



FACULTAD DE INGENIERIA GEOGRAFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO

MODELAMIENTO HIDROLÓGICO ENTRE LAS AVENIDAS PANAMERICANA
SUR Y LA AVENIDA MALASQUEZ CHACALTANA, PARA IDENTIFICAR ZONAS
INUNDABLES EN LOS DISTRITOS DE LURÍN Y PACHACAMAC, PROVINCIA DE
LIMA, AÑO 2019

Línea de investigación:

Biodiversidad, Ecología y Conservación

Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

Autor:

Guzmán Torre, David Andre

Asesor:

Sandoval Ricci, Aldo Juan

CODIGO ORCID: 0000-0002-7386-741X

Jurado:

Rojas León, Gladis

Guillen León, Rogelia

Valdivia Orihuela, Braulio Armando

Lima - Perú

2022



Referencia:

Guzmán, T (2022). Modelamiento hidrológico entre las avenidas panamericana sur y la avenida Malasquez Chacaltana, para identificar zonas inundables en los distritos de Lurín y Pachacamac, provincia de Lima, año 2019 [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Federico Villarreal]. Repositorio Institucional UNFV. <http://repositorio.unfv.edu.pe/handle/UNFV/6312>



Reconocimiento - No comercial - Sin obra derivada (CC BY-NC-ND)

El autor sólo permite que se pueda descargar esta obra y compartirla con otras personas, siempre que se reconozca su autoría, pero no se puede generar obras derivadas ni se puede utilizar comercialmente.

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>



FACULTAD DE INGENIERIA GEOGRAFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO

MODELAMIENTO HIDROLÓGICO ENTRE LAS AVENIDAS
PANAMERICANA SUR Y LA AVENIDA MALASQUEZ CHACALTANA, PARA
IDENTIFICAR ZONAS INUNDABLES EN LOS DISTRITOS DE LURÍN Y
PACHACAMAC, PROVINCIA DE LIMA, AÑO 2019

Línea de investigación:

Biodiversidad, ecología y conservación

Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

Autor

Guzmán Torre, David Andre

Asesor

Sandoval Ricci, Aldo Juan

ORCID: 0000-0002-7386-741X

Jurado

Rojas León, Gladis

Guillen León, Rogelia

Valdivia Orihuela, Braulio Armando

Lima – Perú

2022

Dedicatoria

A mi Abuelo Darío Torre por apoyarme incondicionalmente, por sus enseñanzas y valores inculcados y aunque hoy no está presente físicamente, lo llevo en el alma.

A mi abuela Catalina Flores por amarme como si fuera su propio hijo, por cuidarme y estar siempre a mi lado, impulsándome a ser mejor persona cada día, por darme la fuerza e inspiración de cumplir mis metas.

A mi Madre Rosa Torre por darme la vida, que desde el cielo junto a Dios y mi Abuelo Darío cuidan mis pasos, esperando que algún día pueda volver a verlos.

Agradecimientos

Agradezco a Dios, por darme salud y guiar mis pasos cada día.

A mi familia por siempre apoyarme y hacer todo esto posible.

Al Dr. Aldo Juan Sandoval Ricci (Q.e.p.d), por aceptar ser mi asesor de tesis, por sus consejos y por apoyarme en esta etapa de mi vida académica.

A mis profesores por brindarme sus conocimientos en mis años de formación.

Índice General

Agradecimientos.....	2
Índice General	4
Índice de tablas.....	9
Índice de figuras.....	10
Resumen.....	13
Abstract (key words)	14
I. INTRODUCCIÓN	15
1.1. Descripción y Formulación del problema.....	17
1.1.1. Problema general	18
1.1.2. Problemas Específicos	18
1.2. Antecedentes de la Investigación	19
1.2.1. Nacionales.....	19
1.2.2. Internacionales.....	22
1.3. Objetivos	25
1.3.1. Objetivo general	25
1.3.2. Objetivo específico.....	25
1.4. Justificación.....	26
1.5. Hipótesis.....	27
1.5.1. Hipótesis principal.....	27
1.5.2. Hipótesis secundaria	27
II. MARCO TEORICO.....	28

2.1. Inundaciones	28
2.1.1. Inundaciones lentas o progresivas	28
2.1.2. Inundaciones torrenciales o súbitas	28
2.1.3. Inundaciones por afloramiento de aguas subterráneas	29
2.1.4. Inundaciones urbanas	29
2.2. Hidrología	29
2.3. Evapotranspiración	30
2.3.1. Evapotranspiración potencial (ETP)	30
2.3.2. Evapotranspiración real (ETR)	30
2.4. Modelos Hidrológicos	31
2.4.1. HEC RAS	31
2.4.2. HEC-HMS	32
2.4.3. HIDROESTA 2	34
2.4.4. Extensión HEC-GEORAS	35
2.4.5. Extensión HEC-GEOHMS	36
2.4.6. Sistema de Información Geográfica (SIG)	36
2.5. Numero de curva	37
2.5.1. Método SCS para abstracciones	37
2.6. Intensidad de Lluvia	43
2.6.1. Método del instituto Italo-Latinoamericano, SENAMHI y UNI	43
2.7. Hietograma de Diseño	48
2.7.1. Método del Bloque Alterno	48
2.8. El Ciclo Hidrológico	49

2.9. Determinación de la velocidad del río.....	51
2.9.1. Métodos de medición:.....	51
2.10. Caudal.....	52
2.11. El aforo	52
2.11.1.Sección de aforo	52
2.12. Análisis de Frecuencia.....	53
2.13. Período de retorno	53
2.14. Hidrograma del Caudal	54
III. MÉTODO.....	55
3.1. Tipo de investigación	55
3.2. Ámbito temporal y espacial	55
3.2.1. Superficie y límites del área de estudio.....	56
3.2.2. Vías de acceso.	56
3.2.3. Descripción del área de estudio.....	57
3.2.4. Parámetros geomorfológicos de la intercuenca 13755341 del río Lurín.....	62
3.2.5. Capacidad de uso mayor de los suelos.....	73
3.2.6. Cobertura Vegetal	74
3.2.7. Geología.....	75
3.2.8. Suelos	75
3.2.9. Geomorfología	76
3.2.10. Ecosistemas.....	76
3.2.11.Zonas de vida	77
3.2.12.Características sociales del área de estudio	78

3.3. Variables	82
3.3.1. Variable Dependiente	82
3.3.2. Variable Independiente	82
3.4. Población y muestra	83
3.5. Instrumentos	85
3.6. Procedimiento	85
3.6.1. Etapa de Pre-campo	85
3.6.2. Etapa de Campo	86
3.6.3. Etapa de Post-Campo	88
3.7. Análisis de Datos	133
IV. RESULTADOS	134
4.1. Parámetros geomorfológicos	134
4.2. Caudales e hidrogramas generados en diferentes tiempos de retorno utilizando el software HEC HMS	135
4.2.1. Caudal para un tiempo de retorno de 20 años	135
4.2.2. Caudal para un tiempo de retorno de 50 años	136
4.2.3. Caudal para un tiempo de retorno de 100 años	137
4.2.4. Caudal para un tiempo de retorno de 200 años	138
4.2.5. Caudal para un tiempo de retorno de 500 años	139
4.3. Elaboración de mapas de inundación	141
4.3.1. Identificación de zonas vulnerables a inundaciones	141
V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	147
VI. CONCLUSIONES	149

VII. RECOMENDACIONES	150
VIII. BIBLIOGRAFÍA	151
IX. ANEXOS.....	158

Índice de tablas

<i>Tabla 1. Evolución del tipo de modelización y herramientas de análisis de HECRAS.....</i>	<i>32</i>
<i>Tabla 2. Clasificación de clases antecedentes de humedad (AMC) para el método de abstracciones de lluvia del SCS.....</i>	<i>40</i>
<i>Tabla 3. Los números de curva para distintos usos de tierra.....</i>	<i>42</i>
<i>Tabla 4. Grupo hidrológico del suelo.....</i>	<i>43</i>
<i>Tabla 5. División del territorio en zonas y sub zonas pluviométricas y valores de los parámetros Kg y eg.....</i>	<i>46</i>
<i>Tabla 6. Valores de “a” y “n” en cada punto de las sub zonas.....</i>	<i>47</i>
<i>Tabla 7. Coordenadas de ubicación del área de estudio.....</i>	<i>56</i>
<i>Tabla 8. Caudales promedios del río Lurín - Estación Puente Manchay.....</i>	<i>61</i>
<i>Tabla 9. Clases de Valores de Compacidad.....</i>	<i>66</i>
<i>Tabla 10. Valores de la Curva Hipsométrica de la intercuenca 13755341 del río Lurín.....</i>	<i>68</i>
<i>Tabla 11. Cálculo del Polígono de Frecuencia de Áreas Parciales.....</i>	<i>70</i>
<i>Tabla 12. Rangos de densidad de drenaje.....</i>	<i>72</i>
<i>Tabla 13. Orden de ríos de la intercuenca 13755341 del río Lurín.....</i>	<i>73</i>
<i>Tabla 14. Capacidad de uso mayor de los suelos en el área de estudio.....</i>	<i>74</i>
<i>Tabla 15. Cuadro de cobertura vegetal de la zona de estudio.....</i>	<i>74</i>
<i>Tabla 16. Unidades Litoestratigráficas de la Zona de Estudio.....</i>	<i>75</i>
<i>Tabla 17. Cuadro del tipo de suelo en el área de estudio.....</i>	<i>75</i>
<i>Tabla 18. Geomorfología de la zona de Estudio.....</i>	<i>76</i>
<i>Tabla 19. Ecosistema de la zona de Estudio.....</i>	<i>77</i>
<i>Tabla 20. Zonas de Vida del Área de Estudio.....</i>	<i>77</i>
<i>Tabla 21. Distritos que se encuentran en el área de estudio.....</i>	<i>78</i>
<i>Tabla 22. Población de los años 2000 y 2017 de los distritos que se ubica el área de estudio.....</i>	<i>79</i>
<i>Tabla 23. Instituciones Educativas del área de estudio.....</i>	<i>80</i>
<i>Tabla 24. Resumen del delta teórico y tabular de las distribuciones.....</i>	<i>102</i>
<i>Tabla 25. Precipitaciones máximas en 24 horas en diferentes tiempos de retorno con la distribución Log Normal de 3 parámetros.....</i>	<i>102</i>
<i>Tabla 26. Intensidad de lluvia para diferentes Periodos.....</i>	<i>105</i>
<i>Tabla 27. Datos para la construcción del Hietograma para TR=20 años.....</i>	<i>106</i>
<i>Tabla 28. Datos para la construcción del Hietograma para TR=50 años.....</i>	<i>108</i>
<i>Tabla 29. Datos para la construcción del Hietograma para TR=100 años.....</i>	<i>110</i>
<i>Tabla 30. Datos para la construcción del Hietograma para TR=200 años.....</i>	<i>112</i>
<i>Tabla 31. Datos para la construcción del Hietograma para TR=500 años.....</i>	<i>114</i>
<i>Tabla 32. Descripción de suelo y grupo hidrológico.....</i>	<i>119</i>
<i>Tabla 33. Resumen de parámetros morfológicos.....</i>	<i>134</i>
<i>Tabla 34. Resumen de caudales máximos para diferentes tiempos de retornos.....</i>	<i>140</i>
<i>Tabla 35. Resumen del área (has) inundada en diferentes tiempos de retornos.....</i>	<i>145</i>

Índice de figuras

<i>Figura 1. Componentes de un Proyecto en HEC-HMS</i>	33
<i>Figura 2. Gráfico de agua superficial.</i>	38
<i>Figura 3. Grafica de lluvia acumulada Vs Escorrentía directa acumulada.....</i>	39
<i>Figura 4. Hietograma de diseño.</i>	49
<i>Figura 5. El Ciclo hidrológico del agua.</i>	50
<i>Figura 6. Temperatura Máxima, media y mínima de la estación Manchay Bajo</i>	58
<i>Figura 7. Datos de precipitación multianual Estación Manchay Bajo entre los años (1974 al 2003).....</i>	59
<i>Figura 8. Precipitación promedio mensual entre los años (1974 al 2003).....</i>	59
<i>Figura 9. Evapotranspiración potencial mensual en mm de la estación manchay.</i>	60
<i>Figura 10. Cambio de forma de la curva hipsométrica con la edad del río</i>	69
<i>Figura 11. Curva Hipsométrica de la intercuenca 13755341 del río Lurín.....</i>	69
<i>Figura 12 Gráfico de Polígono de Frecuencias de Áreas Parciales.....</i>	71
<i>Figura 13. Viviendas sin abastecimiento de agua.</i>	81
<i>Figura 14. Viviendas con electricidad en el área de estudio.....</i>	81
<i>Figura 15. Infraestructura de viviendas en el área de estudio.</i>	82
<i>Figura 16. Inicio y final de la zona investigada.</i>	87
<i>Figura 17. Puntos del GPS plasmado en el HEC-RAS.....</i>	88
<i>Figura 18. Fill de la intercuenca 13755341 del río Lurín.....</i>	89
Figura 19. Flow Direcccion de la intercuenca 13755341 del río Lurín.....	89
<i>Figura 20. Flow Accumulation de la intercuenca 13755341 del río Lurín.</i>	90
<i>Figura 21. Raster Calcultor de la intercuenca 13755341 del río Lurín.....</i>	91
<i>Figura 22. Conversión de raster a polígono – red hídrica.....</i>	91
<i>Figura 23. Mapa de la red Hídrica de la 13755341 del río Lurín.</i>	92
<i>Figura 24. Ventana principal del Hidroesta 2.....</i>	92
<i>Figura 25. Ajuste de la serie de datos a la distribución normal.....</i>	93
<i>Figura 26. Ajuste de la serie de datos Distribución Log-Normal de 2 parámetros.</i>	94
<i>Figura 27. Ajuste de la serie de datos Distribución Log-Normal de 3 parámetros.</i>	95
<i>Figura 28. Ajuste de la serie de datos Distribución gamma de 2 parámetros.</i>	96
<i>Figura 29. Ajuste de la serie de datos Distribución gamma de 3 parámetros.</i>	97

Figura 30. Ajuste de la serie de datos Distribución gamma de 3 parámetros.	98
Figura 31. Ajuste de la serie de datos Distribución Gumbel.	98
Figura 32. Ajuste de la serie de datos Distribución Gumbel.	99
Figura 33. Valores críticos de D para la prueba de bondad de ajuste de Kolmogorov -Smimov.	101
Figura 34. Mapa de Zonas y Subzonas pluviométricas.	103
Figura 35. Tormenta de diseño para diferentes periodos de retorno.	105
Figura 36. Hietograma para TR=20 años.	107
Figura 37. Hietograma para TR=50 años.	109
Figura 38. Hietograma para TR=100 años.	111
Figura 39. Hietograma para TR=200 años.	113
Figura 40. Hietograma para TR=500 años.	115
Figura 41. Proceso de generación del número de curva.	116
Figura 42. Esquema para la generación de número de curva.	117
Figura 43. Modificación de la tabla de atributos de cobertura vegetal.	118
Figura 44. Modificación de tabla de atributos del mapa de suelo.	120
Figura 45. Unión de mapa de cobertura vegetal y uso de suelo.	120
Figura 46. Creación de tabla hidrológica.	121
Figura 47. Generación del número de curva con la extensión HEC-GeoHMS.	121
Figura 48. Mapa de número de curva.	122
Figura 49. Tabla de atributos del mapa de número de curva.	122
Figura 50. Exportación de la intercuenca 13755341 del río Lurín al HEC HMS.	123
Figura 51. Ingreso de datos al Basin Model.	125
Figura 52. Tiempo inicial y final del modelo HEC HMS.	125
Figura 53. Ventana para ingresar los hietogramas.	126
Figura 54. Generación del River.	127
Figura 55. Generación de los Bank Lines.	128
Figura 56. Generación del Flow Path Centerlines.	128
Figura 57. Atributos al tipo de línea.	129
Figura 58. Generación de XS Cut Lines.	129
Figura 59. Generación de River 3D.	130
Figura 60. Generación de XS Cut Lines 3D.	130
Figura 61. Exportación a HEC-RAS.	131

<i>Figura 62. Datos geométricos del ArcGis.</i>	<i>131</i>
<i>Figura 63. Caudales ingresados al HecRas.</i>	<i>132</i>
<i>Figura 64. Corriendo el modelo HEC RAS.</i>	<i>132</i>
<i>Figura 65. Caudal máximo para un tiempo de retorno de 20 años.....</i>	<i>135</i>
<i>Figura 66. Grafica del Hidrograma para un retorno de 50 años.</i>	<i>136</i>
<i>Figura 67. Caudal máximo para un tiempo de retorno de 50 años.....</i>	<i>136</i>
<i>Figura 68. Grafica del Hidrograma para un retorno de 50 años.</i>	<i>137</i>
<i>Figura 69. Caudal máximo para un tiempo de retorno de 100 años.....</i>	<i>137</i>
<i>Figura 70. Grafica del Hidrograma para un retorno de 100 años.</i>	<i>138</i>
<i>Figura 71. Caudal máximo para un tiempo de retorno de 200 años.....</i>	<i>138</i>
<i>Figura 72. Grafica del Hidrograma para un retorno de 200 años.</i>	<i>139</i>
<i>Figura 73. Caudal máximo para un tiempo de retorno de 500 años.....</i>	<i>139</i>
<i>Figura 74. Grafica del Hidrograma para un retorno de 500 años.</i>	<i>140</i>
<i>Figura 75. Áreas inundaciones entre las secciones transversales para un</i> <i>tiempo de retorno de 500 años.</i>	<i>141</i>
<i>Figura 76. Áreas inundaciones entre las secciones transversales para un</i> <i>tiempo de retorno de 200 años.</i>	<i>143</i>
<i>Figura 77. Áreas inundaciones entre las secciones transversales para un</i> <i>tiempo de retorno de 100 años.....</i>	<i>144</i>

Resumen

Los antecedentes locales relacionados a eventos naturales asociados a la ocurrencia del fenómeno del niño, están vinculados a la ocurrencia de inundaciones por desborde del río Lurín, el mismo que obedece a la morfología de la cuenca receptiva que presenta una topografía poco accidentada con mediana a poca pendiente en la parte baja del valle (Plan de contingencia frente al fenómeno del niño 2015-2016 de la municipalidad distrital de Lurín), el modelamiento se realizó en la cuenca baja del río Lurín dado que en el mapa de peligro natural y peligro geológico realizado en el informe de microzonificación sísmica del distrito de Lurín este sector representa un peligro geológico potencial muy alto ante inundaciones por el río Lurín, es por ello que la presente investigación que tiene como título modelamiento hidrológico entre la avenida panamericana sur y la avenida Malasquez Chacaltana, cuyo objetivo es identificar zonas inundables utilizando la herramienta HEC-RAS, HEC-HMS y ARCGIS que nos ayudara a determinar las posibles áreas afectadas. El tipo de investigación es descriptivo y el diseño es experimental, la técnica de recolección de datos de información, fue la observación a través de las visitas in situ al área de la investigación, la entrevista a los pobladores que viven alrededor del tramo estudiado. Como resultado se identificaron las áreas inundadas, afectando 107.72, 67.3 y 46.81 hectáreas con tiempo de retorno de 100,200 y 500 años respectivamente, por lo que se recomienda realizar obras de orden estructural y no estructural.

Palabras clave: fenómeno, modelamiento, inundaciones, cuenca.

Abstract (key words)

The local antecedents related to natural events associated with the occurrence of the El Niño phenomenon are linked to the occurrence of floods due to the overflow of the Lurín River, which is due to the morphology of the receptive basin, which presents a slightly uneven topography with medium to little slope in the lower part of the valley (Contingency plan against the phenomenon of the child 2015-2016 of the district municipality of Lurín), The section chosen for the modeling is between the south Pan-American avenue and the Malasquez Chacaltana avenue since natural hazard and geological hazard carried out in the seismic microzoning report of the Lurín district, this sector represents a very high potential geological hazard in the face of flooding by the Lurín River, which is why this research, which is titled hydrological modeling between the Pan-American avenue south and the Malasquez Chacaltana avenue, whose objective is to identify flood zones or Using the HEC-RAS, HEC-HMS tool and the ARCGIS software that will help us determine the possible affected areas. The type of research is descriptive and the design is experimental. The information data collection technique was observation through on-site visits to the research area, interviewing the residents who live around the studied section. As a result, the flooded areas were identified, affecting 107.72, 67.3 and 46.81 hectares with a return time of 100, 200 and 500 years, respectively, for which it is recommended to carry out structural and non-structural works

Keywords: phenomenon, modeling, floods, basin.

I. INTRODUCCIÓN

Las inundaciones se presentan por el aumento de caudal de los ríos, dejando como consecuencia daños materiales y pérdidas humanas, todo esto se da debido al incremento de las precipitaciones que se dan por las temporadas lluviosas, en el Perú estas inundaciones generalmente ocurren en los meses de verano (diciembre a marzo). La Municipalidad Distrital de Lurín en su informe de evaluación de riesgos del 2020, manifiesta que los fenómenos hidrometeorológicos que se producen en la sierra Sur y Central del país generan el aumento del caudal e inundaciones del río Lurín.

El aumento de lluvias podría traer consecuencias como inundaciones, deslizamientos, huaycos, entre otros tipos de movimiento en masa, por eso es importante conocer e identificar las áreas que están expuestas a estos fenómenos.

En el año 2017 se presentó el Niño costero, ocurriendo después de 20 años del último fenómeno, el Niño, dejando daños a la vida y salud, así como a la infraestructura pública, a causa de las inundaciones, deslizamientos, entre otros eventos causados por el niño costero. (INDECI, 2017, p.13)

Estos daños causados a la vida y salud de las personas se estima en 285 453 personas damnificadas , 1 454 051 personas afectadas , 138 personas fallecidas , 459 personas Heridas y 18 personas desaparecidas y en daños causados a la infraestructura pública se estima 63 802 viviendas destruidas , 350.181 viviendas afectadas , 318 II.EE. destruidos e inhabitables , 2.870 II.EE. afectadas , 62 II.EE. destruidos e inhabitables y 934 II.EE. afectados , que se produjeron en el año 2017 por consecuencia del niño costero ,por ello es importante conocer y evaluar la variación de los caudales máximos que se podrían generar en el río Lurín y que llega al valle de Lurín.

Por lo tanto, se propone realizar un modelamiento hidrológico entre la avenida panamericana sur y la avenida Malasquez Chacaltana, utilizando el Software HEC-RAS, con el fin de identificar zonas inundables, ya que el modelo nos dará como resultado cual es el caudal máximo con que se produzca las inundaciones del rio Lurín, así como las áreas inundadas y con ayuda del software ARCGIS se podrá calcular cuantas hectáreas ha sido afectada.

1.1. Descripción y formulación del problema

Los casos de Inundaciones en el Perú y su relación con eventos extremos, impactos económicos y sociales en las tres cuencas, el ANA (2015) señala:

Pacífico, Amazonas y Titicaca; han causado desbordamientos en las calles y casas, inundado o destruido canales de riego, interrumpido o destruido carreteras, interrumpido el suministro de agua potable y contaminado, inundando y erosionados predios agrícolas y falla de drenes. (p.5) En resumen, afectación importante a las actividades económicas del país.

Las inundaciones en nuestro país cada año han sido más recurrentes en casi todas las regiones, estos hechos han puesto en alerta a todas las autoridades locales, provinciales y regionales sobre el estado de la vulnerabilidad que tiene la población de más bajos recursos asentada en la franja marginal de las fuentes hídricas, los cuales provocan la obstrucción de los cauces naturales reduciendo el cauce propio y disminuyendo su capacidad de descarga.

En el curso del río Lurín, la inundación se produce por el desbordamiento de una avenida ordinaria o inusual con gran potencial de erosión o sedimentación. Durante esta inundación, se producen daños a los cultivos, se reducen las tierras agrícolas, se degrada la infraestructura vial, hidráulica y centros poblados; amenazan la vida de los residentes. Por ese motivo, el valle se considera muy vulnerable a estas inundaciones; debido a las actividades humanas y la falta de defensas ribereñas, la vegetación es casi inexistente, el cauce del río está congestionado, etc.

La investigación se desarrolla en el tramo del río Lurín entre la Avenida Panamericana Sur y la Avenida Malasquez Chacaltana, el cual aborda los distritos de

Lurín y Pachacamac, se desarrolla un modelamiento hidrológico con el fin de identificar zonas inundables a diferentes tiempos de retorno y las afectaciones que se originaran sobre la población y sus actividades.

1.1.1. Problema general

¿En qué medida el modelamiento hidrológico utilizando el software HEC-RAS, permitirá identificar las zonas inundables entre la avenida Panamericana Sur y la avenida Malasquez Chacaltana del río Lurín, en los distritos de Lurín y Pachacamac, ¿provincia de Lima?

1.1.2. Problemas específicos

¿De qué manera calculando los parámetros geomorfológicos necesarios, ayudara a realizar el modelamiento hidrológico entre la avenida Panamericana Sur y la avenida Malasquez Chacaltana del río Lurín, en los distritos de Lurín y Pachacamac, provincia de Lima?

¿De qué manera obteniendo los caudales máximos para periodos de retorno de 20, 50, 100, 200 y 500 años con el software HEC –HMS permitirá realizar el modelamiento hidrológico entre la avenida Panamericana Sur y la avenida Malasquez Chacaltana del río Lurín, en los distritos de Lurín y Pachacamac, provincia de Lima?

¿De qué manera elaborar mapas de inundación para diferentes tiempos de retorno permitirá determinar zonas de riesgo entre la avenida Panamericana Sur y la avenida Malasquez Chacaltana del río Lurín, en los distritos Lurín y Pachacamac, provincia de Lima?

1.2. Antecedentes de la investigación

1.2.1. Nacionales

Muñoz y Quinde (2021), realizaron una investigación titulada “Modelamiento Hidrológico e Hidráulico de la Quebrada San Idelfonso para localizar áreas de inundación en Trujillo utilizando HEC-HMS y HEC-RAS” el cual propusieron como objetivo general realizar el modelamiento hidrológico e hidráulico de la quebrada San Idelfonso para identificar sus áreas inundables.

La metodología que utilizo para el tipo de investigación fue la del tipo aplicada y su diseño de investigación fue la experimental. Para realizar la investigación determinaron parámetros morfológicos de la microcuenca como es el área, perímetro, cotas, entre otros, de igual manera calcularon los caudales, para ello requirieron información del coeficiente de escorrentía, cobertura vegetal, pendiente y tipo de suelos, todo ello obtenido de la imagen satelital ALOS PALSAR. Para los cálculos estadísticos utilizo el software Hidroesta 2, para procesar la imagen satelital ALOS PALSAR utilizo el software ARCGIS y para realizar el modelamiento utilizo el software HEC RAS.

La investigación tuvo como resultado la inundación del río con un caudal de 99.7 m³ /s para un periodo de retorno de 20 años.

Alcántara y Castro (2021), realizaron una investigación titulada “Determinación de zonas inundables con HEC-RAS en zonas de la Cordillera Central de los Andes Microcuenca del río Saraus-río La Llanga. Celendín”, publicado en la Revista de Investigación de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima-Perú, el cual tuvo como objetivo determinar las zonas de inundación y su recorrido en ríos primarios en la Cordillera de los Andes.

Las herramientas que utilizo para realizar el modelamiento fue el software HEC RAS, modelamiento de elevación digital (DEM/SRTM) y sistemas de información geográfica. Los periodos de retorno donde se generó la inundación fueron para 30, 50 y 100 años.

La investigación concluye con la inundación para tiempos de retorno de 30, 50 y 100 años generando distintas zonas de inundación, debido a que presenta una altura de 10 metros de cota y anchos de 140 metros.

Mamani y Llanchipa (2020), realizaron una investigación titulado “Definición de zonas de inundación mediante el modelo de simulación HEC-RAS en la cuenca baja del río Coata – Puno”, tuvieron como objetivo determinar las principales zonas afectadas por inundaciones mediante el modelo de simulación hidráulica HEC-RAS en la cuenca baja del río Coata.

La metodología para la recolección de datos fue descargar la imagen satelital ALOS PALSAR con una resolución espacial de 12.5 metros, datos topográficos, caudales máximos anuales y el coeficiente de rugosidad.

Para realizar la sección transversal del río utilizaron el software ARCGIS con su extensión HEC GEORAS con apoyo del modelo de elevación digital (DEM) , para luego realizar el modelamiento con el software HECRAS y terminar elaborando mapas de inundación con los datos obtenidos del software HECRAS

Obtuvieron como resultado la identificación de zonas inundadas con un caudal de 428.06 m³ /s. para un tiempo de retorno de 5 años, con un área 134 hectáreas afectadas por el desbordamiento.

Cardich (2017), en su trabajo de investigación titulado “Modelación de máximas avenidas en la cuenca del rio Lurín utilizando modelos hidrológico e hidráulico”, tiene como objetivo principal Realizar la modelación de las máximas avenidas en la cuenca del

río Lurín la cual incluye el modelamiento hidrológico de la cuenca y el modelamiento hidráulico del tramo crítico del río. Para el trabajo de investigación la elaboración consistió en la recopilación y procesamiento de la información pluviométrica, así como de la información cartográfica, esta última sirvió para hacer el pre-proceso con HEC-GeoHMS y exportarlo a HEC-HMS.

Obtuvieron como resultado de la simulación, los caudales máximos avenidas de 97.4 m³/s, 127.3 m³/s y 152.6 m³/s para los periodos de retorno de 100, 200 y 500 años respectivamente. Asimismo, calcularon las áreas afectadas los cuales resultaron de 149 ha, 174 ha y 189 ha, para 100, 200 y 500 años, respectivamente y estimaron las pérdidas económicas los cuales alcanzaron 2.9, 3.4 y 3.7 millones de dólares.

Soto (2017), realizo una investigación titulada “Modelamiento hidráulico y diseño de defensas ribereñas del Río Amojú, localidad el Parral-Jaén-Cajamarca”, El presente trabajo de investigación tiene por objetivo, desarrollar un modelamiento hidrológico e hidráulico del río Amojú para poder determinar las zonas de riesgo de inundación en la localidad el Parral, con fines de diseño de defensas ribereñas. El trabajo consistió en la recopilación y procesamiento de información cartográfica, luego se realizó un estudio hidrológico de máximas descargas del río Amojú, con la topografía digitalizada del cauce y el apoyo del software HEC – RAS se realizó el modelamiento hidráulico. Con el estudio hidrológico se logró calcular el caudal de diseño para diferentes probabilidades de acierto y períodos de retorno, el modelamiento hidráulico nos permitió determinar e identificar las principales zonas de inundación. Entonces identificadas las zonas de inundación y el caudal de diseño se realizó el diseño de la defensa ribereña. La modelación hidráulica, lo realizó para un tramo de río de 5.6 km, por lo tanto, contó con una información topográfica obtenida de un levantamiento elaborado en época de estiaje. Los

resultados que obtuvo para periodo consecutivo de 200 años fue un caudal de 275.73 m³/s con un área afectada 33 468.51 m².

1.2.2. Internacionales

Rosales (2021), en su investigación titulada “modelación hidrológica e hidráulica para la identificación de zonas inundables en un tramo del río Sardinal, carrillo, Guanacaste, Costa Rica” en la Universidad Nacional Costa Rica –Costa Rica. La investigación tuvo como objetivo Identificar, mediante el uso de la modelación hidrológica e hidráulica, las de áreas de mayor vulnerabilidad a riesgos por inundación en un tramo del río Sardinal, Carrillo, Guanacaste, Costa Rica. El tipo de investigación es aplicada y experimental además utiliza una metodología combinada de aspectos cualitativa y cuantitativa.

La fuente y técnicas de recolección de la información que utilizo es la de revisión de la información que tenga relación con riesgos por inundación a nivel local y regional así mismo precipitación máxima en 24 horas.

La investigación concluyo con la identificación de las zonas más vulnerables ante el desborde del río Sardinal, por motivo de las inundaciones afectando más al margen izquierdo, lo cual corresponde a zonas donde se encuentran viviendas colindantes.

Zambrano (2020) , en su trabajo de investigación titulado “Estudio Hidrológico - Hidráulico, de un tramo de la quebrada “El Chorro” en el sector de Ucubamba ” de la Universidad Del Azuay , Cuenca-Ecuador , tuvo como objetivo Elaborar un estudio Hidrológico - Hidráulico, de un tramo de 363 metros de la quebrada “El Chorro” hasta su desembocadura en el río Cuenca, para lo cual realizaron modelaciones tanto hidrológicas como hidráulicas (1D), y encontrar los caudales máximos en diferentes tiempos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50, y 100 años

En su estudio utilizaron los softwares HEC-HMS y HEC-RAS donde simularon hidrológicamente e hidráulicamente, respectivamente, así mismo usaron el método racional para hallar los caudales máximos de diseño.

Para el presente estudio se utilizan los softwares HEC-HMS y HEC-RAS para las simulaciones hidrológicas e hidráulicas, respectivamente. Como un complemento del análisis hidrológico se utilizará el método racional para hallar los caudales máximos de diseño y compararlos con los resultados obtenidos en la modelación HEC-HMS.

Los resultados obtenidos con la simulación para tiempos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50, y 100 años fueron 5.41, 8.27, 10.94, 15.12, 18.94 y 23.84 m³/s respectivamente.

Rivera (2020), realiza su investigación titulada “determinación de la superficie de inundación del Río Bogotá en el sector de la universidad militar nueva granada - sede campus Cajicá” en la Universidad Militar Nueva Granada-Colombia. La investigación tuvo como objetivo Determinar las potenciales zonas inundables de la Universidad Militar Nueva Granada Sede Campus Cajicá, a partir de un modelo hidrológico e hidráulico de la cuenca alta del Río Bogotá. Realizó un análisis estadístico de probabilidades para el manejo de datos hidrometeorológicos con el fin de comprender el escenario de inundación por precipitación extrema para diferentes periodos de retorno, luego genero modelos hidrológicos e hidráulicos de las zonas inundables con ayuda del sistema de Información Geográfica ARCGIS, el cual a su vez integró con el software de análisis hidráulico HECRAS y el desarrollo del hidrograma unitario propuesto por la SCS para el desarrollo dinámico del flujo del río representado en animaciones de eventos hidrometeorológicos extremos.

En su investigación concluyo que a partir de la modelación hidráulica e hidrológica mediante recursos como ARGIS y HEC-RAS determino las potenciales zonas de inundación de la universidad militar nueva granada sede campus Cajicá.

Chilito (2018), realiza la investigación titulada “definición de zonas de inundación mediante el uso del modelo de simulación HEC-RAS en un tramo de caño grande, barrio El Rubí – Villavicencio” en la Universidad Santo Tomas –Colombia. La investigación tuvo como objetivo Definir las potenciales zonas de inundación de caño grande en el barrio el Rubí de Villavicencio mediante el uso de un modelo del programa HEC-RAS para establecer las respectivas zonas de riesgo en el ordenamiento ambiental de la microcuenca. El tipo de estudio es experimental y el factor de diseño se enfoca en los efectos de los caudales sobre los límites máximos y mínimos de inundación en 8 tramos establecidos en Caño Grande a su paso por el barrio el Rubí en la ciudad de Villavicencio.

Para la obtención de áreas de inundación en el barrio el Rubí de la ciudad de Villavicencio procedió a medir los caudales de Caño Grande a su paso por el barrio el Rubí en la ciudad de Villavicencio, esto lo realizó durante un periodo de 6 meses en el cual se levantó los datos batimétricos y velocidades del cuerpo hídrico en campo.

Su investigación concluyo que la generación de los mapas permite detallar mejor las zonas vulnerables y así mismo los niveles de precipitación en los cuales podrían generarse estas inundaciones y que gracias a esto se podrían establecer alertas tempranas constantemente monitoreadas por la misma comunidad, informando sobre eventos inesperados y previniendo futuras perdidas.

Pérez (2017), realiza la investigación titulada “delimitación de áreas de inundación usando la herramienta HEC-RAS y su aplicativo S.I.G HEC-GEORAS en la acequia Las Mercedes, Valledupar” en la Universidad de Manizales –Colombia. La investigación tuvo como objetivo general Delimitar las áreas de inundación usando la herramienta HEC-RAS y su aplicativo S.I.G HEC-GEORAS en la acequia Las Mercedes – Tramo La Victoria, en el municipio de Valledupar. La técnica aplicada que se basó para

este trabajo fue en la de determinar las características hidráulicas y geométricas del canal por medio de un perfil hidráulico, a fin de observar las variaciones del flujo a lo largo de este cuerpo de agua. El método de investigación que utilizo fue la investigación aplicada. Los resultados obtenidos por la simulación, fueron los caudales máximos a diferentes tiempos de retorno, los cuales fueron: 101.04 m³/s, 133.08 m³/s, 161.20 m³/s, 214.86 m³/s, 264.32 m³/s, 331.12 m³/s y 569.07 m³/s para 2, 5, 10, 25, 50, 100 y 500 años respectivamente.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

- Determinar en qué medida el modelamiento hidrológico usando el software HEC- RAS, permitirá identificar las zonas inundables entre la avenida panamericana sur y la avenida Malasquez Chacaltana del río Lurín, en los distritos de Lurín y Pachacamac de la provincia de lima.

1.3.2. Objetivo específico

- Calcular los parámetros geomorfológicos necesarios para realizar el modelamiento hidrológico entre la avenida Panamericana Sur y la avenida Malasquez Chacaltana del río Lurín, en los distritos de Lurín y Pachacamac, provincia de Lima.

- Obtener los caudales máximos para periodos de retorno de 20, 50, 100, 200 y 500 años con el software HEC HMS para realizar el modelamiento hidrológico entre la avenida Panamericana Sur y la avenida Malasquez Chacaltana del río Lurín, en los distritos de Lurín y Pachacamac, provincia de Lima.

- Elaborar mapas de inundación para diferentes tiempos de retorno para determinar zonas de riesgo entre la avenida Panamericana Sur y la avenida Malasquez Chacaltana del río Lurín, en los distritos de Lurín y Pachacamac, provincia de Lima.

1.4. Justificación

La presente investigación considera identificar las zonas inundables entre la avenida Panamericana Sur y la avenida Malasquez Chacaltana del río Lurín, de los distritos de Lurín y Pachacamac, provincia de Lima, población que está expuesta en la margen ribereña del río Lurín, este modelo hidráulico permitirá simular las áreas afectadas por la inundación de acuerdo a los caudales históricos del río y será información importante para el ordenamiento territorial y la zonificación urbana de las municipalidades de Lurín y Pachacamac.

Actualmente la costa de nuestro país se ha visto afectada por el “fenómeno costero” lluvias que se dieron en la cuenca baja de los ríos que desembocan en el océano pacífico trayendo consecuencias graves de pérdidas de vidas humanas e infraestructura, debido a estos eventos de inundación surge la necesidad de implementar y difundir metodologías adecuadas para el estudio de riesgos por inundaciones y adaptadas a las condiciones regionales; la investigación da a conocer sus alcances, limitaciones y conclusiones y recomendaciones que puedan ser de utilidad para posteriores investigaciones y la toma de decisiones de los gestores del territorio.

Los adelantos en las ciencias de la computación, especialmente los relacionados con la simulación numérica de fenómenos del mundo real, han permitido el estudio de problemas complejos relacionados con la hidráulica, haciendo posible evaluar e incluso predecir ciertos eventos.

Es por ello que gracias a los modelos matemáticos que simulan la hidráulica de las crecidas de agua, es posible abordar hipótesis lo suficientemente realistas o predecibles, brindándonos cierto grado de confianza y seguridad en la toma de

decisiones, como lo puede ser en la zonificación del territorio en torno a nuestros ríos, o en los requerimientos de diseño. (Brugal, 2010, p.21).

La importancia de la investigación es presentar un escenario de posibles zonas afectadas por inundación y estar prevenidos ante estos posibles hechos, poniendo en práctica las medidas de reducción del riesgo de desastres de orden estructural y no estructural.

1.5. Hipótesis

1.5.1. Hipótesis principal

- La identificación de zonas inundables entre la avenida Panamericana Sur y la avenida Malasquez Chacaltana del río Lurín, en los distritos de Lurín y Pachacamac, provincia de Lima, será determinada por el modelamiento hidrológico utilizando el software HEC RAS.

1.5.2. Hipótesis secundaria

- Calculando los parámetros geomorfológicos necesarios permitirá realizar el modelamiento hidrológico entre la avenida Panamericana Sur y la avenida Malasquez Chacaltana del río Lurín, en los distritos de Lurín y Pachacamac, provincia de Lima.

- Obteniendo los caudales máximos para periodos de retorno de 20, 50, 100, 200 y 500 años con el software HEC HMS permitirá realizar el modelamiento hidrológico entre la avenida Panamericana Sur y la avenida Malasquez Chacaltana del río Lurín, de los distritos de Lurín y Pachacamac, provincia de Lima.

- La elaboración de mapas de inundación para diferentes tiempos de retorno determinara zonas más inundables entre la avenida Panamericana Sur y la avenida Malasquez Chacaltana del río Lurín, en los distritos de Lurín y Pachacamac, provincia de Lima.

II. MARCO TEORICO

2.1. Inundaciones

Se define inundación cuando las aguas (ríos, riachos y galerías pluviales) sobrepasa el lecho del río, ocupando el espacio utilizado por la población para construir su vivienda, transporte (autopistas, calles y paseos públicos) comercio, entre otros (Tucci ,2007, p.40).

Para Velis et al. (1991), define a las inundaciones como un fenómeno natural que puede ser provocado por la frecuencia de las lluvias en una determinada región que da como resultando la inundación de extensas zonas. Así mismo puede ser de origen artificial provocado por la rotura de presas, cisternas captadoras de agua, rotura de tanques o dificultad en la canalización por bloqueo natural o artificial. (p.14)

La inundación ocurre cuando el agua ocupa áreas generalmente secas, por el aumento del agua que excede el nivel del terreno de los cauces ya se de los ríos, lagos, acuíferos u océanos (Sedano, 2012, p.20).

Las causas de inundación más comunes que se dan son por las crecientes de corrientes y de ríos, así también las mareas inusualmente altas que son consecuencia de tormentas severas (Chow et al., 1994, p.531).

2.1.1. Inundaciones lentas o progresivas

Estas inundaciones se dan por aquellas precipitaciones que duran un largo tiempo y se manifiestan en áreas planas cercana a las riberas de los ríos (Sedano, 2012, p.20).

2.1.2. Inundaciones torrenciales o súbitas

Para Sedano (2012) estas inundaciones se dan en tormentas fuertes que pueden darse en minutos u horas, que tiene la particularidad primordial de una gran capacidad

de arrastre de materiales y un gran poder destructivo. También se dan de manera artificial provocada por la rotura de diques construidos o represamientos de agua (p.20).

2.1.3. Inundaciones por afloramiento de aguas subterráneas

Para Sedano (2012), estas inundaciones se dan de manera natural por aquellas precipitaciones fuertes y de larga duración, por la anulación del uso de un acuífero o por defectos en el bombeo, las anteriores modalidades pueden conducir la elevación del agua en el acuífero generando la inundación en la superficie del suelo, principalmente en las zonas bajas comunicadas con el acuífero. (p.21)

2.1.4. Inundaciones urbanas

Las inundaciones urbanas se clasifican en dos tipos:

A. Inundaciones pluviales. INDECI (2011) nos dice que la inundación pluvial ocurre cuando una determinada zona geográfica se ve afectada por la acumulación de agua de lluvia, con lo que puede o no coincidir con la inundación de un cauce fluvial. Las causas de estas inundaciones se dan por la concentración de una gran cantidad de volumen de agua de lluvia en un lapso de tiempo muy breve generado por las lluvias intensas o por la influencia de una precipitación moderada y constante durante un extenso periodo de tiempo sobre un suelo poco permeable. (p.12)

Inundaciones fluviales. ocurren por el desbordamiento de los arroyos y los ríos. La crecida es el resultado del exceso de lluvias aumentando de manera brusca el volumen de agua transportado por un cauce sin desbordarse (INDECI, 2011, p.12).

2.2. Hidrología.

La hidrología es la ciencia natural que estudia el agua, su presencia, desplazamiento y administración en la superficie terrestre, sus propiedades químicas y físicas y su relación con el medio ambiente. (Villón, 2011, p.15)

Dingman (1994) citado por Breña y Jacobo (2016)) definen a la hidrología como la ciencia que tiene como centro de estudio el ciclo hidrológico global y a las etapas que intervienen en dicho proceso, en otras palabras, es la geociencia que a través de los diferentes intervalos de espacio y tiempo , describe y predice al agua , en las etapas terrestre , oceánica y atmosférica del sistema hídrico global .también describe y predice los procesos químicos , físicos y biológicos de la trayectoria del agua a través de su movimiento sobre y debajo de la superficie terrestre .(p. 10)

2.3. Evapotranspiración

Es la cantidad total de agua que ingresa a la atmósfera a través de procesos de evaporación obstaculizados por el suelo y las plantas (Gómez ,1987).

2.3.1. Evapotranspiración potencial (ETP)

Es el volumen máximo de agua perdida por una capa continua de vegetación, cuando el suministro de agua es ilimitado (Gómez ,1987).

2.3.2. Evapotranspiración real (ETR)

Es el volumen de agua que en realidad se devuelve a la atmósfera por el procedimiento de evapotranspiración. (Gómez ,1987).

Los factores más importantes que afectan la intensidad de la evapotranspiración son (Gómez ,1987):

- Energía utilizable para la evaporación del agua.
- Asistencia de agua a la zona evaporante
- Capacidad de transporte aéreo de vapor
- Tipo de vegetación

2.4. Modelos hidrológicos

Para Pascal (2016) un modelo permite crear una situación sintetizada del mundo real que permite tener una apreciación de lo que pasaría bajo ciertas circunstancias. Los modelos hidrológicos pretenden crear diferentes procesos que ocurren dentro de un determinado espacio, principalmente en una cuenca, y que transforman desde el inicio, una precipitación en escorrentía. Los modelos desde un inicio cumplen un rol fundamental en muchas áreas de la hidrología, entre ellos, la aplicación es usual en la predicción de alarma temprana de riesgos de avenidas e inundaciones, en el diseño de infraestructuras como pantanos y presas, en la agricultura, estudios de impacto ambiental, etc. (p.12)

2.4.1. HEC RAS

Lluén (2015) nos dice que el análisis de flujo en distintas condiciones, el software HEC RAS de uso libre, ha venido desarrollando nuevas herramientas de trabajo durante un proceso evolutivo, que va desde la versión 2.2 hasta 5.0. En la tabla 1 se puede apreciar que en un inicio analiza el flujo de forma unidimensional, solo en condiciones permanentes hasta llegar a la modelización en dos dimensiones, para flujo no permanente. (p.10)

Tabla 1

Evolución del tipo de modelización y herramientas de análisis de HEC-RAS.

Versión HEC-RAS	Modelización 1D	Modelización Cuasi 2D	Modelización 2D	Flujo Permanente	Flujo No Permanente	Análisis de Transporte de Sedimentos	Análisis de Calidad de Agua
2.2	✓			✓			
3.1.3	✓			✓	✓		
4.1.0	✓	✓		✓	✓	✓	✓
5.0	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Nota: aplicación de la herramienta HEC RAS desde la versión 2.2 de cálculos 1D hasta el 5.0 de cálculos 2D en flujos de agua de ríos, información obtenida de Lluén, (2015).

2.4.2. HEC-HMS

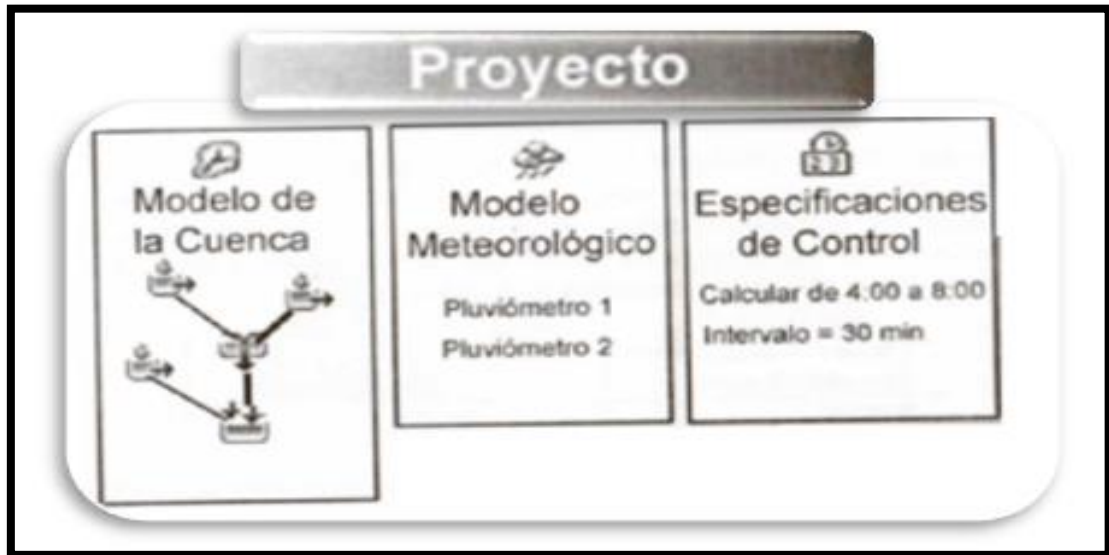
Villón (2004) nos dice que el centro de ingeniería hidrológica (HEC – Hydrologic Engineering Center) a través del cuerpo de ingenieros de los Estados Unidos (US Army Corps) ha desarrollado una aplicación importante para el modelado hidrológico llamado El HEC – HMS, sistema de modelado hidrológico (HMS – Hydrologic Modelin System).

El escurrimiento superficial como producto de una precipitación de un río en una cuenca, tendrá solución a través de la simulación modelando con el HEC-HMS como un sistema vinculado de componentes hidrológicos e hidráulicos. Cada componente está ligado a un estado del proceso de escurrimiento por precipitación y puede representar una identidad de escurrimiento superficial, embalse o un canal de lujo. Así mismo necesita de un conjunto de parámetros que detallen sus propiedades particulares del componente y sus relaciones matemáticas que especifiquen el proceso físico. El modelo HEC HMS da como resultado, el cálculo de los hidrogramas de flujo en sitios seleccionados de la cuenca del río. (p.415)

2.4.2.1. Componentes de un proyecto en HEC-HMS. Los componentes necesarios para realizar un proyecto en el HEC –HMS son los siguientes:

Figura 1

Componentes de un Proyecto en HEC-HMS



Nota: ejemplo de componentes para realizar un proyecto en HEC-HMS, Información obtenida de Villón (2008).

A. Modelo de la cuenca (*basin model*). El componente de modelo de la cuenca es donde se ingresa las subcuencas y sus características, para un proyecto se podrá agregar desde una sola a varias subcuencas, en general el modelo de la cuenca es la parte física de la cuenca. (Villón, 2008, p.37).

B. Modelo meteorológico (*meteorological model*). Para Villón (2008) este componente relaciona los registros pluviográficos con la subcuenca asignada, además se incluyen los datos de los pluviómetros, ya sea la precipitación real, precipitaciones teóricas o tormentas de diseño. Cuando se usan varios pluviómetros el usuario deberá señalar las coordenadas para que el HEC HMS logre calcular el promedio para cada subcuenca. (p.37)

C. Especificaciones de control (control specifications). En este componente el usuario deberá introducir los tiempos de simulación y optimización, es decir en qué momento deberá empezar y terminar los cálculos, así como los aumentos de tiempo (Time interval) (Villón, 2008, p.37).

2.4.3. HIDROESTA 2

Villón (2012) nos dice que la información hidrometeorológica de los datos de precipitación, caudal, temperatura, evaporación, etc., son los requeridos para los estudios hidrológicos, estos datos recopilados, son solo información en bruto, pero si están bien organizados y analizados, proporcionarán a los hidrólogos una herramienta muy útil para la toma de decisiones en el diseño de las instalaciones de riego. HIDROESTA, es una herramienta que ayuda y sintetiza los laboriosos cálculos y análisis ricos en información que se deben realizar en los estudios hidrológicos. (p.66)

HIDROESTA 2 permite:

- Calcular parámetros estadísticos, con datos agrupados y no agrupados, tanto con momentos tradicionales como lineales.
- Calcular regresiones lineales, no lineales, simples y múltiples, así como regresiones polinómicas.
- Evalúa si una secuencia de datos se ajusta a una serie de distribuciones, ya sea Normal, Log-normal, Gamma, Log-Pearson Tipo III, Gumbel y Log-Gumbel, tanto con momentos ordinarios como con momentos lineales. Si la serie de datos corresponde a una distribución, entonces puede computar, por ejemplo, caudales de diseño o precipitación, con un periodo de retorno determinado o con una cierta probabilidad de ocurrencia.
- Calcular en base de una curva de variación estacional o temporal, diseña eventos con cierta probabilidad de ocurrencia.

- Realizar un análisis de tormentas y calcular la intensidad máxima, a partir de datos pluviogramas, así como la intensidad máxima de diseño para un período e intervalo de retorno determinados, a partir de perfiles de intensidad de grado máximo. También facilita el cálculo de la precipitación promedio por los métodos promedio aritmético, polígonos de Thiessen e isoyetas.
- Los cálculos de aforos realizados con molinetes o correntómetros.
- Cálculo de caudal máximo, con métodos empíricos (racional y Mac Math) y estadísticos (Gumbel y Nash).
- Cálculo de evaporación de agua mediante métodos de Thorthwaite, BlaneyCriddle, Penman, Hargreaves y cálculo de balance hídrico.

Asimismo, las ecuaciones que utiliza el software Hidroesta en los cálculos, el usuario podrá consultarlo a través de ayuda. (Villón, 2012, p.67)

2.4.4. Extensión HEC-GEORAS

Para Molero (2013) nos dice que es una extensión del software ArcGis desarrollada por el Centro de Ingeniería Hidrográfica (HEC) del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos y el Instituto de Investigación de Sistemas Ambientales (ESRI). Es esencialmente un conjunto de procedimientos, herramientas y utilidades diseñadas específicamente para el procesamiento de datos georreferenciados que permiten, en un entorno de sistema de información geográfica (SIG), crear condiciones y hacer el trabajo con HECRAS. Del HECGEORAS se genera un archivo para importar geometrías topográficas como cauces de los ríos, secciones transversales, etc. en el software HECRAS. Los resultados producidos de calado y velocidad luego se exportan de HECRAS a ARCGIS y se pueden procesar para generar mapas de inundaciones y amenazas. (p.4)

2.4.5. Extensión HEC-GEOHMS

Para Mathew et al. (2020) el HEC-GEOHMS se desarrolló como un conjunto de herramientas de hidrología geoespacial para hidrólogos e ingenieros con experiencia limitada en GIS. La extensión HEC-GEOHMS garantiza reflejar a los usuarios la información espacial, perfilar características de cuencas hidrográficas, realizar estudios espaciales, delimitar subcuencas y flujos, establecer esquemas para modelos hidrológicos y contribuir con la preparación del informe. Trabajar con HEC-GEOHMS a través de sus interfaces, menús, herramientas, botones y ayuda en línea garantiza a los usuarios crear fácilmente entradas hidrológicas que se pueden usar directamente con su sistema de modelado hidrológico HEC-HMS (Center for Hydrological Engineering). (p.13)

2.4.6. Sistema de información geográfica (SIG)

Para Olaya (2014) un sistema de información geográfica, que es llamado por sus siglas SIG y se define como un sistema de información elaborado para funcionar con datos referenciados por coordenadas espaciales o geográficas. Esto quiere decir que SIG es tanto un sistema de base de datos con facultades específicas para datos georreferenciados como un conjunto de operaciones para funcionar con esos datos. De alguna manera, SIG es un mapa de orden superior. (p.7)

Taguada (2020) nos dice que los sistemas de información geográfica se utilizan para recolectar, administrar y analizar datos de diferentes tipos, mediante el análisis de ubicaciones espaciales y diferentes capas de información reflejadas en mapas. Además, la Organización de los Estados Americanos señala que los SIG pueden utilizarse para evaluar peligros naturales y conocer la probabilidad de que ocurra algo similar en un área determinada al establecer el tamaño de la población, la residencia o el tipo de infraestructura en riesgo. (p. 17)

2.5. Numero de curva

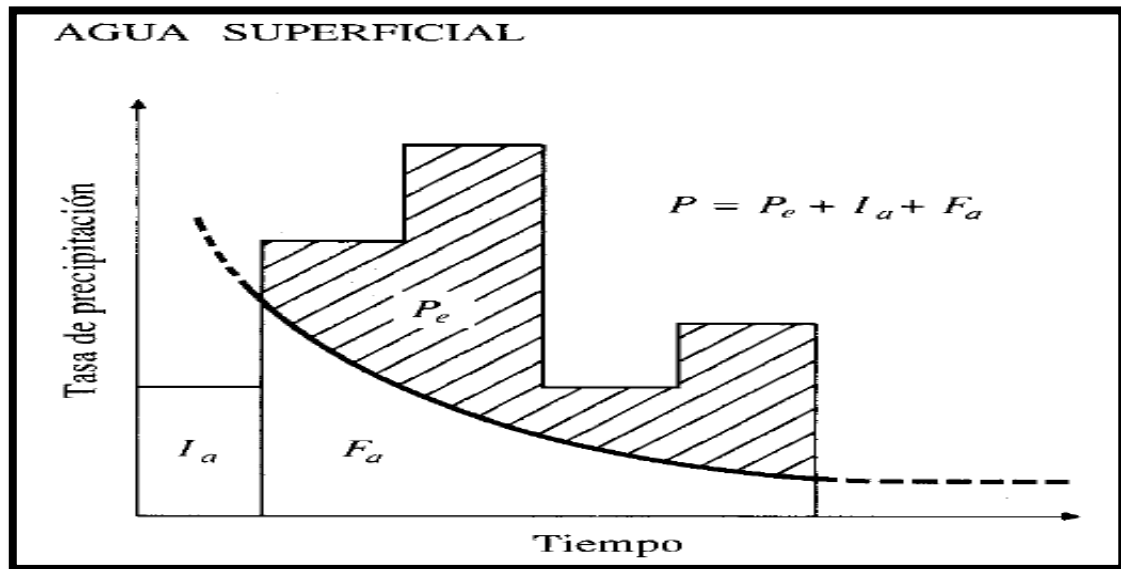
Díaz y Mercado (2017) definieron que el número de curva es un parámetro hidrológico que ayuda a describir el caudal potencial en una cuenca hidrográfica y se establece a partir de ciertas características físicas del territorio como el tipo, densidad y tratamiento de los mantos, así como según el grupo hidrológico de la tierra. (p.3)

2.5.1. Método SCS para abstracciones

Chow et al. (1994) argumenta que el Servicio de Conservación de Suelos (1972) desarrolló un proceso para calcular las abstracciones de la precipitación de una tormenta. Para toda la tormenta, la altura del exceso de precipitación o flujo directo P_e es siempre menor o igual que la altura de la precipitación P ; Asimismo, después del inicio del flujo, la profundidad adicional de agua retenida en la cuenca F_a es menor o igual a cierta retención de energía potencial máxima S . Hay una cierta cantidad de precipitación la (retiro inicial antes de la acumulación) donde no se produce escorrentía, por lo que la escorrentía potencial es $P - la$. (p.150)

Figura 2

Gráfico de agua superficial.



Nota: las variables del servicio de conservación de suelos en el método de abstracciones de precipitación son: P = precipitación, P_e = exceso de precipitación, I_a = abstracción inicial, F_a = abstracción continuada, información obtenida de (Chow et al., 1994, p.151)

La correlación de las dos cantidades reales y las dos cantidades potenciales son iguales, es:

$$\frac{F_a}{S} = \frac{P_e}{P - I_a} \quad (1)$$

Aplicando el principio de continuidad

$$P = P_e + I_a + F_a \quad (2)$$

Relacionando la ecuación (1) y (2)

$$P_e = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S} \quad (3)$$

Por consiguiente, es la ecuación básica para calcular la profundidad del exceso de lluvia o la escorrentía directa de las tormentas empleando el método Servicio de Conservación de Suelos, donde se desarrolló una relación empírica.

$$I_a = 0.2S \quad (4)$$

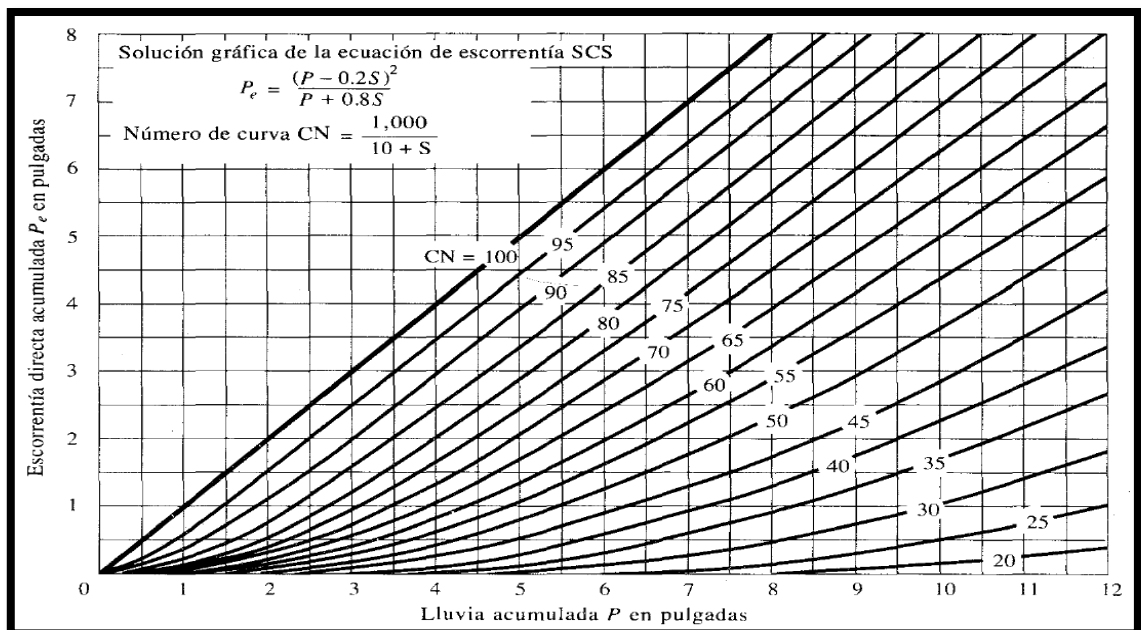
Llevamos esto a la ecuación básica, dando:

$$P = \frac{(P-0.2S)^2}{P+0.8S} 2S \quad (5)$$

El servicio de conservación de suelos localizó curvas, como se observa en la figura 3, por trazar la información de P y Pe para múltiples cuencas hidrográficas (Chow, 1994, p.151).

Figura 3

Grafica de lluvia acumulada Vs Escorrentía directa acumulada.



Nota: solución gráfica de la ecuación de escorrentía SCS, información Obtenida de (Soil Conservation Service, 1972, p. 10).

Las relaciones del número de curva y S, se dan por:

$$S = \frac{1,000}{CN} - 10 \quad (6)$$

De donde S se encuentra en pulgadas. Los números de curva que se muestran en la tabla 2 se aplican a las condiciones de humedad, conocido por sus siglas en inglés AMC, de fondo normal (AMC II), en condiciones secas (AMC I) o húmedas (AMC III), los números de curva equivalentes se pueden calcular mediante:

$$CN_{(I)} = \frac{4.2CN_{(II)}}{10-0.058CN_{(II)}} \quad (7)$$

$$CN_{(III)} = \frac{23CN_{(II)}}{10+0.13CN_{(II)}} \quad (8)$$

Tabla 2

Clasificación de clases antecedentes de humedad (AMC) para el método de abstracciones de lluvia del SCS.

Grupo AMC	Lluvia antecedente total de 5 días (pulg)	
	Estación inactiva	Estación de crecimiento
I	Menor que 0.5	Menor que 1.4
II	0.5 a 1.1	1.4 a 2.1
III	Sobre 1.1	Sobre 2.1

Nota: información obtenida de (Soil Conservation Service, 1972, p.4).

La tabla 2 presenta el rango de condiciones históricas de humedad para cada capa. Los Números de curvas tabuladas por el Servicio de Conservación de Suelos por tipo de suelo y uso de la tierra. Se identificaron cuatro grupos de suelos:

- **Grupo A:** Arena profunda, suelo profundo asentado por el viento, aluvión aglomerado.
- **Grupo B:** Suelo poco profundo con deposición eólica, suelo arenoso
- **Grupo C:** Suelo franco arcilloso, suelo franco arenoso poco profundo, suelo con bajo contenido de materia orgánica y suelo con alto contenido de arcilla.

• **Grupo D:** El suelo se expande considerablemente cuando está mojado, la arcilla es muy plástica y algunos suelos son salados.

Los valores de CN para diferentes tipos de uso de la tierra en estos suelos se presentan en la Tabla 3. Para cuencas hidrográficas que comprenden diferentes tipos de suelo y para diferentes usos de la tierra, se pueden calcular agregados de CN (Chow et al., 1944, p.153).

Tabla 3

Los números de curva para distintos usos de tierra.

Descripción del uso de la tierra		Grupo hidrológico del suelo			
		A	B	C	D
Tierra cultivada ¹ :	sin tratamientos de conservación	72	81	88	91
	con tratamientos de conservación	62	71	78	81
Pastizales :	condiciones pobres	68	79	86	89
	condiciones óptimas	39	61	74	80
Vegas de ríos :	condiciones óptimas	30	58	71	78
Bosques :	troncos delgados , cubierta pobre , sin hierbas , cubierta	45	66	77	83
	buena ²	25	55	70	77
Áreas abiertas ,césped , parques , campos de golf , cementerios , etc	óptimas condiciones :cubierta de pasto en el 75% o más	39	61	74	80
	condiciones aceptables :cubierta de pasto en el 50 al 75%	49	69	79	84
Áreas comerciales de negocios (85% impermeables)		89	92	94	95
Distritos industriales(72 % impermeables)		81	88	91	93
Residencial ³					
Tamaño promedio del lote	Porcentaje promedio impermeable				
1/8 acre o menos	65	77	85	90	92
1/4 acre	38	61	75	83	87
1/3 acre	30	57	72	81	86
1/2 acre	25	54	70	80	85
1 acre	20	51	68	79	84
Parqueadores pavimentados , techos , accesos , etc . ⁵		98	98	98	98
Calles y carreteras					
Pavimentados con cunetas y alcantarillados ⁵		98	98	98	98
grava		76	85	89	91
tierra		72	82	87	89
<p>1 para una descripción más detallada de los números de curva para usos agrícolas de la tierra , remitirse a sil conservation service ,1972,Cap.9</p> <p>2 Una buena cubierta está protegida del pastizaje , y los desechos del retiro de la cubierta del suelo.</p> <p>3 Los números de curva se calculan suponiendo que la escorrentía desde las casa y de los accesos se dirige hacia la calles con un mínimo del agua del techo dirigida hacia el césped donde puede ocurrir infiltración adicional.</p> <p>4 Las áreas permeables restantes (césped) se consideran como pastizales en buena condición para estos números de curva.</p> <p>5 En algunos países con climas más cálidos se puede utilizar 95 como número de curva.</p>					

Nota: los datos están condicionados para humedad II, Ia=0.2S, información obtenida de

(Hidrología aplicada- Ven te chow ,1994, p.153)

Tabla 4*Grupo hidrológico del suelo.*

Uso de la tierra	Grupo hidrológico del suelo					
	B			C		
	%	CN	Producto	%	CN	Producto
Residencial(30% impermeable)	20	72	1440	20	81	1620
Residencial(65% impermeable)	6	85	510	6	90	540
Carreteras	9	98	882	9	98	882
Terreno abierto : Buena cubierta	4	61	244	4	74	296
Aceptable cubierta	4	69	276	4	79	316
Parqueaderos	7	98	686	7	98	686
	50		4038	50		4340

Nota : los usos de la tierra y los numeros de curva según suy grupo hidrológico ,información obtenida de (Hidrología aplicada- Ven te chow ,1994, p.154)

2.6. *Intensidad de Lluvia*

2.6.1. Método del instituto Italo-Latinoamericano, SENAMHI y UNI

Esquen y Rodríguez (2016) nos dice que en el año 1982 se publicó " Estudio de la Hidrología en el Perú ", fruto de una cooperación técnica entre el Instituto Italo-Latinoamericano (IILA), el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI) y la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI) , entre sus múltiples áreas de aplicación, permite determinar la altura anual y la intensidad máxima de lluvia en todo el Perú, para lo cual se ha dividido al país en 7 zonas y 38 sub zonas pluviométricas, tomando como base de investigación las condiciones atmosféricas del país , la altitud de la precipitación anual, así como la altitud de la precipitación máxima diaria, para un período mayor o menor que las observaciones emitidas por las 1377 estaciones meteorológicas instaladas en ese momento en todo el país. (p.42)

La intensidad general está dada por la siguiente fórmula:

$$i_{t,T} = a(1 + Kg' \log T)t^{n-1} \quad (9)$$

Concluyen Para tiempos de lluvia comprendidos entre: 3 horas $\leq t \leq$ 24 horas.

Para tiempos inferiores a tres horas, se tiene:

$$i_{t,T} = a(1 + Kg' \log T)(t + b)^{n-1} \quad (10)$$

La altura de lluvia o precipitación se calcula de la siguiente manera:

$$i_{t,T} = \frac{h_{t,T}}{t} \quad (11)$$

Dónde:

it: Intensidad de la lluvia en “t” horas, dado para un periodo de retorno “T”.

ht: Altura de lluvia en “t” horas, dado para un periodo de retorno “T”.

T: Periodo de retorno en años.

t: Duración de la lluvia en horas.

b: Factor de aumento de duración de lluvia en horas,

b: 0.5 horas (costa centro y sur),

b: 0.4 horas (sierra),

b: 0.2 horas (costa norte y selva).

Use este factor solo para períodos de lluvia de menos de tres horas.

K': Constante determinada por las características de cada zona pluviométrica, toma un único valor en todos los puntos de la zona seleccionada (ver la tabla 5).

a: Constante determinada según las características de cada sub zona pluviométrica (ver la Tabla 5).

n: es la constante con el coeficiente "a" definen cada sub zona pluviométrica, la diferencia es que “n” toma un único valor por cada subzona mientras que “a” es un factor variable (ver la Tabla 6).

la siguiente ecuación es para calcular el valor de “a”

$$a(z) = \frac{\varepsilon_g(z)}{t_g^n} = \frac{e_g(z)}{15.2^n} \quad (12)$$

Dónde:

(z): Ley de variación propia de cada sub zona pluviométrica, cambiando con “z”: puede ser: altitud, distancia al mar o distancia a la cordillera (ver la Tabla 5).

tg: Valor “t” equivalente al día, inferido para diferentes estaciones alrededor de un valor medio de 15.2 horas

Nota: Los criterios de estimación para “n” y “a” y de la ley (z) asumen que en la zona hay un pluviógrafo. Por ello no sucede para la mayoría parte de las sub zonas, por lo que todo lo que queda es:

- En las sub zonas de datos faltantes para “n” (ver la Tabla 6), supone que este valor esté incluido entre los calores típico de las subzonas vecinas.
- Fijado “n”, suponer la constante “a” con la relación especificada,

$$\frac{\varepsilon_g}{t_g^n} = \frac{\varepsilon_g}{15.2^n} \quad (13)$$

Tabla 5

División del territorio en zonas y sub zonas pluviométricas y valores de los parámetros $K'g$ y εg .

Zona	$K'g$	Sub zona	εg
123	$K'g = 0.553$	123(1)	$\varepsilon g = 85$
		123(2)	$\varepsilon g = 75$
		123(3)	$\varepsilon g = 100 - 0.022 y$
		123(4)	$\varepsilon g = 70 - 0.019 y$
		123(5)	$\varepsilon g = 24$
		123(6)	$\varepsilon g = 30.5$
		123(7)	$\varepsilon g = -2 + 0.006 y$
		123(8)	$\varepsilon g = 26.6$
		123(9)	$\varepsilon g = 23.3$
		123(10)	$\varepsilon g = 6 + 0.005 y$
		123(11)	$\varepsilon g = 1 + 0.005 y$
		123(12)	$\varepsilon g = 75$
		123(13)	$\varepsilon g = 70$
4	$K'g = 0.861$	4(1)	$\varepsilon g = 20$
5a	$K'g = 11 * \varepsilon g^{(-0.85)}$	5a(1)	$\varepsilon g = -7.6 + 0.006 y$ ($y > 2300$)
		5a(2)	$\varepsilon g = 32 + 0.177 Dc$
		5a(3)	$\varepsilon g = -13 + 0.010 y$ ($y > 2300$)
		5a(4)	$\varepsilon g = 3.8 + 0.0053 y$ ($y > 1500$)
		5a(5)	$\varepsilon g = -6 + 0.007 y$ ($y > 2300$)
		5a(6)	$\varepsilon g = 1.4 + 0.0067$
		5a(7)	$\varepsilon g = -2 + 0.007 y$ ($y > 2000$)
		5a(8)	$\varepsilon g = 24 + 0.0025 y$
		5a(9)	$\varepsilon g = 9.4 + 0.0067 y$
		5a(10)	$\varepsilon g = 18.8 + 0.0028 y$
		5a(11)	$\varepsilon g = 32.4 + 0.004 y$
		5a(12)	$\varepsilon g = 19.0 + 0.005 y$
		5a(13)	$\varepsilon g = 23.0 + 0.0143 y$
		5a(14)	$\varepsilon g = 4.0 + 0.010 y$
5b	$K'g = 130 * \varepsilon g^{(-1.4)}$	5b(1)	$\varepsilon g = 4 + 0.010 y$ ($y > 1000$)
		5b(2)	$\varepsilon g = 41$
		5b(3)	$\varepsilon g = 23.0 + 0.143 y$
		5b(4)	$\varepsilon g = 32.4 + 0.004 y$
		5b(5)	$\varepsilon g = 9.4 + 0.0067 y$
6	$K'g = 5.4 * \varepsilon g^{(-0.6)}$	6(1)	$\varepsilon g = 30.0 - 0.50 Dc$
9	$K'g = 22.5 * \varepsilon g^{(-0.85)}$	9(1)	$\varepsilon g = 61.5$
		9(2)	$\varepsilon g = -4.5 + 0.323 Dm$ ($30 \leq Dm \leq 110$)
		9(3)	$\varepsilon g = 31 + 0.475 (Dm - 110)$ ($Dm < 110$)
10	$K'g = 1.45$	10(1)	$\varepsilon g = 12.5 + 0.95 Dm$

Nota: los valores de K_g y ϵ_g explican la asignación de probabilidades de hg (máxima altura de lluvia anual) en cada punto de estas, información obtenida de (IILA-SENAMHI-UNI, 1983, p.39)

Dónde:

Y: Altitud en metros sobre el nivel del mar (msnm)

Dc: Distancia a la cordillera en kilómetros (km)

Dm: Distancia al mar en kilómetros (km)

Tabla 6

Valores de “a” y “n” en cada punto de las sub zonas.

SUBZONA	ESTACION	TOTAL DE ESTACIONES	VALOR DE n	VALOR DE a
123(1)	321-385	2	0.357	32.2
123(3)	384-787-805	3	0.405	a= 37.85 - 0.0083 y
123(13)	244-193	2	0.432	
123(5)	850-903	2	0.353	9.2
123(6)	840-913-918	4	0.38	11
123(8)	958 654-674-679 709-713-714 732-745-752	9	0.232	14
123(9)	769	1	0.242	12.1
123(10)	446-557-594 653-672-696 708-711-712 715-717-724 757-773	14	0.254	a= 3.01 + 0.0025 Y
123(11)	508-667-719 750-771	5	0.286	a= 0.46 + 0.0023 y
5a(2)	935-968	2	0.301	a= 14.1 - 0.78 Dc
5a(5)	559	1	0.303	a= -2.6 + 0.0031 y
5a(10)	248	1	0.434	a= 5.8 + 0.0009 y

Nota: los parámetros a y n junto con K' definen las curvas de probabilidad pluviométrica

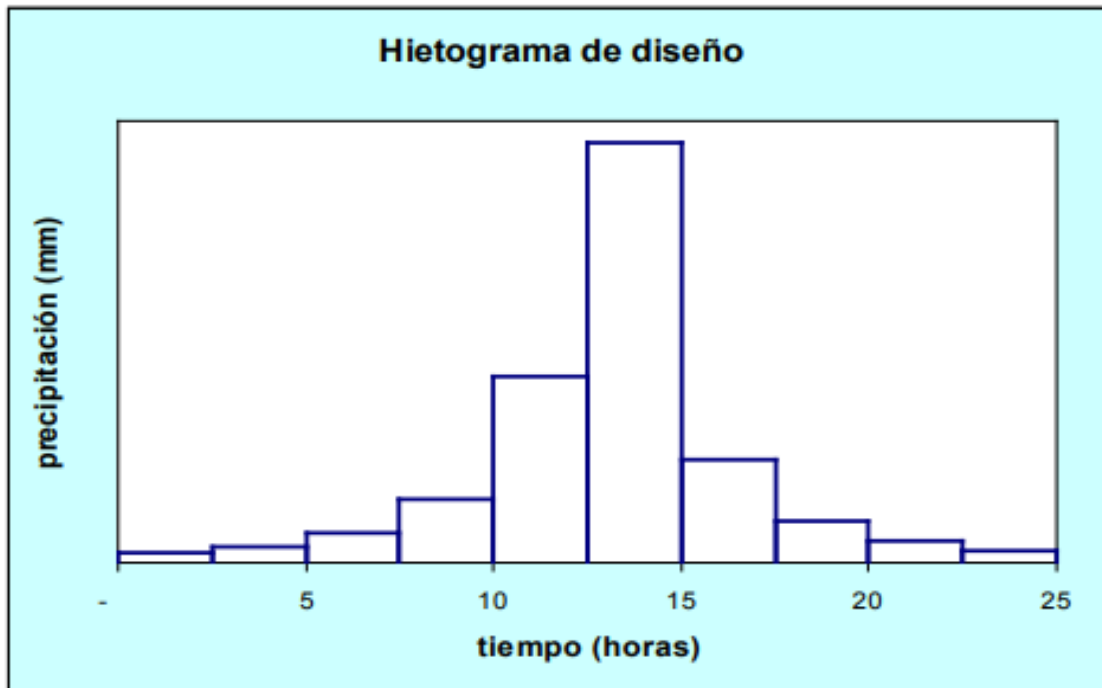
(IILA-SENAMHI-UNI, 1983, p.40).

2.7. Hietograma de diseño

El MTC (2008) argumenta a veces, el hecho de que (por ejemplo) la precipitación máxima para las 5 horas más lluviosas es de 100 mm. Eventualmente necesitemos averiguar el desarrollo de esos 100 mm. durante esas 5 horas. La mayoría de los métodos hidrológicos modernos necesitan no solo valores de precipitación o intensidad de diseño, sino también distribuciones de tiempo (tormenta), por lo tanto, los métodos para estudiar la distribución del tiempo de las tormentas registradas. Una de las formas de obtenerlo es a partir de curvas IDF, donde el método de bloques de sustitución es una forma fácil. (p.40)

2.7.1. Método del bloque alterno

Esquen y Rodríguez (2016) define que el método del bloque alterno es una manera sencilla de desarrollar un hietograma de diseño usando una curva-duración-frecuencia. El hietograma de diseño generado por este método determina la altura de precipitación para “n” periodos de tiempo consecutivos Δt , para el tiempo total $T_d = n \cdot \Delta t$. Después de precisar el intervalo de retorno de diseño, se lee la intensidad en la curva IDF para cada período t , $2\Delta t$, $3\Delta t$, Δt y se encuentra la profundidad de precipitación correspondiente multiplicando la intensidad por la duración. Tomando la diferencia entre valores sucesivos de profundidad de precipitación, encontramos la cantidad de precipitación que debe agregarse por cada unidad de tiempo adicional Δt . Estos incrementos o bloques se reorganizan en márgenes de tiempo de modo que la intensidad máxima se produzca en el centro del intervalo requerido T_d y los otros bloques en orden descendente se alternan a la derecha y a la izquierda del centro para formar el hietograma de diseño, véase la figura 4. (p.50)

Figura 4*Hietograma de diseño.*

Nota: Grafico representado por el tiempo (horas) Vs Precipitación (mm), información obtenida del Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje (MTC, 2008, p.41).

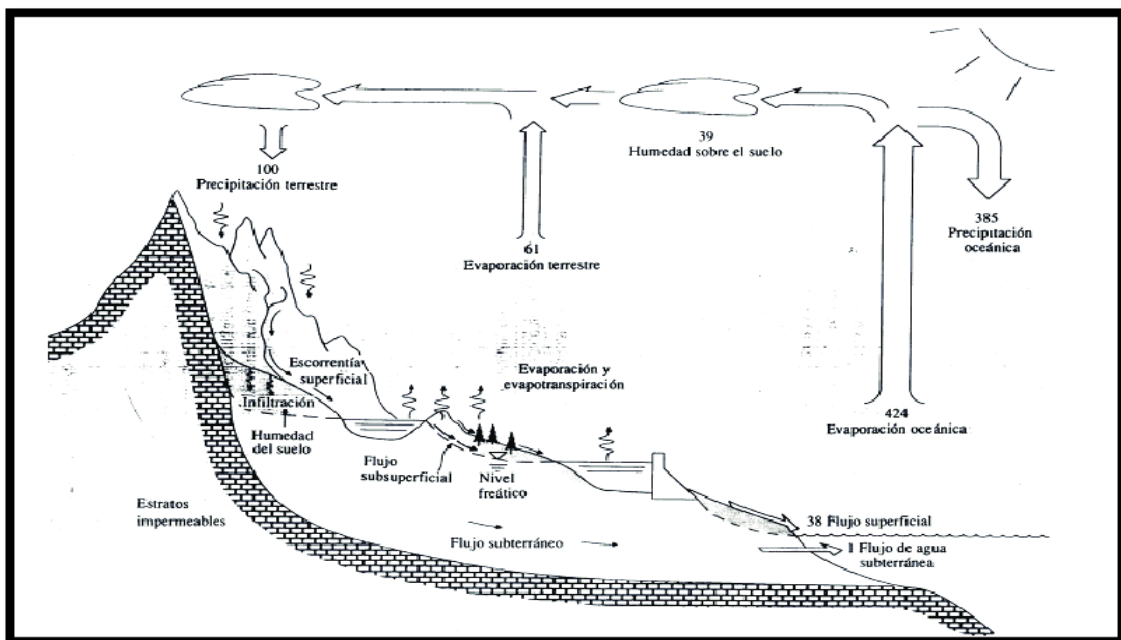
2.8. El ciclo hidrológico

Chow et al. (1994) nos dice que el ciclo hidrológico es la ciencia del agua se ocupa del agua en la tierra: su repartición y circulación, sus propiedades físicas y químicas, sus interacciones con el medio ambiente y con los organismos, y especialmente con los humanos. Se puede considerar que la hidrología incluye todas las ciencias del agua. Más estrictamente hablando, se puede definir como el estudio del ciclo hidrológico, es decir, la circulación constante del agua entre la tierra y la atmósfera. Conocimiento hidrológico aplicado al manejo y control de los recursos hídricos de los continentes del planeta; El agua de mar es el dominio de la ingeniería oceánica y las ciencias marinas. (p.1)

Así también Chow et al. (1994) afirma que es el punto clave de la hidrología. El ciclo no comienza ni termina y sus diversos procesos son continuos (Ver Figura 5) su demostración detalladamente de la entrada atmosférica en cómo se evapora el agua de los océanos y de la superficie terrestre ; el vapor de agua es transportado y elevado en la atmósfera hasta que se condensa y precipita sobre la superficie de la tierra o del océano; El agua precipitada puede ser interceptada por la vegetación, convertirse en escorrentía superficial sobre el suelo, filtrarse en ella, atravesar el suelo como escorrentía subterránea y descargarse en los ríos como escorrentía superficial. El agua infiltrada puede penetrar profundamente para recargar las aguas subterráneas donde emerge en manantiales o deslizarse por los ríos para formar escorrentías superficiales, que finalmente desembocan en el mar o se evaporan en la atmósfera a medida que continúa el ciclo hidrológico. (p.2)

Figura 5

El Ciclo hidrológico del agua.



Nota: proceso de repartición y circulación del agua información obtenida de (Chow et al., 1994, p.2).

Para Breña y Jacobo (2006) El ciclo hidrológico se compone de distintas variables, unidas entre sí por procesos hidrológicos, en general, se entiende por proceso a un conjunto de acciones que inducen cambios o desarrollo en un esquema y para el caso particular de la hidrología, procedimientos asociados a fenómenos que ocurren tanto en la circulación del agua y los cambios que sufre en sus características físicas, químicas y biológicas a medida que se mueve, a través de varios medios. (p.10)

Breña y Jacobo (2006) también nos dice que los elementos del sistema serán las variables hidrológicas y los procesos que las vinculan; Los sistemas contiguos serían aquellos que tienen como límite común las capas superiores de la atmósfera y los sistemas geológicos profundos. A escala planetaria, se dice que el ciclo hidrológico es global. Este sistema global se puede dividir en tres subsistemas: atmosférico, de aguas superficiales y de aguas subterráneas. Dentro de cada subsistema existirá la capacidad de retener agua, en cada una de sus fases, por un tiempo determinado. El tiempo de retención en un medio también se conoce como capacidad de almacenamiento y el tiempo de retención de un volumen se denomina tiempo de residencia. (p.11)

2.9. Determinación de la velocidad del río

La velocidad es el trayecto recorrido por el agua (metros) en una unidad de tiempo (segundos). En los cauces naturales, la distribución de velocidades, a lo largo de un mismo vertical, es muy variable, más alta en la superficie y más baja en el fondo (Gómez, 1987, p. 125).

2.9.1. Métodos de medición:

A. Medidas directas. Este es uno hecho con herramientas llamadas medidores de corrientes de agua (correntómetro) para medir la velocidad superficial en un tramo (Gómez, 1987, p. 125).

B. Medida indirecta. Se recoge mediante fórmulas hidráulicas que se aplican a cada caso concreto, ya sea un río o un canal (Gómez, 1987, p. 125).

C. Velocidad media. Es el dato de más relevancia en el cálculo del canal y se determina por el promedio de todas las velocidades específicas de una sección de aforo (Gómez, 1987, p. 125).

2.10. Caudal

Es la cantidad de agua que pasa por un lugar ya sea por un canal, tubería, etc. en un período de tiempo determinado, es decir, corresponde a un volumen de agua (litro, metro cúbico, etc.), por unidad de tiempo (segundos, minutos, horas, etc.) (Bello y Pino, 2000, p. 9).

2.11. El aforo

Es el conjunto de operaciones hidrométricas de medida que conducen a la determinación del caudal de agua. Entre las principales operaciones hidrométricas, comúnmente realizadas en el afro, se encuentran los levantamientos transversales de su capacidad y mediciones de profundidad y velocidades de flujo en varios puntos de la sección. (Marbello, s.f., p.241)

2.11.1. Sección de aforo

Marbello, s.f. nos dice que también es conocida como estación de aforo, es una sección transversal del cauce de la corriente de agua que se desea aforar, es decir, para medir su caudal. Antes de tomar todas las medidas necesarias para realizar mediciones de flujo de agua natural, es necesario realizar un estudio de elevación de la sección transversal del canal en la estación de medición. (p.241)

2.12. Análisis de frecuencia

Es un proceso para evaluar la frecuencia o probabilidad de ocurrencia de determinados fenómenos hidroclimáticos (Monsalve, 2008, p.119).

Los sucesos extremos con su frecuencia de acontecimientos por medio del uso de distribuciones de probabilidad están dados por el análisis de frecuencia de información hidrológica (Chow, et al. 1994, p.391).

El análisis de frecuencia a una distribución teórica de probabilidad se puede dar de las siguientes maneras:

- Normal
- Log-normal
- Gumbel
- Log-gumbel
- Pearson III
- Log-Pearson III

2.13. Período de retorno

El lapso o cantidad de años, de cualquier evento extremo (lluvias torrenciales, temperaturas extremas, huracanes, etc.) que se cree que se volverá a repetir o superar, en otras palabras, es la frecuencia en la que ocurrirá un evento, es definido como el periodo de retorno (Méllice y Reason, 2007, p.34).

La severidad de un fenómeno es inversamente proporcional a su frecuencia de ocurrencia, que generalmente se dan con las precipitaciones muy intensas a una frecuencia menor que las lluvias moderadas o débiles (Gutiérrez et al. ,2007, p.21).

2.14. Hidrograma del caudal

El hidrograma es la variación del gasto (Q) del volumen de escurrimiento por unidad de tiempo (m^3/s) y se verá representada por una gráfica. Las representaciones gráficas de los valores obtenidos graficados contra el tiempo son definidos para una sección transversal de un río (Breña y Jacobo, 2006, p. 121).

III. MÉTODO

3.1. Tipo de investigación

La investigación será de tipo descriptivo y diseño experimental. La presente investigación se enmarca dentro de un enfoque cuantitativo, ya que utiliza un conjunto de datos para probar hipótesis con base en la medición numérica y el análisis estadístico (Hernández et al. 2014, p.4).

El tipo de investigación es descriptivo, ya que se pretende simular las áreas de inundación entre la avenida Panamericana Sur y la avenida Malasquez Chacaltana del río Lurín, en los distritos de Lurín y Pachacamac, provincia de Lima, con el modelamiento hidráulico (ArcGis, HEC-RAS y HEC-HMS).

En cuanto al diseño de investigación, será un diseño experimental, ya que será sistemática y empírica en la que las variables independientes se manipulan. Y transversal ya que se recolectará datos en un solo momento del tiempo único. Su propósito será descriptivo ya que solo se evaluará la inundación.

3.2. Ámbito temporal y espacial

Ámbito temporal: El estudio se desarrolla en el año 2019 actualizando la información temática y metodológica al mismo año, con datos meteorológicos con más de 30 años como promedio.

Ámbito espacial: se ha dividido en zona de estudio y ubicación geográfica:

➤ **Zona de estudio:** La zona de estudio se ubica entre las Av. Antigua Panamericana Sur y la Av. Víctor Malasquez Chacaltana, políticamente está situada entre los distritos de Lurín, Pachacamac, y Villa María del Triunfo, provincia y región de Lima y a nivel nacional se ubica en el Centro-Oeste el territorio peruano. En términos

hidrológicos pertenece a la intercuenca 13755341 del río Lurín y el área urbana se encuentra en ambos márgenes del Río Lurín.

➤ **Ubicación geográfica.** Geográficamente, el área de estudio se ubica entre las siguientes coordenadas UTM, de proyección WGS 84, zona 18 sur.

Tabla 7

Coordenadas de ubicación del área de estudio

Área de estudio	Vértice	Coordenadas UTM	
		Este	Norte
2,072.62 Has	Noroeste	291,944.0770 m	8,649,667.3328 m
	Noreste	297,511.3226 m	8,649,667.3328 m
	Sureste	297,511.3226 m	8,643,850.0391 m
	Suroeste	291,944.0770 m	8,643,850.0391 m

El área de estudio se encuentra a una altitud promedio de 50 msnm (**Ver Mapa 1**).

3.1.1. Superficie y límites del área de estudio.

La zona de estudio ocupa un área de 20,73 km², con 16,38 km² en el Distrito de Lurín, 2,47 km² en el distrito de Pachacamac y 1,88 km² en el distrito de Villa María del Triunfo, ocupando el distrito de Lurín con un 79% del área total con un perímetro de 18,279.21 metros y en entre la Av. Antigua Panamericana Sur y la Av. Víctor Malásquez Chacaltana cruza el río Lurín con una longitud de 5,3 km, limitando por el Norte con el río Rímac, Surco y Huaycoloro, por el sur y este con el río Mala y por el oeste con el Océano Pacífico.

3.2.2. Vías de acceso.

La accesibilidad al área de estudio se realiza por la panamericana sur, hasta el lugar conocido como Club de Playa para tomar la vía del lado izquierdo (viniendo de norte a sur), hacia el Parque del Recuerdo con una distancia de 2,500 metros para llegar

al límite del área de estudio, vía conocida como Avenida Antigua Carretera Panamericana Sur.

3.2.3. Descripción del área de estudio

A. Intercuenca 13755341 del río Lurín. La intercuenca 13755341 del río Lurín pertenece a la cuenca Lurín, con una longitud del río principal de 16,52 km. y una superficie de 200.58 km².

El ANA en su publicación de “clasificación de los cuerpos de agua continentales superficiales”, categorizo a la intercuenca 13755341 del río Lurín como categoría 3, cual los cuerpos de agua están aptos para riego de vegetales y bebidas de animales.

De la intercuenca 13755341 del río Lurín se obtendrán los datos geomorfológicos que serán útiles para poder realizar el modelamiento.

B. Río Lurín. El río Lurín está ubicado en las provincias de Lima y Huarochirí del departamento de Lima, con una longitud de 108 .57 km. y su flujo se alimenta de la lluvia que se presentan entre los meses de diciembre a enero de la cuenca alta y media del río Lurín, para la presente investigación, la zona de estudio tiene una longitud de 5.3 km del río Lurín.

C. Meteorología. El clima de los distritos de Lurín, Pachacamac y Villa María del Triunfo es Semi-Cálido (Desértico -Árido – Sub tropical). La temperatura media anual es de 18°C a 19°C, con una precipitación pluvial anual de 3.8 mm.

Según la clasificación de Thornthwaite el clima tiene por formula E (d) B'1 H3, el cual describe un clima árido, semicalido y húmedo con deficiencia de lluvias en todas las estaciones (ver mapa 2).

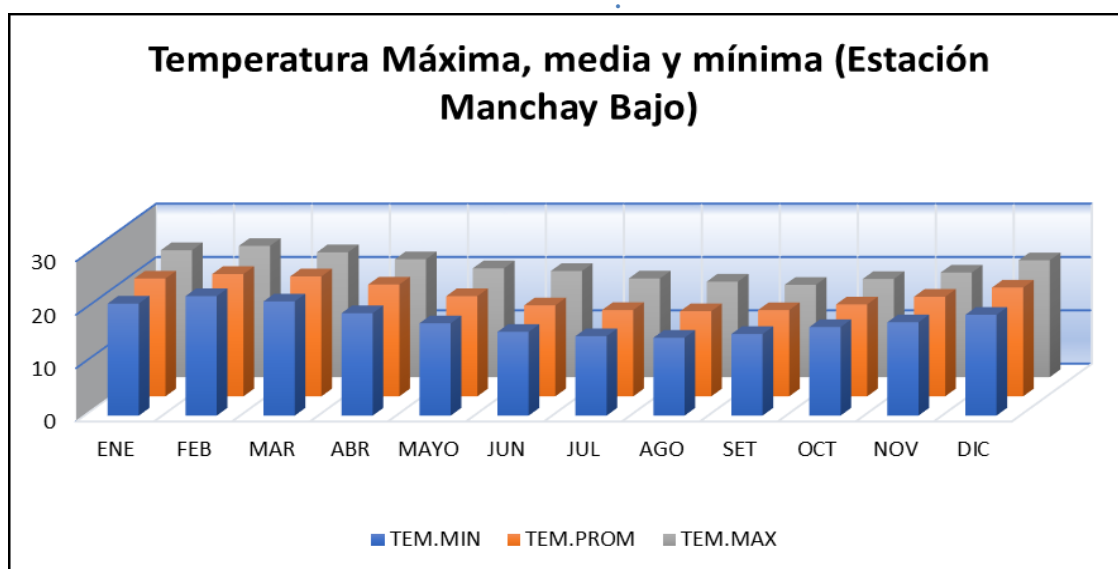
D. Temperatura. La estación meteorológica que se tomara en cuenta, para el análisis de los datos es Manchay Bajo, el cual pertenece a la provincia de Lima del distrito

de Pachacamac, que se ubica en la latitud de 12°10'01'' y longitud de 76°52'1'' a una altitud de 164 m.s.n.m.

Manchay Bajo presenta una temperatura mensual promedio de 18.6°C y las temperaturas promedio, registradas en la Estación Manchay Bajo, presentan dos épocas bien marcadas durante el año: son mayores en verano, siendo su valor más alto en el mes de febrero (24.6°C) y menores en invierno, con su valor más bajo en los meses de Julio y Agosto (14.9°C).

Figura 6

Temperatura Máxima, media y mínima de la estación Manchay Bajo

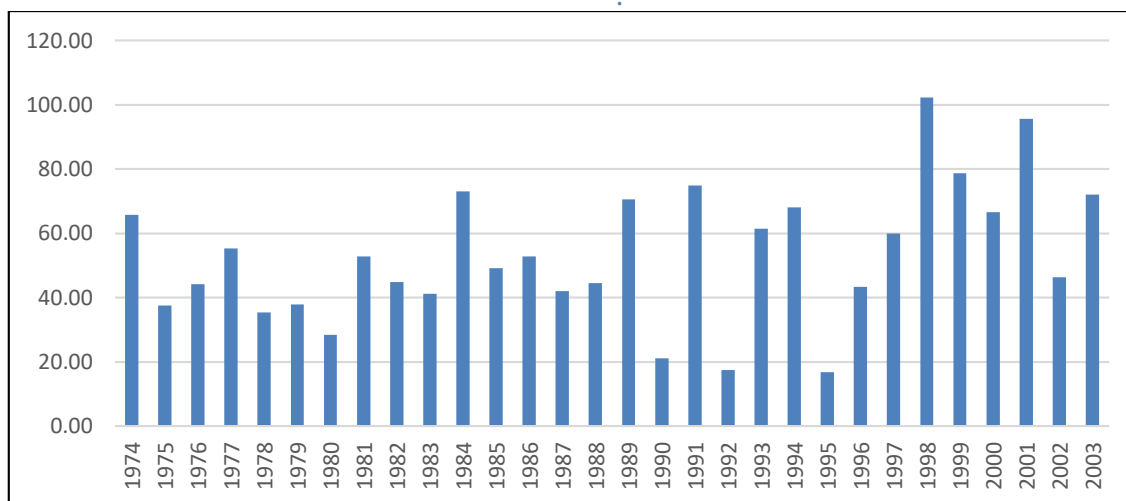


Nota: Grafico de barras de la temperatura máxima, media y mínima de la estación de Manchay bajo, obtenido del SENAMHI

E. Precipitación. La precipitación del área de estudio se ha analizado con los datos registrados por la estación hidrometeorológica de Manchay (1974 al 2003), en tal sentido en la figura 7 se muestra los datos multianuales siendo la mayor precipitación en el año 1998, (102.30 mm) y siendo la precipitación menor en el año 1995 (16.88 mm).

Figura 7

Datos de precipitación multianual Estación Manchay Bajo entre los años (1974 al 2003)

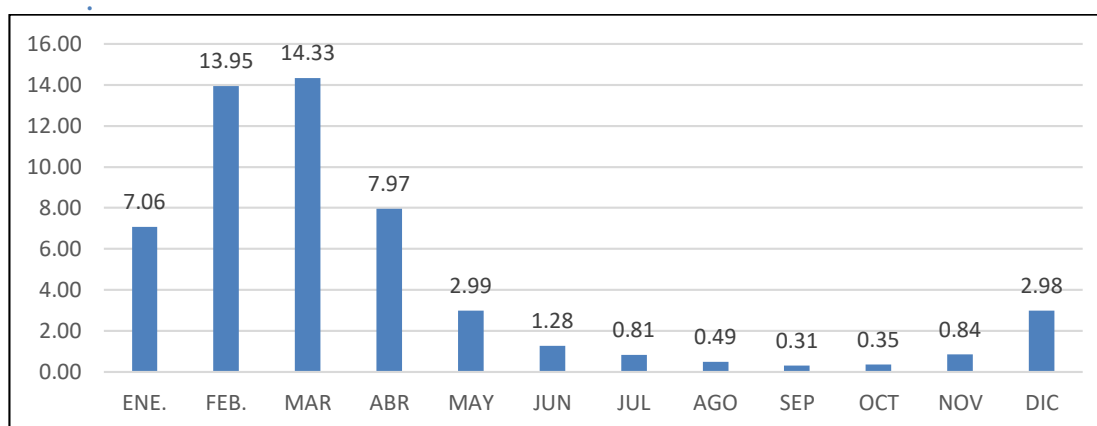


Nota: Grafico de barras elaborado con datos obtenidos del SENAMHI

La precipitación promedio mínima del área de estudio presenta valores diferenciados, siendo el mes de junio a noviembre que presenta los valores menores (setiembre el menor 0.31 mm), siendo estos meses de déficit de agua para los agricultores, y el valor mayor de la precipitación se da entre los meses de diciembre a abril (siendo el mes de marzo el valor mayor promedio de la precipitación 14.33 mm).

Figura 8

Precipitación promedio mensual entre los años (1974 al 2003)

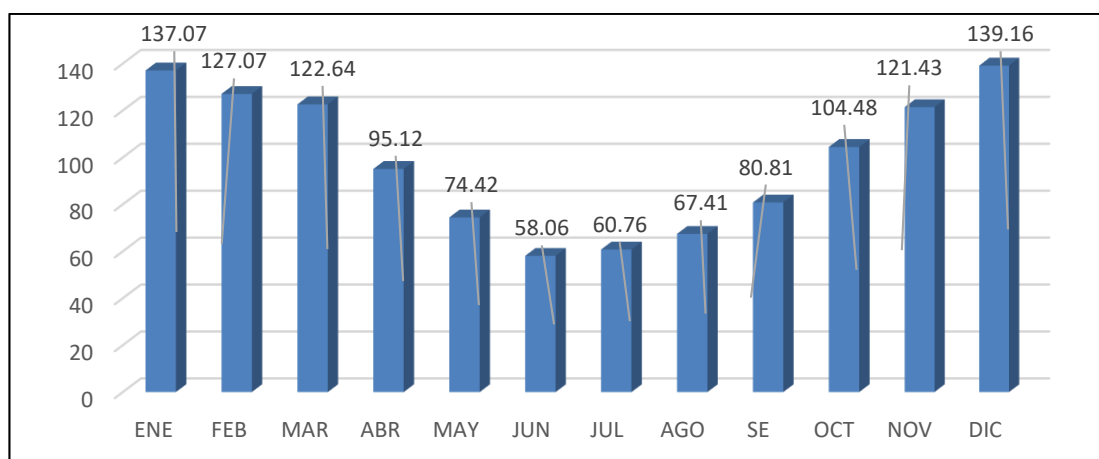


Nota: Grafico de barra obtenido del SENAMHI

F. Evapotranspiración .El análisis de la evapotranspiración mensual se ha dado del registro de datos de la estación Manchay Bajo, en tal sentido en la figura 9 se muestra el comportamiento de la evapotranspiración, observándose que los valores más altos se presentan en los meses de diciembre y enero (diciembre 139.16 mm), mientras que los valores mínimos se observan en los meses de invierno, sin embargo, la gráfica presenta que el valor mínimo de la evapotranspiración se presente en el mes de junio (58.06 mm).

Figura 9

Evapotranspiración potencial mensual en mm de la estación manchay.



Nota: Grafico obtenido del SENAMHI

G. Hidrología

➤ **Hidrogeología:** La ubicación y movimiento lo largo del tiempo de las aguas subterráneas es estudiado por la Hidrogeología. En la cuenca alta existen superficies prácticamente planas con pendientes moderadas, donde el río Lurín fluye lentamente generando mayores cantidades de agua subterránea. La cuenca alta presenta principalmente rocas volcánicas que afloran en la cuenca baja.

El embalse intermedio e inferior del acuífero de Lurín cubre en total una superficie de 68 km². Para los sectores de Lurín y Pachacamac el espesor de los acuíferos va de 180 m y 100 m.

➤ **Hidrografía.** La Av. Antigua Panamericana Sur y la Av. Víctor Malásquez Chacaltana se encuentra ubicado en la cuenca baja del río Lurín en los distritos de Pachacamac y Lurín, el recurso hídrico de la cuenca de Lurín procede de dos fuentes naturales, agua superficial de escurrimiento natural (glaciares y precipitaciones pluviales) y el agua subterránea (extraída mediante bombeo) de los pozos ubicados en la llanura aluvial del valle en la parte baja de la cuenca.

El caudal del río Lurín se llamó originalmente Chalill, cuando se unió a la quebrada Taquia, cambio su nombre por el de río Lurín. Este río nace en el nevado Surococha, tiene un largo de 106 km. Con un área de drenaje de 1.719 km², la siguiente tabla muestra las precipitaciones promedio de la estación Manchay. (SEDAPAL ,2009, p.12)

Tabla 8

Caudales promedios del río Lurín - Estación Puente Manchay.

Mes	Caudal (m ³ /s)
Enero	6.34
Febrero	11.72
Marzo	12.12
Abril	7.33
Mayo	2.91
Junio	1.33
Julio	0.76
Agosto	0.45
Setiembre	0.29
Octubre	0.32
Noviembre	0.81
Diciembre	3.04
Promedio anual	3.95

Nota: información obtenida de (Sedapal, 2009, p.12)

El análisis de la información hidrométrica considerada que el río Lurín, al igual que la mayoría de los ríos de la Costa, presenta un régimen de descarga irregular y de carácter torrencioso, con una diferencia bastante pronunciada entre sus valores extremos.

SEDAPAL (2009) en su Estudio de Impacto Ambiental sobre la ampliación de redes secundarias de agua potable y alcantarillado para la quebrada de Manchay – Distrito de Pachacamac, nos dice que en el año 1959 la descarga máxima controlada en el Puente Manchay fue 100.00 m³/s y el mínimo fue cero. La escasez estacional del recurso hídrico en esta cuenca hidrológica ha obligado a incrementar la extracción de agua subterránea, a través de la construcción de pozos para diferentes usos. (p.12)

3.2.4. Parámetros geomorfológicos de la intercuenca 13755341 del río Lurín

Los parámetros fisiográficos son factores o indicadores morfológicos que determinan cuantitativamente las características de una cuenca.

Para el análisis morfométrico o cálculo de los parámetros fisiográficos del área de estudio, se procesó la data de la carta nacional 25j a escala 1: 100 000 del Instituto Nacional Geográfico (IGN) y el DEM ASTGTM S13W077.

Los parámetros geomorfológicos de la intercuenca 13755341 del río Lurín se puede observar en el mapa 3.

A. Parámetros físicos de la cuenca

➤ **Área de la intercuenca 13755341 del río Lurín:** El área de la intercuenca 13755341 del río Lurín, es el área o superficie plana que determina el potencial del volumen de escorrentía, originado por la lluvia que cubre el área completa, comprendida dentro del límite o llamado divisoria de aguas. Además, el área de la intercuenca 13755341 del río Lurín es el elemento básico para el cálculo de las otras características físicas y se ha expresado en Km².

Por ello se dice que mayor área de la cuenca o subcuenca es mayor la cantidad de escorrentía superficial y por consiguiente mayor flujo superficial. La intercuenca del río Lurín tiene una superficie de 200.58 km².

➤ **Perímetro de la intercuenca 13755341 del río Lurín:** Se define por el perímetro de la intercuenca (P) a la longitud que rodea el contorno de la cuenca o intercuenca y a la línea divisora de aguas, siendo su unidad de medida en kilómetros (km) siendo su valor para la intercuenca 13755341 del río Lurín de 94.85 km.

➤ **Longitud de la intercuenca 13755341 del río Lurín:** La longitud de la intercuenca 13755341 del río Lurín (o longitud hidráulica) es la longitud medida a lo largo del curso de agua principal. El curso de agua principal (o corriente principal) es el curso de agua central y más largo de la intercuenca 13755341 del río Lurín y la única que conduce escorrentía hacia la salida. El curso más largo de la intercuenca 13755341 del río Lurín es de 16,500 metros.

B. Parámetros de Forma de la intercuenca 13755341 del río Lurín: La forma de la intercuenca define el comportamiento hidrológico, ya que es la configuración geométrica proyectada en el plano horizontal, es decir que, para una misma área, pero distintas formas, tendrán distintas reacciones hidrológicas.

Para la forma de la intercuenca se ha considerado los siguientes parámetros:

➤ **Factor de forma :** El factor de forma conocido como K_f , es un número adimensional, que manifiesta la elongación de la cuenca o intercuenca y su descripción cuantitativa está dada por la siguiente fórmula:

$$K_f = \frac{A}{L^2} \quad (14)$$

Dónde:

K_f = Factor de forma, (Magette, 1976).

A = Área de la cuenca, y

L= Longitud de la cuenca, medido a lo largo del curso más largo.

El área y la longitud son dadas en unidades consistentes tal como km² y km, respectivamente.

$$K_f = \frac{A}{L^2} = \frac{200.58 \text{ km}^2}{(16.50 \text{ km})^2} = \frac{200.58 \text{ km}^2}{272.25 \text{ km}^2} = 0.737$$

De acuerdo con los resultados la intercuenca 13755341 del río Lurín el curso más largo es de 16.50 km, es de forma cuadrada por tener su forma cercana a uno. Siendo 0.737; si el valor es menor a uno (1) se deduce que la forma de la cuenca es alargada. (Jardí, 1985,p.48).

➤ **Rectángulo equivalente:** El rectángulo equivalente es un parámetro de importancia porque relaciona el comportamiento de drenaje hidráulico de la cuenca y está dado por las siguientes ecuaciones:

Lado mayor rectángulo equivalente:

$$L = \frac{P}{4} + \sqrt{\left(\frac{P}{4}\right)^2 - A} \quad (15)$$

Lado menor rectángulo equivalente

$$l = \frac{P}{2} - L \quad (16)$$

Dónde:

L: Lado mayor del rectángulo.

l: lado menor del rectángulo.

P: Perímetro de la subcuenca.

A: Área de la subcuenca.

$$L = \frac{94.85 \text{ km}}{4} + \sqrt{\left(\frac{94.85 \text{ km}}{4}\right)^2 - 200.58 \text{ km}^2}$$

$$L = 23.71 + 19.02 = 42.73 \text{ km}$$

$$l = \frac{P}{2} - L = \frac{94.85}{2} - 42.72 = 4.69 \text{ km}$$

Según la data procesada, en la intercuenca del río Lurín presenta de lado menor 4.69 km y el lado mayor de 42.73 km, de manera concordante a los resultados obtenidos en los parámetros anteriores se obtiene un rectángulo equivalente correspondiente a unas cuencas alargadas, en las que la longitud de un lado es mucho mayor que la del otro.

C. Parámetros de relieve de la intercuenca 13755341 del río Lurín

➤ **Factor de compacidad:** Este parámetro conocido como K_c o índice de gravelius genera un indicador numérico adimensional que define la velocidad a la que el agua comienza a concentrarse en la salida de la cuenca o intercuenca, está dado por la siguiente formula. (Fuentes, 2004, p.12)

$$K_c = \frac{0,282P}{\sqrt{A}} \quad (16)$$

Dónde:

K_c = Factor de forma.

P = Perímetro de la cuenca en Km y

A = Área de la Cuenca en km^2 dado en cualquier grupo de unidades consistentes.

$$K_c = \frac{0,282(94.85 \text{ km})}{\sqrt{200.58 \text{ km}^2}} = \frac{26.748 \text{ km}}{14.163 \text{ km}} = 1.889$$

Existen cuatro categorías para la clasificación según el valor de este parámetro y que se muestra en la tabla 9.

Tabla 9

Clases de Valores de Compacidad.

Rangos de Kc	Clases de compacidad
- 1.25	Casi redonda a oval-redonda
1.25 – 1.50	Oval redonda a oval - oblonga
1.50 – 1.75	Oval oblonga a rectangular oblonga
>1.75	Rectangular

Nota: información obtenida Gaspari et al. (2012)

De acuerdo a los resultados obtenidos para la intercuenca 13755341 del río Lurín el factor de compacidad es de 1.8893; lo cual quiere decir que es rectangular.

➤ **Pendiente media de la intercuenca 13755341 del río Lurín:** La pendiente media del cauce principal se representa mediante el perfil longitudinal y puede ser cuantificado mediante parámetros que relacionan la altitud con la longitud del cauce principal.

Según el criterio de ALVORD analiza la pendiente existente entre curvas de nivel, trabajando con la faja definida por las líneas medias que pasan entre las curvas de nivel, Para una de ellas la pendiente es:

$$S = \frac{D \times L}{A} \quad (16)$$

Dónde:

S = pendiente media de la cuenca.

D = Desnivel entre líneas medias, aceptado como desnivel entre curvas (equidistancia).

L = Longitud total de las curvas de nivel dentro de la cuenca.

A = Área de la cuenca

$$S = \frac{D \times L}{A} = \frac{0.065 \text{ km} \times 2999.42 \text{ km}}{200.58 \text{ km}^2} = \frac{194.96 \text{ km}^2}{200.58 \text{ km}^2} = 0.972$$

Considerando que la suma del total de las curvas de nivel de la cuenca asciende a 2999.42 km a un desnivel de 0.065 km, esto hace que la pendiente media de la cuenca sea de 0.972, que equivale al 9.72% siendo muy bajo y de poca erosión en el valle.

➤ **Curva hipsométrica:** La curva hipsométrica se representa gráficamente el cambio de elevación de una cuenca, en la que se observa la distribución de superficies altas, medias y bajas. Las curvas hipsométricas también han sido asociadas con las edades de los ríos de las respectivas cuencas, Ver figura 10. La curva hipsométrica de la intercuenca del río Lurín, ha sido elaborada en base a un modelamiento digital de elevación (DEM ASTGTM S13W077), el cual mediante el análisis del sistema de información geográfica se ha obtenido la siguiente tabla:

Tabla 10

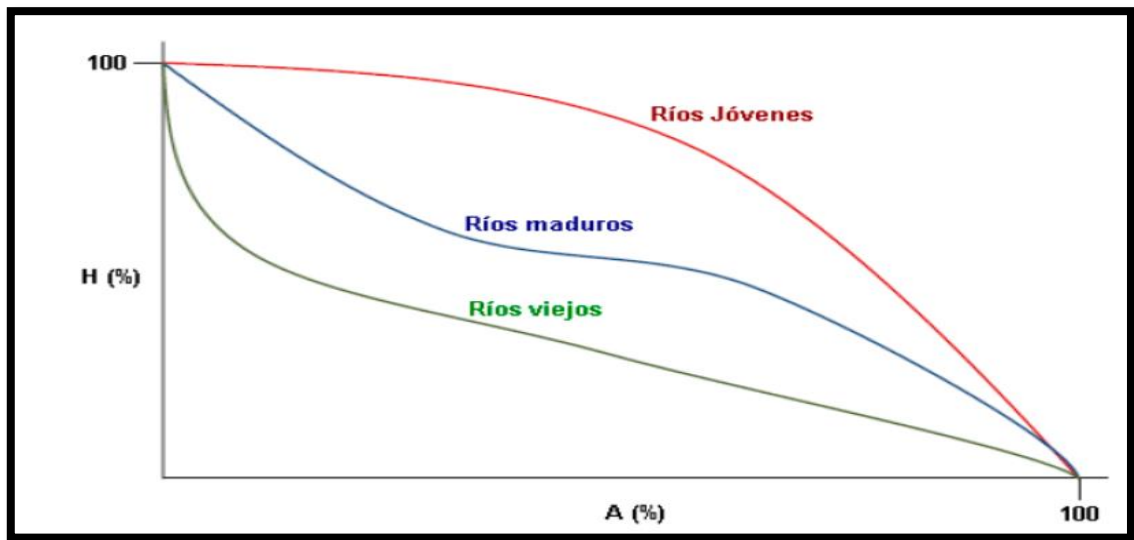
Valores de la Curva Hipsométrica de la intercuenca 13755341 del río Lurín.

ALTITUD	AREAS		AREAS ACUMULADAS			
	PARCIALES		POR DEBAJO		POR ENCIMA	
m.s.n.m.	Km ²	(%)	(KM ²)	(%)	KM ²	(%)
27	0.00	0.00	0.00	0.00	200.60	100.00
93	20.63	10.28	20.63	10.28	179.97	89.72
159	22.40	11.17	43.03	21.45	157.57	78.55
225	21.23	10.58	64.26	32.03	136.34	67.97
290	18.15	9.05	82.41	41.08	118.19	58.92
356	16.39	8.17	98.80	49.25	101.80	50.75
422	15.65	7.80	114.45	57.06	86.15	42.94
487	16.92	8.43	131.37	65.49	69.23	34.51
553	15.96	7.96	147.33	73.44	53.27	26.56
619	12.09	6.02	159.41	79.47	41.18	20.53
685	9.54	4.76	168.96	84.23	31.64	15.77
750	8.63	4.30	177.59	88.53	23.01	11.47
816	8.33	4.15	185.91	92.68	14.68	7.32
882	6.34	3.16	192.26	95.84	8.34	4.16
947	4.15	2.07	196.41	97.91	4.19	2.09
1013	2.46	1.22	198.87	99.14	1.73	0.86
1079	0.88	0.44	199.74	99.57	0.86	0.43
1144	0.38	0.19	200.13	99.76	0.47	0.24
1210	0.30	0.15	200.42	99.91	0.18	0.09
1276	0.11	0.06	200.54	99.97	0.06	0.03
1341	0.06	0.03	200.60	100.00	0.00	0.00
TOTAL	200.60	100.00	-	-	-	-

En la tabla 10, se puede apreciar que los valores de las áreas acumuladas por altitud representan a un río viejo.

Figura 10

Cambio de forma de la curva hipsométrica con la edad del río

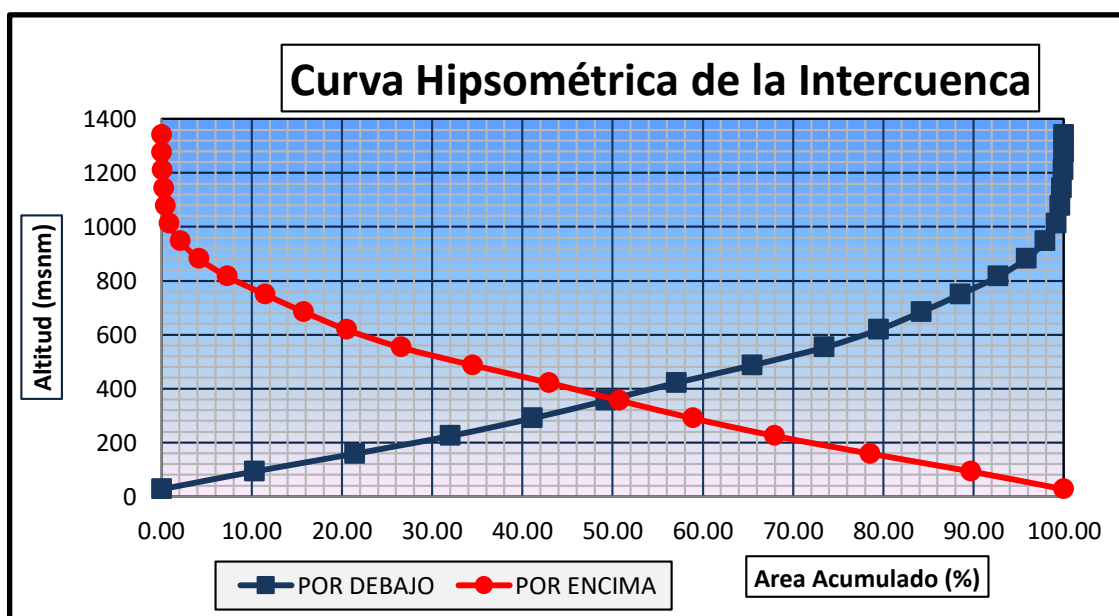


Nota: información obtenida de Ibañez et al. (2011).

La figura 11, elaborado con los datos de la tabla 10, muestra el comportamiento del río sobre la cota de los 370 metros de altitud que señala el porcentaje del área de la cuenca sobre el 50% para esta altitud.

Figura 11

Curva Hipsométrica de la intercuenca 13755341 del río Lurín.



➤ **Altura media de la intercuenca 13755341 del río Lurín:** La altura media es obtenida dividiendo la cuenca en intervalos iguales, se tomó un intervalo de 65 m, se calculó las áreas parciales por intervalos y su altura promedio entre las dos curvas, se multiplico, la suma total dividida entre el área total de la cuenca, nos define la altura media de la cuenca. En la tabla 10, se presenta el cálculo de la altura media de la intercuenca 13755341 del río Lurín, siendo de 372.68 metros sobre el nivel del mar.

Para calcular el diagrama del polígono de frecuencias de áreas parciales, se representa en el eje de las ordenadas las altitudes en metros y en las abscisas el porcentaje de las áreas parciales (ver la tabla 11).

Tabla 11

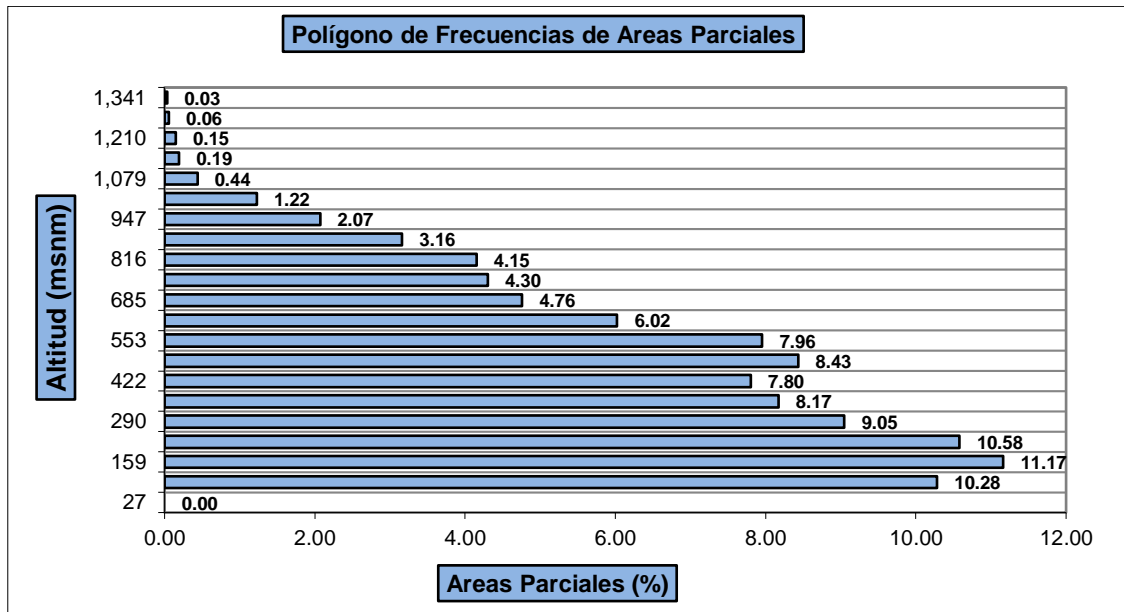
Cálculo del Polígono de Frecuencia de Áreas Parciales.

Altitud (msnm)	Área parcial (%)
27.00	0.00
93.00	10.28
159.00	11.17
225.00	10.58
290.00	9.05
356.00	8.17
422.00	7.80
487.00	8.43
553.00	7.96
619.00	6.02
685.00	4.76
750.00	4.30
816.00	4.15
882.00	3.16
947.00	2.07
1013.00	1.22
1079.00	0.44
1144.00	0.19
1210.00	0.15
1276.00	0.06
1341.00	0.03

Con los datos de la tabla 11, se procede a graficar el polígono de frecuencias de las áreas parciales (ver la figura 12).

Figura 12

Gráfico de Polígono de Frecuencias de Áreas Parciales.



D. Características de la red de drenaje de la intercuenca 13755341 del río

Lurín

➤ **Densidad de drenaje:** Corresponde a la división entre la longitud total de ríos de la cuenca y el área de la cuenca. en unidad expresa la cantidad de kilómetros por unidad de superficie. (ANA, 2010, p.49)

$$D_d = \frac{L_t}{A} \quad (17)$$

Dónde:

D_d = Densidad de drenaje (km/km²).

L_T = Longitud total de ríos de la cuenca (km).

A = Área de la cuenca (km²).

$$D_d = \frac{281.82}{200.58 \text{ km}^2} = 1.41 \text{ km/km}^2$$

El valor de densidad de drenaje de la intercuenca 13755341 del río Lurín es 1.41 km/km². Lo cual indica que posee una densidad de drenaje normal por ser mayor de 1 y menor de 1.5.

Tabla 12

Rangos de densidad de drenaje.

Drenaje	Dd
Regular drenaje	0 a 1
Normal drenaje	1 a 1,5
Buen drenaje	>1,5

Nota: información obtenida de Faustino y Jiménez (2000).

Según la tabla 12, la intercuenca 13755341 del río Lurín presenta un normal drenaje; por consiguiente, se interpreta como un suelo con poca resistencia a la erosión.

➤ **Coefficiente de Torrencialidad:** Este valor indica la relación que hay entre el número de cursos de primer orden con el área de la cuenca. (ANA, 2010, p.47)

$$C_t = \frac{N^\circ R1}{A} \quad (18)$$

Dónde:

N° R1 = Número de ríos de primer orden.

A = Área de la cuenca (km²).

$$C_t = \frac{448}{200.58} = 2.23 \text{ ríos/km}^2$$

El parámetro de coeficiente de torrencialidad de la intercuenca 13755341 del río Lurín es de 2.23 ríos/km².

Lo que nos indica que el potencial erosivo en la cuenca es pequeño, esto es debido fundamentalmente a la abundante vegetación implantada en toda la cuenca.

➤ **Orden de ríos:** INRENA (2004) nos dice que la definición de orden de corriente es primordial para la descripción jerárquica de los arroyos en una cuenca. La corriente sobre el terreno se puede considerar como una corriente hipotética de orden cero. La corriente de primer orden es la corriente que recibe el flujo de la corriente de orden cero, es decir, la corriente sobre terreno. Dos corrientes de primer orden se juntan para formar una corriente de segundo orden. Es decir, dos corrientes de orden "m" se combinan para formar una corriente de orden "m +1" (p.24)

La intercuenca 13755341 del río Lurín es de orden 5 (ver mapa 4), contando con un total de afluentes con orden inferior, tal como se detalla en la tabla 13.

Tabla 13

Orden de ríos de la intercuenca 13755341 del río Lurín.

Nº de Orden	Nº de ríos	Longitud total (km)
Orden 1	448	141.64
Orden 2	230	64.29
Orden 3	209	37.80
Orden 4	109	25.35
Orden 5	27	12.74
Total	1023	281.82

3.2.5. Capacidad de uso mayor de los suelos



El Decreto Supremo N° 017-2009-AG afirma que la Capacidad de Uso Mayor (CUM), de acuerdo a cada unidad de tierra, se determina mediante el análisis cuantitativo de las características edáficas, climáticas (zonas de vida) y de relieve.

➤ **Grupo de capacidad de uso mayor de las tierras :**La capacidad de uso mayor en la zona de estudio está representada por Tierras de calidad agrológica con alto riesgo permanente, el cual abarca un área de 20.56 km² lo cual equivale a un 99% del total de

la zona estudiada y se encuentra en los distritos de Lurín, Pachacamac y Villa María del Triunfo tanto en el margen derecho del río Lurín como en el margen izquierdo, así mismo se encuentra Tierras de Protección con un área de 0.17 km² el cual abarca 1 % de la zona estudiada, situada en el distrito de Lurín en el margen izquierdo del río Lurín (ver mapa 5).

Tabla 14

Capacidad de uso mayor de los suelos en el área de estudio.





COLOR	SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN	ÁREA (km ²)	ÁREA PORCENTAJE %
	X	Tierras de Protección	0.17	99.18
	A1(R)	Calidad Agrológica Alta con riego permanente	20.56	0.82
Total			20.73	100

3.2.6. Cobertura vegetal

Con información obtenida del Ministerio del Ambiente, se obtuvo que la zona de estudio está representada con un 63.48 % de agricultura costera y andina ocupando la mayor área y un 0.24% de Loma siendo la menor área que ocupa de la zona de estudio (ver mapa 6).

Tabla 15

Cuadro de cobertura vegetal de la zona de estudio.

Color	Simbología	Descripción	Área (km ²)	Área Porcentaje (%)
	Agri	Agricultura costera y andina	13.16	63.48
	U	Área Urbana	0.04	0.19
	DC	Desierto costero	7.48	36.08
	Lo	Loma	0.05	0.24
Total			20.73	100

3.2.7. Geología

La Geología de la Subcuenca baja del río Lurín, se elaboró con la información de la carta Geológica 25j a escala 1:100. Según la tabla 16 las características Litoestratigráfica más antigua en la zona de estudio es la formación Marcavilca del sistema Cretáceo hasta llegar a los Depósitos Coluviales del sistema Cuaternario.

Tabla 16

Unidades Litoestratigráficas de la Zona de Estudio.

Eratema	Sistema	Serio	Unidades Litoestratigráficas		Área (km ²)	Área (%)
			Simbología	Descripción		
Cenozoico	Cuaternario	Holoceno	Depósitos coluviales	Qh-c	12.89	62.18
Mesozoica	Cretáceo	Inferior	Formación Marcavilca	ki-m	7.84	37.82
TOTAL					20.73	100.00


En nuestra zona de estudio los depósitos coluviales representan el 62.18% del área total y la formación Marcavilca el 37.82%. (ver mapa 7)

3.2.8. Suelos

Para realizar el mapa de suelos de la zona de estudio, se utilizó información de Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales (ONERN), los resultados se observan en la tabla 17.

Tabla 17

Cuadro del tipo de suelo en el área de estudio.

Color	Simbología	Descripción	Área (km ²)	Área Porcentaje (%)
	Arh-SCh	Arenosol háplico - Solonchak háplico	20.73	100





La zona de estudio está representada por el 100% de Arenosol háplico-Solonchak háplico (Arh-SCh) (ver mapa 8).

3.2.9. Geomorfología

La Geomorfología de la cuenca del río Lurín, reviste una especial importancia para definir las actitudes del terreno frente al escurrimiento, la infiltración y por ende a la formación de la napa acuífera que permitan evaluar conjuntamente con la geología a las características explotables del acuífero (Ver mapa 9).

Tabla 18

Geomorfología de la zona de Estudio.

Color	Simbología	Descripción	Área (km ²)	Área (%)
	RCL-rs	Colina y lomada en roca sedimentaria	1.02	4.92
	PI-al	Llanura o Planicie aluvial	16.22	78.24
	M-a	Mantos de arena	2.44	11.77
	Río	Cauce del río	1.05	5.07
Total			20.73	100.00





El proceso tectónico geodinámica externo de la cuenca ha controlado las formas regionales que nos permite distinguir tres unidades geomorfológicas que son: el cauce del río, mantos de arena, planicie aluvial y las colinas (ver tabla 18)

3.2.10. Ecosistemas

Entre los ecosistemas identificados en la zona de estudio y conocidos a través del mapa de ecosistemas del Perú elaborado por el Ministerio del Ambiente, se identificaron los siguientes:

- Desierto costero
- Loma costera
- Zona agrícola
- Zona urbana

Tabla 19*Ecosistema de la zona de Estudio.*



Color	Simbología	Descripción	Área (km ²)	Área (%)
	Dc	Desierto costero	1.89	9.12
	Lo	Loma costera	0.03	0.14
	Agri	Zona agrícola	10.99	53.01
	Urb	Zona urbana	7.82	37.72
Total			20.73	100

La distribución de los ecosistemas de la zona de estudio se muestra en el mapa 10.

3.2.11. Zonas de vida

El área de estudio se ubica en dos zonas de vida el desierto desecado subtropical (dd-S) y el desierto superárido subtropical (ds-S), los cuales se detallan a continuación:

Tabla 20*Zonas de Vida del Área de Estudio.*

Color	Simbología	Descripción	Área (km ²)	Área (%)
	dd-S	Desierto Desecado Subtropical	18.71	90.26
	ds-S	Desierto superárido Subtropical	2.02	9.74
Total			20.73	100

La zona de vida del área de estudio se puede visualizar en el mapa 11.

3.2.12. Características sociales del área de estudio

La característica social del área de estudio estará determinada por las condiciones de los servicios básicos a la población, educación, salud, y la infraestructura urbana.

➤ **Población** :La población del área de estudio se extiende sobre los distritos de Pachacamac, Villa María del Triunfo, Lurín y Villa Salvador, siendo ocupada en su mayor extensión en el distrito de Lurín con 81.8 % del área de estudio, en dicha área se visualiza conglomerados poblacionales de Pro Los Bosques de Villa María, San Rafael, Poeta José Gálvez, Elisea Oliver Molina, Santísimo Salvador de las Palmas, Ampliación Los Cipreces, Sector Villa Alejandro II, Martha Milagros Baja, Ex - Fdo El Olivar y AA.HH. El Olivar.

Tabla 21

Distritos que se encuentran en el área de estudio.

Nº	Nombre del Distrito	Nombre de la Provincia y Región	Altitud	Área Has	%
1	Pachacamac	Lima	75.00	225.64	10.93
2	Villa maría del triunfo	Lima	158.00	142.83	6.92
3	Lurín	Lima	9.00	1695.93	82.15
Total				2064.40	100.00

La población proyectada entre los años 2000 y 2017 se muestra en la tabla 21, donde se observa el crecimiento poblacional en todos los distritos.

Tabla 22

Población de los años 2000 y 2017 de los distritos que se ubica el área de estudio.

Año	Lurín	Pachacamac	Villa María del Triunfo
2000	49,334	38,882	336,440
2001	51,424	42,356	344,704
2002	53,554	46,098	352,854
2003	55,721	50,124	360,869
2004	57,923	54,451	368,723
2005	60,154	59,093	376,394
2006	62,396	64,053	383,766
2007	64,648	69,348	390,835
2008	66,935	75,026	397,758
2009	69,282	81,145	404,692
2010	71,721	87,769	411,795
2011	74,258	94,945	419,090
2012	76,874	102,691	426,462
2013	79,563	111,037	433,861
2014	82,319	120,015	441,239
2015	85,132	129,653	448,545
2016	87,256	133,256	457,069
2017	89,416	136,921	465,735

Nota: Información obtenida del INEI 2017

En el área de estudio se ha identificado 670 manzanas de las cuales 515 pertenecen al distrito de Lurín, 117 al distrito de Villa María del Triunfo y 25 al distrito de Pachacamac Educación

En la tabla 23 se observa la cantidad de colegios con respecto que se encuentran la zona de estudio.

Tabla 23*Instituciones Educativas del área de estudio.*

Nº	distrito	cantidad de profesores	cantidad de alumnos	cantidad de colegios
1	Lurín	456	8,438	79
2	Pachacamac	47	739	5
3	Villa María Del Triunfo	181	3,841	37
TOTAL		684	13 018	121

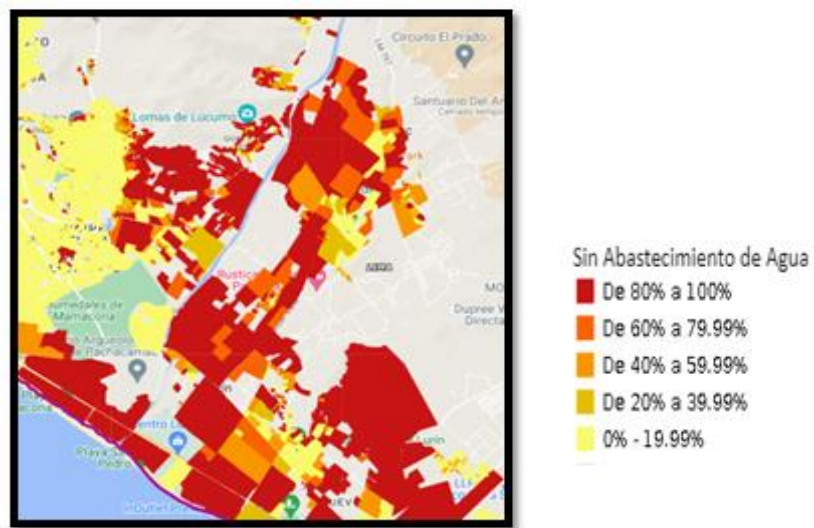
➤ **Salud:** En el área de estudio se ha identificado a dos centros de salud, Julio C. Tello, que se ubica en la Avenida las Acacias Mz. B lote 12 sector 1 Julio C. Tello, y el Puesto de Salud Quebrada Verde que se ubica en el distrito de Pachacamac, ubicado en el caserío del mismo nombre.

➤ **Servicios básicos**

Agua: De acuerdo a la información del portal de Sayhuite, plataforma digital de la Presidencia del Consejo de Ministros del Perú, se visualiza que en muy pocas viviendas tienen abastecimiento de agua potable, hay que reconocer que en gran parte del área de estudio se ubican grandes parcelas agrícolas, las que estarían de alguna forma contaminando el agua.

Figura 13

Viviendas sin abastecimiento de agua.

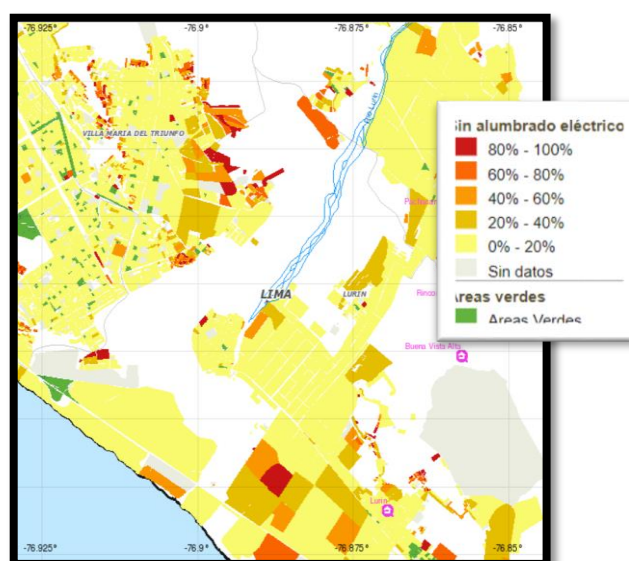


Nota: información obtenida de Sayhuite – PCM

Electricidad: En el caso de electricidad el portal de Sayhuite, plataforma digital de la Presidencia del Consejo de Ministros del Perú, se visualiza que casi toda el área de estudio cuenta con electricidad.

Figura 14

Viviendas con electricidad en el área de estudio.

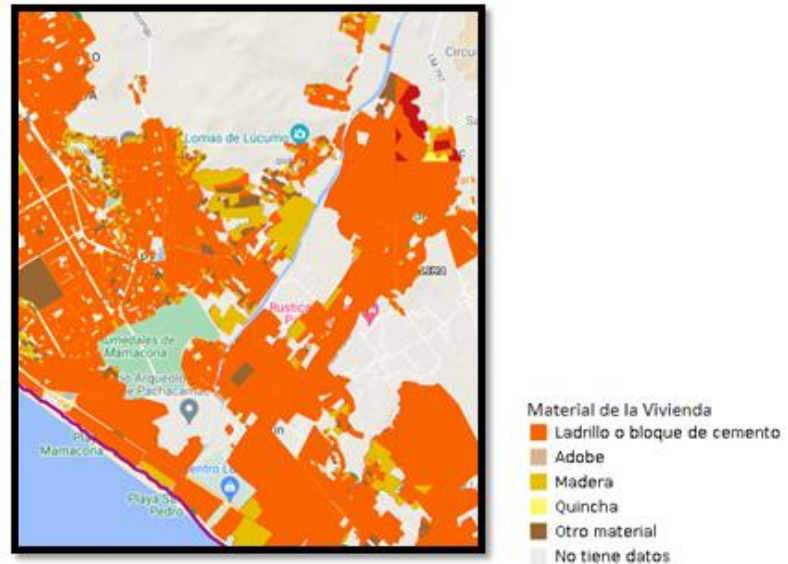


Nota: información obtenida de Sayhuite – PCM

Vivienda: Con respecto a la infraestructura de las viviendas el área de estudio muestra que existen viviendas construidas quincha, madera, adobe, ladrillo y otros, en tal sentido en el área de influencia del estudio se puede visualizar la que más predomina son las viviendas de ladrillo seguida por las de madera.

Figura 15

Infraestructura de viviendas en el área de estudio.



Nota: información obtenida de Sayhuite – PCM

3.3. Variables

3.3.1. Variable dependiente

Modelo Hidrológico

3.3.2. Variable independiente

Identificación de zonas de inundables

3.4. Población y muestra

Población: La población de la investigación estará representada por dos Centros Poblados Menores, Los Almácigos, ubicado en el distrito de Lurín de la Provincia de Lima, región Lima, según la proyección del INEI al año 2015 la población total del distrito fue de 85,132 habitantes, de los cuales 42,279 son mujeres y 42,853 hombres. El centro poblado menor es Tomiba, ubicado en el distrito de Pachacamac de la Provincia de Lima, región Lima, según la proyección del INEI al año 2015 la población total del distrito fue de 129,653 habitantes, de los cuales 66,138 son mujeres y 63,515 hombres.

El Sistema de Información Geográfica – Saywite del Ministerio de la presidencia de nuestro país considera en su base la proyección de la población en el año 2015 para el Centro Poblado de Los Almácigos de 39 habitantes con 12 viviendas y 13 hogares. Para el Centro Poblado Tomina la población asciende 73 habitantes con 48 viviendas y 22 hogares.

Según la estadística del INEI muestra que la población en el distrito de Lurín se ha incrementado para el año 2016 la proyección fue de 87,256 habitantes y para el año 2017 fue de 89,416 habitantes y para el distrito de Pachacamac la proyección de la población fue para el año 2016 de 133,256 habitantes y para el año 2017 fue de 136,921 habitantes.

Muestra: La población objeto de la investigación está conformada por los centros poblados de Los Almácigos y Tomina los cuales tienen una población de 39 y 73 habitantes (INEI, 2007) que suman 112 habitantes en el área de influencia directa de la investigación de los distritos de Lurín y Pachacamac.

Para determinar el tamaño de la muestra utilizaremos la siguiente fórmula:

$$n = \frac{NZ^2pq}{((N-1)E^2 + Z^2pq)} \quad (19)$$

Dónde:

n: tamaño de la muestra,

N: población del área de estudio

p : Proporción esperada (en este caso $5\% = 0.05$) y q que es igual a 1 menos p (en este caso $1 - 0.05 = 0.95$), Z : valor obtenido mediante niveles de confianza, es un valor constante que se toma en relación del 95% de confianza que equivale a 1.96, e : límite aceptable de error esperado, que se toma entre 0.01 y 0.09.

Aplicando la fórmula tenemos un tamaño de muestra de 83 habitantes

Materiales y Equipos

➤ **Materiales:**

- Carta Nacional 25j
- Imagen DEM de Lima.
- Tablero
- Varilla de 1.50 metros
- Wincha de 50 metros
- Cuaderno de apuntes
- Plano CAD del distrito de Lurín y Pachacamac.

➤ **Equipos:**

- GPS Garmin 76sCx
- Cámara fotográfica Nikon.
- Computadora Portátil Toshiba I7

3.5. Instrumentos

La observación: Se realiza varias visitas in situ del área de la investigación y se observa la realidad de la ocupación del territorio considerando la exposición de las viviendas y de las personas ante la inundación, se observa la fragilidad que tienen las infraestructuras para resistir una inundación y se observa y consulta sobre la resiliencia, los niveles de organización ante la inundación.

La entrevista : Mediante las coordinaciones con las Municipalidades de Lurín y Pachacamac se realizan visitas a los directores y/o jefes del área de la atención de riesgos para consultar sobre fechas históricas que el río haya afectado en esta zona a la población o a sus actividades agrícolas y/o pecuarias, a la vez se consulta sobre los proyectos realizados por la comuna o por la Municipalidad Metropolitana de Lima sobre algunas obras estructurales que hayan desarrollado para minimizar el riesgo por inundaciones.

La encuesta: Se realiza el cuestionario de la escala de Likert con preguntas cerradas con alternativas de respuestas para cada pregunta como Muy alto, alto, medio bajo o muy bajo; con la finalidad de medir actitudes que tienen los pobladores ante las inundaciones. La elaboración de las preguntas estará en concordancia con los indicadores y a su vez con las dimensiones de cada una de las variables.

3.6. Procedimiento

3.6.1. *Etapa de pre-campo.*

En esta etapa se analiza las variables físicas de la investigación las cuales están distribuidas en los factores meteorológicos, topográficos e hidrográficos, se analizan las variables de precipitación, evapotranspiración, temperatura, así como las pendientes y geoformas del área de estudio, con mayor detalle se hace un análisis del caudal histórico

del río, como la intensidad máxima para varios intervalos de tiempo, para ello se cuenta con el siguiente material.

Materiales y equipos

- Carta Nacional de Lima 25i.
- Imagen DEM de Lima.
- Mapas temáticos de climatología, hidrología, capacidad de uso mayor de los suelos, ecología a escala de 1: 50,000 INRENA, ajustado para el estudio.
- Información meteorológica en la que se considera los valores de temperatura de las estaciones climatológicas y de precipitación de las estaciones pluviométricas obtenidas del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología.
- Software de automatización cartográfica de Sistemas de información geográfica Arc / Info.
- Software de modelamiento hidrológico HEC-RAS.
- Software de modelamiento hidrológico HEC-HMS.
- Un microprocesador Intel I5, software Excel V. 10.0 y Word V. 10.0 y una impresora Epson L 200 para el procesamiento de la información.

3.6.2. Etapa de campo

En la etapa de campo se realiza visitas al área de estudio para levantar secciones transversales del río las cuales serán medidas cada 100 metros, considerando la medición media de la profundidad del río en cada sección.

Se realiza un reconocimiento de campo para identificar zonas afectadas con anterioridad al estudio y poder plantear algunas medidas de orden estructural y no estructural.

Se realiza las encuestas a los pobladores de los centros poblados menores de Los Almácigos en el distrito de Lurín y del centro poblado Tomina del distrito de

Pachacamac, con el fin de contar con información histórico de los hechos con respecto a la inundación y afectación a la población, así como a sus enseres y actividades agrícolas y pecuarias.

A. Reconocimiento visual de la zona de investigación

En el recorrido inicial se reconoció la zona a investigar, es decir la ubicación del tramo del río Lurín, desde el puente Lurín hasta el puente Quebrada verde, así como las características de las zonas urbanas y zonas de cultivo.

Figura 16

Inicio y final de la zona investigada.



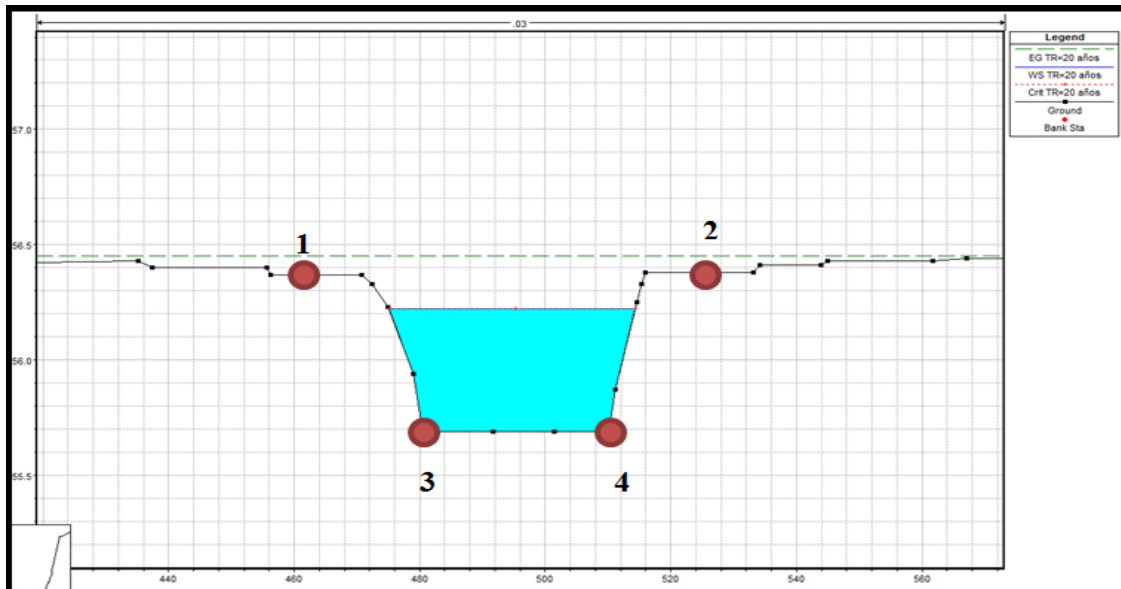
B. Levantamiento topográfico del cauce del río Lurín

El levantamiento topográfico del cauce del río Lurín se realizó con la ayuda de un GPS Garmin 76sCx, el cual consistió en tomar puntos en el margen derecho e izquierdo, así como en las bases de la ribera del río, cada 100 metros.

Con el modelo digital de terreno (DEM ASTGTM S13W077) y los puntos tomados en campo, se procesó esta información en el software ArcGis para obtener la sección transversal del tramo a investigar.

Figura 17

Puntos del GPS plasmado en el HEC-RAS.



Nota: Los puntos 1 y 2 con tomados del margen derecho izquierdo y los puntos 3 y 4 de las bases de la ribera.

3.6.3. Etapa de post-campo

En la etapa de post campo, con la información obtenida de la revisión bibliográfica y de la obtenida en campo se realiza las siguientes actividades:

A. Delimitación de la intercuenca 13755341 del río Lurín

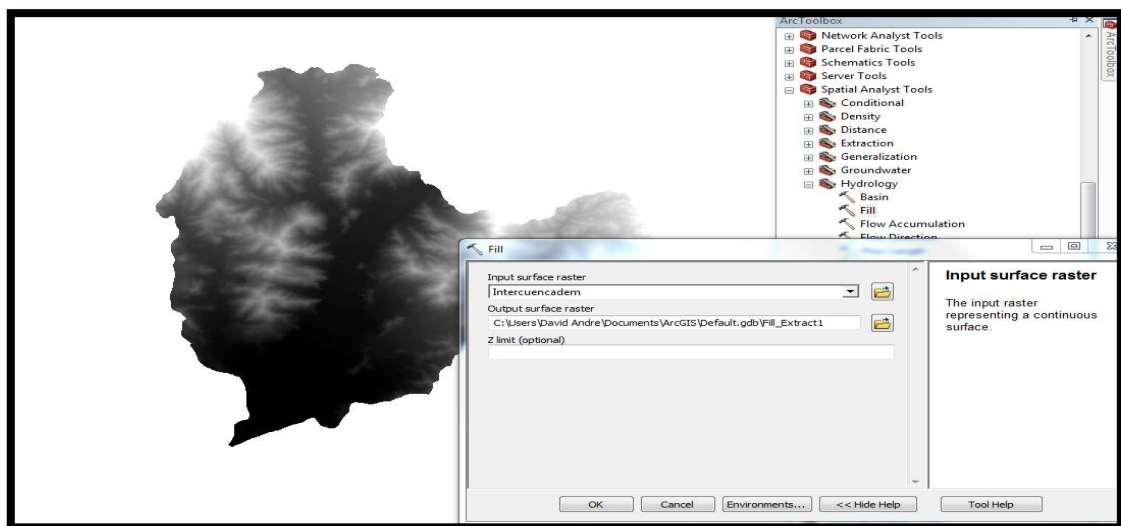
Para realizar la delimitación de intercuenca 13755341 de río Lurín se utilizó el software Arcgis 10.2 y con el DEM ASTGTM S13W077 y los puntos del GPS obtenidos en campo ayudara a tener mayor precisión de la morfología del terreno.

Fill: Después de extraer la intercuenca 13755341 del río Lurín del DEM ASTGTM S13W077, procedemos a borrar las imperfecciones que pueda tener el raster, para realizar se procede de la siguiente manera:

ArcToolbox > Spatial Analyst Tools > Hydrology > Fill

Figura 18

Fill de la intercuenca 13755341 del río Lurín

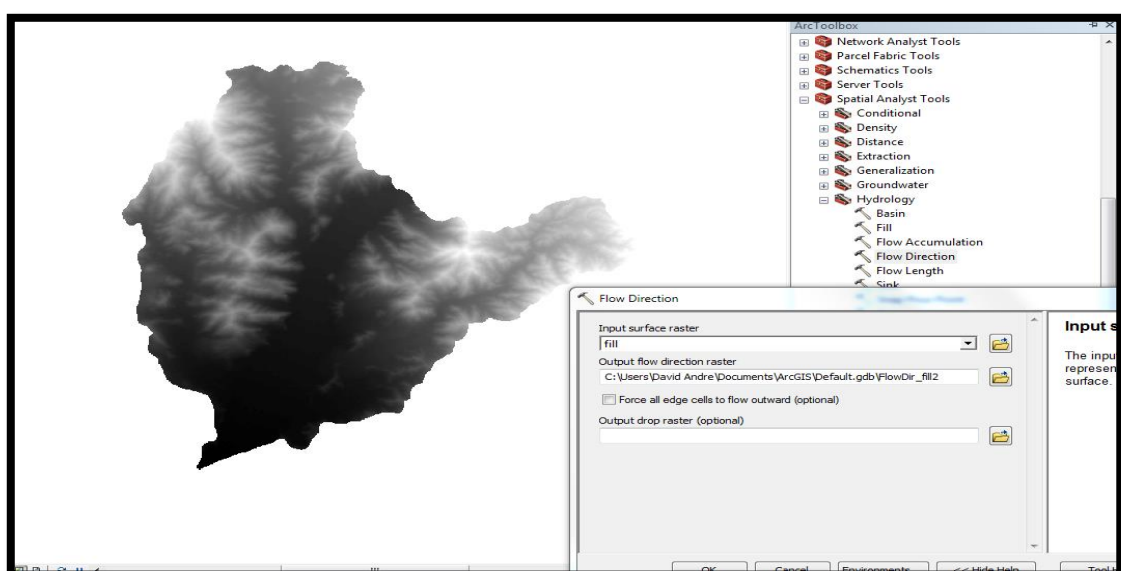


Flow direction: Después de realizar el Fill del raster, procedemos a realizar la dirección de flujo, con lo cual se determinará la dirección en la que el agua del río Lurín fluirá de cada celda, para realizar se procede de la siguiente manera:

ArcToolbox > Spatial Analyst Tools > Hydrology > Flow Direction

Figura 19

Flow Direction de la intercuenca 13755341 del río Lurín

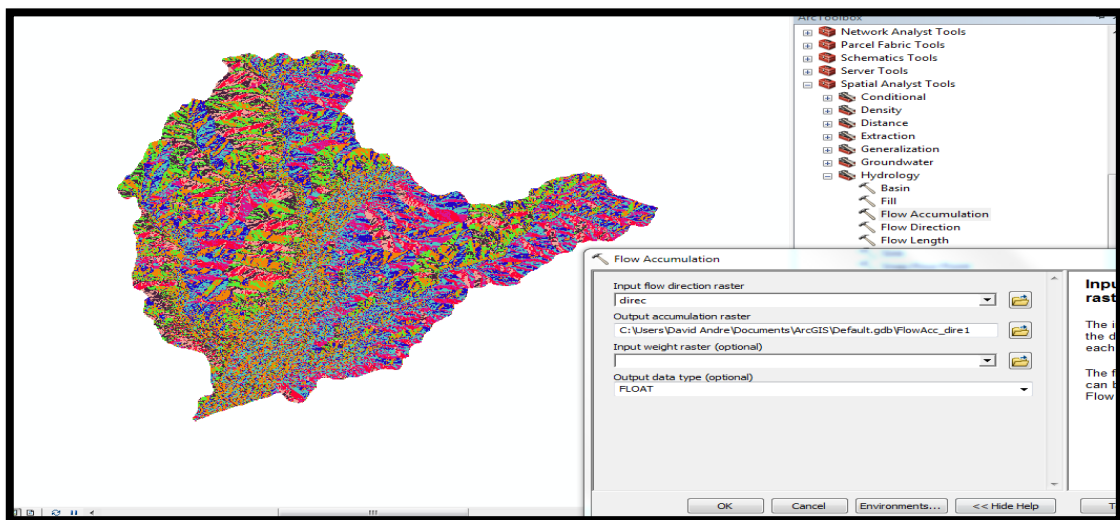


Flow Accumulation: Después de realizar el flow direction, procedemos a determinar la acumulación de flujo, con lo cual se calculará la cantidad de agua del río Lurín que fluye dentro de cada celda, para realizar se procede de la siguiente manera:

ArcToolbox > Spatial Analyst Tools > Hydrology > Flow Accumulation

Figura 20

Flow Accumulation de la intercuenca 13755341 del río Lurín.

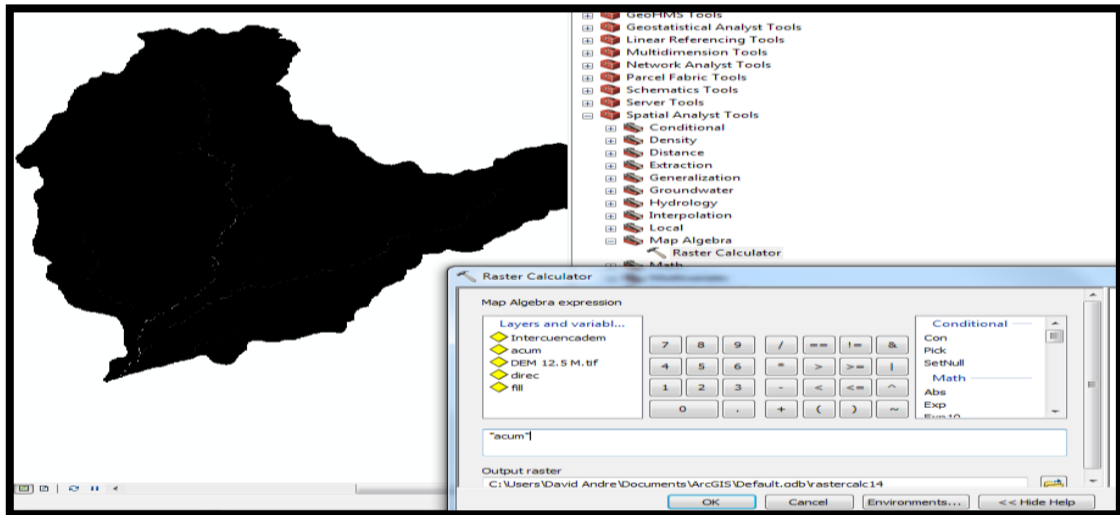


Raster Calculator: Después de realizar el flow Acumulation, procedemos a construir la red hídrica, para realizar se procede de la siguiente manera:

ArcToolbox > Spatial Analyst Tools > Map Algebra > Raster Calculator

Figura 21

Raster Calculador de la intercuenca 13755341 del río Lurín.



Raster to polygon: Para fines prácticos convertimos el raster a polígono, para realizar se procede de la siguiente manera:

ArcToolbox > Conversion Tools > From Raster > Raster to Polygon

Figura 22

Conversión de raster a polígono – red hídrica.

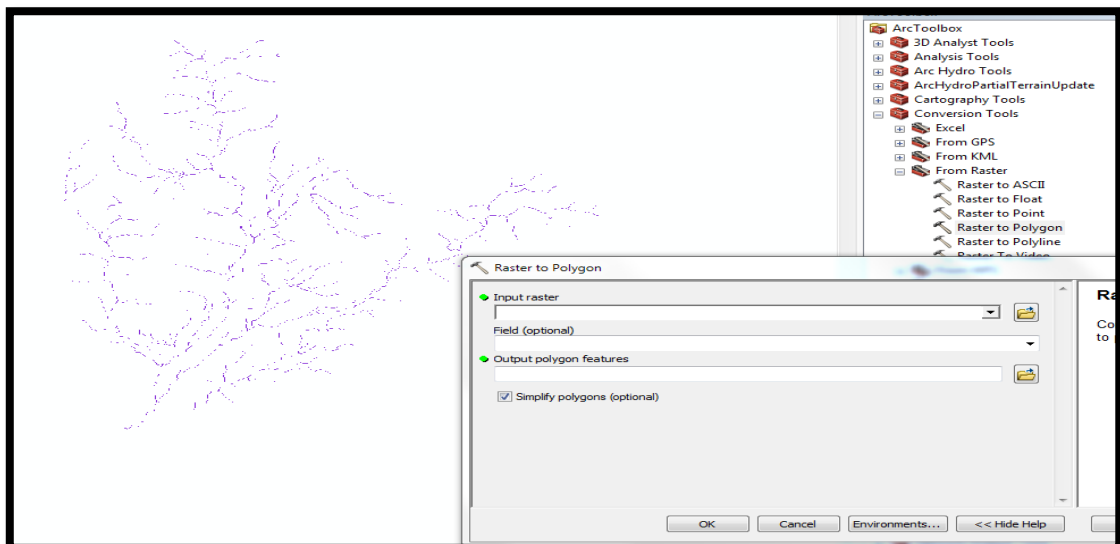
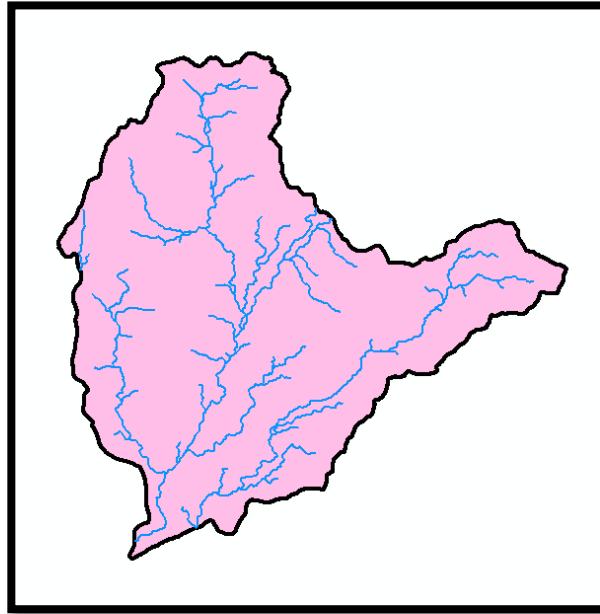


Figura 23

Mapa de la red Hídrica de la 13755341 del río Lurín.

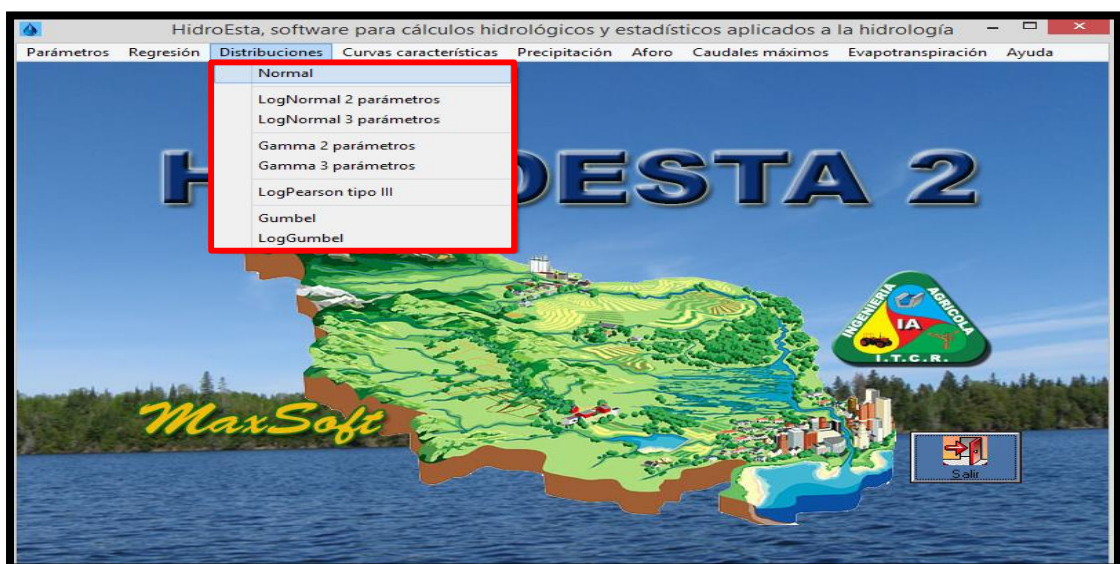


B. Cálculo de las precipitaciones en diferentes tiempos de retorno

Distribución de probabilidades: Para poder simplificar laboriosos cálculos en una plantilla Excel se optó por usar el software HIDROESTA 2, elaborado por Villón Bejar, Máximo, así obtendremos las precipitaciones en diferentes tiempos de retorno.

Figura 24

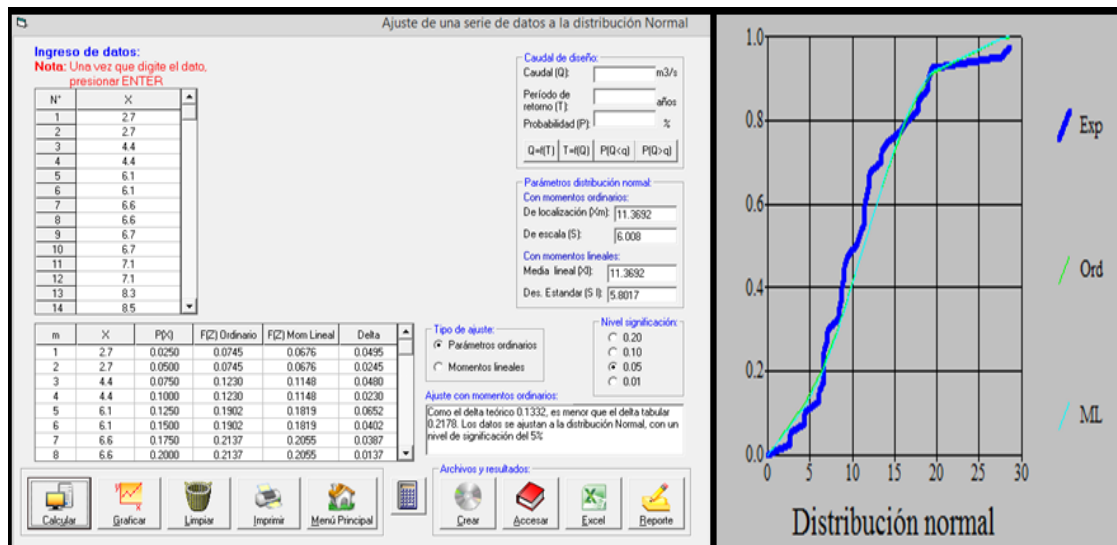
Ventana principal del HIDROESTA 2.



➤ **Distribución normal:** Utilizando la opción Distribución Normal del software HIDROESTA 2, se obtienen los siguientes resultados:

Figura 25

Ajuste de la serie de datos a la distribución normal.



Como el Delta teórico 0.1332, es menor que el delta tabular 0.2178, para momentos Ordinarios o lineales, los datos se ajustan a la distribución Normal, con un nivel de significancia del 5% o una probabilidad del 95%.

Parámetros de la distribución normal:

Con momentos ordinarios:

- Parámetro de localización (X m) = 11.3692
- Parámetro de escala (S) = 6.008

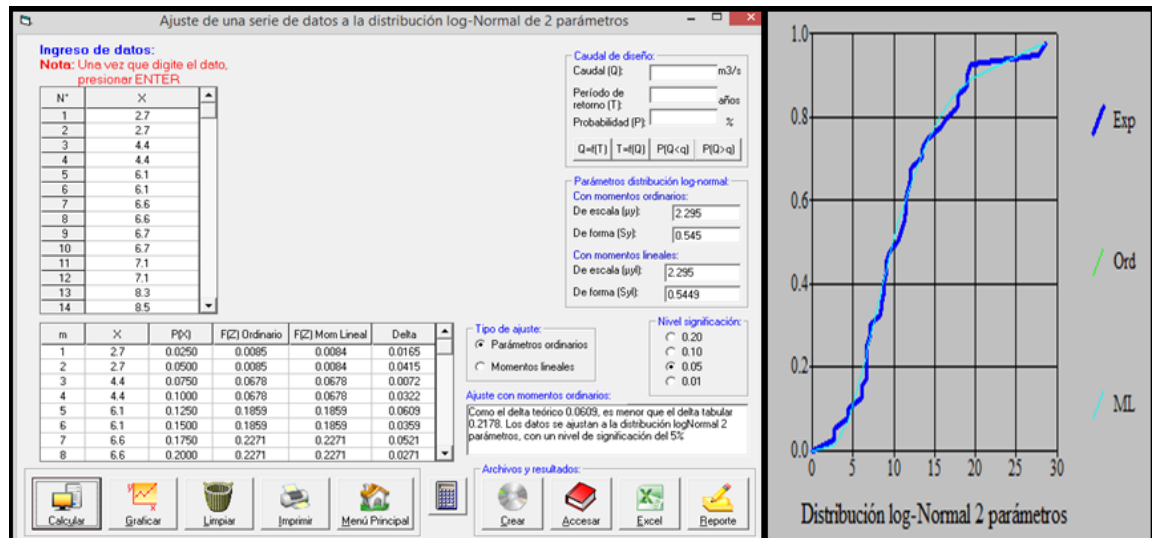
Con momentos lineales:

- Media lineal (XI) = 11.3692
- Desviación estándar lineal (SI) = 5.8017

➤ **Log-normal de 2 parámetros:** Utilizando la opción Distribución Log-Normal de 2 parámetros en el software HidroEsta 2, se obtienen los siguientes resultados:

Figura 26

Ajuste de la serie de datos Distribución Log-Normal de 2 parámetros.



Como el Delta teórico 0.0609, es menor que el delta tabular 0.2178, los momentos ordinarios, lineales y de prueba de ajuste Smirnov-Kolmogorov, se obtienen con un nivel de significancia del 5%, dando buenos resultados.

Parámetros distribución Log-Normal de 2 parámetros

Momentos ordinarios:

- De escala ($\mu\gamma$): 2.295
- De forma ($S\gamma$): 0.545

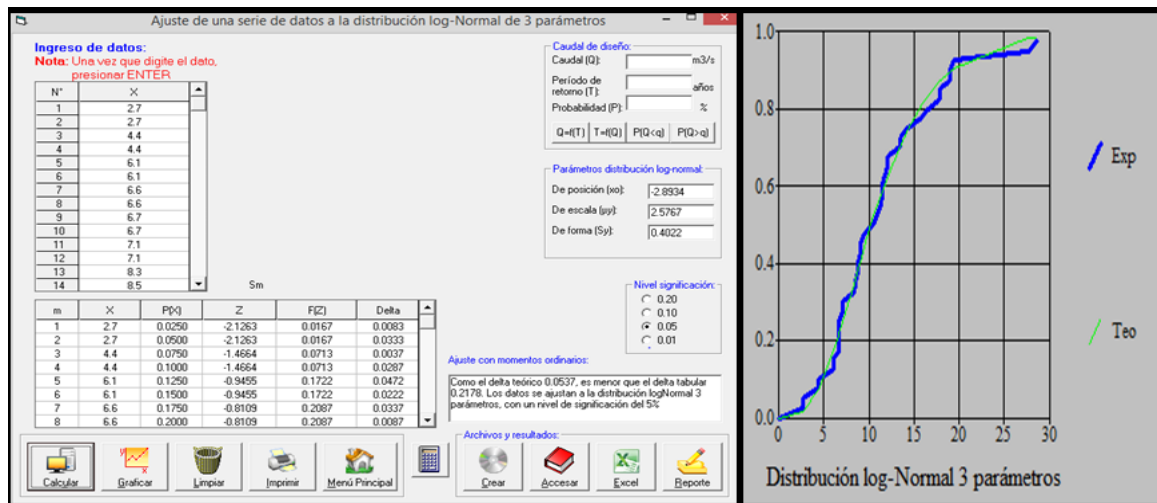
Momentos lineales

- De escala ($\mu\gamma_l$): 2.295
- De forma ($S\gamma_l$): 0.5449

➤ **Distribución log normal de 3 parámetros:** Utilizando la opción Distribución Log-Normal de 3 parámetros en el software HidroEsta 2, se obtienen los siguientes resultados:

Figura 27

Ajuste de la serie de datos Distribución Log-Normal de 3 parámetros.



Como el Delta teórico 0.0537, es menor que el delta tabular 0.2178, el gráfico muestra los 3 parámetros de la distribución Lag-Normal, y de la prueba de ajuste Smirnov-Kolmogorov, con un nivel de significación del 5%, obtenemos buenos resultados.

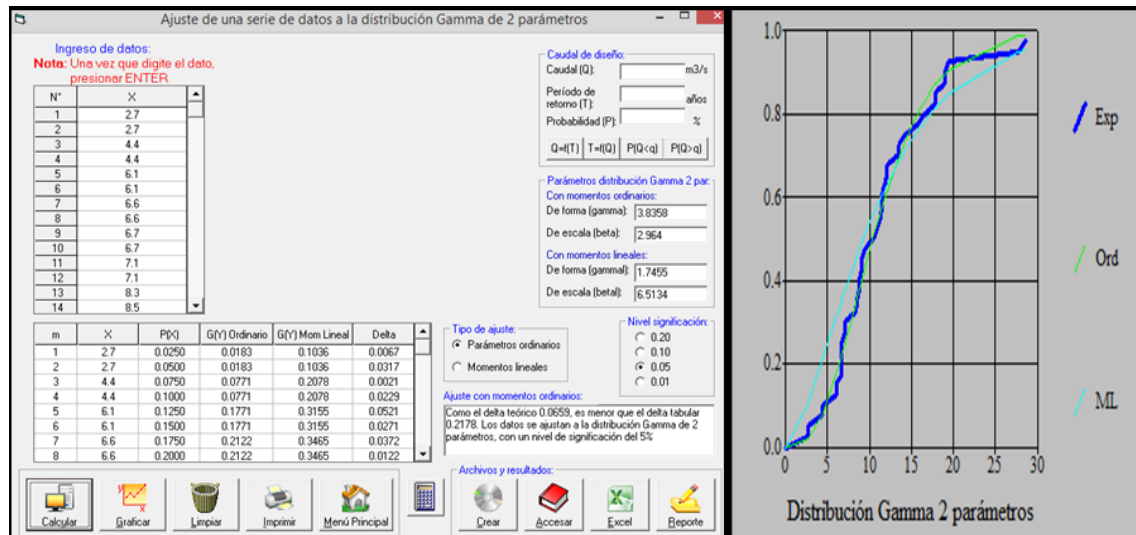
Parámetros distribución Log-Normal de 3 parámetros:

- De posición(X_0): -2.8934
- De escala($\mu\gamma$): 2.5767
- De forma($S\gamma$): 0.4022

➤ **Distribución gamma de 2 parámetros:** Utilizando la opción Distribución gamma de 2 parámetros en el software HIDROESTA 2, se obtienen los siguientes resultados:

Figura 28

Ajuste de la serie de datos Distribución gamma de 2 parámetros.



Como el Delta teórico 0.0659, es menor que el delta tabular 0.2178, los momentos ordinarios, lineales y de prueba de ajuste Smirnov-Kolmogorov, se obtienen con un nivel de significancia del 5%, dando buenos resultados.

Con los momentos ordinarios se aproxima mejor a los datos experimentales que con los momentos lineales.

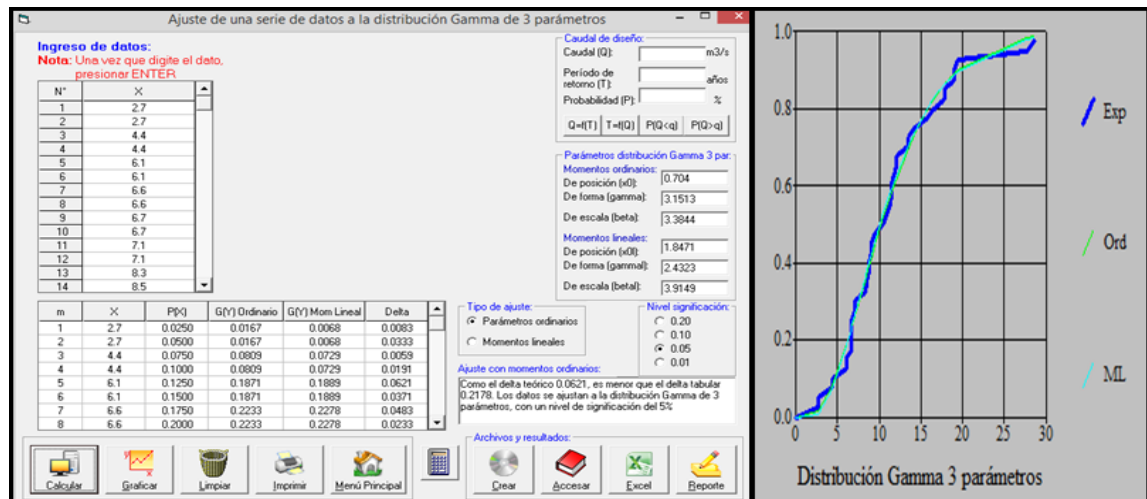
Momentos ordinarios:

- De forma (γ): 3.8358
- De escala (β): 2.964

➤ **Distribución gama de 3 parámetros:** Utilizando la opción Distribución gamma de 3 parámetros en el software HIDROESTA 2, se obtienen los siguientes resultados:

Figura 29

Ajuste de la serie de datos Distribución gamma de 3 parámetros.



Como el Delta teórico 0.0621, es menor que el delta tabular 0.2178, los momentos ordinarios, lineales y de prueba de ajuste Smirnov-Kolmogorov, se obtienen con un nivel de significancia del 5%, dando buenos resultados.

Con los momentos ordinarios se aproxima mejor a los datos experimentales que con los momentos lineales.

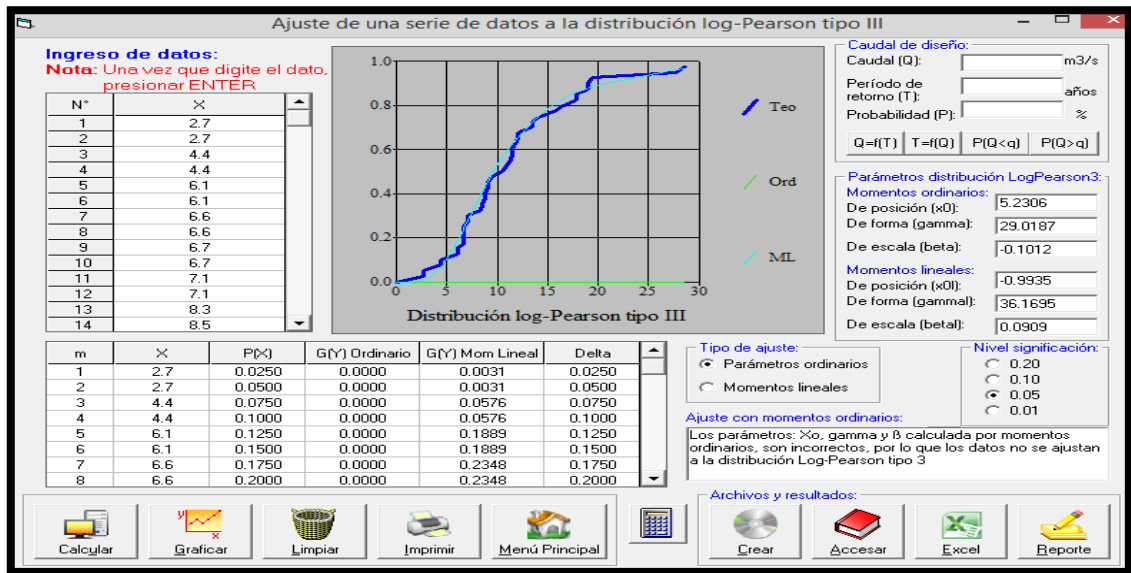
Momentos ordinarios:

- De posición (x_0): 0.704
- De forma ($gamma$): 3.1513
- De escala ($beta$): 3.3844

➤ **Log Pearson tipo III:** Los parámetros x_0 , gamma y beta calculada por momentos ordinarios, son incorrectos, por lo que los datos no se ajustan a la distribución Log-Person tipo III.

Figura 30

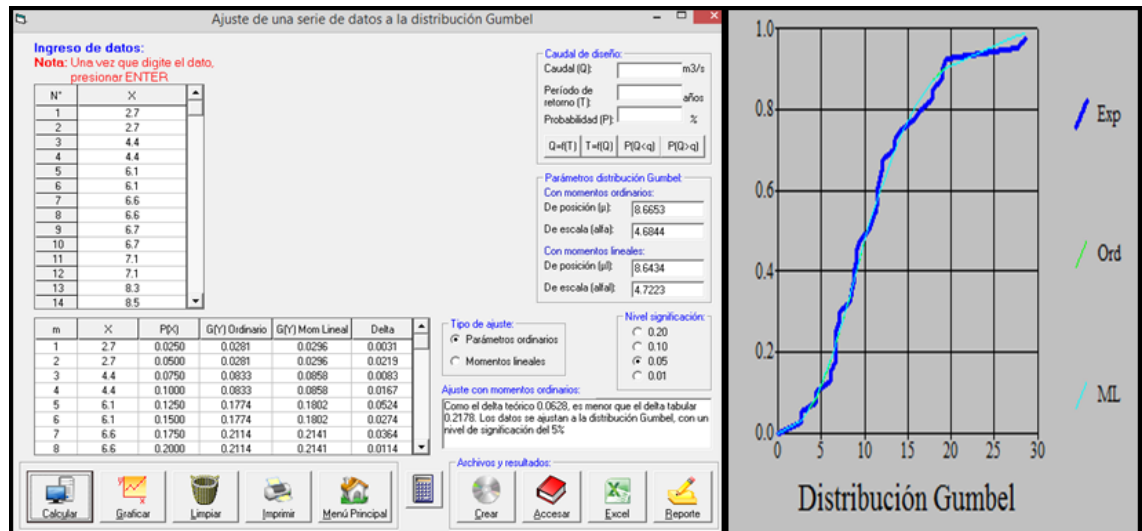
Ajuste de la serie de datos Distribución gamma de 3 parámetros.



➤ **Distribución Gumbel:** Utilizando la opción Distribución Gumbel en el software HIDROESTA 2, se obtienen los siguientes resultados:

Figura 31

Ajuste de la serie de datos Distribución Gumbel.



Como el Delta teórico 0.0628, es menor que el delta tabular 0.2178, los momentos ordinarios, lineales y de prueba de ajuste Smirnov-Kolmogorov, se obtienen con un nivel de significancia del 5%, dando buenos resultados.

Con los momentos ordinarios se aproxima mejor a los datos experimentales que con los momentos lineales.

Parámetros distribución Gumbel:

Momentos ordinarios:

- De posición(u): 8.6653
- De escala(α): 4.6844

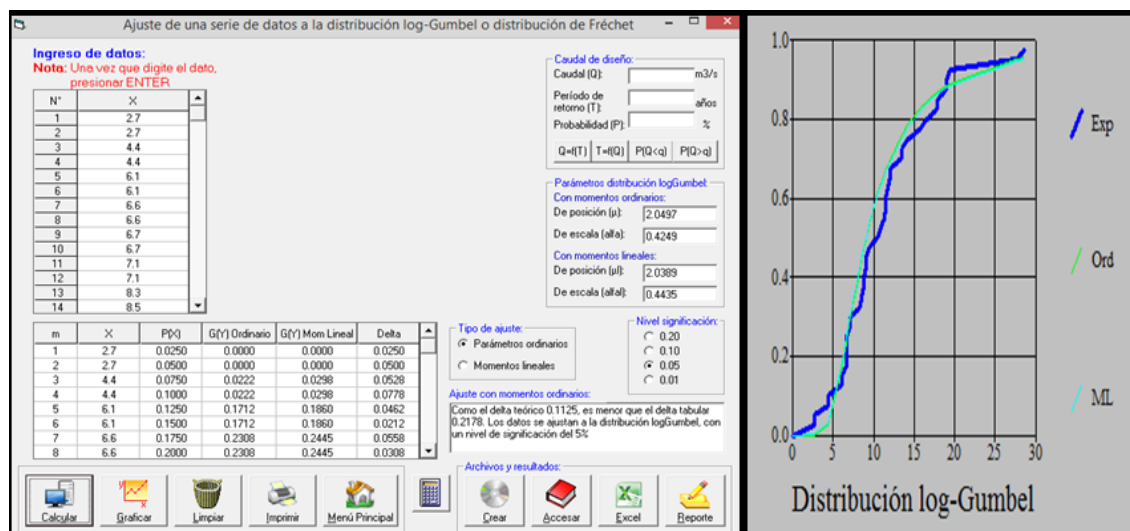
Momentos Lineales:

- De posición(ul): 8.6434
- De escala(α): 4.7223

➤ **Distribución log-Gumbel:** Utilizando la opción Distribución Log-Gumbel en el software HIDROESTA 2, se obtienen los siguientes resultados:

Figura 32

Ajuste de la serie de datos Distribución Gumbel.



Como el Delta teórico 0.1125, es menor que el delta tabular 0.2178, los momentos ordinarios, lineales y de prueba de ajuste Smirnov-Kolmogorov, se obtienen con un nivel de significancia del 5%, dando buenos resultados.

Con los momentos ordinarios se aproxima mejor a los datos experimentales que con los momentos lineales.

Parámetros distribución Gumbel :

Momentos ordinarios:

- De posición(u):2.0497
- De escala(alfa): 0.4249

Momentos Lineales:

- De posición(ul): 2.0389
- De escala(alfal): 0.4435

➤ **Prueba de bondad de ajuste:** La prueba de bondad de ajuste se calculará mediante la siguiente ecuación:

$$1.36/n^{0.5} \quad (20)$$

Dónde:

n: Tamaño de muestra

Figura 33

Valores críticos de D para la prueba de bondad de ajuste de Kolmogorov -Smimov.

Tamaño de muestra, n	Nivel de significancia para $D = \text{máximo } F_o - F_e $				
	0.20	0.15	0.10	0.05	0.01
1	0.900	0.925	0.950	0.975	0.995
2	0.684	0.726	0.776	0.842	0.929
3	0.565	0.597	0.642	0.708	0.828
4	0.494	0.525	0.564	0.624	0.733
5	0.446	0.474	0.510	0.565	0.669
6	0.410	0.436	0.470	0.521	0.618
7	0.381	0.405	0.438	0.486	0.577
8	0.358	0.381	0.411	0.457	0.543
9	0.339	0.360	0.388	0.432	0.514
10	0.322	0.342	0.368	0.410	0.490
11	0.307	0.326	0.352	0.391	0.468
12	0.295	0.313	0.338	0.375	0.450
13	0.284	0.302	0.325	0.361	0.433
14	0.274	0.292	0.314	0.349	0.418
15	0.266	0.283	0.304	0.338	0.404
16	0.258	0.274	0.295	0.328	0.392
17	0.250	0.266	0.286	0.318	0.381
18	0.244	0.259	0.278	0.309	0.371
19	0.237	0.252	0.272	0.301	0.363
20	0.231	0.246	0.264	0.294	0.356
25	0.21	0.22	0.24	0.27	0.32
30	0.19	0.20	0.22	0.24	0.29
35	0.18	0.19	0.21	0.23	0.27
más de 35	$\frac{1.07}{\sqrt{n}}$	$\frac{1.14}{\sqrt{n}}$	$\frac{1.22}{\sqrt{n}}$	$\frac{1.36}{\sqrt{n}}$	$\frac{1.63}{\sqrt{n}}$

Nota: información obtenida de (Kolmogorov y Smimov, 1951, p.46)

El tamaño de muestra para nuestro caso es de, $n= 39$:

Resolviendo la ecuación:

$$1.36 / (39^{0.5}) = 0.2178$$

Tabla 24

Resumen del delta teórico y tabular de las distribuciones.

DISTRIBUCIÓN	DELTA TEÓRICO	DELTA TABULAR	CONCLUSIÓN
Distribución Normal	0.1332	0.2178	Se ajusta a la distribución
Distribución Log normal de 2 Parámetros	0.0609	0.2178	Se ajusta a la distribución
Distribución Log normal de 3 Parámetros	0.0537	0.2178	Se ajusta a la distribución
Distribución Gamma de 2 Parámetros	0.0659	0.2178	Se ajusta a la distribución
Distribución Gamma de 3 Parámetros	0.0621	0.2178	No se ajusta a la distribución
Distribución Gumbel	0.0628	0.2178	Se ajusta a la distribución
Distribución Log Gumbel	0.1125	0.2178	Se ajusta a la distribución

Como se observa el valor de la prueba de bondad de ajuste es mayor que las distribuciones en el resumen de la tabla 24, es por ello que se todos cumplen, pero se selecciona el menor valor de dicha distribución, por lo tanto, para calcular el tiempo de retorno en el Hidroesta 2 se usara la distribución Log Normal de 3 parámetros, calculando las precipitaciones en diferentes tiempos de retorno utilizando el software Hidroesta 2 se obtienen los siguientes resultados:

Tabla 25

Precipitaciones máximas en 24 horas en diferentes tiempos de retorno con la distribución Log Normal de 3 parámetros.

TR	PPmm
2	10.26
5	15.56
10	19.13
20	22.6
50	27.16
100	30.64
200	34.18
500	38.97

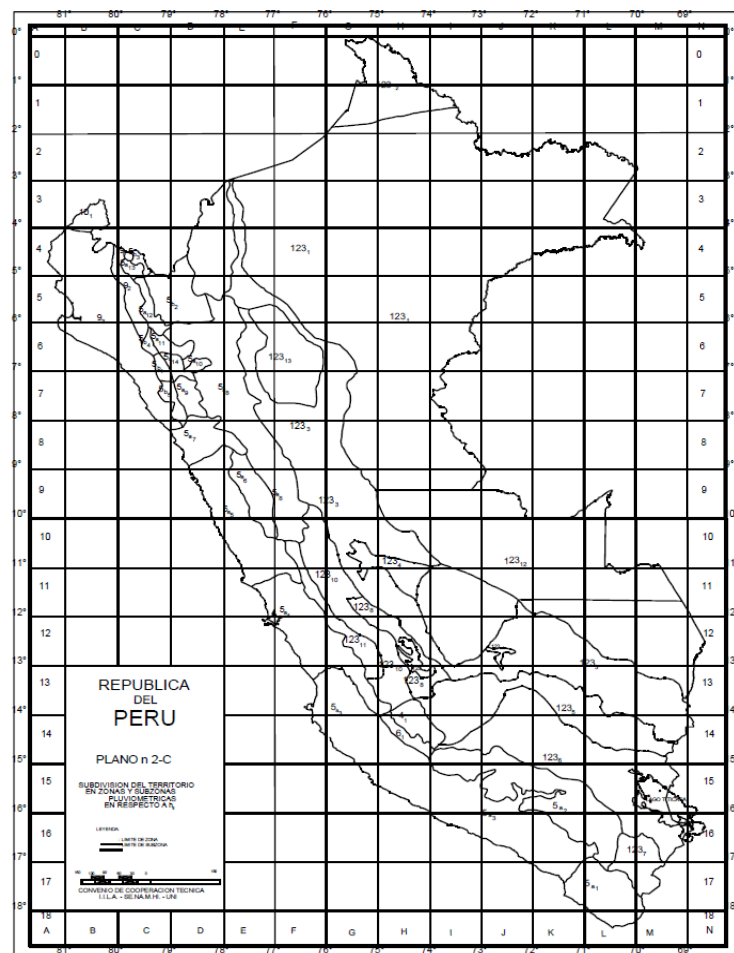
Con los datos obtenidos de las precipitaciones en diferentes tiempos de retorno se podrá utilizar para los calcular la intensidad de lluvia.

C. Calculo de la intensidad de lluvia

➤ **Método IILA-SENAMHI-UNI** : Para poder calcular la intensidad de lluvia por el método IILA-SENAMHI-UNI, utilizaremos la ecuación $i_{t,T} = a(1 + Kg' \log T)t^{n-1}$, para ello tenemos que delimitar la zona y subzonas pluviométricas, el cual lo obtendremos mediante el Mapa de Zonas y Subzonas pluviométricas que se observa en la figura 34, posteriormente se calculara las constantes a , Kg' y n .

Figura 34

Mapa de Zonas y Subzonas pluviométricas.



Nota: información obtenida de IILA-SENAMHI-UNI (1983)

De la figura 34, se observa que la zona de estudio pertenece a la subzona 5a₄, si verificamos en la tabla 5 notamos que la subzona 5a₄ no se encuentra, para ello se toma los datos de la subzona más cercana al área de estudio, es este caso el que se aproxima es la subzona 123₁₁.

Entonces de la tabla 6 el valor de $n = 0.286$ que pertenece a la subzona 123₁₁, para el cálculo de la constante “ kg' y a ” se procederá de la siguiente manera:

$$a=0.46 + 0.0023Y \quad (21)$$

$$k= 11*eg^{-0.85} \quad (22)$$

$$eg= 1+0.005Y \quad (23)$$

La altitud de la estación Manchay se encuentra en el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI), por lo tanto: La altitud = $Y=148$

Remplazando en la ecuación (21):

$$a=0.46+0.0023*(148)$$

$$a=0.8004$$

$$eg=1+0.005*(148)$$

$$eg= 1.74$$

$$k=11*(1.74)^{-0.85}$$

$$kg'=6.870$$

Calculando la intensidad de lluvia para un tiempo de retorno de dos años en 60 minutos utilizando la siguiente ecuación:

$$i_{t,T} = a(1 + Kg' \log T)t^{n-1} \quad (24)$$

Nota: el software pide el tiempo en minutos por ello se divide entre 60 minutos.

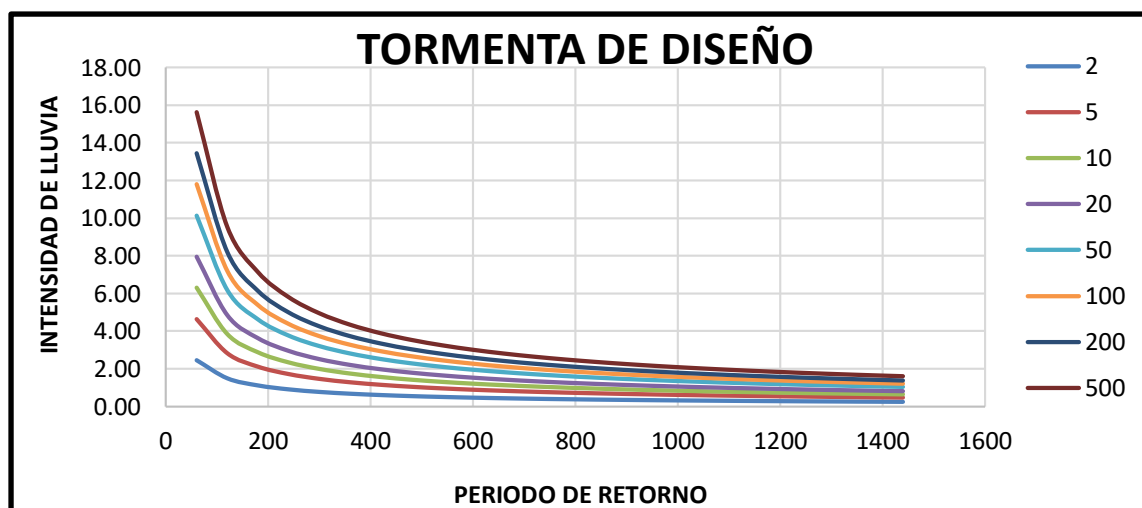
$$i_{t,T}=0.8004*(1+6.870*\log(2))*(60/60)^{0.286-1}$$

$$i_{t,T}=2.46$$

Posteriormente se procede a los cálculos siguientes en la tabla Excel

Tabla 26*Intensidad de lluvia para diferentes Periodos.*

INTENSIDAD DE LLUVIA								
t/T	2	5	10	20	50	100	200	500
60	2.46	4.64	6.30	7.95	10.14	11.80	13.45	15.64
120	1.50	2.83	3.84	4.85	6.18	7.19	8.20	9.53
180	1.12	2.12	2.87	3.63	4.63	5.38	6.14	7.14
240	0.91	1.73	2.34	2.96	3.77	4.38	5.00	5.81
300	0.78	1.47	2.00	2.52	3.21	3.74	4.26	4.96
360	0.68	1.29	1.75	2.21	2.82	3.28	3.74	4.35
420	0.61	1.16	1.57	1.98	2.53	2.94	3.35	3.90
480	0.56	1.05	1.43	1.80	2.30	2.67	3.05	3.54
540	0.51	0.97	1.31	1.66	2.11	2.46	2.80	3.26
600	0.47	0.90	1.22	1.54	1.96	2.28	2.60	3.02
660	0.44	0.84	1.14	1.44	1.83	2.13	2.43	2.82
720	0.42	0.79	1.07	1.35	1.72	2.00	2.28	2.65
780	0.39	0.74	1.01	1.27	1.62	1.89	2.15	2.51
840	0.37	0.71	0.96	1.21	1.54	1.79	2.04	2.38
900	0.36	0.67	0.91	1.15	1.47	1.71	1.95	2.26
960	0.34	0.64	0.87	1.10	1.40	1.63	1.86	2.16
1020	0.32	0.61	0.83	1.05	1.34	1.56	1.78	2.07
1080	0.31	0.59	0.80	1.01	1.29	1.50	1.71	1.99
1140	0.30	0.57	0.77	0.97	1.24	1.44	1.64	1.91
1200	0.29	0.55	0.74	0.94	1.19	1.39	1.58	1.84
1260	0.28	0.53	0.72	0.90	1.15	1.34	1.53	1.78
1320	0.27	0.51	0.69	0.88	1.12	1.30	1.48	1.72
1380	0.26	0.49	0.67	0.85	1.08	1.26	1.43	1.67
1440	0.25	0.48	0.65	0.82	1.05	1.22	1.39	1.62

Figura 35*Tormenta de diseño para diferentes periodos de retorno.*

D. Cálculo de hietogramas con el software HEC HMS

La obtención de los hietogramas en diferentes tiempos de retorno se utilizará en el software Hec-HMS.

➤ *Hietograma para tiempo de retorno de 20 años*

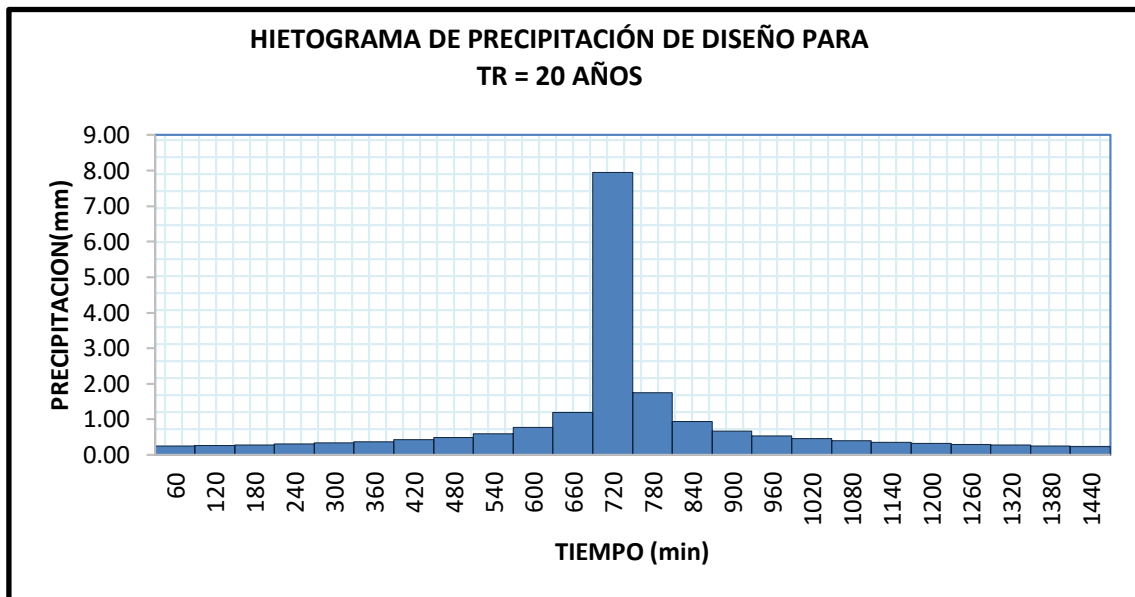
Tabla 27

Datos para la construcción del Hietograma para TR=20 años.

duración en minutos	Intensidad (mm/hr)	profundidad acumulada (mm)	profundidad incremental (mm)	tiempo en minutos	Hietograma (mm)
60	7.95	7.95	7.95	0 - 60	0.25
120	4.85	9.70	1.74	60 - 120	0.26
180	3.63	10.89	1.19	120 - 180	0.28
240	2.96	11.82	0.93	180 - 240	0.31
300	2.52	12.60	0.78	240 - 300	0.34
360	2.21	13.28	0.67	300 - 360	0.37
420	1.98	13.88	0.60	360 - 420	0.42
480	1.80	14.42	0.54	420 - 480	0.49
540	1.66	14.91	0.49	480 - 540	0.60
600	1.54	15.37	0.46	540 - 600	0.78
660	1.44	15.79	0.42	600 - 660	1.19
720	1.35	16.19	0.40	660 - 720	7.95
780	1.27	16.56	0.37	720 - 780	1.74
840	1.21	16.92	0.35	780 - 840	0.93
900	1.15	17.26	0.34	840 - 900	0.67
960	1.10	17.58	0.32	900 - 960	0.54
1020	1.05	17.89	0.31	960 - 1020	0.46
1080	1.01	18.18	0.29	1020 - 1080	0.40
1140	0.97	18.46	0.28	1080 - 1140	0.35
1200	0.94	18.74	0.27	1140 - 1200	0.32
1260	0.90	19.00	0.26	1200 - 1260	0.29
1320	0.88	19.25	0.25	1260 - 1320	0.27
1380	0.85	19.50	0.25	1320 - 1380	0.25
1440	0.82	19.74	0.24	1380 - 1440	0.24

Figura 36

Hietograma para TR=20 años.



Con los datos obtenidos del software HEC HMS plasmados en la tabla 27 se realizó la gráfica del hietograma de precipitación de diseño para un tiempo de retorno de 20 años.

La precipitación pico que se observa en el hietograma de precipitación de diseño para un tiempo de retorno de 20 años, se da en el minuto 720, con una precipitación de 7.95 mm.

➤ *Hietograma para tiempo de retorno de 50 años*

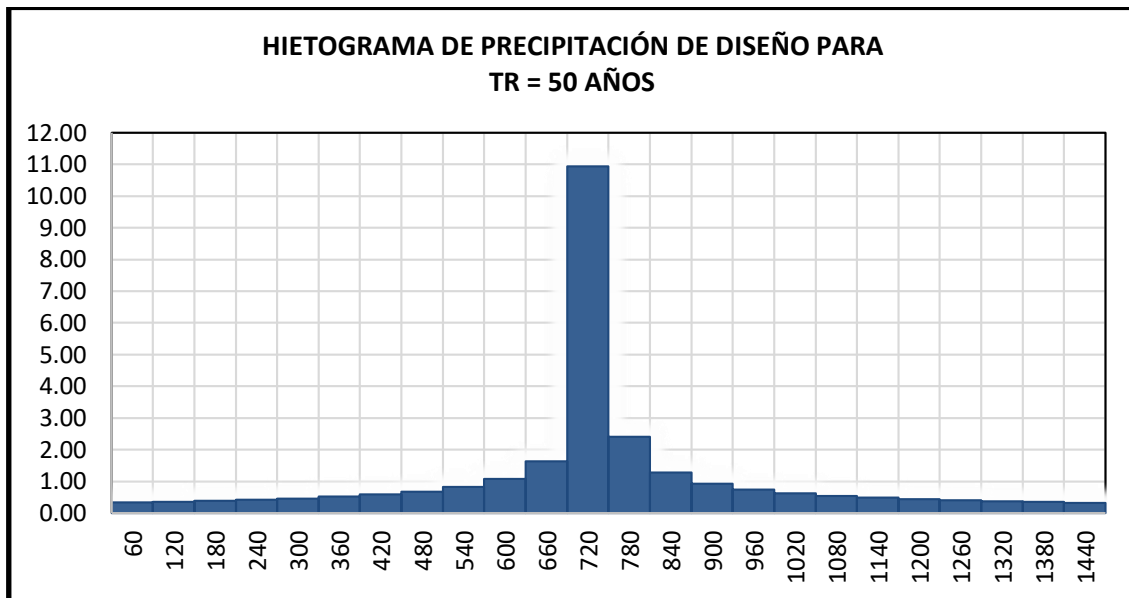
Tabla 28

Datos para la construcción del Hietograma para TR=50 años.

Duración en minutos	Intensidad (mm/hr)	Profundidad acumulada (mm)	Profundidad incremental (mm)	Tiempo minutos	Hietograma (mm)
60	10.14	10.14	10.14	0 - 60	0.31
120	6.18	12.37	2.22	60 - 120	0.34
180	4.63	13.89	1.52	120 - 180	0.36
240	3.77	15.08	1.19	180 - 240	0.39
300	3.21	16.07	0.99	240 - 300	0.43
360	2.82	16.93	0.86	300 - 360	0.48
420	2.53	17.69	0.76	360 - 420	0.54
480	2.30	18.38	0.69	420 - 480	0.63
540	2.11	19.01	0.63	480 - 540	0.76
600	1.96	19.59	0.58	540 - 600	0.99
660	1.83	20.14	0.54	600 - 660	1.52
720	1.72	20.64	0.51	660 - 720	10.14
780	1.62	21.12	0.48	720 - 780	2.22
840	1.54	21.57	0.45	780 - 840	1.19
900	1.47	22.00	0.43	840 - 900	0.86
960	1.40	22.41	0.41	900 - 960	0.69
1020	1.34	22.80	0.39	960 - 1020	0.58
1080	1.29	23.18	0.38	1020 - 1080	0.51
1140	1.24	23.54	0.36	1080 - 1140	0.45
1200	1.19	23.89	0.35	1140 - 1200	0.41
1260	1.15	24.23	0.34	1200 - 1260	0.38
1320	1.12	24.55	0.32	1260 - 1320	0.35
1380	1.08	24.86	0.31	1320 - 1380	0.32
1440	1.05	25.17	0.30	1380 - 1440	0.30

Figura 37

Hietograma para TR=50 años.



Con los datos obtenidos del software HEC HMS plasmados en la tabla 28 se realizó la gráfica del hietograma de precipitación de diseño para un tiempo de retorno de 50 años.

La precipitación pico que se observa en el hietograma de precipitación de diseño para un tiempo de retorno de 50 años, se da en el minuto 720, con una precipitación de 10.14 mm.

➤ *Hietograma para tiempo de retorno de 100 años*

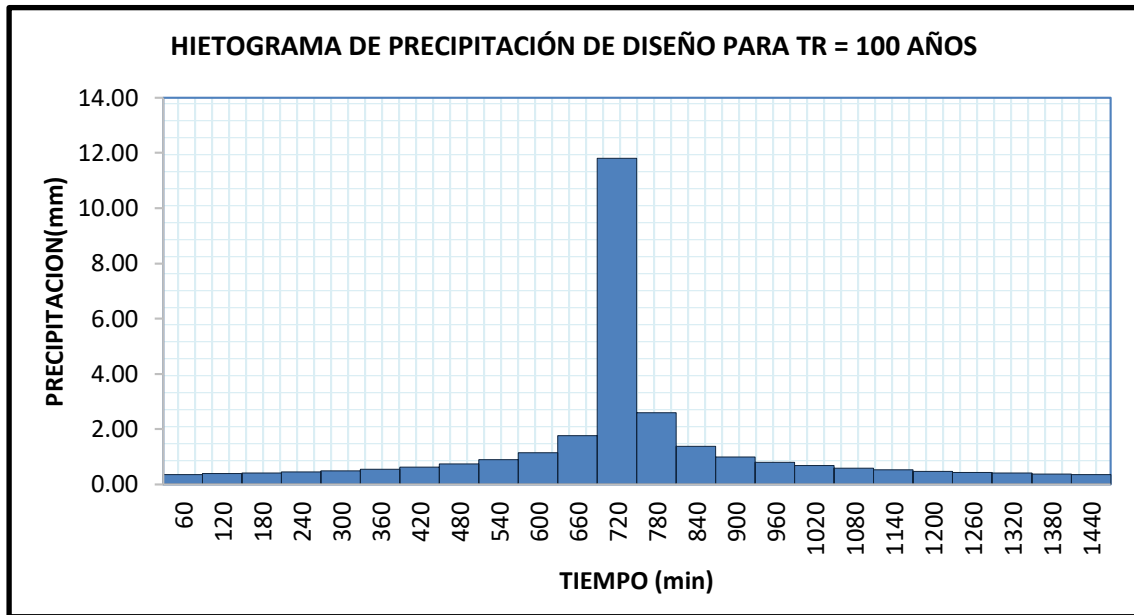
Tabla 29

Datos para la construcción del Hietograma para TR=100 años.

Duración en minutos	Intensidad (mm/hr)	Profundidad acumulada (mm)	Profundidad incremental (mm)	Tiempo minutos	Hietograma (mm)
60	11.80	11.80	11.80	0 - 60	0.37
120	7.19	14.38	2.59	60 - 120	0.39
180	5.38	16.15	1.77	120 - 180	0.42
240	4.38	17.54	1.39	180 - 240	0.46
300	3.74	18.69	1.16	240 - 300	0.50
360	3.28	19.69	1.00	300 - 360	0.56
420	2.94	20.58	0.89	360 - 420	0.63
480	2.67	21.38	0.80	420 - 480	0.73
540	2.46	22.12	0.73	480 - 540	0.89
600	2.28	22.79	0.68	540 - 600	1.16
660	2.13	23.42	0.63	600 - 660	1.77
720	2.00	24.01	0.59	660 - 720	11.80
780	1.89	24.57	0.56	720 - 780	2.59
840	1.79	25.09	0.53	780 - 840	1.39
900	1.71	25.59	0.50	840 - 900	1.00
960	1.63	26.07	0.48	900 - 960	0.80
1020	1.56	26.53	0.46	960 - 1020	0.68
1080	1.50	26.96	0.44	1020 - 1080	0.59
1140	1.44	27.38	0.42	1080 - 1140	0.53
1200	1.39	27.79	0.40	1140 - 1200	0.48
1260	1.34	28.18	0.39	1200 - 1260	0.44
1320	1.30	28.56	0.38	1260 - 1320	0.40
1380	1.26	28.92	0.37	1320 - 1380	0.38
1440	1.22	29.28	0.35	1380 - 1440	0.35

Figura 38

Hietograma para TR=100 años.



Con los datos obtenidos del software HEC HMS plasmados en la tabla 29 se realizó la gráfica del hietograma de precipitación de diseño para un tiempo de retorno de 100 años.

La precipitación pico que se observa en el hietograma de precipitación de diseño para un tiempo de retorno de 100 años, se da en el minuto 720, con una precipitación de 11.80 mm.

➤ *Hietograma para tiempo de retorno de 200 años*

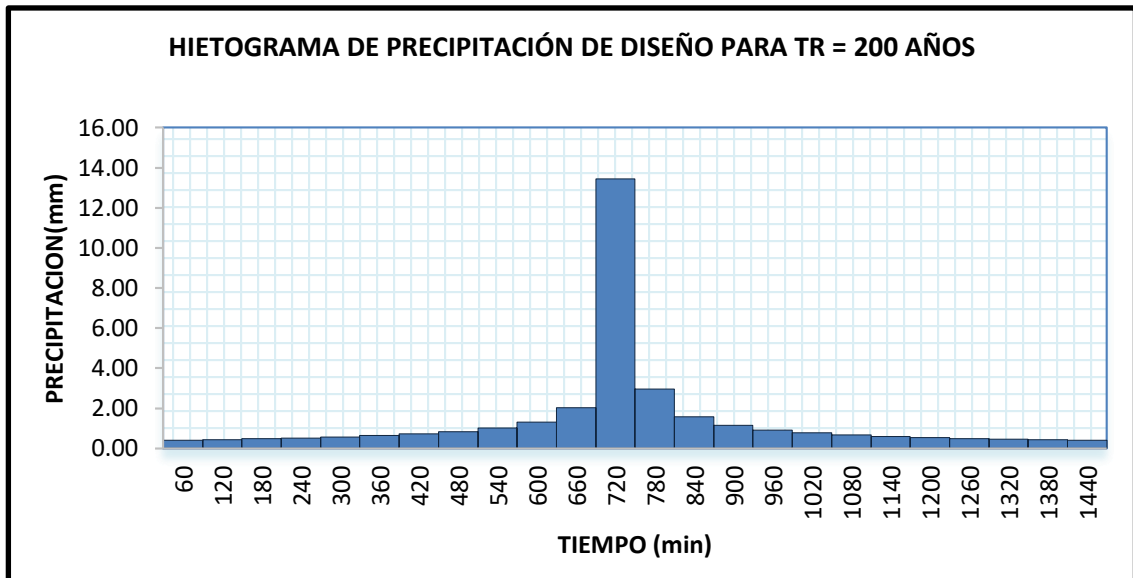
Tabla 30

Datos para la construcción del Hietograma para TR=200 años.

Duración en minutos	Intensidad mm/hr	Profundidad acumulada(m m)	Profundidad incremental (mm)	Tiempo minutos	Hietograma (mm)
60	13.45	13.45	13.45	0 - 60	0.42
120	8.20	16.40	2.95	60 - 120	0.45
180	6.14	18.42	2.02	120 - 180	0.48
240	5.00	20.00	1.58	180 - 240	0.52
300	4.26	21.32	1.32	240 - 300	0.57
360	3.74	22.46	1.14	300 - 360	0.63
420	3.35	23.47	1.01	360 - 420	0.72
480	3.05	24.38	0.91	420 - 480	0.84
540	2.80	25.22	0.84	480 - 540	1.01
600	2.60	25.99	0.77	540 - 600	1.32
660	2.43	26.71	0.72	600 - 660	2.02
720	2.28	27.38	0.67	660 - 720	13.45
780	2.15	28.01	0.63	720 - 780	2.95
840	2.04	28.61	0.60	780 - 840	1.58
900	1.95	29.18	0.57	840 - 900	1.14
960	1.86	29.73	0.54	900 - 960	0.91
1020	1.78	30.25	0.52	960 - 1020	0.77
1080	1.71	30.75	0.50	1020 - 1080	0.67
1140	1.64	31.23	0.48	1080 - 1140	0.60
1200	1.58	31.69	0.46	1140 - 1200	0.54
1260	1.53	32.13	0.45	1200 - 1260	0.50
1320	1.48	32.56	0.43	1260 - 1320	0.46
1380	1.43	32.98	0.42	1320 - 1380	0.43
1440	1.39	33.38	0.40	1380 - 1440	0.40

Figura 39

Hietograma para TR=200 años.



Con los datos obtenidos del software HEC HMS plasmados en la tabla 30 se realizó la gráfica del hietograma de precipitación de diseño para un tiempo de retorno de 200 años.

La precipitación pico que se observa en el hietograma de precipitación de diseño para un tiempo de retorno de 200 años, se da en el minuto 720, con una precipitación de 13.45 mm.

➤ *Hietograma para tiempo de retorno de 500 años*

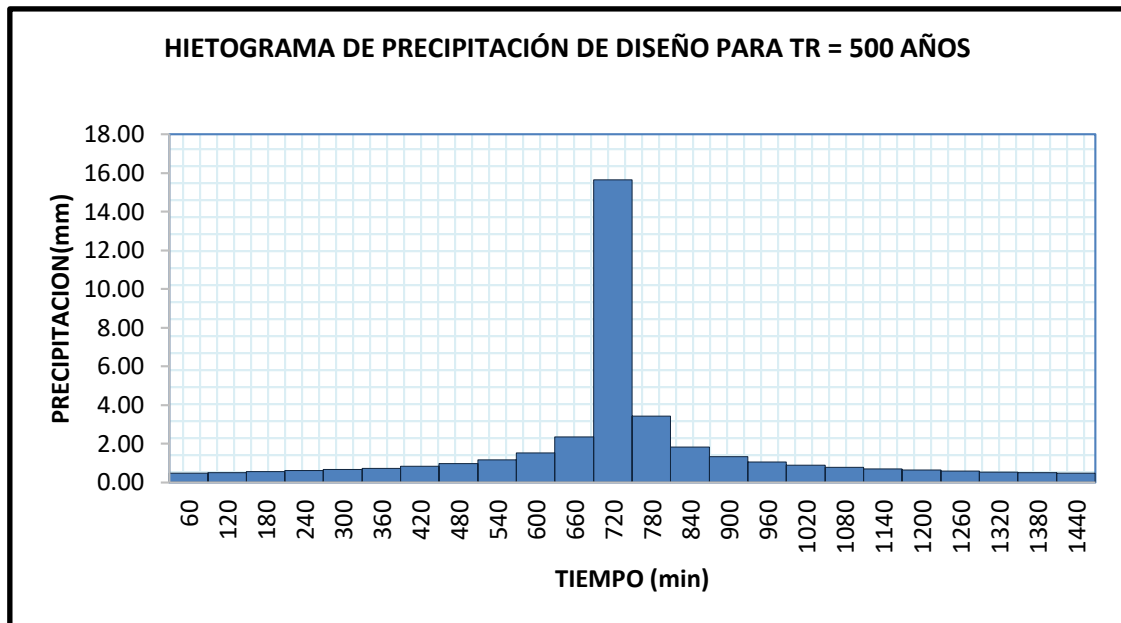
Tabla 31

Datos para la construcción del Hietograma para TR=500 años.

Duración en minutos	Intensidad mm/hr	Profundidad acumulada (mm)	Profundidad incremental mm	Tiempo minutos	Hietograma mm
60	15.64	15.64	15.64	0 - 60	0.48
120	9.53	19.07	3.43	60 - 120	0.52
180	7.14	21.41	2.34	120 - 180	0.56
240	5.81	23.25	1.84	180 - 240	0.60
300	4.96	24.78	1.53	240 - 300	0.66
360	4.35	26.11	1.33	300 - 360	0.74
420	3.90	27.29	1.18	360 - 420	0.83
480	3.54	28.35	1.06	420 - 480	0.97
540	3.26	29.32	0.97	480 - 540	1.18
600	3.02	30.22	0.90	540 - 600	1.53
660	2.82	31.05	0.83	600 - 660	2.34
720	2.65	31.83	0.78	660 - 720	15.64
780	2.51	32.57	0.74	720 - 780	3.43
840	2.38	33.27	0.70	780 - 840	1.84
900	2.26	33.93	0.66	840 - 900	1.33
960	2.16	34.56	0.63	900 - 960	1.06
1020	2.07	35.17	0.60	960 - 1020	0.90
1080	1.99	35.75	0.58	1020 - 1080	0.78
1140	1.91	36.31	0.56	1080 - 1140	0.70
1200	1.84	36.84	0.54	1140 - 1200	0.63
1260	1.78	37.36	0.52	1200 - 1260	0.58
1320	1.72	37.86	0.50	1260 - 1320	0.54
1380	1.67	38.34	0.48	1320 - 1380	0.50
1440	1.62	38.81	0.47	1380 - 1440	0.47

Figura 40

Hietograma para TR=500 años.



Con los datos obtenidos del software HEC HMS plasmados en la tabla 31 se realizó la gráfica del hietograma de precipitación de diseño para un tiempo de retorno de 500 años.

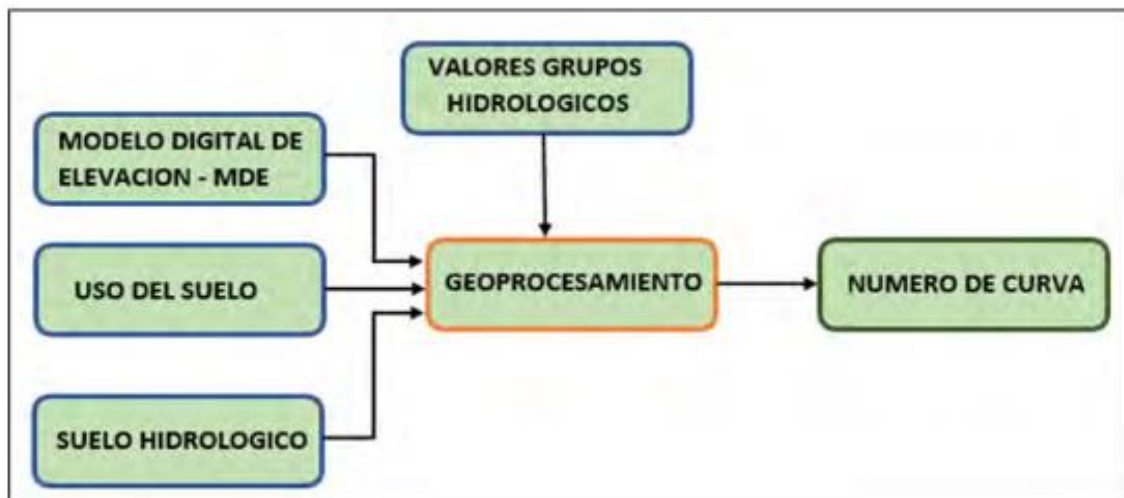
La precipitación pico que se observa en el hietograma de precipitación de diseño para un tiempo de retorno de 500 años, se da en el minuto 720, con una precipitación de 15.64 mm.

E. Cálculo del número de curva

El cálculo de número de curva se basó en el modelo conceptual del estudio de Generación de mapa de número de curva con sistema de información geográfica realizado por la Universidad Nacional Agraria La Molina y Autoridad Nacional del Agua en el año 2016, el cual necesitaremos el mapa de Cobertura vegetal, mapa de suelos, el Mapa de modelo de elevación de terreno, valores de grupos hidrológicos y el software Arcgis 10.2 con su extensión el HEC –GeoHMS

Figura 41

Proceso de generación del número de curva.

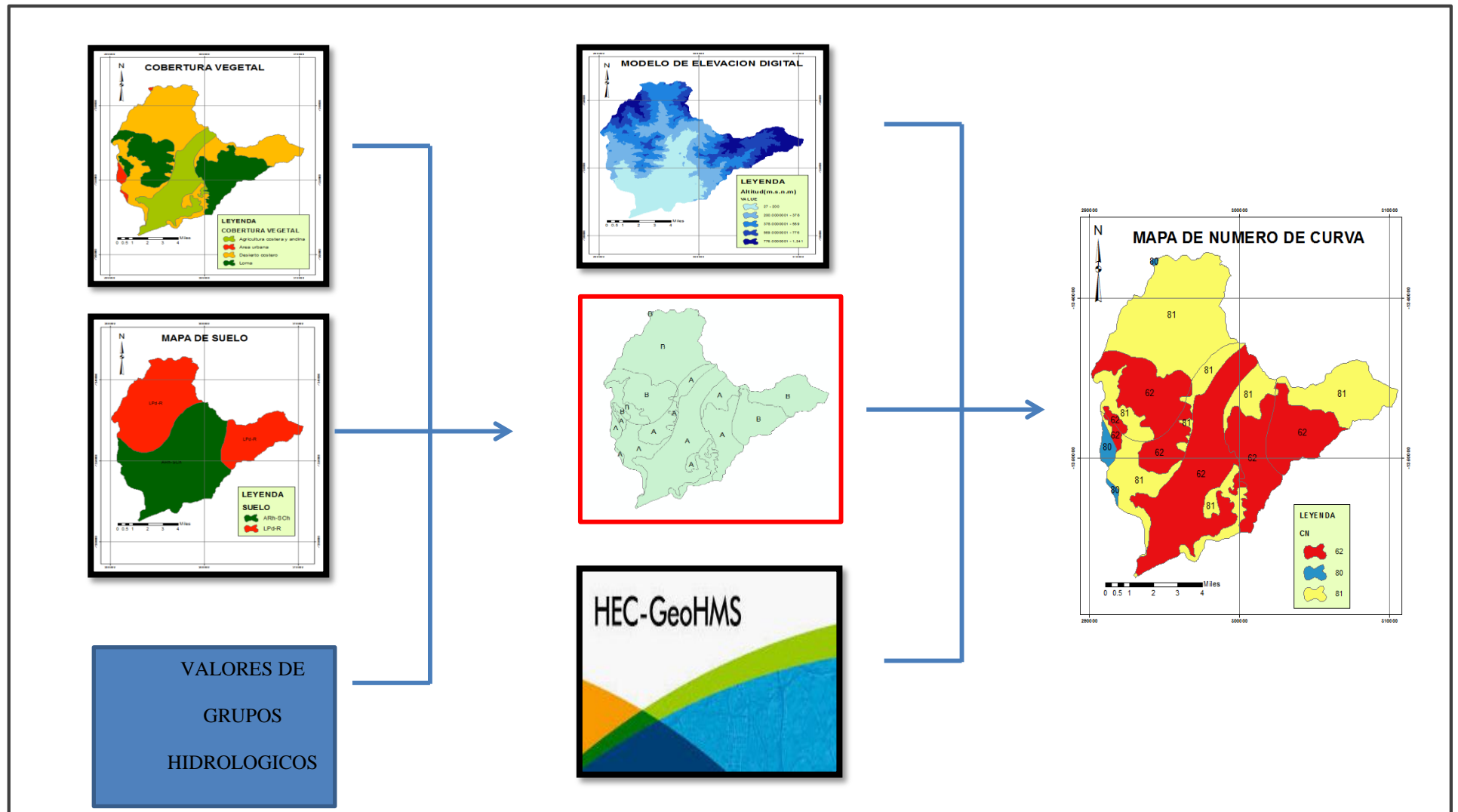


Nota: Esquema del calculo de numero de curva , informacion obtenida de UNAM y ANA (2016)

Adaptando el proceso de la generación de mapa de numero de curva se elaboró un esquema detallando los pasos (ver figura 42)

Figura 42

Esquema para la generación de número de curva.



➤ **Atributos de la cobertura vegetal:** Para el mapa de Cobertura Vegetal se utilizó información del Ministerio del Ambiente a una escala de 1/1 00 000, el cual procesamos en el ArcGis 10.2 para obtener el mapa de cobertura vegetal de la intercuenca 13755341 del río Lurín (ver mapa 6). Modificamos la tabla de atributos de la intercuenca 13755341 del río Lurín, agregamos una columna de Código y Asignamos un código para tipo de cobertura vegetal de la siguiente manera:

Figura 43

Modificación de la tabla de atributos de cobertura vegetal.

The screenshot displays the ArcGIS 10.2 interface. On the left, the 'COBERTURA VEGETAL' layer is selected in the Table of Contents, and the 'Open Attribute Table' menu option is highlighted with a red box. A tooltip for this option is visible. On the right, the 'Table' window is open, showing the 'Add Field...' option highlighted with a red box. Below the main interface, a table titled 'COBERTURA VEGETAL' is shown, with the 'CODIGO' column highlighted in red.

FID	Shape *	CobVeg2013	CODIGO
0	Polygon	Agricultura costera y andina	1
1	Polygon	Desierto costero	2
2	Polygon	Area urbana	3
3	Polygon	Loma	4

➤ **Atributos de suelos:** Para el mapa de Suelos se utilizó información de la FAO UNESCO a una escala de 1/5 000 000, el cual procesamos en el ARCGIS para obtener el mapa de suelo de la intercuenca 13755341 del río Lurín (ver mapa 8).

Modificamos la tabla de atributos de la intercuenca 13755341 del río Lurín, agregamos una columna de Grupo Hidrológico, para agregar el grupo hidrológico nos basamos en la tabla de grupos hidrológicos del Perú de acuerdo a su descripción de suelos, realizado por Universidad Nacional Agraria La Molina y Autoridad Nacional del Agua (ver tabla 32):

Tabla 32

Descripción de suelo y grupo hidrológico.

Descripción de suelos	Simbología	Grupo hidrológico
Acrisol háplico - Alisol háplico - Lixisol háplico	ACh-ALh-LXh	C
Acrisol háplico - Alisol háplico - Luvisol crómico	ACh-ALh-LVx	C
Arenosol háplico - Solonchak háplico	ARh-SCh	A
Cambisol dístico - Acrisol háplico	CMd-ACh	C
Cambisol dístico - Acrisol háplico - Lixisol háplico	CMd-ACh-LXh	C
Cambisol dístico - Alisol háplico	CMd-ALh	C
Cambisol dístico - Nitisol háplico	CMd-NTh	C
Cambisol éútrico - Phaeozem háplico	CMe-PHh	B
Cambisol éútrico - Vertisol éútrico	CMe-VRe	C
Fluvisol éútrico - Gleysol éútrico	FLe-GLe	B
Fluvisol éútrico - Regosol éútrico	FLe-RGe	B
Gleysol dístico - Cambisol dístico	GLd-CMd	B
Gleysol dístico - Histosol fibrico	GLd-HSf	D
Gleysol dístico - Lixisol háplico - Fluvisol dístico	GLd-LXh-FLd	A
Leptosol dístico - Afloramiento lítico	LPd-R	B
Leptosol dístico - Andosol mbrico - Afloramiento lítico	LPd-ANu-R	B
Leptosol dístico - Andosol vítrico	LPd-ANz	B
Leptosol dístico - Cambisol dístico - Regosol dístico	LPd-CMd-RGd	B
Leptosol dístico - Regosol dístico - Afloramiento lítico	LPd-RGd-R	B
Leptosol éútrico - Afloramiento lítico	LPe-R	B
Leptosol éútrico - Cambisol éútrico	LPe-CMe	C
Leptosol éútrico - Cambisol éútrico - Regosol éútrico	LPe-CMe-RGe	B
Leptosol éútrico - Kastanozem háplico - Afloramiento lítico	LPe-KSh-R	B
Leptosol éútrico - Regosol éútrico - Afloramiento lítico	LPe-RGe-R	B
Leptosol lítico - Afloramiento lítico	LPq-R	B
Lixisol háplico - Gleysol dístico	LXh-GLd	B
Luvisol crómico - Cambisol éútrico	LVx-CMe	C
Regosol dístico - Afloramiento lítico	RGd-R	B
Regosol dístico - Cambisol dístico	RGd-CMd	C
Regosol éútrico - Andosol móllico	RGe-ANm	C
Regosol éútrico - Calcisol háplico	RGe-CLh	C
Regosol éútrico - Cambisol éútrico	RGe-CMe	C
Solonchak háplico - Leptosol éútrico	SCh-LPe	A

Nota: Elaborado con información de la UNAM y ANA (2016)

Modificamos la tabla de atributos del mapa de suelo con una columna de grupo hidrológico según la tabla 32

Figura 44

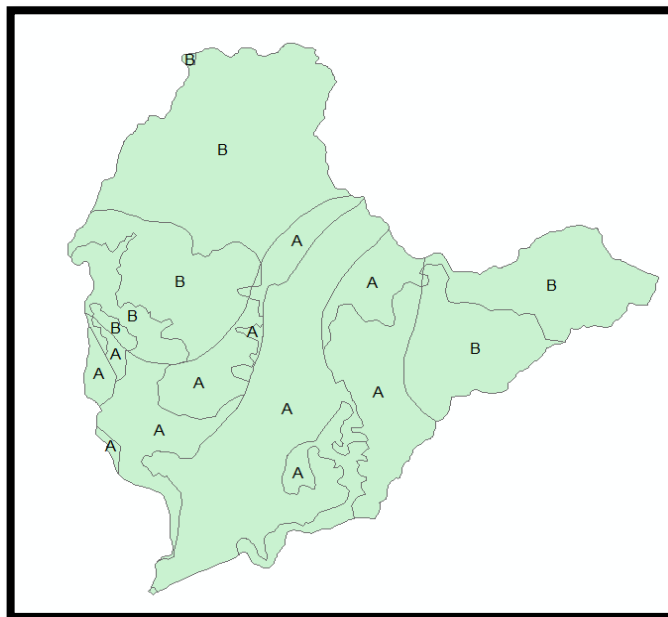
Modificación de tabla de atributos del mapa de suelo..

Table							
SUELO							
	FID	Shape *	Id	SIMBOLO	AREA	DESCRIPCIO	GRUPO_HIDR
▶	0	Polygon	0	ARh-SCh	99.414216	Arenosol háplico-Solonchek háplico	A
	1	Polygon	0	LPd-R	101.182106	Leptosol districo-Afloramiento lítico	B

Union de mapas :En el software ARCGIS con la herramienta Geoprocessing >> Unión, unimos el mapa de Cobertura Vegetal y el Mapa de suelos, nos da como resultado la siguiente figura:

Figura 45

unión de mapa de cobertura vegetal y uso de suelo.

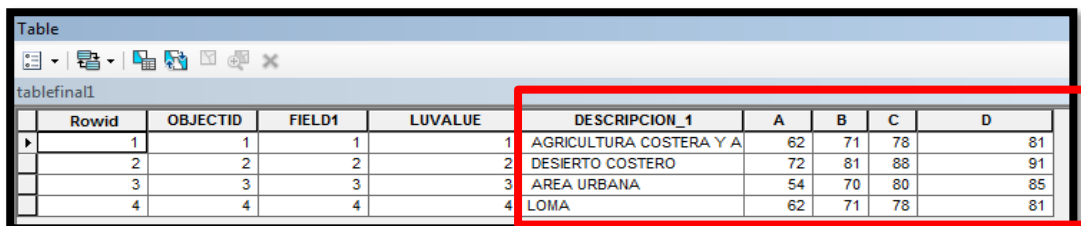


➤ **Valores hidrológicos:** En el software ARCGIS se creará una tabla, en donde se colocarán la descripción y valores hidrológicos del mapa de cobertura vegetal, el cual estos valores fueron tomados de la tabla de número de curva en función del uso del suelo y grupo hidrológico (ver tabla 32).

ArcToolbox >> Data Management Tools >>Table >> Create Table

Figura 46

Creación de tabla hidrológica.

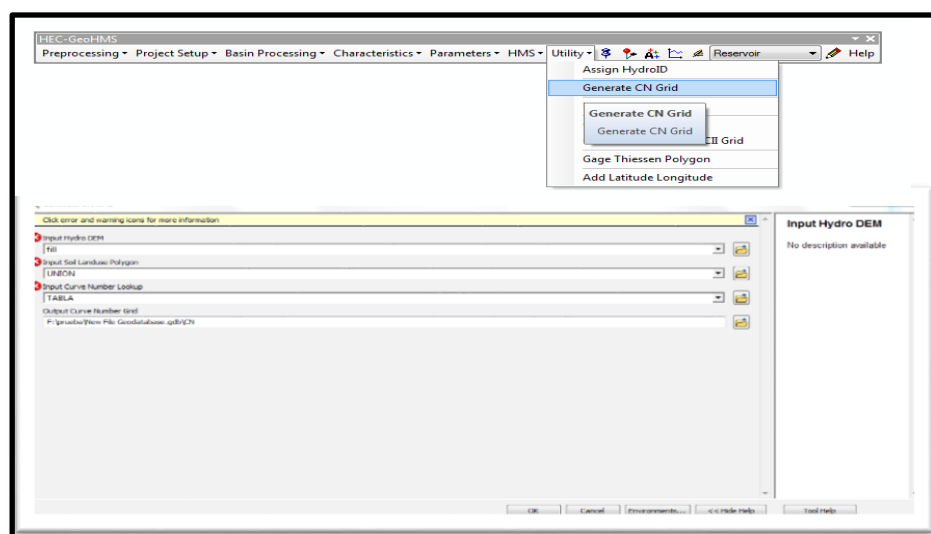


Rowid	OBJECTID	FIELD1	LUVALUE	DESCRIPCION_1	A	B	C	D
1	1	1	1	AGRICULTURA COSTERA Y A	62	71	78	81
2	2	2	2	DESIERTO COSTERO	72	81	88	91
3	3	3	3	AREA URBANA	54	70	80	85
4	4	4	4	LOMA	62	71	78	81

F. Extensión de ARCGIS - HEC-GEOHMS: Para obtener el número de curva necesitamos la extensión de ARCGIS, el HEC-GEOHMS y los elementos de entrada que son el Fill del Dem, Shapefile del mapa de unión de cobertura vegetal y suelo y la tabla hidrológica.

Figura 47

Generación del número de curva con la extensión HEC-GeoHMS.



El cual da como resultado el número de curva de la intercuenca 13755341 del río Lurín (ver mapa 12).

Figura 48

Mapa de número de curva.

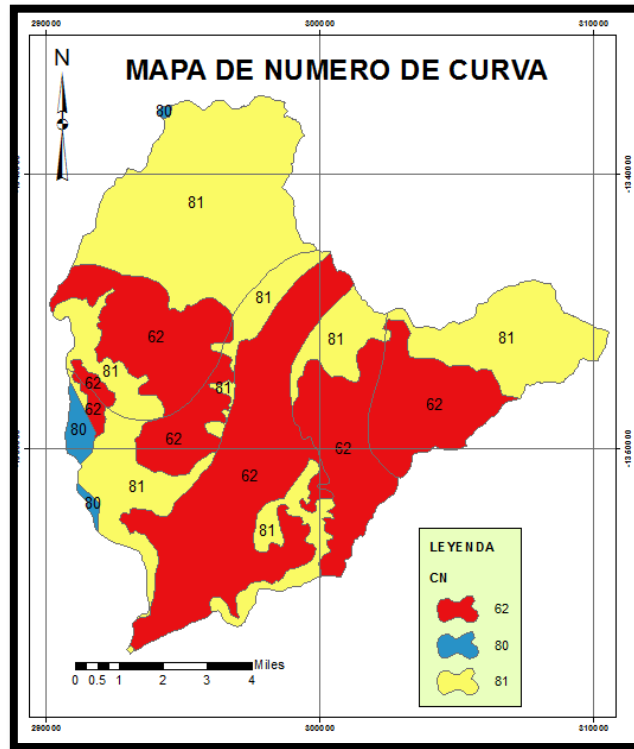


Figura 49

Tabla de atributos del mapa de número de curva.

FID	Shape	Id	SIMBOLO	AREA	DESCRIPCIO	GRU	FID_C	CobVeg2013	CN	Shape_Leng	AREA_1
0	Polygon	0	ARh-SCh	99.414216	Arenosol háplico-Solonchek háplico	A	0	Agricultura costera y andina	62	189511.646093	42.685963
1	Polygon	0	ARh-SCh	99.414216	Arenosol háplico-Solonchek háplico	A	1	Desierto costero	81	2242044.98144	96.330665
2	Polygon	0	ARh-SCh	99.414216	Arenosol háplico-Solonchek háplico	A	2	Area urbana	80	495825.242792	2.569461
3	Polygon	0	ARh-SCh	99.414216	Arenosol háplico-Solonchek háplico	A	3	Loma	62	7711.802644	59.010234
4	Polygon	0	LPd-R	101.182106	Leptosol distrito-Afloramiento lítico	B	1	Desierto costero	81	2242044.98144	96.330665
5	Polygon	0	LPd-R	101.182106	Leptosol distrito-Afloramiento lítico	B	2	Area urbana	80	495825.242792	2.569461
6	Polygon	0	LPd-R	101.182106	Leptosol distrito-Afloramiento lítico	B	3	Loma	62	7711.802644	59.010234

El número de curva (CN) de un mapa, se obtiene del promedio del número de curva de la tabla de atributos, de la siguiente manera:

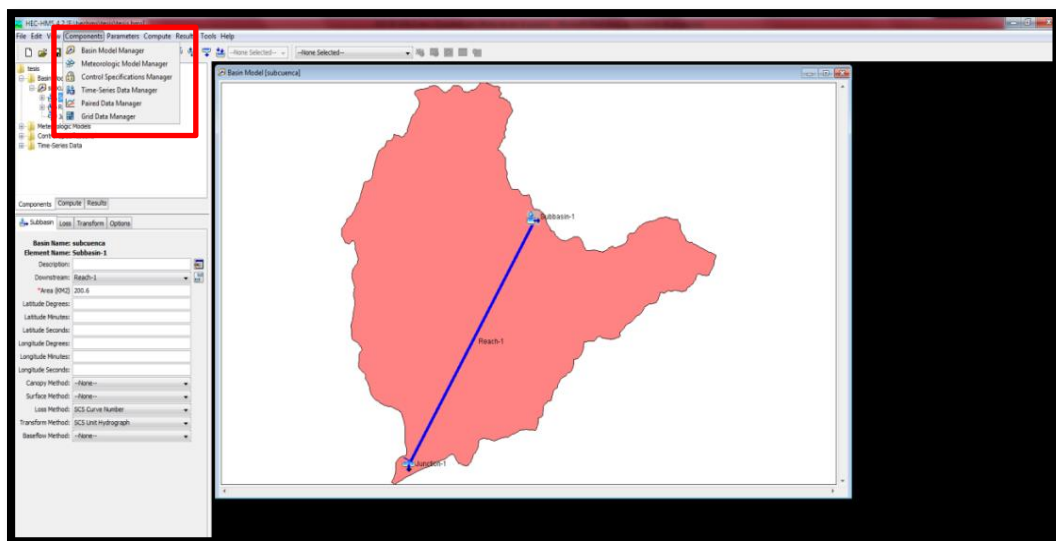
$$CN = \frac{62 + 81 + 80 + 62 + 81 + 80 + 62}{7}$$

$$CN=72.5$$

G. Aplicación del modelo HEC HMS: Exportamos la intercuenca 13755341 del río Lurín para poder trabajarlo en el HEC HMS, así mismo se utilizará la herramienta Components específicamente el basin model manager, meteorologic model manager, control specifications manager y el time – series data manager, el cual procesaremos a continuación:

Figura 50

Exportación de la intercuenca 13755341 del río Lurín al HEC HMS.



➤ **Modelo de cuenca (basin model)** : Para el modelo de la sub cuenca se realizó mediante el método SCS Curve Number (Número de curva del Servicio de Conservación de suelos de la intercuenca 13755341 del río Lurín), por el cual se determinó previamente el número de curva (ver mapa 12) , la abstracción inicial (Initial Abstraction(I_a)) y para la impermeabilidad (Impervious (%)) , se determinó mediante el porcentaje del área urbana que existe en la sub cuenca , debido que existen superficies que como el concreto de las veredas o asfalto construidos en la superficie .

$$I_a = \frac{5080}{CN} - 50.8 \quad (25)$$

Para el método de transformación se realizó mediante el SCS Unit Hydrograph (Hidrograma unitario del Servicio de Conservación del Suelo), se calculó previamente el tiempo de retraso (Lag Time) mediante la ecuación de Kirpich.

$$t_t = 0.6t_c \quad (26)$$

Kirpich

$$t_c = 0.000325 \frac{L^{0.77}}{S^{0.385}} \quad (27)$$

Figura 51

Ingreso de datos al Basin Model.

➤ **Especificaciones de control (control specifications):** En este componente del HEC HMS se indica el inicio y final de la simulación y el intervalo de tiempo. Para nuestro proyecto se dará inicio a las 7:00 am del 01 de enero del 2020 hasta las 7:00 am del 02 de enero del 2020 con un intervalo de tiempo de 5 minutos.

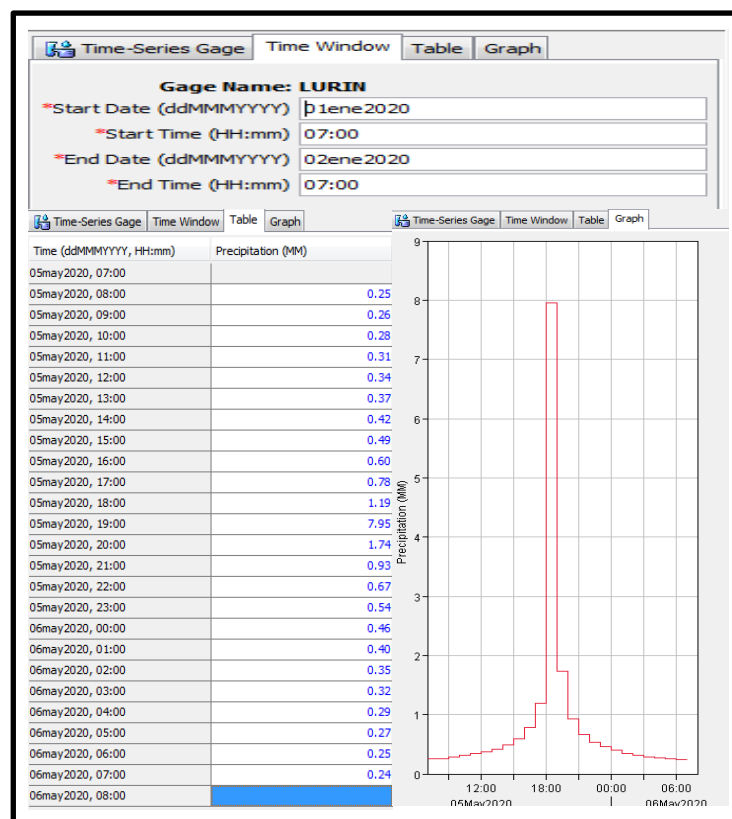
Figura 52

Tiempo inicial y final del modelo HEC HMS.

➤ **Tiempo - administrador de datos de serie:** En este componente del HEC HMS, en la pestaña Time Windows, va el tiempo de inicio y final del modelo y en la pestaña Table se coloca el hietograma calculado previamente. Para nuestro proyecto se agregarán los Hietogramas con tiempo de retorno de 20, 50, 100, 200 y 500 años.

Figura 53

Ventana para ingresar los hietogramas.

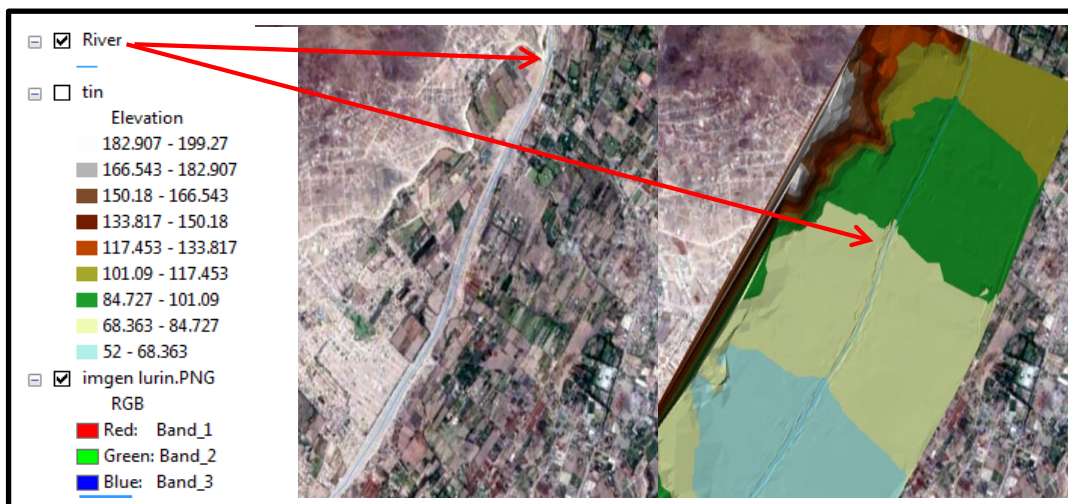


H. Aplicación de la extensión HEC GEORAS

➤ **Generación línea central del río (Stream centerline):** Mediante la herramienta Ras Geometry >> Créate Ras Layer >> Stream Centerline, se genera el shapefile tipo línea el cual por defecto con el nombre de River, luego activamos la edición y se procede a delinear la parte central del río con la ayuda de una imagen o de un TIN. Para delinear nuestro proyecto y tener una mejor edición se utilizó la imagen y el TIN.

Figura 54

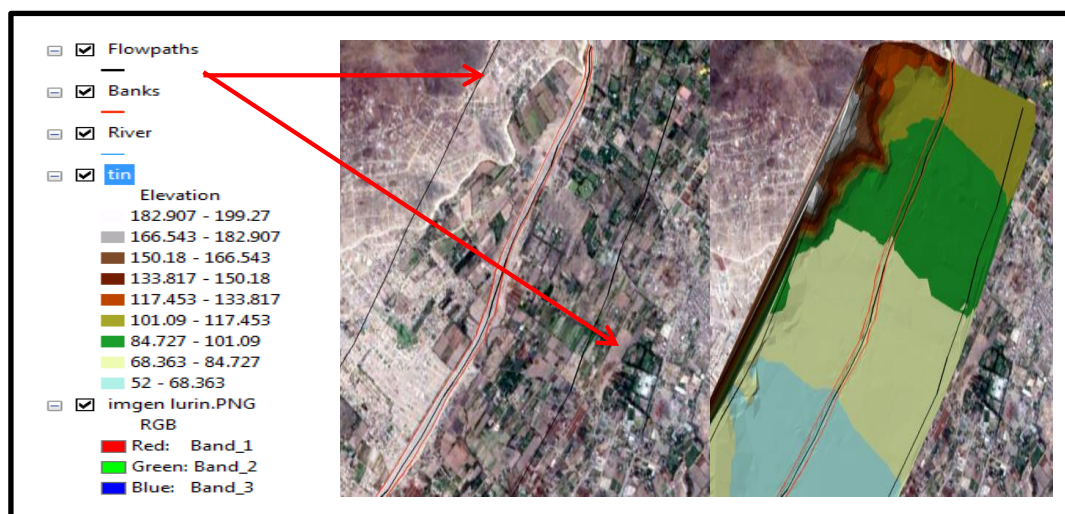
Generación del River.



➤ **Generación de los bancos del río (Bank lines):** Mediante la herramienta Ras Geometry >> Créate RAS Layer >> bank lines, se genera el shapefile tipo línea, luego activamos la edición y se procede a dibujar el margen del río, empezando por el margen derecho de aguas arriba hacia aguas abajo, siguiendo el mismo procedimiento para el margen izquierdo.

Figura 55*Generación de los Bank Lines.*

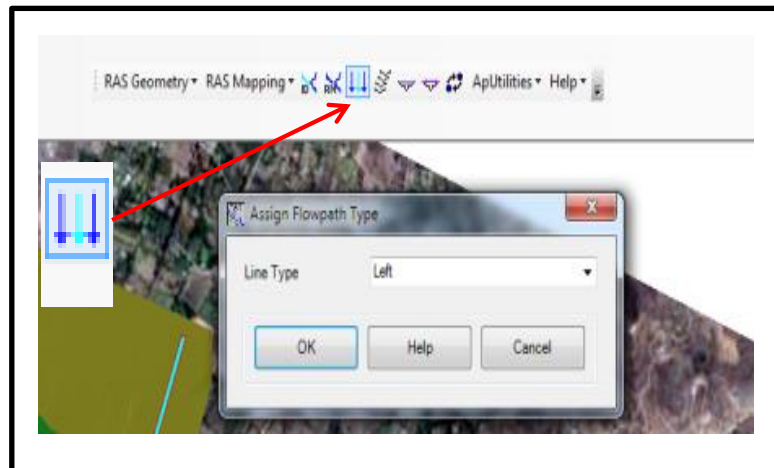
➤ *Generación de la línea central del curso del flujo (Flow path centerlines):* Mediante la herramienta Ras Geometry >> Create RAS Layer >> Flow Path Centerlines se crea un shapefile tipo línea, luego activamos la edición y comenzamos a dibujar el margen del río, desde el margen derecho de aguas arriba hacia aguas abajo y lo mismo para el margen izquierdo.

Figura 56*Generación del Flow Path Centerlines.*

Una vez dibujado el margen se procede a dar una ruta de flujo y asignar un atributo de tipo de línea, con la herramienta select flowpath and assign line type attributes.

Figura 57

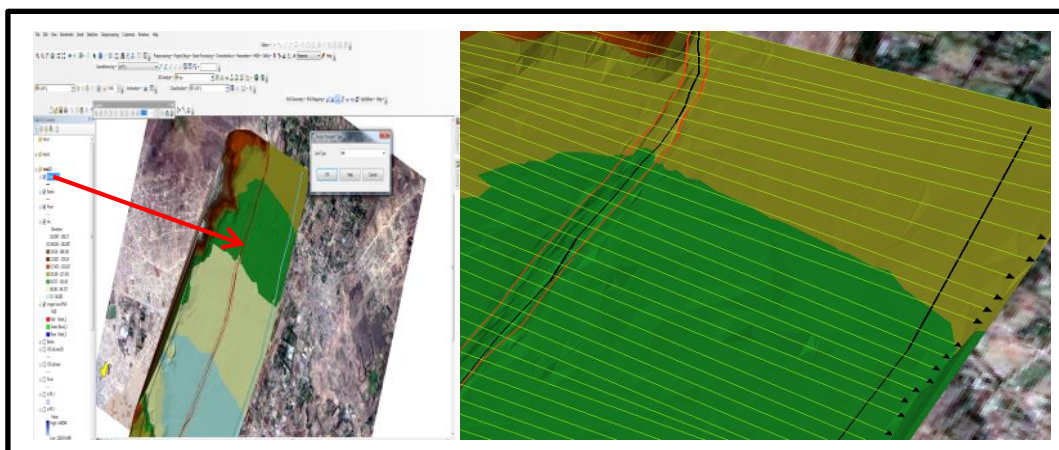
Atributos al tipo de línea.



➤ **Generación de corte de las líneas de secciones transversales (XS Cut Lines):** Mediante la herramienta Ras Geometry >> Create RAS Layer >> XS Cut Lines se crea un shapefile tipo línea, activamos la edición y comenzamos a dibujar la separación y longitud entre secciones transversales.

Figura 58

Generación de XS Cut Lines.



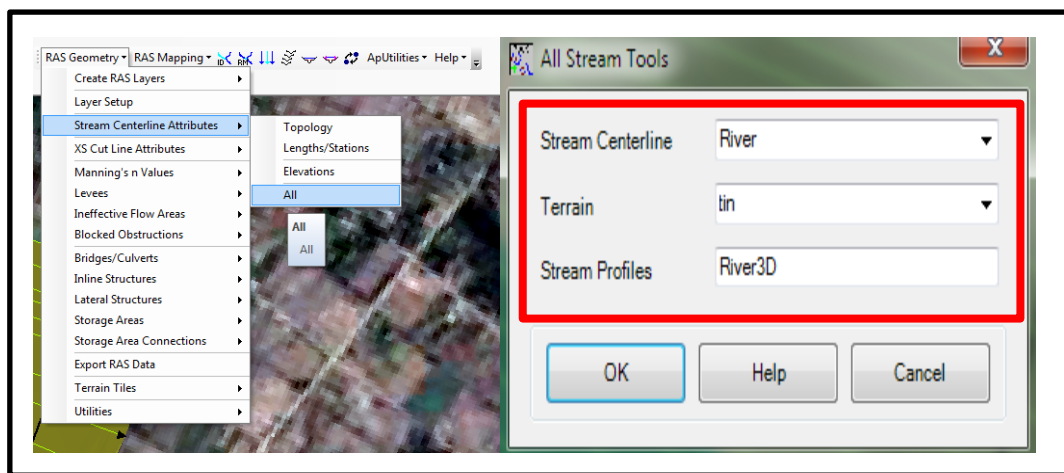
Las secciones transversales no deben cruzarse entre sí.

➤ **Generación de datos espaciales 3D**

River3D: Mediante la herramienta Ras Geometry >>Stream Centerline atributes >> All se abrirá un cuadro (ver Figura 59) debemos colocar los datos indicados, ello nos generará River3D.

Figura 59

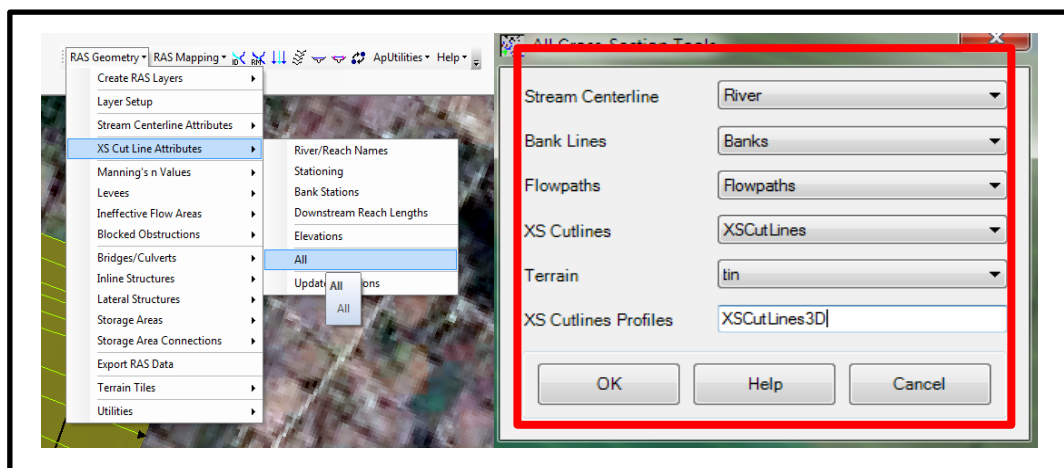
Generación de River 3D.



XS Cut Lines 3D: Mediante la herramienta Ras Geometry >> XS Cut Lines atributes >> All se abrirá un cuadro (ver Figura 60) debemos colocar los datos indicados, ello nos generara XS Cut Lines 3D.

Figura 60

Generación de XS Cut Lines 3D.

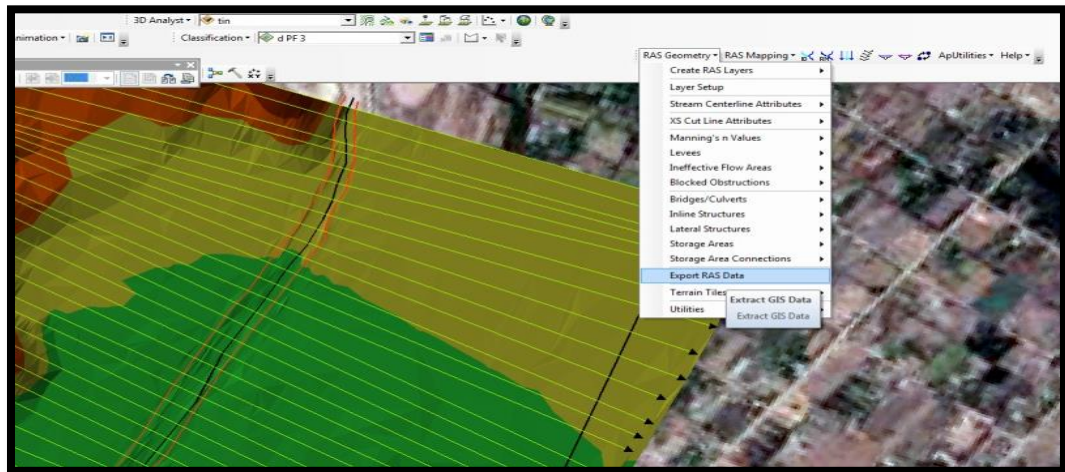


Exportación a HEC-RAS : Mediante la herramienta Ras Geometry >>

Export RAS Data se exportará el formato GIS al formato Hec Ras.

Figura 61

Exportación a HEC-RAS.



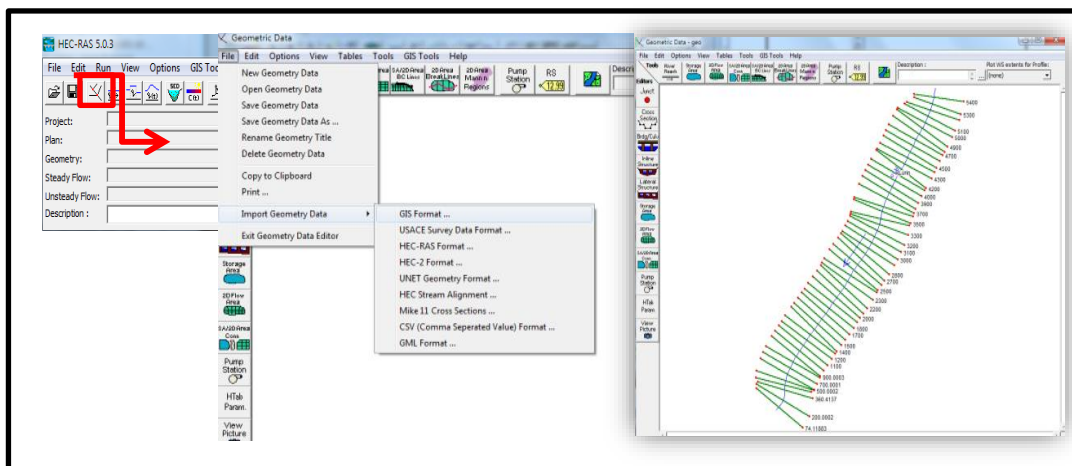
I. Aplicación del modelo HEC – RAS

Se deberá configurar el sistema internacional de unidades (SI) antes de exportar del HecGeoRas.

➤ **Importar datos de geometría:** En la herramienta Geometry data >> file >> import geometry data >> gis format, exportamos del hecgeoras las secciones transversales.

Figura 62

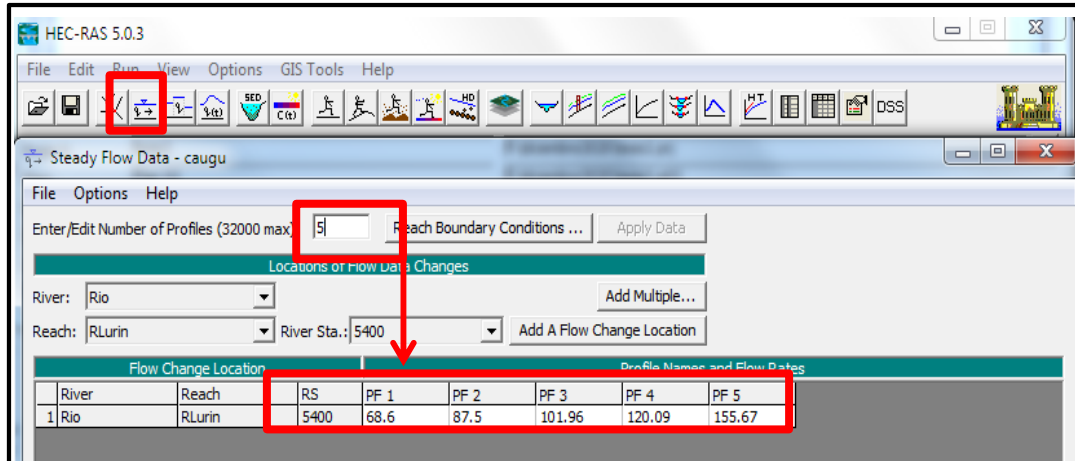
Datos geométricos del ArcGis.



➤ **Ingresar datos de flujo:** En la herramienta edit steady flow data, colocamos los caudales según periodo de retorno, para 20, 50, 100, 200 y 500 años.

Figura 63

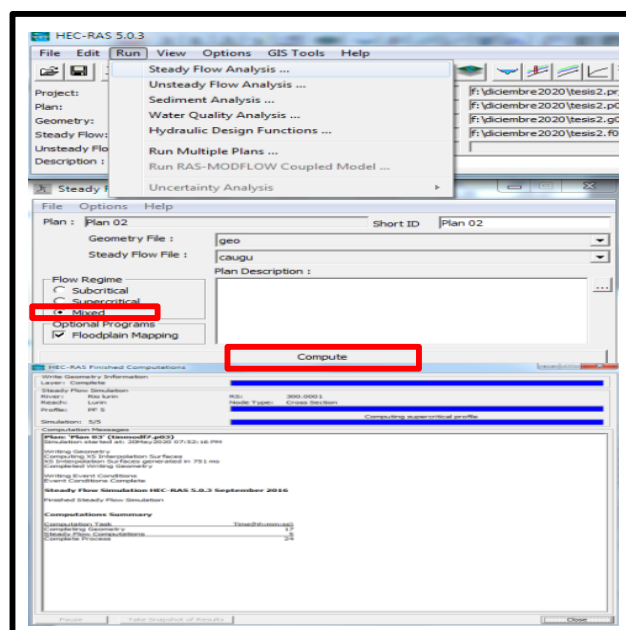
Caudales ingresados al HecRas.



➤ **Análisis de flujo:** Con la Herramienta Run >> Steady Flow Analysis, aparecerá una pantalla para hacer clic en Compute y correrá el modelo.

Figura 64

Corriendo el modelo HEC RAS.



3.7. Análisis de datos

Para esto, primero se realizó el análisis de registro histórico de 30 años de precipitación obtenidos del SENAMHI, luego se procedió a calcular los caudales máximos para tiempos de retorno de 20, 50, 100, 200 y 500 años, así como sus hidrogramas. El análisis de Datos se realiza por el modelo hidrológico HEC-RAS el cual realiza simulaciones de redes completas de cauces naturales y canales artificiales mediante cálculos 1D y 2D. El proceso computacional básico se basa en la solución de la ecuación unidimensional de la energía. Las pérdidas de energía se evalúan principalmente mediante la fricción a través de la ecuación de Manniing, considerando la expansión/contracción del flujo.

$$Q(h) = \frac{1}{n} A(Rh)^{2/3} \sqrt{S}$$

Siendo:

C = coeficiente de proporcionalidad que se aplica en la fórmula de Chézy

R(h) = radio hidráulico en metros, que es función del tirante hidráulico “h”

n = coeficiente que depende de la rugosidad de la pared

V(h) = velocidad media del agua en m/s que es función del tirante hidráulico h;

S = la pendiente de la línea de agua en m/m

A = área de la sección del flujo de agua

Q(h) = caudal del agua en m³/s

IV. RESULTADOS

4.1. Parámetros geomorfológicos

El resultado de los parámetros geomorfológicos de la intercuenca 13755341 del río Lurín se presentan en la Tabla 33, en el cual se muestran los valores de los parámetros, entre ellos el área con un total de 200.58 km², el perímetro con un total de 94.85 km, y otros parámetros como se muestran a continuación:

Tabla 33

Resumen de parámetros morfológicos.

GRUPO	PARÁMETROS	VALOR	UNIDAD
Físicos	Área	200.58	Km ²
	Perímetro	94.85	Km
Forma	Factor de Forma(Kf)	0.74	Adimensional
	Ancho medio	12.16	Km
	Rectángulo equivalente (L)	42.73	Km
	Rectángulo Equivalente(I)	4.69	Km
Relieve	Índice de Gravelius(KC)	1.88	Adimensional
	Pendiente de la subcuenca	3.075	%
	Pendiente media del cauce principal(Lc)	9.72	%
	Índice de pendiente	4.86	Adimensional
	Altura media de la cuenca	372.68	msnm
Red de drenaje	Densidad de Drenaje(Dd)	1.41	Km/Km ²
	Frecuencia de ríos	5.1	Rios/Km ²
	Extensión del escurrimiento superficial(ES)	0.18	Km
	Coefficiente de torrencialidad	2.23	Rios/Km ²

4.2. Caudales e hidrogramas generados en diferentes tiempos de retorno utilizando el software HEC HMS

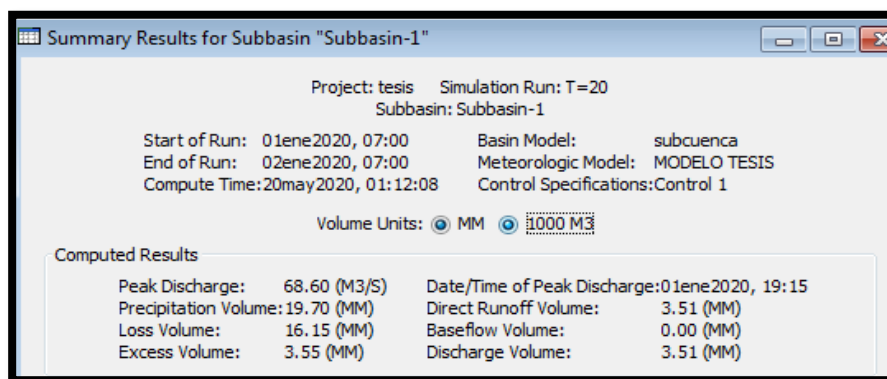
Los caudales e hidrogramas fueron el resultado del software HEC HMS, se presentan a continuación para diferentes tiempos de retorno.

4.2.1. Caudal para un tiempo de retorno de 20 años

El caudal para un tiempo de retorno de 20 años obtenido del software HEC HMS es 68.60 m³/s.

Figura 65

Caudal máximo para un tiempo de retorno de 20 años.

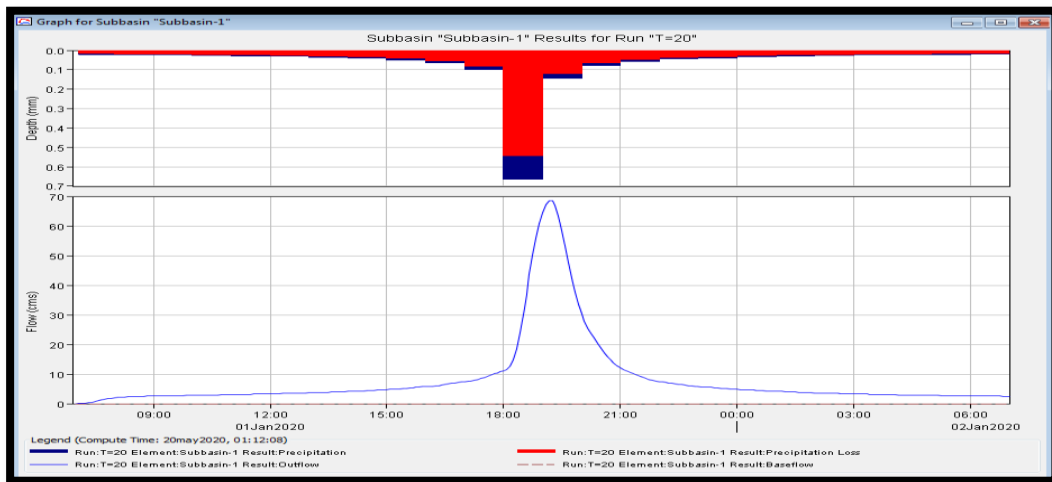


Como muestra en la figura 65, se inicia el 01/01/2020 a las 07:00 horas. Así mismo se resalta el valor pico de descarga que es igual a 68.60 m³/s el cual se registró a las 19:15 horas. Por otro lado, se registra el volumen de precipitación que es igual a 19.70 mm.

El software HEC HMS también nos da el hidrograma como se muestra en el siguiente gráfico:

Figura 66

Grafica del Hidrograma para un retorno de 50 años.

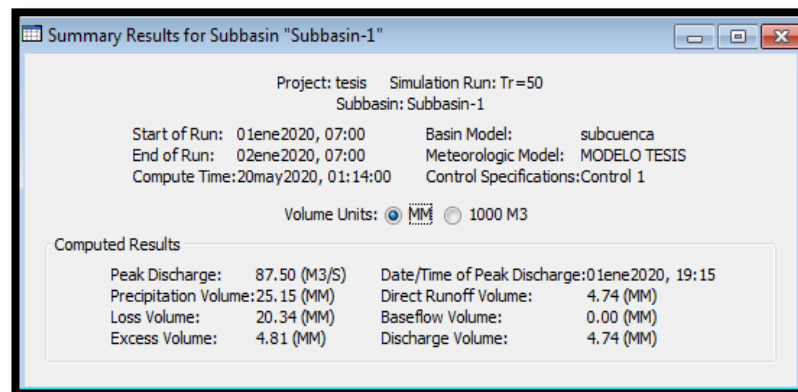


4.2.2. Caudal para un tiempo de retorno de 50 años

El caudal para un tiempo de retorno de 50 años obtenido del software HEC HMS es 87.50 m³/s.

Figura 67

Caudal máximo para un tiempo de retorno de 50 años.



Como muestra en la figura 67, se inicia el 01/01/2020 a las 07:00 horas. Así mismo se resalta el valor pico de descarga que es igual a 87.50 m³/s, el cual se registró a las 19:15 horas.

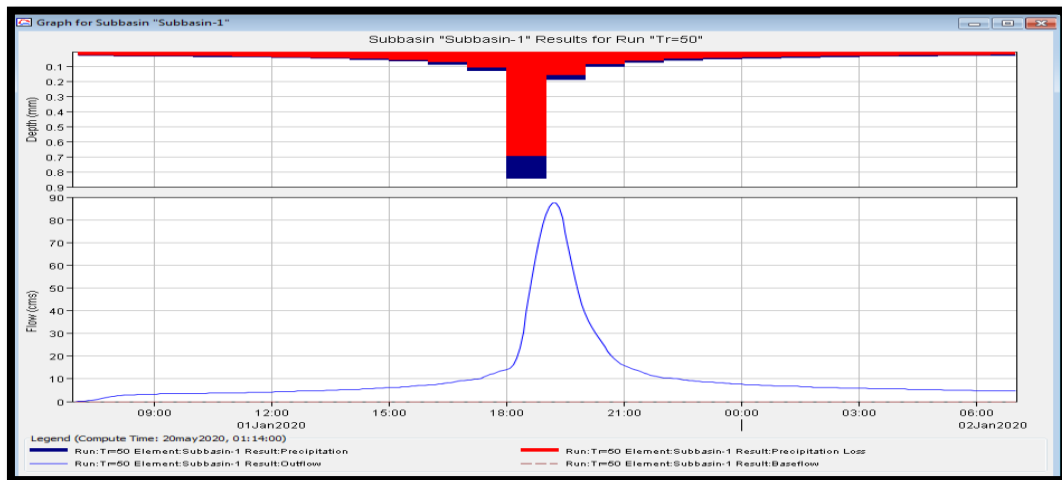
Por otro lado, se registra el volumen de precipitación que es igual a 25.15 mm.

El software HEC HMS también nos da el hidrograma como se muestra en el siguiente gráfico:

Figura 68

Grafica del Hidrograma para un retorno de 50 años.

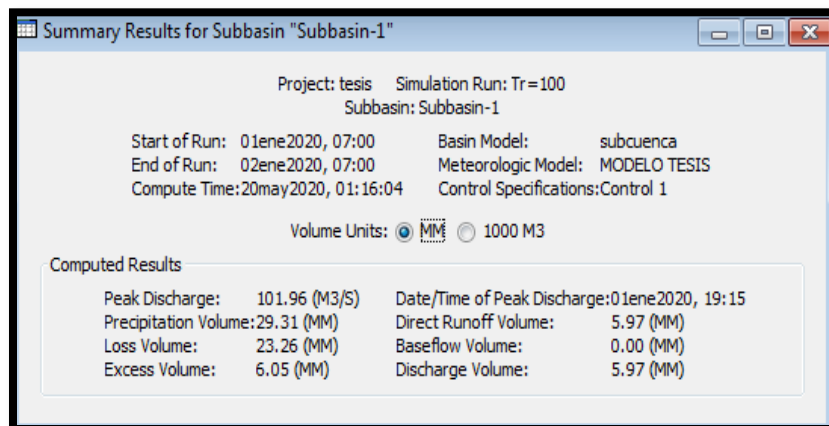
4.2.3. Caudal para un tiempo de retorno de 100 años



El caudal para un tiempo de retorno de 100 años obtenido del software HEC-HMS es 101.96 m³/s.

Figura 69

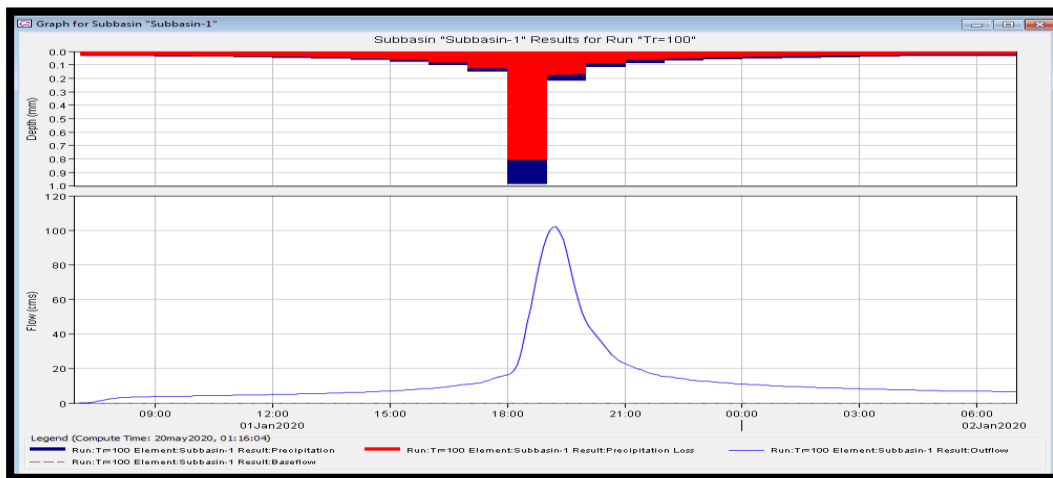
Caudal máximo para un tiempo de retorno de 100 años.



Como muestra en la figura 69, se inicia el 01/01/2020 a las 07:00 horas. Así mismo se resalta el valor pico de descarga que es igual a 101.96 m³/s, el cual se registró a las 19:15 horas. Por otro lado, se registra el volumen de precipitación que es igual a 29.31 mm. El software HEC HMS también nos da el hidrograma como se muestra en el siguiente gráfico:

Figura 70

Gráfica del Hidrograma para un retorno de 100 años.

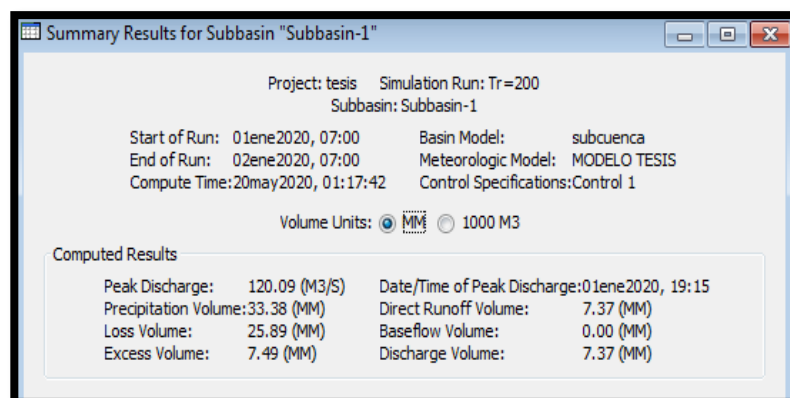


4.2.4. Caudal para un tiempo de retorno de 200 años

El caudal para un tiempo de retorno de 200 años obtenido del software HEC - HMS es 120.09 m³/s.

Figura 71

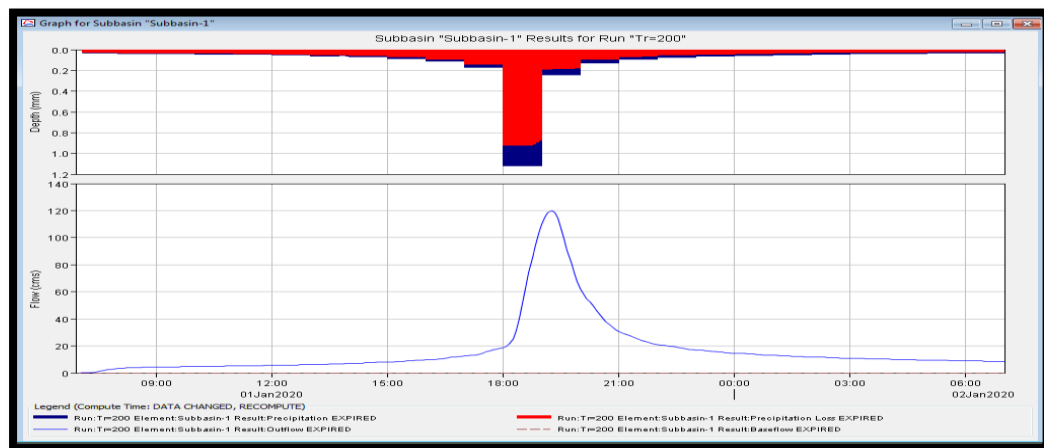
Caudal máximo para un tiempo de retorno de 200 años.



Como muestra en la figura 71, se inicia el 01/01/2020 a las 07:00 horas. Así mismo se resalta el valor pico de descarga que es igual a 120.09 m³/s, el cual se registró a las 19:15 horas. Por otro lado, se registra el volumen de precipitación que es igual a 33.38 mm. El software HEC HMS también nos da el hidrograma como se muestra en el siguiente gráfico:

Figura 72

Gráfica del Hidrograma para un retorno de 200 años.

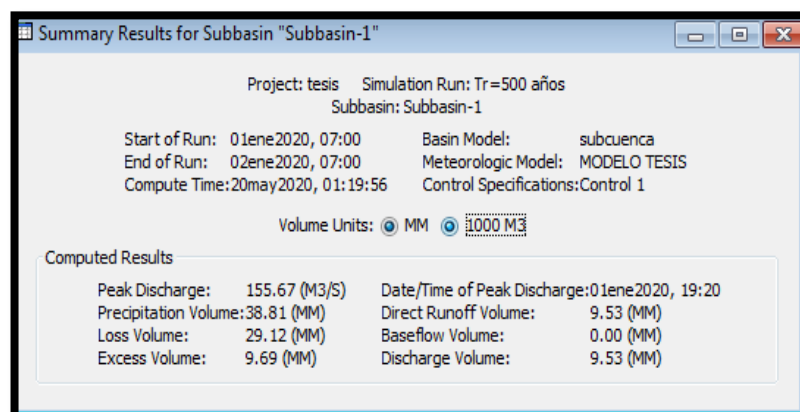


4.2.5. Caudal para un tiempo de retorno de 500 años

El caudal para un tiempo de retorno de 500 años obtenido del software HEC-HMS es 155.67 m³/s.

Figura 73

Caudal máximo para un tiempo de retorno de 500 años.



Como muestra en la figura 73, se inicia el 01/01/2020 a las 07:00 horas. Así mismo se resalta el valor pico de descarga que es igual a 155.67 m³/s, el cual se registró a las 19:15 horas. Por otro lado, se registra el volumen de precipitación que es igual a 38.81 mm. El software HEC HMS también nos da el hidrograma como se muestra en el siguiente gráfico:

Figura 74

Grafica del Hidrograma para un retorno de 500 años.

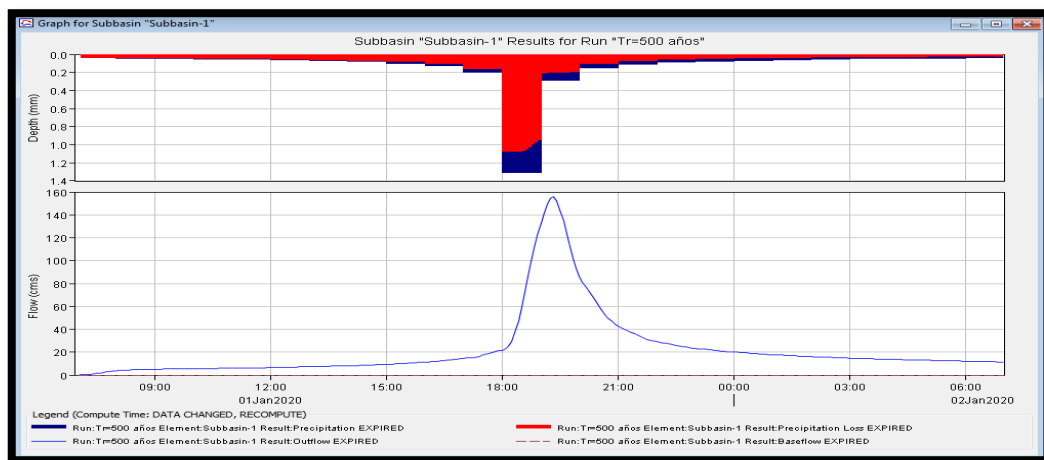


Tabla 34

Resumen de caudales máximos para diferentes tiempos de retornos.

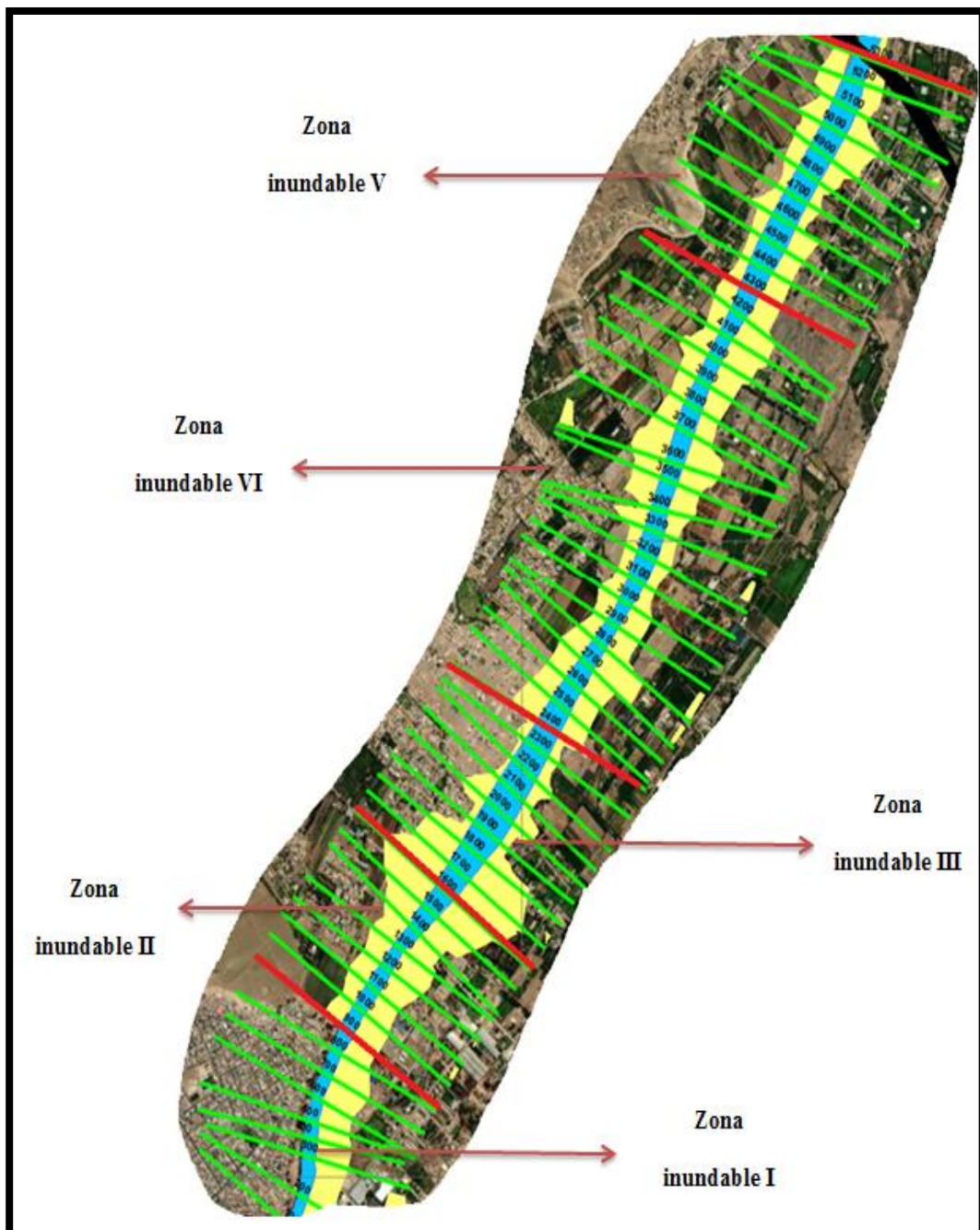
Tr	m ³ /s
20	68.60
50	87.50
100	101.96
200	120.09
500	155.67

4.3. Elaboración de mapas de inundación

4.3.1. Identificación de zonas vulnerables a inundaciones

Figura 75

Áreas inundaciones entre las secciones transversales para un tiempo de retorno de 500 años.



En la figura 75 se observa las áreas inundadas entre las secciones transversales y se ha distribuido por zonas inundables, el cual se ha separado de acuerdo al ancho y profundidad de la sección transversal de la siguiente manera:

Del 0+100 al 0+900: Ocurre la inundación por el margen izquierdo del río Lurín, ya que del margen derecho del río se presenta una elevación. El ancho del río Lurín entre esta sección transversal varía de 30 a 40 metros con una profundidad de 2.30 a 3.30 metros.

Del 0+900 al 1+600: Ocurre la inundación en ambos márgenes del río Lurín, debido a que el ancho del río varía entre los 35 a 50 metros y profundidad de 2.30 a 3.30 metros.

Del 1+600 al 2+400: Ocurre la inundación en ambos márgenes del río Lurín, esto debido a que el ancho del río varía entre 60 a 70 metros con una profundidad de 3 a 3.50 metros, como se observa en la imagen 75, debido a que este tramo presenta un mayor ancho del tramo estudiado se generó poca inundación.

De 2+400 al 4+300: Ocurre la inundación en ambos márgenes del río Lurín, debido a que presenta poca profundidad y el ancho del río Lurín tiene corta longitud.

De 4+300 al 5+300: Ocurre poca inundación en ambos márgenes del río Lurín, esto debido a que presenta un ancho del río de 40 a 50 metros y una profundidad de 4 metros, este tramo presenta una mayor profundidad del tramo estudiado, es por ello que ocurre poca inundación.

Figura 76

Áreas inundaciones entre las secciones transversales para un tiempo de retorno de 200 años.

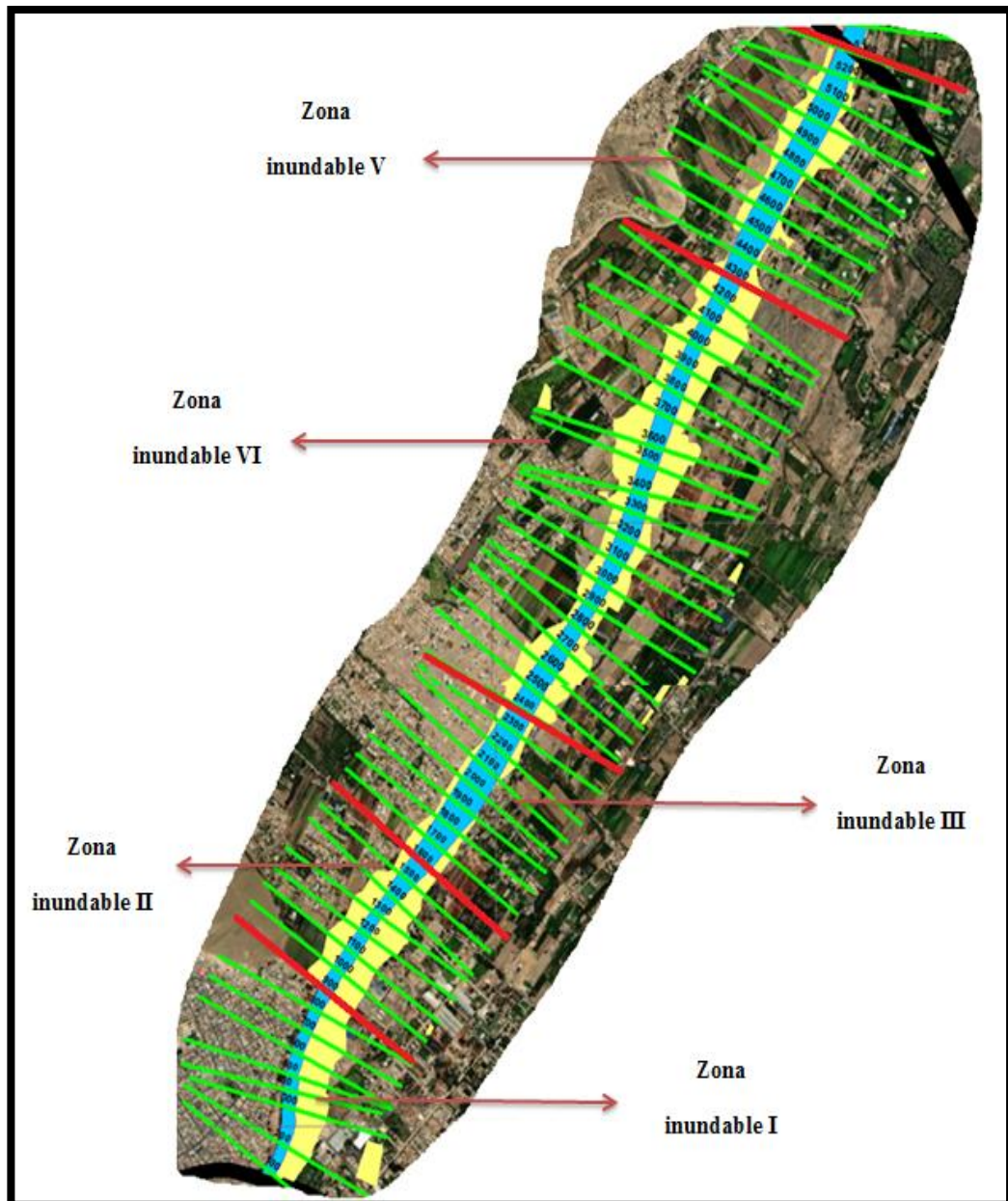
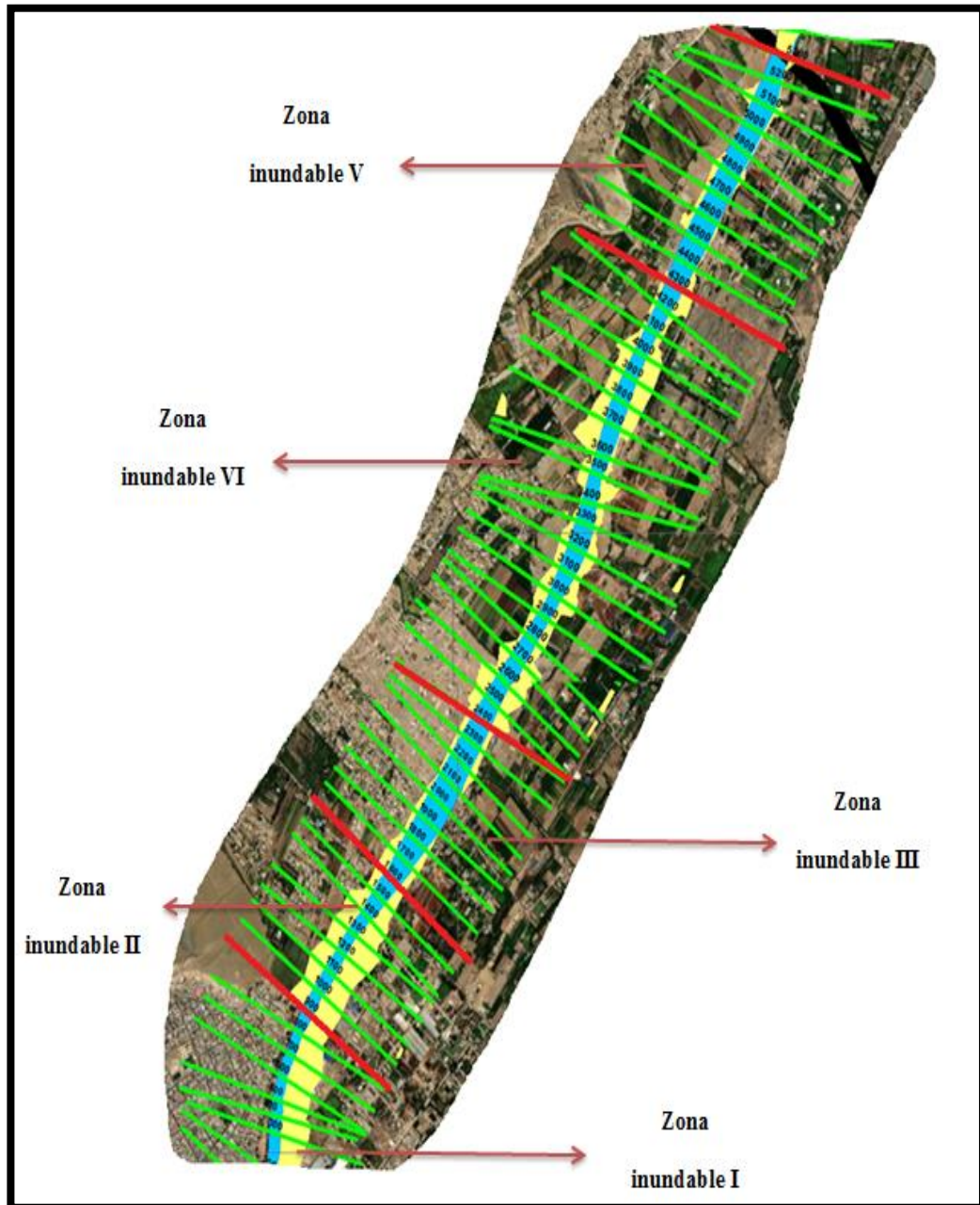


Figura 77

Áreas inundaciones entre las secciones transversales para un tiempo de retorno de 100 años.



El cálculo de las zonas vulnerables inundaciones a diferentes tiempos de retorno son el resultado del software HEC RAS, y se presentan a continuación en una tabla de resumen.

Tabla 35

Resumen del área (has) inundada en diferentes tiempos de retornos.

Periodo de retorno de 100 años		
Progresiva	Zona inundable	Área (Has)
0+100 al 0+900	Zona inundable I	9.98
0+900 al 1+600	Zona inundable II	15.43
1+600 al 2+400	Zona inundable III	3.25
2+400 al 4+300	Zona inundable VI	16.53
4+300 al 5+300	Zona inundable V	1.62
Área total		46.81
Periodo de retorno de 200 años		
Progresiva	Zona inundable	Área (Has)
0+100 al 0+900	Zona inundable I	10.79
0+900 al 1+600	Zona inundable II	15.09
1+600 al 2+400	Zona inundable III	5.22
2+400 al 4+300	Zona inundable VI	29.48
4+300 al 5+300	Zona inundable V	6.72
Área total		67.3

Periodo de retorno de 500 años		
Progresiva	Zona inundable	Área (Has)
0+100 al 0+900	Zona inundable I	12.56
0+900 al 1+600	Zona inundable II	26.12
1+600 al 2+400	Zona inundable III	15.08
2+400 al 4+300	Zona inundable VI	39.34
4+300 al 5+300	Zona inundable V	14.62
Área total		107.72

V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Esta investigación tuvo como propósito realizar la modelación de la cuenca baja del río Lurín entre los tramos de la avenida panamericana sur y la avenida Malasquez Chacaltana , para identificar zonas inundables , por ello se utilizó el software HEC-RAS para realizar la simulación hidrológica , apoyado del software HEC-HMS para obtener los caudales e hidrogramas a diferentes tiempos de retorno, el software ARCGIS para la generación de datos que serán necesarios para realizar el modelamiento y para la elaboración de los mapas temáticos de inundación , también se utilizó la herramienta de extensión HEC-GEORAS para obtener la geometría del río y las secciones transversales del tramo de la Panamericana Sur y la Avenida Malasquez Chacaltana .

Los parámetros morfológicos obtenidos de la intercuenca 13755341 del río Lurín a partir del software ARCGIS son necesarios para poder determinar los caudales máximos a diferentes tiempos de retorno en el software HEC HMS.

En la investigación realizada por Muñoz Rojas y Quinde Carrasco (2021) Cita a Rodríguez y Alarcón (2008), donde dice que tener datos morfológicos precisos, ayuda a evitar tener fallas cuando se va a correr el programa.

Los caudales calculados para el presente estudio, en los periodos de retorno de 20, 50, 100, 200 y 500 años fueron de 68.60 m³/s, 87.50 m³/s, 101.96 m³/s, 120.09 m³/s y 155.67 m³/s respectivamente y se produce la inundación con un caudal de 101.96 m³/s, 120.09 m³/s y 155.67 m³/s en el modelo hidrológico (Ver mapa 13, 14 y 15).

Cardich, K. (2017), en su estudio de modelación de máximas avenidas en la cuenca del río Lurín utilizando modelos hidrológico e hidráulico, que se realiza en el valle de Lurín ubicado en la cuenca baja, ocurre la inundación con un caudal de 97.4 m³/s, 127.3 m³/s y 152.6 m³/s para los periodos de retorno de 100, 200 y 500 respectivamente.

SENAMHI (2017), en sus avisos hidrológicos regionales en su reporte de la estación Antapucro del 13 de marzo del 2017 registra un aumento de caudal máximo instantáneo de entre 70 a 80 m³/s, encontrándose este en nivel Rojo y el 15 de marzo del 2017 el Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI) reporta desborde del río Lurín en los centros poblados, Pampa Flores, Lote B y Pica Piedra ubicados en el distrito de Pachacamac.

Los valores obtenidos del modelo hidrológico, donde se genera la inundación, tienen valores similares a los obtenidos por Cardich y SENAMHI,

Utilizando el Software ARCGIS se elaboraron los mapas de inundación y con ello se obtuvieron las áreas perdidas físicas que se generó durante la inundación para un tiempo de retorno de 500, 200 y 100 años fue de 107.72, 67.3 y 46.81 hectáreas respectivamente (Ver mapa 15 , 14 y 13).

Cardich, K. (2017) calculo las áreas perdidas en función de cada periodo de retorno (TR 100, TR 200 y TR 500) son de 149, 174 y 189 hectáreas respectivamente.

La diferencia de las áreas perdidas se da debido a las diferentes de profundidades de flujo, por ejemplo, para Cardich, en un tiempo de retorno de 500 años, los tirantes oscilan entre 0 - 2.67 m y para nuestro estudio oscila entre 0 - 4.1 m.

Como se observa en los mapas de profundidad (ver mapa 16, 17 y 18) las áreas afectadas por zonas se registran en la tabla 35.

Muñoz Rojas y Quinde Carrasco (2021) en su investigación modelando con el software HEC RAS, lograron identificar zonas de inundación y un mapa de inundación, es por ello que la elaboración de mapas de inundación identificando zonas donde ocurre el desbordamiento ayudara a tomar mejores decisiones.

VI. CONCLUSIONES

- Se determinó que aplicando el modelamiento hidrológico con el software HEC-RAS Entre la avenida Panamericana Sur y la avenida Malasquez Chacaltana del río Lurín, Habrá inundaciones, con el aumento del caudal del río En un periodo de retorno de 100, 200 y 500 años con un caudal de 101.96, 120.09 y 155.67 m³/s respectivamente.

- Se determinaron los parámetros geomorfológicos de la intercuenca 13755341 del río Lurín, respecto a parámetros físicos, de forma, de relieve y de drenaje fueron: un área de 200.58 km², un factor de forma de 0.74, un índice de gravelius de 1.88, una pendiente aplicando el criterio de Alvord de 3.08% y con un orden de ríos de nivel 5.

- Los caudales máximos obtenidos del software HEC HMS son 101.96 m³/s, 120.09 m³/s y 155.67 m³/s con un tiempo de retorno 100, 200 y 500 años respectivamente, esto se determinó por los registros históricos de 30 años de la estación meteorológica Manchay, previo a esto se realizaron análisis estadísticos hidrológicos, así como los parámetros geomorfológicos y numero de curva.

- Se elaboraron mapas de inundación, donde las áreas pérdidas fueron de 107.72, 67.3 y 46.81 hectáreas con tiempo de retorno de 100 m 200 y 500 años, esta generación de mapas determinaron detallar las zonas vulnerables (ver figura 75)

VII. RECOMENDACIONES

- Es importante y necesaria, instalar una estación pluviométrica e hidrometeorológica para los registros de precipitación y caudales máximos respectivamente, que aporten información para futuros proyectos vinculados a modelamientos hidrológicos dentro de la intercuenca 13755341 del río Lurín, puesto que los datos obtenidos de la estación manchay, que es la más cercana al área de estudio y dentro de la intercuenca 13755341 del río Lurín dejaron de funcionar en el año 2003.

- Ejecutar obras de ingeniería estructural hidráulicas de encauzamiento para la prevención ante máximas avenidas, entre los tramos de la Panamericana Sur y la Avenida Malasquez Chacaltana que superan los tirantes normales del agua, con el fin de minimizar daños ocasionados por las inundaciones.

- Ejecutar obras de ingeniería no estructural con la descolmatación del cauce por parte de la Municipalidad de Lurín y de Pachacamac, para aumentar la altura de la sección transversal del río superior a los 5 metros, puesto que a una altura de 4.1 se genera la inundación.

- Emitir ordenanza municipal por parte de la municipalidad de Lurín y Pachacamac, para evitar la ocupación de la población en la rivera del río Lurín expuesta a inundación.

VIII. BIBLIOGRAFÍA

ANA (2014). Tratamiento del cauce de río Lurín para el control de inundaciones. <http://sigrid.cenepred.gob.pe/docs/PARA%20PUBLICAR/ANA/Tratamiento%20del%20cauce%20del%20rio%20Lurin%20para%20el%20control%20de%20inundaciones.pdf>

ANA y UNAM (2016). Generación de mapa de número de curva con sistema de información geográfica. Universidad Nacional Agraria La Molina y Autoridad Nacional del Agua, Perú 2016.

Bello, M.A y Pino, M.T, (2000). Medición de presión y caudal. Boletín Inia. Recuperado de: <http://biblioteca.inia.cl/medios/biblioteca/boletines/NR25635.pdf>

Breña, A. y Jacobo, M. (2016). Principios y fundamentos de la hidrología superficial, Universidad Autónoma Metropolitana, México, recuperado de: https://www.uamenlinea.uam.mx/materiales/licenciatura/hidrologia/principios_fundamentos/libro-PFHS-05.pdf

Chow et al., (1994). Applied Hydrology. McGraw-Hill. 582 p. International Edition.

Chilito, E. (2018). Definición de zonas de inundación mediante el uso del modelo de simulación hec-ras en un tramo de caño grande, barrio el rubí – Villavicencio. Universidad Santo Tomás facultad de ingeniería ambiental Villavicencio. <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/12080/2018edierchilito.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Cerpa, G. (2018). Determinación de la huella hídrica del cultivo de cebolla, de la comisión de usuarios PUCCHUN del distrito de mariscal Cáceres-2018. Arequipa – Perú 2018.

Dingman, S. L. (1994). Physical Hydrology. Editorial Prentice-Hall; Estados Unidos de América.

Emilio A. Lecertua. (2012). HEC RAS características generales. Facultad de Ingeniería. Universidad de Buenos Aires.

Estudio Hidrológico y Ubicación de la Red de Estaciones Hidrométricas en la Cuenca del Río Rímac. Lima, diciembre 2010. Evaluación de los Recursos Hídricos en la Cuenca del Río Rímac. http://sigrid.cenepred.gob.pe/docs/PARA%20PUBLICAR/ANA/Estudio_hidrologico_Cuenca_Rimac_volumen_I_texto_final_2010.pdf

García, J. (2004). modelo de pérdidas para determinar precipitación efectiva usando sistemas de información geográfica. https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/1188/ICI_118.pdf?sequence=1

Gómez, W, (1987). 1° Curso nacional de recursos hídricos. Guía práctica de recursos hídricos. Universidad Nacional Federico Villarreal.

Hershfield, D.M, (1964). Effective rainfall and irrigation water requirements. J. Irrig. and Dr. Div. ASCE 90: IR 2: 3920: 33-47. Recuperado de: <http://www.fao.org/3/X5560E/X5560E00.htm>

Heras, R. (1970). Manual de hidrología. Centros de estudios hidrográficos. <http://ing.unne.edu.ar/pub/infi.pdf>

Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, M. (2014). Metodología de la investigación. Sexta edición. <http://observatorio.epacartagena.gov.co/wp-content/uploads/2017/08/metodologia-de-la-investigacion-sexta-edicion.compressed.pdf>

Huanca, C. (2019). Modelamiento Hidráulico con Hec-ras para la prevención de Inundaciones desde el km 44+100 al km 49+100 en el Río Reque. Escuela académico profesional de ingeniería civil. Chiclayo – Perú.

IDEAM. 2011. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. <http://institucional.ideam.gov.co/jsp/loader.jsf?lServicio=Publicaciones&lTipo=publicaciones&lFuncion=loadContenidoPublicacion&id=836>

INRENA (2004). Estudio hidrológico de la cuenca del río Acari..Instituto nacional de recursos naturales dirección general de agua y suelos. http://www.ana.gob.pe/sites/default/files/publication/files/estudio_hidrologico_acari_0_0.pdf

IILA-SENAMHI-UNI (1983), “Estudio de la hidrología del Perú - Volumen III”, Convenio de Cooperación Técnica del Instituto Ítalo-Latino Americano, Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología, y Universidad Nacional de Ingeniería, marzo 1983, Roma-Italia, p. III:39

Limaylla, R. (2014). Selección de sellos para un mejor rendimiento en cilindros oleohidráulicos. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. http://ateneo.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/123456789/4625/Limaylla_Baldeon_Roman_Juan_2014.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Manual de estimación del riesgo ante inundaciones fluviales. instituto nacional de defensa civil (indec). Edición 2011. <http://bvpad.indec.gob.pe/doc/pdf/esp/doc1743/doc1743-contenido.pdf>

Marbello, R. (s.f). Hidrometría y aforo de corrientes naturales. <http://bdigital.unal.edu.co/12697/68/3353962.2005.Parte%2013.pdf>

Matthew, J, Fleming, J y Doan, H. (2009). HEC-GeoHMS Geospatial Hydrologic Modeling Extension. US Army Corps of Engineers. Hydrologic

EngineeringCenter.recuperado de : https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-GeoHms/documentation/HEC-GeoHMS_Users_Manual_4.2.pdf

Mediero,L.(2021).hidrología.España.<https://books.google.com.pe/books?id=nqAIEAAAQBAJ&pg=PA24&dq=Caudal+medio+diario+hidrologia&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwi9s5Ku4-vzAhUSIbkGHQOEDBgQ6AF6BAgFEAI#v=onepage&q&f=false>

MTC (2008). manual de hidrología, hidráulica y drenaje. http://transparencia.mtc.gob.pe/idm_docs/normas_legales/1_0_2950.pdf

Monsalve, G, (2008). Hidrología en la ingeniería. 2da Edición. Bogotá-Colombia: Escuela Colombiana de Ingeniería. Recuperado de: <http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/adamoren/HIDRO/AN%C1LISIS%20DE%20FRECUENCIA.pdf>

Molero Melgarejo. E, (2013). Manual Básico de HEC-GeoRAS 10 (3° edición).https://www.researchgate.net/profile/Emilio_Molero/publication/236774291_manualHecGeoRASv3_2013/links/02e7e519373ca28018000000/manualHecGeoRASv3-2013.pdf

Olaya,V, (2014). Sistemas de Información Geográfica. https://www.icog.es/TyT/files/Libro_SIG.pdf

Ordoñez, J. (2011). Balance Hídrico Superficial. Contribuyendo al desarrollo de una Cultura del Agua y la Gestión Integral de Recurso Hídrico” LIMA - PERÚ 2011.recupero de. https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-sam_files/publicaciones/varios/balance_hidrico.pdf

Pérez, A., Dorta, A. y Marrero, N. (2010). El coeficiente de Manning y el cambio de precisión de los MDT en la simulación hidráulica. ingeniería hidráulica y ambiental, VOL. XXXI, No. 3.[https://docplayer.es/73715569-El-coeficiente-de-manning-y-el-cambio-de-\)precision-de-los-mdt-en-la-simulacion-hidraulica.html](https://docplayer.es/73715569-El-coeficiente-de-manning-y-el-cambio-de-)precision-de-los-mdt-en-la-simulacion-hidraulica.html)

Puyol, A. y Jacobo, M. (2006). Principios y Fundamentos de la Hidrología Superficial. Universidad autónoma metropolitana. México.

https://www.uamenlinea.uam.mx/materiales/licenciatura/hidrologia/principios_fundamentos/libro-PFHS-05.pdf

Rivera, G. (2020). Determinación de la superficie de inundación del río Bogotá en el sector de la Universidad Militar Nueva Granada - sede campus Cajicá. Universidad Militar Nueva Granada facultad de Ingeniería programa de ingeniería civil Cajicá – Colombia. N.

<https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/36807/RiveraMendivelsoGustavoAlexander.2020.pdf.pdf?sequence=2&isAllowed=y>

Rosales, M. (2021). Modelación hidrológica e hidráulica para la identificación de zonas inundables en un tramo del río sardinal, carrillo, Guanacaste, costa rica. Universidad nacional costa rica sede regional chorotega campus Liberia.

<https://repositorio.una.ac.cr/bitstream/handle/11056/21654/MODELACI%C3%93N%20HIDROL%C3%93GICA%20E%20HIDR%C3%81ULICA%20PARA%20LA%20IDENTIFICACI%C3%93N%20DE%20ZONAS%20INUNDABLES%20EN%20UN%20TRAMO%20DEL%20R%C3%8DO%20SARDINAL%20.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Segerer, C y Villodas, R, (2006). Hidrologia I. Unidad 5: Las precipitaciones. <http://www.conosur-rirh.net/ADVF/documentos/hidro1.pdf>

World Meteorological Organization, (2009). Manual on Estimation of Probable Maximum Precipitation (PMP).257 pp.

<http://www.wmo.int/pages/prog/hwrrp/publications/PMP/WMO%201045%20en.pdf>

Sedano Cruz, R. K. (2012). Gestión integrada del riesgo de inundaciones en Colombia (Trabajo de la obtención de Máster) Universidad Politécnica de Valencia, España. https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/27223/TFM_Gesti%C3%B3n_%20Inundaciones_Colombia_Karime_Sedano.pdf?sequence=1

SCT (1992). Secretaria de comunicaciones y transportes. seminario de drenaje. Métodos hidrológicos para previsión de escurrimientos. Parte I Hidrología. México. <http://dimsec.com/wp-content/uploads/2017/08/METODOS-HIDROLOGICOS.pdf>

Sánchez, F.J.(s.f). Precipitaciones. <http://hidrologia.usal.es/temas/Precipitaciones.pdf>

SEDAPAL (2009). Ampliación de Redes Secundarias de Agua Potable y Alcantarillado para la Quebrada de Manchay – Distrito de Pachacamac. Anexo IV - Estudio de impacto Ambiental. Aquateam ingenieros SAC. <http://estudio-de-impacto-ambiental-sedapal-lima.pdf>

Tucci, C.E.M y Bertoni, J.C. 2006. Gestión de inundaciones urbanas. Porto Alegre, Brasil: WHO/OMM, 2006.

Valdivia Ponce, J, (1977). Meteorología general. Dirección universitaria biblioteca y publicaciones. Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Velázquez, J. (2014). calibración de un modelo de estimación de lluvia con imágenes de satélite, utilizando datos de estaciones climatológicas, para la región hidrológica número 30 de México. http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/4015/TE_SIS%20JEVS.pdf?sequence=1

Villón, M, (2002). Hidrología. Edit. Instituto Tecnológico de Costa Rica, Costa Rica

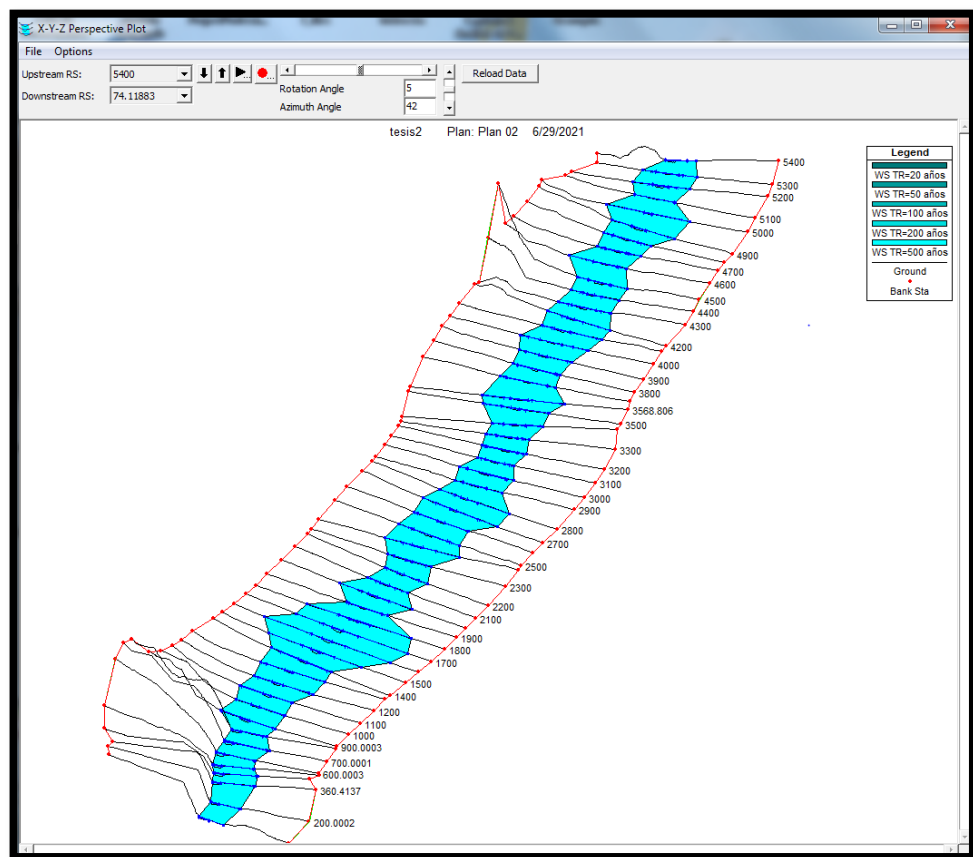
Villón, M. (2012). HidroEsta, software para cálculos hidrológicos. Tecnología en Marcha. Vol. 18 N.º 2 Especial.

Villodas , R.(2006). Hidrología i. unidad 5: las precipitaciones.

<https://silo.tips/download/unidad-5-las-precipitaciones>

IX. ANEXOS

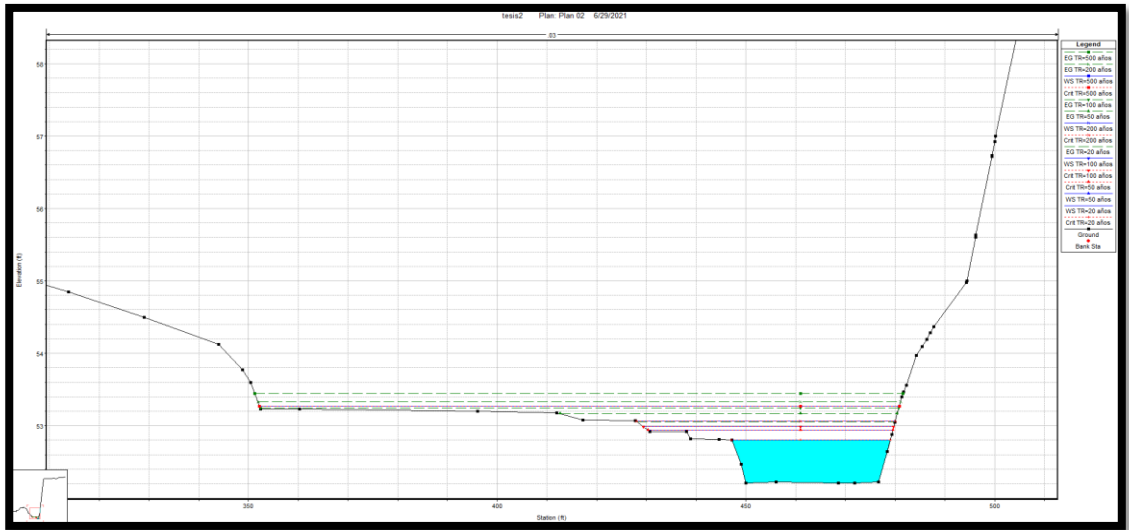
ANEXO A: Perspectiva 3d



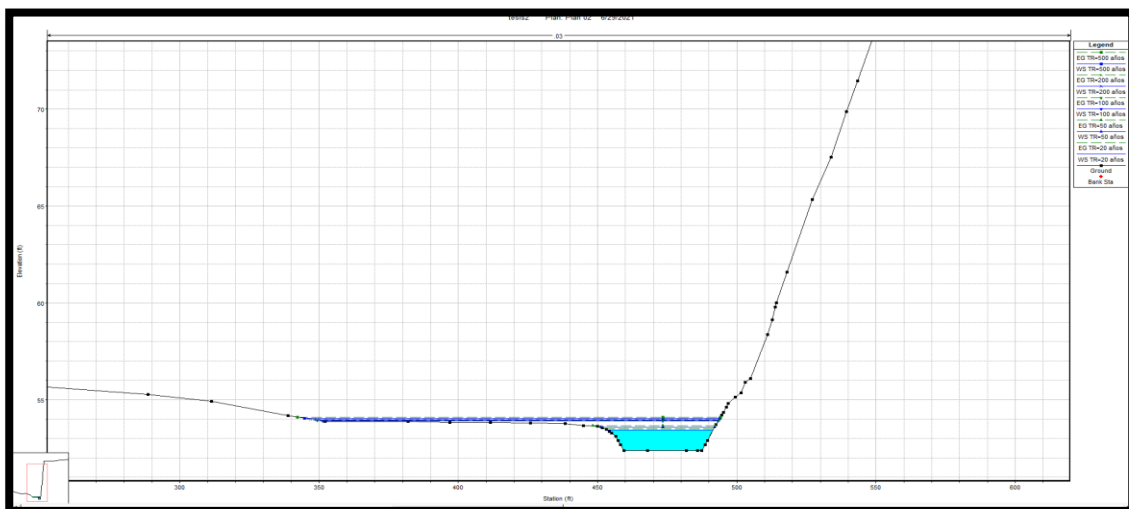
Nota: Se observa la perspectiva del tramo en estudio, con un ancho de 1200 m y secciones separas cada 100 m entre sí, con su respectiva geometría de cada sección transversal.

ANEXO B: Secciones transversales

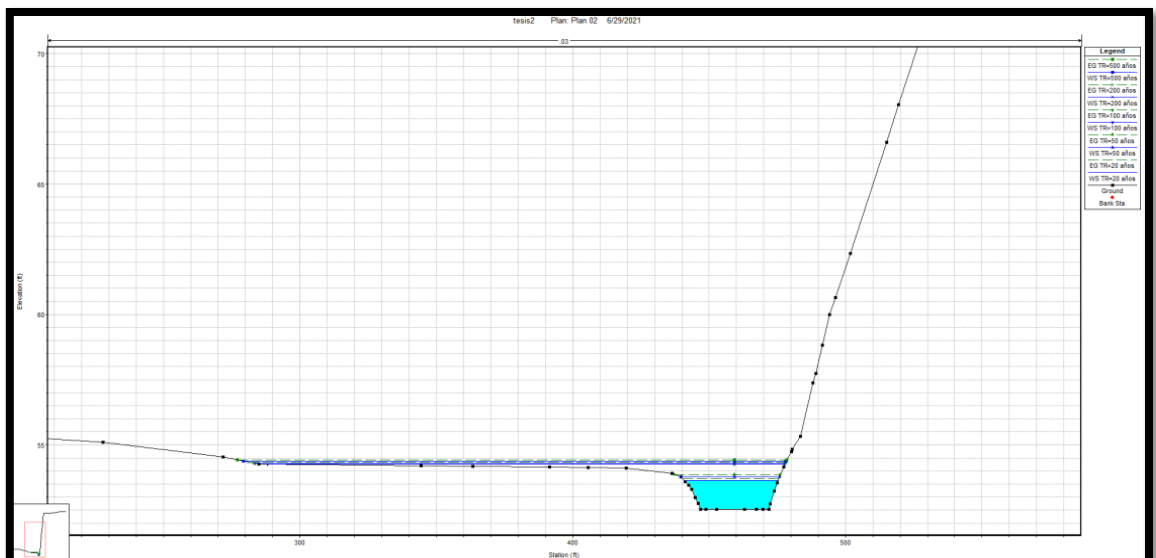
Sección Transversal 0 +100



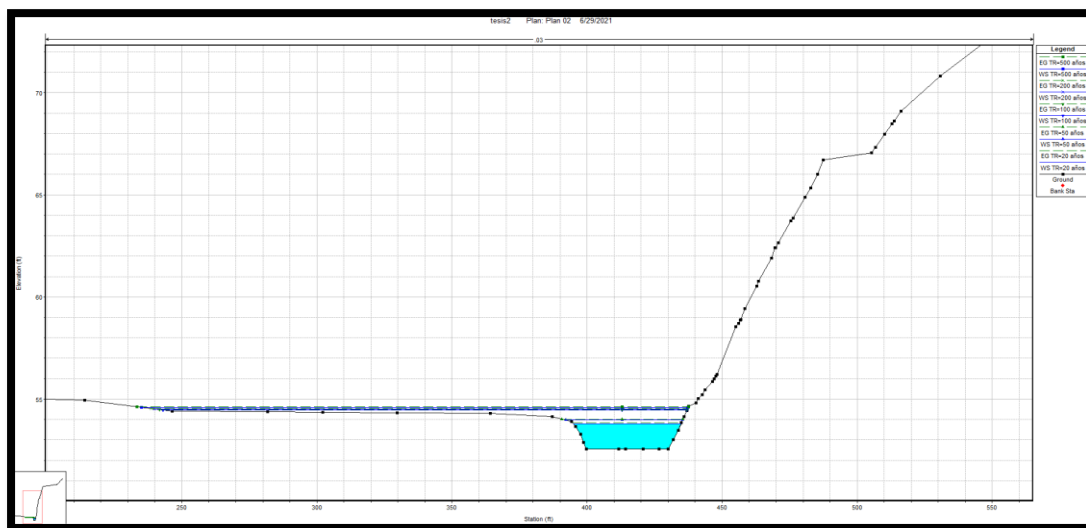
Sección Transversal 0 +200.



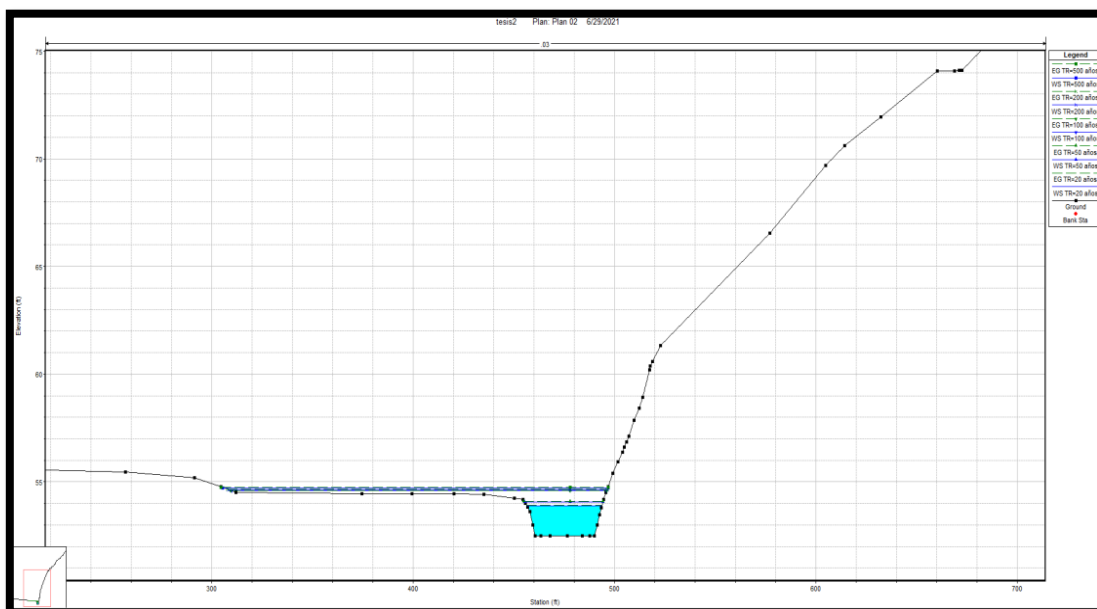
Sección Transversal 0 +300



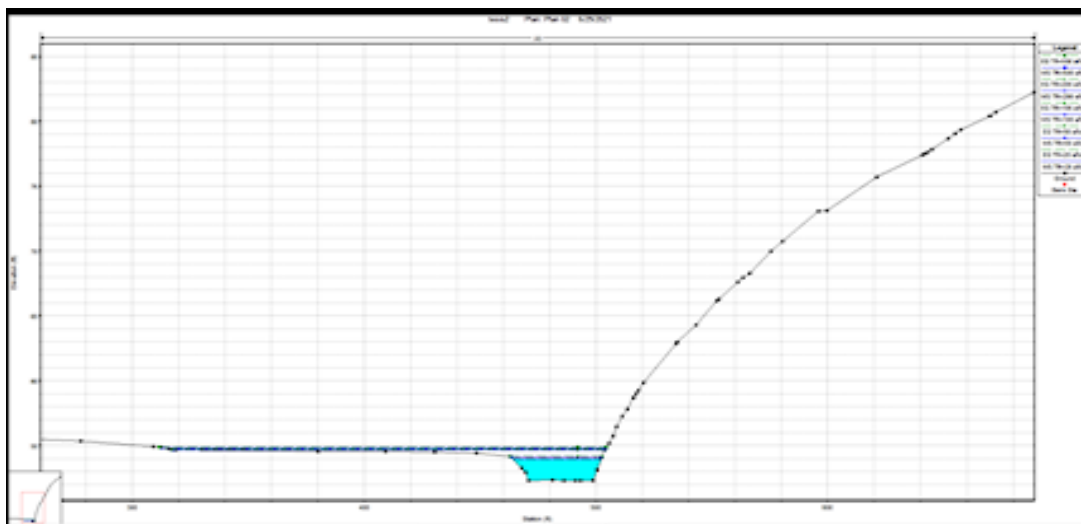
Sección Transversal 0 +400



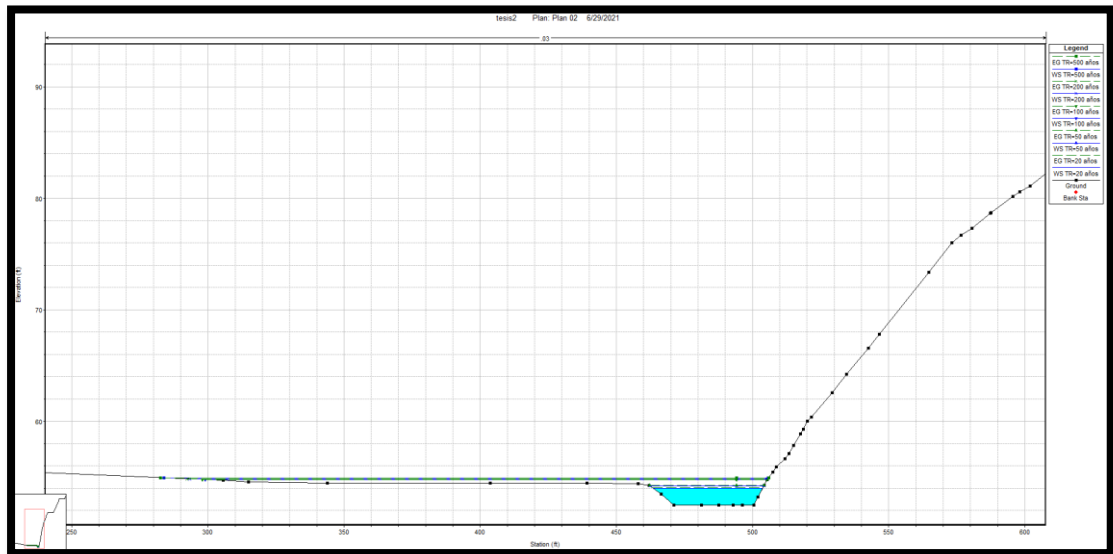
Sección Transversal 0 +500



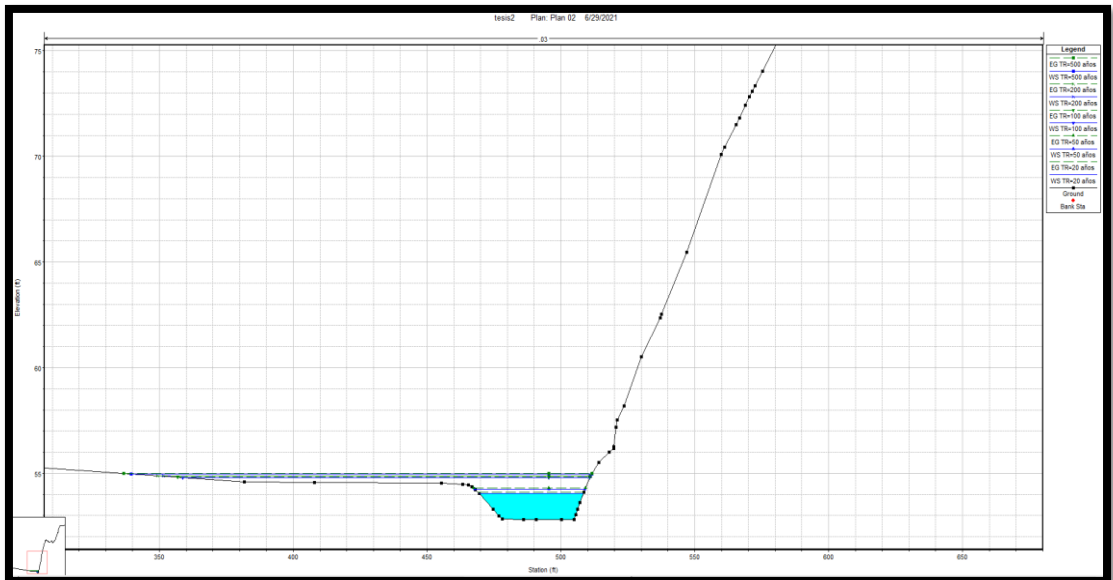
Sección Transversal 0 +600



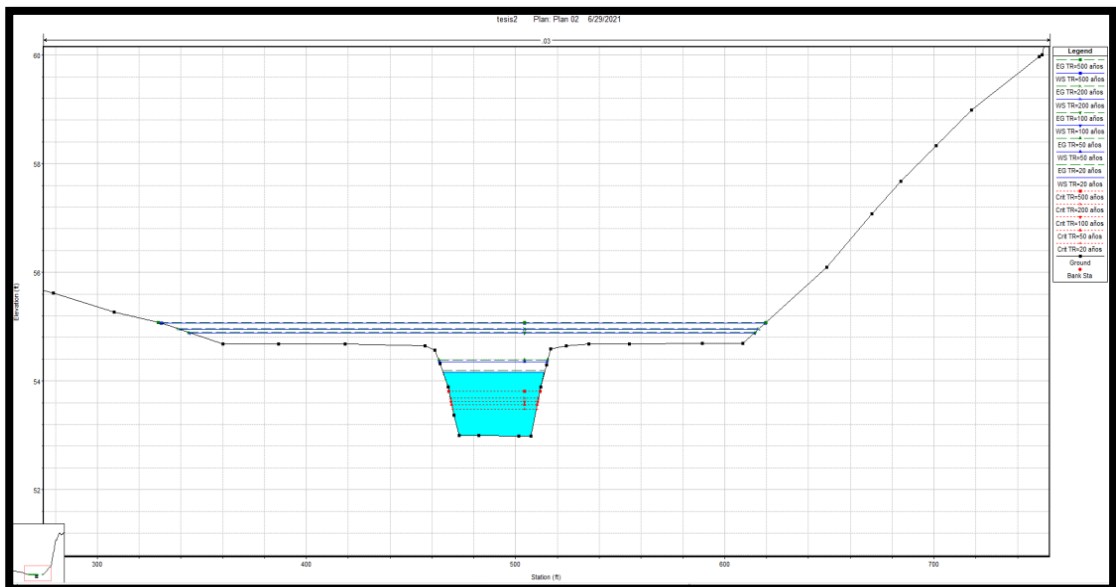
Sección Transversal 0 +700.



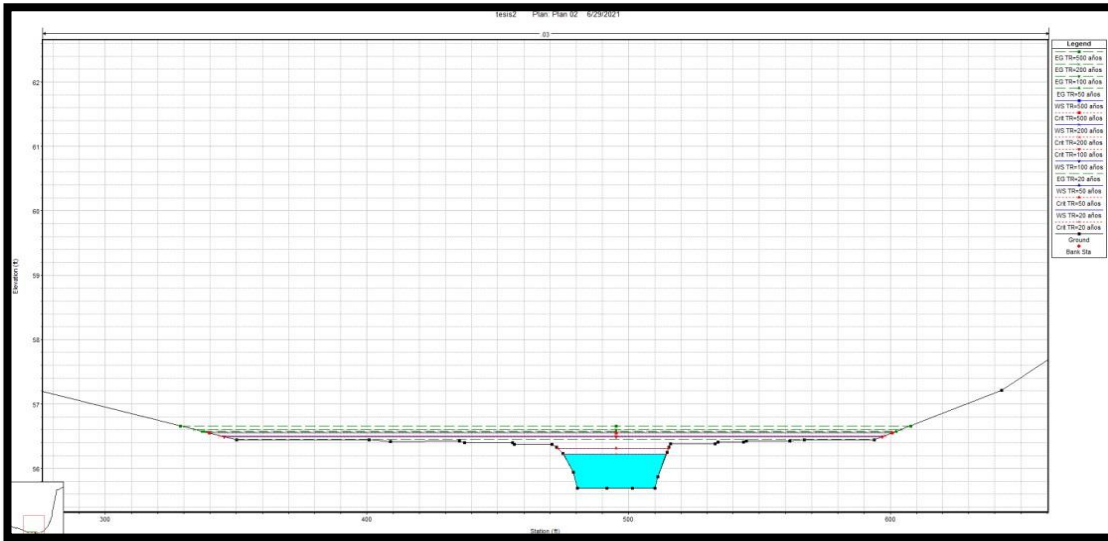
Sección Transversal 0 +800.



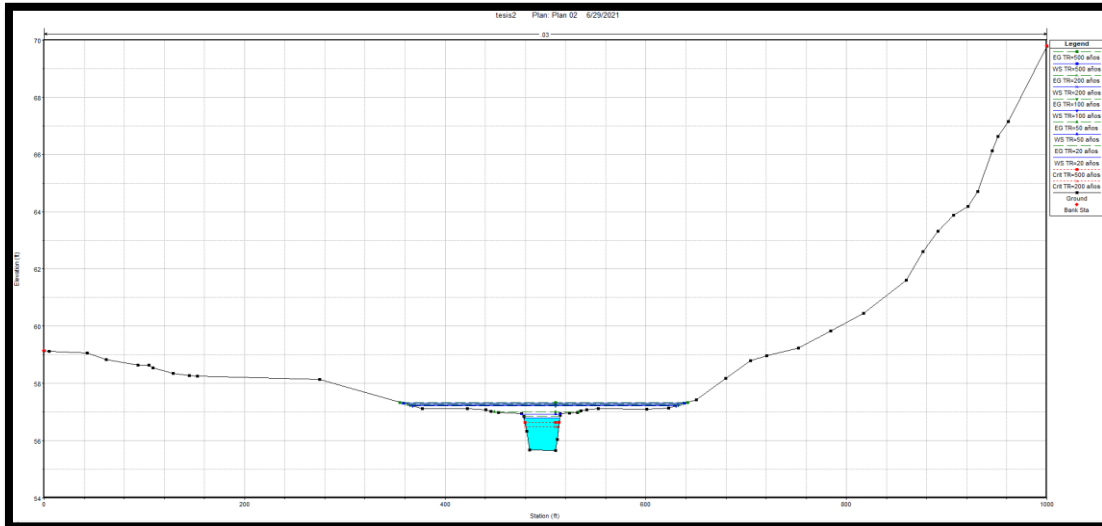
Sección Transversal 0 +900



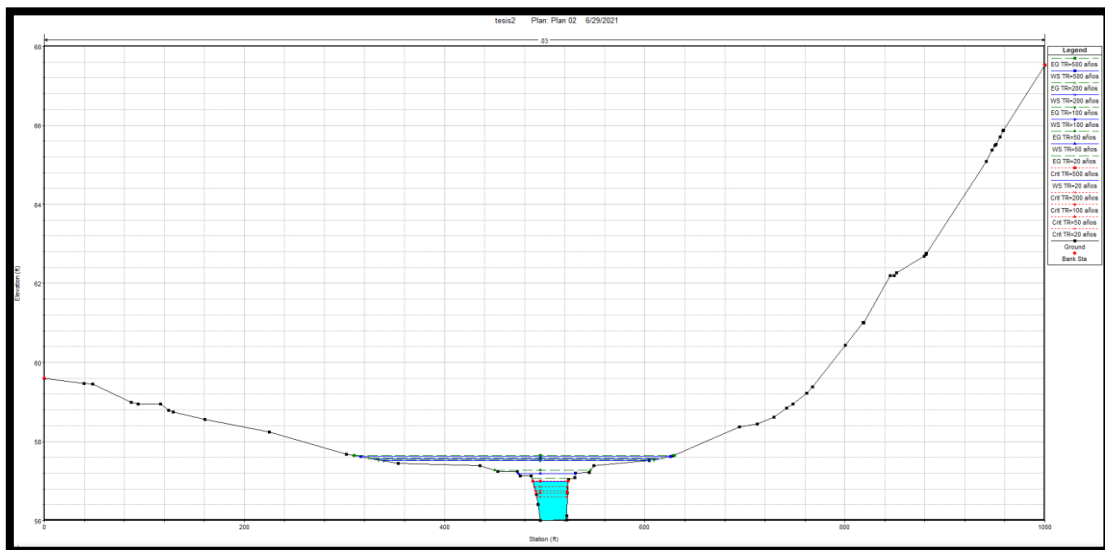
Sección Transversal 1 +000.



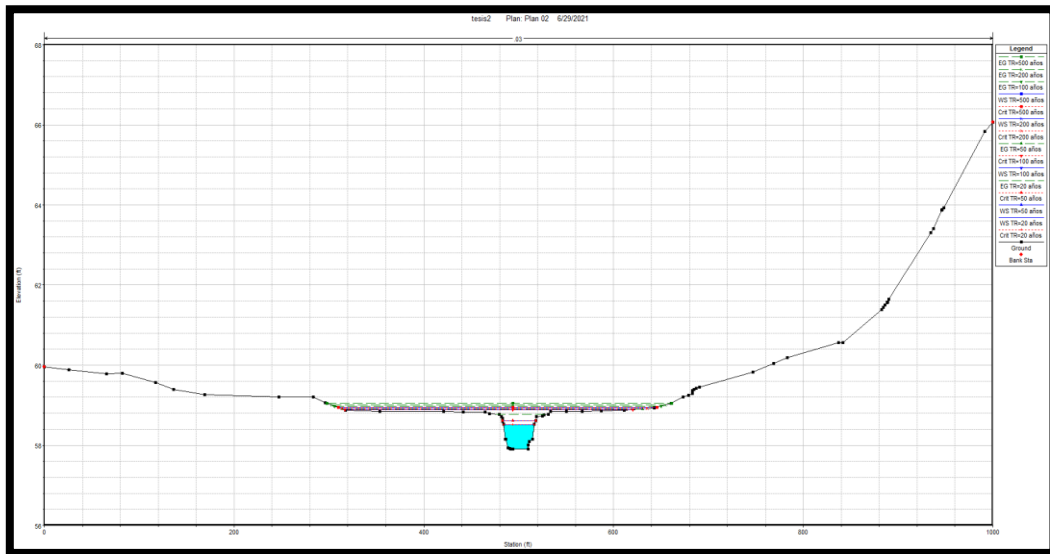
Sección Transversal 1 +100.



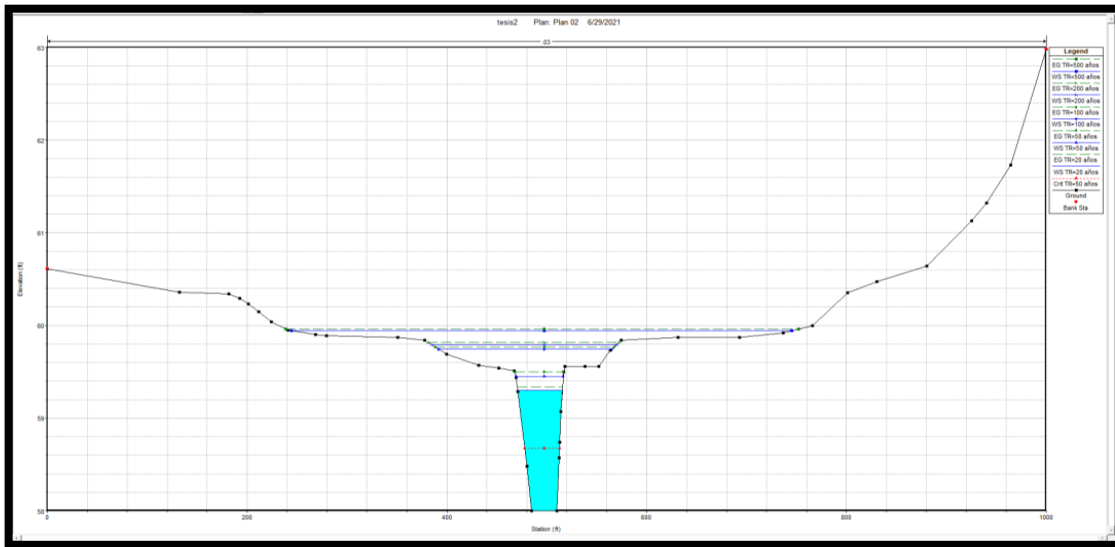
Sección Transversal 1 +200.



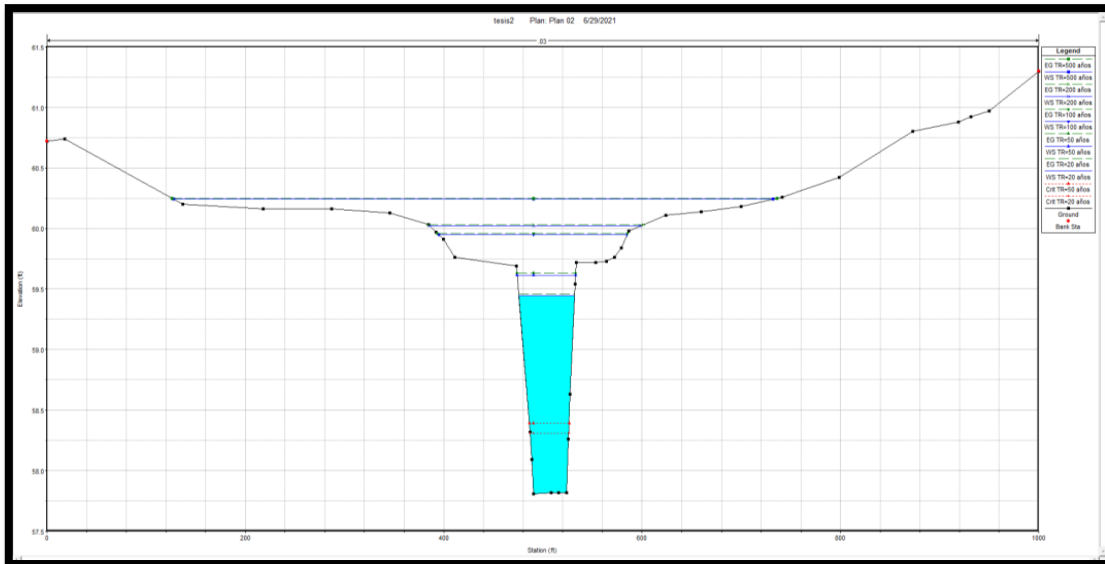
Sección Transversal 1 +300.



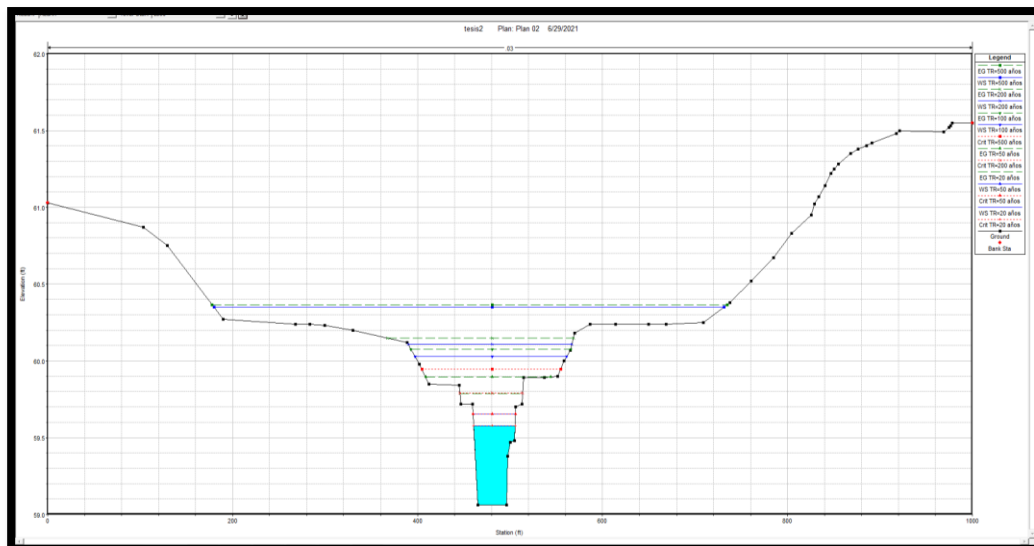
Sección Transversal 1 +600.



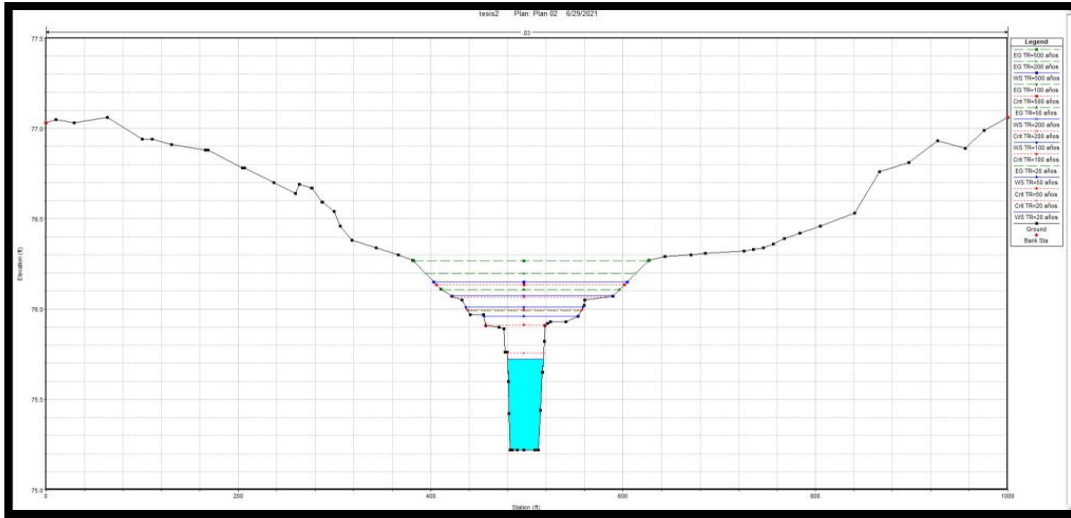
Sección Transversal 1 +700.



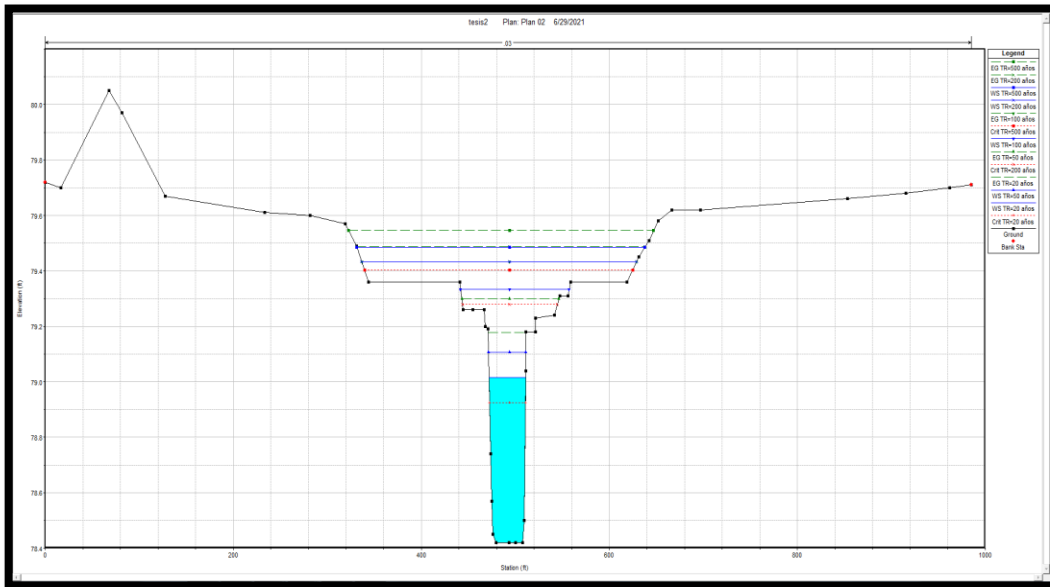
Sección Transversal 1 +800.



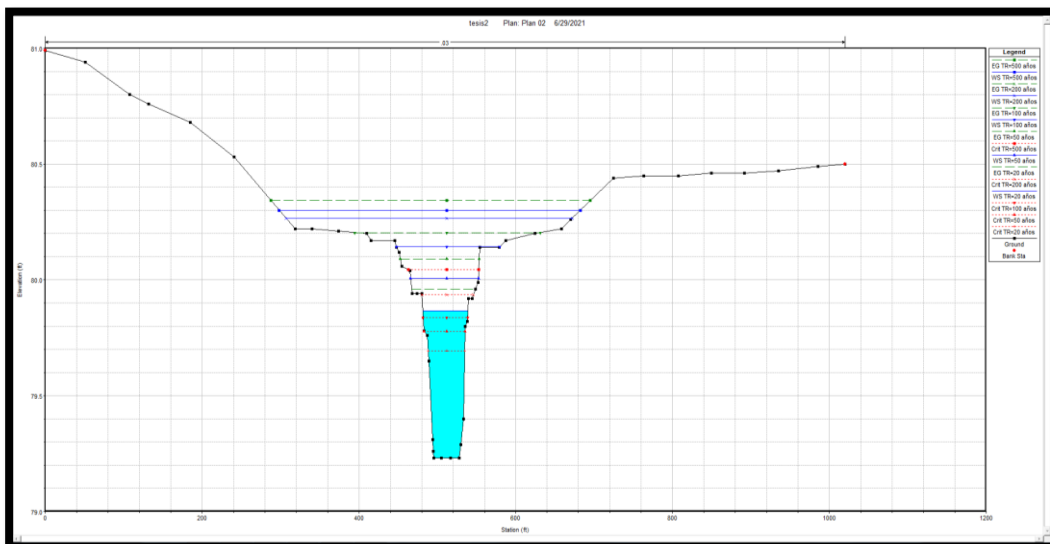
Sección Transversal 3+400.



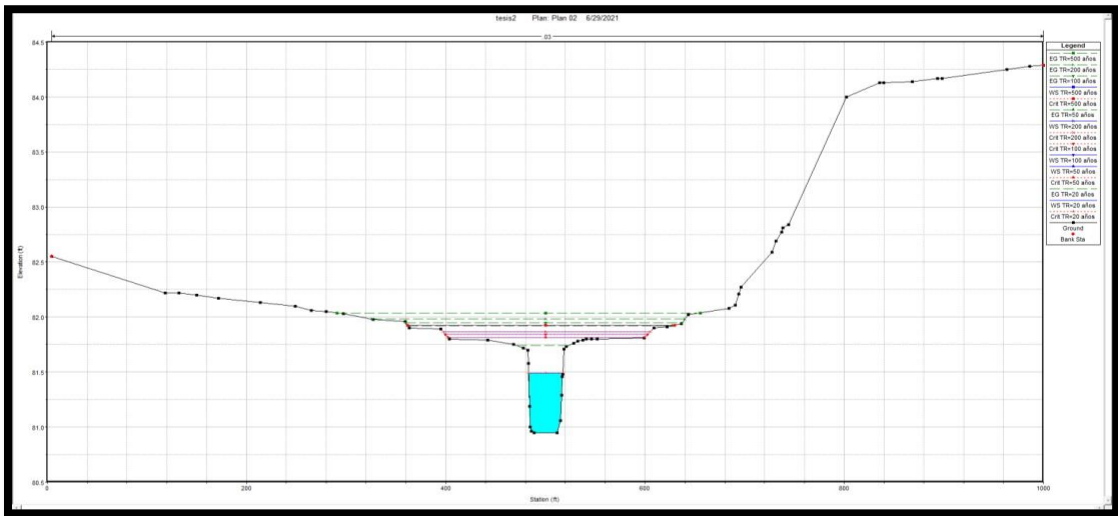
Sección Transversal 3+500.



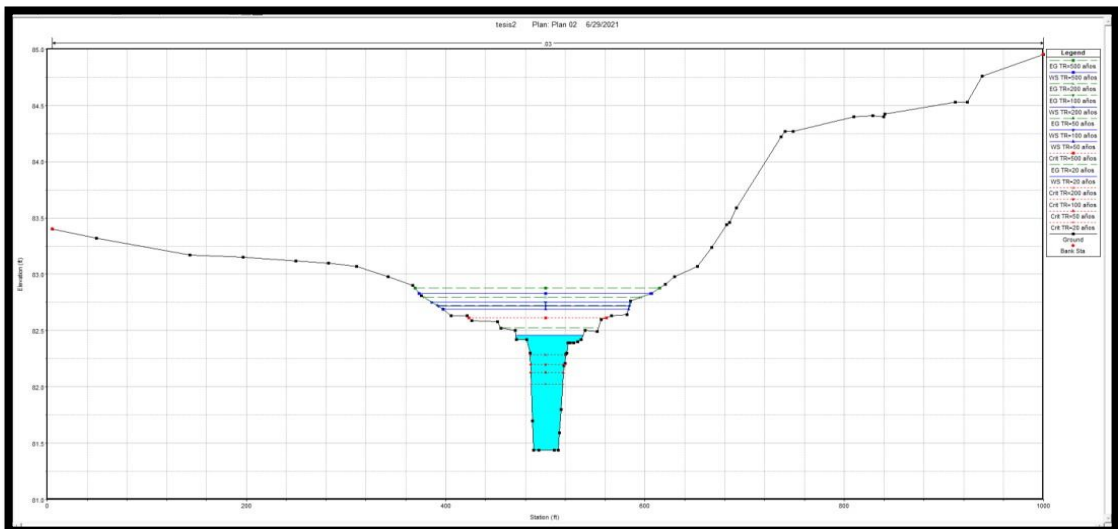
Sección Transversal 3+600.



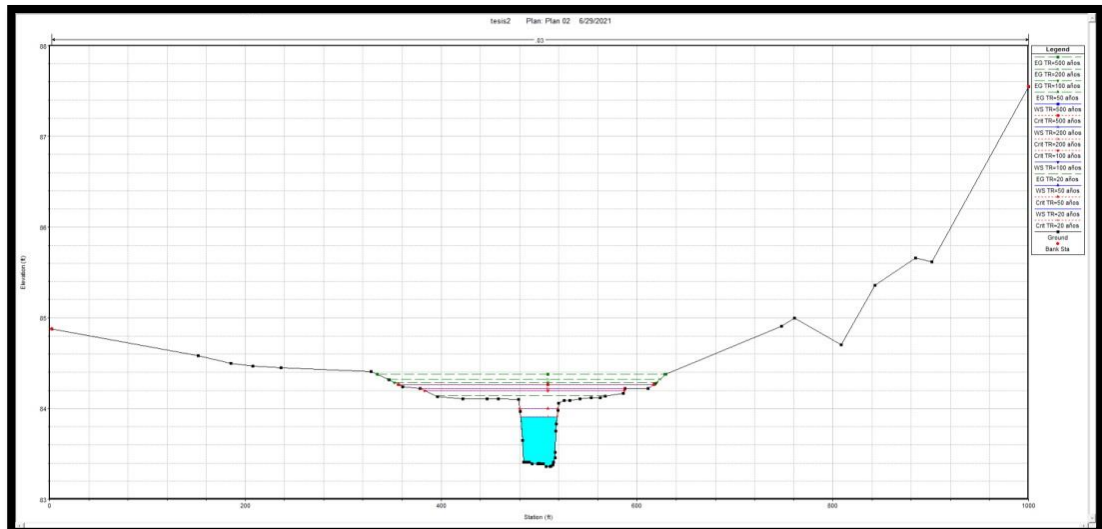
Sección Transversal 3+700.



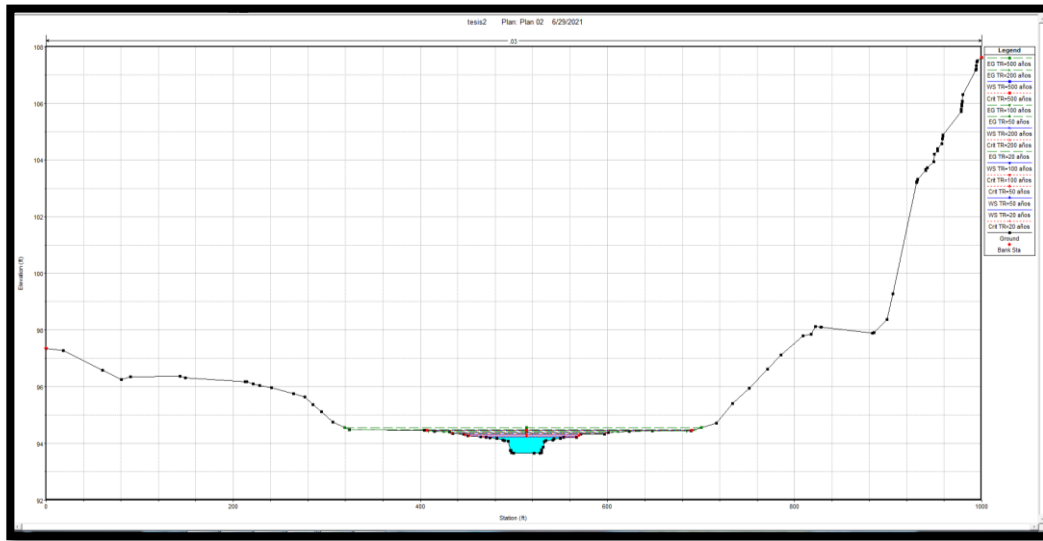
Sección Transversal 3+800.



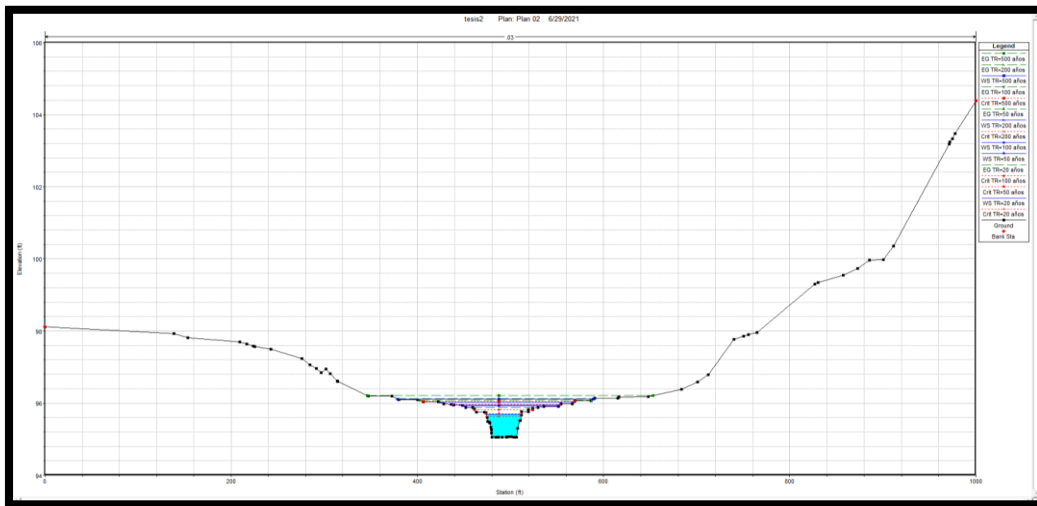
Sección Transversal 3+900.



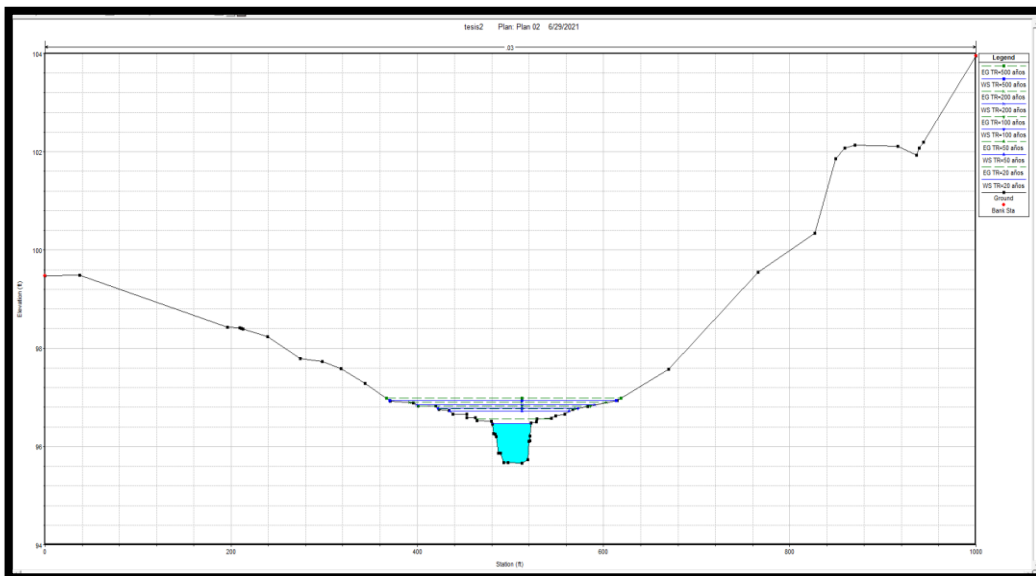
Sección Transversal 4+600.



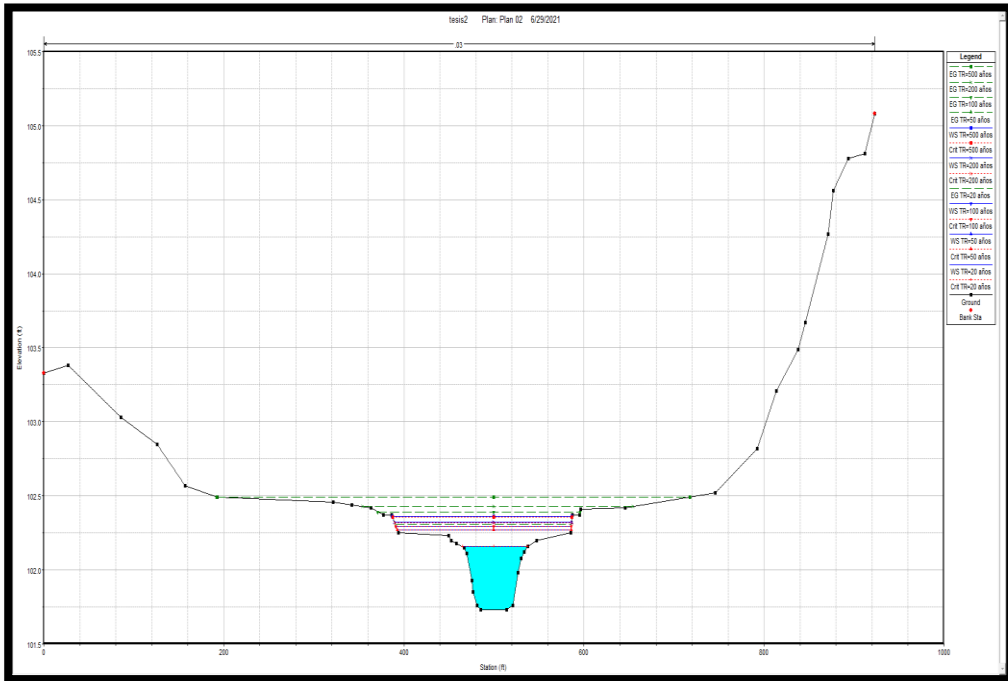
Sección Transversal 4+700.



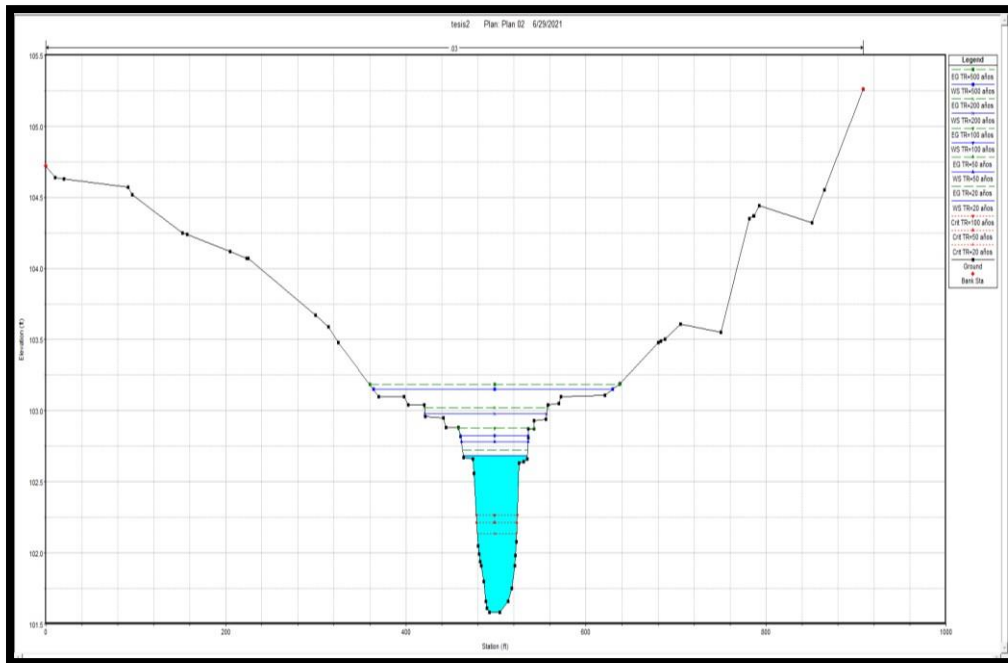
Sección Transversal 4+800.



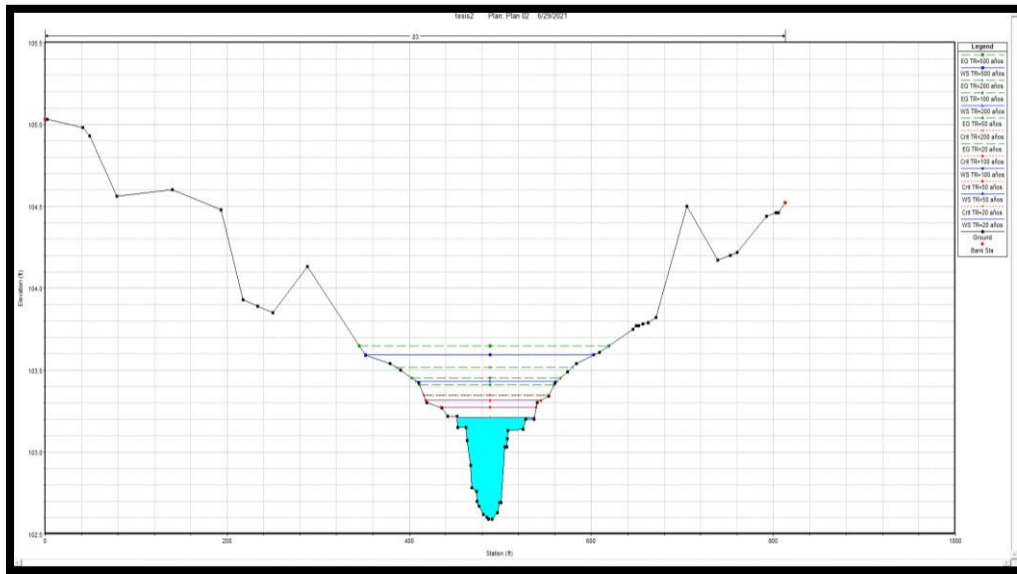
Sección Transversal 5+100.



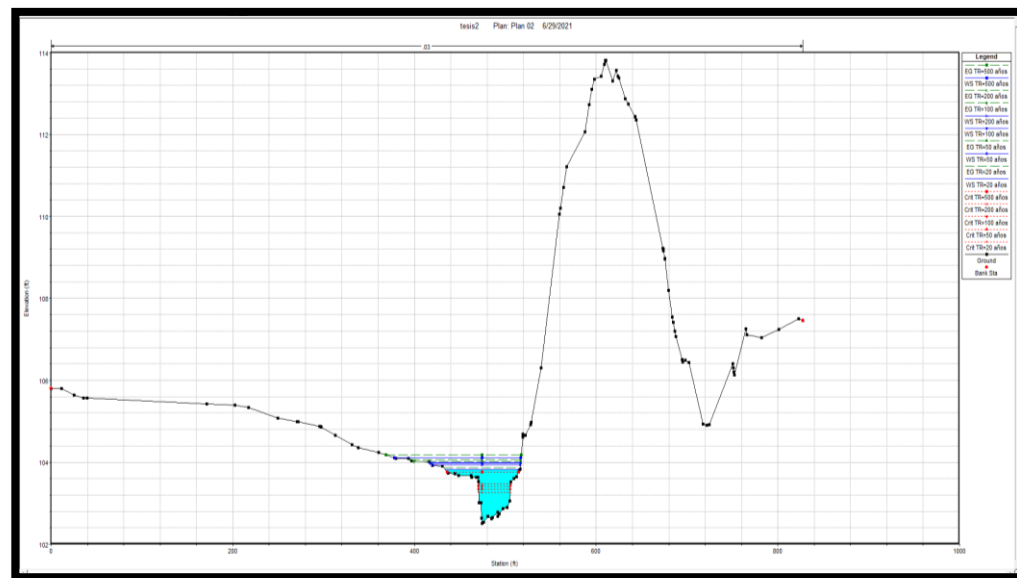
Sección Transversal 5+200.



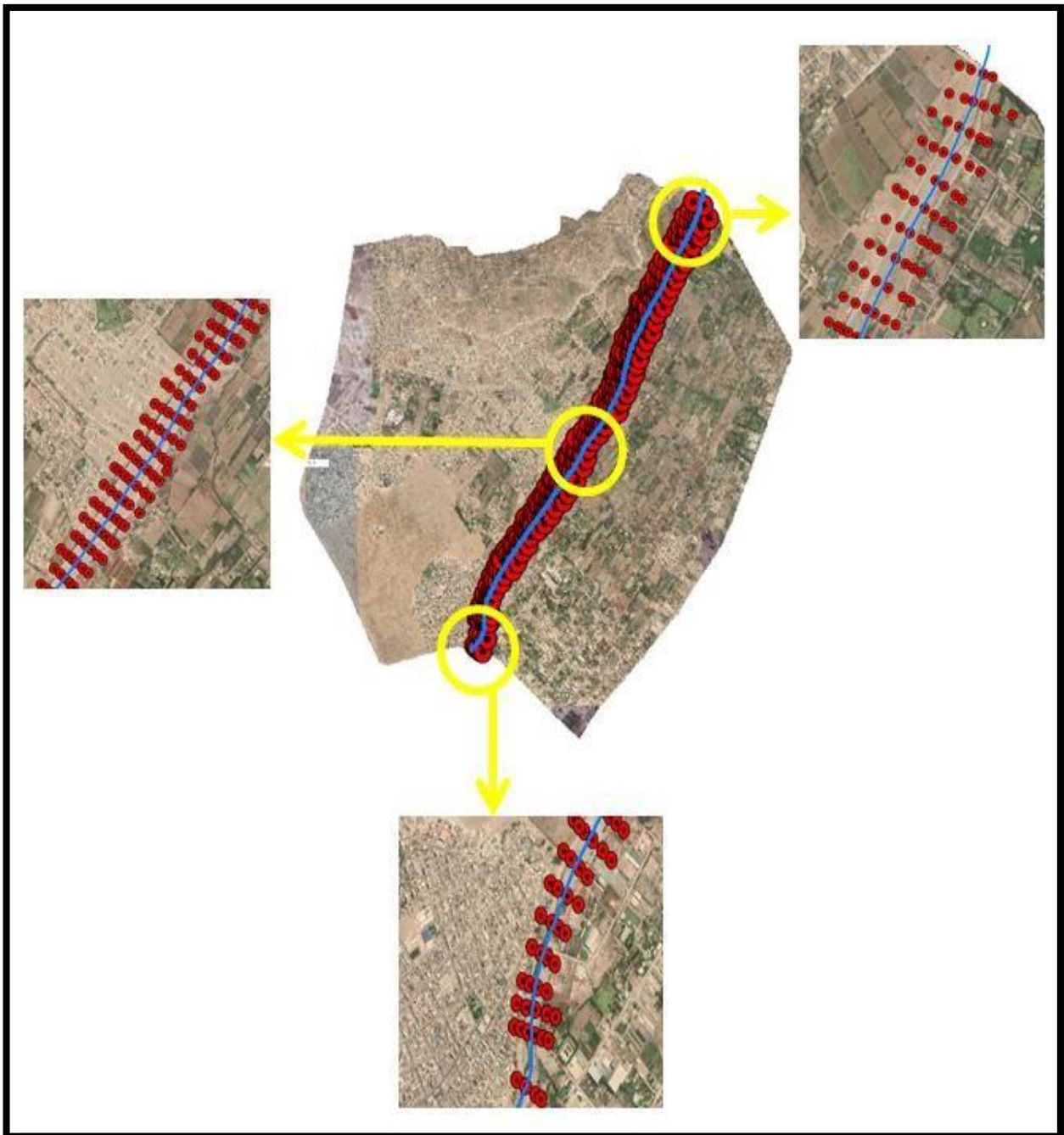
Sección Transversal 5+300



Sección Transversal 5+400



ANEXO C: Puntos tomados en campo con el GPS



ANEXO D: fotografía en campo

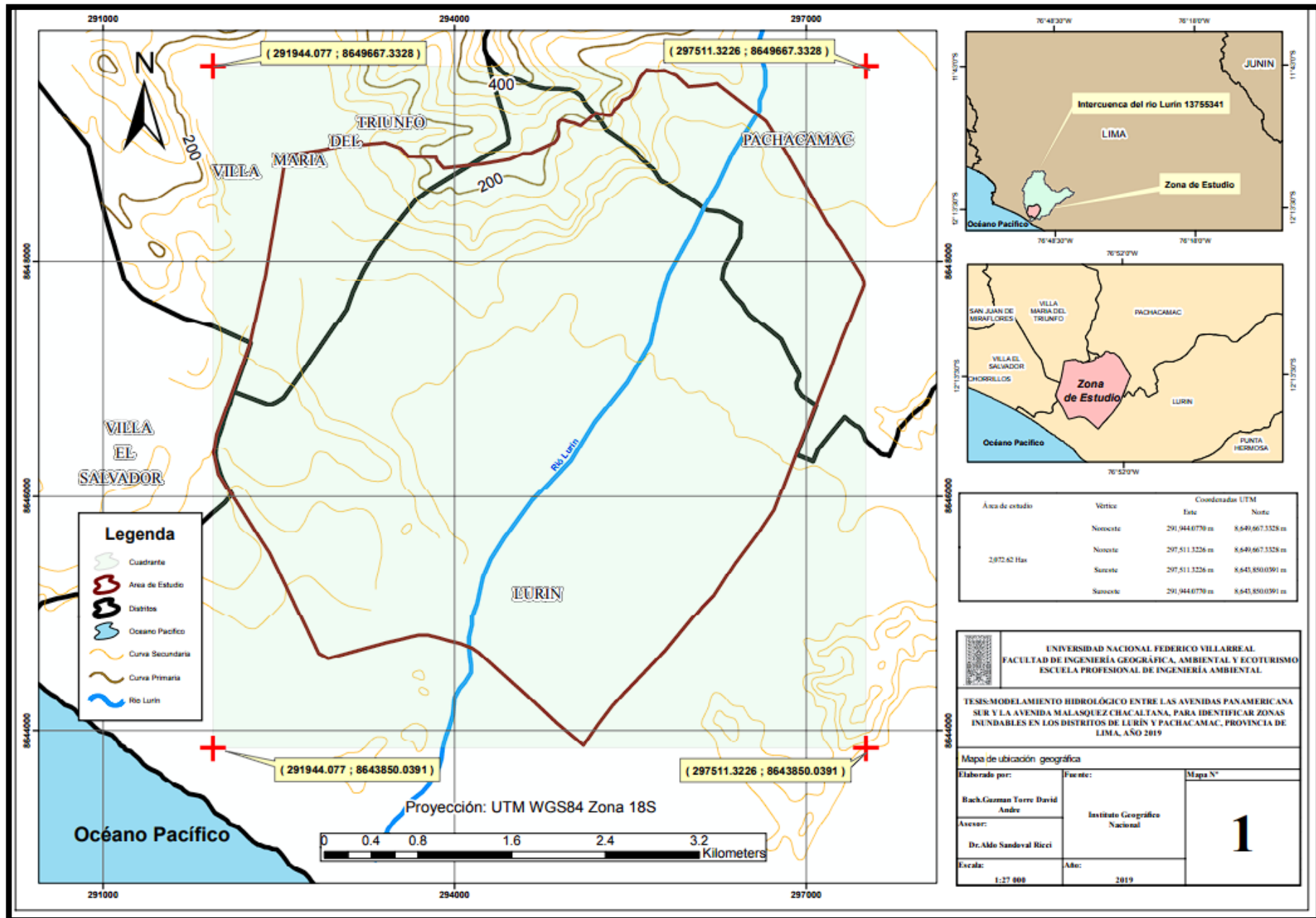
Parte inicial del tramo estudiado.

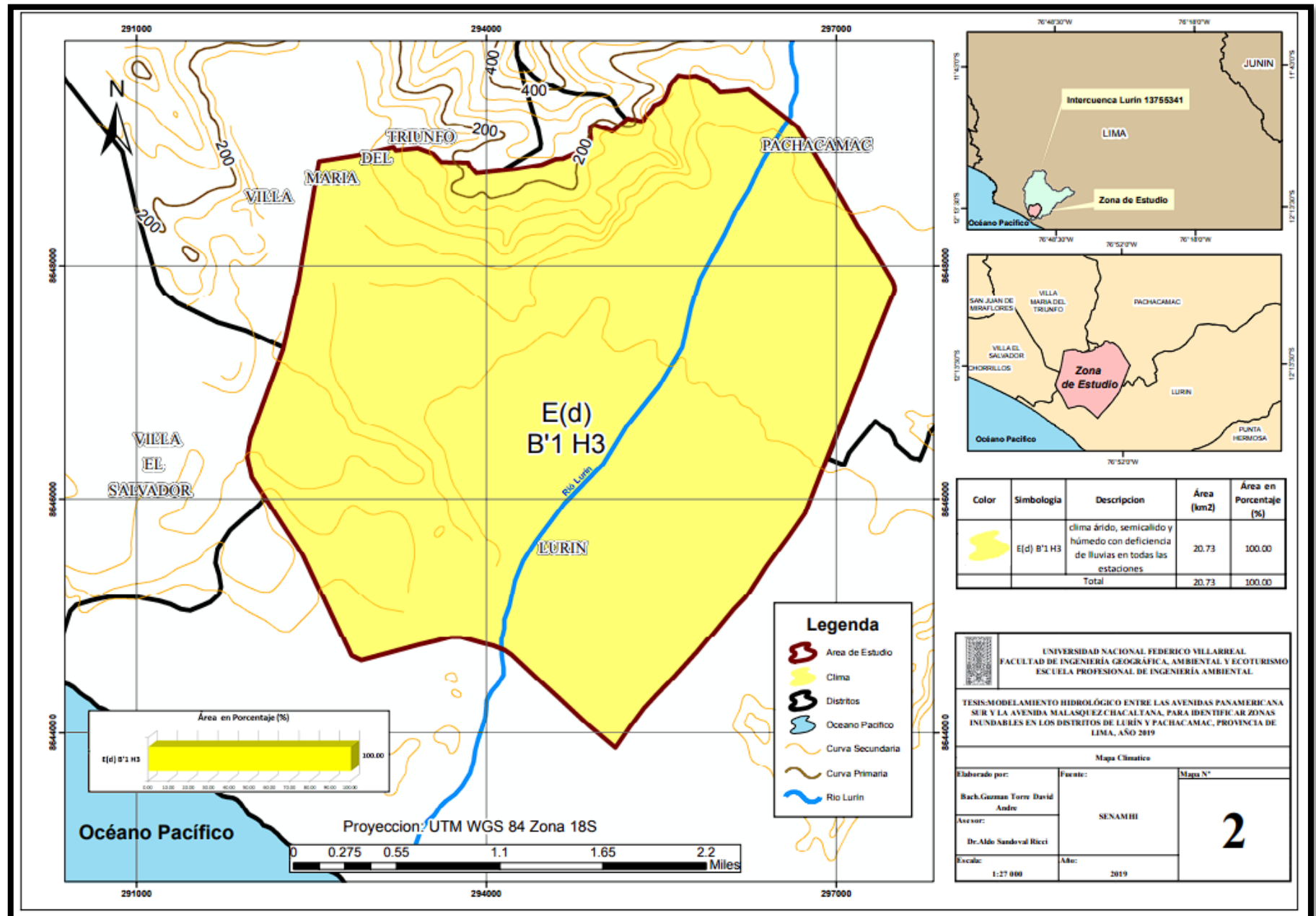


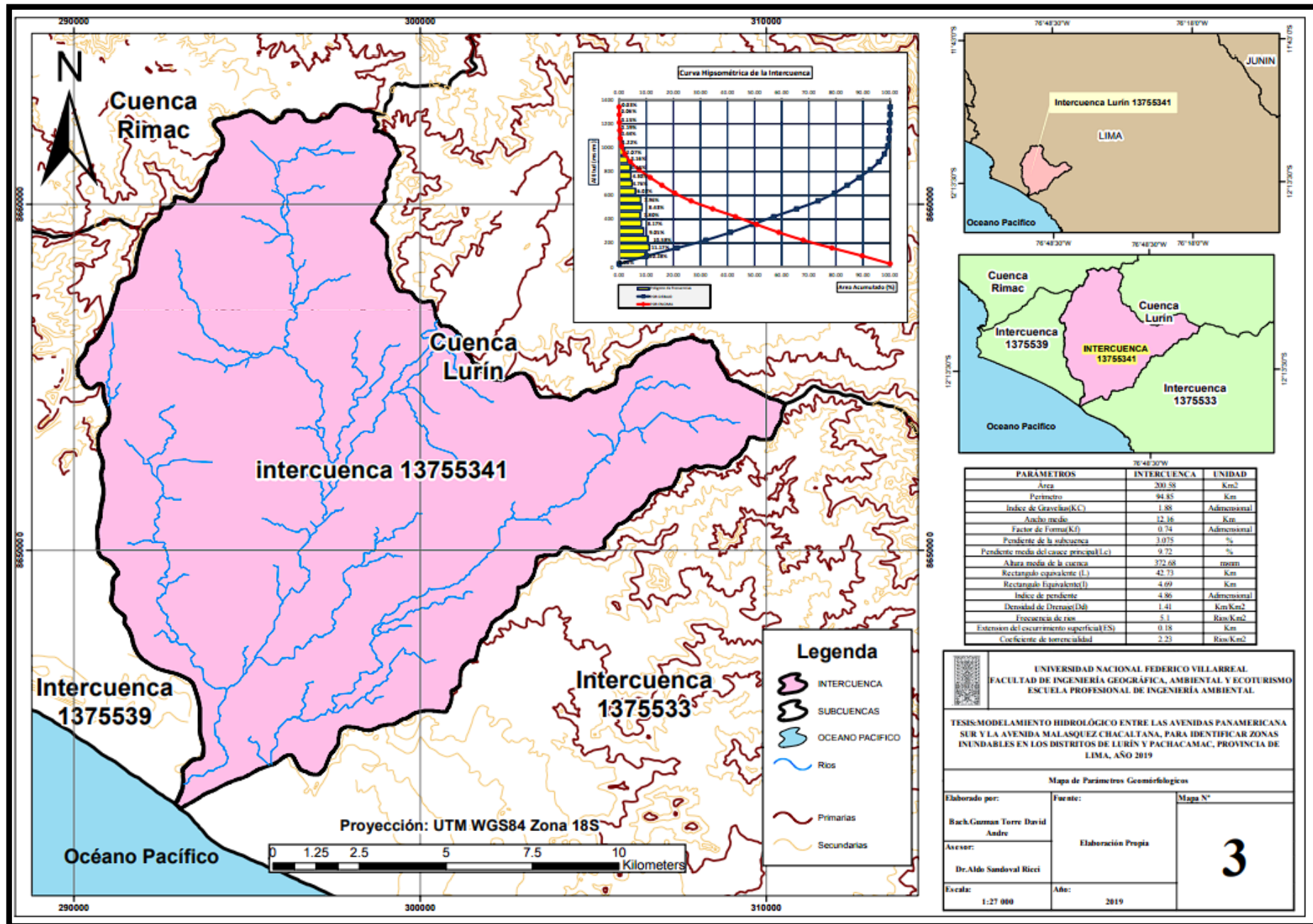
Ancho del río Lurín, tomado con una wincha .



ANEXO E: Mapas





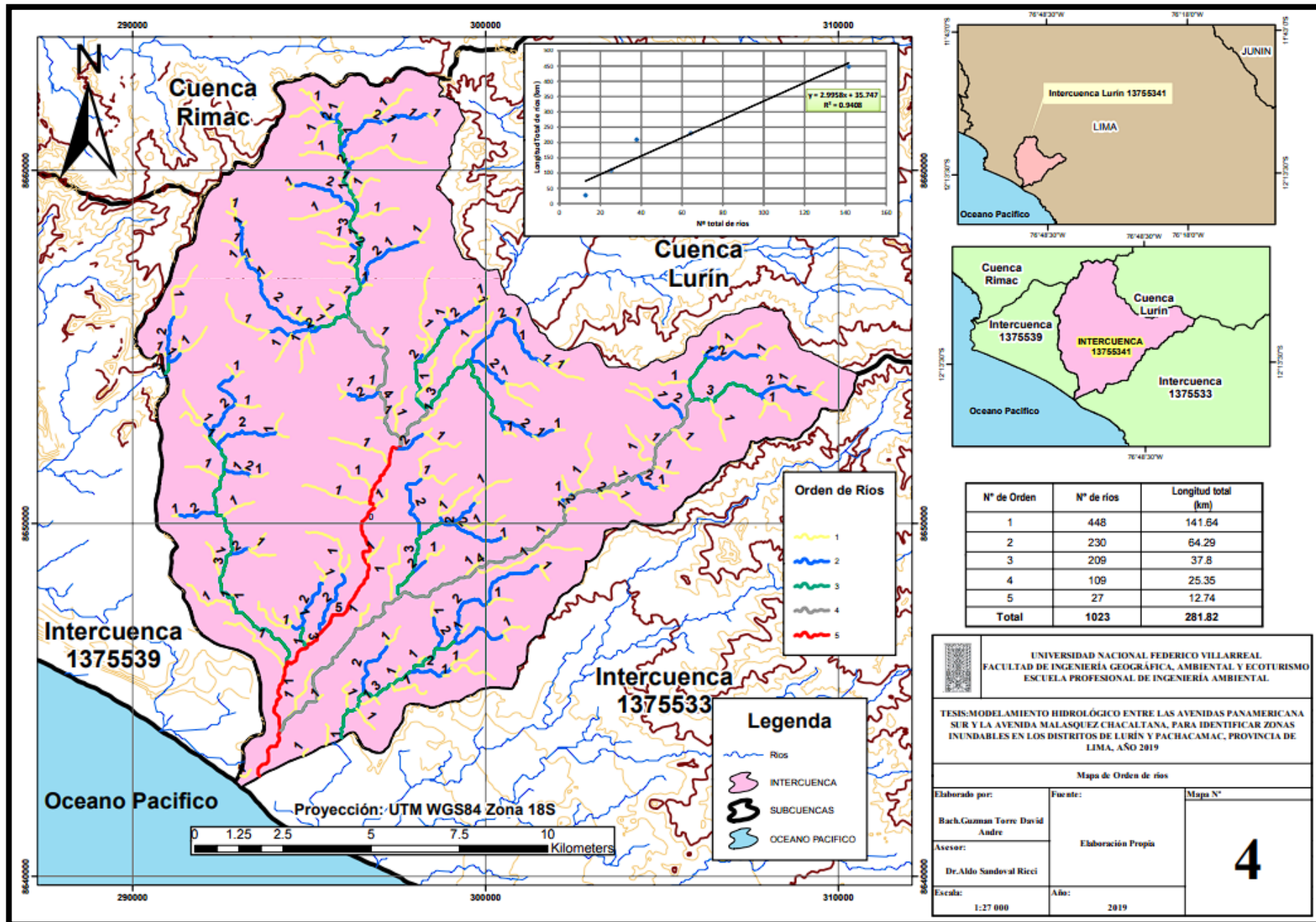


UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLARREAL
 FACULTAD DE INGENIERIA GEOGRAFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL

TESIS-MODELAMIENTO HIDROLÓGICO ENTRE LAS AVENIDAS PANAMERICANA SUR Y LA AVENIDA MALASQUEZ CHACALTANA, PARA IDENTIFICAR ZONAS INUNDABLES EN LOS DISTRITOS DE LURÍN Y PACHACAMAC, PROVINCIA DE LIMA, AÑO 2019

Mapa de Parámetros Geomórfológicos

Elaborado por:	Fuente:	Mapa N°
Bach.Gurman Torre David Andre	Elaboración Propia	3
Aveser:		
Dr.Aldo Sandoval Ricci		
Escala:	Año:	
1:27 000	2019	

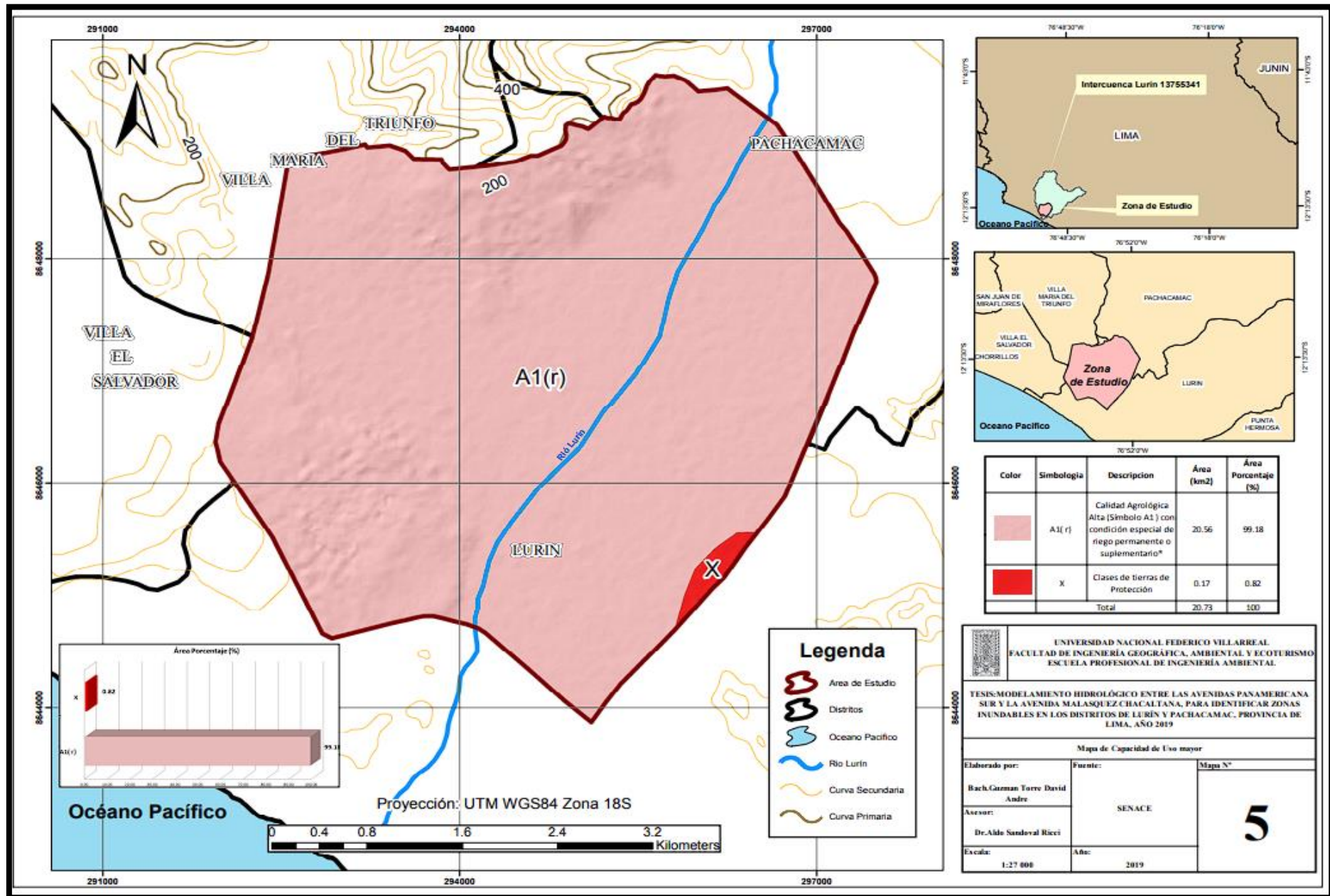


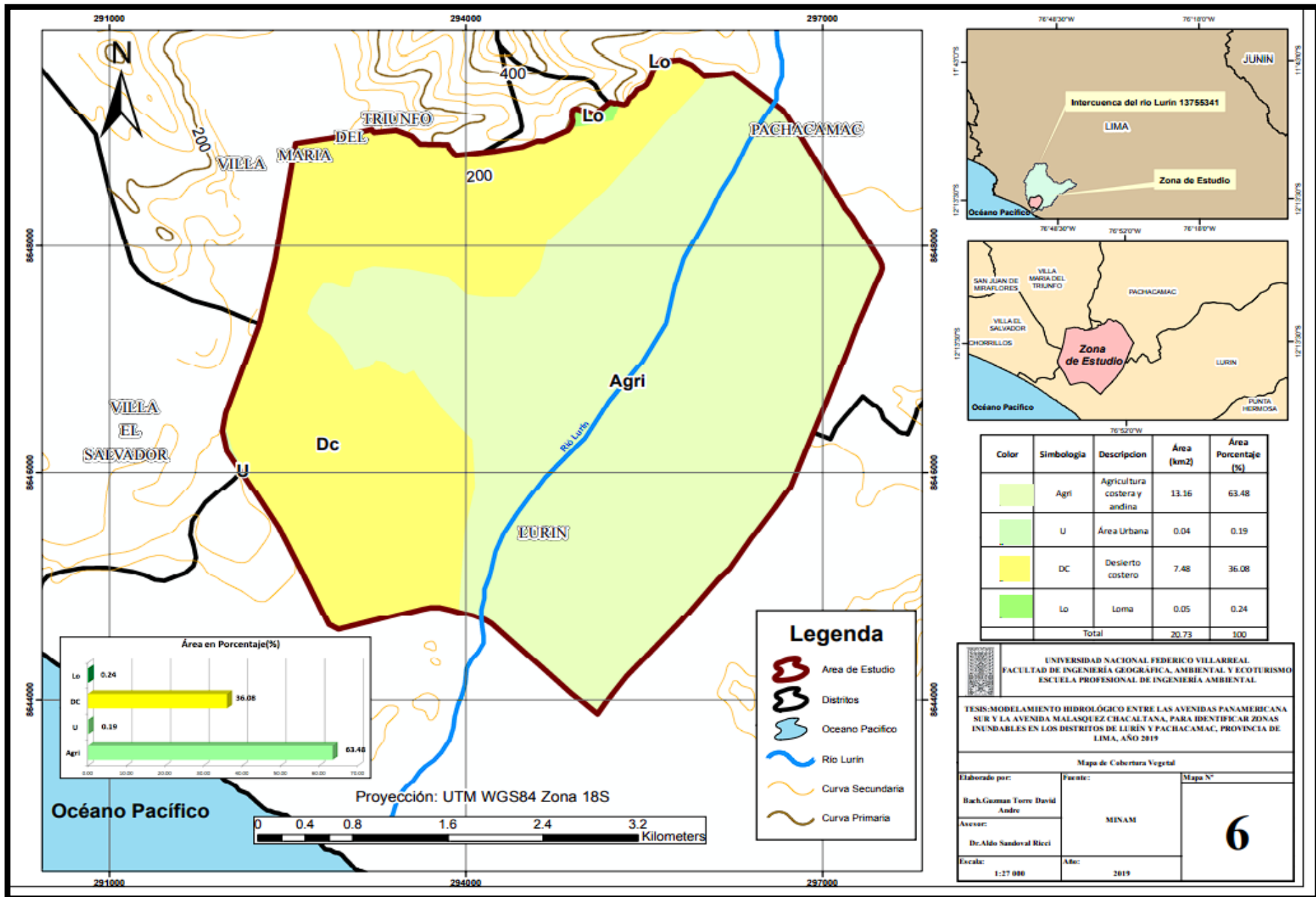
Nº de Orden	Nº de rios	Longitud total (km)
1	448	141.64
2	230	64.29
3	209	37.8
4	109	25.35
5	27	12.74
Total	1023	281.82

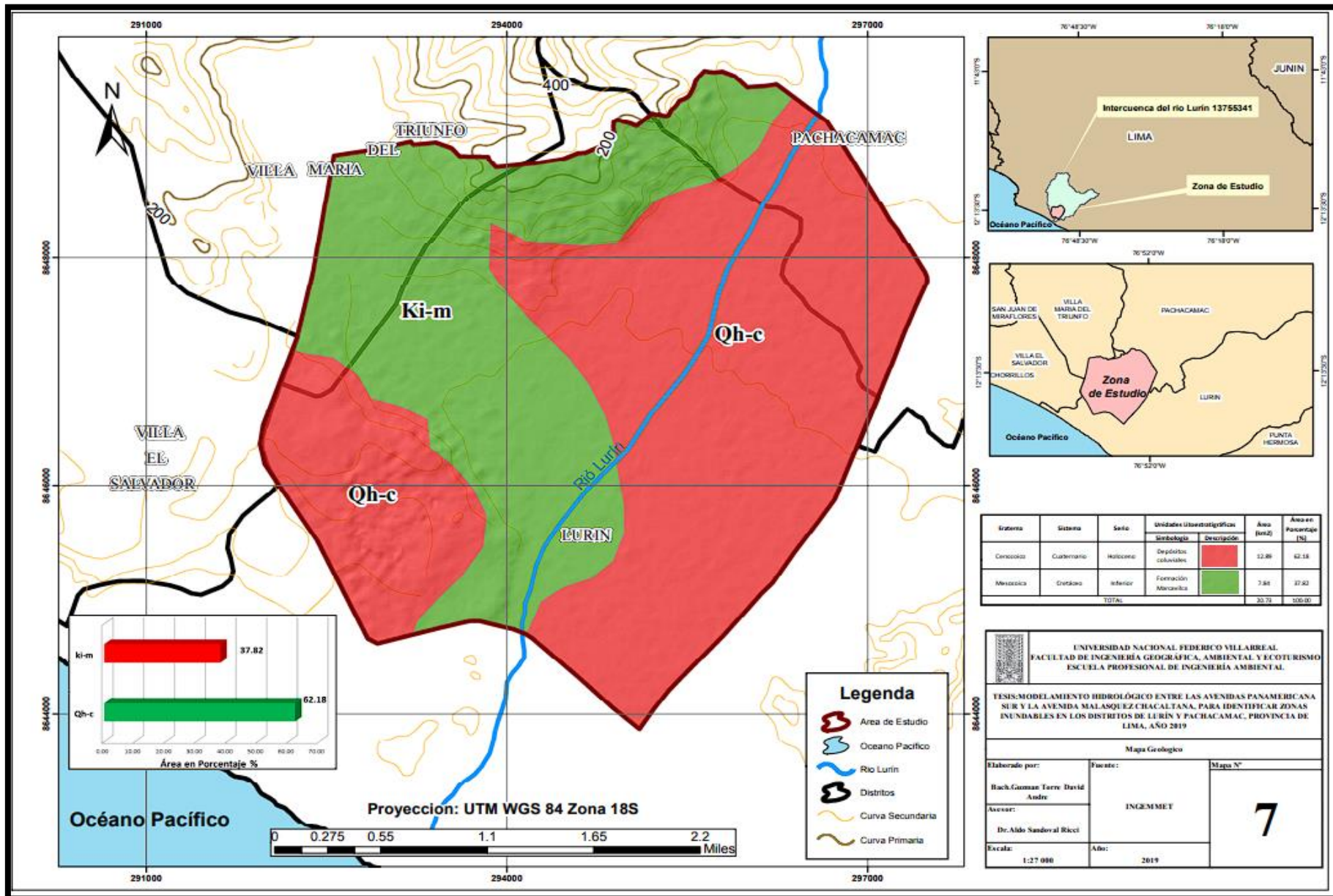
UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLARREAL
 FACULTAD DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

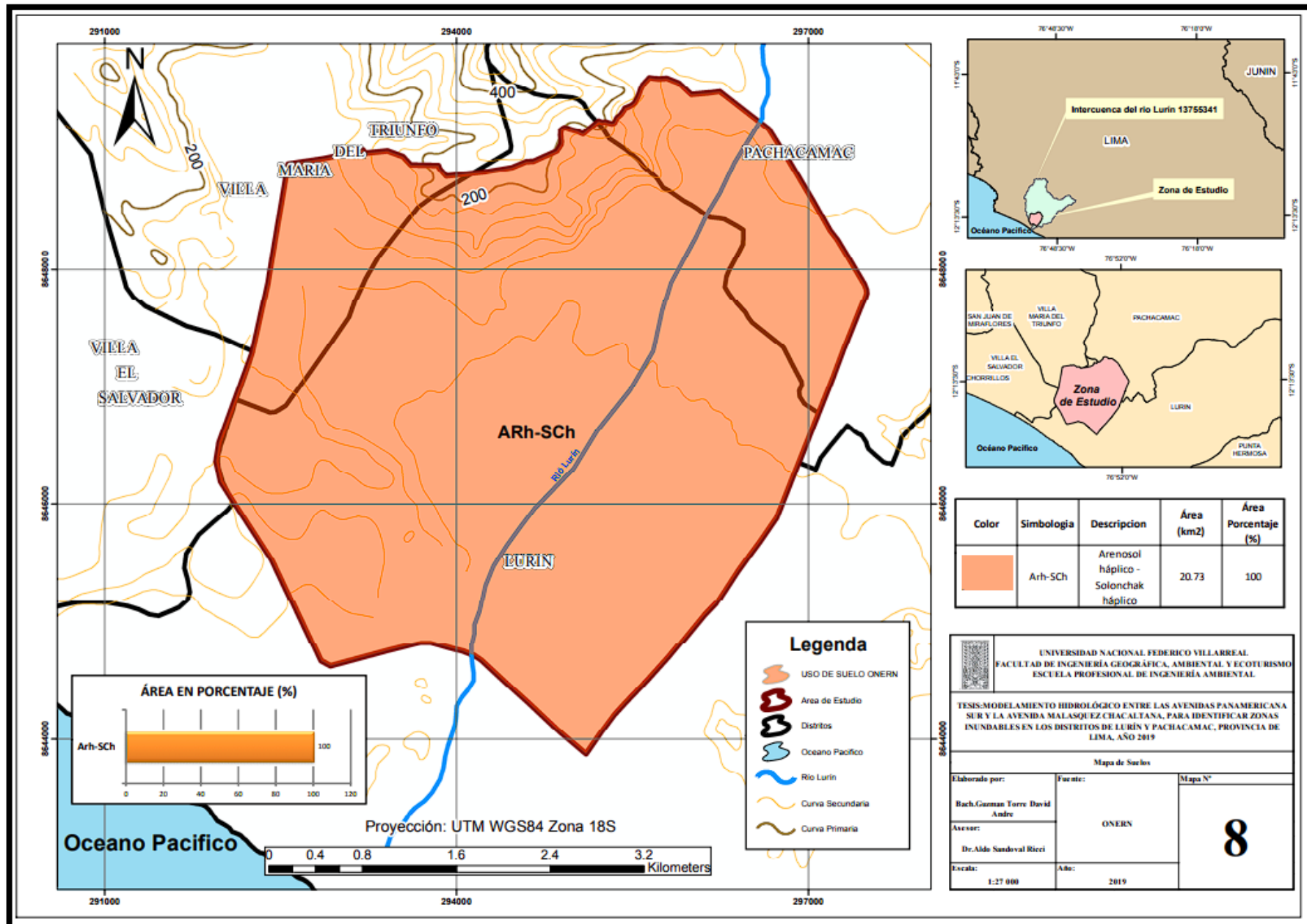
TESIS: MODELAMIENTO HIDROLÓGICO ENTRE LAS AVENIDAS PANAMERICANA SUR Y LA AVENIDA MALASQUEZ CHACALTANA, PARA IDENTIFICAR ZONAS INUNDABLES EN LOS DISTRITOS DE LURÍN Y PACHACAMAC, PROVINCIA DE LIMA, AÑO 2019

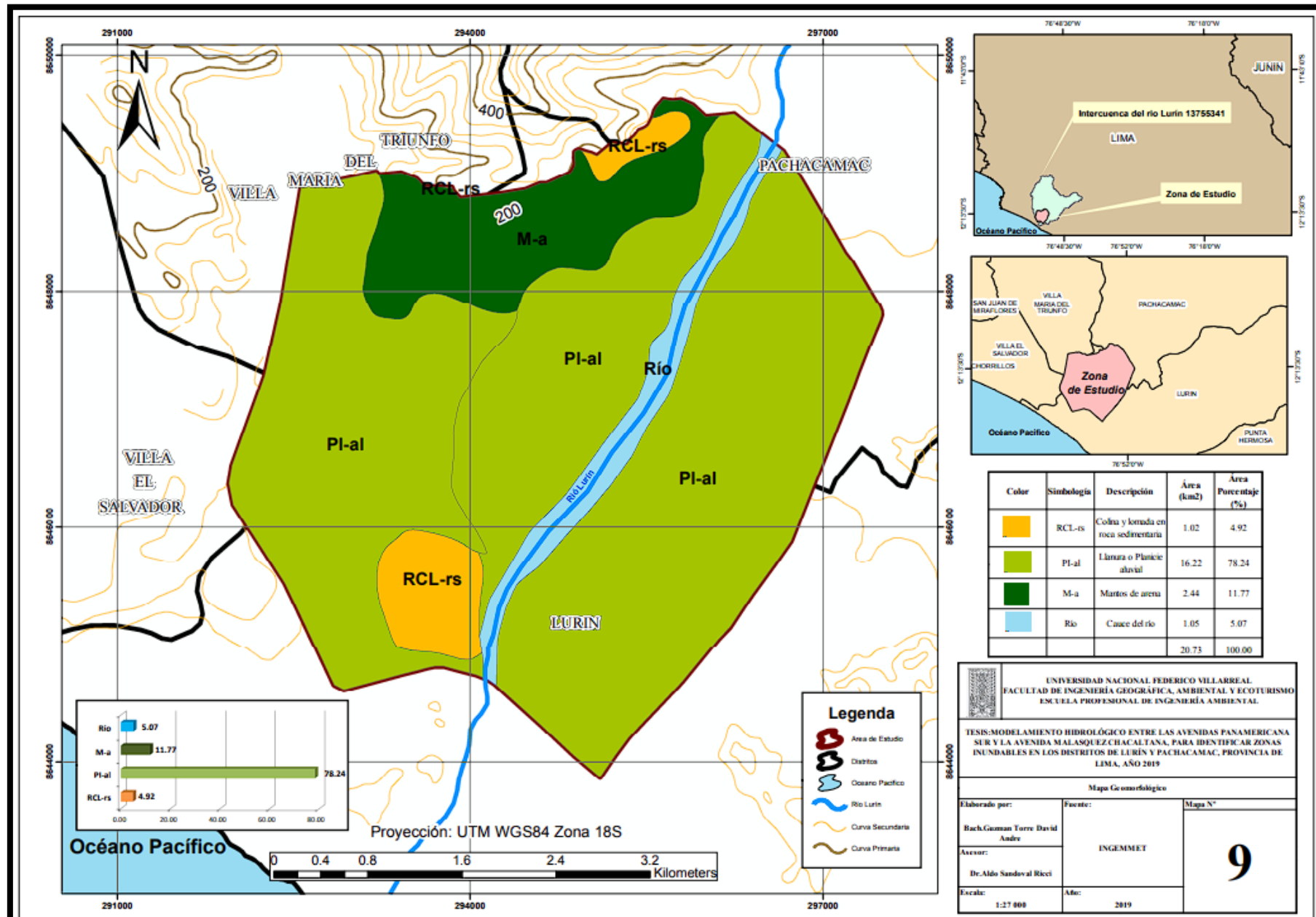
Mapa de Orden de rios		
Elaborado por: Bach. Guzman Torre David Andre	Fuente: Elaboración Propia	Mapa N° 4
Asesor: Dr. Aldo Sandoval Ricci	Año: 2019	
Escala: 1:27 000		

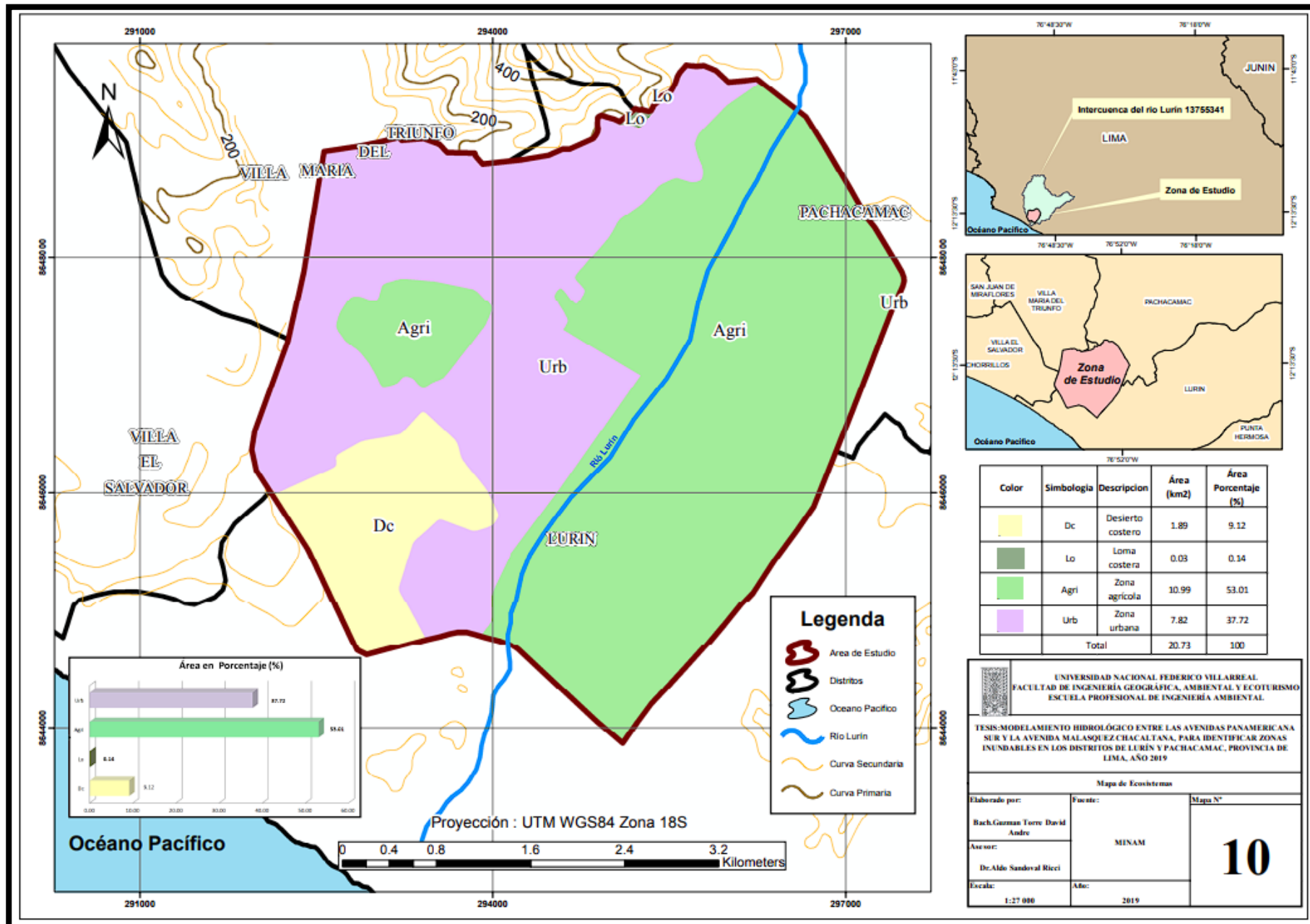


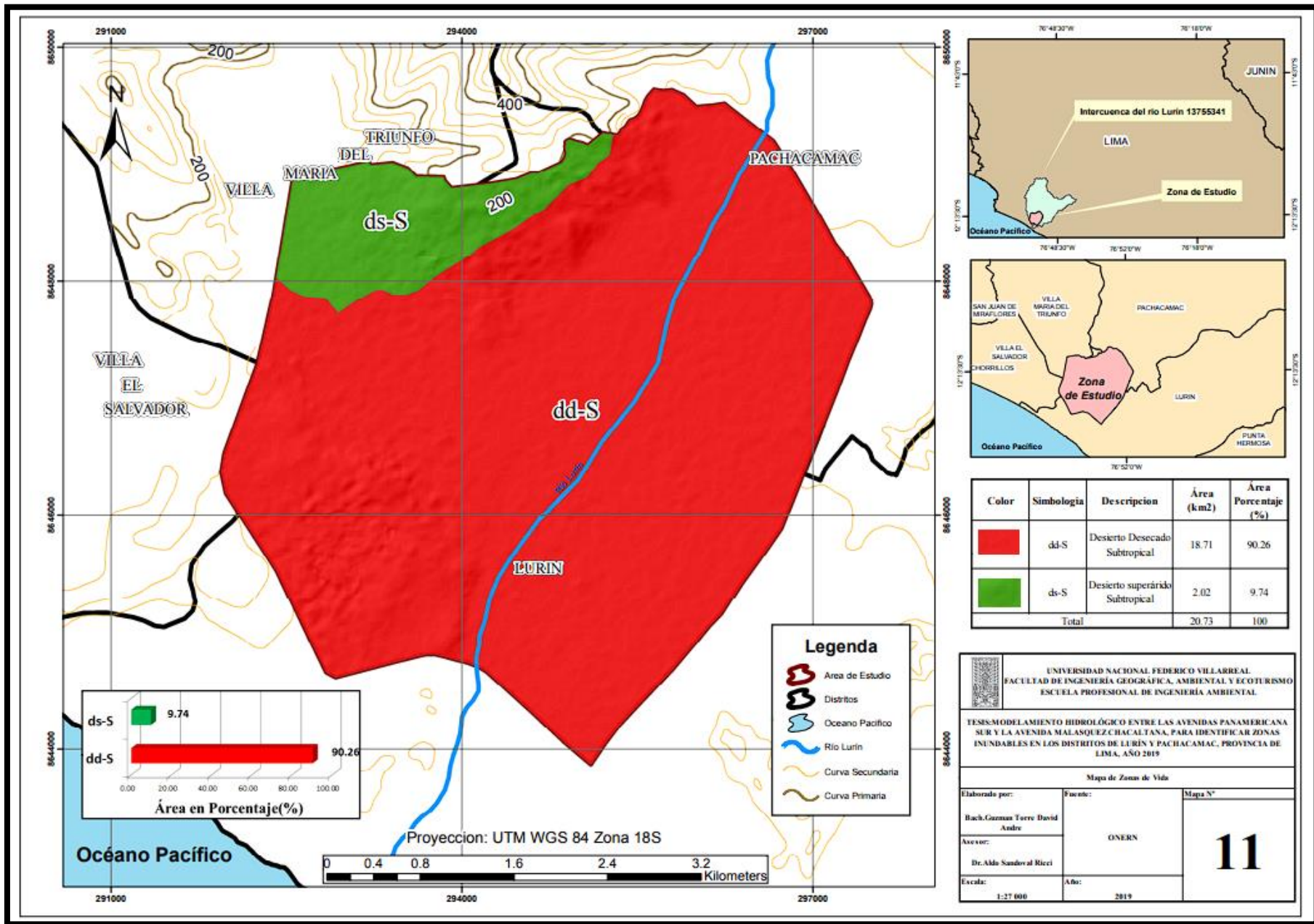


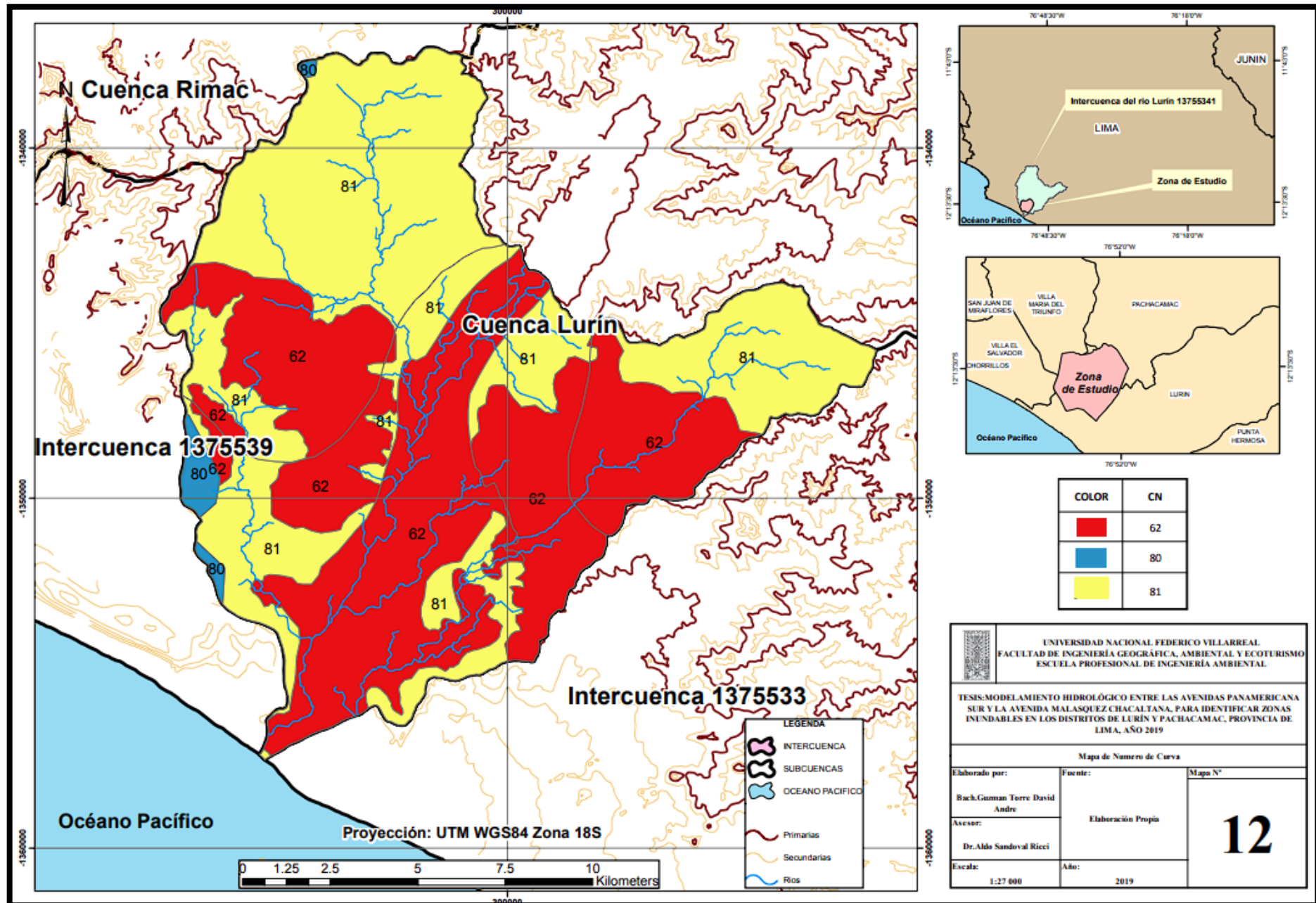


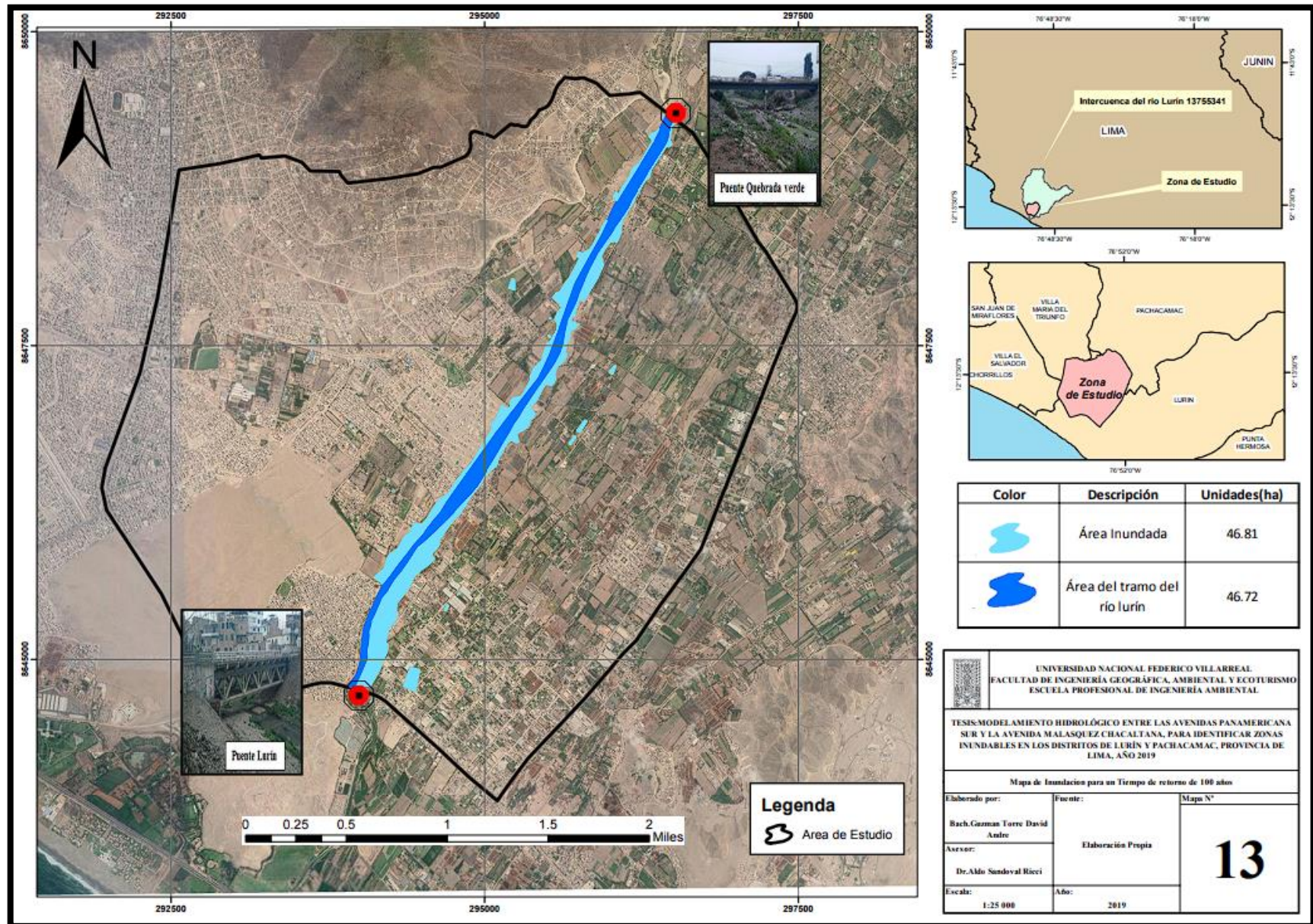


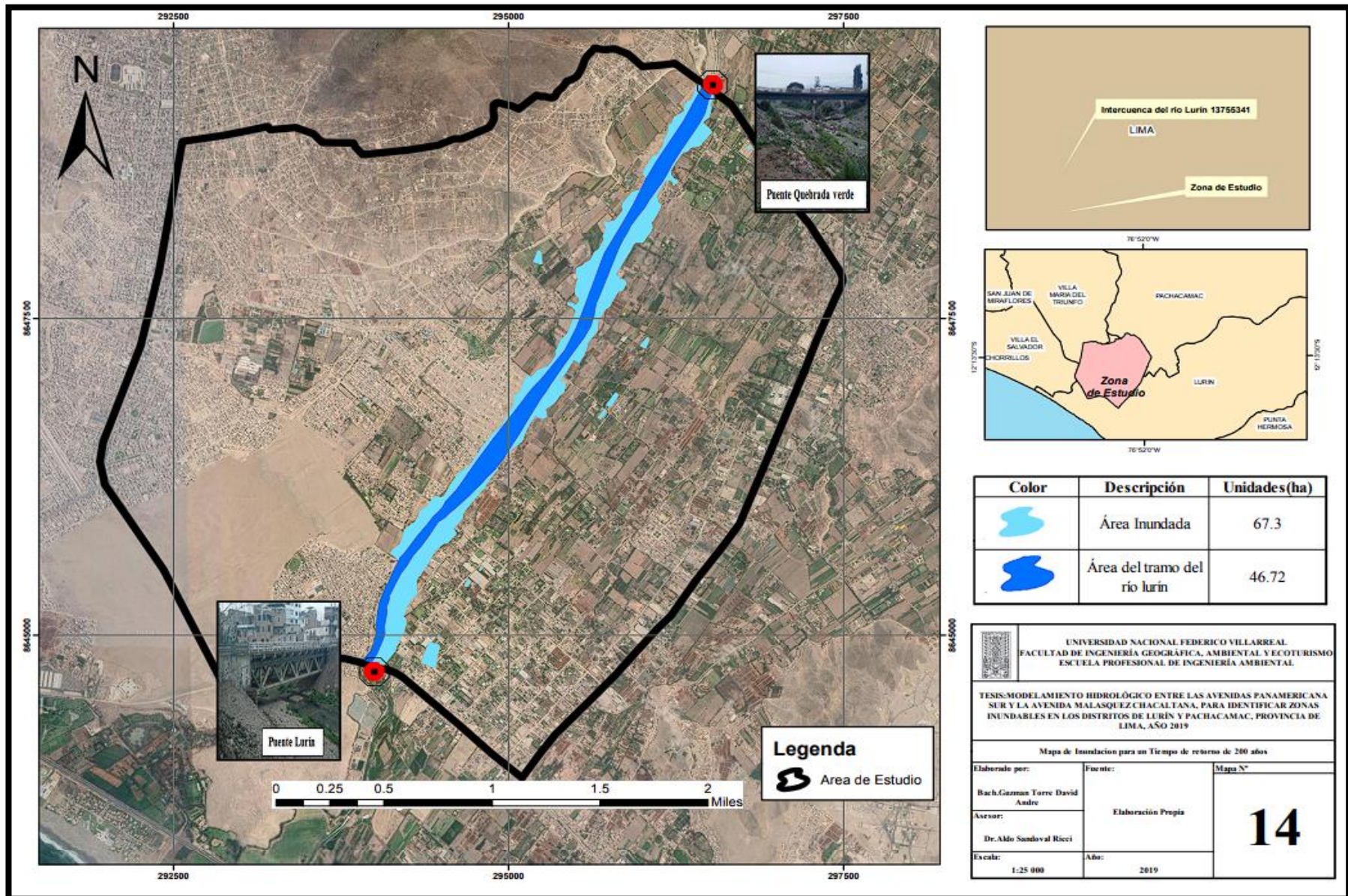


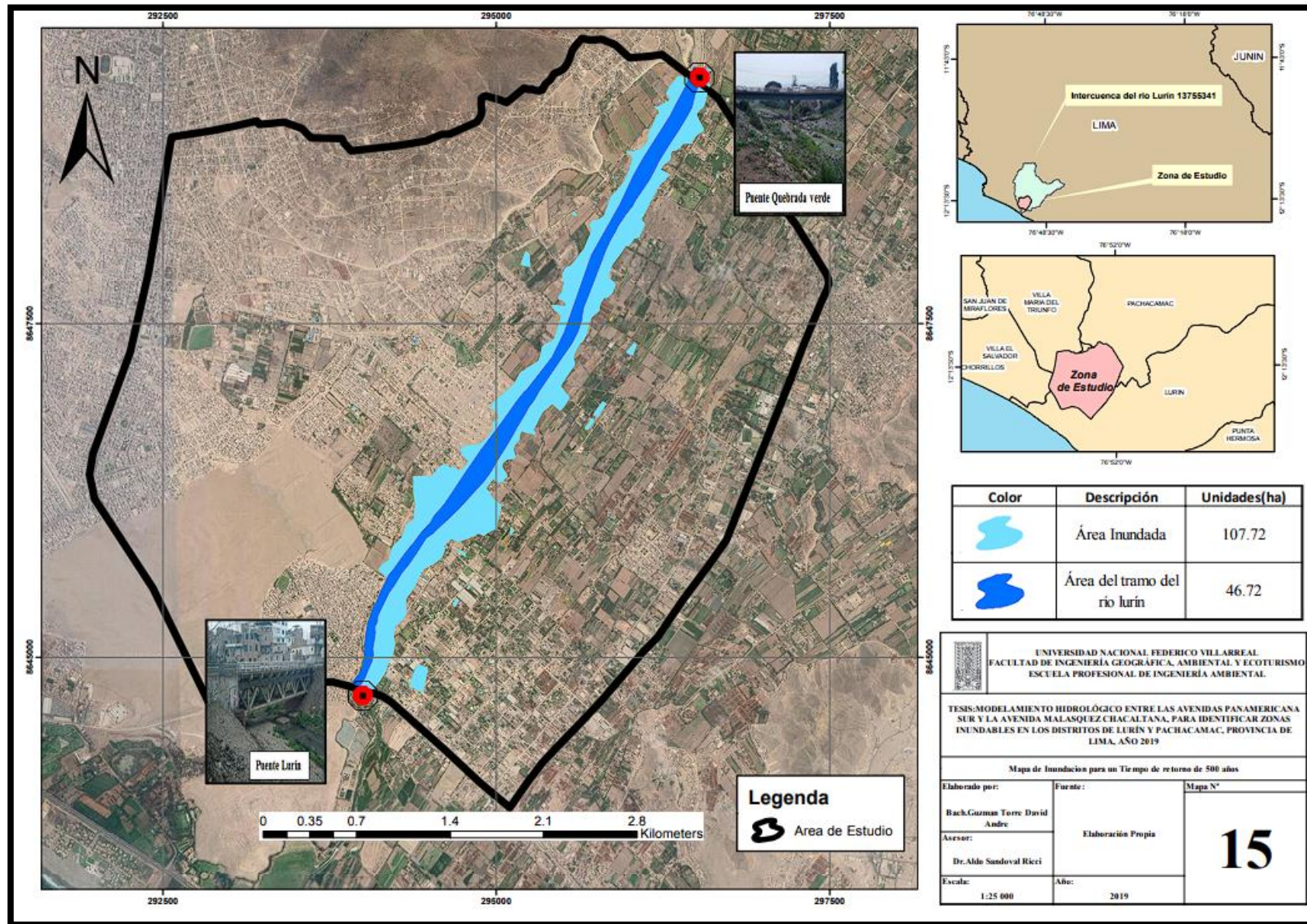


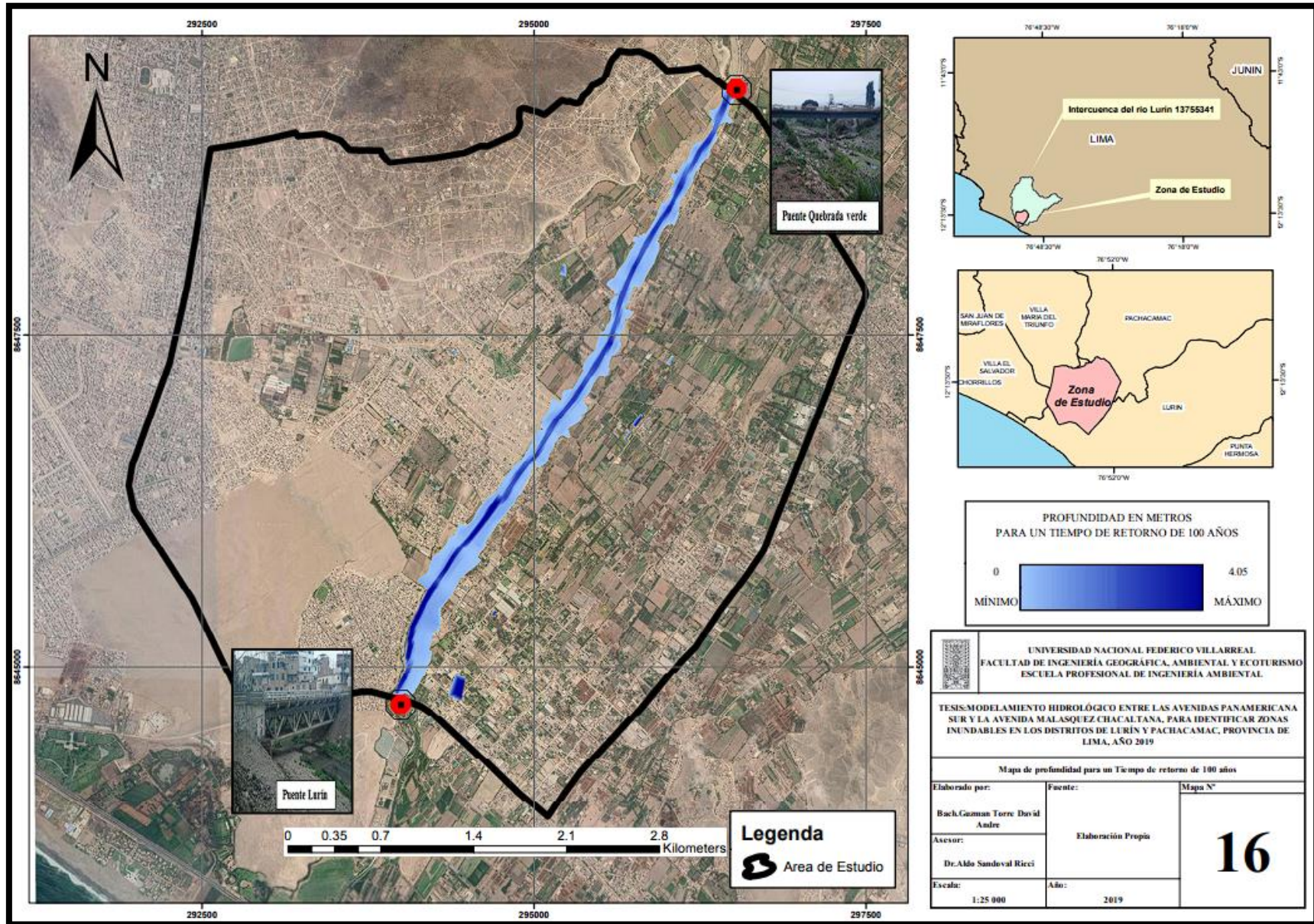


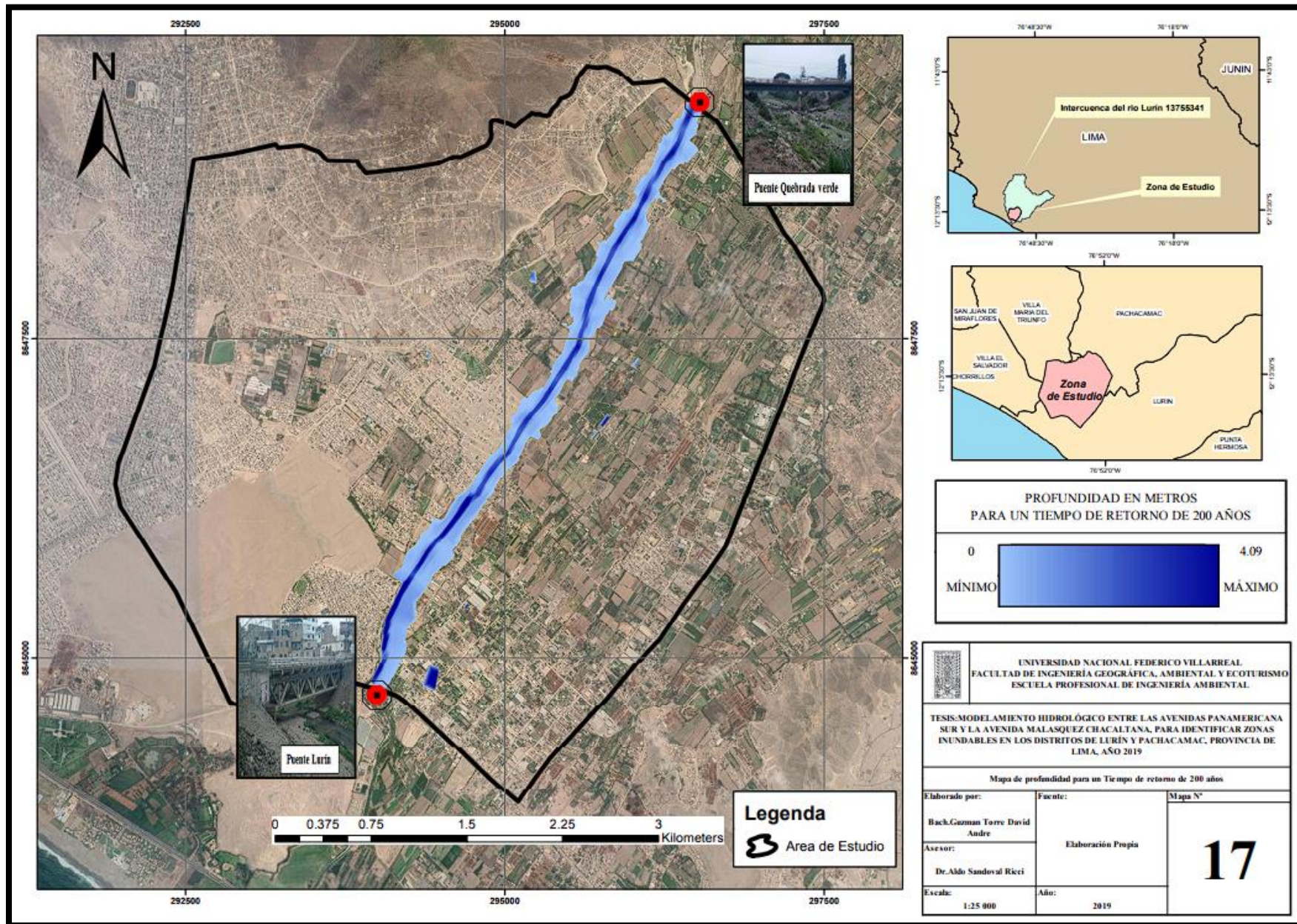


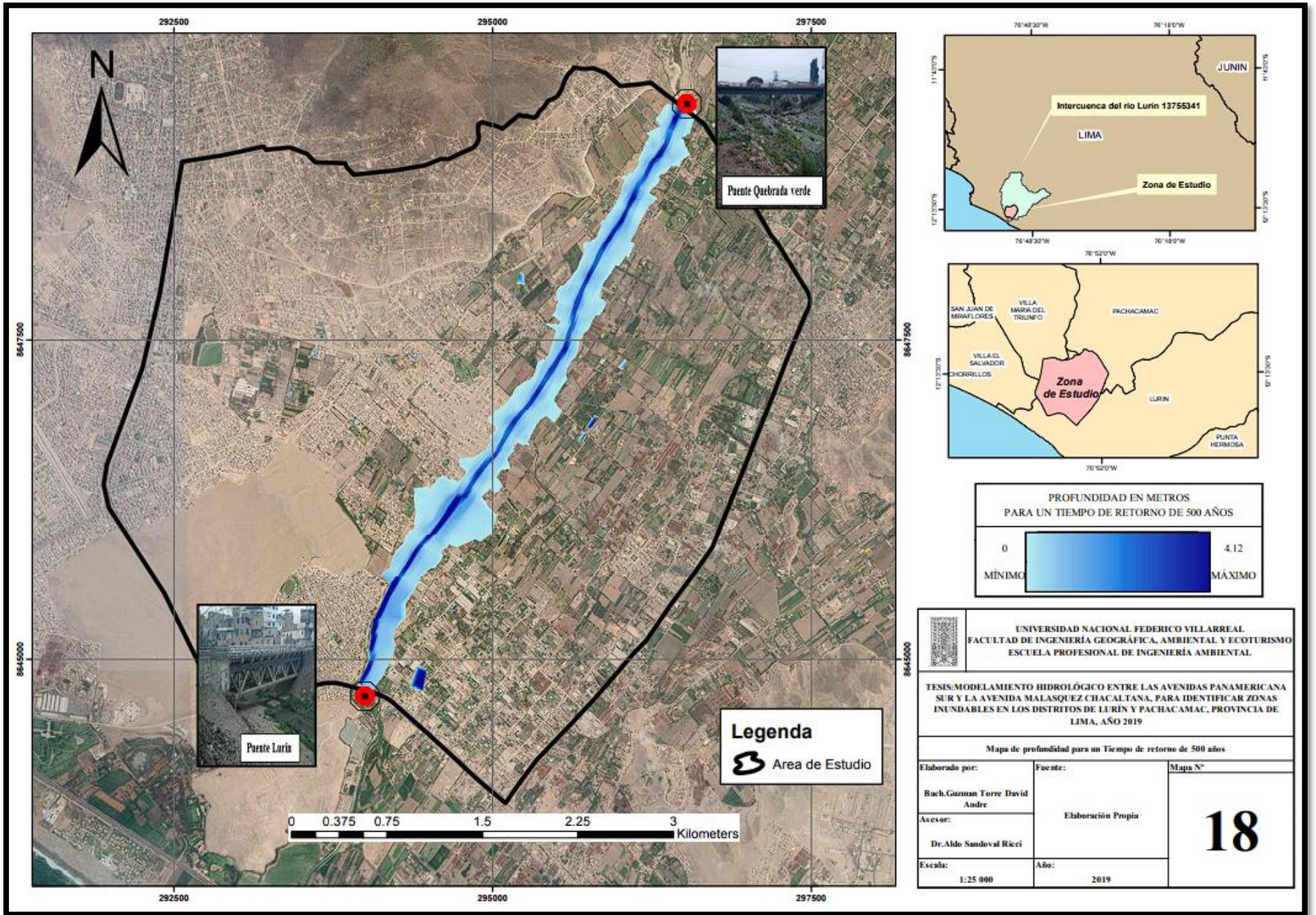












UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLARREAL
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

TESIS: MODELAMIENTO HIDROLÓGICO ENTRE LAS AVENIDAS PANAMERICANA SUR Y LA AVENIDA MALASQUEZ CHACALTANA, PARA IDENTIFICAR ZONAS INUNDABLES EN LOS DISTRITOS DE LURÍN Y PACHACAMAC, PROVINCIA DE LIMA, AÑO 2019

Mapa de profundidad para un Tiempo de retorno de 500 años

Elaborado por:	Fuente:	Mapa N°
Bach. Guzman Torre David Andre	Elaboración Propia	18
Asesor:		
Dr. Aldo Sandoval Ricci	Año:	2019
Escala:	1:25 000	

