



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÍCOLA**



**DETERMINACIÓN DEL COMPORTAMIENTO  
HIDRODINÁMICO DEL RÍO CAÑETE ANTE MÁXIMAS  
AVENIDAS, CONSIDERANDO LOS EFECTOS DE LA MAREA**

**TESIS**

**PRESENTADA POR:**

**Bach. KATIA DELAJUSTA OLIVERA CANAHUA**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO AGRÍCOLA**

**PUNO – PERÚ**

**2023**



## Reporte de similitud

NOMBRE DEL TRABAJO

**DETERMINACIÓN DEL COMPORTAMIENTO HIDRODINÁMICO DEL RÍO CAÑETE ANTE MÁXIMAS AVENIDAS, CONSIDERANDO LOS EFECTOS DE LA MAREA**

AUTOR

**KATIA DELAJUSTA OLIVERA CANAHUA**

RECuento DE PALABRAS

**45791 Words**

RECuento DE CARACTERES

**186054 Characters**

RECuento DE PÁGINAS

**155 Pages**

TAMAÑO DEL ARCHIVO

**6.5MB**

FECHA DE ENTREGA

**Apr 10, 2023 3:17 PM GMT-5**

FECHA DEL INFORME

**Apr 10, 2023 3:19 PM GMT-5**

### ● 11% de similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos

- 10% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 7% Base de datos de trabajos entregados
- 1% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

### ● Excluir del Reporte de Similitud

- Material bibliográfico
- Material citado
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 15 palabras)

  
WILMA FERMIN LAQUI VILCA  
INGENIERO AGRICOLA  
REG. CIP. 88600



Resumen



## DEDICATORIA

*A mi familia las personas más importantes de mi vida, que siempre estuvieron listos para brindarme toda su ayuda porque con sus oraciones, consejos y palabras de aliento siempre me acompañan en todos mis sueños y metas.*

*A mis padres OSCAR y DILMA, que han sido mi apoyo y pilar fundamental, por su amor, trabajo y sacrificio en todos estos años, por confiar, por los consejos, valores y principios que me han inculcado, los cuales me enseñaron a ser feliz con lo que uno tiene y me dieron las herramientas para poder salir adelante y afrontar la vida. Los amo.*

*A mis hermanos KARINA y OMAR por el apoyo incondicional, durante todo este proceso que facilitaron mi investigación, ellos son quienes me animaron en este campo de estudio y compartieron sus conocimientos conmigo, pues ellos son el principal cimiento para la construcción de mi vida profesional, sentaron en mi la base de la responsabilidad y deseos de superación. A mi hermano ALAIN por ser mi amigo y cómplice, por levantarme los ánimos en esos momentos de angustia y debilidad. En ustedes tres tengo el espejo en el cual me quiero reflejar pues sus virtudes infinitas y su gran corazón me llevan a admirarlos cada día más. Muchas gracias hermanos!!*

*Por último, a la memoria de mi abuelo MELQUIADES (Q.E.P.D.), ya que la fuerza y la fe durante el último año de su vida, me dieron una nueva apreciación del significado y la importancia de disfrutar el tiempo con los que más queremos, su ejemplo y sus sabios consejos, me mantuvo soñando cuando quise rendirme. Papá MEKO sé que tú me cuidas a diario y proteges a tu familia.*

**Katia Olivera Canahua**



## AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi gratitud a dios, quien con su bendición llena siempre mi vida y a toda mi familia por estar siempre presentes.

A la Universidad Nacional del Altiplano, mi alma mater, por mi formación académica, en especial a la facultad de Ingeniería Agrícola, por los años que disfrute en sus aulas y por haberme brindado tantas oportunidades y enriquecerme en conocimientos.

A todos los docentes de la facultad de Ingeniería Agrícola, por compartir sus conocimientos a lo largo de mi formación profesional.

A la Autoridad Administrativa del Agua III Cañete Fortaleza, por brindarme la información necesaria para la elaboración de la presente tesis.

Al M.Sc. Wilber Laqui Vilca, director de la presente tesis, por su orientación y paciencia, mientras me corregía y encaminaba. Por sus valiosas sugerencias, aportes y más que todo estar involucrado en la realización de la presente tesis.

A mis amigos, con quienes siempre he contado para todo, gracias por su amistad, al igual que todos los buenos momentos pasados con ustedes. A todas las personas que saben que son importantes para mí, pero tal vez olvide mencionar gracias, por la aportación que han tenido en mi vida.

**Katia Olivera Canahua**



# ÍNDICE GENERAL

**DEDICATORIA**

**AGRADECIMIENTOS**

**ÍNDICE GENERAL**

**ÍNDICE DE TABLAS**

**ÍNDICE DE FIGURAS**

**ÍNDICE DE ACRÓNIMOS**

**RESUMEN ..... 15**

**ABSTRACT..... 16**

## **CAPÍTULO I**

### **INTRODUCCIÓN**

**1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA ..... 18**

**1.2 JUSTIFICACIÓN.....19**

**1.3 OBJETIVOS..... 20**

1.3.1 Objetivo General..... 20

1.3.2 Objetivos Específicos ..... 21

## **CAPÍTULO II**

### **REVISIÓN DE LITERATURA**

**2.1 ANTECEDENTES ..... 22**

2.1.1 Antecedentes a nivel internacional ..... 22

2.1.2 Antecedentes a nivel nacional..... 22

2.1.3 Antecedentes a nivel local ..... 23

**2.2 MARCO TEÓRICO ..... 24**

2.2.1 Hidrología ..... 24

2.2.2 Caudal ..... 24

2.2.3 Cuenca hidrográfica ..... 25

2.2.4 Sistema de información geográfica (SIG) aplicada a la hidrología ..... 25

2.2.4.1 Modelo de Elevación Digital ..... 26

2.2.5 Geomorfología de la cuenca ..... 26

2.2.6 Parámetros de forma de la cuenca ..... 26

2.2.6.1 Área de la cuenca ..... 26

2.2.6.2 Longitud, perímetro y ancho..... 27



2.2.6.3 Coeficiente de compacidad o índice de Gravelius.....	27
2.2.6.4 Factor forma de Horton.....	28
2.2.7 Parámetros de relieve de la cuenca .....	28
2.2.7.1 Curva hipsométrica .....	29
2.2.7.2 Pendiente media de la cuenca (J) .....	29
2.2.8 Características de la red de drenaje.....	30
2.2.8.1 Densidad de drenaje.....	30
2.2.8.2 Pendiente media del cauce principal:.....	31
2.2.8.3 Tiempo de concentración (Tc).....	32
2.2.9 Precipitación .....	32
2.2.10 Polígonos de Thiessen .....	32
2.2.11 Estaciones pluviométricas.....	33
2.2.12 Precipitación máxima en 24 horas .....	33
2.2.12.1 Prueba de datos dudosos .....	34
2.2.12.2 Análisis de frecuencias .....	35
2.2.12.3 Distribución de probabilidad .....	35
2.2.12.4 Pruebas de bondad de ajuste .....	39
2.2.12.5 Factor de ajuste de frecuencia.....	40
2.2.12.6 Periodo de retorno.....	41
2.2.13 Tormenta de diseño.....	41
2.2.13.1 Hietogramas de diseño empleando estudios de eventos de tormenta ...	42
2.2.14 Precipitación .....	43
2.2.14.1 Precipitación efectiva .....	44
2.2.15 Infiltración .....	44
2.2.16 Cobertura vegetal.....	44
2.2.17 Método del número de curva .....	45
2.2.17.1 Método del SCS para abstracciones.....	45
2.2.18 Relación precipitación – escorrentía.....	50
2.2.19 Hidrograma unitario.....	51
2.2.19.1 Hidrogramas sintéticos .....	51
2.2.20 Modelo hidrológico.....	52
2.2.21 Modelo hidrológico HEC-HMS.....	53
2.2.22 Hidráulica.....	54
2.2.23 Hidráulica Fluvial .....	54



2.2.23.1 Clasificación del tipo de flujo.....	54
2.2.23.2 Clasificación del estado/comportamiento de flujo.....	55
2.2.23.3 Clasificación dimensional de flujo. ....	56
2.2.24 Desembocaduras de ríos .....	57
2.2.25 Marea .....	57
2.2.26 Coeficiente de rugosidad (n de manning) .....	58
2.2.27 Topografía.....	59
2.2.27.1 Levantamiento Topográfico.....	60
2.2.28 Modelo digital de terreno.....	60
2.2.29 Modelo hidráulico.....	60
2.2.30 IBER .....	60
2.2.31 Metodología del software IBER .....	61
<b>CAPÍTULO III</b>	
<b>MATERIALES Y MÉTODOS</b>	
<b>3.1 LOCALIZACIÓN.....</b>	<b>62</b>
3.1.1 Ubicación del área de estudio .....	62
3.1.2 Localización hidrográfica .....	63
3.1.3 Localización geográfica .....	63
3.1.4 Localización política.....	64
<b>3.2 EQUIPOS Y SOFTWARE .....</b>	<b>65</b>
<b>3.3 MATERIALES.....</b>	<b>65</b>
3.3.1 Datos cartográficos y topográficos. ....	66
3.3.2 Información pluviométrica .....	66
3.3.3 Información hidrométrica .....	67
3.3.4 Información mareográfica.....	69
<b>3.4 METODOLOGÍA .....</b>	<b>70</b>
3.4.1 Tipo de investigación.....	70
3.4.2 Caracterización del área de análisis. ....	70
3.4.3 Determinación de los Parámetros de la Cuenca.....	71
<b>3.5 DETERMINACIÓN DE MÁXIMAS AVENIDAS .....</b>	<b>74</b>
3.5.1 Determinación del área de influencia de las estaciones.....	74
3.5.2 Análisis y tratamiento de la información pluviométrica.....	76
3.5.2.1. Prueba de datos atípicos.....	76
3.5.2.2 Análisis de distribución de probabilidades .....	77



3.5.2.3 Pruebas de bondad de ajuste .....	77
3.5.3 Precipitaciones máximas.....	78
3.5.3.1 Factor de ajuste de frecuencias .....	78
3.5.4 Determinación de los hietogramas de tormenta.....	79
3.5.5 Método del número de curva (CN) .....	80
3.5.6 Método del SCS para abstracciones.....	82
3.5.7 Método de hidrograma unitario sintético de Snyder.....	83
3.5.8 Modelación hidrológica con HEC-HMS .....	83
3.5.9 Comparación de caudales máximos generados y registrados .....	85
<b>3.6 CARACTERIZACIÓN DEL COMPORTAMIENTO HIDRODINAMICO Y DETERMINACIÓN DE LA SUPERFICIE DE INUNDACIÓN .....</b>	<b>89</b>
3.6.1 Modelamiento hidráulico con IBER .....	89
3.6.2 Asignación de la rugosidad del terreno (n-Manning) .....	89
3.6.3 Asignación de condiciones de contorno y caudales.....	91
3.6.4 Generación de la malla .....	92
3.6.5 Importación de la geometría (topografía) .....	93
3.6.6 Asignación de las opciones del cálculo .....	94
<b>CAPÍTULO IV</b>	
<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	
<b>4.1 RESULTADOS.....</b>	<b>95</b>
4.1.1. Caudales de máximas avenidas para el tramo analizado .....	95
4.1.2 Generación de la superficie de inundación .....	96
4.1.3 Comportamiento hidrodinámico del río Cañete.....	99
4.1.4 Comportamiento hidrodinámico en la desembocadura con efecto de la marea .....	101
<b>4.2 DISCUSIÓN .....</b>	<b>102</b>
<b>V. CONCLUSIONES .....</b>	<b>106</b>
<b>VI. RECOMENDACIONES .....</b>	<b>108</b>
<b>VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....</b>	<b>109</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>113</b>
<b>ANEXO A: Estaciones pluviométricas. ....</b>	<b>113</b>
<b>ANEXO B: Periodos de registro por estación .....</b>	<b>123</b>
<b>ANEXO C: Registros históricos de las mareas máximas.....</b>	<b>124</b>
<b>Anexo D: Prueba de datos dudosos .....</b>	<b>125</b>





<b>Anexo E: Analisis estadístico de datos pluviométricos.....</b>	<b>135</b>
<b>Anexo F: Determinación del número de curva – CN .....</b>	<b>143</b>
<b>Anexo G: Hidrogramas de caudales máximos tr 100 años .....</b>	<b>144</b>
<b>Anexo H: Mapas.....</b>	<b>151</b>

**Área** : Ingeniería y tecnología

**Línea** : Recursos Hídricos

**FECHA DE SUSTENTACIÓN:** 11 de abril del 2023



## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b>	Formas de la cuenca de acuerdo al índice de compacidad.....	28
<b>Tabla 2.</b>	Formas de la cuenca de acuerdo al factor de forma. ....	28
<b>Tabla 3.</b>	Rango de pendientes. ....	29
<b>Tabla 4.</b>	Interpretación del valor de la densidad de drenaje.....	31
<b>Tabla 5.</b>	Valores para relieve o topografía del terreno.....	31
<b>Tabla 6.</b>	Valores de Kn para prueba de datos atípicos. ....	35
<b>Tabla 7.</b>	Factor de ajuste de frecuencia de observaciones. ....	41
<b>Tabla 8.</b>	Distribuciones de lluvia según SCS.....	43
<b>Tabla 9.</b>	Condiciones hidrológicas.....	47
<b>Tabla 10.</b>	CN para diferentes condiciones hidrológicas y complejos suelo – cobertura para CHA II y IS=0.2S.....	49
<b>Tabla 11.</b>	Condiciones de humedad antecedente. ....	50
<b>Tabla 12.</b>	Coefficiente de rugosidad n y sus valores.....	58
<b>Tabla 13.</b>	Características de estaciones pluviométricas de la cuenca. ....	67
<b>Tabla 14.</b>	Características de la estación hidrométrica.....	68
<b>Tabla 15.</b>	Parámetros geomorfológicos de la cuenca Cañete.....	72
<b>Tabla 16.</b>	Pendiente media de la cuenca Cañete. ....	74
<b>Tabla 17.</b>	Factor de influencia de estaciones en cuencas. ....	76
<b>Tabla 18.</b>	Periodo de retorno y distribución de probabilidad de las estaciones. ....	78
<b>Tabla 19.</b>	Precipitación corregida por intervalo fijo de observación (f=1.13).....	79
<b>Tabla 20.</b>	Clasificación del número curva. ....	82
<b>Tabla 21.</b>	Tiempo de concentración para cuencas grandes – Snyder.....	83
<b>Tabla 22.</b>	Distribuciones estadísticas aplicadas a la estación hidrométrica. ....	86
<b>Tabla 23.</b>	Caudales obtenidos de la estación hidrométrica Socsi. ....	87



<b>Tabla 24.</b> Caudales máximos instantáneos en la estación Socsi. ....	88
<b>Tabla 25.</b> Caudales máximos estimados con Hec-Hms. ....	88
<b>Tabla 26.</b> Valoraciones de Coef. de rugosidad para corrientes naturales. ....	90



## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Estructura jerárquica de la cuenca hidrográfica.....	25
<b>Figura 2.</b> Curva hipsométrica y edad de ríos.....	29
<b>Figura 3.</b> Polígonos de Thiessen.....	33
<b>Figura 4.</b> Localización y hietogramas de lluvia en 24 horas SCS para EEUU. ....	42
<b>Figura 5.</b> Metodología SCS para el cálculo de abstracciones. ....	46
<b>Figura 6.</b> Cuenca y sistema hidrológico. ....	53
<b>Figura 7.</b> Tipos de desembocadura.....	57
<b>Figura 8.</b> Localización de la zona en análisis.....	62
<b>Figura 9.</b> Ubicación hidrográfica de la cuenca del río Cañete. ....	63
<b>Figura 10.</b> Ubicación política de la cuenca. ....	64
<b>Figura 11.</b> Ubicación de estaciones pluviométricas e hidrométrica de la cuenca Cañete. .....	68
<b>Figura 12.</b> Gráfico de la altura de la marea máxima. ....	69
<b>Figura 13.</b> Cuenca y subcuencas delimitadas.....	71
<b>Figura 14.</b> Curva hipsométrica río Cañete.....	72
<b>Figura 15.</b> Distribución espacial de pendientes – cuenca río Cañete. ....	73
<b>Figura 16.</b> Polígono de Thiessen de la cuenca del río Cañete. ....	75
<b>Figura 17.</b> Hietograma y perfil de tormenta Tipo I SCS. ....	80
<b>Figura 18.</b> Mapa de uso de suelo de la cuenca del río Cañete.....	81
<b>Figura 19.</b> Esquema de la cuenca Cañete .....	84
<b>Figura 20.</b> Histograma de caudales máximos de la estación hidrométrica Sosci.....	85
<b>Figura 21.</b> Gráfico de funciones de densidad de histograma. ....	87
<b>Figura 22.</b> Zonificación de los coeficientes de rugosidad. ....	91
<b>Figura 23.</b> Condiciones de contorno (entrada y salida).....	92



<b>Figura 24.</b> Red Irregular de triángulo rectángulos (RTIN) de IBER.....	93
<b>Figura 25.</b> Malla RTIN considerando MDT.....	93
<b>Figura 26.</b> Hidrograma de crecida para un TR de 100 años.....	95
<b>Figura 27.</b> Caudal máximo para el TR de 100 años. ....	95
<b>Figura 28.</b> Superficie de inundación Tramo 1 (Km 0+000 a Km 2+500).....	97
<b>Figura 29.</b> Superficie de inundación Tramo 2 (Km 2+500 a Km 5+000).....	97
<b>Figura 30.</b> Superficie de inundación Tramo 3 (Km 5+000 a Km 7+500).....	98
<b>Figura 31.</b> Superficie de inundación Tramo 4 (Km 7+500 a Km 10+000).....	99
<b>Figura 32.</b> Mapa de calado del río Cañete.....	100
<b>Figura 33.</b> Mapa de velocidades del río Cañete. ....	100
<b>Figura 34.</b> Efecto de la marea para una cota de 2.90 metros.....	102
<b>Figura 35.</b> Superficie de afectación de tramo analizado .....	102
<b>Figura 36.</b> Velocidad durante pico máximo de la simulación hidráulica.....	104
<b>Figura 37.</b> Velocidad en el paso final de simulación hidráulica.....	104
<b>Figura 38.</b> Comportamiento hidrodinámico del río Cañete en su tramo final.....	105



## ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

<b>SIG</b>	: Sistemas de Información Geográficos
<b>DEM</b>	: Modelo de Elevación Digital
<b>SCS</b>	: Servicio de Conservación de Suelos
<b>UTM</b>	: Universal Transverse Mercator
<b>OMM</b>	: Organización Meteorológicas Mundial
<b>MINAM</b>	: Ministerio del Ambiente
<b>MDT</b>	: Modelo Digital de Terreno
<b>SENAMHI</b>	: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú.
<b>CHA</b>	: Condiciones de Humedad Antecedentes.



## RESUMEN

En la presente investigación, se determina y analizan los efectos de la marea en el comportamiento hidrodinámico que ocurre en el tramo final de la desembocadura del río Cañete (Sector Palti – Boca de Río), bajo ocurrencia de máximas avenidas, dado que se desconoce lo que pasaría si se presentara un evento de máximas avenidas, en simultáneo con una elevación de la marea. Para ello se realizó el modelamiento hidráulico del tramo final del río Cañete, con un caudal máximo de  $855.9m^3/s$ , correspondiente a un periodo de retorno de 100 años, y una altura de marea de 2.90 m, utilizando el software IBERv2.3.1; previamente se determinaron los caudales máximos, mediante el software HEC-HMS 4.2.1. Del análisis realizado en IBER V2.3.1, se tiene una superficie de 246.26 ha de inundación fluvial, producto del proceso de precipitación - escorrentía, cuyos niveles o tirantes de agua resultaron entre los 0.01m a 3.16m en el tramo analizado. Sobre el comportamiento hidrodinámico en la desembocadura del río Cañete, con interacción de 2.90 m de marea; se ha obtenido el ingreso de una longitud aproximada de 0.226 Km de agua de mar hacia el cauce del río Cañete, que retorna estabilizándose posteriormente. En cuanto al choque entre el mar y el río, este último no mostró un retroceso considerable, continuando su curso normal hacia aguas abajo. No obstante, se presenta un desborde del río aguas arriba de la desembocadura, apreciando que la marea no influye considerablemente en dicho desborde y las inundaciones son propias del río aguas arriba.

**Palabras Clave:** Caudal máximo, hidrodinámica, marea, simulación hidráulica.



## ABSTRACT

In the present investigation, the effects of the tide on the hydrodynamic behavior that occurs in the final section of the mouth of the Cañete river (Palti - Boca de Río Sector) are determined and analyzed, under the occurrence of maximum floods, since the What would happen if an event of maximum avenues occurred, simultaneously with a rise in the tide. For this, the hydraulic modeling of the final section of the Cañete river was carried out, with a maximum flow of  $855.9\text{m}^3/\text{s}$ , corresponding to a return period of 100 years, and a tidal height of 2.90 m, using the IBERv2.3.1 software; The maximum flow rates were previously determined using the HEC-HMS 4.2.1 software. From the analysis carried out in IBER V2.3.1, there is a surface of 246.26 ha of fluvial flooding, product of the precipitation-runoff process, whose water levels or depths were between 0.01m to 3.16m in the section analyzed. On the hydrodynamic behavior at the mouth of the Cañete river, with interaction of 2.90 m of tide; the entry of an approximate length of 0.226 km of sea water has been obtained towards the channel of the Cañete river, which returns stabilizing later. Regarding the shock between the sea and the river, the latter did not show a considerable retreat, continuing its normal course downstream. However, there is an overflow of the river upstream of the mouth, appreciating that the tide does not considerably influence said overflow and the floods are typical of the river upstream.

**Keywords:** Maximum flow, hydrodynamics, tide, hydraulic simulation.





# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

En el mundo, las inundaciones son consideradas como el desastre natural más dañino y peligroso (Douben, 2006). Asimismo; las inundaciones ocasionaron el fallecimiento de 100.000 personas y alrededor de 1,4 millones de personas afectadas en todo el mundo (CENEPRED, 2014). Afirmando que las inundaciones producidas por ríos, estuarios, la acción del mar o fuertes precipitaciones, suponen un riesgo para las personas y causan significativos costes económicos.

En el Perú las inundaciones son un problema recurrente, dada a la estacionalidad de las precipitaciones en la zona andina, la cual posee una época seca y una época de lluvia bien diferenciada, esta última de diciembre a marzo; sumándose en algunos años con la presencia de eventos extremos como “El Niño”, donde los caudales de los ríos que bajan de la región andina a la costa, aumentan varias veces su caudal (Bautista, 2020). Las primeras señales de El Niño costero se iniciaron en Perú en noviembre de 2016. En los meses de enero a marzo del 2017, varias regiones costeras fueron afectados por fuertes temporales. La crisis climática igualmente se acrecentó y llegó a afectar también a zonas muy distanciadas de la costa; hasta ese instante diversas jurisdicciones que desde el 2016 se ubicaban sin riesgo previsible, fueron dañadas por el fenómeno. Las afectaciones fueron más notorias en áreas aledañas a cauces de ríos.

Debido a la naturaleza dinámica y compleja, detallar con exactitud el daño que se produciría ante un suceso extremo es casi imposible, pero actualmente se han generado metodologías y tecnologías nuevas que posibilitan la simulación con cierto nivel de seguridad para facilitar las acciones de prevención, no para eludir que ocurra el suceso, sino para reducir sus consecuencias.



El presente trabajo de investigación está centrado en la caracterización hidrodinámica del flujo de la desembocadura del río Cañete considerando la marea alta y las descargas máximas del río como forzantes del sistema, por medio del software libre Iber, el cual es un modelo matemático bidimensional, con la capacidad de efectuar cálculos para casos futuros tomando un caso actual. Previamente, se requiere determinar caudales máximos en forma de hidrogramas que vienen a ser datos de ingreso para la modelación hidráulica, para ello se realizó siguiendo las etapas de recolección de información cartográfica, pluviométrica e hidrométrica, caracterización de la cuenca, procesamiento de estadístico de datos pluviométricos, entre otros, previos a la elaboración del modelo hidrológico de la cuenca del río Cañete con el programa HEC-HMS, obteniendo caudales máximos para diferentes periodos de retorno (25, 50, 100 y 200 años), eligiendo el caudal correspondiente a los 100 años de periodo de retorno.

Con lo expuesto, se destaca la relevancia del estudio que se enfoca en la determinación del comportamiento hidrodinámico del flujo en la desembocadura del río Cañete, con presencia de marea alta y un evento de máximas avenidas; lo cual nos permitirá conocer e identificar las posibles áreas vulnerables de inundación fluvial y/o desborde del río Cañete.

## **1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

En la desembocadura de un río hacia un cuerpo de agua de mayor magnitud, como lo es el Océano Pacífico; se pueden provocar distintos fenómenos dependiendo de las características del sistema. Estos fenómenos están condicionados principalmente por el caudal del río y las forzantes de las mareas (Aguado, 2013)

Las inundaciones producidas por ríos, debido a forzantes como el nivel de marea y fuertes precipitaciones generan niveles muy altos de riesgo frente a la presencia de eventos de desborde, dado que causan significativas pérdidas (Jonkman, 2005).



En marzo del 2017, con el Fenómeno del Niño Costero se incrementó el caudal del río Cañete produciendo desbordes y afectando así decenas de viviendas, calles y perdidas de grandes hectáreas de cultivos en caso de producirse una nueva avenida similar o superior a la ocurrida en el año 2017, las consecuencias serían mayores. A falta de análisis y diseños apropiados de las estructuras de protección, aumenta la vulnerabilidad del lugar. Puesto que la naturaleza es dinámica y compleja lo cual es difícil establecer con precisión el daño que resultaría una situación extrema de precipitación sumado a un escenario de marea alta.

Es por ello que se plantea la simulación hidráulica; ya que la mayoría de los estudios realizados se enfocan en las características de aguas arriba de la desembocadura del río. Sin embargo, se desconoce bastante que es lo que sucede aguas abajo de la boca del río. Tomando en consideración lo detallado se plantean las siguientes interrogantes:

- ¿Cuáles serían los efectos de las mareas altas del pacífico en el comportamiento hidrodinámico en la desembocadura del río Cañete, bajo condiciones de máximas avenidas y marea alta?
- ¿Cuál será la superficie de inundación producida por las máximas avenidas del río Cañete y la interacción de la marea?
- ¿Cuáles son los resultados del comportamiento hidrodinámico en la desembocadura del río Cañete en un escenario de mareas altas aplicando el software IBER?



## 1.2 JUSTIFICACIÓN

La crecida del río Cañete durante los últimos eventos extremos como el fenómeno de El Niño, los cuales causaron inundación de áreas agrícolas, la socavación en puentes, colapso de estructuras y otros daños, se manifestaron con mayor intensidad en los años 1998, 2000, 2001 y 2017 cuyos efectos negativos se reflejaron en áreas de cultivo inundadas, así como el colapso de la infraestructura de riego (bocatomas, captaciones, canales), vías de comunicación, quedando expuestos al peligro por efecto de la erosión, lo que representa una amenaza latente en la zona de estudio.

También cabe señalar que aún no se cuenta con estudios donde se tomen en cuenta los efectos de las mareas altas en desembocaduras de ríos y los posibles daños que causarían en áreas cercanas al lugar, como infraestructuras hidráulicas, áreas de cultivo, entre otros.

El estudio proporcionará información básica de las características hidrológicas de la cuenca e hidráulica del río, ante una eventual crecida y los riesgos que esta implicaría. Ante todo, se pretende beneficiar a la población que habita en el ámbito de influencia, por ser los potenciales afectados ante la ocurrencia de estos eventos.

## 1.3 OBJETIVOS

### 1.3.1 Objetivo General

- Determinar los efectos de la marea en el comportamiento hidrodinámico en la desembocadura del río Cañete, bajo ocurrencia de máximas avenidas.



### 1.3.2 Objetivos Específicos

- Determinar, caudales de máximas avenidas para el tramo analizado del río Cañete.
- Generar la superficie de inundación del río Cañete como resultado de la interacción de la marea y máximas avenidas.
- Caracterizar el comportamiento hidrodinámico en la desembocadura del río Cañete.



## CAPÍTULO II

### REVISIÓN DE LITERATURA

#### 2.1 ANTECEDENTES

##### 2.1.1 Antecedentes a nivel internacional

Rifo (2015), efectuó la modelación hidrodinámica del estuario del río Mataquito – Chile, utilizando como forzantes el río y el efecto de las mareas, se basó en caracterizar el comportamiento hidrodinámico de la desembocadura por medio de una modelación numérica utilizando el software Delft-3D, que corresponde a un modelo hidrodinámico desarrollado por Deltares del año 2011. Los resultados de la modelación indicaron un buen ajuste de las variables del flujo, como son las cotas de agua y las velocidades, satisfaciendo un coeficiente de variación menor al 10%, concluyó que el modelo es válido bidimensionalmente pero no tridimensionalmente, lo que indica que solo los resultados en plano horizontal son válidos en la modelación.

##### 2.1.2 Antecedentes a nivel nacional

La Autoridad Nacional del Agua ANA (2010), a través de la Dirección de Conservación y Planeamiento de Recursos Hídricos, realizó el estudio de máximas avenidas en las cuencas de la zona centro de la vertiente del Pacífico; en donde detalla que el océano Pacífico durante el Fenómeno El Niño/Oscilación Sur (ENOS), ha sido muy variable respecto a su intensidad. Los Niños Extraordinarios del 1982/1983, 1997/1998 y 2016/2017, tuvieron un impacto generalizado en toda la vertiente, creando condiciones de exceso hídrico que provocaron desastres, y siendo estos más acentuados en la zona norte. El estudio evaluó caudales de máximas avenidas de diversos tiempos de retorno en las cuencas y sub – cuencas de la zona centro de la vertiente del Pacífico para plantear y proponer programas de prevención y mitigación en períodos de avenidas,



obteniendo  $956.40 \text{ m}^3/\text{s}$ , como resultado de caudales máximos para un periodo de retorno (TR) de 100 años para la cuenca del río Cañete.

El INGEMMET (2017), ha emitido el informe Técnico N° A6768 sobre Evaluación geológica de las zonas afectadas por el Niño Costero 2017 en las regiones de Lima – Ica, conteniendo la información geológica y geodinámica para la Gestión del Riesgo de desastres, que busca contribuir al conocimiento de los procesos ocurridos en la región Lima como consecuencia de las fuertes lluvias asociadas al evento El Niño Costero, la ubicación de zonas críticas y la determinación de condicionantes que favorecen la ocurrencia de los peligros por movimientos en masa e inundaciones fluviales a los que se encuentran expuestos centros poblados y obras de infraestructura existentes en la región estudiada. Determina varias zonas críticas que se activaron en el evento FENC 2017, entre ellas el sector Clarita, catalogándola como “Área sujeta a erosión fluvial e inundación. Erosión fluvial en la margen derecha del río Cañete. Puede afectar viviendas, el puente Clarita, siendo susceptible a inundaciones en ambas márgenes, afectando además terrenos de cultivo, lo cual no permite la expansión al borde del cauce del río y requiere limpieza del cauce y colocación de defensa ribereña”.

### **2.1.3 Antecedentes a nivel local**

En 2012, la Agencia de Cooperación Internacional del Japón (JICA & MINAGRI, 2012) a través del Ministerio de Agricultura, realizó el estudio Hidrología de máximas avenidas del río Cañete, correspondiente al programa de preservación de valles y pueblos rurales, que son vulnerables frente inundaciones en Perú, donde determinaron los caudales máximos para varios periodos de retorno; dichos datos facilitaron el dimensionamiento apropiado de la sección hidráulica de encauzamiento de río, además; del diseño de obras de protección. Los resultados que obtuvieron son caudales máximos en el punto base conseguidos con el modelo HEC-HMS para varios tiempos de retorno,



obteniendo un caudal de 2174.90 m<sup>3</sup>/s para la cuenca del río Cañete, en un periodo de retorno de 100 años.

Tito (2017), identificó las zonas con mayor vulnerabilidad ante desbordes, precisamente el área que comprende del Puente Sosci al puente Colgate que se encuentra a 9 km arriba en el distrito de Lunahuana – Cañete, adquirió datos para diseñar las defensas ribereñas en el área, mediante modelamiento hidráulico con HEC-RAS. Determinó el caudal para un tiempo de retorno de cincuenta años, ha precisado la capacidad portante del suelo y su profundidad de socavación, también estableció la altura del muro y el ancho con el método de encauzamiento de Altunin y por último el estudio de estabilidad a cumplido para el diseño que propuso.

## **2.2 MARCO TEÓRICO**

### **2.2.1 Hidrología**

Ven Te Chow et al., (1994), la relación del agua y los seres vivos implica la circulación por encima y abajo de la superficie terrestre, incluidos los procesos, físicos, químicos y biológicos que ocurren en toda su extensión de su recorrido.

### **2.2.2 Caudal**

Linsley & Kohler (1977), el caudal es una variable dependiente en gran parte de los análisis, dado que la ingeniería hidrológica se enfoca puntualmente a la estimación del volumen del flujo, o si en el valor presentan variaciones dado a las actividades humanas. Al tomar en consideración los caudales, son importantes los que presentan el máximo valor.



### 2.2.3 Cuenca hidrográfica

Es el lugar en el que convergen las aguas a zonas más bajas lo cual se consideran puntos de aforo y se juntan a una corriente o río principal que fluye hacia el mar o lago. (Aparicio, 1989).



**Figura 1.** Estructura jerárquica de la cuenca hidrográfica.

**Fuente:** Ordoñez (2011).

### 2.2.4 Sistema de información geográfica (SIG) aplicada a la hidrología

Sastre (2010), indica que el SIG, es una integración organizada de hardware, software, datos geográficos y personal, diseñada para almacenar, manejar, capturar, modelar, analizar, y representar en todas sus formas la información geográficamente referenciada con el fin de solucionar problemas complejos de gestión y planificación.

Estrada & Pacheco (2016), el desarrollo del SIG ayuda a integrar los resultados del modelamiento hidrológico y las diversas particularidades físico - geográficas de las cuencas en un sistema de preventiva hidrológica que permita pronosticar las inundaciones y la toma de decisiones. Los SIG conforman un instrumento apropiado para dar respuesta a cuestiones vinculadas con la distribución del espacio y las series temporales de la escorrentía. Estos sistemas permiten el tratamiento de datos hidrológicos gracias a que involucran procesos establecidos para efectuar la captura, almacenaje, manejo, estudio, modelación y exposición de información georreferenciada. Con apoyo de los SIG la modelación hidrológica apresura su desarrollo y ejecución logrando una actuación a



manera de plataforma para la prueba veloz de ideas novedosas y conceptos, a la vez que sus descubrimientos pueden ser asociados a la toma de decisiones y en el ordenamiento del territorio.

#### **2.2.4.1 Modelo de Elevación Digital**

Se define como una estructura de datos numéricos que representa la distribución espacial de las elevaciones de la superficie terrestre.

Los mapas de pendiente (nivel o puntos porcentuales), relieve de sombras, aspecto de la pendiente, vistas en 3D, son algunos los resultantes que se emanan del estudio de topografía iniciando de un DEM (Felicísimo, 1994).

#### **2.2.5 Geomorfología de la cuenca**

Es crucial las medidas geomorfológicas de la cuenca para determinar su impacto en la actuación de la misma ya que, conforme con (Villón, 2002), los diferentes procedimientos geomorfológicos en el interior de un sistema de una cuenca son extremadamente complejos y se encuentran de acuerdo a las particularidades del clima y su fisiografía que influye de forma directa al comportamiento de la cuenca.

En la actualidad, las características geomorfológicas se determinan automáticamente mediante herramientas informáticas, SIG y demás instrumentos.

#### **2.2.6 Parámetros de forma de la cuenca**

##### **2.2.6.1 Área de la cuenca**

Mejía (2006), el área de la cuenca o de drenaje es la zona plana (proyección horizontal) que comprende el límite o divisoria de aguas. El área de la cuenca es el elemento fundamental para la estimación de las demás particularidades físicas y es establecido, usualmente con planímetro y detallado comúnmente en km<sup>2</sup> o

hectáreas. Es relevante destacar que cuencas hidrográficas con similar área pueden poseer comportamientos hidrológicos muy diferentes de acuerdo a los demás factores que llegan a intervenir.

### 2.2.6.2 Longitud, perímetro y ancho

Monsalve (1999), la longitud ( $L$ ), de la cuenca se podría detallar como la separación horizontal del río principal entre un punto aguas abajo (estación de aforo) y el correspondiente punto aguas arriba en el cual la tendencia general del río principal corte la línea de borde de la cuenca.

El perímetro de la cuenca o la longitud de la línea de divorcio de la hoya es un parámetro relevante, dado a que la vinculación con la zona no indicaría algo respecto a la forma de la cuenca. Comúnmente este elemento físico lleva por símbolo la  $P$  mayúscula.

El ancho se detalla como la relación entre el área ( $A$ ) y la longitud de la cuenca ( $L$ ) y se simboliza por la letra  $W$ . Correspondientemente:

$$W = A/L \quad (1)$$

### 2.2.6.3 Coeficiente de compacidad o índice de Gravelius

Mejía (2006), refiere que el índice de Gravelius ( $Kc$ ) es la relación del perímetro de la cuenca ( $P$  en km) con la circunferencia de un círculo de área similar a la de la cuenca ( $A$  en  $km^2$ ):

$$C_c = \frac{(0.282)(P_c)}{\sqrt{A}} \quad (2)$$

En donde:  $C_c$  es el coeficiente de compacidad;  $A$  el área y  $P_c$ , el perímetro de la cuenca.

**Tabla 1.** Formas de la cuenca de acuerdo al índice de compacidad.

Clase de forma	Índice de compacidad	Forma de la cuenca
Clase I	1.0 a 1.25	Casi redonda a oval-redonda
Clase II	1.26 – 1.50	Oval – redonda a oval oblonga
Clase III	1.51 a más de 2	Oval – oblonga a rectangular - oblonga

**Fuente:** Viramontes et al., (2007)

#### 2.2.6.4 Factor forma de Horton

Mejía (2006) refiere que el factor de forma ( $K_f$ ), es la relación entre el ancho y la longitud axial de la cuenca. La longitud axial de la cuenca ( $L$ ) se mide siguiendo el curso de agua más largo desde la desembocadura hasta la cabecera más distante de la cuenca, se determina mediante la siguiente ecuación:

$$K_f = A/L^2 \quad (3)$$

En dónde:  $A$  es el Área de la cuenca en  $Km^2$  y  $L$ , la extensión del cauce principal en Km.

**Tabla 2.** Formas de la cuenca de acuerdo al factor de forma.

Valores aproximados	Forma de la cuenca
<0.22	Muy alargada
0.22 - 0.30	Alargada
0.30 - 0.37	Ligeramente Alargada
0.37 - 0.45	Ni alargada, ni ensanchada
0.45 - 0.60	Ligeramente ensanchada
0.60 - 0.80	Ensanchada
0.80 - 1.20	Muy ensanchada
>1.20	Rodeando el desagüe

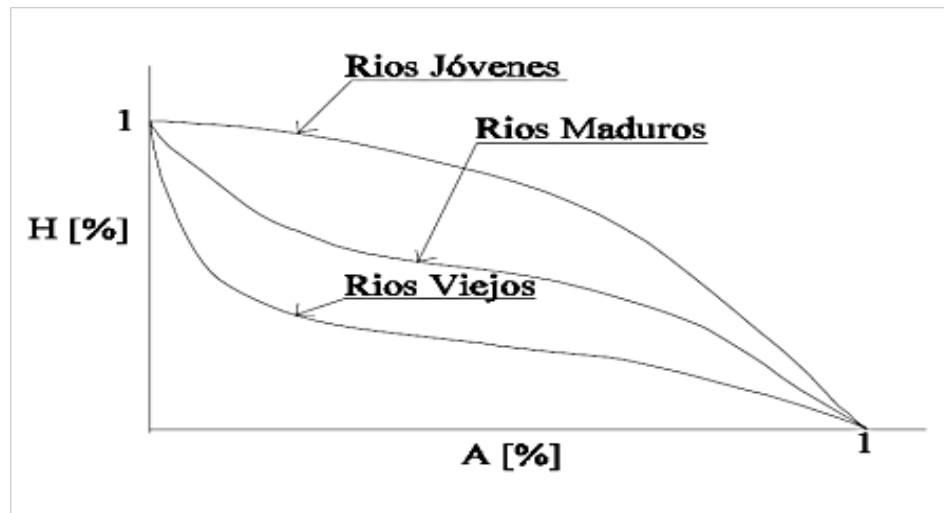
**Fuente:** Adaptada de Moreno (2011).

#### 2.2.7 Parámetros de relieve de la cuenca

Según Mejía (2006), el relieve de una cuenca afecta en gran medida a las variables meteorológicas e hidrológicas, ya que la pendiente de la cuenca determina el ritmo de la escorrentía superficial y la altura de la cuenca afecta a variables como la temperatura, la precipitación y la evaporación, entre otras. Son funciones de la altitud de la cuenca.

### 2.2.7.1 Curva hipsométrica

Es una curva en coordenadas cartesianas que representa la relación entre la elevación y la superficie de la cuenca por encima de esa elevación. Las edades de los ríos en las cuencas también se han relacionado con las curvas hipsométricas (Villón, 2002).



**Figura 2.** Curva hipsométrica y edad de ríos.

**Fuente:** Villón (2002).

### 2.2.7.2 Pendiente media de la cuenca (J)

Caracteriza uno de los parámetros fundamentales que el relieve y permite comparar cuencas para visualizar eventos de erosión que se exterioriza en la superficie (Viramontes et al., 2007). La fórmula es:

$$J = 100 * \frac{(\sum Li)(E)}{A} \quad (4)$$

En la cual: **J** es la pendiente promedio de la cuenca (%),  $\sum Li$ , es la adición de la longitud de las curvas de nivel (Km), **E**, la equidistancia entre curvas de nivel (Km) y **A** es el área de la cuenca (km<sup>2</sup>).

**Tabla 3.** Rango de pendientes.



Pendiente media (%)	Terreno
0% - 7.0%	Ligeramente inclinado
7% - 12%	Moderadamente inclinado
12% - 25%	Fuertemente inclinado
25% - 50%	Algo escarpado
>50	Escarpado a muy escarpado

**Fuente:** Clasificación de tierras ONERN (1975).

## 2.2.8 Características de la red de drenaje

El sistema de drenaje de la cuenca está compuesto por un cauce principal y sus afluentes: es importante estudiar el desarrollo de sus ramificaciones y sistemas, porque muestra que tan rápido o lento sale el agua de la cuenca hidrológica (Mejía, 2006).

### 2.2.8.1 Densidad de drenaje

Según Mejía (2006), el índice de densidad de drenaje  $D_d$  proporciona una buena medida del nivel de desarrollo de un sistema de drenaje. Este índice se define como la relación entre el total del área ( $A$ ) y la longitud total ( $L$ ) de todos los cursos de agua dentro de una cuenca, independientemente de si son intermitentes, perennes o efímeras.

$$D_d = \frac{\sum L}{A} \quad (5)$$

En donde:  $D_d$  es la Densidad de drenaje,  $\sum L$  la adición de la longitud de los cursos que se integran en la cuenca (km) y  $A$ , es el área de la cuenca (km<sup>2</sup>).

**Tabla 4.** Interpretación del valor de la densidad de drenaje.

Rangos de densidad de drenaje (km/km <sup>2</sup> )	Categoría
<1	Baja
1 - 2	Moderada
2 - 3	Alta
>3	Muy alta

**Fuente:** Moreno (2011).

#### 2.2.8.2 Pendiente media del cauce principal:

Este parámetro es de importancia para estudiar la cuenca en su totalidad y tiene relaciones fundamentales y complejas con la infiltración, la humedad del suelo, el escurrimiento superficial y el aporte del agua subterránea al escurrimiento. Es el factor que controla la duración de la escorrentía y la acumulación de aguas pluviales en un canal de drenaje y está directamente relacionado con la intensidad de la inundación (Villón, 2002).

$$S = H/L \quad (6)$$

Dónde: S, es la pendiente del cauce (%), H, el desnivel general (m) y L, el lado superior del rectángulo equivalente (m)

**Tabla 5.** Valores para relieve o topografía del terreno.

Pendiente en porcentaje	Tipo de terreno
2	Llano
5	Suave
10	Accidente Medio
15	Accidentado
25	Fuertemente Accidentado
50	Escarpado
Mayor a 50	Muy Escarpado

**Fuente:** Viramontes et al., (2007).



### 2.2.8.3 Tiempo de concentración ( $T_c$ )

Es el lapso que demora una gota de agua de lluvia en llegar a la salida de la cuenca o punto de aforo desde el extremo más alejado (Viramontes et al., 2007).

Existen diversas expresiones empíricas, pero una de las metodologías más usuales para establecer este parámetro es empleando la ecuación de Kirpich, dada por la ecuación correspondiente:

$$T_c = 0.01947 \frac{L^{0.77}}{S^{-0.385}} \quad (7)$$

En donde:  $T_c$  es el tiempo de concentración (min),  $L$  es la longitud del cauce principal (m) y  $S$ , la pendiente del cauce principal (m/m).

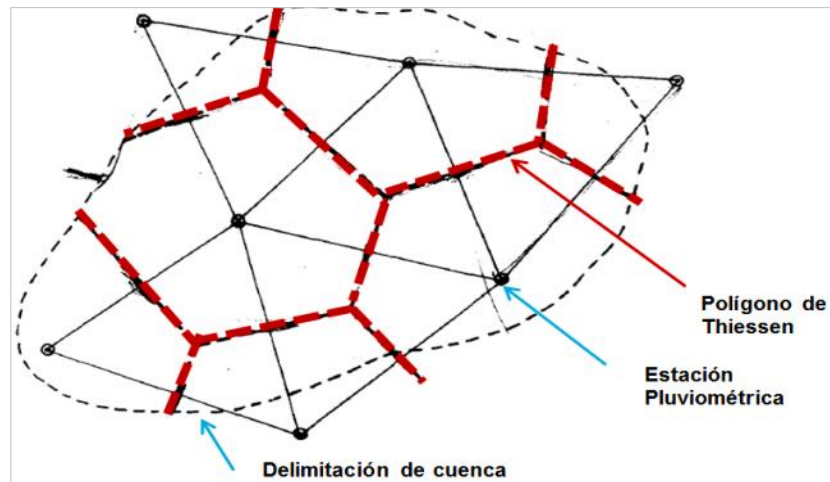
### 2.2.9 Precipitación

La precipitación consiste en toda el agua que se deposita a lo largo de la superficie terrestre de una forma u otra por condensación del vapor de agua en la atmosfera. También se considera una variable hidrológica que refleja con mayor claridad su aleatoriedad, la cual varía significativamente en el tiempo y el lugar (Mejía, 2006).

### 2.2.10 Polígonos de Thiessen

Se usa si la distribución de estaciones en el área de estudio es desigual. El trazado de líneas que conectan estaciones adyacentes es el primer paso para definir la zona de influencia de cada estación. Se presume que toda la región comprendida dentro de las limitaciones producidas por la unión de estas perpendiculares ha recibido precipitaciones de la misma cantidad que la estación, ya que estas líneas están bisecadas por perpendiculares (Puelles, 2015).





**Figura 3.** Polígonos de Thiessen.

**Fuente:** Puelles (2015).

### 2.2.11 Estaciones pluviométricas

Se ocupan de calcular cuánto es la precipitación que llega en la superficie de la tierra midiendo la altura a la que una lámina de agua caería al suelo en ausencia de filtración o escorrentía utilizando una regla con escala milimétrica. Mientras que en Estados Unidos la lluvia se mide en pulgadas, en América Latina se registra en milímetros (Ven Te Chow et al., 1994).

Las estaciones son seleccionadas por la cercanía al área de análisis y que cuente con un número suficiente de datos (18 años) para poder realizar sobre los mismos el análisis estadístico necesario.

### 2.2.12 Precipitación máxima en 24 horas

Se usa en varios cálculos las precipitaciones máximas en 24 horas, principalmente para áreas donde la información de caudal máximo no está disponible. Los pluviómetros se encuentran instalados en zonas estratégicas, para obtener datos de lluvia del lugar en estudio. Se utiliza un método para hacer estos cálculos es una función de distribución de valores extremos para ajustar una función analítica a una serie de precipitaciones máximas anuales y luego permitir que a cada valor se le asigne una tasa o período de

recurrencia. Precipitación máxima diaria en un lugar determinado. Si el objetivo es saber que la precipitación máxima diaria en un momento dado en el área de estudio tiene una cierta periodicidad, se suele utilizar un análisis escalar de las cantidades calculadas a partir de la serie de datos disponibles de los pluviómetros. Aunque este enfoque es común, tiene algunos inconvenientes y puede dar lugar a una gran incertidumbre en los resultados e incluso a errores evidentes (Martínez, 2017).

### 2.2.12.1 Prueba de datos dudosos

Los “datos atípicos” se definen como registros que se apartan de modo relevante de la tendencia de información restante. Retener o eliminar estos datos pueden afectar significativamente la magnitud de los parámetros estadísticos calculados para cierta información, especialmente en pequeñas muestras (Water Resources C, 1981).

EL método para detectar datos dudosos consta en el estudio de las series de información histórica respecto a las máximas precipitaciones en 24 horas.

Para datos atípicos mayores se utiliza la correspondiente fórmula de frecuencia:

$$Y_h = \bar{y} + K_n * S_y \quad (8)$$

Para datos atípicos menores se utiliza la correspondiente fórmula de frecuencia:

$$Y_h = \bar{y} - K_n * S_y \quad (9)$$

En el cual,  $Y_h$  es el umbral de datos atípicos mayores (unidades logarítmicas)

$$\bar{y} = \frac{y}{n} \quad (10)$$

En donde:  $\bar{y}$  es el logaritmo de las precipitaciones máximas y  $n$  es la cantidad de información disponible.

$$S_y = \left( \frac{1}{n-1} * \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 \right)^{0.5} \quad (11)$$

**Tabla 6.** Valores de  $K_n$  para prueba de datos atípicos.

Tamaño de muestra	$k_n$	Tamaño de muestra	$k_n$	Tamaño de muestra	$k_n$	Tamaño de muestra	$k_n$
10	2,036	24	2,467	38	2,661	60	2,837
11	2,088	25	2,486	39	2,671	65	2,866
12	2,134	26	2,502	40	2,682	70	2,893
13	2,175	27	2,519	41	2,692	75	2,917
14	2,279	28	2,534	42	2,700	80	2,940
15	2,309	29	2,549	43	2,710	85	2,961
16	2,335	30	2,563	44	2,719	90	2,981
17	2,361	31	2,577	45	2,727	95	3,000
18	2,385	32	2,591	46	2,736	100	3,017
19	2,408	33	2,604	47	2,744	110	3,049
20	2,385	34	2,616	48	2,753	120	3,078
21	2,408	35	2,628	49	2,760	130	3,104
22	2,429	36	2,639	50	2,768	140	3,129
23	2,448	37	2,650	55	2,804		

**Fuente:** Water Resources C., (1981).

### 2.2.12.2 Análisis de frecuencias

Tiene el fin de estimar la precipitación, caudal máximo o intensidades, para distintos tiempos de retorno, a partir de modelos probabilísticos, que pueden ser continuos o discretos (Villón, 2002).

### 2.2.12.3 Distribución de probabilidad

Conforme con el Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje (MTC, 2014), sugiere emplear las siguientes funciones de distribución, para el análisis estadístico de las series de precipitaciones máximas: Normal, Log Normal 2

parámetros, Log Normal 3 parámetros, Gamma 2 parámetros, Gamma 3 parámetros, Log Pearson Tipo III, Gumbel y Log Gumbel.

### A. Distribución Normal

La función de densidad de probabilidad normal se define como:

$$f(x) = \frac{1}{s\sqrt{(2\pi)}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{s}\right)^2} \quad (12)$$

Dónde:  $f(x)$  es la función densidad normal de la variable independiente  $x$ ;  $\mu$  es el parámetro de localización, igual a la media aritmética de  $x$  y finalmente,  $S$  es el parámetro de escala, igual a la desviación estándar de  $x$ .

### B. Distribución Log Normal 2 Parámetros

La función de densidad de probabilidad normal se define como:

$$P(x \leq x_i) = \frac{1}{s\sqrt{(2\pi)}} \int_{-\infty}^{x_i} e^{-\frac{(x-X)^2}{2s^2}} dx \quad (13)$$

En el cual  $\bar{X}$  y  $S$  son factores de la distribución.

Si la variable  $x$  de la ecuación (1) es reemplazada por una función  $y=f(x)$ , tal que  $y=\log(x)$ , la función puede normalizarse, convirtiéndose en una ley de probabilidades llamada log normal,  $N(Y, S_y)$ . Los valores originales de la variable aleatoria  $x$ , deben ser transformados a  $y = \log x$ , de forma que:

$$\bar{Y} = \sum_{i=1}^n \log x_i / n \quad (14)$$

Donde  $\bar{Y}$  es el promedio de la información de la muestra transformada.

$$S_y = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{Y})^2}{n-1}} \quad (15)$$

Donde  $S_y$  es la desviación estándar de la información de la muestra transformada.

Igualmente; se consideran las correspondientes relaciones:

$$Cs = a/S^3 \text{ y} \quad (16)$$

$$a = \frac{n}{(n-1)(n-2)} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{Y})^3 \quad (17)$$

En el cual Cs es el coeficiente de oblicuidad de la información de la muestra transformada (Monsalve, 1999).

### C. Distribución Log Normal 3 Parámetros

La función de la densidad de x es:

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

Para  $x > x_0$

Dónde:  $X_0$  son los parámetros de posición,  $U_y$  los parámetros de escala o media y  $Sy^2$  es el parámetro de forma o varianza.

### D. Distribución Gamma 2 Parámetros

La función de densidad es:

$$f(x) = \frac{x^{\gamma-1} e^{-\frac{x}{\beta}}}{\beta^{\gamma} \Gamma(\gamma)} \quad (19)$$

Valido para:

$$0 \leq x < \infty$$

$$0 < \gamma < \infty$$

$$0 < \beta < \infty$$

En donde:  $\gamma$  es el parámetro de forma y  $\beta$  es el parámetro de escala.

### E. Distribución Gamma 3 Parámetros

La función de densidad es:

$$f(x) = \frac{(x-x_0)^{\gamma-1} e^{-\frac{(x-x_0)}{\beta}}}{\beta^\gamma \Gamma(\gamma)} \quad (20)$$

Valido para:

$$x_0 \leq x < \infty$$
$$-\infty \leq x_0 < \infty$$
$$0 < \beta < \infty$$
$$0 < \gamma < \infty$$

En donde:  $x_0$  es el origen de la variable o parámetro de posición,  $\gamma$  es el parámetro de forma y  $\beta$  es el parámetro de escala.

### F. Distribución Log Pearson Tipo III

La función de densidad es:

$$f(x) = \frac{(\ln x - x_0)^{\gamma-1} e^{-\frac{(\ln x - x_0)}{\beta}}}{x \beta^\gamma \Gamma(\gamma)} \quad (21)$$

Admitido para:

$$x_0 \leq x < \infty$$
$$-\infty \leq x_0 < \infty$$
$$0 < \beta < \infty$$
$$0 < \gamma < \infty$$

En el cual:  $x_0$  es el origen de la variable o parámetro de posición,  $\gamma$  es el parámetro de forma y  $\beta$  es el parámetro de escala.

### G. Distribución Gumbel

La distribución de Valores Tipo I detallada como Distribución Gumbel o Doble Exponencial, posee como función de distribución de probabilidades la correspondiente expresión:



$$F(x) = e^{-e^{-\alpha(x-\beta)}} \quad (22)$$

Empleando la metodología, se consiguen las correspondientes vinculaciones:

$$\alpha = \frac{1.2825}{\sigma} \quad (23)$$

$$\beta = \mu - 0.45\sigma \quad (24)$$

En donde:  $\alpha$  es el parámetro de concentración y  $\beta$  es el parámetro de ubicación.

Según, (Ven Te Chow, Maidment, D.R. and Mays, 1994) la distribución puede manifestarse de la correspondiente forma:

$$x = \bar{x} + k\sigma_x \quad (25)$$

Donde:

$x$  : valoración con una probabilidad brindada.

$\bar{x}$  : media de la serie.

$k$  : factor de frecuencia.

## H. Distribución Log Gumbel

La variable aleatoria reducida log gumbel, se define como:

$$y = \frac{\ln x - \mu}{\alpha} \quad (26)$$

Con lo cual, la función acumulada reducida log gumbel es:

$$G(y) = e^{-e^{-y}} \quad (27)$$

### 2.2.12.4 Pruebas de bondad de ajuste

Tarazona (2016), desarrolla diversas pruebas estadísticas para examinar la idoneidad del ajuste entre los datos y una distribución de probabilidad.



### A. Prueba de Smirnov – Kolmogorov

Determina si dos muestras proceden del mismo modelo probabilístico utilizando este enfoque de prueba no paramétrica (Bois et al., 1998).

Para establecer el valor absoluto entre las dos frecuencias, también es esencial calcular la frecuencia teórica acumulada como la observada acumulada. Esta prueba puede utilizarse tanto para muestras grandes como pequeñas, y es válida para distribuciones continuas (Pizarro et al., 1986).

Para la determinación de la frecuencia observada acumulada:

$$Fn(x) = \frac{n}{N+1} \quad (28)$$

En la cual: “Fn (x)” es la frecuencia observada acumulada; “n” es el número orden del dato y “N” el número total de datos.

Determinación de la frecuencia teórico calculado F(x) para todas las funciones. Tras la obtención de las dos frecuencias, se determina el valor absoluto de las diferencias entre las dos, en el lugar i-enésima del orden que se conoce como Dc.

$$Dc = \text{Sup}|F_n(x)_i - F(x_i)| \quad (29)$$

Si menor es el valor absoluto que la diferencia tabulada por tabla, determinada por el tamaño de la muestra, el nivel de significancia el ajuste es bueno (0,05 y 0,01 son los más comunes). Si al compararla da como resultado una gran variación entre la distribución propuesta y la función de distribución muestral, se rechaza.

#### 2.2.12.5 Factor de ajuste de frecuencia

Según la Guía de prácticas hidrológicas de la (Organización Meteorológica Mundial OMM, 2008) brinda como recomendación efectuar la multiplicación de



la información pluviométrica por un factor de ajuste de la frecuencia de visualización diaria.

Tomando en consideración que el caso de que las estaciones de registro, son las que se registren una vez al día, las precipitaciones deben de efectuar la multiplicación por un factor de 1.13, correspondientemente:

**Tabla 7.** Factor de ajuste de frecuencia de observaciones.

N° Observaciones por día	Factor de ajuste
1	1.13
2	1.04
3 - 4	1.03
5 - 8	1.02
9 - 24	1.01
>24	1.00

**Fuente:** Organización Meteorológica Mundial (2008).

#### 2.2.12.6 Periodo de retorno

Ven Te Chow et al., (1994), señala que el periodo de retorno es un evento con una magnitud dada, se puede definir como el intervalo de recurrencia promedio entre eventos que mayores o iguales a una magnitud específica.

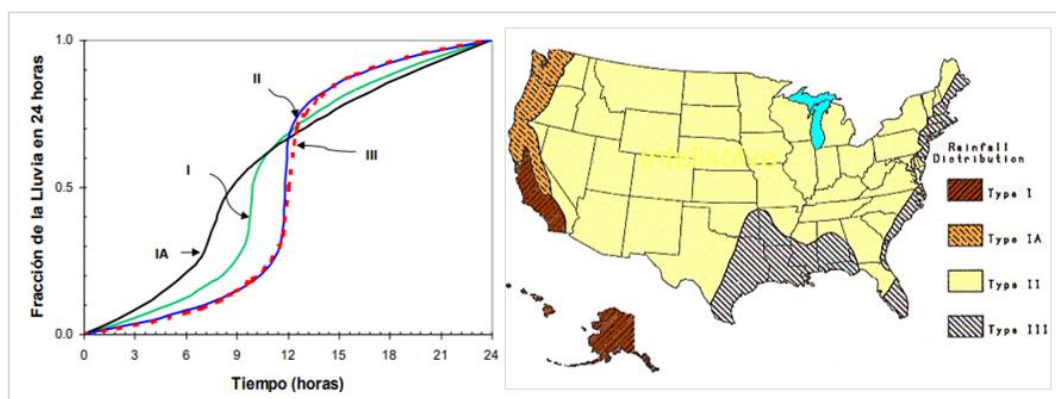
#### 2.2.13 Tormenta de diseño

Las tormentas de diseño se definen como eventos de lluvia utilizados en el diseño de sistemas hidrológicos. A menudo se utilizan como datos de entrada en el análisis de los patrones de precipitación - escorrentía para considerar los hidrogramas de inundaciones en las cuencas hidrográficas. Se define una tormenta de diseño por medio del valor puntual de la profundidad de la lluvia utilizando un hietograma de diseño que indica la distribución temporal de la lluvia durante la tormenta (Ven Te Chow et al., 1994).

### 2.2.13.1 Hietogramas de diseño empleando estudios de eventos de tormenta

El SCS del (Departament of agriculture EEUU, 1986), generó hietogramas sintéticos de tormentas para emplearse en los EE.UU con una duración de tormentas de 6 hasta 24 hrs. Para crear estos hietogramas se utilizaron los datos publicados por (Hershfield, 1961), (John Frederick Miller, Robert J Tracey, 1973) así como información adicional de tormentas. Las 4 variedades de tormentas de 24 horas se designaron como Tipo I, Tipo IA, Tipo II y Tipo III, correspondientemente, en función del clima local (seco, húmedo, tropical además de costero).

Las zonas de la geografía de EE.UU. en las que se pueden utilizar estos hietogramas. Los inviernos lluviosos y los veranos secos del entorno marino del Pacífico se reflejan en los Tipos I y IA. Las tormentas tropicales de tipo III se asocian a las costas del Atlántico y del Golfo de México, donde proporcionan precipitaciones muy importantes durante las 24 horas del día. El tipo II se refiere al resto de Estados Unidos (Ven Te Chow et al., 1994).



**Figura 4.** Localización y hietogramas de lluvia en 24 horas SCS para EEUU.

**Fuente:** Ven Te Chow et al., (1994).

**Tabla 8.** Distribuciones de lluvia según SCS.

Tormenta de 24 horas						Tormenta de 6 horas		
<i>hora t</i>	<i>t/24</i>	<i>Pt/P24</i>				<i>Hora t</i>	<i>t/6</i>	<i>Pt/P6</i>
		<i>Tipo I</i>	<i>Tipo IA</i>	<i>Tipo II</i>	<i>Tipo III</i>			
0.000	0.000	<b>0.000</b>	0.000	0.000	0.000	0	0	0
2.00	0.083	<b>0.035</b>	0.050	0.022	0.020	0.60	0.10	0.04
4.00	0.167	<b>0.076</b>	0.116	0.048	0.043	1.20	0.20	0.10
6.00	0.250	<b>0.125</b>	0.206	0.080	0.072	1.50	0.25	0.14
7.00	0.292	<b>0.156</b>	0.268	0.098	0.089	1.80	0.30	0.19
8.00	0.333	<b>0.194</b>	0.425	0.120	0.115	2.10	0.35	0.31
8.50	0.354	<b>0.219</b>	0.480	0.133	0.130	2.28	0.38	0.44
9.00	0.375	<b>0.254</b>	0.520	0.147	0.148	2.40	0.40	0.53
9.50	0.396	<b>0.303</b>	0.550	0.163	0.167	2.52	0.42	0.60
9.75	0.406	<b>0.362</b>	0.564	0.172	0.178	2.64	0.44	0.63
10.00	0.417	<b>0.515</b>	0.577	0.181	0.189	2.76	0.46	0.66
10.50	0.438	<b>0.583</b>	0.601	0.204	0.216	3.00	0.50	0.70
11.00	0.459	<b>0.624</b>	0.624	0.235	0.250	3.30	0.55	0.75
11.50	0.479	<b>0.654</b>	0.645	0.283	0.298	3.60	0.60	0.79
11.75	0.489	<b>0.669</b>	0.655	0.357	0.339	3.90	0.65	0.83
12.00	0.500	<b>0.682</b>	0.664	0.663	0.500	4.20	0.70	0.86
12.50	0.521	<b>0.706</b>	0.683	0.735	0.702	2.50	0.75	0.89
13.00	0.542	<b>0.727</b>	0.701	0.772	0.751	4.80	0.80	0.91
13.50	0.563	<b>0.748</b>	0.719	0.799	0.785	5.40	0.90	0.96
14.00	0.583	<b>0.767</b>	0.736	0.820	0.811	6.00	1.00	1.00
16.00	0.667	<b>0.830</b>	0.800	0.880	0.886			
20.00	0.833	<b>0.926</b>	0.906	0.952	0.957			
24.00	1.000	<b>1.000</b>	1.000	1.000	1.000			

**Fuente:** Ven Te Chow et al.,(1994).

### 2.2.14 Precipitación

Tarazona & Fano (2016), la cantidad de agua que cae a la superficie terrestre y proviene de la humedad atmosférica, ya sea en estado líquido (lluvia y llovizna) o en estado sólido (escarcha, nieve, granizo). La precipitación es uno de los procesos meteorológicos más importantes para la hidrología y junto a la evaporación constituyen la forma mediante la cual la atmosfera interactúa con el agua superficial en el ciclo hidrológico.



### **2.2.14.1 Precipitación efectiva**

La precipitación efectiva o exceso de precipitación es la lluvia que no permanece en la superficie de la tierra y no penetra en el suelo. Luego de fluir sobre la superficie de la cuenca, se convierte en un escurrimiento que va directo a la salida de la cuenca (Ven Te Chow et al., 1994).

### **2.2.15 Infiltración**

Ven Te Chow et al., (1994), señala que el proceso por el que el agua se filtra en el suelo desde la superficie de la tierra se conoce como infiltración. El estado de la superficie del suelo y la vegetación que lo cubre, la porosidad y la conductividad hidráulica del suelo, así como su contenido de humedad, son elementos que afectan a la tasa de infiltración.

### **2.2.16 Cobertura vegetal**

El Mapa de Cobertura Vegetal está conformado por unidades espaciales definidas y clasificadas en base a criterios geográficos, fisionómicos, condición de humedad y excepcionalmente florísticos. Muestra la distribución geográfica, las características biofísicas generales de los diversos tipos de cobertura vegetal que cubren el país, y superficie, como por ejemplo los palmerales pantanosos (aguajales) de la selva baja y los bosques lluviosos, los bosques secos del noroeste, los bosques lluviosos de la selva alta, los herbazales altoandinos (pajonales, bofedales), los bosques relictos andinos, los matorrales andinos, etc. Asimismo, conforma una fuente de datos fundamentales para calcular la cantidad de curva (CN).

La cubierta vegetal es la que más influye en la erosión y la escorrentía directa entre los elementos contribuyentes. Sus pequeñas diferencias provocan mayores porcentajes de variación en las tasas de escorrentía y de pérdida de suelo en comparación



con los demás componentes (manejo, clima, suelo y relieve). Al capturar las gotas de agua y disminuir la potencia con la que golpean el suelo, las plantas y sus subproductos protegen los suelos. Así se evita la formación de costras y la compactación del suelo, que tienen como consecuencia la reducción de la infiltración y el aumento de la escorrentía. En caso de un fuerte aguacero, por ejemplo, el suelo no se satura de agua tan rápidamente, ya que las gotas tardan más en llegar al suelo al bajar por los troncos y las hojas de los árboles, lo que reduce la probabilidad de inundaciones y desbordamientos. (PHI-UNESCO / Programa Hidrológico Internacional para América Latina y el Caribe, 2011).

Martínez (2017), las cubiertas vegetales suelen reducir los riesgos de inundación. También es fundamental el crecimiento de los bosques para atrapar el carbono y frenar el cambio climático. Los bosques actúan como una esponja, reteniendo cierta cantidad del agua de las correspondientes lluvias. Como resultado, la cantidad de agua que llega a las tomas de agua ya sea en la superficie o filtrada en el suelo, se reduce y fluye de forma lenta hacia las áreas bajas de la cuenca. En cambio, cuando el suelo está desprovisto de vegetación, las precipitaciones fluyen más libremente, erosionando la superficie y destruyendo el suelo rico, lo que acelera el proceso de desertificación. La cantidad de escorrentía también se concentra en un periodo de tiempo más corto cuando se elimina una barrera natural, lo que aumenta repentinamente los caudales en los arroyos y ríos. Esto aumenta la probabilidad de que se produzcan inundaciones, desprendimientos de tierra y ambas cosas.

## **2.2.17 Método del número de curva**

### **2.2.17.1 Método del SCS para abstracciones**

El Soil Conservation Service de los Estados Unidos de América, SCS (SCS, 1972), ahora llamada Natural Resource Conservation Service (NRCS),

estableció la técnica del CN para determinar las abstracciones de una tormenta, que comprenden las intercepciones, la infiltración además de la retención superficial.

Para la totalidad de la tormenta, la profundidad del exceso de lluvia o escorrentía directa  $P_e$  va a ser menor siempre o equivalente que la profundidad de la precipitación  $P$ . De igual manera, una vez iniciada la escorrentía, la profundidad adicional de agua retenida en la cuenca  $F_a$  va a ser menor o igual que alguna retención potencial máxima  $S$ , y que la escorrentía potencial, en otras palabras, el volumen máximo de agua que puede transformarse en escorrentía, es  $P - I_a$ .

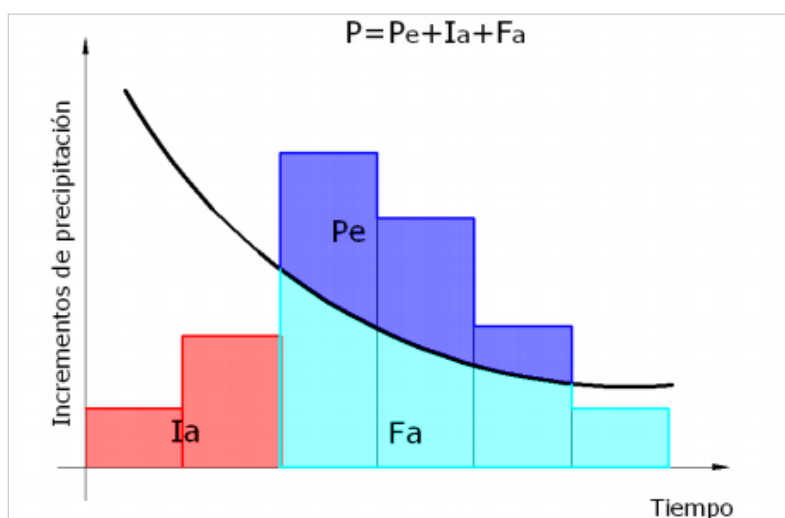
Del método su hipótesis principal es la validez de la relación mostrada:

$$\frac{P_a}{P - I_a} \quad (30)$$

Del principio de continuidad:

$$P = P_e + I_a + F_a \quad (31)$$

En la cual:  $I_a$  es la abstracción inicial,  $P_e$  es el exceso de precipitación,  $F_a$  es la abstracción continuada y  $P$  es la precipitación total.



**Figura 5.** Metodología SCS para el cálculo de abstracciones.  
**Fuente:** SCS (1972).

Combinando ambas ecuaciones y determinando para Pe se tiene que:

$$Pe = \frac{(P-I\alpha)^2}{P-I\alpha+S} \quad (32)$$

Al analizar los resultados conseguidos para diversas pequeñas cuencas en estudio, se estableció una relación empírica:

$$I\alpha = 0.2S \quad (33)$$

Se obtiene que:

$$Pe = \frac{(P-0.2)^2}{P-0.8S} \quad (34)$$

Los anteriores conceptos van a permitir comprender como se comportan las cuencas hidrográficas durante las precipitaciones. Esto implica que se conocerá la cantidad de agua retenida por una cuenca como resultado de la infiltración del suelo y la cantidad de escorrentía en la que se basará el diseño de un proyecto.

#### **A. Condición hidrológica:**

Es la capacidad de la superficie de la cuenca para dificultar o facilitar la escorrentía directa, en la cobertura vegetal siempre en función de esta. Se puede aproximar como:

**Tabla 9.** Condiciones hidrológicas.

<b>Cobertura vegetal</b>	<b>Condición hidrológica</b>
>75% del área	Buena
Entre 50% Y 75% del área	Regular
<50% del área	Pobre

**Fuente:** Villón (2002).



## **B. Grupo Hidrológico y Uso de Suelo**

La curva número se tabulo por el SCS tomando en cuenta el uso de la tierra y la clase de suelo. Se establecen en 4 grupos de suelos:

- Grupo A: suelos profundos depositados por el viento, arena profunda, limos agregados.
- Grupo B: Marga arenosa, suelos poco profundos depositados por el viento.
- Grupo C: Suelos con bajo contenido orgánico, margas arenosas poco profundas, margas arcillosas y suelos con altos contenidos de arcilla.
- Grupo D: Arcillas altamente plásticas, ciertos suelos salinos y suelos que se expanden de modo relevante cuando se mojan.



**Tabla 10.** CN para diferentes condiciones hidrológicas y complejos suelo – cobertura para CHA II y IS=0.2S.

Uso de suelo o cobertura	Sistema de laboreo	Condición hidrológica para infiltración	Grupo hidrológico del suelo			
			A	B	C	D
Barbecho	Líneas	Mala	77	86	91	94
Cultivos en línea	Línea	Mala	72	81	88	91
	Línea	Buena	67	81	88	91
	En contorno	Mala	67	78	85	89
	En contorno	Buena	66	75	82	86
	En contorno/terrazas	Mala	66	74	80	82
	En contorno/terrazas	Buena	62	71	78	81
Cultivos densos	Líneas	Mala	65	76	84	88
	Línea	Buena	63	75	83	87
	En contorno	Mala	63	74	82	85
	En contorno	Buena	61	73	81	84
	En contorno/terrazas	Mala	61	72	79	82
	En contorno/terrazas	Buena	59	70	78	81
Forrajas y leguminosas o pasturas en rotación	Línea	Mala	66	77	85	89
	Línea	Buena	58	72	81	85
	En contorno	Mala	64	75	83	85
	En contorno	Buena	55	69	78	83
	En contorno/terrazas	Mala	63	73	80	83
Pasto Natural	En contorno/terrazas	Buena	51	67	76	80
		Mala	68	79	86	89
		Regular	49	69	79	84
		Buena	39	61	74	80
		Regular	47	67	81	88
		En contorno	Regular	25	59	75
Praderas Bosques	En contorno	Buena	6	35	70	79
		Buena	30	58	71	78
		Mala	45	60	73	79
		Regular	36	60	73	79
		Buena	25	55	70	77
Camino chacra			59	74	82	86
Camino balasta			72	82	87	89
camino bitumen			74	84	90	92

**Fuente:** SCS (1972).

### C. Condiciones de humedad antecedentes (CHA)

Se basa en la cantidad total de lluvia recibida durante los cinco días anteriores a la tormenta. (Villón, 2002) El SCS emplea 3 intervalos de CHA:

- CHA-I: El límite superior de S o el límite inferior de humedad. El riesgo de escorrentía es menor. En la cuenca los suelos se encuentran lo necesariamente secos como para que los arados agrícolas los utilicen.
- CHA-II: el promedio.
- CHA-III: el rango inferior de S o límite superior de humedad. Existe el potencial máximo de escorrentía. Las anteriores lluvias han saturado la cuenca.

**Tabla 11.** Condiciones de humedad antecedente.

Condiciones de humedad antecedente	Lluvia total de los 5 días anteriores (mm)	
	Estación seca	Estación de crecimiento
I (seca)	Menos de 12.7 mm	Menos de 36.6 mm
II (media)	12.7 a 27.9 mm	36.6 a 53.3 mm
III (húmeda)	Más de 27mm	Más de 53.3 mm

**Fuente:** SCS (1972).

En la tabla 11, se calcula el numero curva (II) para CHA-II, si se posee CHA-I o CHA-III, el numero curva se puede establecer de las correspondientes fórmulas:

$$CN(I) = \frac{4.2CN(II)}{10 - 0.058CN(II)} \quad (35)$$

$$CN(III) = \frac{23CN(II)}{10 \pm 0.13CN(II)} \quad (36)$$

#### 2.2.18 Relación precipitación – escorrentía

La relación precipitación-escorrentía está directamente relacionada con el cálculo de un evento de inundación, que se puede definir como un rápido aumento en el nivel del

agua hasta un valor máximo, después del cual el nivel del agua retrocede más lentamente (Gaspari et al., 2007).

### **2.2.19 Hidrograma unitario**

Un hidrograma unitario se define como una escorrentía superficial imaginaria que proviene de una precipitación uniforme ante una cuenca hidrográfica; por lo tanto, se forma una unidad de volumen de escorrentía superficial (Mejía, 2006).

#### **2.2.19.1 Hidrogramas sintéticos**

Los hidrogramas sintéticos se adquieren utilizando los parámetros de la cuenca en estudio y como también sus características fisiográficas. Su propósito es representar o simular un hidrograma característico de los fenómenos hidrológicos de la cuenca para la determinación del caudal pico del lugar en estudio (MTC, 2014).

##### **A. Método Hidrograma Unitario Sintético de Snyder**

Según (MTC, 2014) Snyder especifica el hidrograma unitario estándar como el hidrograma que relaciona la permanencia de la lluvia  $t_r$  con el retardo de la cuenca  $t_p$  por,

$$t_p = 5.5 t_r \quad (37)$$

El retardo de cuenca está generado por:

$$t_p(\text{hr}) = 0.75 C_t (L * L_c)^{0.3} \quad (38)$$

En donde:  $L$  es la longitud del curso principal y  $L_c$  es la longitud del curso principal al centro de gravedad, ambos en km.



El caudal punta por unidad de área de drenaje en  $m^3/s * km^2$  del hidrograma unitario estándar es:

$$q_p = \frac{2.75C_p}{t_p} \quad (39)$$

Partiendo de un hidrograma unitario que se dedujo en la cuenca se consigue el valor de la duración efectiva  $t_r$  en horas, su tiempo de retardo en la cuenca  $t_{pR}$  en horas y su caudal punta por unidad de áreas de drenaje  $q_{pR}$  en  $m^3 /s*km^2 *cm$ .

El retardo de cuenca estándar es:

$$t_p = t_{pR} + (t_r - t_R)/4 \quad (40)$$

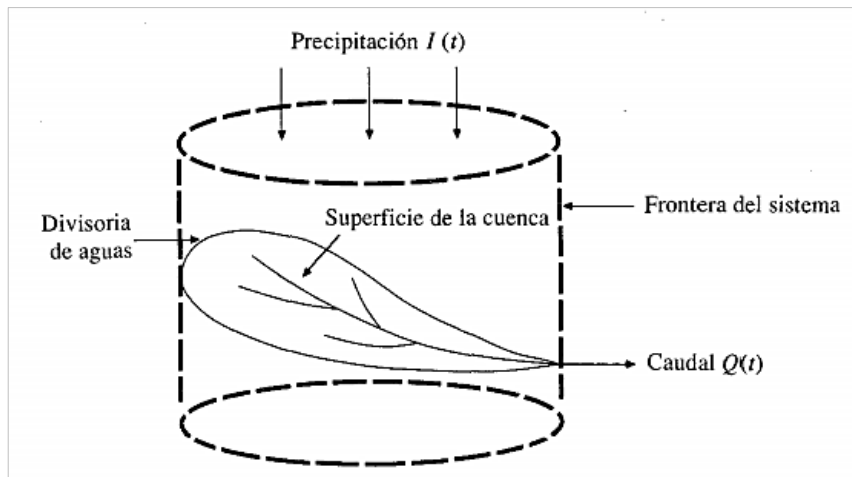
La relación entre  $q_p$  y el caudal punta por unidad del área de drenaje  $q_{pR}$  del hidrograma unitario necesario es:

$$q_{pR} = q_p t_p / t_{pR} \quad (41)$$

El rango para la aplicación de este método es de 30 a 30 000  $km^2$ .

### 2.2.20 Modelo hidrológico

Un modelo hidrológico se utiliza para analizar el funcionamiento del sistema y prever sus resultados. Una representación aproximada del sistema real, de un modelo de sistema hidrológico, las variables hidrológicas mensurables forman parte de su entrada y salida, y la estructura del modelo es todo un grupo de ecuaciones que vinculan los ingresos y salidas (Ven Te Chow, Maidment, D.R. and Mays, 1994).



**Figura 6.** Cuenca y sistema hidrológico.

**Fuente:** (Mejía, 2006).

### 2.2.21 Modelo hidrológico HEC-HMS

Se trata de un programa informático gratuito muy utilizado en todo el mundo para el análisis de avenidas y que ofrece opciones diversas para simular los procesos de lluvia-escorrentía y tránsito de caudales (Estrada & Pacheco, 2016). La abreviatura HEC significan Hidrologic Engineering Center (Centro de Ingeniería Hidrológica), mientras que HMS significan Hidrologic Model System (Sistema de Modelación Hidrológica), es uno de los modelos de simulación hidrológica más utilizado (Tarazona & Fano, 2016).

Pascual & Díaz (2016), la entrada de datos de la cuenca y la estructura de la simulación están definidas conjuntamente por los cuatro módulos fundamentales del programa, que son los siguientes:

- A. Datos de entrada.** El programa muestra un mecanismo de entrada de datos. Que se tratarán posteriormente de acuerdo con los diferentes submódulos de modelado para los que son necesarios.
- B. Modelo de cuenca.** El componente físico de la cuenca está representado por el modelo de cuenca. Al combinar e integrar los componentes hidrológicos, el usuario crea un modelo de cuenca. Los procesos físicos de la cuenca son descritos por los componentes hidrológicos mediante modelos matemáticos.



- C. Modelo Meteorológico.** determina la lluvia necesaria en una subcuenca. Emplea datos de precipitación puntuales o distribuida espacialmente. La evapotranspiración, así como las precipitaciones sólidas y líquidas, pueden ser modeladas utilizando el módulo. Los cálculos de evapotranspiración sólo son necesarios cuando se simulan respuestas hidrológicas durante períodos prolongados.
- D. Módulo de Control.** La duración de cada simulación viene determinada por los ajustes de control. La fecha de inicio, la fecha de finalización y la duración de la simulación (en minutos, horas o días) deben especificarse en los requisitos de control.

### 2.2.22 Hidráulica

La hidráulica estudia el comportamiento de los fluidos en función de sus características específicas. Es decir, estudia las propiedades mecánicas de los fluidos en relación a las fuerzas que puedan ser sometidas.

### 2.2.23 Hidráulica fluvial

#### 2.2.23.1 Clasificación del tipo de flujo

Ven Te Chow et al., (1994), la clasificación se hace conforme al cambio de profundidad del flujo en relación al lugar y tiempo.

#### A. Efecto del Espacio

- *Flujo Uniformes:* Puede ser no permanente o permanente, si la profundidad del flujo es igual en todo el canal.
- *Flujo No Uniformes:* Ocurre cuando la profundidad del flujo del canal varía. Se clasifica como gradualmente variado o rápidamente variado.



## B. Efecto del Tiempo

- *Flujo Permanente (estable)*: Un flujo en un canal abierto se considera constante cuando la profundidad del flujo es constante a lo largo del período de tiempo en cuestión.
- *Flujo No Permanente (inestable)*: es cuando la profundidad del flujo varía con el tiempo.

### 2.2.23.2 Clasificación del estado/comportamiento de flujo

Los efectos de la viscosidad y la gravedad en relación con las fuerzas de inercia del flujo controlan principalmente el estado o el comportamiento de un flujo (Chow, 1982).

#### A. Efecto de la Viscosidad

Dependiendo del efecto de la viscosidad relativa a la inercia pueden ser:

- *Flujo Laminar*: Este comportamiento del flujo está muy influenciado por la fuerza de las energías viscosas en vinculación con las de inercia. Las capas muy finas del fluido parecen deslizarse unas sobre otras y las partículas del fluido parecen seguir cursos bien definidos y suaves, o líneas de corriente.
- *Flujo Turbulento*: Las partículas del fluido hacen recorridos y movimientos irregulares, pero aun en conjunto reflejan movimientos hacia delante de la corriente.

Existe un estado mixto, a menudo conocido como estado de transición, entre los estados turbulentos y laminar de la corriente.



El número de Reynolds puede representarse por la viscosidad relativa con la inercia. El flujo laminar ocurre raramente en la mayoría de cursos de agua abiertos.

### **B. Efecto de la Gravedad**

El número de Froude, es la relación del efecto de la gravedad del estado del flujo que se da por la relación de la fuerza de gravedad y la fuerza de inercia.

- *Flujo Supercrítico:* Si el número de Froude es mayor a la unidad ( $F > 1$ ), este se da posiblemente en pendientes pronunciadas.
- *Flujo SubCrítico:* Si el número de Froude es menor a la unidad ( $F < 1$ ), este se da posiblemente en pendientes suaves.
- *Flujo Crítico:* Si el número de Froude es igual a la unidad ( $F = 1$ ).

#### **2.2.23.3 Clasificación dimensional de flujo.**

El flujo se clasifica como unidimensional, bidimensional o tridimensional, esto depende de cuantas coordenadas espaciales se requieran para caracterizar el campo de velocidad.

##### **A. Flujo unidimensional**

Un flujo en el que el vector de velocidad se basa únicamente en una sola variable espacial, ignorando los cambios de velocidad que son transversales a la dirección del escurrimiento principal.

##### **B. Flujo bidimensional**

Este flujo depende de 2 variables espaciales del vector velocidad, en esta clase de flujo se deduce que todas las partículas fluyen sobre planos paralelos a lo largo del trayecto que son idénticas si son comparados los planos, no existiendo; alteración alguna en sentido perpendicular a los planos.

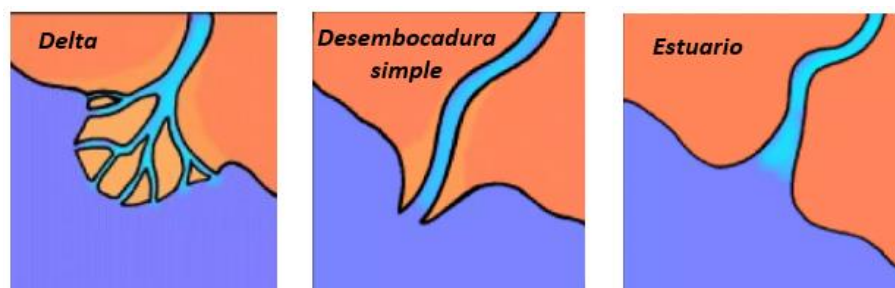


### 2.2.24 Desembocaduras de ríos

Lomónaco et al., (1998), las desembocaduras de los ríos, estuarios y de los sistemas de lagunas, son una de las unidades sedimentarias con gran variabilidad morfológica. Se encuentran sometidas al flujo por la acción del oleaje, corrientes de marea y caudales del río; entre otros. El aporte sedimentario que reciben, producto de la hidrodinámica, se encuentra en constante movimiento y, según sea el caso; el material que la forma podría variar en tamaño desde cantos rodados, hasta sedimento cohesivo.

Se pueden distinguir tres tipos de desembocadura:

- Desembocadura en forma de delta, usualmente presente en ríos que transportan gran cantidad de sedimentos que al llegar a la desembocadura se depositan formando una especie de tierra firme.
- Desembocadura simple; estos ríos se caracterizan por tener un curso que ingresa en el mar sin añadir tierras a la costa y sin bifurcarse.
- Desembocadura en forma de estuario; son ríos que a medida que se acercan al mar, se ensanchan cada vez más hasta la desembocadura, tomando forma de embudo, se forma cuando la fuerza de la marea es superior a la de la corriente del río y logra dispersar las tierras que transporta y ampliar su desembocadura.



**Figura 7.** Tipos de desembocadura

**Fuente:** Lomónaco et.al, (1998).

### 2.2.25 Marea

La subida y bajada rítmica y variable del nivel del mar (o nivel freático) y de las masas de agua relacionadas con el océano, como estuarios, bahías y canales, se produce

dos veces al día en la mayor parte de la tierra debido a la atracción del mar, la luna y el sol ejercen una influencia relativamente pequeña en diferentes partes de la tierra en rotación (Martínez, 2016).

### 2.2.26 Coeficiente de rugosidad (n de manning)

El coeficiente de rugosidad es un parámetro que calcula la resistencia al flujo de una determinada superficie. La rugosidad de la superficie, la vegetación, las irregularidades del canal, la erosión y la sedimentación, la forma, el grado y el cauce, la modificación temporal, la temperatura, el material de suspensión y la carga del fondo son sólo algunas de las muchas variables que pueden afectar al valor "n" de Manning. La principal dificultad es determinar estos factores de rugosidad, ya que no existe una forma precisa de elegir n (Ven Te Chow et al., 1994).

**Tabla 12.** Coeficiente de rugosidad n y sus valores.

Tipo de canal y descripción	Mínimo	Normal	Máximo
D. Corrientes naturales			
D-1 Corrientes menores (ancho superficial en nivel creciente < 100 pies)			
a. Corrientes en planicies			
1. Limpias, rectas, máximo nivel, sin montículos ni pozos profundos	0.025	0.030	0.033
2. Igual al anterior, pero con más piedras y malezas	0.030	0.035	0.040
3. Limpio, serpenteante, algunos pozos y bancos de arena	0.033	0.040	0.045
4. Igual al anterior, pero con algunos matorrales y piedras	0.035	0.045	0.050
5. Igual al anterior, niveles bajos, pendientes y secciones más ineficientes	0.040	0.048	0.055
6. Igual al 4, pero con más piedras	0.045	0.050	0.060
7. Tramos lentos, con malezas y pozos profundos	0.050	0.070	0.080
8. Tramos con muchas malezas, pozos profundos o canales de crecientes con muchos árboles con matorrales bajos	0.075	0.100	0.150
b. Corrientes montañosas, sin vegetación en el canal, bancas usualmente empinadas, árboles y matorrales a lo largo de las bancas sumergidas en niveles altos			
1. Fondo: gravas, cantos rodados y algunas rocas	0.030	0.040	0.050
2. Fondo: cantos rodados con rocas grandes	0.040	0.050	0.070



<b>D-2 Planicies de inundación</b>			
a. Pastizales, sin matorrales			
1. Pasto corto	0.025	0.030	0.035
2. Pasto alto	0.030	0.035	0.050
b. Áreas cultivadas			
1. sin cultivo	0.020	0.030	0.040
2. Cultivos en línea maduros	0.025	0.035	0.045
3. Campos de cultivo maduros	0.030	0.040	0.050
c. Matorrales			
1. Matorrales dispersos, mucha maleza	0.035	0.050	0.070
2. Pocos matorrales y árboles, en invierno	0.035	0.050	0.060
3. Pocos matorrales y árboles, en verano	0.040	0.060	0.080
4. Matorrales medios a densos, en invierno	0.045	0.070	0.110
5. Matorrales medios a densos, en verano	0.070	0.100	0.160
d. Árboles			
1. Sauces densos, rectos y en verano	0.110	0.150	0.200
2. Terreno limpio, con troncos sin retoños	0.030	0.040	0.050
3. Igual que el anterior, pero con una gran cantidad de retoños	0.050	0.060	0.080
4. Gran cantidad de árboles, algunos troncos caídos, con poco crecimiento de matorrales, nivel de agua por debajo de las ramas	0.080	0.100	0.120
5. Igual al anterior, pero con nivel de creciente por encima de las ramas	0.100	0.120	0.160
<b>D-3. Corrientes mayores (ancho superficial en nivel de creciente &gt;100 pies). El valor de n es menor que el correspondiente a corrientes menores con descripción similar, debido a que las bancas ofrecen resistencia menos efectiva.</b>			
a. sección regular, sin cantos rodados ni matorrales	0.025	.....	0.060
b. Sección irregular y rugosa	0.035	.....	0.100

**Fuente:** Ven Te Chow et al., (1994).

### 2.2.27 Topografía

Refiere que la topografía determina dimensiones y contornos (características tridimensionales) de la superficie terrestre a partir de la dirección, la altura y medición de distancias (Mc Cormac,2007).



### **2.2.27.1 Levantamiento Topográfico**

Navarro (2008), es un conjunto de cálculos para determinar la posición de puntos, la mayoría calcula volúmenes y superficies y representan las medidas tomadas en campo por medio de perfiles y planos entonces son topográficos.

### **2.2.28 Modelo digital de terreno**

Felicísimo (1994), la distribución geográfica de una variable numérica y continua se representa mediante un Modelo Digital del Terreno, una estructura de datos numéricos.

### **2.2.29 Modelo hidráulico**

Bernat (2012), describe que el objetivo de la modelización matemática del flujo de agua en un río es determinar los valores que toman las variables hidráulicas (flujo hidráulico, velocidades, caudal, etc.) a partir de la resolución de las ecuaciones por técnicas numéricas que se obtienen con una serie de hipótesis. Cuanto más se acerquen las ecuaciones iniciales y el método numérico para resolverlas a los fenómenos reales estudiados, más se acercará el modelo matemático a la realidad.

### **2.2.30 IBER**

Según el Instituto Flumen (2020), Iber es un modelo hidráulico bidimensional, para la simulación del flujo superficial libre en ríos y estuarios. Es útil para la simulación de flujos no estacionarios con superficie libre turbulenta y procesos ambientales en hidráulica fluvial. Sus diversas aplicaciones contienen hidrodinámica de ríos, simulaciones de rotura de presas, evaluaciones de zonas de inundación, cálculos de transporte de sedimentos y flujos de olas en estuarios.

Se desarrolló en apoyo por el Grupo de Ingeniería del Agua y del Medio Ambiente GEAMA (Universidad de A Coruña, UDC) y el instituto FLUMEN en el contexto de un Acuerdo de colaboración de la Dirección General del Agua con el CEDEX.



Para calcular con el módulo hidrodinámico de Iber se debe de hacer los correspondientes pasos: importar o crear una geometría (topografía), la asignación de caudales y contorno, la generación de malla, establecer la rugosidad del área (n-manning), asignación de las alternativas de cálculo (tiempo de cálculo) y consulta de resultados (módulo post-proceso).

### **2.2.31 Metodología del software IBER**

El método del software libre IBER se establece en 3 procedimientos (Martínez, 2017):

#### **A. Pre - procedimiento**

- Importar o crear una geometría
- Producir una malla de estimación
- Determinar las circunstancias de borde e iniciales
- Determinar rugosidades al terreno
- Circunstancias de contorno para el flujo hidrodinámico
- Criterios de contorno para el transporte de sedimentos
- Condiciones de contorno para la turbulencia

#### **B. Cálculo**

- Parámetros de la problemática
- Factor de tiempo
- Parámetros para los cálculos

#### **C. Post-proceso**

- Observación de resultados

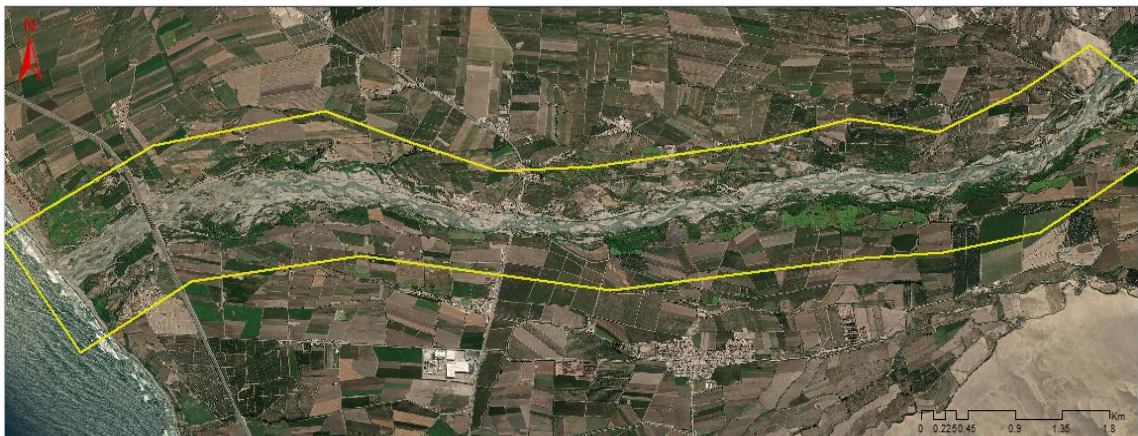
## CAPÍTULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 LOCALIZACIÓN

##### 3.1.1 Ubicación del área de estudio

El ámbito de estudio se encuentra en el distrito de San Vicente, provincia de Cañete, departamento de Lima, al sur de la capital. El tramo de interés abarca aproximadamente los últimos 10 km del cauce del río, geográficamente el tramo materia de estudio inicia en las coordenadas UTM: 358044 E y 8549744 N y termina en las coordenadas: 348057 E y 8548187 N, y abarca desde la desembocadura al mar (km 0+000) hasta la altura del sector Palti (km 10+000). Entre los poblados más cercanos se encuentran: Boca de Río, Herbay Bajo, Herbay Alto, Montejato e Isla Baja, al igual que pequeños caseríos colindantes al cauce en ambas márgenes.



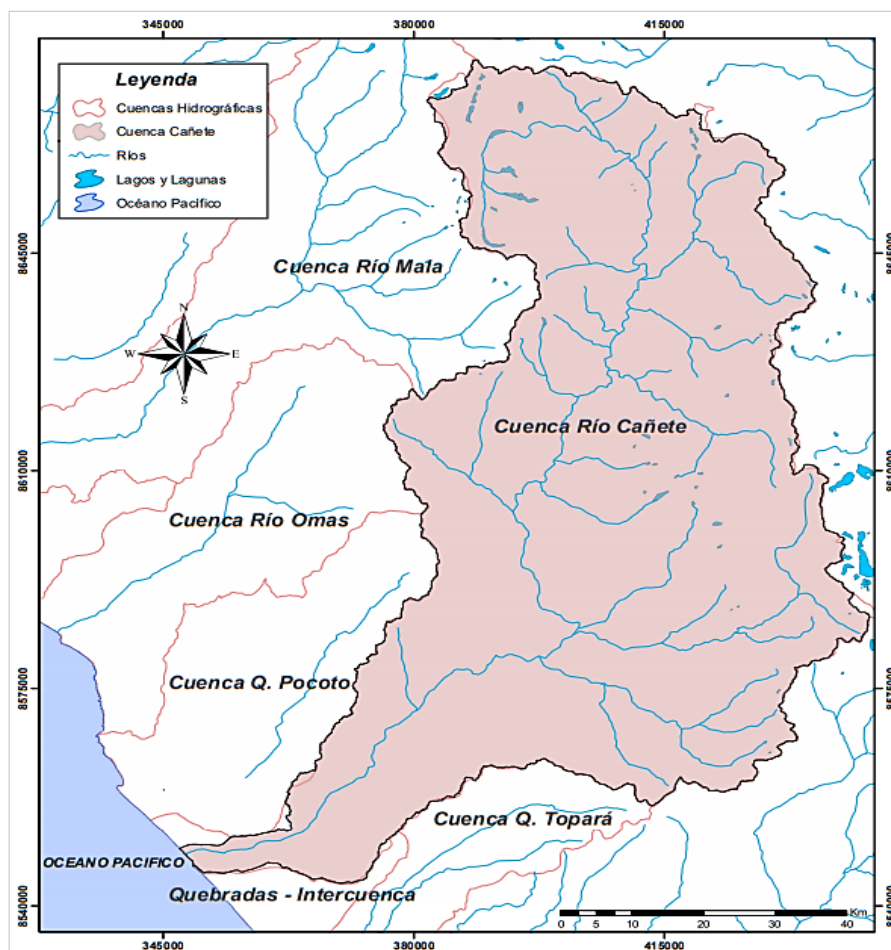
**Figura 8.** Localización de la zona en análisis.

**Fuente:** Elaboración propia.

El área de estudio contempla viviendas y/o poblados rurales, áreas de cultivo, infraestructura hidráulica como puentes, bocatomas, canales de riego, pozos, entre otros.

### 3.1.2 Localización hidrográfica

Se localiza en la cuenca del río Cañete, vertiente del Pacífico. La cuenca, limita por el Norte con las nacientes de la cuenca del río Mantaro; por el Sur con la Intercuenca Topará y el Océano Pacífico; por el Este con las nacientes de la cuenca del río Mantaro y la cuenca del río San Juan; y por el Oeste con las nacientes de la cuenca del río Omas y Mala y el Océano Pacífico.



**Figura 9.** Ubicación hidrográfica de la cuenca del río Cañete.

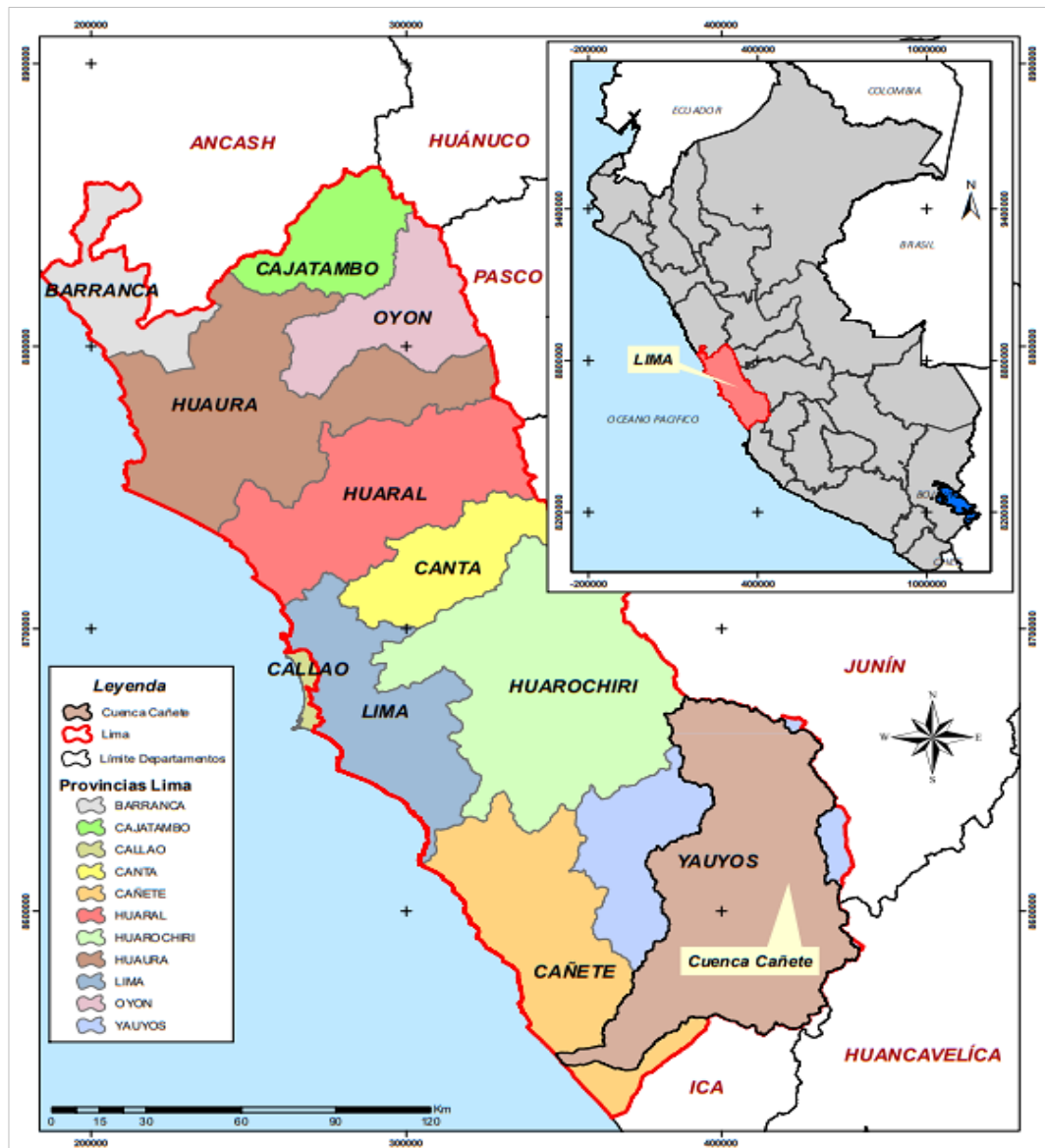
**Fuente:** Elaboración propia.

### 3.1.3 Localización geográfica

La cuenca del río Cañete geográficamente se ubica en las coordenadas siguientes: Longitud Oeste:  $75^{\circ}30'26'' - 76^{\circ}30'46''$  y Latitud Sur:  $11^{\circ}58'19'' - 13^{\circ}18'55''$ , con una altitud media de 0.0 a 5820 m.s.n.m.

### 3.1.4 Localización política

Políticamente la cuenca del río Cañete se ubica en la región Lima, entre las provincias de Cañete y Yauyos, distritos de San Vicente, Lunahuaná, Pacarán, Zúñiga, Chocos, Azangaro, Huangascar, Madean, Viñac, Lincha, Hongos, Caca, Tupe, Catahuasi, Ayauca, Putinza, Colonia, Huantan, Yauyos, Laraos, Carania, Alis, Tomas, Miraflores, Vitis, Huancaya y Tanta.



**Figura 10.** Ubicación política de la cuenca.

**Fuente:** Elaboración propia.





### 3.2 EQUIPOS Y SOFTWARES

- a) Equipos: los equipos de investigación que se han requerido son cámara fotográfica, computadora personal Core i5, impresora a color, útiles de oficina.
- b) Softwares: programas de cómputo Microsoft office (Excel 2016 y Word 2016), Google Earth Pro, SAS Planet, Software ArcGIS 10.5, Software HIDROESTA, Software HEC-HMS, Software IBER.

### 3.3 MATERIALES

#### **Compilación de información relacionada al área de análisis y acceso al material logístico.**

En una primera instancia, se identificaron las entidades especializadas en materia de recursos hídricos, teniéndose como principal al Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología – SENAMHI y la Autoridad Administrativa del Agua III – Cañete Fortaleza (AAA III-CF), órgano desconcentrado de la Autoridad Nacional del Agua – ANA, entidad de la cual se obtuvo información solicitada sobre hidrología y topografía del río Cañete – de la zona de desembocadura al mar hasta el sector Palti, así como información hidrométrica existente del área de estudio.

Por otro lado, se accedió a la información del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología – SENAMHI, de donde se obtuvo información de ocho (08) estaciones pluviométricas (Cañete, Carania, Tanta, Huangascar, Pacarán, Vilca, Yauricocha y Yauyos) con influencia en el área de estudio. Esta información está disponible en la página web oficial de dicha entidad.



### 3.3.1 Datos cartográficos y topográficos.

La información concerniente el área en análisis utilizada para la investigación como; datos cartográficos, se obtuvo del Instituto Geográfico Nacional (IGN), las cartas nacionales: 27-K, 26-K, 27-I y 26-I a una escala de 1:1000,000, en UTM, en el Datum WGS84, zona 18 sur, en formato digital, en archivo dxf.

También, se obtuvo información topográfica, solicitada a la AAA III Cañete - Fortaleza, en formato GeoTIFF, correspondientes a la zona de estudio.

### 3.3.2 Información pluviométrica

Los datos de precipitaciones máximas en 24 hrs, fueron obtenidos del SENAMHI, éstos corresponden a ocho (08) estaciones pluviométricas con influencia en la zona de estudio, empleadas para el cálculo hidrológico de la cuenca (ver Figura 11). A continuación, se detallan los periodos de registro de cada una de las estaciones:

- Estación Cañete: El total del tiempo de registro de datos pluviométricos corresponde a los años de 1936 – 1940, 1946, 1950, 1970, 1971, 1974 – 1979, 1985- 1990, 1993 – 2002 y 2004 – 2009, no hay registro de 37 años comprendido de 1941 – 1945, 1947 – 1949, 1951 – 1969, 1972, 1973, 1980 – 1984, 1991, 1992 y 2003.
- Estación Caranía: El total del tiempo de registro de datos pluviométricos corresponde a los años de 1963 – 2018.
- Estación Huangascar: El total del tiempo de registro de datos pluviométricos corresponde a los años de 1963 – 1971, 1973 – 1991 y 1993 – 2018, no hay registro de 2 años comprendido de 1972 y 1992.
- Estación Pacarán: El total del tiempo de registro de datos pluviométricos corresponde a los años de 1965 – 1975, 1986 – 2004 y 2006 – 2018, no hay registro de once (11) años comprendido de 1976 – 1985 y 2005.

- Estación Tanta El total del tiempo de registro de datos pluviométricos corresponde a los años de 1963 – 2018, no hay registro de 1 año comprendido de 2013.
- Estación Vilca: El total del tiempo de registro de datos pluviométricos corresponde a los años de 1963 – 2018.
- Estación Yauricocha: El total del tiempo de registro de datos pluviométricos corresponde a los años de 1986 – 2018.
- Estación Yauyos: El total del tiempo de registro de datos pluviométricos corresponde a los años de 1963 – 1981, 1984 – 1985, 1991 - 2010 y 2013 – 2018, no hay registro de nueve (9) años comprendido de 1982, 1983, 1986 – 1990, 2011 y 2012.

Los años de registro por estación se manifiestan en el Anexo B

**Tabla 13.** Características de estaciones pluviométricas de la cuenca.

Estaciones	Ubicación geográfica			Coordenadas		
	Dpto.	Prov.	Distrito	Latitud (°S)	Longitud (°W)	Altitud (msnm)
Tanta	Lima	Yauyos	Tanta	12°07'48"	76° 01'	4505
Vilca	Lima	Yauyos	Huancaya	12°07'00"	75°50'	3816
Yauricocha	Lima	Yauyos	Alis	12°19'00"	75°43'	4522
Carania	Lima	Yauyos	Carania	12°21'00"	75°52'	3825
Yauyos	Lima	Yauyos	Yauyos	12°24'30"	75°54'35"	2290
Huangascar	Lima	Yauyos	Huangascar	12°54'10"	75°50'00"	2556
Pacarán	Lima	Cañete	Pacaran	12°52'20"	76°03'20"	710
Cañete	Lima	Lima	Nvo Imperial	13°04'00"	76°21'30"	150

**Fuente:** SENAMHI (2022).

### 3.3.3 Información hidrométrica

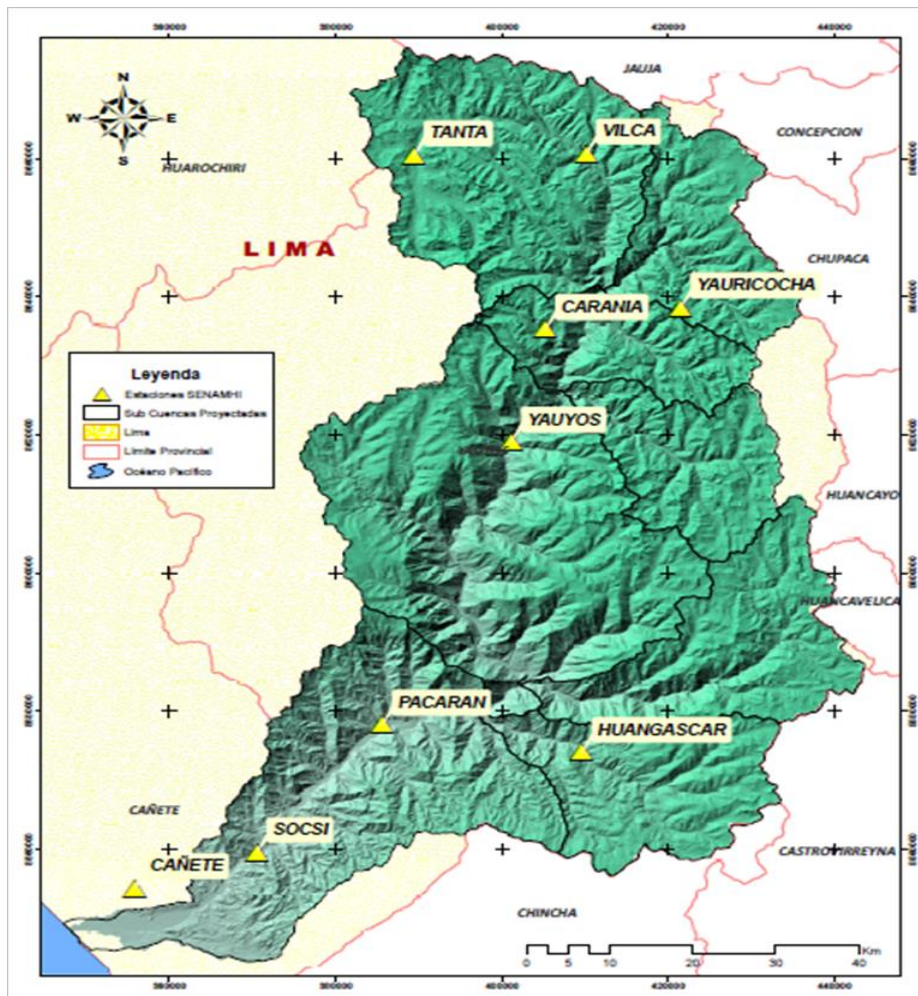
Se cuenta con una estación hidrométrica ubicada en el puente Sosci, Lunahuaná, cuya información de registros, fue obtenida mediante la AAA Cañete – Fortaleza.

**Tabla 14.** Características de la estación hidrométrica.

Estación	Ubicación geográfica			Coordenadas		
	Dpto.	Prov.	Distrito	Latitud (°S)	Longitud (°W)	Altitud (msnm)
Socsi	Lima	Cañete	Lunahuaná	13°00′	76° 10′	350

**Fuente:** SENAMHI (2022).

Los datos hidrométricos (caudales), corresponden al periodo comprendido entre los años 1926 – 2012 y 2016 – 2018. La serie de registro de datos de caudales, se detallan en el Anexo B



**Figura 11:** Ubicación de estaciones pluviométricas e hidrométrica de la cuenca Cañete.

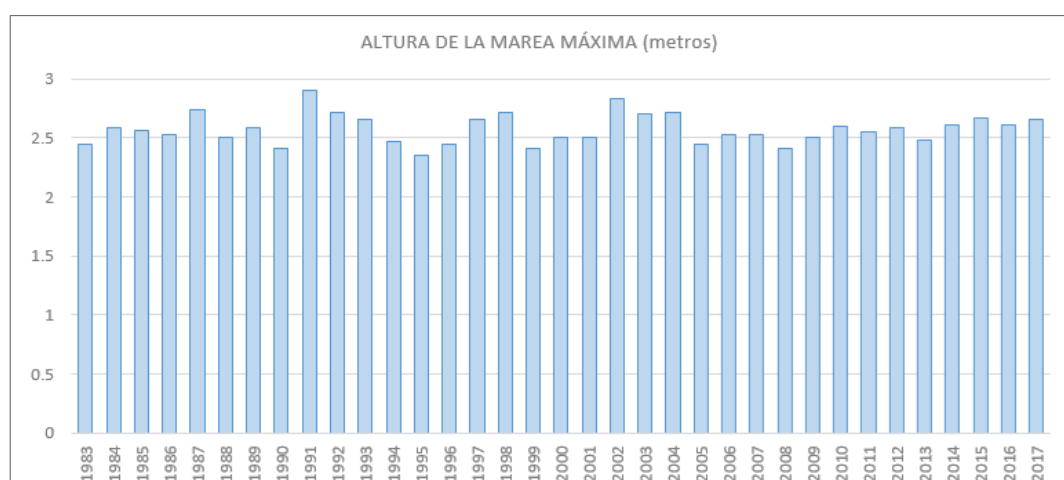
**Fuente:** Elaboración propia.

### 3.3.4 Información mareográfica

La estación mareográfica de Talara, está localizada en el muelle de PETROPERÚ en el distrito y provincia de Talara, del departamento de Piura, geográficamente en latitud  $04^{\circ} 34' 30.36''$  Sur y longitud  $081^{\circ} 16' 57.93''$  Oeste.

La serie de datos de los años 1983 al 2009, provienen de un mareógrafo mecánico Standard, de registro analógico continuo, compuesto por un sistema de relojería digital, poleas, pozo y flotador, de transmisión mensual vía terrestre. Estos equipos fueron empleados para calibrar las modernas estaciones automáticas adquiridas en el 2010, y continuar la serie histórica de dicha estación mareográfica. Así entonces, a partir del 2010, los registros han sido obtenidos de la estación automática, compuesta por un sensor de nivel tipo radar, marca Geónica modelo Datamar 2000C, de muestreo al segundo y registro promediado al minuto, con transmisión de información cada diez minutos vía red celular (GPRS), administrada por esta dirección.

Se cuenta con registros históricos de las mareas máximas registradas desde el año 1983 a 2017. Cuyo dato máximo es de 2.90m. Los registros históricos de las mareas máximas se observan en el Anexo C.



**Figura 12.** Gráfico de la altura de la marea máxima.

**Fuente:** Elaboración propia.



### **3.4 METODOLOGÍA**

La metodología y procedimientos desarrollados para el análisis del estudio consisten en dos procesos los cuales son: modelamiento hidrológico y modelamiento hidráulico.

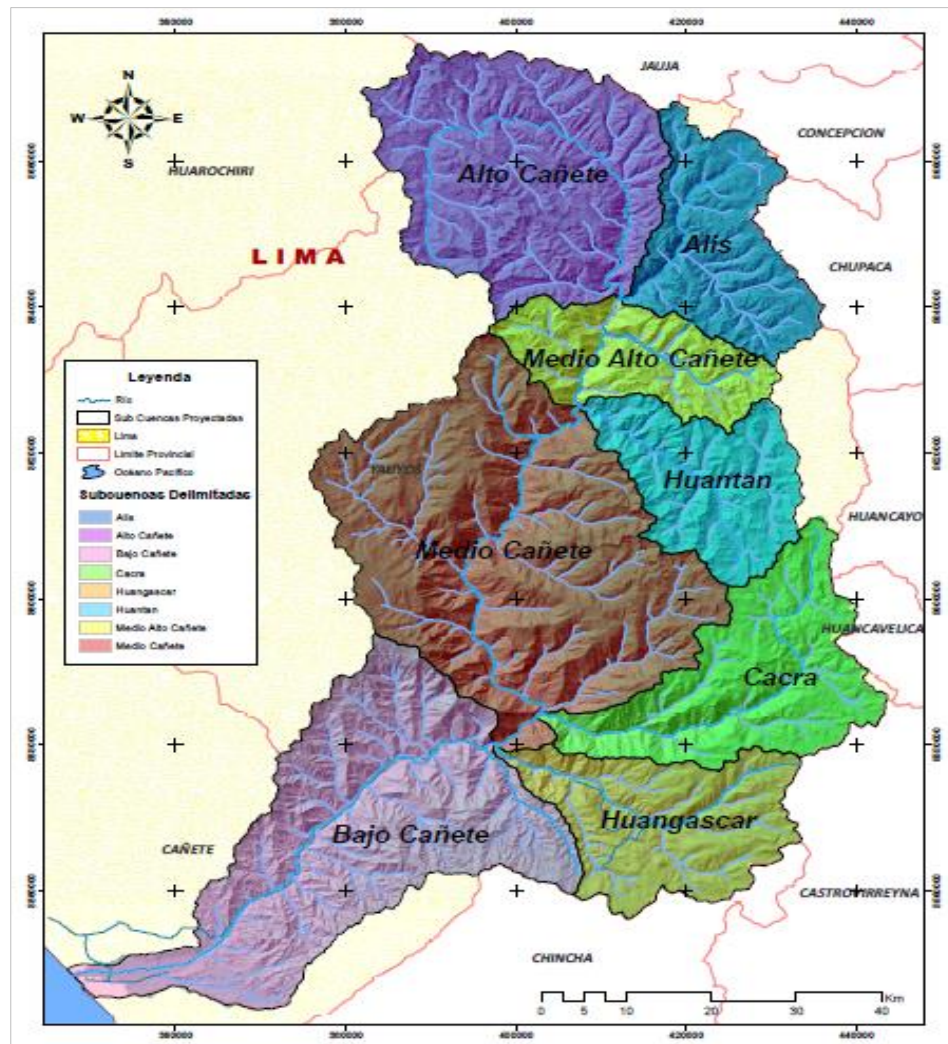
#### **3.4.1 Tipo de investigación.**

Se trata de una investigación de tipo descriptiva, porque analiza e interpreta la modelación hidráulica que permitirá estimar el comportamiento hidrodinámico del río Cañete.

#### **3.4.2 Caracterización del área de análisis.**

La delimitación de la cuenca hidrográfica, fue determinada por medio del SIG, que brindó un modo más fácil para establecer la delimitación de la cuenca por medio de sus ejecuciones. La delimitación fue realizada a partir de curvas de nivel obtenidos del IGN, en formato shapefile. Para generar un DEM de un formato vectorial a uno ráster, procesada en el software ArcMap 10.5, extensiones Archidro, Arctoolbox, 3D Analyst, con los cuales se generó un TIN (Red de Triángulos Irregulares) y a partir de ello se generó un DEM (Modelo Digital de Elevación), para ser empleados en el establecimiento de los parámetros geomorfológicos.

Para un mejor análisis, la cuenca hidrográfica, se ha dividido en ocho (08) subcuencas.



**Figura 13.** Cuenca y subcuencas delimitadas.  
**Fuente:** Elaboración propia

### 3.4.3 Determinación de los Parámetros de la Cuenca.

Las características geomorfológicas de la cuenca se describen a continuación:

#### A. Área, Longitud, Perímetro y Ancho

Para los parámetros relativos a la forma, se calculó el área, perímetro, largo y ancho de la cuenca. Para ello se tomó el valor ya determinado de la delimitación de la cuenca, el perímetro y área de la misma se obtuvo por medio del ArcMap 10.5, con la herramienta calculate geometry; así como para las subcuencas y para determinar la longitud del cauce principal de la cuenca, definiéndola como la

distancia horizontal del río principal entre un punto aguas arriba y otro punto aguas abajo, se empleó la herramienta Measure de ArcMap.

En la Tabla 15. Parámetros geomorfológicos de la cuenca Cañete. se muestra un resumen de los parámetros determinados de la cuenca del río Cañete:

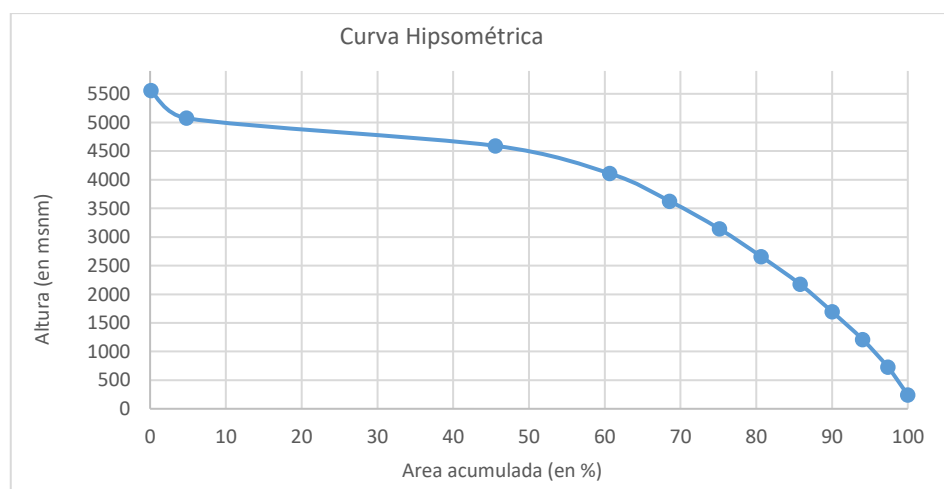
**Tabla 15.** Parámetros geomorfológicos de la cuenca Cañete.

Cuenca	Und.	Valor
Área (A)	km <sup>2</sup>	6049.45
Perímetro (P)	km	524.87
Longitud de cauce mayor (L)	km	242.97
Ancho promedio (AP)	km	24.90
Pendiente del cauce	%	1.13
Pendiente de la cuenca	%	23.00
Altitud máxima	msnm	5800.00
Altitud mínima	msnm	2.85
Desnivel altitudinal	msnm	5797.15
Coefficiente de compacidad (kc)	-	1.90
Factor de forma (Ff)	-	0.13

**Fuente:** Elaboración propia

### B. Curva hipsométrica.

La curva hipsométrica fue elaborada utilizando SIG, conjuntamente con cálculos en Excel. La curva hipsométrica generada para la cuenca en estudio se presenta en la Figura 14, según la forma de la curva hipsométrica se puede afirmar que se trata de un río maduro.



**Figura 14.** Curva hipsométrica río Cañete.

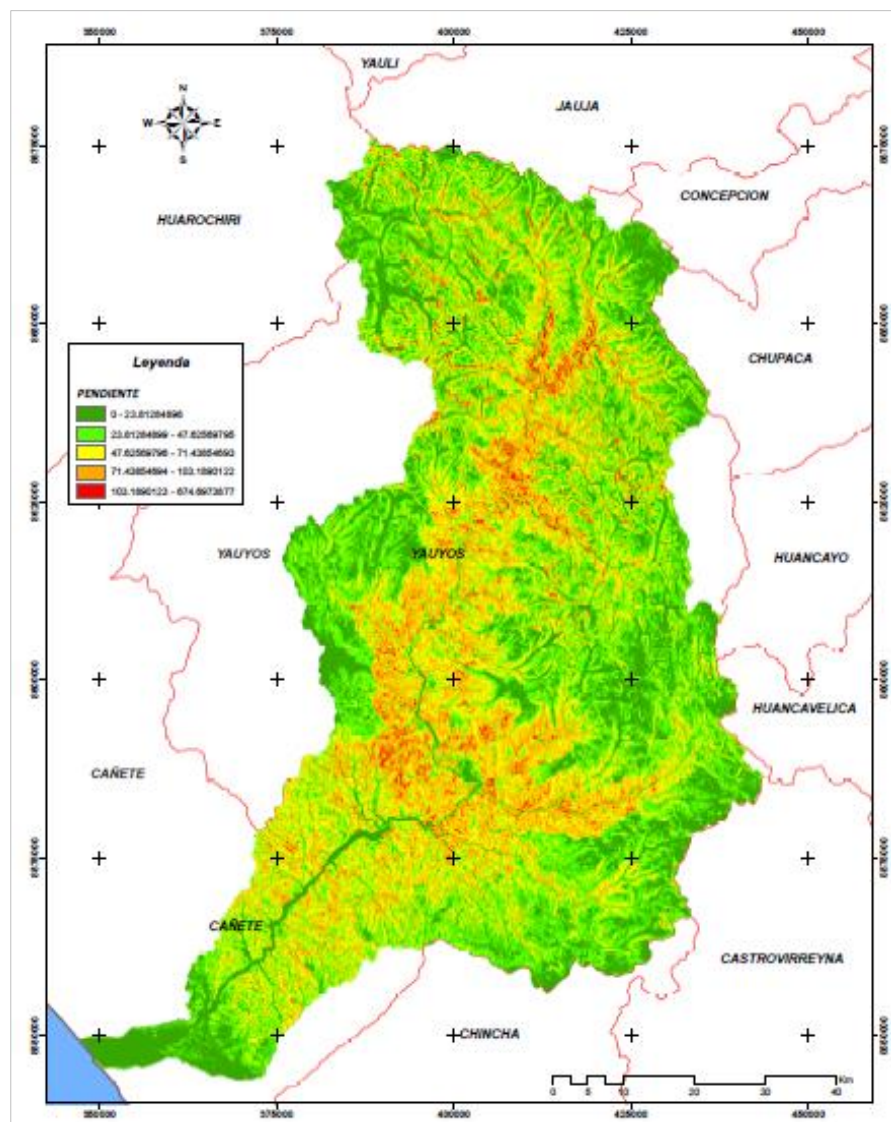
**Fuente:** Elaboración propia.



### C. Pendiente Media de la Cuenca

Para la caracterización de la pendiente se usó un modelo digital de elevaciones (DEM) para cada área específica y bajo el entorno de ArcMap, se determinó de forma inmediata, recalificando por rangos según el reglamento de clasificación de tierra presentes en la Tabla 3.

La pendiente media de la cuenca del río Cañete, se encuentra en el rango de moderadamente inclinado entre 7 a 12%. En la Figura 15, se presenta la distribución espacial de las pendientes y sus respectivas clasificaciones.








**Figura 15.** Distribución espacial de pendientes – cuenca río Cañete.

**Fuente:** Elaboración propia.

Este parámetro es de importancia porque proporciona un índice de la velocidad media de la escorrentía y su poder de arrastre y de la erosión sobre la cuenca.

En la Tabla 16, se muestra la distribución de pendientes de la cuenca Cañete.

**Tabla 16.** Pendiente media de la cuenca Cañete.

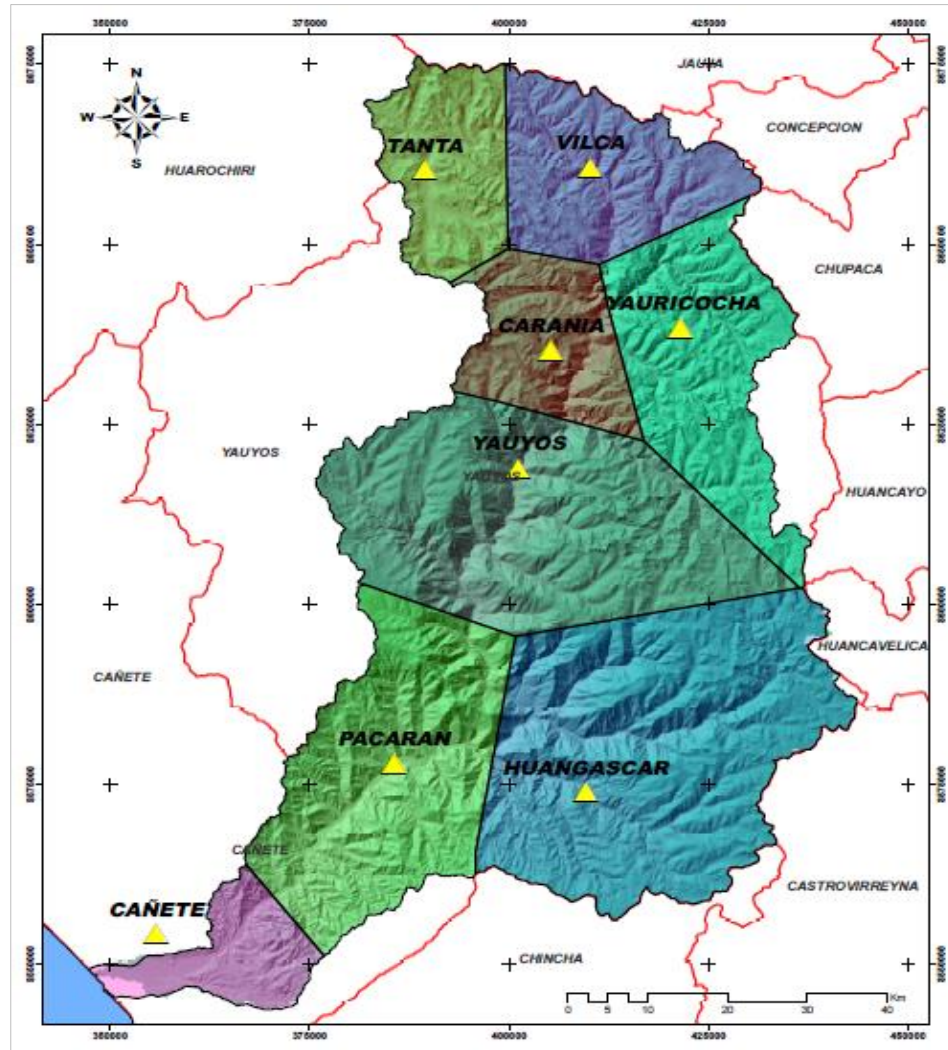
	<b>Rango</b>	<b>Área ( km<sup>2</sup>)</b>	<b>%</b>
	0% - 7.0%	542.29	8.96
	7% - 12%	670.37	11.08
	12% - 25%	2,161.49	35.73
	25% - 50%	2,637.41	43.6
	>50	37.89	0.63
	Área Total	6049.45	

**Fuente:** Elaboración propia.

### 3.5 DETERMINACIÓN DE MÁXIMAS AVENIDAS

#### 3.5.1 Determinación del área de influencia de las estaciones

Se aplicó el método de polígonos de Thiessen, se establecieron los polígonos en ArcGIS que facilitó los cálculos, con el comando «*Create Thiessen Polygons*», localizado en *Analysis tools/Proximity*. A partir de estos polígonos se han obtenido las zonas de influencia de las estaciones (ver Tabla 17) sobre cada subcuenca.



**Figura 16.** Polígono de Thiessen de la cuenca del río Cañete.

**Fuente:** Elaboración propia a partir de datos meteorológicos de SENAMHI

**Tabla 17.** Factor de influencia de estaciones en cuencas.

Cuenca	Area total (km <sup>2</sup> )	Estación pluviométrica	Área de influencia (km <sup>2</sup> )	Factor de influencia
Cañete	6049.45	Tanta	397.773	0.07
		Vilca	548.156	0.09
		Yauricocha	698.314	0.12
		Carania	401.83	0.07
		Yauyos	1280.773	0.21
		Huangascar	1481.354	0.24
		Pacaran	978.996	0.16
		Cañete	261.599	0.04

**Fuente:** Elaboración propia.

### 3.5.2 Análisis y tratamiento de la información pluviométrica.

Se realizó una selección previa de las estaciones pluviométricas, con influencia en la zona de estudio (dentro de la cuenca Cañete), se empleó información de precipitaciones máximas anuales en 24 horas, de ocho estaciones pluviométricas y una estación hidrométrica, las cuales se observan en la Tabla 13 y Tabla 14 cuyos años de registro por estación se indican en el anexo A.

#### 3.5.2.1. Prueba de datos atípicos

El método para detectar datos dudosos se basa en analizar los datos históricos de la serie de precipitaciones máximas en 24 horas, se evaluó a cada una de las nueve estaciones para encontrar y descartar todos aquellos registros con valores atípicos que pueden alterar el comportamiento real de los datos. Los cálculos se procesaron con la ayuda de Excel utilizando la ecuación de frecuencia y los valores de  $k_n$  de la Tabla 6.

La prueba de datos dudosos se realizó a cada una de las estaciones ubicadas al interior de la zona en estudio, en donde se identificaron:

Que cinco (05) estaciones presentan datos atípicos, tres datos dudosos altos en la estación Cañete, Caranía y Tanta, datos que serán descartados y dos (02)



datos dudosos bajos en las estaciones Huangascar y Yauyos, que igualmente fueron descartados de las series de datos pluviométricos, en el anexo D se pueden observar los datos identificados como dudosos. Las demás estaciones Pacarán, Vilca, Yauricocha y Socsi, se localizan dentro de los estándares de los datos atípicos bajos y altos.

### **3.5.2.2 Análisis de distribución de probabilidades**

Se realizó los análisis de frecuencias para la estimación de precipitaciones máximas para diferentes periodos de retorno, por medio de modelos probabilísticos y que distribución se ajusta mejor a cada una de las estaciones, para ello se utilizó el software Hidroesta.

Según el MTC sugiere utilizar las distribuciones: Normal, Log Pearson Tipo III, Log Gumbel, Gumbel, Gamma 2 parámetros, Gamma 3 parámetros, Log Normal 2 parámetros y Log Normal 3 parámetros, para realizar el análisis estadístico. En este caso se aplicó el Software HidroEsta. En la Tabla 18 se muestran las distribuciones de probabilidad empleadas en cada estación.

### **3.5.2.3 Pruebas de bondad de ajuste**

Para la determinación de que distribuciones analizadas se adecúa apropiadamente a los datos históricos, se ejecutó la prueba de Kolmogorov-Smirnov debido a que este estudio se efectúa a cualquier distribución y permite determinar la función de la distribución más representativa o la que más se ajuste a la data de la estación, la cual se ejecutó a través del Software HidroEsta y se detallan en el Anexo E.

### 3.5.3 Precipitaciones máximas

Las precipitaciones máximas fueron determinadas aplicando las distribuciones de mejor ajuste para periodos de retorno (TR) de 25, 50, 100 y 200 años. Estas se muestran en la Tabla 18.

**Tabla 18.** Periodo de retorno y distribución de probabilidad de las estaciones.

Estaciones	Periodo de retorno				Distribución de mejor ajuste
	25	50	100	200	
Tanta	44.55	49.27	<b>53.76</b>	58.08	Gamma 2 Parámetros
Vilca	43.80	48.51	<b>53.10</b>	57.57	Gamma 3 Parámetros
Yauricocha	53.58	61.34	<b>53.58</b>	78.07	Log Pearson III
Caranía	31.05	34.75	<b>38.65</b>	42.75	Log Normal 3 parámetros
Yauyos	31.21	34.42	<b>37.59</b>	40.74	Log normal 2 parámetros
Huangascar	47.33	55.63	<b>64.48</b>	73.93	Log Normal 3 parámetros
Pacarán	13.96	17.62	<b>21.81</b>	26.58	Log Pearson III
Cañete	7.88	11.27	<b>16.06</b>	22.85	Log Gumbel

**Fuente:** Elaboración propia.

Debido a que el objeto del presente trabajo radica en determinar el comportamiento hidrodinámico del tramo final del río Cañete ante máximas avenidas, se tomó en consideración el “Reglamento para la Delimitación y Mantenimiento de Fajas Marginales RJ 332-2016-ANA”, que establece aplicar un periodo de retorno de 100 años para modelar cauces naturales de agua contiguas a asentamientos poblacionales. Considerando que en el tramo analizado se sitúan varios centros poblados, es que se centra el análisis en un periodo de retorno de 100 años, para efectuar el modelamiento hidráulico.

#### 3.5.3.1 Factor de ajuste de frecuencias

Para calcular el factor de ajuste de frecuencias se recurrió al manual de prácticas hidrológicas de la OMM, que recomienda multiplicar la información pluviométrica por un factor de ajuste de la frecuencia de observación diaria. Dado que los datos de precipitación son obtenidos en horas de observación fijas, no siempre van a permitir revelar las cantidades máximas verdaderas durante el

periodo que se desea. En el caso de las estaciones tomadas en consideración, en el análisis se asume que los registros se efectuaron una vez por día, por ello las precipitaciones máximas se multiplicaron por el factor de ajuste 1.13, de acuerdo a lo que indica la Tabla 7.

En la siguiente tabla se muestran los valores corregidos de precipitaciones máximas.

**Tabla 19.** Precipitación corregida por intervalo fijo de observación ( $f=1.13$ ).

Estaciones	Periodo de retorno			
	25	50	100	200
Tanta	50.34	55.68	60.75	65.63
Vilca	49.49	54.82	60.00	65.05
Yauricocha	60.55	69.31	78.54	88.22
Caranía	35.09	39.27	43.67	48.31
Yauyos	35.27	38.89	42.48	46.04
Huangascar	53.48	62.86	72.86	83.54
Pacarán	15.77	19.91	24.65	30.04
Cañete	8.90	12.74	18.15	25.82

**Fuente:** Elaboración propia.

### 3.5.4 Determinación de los hietogramas de tormenta

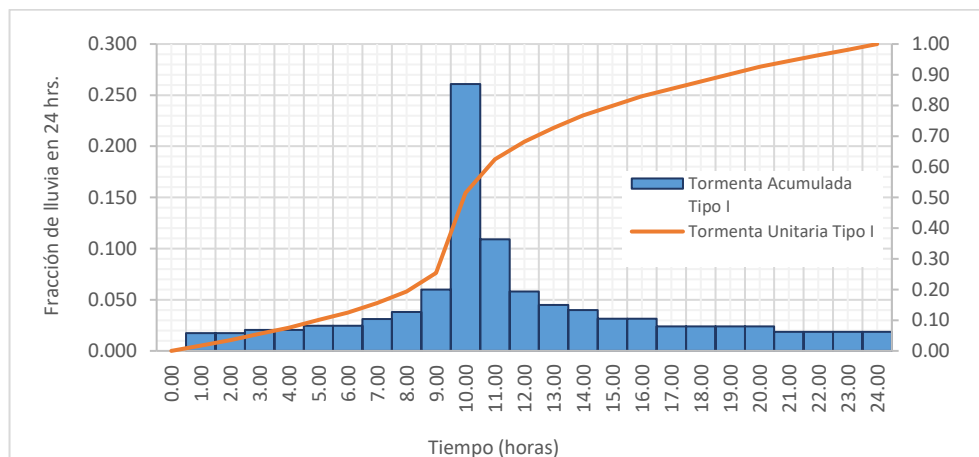
Para generar las tormentas de diseño, se ajustaron las precipitaciones máximas en 24 horas a uno de los hietogramas sintéticos generados por la SCS del U. S. Department of Agriculture (SCS, 1972), ya que en Perú no se cuenta con información propia de sus patrones de precipitación, del cual se pueda delinear tormentas sintéticas, circunstancia por la que se empleó como referencia el patrón del de la precipitación establecido por dicha institución.

En la Tabla 8, se detalla la distribución en escala de tiempo, de la precipitación según los tipos de tormentas del SCS.

Para el estudio se empleó el hietograma sintético de tipo I, por ser una tormenta que simboliza las producidas en la zona del pacífico con invierno húmedo, veranos secos

y guarda una cierta semejanza con nuestro país. El hietograma de diseño, se va a obtener de la multiplicación de la precipitación de diseño conseguida previamente por los correspondientes factores adimensionales de la distribución adimensional SCS Tipo I (ver Tabla 8).

A continuación, en la Figura 17, se muestran el hietograma y el perfil de tormenta Tipo I, (SCS), elegido para el análisis del ámbito de estudio.



**Figura 17.** Hietograma y perfil de tormenta Tipo I SCS.

**Fuente:** Elaboración propia

### 3.5.5 Método del número de curva (CN)

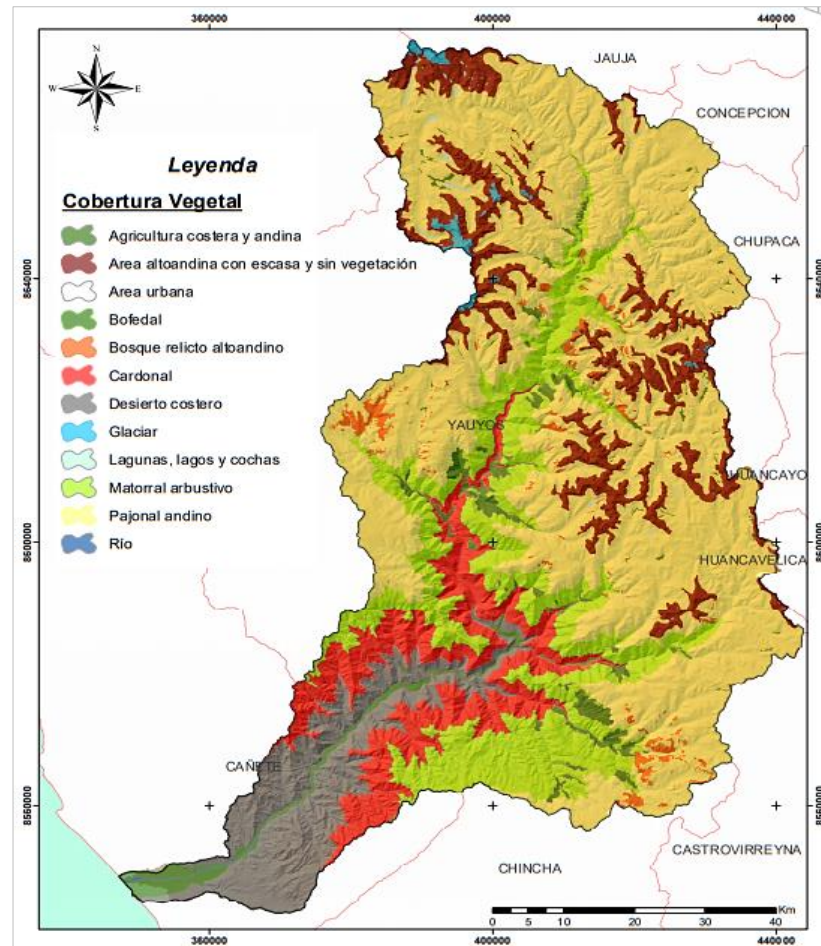
Su obtención, se realizó basándose en la caracterización del tipo de cobertura vegetal, el grupo hidrológico del suelo y en el detalle del uso del suelo, propios del área de análisis. Dichas características se describen a continuación:

#### A. Determinación del uso de suelo y condición hidrológica

Con la ayuda de imágenes Aster (DEM) del MINAM, se obtuvieron los mapas de cobertura vegetal que muestra las áreas de los tipos de cobertura existentes en el área de estudio, mediante este análisis se estableció el efecto, generado por la presencia y ausencia de la cobertura vegetal, si esta favorece o dificulta el escurrimiento directo en la cuenca.



Para la determinación de las áreas de cada tipo de cobertura en la cuenca Cañete y la presentación de la cartografía del uso del suelo en la misma, se usó el software ArcGIS, y los valores de condición hidrológica según su cobertura vegetal se observan en la Tabla 10.



**Figura 18.** Mapa de uso de suelo de la cuenca del río Cañete.  
**Fuente:** Elaboración propia.

## B. Determinación del grupo hidrológico de suelos

El porcentaje de infiltración y de transmisión están relacionadas con la clasificación del grupo hidrológico del suelo. Donde la cantidad de agua que se infiltra al suelo superficial es la tasa de infiltración y se controla por las condiciones de la superficie.

Los grupos hidrológicos que considera la metodología se observan en la Tabla 10.

### C. Determinación de condiciones de humedad antecedente.

La determinación de las condiciones de humedad antecedentes (CHA), son fundamentales pues en un suelo húmedo se infiltra poca lluvia y en un suelo seco la absorción es mayor. El CHA toma en cuenta los antecedentes previos, el total de precipitación en el lapso de cinco (5) días, previo a la tormenta suscitada en la cuenca. En la Tabla 11 detalla los 3 intervalos de CHA.

### D. Determinación del número de curva

Se tomó información del uso de suelo, la cual fue procesado y se obtuvo el área respectiva a cada uno de los tipos de uso, en una plataforma SIG (ArcMap 10.5), partiendo de un DEM, para conseguir el mapa de CN, se ha utilizado la capa de suelos adquirida del MINAM y el mapa de uso de suelos de INRENA, es a partir de ellos que se obtuvo el mapa del CN. En el Anexo F se detalla la determinación del número de curva.

### 3.5.6 Método del SCS para abstracciones

Para calcular las abstracciones se empleó la fórmula empírica generada por el SCS, se ha calculado según la siguiente relación:

$$Ia = 0.2 * \left( \frac{25400 - 254 * CN}{CN} \right) \quad (42)$$

En la cual: Ia es la Abstracción Inicial (mm) y CN es el Número Curva.

**Tabla 20.** Clasificación del número curva.

Subcuencas	Área (m <sup>2</sup> )	CN	Ia
Huantán	421.22	77.82	14.48
Medio Cañete	1541.86	75.04	16.89
Alis	447.47	78.32	14.06
Cacra	617.02	76.83	15.32
Medio Alto Cañete	365.16	74.68	17.22
Alto Cañete	943.43	77.7	14.06
Huangascar	518.44	74.41	17.47
Bajo Cañete	1194.86	75.58	16.41

**Fuente:** Elaboración propia.

### 3.5.7 Método de hidrograma unitario sintético de Snyder

Para el cálculo de máximas avenidas se empleó la metodología del Hidrograma Unitario Sintético de Snyder, ya que es empleado para cuencas mayores a 30 km<sup>2</sup> y toma en consideración las características de la cuenca, como parámetros para calcular el hidrograma, lo que hace que sea más distintiva. El tiempo de retardo puede ser calculado por la fórmula siguiente:

$$tp(hr) = 0.75Ct(L * Lc)^{0.3} \quad (43)$$

En donde: Tp es el tiempo Lag Estándar (hr), Ct es el coeficiente que representa la variación de tipos y ubicaciones de los ríos. Poseen una variación entre 1.8 y 2.2. Se tomará el valor de dos. Asimismo; Lc es la distancia del centro de gravedad de la subcuenca a su salida y L la longitud del curso principal del río. Ambos en millas.

**Tabla 21.** Tiempo de concentración para cuencas grandes – Snyder.

Subcuencas	Área (km <sup>2</sup> )	L (mi)	LC (mi)	Ct	Tp (hrs)
Huantán	421.22	21.58	10.79	2	10.26
Medio Cañete	1541.86	45.00	22.50	2	15.95
Alis	447.47	18.39	9.20	2	9.32
Cacra	617.02	38.22	19.11	2	14.46
Medio Alto Cañete	365.16	20.78	10.39	2	10.03
Alto Cañete	943.43	44.27	22.13	2	15.79
Huangascar	518.44	26.73	13.37	2	11.67
Bajo Cañete	1194.86	57.13	16.41	2	18.40

**Fuente:** Elaboración propia.

### 3.5.8 Modelación hidrológica con HEC-HMS

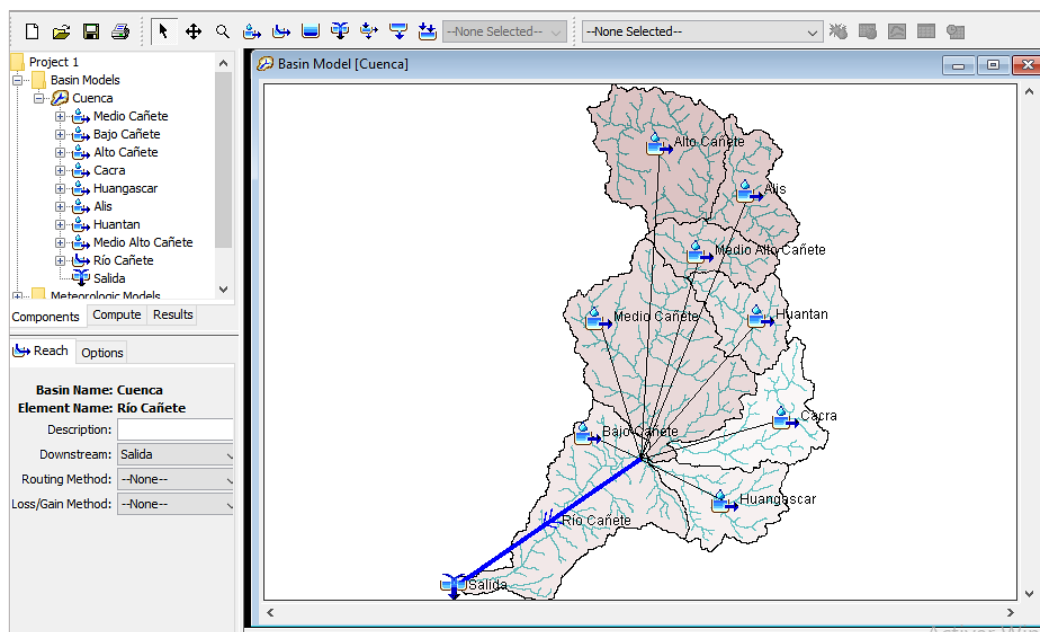
El estudio de máximas avenidas de la cuenca del río Cañete, se ha empleado con base a un modelo hidrológico de la cuenca limitándose en función al tramo de interés (Sector Palti – desembocadura). Para generar los caudales máximos, que se determina mediante el proceso de precipitación – escorrentía, se acudió al HEC-HMS, el cual simula una respuesta hidrológica del área en estudio, ante precipitaciones máximas de distintos tiempos de retorno.

En cuanto al modelamiento hidrológico con HEC-HMS, se emplearon cuatro (04) de sus fundamentales componentes: El modelo de cuenca (*Basin Model*), el modelo meteorológico (*Meteorologic Model*) y las especificaciones de Control (*Control Especifications*).

### A. Modelo de cuenca

Para el desarrollo del modelo se importó al HEC – HMS el modelo conceptual de la cuenca que fue dividida en ocho subcuencas, Caca, Huangascar, Bajo Cañete, Huantan, Medio Cañete, Medio Alto Cañete, Alis y Alto Cañete.

Dicha división, se ha realizado para representar la variación de las características físicas de cada subcuenca, se editó el esquema de la red de drenaje y las características de la cuenca Cañete (ver Tabla 20 y Tabla 21). El esquema se detalla en la Figura 19



**Figura 19.** Esquema de la cuenca Cañete

**Fuente:** Elaboración propia

### B. Modelo meteorológico

Se ingresó la tormenta de diseño (en forma de hietograma), usando la tormenta hipotética tipo I recomendada por la SCS, así como el porcentaje de influencia de las estaciones pluviométricas determinado mediante polígonos de Thiessen, que se muestran

en la Tabla 13. Asimismo; la precipitación areal para la totalidad de las zonas de influencia del estudio, para los periodos de retorno de 25, 50, 100 y 200 años.

### C. Especificaciones de control

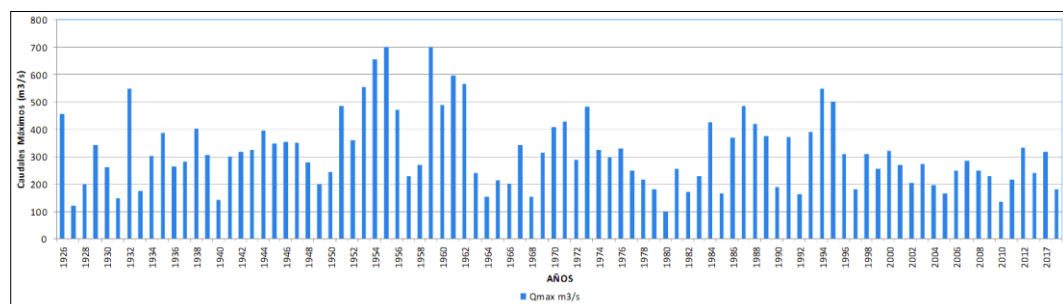
Para la simulación de la avenida se especificó una fecha, hora de comienzo y culminación, como también el intervalo de tiempo de simulación.

Con la combinación del modelo de cuenca, el modelo meteorológico y las especificaciones de control, se ha detallado las correspondientes corridas, hasta conseguir los resultados.

#### 3.5.9 Comparación de caudales máximos generados y registrados

Habiéndose determinado los resultados producto del modelamiento hidrológico con el HEC-HMS, se realizó la comparación de los máximos caudales generados con los caudales máximos anuales que se registraron en la estación hidrométrica Socsi.

A partir de los datos hidrológicos, se evidencia que el río Cañete, como la gran parte de ríos de la zona costera del país, tienen un régimen de descarga irregular, concentrándose las descargas máximas en los meses de enero hasta abril, época en la que se supone que fluye cerca del 75% del volumen de agua que genera la cuenca por año. Por lo tanto, el régimen hídrico se distingue en tres temporadas de crecida (diciembre hasta abril), temporadas de transición (septiembre hasta noviembre) y temporadas de estiaje (mayo hasta agosto), (Tito, 2017).



**Figura 20.** Histograma de caudales máximos de la estación hidrométrica Socsi.

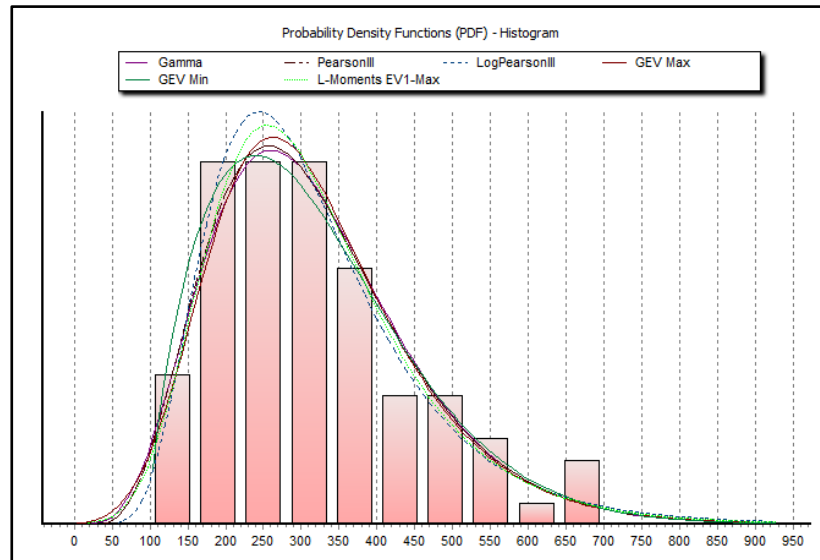
Los datos de los caudales máximos anuales, han sido registrados en la estación hidrométrica de Socsi que se encuentra ubicado a 25 km aproximadamente aguas arriba de la desembocadura del río Cañete, la cual cuenta con información histórica desde los años 1926 al 2017, sin embargo; habiéndose generado el caudal pico con el modelo hidrológico HEC-HMS en la desembocadura al mar, se consideró realizar la comparación con esta estación hidrométrica muy a pesar de que no se encuentra en el punto de estudio, considerándose además que no existen ríos tributarios con caudales considerables que aporten aguas debajo de la estación Socsi, determinándose que los caudales son los mismos que desembocan al mar, prueba de ello son el registro de la estación pluviométrica Cañete que registra precipitaciones menores a 3 mm, no generándose escorrentía que pueda aportar al río principal.

Los parámetros conseguidos de la aplicación de las distribuciones estadísticas a los caudales máximos por año que se registraron en la estación hidrométrica con el empleo del programa Hidrognomon se detallan correspondientemente:

**Tabla 22.** Distribuciones estadísticas aplicadas a la estación hidrométrica.

<b>Distribuciones más conocidas</b>	<b>a= 1%</b>	<b>a= 5%</b>	<b>a= 10%</b>	<b>Attained a</b>	<b>DMax</b>
Gamma	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	100.00%	0.03268
Pearson III	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	100.00%	0.03203
Log Pearson III	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	100.00%	0.03261
GEV-Min	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	100.00%	0.0309
GEV-Max (L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	100.00%	0.03344
EV1-Max (Gumbel, L-Moments)	ACCEPT	ACCEPT	ACCEPT	100.00%	0.03323

**Fuente:** Elaboración propia.



**Figura 21.** Gráfico de funciones de densidad de histograma.

**Fuente:** Elaboración propia.

Las distribuciones que presentan mejor ajuste son las siguientes, Gamma, Pearson III, Log Pearson III, GEV-Min, GEV-Max (L-Moments), EVI-Max (Gumbel, L-Moments), respectivamente, aplicando el Test Smirnov Kolmogorov y la distribución que se uso es la Log Pearson III, se obtuvieron los siguientes caudales para los diferentes periodos de retorno.

**Tabla 23.** Caudales obtenidos de la estación hidrométrica Socsi.

Periodo de Retorno (años)	Caudales máximos medios diarios ( $m^3/s$ )
25	585.12
50	648.88
100	709.91
200	768.88

**Fuente:** Elaboración propia.

El SENAMHI, en el ámbito del área de estudio solo obtiene datos de caudales máximos medios diarios debido a que no se tiene información horaria y esto nos lleva a utilizar formulas empíricas propuestas por autores para la obtención de las descargas máximas instantáneas. El método utilizado en el presente estudio, es el propuesto por Fuller, cuya ecuación empírica está en función del área de la cuenca, la cual es de  $6049.45 \text{ km}^2$ , obteniéndose el siguiente resultado.

$$Q_{\max i} = Q_{\max d} \times \left(1 + \frac{2.66}{A^{0.3}}\right) \quad (44)$$

En donde:  $Q_{\max i}$  es el Caudal máximo instantáneo ( $m^3/s$ ),  $Q_{\max d}$  es el Caudal máximo medio diario ( $m^3/s$ ) y  $A$  es el área de la cuenca ( $km^2$ )

**Tabla 24.** Caudales máximos instantáneos en la estación Sosci.

TR (años)	Caudales ( $m^3/s$ )	Caudal máximo instantáneo ( $m^3/s$ )
100	709.91	848.45

**Fuente:** Elaboración propia.

Asimismo; los resultados obtenidos con Hec-Hms para los diferentes tiempos de retorno son los que se presentan a continuación:

**Tabla 25.** Caudales máximos estimados con Hec-Hms.

Periodo de retorno (años)	Caudal máximo ( $m^3/s$ )
100	855.90

**Fuente:** Elaboración propia.

Haciendo una comparación de los resultados producto del modelamiento hidrológico del HEC-HMS con los valores del registro de la estación hidrométrica Sosci, considerándose en este caso el tiempo de retorno de 100 años según referencia de la Autoridad Nacional de Agua, que aprueba el reglamento para la delimitación y mantenimiento de fajas marginales en la RJ N° 332-ANA, que considera como criterio el tiempo de retorno de 100 años en cauces naturales de agua contiguas con asentamientos poblacionales, siendo este el caso del área de estudio hidráulico, donde se encuentran ubicados en ambas márgenes los sectores denominados Boca de Río, Con Con, Herbay Bajo, Herbay Alto, Cuiva Cuiva y Palti, así como áreas agrícolas. En la comparación de ambos resultados el modelo HEC-HMS tiene como resultado una sobreestimación no muy significativa en relación a la información de la estación hidrométrica Sosci, siendo representativa para validar el resultado obtenido del modelamiento hidrológico.





## **3.6 CARACTERIZACIÓN DEL COMPORTAMIENTO HIDRODINAMICO Y DETERMINACIÓN DE LA SUPERFICIE DE INUNDACIÓN**

### **3.6.1 Modelamiento hidráulico con IBER**

El modelo IBER versión 2.5.1 es el modelo hidráulico bidimensional, útil para simulación de flujo superficial libre en ríos, resolviendo procesos hidrodinámicos, utilizados para crear el perfil de inundación; su rango de aplicaciones incluye la hidrodinámica fluvial, la evaluación de áreas de inundación, el flujo de las mareas en los estuarios, etc. El uso de este software facilita el proceso, ya que los proyectos se crean con mayor rapidez y eficacia, para tener facilidades de análisis de diversos escenarios en el ámbito de estudio.

Para realizar el cálculo del modelamiento hidráulico se siguió los siguientes pasos: se comenzó dando la rugosidad del terreno (n-Manning), luego las condiciones de contorno y caudales, se generó la malla e importación de la geometría (topografía), se asignó las alternativas del cálculo (tiempo de cálculo) y por último se consultó los resultados (módulo post-procedimiento). En los siguientes apartados se describirán los pasos detalladamente.

### **3.6.2 Asignación de la rugosidad del terreno (n-Manning)**

Para determinar el coeficiente de Manning se ha asignado distintas cubiertas del suelo, utilizando información obtenida mediante imágenes satelitales y con ayuda de orto fotos obtenidas del levantamiento topográfico con dron.

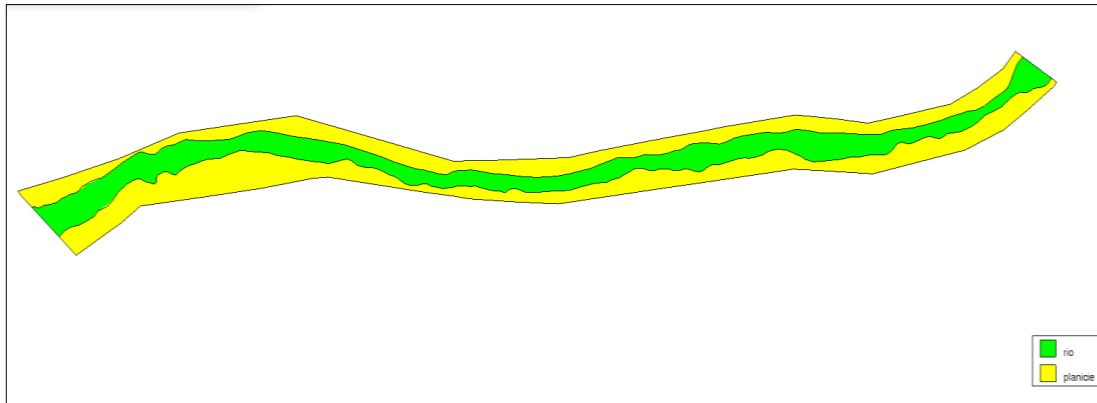
**Tabla 26.** Valoraciones de Coef. de rugosidad para corrientes naturales.

	TIPO DE CANAL	MÍNIMO	NORMAL	MÁXIMO
Corrientes menores (Ancho menor que 30m)	a. Ríos en planicies			
	Rectos, sin zonas muertas	0.025	0.030	0.033
	Rectos sin zonas muertas con piedras y malezas	0.030	0.036	0.040
	Sinuoso, vegetación y piedras	0.035	0.045	0.050
	Sinuoso, vegetación y bastante pedregoso	0.045	0.050	0.060
	Abundante vegetación, sinuoso.	0.075	0.100	0.150
	b. Torrentes de montaña, sin vegetación, bordes abruptos, árboles y arbustos sumergidos			
	Gravas, cantos rodados y algunas rocas.	0.030	0.040	0.050
	Cantos rodados con rocas grandes.	0.040	0.050	0.070
Planicies de inundación	a. Con pasto sin arbusto			
	Pastizales bajos	0.025	0.030	0.035
	Pastizales altos	0.030	0.035	0.050
	b. Áreas cultivadas			
	sin cultivo	0.020	0.030	0.040
	con cultivos	0.030	0.040	0.050
	c. Arbustos y malezas			
	Escasos	0.040	0.060	0.080
	Densos	0.070	0.100	0.160
	d. Árboles			
Sauces	0.110	0.150	0.200	
Tierra despejada con troncos	0.030	0.040	0.050	
Ríos principales (Ancho mayor que 30m)	Secciones regulares	0.025	-	0.060
	Secciones irregulares	0.035	-	0.100

**Fuente:** (Ven Te Chow et al., 1994).

Todo lo delimitado sobre el uso del suelo es cargado directamente sobre la malla del modelo, mediante el proceso de importación del mapa disponible al IBER, antes desarrollados en formato ASCII.

Para el lecho del río Cañete se ha considerado una rugosidad de 0.035, por ser un cauce irregular de ancho mayor a 30 m y para la planicie o el área de inundación se considera una rugosidad de 0.040.



**Figura 22.** Zonificación de los coeficientes de rugosidad.

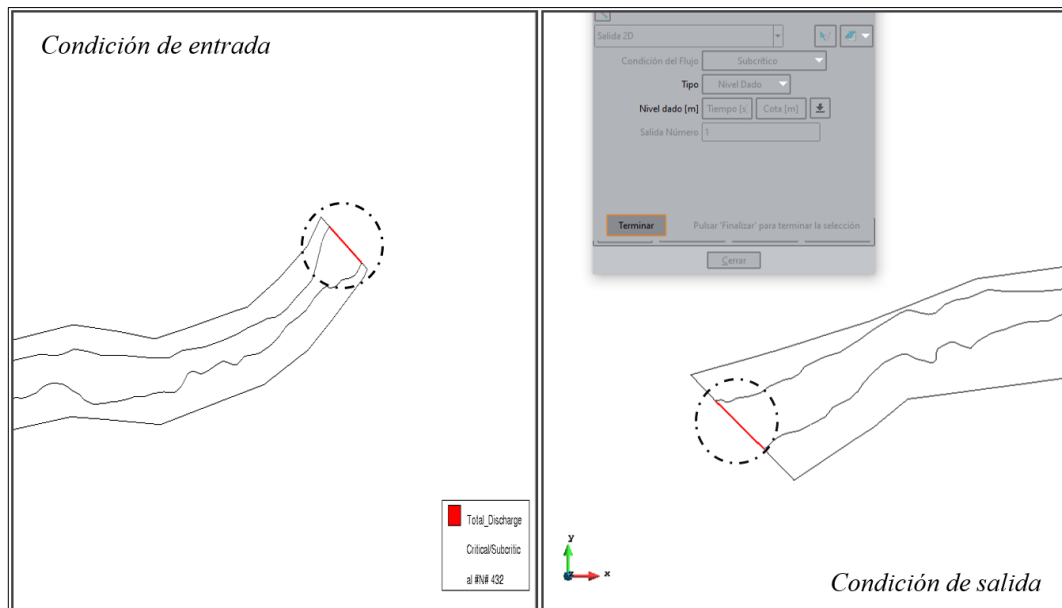
**Fuente:** Elaboración propia.

### 3.6.3 Asignación de condiciones de contorno y caudales

Para calcular el nivel de inundación para un periodo de retorno definido, se estableció condiciones de contorno (entrada y salida), para el modelo de aguas abajo como arriba, del segmento del río Cañete.

Condición de entrada: se insertó información del caudal punta, que son los hidrogramas resultantes de anteriores procesos realizados con el HEC-HMS, se tomó el hidrograma correspondiente a un caudal de  $855.9 \text{ m}^3/\text{s}$ , que fue simulado para el TR de 100 años y se estableció el tipo de régimen de flujo para la cuenca, que es el tipo de régimen Crítico/Subcrítico.

Condición de salida: se tomó el mar en la parte baja de la cuenca, como único punto de salida. Se estableció el tipo de régimen Subcrítico y se introdujo el dato de la cota más alta de la marea.



**Figura 23.** Condiciones de contorno (entrada y salida)

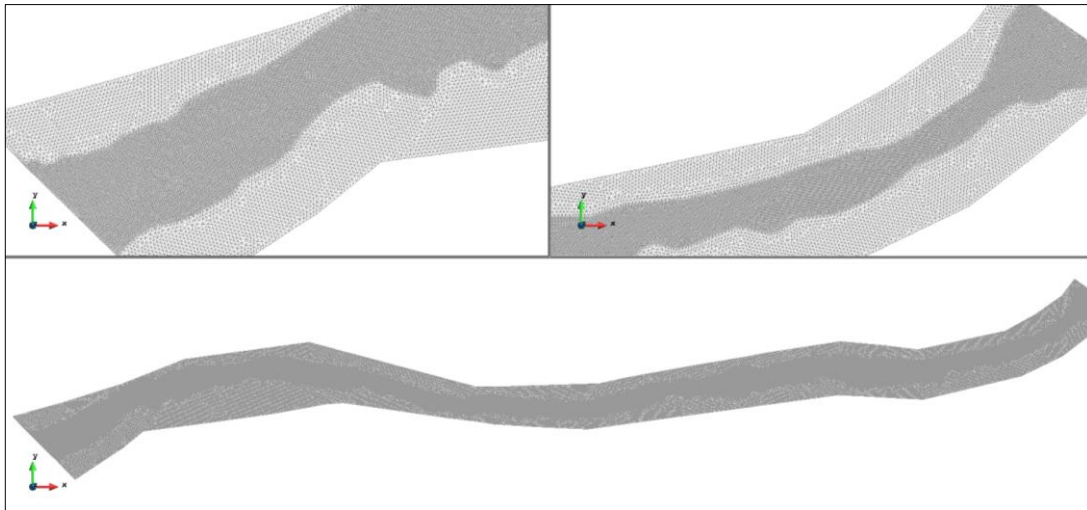
**Fuente:** Elaboración propia.

La información de marea máxima de 2.90m de altura, registrada en el año 1991, fue considerado teniendo en cuenta que el registro corresponde al Océano Pacífico, cuerpo de agua común para toda la franja costera del Perú, y para fines demostrativos. Es importante tener presente que IBER no modela mareas, por ello se considera la altura como una cota sobre el nivel del mar, siendo además un dato de condición de frontera en la salida del tramo modelado.

### 3.6.4 Generación de la malla

Al generar la malla de cálculo, se representará el relieve de la cuenca en estudio (vista en 3D), en donde almacena todos los datos, como; las condiciones de contorno y caudales asignados.

La malla está constituida por una red de triángulos rectángulos a partir del MDT. Para este caso se eligió un tamaño de celdas de 5m, este valor se relaciona con las dimensiones de las secciones del río y 12m para las planicies de inundación.



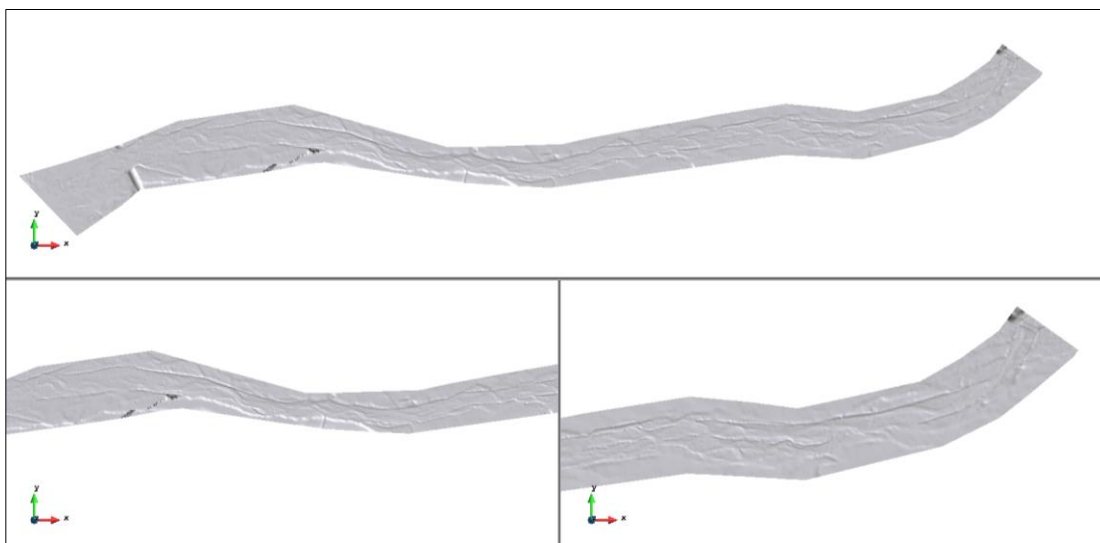
**Figura 24.** Red Irregular de triángulos rectángulos (RTIN) de IBER.

**Fuente:** Elaboración propia.

### 3.6.5 Importación de la geometría (topografía)

Se trabajó de forma directa con el Modelo Digital de Terreno, información proporcionada por la AAA-CF, la institución obtuvo las curvas de nivel, mediante levantamiento topográfico con dron.

El MDT permitió tener la representación matemática de los valores de altura para caracterizar las formas del relieve de la cuenca en estudio, se cambió de formato a extensión ASCII (formato que reconoce el modelo IBER), con las herramientas del Software ArcGIS, para facilitar el ingreso de la información a la interfaz de IBER.



**Figura 25.** Malla RTIN considerando MDT.

**Fuente:** Elaboración propia.



### **3.6.6 Asignación de las opciones del cálculo**

Finalmente, con todos los datos ingresados, se procedió con la simulación del proyecto y para ello se fijó los parámetros de cálculo en donde se indicó al programa el lapso que debe durar el proceso de simulación, se definió que la simulación tenga una duración máxima de (244800 segundos) y con intervalos de tiempo de (500 segundos). Los mapas finales se muestran en los resultados.

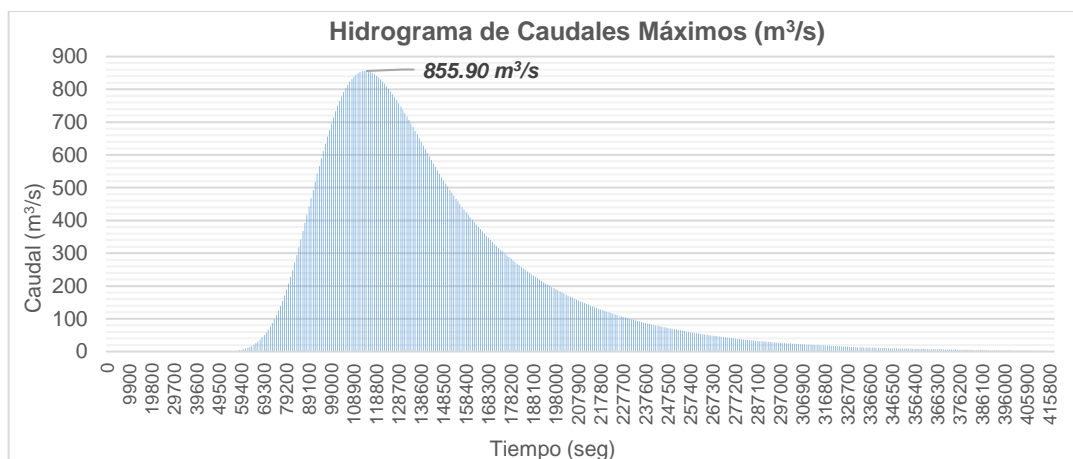
## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1 RESULTADOS

##### 4.1.1. Caudales de máximas avenidas para el tramo analizado

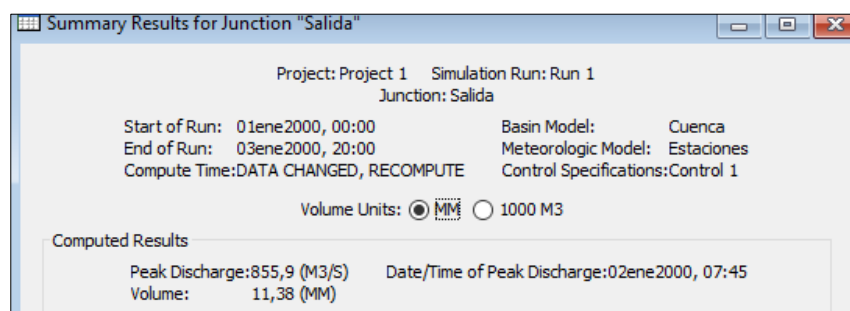
Los caudales máximos considerados para el presente estudio de investigación, corresponden a un periodo de retorno de 100 años, debido a que el tramo de cauce natural de agua, está contigua a asentamientos poblacionales y áreas agrícolas. Mediante modelación hidrológica con Hec-Hms, se ha obtenido un caudal pico de 855.90 m<sup>3</sup>/s. En la Figura 26 se muestran gráficamente los resultados de la simulación hidrológica precipitación – escorrentía de la cuenca del río Cañete, así como en el Anexo G.



**Figura 26.** Hidrograma de crecida para un TR de 100 años.

**Fuente:** Elaboración propia.

En la Figura 27 se observan los resultados del modelo hidrológico.



**Figura 27.** Caudal máximo para el TR de 100 años.

**Fuente:** Elaboración propia.

Los valores del hidrograma de caudales máximos; se adjunta en el Anexo G.

#### 4.1.2 Generación de la superficie de inundación

El análisis hidráulico bidimensional del tramo final del río Cañete, comprende desde la desembocadura (km 0+000) hasta el sector Palti (km 10+000) y ha permitido hallar posibles áreas con peligros de desborde. Una de las condiciones de contorno importantes, es el hidrograma de caudales máximos correspondiente a un TR de 100 años, lo cual ha permitido identificar los efectos producidos en la zona estudiada.

Para ello se realiza el análisis de resultados en cuatro partes: Tramo 1.- km 0+000 a km 2+500, Tramo 2.- km 2+500 a km 5+000, Tramo 3.- km 5+000 a km 7+500 y Tramo 4.- km 7+500 a km 10+000.

La superficie de inundación en el Tramo 1 (km 0+000 al km 2+500), estaría afectando a los centros poblados de Herbay Bajo y Boca de Río, en las márgenes izquierda y derecha de la desembocadura del río Cañete, respectivamente. Asimismo, se tiene un área de 34.15 ha de terrenos agrícolas y algunos canales laterales. Ver Figura 28.

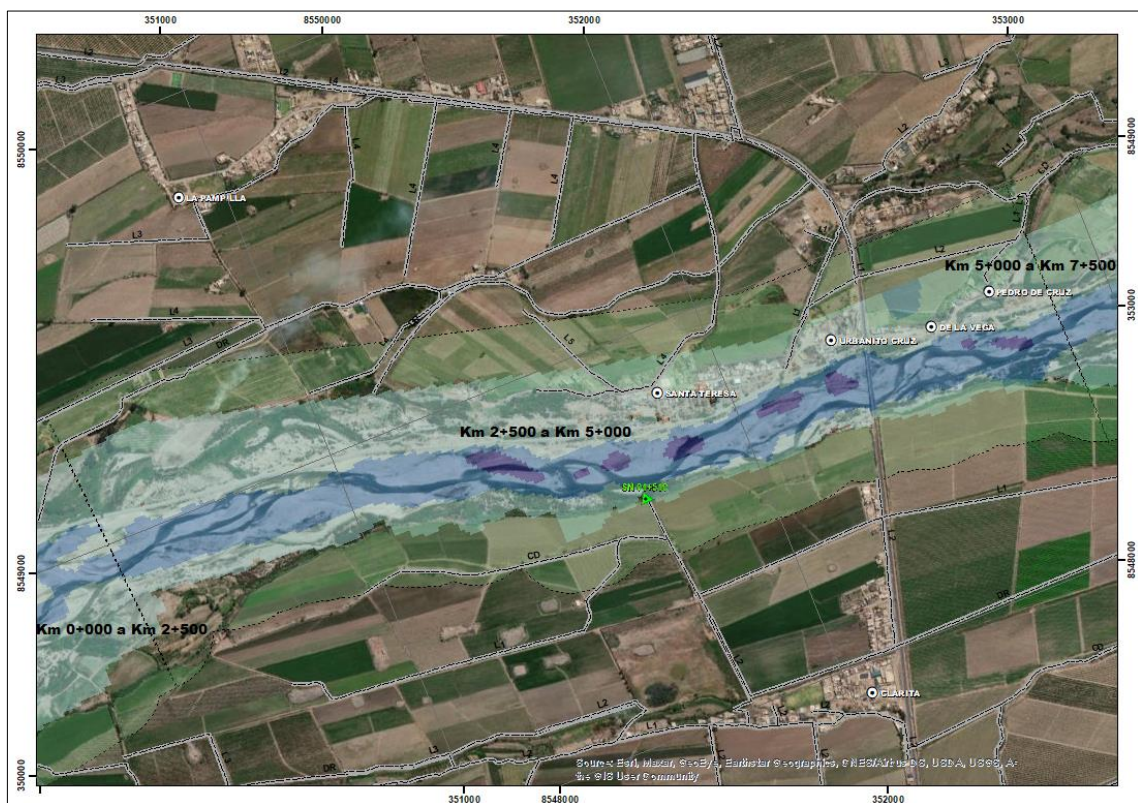




**Figura 28.** Superficie de inundación Tramo 1 (km 0+000 a km 2+500)

**Fuente:** Elaboración propia.

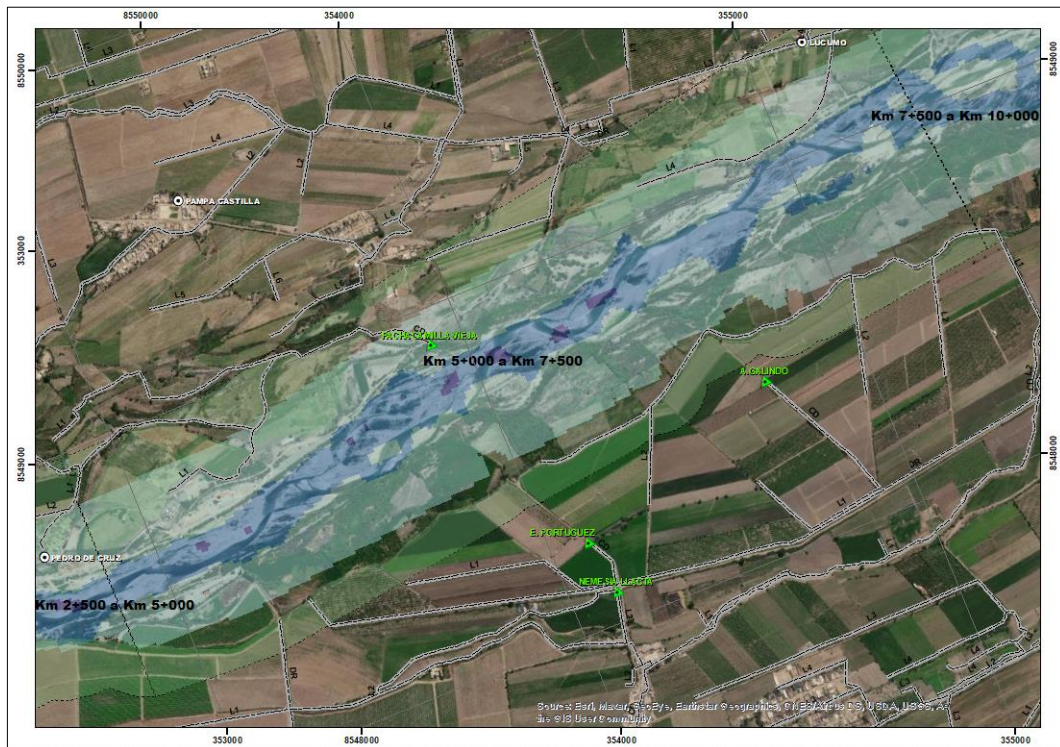
La superficie de inundación en el Tramo 2 (km 2+500 al km 5+000), incluye a los centros poblados de Pedro de Cruz, De La Vega, Urbanito Cruz y Santa Teresa, en la margen derecha del río Cañete, una superficie de 70.00 ha de terrenos agrícolas, una bocatoma en la margen izquierda y canales de derivación y laterales de primer orden. La Figura 29, muestra el tramo indicado con las manchas de inundación, en torno a las unidades operativas y poblaciones afectadas.



**Figura 29.** Superficie de inundación Tramo 2 (km 2+500 a km 5+000)

**Fuente:** Elaboración propia.

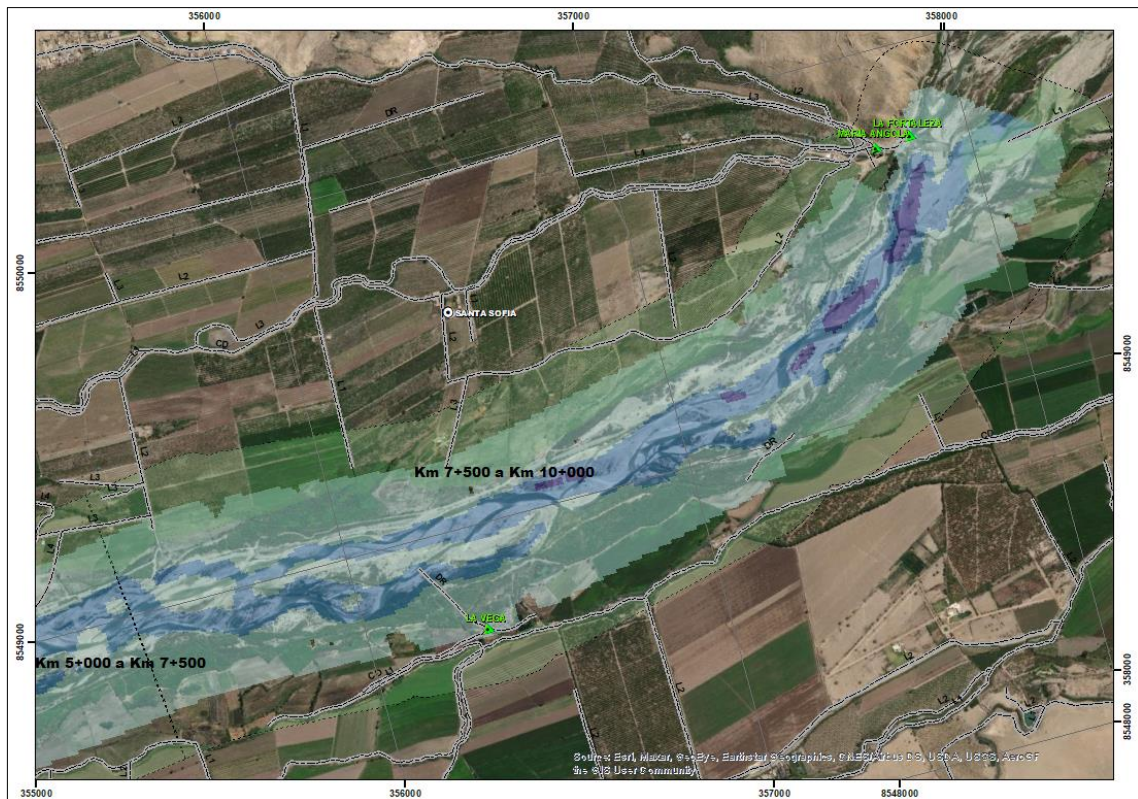
El Tramo 3 (km 5+000 al km 7+500), dio como resultado que la superficie de inundación afectaría al centro poblado en la margen derecha del río Cañete, una superficie de 63.51 ha de terrenos agrícolas, una bocatoma y un canal de derivación en la margen derecha. En la Figura 30, se muestra la superficie de inundación del tramo descrito, así como las unidades operativas afectadas.



**Figura 30.** Superficie de inundación Tramo 3 (km 5+000 a km 7+500)

**Fuente:** Elaboración propia.

La superficie de inundación en el Tramo 4 (km 7+500 al km 10+000), afectaría una superficie de 78.60 ha de terrenos agrícolas, tres bocatomas, una en la margen izquierda y dos en la margen derecha, así como canales de derivación, canales laterales y drenes agrarios. La Figura 31, muestra el tramo indicado con las manchas de inundación, en torno a las unidades operativas afectadas.



**Figura 31.** Superficie de inundación Tramo 4 (km 7+500 a km 10+000)

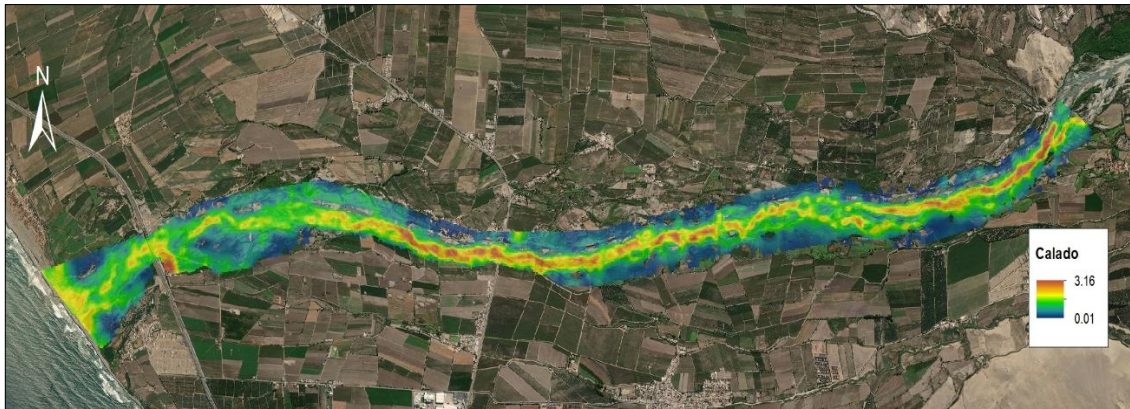
**Fuente:** Elaboración propia.

A nivel de todo el tramo de interés (km 0+000 a km 10+000), se tienen siete (07) centros poblados afectados por inundación fluvial, dos de ellos situados en la margen izquierda y cinco en la margen derecha, así como 246.26 ha de terrenos de cultivo entre ambas márgenes del río Cañete. Así como cinco (05) bocatomas, cuatro (04) canales de derivación (CD) y varios canales laterales en ambas márgenes.

### 4.1.3 Comportamiento hidrodinámico del río Cañete

#### A. Mapa de calados o tirantes

En la Figura 32, se detalla el mapa de calado (altura de agua) resultantes del modelamiento hidráulico del río Cañete. Asimismo, en los mapas adjuntos en el Anexo H, se muestran a mayor escala, los resultados de calado y velocidades.



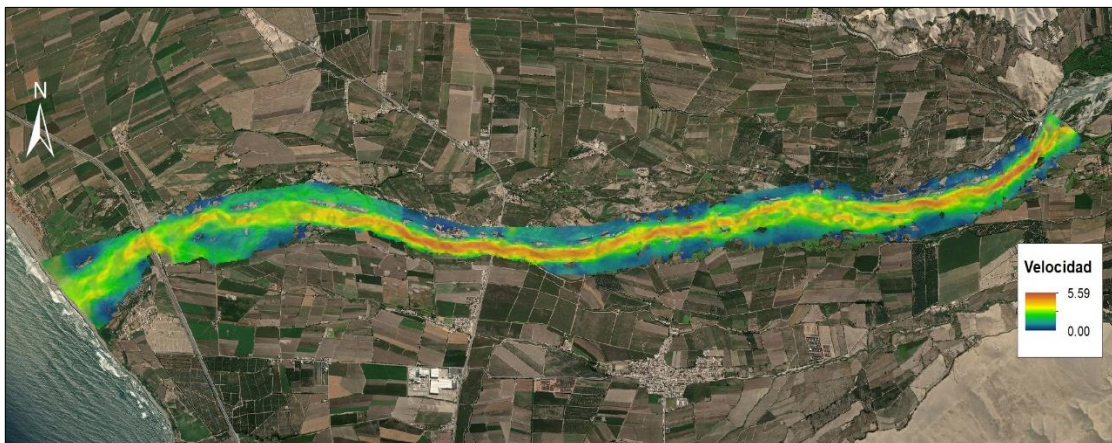
**Figura 32.** Mapa de calado del río Cañete.

**Fuente:** Elaboración propia.

Se aprecia que los calados (altura de agua) resultantes del modelamiento hidráulico en el tramo final del río Cañete, presenta alturas de 0.01m hasta calados mayores (marcados en tonos rojos anaranjados) de 3.16m, mayormente en la parte alta y media del tramo.

### **B. Mapa de velocidades**

En la Figura 33, se muestran las velocidades que se han generado como resultado del modelamiento hidráulico para el tramo final del río Cañete.



**Figura 33.** Mapa de velocidades del río Cañete.

**Fuente:** Elaboración propia.

Las velocidades se muestran en capas de colores que nos permite visualizar los tramos desde la mínima a máxima velocidad, el menor valor se encuentra en la margen izquierda y en la margen derecha del río con un valor de 0.0 m/s (aguas



estancadas) y las velocidades mayores se encuentran en el cauce del río con un valor de 5.59 m/s.

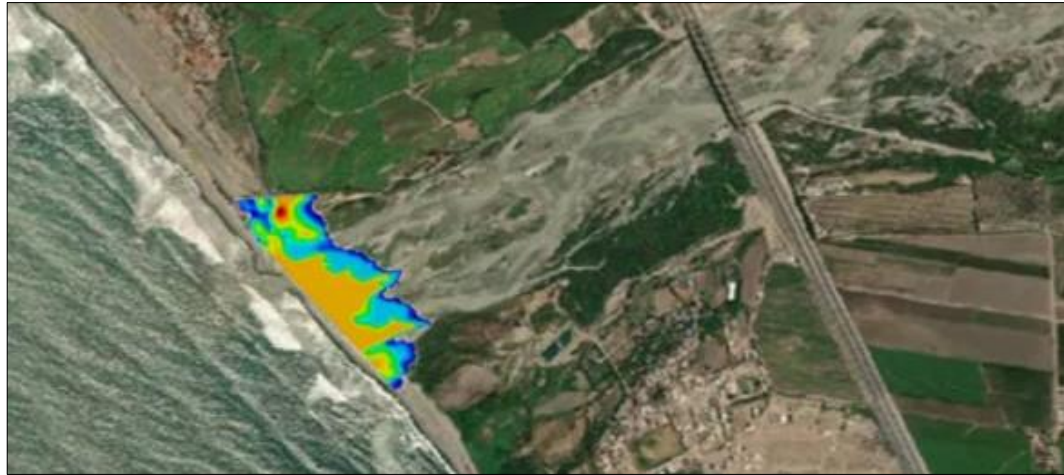
#### **4.1.4 Comportamiento hidrodinámico en la desembocadura con efecto de la marea**

Luego de la modelización hidráulica de la marea como condición de contorno de salida del modelo hidráulico IBER para el tramo final del río Cañete, con una marea histórica de 2.90 m de altura, registrada en el año 1991 (según registro histórico de la Marina de Guerra del Perú), en simultáneo con un caudal máximo de 855.9 m<sup>3</sup>/s, correspondiente a un periodo de retorno de 100 años; presenta el siguiente comportamiento:

La marea presenta una longitud de ingreso de aproximadamente 0.226 Km hacia el cauce del río Cañete, sin causar desbordes considerables y adecuándose a la topografía del río.

Como se detalla en la Figura 34, no se genera afectación significativa por desborde a causa de la marea máxima a las poblaciones cercanas. Asimismo; se pudo apreciar que la marea no tiene influencia considerable en la hidrodinámica del río Cañete y que las inundaciones son producto de la propia hidrodinámica del río, según lo determinado en el ítem 4.1.3.

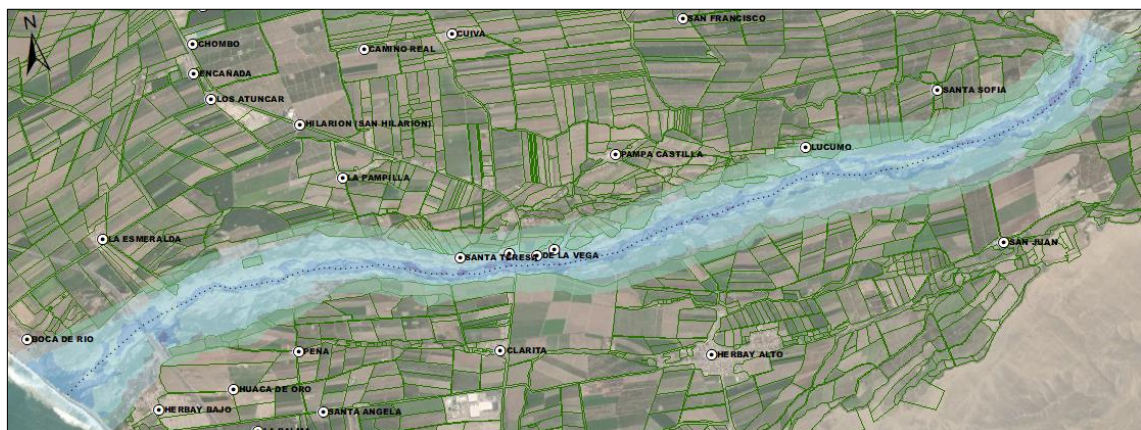
La marea se mantiene muy por debajo del puente Henry Aramayo de la nueva carretera Panamericana Sur.



**Figura 34.** Efecto de la marea para una cota de 2.90 metros  
**Fuente:** Elaboración propia

## 4.2 DISCUSIÓN

Se tienen dos estudios de máximas avenidas para la cuenca del río Cañete, elaborados por ANA, 2010 y JICA, 2012, cuyos resultados de caudales máximos para un periodo de retorno (TR) de 100 años, son de  $956.40 \text{ m}^3/\text{s}$  y  $2174.90 \text{ m}^3/\text{s}$ , respectivamente. Es de verse, que existe una diferencia muy fuerte entre ambos resultados, siendo una de las razones por las que se ha optado por realizar un análisis hidrológico propio para el presente estudio, obteniendo un resultado de  $855.90 \text{ m}^3/\text{s}$ . Además, es importante destacar que los estudios mencionados, son de hace varios años atrás y sólo muestran resultados de caudales picos, siendo necesario contar con el hidrograma de caudales generado en el Hec-Hms para ingreso de las condiciones de contorno al Iber.

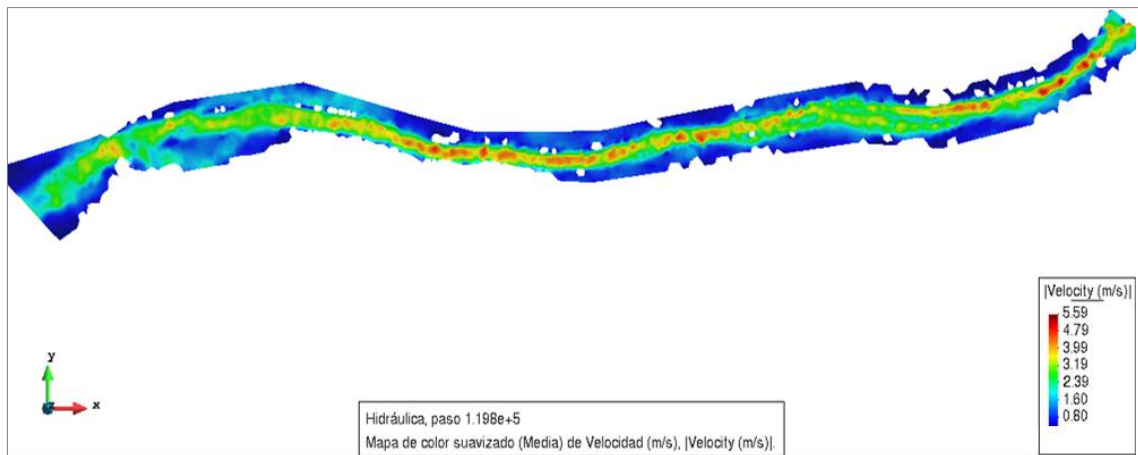


**Figura 35.** Superficie de afectación de tramo analizado  
**Fuente:** Elaboración propia



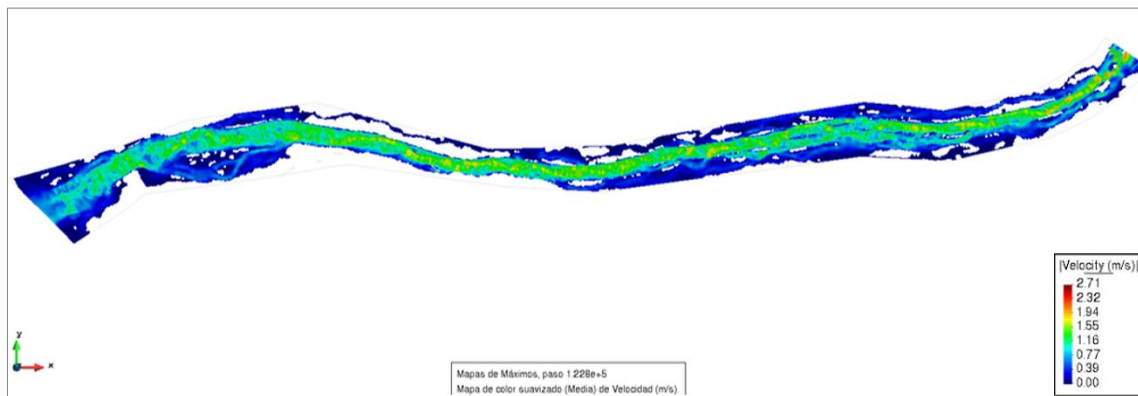
Sobre los resultados obtenidos del modelamiento hidráulico del río Cañete, se tiene como antecedente el estudio realizado por (Tito, 2017) sobre un tramo de 9 km que (Sector Puente Sosci - altura puente colgante) que realizó el modelamiento hidráulico con Hec-Ras, aplicando un caudal pico de  $460 \text{ m}^3/\text{s}$  para un TR de 50 años, se denota que ha aplicado un periodo de retorno reducido, enfocando su análisis sólo en terrenos agrícolas, determinando una afectación de 117 unidades productivas. En el presente análisis del tramo final del río Cañete, se ha aplicado el caudal para un periodo de retorno de 100 años y se ha enfocado la afectación de forma más integral, abarcando población y área agraria, teniendo que: La superficie de inundación afectaría a 06 centros poblados, un aproximado de 605 habitantes y 157 unidades agrícolas en ambas márgenes del tramo final del río Cañete, véase Figura 35.

Una vez que finaliza la simulación, IBER nos permite visualizar los resultados en el post - proceso y extraer los resultados, tal como se muestra en la Figura 36 y Figura 37, que ilustra algunos pasos temporales de la simulación para la velocidad, en la cual se observa que la zona con las mayores velocidades se encuentra en la parte alta y media del tramo estudiado. La Figura 36 muestra el paso 119800 en el cual se ha producido el caudal pico, mientras que en la Figura 37, se muestra la simulación en el paso final de la simulación en el que se observa que el flujo se viene normalizando, dejando varias áreas de agua estancada, cuyas velocidades son nulas.



**Figura 36.** Velocidad durante pico máximo de la simulación hidráulica

**Fuente:** Elaboración propia

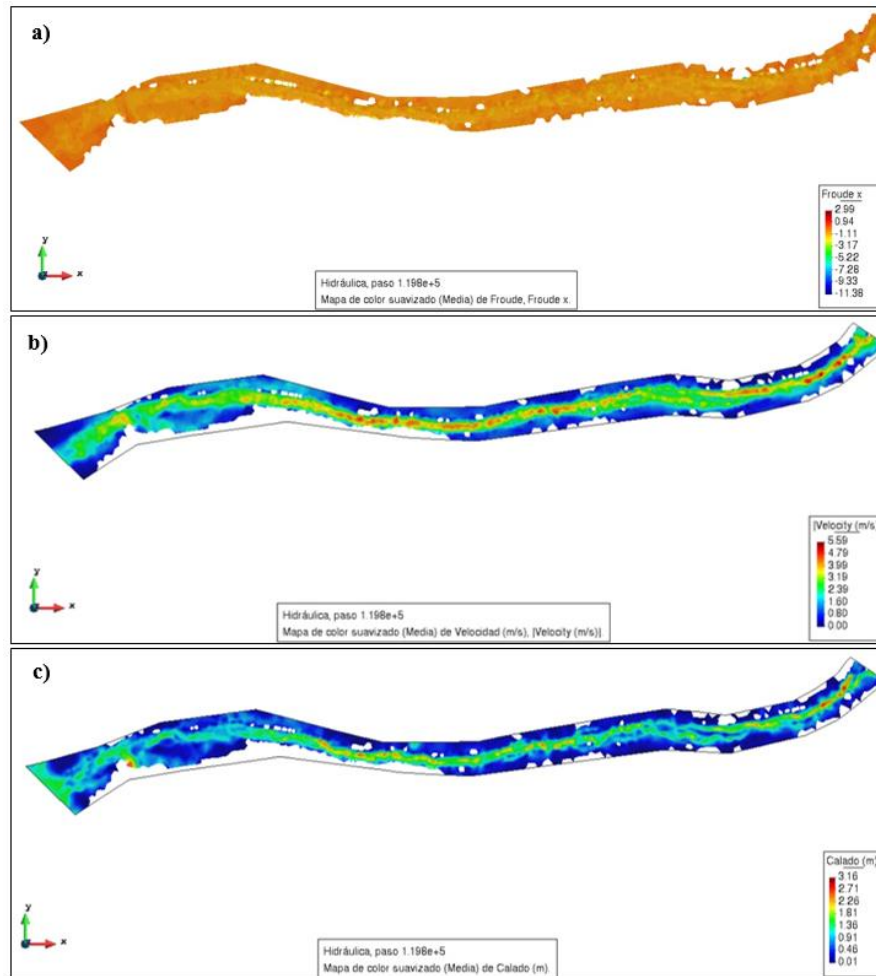


**Figura 37.** Velocidad en el paso final de simulación hidráulica

**Fuente:** Elaboración propia

Por otro lado, las características hidrodinámicas del tramo analizado, para un periodo de retorno de 100 años, presenta números de Froude entre 0.94 y 2.99, lo cual indica la presencia de una variación entre flujo subcrítico a supercrítico (Figura 38-a), una velocidad máxima es de 5.59m/s (Figura 38-b). Finalmente, los tirantes o calados de agua alcanzan alturas máximas de 3.16m, (Figura 38-c); menores a los tirantes de 5.76m, determinados en el estudio Tito (2017); esto debido a que el tramo analizado actualmente, posee pendientes menores y el cauce es relativamente más amplio, tal como se muestra en la Figura 38. Cabe resaltar que no existen estudios que contemplen el efecto de las mareas máximas junto con máximas avenidas.





**Figura 38.** Comportamiento hidrodinámico del río Cañete en su tramo final  
**Fuente:** Elaboración propia

La hidrodinámica de la desembocadura del río Cañete con efecto de la marea presenta un comportamiento normal. Es decir, que la marea máxima no representa influencia significativa en el desborde y se denota que la velocidad es menor en la desembocadura, probablemente debido al incremento en el ancho del cauce y porque la cota de la parte final del río Cañete con respecto al nivel del mar es de unos 2.0msnm, que frente a la marea máxima considerada de 2.90m se tendría una diferencia aproximada de 1.0m que funcionaría como una barrera que ante el choque presenta cierto rebote, ingresando en una longitud de 226m hacia el cauce del río, que termina siendo normalizado por el flujo proveniente de aguas arriba del río Cañete, ello se muestra en la Figura 34, del ítem 4.1 Resultados.



## V. CONCLUSIONES

La aplicación del modelo hidráulico bidimensional en el tramo final del río Cañete, nos permite formular las siguientes conclusiones:

1. Los efectos de la marea en el comportamiento hidrodinámico en la desembocadura del río Cañete bajo condiciones de ocurrencia de máximas avenidas, es mínima para un caudal pico correspondiente a un periodo de retorno de 100 años, con altura de marea máxima de 2.90 m.
2. El caudal máximo producido para un periodo de retorno de 100 años, determinado con Hec-Hms, es de  $855.9m^3/s$ , cuyo hidrograma fue ingresado como condición de contorno, al modelo hidrodinámico Iber (2D).
3. La superficie de inundación resultante del modelamiento hidráulico asciende a un área de 246.26 ha de terrenos de cultivo, entre las afectaciones también se encontrarían 07 centros poblados afectados, 05 bocatomas, 04 canales de derivación y varios canales laterales en ambas márgenes. Esto es principalmente producido por las máximas avenidas.
4. Existe diferencia considerable entre las características hidrodinámicas obtenidas en el paso de tiempo en el que se presenta el caudal pico (paso 119800) y cuando finaliza el modelamiento hidráulico (paso 244800), teniendo velocidades máximas que alcanzan 5.59m/s y 2.71m/s, respectivamente.
5. Respecto a las características hidrodinámicas del tramo analizado, se tiene una velocidad máxima de 5.59 m/s principalmente en la parte alta y media del tramo analizado y velocidad mínima de 0.0 m/s, correspondiente a agua estancada; el número de Froude está entre 0.94 y 2.99 que indica la presencia



de flujos subcríticos a supercríticos, predominando el primero en gran parte del tramo. Los tirantes o calados de agua alcanzan alturas máximas de 3.16m.

6. El comportamiento hidrodinámico de la desembocadura del río Cañete, con interacción de una marea de 2.90 m, muestra un ingreso de aproximadamente 0.226 Km de mar hacia aguas arriba del río, que sale con fuerza a través del cauce y retorna estabilizándose sin influenciar significativamente en la hidrodinámica fluvial propia del río Cañete.
7. El conocimiento del comportamiento hidrodinámico de un río, en un determinado tramo de interés, es muy importante para la prevención del riesgo de desastres causados por inundaciones.



## VI. RECOMENDACIONES

Del análisis efectuado se recomienda los siguiente:

1. Continuar la investigación de la interacción de la marea frente a eventos de máximas avenidas en el río Cañete y en ríos similares que desemboken al mar, para periodos de retorno mayores y alturas de marea mayores, dada la creciente influencia del cambio climático y eventos extremos que se vienen proyectando para el futuro.
2. Incorporar información topográfica más detallada (batimetrías) para el análisis hidrodinámico más detallado.
3. En caso de analizar estuarios o se requiera modelar mareas con mayor detalle, es recomendable aplicar modelos hidrodinámicos más sofisticados, en 3D.
4. Se recomienda desarrollar un plan de alerta temprana ante tsunamis y desborde de ríos que permita estar preparado en caso de un posible creciente de la marea y el río Cañete y así reducir sus efectos en las áreas ribereñas que afectan poblaciones y agricultura ya que estas zonas son de alto riesgo.
5. Para futuros trabajos de investigación, se recomienda abarcar mayor área topográfica en ambas márgenes del río, así como en la zona de playas o desembocadura, para obtener mayor detalle de la afectación de la marea y el comportamiento hidrodinámico del río.



## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguado, A. (2013). Determinación numérica de la influencia de las condiciones de borde costeras sobre la longitud de una cuña salina en estuarios. Aplicación a estuarios chilenos. *J Conserv Dent.* 2013, 16(4), 2013. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23956527/>
- ANA. (2010). *El agua en cifras | ANA web - Autoridad Nacional del Agua.* <https://www.ana.gob.pe/contenido/el-agua-en-cifras>
- Aparicio, F. J. (1989). Fundamentos De Hidrología De Superficie. En *Journal of Chemical Information and Modeling* (Vol. 53, Número 9).
- Bautista, M. Á. (2020). *Tendencias de riesgo asociadas a inundaciones* (pp. 314–316). <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/1300223/INUNDACIONES-2020-MIGUEL BAUTISTA.pdf>
- CENEPRED. (2014). *Manual para la evaluación de riesgos originados por inundaciones fluviales* (p. 48). <https://dimse.cenepred.gob.pe/simse/cenepred/docs/MAN-manual-evar-inundac-fluviales.pdf>
- Cueto Fonseca, J. E., & Otero Díaz, L. J. (2018). Hidráulica Marítima y de Estuarios. *Congreso Latinoamericano de Hidráulica 2018-Argentina*, 2223–2529. [https://www.ina.gob.ar/congreso\\_hidraulica/Congreso\\_libro/TC\\_TEMA\\_4.pdf](https://www.ina.gob.ar/congreso_hidraulica/Congreso_libro/TC_TEMA_4.pdf)
- Department of agriculture EEUU. (1986). *Urban Hydrology for small watersheds. Technical Release 55.*
- Díaz de la Cruz, V. (2012). *Análisis hidrológico e hidráulico mediante técnicas SIG de la peligrosidad por inundaciones en la cuenca del PLA de Sant Jordi (Mallorca).* Universidad Complutense de Madrid.
- Douben, K. J. (2006). Characteristics of river floods and flooding: A global overview, 1985-2003. *Irrigation and Drainage*, 55(SUPPL. 1), 25–27. <https://doi.org/10.1002/ird.239>
- Estrada, V., & Pacheco, R. (2016). Modelación hidrológica con HEC-HMS en cuencas montañosas de la región oriental de Cuba. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 33(1), 71–80. <https://riha.cujae.edu.cu/index.php/riha/article/view/100/101>
- Felicísimo, A. (1994). Modelos digitales del terreno: introducción y aplicaciones a las



- ciencias ambientales. *Oviedo: Universidad de Oviedo*, 118.  
<http://www.etsimo.uniovi.es/~feli>
- Gaspari, F. J., Senisterra, G. E., & Marlats, R. M. (2007). Relación precipitación-escorrentía y número de curva bajo diferentes condiciones de uso del suelo. Cuenca modal del sistema serrano de La Ventana,. *Revista de la Facultad de ...*, 39(1900), 21–28.  
[http://t.bdigital.uncu.edu.ar/objetos\\_digitales/1521/gaspariagrarias39-1.pdf](http://t.bdigital.uncu.edu.ar/objetos_digitales/1521/gaspariagrarias39-1.pdf)
- Guzmán-Arias, Isabel y Watson-Hernández, F. (2018). *Modelación hidrodinámica y de transporte de sedimentos en el río La Estrella, Limón*. 5–8.  
<https://repositoriotec.tec.ac.cr/handle/2238/9586>
- Hershfield, D. (1961). Rainfall Frequency Atlas of the U.S. for Duration from 30' to 24h and Return Periods from 1-100 years. *U.S. Weather Bureau, Technical*.
- JICA, & MINAGRI. (2012). Hidrología de Maximas Avenidas del Rio Cañete. *Apéndice-5*, 1–160. [https://openjicareport.jica.go.jp/pdf/12125233\\_02.pdf](https://openjicareport.jica.go.jp/pdf/12125233_02.pdf)
- John Frederick Miller, Robert J Tracey, R. H. F. (1973). *Precipitation-frequency Atlas of the Western United States* (1973 U.S. Department of Commerce, National Oceanic and Atmospheric Administration, National Weather Service (ed.)).
- Jonkman, S. N. (2005). Global perspectives on loss of human life caused by floods. *Natural Hazards*, 34(2), 151–175. <https://doi.org/10.1007/s11069-004-8891-3>
- Martínez Mendoza, H. I. (2017). Evaluación hidrológica para la determinación de caudales máximos en la subcuenca del río Sayacc, Vischongo - Vilcashuamán - Ayacucho, 2018. En *Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga* (Vol. 1).  
[http://repositorio.unsm.edu.pe/bitstream/handle/11458/2418/TP\\_AGRO\\_00662\\_2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.unsm.edu.pe/bitstream/handle/11458/2418/TP_AGRO_00662_2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Mejía, A. U. (2006). *Hidrología Aplicada*.
- Monsalve, G. (1999). *Hidrología en la Ingeniería*.  
<https://www.ptonline.com/articles/how-to-get-better-mfi-results>
- Moreno, A. D. y A. (2011). *Morfometría de Cuencas*.
- MTC. (2014). *Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje*. 0(0), 222.  
[http://transparencia.mtc.gob.pe/idm\\_docs/normas\\_legales/1\\_0\\_2950.pdf](http://transparencia.mtc.gob.pe/idm_docs/normas_legales/1_0_2950.pdf)



- Navarro Hudiel, S. (2008). *Manual de Topografía – Teoría de errores* (p. 9).
- ONERN, O. N. de evaluación de R. N.-. (1975). *Clasificación de tierras*.
- Ordoñez, J. (2011). " *Contribuyendo al desarrollo de una Cultura del Agua y la Gestión Integral de Recurso Hídrico " LIMA -PERÚ 2011*.
- Organización Meteorológica Mundial (OMM). (2008). *Guía de prácticas hidrológicas. Volumen II. Gestión de recursos hídricos y aplicación de prácticas hidrológicas* (p. 330).  
[https://library.wmo.int/index.php?lvl=notice\\_display&id=9404#.X10SsWgzbDc](https://library.wmo.int/index.php?lvl=notice_display&id=9404#.X10SsWgzbDc)
- Pascual Aguilar, J. A., & Díaz Martín, M. (2016). Guía práctica sobre la modelización hidrológica y el modelo HEC-HMS. En *Centro Para El Conocimiento Del Paisaje* (Vol. 1). Institutp IMDEA Agua.  
[https://www.agua.imdea.org/sites/default/files/pdf/news/20161215/Cuadernos de Geomática 4\\_b.pdf](https://www.agua.imdea.org/sites/default/files/pdf/news/20161215/Cuadernos de Geomática 4_b.pdf)
- Pérez, G., Toro, F., & Gómez, E. (2016). *Metodología para la selección de modelos hidrodinámicos–Caso de aplicación: variabilidad espacial de la estructura térmica en el embalse tropical Riogrande II, Colombia*.
- PHI-UNESCO / Programa Hidrológico Internacional para América Latina y el Caribe. (2011). *Procesos de erosión - sedimentación en cauces y cuencas* (JoséDanielBreayFranciscoBalocchi (ed.); Volumen 2).
- Puelles, J. (2015). *Estudio hidráulico e hidrológico de la cuenca Alto Perú y el Porvenir en el AAHH Las Mercedes, distrito de La Oroya, provincia de Yauli – Junín, para la construcción futura de obras de arte ante amenazas de derrumbes provocado por crecida del río*.  
[https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/620953/PUELL\\_ES\\_MJ.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/620953/PUELL_ES_MJ.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Ray K. Linsley, Max A. Kohler, J. L. H. P. (1977). *Hidrología para ingenieros. McGraw-Hill*, 2, 398.
- Rifo, C. (2015). *mediante la herramienta computacional Delft-3D Flow* [Universidad Católica de Concepción].  
[http://repositoriodigital.ucsc.cl/bitstream/handle/25022009/890/Cristián\\_Rifo\\_Herrera.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositoriodigital.ucsc.cl/bitstream/handle/25022009/890/Cristián_Rifo_Herrera.pdf?sequence=1&isAllowed=y)



- Sastre, P. (2010). *Técnicas básicas para estudios de biodiversidad*.
- SCS, U. S. D. of A. (1972). Section 4: Hidrology. En *National Engineering Handbook*.
- SENAMHI. (2022). *Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología*.  
[www.senamhi.gob.pe](http://www.senamhi.gob.pe)
- Tarazona, H., & Fano, G. (2016). *Modelamiento hidrológico de la cuenca del río Ica con fines de prevención de inundaciones en la ciudad de Ica* [Universidad Nacional Agraria La Molina. Facultad de Ingeniería Agrícola].  
<https://hdl.handle.net/20.500.12996/2490>
- Tito, Y. (2017). *Modelamiento hidráulico del río Cañete Sector Puente Sosci - Altura puente colgante (9 Km), con fines de diseño de sistemas de defensas ribereñas*.
- Ven Te Chow, Maidment, D.R. and Mays, L. W. (1994). *Ven Te Chow Hidrologia Aplicada.pdf* (M. G. H. USA (ed.)).
- Villón, M. (2002). *Hidrología* (p. 350).
- Viramontes, O. A., Escoboza, L. F., Pinedo, C., Pinedo, A., Reyes, V. M., Román, J. A., & Pérez, A. (2007). Morfometría de la cuenca del río San Pedro, Conchos, Chihuahua. *Tecnociencia Chihuahua, Vol 1(3)*, 1–11.
- Water Resources C. (1981). *Guidelines For Determining*.



# ANEXOS

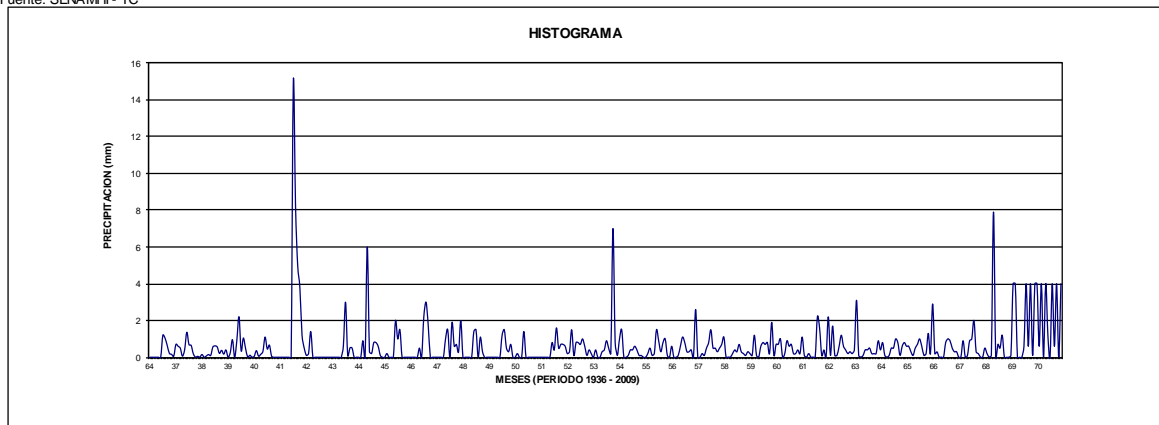
## ANEXO A: Estaciones pluviométricas.

CUADRO N° DP-01  
REGISTRO DE PRECIPITACIÓN MÁXIMA EN 24 HORAS (mm)

ESTACION: CAÑETE      LAT: 13° 01' S      Departamento : Lima  
TIPO: CO-752      LONG: 76° 12' W      Provincia : Cañete  
ALT: 289 msnm      Distrito : Lunahuana

ITEM	AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	PMAX
1	1936							1.2	1.0	0.6	0.2	0.2	0.1	1.20
2	1937	0.70	0.6	1	0.1	0	1.4	0.7	1	0.2	0.0	0.1	0.01	1.36
3	1938	0.2	0.0	0.1	0.2	0.1	1	0.6	0.6	0.2	0.4	0.2	0.4	0.62
4	1939	0.0	0.3	1.0	0.0	0.9	2	0.4	1.1	0.5	0.0	0.1	0.0	2.20
5	1940	0.1	0.4	0.1	0.2	0.3	1	0.5	0.7	0.1	0.0	0.0	0.0	1.10
6	1946	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	15.0	8.3	5.0	3.8	1.2	0.5	15.00
7	1950	0.1	0.2	1.4	0.0	0.0	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.40
8	1970	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1	3.0	0.1	0.5	0.5	0.0	0.0	3.00
9	1971	0.0	0.0	0.9	0.0	6.0	0	0.2	0.8	0.8	0.6	0.1	0.0	6.00
10	1974	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	2	1.0	1.5	0.0	0.0	0.0	0.0	2.00
11	1975	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0	2.2	3.0	1.8	0.0	0.0	0.0	3.00
12	1976	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	2	0.0	1.9	0.6	0.7	0.3	2.0	2.00
13	1977	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1	1.5	0.0	1.1	0.3	0.0	0.0	1.50
14	1978	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	1.2	1.5	0.5	0.3	0.7	0.0	1.50
15	1979	0.0	0.2	0.0	0.0	1.4	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.40
16	1985	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8	0.4	1.6	0.5	0.7	0.7	0.6	1.60
17	1986	0.20	0.3	2	0.1	1	0.8	0.7	1	0.6	0.1	0.4	0.20	1.50
18	1987	0.0	0.4	0.0	0.0	0.3	0	0.9	0.5	0.2	7.0	0.8	0.1	7.00
19	1988	1.0	1.5	0.0	0.0	0.1	0	0.4	0.6	0.4	0.1	0.1	0.0	1.50
20	1989	0.0	0.2	0.5	0.1	0.2	2	0.9	0.3	0.8	1.0	0.1	0.0	1.50
21	1990	0.6	0.0	0.0	0.1	0.6	1	0.8	0.3	0.3	0.4	0.0	2.6	2.60
22	1993	0.0	0.0	0.2	0.1	0.5	1	1.5	0.5	0.5	0.3	0.5	0.7	1.50
23	1994	1.1	0.0	0.0	0.0	0.2	0	0.3	0.7	0.3	0.2	0.1	0.3	1.10
24	1995	0.2	0.1	1.2	0.1	0.0	1	0.8	0.7	0.8	0.2	1.9	0.1	1.90
25	1996	0.7	0.7	1.0	0.0	0.2	1	0.6	0.7	0.2	0.2	0.4	0.2	1.00
26	1997	1.1	0.1	0.0	0.2	0.0	0	0.0	2.2	1.6	0.1	0.4	0.0	2.20
27	1998	2.2	0.1	1.7	0.1	0.1	1	1.2	0.6	0.4	0.2	0.3	0.2	2.20
28	1999	0.4	3.1	0.1	0.0	0.1	0	0.4	0.5	0.2	0.2	0.2	0.9	3.10
29	2000	0.4	0.8	0.1	0.0	0.1	1	0.5	1.0	0.8	0.1	0.6	0.8	1.00
30	2001	0.6	0.6	0.3	0.1	0.5	1	1.0	0.6	0.1	0.2	1.3	0.2	1.30
31	2002	2.9	0.2	0.3	0.0	0.0	0.0	0.8	1.0	0.9	0.5	0.3	0.3	2.90
32	2004	0.01	0.0	1	0.0	0	0.9	1.0	2	0.3	0.2	0.0	0.01	2.00
33	2005	0.5	0.2	0.0	0.1	7.9	0	0.7	0.5	1.2	0.0	0.0	0.0	7.90
34	2007	0.1	4.0	4.0	0.0	0.0	0	0.6	4.0	0.6	4.0	0.1	4.0	4.00
35	2008	4.0	0.6	4.0	0.0	4.0	1	0.0	4.0	0.6	4.0	0.0	4.0	4.00
36	2009	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.00
N° DATOS		35.00	35.00	35.00	35.00	35.00	35.00	36.00	36.00	36.00	36.00	36.00	36.00	36.00
MAX		4.00	4.00	4.00	0.20	7.90	2.20	15.00	8.30	5.00	7.00	1.90	4.00	2.70

Fuente: SENAMHI - TC







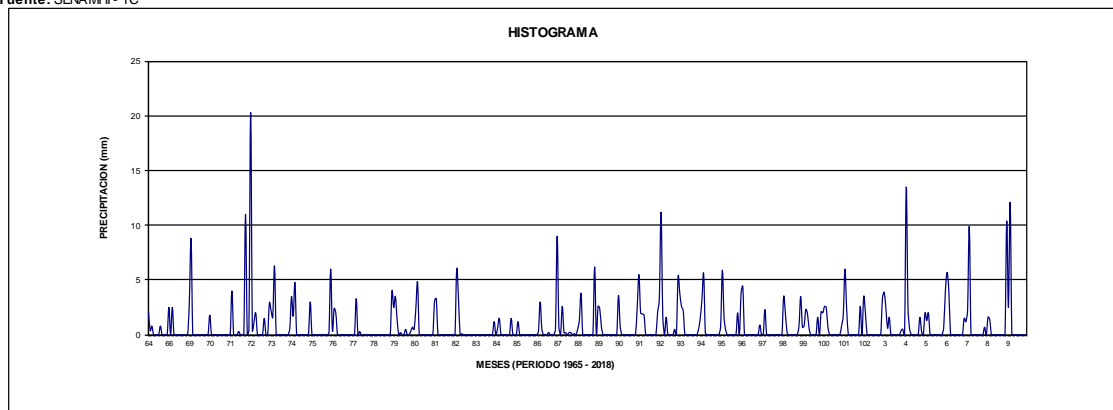


CUADRO N° DP-04  
REGISTRO DE PRECIPITACIÓN MÁXIMA EN 24 HORAS (mm)

ESTACION: PACARAN      LAT: 12° 52' S      Departamento : Lima  
TIPO: DZ-04      LONG: 76° 03' W      Provincia : Cañete  
ALT: 684 msnm      Distrito : Pacaran

ITEM	AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	PMAX
1	1965	2.10	0.40	0.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.80	0.00	0.00	0.00	0.00	2.10
2	1966	2.50	0.01	2.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	2.50
3	1967	3.00	8.80	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	8.80
4	1968	1.80	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	1.80
5	1969	0.00	4.00	0.00	0.00	0.00	0.30	0.00	0.00	0.00	11.00	0.00	0.50	11.00
6	1970	20.30	0.40	1.20	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.50	0.00	0.01	2.90	20.30
7	1971	2.20	1.60	6.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.60	6.30
8	1972	3.50	1.70	4.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	3.00	4.80
9	1973	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20	6.00	6.00
10	1974	0.40	2.40	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.40
11	1975	0.00	0.00	3.30	0.00	0.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.30
12	1985	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	4.00	4.00
13	1986	2.50	3.50	1.40	0.01	0.20	0.00	0.00	0.50	0.00	0.00	0.30	0.70	3.50
14	1987	0.50	2.40	4.80	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	4.80
15	1988	3.10	3.30	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	3.30
16	1989	0.01	6.00	3.50	0.01	0.10	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.00
17	1990	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01	1.20	1.20
18	1991	0.01	0.60	1.50	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.50	0.00	0.01	1.50
19	1992	0.00	1.20	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	1.20
20	1993	0.01	0.30	3.00	0.50	0.01	0.01	0.01	0.20	0.00	0.00	0.01	0.50	3.00
21	1994	9.00	0.70	0.01	2.60	0.20	0.20	0.01	0.20	0.20	0.01	0.10	0.01	9.00
22	1995	0.50	1.30	3.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	6.20	0.00	6.20
23	1996	2.60	2.40	0.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.60
24	1997	3.60	0.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.50	3.60
25	1998	5.50	2.00	1.90	1.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.10	5.50
26	1999	3.30	11.20	1.80	0.00	1.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.50	0.00	5.30	11.20
27	2000	3.80	2.60	2.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.50	3.80
28	2001	1.50	3.20	5.60	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.60
29	2002	0.80	5.90	1.60	0.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.00	0.00	5.90
30	2003	3.80	4.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.90	4.40
31	2004	0.00	0.00	2.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.30
32	2006	0.00	3.50	2.00	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.80	3.50	3.50
33	2007	0.70	0.80	2.30	1.90	0.50	0.00	0.00	0.00	0.00	1.60	0.00	2.10	2.30
34	2008	2.00	2.60	2.50	0.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.80	2.60
35	2009	1.80	6.00	2.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.60	0.00	6.00
36	2010	3.50	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.30	3.50
37	2011	3.90	2.50	0.60	1.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.40	0.50	3.90
38	2012	0.00	13.50	2.50	0.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.60	0.30	0.00	13.50
39	2013	2.00	1.30	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.70	2.00
40	2014	4.10	5.70	4.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.50	5.70
41	2015	1.20	2.20	9.90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.70	9.90
42	2016	0.00	1.60	1.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.60
43	2017	10.40	2.50	12.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	12.10
44	2018	1.20	2.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.60
N° DATOS		44.00	44.00	44.00	44.00	44.00	44.00	44.00	44.00	44.00	44.00	44.00	44.00	44.00
MAX		20.30	13.50	12.10	2.60	1.60	0.30	0.01	0.80	1.50	11.00	6.20	6.00	20.30

Fuente: SENAMHI - TC







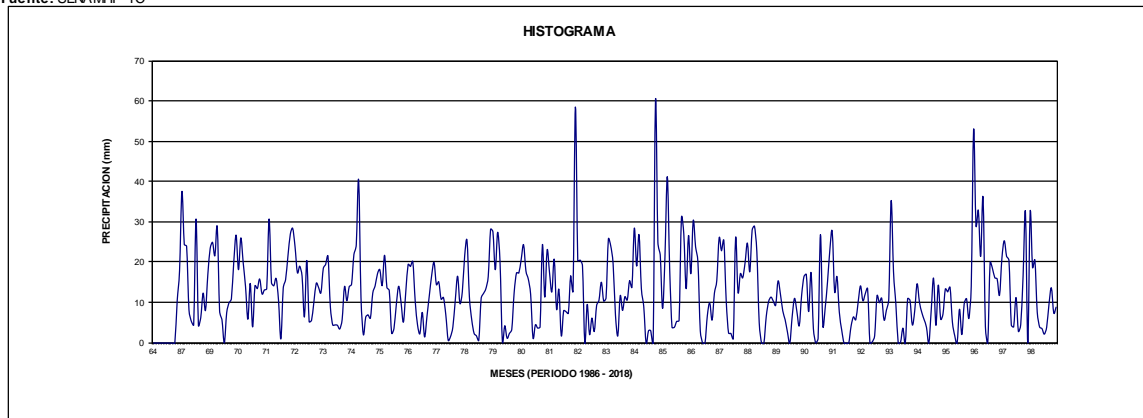


CUADRO N° DP-07  
REGISTRO DE PRECIPITACIÓN MÁXIMA EN 24 HORAS (mm)

ESTACION: YAURICOCHA      LAT: 12° 18' S      Departamento : Lima  
TIPO: DZ-04      LONG: 75° 42' W      Provincia : Yauyos  
ALT: 4,560 msnm      Distrito : Alis

ITEM	AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	PMAX
1	1986											10.50	18.00	18.00
2	1987	37.60	24.50	24.00	8.20	5.40	4.50	30.80	4.40	6.30	12.40	8.10	17.00	37.60
3	1988	23.50	25.00	21.70	28.80	8.00	5.80	0.01	7.50	10.00	11.00	20.00	26.80	28.80
4	1989	18.20	26.10	20.00	14.00	5.90	14.80	4.00	14.20	13.50	15.90	12.20	13.20	26.10
5	1990	13.50	30.80	15.00	14.20	16.00	10.60	1.00	13.60	15.70	21.60	27.00	28.50	30.80
6	1991	24.00	17.50	19.10	16.60	6.50	20.50	5.30	5.60	10.10	14.80	13.80	12.50	24.00
7	1992	18.50	19.50	21.50	9.00	4.50	4.50	4.40	3.50	5.80	14.00	10.50	14.00	21.50
8	1993	14.60	22.00	24.40	40.50	11.30	2.10	6.40	7.00	6.20	12.40	14.20	17.20	40.50
9	1994	18.20	14.30	21.80	13.80	13.00	2.50	3.60	9.60	14.10	10.10	5.20	12.60	21.80
10	1995	19.50	19.00	20.20	10.50	4.50	2.30	7.60	1.50	6.60	11.80	16.80	20.00	20.20
11	1996	14.50	15.20	10.90	11.30	7.00	0.70	1.60	4.00	10.50	16.60	9.80	12.70	16.60
12	1997	21.60	25.40	11.50	5.80	2.40	1.80	0.70	11.10	12.30	13.50	16.50	28.20	28.20
13	1998	27.60	18.20	27.50	20.30	0.40	4.30	1.20	2.40	3.40	12.50	17.40	17.40	27.60
14	1999	20.80	24.40	17.90	15.90	12.10	1.30	4.50	3.70	4.00	24.40	11.40	23.10	24.40
15	2000	17.60	12.70	20.80	8.40	13.30	1.80	8.00	7.80	7.40	16.70	13.00	58.60	58.60
16	2001	20.50	20.60	19.20	0.00	9.60	2.10	6.20	2.90	9.30	10.60	15.10	10.40	20.60
17	2002	11.20	25.80	24.10	19.70	7.00	1.80	11.70	8.10	11.50	10.70	15.50	13.90	25.80
18	2003	28.50	19.10	26.90	13.50	9.10	0.00	3.00	3.00	0.00	60.40	25.10	21.90	60.40
19	2004	8.60	21.30	41.30	18.60	3.90	3.90	5.40	5.60	31.00	27.10	13.50	26.70	41.30
20	2005	17.20	30.40	23.90	20.10	3.00	0.00	0.00	6.80	10.00	5.70	12.40	15.50	30.40
21	2006	26.10	22.90	25.40	10.50	2.50	2.40	1.10	26.20	12.60	17.20	16.20	19.90	26.20
22	2007	24.80	17.70	28.00	29.00	22.70	5.10	0.00	0.00	6.60	10.30	11.40	10.40	29.00
23	2008	9.40	15.40	12.20	8.00	5.80	2.70	0.00	6.60	11.10	7.80	4.30	11.80	15.40
24	2009	16.50	17.00	7.80	17.50	3.60	0.00	1.20	26.90	4.40	8.70	15.20	23.20	26.90
25	2010	27.60	12.80	16.50	7.70	3.30	0.00	0.00	0.00	4.20	6.50	5.80	10.20	27.60
26	2011	14.20	10.50	12.20	13.50	0.00	0.30	1.80	11.70	10.00	11.10	5.70	8.20	14.20
27	2012	11.00	35.30	17.80	9.70	0.00	0.20	3.70	0.00	11.00	10.60	4.50	8.00	35.30
28	2013	14.70	10.20	7.60	5.80	3.90	0.00	8.00	16.10	4.40	14.40	6.00	7.20	16.10
29	2014	13.40	12.70	13.80	5.20	1.80	0.00	8.40	2.10	9.70	11.00	6.10	14.10	14.10
30	2015	53.00	29.20	33.00	21.50	36.10	4.10	0.00	20.00	18.50	16.20	15.90	11.90	53.00
31	2016	21.00	25.40	21.50	20.50	4.50	4.00	11.30	2.90	4.60	16.70	32.50		32.50
32	2017	32.50	18.80	20.60	7.70	4.00	3.60	2.20	3.90	9.70	13.70	7.50	8.90	32.50
33	2018	19.30	16.70	23.20	9.90	16.40	23.20	4.90	4.90	2.70	23.80	16.90	7.40	23.80
N° DATOS		32.00	32.00	32.00	32.00	32.00	32.00	32.00	32.00	32.00	32.00	33.00	32.00	33.00
MAX		53.00	35.30	41.30	40.50	36.10	23.20	30.80	26.90	31.00	60.40	32.50	58.60	60.40

Fuente: SENAMHI - TC















### ANEXO C: Registros históricos de las mareas máximas.

AÑO	ALTURA DE LA MAREA MÁXIMA (metros)	PROMEDIO ANUAL DEL NIVEL DEL MAR (metros)
1983	2,44	1,49
1984	2,59	1,49
1985	2,56	1,49
1986	2,53	1,36
1987	2,74	1,41
1988	2,50	1,28
1989	2,59	1,32
1990	2,41	1,33
1991	2,90	1,39
1992	2,71	1,44
1993	2,65	1,43
1994	2,47	1,36
1995	2,35	1,27
1996	2,44	1,30
1997	2,65	1,50
1998	2,71	1,40
1999	2,41	1,30
2000	2,50	1,30
2001	2,50	1,30
2002	2,83	1,38
2003	2,70	1,33
2004	2,71	1,34
2005	2,44	1,34
2006	2,53	1,33
2007	2,53	1,28
2008	2,41	1,33
2009	2,50	1,37
2010	2,60	1,33
2011	2,55	1,33
2012	2,59	1,36
2013	2,48	1,34
2014	2,61	1,39
2015	2,67	1,46
2016	2,61	1,37
2017	2,65	1,44



## ANEXO D: Prueba de datos dudosos.

### ANÁLISIS DE DATOS ATÍPICOS

#### ESTACIÓN CAÑETE

N°	Año	Prec.Max	Log (max)	Condición
		24hr		
1	1936	1.20	0.079	Ok
2	1937	1.36	0.134	Ok
3	1939	2.20	0.342	Ok
4	1940	1.10	0.041	Ok
5	1946	15.00	1.176	Ok
6	1950	1.40	0.146	Ok
7	1970	3.00	0.477	Ok
8	1971	6.00	0.778	Ok
9	1974	2.00	0.301	Ok
10	1975	3.00	0.477	Ok
11	1976	2.00	0.301	Ok
12	1977	1.50	0.176	Ok
13	1978	1.50	0.176	Ok
14	1979	1.40	0.146	Ok
15	1985	1.60	0.204	Ok
16	1986	1.50	0.176	Ok
17	1987	7.00	0.845	Ok
18	1988	1.50	0.176	Ok
19	1989	1.50	0.176	Ok
20	1990	2.60	0.415	Ok
21	1993	1.50	0.176	Ok
22	1994	1.10	0.041	Ok
23	1995	1.90	0.279	Ok
24	1996	1.00	0.000	Ok
25	1997	2.20	0.342	Ok
26	1998	2.20	0.342	Ok
27	1999	3.10	0.491	Ok
28	2000	1.00	0.000	Ok
29	2001	1.30	0.114	Ok
30	2002	2.90	0.462	Ok
31	2004	2.00	0.301	Ok
32	2005	7.90	0.898	Ok
33	2006	19.50	1.290	Incorrecto
34	2007	4.00	0.602	Ok
35	2008	4.00	0.602	Ok
36	2009	2.00	0.301	Ok
Promedio			0.361	
Desv. Est.			0.312	
YH ( Lim Sup)			1.183	
YL(Lim inf)			-0.462	

Umbral Max	15.24 mm
Umbral Min	0.35 mm



ANÁLISIS DE DATOS ATÍPICOS  
ESTACIÓN CARANIA

N°	Año	Prec.Max	Log (max)	Condición
		24hr		
1	1963	17.90	1.253	Ok
2	1964	28.40	1.453	Ok
3	1965	44.30	1.646	Incorrecto
4	1966	25.00	1.398	Ok
5	1967	18.60	1.270	Ok
6	1968	14.10	1.149	Ok
7	1969	29.30	1.467	Ok
8	1970	16.60	1.220	Ok
9	1971	18.00	1.255	Ok
10	1972	20.10	1.303	Ok
11	1973	22.60	1.354	Ok
12	1974	16.80	1.225	Ok
13	1975	16.00	1.204	Ok
14	1976	19.30	1.286	Ok
15	1977	17.40	1.241	Ok
16	1978	16.10	1.207	Ok
17	1979	15.10	1.179	Ok
18	1980	17.10	1.233	Ok
19	1981	17.50	1.243	Ok
20	1982	15.60	1.193	Ok
21	1983	16.60	1.220	Ok
22	1984	14.20	1.152	Ok
23	1985	12.90	1.111	Ok
24	1986	20.00	1.301	Ok
25	1987	20.90	1.320	Ok
26	1988	33.10	1.520	Ok
27	1989	24.40	1.387	Ok
28	1990	26.00	1.415	Ok
29	1991	12.40	1.093	Ok
30	1992	15.10	1.179	Ok
31	1993	16.00	1.204	Ok
32	1994	14.10	1.149	Ok
33	1995	13.50	1.130	Ok
34	1996	16.10	1.207	Ok
35	1997	14.60	1.164	Ok
36	1998	14.10	1.149	Ok
37	1999	15.60	1.193	Ok
38	2000	27.00	1.431	Ok
39	2001	14.90	1.173	Ok
40	2002	17.70	1.248	Ok
41	2003	18.90	1.276	Ok
42	2004	21.40	1.330	Ok
43	2005	20.50	1.312	Ok
44	2006	30.10	1.479	Ok
45	2007	23.40	1.369	Ok
46	2008	21.90	1.340	Ok
47	2009	20.50	1.312	Ok
48	2010	20.30	1.307	Ok
49	2011	24.80	1.394	Ok
50	2012	22.50	1.352	Ok
51	2013	18.10	1.258	Ok
52	2014	20.30	1.307	Ok
53	2015	18.70	1.272	Ok
54	2016	16.80	1.225	Ok
55	2017	38.50	1.585	Ok
56	2018	18.20	1.260	Ok
Promedio			1.284	
Desv. Est.			0.117	
YH ( Lim Sup)			1.613	
YL(Lim inf)			0.955	

Umbral Max	41.02 mm
Umbral Min	9.02 mm



ANÁLISIS DE DATOS ATÍPICOS  
ESTACIÓN HUANGASCAR

N°	Año	Prec.Max	Log (max)	Condición
		24hr		
1	1963	11.50	1.061	Ok
2	1964	9.50	0.978	Ok
3	1965	15.00	1.176	Ok
4	1966	25.10	1.400	Ok
5	1967	35.30	1.548	Ok
6	1968	12.90	1.111	Ok
7	1969	21.30	1.328	Ok
8	1970	28.00	1.447	Ok
9	1971	19.60	1.292	Ok
10	1972	70.50	1.848	Ok
11	1973	27.20	1.435	Ok
12	1974	12.70	1.104	Ok
13	1975	34.60	1.539	Ok
14	1976	26.50	1.423	Ok
15	1977	29.40	1.468	Ok
16	1978	49.80	1.697	Ok
17	1979	18.10	1.258	Ok
18	1980	8.50	0.929	Ok
19	1981	21.00	1.322	Ok
20	1982	17.20	1.236	Ok
21	1983	9.70	0.987	Ok
22	1984	14.90	1.173	Ok
23	1985	13.80	1.140	Ok
24	1986	19.00	1.279	Ok
25	1987	13.10	1.117	Ok
26	1988	20.40	1.310	Ok
27	1989	20.00	1.301	Ok
28	1990	20.00	1.301	Ok
29	1991	19.00	1.279	Ok
30	1992	5.00	0.699	Incorrecto
31	1993	20.00	1.301	Ok
32	1994	24.00	1.380	Ok
33	1995	30.00	1.477	Ok
34	1996	23.00	1.362	Ok
35	1997	25.30	1.403	Ok
36	1998	33.80	1.529	Ok
37	1999	24.30	1.386	Ok
38	2000	30.60	1.486	Ok
39	2001	12.80	1.107	Ok
40	2002	24.80	1.394	Ok
41	2003	15.00	1.176	Ok
42	2004	17.70	1.248	Ok
43	2005	13.00	1.114	Ok
44	2006	25.10	1.400	Ok
45	2007	14.60	1.164	Ok
46	2008	24.00	1.380	Ok
47	2009	14.80	1.170	Ok
48	2010	22.60	1.354	Ok
49	2011	15.20	1.182	Ok
50	2012	31.60	1.500	Ok
51	2013	21.00	1.322	Ok
52	2014	18.50	1.267	Ok
53	2015	16.20	1.210	Ok
54	2016	16.60	1.220	Ok
55	2017	62.10	1.793	Ok
56	2018	43.30	1.636	Ok
Promedio			1.306	
Desv. Est.			0.206	
YH ( Lim Sup)			1.883	
YL(Lim inf)			0.730	

Umbral Max	76.33 mm
Umbral Min	5.37 mm



### ANÁLISIS DE DATOS ATÍPICOS

#### ESTACIÓN PACARAN

N°	Año	Prec.Max 24hr	Log (max)	Condición
1	1965	2.10	0.322	Ok
2	1966	2.50	0.398	Ok
3	1967	8.80	0.944	Ok
4	1968	1.80	0.255	Ok
5	1969	11.00	1.041	Ok
6	1970	20.30	1.307	Ok
7	1971	6.30	0.799	Ok
8	1972	4.80	0.681	Ok
9	1973	6.00	0.778	Ok
10	1974	2.40	0.380	Ok
11	1975	3.30	0.519	Ok
12	1985	4.00	0.602	Ok
13	1986	3.50	0.544	Ok
14	1987	4.80	0.681	Ok
15	1988	3.30	0.519	Ok
16	1989	6.00	0.778	Ok
17	1990	1.20	0.079	Ok
18	1991	1.50	0.176	Ok
19	1992	1.20	0.079	Ok
20	1993	3.00	0.477	Ok
21	1994	9.00	0.954	Ok
22	1995	6.20	0.792	Ok
23	1996	2.60	0.415	Ok
24	1997	3.60	0.556	Ok
25	1998	5.50	0.740	Ok
26	1999	11.20	1.049	Ok
27	2000	3.80	0.580	Ok
28	2001	5.60	0.748	Ok
29	2002	5.90	0.771	Ok
30	2003	4.40	0.643	Ok
31	2004	2.30	0.362	Ok
32	2006	3.50	0.544	Ok
33	2007	2.30	0.362	Ok
34	2008	2.60	0.415	Ok
35	2009	6.00	0.778	Ok
36	2010	3.50	0.544	Ok
37	2011	3.90	0.591	Ok
38	2012	13.50	1.130	Ok
39	2013	2.00	0.301	Ok
40	2014	5.70	0.756	Ok
41	2015	9.90	0.996	Ok
42	2016	1.60	0.204	Ok
43	2017	12.10	1.083	Ok
44	2018	2.60	0.415	Ok
Promedio			0.616	
Desv. Est.			0.289	
YH ( Lim Sup)			1.402	
YL(Lim inf)			-0.170	

Umbral Max	25.22 mm
Umbral Min	0.68 mm





ANÁLISIS DE DATOS ATÍPICOS  
ESTACIÓN TANTA

N°	Año	Prec.Max	Log (max)	Condición
		24hr		
1	1963	11.00	1.041	Ok
2	1964	25.40	1.405	Ok
3	1965	34.50	1.538	Ok
4	1966	26.60	1.425	Ok
5	1967	28.00	1.447	Ok
6	1968	23.70	1.375	Ok
7	1969	33.00	1.519	Ok
8	1970	37.90	1.579	Ok
9	1971	24.50	1.389	Ok
10	1972	26.10	1.417	Ok
11	1973	18.20	1.260	Ok
12	1974	19.30	1.286	Ok
13	1975	15.10	1.179	Ok
14	1976	17.50	1.243	Ok
15	1977	16.40	1.215	Ok
16	1978	16.30	1.212	Ok
17	1979	11.70	1.068	Ok
18	1980	14.40	1.158	Ok
19	1981	13.10	1.117	Ok
20	1982	13.30	1.124	Ok
21	1983	6.70	0.826	Ok
22	1984	11.30	1.053	Ok
23	1985	12.40	1.093	Ok
24	1986	18.00	1.255	Ok
25	1987	16.80	1.225	Ok
26	1988	13.80	1.140	Ok
27	1989	13.90	1.143	Ok
28	1990	15.80	1.199	Ok
29	1991	11.50	1.061	Ok
30	1992	16.00	1.204	Ok
31	1993	41.60	1.619	Ok
32	1994	26.40	1.422	Ok
33	1995	27.00	1.431	Ok
34	1996	31.70	1.501	Ok
35	1997	27.40	1.438	Ok
36	1998	41.80	1.621	Ok
37	1999	24.50	1.389	Ok
38	2000	28.90	1.461	Ok
39	2001	22.70	1.356	Ok
40	2002	28.20	1.450	Ok
41	2003	28.00	1.447	Ok
42	2004	32.90	1.517	Ok
43	2005	22.00	1.342	Ok
44	2006	29.50	1.470	Ok
45	2007	33.60	1.526	Ok
46	2008	27.80	1.444	Ok
47	2009	69.20	1.840	Ok
48	2010	32.50	1.512	Ok
49	2011	23.30	1.367	Ok
50	2012	28.70	1.458	Ok
51	2013	97.40	1.989	Incorrecto
52	2014	25.30	1.403	Ok
53	2015	33.20	1.521	Ok
54	2016	31.00	1.491	Ok
55	2017	38.60	1.587	Ok
56	2018	17.30	1.238	Ok
Promedio			1.358	
Desv. Est.			0.205	
YH ( Lim Sup)			1.934	
YL(Lim inf)			0.782	

Umbral Max	85.90 mm
Umbral Min	6.05 mm



### ANÁLISIS DE DATOS ATÍPICOS

#### ESTACIÓN VILCA

N°	Año	Prec.Max	Log (max)	Condición
		24hr		
1	1963	18.10	1.258	Ok
2	1964	17.60	1.246	Ok
3	1965	19.60	1.292	Ok
4	1966	33.50	1.525	Ok
5	1967	44.80	1.651	Ok
6	1968	29.00	1.462	Ok
7	1969	15.30	1.185	Ok
8	1970	20.00	1.301	Ok
9	1971	23.00	1.362	Ok
10	1972	19.80	1.297	Ok
11	1973	22.90	1.360	Ok
12	1974	25.10	1.400	Ok
13	1975	24.80	1.394	Ok
14	1976	23.60	1.373	Ok
15	1977	21.70	1.336	Ok
16	1978	18.50	1.267	Ok
17	1979	24.10	1.382	Ok
18	1980	22.90	1.360	Ok
19	1981	28.30	1.452	Ok
20	1982	30.50	1.484	Ok
21	1983	20.00	1.301	Ok
22	1984	32.80	1.516	Ok
23	1985	27.70	1.442	Ok
24	1986	30.80	1.489	Ok
25	1987	35.70	1.553	Ok
26	1988	23.10	1.364	Ok
27	1989	21.80	1.338	Ok
28	1990	17.30	1.238	Ok
29	1991	15.50	1.190	Ok
30	1992	14.30	1.155	Ok
31	1993	55.00	1.740	Ok
32	1994	48.40	1.685	Ok
33	1995	42.00	1.623	Ok
34	1996	17.50	1.243	Ok
35	1997	34.00	1.531	Ok
36	1998	20.30	1.307	Ok
37	1999	18.20	1.260	Ok
38	2000	20.10	1.303	Ok
39	2001	16.20	1.210	Ok
40	2002	20.80	1.318	Ok
41	2003	31.60	1.500	Ok
42	2004	31.20	1.494	Ok
43	2005	17.00	1.230	Ok
44	2006	25.50	1.407	Ok
45	2007	30.00	1.477	Ok
46	2008	22.70	1.356	Ok
47	2009	40.00	1.602	Ok
48	2010	23.40	1.369	Ok
49	2011	26.80	1.428	Ok
50	2012	26.50	1.423	Ok
51	2013	21.50	1.332	Ok
52	2014	23.80	1.377	Ok
53	2015	29.40	1.468	Ok
54	2016	32.00	1.505	Ok
55	2017	30.80	1.489	Ok
56	2018	28.60	1.456	Ok
Promedio		1.395		
Desv. Est.		0.130		
YH ( Lim Sup)		1.760		
YL(Lim inf)		1.030		

Umbral Max	57.52 mm
Umbral Min	10.71 mm



**ANÁLISIS DE DATOS ATÍPICOS**  
**ESTACIÓN YAURICOCHA**

N°	Año	Prec.Max	Log (max)	Condición
		24hr		
1	1986	18.00	1.255	Ok
2	1987	37.60	1.575	Ok
3	1988	28.80	1.459	Ok
4	1989	26.10	1.417	Ok
5	1990	30.80	1.489	Ok
6	1991	24.00	1.380	Ok
7	1992	21.50	1.332	Ok
8	1993	40.50	1.607	Ok
9	1994	21.80	1.338	Ok
10	1995	20.20	1.305	Ok
11	1996	16.60	1.220	Ok
12	1997	28.20	1.450	Ok
13	1998	27.60	1.441	Ok
14	1999	24.40	1.387	Ok
15	2000	58.60	1.768	Ok
16	2001	20.60	1.314	Ok
17	2002	25.80	1.412	Ok
18	2003	60.40	1.781	Ok
19	2004	41.30	1.616	Ok
20	2005	30.40	1.483	Ok
21	2006	26.20	1.418	Ok
22	2007	29.00	1.462	Ok
23	2008	15.40	1.188	Ok
24	2009	26.90	1.430	Ok
25	2010	27.60	1.441	Ok
26	2011	14.20	1.152	Ok
27	2012	35.30	1.548	Ok
28	2013	16.10	1.207	Ok
29	2014	14.10	1.149	Ok
30	2015	53.00	1.724	Ok
31	2016	32.50	1.512	Ok
32	2017	32.50	1.512	Ok
33	2018	23.80	1.377	Ok
Promedio			1.429	
Desv. Est.			0.162	
YH ( Lim Sup)			1.849	
YL(Lim inf)			1.009	

Umbral Max	70.61 mm
Umbral Min	10.20 mm



ANÁLISIS DE DATOS ATÍPICOS  
ESTACIÓN YAUYOS

N°	Año	Prec.Max	Log (max)	Condición
		24hr		
1	1963	15.20	1.182	Ok
2	1964	19.50	1.290	Ok
3	1965	31.40	1.497	Ok
4	1966	23.30	1.367	Ok
5	1967	23.60	1.373	Ok
6	1968	15.40	1.188	Ok
7	1969	17.40	1.241	Ok
8	1970	26.80	1.428	Ok
9	1971	33.00	1.519	Ok
10	1972	19.40	1.288	Ok
11	1973	28.20	1.450	Ok
12	1974	21.50	1.332	Ok
13	1975	19.00	1.279	Ok
14	1976	20.00	1.301	Ok
15	1977	14.80	1.170	Ok
16	1978	20.10	1.303	Ok
17	1979	16.90	1.228	Ok
18	1980	15.50	1.190	Ok
19	1981	22.80	1.358	Ok
20	1984	10.00	1.000	Ok
21	1985	10.80	1.033	Ok
22	1992	6.30	0.799	Incorrecto
23	1993	17.30	1.238	Ok
24	1994	31.50	1.498	Ok
25	1995	12.20	1.086	Ok
26	1996	24.30	1.386	Ok
27	1997	18.80	1.274	Ok
28	1998	14.70	1.167	Ok
29	1999	19.90	1.299	Ok
30	2000	12.90	1.111	Ok
31	2001	13.30	1.124	Ok
32	2002	11.60	1.064	Ok
33	2003	14.40	1.158	Ok
34	2004	14.20	1.152	Ok
35	2005	13.60	1.134	Ok
36	2006	20.60	1.314	Ok
37	2007	19.80	1.297	Ok
38	2008	19.90	1.299	Ok
39	2009	15.10	1.179	Ok
40	2010	15.90	1.201	Ok
41	2013	7.40	0.869	Ok
42	2014	28.00	1.447	Ok
43	2015	13.20	1.121	Ok
44	2016	17.70	1.248	Ok
45	2017	25.00	1.398	Ok
46	2018	13.00	1.114	Ok
Promedio			1.239	
Desv. Est.			0.154	
YH ( Lim Sup)			1.659	
YL(Lim inf)			0.819	

Umbral Max	45.65 mm
Umbral Min	6.59 mm



**ANÁLISIS DE DATOS ATÍPICOS**  
**ESTACIÓN SOCSI**

N°	Año	Prec.Max	Log (max)	Condición
		24hr		
1	1926	455.00	2.658	Ok
2	1927	120.00	2.079	Ok
3	1928	198.00	2.297	Ok
4	1929	342.00	2.534	Ok
5	1930	263.00	2.420	Ok
6	1931	148.00	2.170	Ok
7	1932	550.00	2.740	Ok
8	1933	176.00	2.246	Ok
9	1934	305.00	2.484	Ok
10	1935	386.00	2.587	Ok
11	1936	265.00	2.423	Ok
12	1937	283.00	2.452	Ok
13	1938	401.00	2.603	Ok
14	1939	308.00	2.489	Ok
15	1940	141.00	2.149	Ok
16	1941	301.00	2.479	Ok
17	1942	319.00	2.504	Ok
18	1943	324.00	2.511	Ok
19	1944	396.00	2.598	Ok
20	1945	350.00	2.544	Ok
21	1946	354.00	2.549	Ok
22	1947	353.00	2.548	Ok
23	1948	279.00	2.446	Ok
24	1949	198.00	2.297	Ok
25	1950	244.00	2.387	Ok
26	1951	485.00	2.686	Ok
27	1952	360.00	2.556	Ok
28	1953	555.00	2.744	Ok
29	1954	657.00	2.818	Ok
30	1955	700.00	2.845	Ok
31	1956	470.00	2.672	Ok
32	1957	228.00	2.358	Ok
33	1958	270.00	2.431	Ok
34	1959	700.00	2.845	Ok
35	1960	488.00	2.688	Ok
36	1961	597.00	2.776	Ok
37	1962	566.00	2.753	Ok
38	1963	242.00	2.384	Ok
39	1964	153.00	2.185	Ok
40	1965	214.00	2.330	Ok
41	1966	201.00	2.303	Ok
42	1967	343.00	2.535	Ok
43	1968	154.00	2.188	Ok
44	1969	316.00	2.500	Ok
45	1970	408.00	2.611	Ok
46	1971	430.00	2.633	Ok
47	1972	290.00	2.462	Ok



48	<b>1973</b>	484.00	2.685	Ok
49	<b>1974</b>	326.00	2.513	Ok
50	<b>1975</b>	298.00	2.474	Ok
51	<b>1976</b>	332.00	2.521	Ok
52	<b>1977</b>	249.00	2.396	Ok
53	<b>1978</b>	216.00	2.334	Ok
54	<b>1979</b>	182.00	2.260	Ok
55	<b>1980</b>	100.00	2.000	Ok
56	<b>1981</b>	257.00	2.410	Ok
57	<b>1982</b>	172.00	2.236	Ok
58	<b>1983</b>	228.00	2.358	Ok
59	<b>1984</b>	425.00	2.628	Ok
60	<b>1985</b>	165.00	2.217	Ok
61	<b>1986</b>	370.00	2.568	Ok
62	<b>1987</b>	487.00	2.688	Ok
63	<b>1988</b>	420.00	2.623	Ok
64	<b>1989</b>	376.00	2.575	Ok
65	<b>1990</b>	189.00	2.276	Ok
66	<b>1991</b>	372.00	2.571	Ok
67	<b>1992</b>	164.00	2.215	Ok
68	<b>1993</b>	390.00	2.591	Ok
69	<b>1994</b>	550.00	2.740	Ok
70	<b>1995</b>	500.00	2.699	Ok
71	<b>1996</b>	310.00	2.491	Ok
72	<b>1997</b>	182.00	2.260	Ok
73	<b>1998</b>	310.00	2.491	Ok
74	<b>1999</b>	256.00	2.408	Ok
75	<b>2000</b>	322.00	2.508	Ok
76	<b>2001</b>	272.00	2.435	Ok
77	<b>2002</b>	204.00	2.310	Ok
78	<b>2003</b>	274.00	2.438	Ok
79	<b>2004</b>	195.00	2.290	Ok
80	<b>2005</b>	167.00	2.223	Ok
81	<b>2006</b>	250.00	2.398	Ok
82	<b>2007</b>	285.00	2.455	Ok
83	<b>2008</b>	250.00	2.398	Ok
84	<b>2009</b>	230.00	2.362	Ok
85	<b>2010</b>	136.00	2.134	Ok
86	<b>2011</b>	218.00	2.338	Ok
87	<b>2012</b>	334.00	2.524	Ok
88	<b>2016</b>	242.00	2.384	Ok
89	<b>2017</b>	320.00	2.505	Ok
90	<b>2018</b>	180.00	2.255	Ok
Promedio			2.463	
Desv. Est.			0.182	
YH ( Lim Sup)			3.006	
YL(Lim inf)			1.921	

Umbral Max	1012.90 mm
Umbral Min	83.31 mm

## ANEXO E: Análisis estadístico de datos pluviométricos

Estación Cañete:



Tabla de Resultados del Test Kolmogorov-Smirnov

Distribuciones mas conocidas	$\Delta$ Teórico	$\Delta$ Tabular	NS	Distribución que más se ajusta
Normal	0.25070	0.2267	5%	
Log Normal 2 Parámetros	0.14280	0.2267	5%	
Log Normal 3 Parámetros	0.10650	0.2267	5%	
Gamma 2 Parámetros	0.19530	0.2267	5%	
Gamma 3 Parámetros	-	-	-	
Log Pearson III	-	-	-	
Gumbel	0.22710	0.2267	5%	
Log Gumbel	0.09100	0.2267	5%	menor

menor

Ajuste con momentos ordinarios: Como el delta teórico 0.0910, es menor que el delta tabular 0.2267. Los datos se ajustan a la distribución LogGumbel, con un nivel de significación del 5%

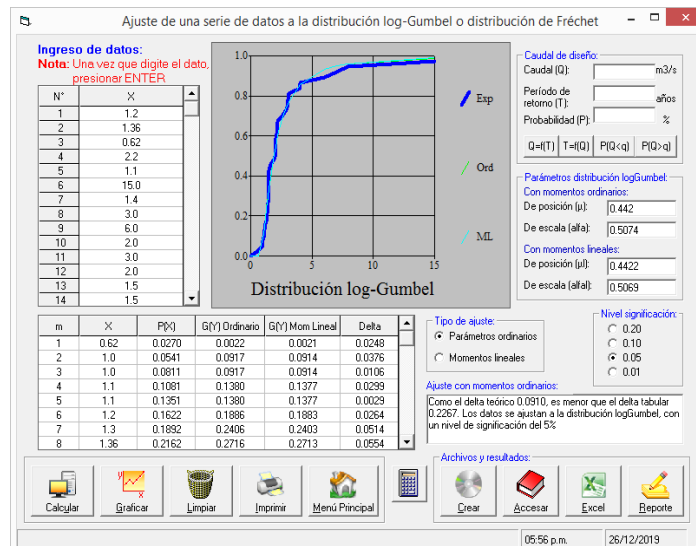
Distribución Elegida: Log Gumbel

Precipitación según el periodo de retorno (mm)

Tr	Precipitación Máxima (mm)
200	22.85
100	16.06
50	11.27
25	7.88

Parámetros de la distribución Log Gumbel:

Con Momentos ordinarios			Con Momentos Lineales		
Parámetro de localización ( $\mu$ )	Parámetro de forma (gamma)	Parámetro de escala (alfa)	Parámetro de localización ( $\mu_l$ )	Parámetro de forma (gamma <sub>l</sub> )	Parámetro de escala (alfa <sub>l</sub> )
0.442		0.5074	0.4422		0.5069



Estación Carania:



Tabla de Resultados del Test Kolmogorov-Smirnov

Distribuciones mas conocidas	$\Delta$ Teórico	$\Delta$ Tabular	NS	Distribución que más se ajusta
Normal	0.12610	0.1834	5%	
Log Normal 2 Parámetros	0.08230	0.1834	5%	
Log Normal 3 Parámetros	0.03100	0.1834	5%	menor
Gamma 2 Parámetros	0.09670	0.1834	5%	
Gamma 3 Parámetros	0.04004	0.1834	5%	
Log Pearson III	0.03552	0.1834	5%	
Gumbel	0.05880	0.1834	5%	
Log Gumbel	0.04730	0.1834	5%	

menor

Ajuste con momentos ordinarios: Como el delta teórico 0.0310, es menor que el delta tabular 0.1834. Los datos se ajustan a la distribución Log-Pearson tipo 3, con un nivel de significación del 5%

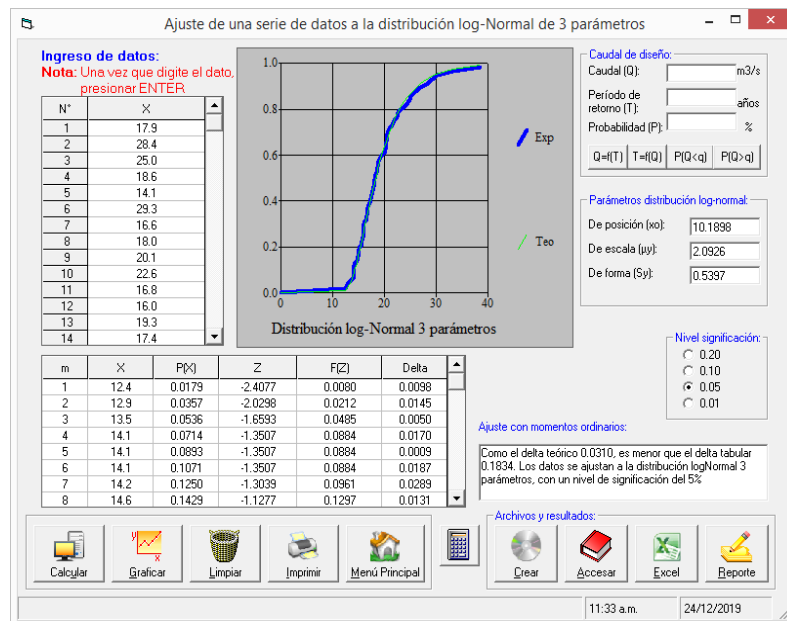
Distribución Elegida: Log Normal 3 Parámetros

Precipitación según el periodo de retorno (mm)

Tr	Precipitación Máxima (mm)
200	42.75
100	38.65
50	34.75
25	31.05

Parámetros de la distribución Log-Normal de 3 parámetros:

Parámetro de posición ( $X_0$ )	Parámetro de forma ( $S_y$ )	Parámetro de escala ( $\mu_y$ )			
10.1898	0.5397	2.0926			





Estación Huangascar:



Tabla de Resultados del Test Kolmogorov-Smirnov

Distribuciones mas conocidas	$\Delta$ Teórico	$\Delta$ Tabular	NS	Distribución que más se ajusta
Normal	0.15410	0.1834	5%	
Log Normal 2 Parámetros	0.05760	0.1834	5%	
Log Normal 3 Parámetros	0.03920	0.1834	5%	<b>menor</b>
Gamma 2 Parámetros	0.08810	0.1834	5%	
Gamma 3 Parámetros	-	-	-	
Log Pearson III	0.04168	0.1834	5%	
Gumbel	0.09270	0.1834	5%	
Log Gumbel	0.07310	0.1834	5%	

menor

Ajuste con momentos ordinarios: Como el delta teórico 0.0392, es menor que el delta tabular 0.1834. Los datos se ajustan a la distribución LogNormal 3 parámetros, con un nivel de significación del 5%

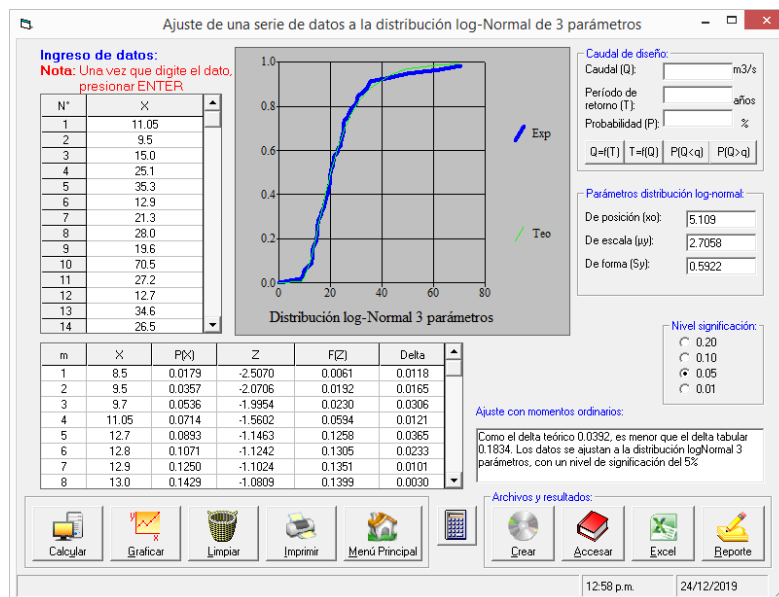
Distribución Elegida: Log Normal 3 Parámetros

Precipitación según el periodo de retorno (mm)

Tr	Precipitación Máxima (mm)
200	73.93
100	64.48
50	55.63
25	47.33

Parámetros de la distribución Log Normal 3 parámetros:

Parámetro de posición ( $X_0$ )	Parámetro de forma ( $S_y$ )	Parámetro de escala ( $\mu_y$ )			
5.109	0.5922	2.7058			



Estación Pacaran:



Tabla de Resultados del Test Kolmogorov-Smirnov

Distribuciones mas conocidas	$\Delta$ Teórico	$\Delta$ Tabular	NS	Distribución que más se ajusta
Normal	0.18400	0.205	5%	
Log Normal 2 Parámetros	0.06740	0.205	5%	
Log Normal 3 Parámetros	0.06210	0.205	5%	
Gamma 2 Parámetros	0.09720	0.205	5%	
Gamma 3 Parámetros	0.07823	0.205	5%	
Log Pearson III	0.06106	0.205	5%	<b>menor</b>
Gumbel	0.11930	0.205	5%	
Log Gumbel	0.10180	0.205	5%	

Ajuste con momentos ordinarios: Como el delta teórico 0.06106, es menor que el delta tabular 0.205. Los datos se ajustan a la distribución Log-Pearson tipo 3, con un nivel de significación del 5%

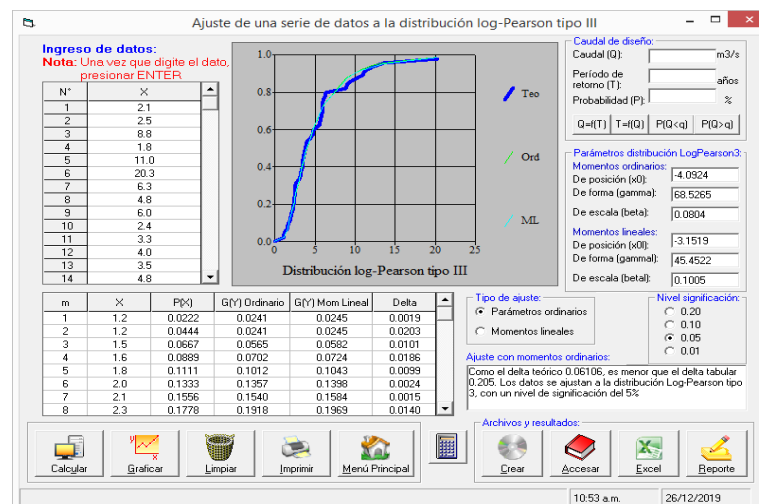
Distribución Elegida: Log Pearson III

Precipitación según el periodo de retorno (mm)

Tr	Precipitación Máxima (mm)
200	26.58
100	21.81
50	17.62
25	13.96

Parámetros de la distribución Log-Pearson tipo 3:

Con Momentos ordinarios			Con Momentos Lineales		
Parámetro de localización (Xo)	Parámetro de forma (gamma)	Parámetro de escala (beta)	Parámetro de localización (Xol)	Parámetro de forma (gamma)	Parámetro de escala (beta)
-4.0924	68.5265	0.0804	-3.1519	45.4522	0.1005



Estación Tanta:



Tabla de Resultados del Test Kolmogorov-Smirnov

Distribuciones mas conocidas	$\Delta$ Teórico	$\Delta$ Tabular	NS	Distribución que más se ajusta
Normal	0.09210	0.1834	5%	
Log Normal 2 Parámetros	0.10780	0.1834	5%	
Log Normal 3 Parámetros	0.09480	0.1834	5%	
Gamma 2 Parámetros	0.08190	0.1834	5%	menor
Gamma 3 Parámetros	-	-	-	
Log Pearson III	-	-	-	
Gumbel	0.09680	0.1834	5%	
Log Gumbel	0.17520	0.1834	5%	

menor

Ajuste con momentos ordinarios: Como el delta teórico 0.0819, es menor que el delta tabular 0.1834. Los datos se ajustan a la distribución Gamma de 2 parámetros, con un nivel de significación del 5%

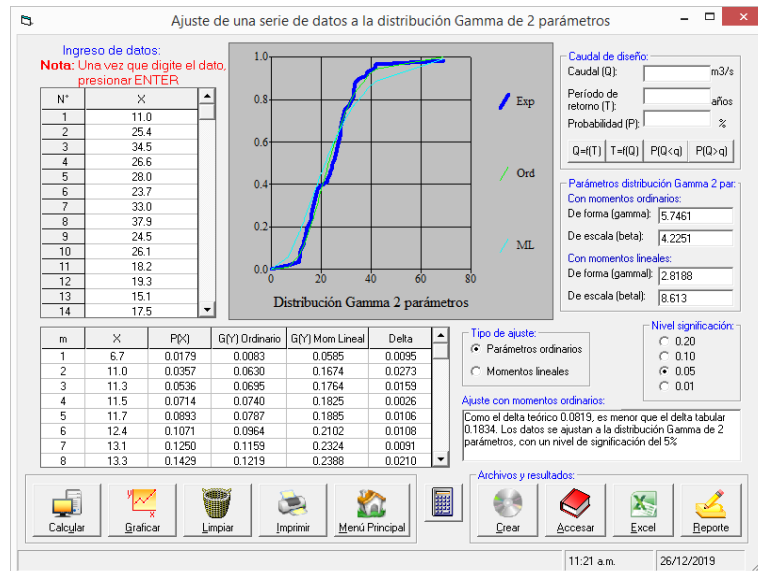
Distribución Elegida: Gamma 2 Parámetros

Precipitación según el periodo de retorno (mm)

Tr	Precipitación Máxima (mm)
200	58.08
100	53.76
50	49.27
25	44.55

Parámetros de la distribución Gamma 2 Parámetros:

Con Momentos Ordinarios		Con Momentos Lineales	
Parámetro de forma (gamma)	Parámetro de escala (beta)	Parámetro de forma (gammal)	Parámetro de escala (betal)
5.7461	4.2251	2.8188	8.613



Estación Vilca:



Tabla de Resultados del Test Kolmogorov-Smirnov

Distribuciones mas conocidas	$\Delta$ Teórico	$\Delta$ Tabular	NS	Distribución que más se ajusta
Normal	0.11470	0.1817	5%	
Log Normal 2 Parámetros	0.06540	0.1817	5%	
Log Normal 3 Parámetros	0.04890	0.1817	5%	
Gamma 2 Parámetros	0.08440	0.1817	5%	
Gamma 3 Parámetros	0.03307	0.1817	5%	menor
Log Pearson III	0.04284	0.1817	5%	
Gumbel	0.05290	0.1817	5%	
Log Gumbel	0.07690	0.1817	5%	

menor

Ajuste con momentos ordinarios: Como el delta teórico 0.03307, es menor que el delta tabular 0.1817. Los datos se ajustan a la distribución Gamma de 3 parámetros, con un nivel de significación del 5%

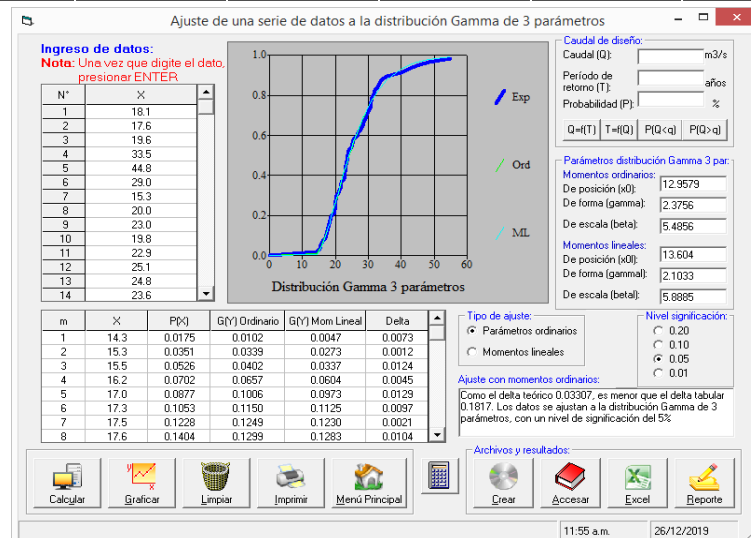
Distribución Elegida: Gamma 3 Parámetros

Precipitación según el periodo de retorno (mm)

Tr	Precipitación Máxima (mm)
200	57.57
100	53.10
50	48.51
25	43.80

Parámetros de la distribución Gamma de 3 parámetros:

Con Momentos ordinarios			Con Momentos Lineales		
Parámetro de posición (x0)	Parámetro de forma (gamma)	Parámetro de escala (beta)	Parámetro de localización (x0l)	Parámetro de forma (gamma)	Parámetro de escala (beta)
12.9579	2.3756	5.4856	13.604	2.1033	5.8885



Estación Yauricocha:



Tabla de Resultados del Test Kolmogorov-Smirnov

Distribuciones mas conocidas	$\Delta$ Teórico	$\Delta$ Tabular	NS	Distribución que más se ajusta
Normal	0.13950	0.2367	5%	
Log Normal 2 Parámetros	0.06890	0.2367	5%	
Log Normal 3 Parámetros	0.06950	0.2367	5%	
Gamma 2 Parámetros	0.08980	0.2367	5%	
Gamma 3 Parámetros	0.07614	0.2367	5%	
Log Pearson III	0.06775	0.2367	5%	menor
Gumbel	0.07540	0.2367	5%	
Log Gumbel	0.11380	0.2367	5%	

Ajuste con momentos ordinarios: Como el delta teórico 0.06775, es menor que el delta tabular 0.2367. Los datos se ajustan a la distribución Log-Pearson tipo 3, con un nivel de significación del 5%

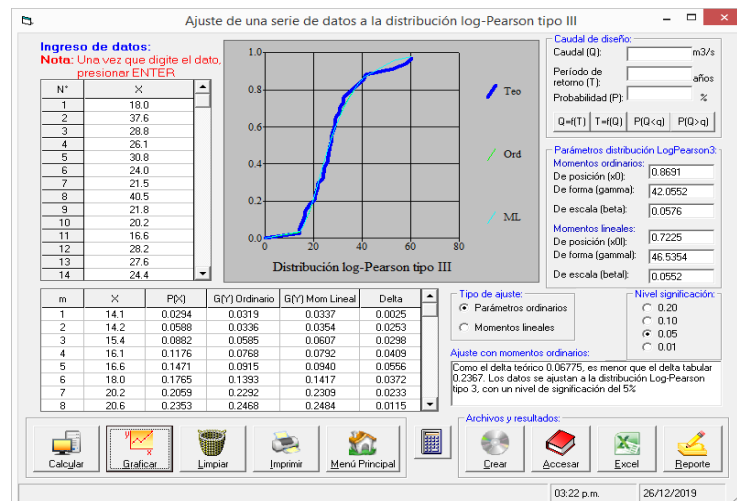
Distribución Elegida: Log Pearson III

Precipitación según el periodo de retorno (mm)

Tr	Precipitación Máxima (mm)
200	78.07
100	69.50
50	61.34
25	53.58

Parámetros de la distribución Log-Pearson tipo 3:

Con Momentos ordinarios			Con Momentos Lineales		
Parámetro de localización (x0)	Parámetro de forma (gamma)	Parámetro de escala (beta)	Parámetro de localización (x0)	Parámetro de forma (gamma)	Parámetro de escala (beta)
0.8691	42.0552	0.0576	0.7225	46.5354	0.0552



Estación Yauyos:



Tabla de Resultados del Test Kolmogorov-Smirnov

Distribuciones mas conocidas	$\Delta$ Teórico	$\Delta$ Tabular	NS	Distribución que más se ajusta
Normal	0.09920	0.2027	5%	
Log Normal 2 Parámetros	0.05290	0.2027	5%	menor
Log Normal 3 Parámetros	0.07670	0.2027	5%	
Gamma 2 Parámetros	0.07020	0.2027	5%	
Gamma 3 Parámetros	0.06520	0.2027	5%	
Log Pearson III	-	-	-	
Gumbel	0.05940	0.2027	5%	
Log Gumbel	0.11900	0.2027	5%	

menor

Ajuste con momentos ordinarios: Como el delta teórico 0.0529, es menor que el delta tabular 0.2027. Los datos se ajustan a la distribución Log Normal 2 parámetros, con un nivel de significación del 5%

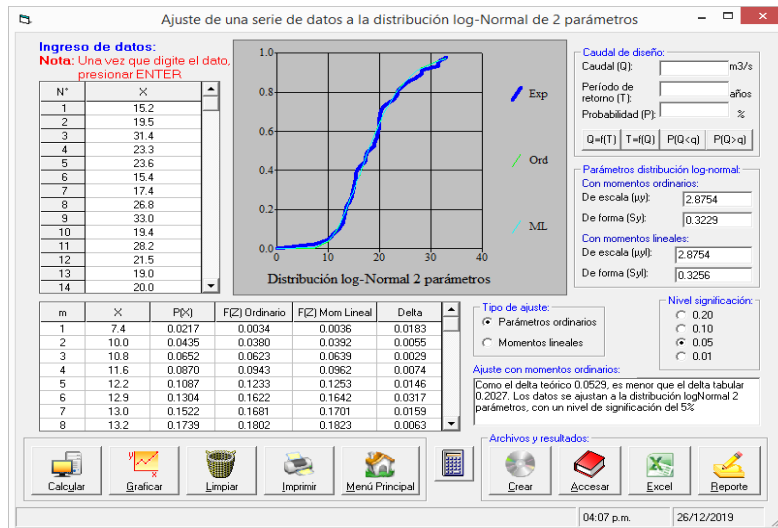
Distribución Elegida: Log Normal 2 Parámetros

Precipitación según el periodo de retorno (mm)

Tr	Precipitación Máxima (mm)
200	40.74
100	37.59
50	34.42
25	31.21

Parámetros de la distribución Log Normal 2 parámetros:

Con Momentos ordinarios		Con Momentos Lineales	
Parámetro de forma (Sy)	Parámetro de escala ( $\mu$ y)	Parámetro de forma (Syl)	Parámetro de escala ( $\mu$ yl)
0.3229	2.8754	0.3256	2.8754



## ANEXO F: Determinación del número de curva – CN.

### DETERMINACION DEL "N" DE ESCURRIMIENTO

Cuenca	Cobertura Vegetal	Condicion Antecedente	Condicion Hidrologica	Grupo Hidrologico del Suelo	CN II	Area (ha)	CN Ponderado
CACRA	Agricultura costera y andina	II	Buena	B	86	9.94	
	Area altoandina con escasa y sin vegetación	II	Buena	B	79	44.42	
	Bofedal	II	Regular	C	79	1.58	
	Bosque relicto altoandino	II	Buena	B	58	2.17	
	Cardonal	II	Mala	B	78	29.57	
	Desierto costero	II	Mala	A	77	2.02	
	Lagunas, lagos y cochas	II	Regular	B	69	0.50	
	Matorral arbustivo	II	Mala	B	66	101.90	
	Pajonal andino	II	Buena	B	79	424.93	
					<b>617.02</b>	<b>76.829</b>	
MEDIO ALTO CAÑETE	Agricultura costera y andina	II	Buena	B	86	4.06	
	Area altoandina con escasa y sin vegetación	II	Buena	B	79	103.74	
	Bofedal	II	Regular	C	79	0.79	
	Bosque relicto altoandino	II	Buena	B	58	19.53	
	Glaciar	II	Regular	A	49	2.03	
	Lagunas, lagos y cochas	II	Regular	B	69	2.75	
	Matorral arbustivo	II	Mala	B	66	85.07	
	Pajonal andino	II	Buena	B	79	147.19	
					<b>365.16</b>	<b>74.684</b>	
HUANTAN	Agricultura costera y andina	II	Buena	B	86	5.85	
	Area altoandina con escasa y sin vegetación	II	Buena	B	79	114.44	
	Bofedal	II	Regular	C	79	6.92	
	Bosque relicto altoandino	II	Buena	B	58	9.62	
	Glaciar	II	Regular	A	49	0.28	
	Lagunas, lagos y cochas	II	Regular	B	69	2.67	
	Matorral arbustivo	II	Mala	B	66	23.12	
	Pajonal andino	II	Buena	B	79	258.33	
					<b>421.22</b>	<b>77.821</b>	
HUANGASCAR	Agricultura costera y andina	II	Buena	B	86	40.78	
	Bofedal	II	Regular	C	79	0.47	
	Bosque relicto altoandino	II	Buena	B	58	33.89	
	Cardonal	II	Mala	B	78	36.06	
	Desierto costero	II	Mala	A	77	5.17	
	Lagunas, lagos y cochas	II	Regular	B	69	0.45	
	Matorral arbustivo	II	Mala	B	66	146.38	
	Pajonal andino	II	Buena	B	79	255.23	
						<b>518.44</b>	
BAJO CAÑETE	Agricultura costera y andina	II	Buena	B	86	78.75	
	Bosque relicto altoandino	II	Buena	B	58	0.14	
	Cardonal	II	Mala	B	78	341.75	
	Desierto costero	II	Mala	A	77	502.74	
	Matorral arbustivo	II	Mala	B	66	247.23	
	Pajonal andino	II	Buena	B	79	17.43	
	Río	III-II	Regular	B	69	6.83	
						<b>1194.86</b>	
ALTO CAÑETE	Agricultura costera y andina	II	Buena	B	86	5.00	
	Area altoandina con escasa y sin vegetación	II	Buena	B	79	216.30	
	Bofedal	II	Regular	C	79	9.21	
	Bosque relicto altoandino	II	Buena	B	58	1.27	
	Glaciar	II	Regular	A	49	21.57	
	Lagunas, lagos y cochas	II	Regular	B	69	17.83	
	Matorral arbustivo	II	Mala	B	66	31.17	
	Pajonal andino	II	Buena	B	79	641.09	
					<b>943.43</b>	<b>77.705</b>	
ALIS	Area altoandina con escasa y sin vegetación	II	Buena	B	79	29.18	
	Bofedal	II	Regular	C	79	4.66	
	Lagunas, lagos y cochas	II	Regular	B	69	3.72	
	Matorral arbustivo	II	Mala	B	66	20.42	
	Pajonal andino	II	Buena	B	79	389.49	
					<b>447.47</b>	<b>78.324</b>	
MEDIO CAÑETE	Agricultura costera y andina	II	Buena	B	86	65.57	
	Area altoandina con escasa y sin vegetación	II	Buena	B	79	88.22	
	Area urbana	I	Mala	A	74	0.17	
	Bofedal	II	Regular	C	79	4.02	
	Bosque relicto altoandino	II	Buena	B	58	48.20	
	Cardonal	II	Mala	B	78	170.01	
	Desierto costero	II	Mala	A	77	19.82	
	Glaciar	II	Regular	A	49	1.16	
	Lagunas, lagos y cochas	II	Regular	B	69	5.48	
	Matorral arbustivo	II	Mala	B	66	403.65	
	Pajonal andino	II	Buena	B	79	735.54	
					<b>1541.86</b>	<b>75.043</b>	



## ANEXO G: Hidrogramas de caudales máximos tr 100 años

Fecha	Tiempo	Caudal (m <sup>3</sup> /s)
1-Ene-00	00:00	0,0
1-Ene-00	00:15	0,0
1-Ene-00	00:30	0,0
1-Ene-00	00:45	0,0
1-Ene-00	01:00	0,0
1-Ene-00	01:15	0,0
1-Ene-00	01:30	0,0
1-Ene-00	01:45	0,0
1-Ene-00	02:00	0,0
1-Ene-00	02:15	0,0
1-Ene-00	02:30	0,0
1-Ene-00	02:45	0,0
1-Ene-00	03:00	0,0
1-Ene-00	03:15	0,0
1-Ene-00	03:30	0,0
1-Ene-00	03:45	0,0
1-Ene-00	04:00	0,0
1-Ene-00	04:15	0,0
1-Ene-00	04:30	0,0
1-Ene-00	04:45	0,0
1-Ene-00	05:00	0,0
1-Ene-00	05:15	0,0
1-Ene-00	05:30	0,0
1-Ene-00	05:45	0,0
1-Ene-00	06:00	0,0
1-Ene-00	06:15	0,0
1-Ene-00	06:30	0,0
1-Ene-00	06:45	0,0
1-Ene-00	07:00	0,0
1-Ene-00	07:15	0,0
1-Ene-00	07:30	0,0
1-Ene-00	07:45	0,0
1-Ene-00	08:00	0,0
1-Ene-00	08:15	0,0
1-Ene-00	08:30	0,0
1-Ene-00	08:45	0,0
1-Ene-00	09:00	0,0
1-Ene-00	09:15	0,0
1-Ene-00	09:30	0,0
1-Ene-00	09:45	0,0
1-Ene-00	10:00	0,0
1-Ene-00	10:15	0,0
1-Ene-00	10:30	0,0
1-Ene-00	10:45	0,0
1-Ene-00	11:00	0,0
1-Ene-00	11:15	0,0
1-Ene-00	11:30	0,0
1-Ene-00	11:45	0,0
1-Ene-00	12:00	0,0
1-Ene-00	12:15	0,0
1-Ene-00	12:30	0,0
1-Ene-00	12:45	0,0
1-Ene-00	13:00	0,0
1-Ene-00	13:15	0,0
1-Ene-00	13:30	0,0
1-Ene-00	13:45	0,0
1-Ene-00	14:00	0,0
1-Ene-00	14:15	0,1
1-Ene-00	14:30	0,1
1-Ene-00	14:45	0,3





Fecha	Tiempo	Caudal (m <sup>3</sup> /s)
1-Ene-00	15:00	0,5
1-Ene-00	15:15	0,8
1-Ene-00	15:30	1,3
1-Ene-00	15:45	1,9
1-Ene-00	16:00	2,7
1-Ene-00	16:15	3,8
1-Ene-00	16:30	5,1
1-Ene-00	16:45	6,8
1-Ene-00	17:00	8,8
1-Ene-00	17:15	11,2
1-Ene-00	17:30	14,0
1-Ene-00	17:45	17,3
1-Ene-00	18:00	21,2
1-Ene-00	18:15	25,6
1-Ene-00	18:30	30,7
1-Ene-00	18:45	36,4
1-Ene-00	19:00	42,8
1-Ene-00	19:15	49,9
1-Ene-00	19:30	57,9
1-Ene-00	19:45	66,7
1-Ene-00	20:00	76,3
1-Ene-00	20:15	86,9
1-Ene-00	20:30	98,4
1-Ene-00	20:45	110,8
1-Ene-00	21:00	124,3
1-Ene-00	21:15	138,7
1-Ene-00	21:30	154,3
1-Ene-00	21:45	170,9
1-Ene-00	22:00	188,6
1-Ene-00	22:15	207,4
1-Ene-00	22:30	227,4
1-Ene-00	22:45	248,5
1-Ene-00	23:00	270,8
1-Ene-00	23:15	294,0
1-Ene-00	23:30	318,0
1-Ene-00	23:45	342,5
2-Ene-00	00:00	367,4
2-Ene-00	00:15	392,5
2-Ene-00	00:30	417,7
2-Ene-00	00:45	442,9
2-Ene-00	01:00	468,0
2-Ene-00	01:15	493,0
2-Ene-00	01:30	517,7
2-Ene-00	01:45	542,1
2-Ene-00	02:00	566,0
2-Ene-00	02:15	589,4
2-Ene-00	02:30	612,2
2-Ene-00	02:45	634,4
2-Ene-00	03:00	655,8
2-Ene-00	03:15	676,4
2-Ene-00	03:30	696,0
2-Ene-00	03:45	714,7
2-Ene-00	04:00	732,4
2-Ene-00	04:15	749,0
2-Ene-00	04:30	764,4
2-Ene-00	04:45	778,6
2-Ene-00	05:00	791,7
2-Ene-00	05:15	803,5
2-Ene-00	05:30	814,2
2-Ene-00	05:45	823,6
2-Ene-00	06:00	831,8
2-Ene-00	06:15	838,8
2-Ene-00	06:30	844,6



Fecha	Tiempo	Caudal (m <sup>3</sup> /s)
2-Ene-00	06:45	849,2
2-Ene-00	07:00	852,6
2-Ene-00	07:15	854,8
2-Ene-00	07:30	855,9
2-Ene-00	07:45	855,9
2-Ene-00	08:00	854,9
2-Ene-00	08:15	852,8
2-Ene-00	08:30	849,8
2-Ene-00	08:45	846,0
2-Ene-00	09:00	841,4
2-Ene-00	09:15	836,1
2-Ene-00	09:30	830,2
2-Ene-00	09:45	823,8
2-Ene-00	10:00	816,9
2-Ene-00	10:15	809,5
2-Ene-00	10:30	801,7
2-Ene-00	10:45	793,5
2-Ene-00	11:00	784,9
2-Ene-00	11:15	775,9
2-Ene-00	11:30	766,7
2-Ene-00	11:45	757,1
2-Ene-00	12:00	747,4
2-Ene-00	12:15	737,4
2-Ene-00	12:30	727,2
2-Ene-00	12:45	716,8
2-Ene-00	13:00	706,2
2-Ene-00	13:15	695,5
2-Ene-00	13:30	684,6
2-Ene-00	13:45	673,6
2-Ene-00	14:00	662,4
2-Ene-00	14:15	651,2
2-Ene-00	14:30	639,9
2-Ene-00	14:45	628,7
2-Ene-00	15:00	617,5
2-Ene-00	15:15	606,3
2-Ene-00	15:30	595,2
2-Ene-00	15:45	584,2
2-Ene-00	16:00	573,4
2-Ene-00	16:15	562,7
2-Ene-00	16:30	552,3
2-Ene-00	16:45	542,0
2-Ene-00	17:00	532,0
2-Ene-00	17:15	522,1
2-Ene-00	17:30	512,4
2-Ene-00	17:45	502,9
2-Ene-00	18:00	493,6
2-Ene-00	18:15	484,4
2-Ene-00	18:30	475,4
2-Ene-00	18:45	466,6
2-Ene-00	19:00	457,9
2-Ene-00	19:15	449,5
2-Ene-00	19:30	441,1
2-Ene-00	19:45	433,0
2-Ene-00	20:00	425,0
2-Ene-00	20:15	417,2
2-Ene-00	20:30	409,5
2-Ene-00	20:45	401,9
2-Ene-00	21:00	394,5
2-Ene-00	21:15	387,3
2-Ene-00	21:30	380,1
2-Ene-00	21:45	373,2
2-Ene-00	22:00	366,3
2-Ene-00	22:15	359,6



Fecha	Tiempo	Caudal (m <sup>3</sup> /s)
2-Ene-00	22:30	353,0
2-Ene-00	22:45	346,6
2-Ene-00	23:00	340,2
2-Ene-00	23:15	334,0
2-Ene-00	23:30	327,9
2-Ene-00	23:45	321,9
3-Ene-00	00:00	316,0
3-Ene-00	00:15	310,3
3-Ene-00	00:30	304,6
3-Ene-00	00:45	299,1
3-Ene-00	01:00	293,7
3-Ene-00	01:15	288,3
3-Ene-00	01:30	283,1
3-Ene-00	01:45	278,0
3-Ene-00	02:00	272,9
3-Ene-00	02:15	268,0
3-Ene-00	02:30	263,1
3-Ene-00	02:45	258,4
3-Ene-00	03:00	253,7
3-Ene-00	03:15	249,1
3-Ene-00	03:30	244,6
3-Ene-00	03:45	240,2
3-Ene-00	04:00	235,9
3-Ene-00	04:15	231,7
3-Ene-00	04:30	227,5
3-Ene-00	04:45	223,4
3-Ene-00	05:00	219,4
3-Ene-00	05:15	215,5
3-Ene-00	05:30	211,6
3-Ene-00	05:45	207,8
3-Ene-00	06:00	204,1
3-Ene-00	06:15	200,4
3-Ene-00	06:30	196,8
3-Ene-00	06:45	193,3
3-Ene-00	07:00	189,9
3-Ene-00	07:15	186,5
3-Ene-00	07:30	183,2
3-Ene-00	07:45	179,9
3-Ene-00	08:00	176,7
3-Ene-00	08:15	173,6
3-Ene-00	08:30	170,5
3-Ene-00	08:45	167,4
3-Ene-00	09:00	164,5
3-Ene-00	09:15	161,6
3-Ene-00	09:30	158,7
3-Ene-00	09:45	155,9
3-Ene-00	10:00	153,1
3-Ene-00	10:15	150,4
3-Ene-00	10:30	147,8
3-Ene-00	10:45	145,1
3-Ene-00	11:00	142,6
3-Ene-00	11:15	140,1
3-Ene-00	11:30	137,6
3-Ene-00	11:45	135,2
3-Ene-00	12:00	132,8
3-Ene-00	12:15	130,5
3-Ene-00	12:30	128,2
3-Ene-00	12:45	125,9
3-Ene-00	13:00	123,7
3-Ene-00	13:15	121,5
3-Ene-00	13:30	119,4
3-Ene-00	13:45	117,3
3-Ene-00	14:00	115,2



Fecha	Tiempo	Caudal (m <sup>3</sup> /s)
3-Ene-00	14:15	113,2
3-Ene-00	14:30	111,2
3-Ene-00	14:45	109,3
3-Ene-00	15:00	107,4
3-Ene-00	15:15	105,5
3-Ene-00	15:30	103,7
3-Ene-00	15:45	101,9
3-Ene-00	16:00	100,1
3-Ene-00	16:15	98,3
3-Ene-00	16:30	96,6
3-Ene-00	16:45	95,0
3-Ene-00	17:00	93,3
3-Ene-00	17:15	91,7
3-Ene-00	17:30	90,1
3-Ene-00	17:45	88,5
3-Ene-00	18:00	87,0
3-Ene-00	18:15	85,5
3-Ene-00	18:30	84,0
3-Ene-00	18:45	82,5
3-Ene-00	19:00	81,1
3-Ene-00	19:15	79,7
3-Ene-00	19:30	78,3
3-Ene-00	19:45	77,0
3-Ene-00	20:00	75,6
3-Ene-00	20:15	74,3
3-Ene-00	20:30	73,1
3-Ene-00	20:45	71,8
3-Ene-00	21:00	70,6
3-Ene-00	21:15	69,3
3-Ene-00	21:30	68,1
3-Ene-00	21:45	67,0
3-Ene-00	22:00	65,8
3-Ene-00	22:15	64,6
3-Ene-00	22:30	63,5
3-Ene-00	22:45	62,4
3-Ene-00	23:00	61,3
3-Ene-00	23:15	60,2
3-Ene-00	23:30	59,2
3-Ene-00	23:45	58,1
4-Ene-00	00:00	57,1
4-Ene-00	00:15	56,1
4-Ene-00	00:30	55,1
4-Ene-00	00:45	54,1
4-Ene-00	01:00	53,1
4-Ene-00	01:15	52,1
4-Ene-00	01:30	51,2
4-Ene-00	01:45	50,3
4-Ene-00	02:00	49,4
4-Ene-00	02:15	48,5
4-Ene-00	02:30	47,6
4-Ene-00	02:45	46,7
4-Ene-00	03:00	45,9
4-Ene-00	03:15	45,0
4-Ene-00	03:30	44,2
4-Ene-00	03:45	43,4
4-Ene-00	04:00	42,6
4-Ene-00	04:15	41,8
4-Ene-00	04:30	41,0
4-Ene-00	04:45	40,3
4-Ene-00	05:00	39,5
4-Ene-00	05:15	38,8
4-Ene-00	05:30	38,0
4-Ene-00	05:45	37,3



Fecha	Tiempo	Caudal (m <sup>3</sup> /s)
4-Ene-00	06:00	36,6
4-Ene-00	06:15	35,9
4-Ene-00	06:30	35,2
4-Ene-00	06:45	34,6
4-Ene-00	07:00	34,0
4-Ene-00	07:15	33,4
4-Ene-00	07:30	32,8
4-Ene-00	07:45	32,3
4-Ene-00	08:00	31,7
4-Ene-00	08:15	31,2
4-Ene-00	08:30	30,6
4-Ene-00	08:45	30,1
4-Ene-00	09:00	29,6
4-Ene-00	09:15	29,0
4-Ene-00	09:30	28,5
4-Ene-00	09:45	28,0
4-Ene-00	10:00	27,5
4-Ene-00	10:15	27,0
4-Ene-00	10:30	26,6
4-Ene-00	10:45	26,1
4-Ene-00	11:00	25,6
4-Ene-00	11:15	25,2
4-Ene-00	11:30	24,8
4-Ene-00	11:45	24,3
4-Ene-00	12:00	23,9
4-Ene-00	12:15	23,5
4-Ene-00	12:30	23,1
4-Ene-00	12:45	22,7
4-Ene-00	13:00	22,4
4-Ene-00	13:15	22,0
4-Ene-00	13:30	21,6
4-Ene-00	13:45	21,2
4-Ene-00	14:00	20,9
4-Ene-00	14:15	20,5
4-Ene-00	14:30	20,1
4-Ene-00	14:45	19,8
4-Ene-00	15:00	19,4
4-Ene-00	15:15	19,1
4-Ene-00	15:30	18,8
4-Ene-00	15:45	18,4
4-Ene-00	16:00	18,1
4-Ene-00	16:15	17,8
4-Ene-00	16:30	17,4
4-Ene-00	16:45	17,1
4-Ene-00	17:00	16,8
4-Ene-00	17:15	16,5
4-Ene-00	17:30	16,2
4-Ene-00	17:45	15,9
4-Ene-00	18:00	15,5
4-Ene-00	18:15	15,2
4-Ene-00	18:30	15,0
4-Ene-00	18:45	14,7
4-Ene-00	19:00	14,4
4-Ene-00	19:15	14,1
4-Ene-00	19:30	13,8
4-Ene-00	19:45	13,5
4-Ene-00	20:00	13,3
4-Ene-00	20:15	13,0
4-Ene-00	20:30	12,7
4-Ene-00	20:45	12,5
4-Ene-00	21:00	12,3
4-Ene-00	21:15	12,1
4-Ene-00	21:30	11,9

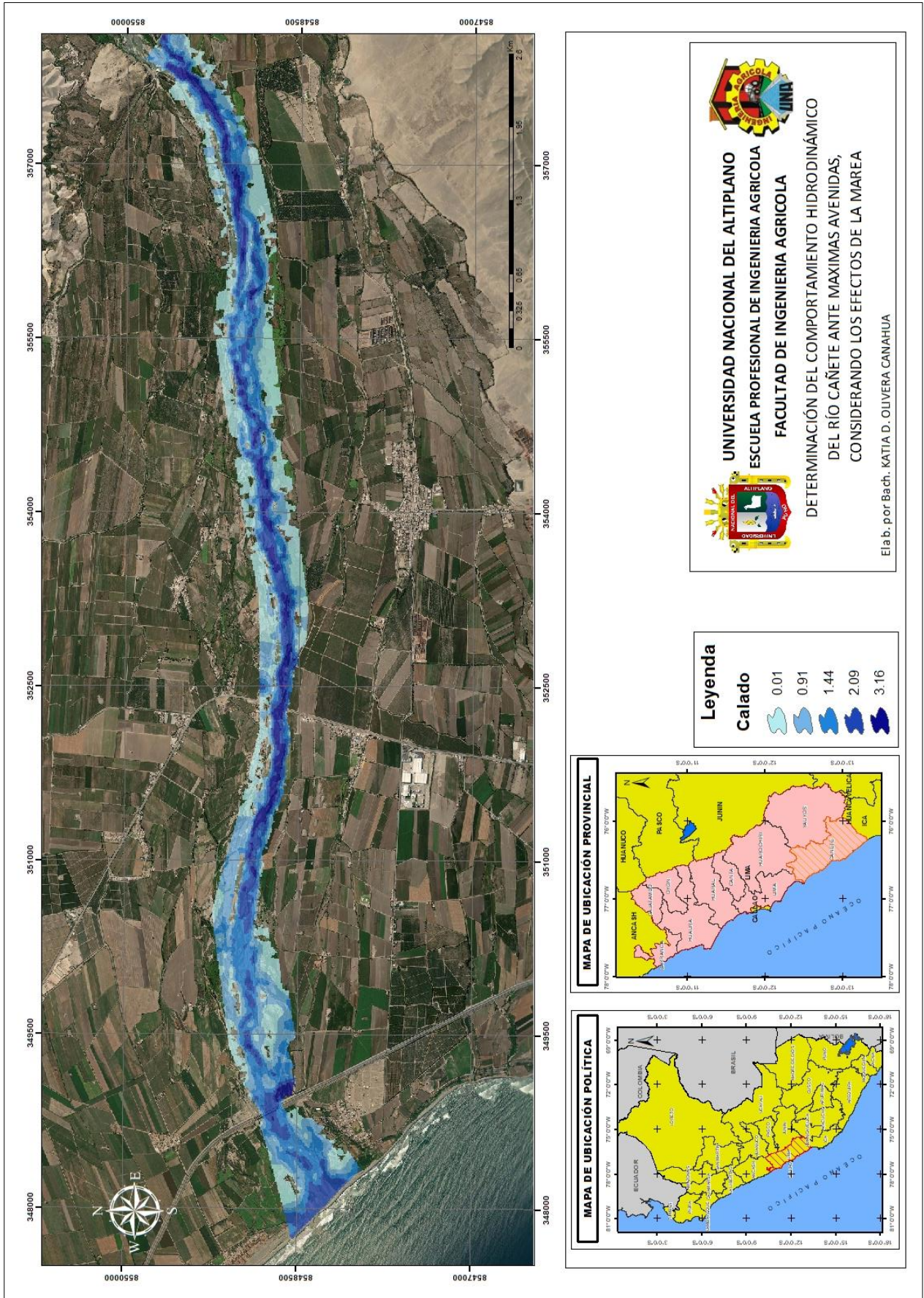


Fecha	Tiempo	Caudal (m <sup>3</sup> /s)
4-Ene-00	21:45	11,7
4-Ene-00	22:00	11,6
4-Ene-00	22:15	11,4
4-Ene-00	22:30	11,2
4-Ene-00	22:45	11,0
4-Ene-00	23:00	10,8
4-Ene-00	23:15	10,7
4-Ene-00	23:30	10,5
4-Ene-00	23:45	10,3
5-Ene-00	00:00	10,2
5-Ene-00	00:15	10,0
5-Ene-00	00:30	9,9
5-Ene-00	00:45	9,7
5-Ene-00	01:00	9,5
5-Ene-00	01:15	9,4
5-Ene-00	01:30	9,2
5-Ene-00	01:45	9,1
5-Ene-00	02:00	9,0
5-Ene-00	02:15	8,8
5-Ene-00	02:30	8,7
5-Ene-00	02:45	8,5
5-Ene-00	03:00	8,4
5-Ene-00	03:15	8,3
5-Ene-00	03:30	8,1
5-Ene-00	03:45	8,0
5-Ene-00	04:00	7,9
5-Ene-00	04:15	7,8
5-Ene-00	04:30	7,6
5-Ene-00	04:45	7,5
5-Ene-00	05:00	7,4
5-Ene-00	05:15	7,2
5-Ene-00	05:30	7,1
5-Ene-00	05:45	7,0
5-Ene-00	06:00	6,8
5-Ene-00	06:15	6,7
5-Ene-00	06:30	6,6
5-Ene-00	06:45	6,4
5-Ene-00	07:00	6,3
5-Ene-00	07:15	6,2
5-Ene-00	07:30	6,0
5-Ene-00	07:45	5,9
5-Ene-00	08:00	5,8
5-Ene-00	08:15	5,6
5-Ene-00	08:30	5,5
5-Ene-00	08:45	5,4
5-Ene-00	09:00	5,2
5-Ene-00	09:15	5,1
5-Ene-00	09:30	5,0
5-Ene-00	09:45	4,8
5-Ene-00	10:00	4,7
5-Ene-00	10:15	4,6
5-Ene-00	10:30	4,5
5-Ene-00	10:45	4,3
5-Ene-00	11:00	4,2
5-Ene-00	11:15	4,1
5-Ene-00	11:30	4,0
5-Ene-00	11:45	3,8
5-Ene-00	12:00	3,7
5-Ene-00	12:15	3,6
5-Ene-00	12:30	3,5
5-Ene-00	12:45	3,3
5-Ene-00	13:00	3,3
5-Ene-00	13:15	3,2

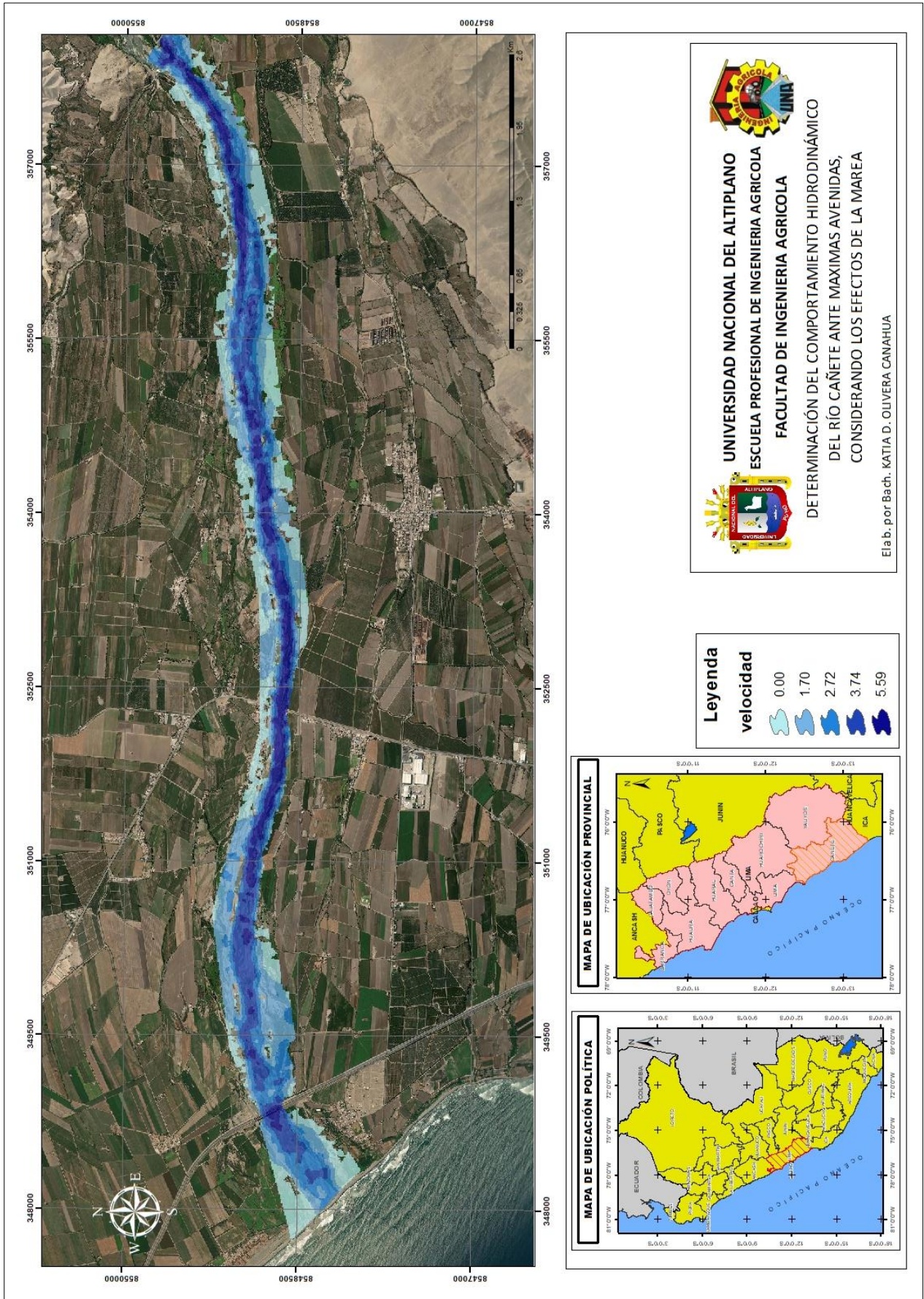


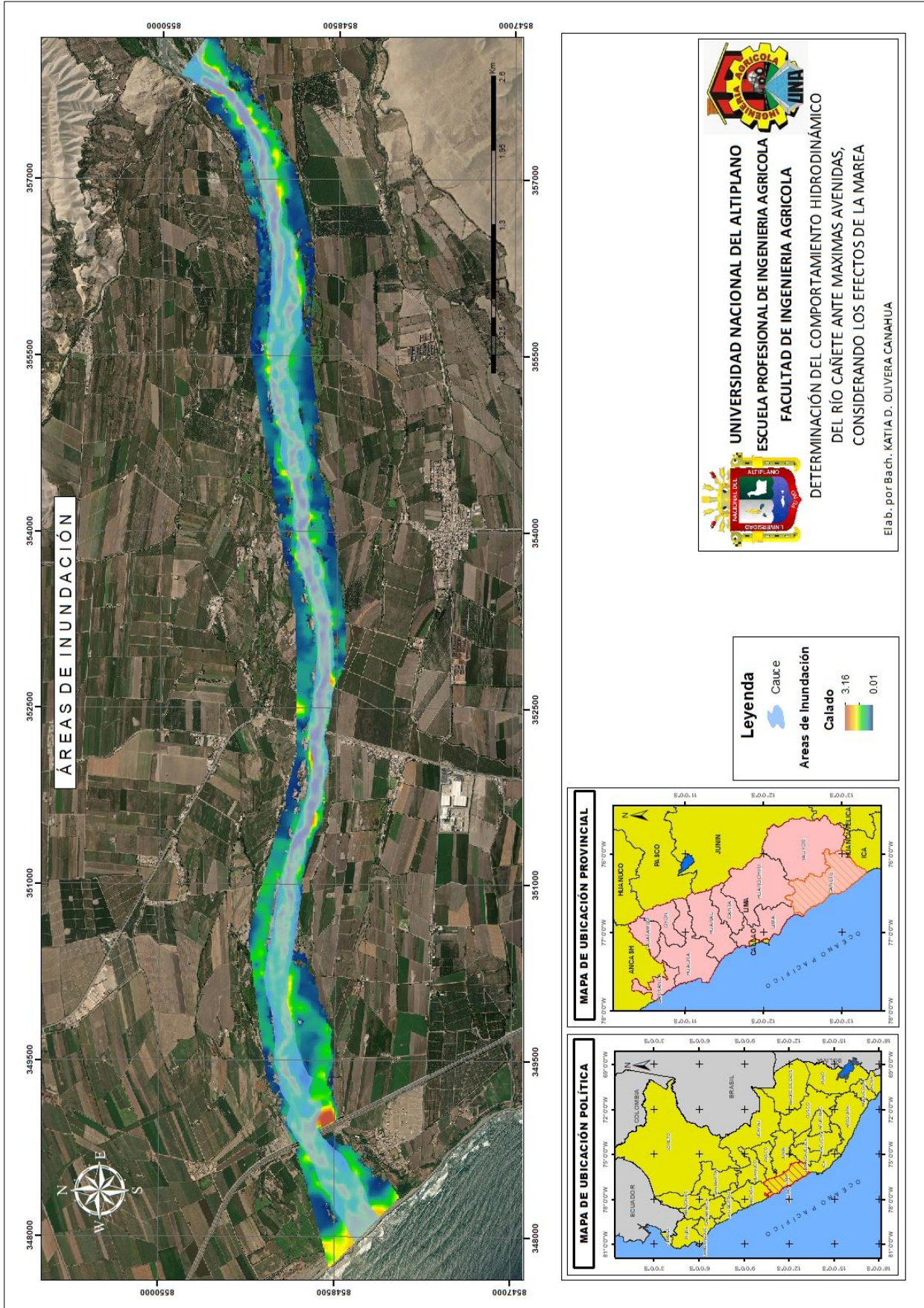
Fecha	Tiempo	Caudal (m <sup>3</sup> /s)
5-Ene-00	13:30	3,2
5-Ene-00	13:45	3,1
5-Ene-00	14:00	3,0
5-Ene-00	14:15	2,9
5-Ene-00	14:30	2,9
5-Ene-00	14:45	2,8
5-Ene-00	15:00	2,7
5-Ene-00	15:15	2,6
5-Ene-00	15:30	2,6
5-Ene-00	15:45	2,5
5-Ene-00	16:00	2,4
5-Ene-00	16:15	2,3
5-Ene-00	16:30	2,2
5-Ene-00	16:45	2,1
5-Ene-00	17:00	2,0
5-Ene-00	17:15	1,9
5-Ene-00	17:30	1,8
5-Ene-00	17:45	1,7
5-Ene-00	18:00	1,6
5-Ene-00	18:15	1,5
5-Ene-00	18:30	1,4
5-Ene-00	18:45	1,3
5-Ene-00	19:00	1,1
5-Ene-00	19:15	1,0
5-Ene-00	19:30	0,9
5-Ene-00	19:45	0,8
5-Ene-00	20:00	0,7

## ANEXO H: Mapas.











### DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo Katia Delajsta Olivera Canatua  
identificado con DNI 74025990 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional,  Programa de Segunda Especialidad,  Programa de Maestría o Doctorado  
de la Facultad de Ingeniería Agrícola

informo que he elaborado el/la  Tesis o  Trabajo de Investigación denominada:  
" Determinación del comportamiento hidrodinámico del río Cañete  
ante máximas avenidas, Considerando los efectos de la marea  
"

Es un tema original.

Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y **no existe plagio/copia** de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

En caso de incumplimiento de esta declaración, me someto a las disposiciones legales vigentes y a las sanciones correspondientes de igual forma me someto a las sanciones establecidas en las Directivas y otras normas internas, así como las que me alcancen del Código Civil y Normas Legales conexas por el incumplimiento del presente compromiso

Puno 29 de marzo del 20 23

FIRMA (obligatoria)



Huella



### AUTORIZACIÓN PARA EL DEPÓSITO DE TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Por el presente documento, Yo Katia Delajusta Olivera Canahua,  
identificado con DNI 74025990 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional,  Programa de Segunda Especialidad,  Programa de Maestría o Doctorado

de la Facultad de Ingeniería Agrícola,  
informo que he elaborado el/la  Tesis o  Trabajo de Investigación denominada:

“ Determinación del Comportamiento hidrodinámico del río  
Cáñete ante máximas avenidas, considerando los efectos de la  
marea ”

para la obtención de  Grado,  Título Profesional o  Segunda Especialidad.

Por medio del presente documento, afirmo y garantizo ser el legítimo, único y exclusivo titular de todos los derechos de propiedad intelectual sobre los documentos arriba mencionados, las obras, los contenidos, los productos y/o las creaciones en general (en adelante, los “Contenidos”) que serán incluidos en el repositorio institucional de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno.

También, doy seguridad de que los contenidos entregados se encuentran libres de toda contraseña, restricción o medida tecnológica de protección, con la finalidad de permitir que se puedan leer, descargar, reproducir, distribuir, imprimir, buscar y enlazar los textos completos, sin limitación alguna.

Autorizo a la Universidad Nacional del Altiplano de Puno a publicar los Contenidos en el Repositorio Institucional y, en consecuencia, en el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto, sobre la base de lo establecido en la Ley N° 30035, sus normas reglamentarias, modificatorias, sustitutorias y conexas, y de acuerdo con las políticas de acceso abierto que la Universidad aplique en relación con sus Repositorios Institucionales. Autorizo expresamente toda consulta y uso de los Contenidos, por parte de cualquier persona, por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales de autor y derechos conexos, a título gratuito y a nivel mundial.

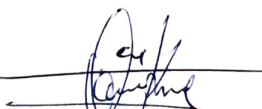
En consecuencia, la Universidad tendrá la posibilidad de divulgar y difundir los Contenidos, de manera total o parcial, sin limitación alguna y sin derecho a pago de contraprestación, remuneración ni regalía alguna a favor mío; en los medios, canales y plataformas que la Universidad y/o el Estado de la República del Perú determinen, a nivel mundial, sin restricción geográfica alguna y de manera indefinida, pudiendo crear y/o extraer los metadatos sobre los Contenidos, e incluir los Contenidos en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

Autorizo que los Contenidos sean puestos a disposición del público a través de la siguiente licencia:

Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. Para ver una copia de esta licencia, visita: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

En señal de conformidad, suscribo el presente documento.

Puno 29 de marzo del 2023

  
FIRMA (obligatoria)



Huella