCEPT | ACCEPT | 36.91% | 0.14493 |



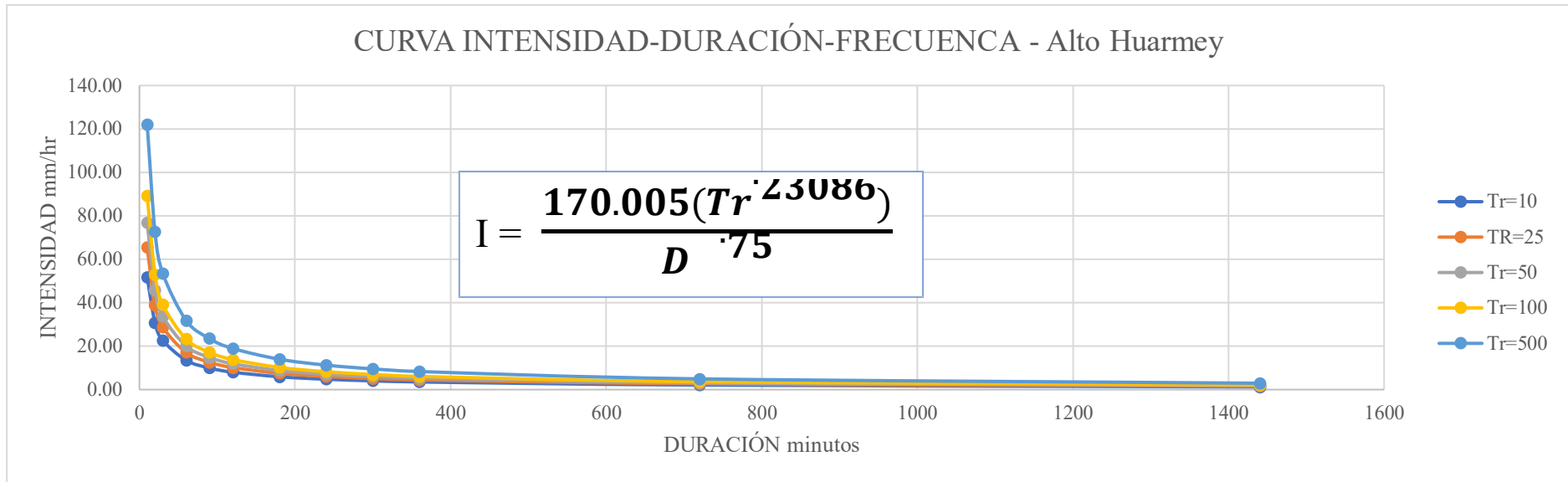
ANEXO 04. Tablas de precipitaciones e intensidades máximas para diferente periodo de retorno de cada subcuena y su respectiva curva IDF

 PRECIPITACIONES MÁXIMAS PARA DIFERENTES PERIODOS DE RETORNO - ALTO HUARMEY mm/día

| PERIODO DE RETORNO (años) | P.MAX 24 HRS | DURACIÓN EN MINUTOS | | | | | | | | | | | |
|------------------------------------|--------------------|---------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | 10 | 20 | 30 | 60 | 90 | 120 | 180 | 240 | 300 | 360 | 720 | 1440 |
| 5 | 24.182 | 6.98 | 8.30 | 9.19 | 10.93 | 12.09 | 12.99 | 14.38 | 15.45 | 16.34 | 17.10 | 20.33 | 24.18 |
| 10 | 29.849 | 8.62 | 10.25 | 11.34 | 13.49 | 14.92 | 16.04 | 17.75 | 19.07 | 20.17 | 21.11 | 25.10 | 29.85 |
| 25 | 37.827 | 10.92 | 12.99 | 14.37 | 17.09 | 18.91 | 20.32 | 22.49 | 24.17 | 25.56 | 26.75 | 31.81 | 37.83 |
| 50 | 44.386 | 12.81 | 15.24 | 16.86 | 20.05 | 22.19 | 23.85 | 26.39 | 28.36 | 29.99 | 31.39 | 37.32 | 44.39 |
| 100 | 51.492 | 14.86 | 17.68 | 19.56 | 23.26 | 25.75 | 27.67 | 30.62 | 32.90 | 34.79 | 36.41 | 43.30 | 51.49 |
| 500 | 70.512 | 20.36 | 24.21 | 26.79 | 31.86 | 35.26 | 37.89 | 41.93 | 45.05 | 47.64 | 49.86 | 59.29 | 70.51 |

 INTENSIDADES MÁXIMAS - ALTO HUARMEY mm/hr

| PERIODO DE RETORNO (años) | DURACIÓN EN MINUTOS | | | | | | | | | | | | |
|------------------------------------|---------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|------|--|
| | 10 | 20 | 30 | 60 | 90 | 120 | 180 | 240 | 300 | 360 | 720 | 1440 | |
| 5 | 41.88 | 24.90 | 18.37 | 10.93 | 8.06 | 6.50 | 4.79 | 3.86 | 3.27 | 2.85 | 1.69 | 1.01 | |
| 10 | 51.70 | 30.74 | 22.68 | 13.49 | 9.95 | 8.02 | 5.92 | 4.77 | 4.03 | 3.52 | 2.09 | 1.24 | |
| 25 | 65.52 | 38.96 | 28.74 | 17.09 | 12.61 | 10.16 | 7.50 | 6.04 | 5.11 | 4.46 | 2.65 | 1.58 | |
| 50 | 76.88 | 45.71 | 33.73 | 20.05 | 14.80 | 11.92 | 8.80 | 7.09 | 6.00 | 5.23 | 3.11 | 1.85 | |
| 100 | 89.19 | 53.03 | 39.13 | 23.26 | 17.16 | 13.83 | 10.21 | 8.23 | 6.96 | 6.07 | 3.61 | 2.15 | |
| 500 | 122.13 | 72.62 | 53.58 | 31.86 | 23.50 | 18.94 | 13.98 | 11.26 | 9.53 | 8.31 | 4.94 | 2.94 | |



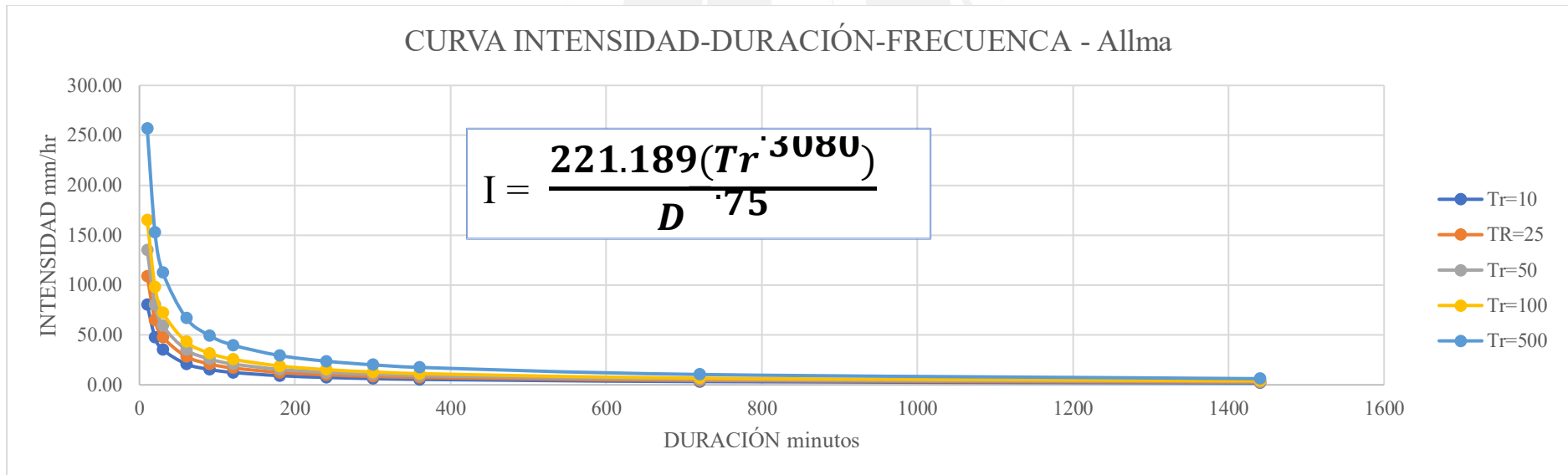
PRECIPITACIONES MÁXIMAS PARA DIFERENTES PERIODOS DE RETORNO - ALLMA mm/día

| PERIODO DE RETORNO (años) | P. MAX 24 HRS | DURACIÓN EN MINUTOS | | | | | | | | | | | |
|---------------------------|---------------|---------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|
| | | 10 | 20 | 30 | 60 | 90 | 120 | 180 | 240 | 300 | 360 | 720 | 1440 |
| 5 | 35.7 | 10.31 | 12.26 | 13.57 | 16.13 | 17.85 | 19.19 | 21.23 | 22.82 | 24.12 | 25.25 | 30.03 | 35.71 |
| 10 | 46.4 | 13.39 | 15.92 | 17.62 | 20.95 | 23.18 | 24.91 | 27.57 | 29.63 | 31.33 | 32.79 | 38.99 | 46.37 |
| 25 | 63.0 | 18.18 | 21.62 | 23.93 | 28.46 | 31.49 | 33.84 | 37.45 | 40.24 | 42.55 | 44.54 | 52.96 | 62.99 |
| 50 | 78.0 | 22.51 | 26.77 | 29.62 | 35.23 | 38.99 | 41.89 | 46.36 | 49.82 | 52.68 | 55.13 | 65.56 | 77.97 |
| 100 | 95.5 | 27.56 | 32.78 | 36.27 | 43.14 | 47.74 | 51.30 | 56.77 | 61.01 | 64.51 | 67.51 | 80.29 | 95.48 |
| 500 | 148.5 | 42.86 | 50.97 | 56.40 | 67.08 | 74.23 | 79.77 | 88.28 | 94.86 | 100.30 | 104.98 | 124.84 | 148.46 |

INTENSIDADES MÁXIMAS - ALLMA mm/hr
DURACIÓN EN MINUTOS

| PERIODO DE RETORNO (años) | 10 | 20 | 30 | 60 | 90 | 120 | 180 | 240 | 300 | 360 | 720 | 1440 |
|---------------------------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|
| 5 | 61.85 | 36.78 | 27.13 | 16.13 | 11.90 | 9.59 | 7.08 | 5.70 | 4.82 | 4.21 | 2.50 | 1.49 |
| 10 | 80.31 | 47.75 | 35.23 | 20.95 | 15.46 | 12.46 | 9.19 | 7.41 | 6.27 | 5.46 | 3.25 | 1.93 |
| 25 | 109.10 | 64.87 | 47.86 | 28.46 | 21.00 | 16.92 | 12.48 | 10.06 | 8.51 | 7.42 | 4.41 | 2.62 |
| 50 | 135.05 | 80.30 | 59.24 | 35.23 | 25.99 | 20.95 | 15.45 | 12.45 | 10.54 | 9.19 | 5.46 | 3.25 |
| 100 | 165.37 | 98.33 | 72.55 | 43.14 | 31.83 | 25.65 | 18.92 | 15.25 | 12.90 | 11.25 | 6.69 | 3.98 |
| 500 | 257.15 | 152.90 | 112.81 | 67.08 | 49.49 | 39.88 | 29.43 | 23.71 | 20.06 | 17.50 | 10.40 | 6.19 |

CURVA INTENSIDAD-DURACIÓN-FRECUENCIA - Allma

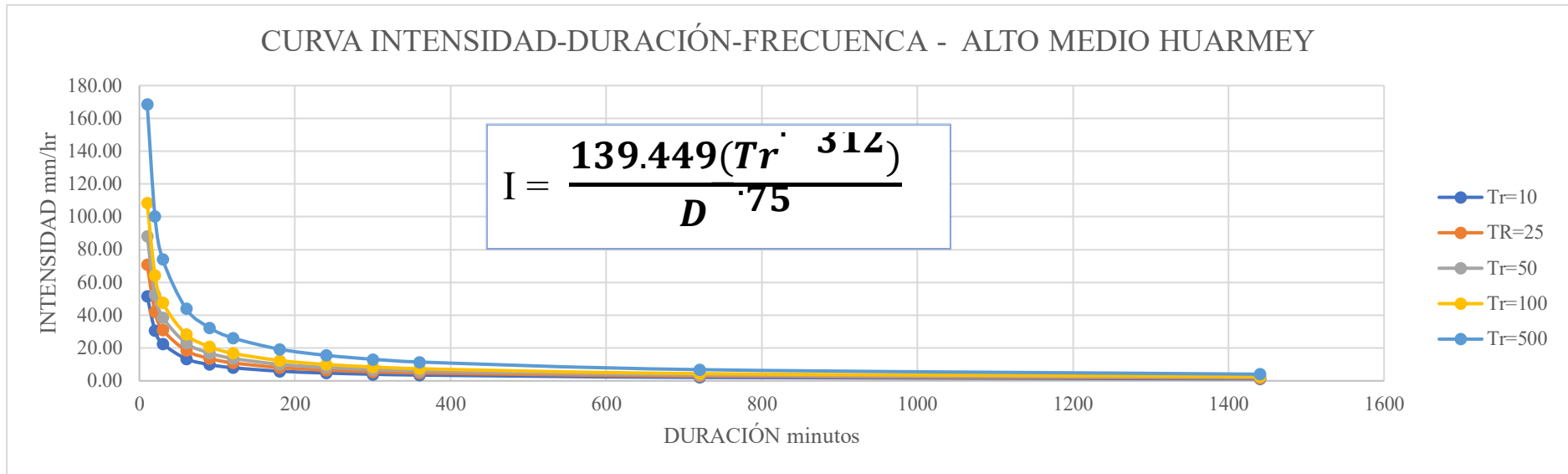


 PRECIPITACIONES MÁXIMAS PARA DIFERENTES PERIODOS DE RETORNO - ALTO MEDIO HUARMEY mm/día

| PERIODO DE RETORNO (años) | P.MAX 24 HRS | DURACIÓN EN MINUTOS | | | | | | | | | | | |
|---------------------------|--------------|---------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | 10 | 20 | 30 | 60 | 90 | 120 | 180 | 240 | 300 | 360 | 720 | 1440 |
| 5 | 22.6 | 6.53 | 7.77 | 8.60 | 10.23 | 11.32 | 12.16 | 13.46 | 14.46 | 15.29 | 16.01 | 19.03 | 22.64 |
| 10 | 29.8 | 8.60 | 10.23 | 11.32 | 13.46 | 14.90 | 16.01 | 17.72 | 19.04 | 20.13 | 21.07 | 25.06 | 29.80 |
| 25 | 40.9 | 11.82 | 14.05 | 15.55 | 18.49 | 20.47 | 21.99 | 24.34 | 26.15 | 27.66 | 28.94 | 34.42 | 40.93 |
| 50 | 50.9 | 14.70 | 17.48 | 19.35 | 23.01 | 25.46 | 27.36 | 30.28 | 32.54 | 34.41 | 36.01 | 42.83 | 50.93 |
| 100 | 62.6 | 18.06 | 21.48 | 23.77 | 28.26 | 31.28 | 33.61 | 37.20 | 39.97 | 42.26 | 44.23 | 52.60 | 62.56 |
| 500 | 97.5 | 28.13 | 33.46 | 37.03 | 44.03 | 48.73 | 52.36 | 57.95 | 62.27 | 65.84 | 68.91 | 81.95 | 97.46 |

 INTENSIDADES MÁXIMAS - ALTO MEDIO HUARMEY mm/hr

| PERIODO DE RETORNO (años) | DURACIÓN EN MINUTOS | | | | | | | | | | | | |
|---------------------------|---------------------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|--|
| | 10 | 20 | 30 | 60 | 90 | 120 | 180 | 240 | 300 | 360 | 720 | 1440 | |
| 5 | 39.21 | 23.31 | 17.20 | 10.23 | 7.55 | 6.08 | 4.49 | 3.62 | 3.06 | 2.67 | 1.59 | 0.94 | |
| 10 | 51.62 | 30.69 | 22.65 | 13.46 | 9.93 | 8.01 | 5.91 | 4.76 | 4.03 | 3.51 | 2.09 | 1.24 | |
| 25 | 70.90 | 42.16 | 31.10 | 18.49 | 13.64 | 11.00 | 8.11 | 6.54 | 5.53 | 4.82 | 2.87 | 1.71 | |
| 50 | 88.21 | 52.45 | 38.70 | 23.01 | 16.98 | 13.68 | 10.09 | 8.14 | 6.88 | 6.00 | 3.57 | 2.12 | |
| 100 | 108.35 | 64.43 | 47.53 | 28.26 | 20.85 | 16.81 | 12.40 | 9.99 | 8.45 | 7.37 | 4.38 | 2.61 | |
| 500 | 168.80 | 100.37 | 74.05 | 44.03 | 32.49 | 26.18 | 19.32 | 15.57 | 13.17 | 11.49 | 6.83 | 4.06 | |



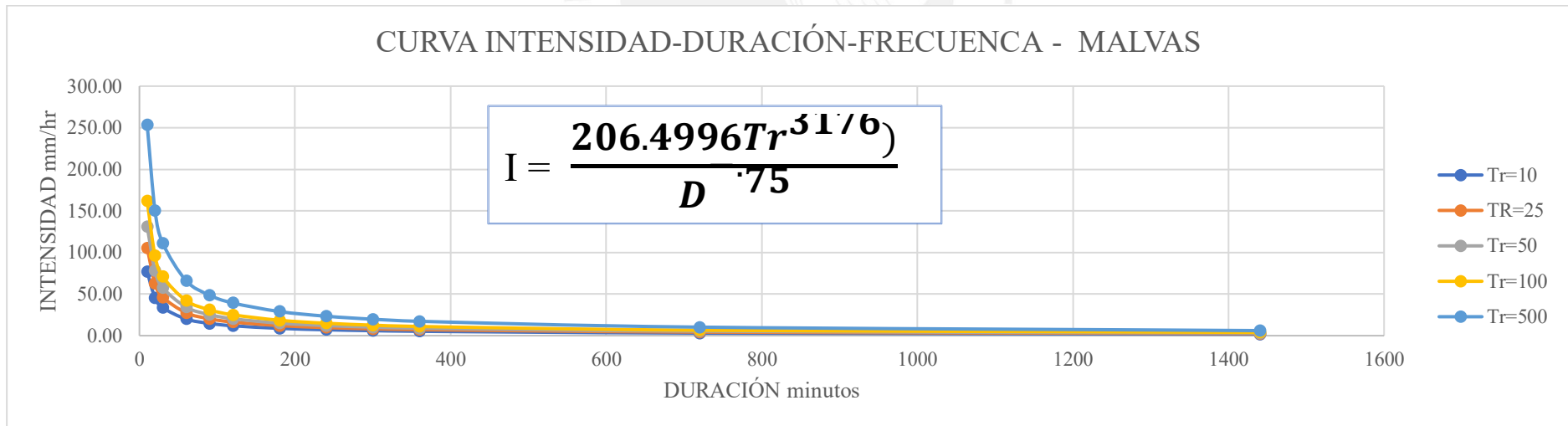
PRECIPITACIONES MÁXIMAS PARA DIFERENTES PERIODOS DE RETORNO - MALVAS mm/día

| PERIODO DE RETORNO (años) | P. MAX 24 HRS | DURACIÓN EN MINUTOS | | | | | | | | | | | |
|---------------------------|---------------|---------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|
| | | 10 | 20 | 30 | 60 | 90 | 120 | 180 | 240 | 300 | 360 | 720 | 1440 |
| 5 | 33.6 | 9.71 | 11.55 | 12.78 | 15.20 | 16.82 | 18.08 | 20.01 | 21.50 | 22.73 | 23.79 | 28.30 | 33.65 |
| 10 | 44.3 | 12.78 | 15.20 | 16.82 | 20.01 | 22.14 | 23.79 | 26.33 | 28.29 | 29.92 | 31.31 | 37.24 | 44.28 |
| 25 | 60.9 | 17.58 | 20.90 | 23.13 | 27.51 | 30.44 | 32.71 | 36.20 | 38.90 | 41.13 | 43.05 | 51.20 | 60.88 |
| 50 | 75.9 | 21.90 | 26.05 | 28.82 | 34.28 | 37.93 | 40.76 | 45.11 | 48.48 | 51.26 | 53.65 | 63.80 | 75.87 |
| 100 | 93.4 | 26.96 | 32.06 | 35.48 | 42.19 | 46.69 | 50.17 | 55.52 | 59.66 | 63.09 | 66.03 | 78.52 | 93.38 |
| 500 | 146.3 | 42.25 | 50.24 | 55.60 | 66.12 | 73.17 | 78.63 | 87.02 | 93.50 | 98.87 | 103.48 | 123.06 | 146.34 |

INTENSIDADES MÁXIMAS - MALVAS mm/hr

| PERIODO DE RETORNO (años) | DURACIÓN EN MINUTOS | | | | | | | | | | | |
|---------------------------|---------------------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|
| | 10 | 20 | 30 | 60 | 90 | 120 | 180 | 240 | 300 | 360 | 720 | 1440 |
| 5 | 58.28 | 34.65 | 25.57 | 15.20 | 11.22 | 9.04 | 6.67 | 5.37 | 4.55 | 3.97 | 2.36 | 1.40 |
| 10 | 76.70 | 45.61 | 33.65 | 20.01 | 14.76 | 11.90 | 8.78 | 7.07 | 5.98 | 5.22 | 3.10 | 1.85 |
| 25 | 105.45 | 62.70 | 46.26 | 27.51 | 20.29 | 16.36 | 12.07 | 9.73 | 8.23 | 7.18 | 4.27 | 2.54 |
| 50 | 131.41 | 78.14 | 57.65 | 34.28 | 25.29 | 20.38 | 15.04 | 12.12 | 10.25 | 8.94 | 5.32 | 3.16 |
| 100 | 161.74 | 96.17 | 70.95 | 42.19 | 31.13 | 25.09 | 18.51 | 14.92 | 12.62 | 11.00 | 6.54 | 3.89 |
| 500 | 253.47 | 150.71 | 111.20 | 66.12 | 48.78 | 39.31 | 29.01 | 23.38 | 19.77 | 17.25 | 10.25 | 6.10 |

CURVA INTENSIDAD-DURACIÓN-FRECUENCIA - MALVAS

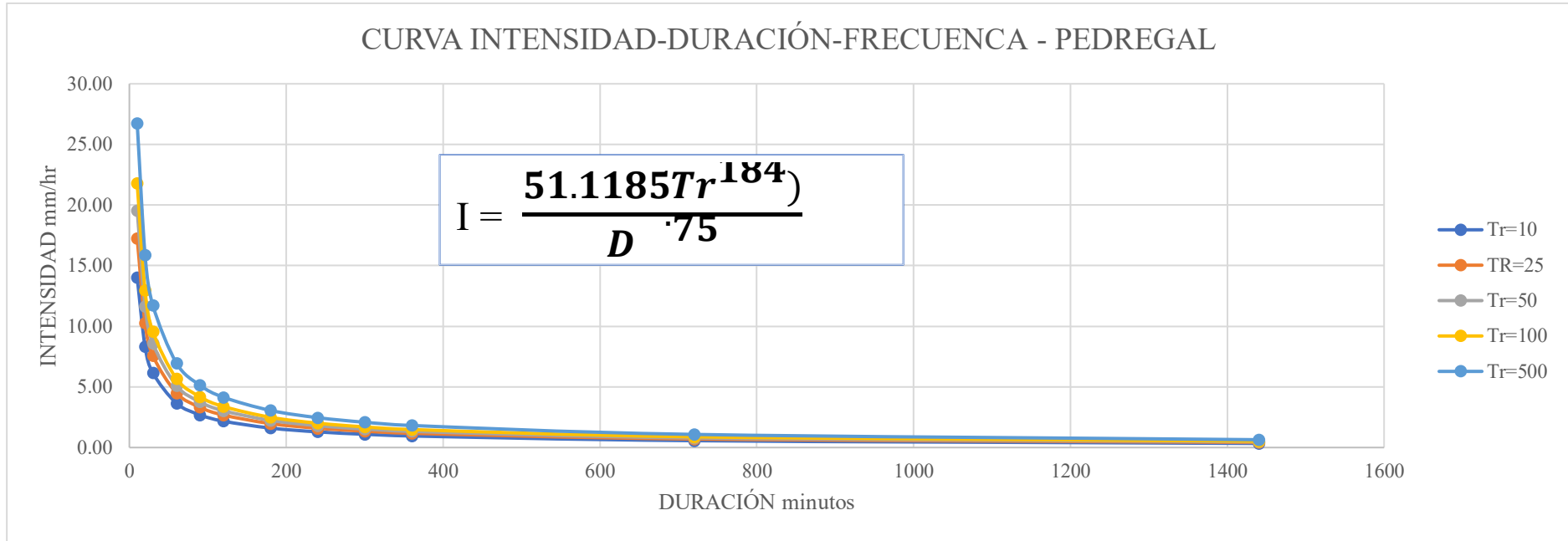


 PRECIPITACIONES MÁXIMAS PARA DIFERENTES PERIODOS DE RETORNO - PEDREGAL mm/día

| PERIODO DE RETORNO (años) | P.MAX 24 HRS | DURACIÓN EN MINUTOS | | | | | | | | | | | |
|------------------------------------|--------------------|---------------------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|
| | | 10 | 20 | 30 | 60 | 90 | 120 | 180 | 240 | 300 | 360 | 720 | 1440 |
| 5 | 6.5 | 1.89 | 2.24 | 2.48 | 2.95 | 3.27 | 3.51 | 3.89 | 4.18 | 4.42 | 4.62 | 5.50 | 6.54 |
| 10 | 8.1 | 2.34 | 2.78 | 3.07 | 3.65 | 4.04 | 4.35 | 4.81 | 5.17 | 5.47 | 5.72 | 6.80 | 8.09 |
| 25 | 10.0 | 2.88 | 3.42 | 3.78 | 4.50 | 4.98 | 5.35 | 5.92 | 6.37 | 6.73 | 7.04 | 8.38 | 9.96 |
| 50 | 11.3 | 3.26 | 3.88 | 4.29 | 5.10 | 5.65 | 6.07 | 6.72 | 7.22 | 7.63 | 7.99 | 9.50 | 11.30 |
| 100 | 12.6 | 3.63 | 4.32 | 4.78 | 5.68 | 6.29 | 6.76 | 7.48 | 8.04 | 8.50 | 8.89 | 10.58 | 12.58 |
| 500 | 15.4 | 4.45 | 5.30 | 5.86 | 6.97 | 7.71 | 8.29 | 9.17 | 9.86 | 10.42 | 10.91 | 12.97 | 15.43 |

 INTENSIDADES MÁXIMAS - PEDREGAL mm/hr

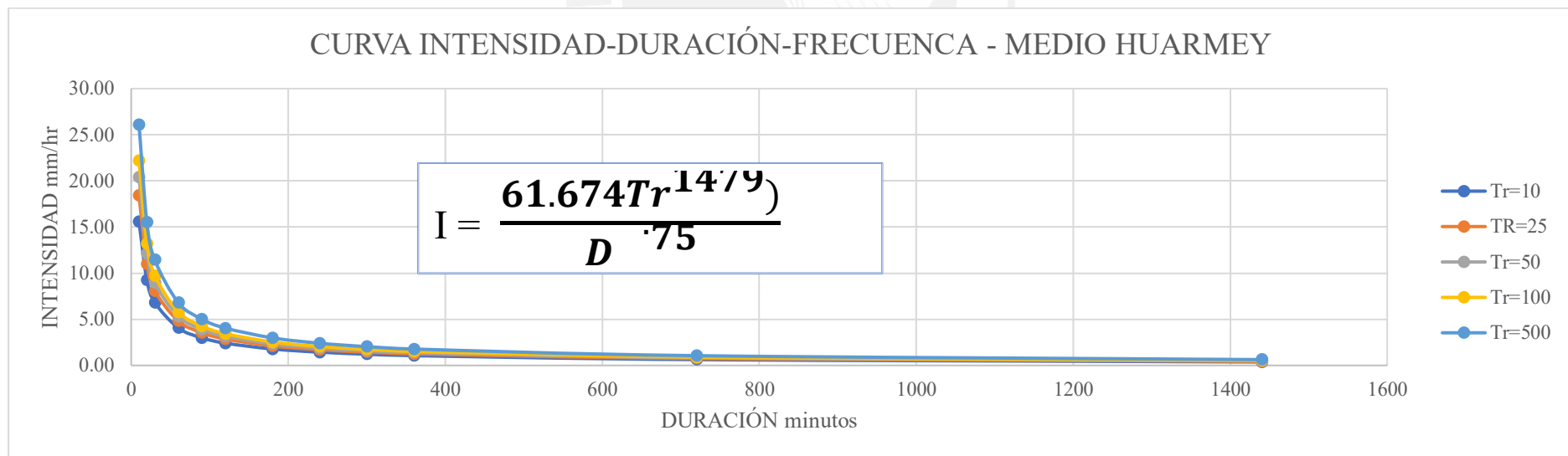
| PERIODO DE RETORNO (años) | DURACIÓN EN MINUTOS | | | | | | | | | | | |
|------------------------------------|---------------------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 10 | 20 | 30 | 60 | 90 | 120 | 180 | 240 | 300 | 360 | 720 | 1440 |
| 5 | 11.32 | 6.73 | 4.97 | 2.95 | 2.18 | 1.76 | 1.30 | 1.04 | 0.88 | 0.77 | 0.46 | 0.27 |
| 10 | 14.01 | 8.33 | 6.15 | 3.65 | 2.70 | 2.17 | 1.60 | 1.29 | 1.09 | 0.95 | 0.57 | 0.34 |
| 25 | 17.25 | 10.26 | 7.57 | 4.50 | 3.32 | 2.68 | 1.97 | 1.59 | 1.35 | 1.17 | 0.70 | 0.42 |
| 50 | 19.56 | 11.63 | 8.58 | 5.10 | 3.77 | 3.03 | 2.24 | 1.80 | 1.53 | 1.33 | 0.79 | 0.47 |
| 100 | 21.79 | 12.96 | 9.56 | 5.68 | 4.19 | 3.38 | 2.49 | 2.01 | 1.70 | 1.48 | 0.88 | 0.52 |
| 500 | 26.72 | 15.89 | 11.72 | 6.97 | 5.14 | 4.14 | 3.06 | 2.46 | 2.08 | 1.82 | 1.08 | 0.64 |



PRECIPITACIONES MÁXIMAS PARA DIFERENTES PERIODOS DE RETORNO -MEDIO HUARMEY mm/día

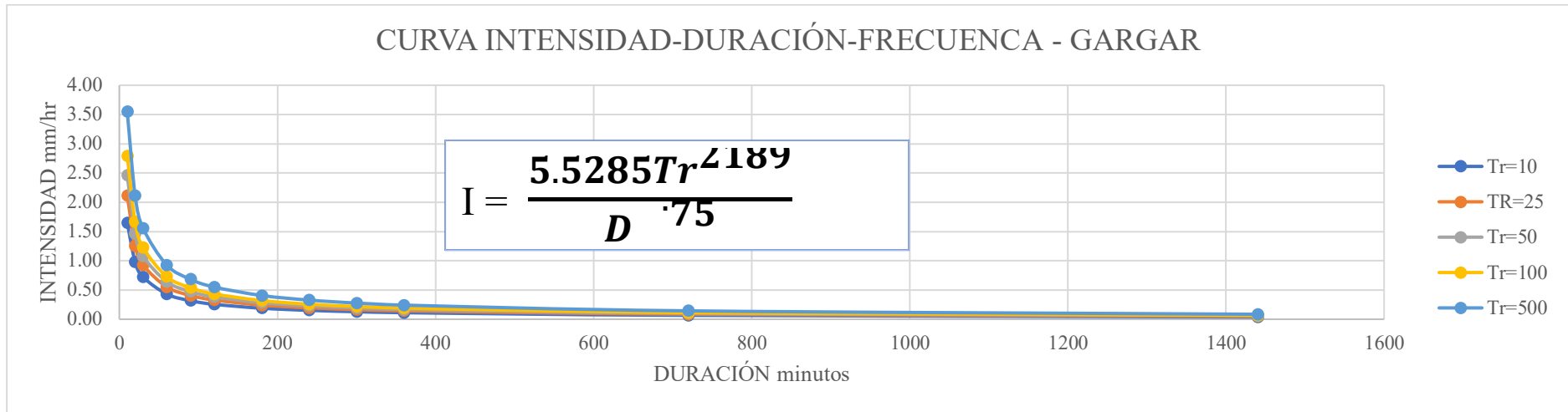
| PERIODO DE RETORNO (años) | P.MAX 24 HRS | DURACIÓN EN MINUTOS | | | | | | | | | | | |
|---------------------------|--------------|---------------------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|
| | | 10 | 20 | 30 | 60 | 90 | 120 | 180 | 240 | 300 | 360 | 720 | 1440 |
| 5 | 7.5 | 2.17 | 2.58 | 2.86 | 3.40 | 3.76 | 4.04 | 4.47 | 4.81 | 5.08 | 5.32 | 6.33 | 7.52 |
| 10 | 9.0 | 2.59 | 3.09 | 3.41 | 4.06 | 4.49 | 4.83 | 5.34 | 5.74 | 6.07 | 6.35 | 7.56 | 8.99 |
| 25 | 10.6 | 3.07 | 3.65 | 4.04 | 4.81 | 5.32 | 5.72 | 6.33 | 6.80 | 7.19 | 7.53 | 8.95 | 10.64 |
| 50 | 11.8 | 3.40 | 4.04 | 4.47 | 5.32 | 5.89 | 6.32 | 7.00 | 7.52 | 7.95 | 8.32 | 9.90 | 11.77 |
| 100 | 12.8 | 3.70 | 4.40 | 4.87 | 5.79 | 6.41 | 6.89 | 7.62 | 8.19 | 8.66 | 9.06 | 10.78 | 12.82 |
| 500 | 15.1 | 4.35 | 5.17 | 5.72 | 6.80 | 7.53 | 8.09 | 8.95 | 9.62 | 10.17 | 10.64 | 12.66 | 15.05 |

| INTENSIDADES MÁXIMAS - MEDIO HUARMEY mm/hr | | | | | | | | | | | | |
|--|---------------------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| PERIODO DE RETORNO (años) | DURACIÓN EN MINUTOS | | | | | | | | | | | |
| | 10 | 20 | 30 | 60 | 90 | 120 | 180 | 240 | 300 | 360 | 720 | 1440 |
| 5 | 13.03 | 7.75 | 5.72 | 3.40 | 2.51 | 2.02 | 1.49 | 1.20 | 1.02 | 0.89 | 0.53 | 0.31 |
| 10 | 15.57 | 9.26 | 6.83 | 4.06 | 3.00 | 2.41 | 1.78 | 1.44 | 1.21 | 1.06 | 0.63 | 0.37 |
| 25 | 18.44 | 10.96 | 8.09 | 4.81 | 3.55 | 2.86 | 2.11 | 1.70 | 1.44 | 1.25 | 0.75 | 0.44 |
| 50 | 20.39 | 12.12 | 8.94 | 5.32 | 3.92 | 3.16 | 2.33 | 1.88 | 1.59 | 1.39 | 0.82 | 0.49 |
| 100 | 22.20 | 13.20 | 9.74 | 5.79 | 4.27 | 3.44 | 2.54 | 2.05 | 1.73 | 1.51 | 0.90 | 0.53 |
| 500 | 26.07 | 15.50 | 11.44 | 6.80 | 5.02 | 4.04 | 2.98 | 2.40 | 2.03 | 1.77 | 1.05 | 0.63 |



| PRECIPITACIONES MÁXIMAS PARA DIFERENTES PERIODOS DE RETORNO -GARGAR mm/día | | | | | | | | | | | | | |
|--|--------------|---------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| PERIODO DE RETORNO (años) | P.MAX 24 HRS | DURACIÓN EN MINUTOS | | | | | | | | | | | |
| | | 10 | 20 | 30 | 60 | 90 | 120 | 180 | 240 | 300 | 360 | 720 | 1440 |
| 5 | 0.7 | 0.21 | 0.25 | 0.28 | 0.33 | 0.37 | 0.40 | 0.44 | 0.47 | 0.50 | 0.52 | 0.62 | 0.74 |
| 10 | 1.0 | 0.27 | 0.33 | 0.36 | 0.43 | 0.48 | 0.51 | 0.57 | 0.61 | 0.64 | 0.67 | 0.80 | 0.95 |
| 25 | 1.2 | 0.35 | 0.42 | 0.46 | 0.55 | 0.61 | 0.66 | 0.73 | 0.78 | 0.83 | 0.86 | 1.03 | 1.22 |
| 50 | 1.4 | 0.41 | 0.49 | 0.54 | 0.64 | 0.71 | 0.76 | 0.84 | 0.91 | 0.96 | 1.00 | 1.19 | 1.42 |
| 100 | 1.6 | 0.47 | 0.55 | 0.61 | 0.73 | 0.81 | 0.87 | 0.96 | 1.03 | 1.09 | 1.14 | 1.36 | 1.61 |
| 500 | 2.0 | 0.59 | 0.70 | 0.78 | 0.93 | 1.02 | 1.10 | 1.22 | 1.31 | 1.38 | 1.45 | 1.72 | 2.05 |

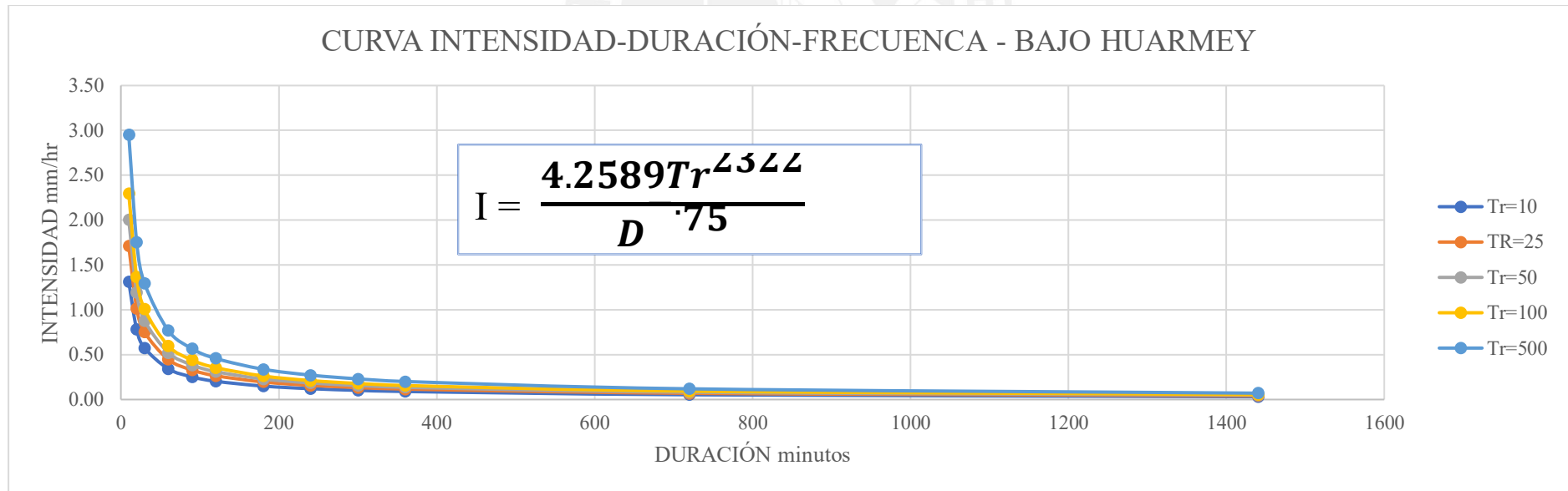
| INTENSIDADES MÁXIMAS - GARGAR mm/hr | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|---------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| PERIODO DE RETORNO (años) | 10 | 20 | 30 | 60 | 90 | 120 | 180 | 240 | 300 | 360 | 720 | 1440 | DURACIÓN EN MINUTOS | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | 5 | 1.27 | 0.76 | 0.56 | 0.33 | 0.25 | 0.20 | 0.15 | 0.12 | 0.10 | 0.09 | 0.05 |
| 10 | 1.65 | 0.98 | 0.72 | 0.43 | 0.32 | 0.26 | 0.19 | 0.15 | 0.13 | 0.11 | 0.07 | 0.04 | | | | | | | | | | | | |
| 25 | 2.12 | 1.26 | 0.93 | 0.55 | 0.41 | 0.33 | 0.24 | 0.20 | 0.17 | 0.14 | 0.09 | 0.05 | | | | | | | | | | | | |
| 50 | 2.46 | 1.46 | 1.08 | 0.64 | 0.47 | 0.38 | 0.28 | 0.23 | 0.19 | 0.17 | 0.10 | 0.06 | | | | | | | | | | | | |
| 100 | 2.79 | 1.66 | 1.23 | 0.73 | 0.54 | 0.43 | 0.32 | 0.26 | 0.22 | 0.19 | 0.11 | 0.07 | | | | | | | | | | | | |
| 500 | 3.55 | 2.11 | 1.56 | 0.93 | 0.68 | 0.55 | 0.41 | 0.33 | 0.28 | 0.24 | 0.14 | 0.09 | | | | | | | | | | | | |



PRECIPITACIONES MÁXIMAS PARA DIFERENTES PERIODOS DE RETORNO -BAJO HUARMEY mm/día

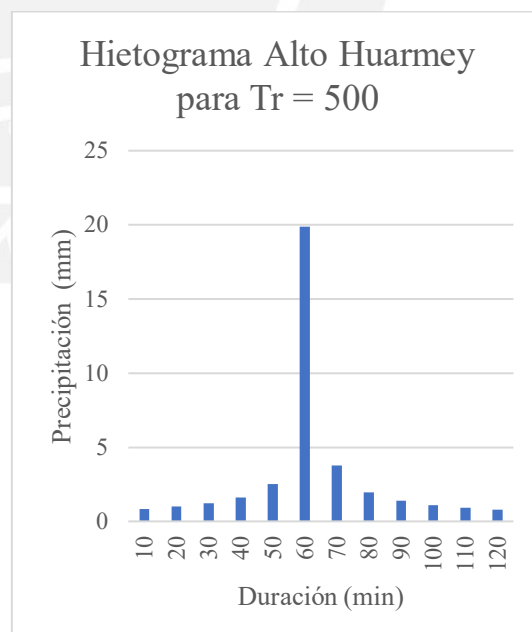
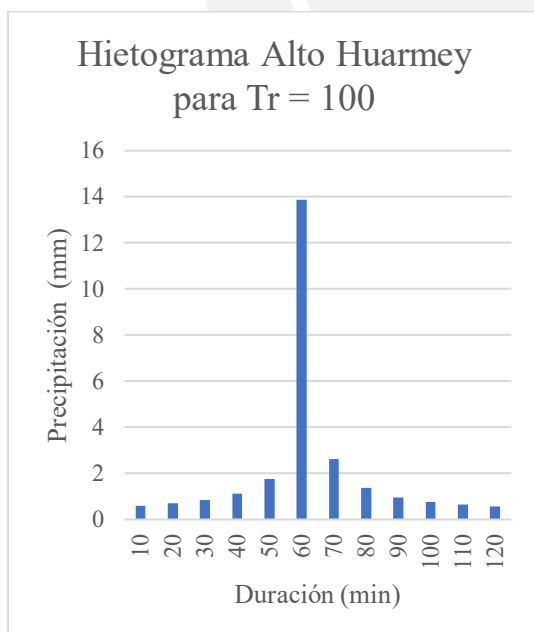
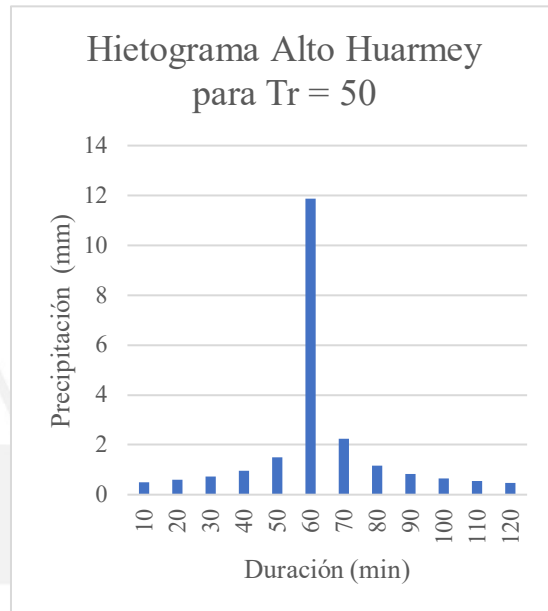
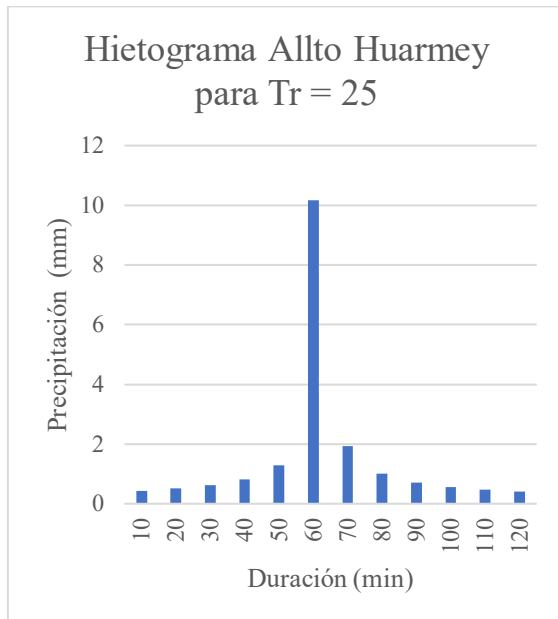
| PERIODO DE RETORNO (años) | P.MAX 24 HRS | DURACIÓN EN MINUTOS | | | | | | | | | | | |
|---------------------------|--------------|---------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | | 10 | 20 | 30 | 60 | 90 | 120 | 180 | 240 | 300 | 360 | 720 | 1440 |
| 5 | 0.6 | 0.17 | 0.20 | 0.22 | 0.26 | 0.29 | 0.31 | 0.34 | 0.37 | 0.39 | 0.41 | 0.48 | 0.57 |
| 10 | 0.8 | 0.22 | 0.26 | 0.29 | 0.34 | 0.38 | 0.41 | 0.45 | 0.48 | 0.51 | 0.54 | 0.64 | 0.76 |
| 25 | 1.0 | 0.29 | 0.34 | 0.38 | 0.45 | 0.49 | 0.53 | 0.59 | 0.63 | 0.67 | 0.70 | 0.83 | 0.99 |
| 50 | 1.2 | 0.33 | 0.40 | 0.44 | 0.52 | 0.58 | 0.62 | 0.69 | 0.74 | 0.78 | 0.82 | 0.97 | 1.16 |
| 100 | 1.3 | 0.38 | 0.45 | 0.50 | 0.60 | 0.66 | 0.71 | 0.79 | 0.85 | 0.89 | 0.94 | 1.11 | 1.32 |
| 500 | 1.7 | 0.49 | 0.58 | 0.65 | 0.77 | 0.85 | 0.92 | 1.01 | 1.09 | 1.15 | 1.20 | 1.43 | 1.70 |

| INTENSIDADES MÁXIMAS - BAJO HUARMEY mm/hr | | | | | | | | | | | | |
|---|---------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| PERIODO DE RETORNO (años) | DURACIÓN EN MINUTOS | | | | | | | | | | | |
| | 10 | 20 | 30 | 60 | 90 | 120 | 180 | 240 | 300 | 360 | 720 | 1440 |
| 5 | 0.99 | 0.59 | 0.44 | 0.26 | 0.19 | 0.15 | 0.11 | 0.09 | 0.08 | 0.07 | 0.04 | 0.02 |
| 10 | 1.31 | 0.78 | 0.58 | 0.34 | 0.25 | 0.20 | 0.15 | 0.12 | 0.10 | 0.09 | 0.05 | 0.03 |
| 25 | 1.71 | 1.02 | 0.75 | 0.45 | 0.33 | 0.27 | 0.20 | 0.16 | 0.13 | 0.12 | 0.07 | 0.04 |
| 50 | 2.00 | 1.19 | 0.88 | 0.52 | 0.39 | 0.31 | 0.23 | 0.18 | 0.16 | 0.14 | 0.08 | 0.05 |
| 100 | 2.29 | 1.36 | 1.01 | 0.60 | 0.44 | 0.36 | 0.26 | 0.21 | 0.18 | 0.16 | 0.09 | 0.06 |
| 500 | 2.95 | 1.75 | 1.29 | 0.77 | 0.57 | 0.46 | 0.34 | 0.27 | 0.23 | 0.20 | 0.12 | 0.07 |

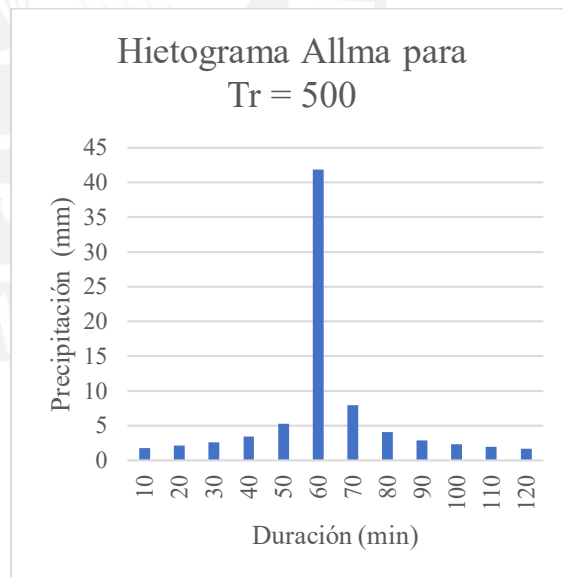
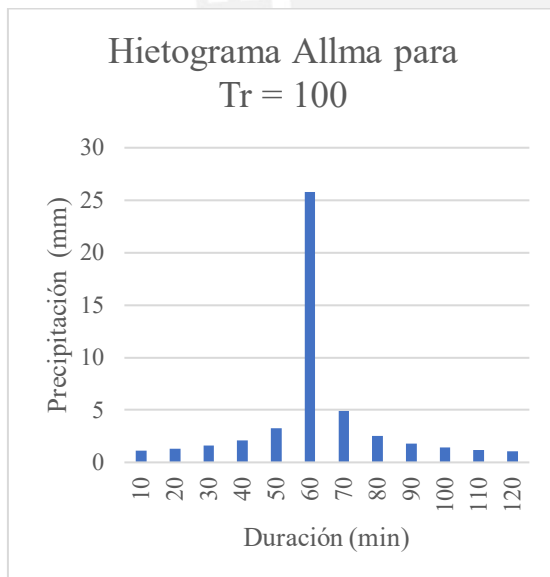
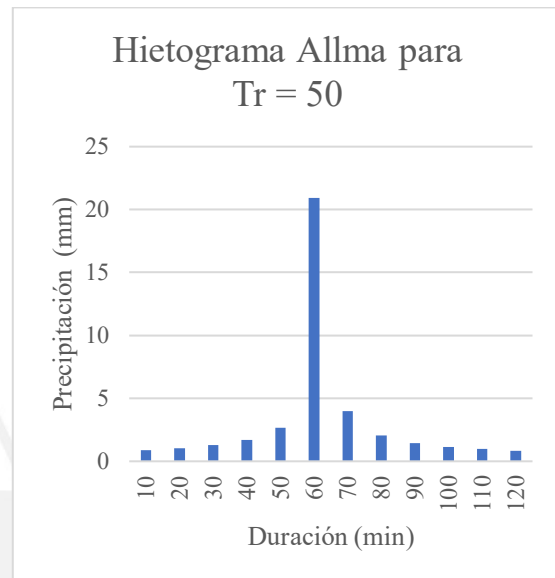
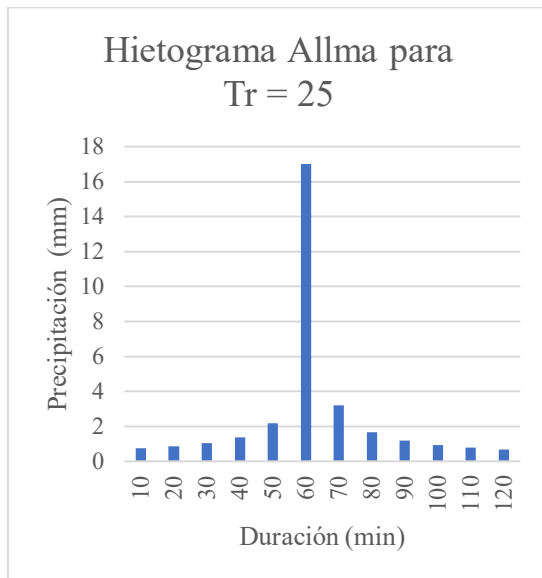


ANEXO 05. Hietogramas de diseño para las diferentes subcuencas haciendo uso del Método de Bloque Alterno señalado en el Manual de Hidrología del MTC

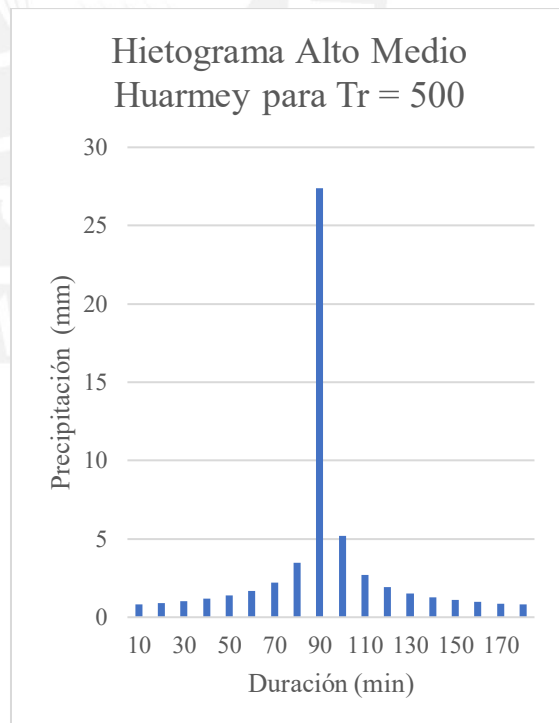
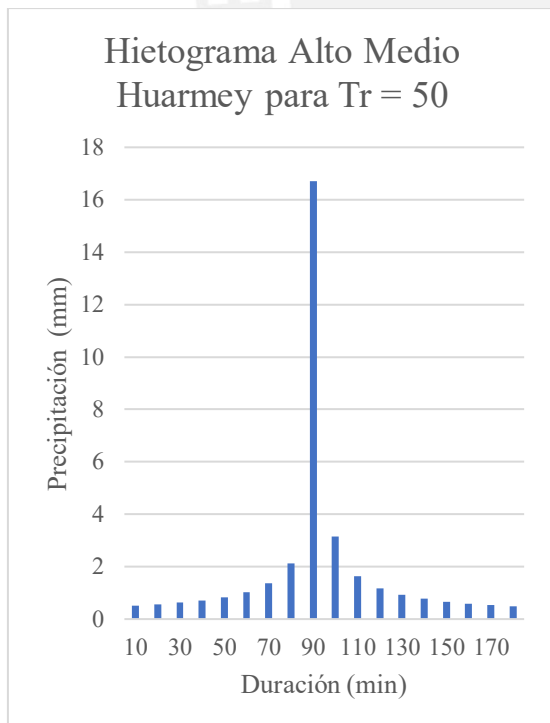
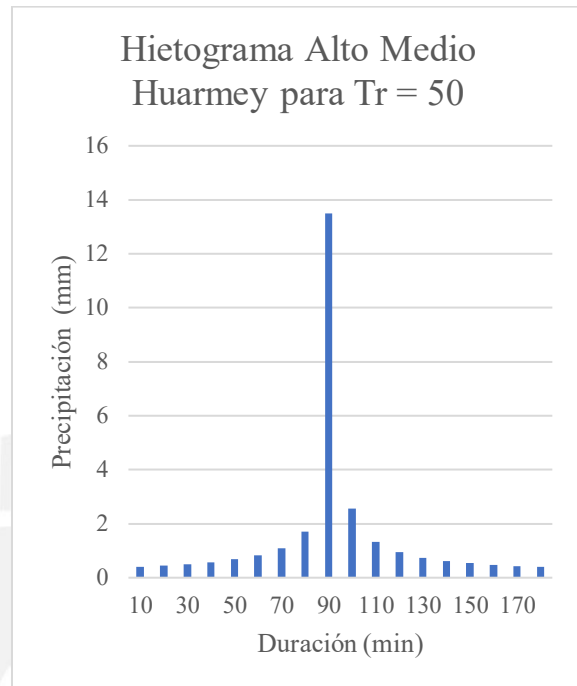
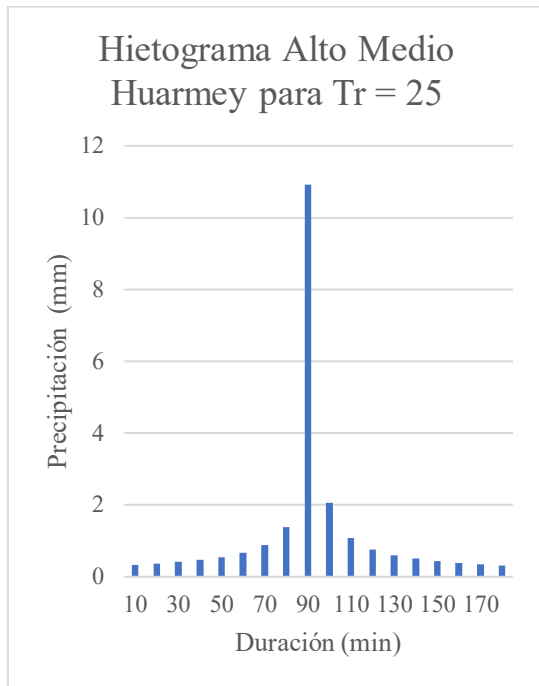
SUBCUENCA ALTO HUARMEY



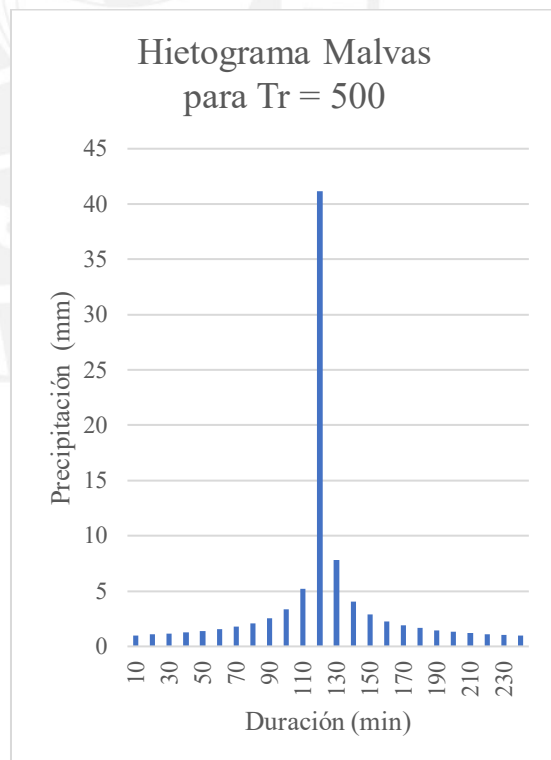
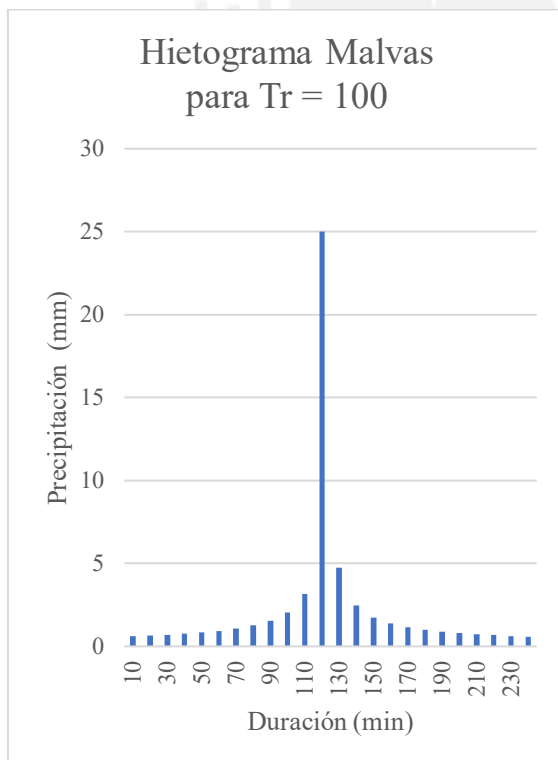
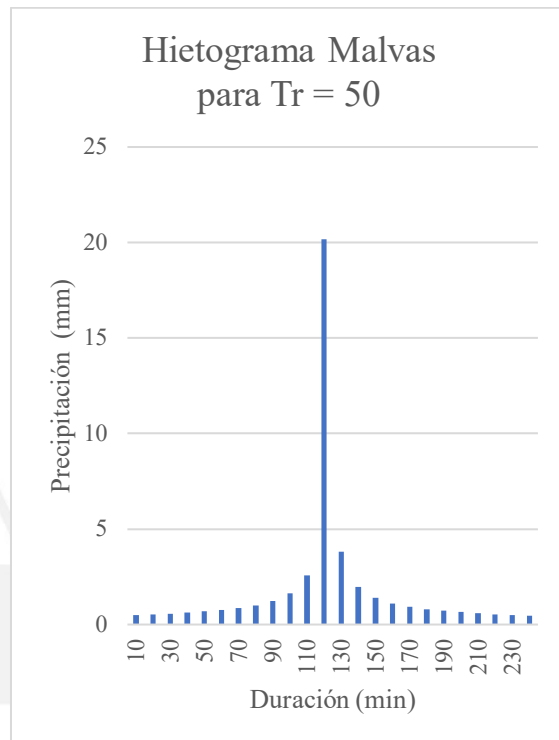
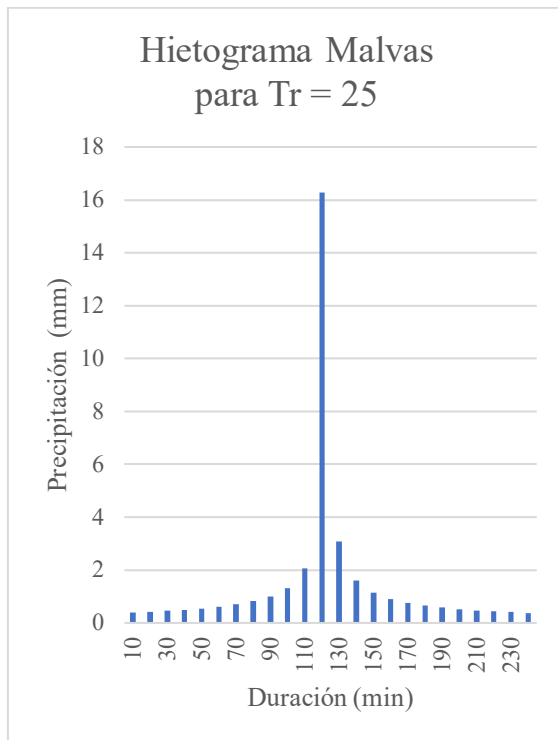
SUBCUENCA ALLMA



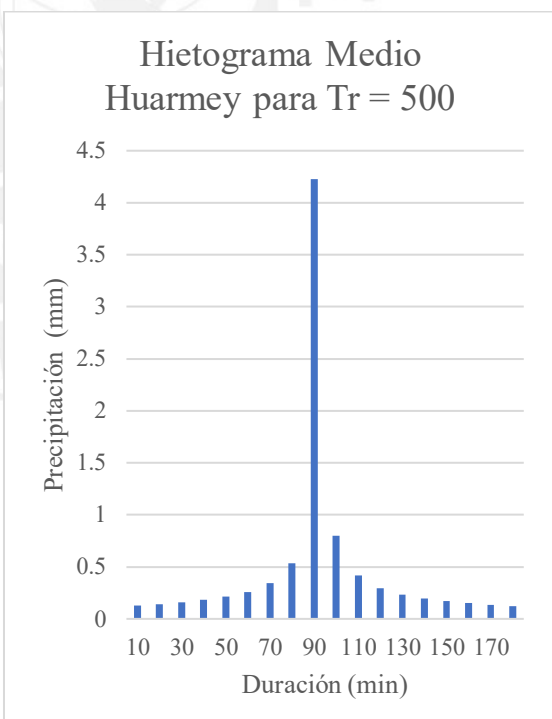
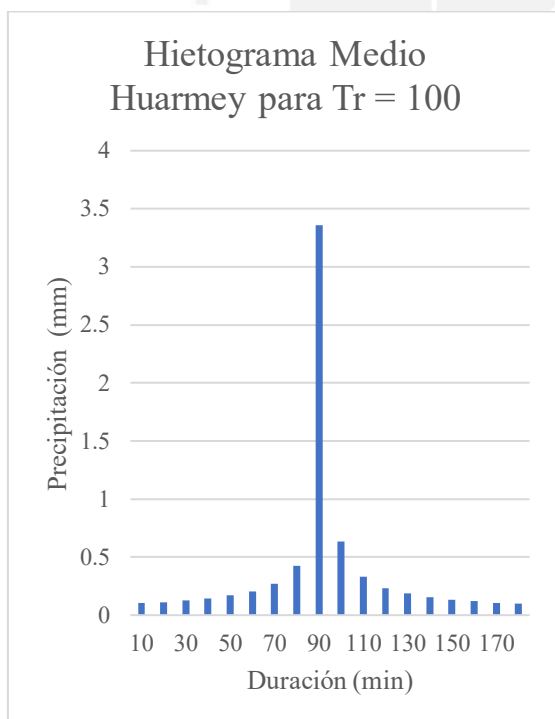
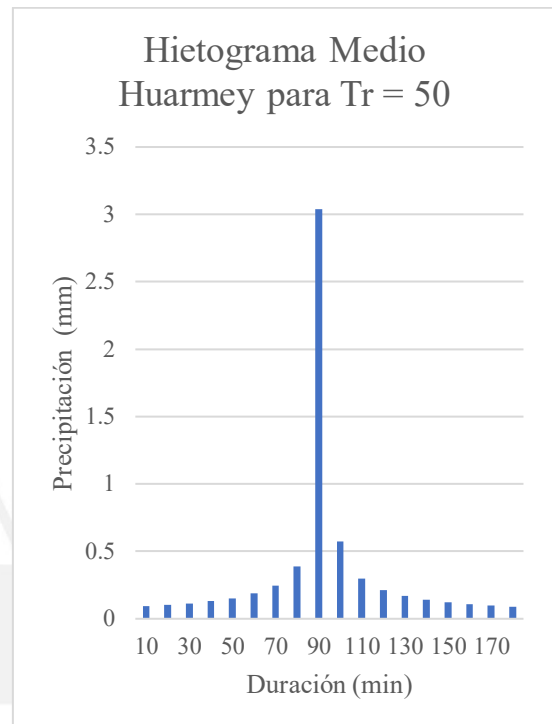
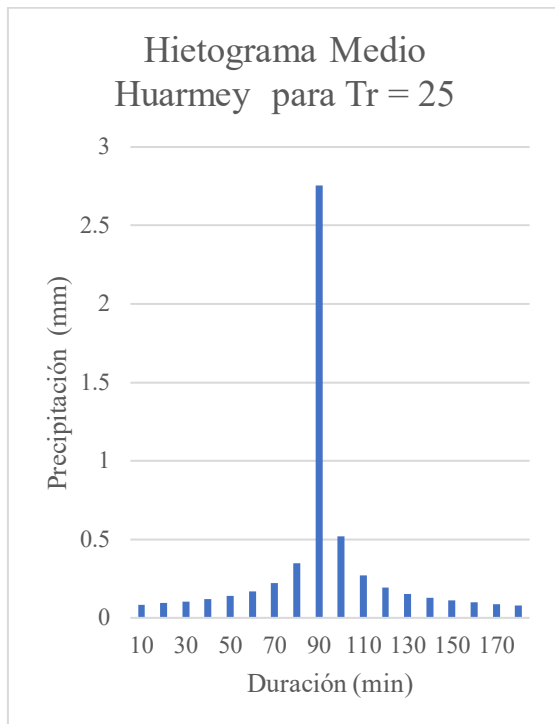
SUBCUENCA ALTO MEDIO HUARMEY



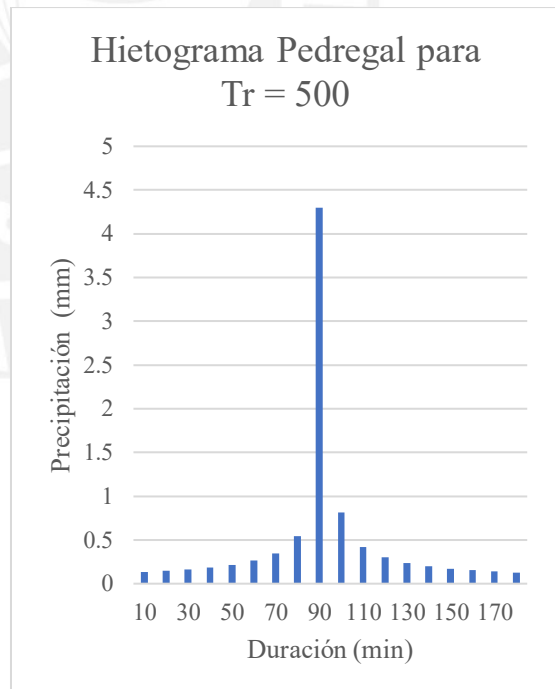
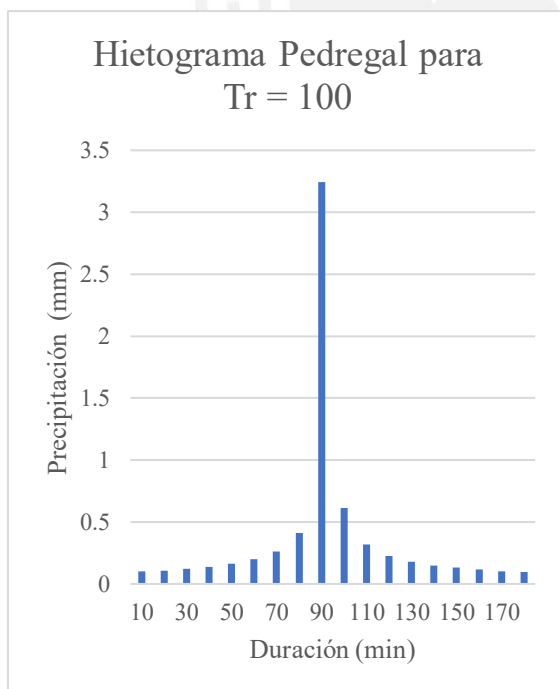
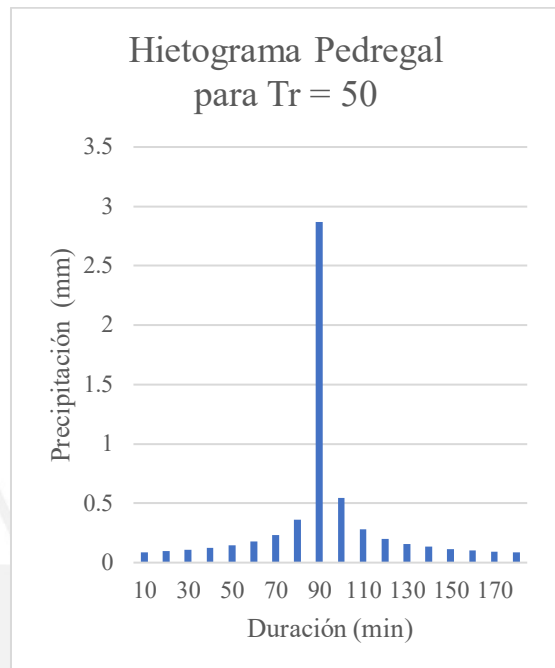
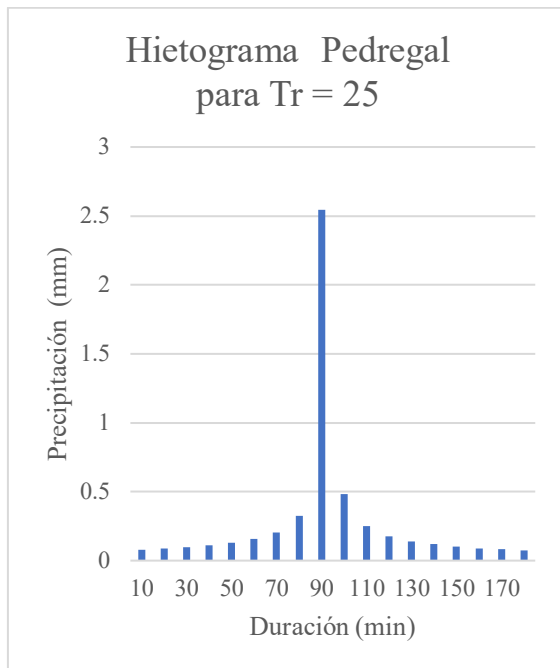
SUBCUENCA MALVAS



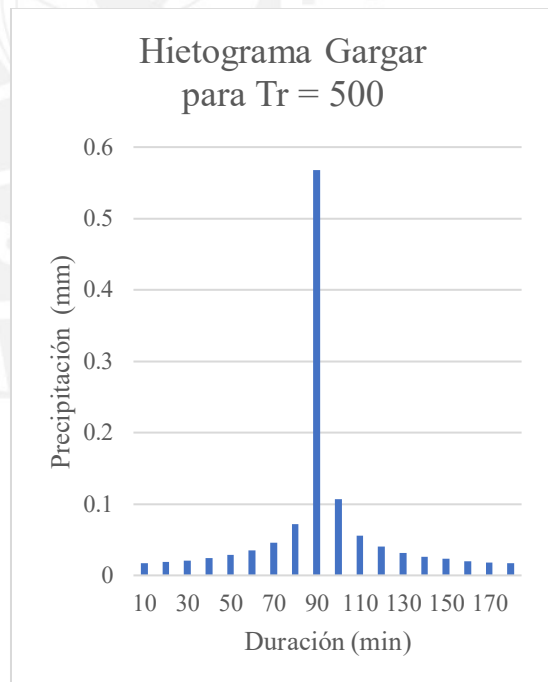
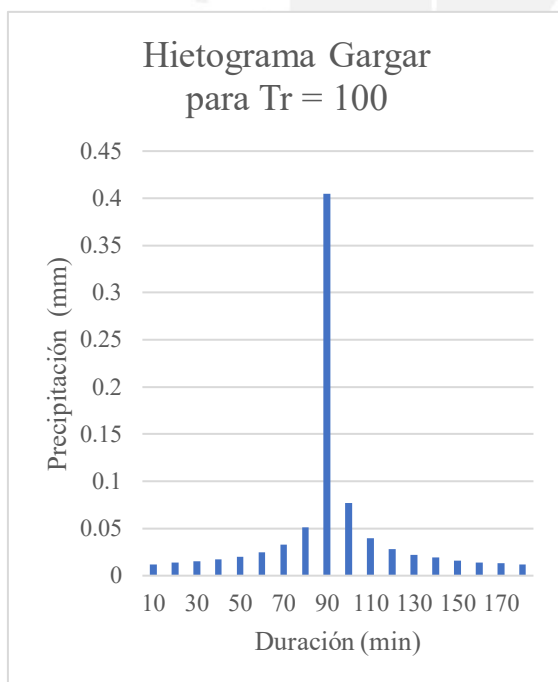
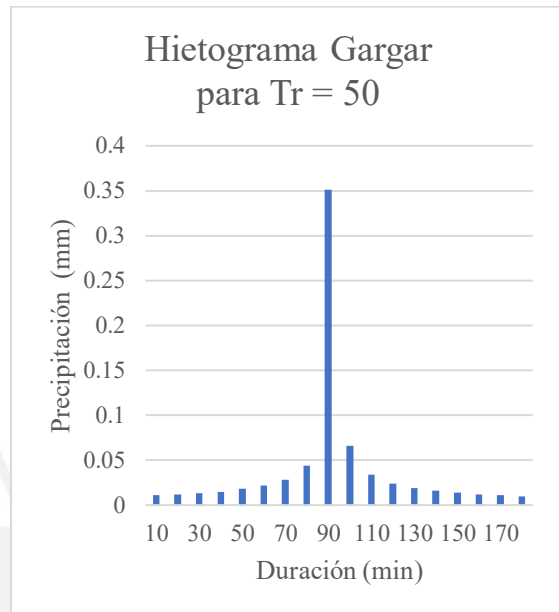
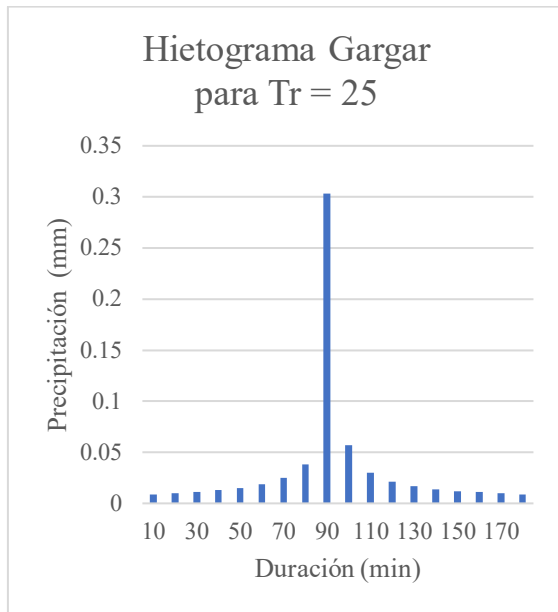
SUBCUENCA MEDIO HUARMEY



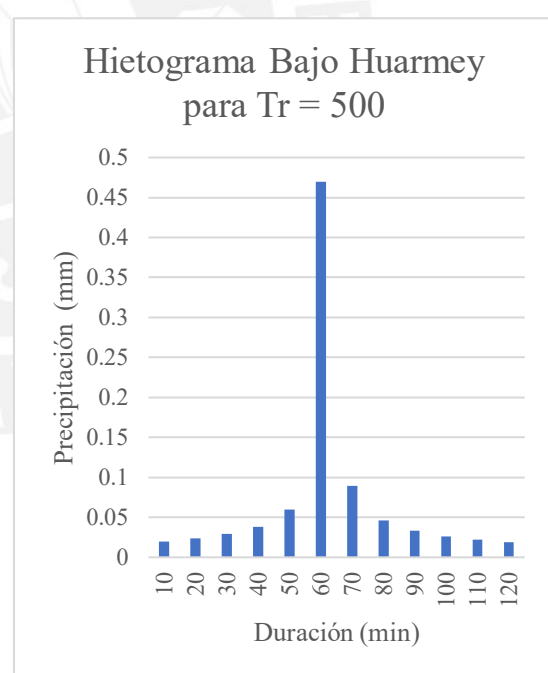
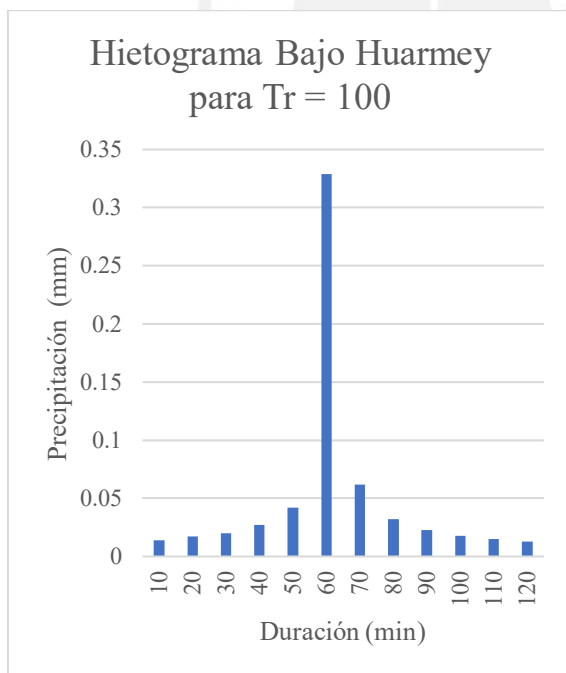
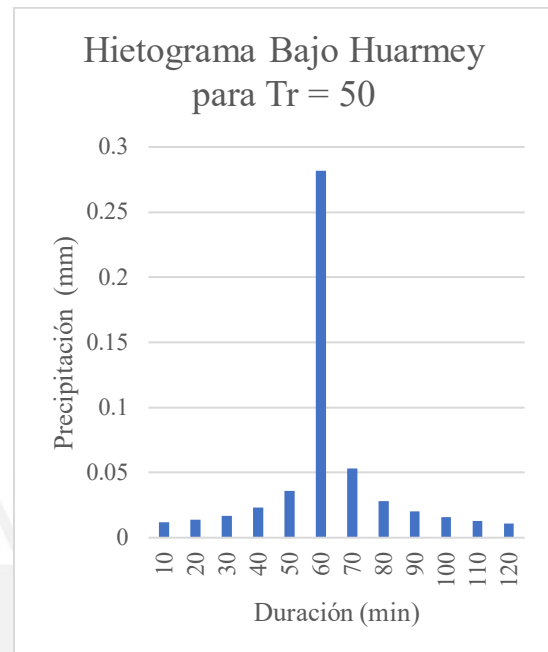
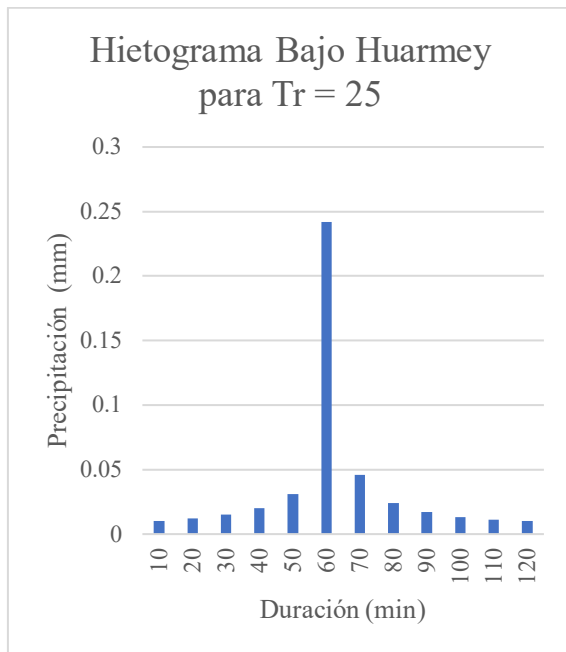
SUBCUENCA PEDREGAL



SUBCUENCA GARGAR



SUBCUENCA BAJO HUARMEY



ANEXO 06. Resultados de los Hidrogramas de las Sub Cuencas Obtenidos del HEC-HMS

PERIODO DE RETORNO TR = 50 AÑOS

Global Summary Results for Run "T=50"

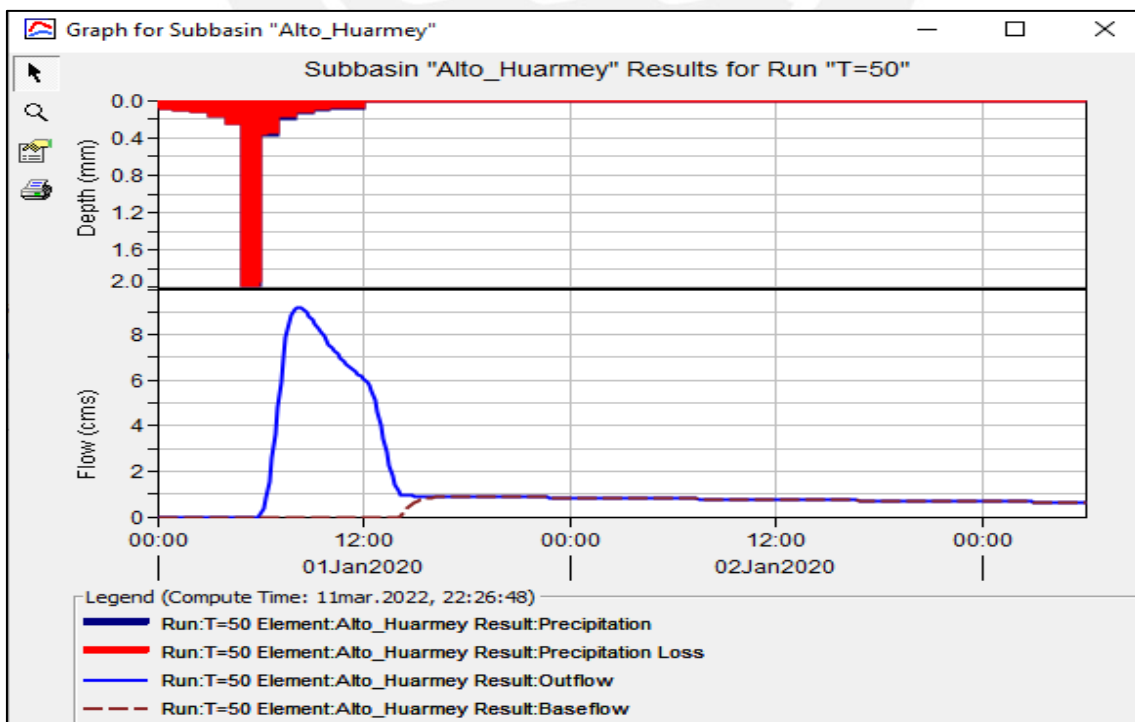
Project: Cuenca_Huarmey Simulation Run: T=50

Start of Run: 01ene.2020, 00:00 Basin Model: CuencaHuarmey
 End of Run: 03ene.2020, 06:00 Meteorologic Model: Tr=50
 Compute Time: 11mar.2022, 22:26:48 Control Specifications:Control 2 T50

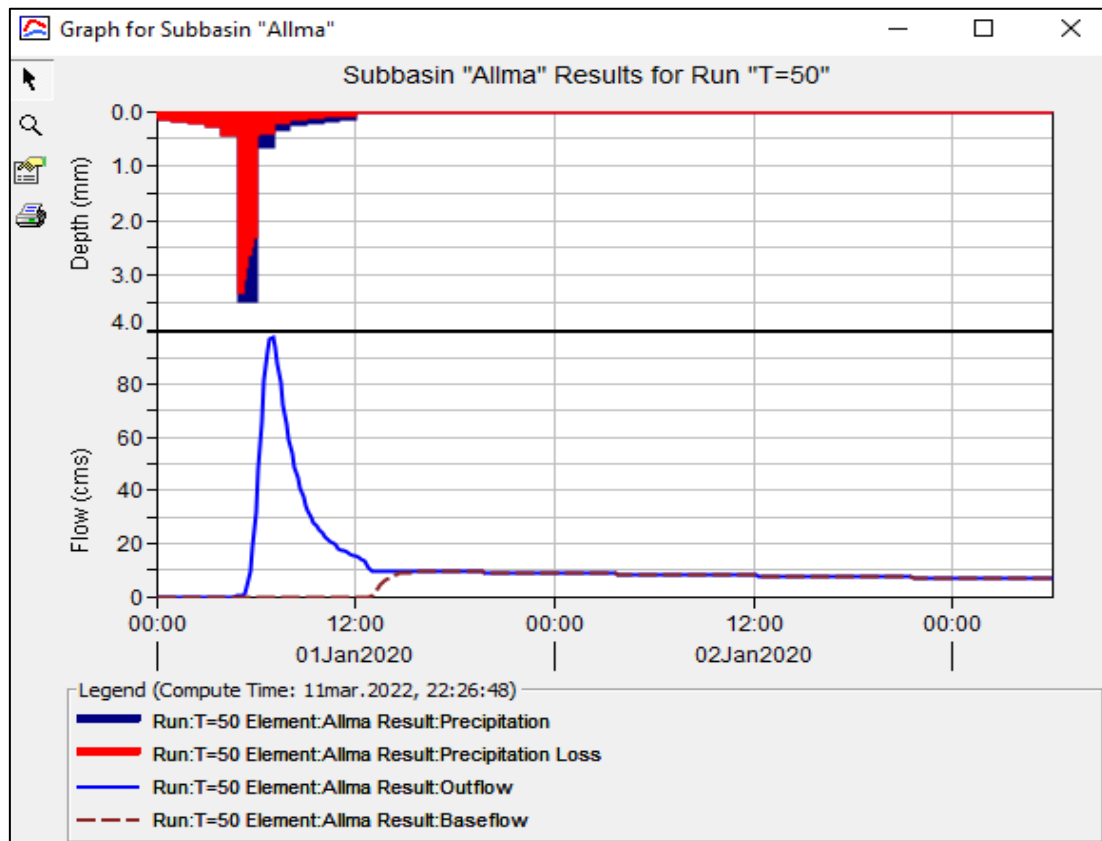
Show Elements: All Elements Volume Units: MM 1000 M3 Sorting: Hydrologic

| Hydrologic Element | Drainage Area (KM2) | Peak Discharge (M3/S) | Time of Peak | Volume (MM) |
|--------------------|---------------------|-----------------------|-------------------|-------------|
| Alto_Huarmey | 228.95 | 9.2 | 01ene.2020, 08:20 | 1.24 |
| Allma | 120.23 | 97.4 | 01ene.2020, 07:00 | 18.53 |
| Junction-1 | 349.18 | 102.2 | 01ene.2020, 07:00 | 7.19 |
| Malvas | 603.73 | 225.4 | 01ene.2020, 08:40 | 11.02 |
| Alto_Medio_Huarmey | 364.19 | 32.5 | 01ene.2020, 08:10 | 2.61 |
| Reach-1 | 349.18 | 62.6 | 01ene.2020, 08:30 | 7.05 |
| Junction-2 | 1317.10 | 319.2 | 01ene.2020, 08:30 | 7.65 |
| Reach-2 | 1317.10 | 246.4 | 01ene.2020, 10:20 | 7.51 |
| Pedregal | 312.31 | 0.0 | 01ene.2020, 00:00 | 0.00 |
| Medio_Huarmey | 162.27 | 0.0 | 01ene.2020, 00:00 | 0.00 |
| Gargar | 129.44 | 0.0 | 01ene.2020, 00:00 | 0.00 |
| Junction-3 | 1921.12 | 246.4 | 01ene.2020, 10:20 | 5.15 |
| Reach-3 | 1921.12 | 210.2 | 01ene.2020, 12:30 | 5.05 |
| Bajo_Huarmey | 320.29 | 0.0 | 01ene.2020, 00:00 | 0.00 |
| Desembocadura | 2241.41 | 210.2 | 01ene.2020, 12:30 | 4.33 |

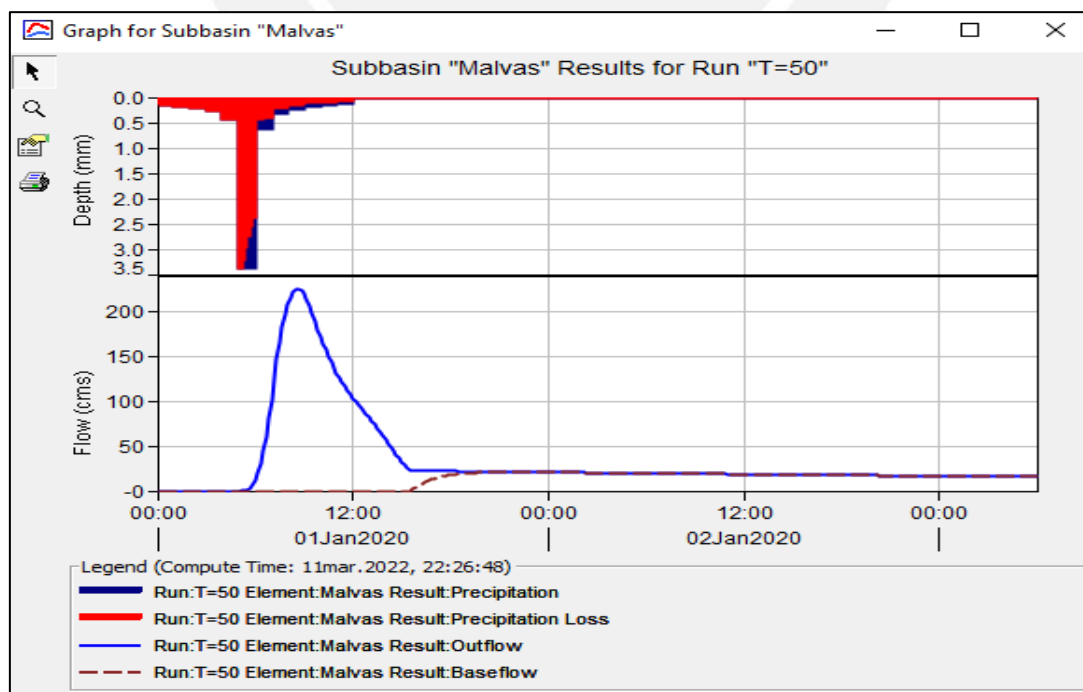
SUBCUENCA ALTO HUARMEY



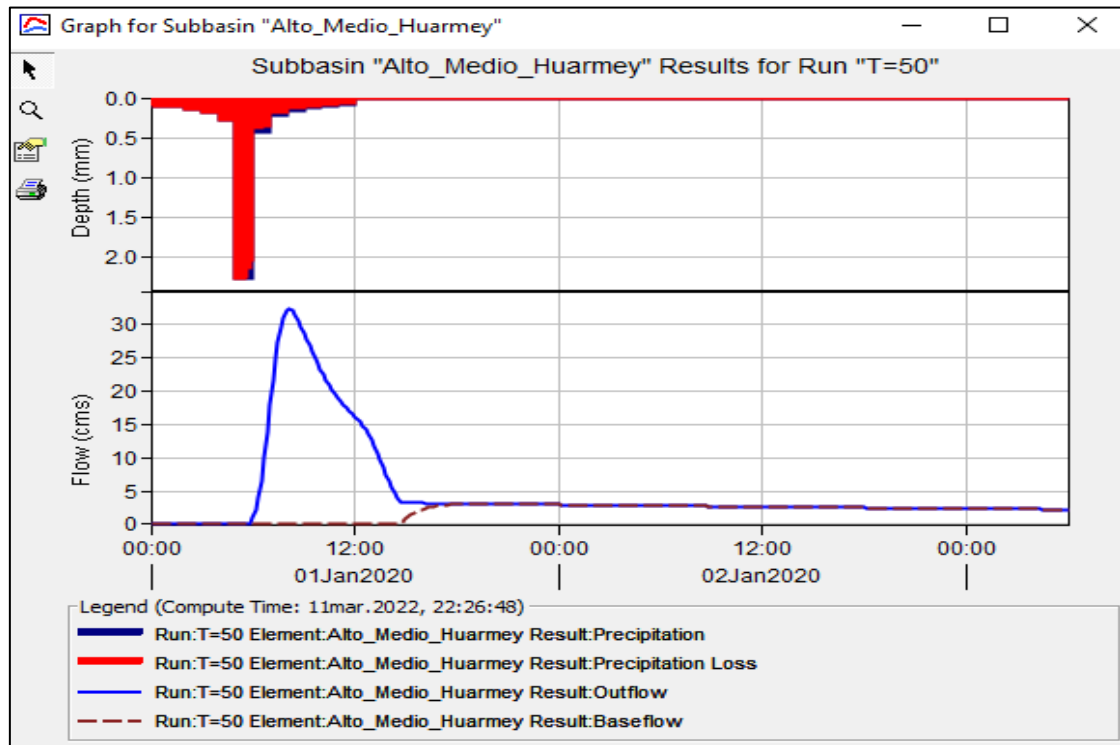
SUBCUENCA ALLMA



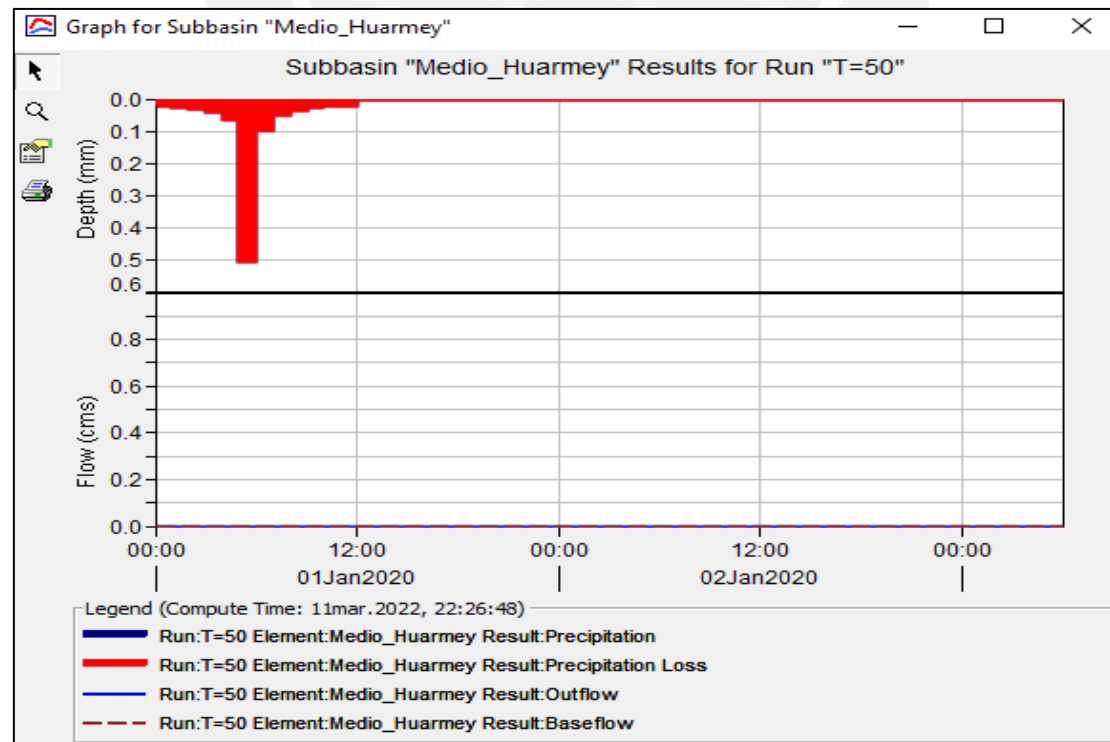
SUBCUENCA MALVAS



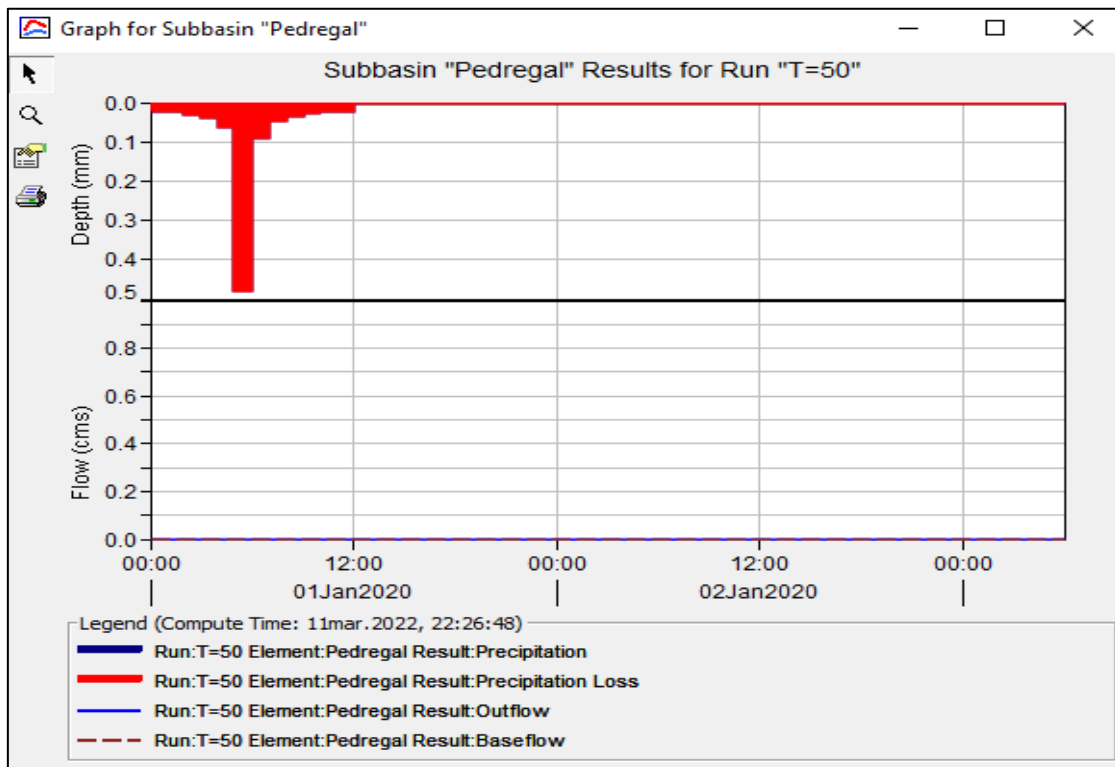
SUBCUENCA ALMO MEDIO HUARMEY



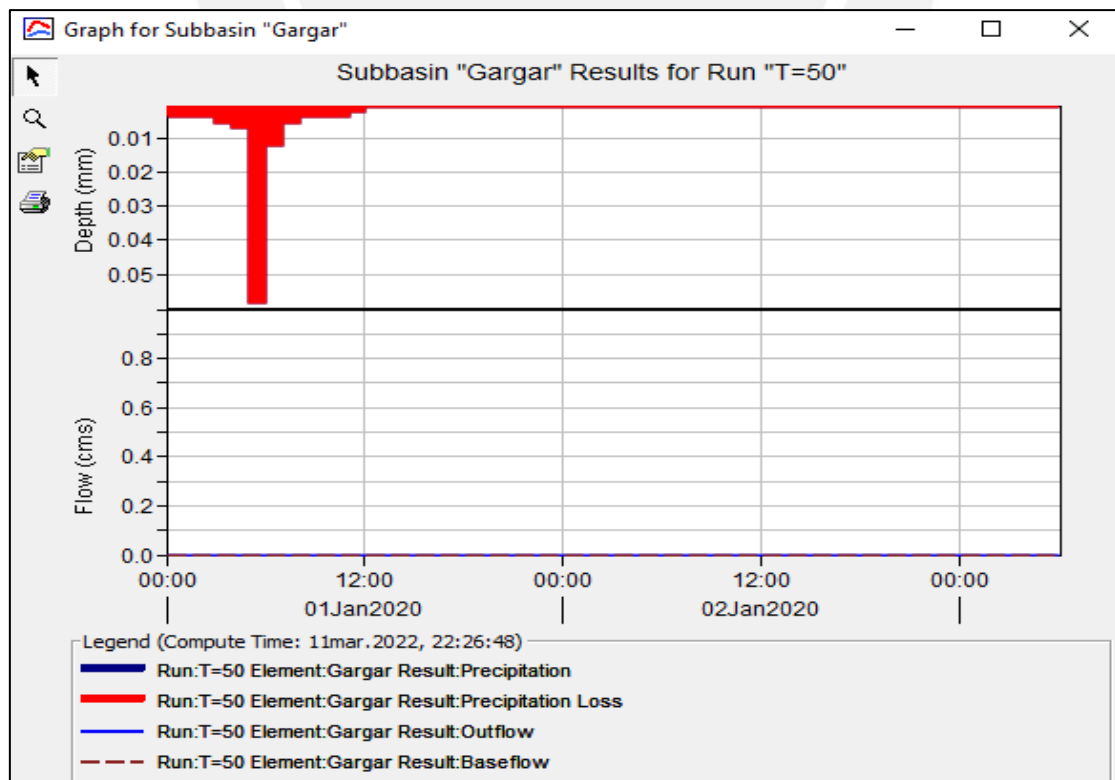
SUBCUENCA MEDIO HUARMEY



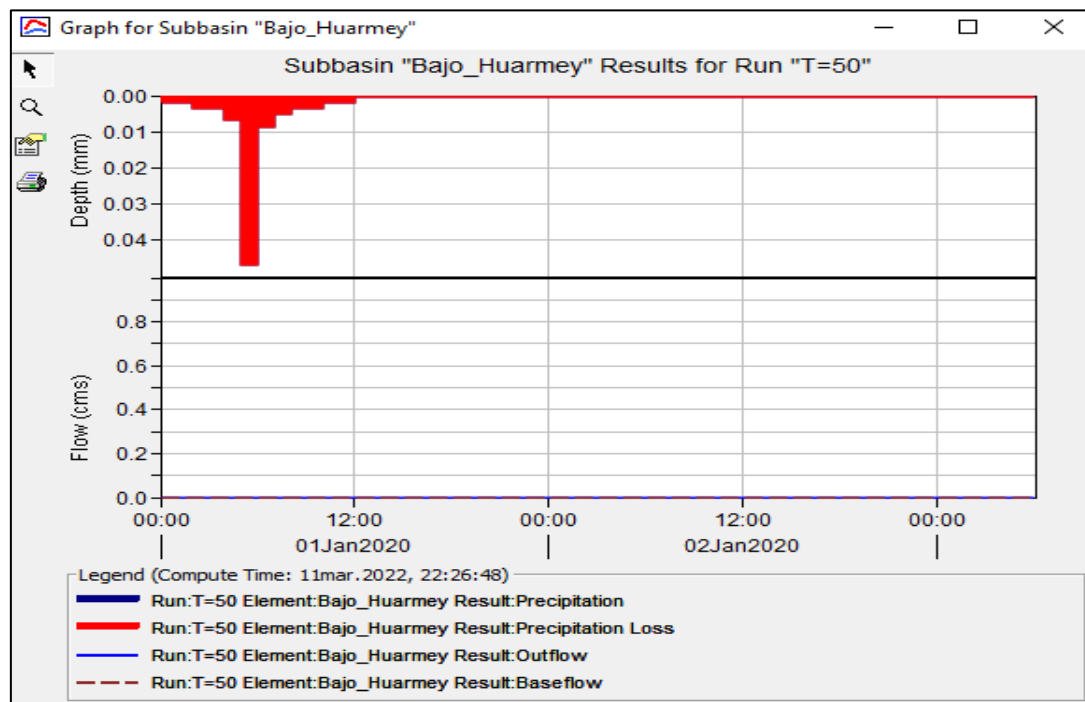
SUBCUENCA PEDREGAL



SUBCUENCA GARGAR



SUBCUENCA BAJO HUARMEY



PERIODO DE RETORNO TR = 100 AÑOS

Global Summary Results for Run "Tr=100"

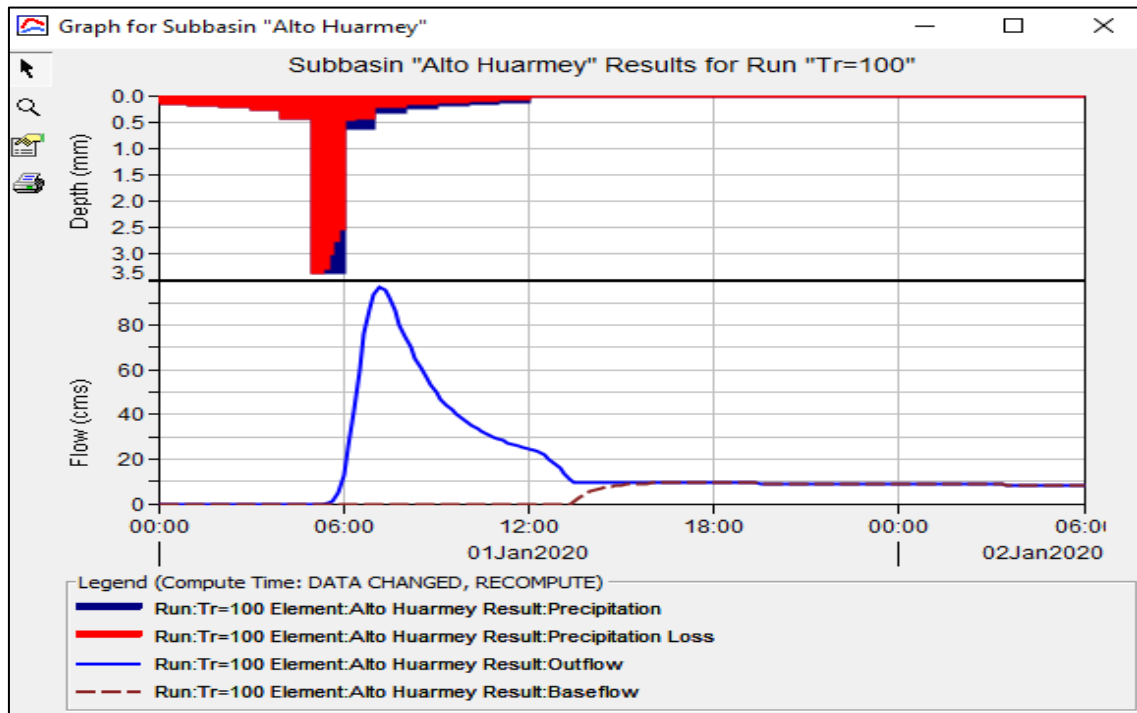
Project: Cuenca Huarmey Simulation Run: Tr=100

Start of Run: 01ene.2020, 00:00 Basin Model: CuencaHuarmey
 End of Run: 02ene.2020, 06:00 Meteorologic Model: Tr=100
 Compute Time: DATA CHANGED, RECOMPUTE Control Specifications: Control 1

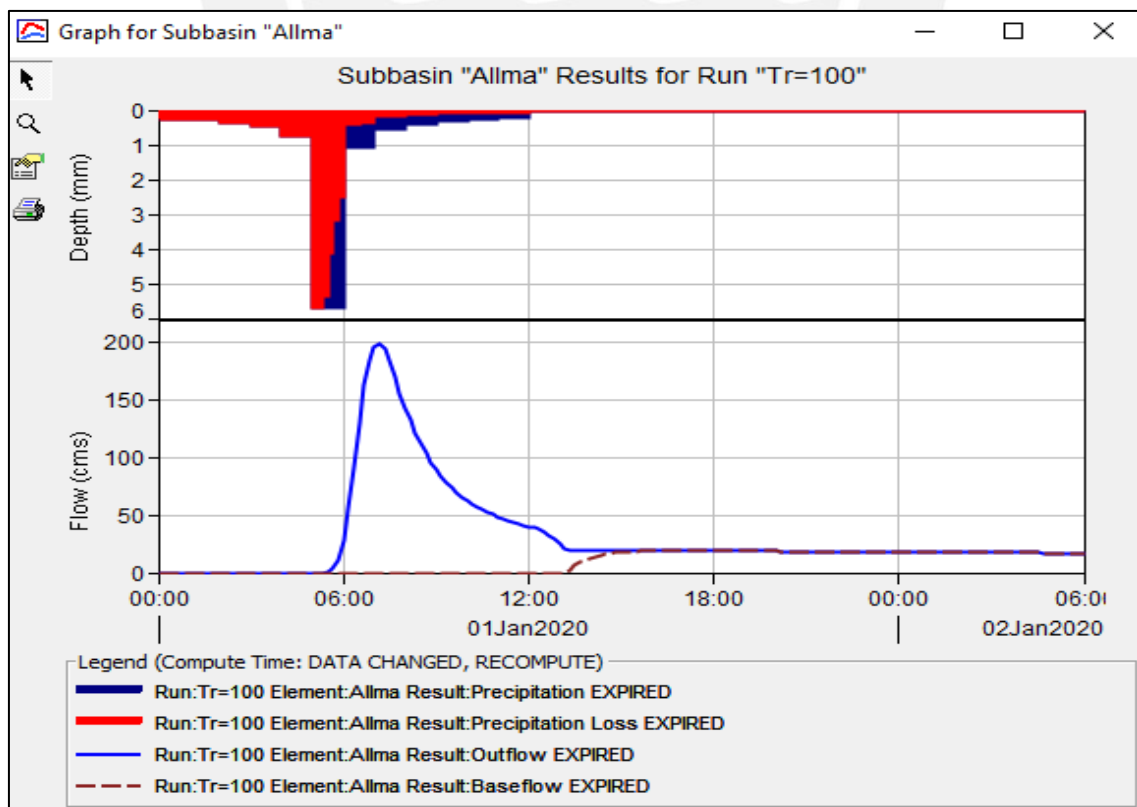
Show Elements: All Elements Volume Units: MM 1000 M3 Sorting: Hydrologic

| Hydrologic Element | Drainage Area (KM2) | Peak Discharge (M3/S) | Time of Peak | Volume (MM) |
|--------------------|---------------------|-----------------------|-------------------|-------------|
| Malvas | 603.73 | 164.4 | 01ene.2020, 10:10 | 7.28 |
| Alto Medio Huarmey | 364.19 | 34.0 | 01ene.2020, 10:10 | 2.54 |
| Alto Huarmey | 228.95 | 96.7 | 01ene.2020, 07:10 | 7.65 |
| Allma | 120.23 | 199.2 | 01ene.2020, 07:10 | 28.24 |
| Union1 | 349.18 | 295.9 | 01ene.2020, 07:10 | 14.74 |
| TRAMO1 | 349.18 | 181.1 | 01ene.2020, 08:50 | 14.27 |
| Union2 | 1317.10 | 360.2 | 01ene.2020, 09:30 | 7.82 |
| TRAMO2 | 1317.10 | 304.5 | 01ene.2020, 11:50 | 7.59 |
| Pedregal | 312.31 | 3.8 | 01ene.2020, 09:30 | 0.32 |
| Medio Huarmey | 162.27 | 2.4 | 01ene.2020, 11:40 | 0.43 |
| Gargar | 129.44 | 0.1 | 01ene.2020, 10:50 | 0.02 |
| Union3 | 1921.12 | 310.2 | 01ene.2020, 11:50 | 5.29 |
| TRAMO3 | 1921.12 | 280.7 | 01ene.2020, 14:00 | 5.12 |
| Bajo Huarmey | 320.29 | 0.6 | 01ene.2020, 12:10 | 0.05 |
| Desembocadura | 2241.41 | 281.2 | 01ene.2020, 14:00 | 4.40 |

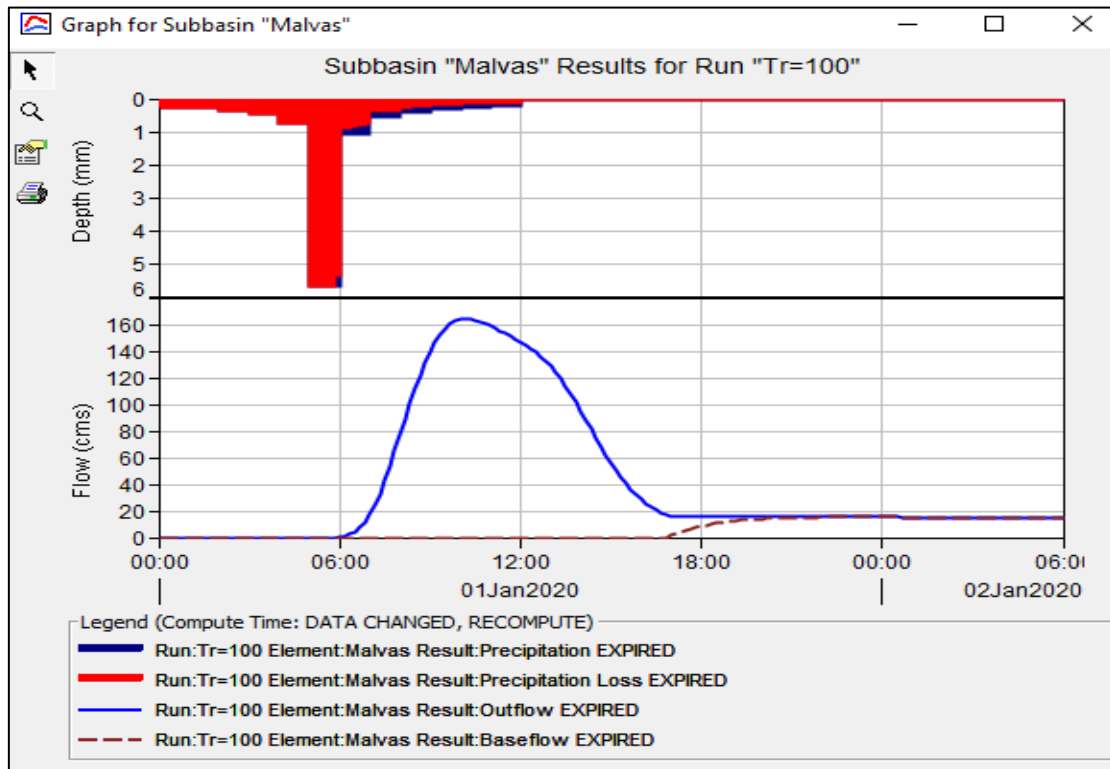
SUBCUENCA ALTO HUARMEY



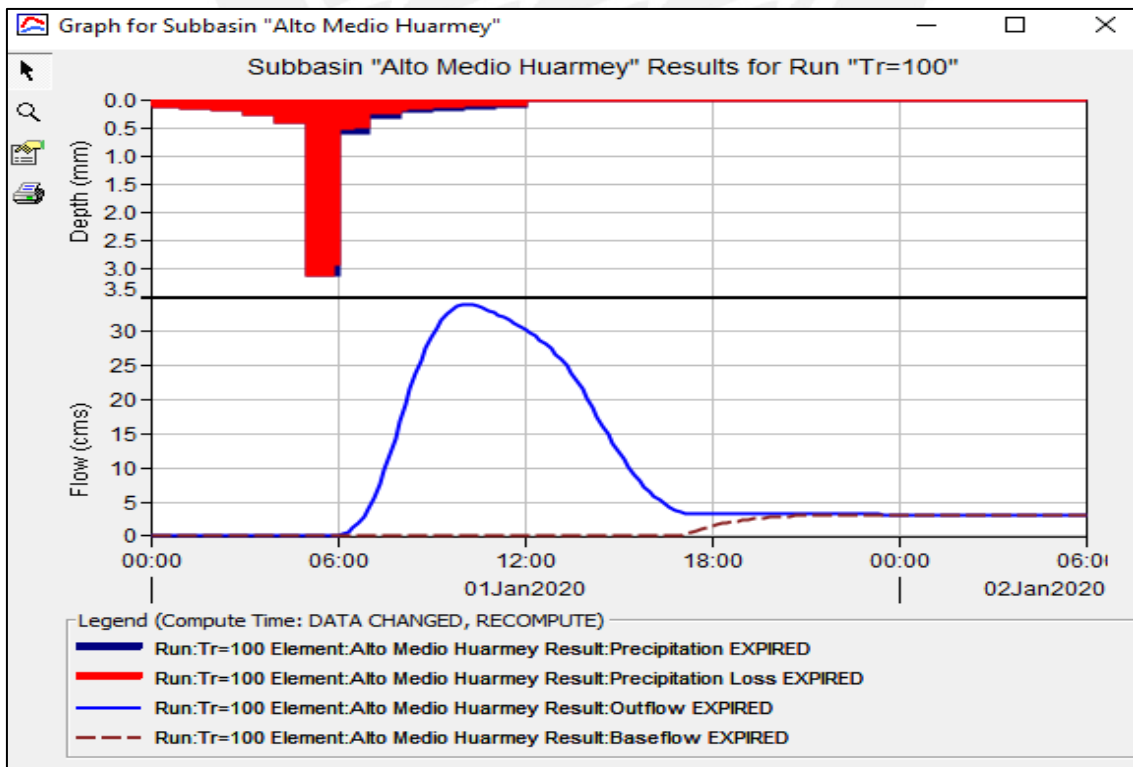
SUBCUENCA ALLMA



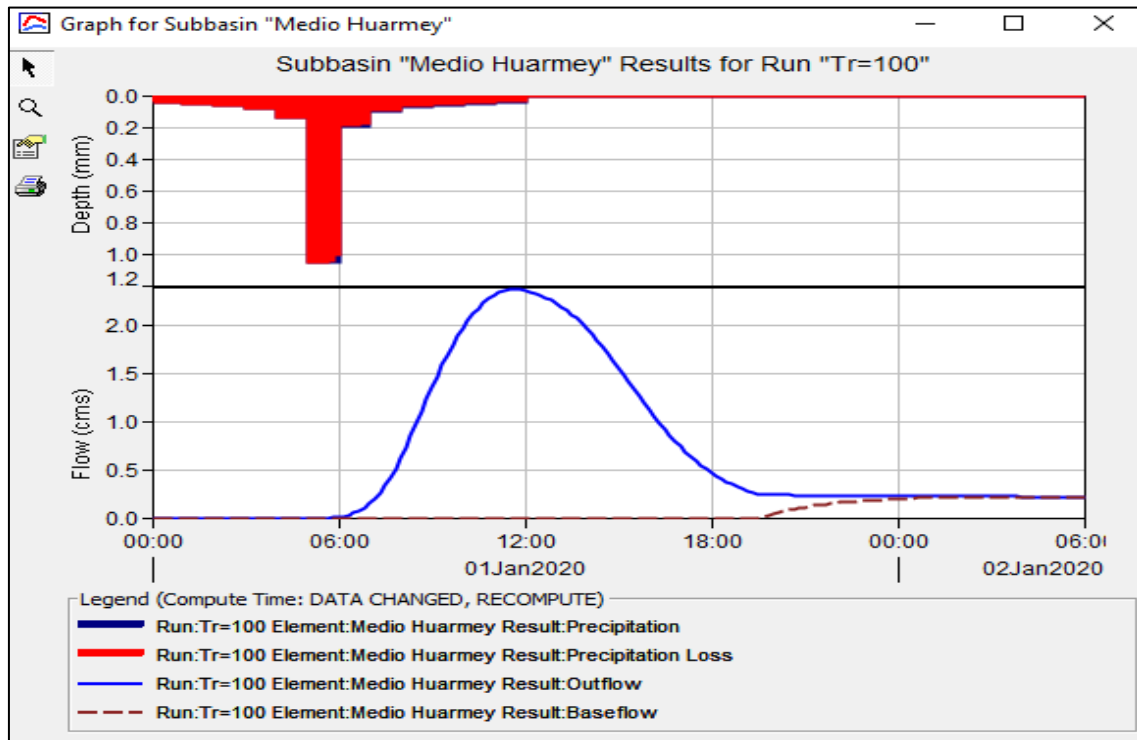
SUBCUENCA MALVAS



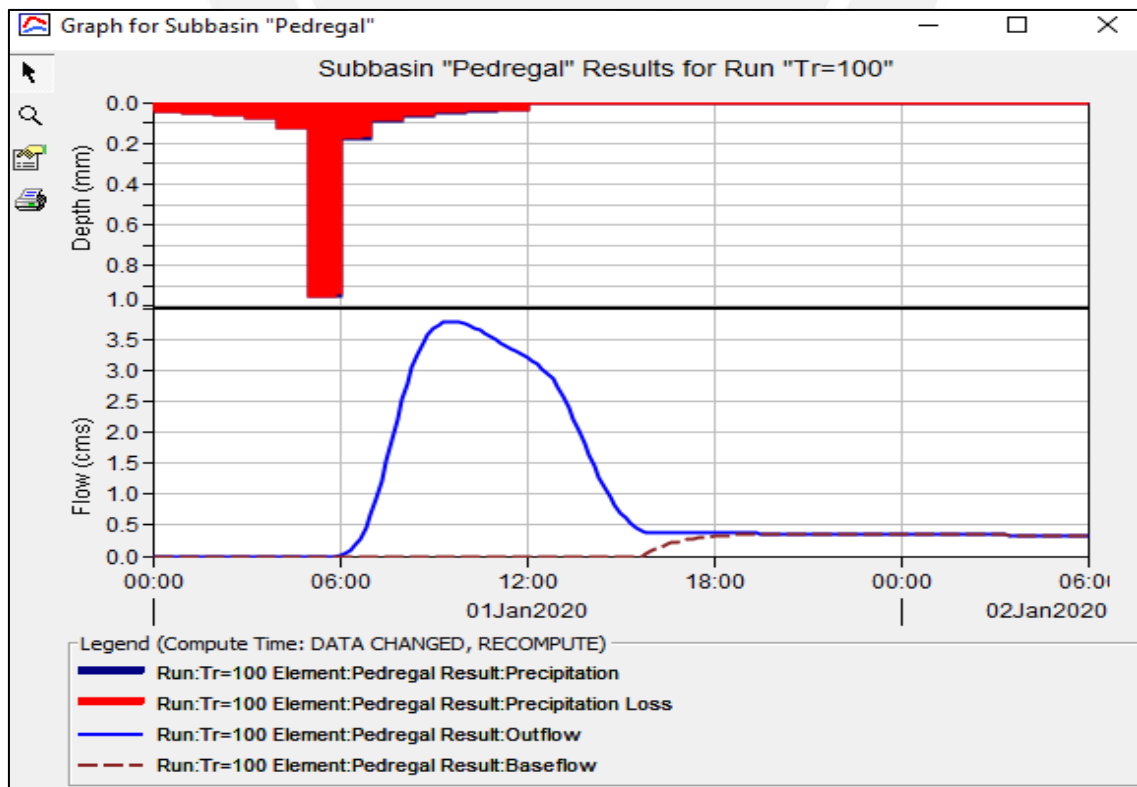
SUBCUENCA ALTO MEDIO HUARMEY



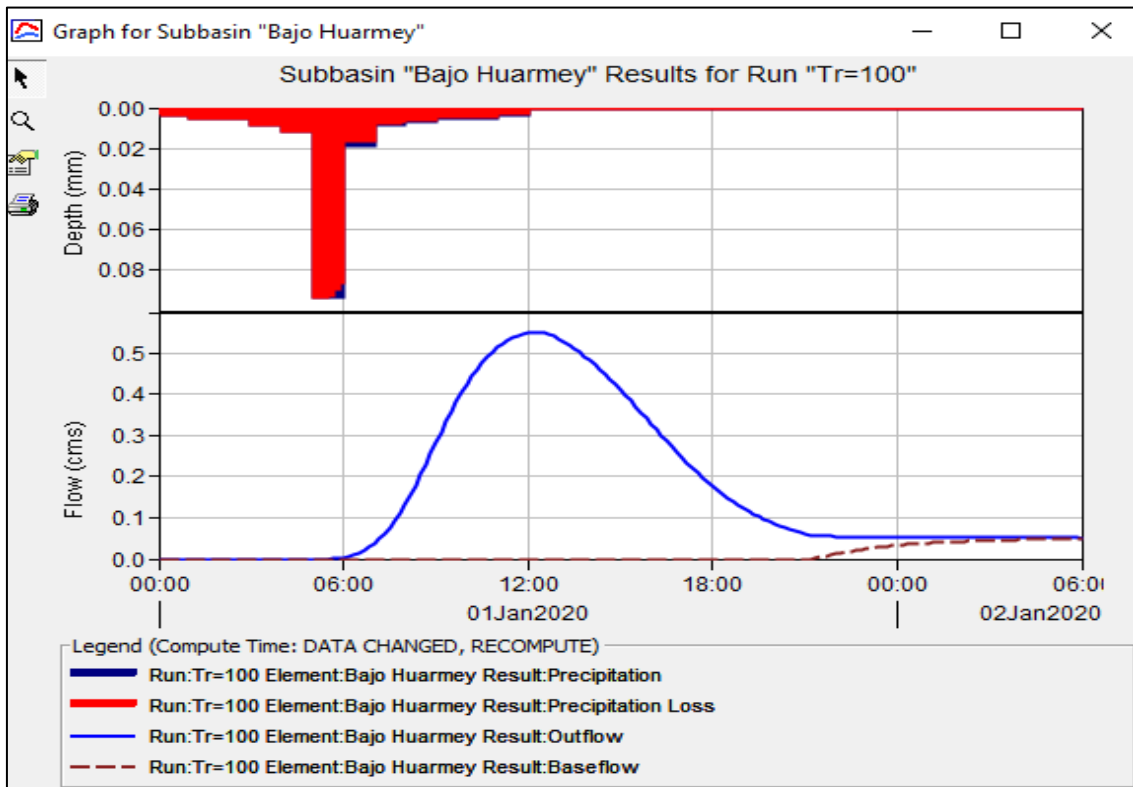
SUBCUENCA MEDIO HUARMEY



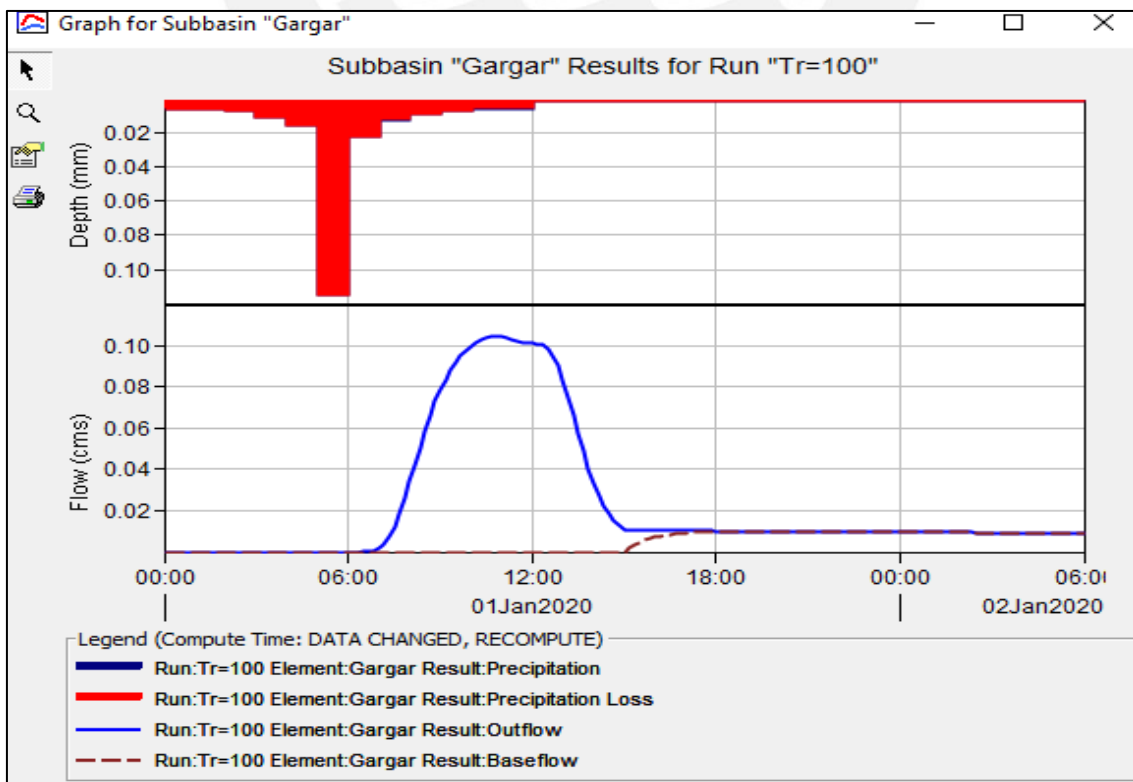
SUBCUENCA PEDREGAL



SUBCUENCA GARGAR



SUBCUENCA BAJO HUARMEY



PERIODO DE RETORNO TR = 500 AÑOS

Global Summary Results for Run "Tr=500"

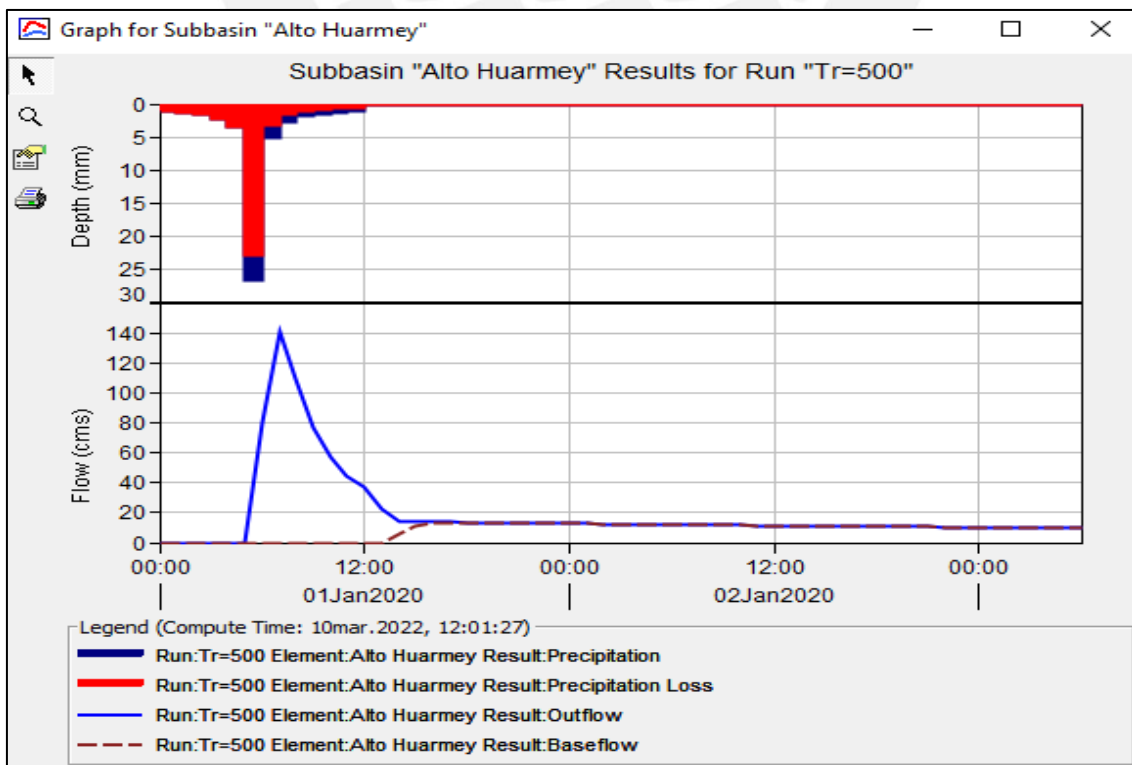
Project: Cuenca Huarmey Simulation Run: Tr=500

Start of Run: 01ene.2020, 00:00 Basin Model: CuencaHuarmey
 End of Run: 03ene.2020, 06:00 Meteorologic Model: Tr=500
 Compute Time: 10mar.2022, 12:01:27 Control Specifications: Control 2 Tr=500

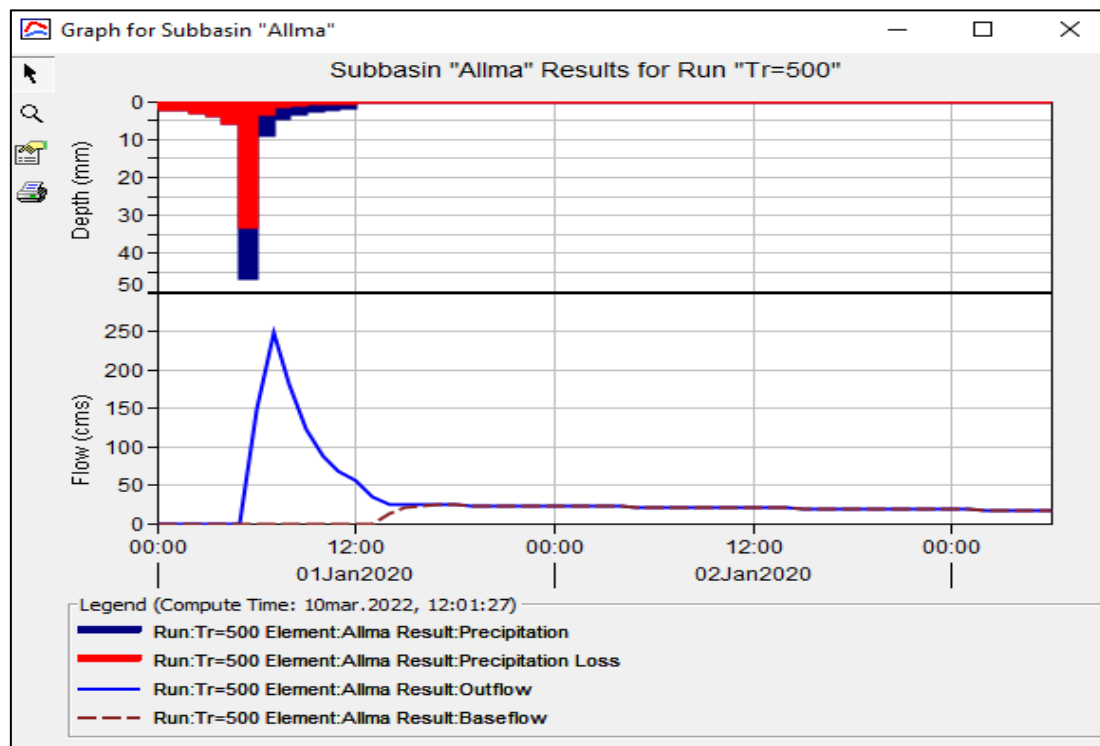
Show Elements: All Elements Volume Units: MM 1000 M3 Sorting: Hydrologic

| Hydrologic Element | Drainage Area (KM2) | Peak Discharge (M3/S) | Time of Peak | Volume (MM) |
|--------------------|---------------------|-----------------------|-------------------|-------------|
| Malvas | 603.73 | 371.4 | 01ene.2020, 09:00 | 20.87 |
| Alto Medio Huarmey | 364.19 | 122.5 | 01ene.2020, 09:00 | 11.30 |
| Alto Huarmey | 228.95 | 140.3 | 01ene.2020, 07:00 | 16.38 |
| Allma | 120.23 | 248.7 | 01ene.2020, 07:00 | 53.29 |
| Union1 | 349.18 | 389.0 | 01ene.2020, 07:00 | 29.09 |
| TRAMO1 | 349.18 | 262.7 | 01ene.2020, 09:00 | 28.53 |
| Union2 | 1317.10 | 756.6 | 01ene.2020, 09:00 | 20.26 |
| TRAMO2 | 1317.10 | 628.1 | 01ene.2020, 11:00 | 19.91 |
| Pedregal | 312.31 | 14.9 | 01ene.2020, 08:00 | 1.60 |
| Medio Huarmey | 162.27 | 7.6 | 01ene.2020, 11:00 | 1.77 |
| Gargar | 129.44 | 0.0 | 01ene.2020, 08:00 | 0.01 |
| Union3 | 1921.12 | 646.7 | 01ene.2020, 11:00 | 14.06 |

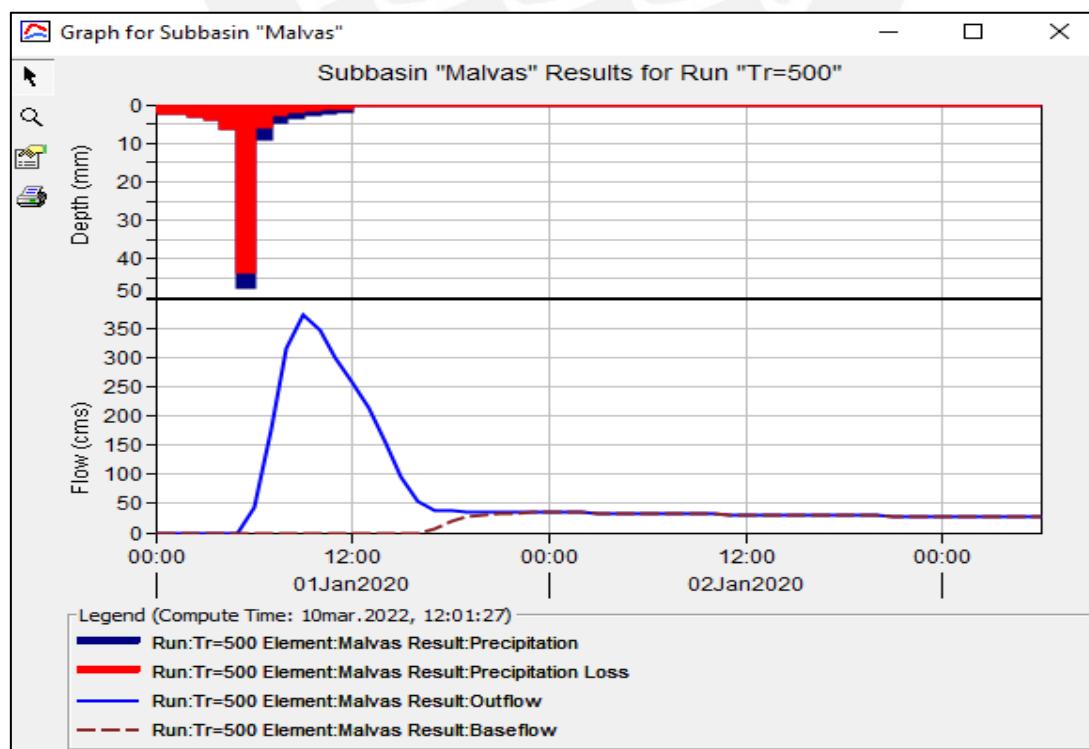
SUBCUENCA ALTO HUARMEY



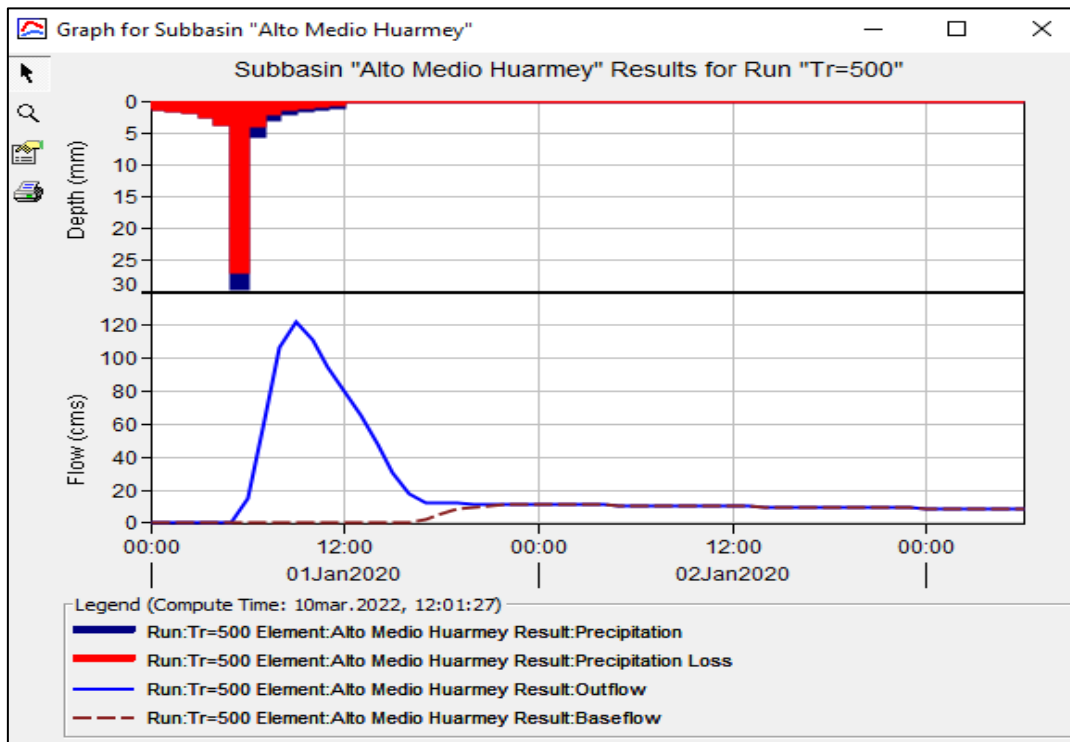
SUBCUENCA ALLMA



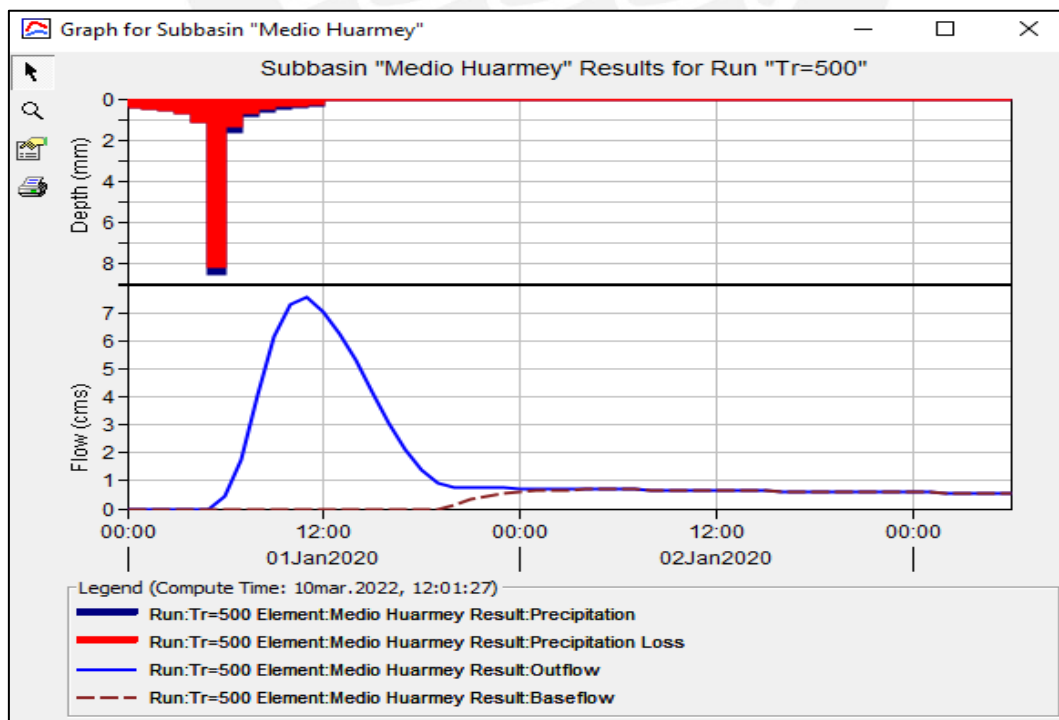
SUBCUENCA MALVAS



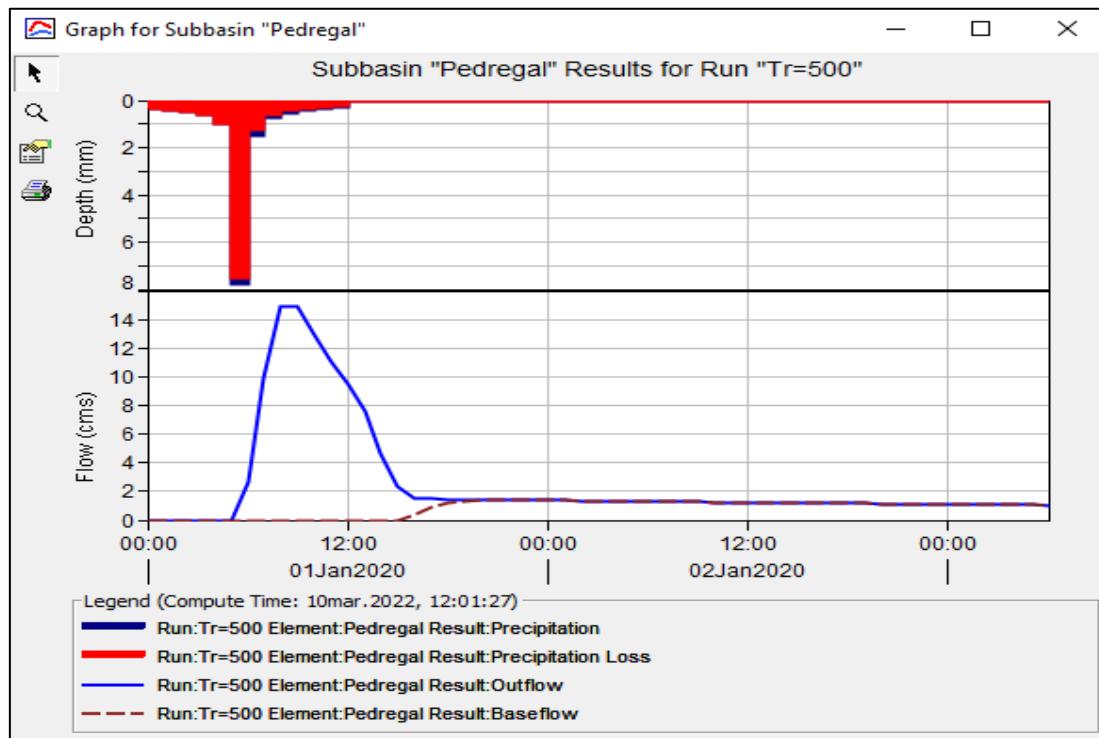
SUBCUENCA ALTO MEDIO HUARMEY



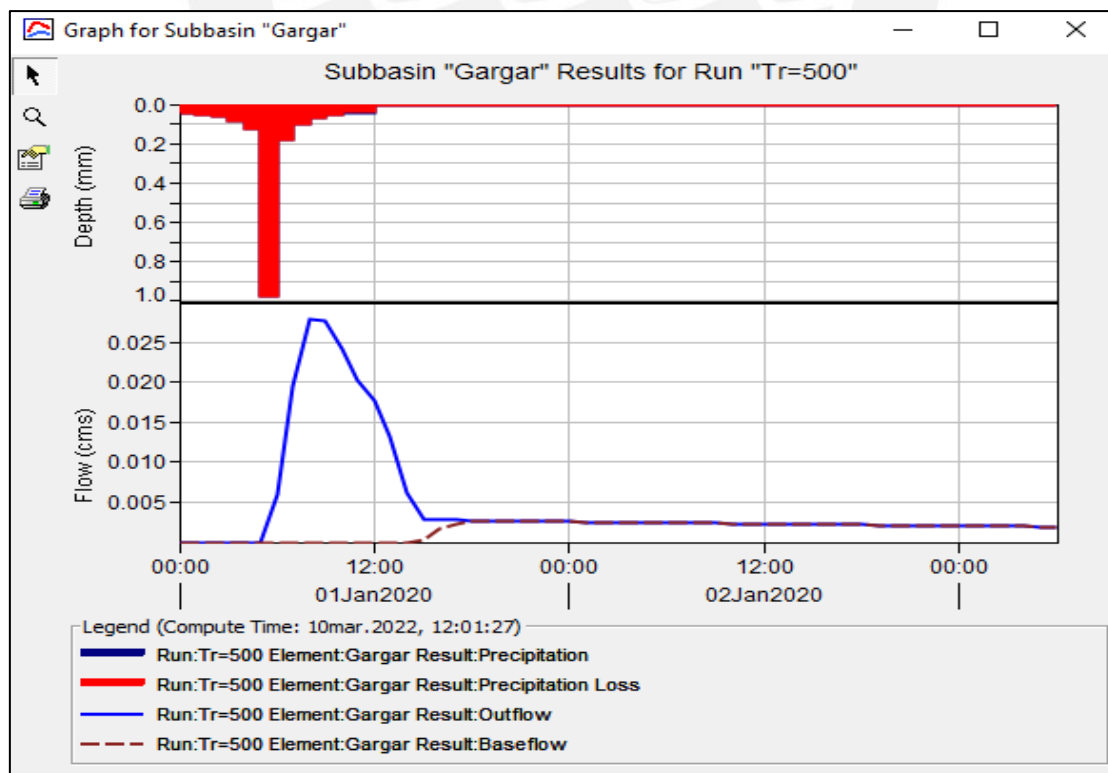
SUBCUENCA MEDIO HUARMEY



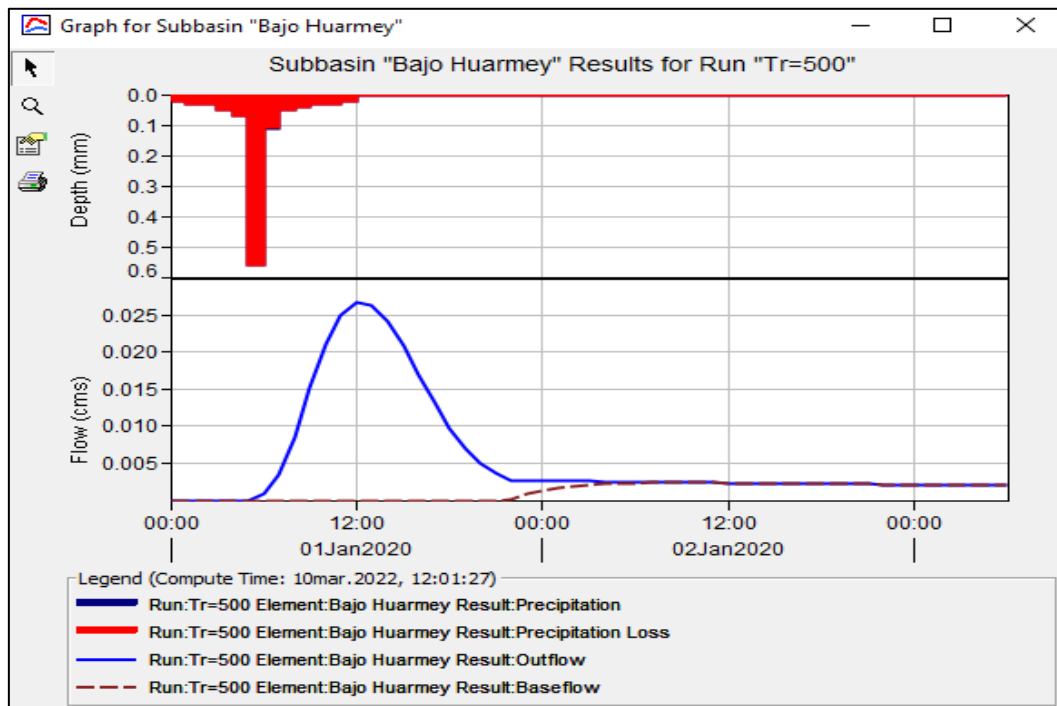
SUBCUENCA PEDREGAL



SUBCUENCA GARGAR

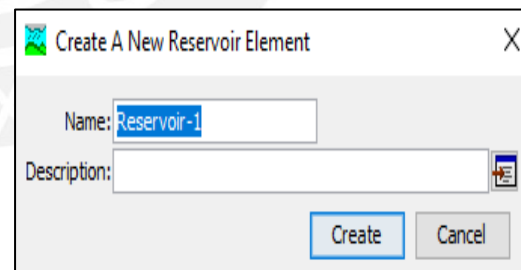
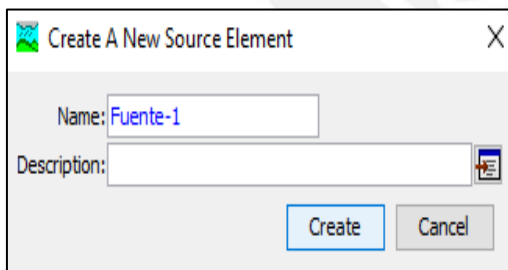


SUBCUENCA BAJO HUARMEY

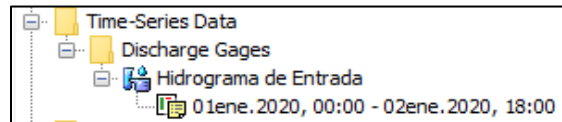


ANEXO 07. *Proceso de la modelación del Reservorio en Hec-HMS*

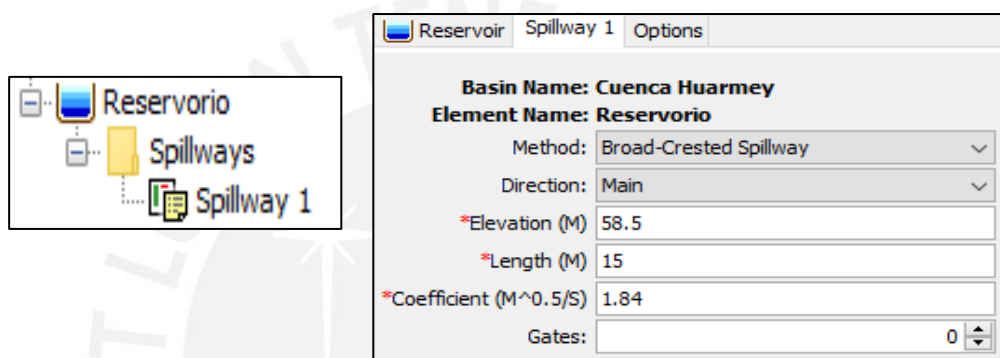
- Para incorporar los elementos nos dirigimos a SOURCE CREATION TOOL para la fuente y RESERVOIR CREATION TOOL para el reservorio, luego se asigna el nombre a cada elemento.



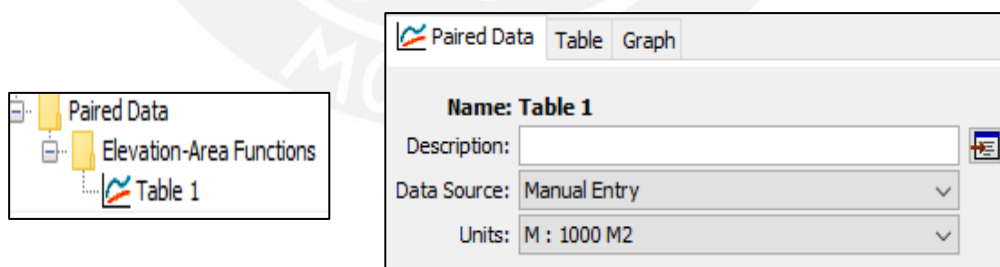
- La fuente necesitará un hidrograma de entrada, por lo que se creará un nuevo componente de TIME-SERIE DATA, pero esta vez considerando la opción de DISCHARGE GATES lo cual nos permite trabajar con datos de caudales obtenidos del modelo, el caso que analizaremos es para un Tr de 100 años.

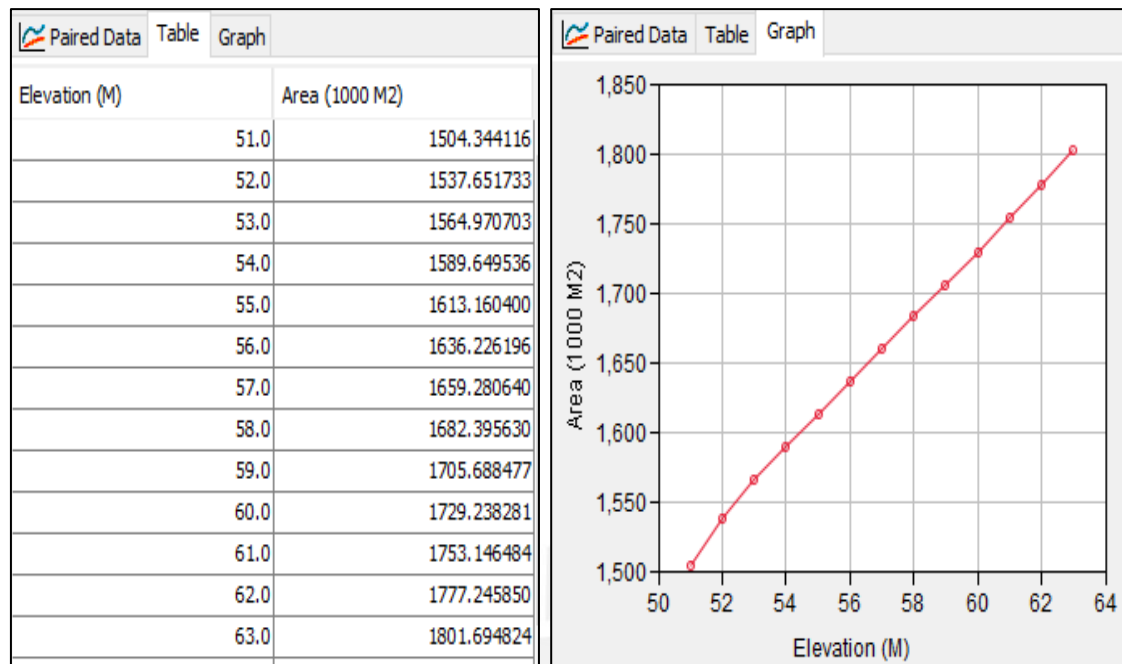


- Por otro lado, se ingresa los parámetros geométricos del vertedero del reservorio, considerando una longitud del mismo de 15 m.



- Finalmente, se crea una paridad de datos para relacionar la capacidad del reservorio con los demás componentes. Se ingresa al componente PAIRED DATA y en la opción ELEVATION-AREA FUNCTION; es aquí en donde se ingresa la topografía del reservorio para luego correr el programa.





ANEXO 08. Resultados del Tránsito de Avenidas con el Reservorio de control

Summary Results for Reservoir "Reservorio"

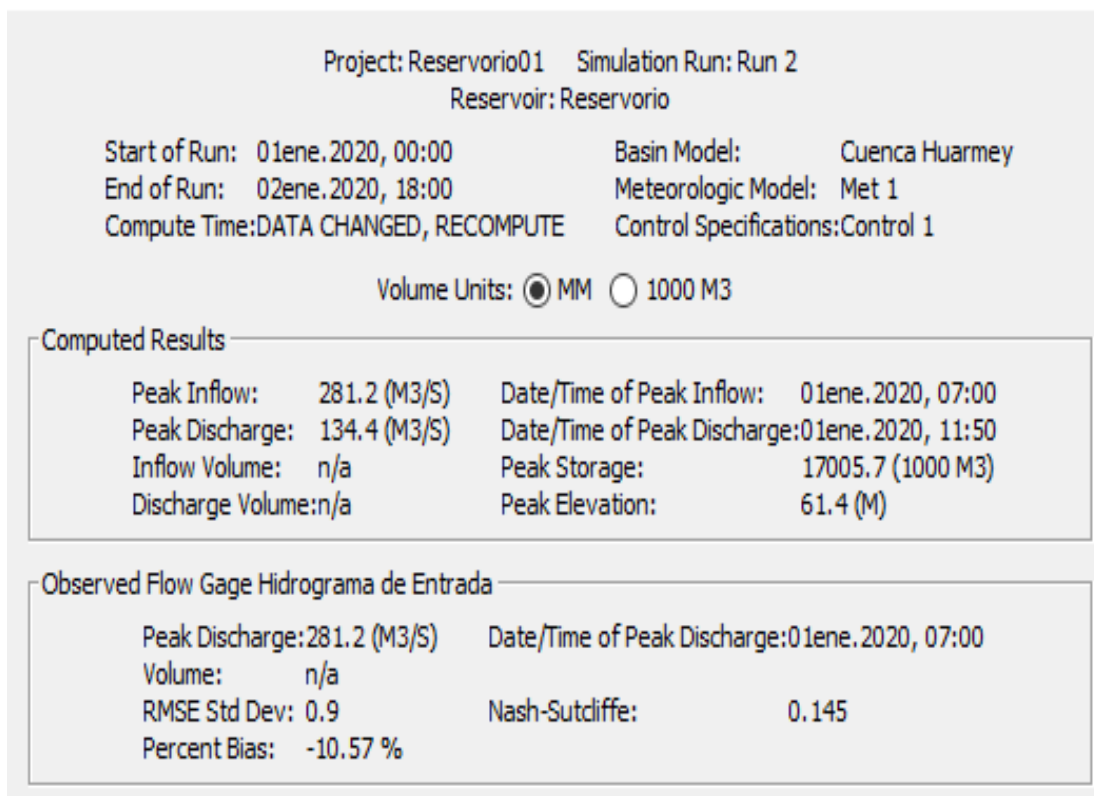
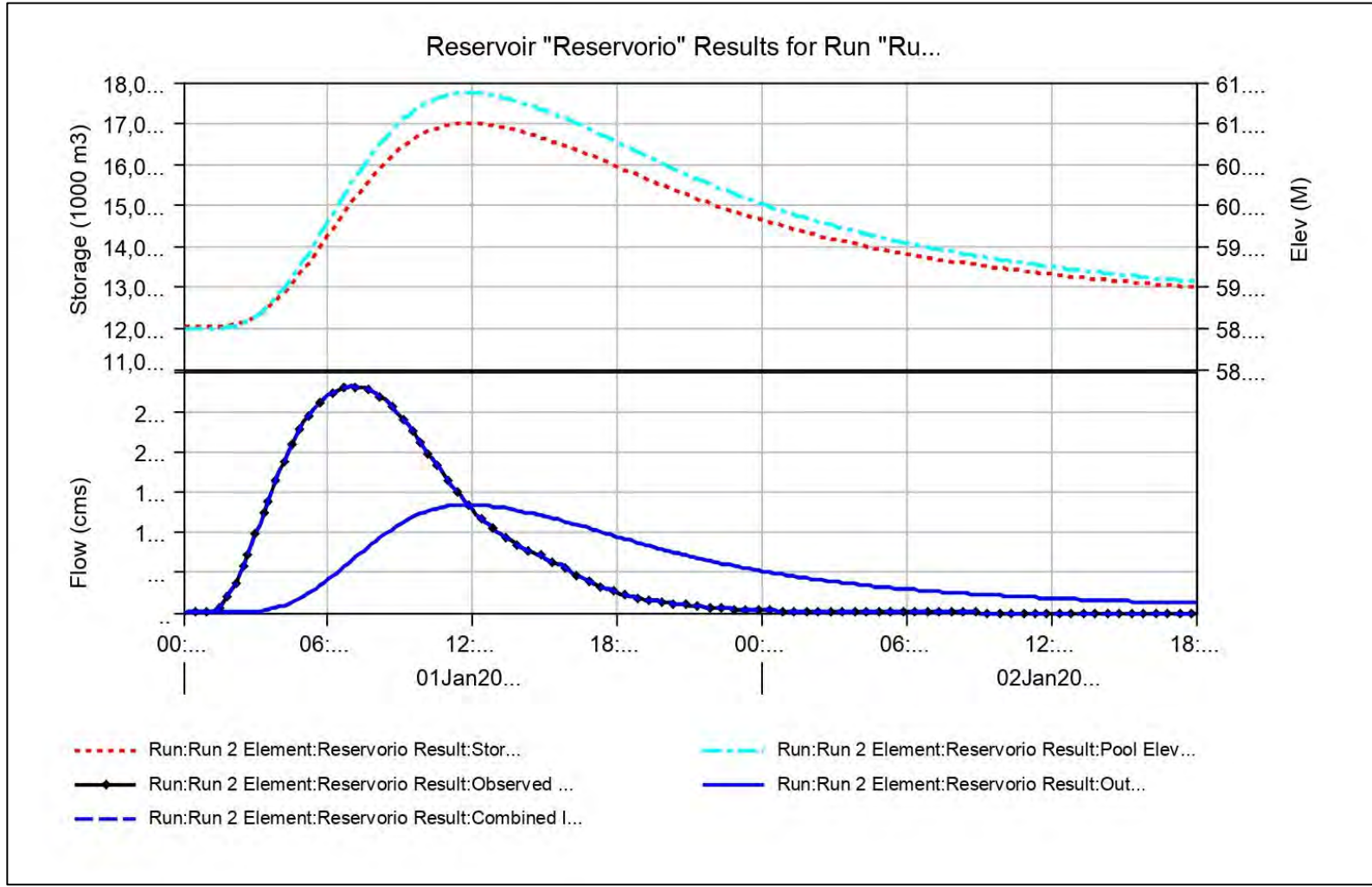


Figura 61 Resultados de la laminación de Hidrogramas debido a la presencia de un Reservorio de Control



Fuente: Elaboración propia

Tabla 26 Resultados del Transido de Avenidas - Hec HMS

| DATE | TIME | INFLOW (m3/s) | STORAGE (1000 m3) | ELEVATION (m) | OUTFLOW (m3/s) | OBS FLOW (m3/s) |
|------------|------|------------------|----------------------|------------------|-------------------|-----------------------|
| 01ene.2020 | 0:00 | 0 | 12041.2 | 58.5 | 0 | 0 |
| 01ene.2020 | 0:10 | 0.1 | 12041.2 | 58.5 | 0 | 0.1 |
| 01ene.2020 | 0:20 | 0.1 | 12041.3 | 58.5 | 0 | 0.1 |
| 01ene.2020 | 0:30 | 0.1 | 12041.4 | 58.5 | 0 | 0.1 |
| 01ene.2020 | 0:40 | 0.1 | 12041.4 | 58.5 | 0 | 0.1 |
| 01ene.2020 | 0:50 | 0.1 | 12041.5 | 58.5 | 0 | 0.1 |
| 01ene.2020 | 1:00 | 0.1 | 12041.5 | 58.5 | 0 | 0.1 |
| 01ene.2020 | 1:10 | 0.2 | 12041.6 | 58.5 | 0 | 0.2 |
| 01ene.2020 | 1:20 | 2.4 | 12042.4 | 58.5 | 0 | 2.4 |
| 01ene.2020 | 1:30 | 6.6 | 12045.1 | 58.5 | 0 | 6.6 |
| 01ene.2020 | 1:40 | 12.2 | 12050.7 | 58.5 | 0 | 12.2 |
| 01ene.2020 | 1:50 | 19.2 | 12060.1 | 58.5 | 0 | 19.2 |
| 01ene.2020 | 2:00 | 27.5 | 12074.1 | 58.5 | 0.1 | 27.5 |
| 01ene.2020 | 2:10 | 37 | 12093.4 | 58.5 | 0.1 | 37 |
| 01ene.2020 | 2:20 | 47.5 | 12118.6 | 58.5 | 0.3 | 47.5 |
| 01ene.2020 | 2:30 | 58.9 | 12150.3 | 58.6 | 0.5 | 58.9 |
| 01ene.2020 | 2:40 | 71 | 12189 | 58.6 | 0.7 | 71 |
| 01ene.2020 | 2:50 | 83.7 | 12234.8 | 58.6 | 1.1 | 83.7 |
| 01ene.2020 | 3:00 | 96.9 | 12288.2 | 58.6 | 1.5 | 96.9 |
| 01ene.2020 | 3:10 | 110.2 | 12349.3 | 58.7 | 2.1 | 110.2 |
| 01ene.2020 | 3:20 | 123.7 | 12417.9 | 58.7 | 2.9 | 123.7 |
| 01ene.2020 | 3:30 | 137.1 | 12494.2 | 58.8 | 3.8 | 137.1 |
| 01ene.2020 | 3:40 | 150.2 | 12577.7 | 58.8 | 4.9 | 150.2 |
| 01ene.2020 | 3:50 | 163.1 | 12668.4 | 58.9 | 6.2 | 163.1 |
| 01ene.2020 | 4:00 | 175.5 | 12765.8 | 58.9 | 7.7 | 175.5 |
| 01ene.2020 | 4:10 | 187.3 | 12869.5 | 59 | 9.4 | 187.3 |
| 01ene.2020 | 4:20 | 198.6 | 12979 | 59.1 | 11.3 | 198.6 |
| 01ene.2020 | 4:30 | 209.1 | 13093.9 | 59.1 | 13.5 | 209.1 |
| 01ene.2020 | 4:40 | 218.9 | 13213.5 | 59.2 | 15.8 | 218.9 |
| 01ene.2020 | 4:50 | 228 | 13337.3 | 59.3 | 18.3 | 228 |
| 01ene.2020 | 5:00 | 236.3 | 13464.8 | 59.3 | 21.1 | 236.3 |
| 01ene.2020 | 5:10 | 243.9 | 13595.3 | 59.4 | 24 | 243.9 |
| 01ene.2020 | 5:20 | 250.6 | 13728.3 | 59.5 | 27.2 | 250.6 |
| 01ene.2020 | 5:30 | 256.6 | 13863.2 | 59.6 | 30.4 | 256.6 |
| 01ene.2020 | 5:40 | 261.9 | 13999.5 | 59.6 | 33.9 | 261.9 |
| 01ene.2020 | 5:50 | 266.5 | 14136.6 | 59.7 | 37.5 | 266.5 |
| 01ene.2020 | 6:00 | 270.3 | 14274 | 59.8 | 41.2 | 270.3 |
| 01ene.2020 | 6:10 | 273.5 | 14411.2 | 59.9 | 45.1 | 273.5 |
| 01ene.2020 | 6:20 | 276.1 | 14547.9 | 60 | 49 | 276.1 |
| 01ene.2020 | 6:30 | 278.1 | 14683.5 | 60 | 53 | 278.1 |
| 01ene.2020 | 6:40 | 279.7 | 14817.9 | 60.1 | 57 | 279.7 |
| 01ene.2020 | 6:50 | 280.7 | 14950.6 | 60.2 | 61.1 | 280.7 |

| | | | | | | |
|------------|-------|-------|---------|------|-------|-------|
| 01ene.2020 | 7:00 | 281.2 | 15081.3 | 60.3 | 65.2 | 281.2 |
| 01ene.2020 | 7:10 | 281.1 | 15209.6 | 60.3 | 69.3 | 281.1 |
| 01ene.2020 | 7:20 | 280.5 | 15335.3 | 60.4 | 73.4 | 280.5 |
| 01ene.2020 | 7:30 | 279.3 | 15458 | 60.5 | 77.5 | 279.3 |
| 01ene.2020 | 7:40 | 277.6 | 15577.4 | 60.6 | 81.5 | 277.6 |
| 01ene.2020 | 7:50 | 275.2 | 15693.2 | 60.6 | 85.5 | 275.2 |
| 01ene.2020 | 8:00 | 272.3 | 15805 | 60.7 | 89.4 | 272.3 |
| 01ene.2020 | 8:10 | 268.9 | 15912.5 | 60.8 | 93.2 | 268.9 |
| 01ene.2020 | 8:20 | 265 | 16015.7 | 60.8 | 96.9 | 265 |
| 01ene.2020 | 8:30 | 260.5 | 16114.1 | 60.9 | 100.5 | 260.5 |
| 01ene.2020 | 8:40 | 255.6 | 16207.7 | 60.9 | 103.9 | 255.6 |
| 01ene.2020 | 8:50 | 250.3 | 16296.1 | 61 | 107.2 | 250.3 |
| 01ene.2020 | 9:00 | 244.7 | 16379.3 | 61 | 110.3 | 244.7 |
| 01ene.2020 | 9:10 | 238.7 | 16457.3 | 61.1 | 113.2 | 238.7 |
| 01ene.2020 | 9:20 | 232.4 | 16529.9 | 61.1 | 116 | 232.4 |
| 01ene.2020 | 9:30 | 225.8 | 16597 | 61.1 | 118.5 | 225.8 |
| 01ene.2020 | 9:40 | 219.1 | 16658.7 | 61.2 | 120.9 | 219.1 |
| 01ene.2020 | 9:50 | 212.3 | 16714.9 | 61.2 | 123 | 212.3 |
| 01ene.2020 | 10:00 | 205.4 | 16765.8 | 61.2 | 125 | 205.4 |
| 01ene.2020 | 10:10 | 198.4 | 16811.4 | 61.3 | 126.8 | 198.4 |
| 01ene.2020 | 10:20 | 191.3 | 16851.8 | 61.3 | 128.3 | 191.3 |
| 01ene.2020 | 10:30 | 184.2 | 16887 | 61.3 | 129.7 | 184.2 |
| 01ene.2020 | 10:40 | 177.2 | 16917.2 | 61.3 | 130.9 | 177.2 |
| 01ene.2020 | 10:50 | 170.4 | 16942.7 | 61.3 | 131.9 | 170.4 |
| 01ene.2020 | 11:00 | 163.6 | 16963.5 | 61.3 | 132.7 | 163.6 |
| 01ene.2020 | 11:10 | 157.1 | 16979.8 | 61.4 | 133.4 | 157.1 |
| 01ene.2020 | 11:20 | 150.8 | 16992 | 61.4 | 133.9 | 150.8 |
| 01ene.2020 | 11:30 | 144.7 | 17000.3 | 61.4 | 134.2 | 144.7 |
| 01ene.2020 | 11:40 | 138.8 | 17004.7 | 61.4 | 134.4 | 138.8 |
| 01ene.2020 | 11:50 | 133.2 | 17005.7 | 61.4 | 134.4 | 133.2 |
| 01ene.2020 | 12:00 | 127.8 | 17003.4 | 61.4 | 134.3 | 127.8 |
| 01ene.2020 | 12:10 | 122.7 | 16998 | 61.4 | 134.1 | 122.7 |
| 01ene.2020 | 12:20 | 117.9 | 16989.8 | 61.4 | 133.8 | 117.9 |
| 01ene.2020 | 12:30 | 113.3 | 16979 | 61.4 | 133.4 | 113.3 |
| 01ene.2020 | 12:40 | 109 | 16965.8 | 61.4 | 132.8 | 109 |
| 01ene.2020 | 12:50 | 104.8 | 16950.4 | 61.3 | 132.2 | 104.8 |
| 01ene.2020 | 13:00 | 101 | 16933.1 | 61.3 | 131.5 | 101 |
| 01ene.2020 | 13:10 | 97.3 | 16913.8 | 61.3 | 130.8 | 97.3 |
| 01ene.2020 | 13:20 | 93.9 | 16893 | 61.3 | 130 | 93.9 |
| 01ene.2020 | 13:30 | 90.7 | 16870.6 | 61.3 | 129.1 | 90.7 |
| 01ene.2020 | 13:40 | 87.7 | 16847 | 61.3 | 128.2 | 87.7 |
| 01ene.2020 | 13:50 | 84.8 | 16822.1 | 61.3 | 127.2 | 84.8 |
| 01ene.2020 | 14:00 | 82.2 | 16796.2 | 61.3 | 126.2 | 82.2 |
| 01ene.2020 | 14:10 | 79.7 | 16769.4 | 61.2 | 125.1 | 79.7 |
| 01ene.2020 | 14:20 | 77.4 | 16741.8 | 61.2 | 124.1 | 77.4 |
| 01ene.2020 | 14:30 | 75.2 | 16713.4 | 61.2 | 123 | 75.2 |

| | | | | | | |
|------------|-------|------|---------|------|-------|------|
| 01ene.2020 | 14:40 | 73.2 | 16684.5 | 61.2 | 121.9 | 73.2 |
| 01ene.2020 | 14:50 | 71.3 | 16655.1 | 61.2 | 120.7 | 71.3 |
| 01ene.2020 | 15:00 | 67.6 | 16624.7 | 61.2 | 119.6 | 67.6 |
| 01ene.2020 | 15:10 | 64.6 | 16593 | 61.1 | 118.4 | 64.6 |
| 01ene.2020 | 15:20 | 62.3 | 16560.4 | 61.1 | 117.1 | 62.3 |
| 01ene.2020 | 15:30 | 60 | 16527.2 | 61.1 | 115.9 | 60 |
| 01ene.2020 | 15:40 | 59.6 | 16493.9 | 61.1 | 114.6 | 59.6 |
| 01ene.2020 | 15:50 | 56 | 16460.2 | 61.1 | 113.3 | 56 |
| 01ene.2020 | 16:00 | 52.7 | 16425.2 | 61 | 112 | 52.7 |
| 01ene.2020 | 16:10 | 49.5 | 16389.1 | 61 | 110.7 | 49.5 |
| 01ene.2020 | 16:20 | 46.5 | 16351.9 | 61 | 109.3 | 46.5 |
| 01ene.2020 | 16:30 | 43.7 | 16313.8 | 61 | 107.9 | 43.7 |
| 01ene.2020 | 16:40 | 41.1 | 16275 | 61 | 106.4 | 41.1 |
| 01ene.2020 | 16:50 | 38.7 | 16235.5 | 60.9 | 104.9 | 38.7 |
| 01ene.2020 | 17:00 | 36.3 | 16195.5 | 60.9 | 103.5 | 36.3 |
| 01ene.2020 | 17:10 | 34.2 | 16155 | 60.9 | 102 | 34.2 |
| 01ene.2020 | 17:20 | 32.1 | 16114.2 | 60.9 | 100.5 | 32.1 |
| 01ene.2020 | 17:30 | 30.2 | 16073 | 60.8 | 99 | 30.2 |
| 01ene.2020 | 17:40 | 28.4 | 16031.7 | 60.8 | 97.5 | 28.4 |
| 01ene.2020 | 17:50 | 26.7 | 15990.1 | 60.8 | 96 | 26.7 |
| 01ene.2020 | 18:00 | 25.1 | 15948.5 | 60.8 | 94.5 | 25.1 |
| 01ene.2020 | 18:10 | 23.6 | 15906.9 | 60.7 | 93 | 23.6 |
| 01ene.2020 | 18:20 | 22.1 | 15865.2 | 60.7 | 91.5 | 22.1 |
| 01ene.2020 | 18:30 | 20.8 | 15823.7 | 60.7 | 90 | 20.8 |
| 01ene.2020 | 18:40 | 19.6 | 15782.2 | 60.7 | 88.6 | 19.6 |
| 01ene.2020 | 18:50 | 18.4 | 15740.9 | 60.7 | 87.1 | 18.4 |
| 01ene.2020 | 19:00 | 17.3 | 15699.7 | 60.6 | 85.7 | 17.3 |
| 01ene.2020 | 19:10 | 16.5 | 15658.9 | 60.6 | 84.3 | 16.5 |
| 01ene.2020 | 19:20 | 15.7 | 15618.4 | 60.6 | 82.9 | 15.7 |
| 01ene.2020 | 19:30 | 15 | 15578.3 | 60.6 | 81.5 | 15 |
| 01ene.2020 | 19:40 | 14.3 | 15538.6 | 60.5 | 80.2 | 14.3 |
| 01ene.2020 | 19:50 | 13.7 | 15499.3 | 60.5 | 78.8 | 13.7 |
| 01ene.2020 | 20:00 | 12.9 | 15460.3 | 60.5 | 77.5 | 12.9 |
| 01ene.2020 | 20:10 | 12.1 | 15421.7 | 60.5 | 76.2 | 12.1 |
| 01ene.2020 | 20:20 | 11.4 | 15383.4 | 60.4 | 75 | 11.4 |
| 01ene.2020 | 20:30 | 10.7 | 15345.4 | 60.4 | 73.7 | 10.7 |
| 01ene.2020 | 20:40 | 10.1 | 15307.8 | 60.4 | 72.5 | 10.1 |
| 01ene.2020 | 20:50 | 9.5 | 15270.5 | 60.4 | 71.3 | 9.5 |
| 01ene.2020 | 21:00 | 8.9 | 15233.7 | 60.4 | 70.1 | 8.9 |
| 01ene.2020 | 21:10 | 8.4 | 15197.2 | 60.3 | 68.9 | 8.4 |
| 01ene.2020 | 21:20 | 7.9 | 15161.1 | 60.3 | 67.7 | 7.9 |
| 01ene.2020 | 21:30 | 7.4 | 15125.3 | 60.3 | 66.6 | 7.4 |
| 01ene.2020 | 21:40 | 6.9 | 15090 | 60.3 | 65.4 | 6.9 |
| 01ene.2020 | 21:50 | 6.5 | 15055.1 | 60.3 | 64.3 | 6.5 |
| 01ene.2020 | 22:00 | 6.1 | 15020.7 | 60.2 | 63.3 | 6.1 |
| 01ene.2020 | 22:10 | 5.8 | 14986.6 | 60.2 | 62.2 | 5.8 |

| | | | | | | |
|------------|-------|-----|---------|------|------|-----|
| 01ene.2020 | 22:20 | 5.4 | 14952.9 | 60.2 | 61.1 | 5.4 |
| 01ene.2020 | 22:30 | 5.1 | 14919.7 | 60.2 | 60.1 | 5.1 |
| 01ene.2020 | 22:40 | 4.8 | 14886.9 | 60.2 | 59.1 | 4.8 |
| 01ene.2020 | 22:50 | 4.5 | 14854.5 | 60.1 | 58.1 | 4.5 |
| 01ene.2020 | 23:00 | 4.2 | 14822.6 | 60.1 | 57.2 | 4.2 |
| 01ene.2020 | 23:10 | 4 | 14791 | 60.1 | 56.2 | 4 |
| 01ene.2020 | 23:20 | 3.7 | 14759.9 | 60.1 | 55.3 | 3.7 |
| 01ene.2020 | 23:30 | 3.5 | 14729.2 | 60.1 | 54.3 | 3.5 |
| 01ene.2020 | 23:40 | 3.3 | 14698.9 | 60.1 | 53.4 | 3.3 |
| 01ene.2020 | 23:50 | 3.1 | 14669 | 60 | 52.6 | 3.1 |
| 02ene.2020 | 0:00 | 2.9 | 14639.6 | 60 | 51.7 | 2.9 |
| 02ene.2020 | 0:10 | 2.7 | 14610.5 | 60 | 50.8 | 2.7 |
| 02ene.2020 | 0:20 | 2.6 | 14581.8 | 60 | 50 | 2.6 |
| 02ene.2020 | 0:30 | 2.4 | 14553.6 | 60 | 49.2 | 2.4 |
| 02ene.2020 | 0:40 | 2.3 | 14525.7 | 60 | 48.4 | 2.3 |
| 02ene.2020 | 0:50 | 2.1 | 14498.3 | 59.9 | 47.6 | 2.1 |
| 02ene.2020 | 1:00 | 2 | 14471.2 | 59.9 | 46.8 | 2 |
| 02ene.2020 | 1:10 | 1.9 | 14444.5 | 59.9 | 46 | 1.9 |
| 02ene.2020 | 1:20 | 1.8 | 14418.3 | 59.9 | 45.3 | 1.8 |
| 02ene.2020 | 1:30 | 1.7 | 14392.3 | 59.9 | 44.5 | 1.7 |
| 02ene.2020 | 1:40 | 1.6 | 14366.8 | 59.9 | 43.8 | 1.6 |
| 02ene.2020 | 1:50 | 1.5 | 14341.6 | 59.8 | 43.1 | 1.5 |
| 02ene.2020 | 2:00 | 1.4 | 14316.8 | 59.8 | 42.4 | 1.4 |
| 02ene.2020 | 2:10 | 1.3 | 14292.4 | 59.8 | 41.7 | 1.3 |
| 02ene.2020 | 2:20 | 1.2 | 14268.3 | 59.8 | 41.1 | 1.2 |
| 02ene.2020 | 2:30 | 1.1 | 14244.6 | 59.8 | 40.4 | 1.1 |
| 02ene.2020 | 2:40 | 1.1 | 14221.2 | 59.8 | 39.8 | 1.1 |
| 02ene.2020 | 2:50 | 1 | 14198.1 | 59.8 | 39.2 | 1 |
| 02ene.2020 | 3:00 | 1 | 14175.4 | 59.7 | 38.5 | 1 |
| 02ene.2020 | 3:10 | 0.9 | 14153 | 59.7 | 37.9 | 0.9 |
| 02ene.2020 | 3:20 | 0.9 | 14131 | 59.7 | 37.4 | 0.9 |
| 02ene.2020 | 3:30 | 0.8 | 14109.2 | 59.7 | 36.8 | 0.8 |
| 02ene.2020 | 3:40 | 0.8 | 14087.8 | 59.7 | 36.2 | 0.8 |
| 02ene.2020 | 3:50 | 0.7 | 14066.7 | 59.7 | 35.7 | 0.7 |
| 02ene.2020 | 4:00 | 0.7 | 14045.8 | 59.7 | 35.1 | 0.7 |
| 02ene.2020 | 4:10 | 0.6 | 14025.3 | 59.7 | 34.6 | 0.6 |
| 02ene.2020 | 4:20 | 0.6 | 14005.1 | 59.7 | 34.1 | 0.6 |
| 02ene.2020 | 4:30 | 0.6 | 13985.1 | 59.6 | 33.5 | 0.6 |
| 02ene.2020 | 4:40 | 0.5 | 13965.5 | 59.6 | 33 | 0.5 |
| 02ene.2020 | 4:50 | 0.5 | 13946.1 | 59.6 | 32.5 | 0.5 |
| 02ene.2020 | 5:00 | 0.5 | 13927 | 59.6 | 32.1 | 0.5 |
| 02ene.2020 | 5:10 | 0.4 | 13908.2 | 59.6 | 31.6 | 0.4 |
| 02ene.2020 | 5:20 | 0.4 | 13889.7 | 59.6 | 31.1 | 0.4 |
| 02ene.2020 | 5:30 | 0.4 | 13871.4 | 59.6 | 30.7 | 0.4 |
| 02ene.2020 | 5:40 | 0.4 | 13853.3 | 59.6 | 30.2 | 0.4 |
| 02ene.2020 | 5:50 | 0.3 | 13835.5 | 59.6 | 29.8 | 0.3 |

| | | | | | | |
|------------|-------|-----|---------|------|------|-----|
| 02ene.2020 | 6:00 | 0.3 | 13818 | 59.5 | 29.3 | 0.3 |
| 02ene.2020 | 6:10 | 0.3 | 13800.7 | 59.5 | 28.9 | 0.3 |
| 02ene.2020 | 6:20 | 0.3 | 13783.7 | 59.5 | 28.5 | 0.3 |
| 02ene.2020 | 6:30 | 0.3 | 13766.9 | 59.5 | 28.1 | 0.3 |
| 02ene.2020 | 6:40 | 0.2 | 13750.3 | 59.5 | 27.7 | 0.2 |
| 02ene.2020 | 6:50 | 0.2 | 13733.9 | 59.5 | 27.3 | 0.2 |
| 02ene.2020 | 7:00 | 0.2 | 13717.8 | 59.5 | 26.9 | 0.2 |
| 02ene.2020 | 7:10 | 0.2 | 13701.9 | 59.5 | 26.5 | 0.2 |
| 02ene.2020 | 7:20 | 0.2 | 13686.2 | 59.5 | 26.1 | 0.2 |
| 02ene.2020 | 7:30 | 0.2 | 13670.8 | 59.5 | 25.8 | 0.2 |
| 02ene.2020 | 7:40 | 0.2 | 13655.5 | 59.4 | 25.4 | 0.2 |
| 02ene.2020 | 7:50 | 0.2 | 13640.5 | 59.4 | 25.1 | 0.2 |
| 02ene.2020 | 8:00 | 0.2 | 13625.6 | 59.4 | 24.7 | 0.2 |
| 02ene.2020 | 8:10 | 0.1 | 13611 | 59.4 | 24.4 | 0.1 |
| 02ene.2020 | 8:20 | 0.1 | 13596.5 | 59.4 | 24.1 | 0.1 |
| 02ene.2020 | 8:30 | 0.1 | 13582.2 | 59.4 | 23.7 | 0.1 |
| 02ene.2020 | 8:40 | 0.1 | 13568.2 | 59.4 | 23.4 | 0.1 |
| 02ene.2020 | 8:50 | 0.1 | 13554.3 | 59.4 | 23.1 | 0.1 |
| 02ene.2020 | 9:00 | 0 | 13540.5 | 59.4 | 22.8 | 0 |
| 02ene.2020 | 9:10 | 0 | 13527 | 59.4 | 22.5 | 0 |
| 02ene.2020 | 9:20 | 0 | 13513.6 | 59.4 | 22.2 | 0 |
| 02ene.2020 | 9:30 | 0 | 13500.3 | 59.4 | 21.9 | 0 |
| 02ene.2020 | 9:40 | 0 | 13487.3 | 59.3 | 21.6 | 0 |
| 02ene.2020 | 9:50 | 0 | 13474.4 | 59.3 | 21.3 | 0 |
| 02ene.2020 | 10:00 | 0 | 13461.8 | 59.3 | 21 | 0 |
| 02ene.2020 | 10:10 | 0 | 13449.2 | 59.3 | 20.7 | 0 |
| 02ene.2020 | 10:20 | 0 | 13436.9 | 59.3 | 20.5 | 0 |
| 02ene.2020 | 10:30 | 0 | 13424.7 | 59.3 | 20.2 | 0 |
| 02ene.2020 | 10:40 | 0 | 13412.6 | 59.3 | 19.9 | 0 |
| 02ene.2020 | 10:50 | 0 | 13400.7 | 59.3 | 19.7 | 0 |
| 02ene.2020 | 11:00 | 0 | 13389 | 59.3 | 19.4 | 0 |
| 02ene.2020 | 11:10 | 0 | 13377.4 | 59.3 | 19.2 | 0 |
| 02ene.2020 | 11:20 | 0 | 13365.9 | 59.3 | 18.9 | 0 |
| 02ene.2020 | 11:30 | 0 | 13354.7 | 59.3 | 18.7 | 0 |
| 02ene.2020 | 11:40 | 0 | 13343.5 | 59.3 | 18.5 | 0 |
| 02ene.2020 | 11:50 | 0 | 13332.5 | 59.3 | 18.2 | 0 |
| 02ene.2020 | 12:00 | 0 | 13321.6 | 59.3 | 18 | 0 |
| 02ene.2020 | 12:10 | 0 | 13310.9 | 59.2 | 17.8 | 0 |
| 02ene.2020 | 12:20 | 0 | 13300.3 | 59.2 | 17.6 | 0 |
| 02ene.2020 | 12:30 | 0 | 13289.8 | 59.2 | 17.3 | 0 |
| 02ene.2020 | 12:40 | 0 | 13279.4 | 59.2 | 17.1 | 0 |
| 02ene.2020 | 12:50 | 0 | 13269.2 | 59.2 | 16.9 | 0 |
| 02ene.2020 | 13:00 | 0 | 13259.1 | 59.2 | 16.7 | 0 |
| 02ene.2020 | 13:10 | 0 | 13249.2 | 59.2 | 16.5 | 0 |
| 02ene.2020 | 13:20 | 0 | 13239.3 | 59.2 | 16.3 | 0 |
| 02ene.2020 | 13:30 | 0 | 13229.6 | 59.2 | 16.1 | 0 |

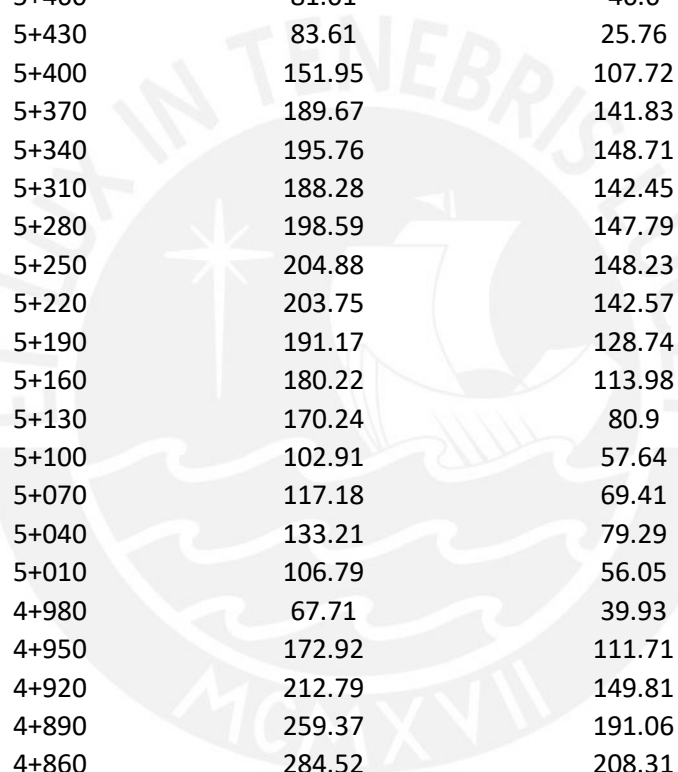
| | | | | | | |
|------------|-------|---|---------|------|------|---|
| 02ene.2020 | 13:40 | 0 | 13220 | 59.2 | 15.9 | 0 |
| 02ene.2020 | 13:50 | 0 | 13210.5 | 59.2 | 15.7 | 0 |
| 02ene.2020 | 14:00 | 0 | 13201.1 | 59.2 | 15.6 | 0 |
| 02ene.2020 | 14:10 | 0 | 13191.8 | 59.2 | 15.4 | 0 |
| 02ene.2020 | 14:20 | 0 | 13182.6 | 59.2 | 15.2 | 0 |
| 02ene.2020 | 14:30 | 0 | 13173.6 | 59.2 | 15 | 0 |
| 02ene.2020 | 14:40 | 0 | 13164.6 | 59.2 | 14.8 | 0 |
| 02ene.2020 | 14:50 | 0 | 13155.8 | 59.2 | 14.7 | 0 |
| 02ene.2020 | 15:00 | 0 | 13147 | 59.2 | 14.5 | 0 |
| 02ene.2020 | 15:10 | 0 | 13138.4 | 59.1 | 14.3 | 0 |
| 02ene.2020 | 15:20 | 0 | 13129.9 | 59.1 | 14.2 | 0 |
| 02ene.2020 | 15:30 | 0 | 13121.4 | 59.1 | 14 | 0 |
| 02ene.2020 | 15:40 | 0 | 13113.1 | 59.1 | 13.8 | 0 |
| 02ene.2020 | 15:50 | 0 | 13104.8 | 59.1 | 13.7 | 0 |
| 02ene.2020 | 16:00 | 0 | 13096.7 | 59.1 | 13.5 | 0 |
| 02ene.2020 | 16:10 | 0 | 13088.6 | 59.1 | 13.4 | 0 |
| 02ene.2020 | 16:20 | 0 | 13080.6 | 59.1 | 13.2 | 0 |
| 02ene.2020 | 16:30 | 0 | 13072.7 | 59.1 | 13.1 | 0 |
| 02ene.2020 | 16:40 | 0 | 13064.9 | 59.1 | 12.9 | 0 |
| 02ene.2020 | 16:50 | 0 | 13057.2 | 59.1 | 12.8 | 0 |
| 02ene.2020 | 17:00 | 0 | 13049.6 | 59.1 | 12.6 | 0 |
| 02ene.2020 | 17:10 | 0 | 13042.1 | 59.1 | 12.5 | 0 |
| 02ene.2020 | 17:20 | 0 | 13034.6 | 59.1 | 12.4 | 0 |

Fuente: Elaboración propia

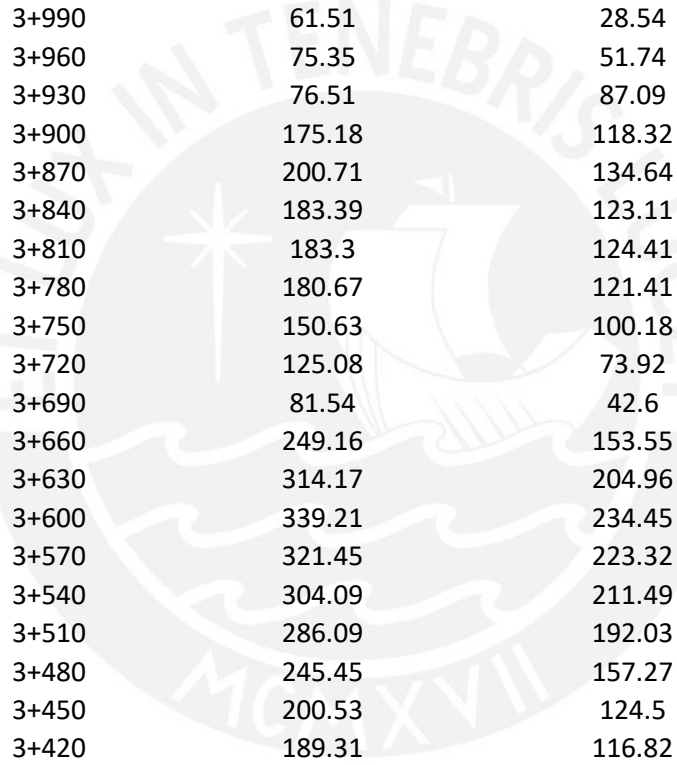
ANEXO 09. Área de inundación con y sin reservorio $Tr = 100$ años

| Sección de río (Km) | Área de Inundación sin reservorio (m ²) | Área de Inundación con reservorio (m ²) |
|------------------------|---|---|
| 8+580 | 3929.23 | 3382.48 |
| 8+550 | 5611.87 | 4966.78 |
| 8+520 | 6629.21 | 5935.06 |
| 8+490 | 6870.96 | 6176.81 |
| 8+460 | 6720.59 | 6026.44 |
| 8+430 | 6306.38 | 5612.23 |
| 8+400 | 5709.2 | 5015.06 |
| 8+370 | 4971.79 | 4403.95 |
| 8+340 | 4800.29 | 4317.93 |
| 8+310 | 4824.08 | 4372.14 |
| 8+280 | 4955.12 | 4516.22 |
| 8+250 | 4900.34 | 4476.26 |
| 8+220 | 4829.3 | 4414.14 |
| 8+190 | 4819.55 | 4410.31 |
| 8+160 | 4906.9 | 4493.14 |
| 8+130 | 4906.19 | 4494.83 |
| 8+100 | 4932.06 | 4514.29 |
| 8+070 | 5003 | 4574.66 |
| 8+040 | 5100.63 | 4652.3 |
| 8+010 | 5349 | 4852.81 |
| 7+980 | 5894.79 | 5330.54 |
| 7+950 | 6491.2 | 5855.38 |
| 7+920 | 7187.78 | 6493.65 |
| 7+890 | 7523.77 | 6829.64 |
| 7+860 | 7245.5 | 6551.37 |
| 7+830 | 6431.04 | 5736.92 |
| 7+800 | 5127.16 | 4433.05 |
| 7+770 | 3220.53 | 2603.72 |
| 7+740 | 1374.9 | 1046.87 |
| 7+710 | 636.89 | 522.52 |
| 7+680 | 406.38 | 321.16 |
| 7+650 | 275.79 | 208.69 |
| 7+620 | 188.07 | 135.14 |
| 7+590 | 126.12 | 84.5 |
| 7+560 | 97.75 | 63.19 |
| 7+530 | 61.29 | 36.54 |
| 7+500 | 49.51 | 27.4 |
| 7+470 | 49.69 | 27.76 |
| 7+440 | 51.86 | 28.96 |
| 7+410 | 54.16 | 30.22 |
| 7+380 | 56.19 | 31.2 |
| 7+350 | 58.7 | 32.69 |
| 7+320 | 61.74 | 34.4 |

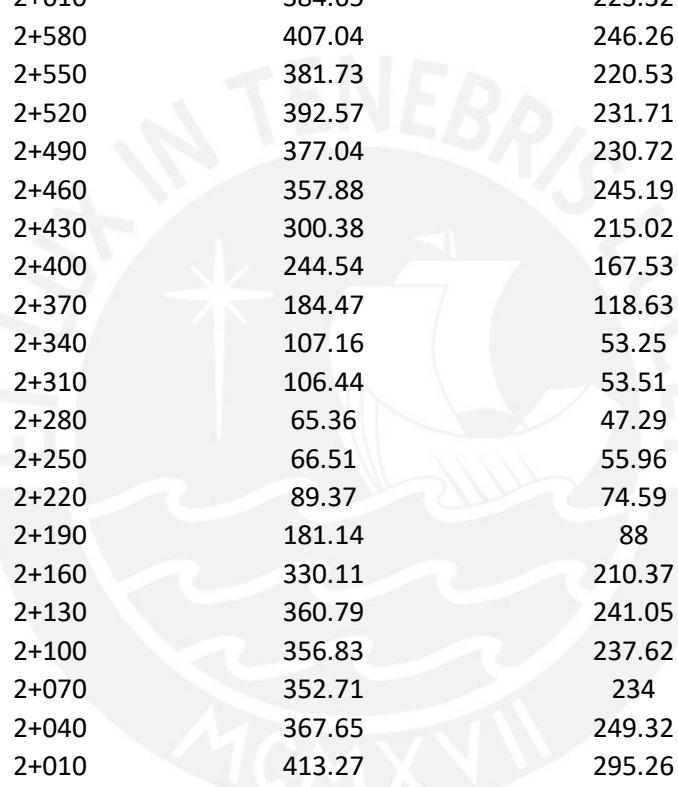
| | | |
|-------|---------|---------|
| 7+290 | 106.69 | 43.46 |
| 7+260 | 364.23 | 251.37 |
| 7+230 | 702.76 | 538.21 |
| 7+200 | 1051.47 | 842.58 |
| 7+170 | 1381.81 | 1124.29 |
| 7+140 | 1745.65 | 1435.39 |
| 7+110 | 2085.83 | 1739.83 |
| 7+080 | 2376.68 | 2006.44 |
| 7+050 | 2710.98 | 2293.81 |
| 7+020 | 2981.99 | 2521.08 |
| 6+990 | 2972.73 | 2510.96 |
| 6+960 | 2882.87 | 2437.78 |
| 6+930 | 2758.39 | 2336.58 |
| 6+900 | 2641.19 | 2244.07 |
| 6+870 | 2590.15 | 2207.89 |
| 6+840 | 2613.25 | 2243.27 |
| 6+810 | 2471.25 | 2123.23 |
| 6+780 | 2214.03 | 1894.58 |
| 6+750 | 1912.07 | 1626.24 |
| 6+720 | 1576.4 | 1330.11 |
| 6+690 | 1171.72 | 974.29 |
| 6+660 | 927.88 | 762.72 |
| 6+630 | 753 | 610.03 |
| 6+600 | 599.88 | 475.7 |
| 6+570 | 485.02 | 378.53 |
| 6+540 | 422.1 | 327.37 |
| 6+510 | 399.44 | 309.21 |
| 6+480 | 336.72 | 257.48 |
| 6+450 | 186.31 | 130.64 |
| 6+420 | 55.76 | 34.09 |
| 6+390 | 57.27 | 32.1 |
| 6+360 | 59.02 | 33.23 |
| 6+330 | 60.89 | 34.02 |
| 6+300 | 59.9 | 33.69 |
| 6+270 | 61.83 | 34.97 |
| 6+240 | 64.28 | 36.71 |
| 6+210 | 66.53 | 37.67 |
| 6+180 | 70.85 | 39.23 |
| 6+150 | 83.38 | 50.7 |
| 6+120 | 158.19 | 111.41 |
| 6+090 | 166.27 | 118.51 |
| 6+060 | 174.98 | 123.31 |
| 6+030 | 241.11 | 172.24 |
| 6+000 | 413.42 | 312.57 |
| 5+970 | 564.32 | 439.83 |
| 5+940 | 555.19 | 428.09 |
| 5+910 | 530.71 | 407.14 |
| 5+880 | 572.02 | 446.8 |



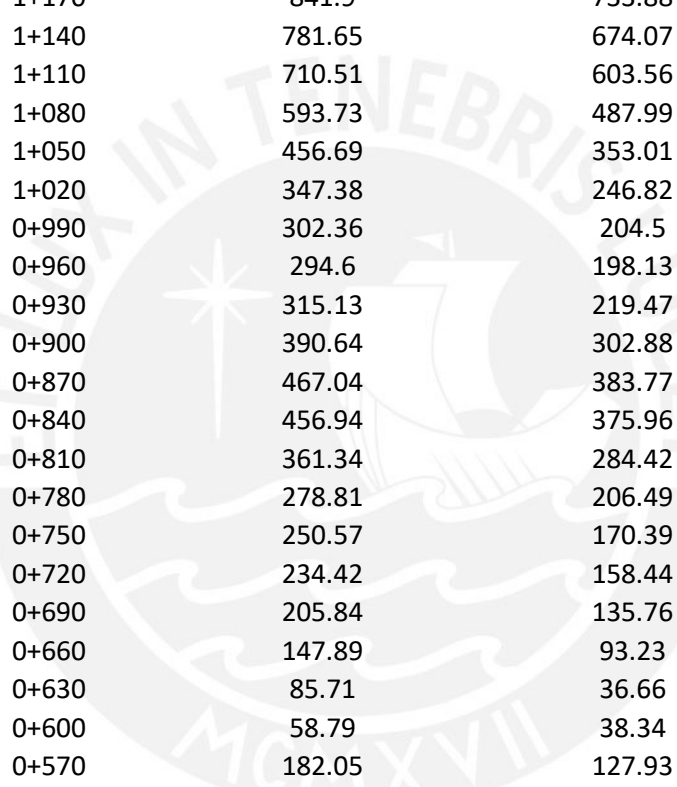
| | | |
|-------|--------|--------|
| 5+850 | 536.05 | 424.87 |
| 5+820 | 503.94 | 404.22 |
| 5+790 | 449.59 | 360.92 |
| 5+760 | 377.7 | 292.73 |
| 5+730 | 255.3 | 177.66 |
| 5+700 | 124.88 | 72.56 |
| 5+670 | 80.96 | 44.02 |
| 5+640 | 80.96 | 45.29 |
| 5+610 | 82.47 | 47.12 |
| 5+580 | 83.08 | 48.52 |
| 5+550 | 81.32 | 47.69 |
| 5+520 | 79.36 | 46.28 |
| 5+490 | 67.72 | 39.09 |
| 5+460 | 81.01 | 46.6 |
| 5+430 | 83.61 | 25.76 |
| 5+400 | 151.95 | 107.72 |
| 5+370 | 189.67 | 141.83 |
| 5+340 | 195.76 | 148.71 |
| 5+310 | 188.28 | 142.45 |
| 5+280 | 198.59 | 147.79 |
| 5+250 | 204.88 | 148.23 |
| 5+220 | 203.75 | 142.57 |
| 5+190 | 191.17 | 128.74 |
| 5+160 | 180.22 | 113.98 |
| 5+130 | 170.24 | 80.9 |
| 5+100 | 102.91 | 57.64 |
| 5+070 | 117.18 | 69.41 |
| 5+040 | 133.21 | 79.29 |
| 5+010 | 106.79 | 56.05 |
| 4+980 | 67.71 | 39.93 |
| 4+950 | 172.92 | 111.71 |
| 4+920 | 212.79 | 149.81 |
| 4+890 | 259.37 | 191.06 |
| 4+860 | 284.52 | 208.31 |
| 4+830 | 332.65 | 209.43 |
| 4+800 | 362.7 | 201.83 |
| 4+770 | 363.84 | 204.17 |
| 4+740 | 326.1 | 170.38 |
| 4+710 | 281.73 | 131.9 |
| 4+680 | 296.77 | 147.4 |
| 4+650 | 256.09 | 115.36 |
| 4+620 | 146.82 | 62.86 |
| 4+590 | 103.7 | 73.02 |
| 4+560 | 68.86 | 36.91 |
| 4+530 | 79.28 | 47.16 |
| 4+500 | 293.95 | 198.17 |
| 4+470 | 455.29 | 333.4 |
| 4+440 | 582.46 | 439.31 |



| | | |
|-------|--------|--------|
| 4+410 | 585.26 | 440.87 |
| 4+380 | 533.4 | 392.3 |
| 4+350 | 486.54 | 348.86 |
| 4+320 | 482.63 | 347.52 |
| 4+290 | 516.09 | 379.88 |
| 4+260 | 517.8 | 386.38 |
| 4+230 | 496.24 | 369.05 |
| 4+200 | 413.3 | 290.23 |
| 4+170 | 285.44 | 172.55 |
| 4+140 | 166.92 | 78.76 |
| 4+110 | 98.27 | 54.64 |
| 4+080 | 81.5 | 45.16 |
| 4+050 | 78.61 | 60.11 |
| 4+020 | 94.02 | 43.74 |
| 3+990 | 61.51 | 28.54 |
| 3+960 | 75.35 | 51.74 |
| 3+930 | 76.51 | 87.09 |
| 3+900 | 175.18 | 118.32 |
| 3+870 | 200.71 | 134.64 |
| 3+840 | 183.39 | 123.11 |
| 3+810 | 183.3 | 124.41 |
| 3+780 | 180.67 | 121.41 |
| 3+750 | 150.63 | 100.18 |
| 3+720 | 125.08 | 73.92 |
| 3+690 | 81.54 | 42.6 |
| 3+660 | 249.16 | 153.55 |
| 3+630 | 314.17 | 204.96 |
| 3+600 | 339.21 | 234.45 |
| 3+570 | 321.45 | 223.32 |
| 3+540 | 304.09 | 211.49 |
| 3+510 | 286.09 | 192.03 |
| 3+480 | 245.45 | 157.27 |
| 3+450 | 200.53 | 124.5 |
| 3+420 | 189.31 | 116.82 |
| 3+390 | 192.07 | 117.65 |
| 3+360 | 208.85 | 123.06 |
| 3+330 | 243.43 | 112.46 |
| 3+300 | 334.19 | 176.74 |
| 3+270 | 528.27 | 355.79 |
| 3+240 | 581.42 | 408.97 |
| 3+210 | 562.72 | 390.58 |
| 3+180 | 370.84 | 219.3 |
| 3+150 | 145.82 | 83.41 |
| 3+120 | 148.33 | 88.65 |
| 3+090 | 146.85 | 91.48 |
| 3+060 | 100.15 | 69.43 |
| 3+030 | 101.05 | 62.68 |
| 3+000 | 187.65 | 115.92 |



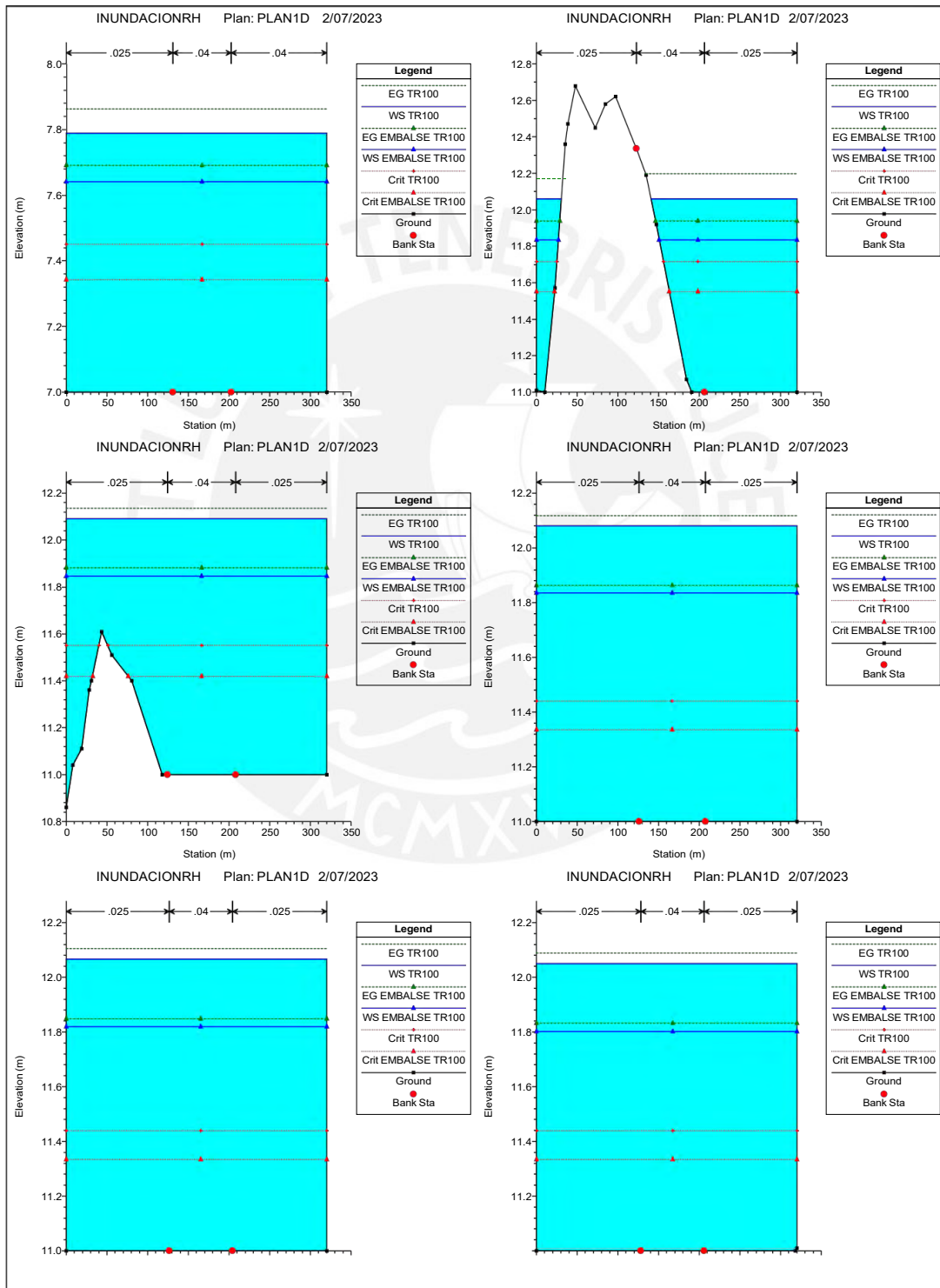
| | | |
|-------|--------|--------|
| 2+970 | 313.71 | 187.61 |
| 2+940 | 345.99 | 219.35 |
| 2+910 | 341.29 | 214.39 |
| 2+880 | 336.09 | 208.72 |
| 2+850 | 330.63 | 202.5 |
| 2+820 | 324.87 | 195.57 |
| 2+790 | 318.66 | 187.52 |
| 2+760 | 311.68 | 177.46 |
| 2+730 | 305.95 | 166.72 |
| 2+700 | 299.42 | 151.67 |
| 2+670 | 311.41 | 154.39 |
| 2+640 | 339.38 | 178.12 |
| 2+610 | 384.65 | 223.32 |
| 2+580 | 407.04 | 246.26 |
| 2+550 | 381.73 | 220.53 |
| 2+520 | 392.57 | 231.71 |
| 2+490 | 377.04 | 230.72 |
| 2+460 | 357.88 | 245.19 |
| 2+430 | 300.38 | 215.02 |
| 2+400 | 244.54 | 167.53 |
| 2+370 | 184.47 | 118.63 |
| 2+340 | 107.16 | 53.25 |
| 2+310 | 106.44 | 53.51 |
| 2+280 | 65.36 | 47.29 |
| 2+250 | 66.51 | 55.96 |
| 2+220 | 89.37 | 74.59 |
| 2+190 | 181.14 | 88 |
| 2+160 | 330.11 | 210.37 |
| 2+130 | 360.79 | 241.05 |
| 2+100 | 356.83 | 237.62 |
| 2+070 | 352.71 | 234 |
| 2+040 | 367.65 | 249.32 |
| 2+010 | 413.27 | 295.26 |
| 1+980 | 457.3 | 339.71 |
| 1+950 | 496.99 | 379.75 |
| 1+920 | 524.68 | 407.75 |
| 1+890 | 511.34 | 394.97 |
| 1+860 | 476.65 | 361.2 |
| 1+830 | 459.13 | 344.6 |
| 1+800 | 450.24 | 336.53 |
| 1+770 | 465.57 | 352.45 |
| 1+740 | 446.43 | 334.17 |
| 1+710 | 421.58 | 310.31 |
| 1+680 | 401.88 | 291.78 |
| 1+650 | 405.15 | 295.94 |
| 1+620 | 429.24 | 320.64 |
| 1+590 | 485.74 | 377.3 |
| 1+560 | 600.42 | 491.64 |

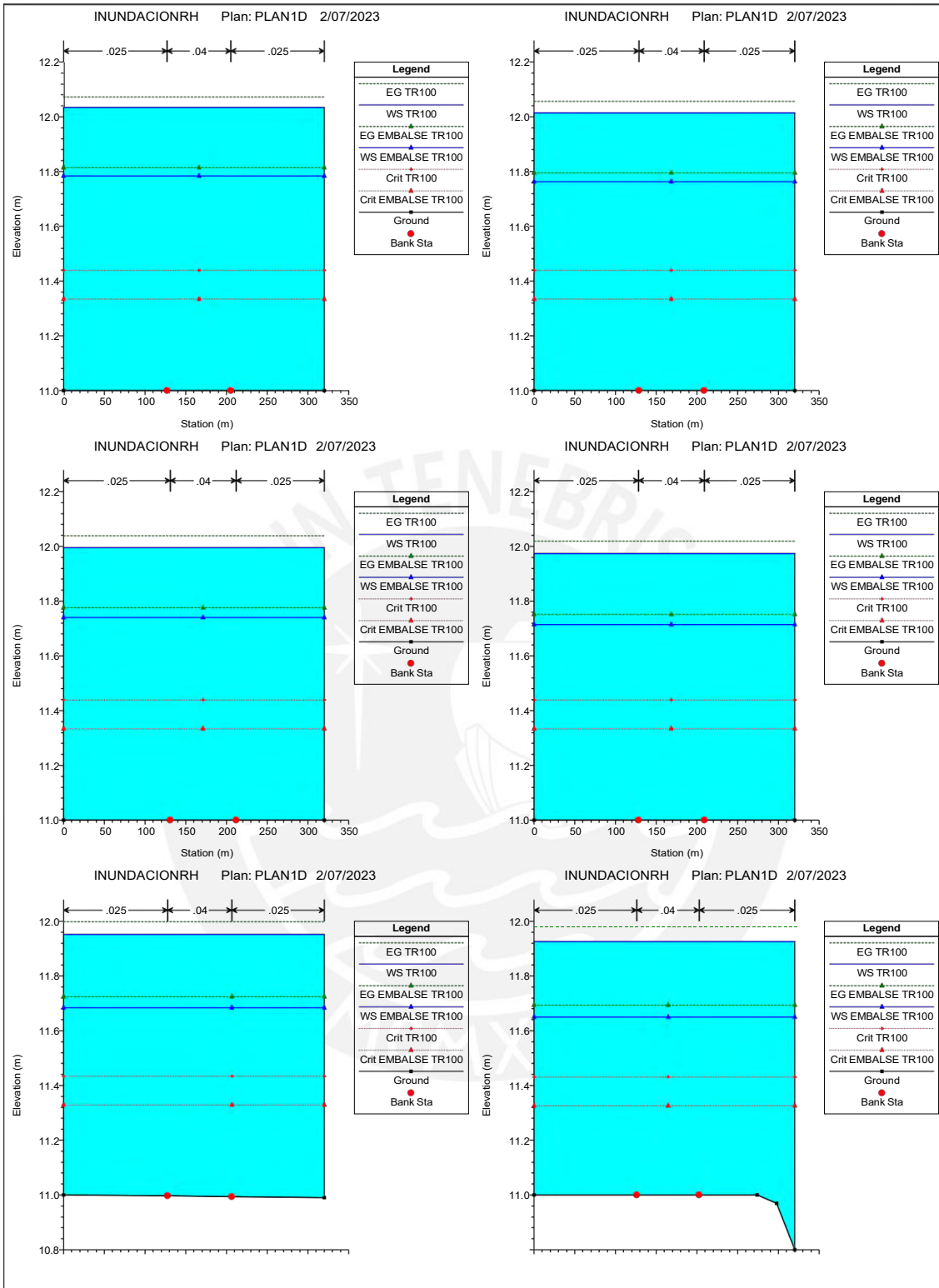


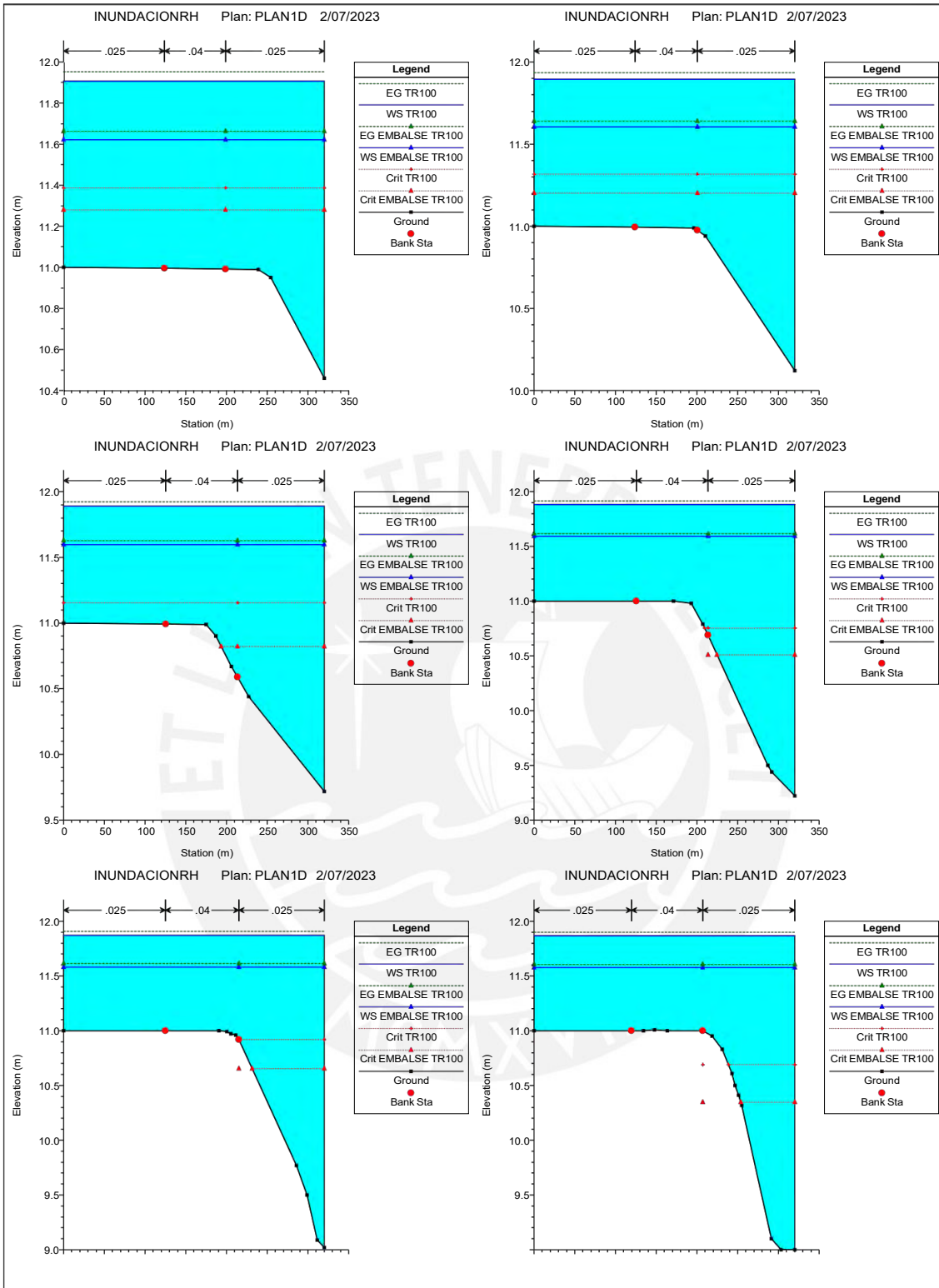
| | | |
|-------|--------|--------|
| 1+530 | 785.26 | 675.99 |
| 1+500 | 886.75 | 777.37 |
| 1+470 | 948.17 | 838.79 |
| 1+440 | 975.49 | 866.17 |
| 1+410 | 984.95 | 875.71 |
| 1+380 | 996.5 | 887.34 |
| 1+350 | 992.47 | 883.4 |
| 1+320 | 976.15 | 867.2 |
| 1+290 | 961.2 | 852.37 |
| 1+260 | 957.13 | 848.41 |
| 1+230 | 930.02 | 821.45 |
| 1+200 | 891.4 | 783.07 |
| 1+170 | 841.9 | 733.88 |
| 1+140 | 781.65 | 674.07 |
| 1+110 | 710.51 | 603.56 |
| 1+080 | 593.73 | 487.99 |
| 1+050 | 456.69 | 353.01 |
| 1+020 | 347.38 | 246.82 |
| 0+990 | 302.36 | 204.5 |
| 0+960 | 294.6 | 198.13 |
| 0+930 | 315.13 | 219.47 |
| 0+900 | 390.64 | 302.88 |
| 0+870 | 467.04 | 383.77 |
| 0+840 | 456.94 | 375.96 |
| 0+810 | 361.34 | 284.42 |
| 0+780 | 278.81 | 206.49 |
| 0+750 | 250.57 | 170.39 |
| 0+720 | 234.42 | 158.44 |
| 0+690 | 205.84 | 135.76 |
| 0+660 | 147.89 | 93.23 |
| 0+630 | 85.71 | 36.66 |
| 0+600 | 58.79 | 38.34 |
| 0+570 | 182.05 | 127.93 |
| 0+540 | 203.42 | 139.53 |
| 0+510 | 281.17 | 175.67 |
| 0+480 | 340.15 | 234.75 |
| 0+450 | 348.18 | 243.79 |
| 0+420 | 343.51 | 240.39 |
| 0+390 | 338.23 | 236.53 |
| 0+360 | 332.85 | 232.59 |
| 0+330 | 327.05 | 228.34 |
| 0+300 | 320.75 | 223.74 |
| 0+270 | 314.13 | 218.87 |
| 0+240 | 307.25 | 213.78 |
| 0+210 | 299.62 | 208.11 |
| 0+180 | 290.68 | 201.43 |
| 0+150 | 281.13 | 194.31 |
| 0+120 | 270.24 | 186.19 |

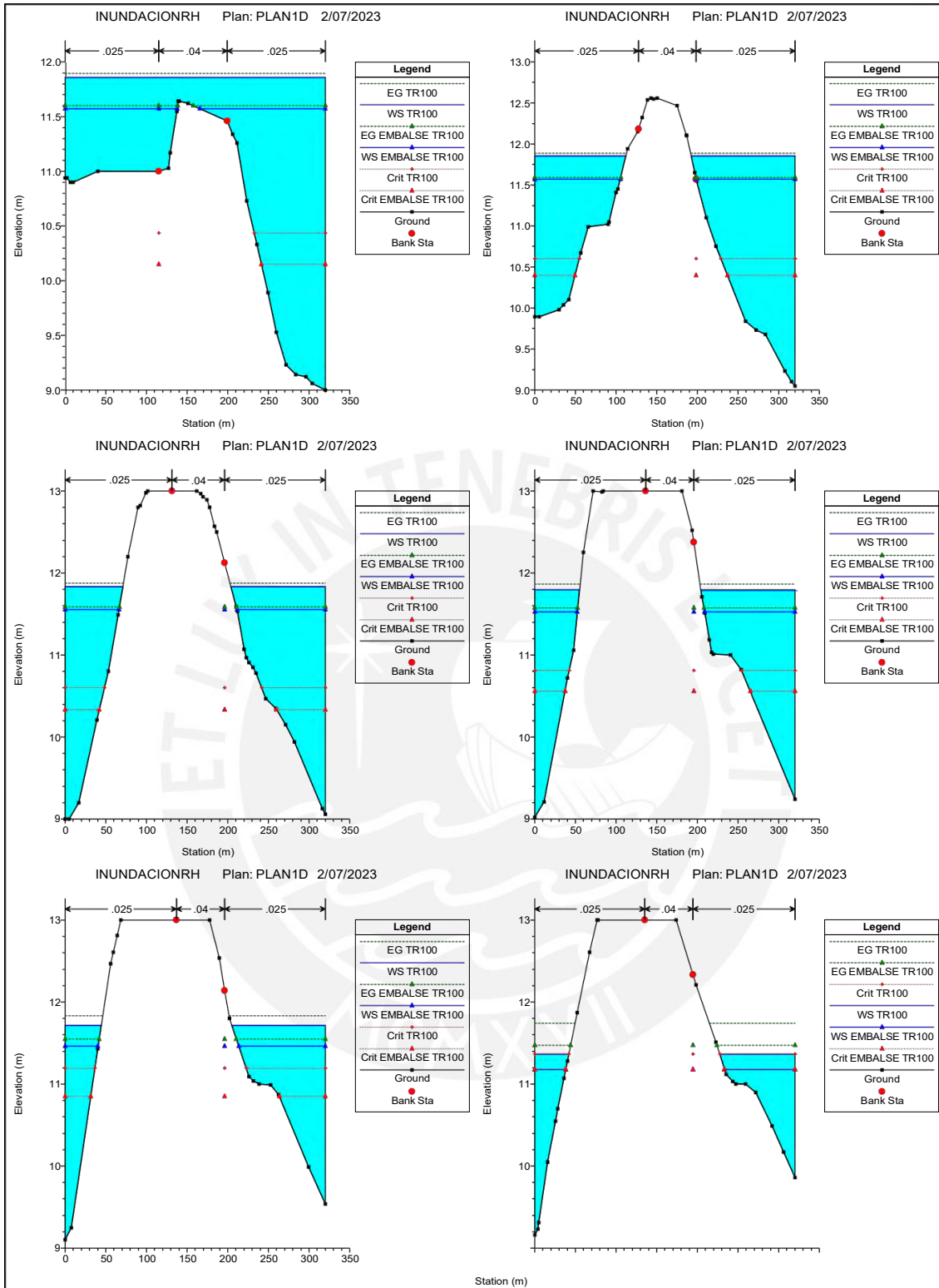
| | | |
|------------------------|--------------|--------------|
| 0+090 | 252.46 | 173.77 |
| 0+060 | 225.68 | 154.18 |
| 0+030 | 140.72 | 85.8 |
| AREA TOTAL (Ha) | 27.21 | 22.91 |

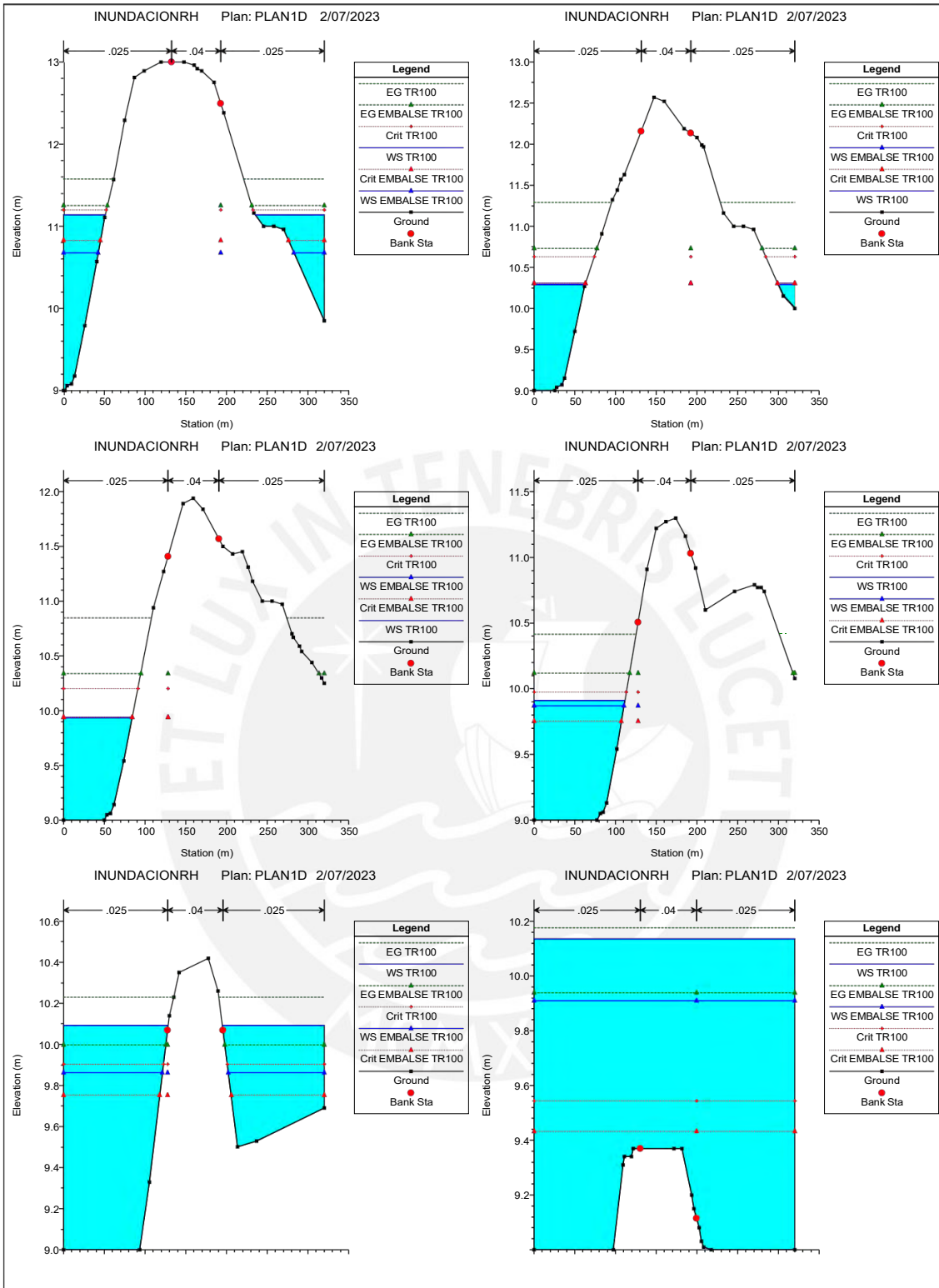
ANEXO 10. Secciones del río Huarmey $Tr = 100$ años

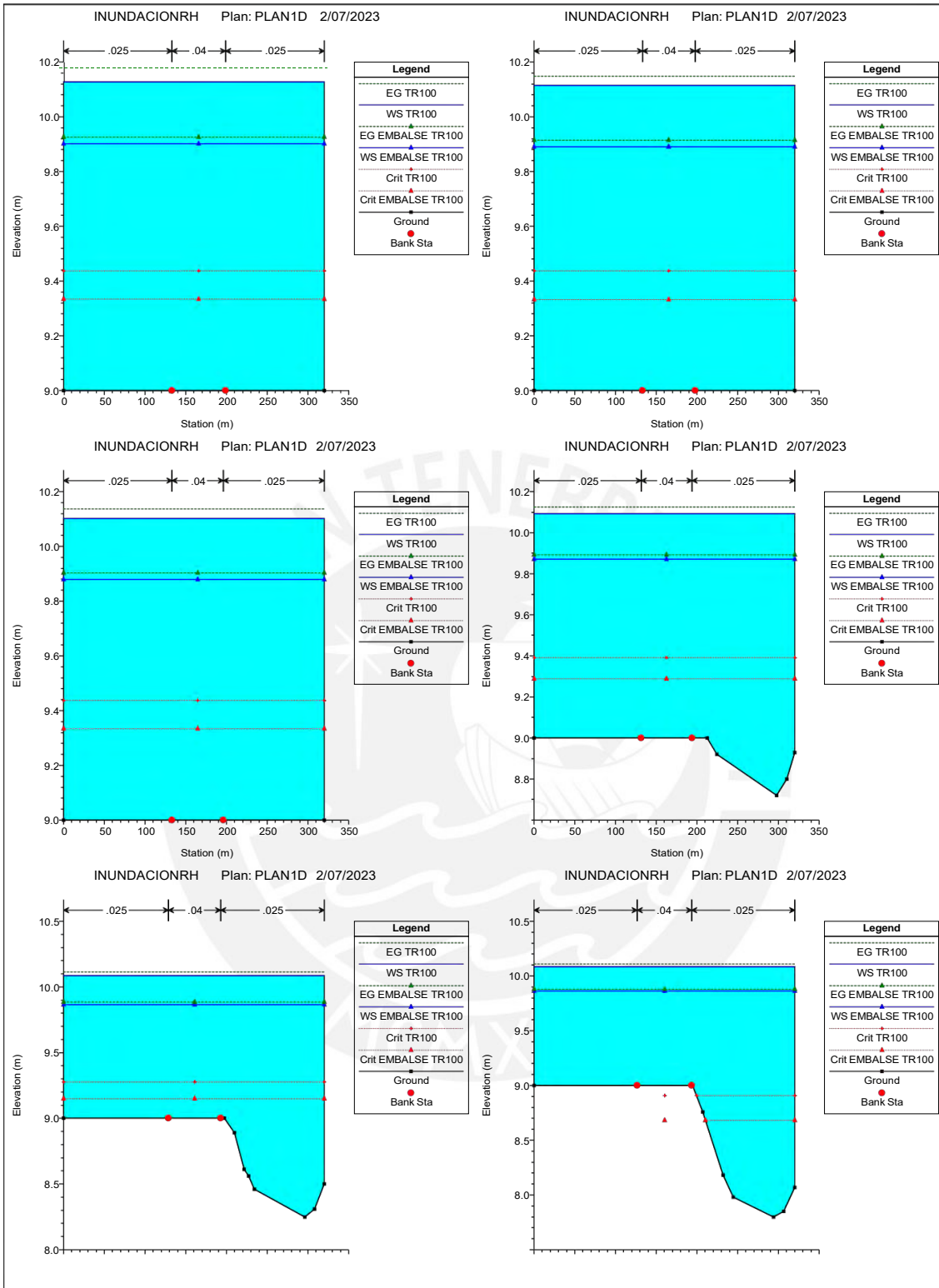


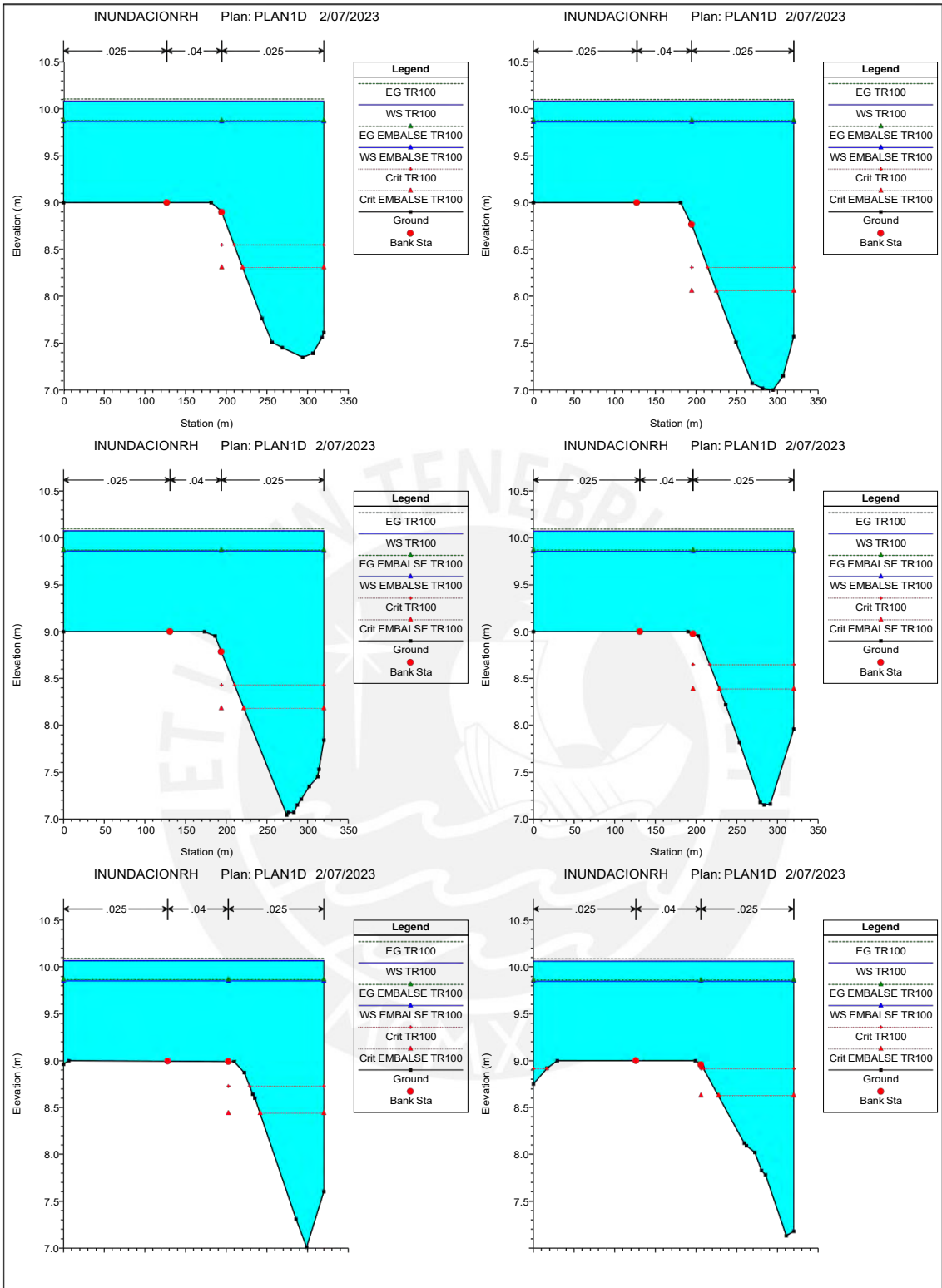


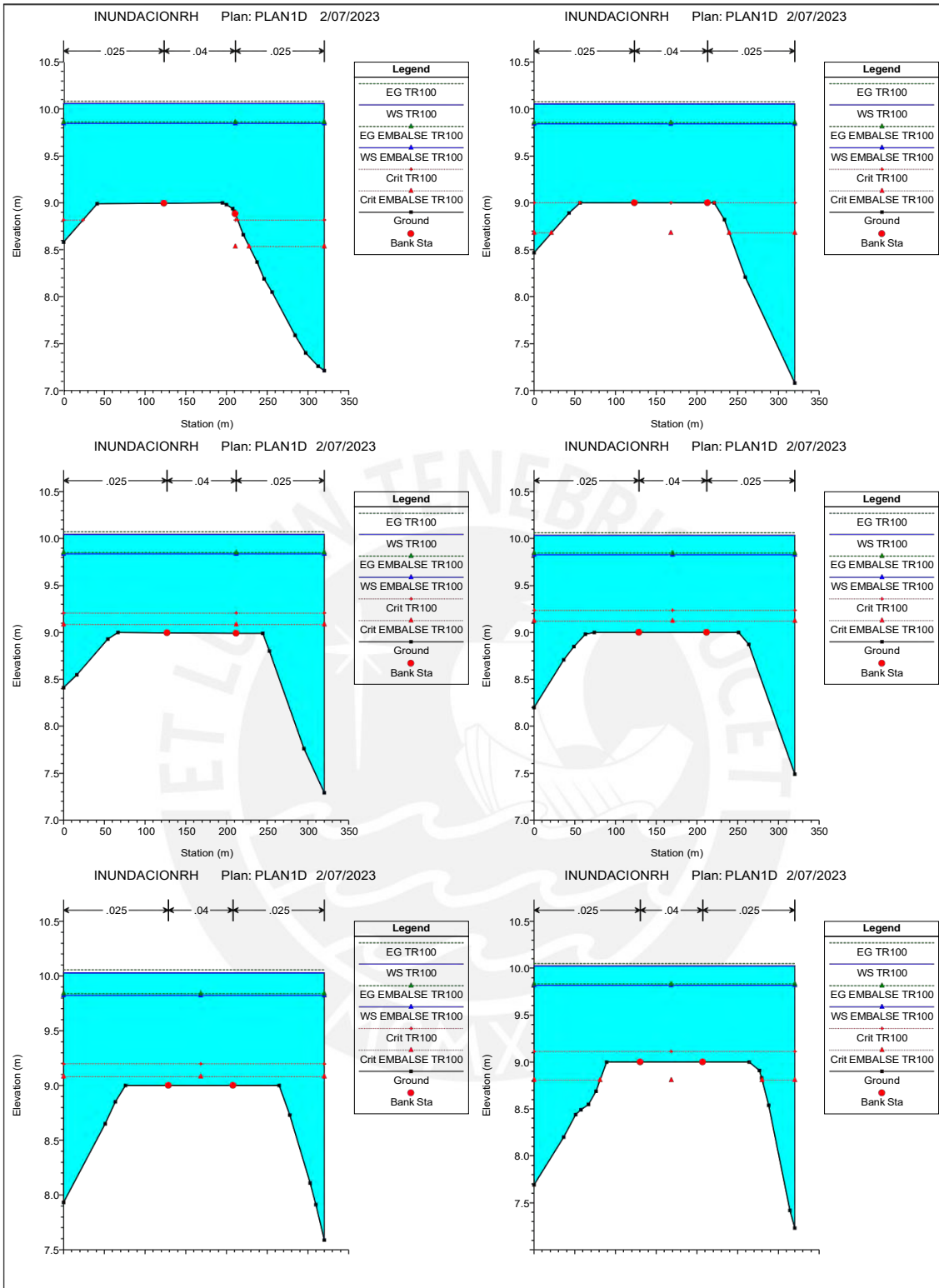


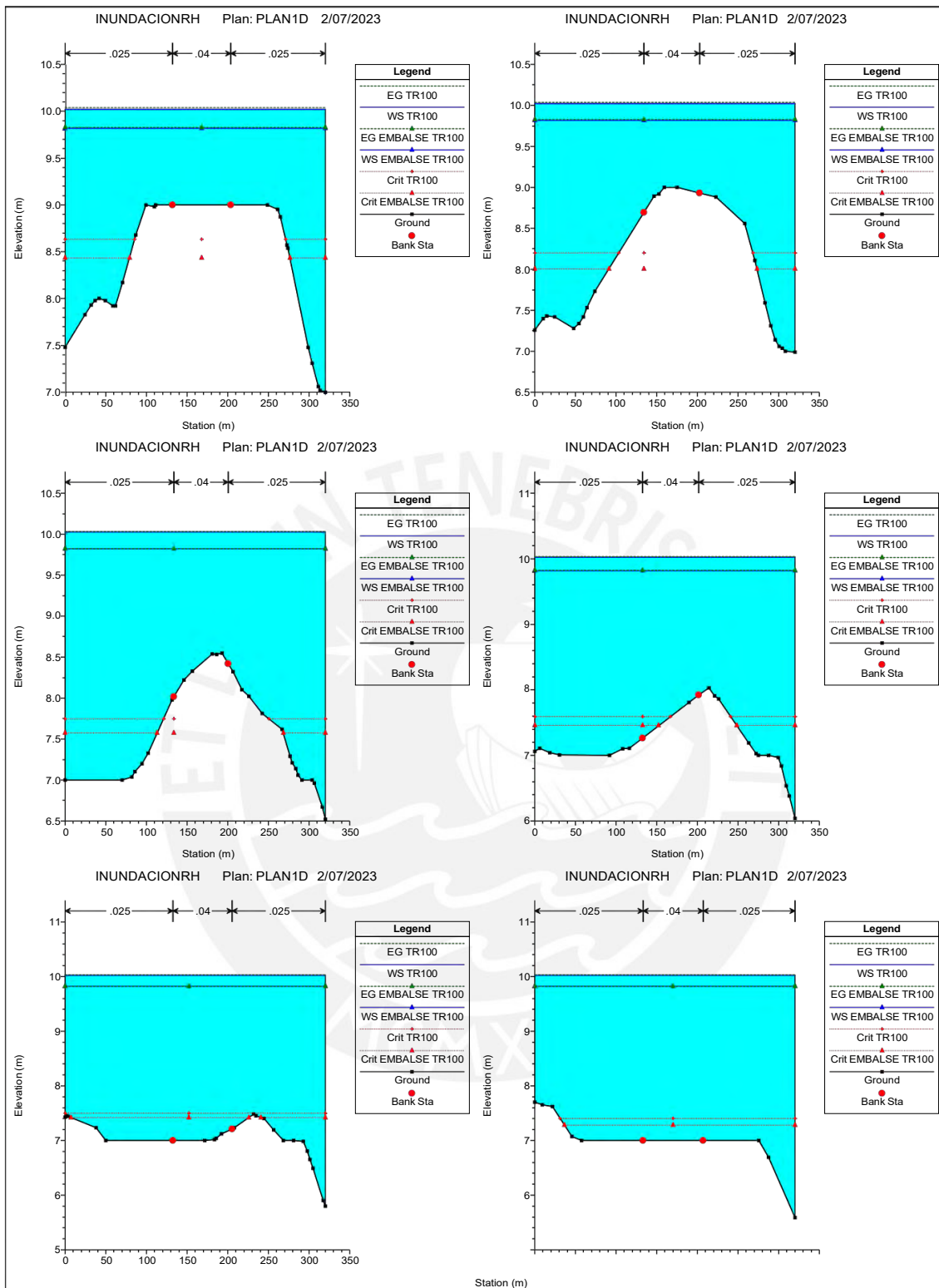


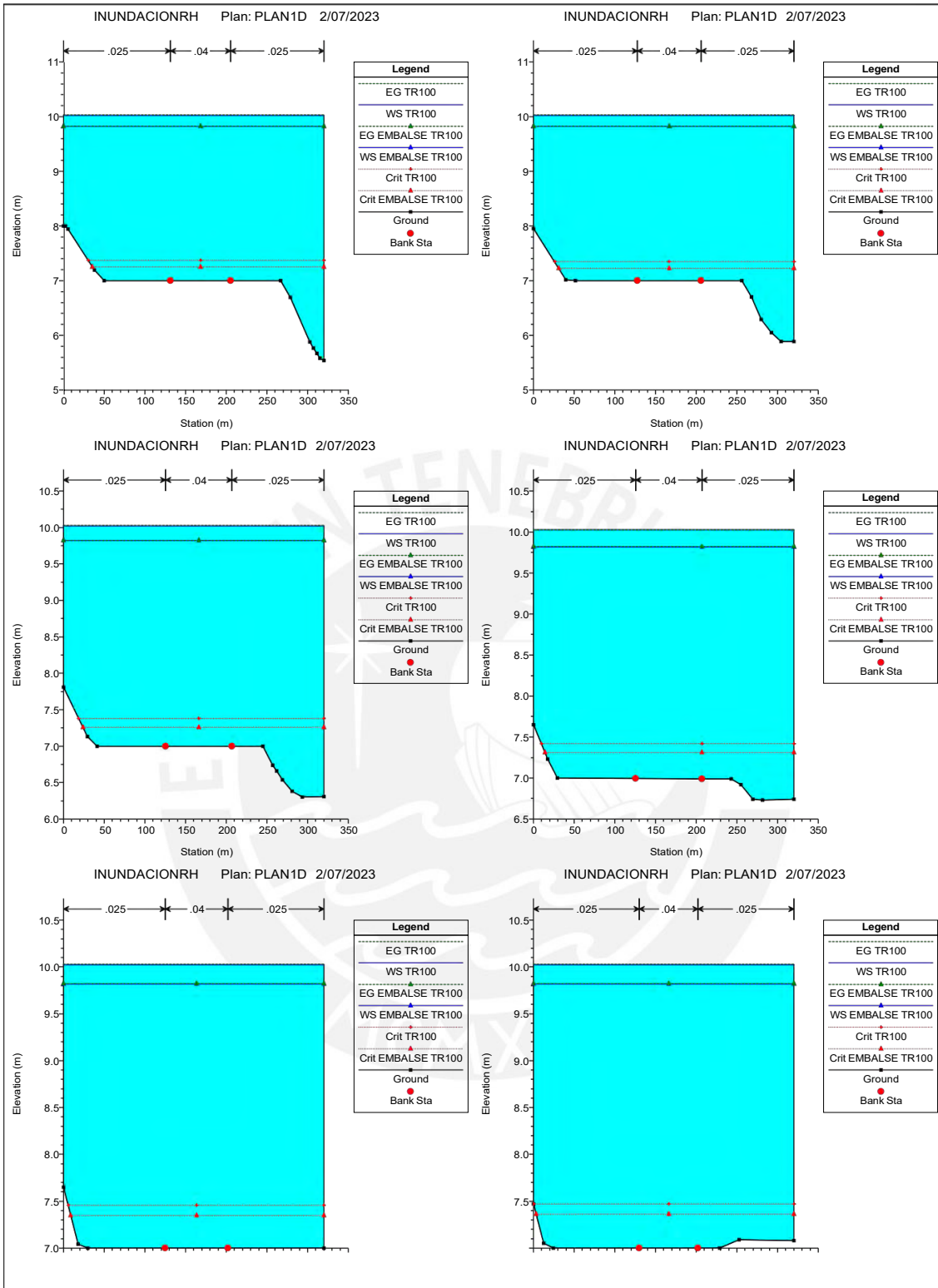


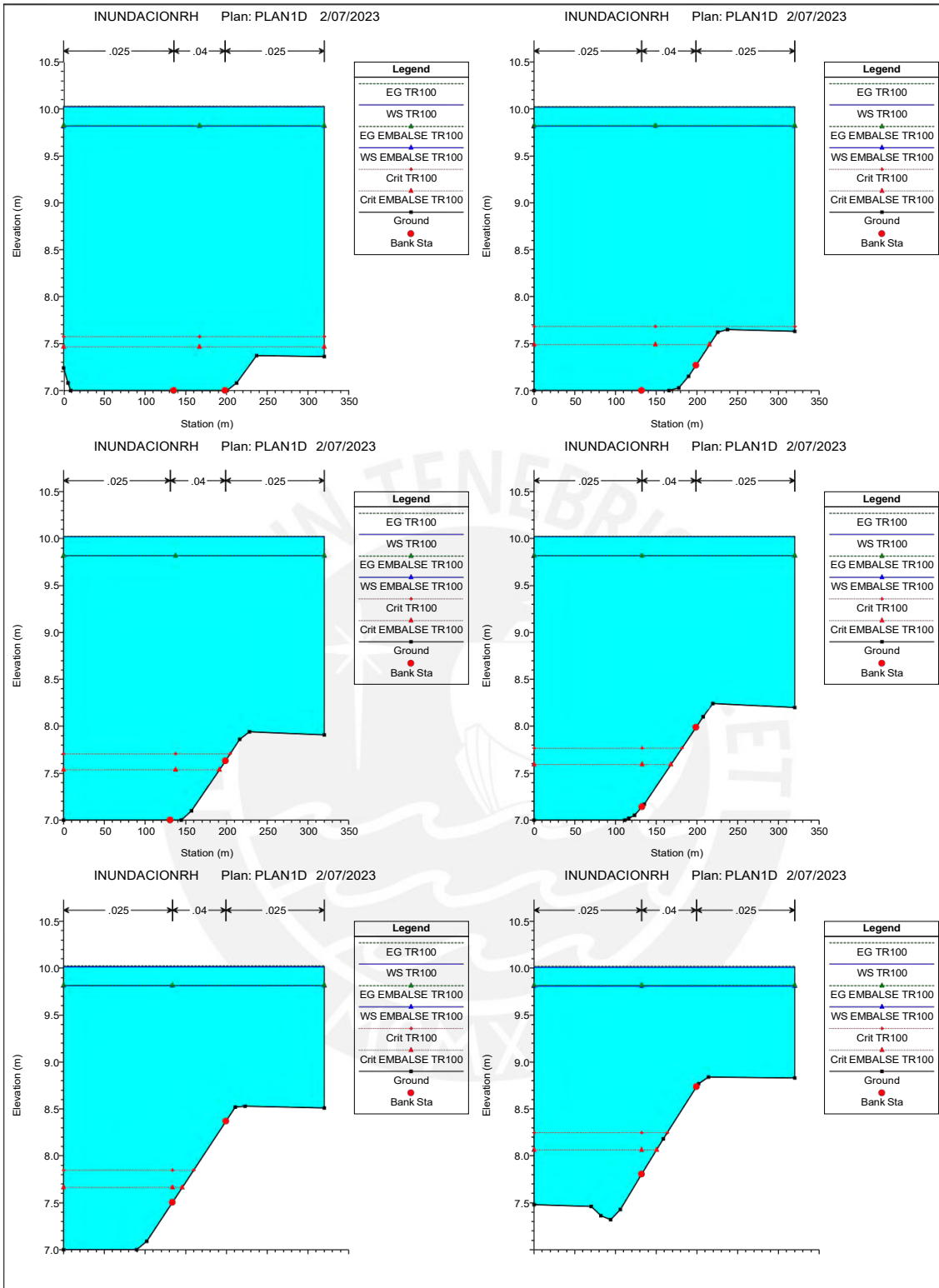


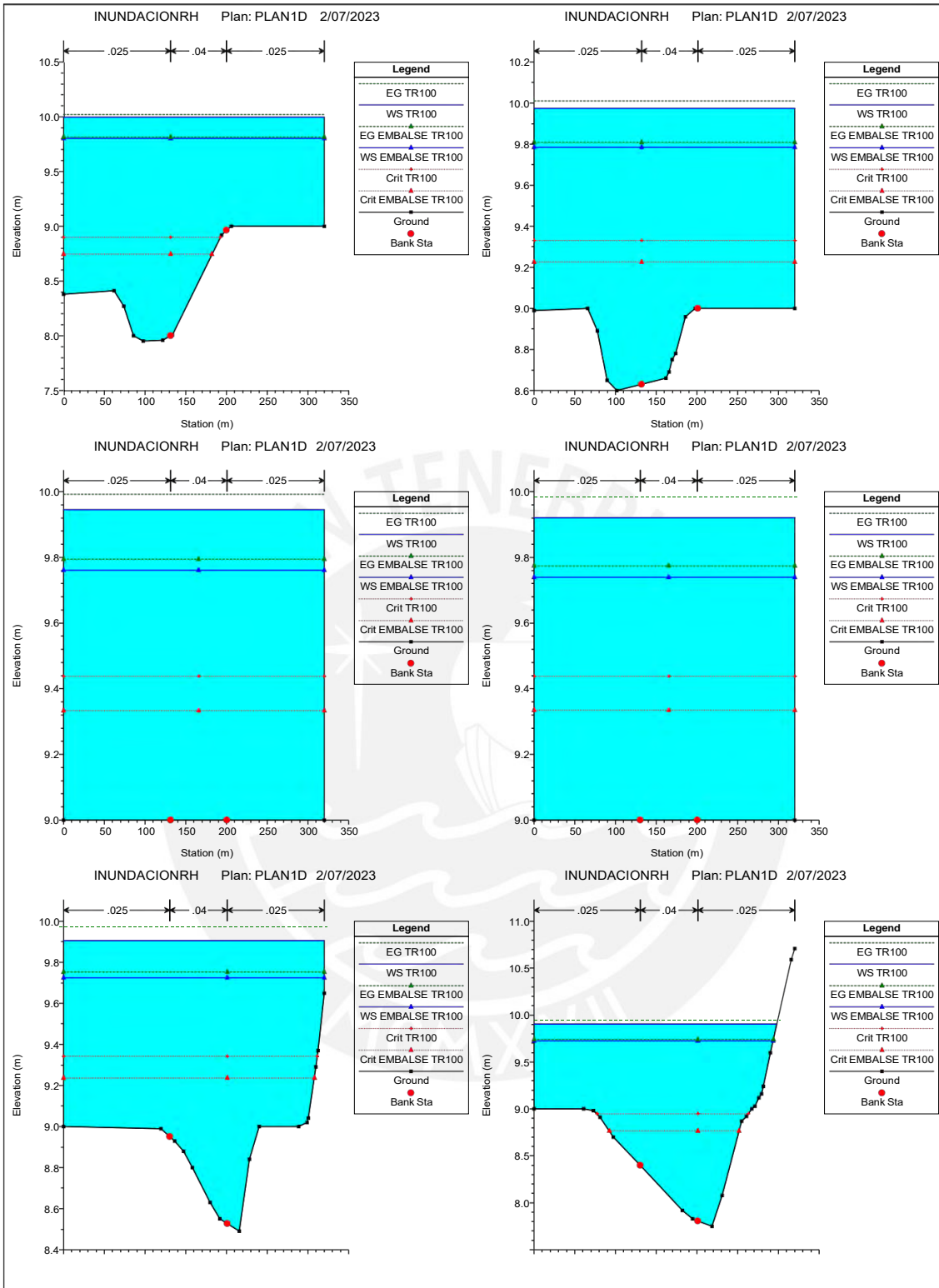


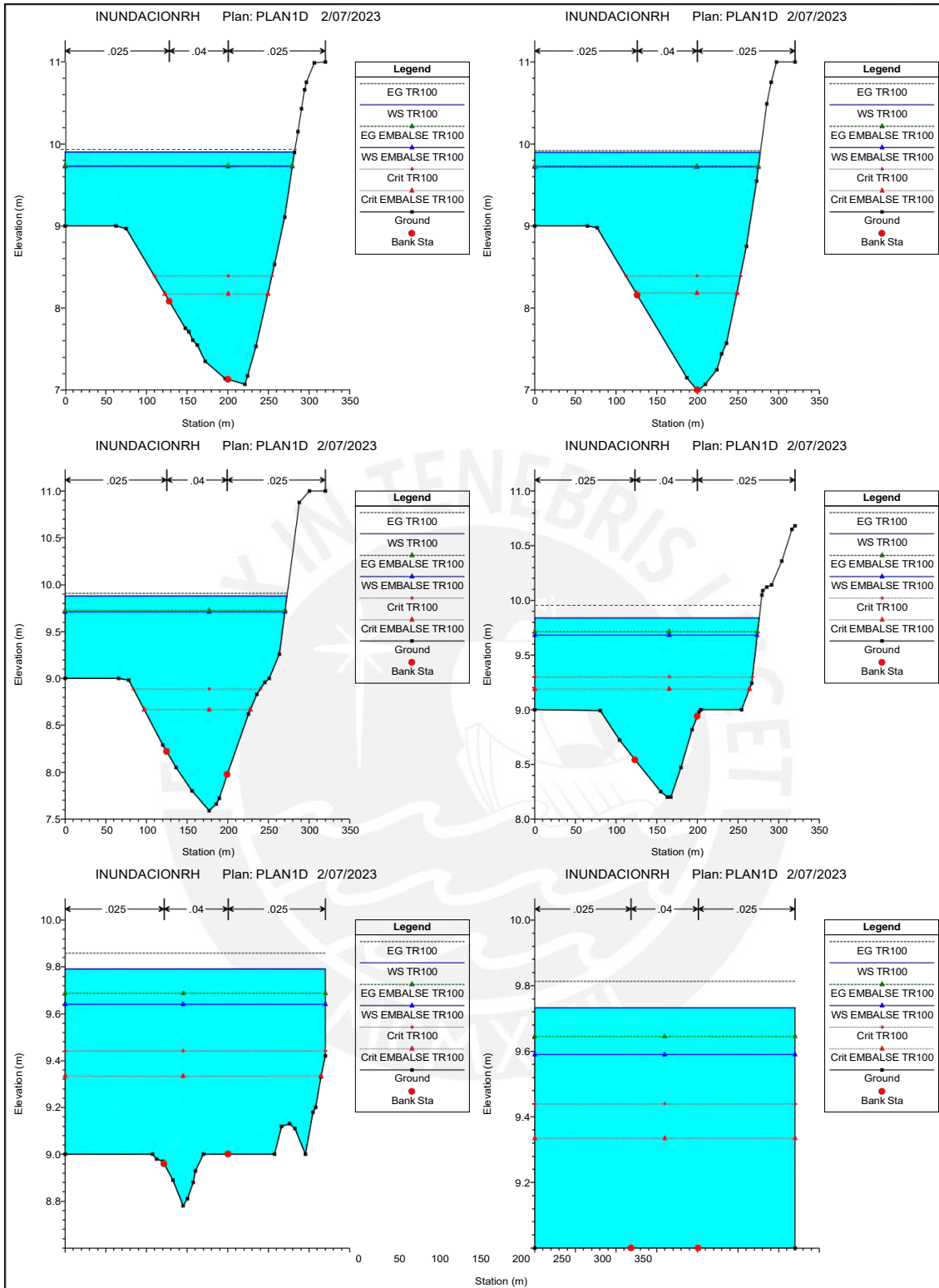


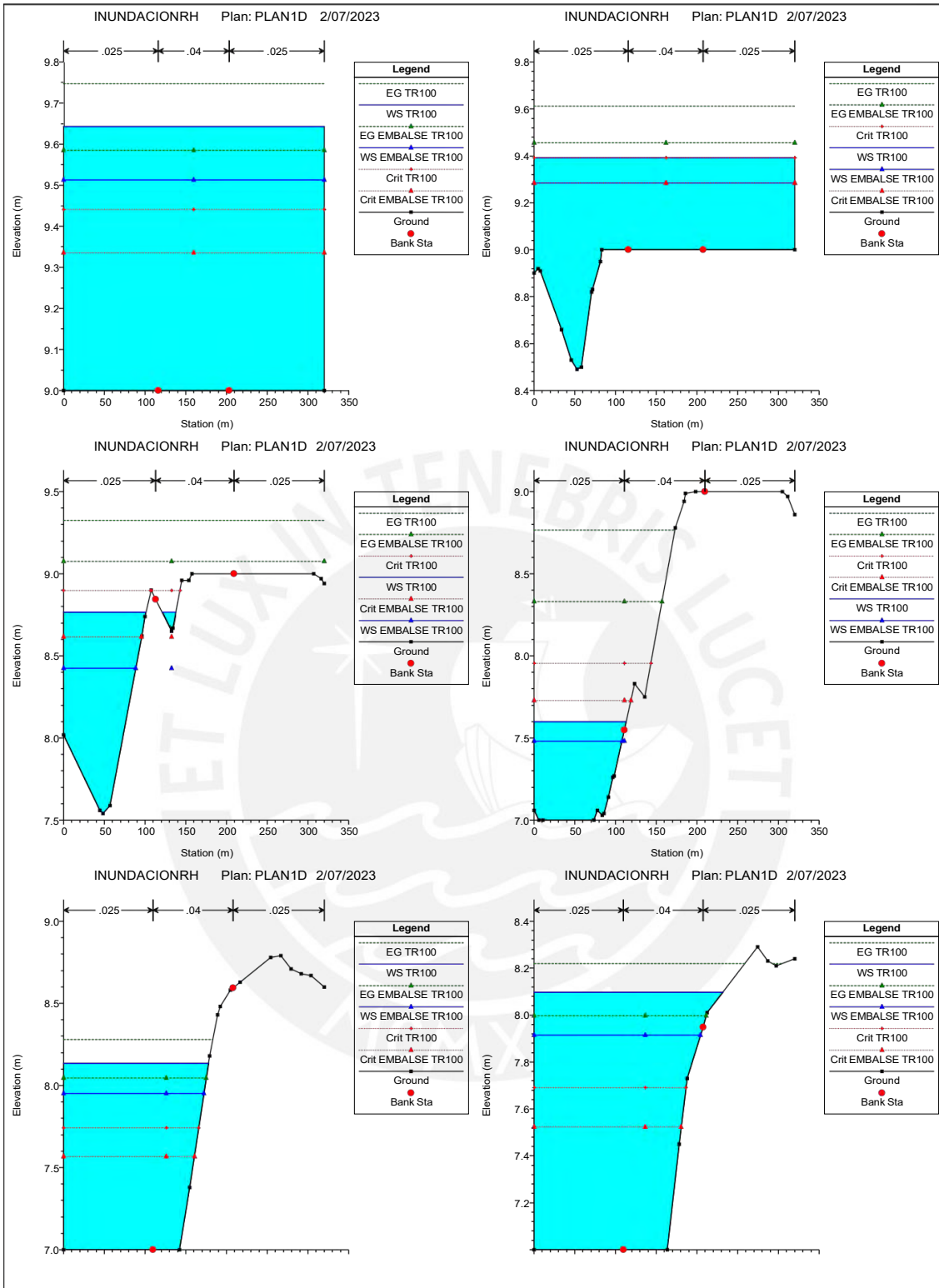


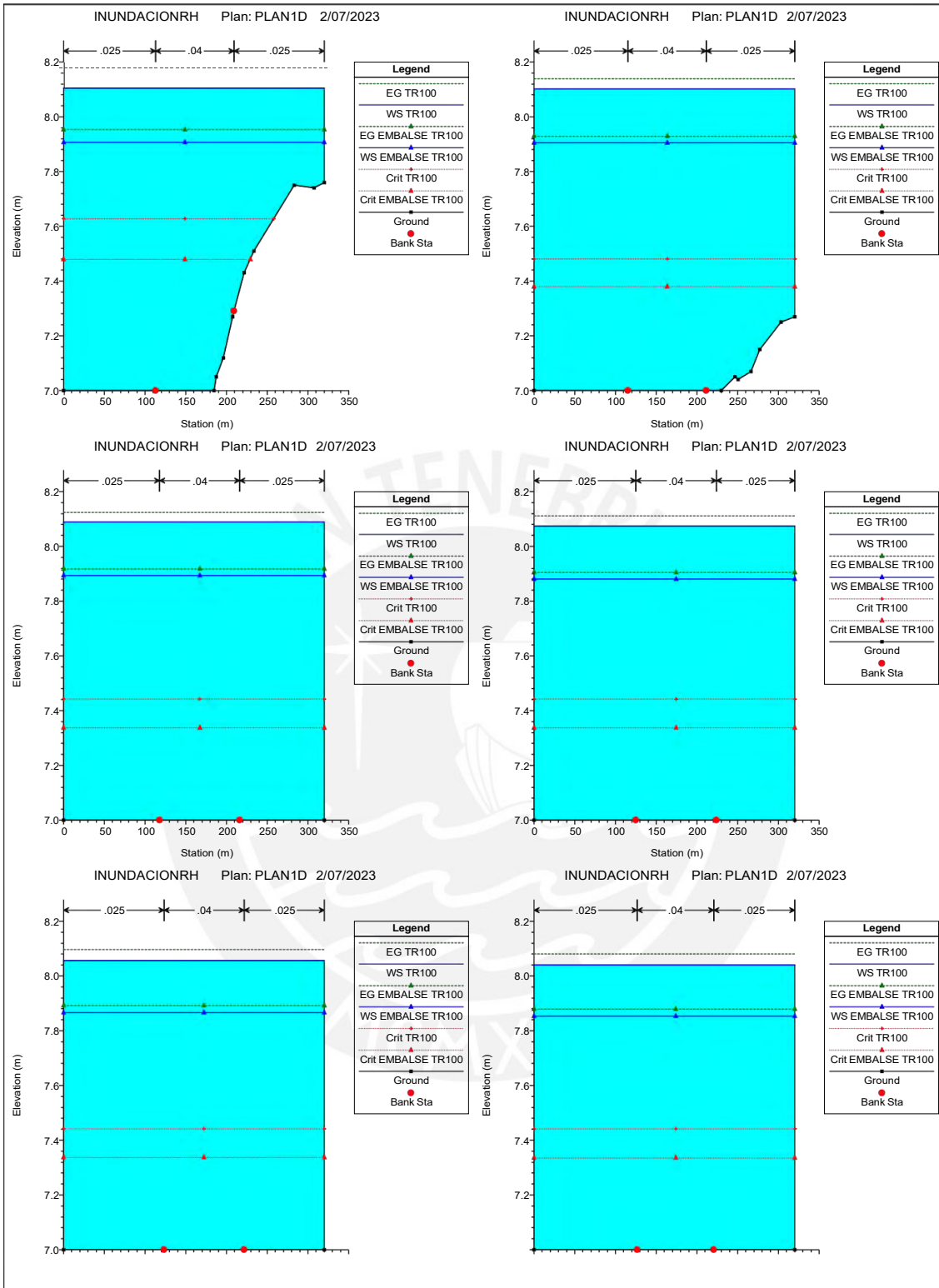


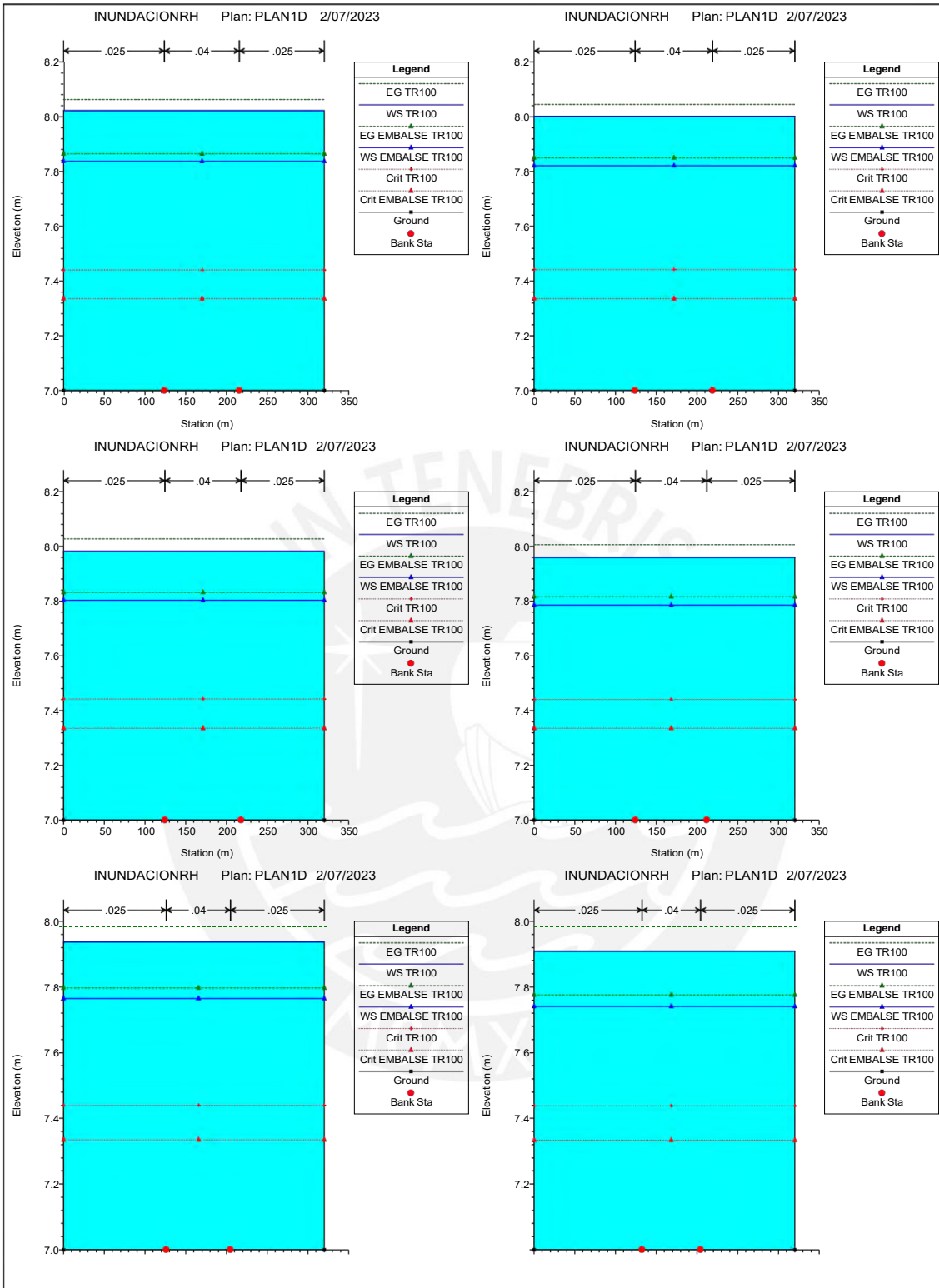


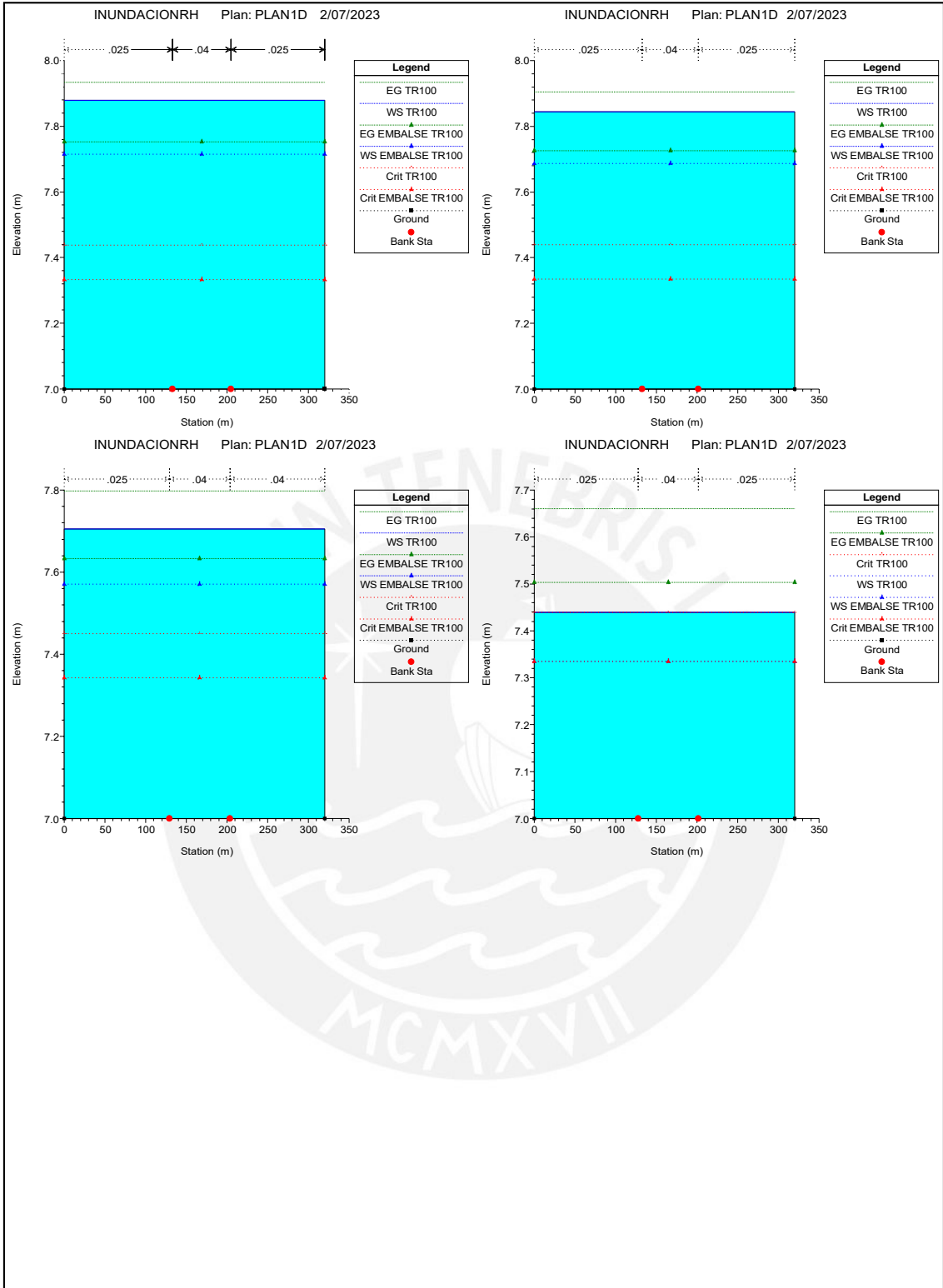












ANEXO 11 Fotografías propias tomadas de la zona de estudio (26/02/2022)*Figura 62. Cobertura vegetal cerca de la ciudad de Huarmey*

Fuente: Fotografía propia

Figura 63. Posible ubicación del reservorio de control

Fuente: Fotografía propia

Figura 64. Cauce del río Huarmey que atraviesa por el borde derecho de la ciudad



Fuente: Fotografía propia

