



**FACULTAD DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO**

**RIESGO DE INUNDACIONES FLUVIALES POR MÁXIMAS AVENIDAS EN LA  
CUENCA BAJA DEL RÍO LURÍN**

**Línea de investigación:**

**Desarrollo urbano-rural, catastro, prevención de riesgos, hidráulica y  
geotecnia**

Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

**Autora:**

Roque Tapia, Gisela Mercedes

**Asesor:**

Zamora Talaverano, Noe Sabino  
(ORCID: 0000-0002-4368-8955)

**Jurado:**

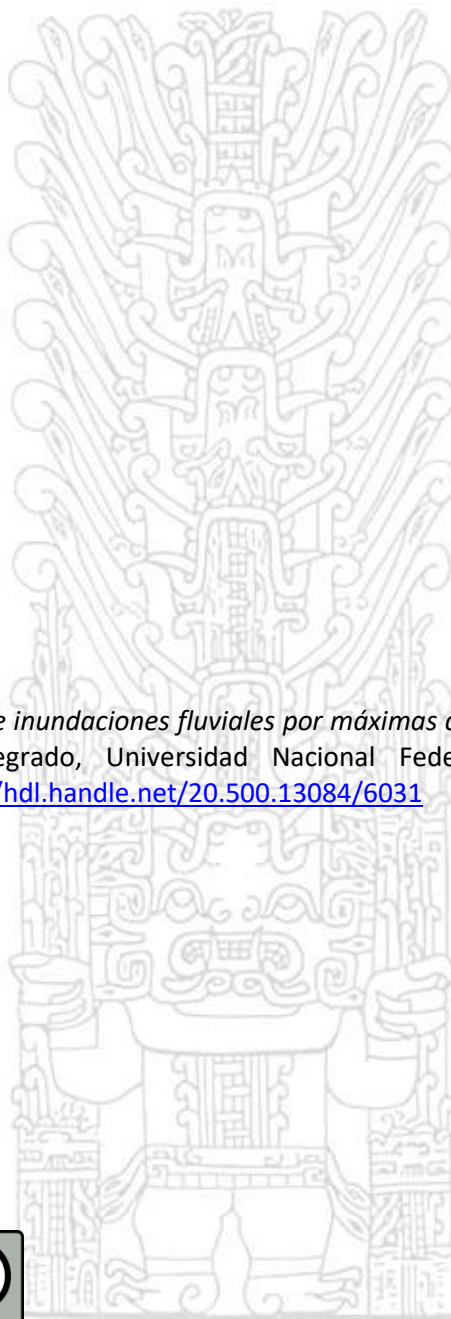
Alva Velásquez, Miguel

Rojas León, Gladys

Cesar Minga, Julio

**Lima - Perú**

**2022**



**Referencia:**

Roque, G. (2022). *Riesgo de inundaciones fluviales por máximas avenidas en la cuenca baja del río Lurín*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Federico Villarreal]. Repositorio Institucional UNFV. <https://hdl.handle.net/20.500.13084/6031>



**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/>



Universidad Nacional  
**Federico Villarreal**

**VRIN** | VICERRECTORADO  
DE INVESTIGACIÓN

**FACULTAD DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO**

RIESGO DE INUNDACIONES FLUVIALES POR MÁXIMAS AVENIDAS EN LA  
CUENCA BAJA DEL RÍO LURÍN

**Línea de investigación:**

Desarrollo urbano-rural, catastro, prevención de riesgos, hidráulica y geotecnia

Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

**Autora:**

Roque Tapia, Gisela Mercedes

**Asesor:**

Zamora Talaverano, Noe Sabino

(ORCID: 0000-0002-4368-8955)

**Jurados:**

Alva Velásquez, Miguel

Rojas León, Gladys

Cesar Minga, Julio

Lima - Perú

2022

“En las montañas está la libertad. Las fuentes de la degradación no llegan a las regiones puras del aire. El mundo está bien en aquellos lugares donde el ser humano no alcanza a turbarlo con sus miserias”.

Alexander Von Humboldt (1868). *Tableaux de la nature*

*Yo soy el río.*

*Pero a veces soy*

*bravo*

*y*

*fuerte*

*pero a veces*

*no respeto ni a*

*la vida ni a la*

*muerte.*

*Bajo por las*

*atropelladas cascadas,*

*bajo con furia y con*

*rencor,*

*golpeo contra las*

*pedras más y más,*

*las hago una*

*a una pedazos*

*interminables.*

*Los animales*

*huyen,*

*huyen huyendo*

*cuando me desbordo*

*por los campos,*

*cuando siembro de*

*pedras pequeñas las*

*laderas,*

*cuando*

*inundo*

*las casas y los pastos,*

*cuando*

*inundo*

*las puertas y sus*

*corazones,*

*los cuerpos y*

*sus*

*corazones.*

Javier Heraud (1960). "El Río"

### **Dedicatoria**

Dedicado a mi madre Odilia Tapia, a mis hermanas Deysi, Juliana y Lucila.

Y a todos los que me apoyaron para escribir y concluir esta tesis.

### **Agradecimiento**

Agradezco a quienes me alentaron para continuar en medio de esta pandemia.

Al Ing. Zamora, Ing. Quispe, Ing. Chinchay e Ing. Martínez.



## Índice

Resumen.....	18
Abstract.....	19
I. Introducción.....	20
1.1 Descripción y formulación del problema .....	22
1.1.1 Descripción del problema .....	22
1.1.2 Formulación del problema .....	25
1.2 Antecedentes .....	26
1.2.1 Antecedentes nacionales .....	26
1.2.2 Antecedentes internacionales.....	30
1.3 Objetivos .....	36
1.3.1 Objetivo general.....	36
1.3.2 Objetivos específicos .....	36
1.4 Justificación.....	37
1.4.1 Justificación teórica .....	37
1.4.2 Justificación práctica.....	37
1.4.3 Justificación metodológica .....	37
1.4.4 Justificación tecnológica.....	37
1.5 Hipótesis general .....	38
II. Marco teórico.....	39
2.1 Estudio de la cuenca.....	39
2.1.1 Cuenca hidrográfica.....	39
2.1.2 Tipos de cuencas hidrográficas .....	40
2.1.3 Características morfológicas y fisiográficas de la cuenca.....	40
2.1.4 Parámetros de forma de la cuenca .....	41

2.1.5	Parámetros de relieve .....	42
2.1.6	Parámetros relativos a la red de drenaje .....	46
2.2	Estudio de avenidas .....	48
2.2.1	Río principal .....	48
2.2.2	Cauce .....	48
2.2.3	Escorrentía .....	48
2.2.4	Precipitación .....	48
2.2.5	Precipitación máxima en 24 horas .....	49
2.2.6	Caudal máximo .....	49
2.2.7	Máxima avenida .....	49
2.2.8	Tiempo de concentración .....	49
2.2.9	Periodo de retorno .....	50
2.2.10	Prueba de datos dudosos .....	50
2.2.11	Análisis estadístico de datos hidrológicos .....	52
2.2.12	Pruebas de bondad de ajuste .....	52
2.2.13	Análisis de tormentas .....	54
2.2.14	Curva Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) .....	54
2.2.15	Modelo Dick Peschke .....	55
2.2.16	Hietograma .....	57
2.2.17	Método del bloque alternativo .....	57
2.2.18	Tormentas de diseño .....	58
2.2.19	Modelo del SCS .....	59
2.2.20	Método de Muskingum .....	59
2.3	Estudio del riesgo .....	60
2.3.1	Inundación .....	60

2.3.2 Fenómeno El Niño.....	61
2.3.3 Cambio climático.....	61
2.3.4 Variabilidad climática .....	62
2.3.5 Peligro-Amenaza .....	62
2.3.6 Vulnerabilidad .....	62
2.3.7 Riesgo .....	63
2.4 Estudio del modelamiento hidrológico .....	63
2.4.1 Sistema de modelado hidrológico (HEC-HMS).....	63
2.4.2 Filosofía del modelo HEC-HMS .....	63
2.4.3 Utilidades del HEC-HMS.....	64
2.4.4 Estudio hidrológico .....	64
2.4.5 Modelo de cuenca.....	65
2.4.6 Determinación de caudales.....	66
2.4.7 Determinación de pérdidas .....	66
2.4.8 Número de Curva (CN) .....	70
2.4.9 Transformación precipitación-escorrentía.....	73
2.4.10 Modelo meteorológico.....	75
2.4.11 Especificaciones de control .....	76
2.4.12 Simulación del modelo .....	76
2.5 Estudio del modelamiento hidráulico.....	76
2.5.1 Sistema de análisis de ríos HEC-RAS.....	76
2.5.2 Funciones del HEC-RAS.....	76
2.5.3 Partes del HEC-RAS .....	77
2.5.8 Coeficiente de Manning o características del terreno.....	77
III. Método.....	80

3.1 Tipo de investigación .....	80
3.2 Ámbito temporal y espacial.....	81
3.3 Variables.....	88
3.4 Población y muestra .....	89
3.4.1 Población .....	89
3.4.2 Muestra.....	99
3.5 Instrumentos .....	105
3.6 Procedimientos .....	106
3.6.1 Cálculo de las máximas avenidas .....	106
3.6.2 Identificación de las zonas de riesgo de inundación .....	126
3.6.3 Determinación del riesgo por inundación fluvial .....	135
3.7 Análisis de datos.....	137
3.7.1 Consideraciones técnicas.....	137
IV. Resultados.....	139
4.1 Resultados de máximas avenidas .....	139
4.2 Resultados de las zonas con riesgo de inundaciones fluviales.....	152
4.3 Resultados del riesgo de inundación fluvial.....	159
4.4 Estrategias de mejora ante el riesgo de inundación fluvial .....	166
V. Discusión de resultados .....	170
VI. Conclusiones.....	172
VII. Recomendaciones .....	174
VIII. Referencias .....	176
IX. Anexos.....	186

## Índice de tablas

Tabla 1 Valores Kn para la prueba de datos dudosos	51
Tabla 2 Valores críticos para la prueba Kolmogorov-Smirnov	53
Tabla 3 Componentes del HEC-HMS	65
Tabla 4 Elementos del modelo cuenca	65
Tabla 5 Clasificación de clases antecedentes de humedad (AMC)	69
Tabla 6 Reclasificación del tipo de suelo	70
Tabla 7 Reclasificación de la cobertura	71
Tabla 8 Números de curva de escorrentía para usos selectos de tierra	72
Tabla 9 Valores de los grupos hidrológicos para el modelo según ANA (2015)	73
Tabla 10 Valores de coeficiente de rugosidad n	79
Tabla 11 Información de las estaciones hidrometeorológicas 1965-1990	82
Tabla 12 Información de las estaciones hidrometeorológicas 1991-2017	83
Tabla 13 Red de estaciones meteorológicas	85
Tabla 14 Ubicación, coordenadas UTM cuenca baja del río Lurín	86
Tabla 15 Variables	88
Tabla 16 Coordenadas UTM de la cuenca del río Lurín	89
Tabla 17 Parámetros geomorfológicos de la cuenca del río Lurín	95
Tabla 18 Características fisiográficas de la cuenca y subcuencas del río Lurín	98
Tabla 19 Características geomorfológicas de la cuenca baja del río Lurín	101
Tabla 20 Población de la cuenca baja del río Lurín	104
Tabla 21 Ocupación principal de la población	104
Tabla 22 Tabla de instrumentos	105
Tabla 23 Resumen del análisis de regresión múltiple de la estación Antioquia	108
Tabla 24 Método del bloque alterno de la estación Antioquia	109

Tabla 25 Información de entrada para el modelamiento HEC-HMS	117
Tabla 26 Información de entrada para el método Muskingum	123
Tabla 27 Valores de Manning	127
Tabla 28 Estratificación del nivel de riesgo por inundación fluvial	136
Tabla 29 Variación de caudales máximos en 24 horas para un periodo de retorno de 50 años	140
Tabla 30 Variación de caudales máximos en 24 horas para un periodo de retorno de 100 años	145
Tabla 31 Variación de caudales máximos en 24 horas para un periodo de retorno de 200 años	149
Tabla 32 Total de áreas inundadas según uso del suelo	153
Tabla 33 Medidas estrategia 1	167
Tabla 34 Medidas estrategia 2	168
Tabla 35 Medidas estrategia 3	169
Tabla 36 Matriz de consistencia	186

## Índice de figuras

Figura 1 Representación de un histograma frecuencias de altitudes	43
Figura 2 Cambio de forma de la curva hipsométrica con la edad del río	43
Figura 3 Perfil longitudinal de un cauce	46
Figura 4 Ejemplo curva IDF para lluvia máxima	55
Figura 5 Representación de un hietograma e hidrograma	57
Figura 6 Representación de un hietograma	58
Figura 7 Hietogramas de lluvia de 24 horas del SCS	59
Figura 8 Variables en el método de abstracciones de precipitación del SCS	67
Figura 9 Solución de las ecuaciones de escorrentía del SCS	68
Figura 10 Elementos del método Hidrograma Unitario de Snyder	74
Figura 11 Partes del programa	77
Figura 12 Ubicación de las estaciones meteorológicas	84
Figura 13 Puntos UTM de la cuenca baja del río Lurín	85
Figura 14 Puntos UTM cuenca del río Lurín	89
Figura 15 Ubicación política de la cuenca del río Lurín	93
Figura 16 Ubicación política de la subcuenca baja del río Lurín	100
Figura 17 Estadísticas Pearson III	107
Figura 18 Curva Intensidad-Duración-Frecuencia de la estación Antioquia	108
Figura 19 Hietograma de precipitación de diseño para un periodo de retorno de 100 años	110
Figura 20 Polígonos de Thiessen	111
Figura 21 Tipo hidrológico de suelo	111
Figura 22 Valores reclasificados de CN	113
Figura 23 Shapefile de curva número	113
Figura 24 Configuración del programa	114

Figura 25 Resumen de todos los caudales	116
Figura 26 Selección de la subcuenca	118
Figura 27 Modelo meteorológico	119
Figura 28 Control de especificaciones	120
Figura 29 Datos de series temporales	120
Figura 30 Valores de distribución de las precipitaciones	121
Figura 31 Abstracción inicial	122
Figura 32 Parámetros para el método Muskingum	123
Figura 33 Ejecución de simulación	124
Figura 34 Administrador de pruebas de optimización	124
Figura 35 Parámetros creados por cada subcuenca	125
Figura 36 Optimización del programa	125
Figura 37 Coeficientes de Manning	126
Figura 38 Faja marginal del río Lurín	127
Figura 39 Geometría del flujo de inundación	128
Figura 40 Topografía del terreno	128
Figura 41 Datos de la sección transversal	129
Figura 42 Datos de los caudales para un TR 50, 100 y 200 años	130
Figura 43 Condiciones de contorno de flujo estacionario	130
Figura 44 Trazado de perfil longitudinal del río	131
Figura 45 Trazado de perfil longitudinal del río	131
Figura 46 Tabla de salida de perfiles	132
Figura 47 Visualización de la inundación para un TR 200 años	133
Figura 48 Predios digitalizados en la cuenca baja del río Lurín	133
Figura 49 Predios inundados para un tiempo de retorno de 50 años	134



Figura 50 Predios inundados para un tiempo de retorno de 100 años	134
Figura 51 Predios inundados para un tiempo de retorno de 200 años	135
Figura 52 Resultado de la simulación HEC-HMS para un periodo de retorno de 50 años	139
Figura 53 Hidrograma de avenida del modelo para un tiempo de retorno de 50 años	140
Figura 54 Resultado de la simulación HEC-HMS para un periodo de retorno de 100 años	144
Figura 55 Hidrograma de avenida del modelo para un tiempo de retorno de 100 años	144
Figura 56 Resultado de la simulación HEC-HMS para un periodo de retorno de 200 años	148
Figura 57 Hidrograma del modelo para un tiempo de retorno de 200 años	149
Figura 58 Representación de las áreas inundada para un TR 50	153
Figura 59 Inundación tiempo de retorno 50 años	154
Figura 60 Representación de las áreas inundada para un TR 100	155
Figura 61 Inundación tiempo de retorno 100 años	156
Figura 62 Representación de las áreas inundada para un TR 200	157
Figura 63 Inundación tiempo de retorno 200 años	158
Figura 64 Riesgo por inundación fluvial para un TR 50 años	160
Figura 65 Niveles de riesgo para un TR 50 años	161
Figura 66 Riesgo por inundación fluvial para un TR 100 años	162
Figura 67 Niveles de riesgo para un TR 100 años	163
Figura 68 Riesgo por inundación fluvial para un TR 200 años	165
Figura 69 Niveles de riesgo para un TR 200 años	166
Figura 70 Vías de acceso del C.P.R. Quebrada Verde	188
Figura 71 Puente del C.P.R. Quebrada Verde	189
Figura 72 Colmatación del cauce del río Lurín	189
Figura 73 Cultivos en el distrito de Pachacamac	190

Figura 74 Actividades de los pobladores aledaños	191
Figura 75 Viviendas en estado de vulnerabilidad	192
Figura 76 Estado situacional de emergencia por desborde del río Lurín a la altura del C.P.R. Guayabo	193
Figura 77 Estado situacional de emergencia por inundación en la zona de Trio Manchay Bajo	194
Figura 78 Inundación por caída de huayco en la zona de Santa Rosa de Chontay	195
Figura 79 Inundación y destrucción de trocha carrozable	196
Figura 80 Desborde del río Lurín en el distrito de Lurín	197
Figura 81 Estructura hidráulica del puente Quebrada Verde	198
Figura 82 Desborde del río Lurín en el distrito de Cieneguilla	198
Figura 83 Destrucción de carreteras en el distrito de Cieneguilla	199
Figura 84 Campos de cultivo inundados en el distrito de Pachacamac	200
Figura 85 Viviendas ubicadas en las fajas marginales afectadas por el desborde del río Lurín	200

**Índice de fórmulas**

Fórmula 1 Factor de forma de Horton	41
Fórmula 2 Índice de compacidad	41
Fórmula 3 Coeficiente de circularidad	42
Fórmula 4 Elevación media	44
Fórmula 5 Pendiente de cuenca	44
Fórmula 6 Perfil longitudinal	45
Fórmula 7 Densidad de drenaje	47
Fórmula 8 Frecuencia de drenaje	47
Fórmula 9 Tiempo de concentración	50
Fórmula 10 Prueba bondad de ajuste	53
Fórmula 11 Distribución de probabilidad	53
Fórmula 12 Precipitación total	56
Fórmula 13 Intensidad máxima	56
Fórmula 14 Método de Muskingum	60
Fórmula 15 Exceso de precipitación	68
Fórmula 16 Escorrentía	69
Fórmula 17 Curva numero	69
Fórmula 18 Coeficiente de retardo	75
Fórmula 19 Caudal pico	75
Fórmula 20 Coeficiente de rugosidad	78

## Resumen

Esta investigación se realizó debido a uno de los principales problemas que ocurren en la cuenca del río Lurín durante las altas precipitaciones pluviales, siendo la cuenca baja el sector más vulnerable, generándose inundaciones y acarreado daños humanos y económicos. El objetivo general es determinar el riesgo de inundaciones fluviales por máximas avenidas en la cuenca baja del río Lurín entre los años 1965-2017; los objetivos específicos son: obtener las máximas avenidas entre los años 1965-2017 para periodos de retorno de 50, 100 y 200 años mediante el modelamiento hidrológico HEC-HMS, identificar las zonas que presentan riesgo de inundaciones fluviales para periodos de retorno de 50, 100 y 200 años mediante el modelamiento hidráulico HEC-RAS y proponer estrategias de mejora ante el riesgo de inundaciones fluviales en la cuenca baja del río Lurín. El tipo de investigación es cuantitativa, no experimental, retrospectivo, transversal y descriptivo. Como resultado tenemos máximas avenidas de 94.78 m<sup>3</sup>/s, 142.0 m<sup>3</sup>/s y 213.35 m<sup>3</sup>/s para periodos de retorno de 50, 100 y 200 años respectivamente; para un tramo de río de 16.64 km se obtuvo áreas inundadas de 50.18 ha, 213.76 ha y 511.12 ha para periodos de retorno de 50, 100 y 200 años respectivamente. El nivel de riesgo es medio para un periodo de retorno de 50 años, riesgo alto para un periodo de retorno de 100 años y un riesgo muy alto para un periodo de retorno de 200 años, finalmente se formularon tres estrategias de mejora ante el riesgo de inundaciones fluviales.

*Palabras claves:* inundaciones, máximas avenidas, modelamiento hidrológico HEC-HMS, modelamiento hidráulico HEC-RAS, cuenca Lurín.

### **Abstract**

This investigation was carried out due to one of the main problems that occur in the Lurin river basin during high rainfall, the lower basin being the most vulnerable sector, generating floods and causing human and economic damage. The general objective is to determine the risk of fluvial floods due to maximum floods in the lower basin of the Lurin river between the years 1965-2017. The specific objectives are: to obtain the maximum floods between the years 1965-2017 for return periods of 50, 100 and 200 years by means of the HEC-HMS hydrological modeling, to identify the areas that present risk of river flooding for return periods of 50, 100 and 200 years by means of the HEC-RAS hydraulic modeling and propose improvement strategies in the face of the risk of river flooding. The type of research is quantitative, non-experimental, retrospective, cross-sectional and descriptive. As a result, we have maximum floods of  $94.78 \text{ m}^3 / \text{s}$ ,  $142.0 \text{ m}^3 / \text{s}$  and  $213.35 \text{ m}^3 / \text{s}$  for return periods of 50, 100 and 200 years respectively; for a 16.64 km stretch of river, flooded areas of 50.18 ha, 213.76 ha and 511.12 ha were obtained for return periods of 50, 100 and 200 years respectively. The level of risk is medium for a return period of 50 years, high risk for a return period of 100 years and a very high risk for a return period of 200 years. Finally, three improvement strategies were formulated against the risk of flooding fluvial.

*Keywords:* floods, maximum floods, hydrological modeling HEC-HMS, hydraulic modeling HEC-RAS, Lurin basin.

## I. INTRODUCCIÓN

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura [UNESCO], el Perú es un país vulnerable a múltiples peligros, debido a su ubicación en el Cinturón de Fuego del Pacífico, a su geomorfología y a las condiciones climáticas particulares, que se combinan con los altos niveles de exposición al riesgo de desastre de las comunidades. El territorio peruano es por consiguiente muy variable, siendo impactado por una multiplicidad de peligros entre los que destaca las inundaciones.

La cuenca del río Lurín ubicada en la costa central del Perú cuenta con localidades con gran desarrollo turístico y económico por formar parte de Lima Metropolitana y es considerado además, el último “pulmón verde” de la ciudad de Lima; en la parte baja de la cuenca, en el valle de Lurín, el problema en épocas de avenidas es muy serio, ya que esta situación afecta enormemente a la población aledaña, como se evidencia en el reporte del 16 de marzo del 2017 el estado situacional de emergencia del Instituto Nacional de Defensa Civil [INDECI], el desborde del río Lurín a la altura de C.P.R. Picapiedra y Guayabo producto de la crecida del río en la jurisdicción de Pachacamac; en vista de esta problemática, el objetivo principal de la presente investigación es determinar el riesgo de inundaciones fluviales por máximas avenidas en la cuenca baja del río Lurín entre los años 1965-2017.

Esto, a través de los siguientes objetivos específicos: (i) Obtener las máximas avenidas entre los años 1965-2017 para periodos de retorno de 50, 100 y 200 años mediante el modelamiento hidrológico HEC-HMS de la cuenca del río Lurín, (ii) Identificar las zonas que presentan riesgo de inundaciones fluviales para periodos de retorno de 50, 100 y 200 años mediante el modelamiento hidráulico HEC-RAS de la cuenca baja del río Lurín, (iii) Proponer estrategias de mejora ante el riesgo de inundaciones fluviales en la cuenca baja del río Lurín.

La investigación se ha estructurado en siete partes.

En el primer apartado, la descripción y formulación del problema, los antecedentes nacionales e internacional de la investigación, el objetivo, la justificación y la hipótesis planteada.

El marco teórico corresponde al segundo apartado, se detalla información para el estudio de la cuenca, para el estudio de máximas avenidas, para el modelamiento hidrológico e hidráulico y para el estudio del riesgo por inundaciones fluviales, estos conceptos reunidos de fuentes diversas y confiables que afianzan la investigación.

En general, el tipo de investigación es cuantitativa, no experimental, retrospectivo, transversal y descriptivo; el ámbito temporal comprende información pluviométrica del periodo 1965-2017; el ámbito espacial corresponde a la cuenca baja del río Lurín, constituyendo el 12.21% del total de la unidad hidrográfica; se empleará información cartográfica, catastral, socioeconómica y pluviométrica, software para la modelización hidrológico e hidráulico HEC-HMS y HEC-RAS respectivamente; esta información se detalla en el tercer apartado.

En el apartado cuarto, quinto y sexto; los resultados, discusión de los resultados y conclusiones, son de utilidad a fin de comparar y contrastar los procedimientos como principal aporte del estudio y contar con información que permita plantear estrategias de mejora ante el riesgo de inundaciones fluviales en la cuenca baja del río Lurín.

En el séptimo apartado se recomienda realizar investigaciones en diferentes cuencas y subcuencas para plantear nuevas estrategias y lineamientos que permitan prever acciones para evitar daños físicos, materiales y/o económicos frente al riesgo de inundaciones fluviales.

## 1.1 Descripción y formulación del problema

### 1.1.1 Descripción del problema

“Los fenómenos hidrometeorológicos, entre los que destacan las inundaciones, han ocasionado en años recientes los desastres con mayor impacto en cuanto a la pérdida de vidas humanas (Guha-Sapir *et al*, 2015) y altos costos económicos” (Cajigal y Maldonado, 2019, p. 544).

Según la Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres Las Américas y el Caribe [UNDRR] (2019) en 2016 a nivel global las inundaciones afectaron a 8.6 millones de personas desplazadas y ocasionaron pérdidas económicas por 88.3 miles de millones de dólares estadounidenses.

“Varios factores inciden sobre el incremento de las inundaciones, de entre ellos destaca la ausencia de ordenamiento territorial y los efectos del cambio climático sobre el ciclo hidrológico” (Arreguín *et al*, 2016, p. 5).

Según el Panel Intergubernamental de Expertos frente al Cambio Climático (IPCC, 2021), el cambio climático está intensificando el ciclo hidrológico; esto conlleva una mayor intensidad de las precipitaciones afectando a los patrones de precipitación; en las latitudes altas, es probable que aumenten las precipitaciones.

En general, estos cambios impactarán en todo tipo de ecosistema y muchas actividades como:

Comerciales, agrícolas, pecuarias, marinas o turísticas. Específicamente las inundaciones (anegamiento de agua), tendría consecuencias en la salud pública, el aumento en la erosión costera y pérdida de litorales debido al aumento en el nivel del mar, así como a la disminución de las fuentes de agua dulce. (UCAR, 2012, citado de Serrano *et al*, 2016, p. 55)



“Se sabe que el Perú es uno de los países más afectados por el cambio climático, debido a la repercusión de fenómenos hidrometeorológicos antes mencionado” (Álvarez y Villaverde, 2015, p. 3). De acuerdo con el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo [PNUD], en el país el 67% de los desastres naturales están relacionados con el clima e incluso se estima que más de cinco millones de peruanos son vulnerables a las lluvias intensas. (El Peruano, 2019)

Por otra parte, la Autoridad Nacional del Agua [ANA] (s.f.) manifiesta que:

Como resultado del carácter geográfico y fisiográfico del Perú las inundaciones son un problema recurrente cada año, debido a la estacionalidad de las precipitaciones en la región andina, la cual tiene una época seca y una época de lluvia bien diferenciada, esta última de diciembre a marzo, sumado a los años de presencia del fenómeno El Niño hacen que los caudales de los ríos que bajan de la región andina a la costa aumenten varias veces su magnitud, desbordándose y ocasionando daños en ciudades de la costa específicamente en la región norte del país como: Tumbes, Piura, y Lambayeque. Algunas veces estas inundaciones han llegado a la ciudad de Lima con los desbordes de los ríos Chillón, Rímac y Lurín.

Según el análisis realizado en el mapa de susceptibilidad física de zonas propensas a inundaciones y deslizamientos en la costa y sierra frente a la ocurrencia de eventos hidrometeorológicos extremos “Se estima que (...) las regiones de Ica, La Libertad, Lambayeque, Lima, Piura, Puno, Tacna y Tumbes tendrían altas probabilidades de ocurrencia ante inundaciones por la propensión de eventos hidrometeorológicos” (Ministerio del Ambiente [MINAM], 2015, p. 6). “El control de los efectos de las inundaciones se complica por el arrastre de sedimentos, rocas, árboles, autos, restos de puentes, y otros objetos que pueden dañar otra infraestructura dentro o cercana a los ríos o sus llanuras de inundación, zonas

urbanas o de riego, o convertirse en nuevos elementos de remanso del agua” (Arreguín *et al*, 2016, p. 6).

Una de las más notables inundaciones en nuestro país fue la de 1791 (por citar alguno), cuyas características son importantes de conocer, pues el pasado siempre debe estar presente para planificar la ocupación territorial, desarrollar proyectos de ingeniería y emprender cualquier actividad humana. Para todo ello se necesita información, puesto que no podemos planificar el uso de lo que no conocemos. La información nos permite ampliar nuestros conocimientos, no es un fin en sí mismo, sino un instrumento para la acción, de acá que su posición se convierta en fuente de poder. Para los proyectos hidráulicos es fundamental conocer el clima del pasado. Diseñamos el presente, con datos del pasado, para que la obra funcione en el futuro. (Rocha, 2014, p. 3, citado de MINAM, 2015, p. 433)

Según Villacorta *et al* (2006), para el caso de Lima Metropolitana la más alta susceptibilidad de inundación se distribuye a lo largo de los ríos principales que drenan en la gran Lima: Lurín, Rímac y Chillón. Dichos fenómenos y alrededores, están relacionados principalmente con sus llanuras de inundación invadidas por terrenos de cultivo, urbanizaciones y asentamientos humanos. Son recurrentes en algunos sectores y se repiten anualmente y con diferentes intensidades.

Según la Municipalidad Metropolitana de Lima [MML] (2013):

La expansión urbana y la ubicación no adecuada de estructuras físicas en áreas con las condiciones físicas inestables, así como las modificaciones que se hacen en los cursos de agua mediante las canalizaciones cerradas y sub-dimensionadas, han traído como consecuencia el incremento de fenómenos naturales. Siendo el factor agua un agente activador de los fenómenos naturales en la región que ha venido como desastres naturales, los cuales se han transformado en pérdidas económicas, afectando a familias y al erario nacional para atender la reconstrucción. (pp. 2-3)

La cuenca en estudio corresponde a la cuenca baja del río Lurín, la cual está ubicada en la costa central del Perú. Uno de los principales problemas ocurre durante las altas precipitaciones pluviales, siendo el sector más vulnerable asociado a procesos de inundaciones, deslizamientos, huaycos y erosión hídrica, y donde los materiales son acarreados al cauce del río Lurín, creando malestar e inquietud en la población instalada en las márgenes y en la desembocadura de los ríos y quebradas. Por otra parte, a pesar de la baja disponibilidad hídrica en la cuenca, existen áreas destinadas a la agricultura que abastecen al mercado limeño. (Álvarez y Villaverde, 2015)

Según el reporte de zonas críticas por peligros geológicos y geo-hidrobiológicos:

En la cuenca del río Lurín las zonas más afectadas son las terrazas fluviales y/o aluviales que no son lo suficientemente altas para proteger las riberas de los ríos. En la cuenca del río Lurín se ha observado vestigios de inundación en los distritos de Pachacamac, Cieneguilla (Lima) y Antioquia (Huarochirí); teniendo como zona crítica el paraje Quebrada Verde en el distrito de Pachacamac y el km 62-64 de la carretera Cieneguilla-Antioquia en el distrito de Antioquia. (Instituto Geológico Minero y Metalúrgico [INGEMMET], 2014, p.11)

En vista de la problemática, el objetivo principal de la presente investigación es determinar el riesgo de inundaciones fluviales por máximas avenidas en la cuenca baja del río Lurín entre los años 1965-2017, con la finalidad de proponer estrategias de mejora ante el riesgo de inundaciones fluviales en la cuenca baja del río Lurín.

### ***1.1.2 Formulación del problema***

#### **Problema principal**

¿Cuál es el riesgo de inundaciones fluviales por máximas avenidas en la cuenca baja del río Lurín entre los años 1965-2017?

## Problemas específicos

- ¿Cuáles son las máximas avenidas entre los años 1965-2017 para periodos de retorno de 50, 100 y 200 años en la cuenca del río Lurín?
- ¿Cuáles son las zonas que presentan riesgo de inundaciones fluviales para periodos de retorno de 50, 100 y 200 años en la cuenca baja del río Lurín?
- ¿Cuáles son las estrategias de mejora ante el riesgo de inundaciones fluviales en la cuenca baja del río Lurín?

## 1.2 Antecedentes

### 1.2.1 Antecedentes nacionales

Cardich (2017) en su tesis titulada, *Modelamiento de máximas avenidas en la Cuenca del río Lurín utilizando modelos hidrológicos e hidráulicos*.

Tuvo como objetivo 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, la metodología y procedimiento empleado para la estimación de las descargas máximas, se resume a continuación: selección de estaciones pluviométricas y recopilación de registros históricos de precipitación máxima en 24 horas; análisis de frecuencias y selección de la función de distribución con mejor ajuste, cálculo de la precipitación media para los periodos de retorno de 100, 200 y 500 años, procesamiento con la extensión HEC-GeoHMS, mediante el modelo precipitación - escorrentía se generan los caudales de avenida, utilizando el software HEC- HMS y calibración del modelo precipitación-escorrentía con el parámetro Curva Número; la metodología y procedimiento empleado para la modelación hidráulica del tramo crítico, se resume: Pre-Proceso HEC-GeoRAS: generación del TIN, línea central del río, bancos del río, línea central del curso del flujo, corte de líneas de secciones transversales, generación de datos espaciales 3D, exportación a HEC-RAS, proceso,

simulación y modelación Bidimensional (2D). Teniendo como resultado para un periodo de retorno de 100, 200 y 500 años un caudal pico de 97.4, 127.3 y 152.6 m<sup>3</sup>/s respectivamente, para el modelamiento hidráulico HEC-RAS 2D; el área total (predios codificados) suma un total de 527 ha, para los perfiles de 100, 200 y 500 años se pierden 149,174 y 189 ha respectivamente; pérdidas económicas de 2.9 M\$, 3.4 M\$, 3.7 M\$ para 100, 200 y 500 años respectivamente. Finalmente concluye que la capacidad de conducción del río Lurín en el tramo comprendido entre la bocatoma Mejorada y Jatosisa es superada por los caudales de los periodos de retorno de 100, 200 y 500 años, en consecuencia, los predios rurales en el mismo tramo son susceptibles a inundación de amenaza por inundación para los tres caudales simulado.

Autoridad Nacional del Agua [ANA] (2019) en su informe titulado, *“Estudio hidrológico de la unidad hidrográfica Lurín”*

El objetivo principal es proporcionar información para el ordenamiento y gestión de los recursos hídricos. Los resultados de la aplicación del modelo hidrológico HEC-HMS, con las consideraciones adoptadas, son bastante aceptables, por lo que, a priori, los valores asignados a los parámetros del modelo se pueden considerar también aceptables. Se ha empleado la información de los pluviómetros de la zona de estudio para obtener áreas de influencias de éstas y hietogramas de precipitaciones máximas con periodos de retorno de 50, 100, 200 y 500 años. Además, del modelo de elevación digital, se han dividido la cuenca del río Lurín en 10 subcuencas. Para estimar las abstracciones en la cuenca se han utilizado números de curva CN. Una vez configurado el modelo HEC-HMS para la cuenca del río Lurín, se logró convertir las precipitaciones en caudales. Se obtuvo un tiempo de concentración máxima de 6.99 horas para la subcuenca Canchahuara. Los resultados de modelación con HEC-HMS para periodos de retorno de 50, 100, 200 y 500 años se obtuvieron caudales pico en la salida de la

cuenca de 100.70, 144.00, 197.00 y 290.10 m<sup>3</sup>/s respectivamente. Actualmente el modelo calibrado puede simular los hidrogramas de las subcuencas para determinar la variabilidad de las respuestas hidrológicas en la cuenca del río Lurín. Las subcuencas Antapucro y Cieneguilla son las que más caudal aportan. En el evento 13-14 de marzo del 2017 donde varios municipios (Cieneguilla, Pachacamac, Lurín, etc.) en el valle de Lurín fueron afectados, se observó de 70 a 80 m<sup>3</sup>/s aproximadamente en la cuenca media. Sin embargo, el caudal pico simulado en el tramo de la cuenca del río Lurín alcanza los 90.90 m<sup>3</sup>/s, para un periodo de retorno de 50 años, el cual es ligeramente superior al registrado. Como efecto de este evento se evidenció aguas abajo de la estación “Antapucro” inundaciones temporales.

Mamani (2014) en su tesis titulada, *Modelamiento de máximas avenidas que generan riesgo de inundación en la ciudad de Ayaviri-Puno*.

Tuvo como objetivo, determinar las zonas de riesgo de inundación por máximas avenidas del río Ayaviri, mediante el modelamiento con caudales máximos para proponer la protección de obras de infraestructura, el método se basa en la zonificación del territorio sobre la base de caudales de inundación calculados para diferentes tormentas de diseño 24 horas de duración y periodos de retorno de 5, 50 y 100 años. Se calcula la escorrentía superficial generada en cada unidad hidrográfica en las tormentas de diseño y se modela hidrológicamente la cuenca para obtener los caudales máximos instantáneos en los diferentes puntos de la red de drenaje. Posteriormente se realiza el modelado hidráulico del sistema fluvial; finalmente, tras realizar una interpolación, se representan las zonas inundadas en formato *raster*. La metodología propuesta requiere el uso combinado de diferentes herramientas: SIG vectorial y *raster*, modelos hidrológicos e hidráulicos, hojas de cálculo y base de datos, teniendo como resultado los caudales calculados para diferentes periodos de retorno de 5, 50 y 100 años, caudal

de 126.40, 424.20 y 495.80 m<sup>3</sup>/s respectivamente. Finalmente concluye que con el caudal simulado de 424.20 m<sup>3</sup>/s para un periodo de 50 años, se producen ya algunos problemas e indicios de desbordes y derrumbes esto en el margen derecho del río a la altura del barrio Pueblo Libre y en el margen izquierdo a la altura del parque recreacional, que corresponde al área urbana de la ciudad de Ayaviri; así mismo la integración del modelo hidráulico HEC-RAS con ArcGIS a través de la aplicación HEC-GeoRAS genera mapas temáticos que muestran las zonas más vulnerables a riesgo de inundación y así tomar las medidas preventivas necesarias a las áreas aledañas a las llanuras de inundación del barrio Pueblo Libre y Ccahuashi Mashi.

Gutiérrez (2018) en su tesis titulada, *Comparación de los modelos hidráulicos unidimensional y bidimensional en el análisis de inundaciones en el río Virú.*

Tuvo como objetivo determinar las zonas de inundación, identificar puntos críticos y comparar los resultados obtenidos empleando los modelos unidimensionales y bidimensionales, método basándose en tres etapas: trabajo de pre-campo que fue la recopilación de información y coordinación con instituciones relacionadas al tema; trabajo de campo, en la que se realizó la identificación de los puntos críticos de la zona de estudio y trabajo de gabinete, que consistió en la sistematización de la información hidrológica y topográfica a trabajarse en los diferentes programas de modelación, así mismo se usó la data generada para determinar la pérdida económica de las zonas inundadas, teniendo como resultado cinco puntos críticos a tener en cuenta en una inundación en el río Virú, estos alcanzaron 13 Ha lo que ocasiona una pérdida de cultivos y terreno de S/ 3 743 879.31 para una simulación con HEC-RAS y 17 Ha lo que ocasiona una pérdida de cultivos y terreno de S/ 5 240 860.98 para una simulación con IBER; para un periodo de retorno de 200 años a lo largo de los 10 km del tramo del río Virú. Finalmente concluye que, para la modelación de ríos con un caudal estable,

los modelos unidimensionales son más que suficientes, pero para simular inundaciones, huaycos y desbordes, los modelos bidimensionales son más eficientes.

Chagua (2018) en su tesis titulada, *Estudio de inundación de la zona correspondiente al distrito de Calango, provincia de Cañete, departamento de Lima, mediante el uso de los modelos matemáticos HEC-HMS y HEC-RAS*.

Tuvo como objetivo realizar un análisis hidrológico e hidráulico para obtener mapas de inundación usando los modelos matemáticos HEC-HMS y HEC-RAS y el sistema de información geográfica ArcGIS, método agrupado en seis fases: Trabajo preliminar, procesamiento inicial de datos de precipitación, elaboración de curvas de IDF, modelamiento hidrológico, modelamiento hidráulico y generación de mapas de inundación. Teniendo como resultado un caudal de diseño de 409.5 y 542.58 m<sup>3</sup>/s para un periodo de retorno de 100 y 500 años, un total de área inundada de 177.140 y 254.170 m<sup>2</sup> para un periodo de retorno de 100 y 500 años, las áreas alcanzadas ante una posible inundación, son en su mayoría zonas de cultivo de manzana Delicia y uva Quebranta lo cual es un inminente peligro para la principal actividad económica del distrito de Calango. Finalmente, concluye que la elaboración de un mapa de inundación en zonas aledañas a ríos, es determinante para la toma de decisiones a forma de evitar futuros desastres como inundación de zonas urbanas, agrícolas, ganaderas, mineras, entre otros.

### **1.2.2 Antecedentes internacionales**

Sanabria (2021) en su tesis titulada, *Análisis comparativo de los modelos HER RAS e IBER en la determinación de las zonas de amenaza por inundación en el corregimiento de Santa Fe de Morichal, municipio de Yopal, departamento de Casanare*.

El objetivo es realizar una comparación entre los modelos HEC RAS e IBER, en la determinación de zonas susceptibles a inundación posiblemente ocasionadas por el desbordamiento del cauce del río Charte, para ello se evaluará inicialmente el entorno,



luego el ingreso de los datos, y finalmente el proceso de simulación y resultados, estableciendo cuales son las diferencias más representativas entre los dos modelos. Para procesar la información antes de la simulación, se requiere del uso de software adicionales como ArcGIS para la identificación de la cuenca y parámetros morfométricos, tipos de cobertura, tipos de suelo, Hyfran para la evaluación de los datos y elección del tipo de distribución a implementar, HEC HMS, para la obtención de caudales máximos para diferentes periodos de retorno, Civil 3D, para la corrección y exportación de la batimetría, Microsoft Word para la redacción del informe hidrológico, Microsoft Excel para los cálculos y estimaciones hidrológicas necesarias para la verificación e ingreso de datos. Teniendo como resultado las simulaciones en el software HEC RAS e IBER y la información descrita en el Punto de Yopal- Casanare, el corregimiento de Morichal en el centro urbano está expuesto a amenazas por inundación, sin embargo en la zona contigua a la ronda hídrica si se presenta zona de inundación que afecta los predios rurales, cultivos y animales de granja tal y como visualiza en los reportes de los periódicos regionales, para esto se recomienda incluir obras de protección como diques y enrocados en la margen izquierda del cauce. En conclusión, la modelación bidimensional de los softwares HEC RAS e IBER, es similar desde la creación de la malla, asignación de rugosidades, condiciones de frontera, asignación de caudales, las diferencias representativas se identifican en la plataforma, las opciones de simulación, el tiempo computacional requerido.

Wurl *et al* (2017) en su artículo titulado, *Respuesta hidrológica al cambio climático en regiones áridas: caso de estudio en los Comondú, Baja California Sur, México*.

Tuvo como objetivo realizar un análisis estadístico histórico de la variabilidad climática y modelar la respuesta del arroyo Comondú ante eventos extremos de precipitación, método basado en el análisis de la variabilidad climática de acuerdo con las bases de datos de la estación climatológica de Comondú, operada por el Servicio

Meteorológico Nacional (SMN). También se determinó el patrón de los escurrimientos en el arroyo Comondú durante episodios de precipitación extrema, similares o cercanos a eventos con tiempo de retorno de 1000 años por medio de los modelos hidrológicos e hidráulicos de los software HEC-HMS y HEC-RAS, teniendo como resultado para el caso de los Comondú, se observa una clara tendencia a la alza en los datos de precipitación extrema de 24 horas, lo cual implica que el peligro de inundaciones en la zonas pobladas y de cultivos aumenta considerablemente. La ocurrencia de un evento de 1000 años afectaría cerca de 86.864 m<sup>2</sup> en la zona urbana de ambos poblados y 201.570 m<sup>2</sup> en la zona de cultivo. Finalmente concluye que los resultados de la modelación indican un incremento en área, profundidad y velocidad de la corriente, lo que aumenta el riesgo de inundación en las zonas bajas de los Comondú. Con base en los resultados de la modelación, se pueden promover medidas que permitan salvaguardar a la población y la economía de este lugar.

Romero *et al* (2018) en su artículo titulado, *Simulación hidrológica de los impactos potenciales del cambio climático en la cuenca hidrográfica del río Aipe, en Huila, Colombia.*

Tuvo como objetivo primero evaluar el desempeño del modelo hidrológico de Thomas llamado *abcd* para simular el caudal medio mensual de la cuenca hidrográfica del río Aipe en Huila, Colombia a través de la calibración y validación del modelo, utilizando datos de previos caudales observados en la estación de desagüe; y segundo, estudiar la respuesta hidrológica de la cuenca hidrográfica en acorde con las proyecciones de los escenarios de cambio climático del IPCC-AR4 (2011–2040), como herramienta de apoyo en la toma de decisiones en la formulación de medidas de adaptación que promuevan la gestión integral, método descrito de la siguiente manera: una descripción de las condiciones climáticas y biofísicas de la cuenca hidrográfica bajo estudio; una breve introducción del modelo hidrológico *abcd*, análisis de

sensibilidad, calibración, y validación; luego se presentan las características de los escenarios de cambio climático utilizados y su impacto potencial en la respuesta hidrológica de la cuenca del río Aipe, Los resultados muestran que el modelo es capaz de representar adecuadamente los caudales mensuales observados en el punto de desagüe de la cuenca, al encontrarse un índice de eficiencia de *Nash–Sutcliffe* (NSE) de 0.89. Los parámetros más influyentes son *a* (almacenamiento del agua en el suelo) y *c* (aporte al acuífero). Con respecto a la simulación de los escenarios, la línea base (1992–2012) estimó un caudal medio de 15.44 m<sup>3</sup>/s; el escenario de extrapolación de tendencias estimó un caudal de 13.79 m<sup>3</sup>/s (–10.64%); el escenario de ensamble multi-modelo de 9.34 m<sup>3</sup>/s (–39.47%) y el escenario A2 de 5.74 m<sup>3</sup>/s (–62.60%). Se concluye proponiendo una batería de medidas de adaptación al cambio climático que apuestan por la gestión integral del recurso hídrico, la recuperación del saber ancestral de las comunidades originarias, soluciones locales para problemas globales atacados desde una visión trans-disciplinaria, la promoción de la resiliencia social frente a los cambios globales y el aprendizaje colectivo desde la gestión comunitaria del agua.

Mendoza *et al* (2018) en su artículo titulado, *Análisis hidrológico de largo plazo en la cuenca del río Metztitlán Hidalgo, México, y su relación con el cambio climático*.

Tiene como objetivo realizar el análisis hidrológico de largo plazo de la cuenca Metztitlán con la finalidad de identificar signos de cambio climático en términos de la media estadística; definir las cotas de mayor riesgo de inundación para conocer las localidades afectadas y calcular los caudales ambientales y los probables volúmenes de desfogue del río Metztitlán, método basado en la tendencia histórica de los escurrimientos del periodo 1937-2008, se estimó con el software Regime Shift Detection; los caudales ambientales y volúmenes de desfogue se evaluaron con base en el método *Tennant*, resultados el análisis evidenció, en el régimen de escurrimientos

medio anuales, lluvias extremas máximas en 1944, 1955, 1998 y 1999, y mínimas en 1950 y 1997. En el régimen de los escurrimientos medio mensuales se observaron siete y cinco cambios en los cortes de longitud de 10 y 5 años, respectivamente. Estos cambios evidencian una tendencia a la baja de los escurrimientos en el periodo seco, y una tendencia a incrementar en el periodo húmedo de años recientes. Finalmente concluye que no se detectaron señales que permitieran vincular estos cambios con el cambio climático, pero se encontró cierta relación con el fenómeno El Niño-Oscilación del Sur. Las cotas de mayor riesgo por las inundaciones están entre 1246 y 1258 msnm; los poblados susceptibles de sufrir afectaciones son El Pedregal de Zaragoza, San Cristóbal, Tlacotepec, Tlatepexe y Tecruz de Cozapa. Las estimaciones de caudales ambientales indican mayores reservas para septiembre y octubre, así como el desfogue de volúmenes excedentes durante todo el año.

Serrano *et al* (2016) en su artículo titulado, *Análisis de inundaciones costeras por precipitaciones intensas, cambio climático y fenómeno de El Niño. Caso de estudio: Machala.*

Tiene como objetivo estimar las amenazas de inundación debido a los efectos de las lluvias intensas, cambio climático y el Fenómeno de El Niño (ENSO) sobre la ciudad de Machala, Ecuador, método basado en: se han estudiado siete estaciones meteorológicas del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), dos de las cuales tenían datos diarios de precipitación y temperatura con series temporales con más de 30 años. Para identificar los índices de cambio climático se utilizó el programa *R-climdex*, incluyendo los reportes de inundaciones de la Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos (SNGR) y el Índice del Fenómeno del Niño ONI. Los resultados muestran que Machala es una ciudad en riesgo ante inundaciones en la que los eventos extremos de precipitación son la principal causa. Presentándose un aumento, tanto en intensidad como en frecuencia, lo cual es congruente con el fenómeno de cambio

climático. Además, concluye; encontró que los eventos de inundación están relacionados con la aparición de ENSO. En lo que se refiera a la temperatura, se encontró también que los valores altos de temperaturas mínimas están en aumento, una evidencia más de que el cambio climático podría estar afectando a la zona de estudio.

Cajigal y Maldonado (2019) en su artículo titulado, *Metodología para el análisis de vulnerabilidad ante inundaciones. Un ejercicio emergente ante el cambio climático*.

Tuvo como objetivo analizar la vulnerabilidad ante inundaciones por ciclones tropicales, a fin de brindar un diagnóstico a ser considerado en acciones que contribuyan a reducir la susceptibilidad y mejorar las capacidades de prevención, recuperación y transformación ante este tipo de eventos, con la participación de docentes de bachillerato, método basado en cinco categorías, que se integraron, a su vez, a 22 indicadores considerados para dar cuenta de la vulnerabilidad ante inundaciones. Cada indicador fue valorado en el trabajo de campo en una escala de 1 a 3 (vulnerabilidad baja, media y alta, respectivamente); después, los mismos indicadores fueron ponderados a través del método Delphi, en una escala de 1 a 3. Con estas actividades se estableció, durante el análisis de resultados, una categorización para posicionar el resultado global, teniendo como resultado un ejercicio que considera todos los puntajes posibles de valoración, tanto en el trabajo de campo como en la ponderación. En el trabajo de campo y en la ponderación, la valoración más alta es tres, por tanto, al multiplicarlos, el puntaje mayor entre éstos puede ser nueve. Nueve por 22 indicadores nos da un total de 198 puntos. Este último resultado se divide en tres para determinar los niveles de vulnerabilidad: bajo, medio y alto. El primer nivel (puntaje de 1 a 66), es llamado vulnerabilidad baja; el segundo nivel (puntaje de 67 a 132) es vulnerabilidad media; y el tercer nivel (puntaje de 133 a 198) vulnerabilidad alta. El resultado global es la suma de los puntajes obtenidos en el trabajo de campo y la

ponderación de los 22 indicadores, lo cual da cuenta de la vulnerabilidad ante las inundaciones de cada uno de los municipios participantes., finalmente concluye; se estableció que la vulnerabilidad no es permanente, es evolutiva, acumulativa y desigual, por lo tanto, el análisis de la vulnerabilidad ante inundaciones aquí realizado fue contextualizado. Se usaron variables que tienen un sustento empírico, así como un enfoque sistemático de análisis similar al de otras investigaciones. Además, se consideró la ponderación que tiene cada una de las variables por medio del método *Delphi* haciendo partícipe a un grupo de especialistas en el tema de riesgo y vulnerabilidad ante inundaciones. Se recogió la información a través de dos técnicas: investigación documental y entrevista.

### **1.3 Objetivos**

#### **1.3.1 *Objetivo general***

Determinar el riesgo de inundaciones fluviales por máximas avenidas en la cuenca baja del río Lurín entre los años 1965-2017.

#### **1.3.2 *Objetivos específicos***

- Obtener las máximas avenidas entre los años 1965-2017 para periodos de retorno de 50, 100 y 200 años mediante el modelamiento hidrológico HEC-HMS de la cuenca del río Lurín.
- Identificar las zonas que presentan riesgo de inundaciones fluviales para periodos de retorno de 50, 100 y 200 años mediante el modelamiento hidráulico HEC-RAS de la cuenca baja del río Lurín.
- Proponer estrategias de mejora ante el riesgo de inundaciones fluviales en la cuenca baja del río Lurín.

## **1.4 Justificación**

### ***1.4.1 Justificación teórica***

Esta investigación se realiza con el propósito de contribuir con información que permita conocer el riesgo de inundaciones fluviales por máximas avenidas en la cuenca baja del río Lurín, para ser incorporado como conocimiento en materia a riesgos originados por desastres naturales.

### ***1.4.2 Justificación práctica***

Esta investigación se realiza porque existe la necesidad de mejorar la capacidad de respuesta con que cuentan las autoridades competentes y la población ante una emergencia de avenidas en la cuenca baja del río Lurín, especialmente en los sectores ubicados en las márgenes del río, teniendo en cuenta que las consecuencias producidas por inundaciones en el país en las últimas décadas evidencian graves deficiencias, además, la población de las zonas estudiadas subsisten con la agricultura y el comercio de sus productos agrícolas a los principales mercados de la capital.

### ***1.4.3 Justificación metodológica***

La aplicación de las estrategias planteadas en la presente investigación para la mejora ante situación de riesgo por inundación fluvial podrá ser considerada por el Gobierno Regional de Lima en conjunto con los municipios distritales de Lurín y Pachacamac; instituciones públicas como el INDECI y por otros trabajos de investigación una vez que sean demostradas su validez y confiabilidad.

### ***1.4.4 Justificación tecnológica***

Las inundaciones en el mundo se han venido dando desde hace mucho tiempo, tal es así que muchos países se han visto en la necesidad de tomar medidas de control para estos eventos.

En el Perú la capacidad de acción y respuesta aun es baja, ocasionando múltiples desastres en agricultura, población e infraestructura.

De ahí la importancia de estudiar estos fenómenos mediante la tecnología, para abordar la problemática que tiene el país frente a estos eventos, utilizando las herramientas del US Army Corps of Engineers en el Hydrologic Engineering Center quienes desarrollaron diversas técnicas y softwares para poder predecir estos eventos extremos.

### **1.5 Hipótesis general**

En la medida que las máximas avenidas se incrementen entre los años 1965-2017, para periodos de retorno de 50, 100 y 200 años, se incrementará el nivel de riesgo de inundación fluvial en la cuenca baja del río Lurín.



## II. MARCO TEÓRICO

### 2.1 Estudio de la cuenca

#### 2.1.1 Cuenca hidrográfica

- “Área delimitada por un límite topográfico bien definido (parte aguas). Es una zona geográfica donde las condiciones hidrológicas son tales que el agua se concentra en un punto en particular a partir del cual la cuenca se drena. Dentro de este límite topográfico, la cuenca presenta un complejo de suelos, geoformas, vegetación y uso de la tierra” (Guía Metodológica para la formulación de Planes de Tratamiento de cauces para el control de inundaciones, 2017, citado por ANA, 2020).
- “Es aquella área fisiográfica superficial que drena sus aguas, sedimentos y los materiales disueltos hacia una corriente en un punto y tiempo dado; rodeada por una frontera o divisoria de aguas que separa la superficie, una de otra, por donde fluye la escorrentía superficial y subterránea cuyos desagües corren hacia un punto común” (ANA, 2019, p. 9).
- “En la cuenca hidrográfica, se distinguen por lo general tres sectores característicos: Alto, Medio y Bajo, los cuales en función a las características topográficas del medio pueden influir en sus procesos hidrometeorológicos y en el uso de sus recursos” (Llerena, citado por Ordoñez, 2011, p. 9).
- “Las cuencas tienen un funcionamiento territorial altitudinal ya que implica la relación directa entre las partes altas, cercanas al parteaguas, la zona de tránsito o intermedia y la parte baja de deposición y desembocadura, de tal forma que la parte alta afecta de manera determinante a la parte baja” (Arreola-Muñoz, citado por Ordoñez, 2011, p. 9).

### ***2.1.2 Tipos de cuencas hidrográficas***

- **Cuenca alta**, corresponde generalmente a las áreas montañosas o cabeceras de los cerros, limitadas en su parte superior por las divisorias de aguas.
- **Cuenca media**, donde se juntan las aguas recogidas en las partes altas y en donde el río principal mantiene un cauce definido.
- **Cuenca baja o zonas transicionales**, donde el río desemboca a ríos mayores o a zonas bajas tales como estuarios y humedales. (Ordoñez, 2011, p. 10)

### ***2.1.3 Características morfológicas y fisiográficas de la cuenca***

La caracterización de una cuenca se inicia con la delimitación de su territorio, la forma, tamaño o área, pendiente media y pendiente del cauce principal, red de drenaje, etc. Algunos de estos “parámetros geomorfológicos” sirven de base para identificar la vulnerabilidad y considerar peligros a los desastres:

- **Delimitación de una cuenca**: consiste en trazar la línea divisoria que se denomina parteaguas y se ubica en las partes más altas dividiendo el curso de la escorrentía hacia una u otra cuenca.
- **Área de la cuenca (A)**: está definida como la proyección horizontal de toda el área de drenaje de un sistema de escorrentía dirigido directa o indirectamente a un mismo cauce natural. Representada con la letra “A” mayúscula, es probablemente la característica geomorfológica más importante.
- **Perímetro de la cuenca (P)**: es la longitud del contorno del área de la cuenca. Es un parámetro importante, pues en conexión con el área nos puede decir algo sobre la forma de la cuenca. Usualmente este parámetro físico es simbolizado por la mayúscula “P”.

- **Longitud del río principal (L):** es la longitud del río principal de la cuenca, donde van a drenar todos los afluentes y quebradas. Representada con la letra “L” mayúscula. (Ordoñez, 2011, pp. 17-19)

#### **2.1.4 Parámetros de forma de la cuenca**

Es la configuración geométrica de la cuenca tal como está proyectada sobre el plano horizontal. La forma incide en el tiempo de respuesta de la cuenca, es decir, al tiempo de recorrido de las aguas a través de la red de drenaje, y, por consiguiente, a la forma del hidrograma resultante de una lluvia dada:

- **Factor de forma de Horton (Kf):** Horton, ha sugerido un factor adimensional de forma designado como “Kf” que puede deducirse a partir de la Fórmula 1:

#### **Fórmula 1**

*Factor de forma de Horton*

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

Donde:

Kf= factor de forma de Horton

A= área de la cuenca

L<sup>2</sup>= longitud del río principal

- **Índice de compacidad (Kc):** también denominado coeficiente de compacidad o de Graveliús, definida como la relación entre el perímetro de la cuenca “P” y el perímetro de un círculo de área “A” de la cuenca hidrográfica, es decir, equivalente.

#### **Fórmula 2**

*Índice de compacidad*

$$Kc = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}}$$

Donde:

$K_c$  = Índice de compacidad

$P$  = Perímetro de la cuenca en km

$A$  = Área de la cuenca en  $\text{km}^2$

- **Coefficiente de circularidad ( $C_c$ ):** el coeficiente de circularidad de Miller se expresa mediante la Fórmula 3:

### Fórmula 3

*Coefficiente de circularidad*

$$C_c = 4\pi \frac{A}{P^2}$$

$A$  = Área de la cuenca en  $\text{km}^2$

$P$  = Perímetro de la cuenca en km. (Ordoñez, 2011, pp. 18-20)

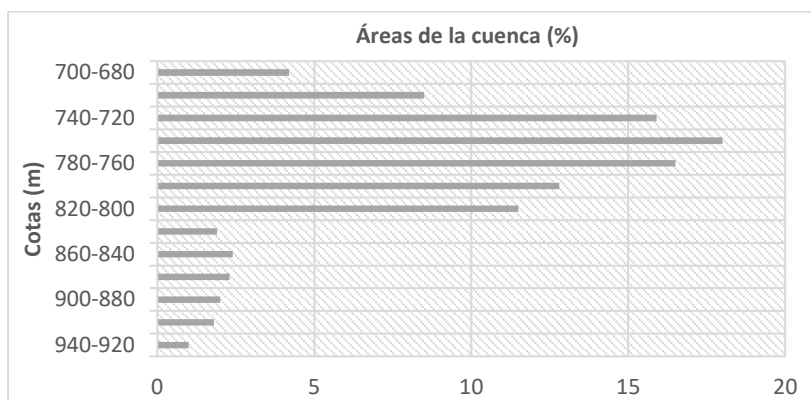
#### 2.1.5 Parámetros de relieve

La influencia del relieve sobre el hidrograma es aún más evidente. A una mayor pendiente corresponderá una mayor duración de concentración de las aguas de escorrentía en la red drenaje y afluentes al curso principal, los parámetros más utilizados son:

- **Histograma de frecuencias de altitudes:** representa el grado de incidencia de las áreas comprendidas entre curvas de nivel con respecto al total del área de la cuenca, tal como lo muestra la Figura 1. (Ordoñez, 2011, p. 21)

## Figura 1

Representación de un histograma frecuencias de altitudes

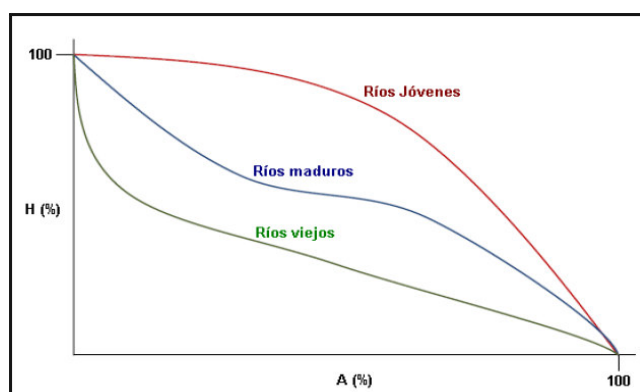


**Nota.** Adaptado de *Conceptos Básicos de Hidrología, Balance Hídrico, CATIE, 2009*, por Ordoñez, 2011.

- **Curva hipsométrica:** es una curva que indica el porcentaje de área de la cuenca o bien la superficie de la cuenca en  $\text{km}^2$  que existe por encima de una cota determinada, como en la Figura 2. Puede hallarse con la información extraída del histograma de frecuencias altimétricas. (Ordoñez, 2011, p. 21)

## Figura 2

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



**Nota.** La letra A=área en porcentaje, H=altura en porcentaje. De *Morfología de las cuencas hidrográficas*, Ibáñez, 2011, por Ordoñez, 2011.

De los dos parámetros anteriores, se definen los siguientes:

- **Altura media:** es la ordenada media de la curva hipsométrica, en ella el 50% del área de la cuenca, está situado por encima de esa altitud y el 50% está situado por debajo.
- **Altura más frecuente:** es el máximo valor en porcentaje de la curva de frecuencia de altitudes.
- **Altitud de frecuencia media:** es la altitud correspondiente al punto de abscisa media de la curva de frecuencia de altitudes. Numéricamente la elevación media de la cuenca se obtiene con la Fórmula 4:

#### Fórmula 4

*Elevación media*

$$E_m = \frac{\sum a \times e}{A}$$

Donde:

$E_m$  = elevación media

$a$  = área entre dos contornos

$e$  = elevación media entre dos contornos

$A$  = Área total de la cuenca. (Ordoñez, 2011, p. 22)

- **Pendiente de cuenca (S%):** es un parámetro de importancia pues da un índice de la velocidad media de la escorrentía y su poder de arrastre y de la erosión sobre la cuenca.

#### Fórmula 5

*Pendiente de cuenca*

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

Donde:

$H_M$  = Altitud mayor en metros

$H_m$  = Altitud menor en metros

$L$  = Longitud del curso de agua en km. (Ordoñez, 2011, p. 24)

- **Perfil longitudinal (Seq):** Taylor y Schwarz proponen calcular la pendiente media como la de un canal de sección transversal uniforme, que tenga la misma longitud y tiempo de recorrido que la corriente en cuestión, como en la Figura 3. Estos autores llegan a la conclusión de que en el caso de que los tramos no sean iguales la pendiente se encuentra dada por la expresión matemática:

### Fórmula 6

*Perfil longitudinal*

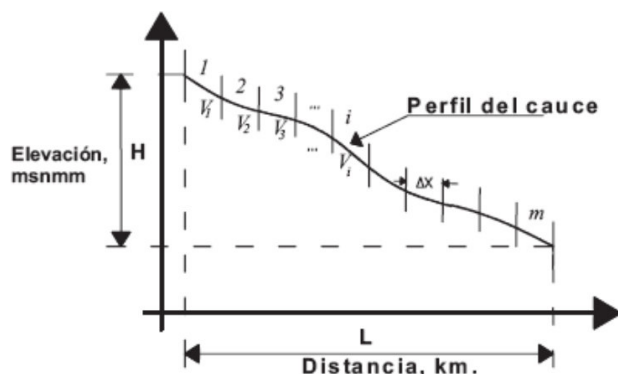
$$S_{eq} = \left[ \frac{L}{\frac{1}{\sqrt{S_1}}} \right]^2$$

Donde:

$S_{eq}$  = Perfil longitudinal

$L$  = Longitud del río en un tramo

$S_1$  = Pendiente en el tramo. (Ordoñez, 2011, p. 25)

**Figura 3***Perfil longitudinal de un cauce*

**Nota.**  $V_i$  = velocidad media en el tramo  $i$ ,  $\Delta x$  = longitud de cada tramo igual para todos,  $m$  = pendiente media del tramo  $i$ . De *Clases de Hidrología General, CATIE, 2009* por Ordoñez, 2011.

### 2.1.6 Parámetros relativos a la red de drenaje

La forma en que estén conectados los canales en una cuenca determinada, influye en la respuesta de ésta a un evento de precipitación. Se han desarrollado una serie de parámetros que tratan de cuantificar la influencia de la forma del drenaje en la escorrentía superficial directa:

- **Red de drenaje:** la red de drenaje de una cuenca, se refiere a las trayectorias o al arreglo que guardan entre sí, los cauces de las corrientes naturales dentro de ella. Es otra característica importante en el estudio de una cuenca, ya que manifiesta la eficiencia del sistema de drenaje en el escurrimiento resultante, es decir, la rapidez con que desaloja la cantidad de agua que recibe. La forma de drenaje, proporciona también indicios de las condiciones del suelo y de la superficie de la cuenca.
- **Orden de la cuenca:** permite tener un mejor conocimiento de la complejidad y desarrollo del sistema de drenaje de la cuenca. El orden se relaciona con el caudal relativo del segmento de un canal.
- **Longitud total de los cursos de agua ( $L_t$ ):** es la suma de la distancia total recorrida por los diferentes cursos de agua que forman parte de la red hidrográfica de la cuenca.



La distancia recorrida por un curso de agua se mide desde su origen hasta su desembocadura en el cuerpo receptor.

- **Densidad de drenaje (D):** en cierto modo, es reflejo de la dinámica de la cuenca, de la estabilidad de la red hidrográfica y del tipo de escorrentía de superficie, así como de la respuesta de la cuenca a una precipitación. Se define como la relación entre la longitud total de los cursos de agua y su área total, tal como se aprecia en la expresión:

### Fórmula 7

*Densidad de drenaje*

$$D = \frac{\sum L_c}{A}$$

Donde:

D = Densidad de drenaje (km<sup>-1</sup>)

$\sum L_c$  = Suma de las longitudes de los cursos que se integran en la cuenca (km)

A = Área de la cuenca (km<sup>2</sup>)

- **Frecuencia de drenaje (F):** se define como el número de cauces de cualquier orden entre la superficie de la cuenca, utilizando la Fórmula 8:

### Fórmula 8

*Frecuencia de drenaje*

$$F = \frac{N_c}{A}$$

Donde:

F = Frecuencia de drenaje

N<sub>c</sub> = Número total de corrientes o cauces

$A =$  Área total de la cuenca, en  $\text{km}^2$ . (Ordoñez, 2011, pp. 17-29)

## **2.2 Estudio de avenidas**

### **2.2.1 Río principal**

El río principal suele ser definido como el curso con mayor caudal de agua (medio o máximo) o bien con mayor longitud. Tanto el concepto de río principal como el nacimiento del río son arbitrarios, como también lo es la distinción entre el río principal y afluente. Sin embargo, la mayoría de cuencas de drenaje presentan un río principal bien definido desde la desembocadura hasta cerca de la divisoria de aguas. El río principal tiene un curso, que es la distancia entre su nacimiento y su desembocadura. (Ordoñez, 2011, p. 12)

### **2.2.2 Cauce**

“Conteniente de las aguas durante sus máximas avenidas, constituye un bien de dominio público hidráulico” (ANA, 2019, p. 34).

### **2.2.3 Escorrentía**

De acuerdo con el ciclo hidrológico, el escurrimiento se puede definir como la porción de la precipitación pluvial que ocurre en una zona o cuenca hidrológica y que circula sobre o debajo de la superficie terrestre y que llega a una corriente para ser drenada hasta la salida de una cuenca. (Breña y Jacobo, 2006, p. 119)

### **2.2.4 Precipitación**

Se define precipitación a toda forma de humedad, que, originándose en las nubes, llega hasta la superficie terrestre. De acuerdo a esta definición las lluvias, las granizas, las garúas y los nevados son formas distintas del mismo fenómeno de la precipitación. (Chereque, 2003, p. 15)

### **2.2.5 Precipitación máxima en 24 horas**

La precipitación máxima que se suscita en la cuenca da lugar a la generación de los caudales. La magnitud de los mismos se genera de acuerdo al área de la cuenca colectora, geomorfología, cobertura vegetal y otros parámetros. Estas variables que interactúan entre si dando como resultado el caudal de avenidas en un evento de precipitación máxima. (Velásquez, 2006, p. 28)

### **2.2.6 Caudal máximo**

Para ANA (2019): “Es una determinada corriente de agua representado en un diagrama de caudales para un fenómeno específico. Sinónimos: caudal máximo instantáneo, caudal punta” (p. 38).

### **2.2.7 Máxima avenida**

Para Núñez (2017): “Es la elevación del nivel de un curso de agua significativamente mayor que el flujo medio, puede aumentar en tales proporciones que el cauce del río puede resultar insuficiente para contenerlo, provocando el desbordamiento” (p. 66).

### **2.2.8 Tiempo de concentración**

Para el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC, 2008): “Es el tiempo requerido por una gota para recorrer desde el punto hidráulicamente más lejano hasta la salida de la cuenca” (p. 31).

Transcurrido el tiempo de concentración se considera que toda la cuenca contribuye a la salida. Como existe una relación inversa entre la duración de una tormenta y su intensidad (a mayor duración disminuye la intensidad), entonces se asume que la duración crítica es igual al tiempo de concentración ( $t_c$ ). El tiempo de concentración real depende de muchos factores, entre otros de la geometría en planta de la cuenca (una cuenca alargada tendrá un mayor tiempo de concentración), de su pendiente pues una mayor pendiente produce flujos más veloces y en menor tiempo de concentración, el

área, las características del suelo, cobertura vegetal, etc. Las fórmulas más comunes solo incluyen la pendiente, la longitud del cauce mayor desde la divisoria y el área. El tiempo de concentración en un sistema de drenaje pluvial es:

### **Fórmula 9**

*Tiempo de concentración*

$$t_c = t_0 + t_f$$

Donde:

$t_0$ : tiempo de entrada, hasta alguna alcantarilla o colector.

$t_f$ : tiempo de flujo en los alcantarillados o colectores hasta el punto de interés. (MTC, 2008, p. 31)

#### **2.2.9 Periodo de retorno**

Es uno de los parámetros más significativos a ser tomado en cuenta en el momento de dimensionar una obra hidráulica destinada a soportar avenidas. Se define como el intervalo de recurrencia, al lapso promedio en años entre la ocurrencia de un evento igual o mayor a una magnitud dada. Supóngase que por definición un evento extremo ocurre si una variable aleatoria  $X$  es mayor o igual que un cierto nivel  $X_t$ . El intervalo de recurrencia  $t$  es el tiempo entre ocurrencias de  $X \geq X_t$ . (Chow *et al*, 1994, como se citó en Cardich, 2017, p. 10)

#### **2.2.10 Prueba de datos dudosos**

El método del Water Resources Council recomienda la realización de ajustes de datos dudosos. Los datos dudosos son puntos de la información que se alejan significativamente de la tendencia de la información restante. La retención o eliminación de estos datos puede afectar significativamente la magnitud de los parámetros estadísticos calculados para la información, especialmente en muestras

pequeñas. Los procedimientos para tratar los datos dudosos requieren un criterio que involucre consideraciones matemáticas e hidrológicas. De acuerdo con *Water Resources Council* (1981), si la asimetría de estación es mayor que +0.4, se consideran primero las pruebas para detectar datos dudosos altos; si la asimetría de estación es menor que -0.4, primero se consideran pruebas para detectar datos dudosos bajos. Cuando la asimetría de la estación está entre  $\pm 0.4$ , deben aplicarse pruebas para detectar datos dudosos altos y bajos antes de eliminar cualquier dato dudoso del conjunto de datos. (Chow *et al*, 1994, p. 415) En la Tabla 1 se muestran valores Kn para la prueba de datos dudosos.

- **Umbral de datos dudosos altos ( $x_H$ : unid. logarítmicas)**

$$x_H = \bar{x} + Kn \cdot s$$

- **Umbral de datos dudosos bajos ( $x_L$ : unid. logarítmicas)**

$$x_L = \bar{x} - Kn \cdot s$$

**Tabla 1**

*Valores Kn para la prueba de datos dudosos*

Tamaño de muestra	Kn	Tamaño de muestra	Kn	Tamaño de muestra	Kn	Tamaño de muestra	Kn
10	2.036	24	2.467	38	2.661	60	2.837
11	2.088	25	2.486	39	2.671	65	2.866
12	2.134	26	2.502	40	2.682	70	2.893
13	2.175	27	2.519	41	2.692	75	2.917
14	2.213	28	2.534	42	2.700	80	2.940
15	2.247	29	2.549	43	2.710	85	2.961
16	2.279	30	2.563	44	2.719	90	2.981
17	2.309	31	2.577	45	2.727	95	3.000
18	2.335	32	2.591	46	2.736	100	3.017
19	2.361	33	2.604	47	2.744	110	3.049
20	2.385	34	2.616	48	2.753	120	3.078
21	2.408	35	2.628	49	2.760	130	3.104
22	2.429	36	2.639	50	2.768	140	3.129
23	2.448	37	2.650	55	2.804		

*Nota.* De U.S Water Resources Council, 1981. Esta tabla contiene valores de  $K_n$  de un lado con un nivel de significancia del 10% para la distribución normal, por Chow *et al* (1994, p. 416).

### **2.2.11 Análisis estadístico de datos hidrológicos**

Para el MTC (2008): “El análisis de frecuencias tiene la finalidad de estimar precipitaciones, intensidades o caudales máximos, según sea el caso, para diferentes períodos de retorno, mediante la aplicación de modelos probabilísticos, los cuales pueden ser discretos o continuos” (p. 18).

En la estadística existen diversas funciones de distribución de probabilidad teóricas; entre ellas las siguientes funciones:

- Distribución Normal
- Distribución Log Normal 2 parámetros
- Distribución Log Normal 3 parámetros
- Distribución Gamma 2 parámetros
- Distribución Gamma 3 parámetros
- Distribución Log Pearson tipo III
- Distribución Gumbel
- Distribución Log Gumbel. (MTC, 2008, p. 19)

### **2.2.12 Pruebas de bondad de ajuste**

Las pruebas de bondad de ajuste son pruebas de hipótesis que se usan para evaluar si un conjunto de datos es una muestra independiente de la distribución elegida:

- **Prueba Kolmogorov-Smirnov:** método por el cual se comprueba la bondad de ajuste de las distribuciones, asimismo permite elegir la más representativa, es decir la de mejor ajuste. Esta prueba consiste en comparar el máximo valor absoluto de la

diferencia  $D$  entre la función de distribución de probabilidad observada  $F_0(x_m)$  y la estimada  $F(x_m)$ :

### Fórmula 10

*Prueba bondad de ajuste*

$$D = \text{máx } |F_0(x_m) - F(x_m)|$$

Con un valor crítico  $d$  que depende del número de datos y el nivel de significancia seleccionado, como se ve en Tabla 2. Si  $D < d$ , se acepta la hipótesis nula.

La función de distribución de probabilidad observada se calcula como:

### Fórmula 11

*Distribución de probabilidad*

$$F_0(x_m) = 1 - m / (n + 1)$$

Donde  $m$  es el número de orden de dato  $x_m$  en una lista de mayor a menor y  $n$  es el número total de datos. (Aparicio, 1996, como se cita en MTC, 2016, p. 25)

### Tabla 2

*Valores críticos para la prueba Kolmogorov-Smirnov*

Tamaño de la muestra	$\alpha=0.10$	$\alpha=0.05$	$\alpha=0.01$
5	0.51	0.56	0.67
10	0.37	0.41	0.49
15	0.30	0.34	0.40
20	0.26	0.29	0.35
25	0.24	0.26	0.32
30	0.22	0.24	0.29
35	0.20	0.22	0.27
40	0.19	0.21	0.25

*Nota.* De Aparicio (1999, citado por MTC, 2008).

### 2.2.13 Análisis de tormentas

Para Chereque (2003): “Se define tormenta el conjunto de lluvias que obedecen a una misma perturbación meteorológica y de características bien definidas. Una tormenta puede durar desde unos pocos minutos hasta varias horas y aun días y puede abarcar desde una zona pequeña hasta una extensa región” (p. 35).

De las tormentas interesa conocer las curvas IDF:

- **Intensidad:** Se mide en mm/h y su valor varía durante la tormenta.
- **Duración:** Se mide en minutos o en horas. Es el tiempo transcurrido entre el comienzo y el fin de la tormenta.
- **Frecuencia:** Es el número de veces que se repite una tormenta de características de intensidad y duración definidas en un período de tiempo más o menos largo, tomado generalmente en años. (Universidad de Piura [UDEP], s.f., p. 22)

### 2.2.14 Curva Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF)

“Las curvas IDF son un elemento de diseño que relacionan la intensidad de la lluvia, la duración de la misma y la frecuencia con la que se puede presentar, es decir su probabilidad de ocurrencia o el periodo de retorno” (MTC, 2008, p. 27). Como se muestra en la Figura 4.

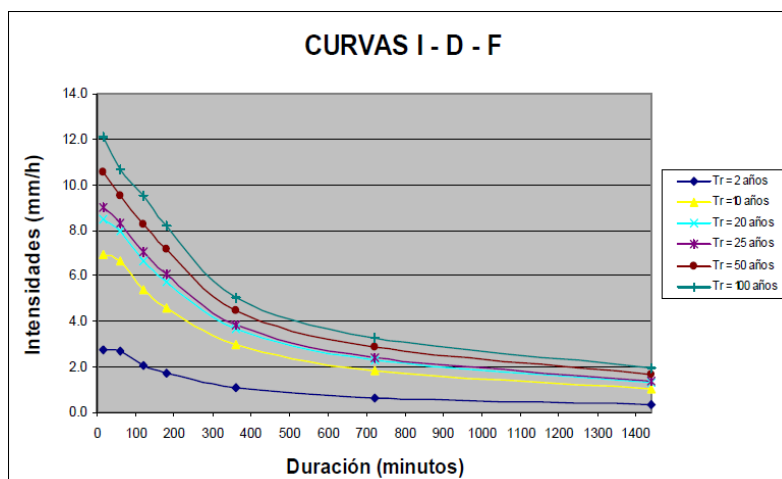
Para determinar estas curvas IDF se necesita contar con registros pluviográficos de lluvia en el lugar de interés y seleccionar la lluvia más intensa de diferentes duraciones en cada año, con el fin de realizar un estudio de frecuencia con cada una de las series así formadas. Es decir, se deben examinar los hietogramas de cada una de las tormentas ocurridas en un año y de estos hietogramas elegir la lluvia correspondiente a la hora más lluviosa, a las dos horas más lluviosas, a las tres horas y así sucesivamente. Con los valores seleccionados se forman series anuales para cada una de las duraciones elegidas. Estas series anuales están formadas eligiendo, en cada año



del registro, el mayor valor observado correspondiente a cada duración, obteniéndose un valor para cada año y cada duración. (MTC, 2008, p. 27)

**Figura 4**

*Ejemplo curva IDF para lluvia máxima*



*Nota.* De MTC (2008, p. 28).

Para el MTC (2008): “En nuestro país, debido a la escasa cantidad de información pluviográfica con que se cuenta, difícilmente pueden elaborarse estas curvas” (p.29).

Se puede establecer como un procedimiento lo siguiente:

- Seleccionar las lluvias mayores para diferentes tiempos de duración.
- Ordenar de mayor a menor.
- Asignar a cada valor ordenado una probabilidad empírica.
- Calcular el tiempo de retorno de cada valor.
- Graficar la curva intensidad-frecuencia-duración. (MTC, 2008, p. 37)

### **2.2.15 Modelo Dick Peschke**

Para el caso de duraciones de tormenta menores a 1 hora, o no se cuente con registros pluviográficos que permitan obtener las intensidades máximas, estas pueden ser calculadas

mediante la metodología de Dick Peschke que relaciona la duración de la tormenta con la precipitación máxima en 24 horas. (MTC, 2008, p. 37)

La expresión matemática es:

### **Fórmula 12**

*Precipitación total*

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

Donde:

$P_d$  = Precipitación total (mm)

$d$  = Duración en minutos

$P_{24h}$  = Precipitación máxima en 24 horas (mm)

La intensidad se halla dividiendo la precipitación  $P_d$  entre la duración. Las curvas de intensidad-duración-frecuencia, se han calculado indirectamente, mediante la siguiente relación:

### **Fórmula 13**

*Intensidad máxima*

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

Donde:

$P_d$  = Intensidad máxima (mm/h)

$K, m, n$  = factores característicos de la zona de estudio

$T$  = periodo de retorno en años

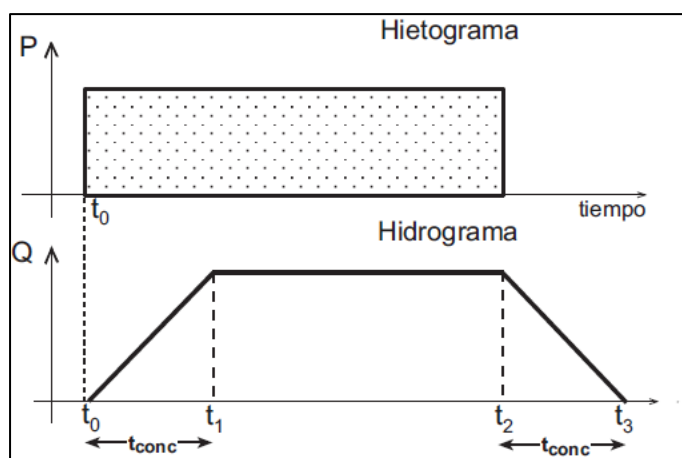
$t$  = duración de la precipitación equivalente al tiempo de concentración (min) (MTC, 2008, p. 38)

### 2.2.16 Hietograma

La intensidad de la precipitación varía en cada instante durante el curso de una misma tormenta de acuerdo a las características de ésta. Cuando se hace el análisis de tormentas es indispensable determinar estas variaciones porque de ellas dependen muchas condiciones que hay que fijar para las obras de ingeniería. Esto se consigue mediante el hietograma o histograma de precipitación, que es un gráfico de forma escalonada que representa la variación de la intensidad (en mm/h) de la tormenta en el transcurso de la misma (en minutos u horas). (UDEP, s.f., p. 22)

### Figura 5

Representación de un hietograma e hidrograma



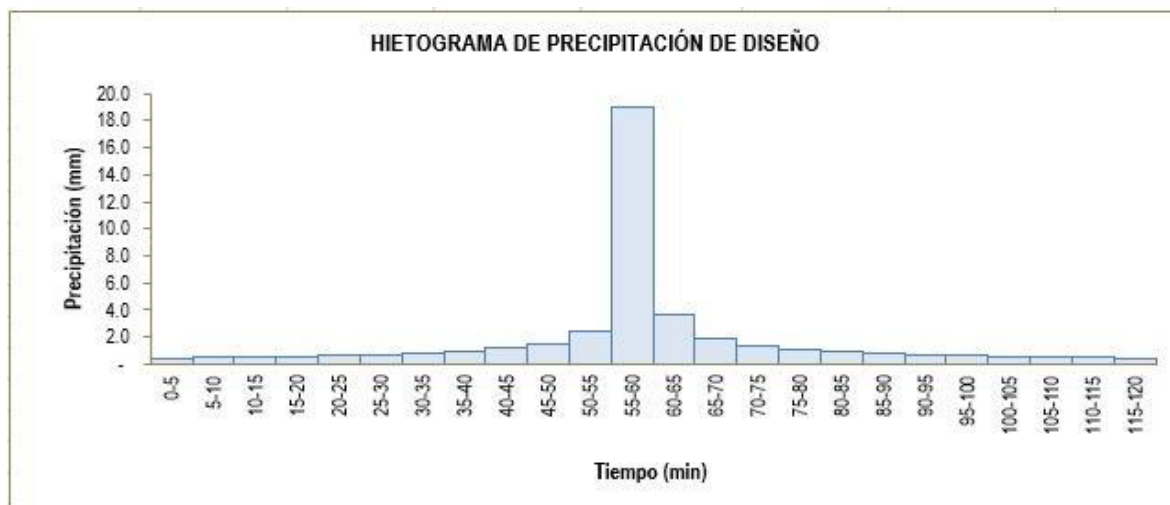
**Nota.** La letra “P” significa precipitación, “ $t_0$ ” tiempo inicial, “ $t_1, t_2, t_3$ ” tiempos 1, 2 y 3, “Q” caudal, “ $t_{conc}$ ” tiempo de concentración. De Sánchez (2017, p. 2).

### 2.2.17 Método del bloque alterno

El método del bloque alterno es una forma simple para desarrollar un hietograma de diseño utilizando una curva duración-frecuencia. El hietograma de diseño producido por este método especifica la profundidad de precipitación en  $n$  intervalos de tiempo sucesivos de duración  $D_t$ , sobre una duración total de  $Td = n \times D_t$  (Consultores Ingenieros en Diseño Hidráulico y Medio Ambiente [CIDHMA], 2020, p. 17).

**Figura 6**

*Representación de un hietograma*



*Nota.* Hietograma extraído de la estación Antioquia de 1965-2017.

### 2.2.18 Tormentas de diseño

Una tormenta de diseño se define como:

Patrón de precipitación para ser usado en el diseño de un sistema hidrológico; generalmente se emplean como dato de entrada en el análisis de modelos de lluvia-escorrentía para estimar hidrogramas de avenidas en cuencas; para una zona en particular, la selección de la tormenta de diseño, no es un trabajo sencillo, pues la intensidad de la lluvia no es constante, ni el tiempo, ni en el espacio. Es dentro de este contexto, donde el hidrólogo debe seleccionar una tormenta de diseño; la variación en el tiempo de la lluvia caída durante una tormenta, tiene una gran influencia en la forma de la onda de crecida. Debido a ello, el hietograma de la tormenta debe ser considerado en la definición de una tormenta de diseño. Varios autores han estudiado las tormentas de diseño, entre ellos el modelo del SCS. (UDEP, s.f., p. 23)

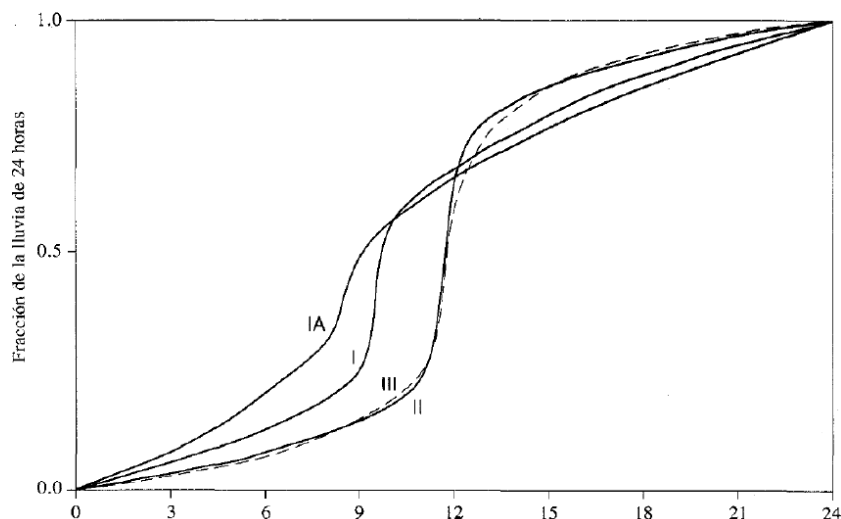
### 2.2.19 Modelo del SCS

Según el Servicio de Conservación de Recursos Naturales (USSCS):

Se desarrolló hietogramas sintéticos empleando la información presentada por Hershfield en 1961 y Miller *et al* en 1973. Estos hietogramas son para precipitación de 24 horas y propone 4 distribuciones: Tipo I, IA, II, y III. Las distribuciones son propuestas en base al patrón de precipitación para 4 zonas de EE.UU., motivo por el cual es el método más usado en EE.UU. (UDEP, s.f., p. 25)

#### Figura 7

*Hietogramas de lluvia de 24 horas del SCS*



**Nota.** Las curvas son las cuatro distribuciones de Tipo I, IA, II y III. De Rojo (s.f., p. 19).

### 2.2.20 Método de Muskingum

Es un método para calcular el hidrograma de una avenida en su tránsito por el cauce, teniendo en cuenta el efecto de laminación. En la actualidad es un procedimiento muy utilizado para calcular el tránsito de una avenida por el cauce de una cuenca grande. (Enríquez y Enríquez, 2011, p.44)

Tiene en cuenta dos parámetros, uno relacionado con la capacidad almacenamiento (laminación) del cauce en cada tramo, de carácter adimensional, (X), y otro relacionado

con el tiempo que tarda la onda de avenida en desplazarse por el tramo considerado, con unidades de “tiempo”, (K). (Enríquez y Enríquez, 2011, p.44)

Parte de la consideración inicial de que el agua almacenada en un tramo, S, es proporcional al agua que entra I y al agua que sale O, de la forma:

### **Fórmula 14**

*Método de Muskingum*

$$S = K[XI + (1 - X)O]$$

Donde:

S= agua almacenada en un tramo.

K= tiempo.

X= capacidad de almacenamiento.

I= agua que ingresa.

O= agua que sale. (Enríquez y Enríquez, 2011, p.45)

## **2.3 Estudio del riesgo**

### **2.3.1 Inundación**

Para INDECI (2020): “Una inundación es el desborde lateral de las aguas de los ríos, lagos y mares que cubren temporalmente los terrenos bajos adyacentes. Suele ocurrir en épocas de lluvias intensas, marejadas y en caso de tsunami”.

La inundación es el rebase de los límites normales de confinamiento de una corriente u otro cuerpo de agua, o la acumulación de la misma sobre áreas que por lo general no están sumergidas. Las inundaciones incluyen las fluviales, asociadas con desbordamiento de ríos; súbitas (flash floods); urbanas (p. ej., las provocadas por la falla del sistema de alcantarillado); pluviales (caracterizadas porque el agua acumulada proviene de la precipitación sobre la zona afectada, no de otros lugares, como de la

parte alta de la cuenca); costeras, y asociadas con deslizamientos de glaciares. (IPCC, 2012, p. 189)

Según ANA (s.f.): “Es el desbordamiento del agua fuera de los confines normales de un río o cualquier masa de agua” (p. 13).

### ***2.3.2 Fenómeno El Niño***

El Niño – Oscilación del Sur (ENOS) es un evento natural de la variabilidad climática en el que se interrelacionan el océano y la atmósfera en la región tropical del Océano Pacífico. Este término se hizo conocido a partir de los años ochenta, cuando la comunidad científica demostró que había una interacción entre el océano y la atmósfera que lo explicaba. La fase cálida del ENOS corresponde a El Niño, calentamiento oceánico e IOS negativo, mientras que la fase fría del ENOS; corresponde a La Niña, enfriamiento oceánico e IOS positivo. Fenómeno contrario al fenómeno El Niño, caracterizado por presentar un enfriamiento de la temperatura superficial del mar. (SENAMHI, 2014, p. 10)

### ***2.3.3 Cambio climático***

El cambio climático es la variación del estado del clima identificable (por ejemplo, mediante pruebas estadísticas) en las variaciones del valor medio y/o en la variabilidad de sus propiedades, que persiste durante largos períodos de tiempo, generalmente decenios o períodos más largos. El cambio climático puede deberse a procesos internos naturales o a forzamientos externos tales como modulaciones de los ciclos solares, erupciones volcánicas o cambios antropógenos persistentes de la composición de la atmósfera o del uso del suelo. La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), en su artículo 1, define el cambio climático como “cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera global y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables”.

La CMNUCC diferencia, pues, entre el cambio climático atribuible a las actividades humanas que alteran la composición atmosférica y la variabilidad climática atribuible a causas naturales. (IPCC, 2012, pp. 181-182)

#### **2.3.4 Variabilidad climática**

La variabilidad climática denota las variaciones del estado medio y otras características estadísticas (desviación típica, sucesos extremos, etc.) del clima en todas las escalas espaciales y temporales más amplias que las de los fenómenos meteorológicos, ej. el Fenómeno El Niño. (IPCC, 2012, p. 198)

#### **2.3.5 Peligro-Amenaza**

El peligro se define como la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno natural o tecnológico, potencialmente dañino para un periodo de tiempo específico, en una localidad o zona conocidas. En la mayoría de los casos se identifica con el apoyo de la ciencia y tecnología, en el caso del Perú el término amenaza se utiliza para señalar un peligro inminente.

Los peligros-amenazas pueden ser:

- De origen natural o generados por los procesos dinámicos propios del planeta (p. ej. Terremotos, maremotos, etc.)
- Socio-natural, si afectan a los seres humanos y sus procesos de desarrollo (p. ej. Derrumbes, aludes, etc.)
- Inducidos por la actividad o acción de los seres humanos (p. ej. Inundaciones, vientos fuertes, lluvias intensas, heladas, sequías, etc.) (UNESCO, 2011, pp. 10-11).

#### **2.3.6 Vulnerabilidad**

Según la UNESCO (2011): “Se define como el grado de resistencia y/o exposición de un elemento o de un conjunto de elementos frente a la ocurrencia de un peligro-amenaza. La vulnerabilidad puede ser de distintos tipos: física, social, económica, cultural, institucional, entre otros” (p. 12).



### **2.3.7 Riesgo**

El riesgo es la suma de las posibles pérdidas que ocasionaría un desastre u otro evento adverso en términos de vidas, condiciones de salud, medios de sustento, bienes y servicios, en una comunidad o sociedad particular en un período específico de tiempo en el futuro. Está en función de la amenaza-peligro y la vulnerabilidad, y es directamente proporcional a estos dos factores, por lo que se puede afirmar que el riesgo es dinámico y que puede aumentar o disminuir en la medida que ambos factores o uno de ellos varíen. (UNESCO, 2010, p. 10)

## **2.4 Estudio del modelamiento hidrológico**

### **2.4.1 Sistema de modelado hidrológico (HEC-HMS)**

Desarrollado en 1967 por el Hydrologic Engineering Center (HEC), del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos, diseñado para la transformación lluvia-escorrentía en cuencas rurales, pero perfectamente puede ser usado para resolver cuencas urbanas, gracias a algunos procesos que funcionan con este tipo de cuenca. El modelo es convertido en el estándar del cálculo hidrológico por su fácil uso y dominio público, no ha sufrido variaciones a excepción de sus formatos de entrada y salida de datos, además, de tener un módulo para su adaptabilidad con información GIS (HEC-GeoHMS). (Sánchez, 2020, p. 2)

### **2.4.2 Filosofía del modelo HEC-HMS**

El modelo se asemeja al comportamiento del escurrimiento superficial de una cuenca natural; el programa está estructurado por subrutinas, para resolver cada uno de los requerimientos de la cuenca; permite dividir la cuenca en subcuencas con características homogéneas, las subcuencas se interrelacionan mediante la propagación y combinación de sus flujos; la conectividad de las subcuencas está en función del orden que se integran los datos y se relacionan entre ellas. (Sánchez, 2020, p. 4)

### **2.4.3 Utilidades del HEC-HMS**

Para Sánchez (2020) estas son las utilidades:

- Estudio de tránsito de avenidas.
- Simulación hidrológica continua
- Incorporación de flujo base.
- Simulación hidrológica de un evento.
- Estudio de laminación de presas.
- Estimación de parámetros.
- Pronóstico de avenidas.
- Análisis hidrológico a tiempo real.
- Análisis de cuencas urbanas.
- Análisis de cuencas rurales. (p. 5)

### **2.4.4 Estudio hidrológico**

El estudio hidrológico se puede diferenciar en dos tipos:

- **Estudio hidrológico continuo:** Se simula un periodo largo y continuo se puede modelar la precipitación sólida y líquida, además, de evapotranspiración. También posee un método de cálculo de derretimiento de nieve utilizando un algoritmo de temperatura. Los métodos para la evapotranspiración incluyen el promedio mensual, el método de Priestel y Taylor. (Sánchez, 2020, p. 7)
- **Estudio hidrológico simple:** Según Sánchez (2020) “se evalúa los procesos hidrológicos de un evento de lluvia o de algunos eventos de lluvia seguidos; en este tipo de estudio no es necesario considerar evapotranspiración, ni derretimiento de nieve” (p. 7).

**Tabla 3***Componentes del HEC-HMS*

<b>Modelo de Cuenca</b>	<b>Modelo Meteorológico</b>	<b>Especificaciones de control</b>
Sirve para representar la parte física de la cuenca.	El modelo meteorológico calcula y asigna la precipitación requerida a cada subcuenca.	Las especificaciones de control fijan el tiempo de duración de cada simulación.
El usuario desarrolla el modelo de cuenca agregando y conectando elementos hidrológicos.	Tiene la capacidad de modelar precipitación sólida y líquida.	La información que se asigna es una fecha de inicio, una fecha de finalización y el intervalo de tiempo de la simulación.
Se pueden tener más de un Modelo de Cuenca.	Se pueden tener más de un Modelo Meteorológico.	Se puede tener más de una Especificación de Control.
<b>Datos de entrada</b>		
Series de tiempo, series de pares, datos de grid.		

*Nota.* Adaptado de Sánchez (2020, p. 21).

**2.4.5 Modelo de cuenca****Tabla 4***Elementos del modelo cuenca*

<b>Elemento</b>	<b>Función</b>
<b>Subcuenca</b>	El elemento subcuenca es utilizado para representar la parte física de la cuenca y donde se coloca la información de la misma.
<b>Alcanzar</b>	Este elemento es utilizado para trasladar el flujo aguas abajo en el modelo de cuenca. El gasto de entrada a este elemento puede venir de uno o más elementos aguas arriba. El flujo de salida es calculado en base al tránsito y la atenuación del hidrograma de entrada.
<b>Reservorio</b>	El reservorio se utiliza para modelar la detención y atenuación de un hidrograma causada por un reservorio, estanque de detención, embalse. El gasto de entrada puede venir de uno o más elementos hidrológicos. El caudal de salida puede ser calculado de tres formas. El usuario puede definir tablas de almacenamiento-descarga, elevación-almacenamiento-descarga, altura-área-descarga. Se puede introducir también una relación entre la elevación y el almacenamiento o la elevación y el área y definir una o más estructuras de salida, o especificar una serie de tiempo de caudal de salida.
<b>Unión</b>	Una unión se utiliza para unir el caudal proveniente de uno o más elementos hidrológicos. El caudal de salida es calculado simplemente sumando todas las entradas y asumiendo que no existe almacenamiento en la unión.
<b>Desvío</b>	Sirve para desviar el caudal. La entrada puede venir de uno o más elementos. El caudal desviado es calculado utilizando la información dada y cada uno de los caudales puede ser conectado a elementos hidrológicos.
<b>Fuente</b>	Este elemento sirve para agregar o incorporar un hidrograma al modelo.
<b>Hundir</b>	Este elemento es utilizado para representar la salida de la cuenca. El gasto de entrada a este elemento puede venir de uno o más elementos. No hay gasto de salida en este elemento.

*Nota.* Adaptado de Sánchez (2020, pp. 22-23).

### **2.4.6 Determinación de caudales**

#### **Métodos:**

- Lluvias basadas en análisis de frecuencias
- Estaciones ponderadas por influencia
- Precipitación en Raster
- Ponderado por el inverso de la distancia
- Distribución de Tormenta tipo SCS
- Tormenta estándar de proyecto

El método utilizado en el estudio es:

**2.4.6.1. Hietograma especificado.** En este método el usuario introduce el hietograma de lluvia que será usado en cada subcuenca. Según Sánchez para el cálculo se necesita:

- Registro de tormentas (día de inicio y finalización e intervalo de medición) en las estaciones pluviográficas que serán usados en cada subcuenca.
- Identificación de las estaciones y sus correspondientes subcuencas (2020, p. 15).

### **2.4.7 Determinación de pérdidas**

Para Sánchez, las pérdidas se clasifican en:

- Pérdidas por intercepción
- Pérdidas por encharcamiento
- Pérdidas por evapotranspiración
- Pérdidas por infiltración (2020, pp. 17-18).

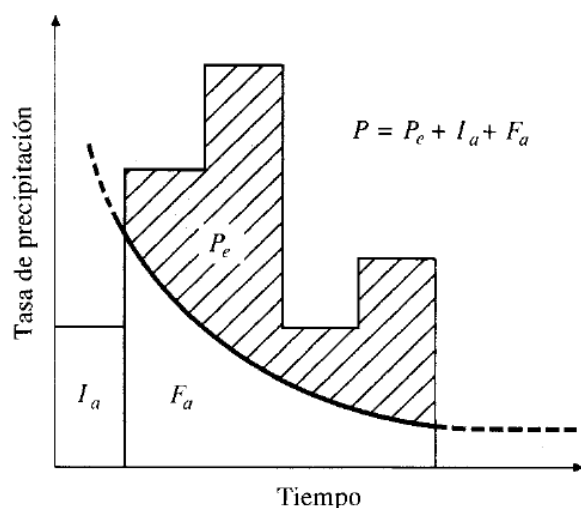
En el presente estudio se determinaron las pérdidas por infiltración haciendo uso del siguiente método:

**2.4.7.1. Método SCS.** El Soil Conservation Service (Servicio de Conservación de Suelos, 1972) desarrolló para calcular las abstracciones de la precipitación de una

tormenta. Para la tormenta como un todo, la profundidad de exceso de precipitación o escorrentía directa  $P_e$  es siempre menor o igual a la profundidad de precipitación  $P$ ; de manera similar, después de que la escorrentía se inicia, la profundidad adicional del agua retenida en la cuenca  $F_a$  es menor o igual a alguna retención potencial máxima  $S$ . Existe una cierta cantidad de precipitación  $I_a$  (abstracción inicial antes del encharcamiento) para lo cual no ocurrirá escorrentía, luego la escorrentía potencial es  $P - I_a$  (Chow *et al*, 1994, p. 150)

### Figura 8

Variables en el método de abstracciones de precipitación del SCS



**Nota.** En el gráfico  $I_a$  = abstracción inicial,  $P_e$  = exceso de precipitación,  $F_a$  = abstracción continuada,  $P$  = precipitación total. De Chow *et al* (1994, p. 151).

La hipótesis del método del SCS consiste en que las relaciones de las dos cantidades reales y las dos cantidades potenciales son iguales, es decir:

$$\frac{F_a}{S} = \frac{P_e}{P - I_a}$$

Del principio de continuidad:

$$P = P_e + I_a + F_a$$

Combinando las dos ecuaciones y resolviendo para  $P_e$  se encuentra:

### Fórmula 15

*Exceso de precipitación*

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

La cual es la ecuación básica para el cálculo de la profundidad de exceso de precipitación o escorrentía directa de una tormenta utilizando el método SCS.

Al estudiar los resultados obtenidos para muchas cuencas experimentales pequeñas, se desarrolló una relación empírica.

$$I_a = 0.2S$$

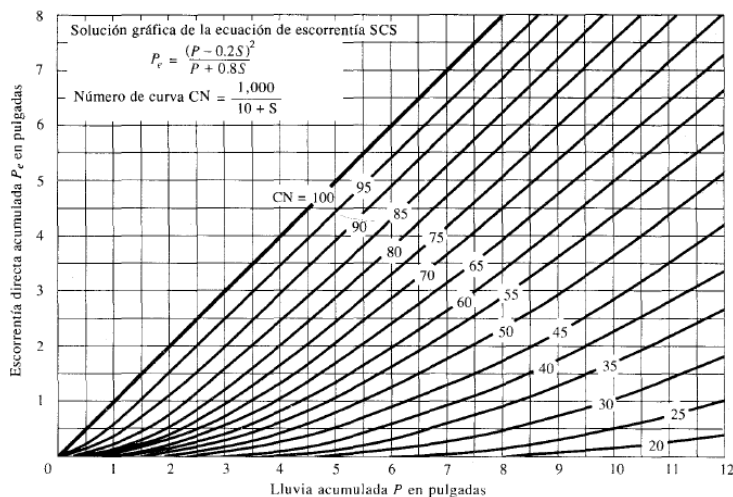
Con base en esto:

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

Al representar en gráficas la información de  $P$  y  $P_e$  para muchas cuencas se encontraron curvas como las que se muestran en Figura 9 (Chow *et al*, 1994, p. 151).

### Figura 9

*Solución de las ecuaciones de escorrentía del SCS*



**Nota.** De *Soil Conservation Service*, 1972, citado por *Chow et al*, 1994, p. 152.

Para estandarizar estas curvas, se define un número adimensional de curva CN, tal que  $0 \leq CN \leq 100$ . Para superficies impermeables y superficies de agua  $CN=100$ ; para superficies naturales  $CN < 100$ .

El número de curva y S se relacionan por:

### Fórmula 16

*Escorrentía*

$$S = \frac{1000}{CN} - 10$$

Donde S está en pulgadas.

Los números de curvas se aplican para condiciones antecedentes de humedad normales (AMC II). Para condiciones secas (AMC I) o condiciones húmedas (AMC III), como se ve en la Tabla 5, los números de curva equivalentes pueden calcularse por:

### Fórmula 17

*Curva numero*

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

$$CN(III) = \frac{23CN(II)}{10 + 0.13CN(II)}$$

**Tabla 5**

*Clasificación de clases antecedentes de humedad (AMC)*

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.** Se muestra el rango para las condiciones antecedentes de humedad para cada clase, se usa para el método de abstracciones de lluvia del SCS. De *Soil Conservation Service*, 1972 citado por Chow *et al* (1994, pp. 151-153).

#### 2.4.8 Número de Curva (CN)

Los métodos para estimar la escorrentía a partir de la precipitación tratan de descontar de la lluvia caída sobre una cuenca todas aquellas pérdidas que se deben a factores tales como la infiltración, la evapotranspiración, la intercepción y el almacenamiento superficial. El procedimiento más generalizado y fácil de adaptar a cualquier región es el método del número de curva (CN), que es un método empírico para el cálculo de la transformación de lluvia-escorrentía. (ANA, 2015, p. 3)

La metodología del número de la curva (CN) es la más empleada para transformar la precipitación total en precipitación efectiva. Esta metodología requiere del conocimiento del tipo y uso de suelo de la cuenca en estudio para lo cual se elaboró la Tabla 6. (ANA, 2015, p. 3)

**Tabla 6**

*Reclasificación del tipo de suelo*

Descripción del suelo	Simbología	Grupo Hidrológico
Leptosol lítico - Afloramiento lítico	LPq-R	B
Leptosol dístrico - Afloramiento lítico	LPd-R	B
Regosol dístrico - Afloramiento lítico	RGd-R	B
Arenosol háplico - Solonchak háplico	ARh-SCh	A

**Nota.** La tabla recoge específicamente información de los tipos de suelo considerados en la metodología para el cálculo del CN para este estudio. Adaptado de ANA (2015, pp. 10-11).

La ANA asigna un código de reclasificación para cada uno de acuerdo al tipo de cobertura y uso del suelo como se muestra en la Tabla 7.



**Tabla 7***Reclasificación de la cobertura*

<b>Descripción de coberturas</b>	<b>Reclasificación</b>
Cuerpos de agua	1
Nevados	2
Centros poblados	3
Cultivos/Áreas intervenidas	4
Matorral arbustivo abierto	5
Pradera en zona de clima frío	6
Sabana de árboles leñosos	7
Sabana hidromórfica	8
Selva lluviosa tropical	9
Selva lluviosa tropical con bambúes	10
Selva temporal de hojas anchas	11
Selva hidrolítica	12
Desierto en zona de clima árido	13

*Nota.* Adaptado de ANA (2015, p. 8).

Los números de curva han sido tabulados por el Soil Conservation Service con base en el tipo de suelo y el uso de la tierra. Se definen cuatro grupos de suelos:

- Grupo A: Arena profunda, suelos profundos depositados por el viento, limos agregados.
- Grupo B: Suelos pocos profundos depositados por el viento, marga arenosa.
- Grupo C: Margas arcillosas, margas arenosas poco profundas, suelos con bajo contenido orgánico y suelos con altos contenidos de arcilla.
- Grupo D: Suelos que se expanden significativamente cuando se mojan, arcillas altamente plásticas y ciertos suelos salinos.

Los valores de CN para varios tipos de uso de la tierra en estos tipos de suelos se muestran en la Tabla 8. Para una cuenca hecha de varios tipos de suelos y con diferentes usos de la tierra, se puede calcular un CN compuesto. (Chow *et al*, 1994, p. 153)

**Tabla 8**

*Números de curva de escorrentía para usos selectos de tierra*

Descripción del uso de la tierra	Grupo hidrológico del suelo			
	A	B	C	D
Tierra cultivada: sin tratamiento 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 del río: condiciones óptimas	30	58	71	78
Bosques: troncos delgados, cubierta pobre, sin hierbas,	45	66	77	83
cubierta buena	25	55	70	77
Áreas abiertas, césped, parques, campos de golf,	39	61	74	80
cementerios, etc.				
óptimas condiciones: cubierta de pasto en el 75% o más				
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:				
Tamaño promedio del lote	Porcentaje promedio impermeable			
1/8 acre o mas	65	77	85	90
1/4 acre	38	61	75	83
1/3 acre	30	57	72	81
1/2 acre	25	54	70	80
1 acre	20	51	68	79
Parqueaderos pavimentados, techos, accesos, etc.	98	98	98	98
Calles y carreteras:				
Pavimentados con cunetas y alcantarillados	98	98	98	98
Grava	76	85	89	91
Tierra	72	82	87	89

**Nota.** 1. Una buena cubierta está protegida del pastizaje, y los desechos del retiro de la cubierta del suelo. 2. Los números de curva se calculan suponiendo que la escorrentía desde las casas y de los sucesos se dirige hacia la calle, con un mínimo del agua del techo dirigida hacia el césped donde puede ocurrir infiltración adicional. 3. Las áreas permeables restantes (césped) se consideran como pastizales en buena condición para estos números de curva. 4. En algunos países con climas más cálidos se puede utilizar 95 como número de curva. De *Soil Conservation Service*, 1972 citado por Chow *et al* (1994, p. 154).

**Tabla 9***Valores de los grupos hidrológicos para el modelo según ANA (2015)*

Descripción de coberturas	Grupo Hidrológico			
	A	B	C	D
Cuerpos de agua	100	100	100	100
Nevados	98	98	98	98
Centros poblados	77	85	90	92
Cultivos/Áreas intervenidas	62	71	78	81
Matorral arbustivo abierto	45	66	77	83
Pradera en zona de clima frío	68	79	86	89
Sabana de árboles leñosos	45	66	77	83
Sabana hidromórfica	25	55	70	77
Selva lluviosa tropical	25	55	70	77
Selva lluviosa tropical con bambúes	25	55	70	77
Selva temporal de hojas anchas	25	55	70	77
Selva hidrolítica	39	61	74	80
Desierto en zona de clima árido	72	81	88	91

*Nota.* De ANA (2015, p. 12).

#### 2.4.9 Transformación precipitación-escorrentía

##### Métodos:

- Hidrograma de la Unidad Clark
- Onda cinemática
- ModClark
- Hidrograma de la Unidad SCS
- Gráfico S especificado por el usuario
- Hidrograma unitario especificado por el usuario. (Sánchez, 2020, p. 19)

El método utilizado en el estudio es:

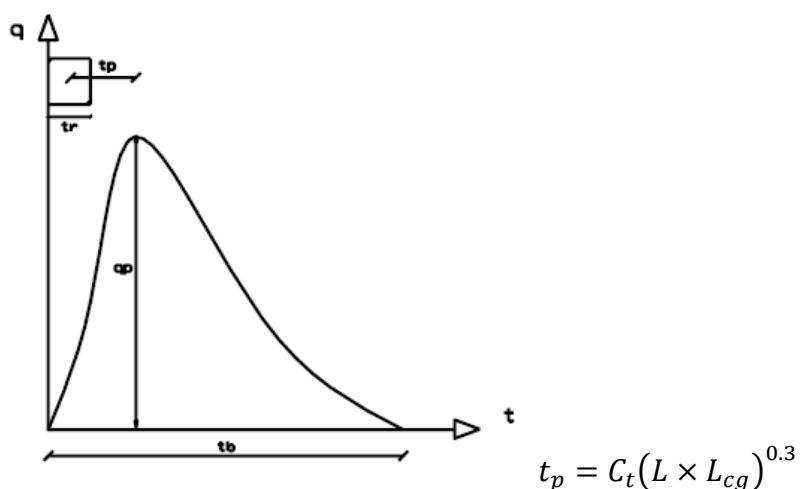
**2.4.9.1. Hidrograma de la Unidad Snyder.** El método de Snyder Unit Hydrograph emplea dos variables que son el tiempo de retardo (TLag), el cual está en función del tiempo al pico (hr) y el coeficiente de pico de Snyder, el cual es adimensional y está en función del flujo máximo, tiempo al pico y área de la cuenca; además, toma en cuenta las características del cauce y de las subcuencas como

parámetros de cálculo del hidrograma, lo cual hace que sea más representativa.

(Cardich, 2017, p. 20)

### Figura 10

*Elementos del método Hidrograma Unitario de Snyder*



**Nota.** Donde  $t_r$  = duración de la lluvia unitaria (horas);  $t_p$  = tiempo de retardo o tiempo transcurrido entre el centro de gravedad de la lluvia efectiva y el pico del hidrograma de escurrimiento directo (en horas);  $t_b$  = tiempo de base del hidrograma (horas);  $q_p$  = caudal pico del hidrograma.  $L$  = longitud de la corriente principal del río desde la estación de aforos – o desembocadura - al punto más alejado de la cuenca (en km);  $L_{cg}$  = distancia entre la estación de salida - desembocadura - y el centro de gravedad de la cuenca, medida sobre el cauce principal, en km;  $C_t$  = coeficiente de retardo de Snyder, dependiente de las características físicas de la cuenca. De Chinchay (2020, pp. 7-8).

El coeficiente  $C_t$  varía entre 1.35 y 1.65 para las áreas de montaña, con inclinación a tomar valores más bajos cuando se trata de cuencas con pendientes altas.

Una forma práctica de determinarlo consiste en aplicar la fórmula propuesta por Taylor - Schwartz:

**Fórmula 18***Coefficiente de retardo*

$$C_t = \frac{1.65}{(\sqrt{i})^{0.38}}$$

Donde:

$i$  = pendiente del curso principal

Conocido el tiempo de retardo ( $t_p$ ) se puede calcular la duración de la lluvia unitaria

( $t_r$ ):

$$t_r(\text{horas}) = \frac{t_p}{5.5}$$

El caudal pico del hidrograma es:

**Fórmula 19***Caudal pico*

$$q_P = \frac{7 \times C_p \times A}{t_p} (m^3/s)$$

El coeficiente pico ( $C_p$ ) es un término adimensional cuya variación está comprendida normalmente entre 0.56 y 0.69, aunque para áreas de montaña con fuertes pendientes el último valor puede ser superado y en las regiones llanas pueden llegar a ajustarse con  $C_p$  menores a 0,5 inclusive. (Chinchay, 2020, pp. 9-11)

**2.4.10 Modelo meteorológico**

El análisis de los datos meteorológicos se realiza a través del modelo meteorológico, que incluye los datos de precipitación. Con el modelo meteorológico lo que se hace es asignar el valor de precipitación que le corresponde a cada subcuenca y como se distribuye en el tiempo. (Cardich, 2017, p. 21)

#### ***2.4.11 Especificaciones de control***

Para Cardich (2017): “Se especifica el intervalo de tiempo de cálculo y la duración total de la simulación que incluyen las horas de inicio y fin de la simulación” (p. 21).

#### ***2.4.12 Simulación del modelo***

Para Cardich (2017): “Es la combinación de los parámetros del modelo de cuenca, modelo meteorológico y de las especificaciones de control” (p. 21).

### **2.5 Estudio del modelamiento hidráulico**

#### ***2.5.1 Sistema de análisis de ríos HEC-RAS***

Es un programa de modelización hidráulica unidimensional compuesto por cuatro tipos de análisis en ríos. Este software permite al usuario realizar:

- Modelización de flujo en régimen permanente.
- Modelización de flujo en régimen no permanente.
- Modelización del transporte de sedimentos.
- Análisis de calidad de agua. (CEIWR-HEC, 2020)

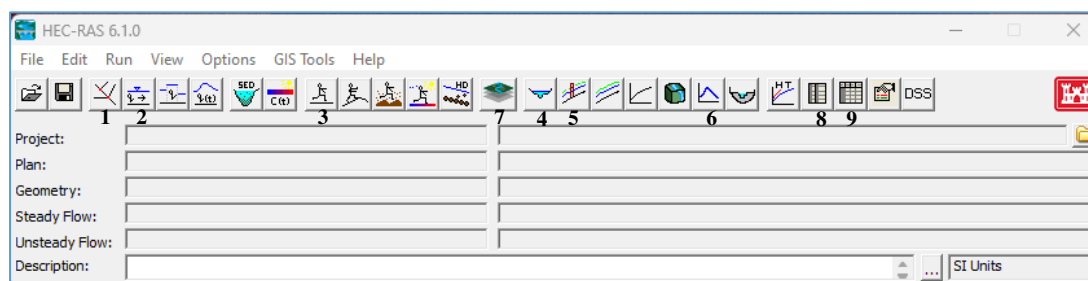
#### ***2.5.2 Funciones del HEC-RAS***

- Cálculo del perfil de la lámina de agua y los parámetros hidráulicos tales como: “canales artificiales” y “cauces naturales”.
- Estudio de los efectos de ciertas “obstrucciones” como: “pilas de puente” y “estrechamiento” (Sánchez, 2020, p. 3).

### 2.5.3 Partes del HEC-RAS

#### Figura 11

##### Partes del programa



**Nota.** 1. Editor de geometría, 2. Editor caudales (Reg. Permanente), 3. Cálculo (Reg. Permanente), 4. Gráfica de secciones transversales, 5. Gráfico de perfiles longitudinales, 6. Gráfica de variables, 7. RAS Mapper 8. Tabla de resultados, 9. Tabla de errores. Adaptado de Sánchez (2020, p. 5).

### 2.5.8 Coeficiente de Manning o características del terreno

El coeficiente de Manning es un parámetro de gran trascendencia en el proceso hidráulico, representa las características físicas de los bordes de inundación y del lecho del cauce. El valor del coeficiente “ $n$ ” depende de algunos factores que influyen en el comportamiento del flujo sobre un contorno de material suelto, deformable y que puede ser transportado. (Núñez, 2017, p. 98)

El coeficiente “ $n$ ” de rugosidad a lo largo de la sección transversal compuesta e irregular no es constante, ya que en las márgenes laterales de inundación la cobertura vegetal presenta características muy diferentes a las observadas en el cauce principal. Adicionalmente este coeficiente de rugosidad depende también de la profundidad de flujo, no se debe mantener un valor fijo de “ $n$ ” para todas las secciones transversales, así como tampoco para toda la gama de caudales. (Núñez, 2017, p. 99)

La selección de coeficientes de Manning para un problema real es frecuentemente discutible. Dejando a un lado que su uso original es para flujo uniforme, su evaluación

práctica posee numerosas incertidumbres. Por otra parte, su influencia en los resultados es siempre significativa. (Marco, 2015, p. 49)

**Evaluación de  $n$  en HEC-RAS:** HEC-RAS usa una fórmula para el cálculo del coeficiente de rugosidad cuando el fondo del canal presenta diferentes valores de  $n$ . La ecuación propuesta por Horton para el flujo uniforme es:

### Fórmula 20

*Coefficiente de rugosidad*

$$n_c = \left\{ \frac{\sum_{i=1}^m n_i^{3/2} x_i}{x} \right\}^{2/3}$$

Donde:

$n_c$ : coeficiente de rugosidad global o compuesta de la sección total

$n_i$ : coeficiente de rugosidad asociado a la subsección  $i$ .

$x_i$ : perímetro mojado de la subsección  $i$ .

$x$ : perímetro mojado de la sección total. (Marco, 2015, p. 49)

**Tabla del coeficiente de rugosidad de Manning:** presenta una lista de valores  $n$  para canales de diferentes clases. Para cada tipo de canal se muestran los valores mínimo, normal y máximo de  $n$ . Los valores normales para canales artificiales dados en la tabla se recomiendan solo para canales con buen mantenimiento. La tabla es muy útil para una rápida selección del valor de  $n$  que debe utilizarse en un determinado problema. (Chow, 1994, p. 107)



**Tabla 10***Valores de coeficiente de rugosidad n*

<b>Valores de Manning</b>				
<b>Tipos de canal y descripción</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Normal</b>	<b>Máximo</b>	
<b>A. Cuencas naturales</b>				
<b>1. Canales principales</b>				
a. Limpio, recto, lleno, sin fisuras, fondo profundo	0.025	0.03	0.033	
b. Igual al anterior, pero con algo de piedras y hierba	0.03	0.035	0.04	
c. Limpio, sinuoso, poco profundo y bancos	0.033	0.04	0.045	
d. Igual al anterior, pero con algo de hierbas y piedras	0.035	0.045	0.05	
e. Igual al anterior, niveles inferiores, más pendientes y secciones menos efectivas	0.04	0.048	0.055	
f. Como el "d" pero más piedras	0.045	0.05	0.06	
g. Tramo lento, hierbas, fondo profundo	0.05	0.07	0.08	
h. Tramo con mayor maleza, fondo profundo, o recorrido de crecidas con soporte de madera y arbustos bajos	0.07	0.1	0.15	
<b>2. Llanura de inundación</b>				
a. Pastura sin arbustos				
1. Pasto corto	0.025	0.03	0.035	
2. Pasto alto	0.03	0.035	0.05	
b. Áreas cultivadas				
1. Sin cultivo	0.02	0.03	0.04	
2. Cultivo maduro alineado	0.025	0.035	0.045	
3. Campo de cultivo maduro	0.03	0.04	0.05	
c. Arbustos				
1. Arbustos escasos, mucha maleza	0.035	0.05	0.07	
2. Pequeños arbustos y árboles, en invierno	0.035	0.05	0.06	
3. Pequeños arbustos y árboles, en verano	0.04	0.06	0.08	
4. Arbustos mediano a denso, en invierno	0.045	0.07	0.11	
5. Arbustos mediano a denso, en verano	0.07	0.1	0.16	
d. Árboles				
1. Terreno despejado con tocones de árboles, sin brotes	0.03	0.04	0.05	
2. Igual que el anterior, pero con muchos brotes	0.05	0.06	0.08	
3. Soporte de madera, algunos árboles caídos, pequeño crecimiento inferior, flujo por debajo de las ramas	0.08	0.1	0.12	
4. Igual al anterior, pero con flujo por encima de las ramas	0.1	0.12	0.16	
5. Sauces densos, en verano, rectos	0.11	0.15	0.2	
<b>3. Cauces de montañas, sin vegetación en el canal, márgenes usualmente empinados, con árboles y arbustos sobre márgenes sumergidos</b>				
a. Fondo: grava, guijarros, y algo de cantos rodados	0.03	0.04	0.05	
b. Fondo: guijarros con mucho canto rodado	0.04	0.05	0.07	

*Nota.* Adaptado de Chow (1994, pp. 110-111).

### III. MÉTODO

#### 3.1 Tipo de investigación

Campos (1982), como se citó en Pineda *et al* define: “Es el esquema general o marco estratégico que le da unidad, coherencia, secuencia y sentido práctico a todas las actividades que se emprenden para buscar respuesta al problema y objetivos planteados” (1994, p. 80).

El tipo de investigación se define preliminarmente desde la etapa de identificación y formulación del problema; sin embargo, cada etapa del proceso de investigación provee de elementos que sirven para su selección definitiva. La revisión de literatura y la consulta a personas conocedoras del tema de estudio contribuye a una mejor elección. (Pineda *et al*, 1994, pp. 80-82)

En ese sentido a continuación se menciona el tipo de investigación y las clasificaciones sobre tipos de estudios correspondientes:

El tipo de investigación es cuantitativa, al respecto se señalan cuatro clasificaciones:

- **Según la intervención del investigador:** es no experimental, porque no existe intervención, los datos reflejan la evolución natural de los eventos.
- **Según el tiempo de ocurrencia de los hechos y registros de la información:** es retrospectivo porque se registra información sobre hechos ocurridos con anterioridad al diseño del estudio.
- **Según el periodo y secuencia del estudio:** es transversal porque todas las variables son medidas en una sola ocasión; por ello de realizar comparaciones, se trata de muestras independientes.
- **Según análisis y alcance de los resultados:** es descriptivo porque está dirigido a determinar “como esta” la situación de las variables en la muestra. La presencia o ausencia, la frecuencia de un fenómeno, y en quienes, dónde y cuándo se está presentando determinado fenómeno.

### **3.2 Ámbito temporal y espacial**

El ámbito temporal de la investigación comprende el periodo de registro total de la información pluviométrica correspondiente a los años de 1965-2017, este periodo suma un total de 52 años, tiempo adecuado para la realización de este tipo de estudios, facilitado por el SENAMHI; este periodo fue seleccionado porque comprende 6 estaciones con la mayor cantidad de información anual completa: Antioquia, Ñaña, Matucana, San Lorenzo de Escomarca, Santa Eulalia y Santiago de Tuna (52 años), seguido de Huarochirí (50 años), Langa (38 años), Chosica (29 años), Chalilla (16 años) y Manchay Bajo (16 años); cuyos periodos de registro por estación se detallan en la Tabla 11 y Tabla 12.

**Tabla 11**

*Información de las estaciones hidrometeorológicas 1965-1990*

N°	Estación	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990
1	Antioquía	☁	☁	☁	☁	☁	☁	☁	☁	☁	☁	☁	☁	☁	☁	☁	☁	☁	☁	☁	☁	☁	☁	☁	☁	☁	☁
2	Chalilla					☁	☁	☁	☁	☁	☁	☁	☁	☁	☁	☁	☁	☁	☁	☁	☁						
3	Chosica																									☁	☁
4	Huarocharí	☁	☁	☁	☁	☁	☁	☁	☁	☁	☁	☁	☁	☁	☁	☁	☁				☁	☁	☁	☁	☁	☁	☁
5	Langa																☁	☁	☁	☁	☁	☁	☁	☁	☁	☁	☁
6	Manchay bajo	☁	☁	☁	☁	☁	☁	☁	☁	☁	☁	☁	☁	☁	☁	☁											
7	Matucana	☁	☁	☁	☁	☁	☁	☁	☁	☁	☁	☁	☁	☁	☁	☁	☁	☁	☁	☁	☁	☁	☁	☁	☁	☁	☁
8	Ñaña	☁	☁	☁	☁	☁	☁	☁	☁	☁	☁	☁	☁	☁	☁	☁	☁	☁	☁	☁	☁	☁	☁	☁	☁	☁	☁
9	San Lázaro de Escomarca	☁	☁	☁	☁	☁	☁	☁	☁	☁	☁	☁	☁	☁	☁	☁	☁	☁	☁	☁	☁	☁	☁	☁	☁	☁	☁
10	Santa Eulalia	☁	☁	☁	☁	☁	☁	☁	☁	☁	☁	☁	☁	☁	☁	☁	☁	☁	☁	☁	☁	☁	☁	☁	☁	☁	☁
11	Santiago de Tuna	☁	☁	☁	☁	☁	☁	☁	☁	☁	☁	☁	☁	☁	☁	☁	☁	☁	☁	☁	☁	☁	☁	☁	☁	☁	☁

*Nota.* Años de registro (☁).

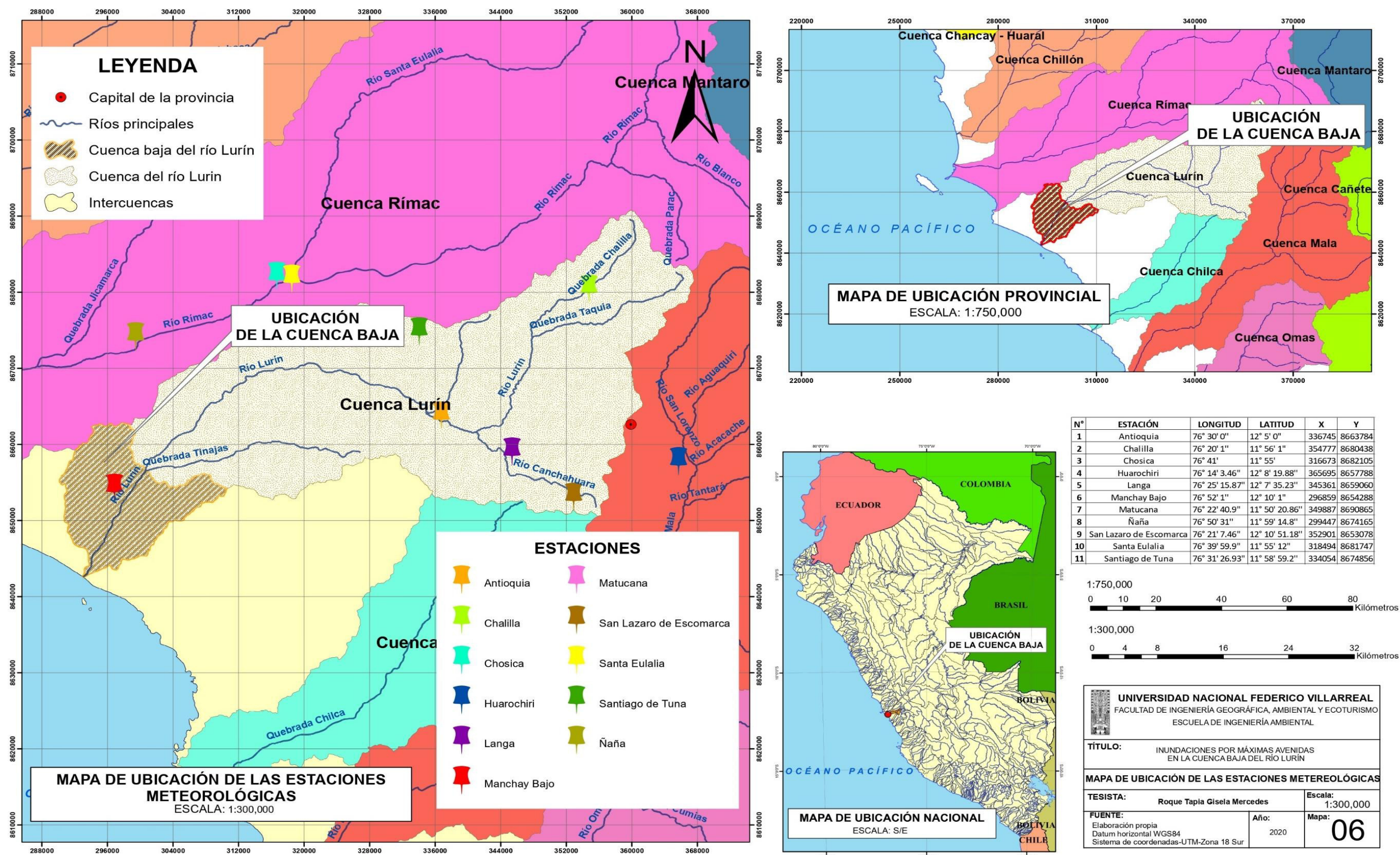
**Tabla 12***Información de las estaciones hidrometeorológicas 1991-2017*

N°	Estación	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
1	Antioquía																											
2	Chalilla																											
3	Chosica																											
4	Huarocharí																											
5	Langa																											
6	Manchay bajo																											
7	Matucana																											
8	Ñaña																											
9	San Lázaro de Escomarca																											
10	Santa Eulalia																											
11	Santiago de Tuna																											

**Nota.** Años de registro (☁).

Figura 12

Ubicación de las estaciones meteorológicas



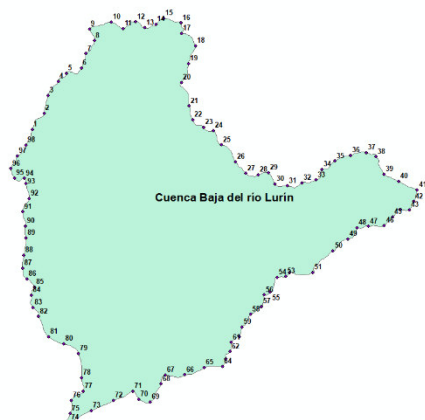
**Tabla 13***Red de estaciones meteorológicas*

Nº	Estación	Cuenca	Región	Provincia	Distrito	X	Y	Altitud (msnm)
1	Antioquía	Lurín	Lima	Huarocharí	Antioquía	336745	8663784	1839
2	Chalilla	Lurín	Lima	Huarocharí	San Damián	354777	8680438	3975
3	Chosica	Rímac	Lima	Lima	Lurigancho	316673	8682105	863
4	Huarocharí	Mala	Lima	Huarocharí	Huarocharí	365695	8657788	3120
5	Langa	Lurín	Lima	Huarocharí	Langa	345361	8659060	2863
6	Manchay bajo	Lurín	Lima	Lima	Pachacamac	296859	8654288	164
7	Matucana	Rímac	Lima	Huarocharí	Matucana	349887	8690865	2417
8	Ñaña	Rímac	Lima	Lima	Lurigancho	299447	8674165	543
9	San Lázaro de Escomarca	Lurín	Lima	Huarocharí	Langa	352901	8653078	3758
10	Santa Eulalia	Rímac	Lima	Huarocharí	Santa Eulalia	318494	8681747	970
11	Santiago de Tuna	Lurín	Lima	Huarocharí	Santiago de Tuna	334054	8674856	2924

**Nota.** Adaptado de SENAMHI (2020).

El ámbito espacial comprende una longitud de 16.64 km correspondiente a la cuenca baja del río Lurín; se encuentra ubicada (en gran medida) en los distritos de Villa María del Triunfo, Lurín, Pachacamac y Huarocharí, en las provincias de Lima y Huarocharí con una superficie de 200.54 km<sup>2</sup>, constituyendo el 12.21% del total de la unidad hidrográfica.

Definida en la zona 18S, entre los siguientes puntos, se muestra en la Figura 13 y Tabla 14:

**Figura 13***Puntos UTM de la cuenca baja del río Lurín*

**Tabla 14***Ubicación, coordenadas UTM cuenca baja del río Lurín*

<b>Punto</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>
1	291176	8657269
2	291777	8658075
3	291985	8658986
4	292493	8659681
5	292910	8660096
6	293654	8660358
7	293891	8661084
8	294311	8661732
9	294055	8662313
10	295158	8662680
11	295762	8662353
12	296380	8662689
13	296844	8662384
14	297421	8662568
15	297792	8662864
16	298665	8662633
17	298678	8662097
18	299389	8661486
19	299032	8660573
20	298692	8659632
21	299063	8658446
22	299250	8657751
23	299805	8657378
24	300294	8657208
25	300692	8656492
26	301405	8655632
27	301909	8655056
28	302540	8654981
29	303048	8655088
30	303381	8654521
31	304006	8654431
32	304740	8654583
33	305445	8654723
34	305755	8655255
35	306404	8655674
36	307183	8655957
37	307982	8656096
38	308471	8655892
39	308876	8655015



40	309598	8654654
41	310543	8654223
42	310366	8653637
43	310143	8653216
44	309693	8653252
45	309311	8652858
46	308886	8652431
47	308080	8652388
48	307522	8652332
49	307062	8651761
50	306306	8651160
51	305295	8650076
52	304118	8650064
53	303936	8649872
54	303491	8649821
55	303153	8649084
56	302849	8648939
57	302713	8648352
58	302157	8647967
59	301739	8647330
60	301588	8646842
61	301191	8646554
62	301133	8646086
63	300915	8645722
64	300759	8645335
65	299830	8645290
66	298857	8644921
67	297877	8644900
68	297641	8644455
69	297113	8643550
70	296535	8643680
71	296232	8644088
72	295251	8643623
73	294138	8643110
74	293070	8642529
75	293090	8642965
76	293148	8643627
77	293735	8644088
78	293651	8644770
79	293502	8645987
80	292762	8646479
81	291996	8646843

82	291480	8647854
83	291221	8648302
84	291137	8648937
85	291288	8649331
86	290917	8649745
87	290699	8650291
88	290764	8650931
89	290856	8651813
90	290847	8652396
91	290707	8653124
92	291014	8653795
93	290869	8654557
94	290783	8654807
95	290280	8654818
96	290113	8655300
97	290421	8655942
98	290860	8656481

### 3.3 Variables

La presente investigación posee la variable independiente y dependiente, se presenta en la Tabla 15.

**Tabla 15**

*Variables*

<b>Independiente</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Unidad de Medida</b>
Máximas Avenidas	Precipitación máxima en 24 horas	mm
	Tiempo de retorno	años
	Uso mayor del suelo	adimensional
	Tipo de suelo	adimensional
	Tipo de cobertura	adimensional
	Tiempo de concentración	horas
<b>Dependiente</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Unidad de Medida</b>
Riesgo de inundaciones fluviales	Caudal	m <sup>3</sup> /s
	Topografía del río	adimensional
	Zonas inundadas	ha

### 3.4 Población y muestra

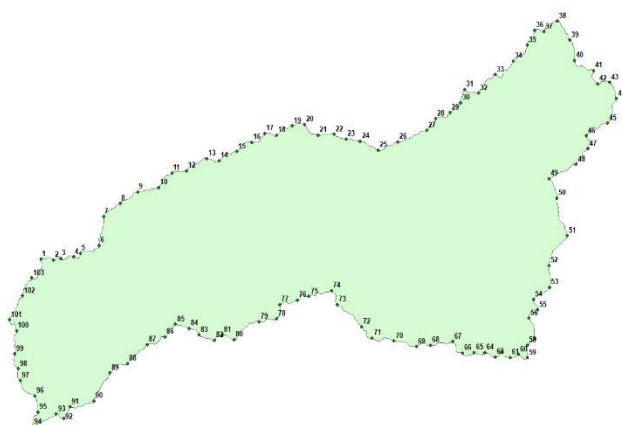
#### 3.4.1 Población

El universo de la investigación corresponde al ámbito de la cuenca hidrográfica del río Lurín ubicada en 4 distritos de la provincia de Lima (Villa María del Triunfo, Lurín, Pachacamac y Cieneguilla) y 6 distritos de la provincia de Huarochirí (Huarochirí, Antioquia, Langa, San Damián, San Andrés de Tupicocha y Cuenca), región Lima.

Definida en la zona 18S, entre los siguientes puntos, como se muestra en la Figura 14 y la Tabla 16:

**Figura 14**

*Puntos UTM cuenca del río Lurín*



**Tabla 16**

*Coordenadas UTM de la cuenca del río Lurín*

Puntos	X	Y
1	294162	8662437
2	295762	8662353
3	296647	8662525
4	298315	8662693
5	299194	8663115
6	301580	8664037
7	302135	8667476
8	304280	8669044

9	306533	8670404
10	309179	8670957
11	310866	8672645
12	312777	8672913
13	315296	8674359
14	316916	8674132
15	319191	8675212
16	321106	8676309
17	322751	8677361
18	324259	8677152
19	326245	8678253
20	327849	8678418
21	329573	8677144
22	331587	8677250
23	333148	8676705
24	334941	8676440
25	337204	8675386
26	339727	8676357
27	343429	8677717
28	344569	8679111
29	346436	8679831
30	347769	8681008
31	348283	8682574
32	350030	8682147
33	352142	8684322
34	354514	8685944
35	356283	8687838
36	357226	8689596
37	358374	8689414
38	360082	8690675
39	361700	8688436
40	362285	8686013
41	364740	8684816
42	365265	8683226
43	366794	8683394
44	367624	8681479
45	366542	8678576
46	363791	8677053
47	364026	8675533
48	362523	8673681
49	359040	8672011
50	360066	8669659

51	361341	8665221
52	359024	8661657
53	359118	8659084
54	357048	8657647
55	357610	8656424
56	356468	8655419
57	357249	8653026
58	356299	8652205
59	356273	8650719
60	355160	8651126
61	354102	8650744
62	352950	8651425
63	352165	8650849
64	350826	8651357
65	349490	8651346
66	347999	8651281
67	346754	8652638
68	343872	8652236
69	342090	8652051
70	339235	8652717
71	336462	8653073
72	335122	8654420
73	331969	8657039
74	331240	8658720
75	328389	8658005
76	326919	8657577
77	324652	8657063
78	324277	8655368
79	321985	8654992
80	318860	8652880
81	317332	8653443
82	316300	8652817
83	314340	8653439
84	313073	8654203
85	311325	8654697
86	309998	8653201
87	307705	8652304
88	305206	8650033
89	302976	8648950
90	300884	8645584
91	297877	8644900
92	297071	8643526

93	296111	8644054
94	293070	8642529
95	293757	8644264
96	293389	8646213
97	291484	8648024
98	291255	8649411
99	290790	8651192
100	291032	8653932
101	290114	8655224
102	291777	8658075
103	292953	8660196

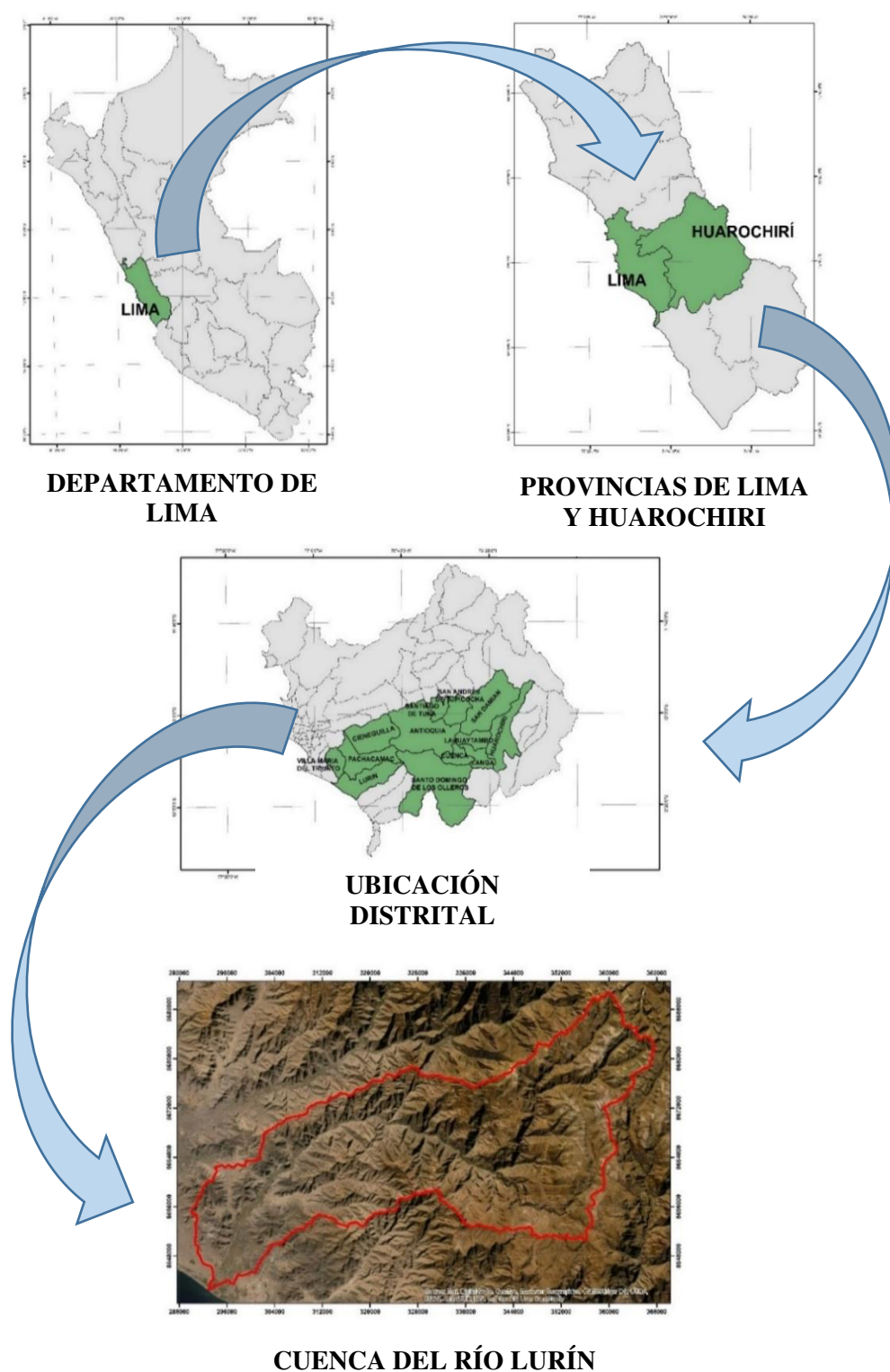
**3.4.1.1. Descripción de la cuenca.** “Se encuentra en la parte centro-oeste del Perú, hacia el sur de la capital de la misma. Se encuentra en la vertiente del Pacífico y políticamente comprende las provincias de Lima y Huarochirí, perteneciente al departamento de Lima” (ANA, 2019, p.175).

Está ubicada geográficamente entre los paralelos 11° 50' y 12° 16' de latitud sur y los meridianos 76° 12' y 76° 55' de longitud oeste. Siendo su extensión total de 1 642.52 km<sup>2</sup>. Altitudinalmente se extiende desde el nivel del mar (océano Pacífico) hasta la línea de las cumbres (cordillera central de los Andes) de la unidad hidrográfica del río Lurín, llegando a una altura aproximada de 5 300 m.s.n.m. (ANA, 2019, p.175)

Se ha identificado como área general desde sus nacientes hasta la desembocadura al océano Pacífico, dentro de la vertiente del Pacífico, esta tiene una extensión total de 1 642.52 km<sup>2</sup> y una longitud de cauce principal de 110.84 km, con una altitud que varía entre 0 a 5 300 msnm. (ANA, 2019, p.175)

**Figura 15**

*Ubicación política de la cuenca del río Lurín*



**3.4.1.2. Descripción hidrográfica.** La cuenca Lurín tiene la forma suigéneris, propia de las cuencas de la costa, es decir ancha en la parte de la cuenca alta y estrecha en la

desembocadura. Cuenta con un área de drenaje total de 1642.52 km<sup>2</sup>, de las cuales aproximadamente el 62% (1 019.87 km<sup>2</sup>), corresponde a la cuenca húmeda. El cauce principal recorre en dirección este-oeste desde las nacientes del río Huarascancha y empalmado con el río Taquía hasta su confluencia con el río Lurín, aguas arriba de la localidad de San Damián a 2 990 m.s.n.m., se desplaza en dirección suroeste, pasando por los ríos tributarios de Namincancha, Huarirumcoto y Llacomayqui hasta confluir con el río secundario Langa cerca de la localidad de Cruz de Laya, donde continua su trayectoria de este-oeste con el nombre de río Lurín hasta llegar al océano Pacífico. De las nacientes altas de la cuenca el río Huillcapampa hasta el río Chalilla, río Huarascancha hasta el río Chalilla y río Canchahuara hasta el río Langa, son los afluentes principales del río Lurín, que además se encargan de abastecerlo en épocas de estiaje. Las quebradas aportantes al río Chalilla son: las quebradas Urucancha, Quiruchaqui, Chuapalla y Catavilla por el lado norte de la cuenca, mientras que por el lado este que se encuentra el río Taquía son las quebradas Chanape, Pichamarca y Huarascancha confluyendo al río Lurín y finalmente en la parte alta del lado sureste de la cuenca se encuentra el río Langa que tiene como aportantes a las quebradas de Canchahuara y Escomarco. En su recorrido, luego de la confluencia de sus dos principales afluentes en la parte alta, recibe el aporte por la margen derecha del río Chamacha y por la margen izquierda de los ríos Seco y Huariaco. En la parte media y baja de la cuenca, se encuentran quebradas como Cantuaria, Yanacoto y De la Cantera que no tienen aporte alguno en época húmeda pasando por los principales distritos de la cuenca Lurín. Además, en la margen izquierda se encuentra el río Tinajas que no tiene aporte alguno, ya que se encuentra en la parte árida, excepto en épocas de eventos extraordinarios. (ANA, 2019, p.37)



### 3.4.1.3. Climatología de la cuenca.

- **Temperatura:** en el ámbito de la cuenca del río Lurín los mayores valores de temperatura media superan los 22°C en los meses de febrero y marzo en las partes bajas de la cuenca, asimismo, las temperaturas más bajas se presentan en las partes altas de la cuenca del río Lurín, con valores cercanos a 7°C en los meses de enero, febrero y marzo. (ANA, 2019, p.175)
- **Precipitación pluvial:** los valores mayores se concentran en el mes de marzo, superando los 130 mm/mes, para el caso de cuencas (Pachachaca y Taquia) que se ubican en la parte alta de la cuenca del río Lurín, los valores menores se concentran en el mes de julio, con valores de 0.46 mm/mes en promedio. Respecto a la distribución de la precipitación total anual en la cuenca del río Lurín, estas varían desde los 0 mm en la zona costera hasta los casi 600 mm en la zona alta de la cuenca. (ANA, 2019, p.175)
- **Humedad relativa:** para la ANA (2019): “Los valores de humedad relativa medios superan los 84.5% para los meses de agosto y setiembre en la cuenca baja, mientras valores bajos son registrados en los meses de julio y agosto en las cuencas altas” (p.176).
- **Vientos:** según la ANA (2019): “Existe pocos datos dentro de la cuenca, por lo que se opta por tomar valores medios de 2m/s” (p.176).

### 3.4.1.4. Descripción geomorfológica.

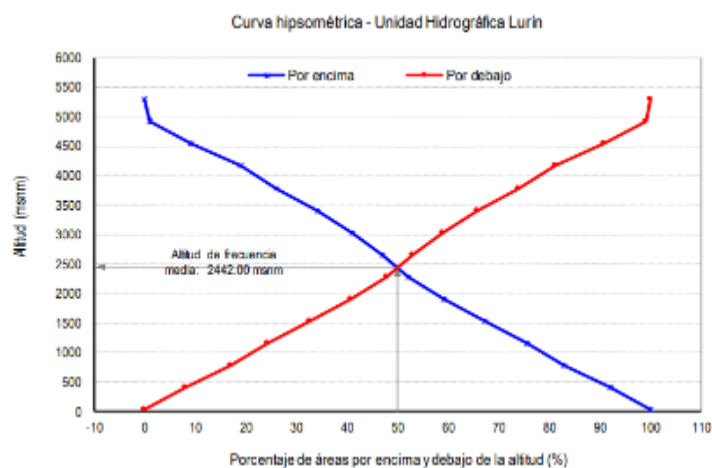
**Tabla 17**

*Parámetros geomorfológicos de la cuenca del río Lurín*

Parámetros	Unidad de medida	Cuenca Lurín
Área total de la cuenca	km <sup>2</sup>	1642.52
Perímetro de la cuenca	km	242.77
Longitud del río principal	km	110.84

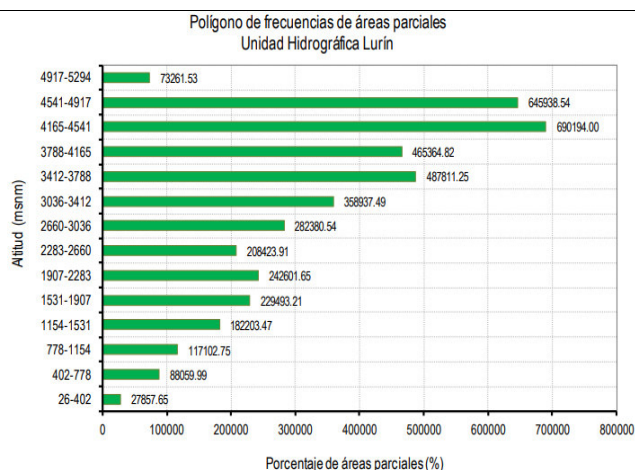
Longitud total de los ríos de diferentes grados	Orden 1	km	430.22
	Orden 2	km	197.19
	Orden 3	km	115.94
	Orden 4	km	94.6
	Orden 5	km	
	Longitud total	km	837.94
Ancho promedio de la cuenca		km	14.82
Coefficiente de compacidad		Adim.	1.69
Factor de forma		Adim.	0.13
Rectángulo equivalente	Lado mayor	km	105.87
	Lado menor	km	15.51

Curva hipsométrica



*Nota.* De ANA, 2019.

Polígonos de frecuencia de altitudes



*Nota.* De ANA, 2019.

Altitud media de la cuenca		m.s.n.m.	2496
Altitud de frecuencia media		m.s.n.m.	2442
área por encima de frecuencia media		km <sup>2</sup>	821.26
Altitud más frecuente		m.s.n.m.	4165-4541
Pendiente media de la cuenca	Altitud máxima	m.s.n.m.	5294
	Altitud mínima	m.s.n.m.	0
	Pendiente media	m/m	0.05

Índice de pendiente de la cuenca	Adim.	0.22	
Tipo de corriente		transitorio	
Numero de orden de los ríos	Numero de ríos		
	Orden 1	239	
	Orden 2	45	
	Orden 3	10	
	Orden 4	1	
	Orden 5		
	N° total de los ríos	295	
	Grado de ramificación	4	
Frecuencia de densidad de los ríos	Ríos/km <sup>2</sup>	0.18	
Densidad de drenaje	km/km <sup>2</sup>	0.51	
Extensión media del escurrimiento superficial	km <sup>2</sup> /km	1.96	
Cotas del rio principal	Altitud máxima	m.s.n.m.	4943
	Altitud mínima	m.s.n.m.	0
Pendiente media del rio principal	m/m	0.04	
Altura media del rio principal	m.s.n.m.	2471.5	
Tiempo de concentración	horas	8.25	

*Nota.* Adaptado de ANA, 2019.

**3.4.1.5. Descripción del sistema hidráulico.** Está conformada por cauces naturales e infraestructura hidráulica para la derivación, conducción y distribución hacia las áreas de riego y poblaciones en la cuenca del río Lurín. Los cauces naturales conformado por ríos y quebradas, presentan caudales variables según la época del año. Los ríos Chalilla, Taquía y Langa son los ríos con mayores volúmenes de descarga y la unión de estos forman el río Lurín en la parte alta de la cuenca, el río Lurín recibe afluentes en la margen derecha del río Chamacha, en la margen izquierda del río Seco y Huariaco, cada uno de los ríos también reciben aportes de río secundarios o quebradas a lo largo de su recorrido. El esquema del sistema hidráulico, presenta también las obras hidráulicas para la derivación del agua, las cuales consisten básicamente de estructuras de captación como bocatomas, estructuras de derivación como canales de conducción y derivación. En la zona alta de la cuenca del río Lurín presenta un mayor número de estructura hidráulicas de dimensiones pequeñas, en la zona baja las

estructuras hidráulicas son de mayores dimensiones, derivan agua a partir del río Lurín. Las principales estructuras de captación en los subsectores hidráulicos son aquellos que captan mayor volumen para su derivación, entre ellos podemos mencionar a la bocatoma Lurín con  $1.40 \text{ m}^3/\text{s}$ , Mejorada con  $2.00 \text{ m}^3/\text{s}$ , Pan de Azúcar con  $1.75 \text{ m}^3/\text{s}$ , San Fernando con  $1 \text{ m}^3/\text{s}$ , Caña Hueca con  $1.20 \text{ m}^3/\text{s}$ , Cieneguilla con  $1.85 \text{ m}^3/\text{s}$  y Nueva Toledo con  $2.20 \text{ m}^3/\text{s}$ . Las mayores demandas están en la actividad agrícola, estas se agrupan en la Junta de Usuarios del Sector Hidráulico Lurín, y a su vez en comisiones de riego, con un total de doce (12) comisiones de riego en la parte baja, dos (02) en la parte media y nueve (09) comisiones de riego en la parte alta de la cuenca. (ANA, 2019, p.53)

**3.4.1.6. Variabilidad climática.** Uno de los principales modos de variabilidad climática interanual es el fenómeno "ENSO" (El Niño, Oscilación Sur), el cual modifica los patrones de precipitación y temperatura en la mayor parte del planeta. El ENSO se manifiesta con cambios en la temperatura de la superficie del mar en la zona oriental del Pacífico ecuatorial, denominándose "El Niño" a la fase cálida y "La Niña" a la fase fría. (ANA, 2019, p.133)

**3.4.1.7. Unidades hidrográficas.** En la cuenca del río Lurín se han delimitado diez subcuencas de acuerdo a sus características fisiográficas e hidrológicas. Se presenta las características fisiográficas de la cuenca del río Lurín en la Tabla 18.

**Tabla 18**

*Características fisiográficas de la cuenca y subcuencas del río Lurín*

Subcuencas	Área		Mediciones lineales			Pendiente m/m	Drenaje Densidad de drenaje ( $\text{km}/\text{km}^2$ )	
	Área ( $\text{km}^2$ )	Longitud del río ( $\text{km}$ )	Perímetro ( $\text{km}$ )	Cota máxima ( $\text{msnm}$ )	Cota mínima ( $\text{msnm}$ )			Altitud media ( $\text{msnm}$ )
Sub. Baja	200.54	16.64	74.64	1341	0	670.5	0.04	0.51
Sub. Tinajas	163.89	31.14	69.86	3254	235	1744.5	0.1	0.47
Sub. Cieneguilla	257.07	33.01	88.79	2513	227	1370	0.06	0.44
Sub. Antapucro	233.53	16.98	67.61	4154	1021	2587.5	0.13	0.44

Sub. Chamacha	88.69	20.15	43.52	4656	1532	3094	0.19	0.54
Sub. Huariaco	92.1	18.81	42.82	3782	1532	2657	0.15	0.52
Sub. Canchahuara	171.98	42.41	87.71	4833	1801	3317	0.08	0.47
Sub. San Damián	182.5	23.05	63.73	4748	1801	3274.5	0.12	0.51
Sub. Pachachaca	125.53	27.32	58.9	5289	3021	4155	0.09	0.48
Sub. Taquia	126.69	26.22	58.6	5294	3030	4162	0.09	0.4

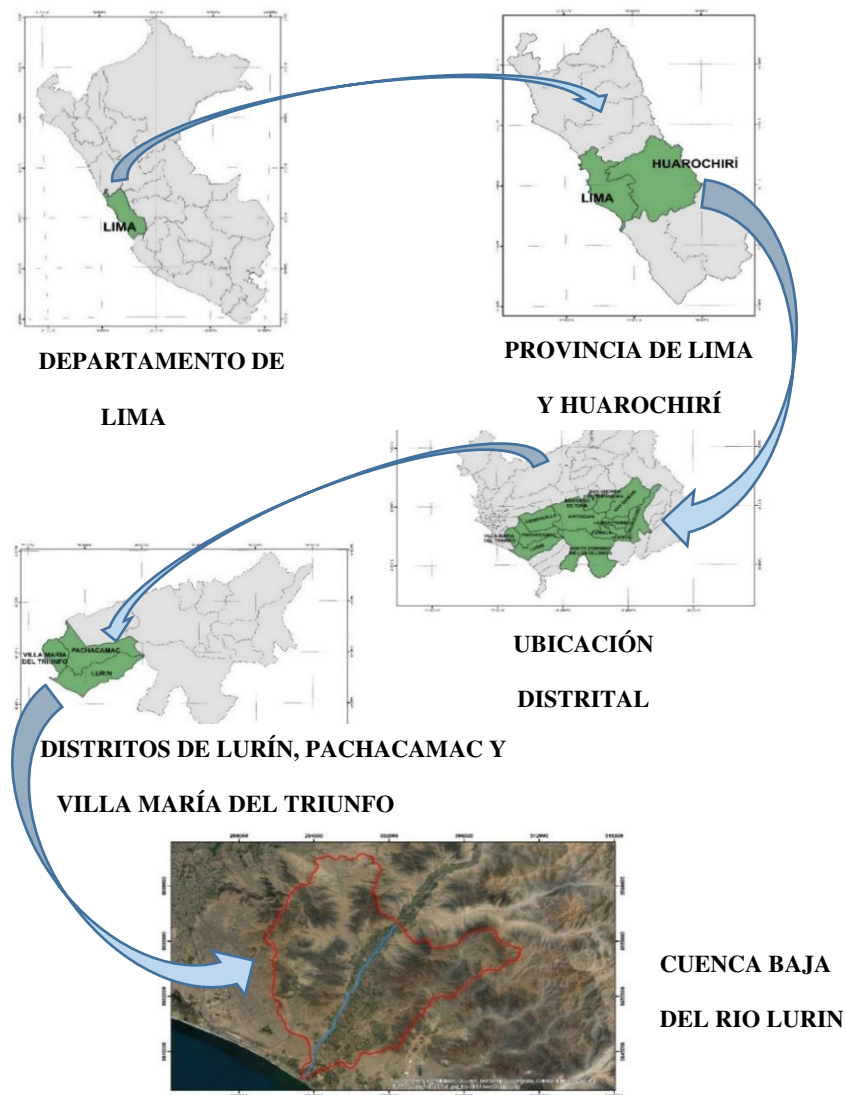
*Nota.* Adaptado de (ANA, 2019).

### 3.4.2 Muestra

La muestra espacial se ubica en la cuenca baja del río Lurín cuya área de 200.54 km<sup>2</sup> representa el 12.21% del total del área de la cuenca, el sector del río Lurín modelado comprende una longitud de 16.64 km. El espacio temporal de la investigación comprende el periodo de registro total de la información pluviométrica correspondiente a los años de 1965-2017. Dicha unidad de análisis fue elegida por presentar los factores que generan riesgo de inundaciones como la pendiente, naturaleza de los materiales, drenajes, cobertura vegetal, forma de la cuenca, actividad antrópica, entre otras.

**3.4.2.1. Ubicación política.** Se ubica políticamente en la jurisdicción de la región Lima enmarcándose en las provincias de Huarochirí y Lima (abarcando uno y tres distritos respectivamente), Huarochirí, Villa María del Triunfo, Lurín y Pachacamac, frente a la costa del Perú.

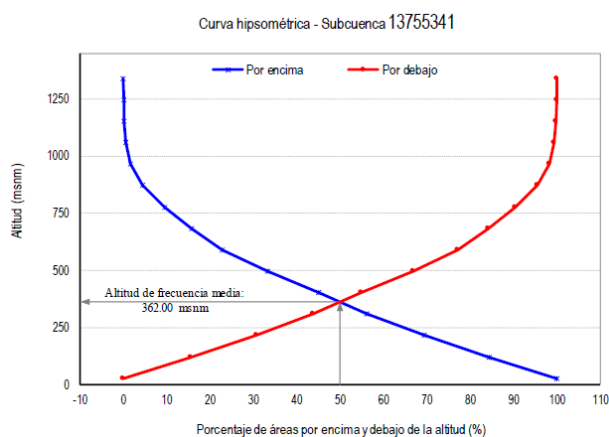
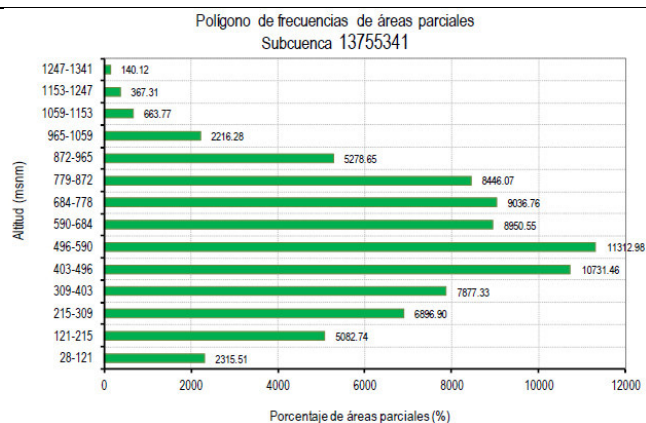
La cuenca baja del río Lurín limita por el norte con la cuenca del río Rímac, por el sur este con la cuenca del río Chilca y Mala; y por el oeste con el Océano Pacífico. (SENAMHI, 2016, p. 38)

**Figura 16***Ubicación política de la subcuenca baja del río Lurín*

**3.4.2.2. Ubicación hidrográfica.** El río Lurín recibe en su recorrido el aporte de numerosos ríos o quebradas, siendo las más importantes: Taquia, Lahuaytambo, Langa, Sunicancha y Tinajas, por la margen izquierda y Chamacha, por la margen derecha. Las características geomorfológicas de la red hidrográfica de la cuenca baja del río Lurín son presentados en la Tabla 19.

**Tabla 19***Características geomorfológicas de la cuenca baja del río Lurín*

Parámetros	Unidad de medida	Cuenca baja Lurín
Área total de la cuenca	km <sup>2</sup>	200.54
Perímetro de la cuenca	km	74.64
Longitud del río principal	km	16.64
Longitud total de los ríos de diferentes grados	Orden 1	37.19
	Orden 2	25.52
	Orden 3	27.15
	Orden 4	12.5
	Orden 5	
	Longitud total	102.36
Ancho promedio de la cuenca	km	7.05
Coefficiente de compacidad	Adim.	1.49
Factor de forma	Adim.	0.25
Rectángulo equivalente	Lado mayor	30.81
	Lado menor	6.51

*Nota.* De ANA, 2019.**Curva hipsométrica****Polígonos de frecuencia de altitudes**

*Nota.* De ANA, 2019.

Altitud media de la cuenca	m.s.n.m.	396	
Altitud de frecuencia media	m.s.n.m.	362	
Área por encima de frecuencia media	km <sup>2</sup>	100.27	
Altitud más frecuente	m.s.n.m.	28-121	
Pendiente media de la cuenca	Altitud máxima	m.s.n.m.	1341
	Altitud mínima	m.s.n.m.	0
	Pendiente media	m/m	0.04
Índice de pendiente de la cuenca	Adim.	0.18	
Tipo de corriente	transitorio		
Numero de orden de los ríos	Numero de ríos		
	Orden 1	26	
	Orden 2	8	
	Orden 3	3	
	Orden 4	1	
	Orden 5		
	Nº total de los ríos	38	
	Grado de ramificación	4	
Frecuencia de densidad de los ríos	ríos/km <sup>2</sup>	0.19	
Densidad de drenaje	km/km <sup>2</sup>	0.51	
Extensión media del escurrimiento superficial	km <sup>2</sup> /km	1.96	
Cotas del rio principal	Altitud máxima	m.s.n.m.	579
	Altitud mínima	m.s.n.m.	0
Pendiente media del rio principal	m/m	0.02	
Altura media del rio principal	m.s.n.m.	289.5	
Tiempo de concentración	horas	3.92	

*Nota.* Adaptado de ANA (2019).

**3.4.2.3. Cobertura vegetal.** Para la ANA (2019): “Se encuentra distribuida en lomas, desierto costero y área urbana atravesada por el río Lurín” (p.40).



**3.4.2.4. Escorrentía.** Para la ANA (2019): “La escorrentía en el 2017 superó al promedio histórico debido a los efectos del fenómeno “El Niño Costero”. Este fenómeno ocasionó huacos en la parte baja de la cuenca del río Lurín” (p. 40).

**3.4.2.5. Inundaciones.** Durante las altas precipitaciones pluviales, los sectores vulnerables de la parte baja y media de la cuenca se asocian a procesos de inundaciones, deslizamientos, huaycos y erosión hídrica, y donde los materiales son acarreados al cauce del río Lurín, creando malestar e inquietud en la población instalada en las márgenes y en la desembocadura de los ríos y quebradas. Por otra parte, la expansión urbana y la ubicación no adecuada de estructuras físicas en áreas con las condiciones físicas inestables, así como las modificaciones que se hacen en los cursos de agua mediante las canalizaciones cerradas y subdimensionadas, aunadas a la deforestación y destrucción de la andenería incaica que mantenía los taludes, han traído como consecuencia el incremento de fenómenos naturales. De otro lado, las consecuencias de los fenómenos naturales son de diversas magnitudes, y dependen en mucho de la pendiente, naturaleza de los materiales, drenajes, cobertura vegetal, forma de la cuenca, actividad antrópica, entre otras. Siendo el factor agua un agente activador de los fenómenos naturales en la región que ha venido como desastres naturales, los cuales se han transformado en pérdidas económicas, afectando a familias y al erario nacional para atender la reconstrucción (MML, 2013, pp. 2-3).

**3.4.2.6. Habitantes.** Según el último Censo Nacionales de Población y Vivienda (2017), la cuenca baja del río Lurín tiene una población total de 599 001 habitantes establecidos en cuatro distritos de las provincias de Lima y Huarochirí. La población masculina representa el 49.22% y la población femenina el 50.78%.

**Tabla 20***Población de la cuenca baja del río Lurín*

<b>Distrito</b>	<b>Hombre</b>	<b>Mujer</b>	<b>Acumulado</b>
Villa María del Triunfo	195 222	203 211	398 433
Lurín	44 735	44 460	89 195
Pachacamac	54 262	55 809	110 071
Huarocharí	627	675	1 302
<b>Total</b>	<b>294 846</b>	<b>304 155</b>	<b>599 001</b>
<b>%</b>	<b>49.22%</b>	<b>50.78%</b>	<b>100%</b>

*Nota.* Adaptación del *Censo Nacionales de Población y Vivienda*, INEI, (2017).

### 3.4.2.7. Actividades económicas.

De acuerdo con los datos del INEI (2017), la Población Económicamente Activa (PEA) es de 282 259 personas (47.12 % de la población total de la cuenca baja).

**Tabla 21***Ocupación principal de la población*

<b>Según gran grupo, ¿Cuál es la ocupación principal?</b>	<b>Villa María del Triunfo</b>	<b>Lurín</b>	<b>Pachacamac</b>	<b>Huarocharí</b>	<b>Acumulado</b>
Miembros del Poder Ejecutivo, Legislativo, Judicial y personal directivo de la administración pública y privada	324	95	79	2	500
Profesionales científicos e intelectuales	12 421	3 047	2 504	22	17 994
Profesionales técnicos	17 178	3 708	3 372	24	24 282
Jefes y empleados administrativos	15 414	3 336	3 131	21	21 902
Trabajadores de los servicios y vendedores de comercios y mercados	47 305	10 237	11 541	88	69 171
Agricultores y trabajadores calificados agropecuarios, forestales y pesqueros	584	910	764	261	2 519
Trabajadores de la construcción, edificación, productos artesanales, electricidad y las telecomunicaciones	36 199	7 117	10 088	43	53 447
Operadores de maquinaria industrial, ensambladores y conductores de transporte	20 464	5 204	5 549	13	31 230
Ocupaciones elementales	37 748	8 364	12 979	120	59 211
Ocupaciones militares y policiales	1 309	482	212	0	2 003
<b>Total</b>	<b>188 946</b>	<b>42 500</b>	<b>50 219</b>	<b>594</b>	<b>282 259</b>

*Nota.* Adaptación del *Censo Nacionales de Población y Vivienda*, INEI, (2017).

### 3.5 Instrumentos

Se presentan los instrumentos de recolección de datos para cada variable en la Tabla 22:

**Tabla 22**

*Tabla de instrumentos*

		<b>Instrumentos</b>		
		<b>Materiales</b>	<b>Equipos</b>	<b>Software/Programas</b>
Variable Independiente	Máximas avenidas	<p><b>Información hidrológica</b></p> <p>La información hidrológica ha sido obtenida del (SNIRH, 2015), se puede extraer la shapefiles para la elaboración de mapas temáticos.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Laptop HP</li> <li>Windows 8.1 Pro</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Extensión Arc-Hydro</li> <li>• Hydrognomon 4.1.0</li> <li>• Google Earth Pro</li> </ul>
		<p><b>Información meteorológica</b></p> <p>La información meteorológica ha sido obtenida a partir de las estaciones administrada por el SENAMHI. Se ha recolectado información pluviométrica máxima en 24 horas de 11 estaciones, cuatro estaciones ubicadas dentro de la cuenca y siete fuera de ella.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Impresora HP Deskjet 1515</li> <li>• Cámara fotográfica</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ArcGIS 10.5</li> <li>• HEC-HMS 4.9.0</li> <li>• Microsoft Word 2021.</li> <li>• Microsoft Excel 2021.</li> </ul>
Variable Dependiente	Riesgo de inundación	<p><b>Información cartográfica</b></p> <p>La información cartográfica proviene del geoservidor web del MINAM, se puede extraer la data digital de las zonas de interés para la elaboración de mapas temáticos.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>CANON</li> <li>• GPS Garmin</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ArcGIS 10.5</li> <li>• HEC-RAS 6.1.0</li> <li>• Microsoft Word 2021.</li> <li>• Microsoft Excel 2021.</li> </ul>
		<p><b>Información catastral</b></p> <p>La información catastral ha sido obtenida de los municipios de interés, Villa María del Triunfo, Pachacamac, Lurín y Huarochirí.</p>		
		<p><b>Información del DEM de elevación</b></p> <p>Modelo de elevación digital (DEM) ALOS PALSAR.</p>		

## 3.6 Procedimientos

### 3.6.1 Cálculo de las máximas avenidas

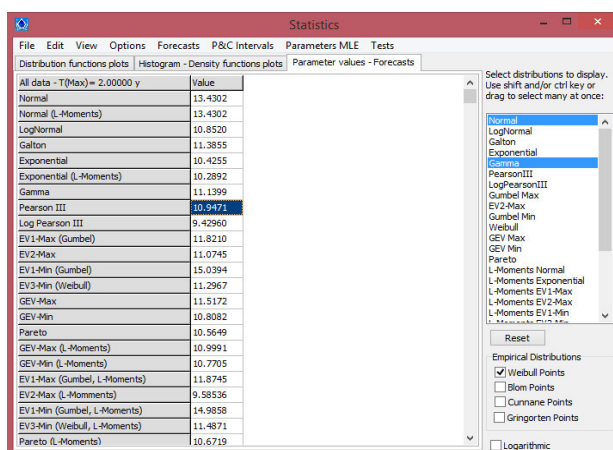
#### 3.6.1.1. Fase 1: hietogramas.

- Recopilación de registros históricos hidrometeorológicos de precipitaciones máximas en 24 horas de las estaciones existentes en la zona de estudio y las que circunscribe en el periodo 1965-2017.
- Analizar las precipitaciones máximas en 24 horas de las estaciones seleccionadas; promedios aritméticos, desviación estándar, máximo y mínimo registro, número de datos e histograma histórico.
- Realizar la prueba de datos dudosos de la información de la precipitación máxima en 24 horas; debe ser evaluada con el fin de encontrar puntos que se alejan de la tendencia de la información restante, esto debido a que la retención o eliminación de estos datos puede afectar significativamente la magnitud de los parámetros estadísticos calculados para la información, especialmente en las muestras pequeñas.
- Realizar la prueba de bondad de ajuste para determinar cuál de las distribuciones estudiadas se adapta mejor a la información histórica; se aplicaron los siguientes métodos: Análisis gráfico y Test de Kolmogorov – Smirnov.
- La distribución que se ajusta a los datos de precipitación máximas en 24 horas permite determinar las precipitaciones para los diferentes periodos de retorno. La Organización Meteorológica Mundial (OMM) recomienda un coeficiente de corrección para datos de estaciones que se registran una vez al día de 1,13 (OMM, 1994, p. 420). Para el caso de las estaciones seleccionadas, según la fuente del SENAMHI indica que la medición de la precipitación máxima viene a ser la mayor medición registrada entre las 7h y 19h, dos mediciones al día, seleccionándose la mayor de ambas.

- Determinar la distribución que mejor se ajuste a los tipos de distribución (D. Normal, D. Gumbel, D. Log Normal, D. Pearson III y D. Log Pearson III) aplicando el software Hydrognomon con el método Kolmogorov – Smirnov, para ello procedemos a lo siguiente:
  - Edit > Insert records (insertar el año de inicio del análisis para cada estación) > Insert multi records (seguir insertando los años subsiguientes hasta el último año de análisis) > copiar y pegar las precipitaciones máximas correspondiente a cada año.
  - Hydrology > Pythia Statistical analysis > Test > Kolmogorov Smirnov > Parameter values-Forecasts > DMax (Desviación máxima) elegir el menor valor de las distribuciones, D. Normal, D. Gumbel, D. Log Normal, D. Pearson III y D. Log Pearson III.
  - Hydrology > Pythia Statistical analysis > Forecasts > To a return period (Max) (colocar el periodo de retorno).

**Figura 17**

*Estadísticas Pearson III*



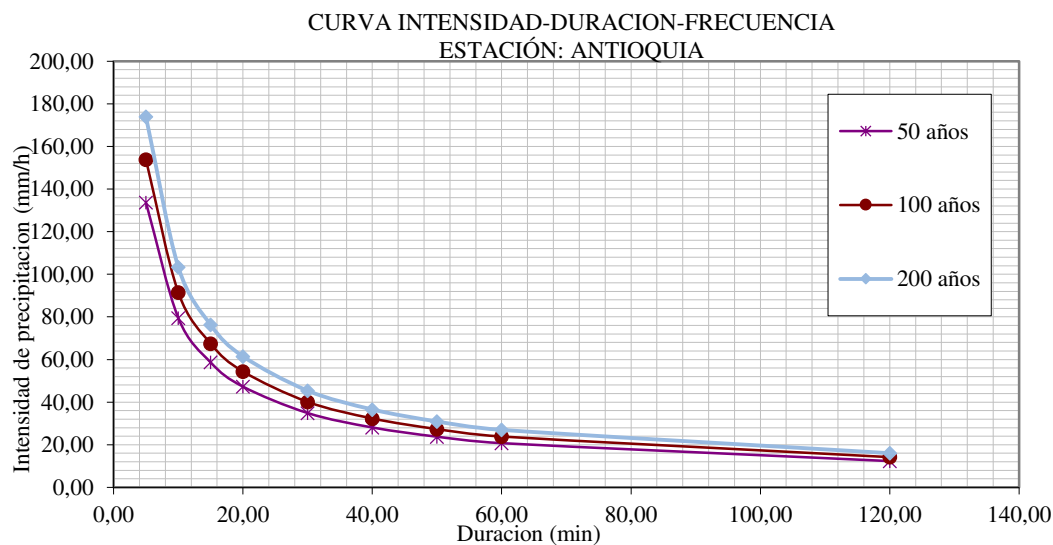
All data - T(Max)= 2.00000 y	Value
Normal	13.4302
Normal (L-Moments)	13.4302
LogNormal	10.8520
Galton	11.3855
Exponential	10.4255
Exponential (L-Moments)	10.2892
Gamma	11.1399
Pearson III	10.9471
Log Pearson III	9.42960
EV1-Max (Gumbel)	11.8210
EV2-Max	11.0745
EV1-Min (Gumbel)	15.0394
EV3-Min (Weibull)	11.2967
GEV-Max	11.5172
GEV-Min	10.8082
Pareto	10.5649
GEV-Max (L-Moments)	10.9991
GEV-Min (L-Moments)	10.7705
EV1-Max (Gumbel, L-Moments)	11.8745
EV2-Max (L-Moments)	9.58536
EV1-Min (Gumbel, L-Moments)	14.9858
EV3-Min (Weibull, L-Moments)	11.4871
Pareto (L-Moments)	10.6719

- Determinar las curvas IDF, para ello se utilizó el método de Dick Peschke ya que se ajusta a las precipitaciones máximas en 24 horas, el método se utiliza para calcular

las intensidades de lluvias para diferentes duraciones y tiempos de retorno. Es el método que mejor se ajusta al territorio peruano, y algunos organismos del gobierno lo emplean.

**Figura 18**

*Curva Intensidad-Duración-Frecuencia de la estación Antioquia*



- Asimismo, por cada estación estos resultados fueron sometidos a un análisis de regresión múltiple con la finalidad de elaborar la ecuación que contenga el comportamiento de las IDF en cada una de ellas.

**Tabla 23**

*Resumen del análisis de regresión múltiple de la estación Antioquia*

Estadísticas de la regresión	
Coefficiente de correlación múltiple	0.9962301
Coefficiente de determinación $R^2$	0.9924744
$R^2$ ajustado	0.9923677
Error típico	0.0295914
Observaciones	144

- Obtenemos la distribución de la precipitación en 24 horas por el método de bloques alternos teniendo como resultado el hietograma de precipitación de diseño.

**Tabla 24**

*Método del bloque alterno de la estación Antioquia*

<b>MÉTODO DEL BLOQUE ALTERNO</b>					
<b>Duración</b>	<b>Intensidad</b>	<b>Profundidad</b>	<b>Profundidad</b>	<b>Tiempo</b>	<b>Precipitación</b>
min	mm/hr	acumulada mm	incremental mm	min	mm
60	19.036	19.036	19.036	0-5	0.461
120	11.319	22.638	3.602	60-120	0.494
180	8.351	25.053	2.415	120-180	0.534
240	6.730	26.921	1.868	180-240	0.581
300	5.693	28.465	1.544	240-300	0.641
360	4.965	29.793	1.327	300-360	0.716
420	4.423	30.963	1.171	360-420	0.816
480	4.002	32.014	1.051	420-480	0.957
540	3.663	32.971	0.957	480-540	1.171
600	3.385	33.851	0.880	540-600	1.544
660	3.152	34.667	0.816	600-660	2.415
720	2.952	35.430	0.762	660-720	19.036
780	2.780	36.146	0.716	720-780	3.602
840	2.630	36.822	0.676	780-840	1.868
900	2.497	37.462	0.641	840-900	1.327
960	2.379	38.072	0.609	900-960	1.051
1020	2.274	38.653	0.581	960-1020	0.880

1080	2.178	39.209	0.556	1020-1080	0.762
1140	2.092	39.743	0.534	1080-1140	0.676
1200	2.013	40.256	0.513	1140-1200	0.609
1260	1.940	40.750	0.494	1200-1260	0.556
1320	1.874	41.227	0.477	1260-1320	0.513
1380	1.812	41.687	0.461	1320-1380	0.477
1440	1.756	42.133	0.446	1380-1440	0.446

**Nota.** Corresponde a un periodo de retorno de 100 años.

### CURVA INTENSIDAD-DURACION-FRECUENCIA

I: Intensidad máxima (mm/h)

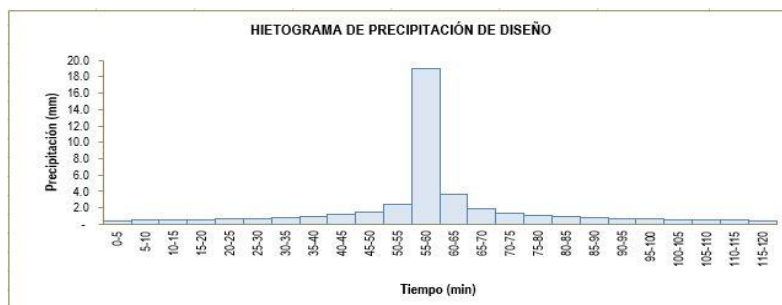
$$T: \text{Período de retorno en años} = 100 \text{ años} \quad I = \frac{132.49 T^{0.2890}}{t^{0.75}}$$

t: Duración de la precipitación (min)

- Con los coeficientes obtenidos de hallar las curvas IDF, se reemplazan en la fórmula para determinar el hietograma, que tiene forma de una pirámide.

### Figura 19

*Hietograma de precipitación de diseño para un periodo de retorno de 100 años*



**Nota.** Hietograma extraído de la estación Antioquia de 1965-2017.

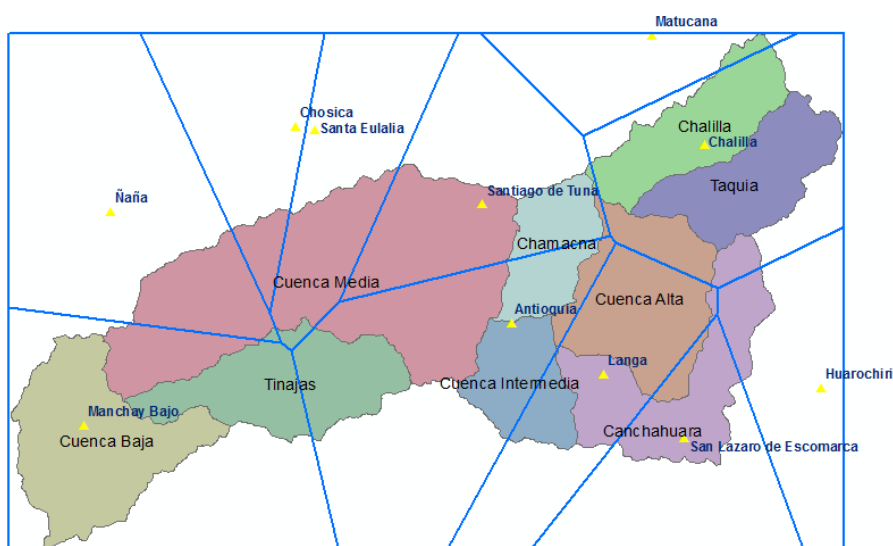
#### 3.6.1.2. Fase 2: polígonos de Thiessen.



- La forma en la cual se determinan la influencia de las estaciones es a través de los polígonos de Thiessen.
- Se ubican las estaciones dentro de la cuenca y a través de la herramienta del ArcGIS Analysis Tools > Proximity > Create Thiessen Polygons, se obtienen los polígonos de Thiessen, por ende, la influencia de las estaciones dentro de la Cuenca del río Lurín.

**Figura 20**

*Polígonos de Thiessen*



### 3.6.1.3. Fase 3: Curva Número.

- Para realizar el cálculo del número de curva del SCS se requiere los mapas temáticos de Uso de Suelo, Tipo de Suelo y Modelo Digital de Elevación (DEM); para el estudio no se utilizan los shapefiles elaborados por la ANA porque presenta un rango, y no un CN específico, además, se recomienda hacer un análisis exhaustivo ya que la cobertura y el uso del suelo cambian a través del tiempo.

**Figura 21**

*Tipo hidrológico de suelo*

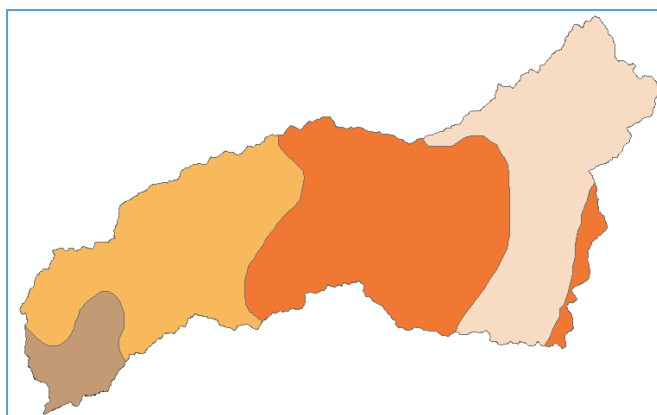


Table				
suelo_lurin				
FID	Shape	DESCRIPCI0	TipoSuelo	
0	Polygon	Leptosol lítico - Afloramiento lítico	B	
1	Polygon	Leptosol dístrico - Afloramiento lítico	B	
2	Polygon	Regosol dístrico - Afloramiento lítico	B	
3	Polygon	Arenosol háplico - Solonchak háplico	A	

- Construir el mapa del tipo hidrológico de suelo de acuerdo a la Tabla 9 elaborado por la ANA (2015).
- Construir el mapa de uso de suelo; se debe reclasificar porque el método del SCS está clasificado para usos de suelo de los Estados Unidos y puede diferir en la región, para el caso de Perú se maneja de acuerdo a la Tabla 7. Esta reclasificación facilita la correlación con la tabla original del SCS.
- Intersectar los shapefiles de usos y tipos de suelos en ArcGIS. Se obtiene así un shapefile de polígonos, llamándolo CN\_Poly, en el que cada polígono tiene una única combinación de tipo y uso de suelo.
- Crear y completar los siguientes campos en la tabla de atributos del CN\_Poly: SoilCode, Pcta, Pctb, Pctc, Pctd y Landuse. El primero es el código para identificar el tipo de suelo, los cuatro siguientes indican el porcentaje de cada tipo de suelo y el último es un código para indicar el uso del suelo.
- Crear la tabla CNLookup.dbf con los valores reclasificados para usarlos en la extensión HEC-GeoHMS del ArcGIS, a la tabla creada se agregarán las columnas

de LUvalue, Description, A, B, C y D, esta tabla deberá ser idéntica a la Tabla 8 del ANA, todo deberá ser escrito en inglés para facilitar el uso de la extensión.

**Figura 22**

*Valores reclasificados de CN*

CNLookUp							
	OID	LUvalue	Descriptio	A	B	C	D
▶	0	1	Bodies of water	100	100	100	100
	1	2	Snowy	98	98	98	98
	2	3	Populated centers	77	85	90	92
	3	4	Crops / Intervened areas	62	71	78	81
	4	5	Open shrubby thicket	45	66	77	83
	5	6	Meadow in cold climate z	68	79	86	89
	6	7	Woody tree savanna	45	66	77	83
	7	8	Hydromorphic Savanna	25	55	70	77
	8	9	Tropical rain forest	25	55	70	77
	9	10	Tropical rainforest with b	25	55	70	77
	10	11	Broadleaf rainforest	25	55	70	77
	11	12	Hydrolytic rainforest	39	61	74	80
	12	13	Desert in arid climate zon	72	81	88	91

- Calcular el raster del número de curva con la extensión HEC-GeoHMS. Seleccionar la opción Utility seguido de Generate CN Grid.
- Ingresar el modelo digital de elevación (DEM), el shapefile CN\_Poly y la tabla CNLookUp.dbf creados anteriormente y correr la extensión.
- Observamos el raster generado por la extensión, CNGrid, donde obtenemos el número de curva de cada subcuenca.
- A partir de este raster se reclasifica para convertirlo a polígono.
- El raster reclasificado se convierte a polígono con la herramienta Raster to Polygon, obteniendo finalmente el shapefile de curva número.

**Figura 23**

*Shapefile de curva número*

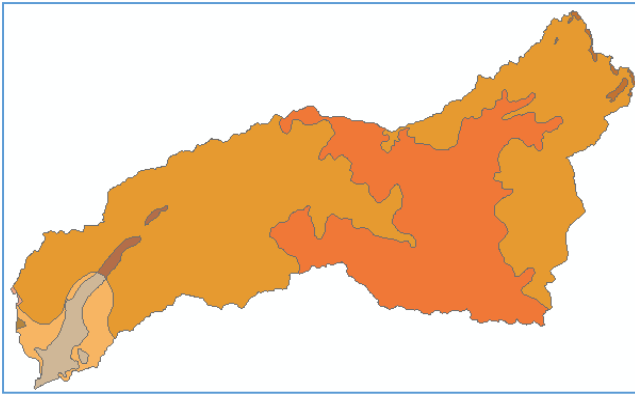


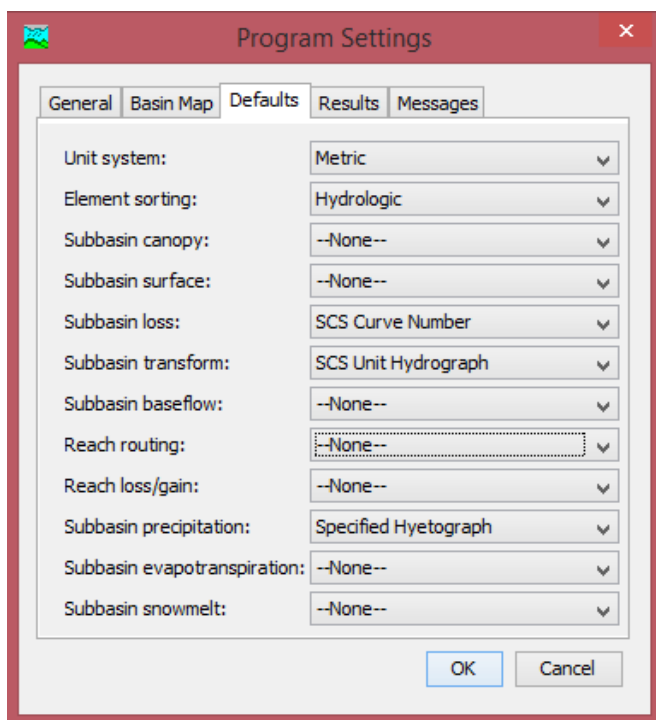
Table			
cn_final			
FID	Shape *	gridcode	CN
0	Polygon	8	100
1	Polygon	8	100
2	Polygon	8	100
3	Polygon	8	100
4	Polygon	8	100
5	Polygon	8	100
6	Polygon	8	100
7	Polygon	8	100
8	Polygon	8	100
9	Polygon	8	100
10	Polygon	8	100
11	Polygon	2	66
12	Polygon	2	66
13	Polygon	4	71
14	Polygon	4	71
15	Polygon	7	85
16	Polygon	5	77
17	Polygon	6	79
18	Polygon	2	66
19	Polygon	5	77
20	Polygon	6	79
21	Polygon	1	62
22	Polygon	3	68
23	Polygon	3	68
24	Polygon	3	68
25	Polygon	3	68
26	Polygon	1	62

#### 3.6.1.4. Fase 4: modelamiento hidrológico HEC-HMS.

- Ajustar el programa para las pérdidas, transformaciones y precipitaciones de las subcuencas, para ello procedemos a lo siguiente:
- Tools > Program settings > Defaults > Subbasin loss (SCS Curve Number) > Subbasin transform (SCS Unit Hydrograph) > Subbasin precipitación (Specified Hyetograph).

**Figura 24**

*Configuración del programa*

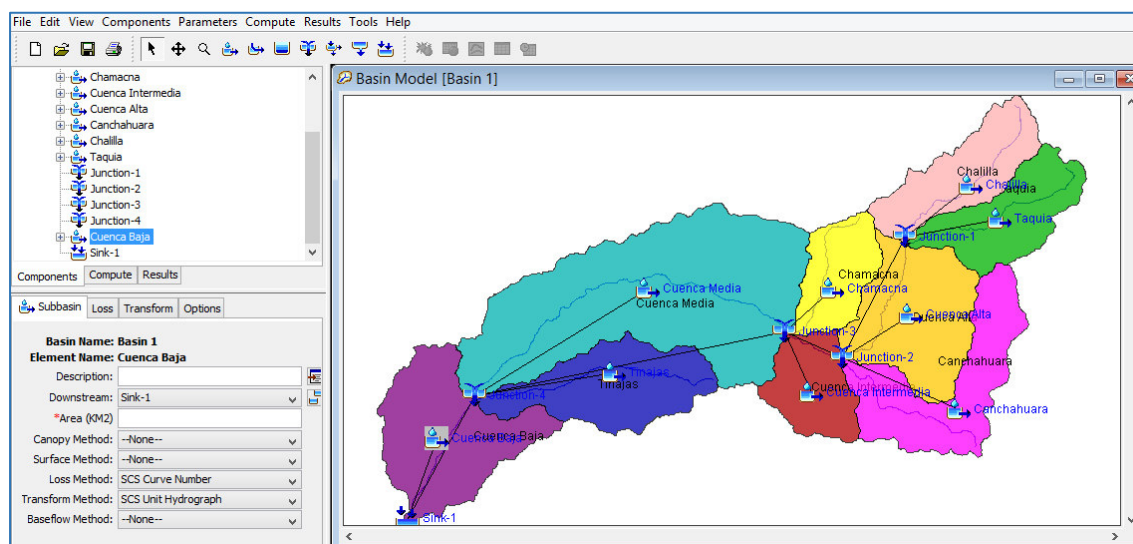


- Crear el primer componente, en Components > Basin Model Manager > opción Basin 1 > View > Background Maps (agregar shapefiles de las subcuencas y ríos de la cuenca Lurín).
- Crear para cada una de las subcuencas un Subbasin diferencial en la zona central.
- Cada subcuenca se ha convertido en un sistema independiente, sin embargo, lo que interesa no es cada uno de los fragmentos, sino el sistema de la cuenca y el resultado final; cada subcuenca debe tener una unión, lo recomendable es unir en pares, para tal fin utilizamos la función Junction.
- Se crearon cuatro funciones Junction dentro de nuestro modelo Basin de cuenca; tiene representación dentro del esquema porque se podrán unir las subcuencas para finalmente llevar todo el sistema hasta el punto de interés del caudal; se obtiene el resumen utilizando la opción Sink.

- Lo siguiente es realizar las uniones de las aguas arriba hacia aguas debajo de todas las subcuencas, para ello Subbasin de las dos subcuencas a unir (ej. Unión de las subcuencas Chalilla y Taquia con la función Junction-1 y así sucesivamente).
- Realizar las uniones de los Junction-1, 2, 3 y 4 aguas arriba y aguas abajo.
- Conectar la función Junction-4 y la última subcuenca baja a la función Sink-1, anti clic Connect Downstream > Sink-1 (resumen de todos los caudales).

**Figura 25**

*Resumen de todos los caudales*



- Reunir la información para cada una de las subcuencas con los valores de área ( $\text{km}^2$ ), números de curva y tiempo de retardo T<sub>Lag</sub> (min), este último corresponde al 60 por ciento del tiempo de concentración, valores obtenidos del programa ArcGIS. Se muestra la información en la Tabla 25.

**Tabla 25***Información de entrada para el modelamiento HEC-HMS*

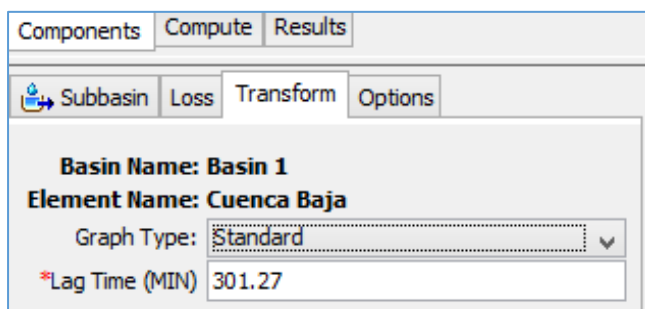
Nombre de la Subcuenca	A (km <sup>2</sup> )	P (km)	Lc (km)	Hmin (msnm)	Hmáx (msnm)	S (m/m)	Tc (min)	CN	Tc (min)	Tprom	TLag (min)	Po
Subcuenca Baja	200.54	75.89	16.64	0.0	228.0	0.014	179.48	72	824.74	502.11	301.27	19.36
Subcuenca Tinajas	163.88	70.22	29.16	228.0	2879.0	0.091	134.32	78	432.06	283.19	169.91	14.46
Subcuenca Intermedia	92.08	43.00	7.37	1534.0	1801.0	0.036	66.43	67	305.47	185.95	111.57	24.61
Subcuenca Canchahuara	171.94	88.28	22.33	1801.0	3967.0	0.097	106.66	72	400.63	253.65	152.19	19.85
Subcuenca Alta	182.50	63.73	17.07	1801.0	3034.0	0.072	97.17	70	390.25	243.71	146.23	21.36
Subcuenca Chamacna	88.69	43.62	18.10	1534.0	4461.0	0.162	74.56	70	274.19	174.38	104.63	21.46
Subcuenca Media	490.64	120.41	45.92	228.0	1534.0	0.028	298.12	76	1173.80	735.96	441.57	16.05
Subcuenca Taquia	126.70	59.31	23.49	3034.0	4820.0	0.076	121.84	77	408.71	265.27	159.16	15.25
Subcuenca Chalilla	125.50	59.51	23.40	3034.0	4820.0	0.076	121.31	78	399.59	260.45	156.27	14.75

**Nota.** Leyenda: A= área, P= perímetro, Lc= longitud del río, Hmin= altitud mínima, Hmáx= altitud máxima, Tc= tiempo de concentración, Tprom= tiempo promedio, TLag= tiempo de retardo, Po=abstracción inicial.

- Seleccionar el Subbasin de la subcuenca y colocar el valor del área (km<sup>2</sup>), el número de curva (obtenidos en el paso anterior) en la opción Loss y TLag (min) en la opción Transform, del mismo modo para cada una de las subcuencas.
- No se coloca el porcentaje de impermeabilidad debido a que el Curva Numero contiene esa información.

**Figura 26**

*Selección de la subcuenca*



- Ingresar el segundo componente meteorológico: Components > Meteorologic Model Manager > New > Name: TR50 > Create (Crear para un TR50, TR100 y TR200), opción Basin > Induce Subbasins > Yes.
- Meteorology Model > TR100 > Precipitacion (Gage Weights), la opción Gage Weights permite asignar las estaciones que tienen influencia sobre cada una de las subcuencas y su respectivo peso en porcentaje: Gage Selections > Use Gage > Yes (para las estaciones que se encuentren dentro del polígono).

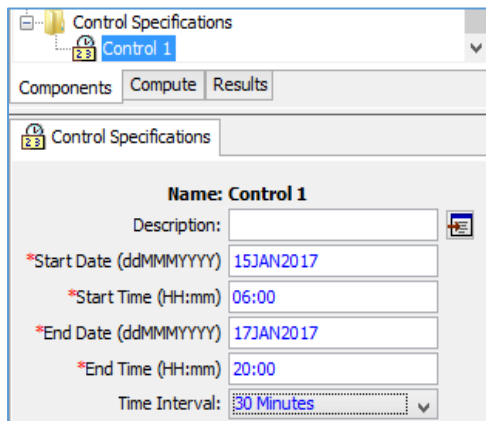


**Figura 27***Modelo meteorológico*

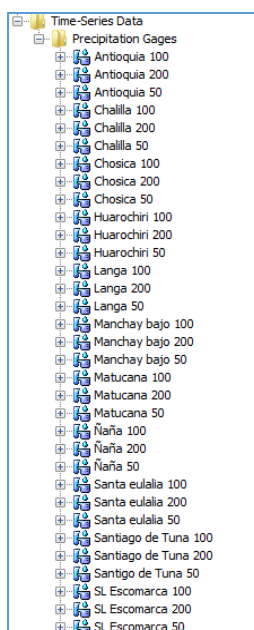
The screenshot shows a software interface for meteorological models. The top part is a tree view under 'Meteorologic Models' with 'TR 100' expanded to 'Precipitation Gages' and 'Canchahuara' selected. Below this is a 'Gage Weights' table for the 'Canchahuara' element, listing various gage names and their 'Use Gage' status.

Element Name: Canchahuara	
Gage Name	Use Gage
Antioquia 100	No
Antioquia 200	No
Antioquia 50	No
Chalilla 100	No
Chalilla 200	No
Chalilla 50	No
Chosica 100	No
Chosica 200	No
Chosica 50	No
Huachochiri 100	Yes
Huachochiri 200	No
Huachochiri 50	No
Langa 100	Yes
Langa 200	No
Langa 50	No

- Ingresar al tercer componente: Control Specifications Manager > New (Control 1), ingresar en Start Date (fecha de inicio), Start Time (hora de inicio), End Date (fecha final), End Time (hora final) y Time Interval (intervalo de tiempo), este último siempre tiene que ser menor al 29 por ciento, elegir el menor valor de T<sub>Lag</sub> de entre los valores de las subcuencas.

**Figura 28***Control de especificaciones*

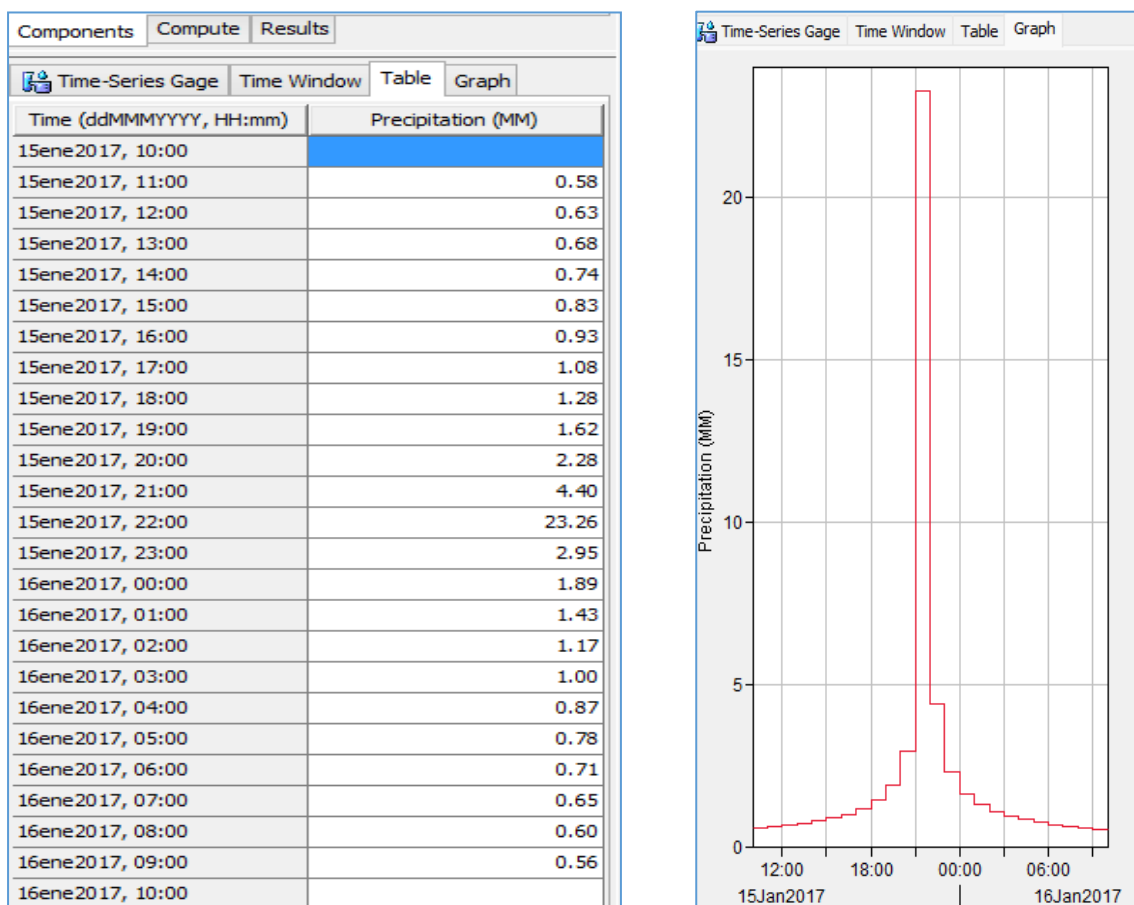
- Ingresar el cuarto componente: Components > Time-Series Data Manager, a partir de la información que se generó para cada una de las estaciones que están dentro de la cuenca; ingresar las once estaciones, formando onces hietogramas. New > Name > Antioquia 50 > Create (repetir y crear Antioquia 50, Antioquia 100, Antioquia 200, así para cada una de las estaciones y sus periodos de retorno).

**Figura 29***Datos de series temporales*

- Considerar que se trabaja con una precipitación incremental en los hietogramas; por lo tanto, ingresar a Time-Series Gage > Units > Incremental Milimeters, Time Interval > 1 Hour (según el método de bloque alterno la duración en minutos se da en intervalos de una hora), para distribuir la precipitación en 24 horas seguimos con Time Window > Start Date (fecha de inicio), Start Time (hora de inicio), End Date (fecha final) y End Time (hora final).
- Copiar los valores de la distribución de las precipitaciones en Table > Precipitation (mm).

**Figura 30**

*Valores de distribución de las precipitaciones*



- Gage Weights > Depth Weight (completar el porcentaje de influencia según el área cubierta por las estaciones dentro de la subcuenca en el rango de 0 a 1, Time Weight (completar valores de 1 a la estación con el mayor porcentaje y 0 a los de menor porcentaje). Repetir para cada una de las estaciones en cada tiempo de retorno correspondiente.
- Se calcula la abstracción inicial o umbral de escorrentía en (mm) mediante la fórmula del método del S.C.S.:  $P_o = \frac{5080}{CN} - 50.8$ , y se coloca en:

### Figura 31

#### *Abstracción inicial*

The screenshot shows a software window with tabs for 'Subbasin', 'Loss', 'Transform', and 'Options'. The 'Loss' tab is active. The window displays the following information:

- Basin Name:** Basin 1
- Element Name:** Taquia
- Initial Abstraction (MM):** 15.25
- \*Curve Number:** 77
- \*Impervious (%):** 0.0

- Según el Estudio Hidrológico de la Unidad Hidrográfica Lurín, realizado el 2019; en el ámbito de la cuenca Lurín, no existen estructuras hidráulicas de regulación de las aguas pluviales (diques o represas).
- Para transitar los hidrogramas en el cauce del río se utilizó el método Muskingum, mediante la herramienta Reach Creation Tool.
- Debido a las pequeñas descargas promedio generalmente observadas en el río Lurín se asumió que aquí no hay flujo base previo a la ocurrencia de máximas avenidas.

- El método Muskingum considera la pendiente, la longitud del tramo y los espejos de agua dentro de la cuenca obteniendo la siguiente tabla con la constante de almacenamiento prisma “K” y el Factor de ponderación “X”.

**Tabla 26**

*Información de entrada para el método Muskingum*

TRAMO	Longitud (m)	Pendiente (m/m)	Cota superior (msnm)	Cota inferior (msnm)	K(h)	X
REACH_1	17435.1	0.07066	2997	1765	1.79	0.2
REACH_2	6913.02	0.036452	1795	1513	0.95	0.2
REACH_3	45924.1	0.03102	1513	218	5.56	0.2
REACH_4	15610	0.01219	218	28	2.78	0.2

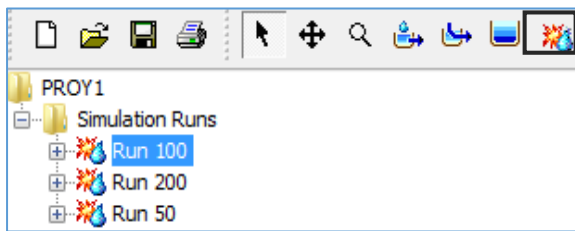
**Figura 32**

*Parámetros para el método Muskingum*

The screenshot shows a software window with three tabs: 'Reach', 'Routing', and 'Options'. The 'Reach' tab is active. The window displays the following information and input fields:

- Basin Name:** Basin 1
- Element Name:** Reach-1
- Initial Type:** Discharge = Inflow (dropdown menu)
- \*Muskingum K (HR):** (empty text input field)
- \*Muskingum X:** (empty text input field)
- Subreaches:** 1 (spin box)

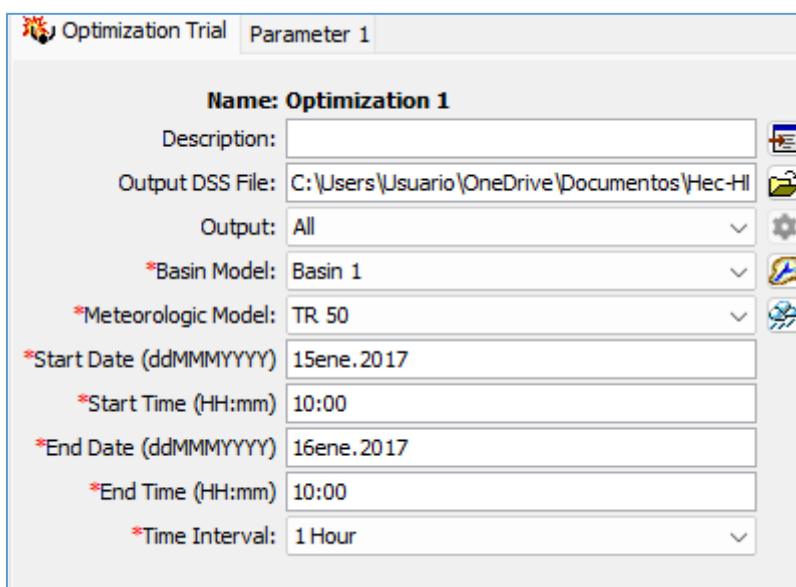
- Para el último componente: Compute > Create Simulation Run (crear el run de 50), Name (Run 50) > Next > Elegir el TR50 correspondiente > Finish, para cada uno de los tiempos de retorno 50, 100 y 200 años > Finished Computing para cada run creado. Finalmente Compute current run para lanzar los resultados finales.

**Figura 33***Ejecución de simulación*

- Observar el resumen de los resultados en Global Summary Results for Run “Run 50” para cada uno de los tiempos de retorno 50, 100 y 200 años.

### 3.6.1.5. Fase 5: calibración del modelo hidrológico HEC-HMS.

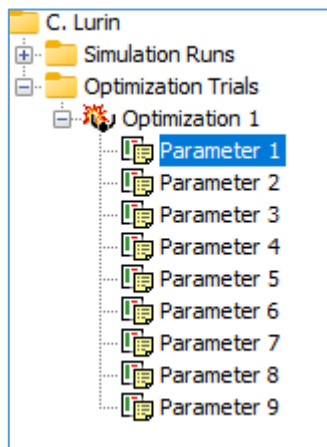
- La calibración del modelo hidrológico se realiza mediante la herramienta “Optimization Trial”, creamos la optimización para los tres tiempos de retorno, agregando los datos de control.

**Figura 34***Administrador de pruebas de optimización*

- Luego agregamos parámetros por cada subcuenca trabajada en el modelo.

**Figura 35**

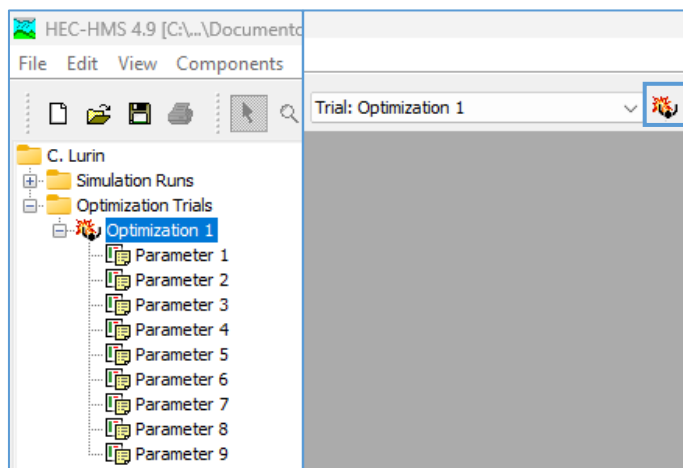
*Parámetros creados por cada subcuenca*



- En cada subcuenca tomaremos en cuenta el valor del Curva Numero.
- Finalmente optimizamos y corremos el programa.

**Figura 36**

*Optimización del programa*



### 3.6.2 Identificación de las zonas de riesgo de inundación

#### 3.6.2.1. Fase 1: topografía del terreno.

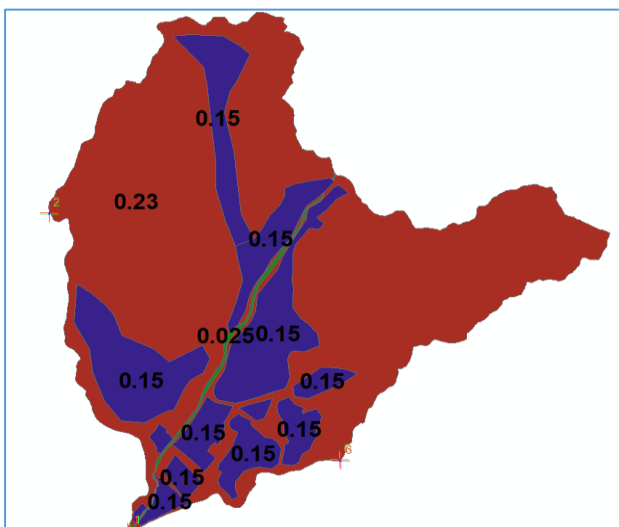
- Descargar la información del DEM de elevación del satélite ALOS PALSAR en el enlace <https://search.asf.alaska.edu/#/?dataset=ALOS>.

#### 3.6.2.2. Fase 2: modelamiento hidráulico HEC-RAS.

- Calcular la inundación usando el software HEC-RAS. Establecemos los parámetros del proyecto, y digitalizamos la topografía en el RAS Mapper.
- Definimos las coordenadas del proyecto, colocamos las condiciones del terreno, la infiltración según la SCS Curve Number y los coeficientes de Manning elaborados en ArcGIS, clasificados por la rugosidad del terreno.
- El coeficiente de Manning obtenido mediante el método de Cowan de la Guía para la selección de Manning, coeficientes de rugosidad para canales naturales y llanuras de inundación del Departamento de Transportes de los Estados Unidos, del enlace <https://pubs.usgs.gov/wsp/2339/report.pdf>.

**Figura 37**

*Coefficientes de Manning*

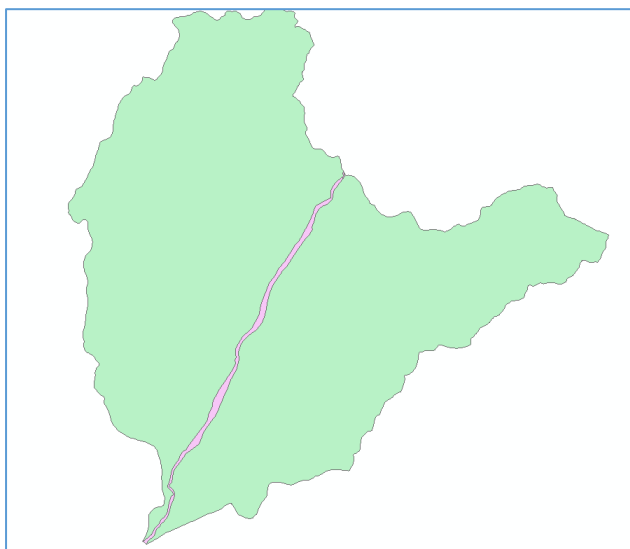




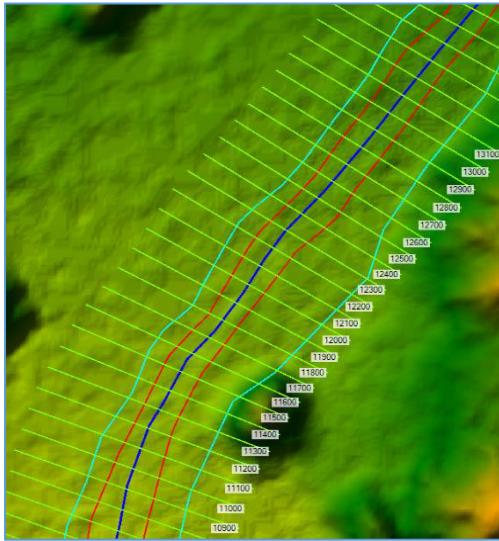
**Tabla 27***Valores de Manning*

<b>Terreno</b>	<b>Valores de Manning</b>
Montaña	0.23
Rio	0.025
Agricultura	0.15
Urbano	0.15

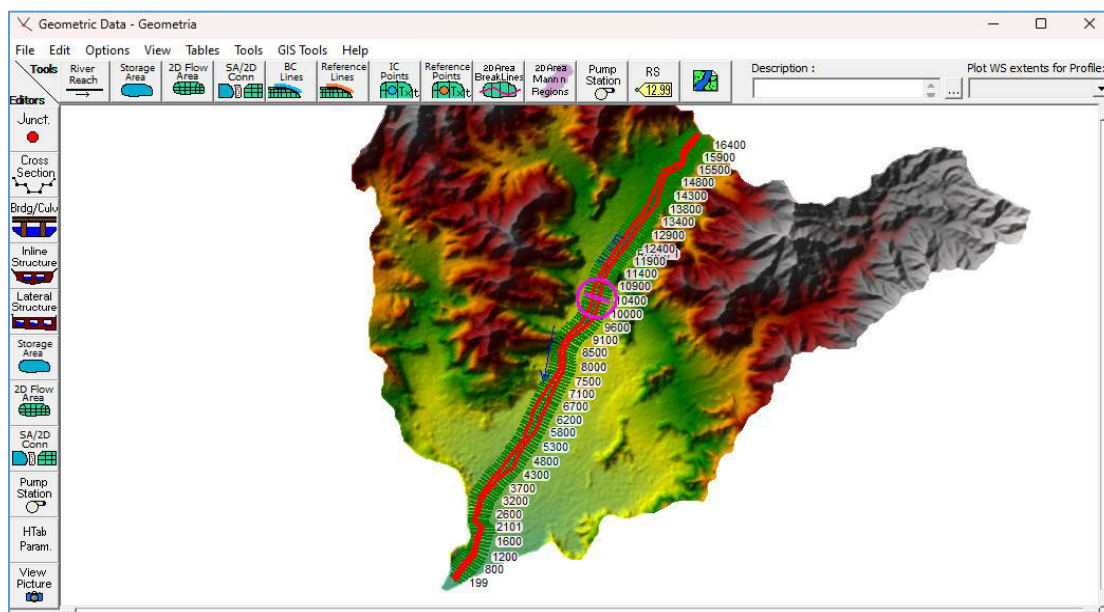
- Obtenemos la faja marginal establecida por el ANA (<https://sigrid.cenepred.gob.pe/sigridv3/mapa?xmin=-76.849827225&ymin=-12.150904283&xmax=-76.722111161&ymax=-12.034750637>). Con un área de 247.49 ha.

**Figura 38***Faja marginal del río Lurín*

- Establecemos la geometría del flujo de inundación basándonos en la faja marginal establecido por el CENEPRED.

**Figura 39***Geometría del flujo de inundación*

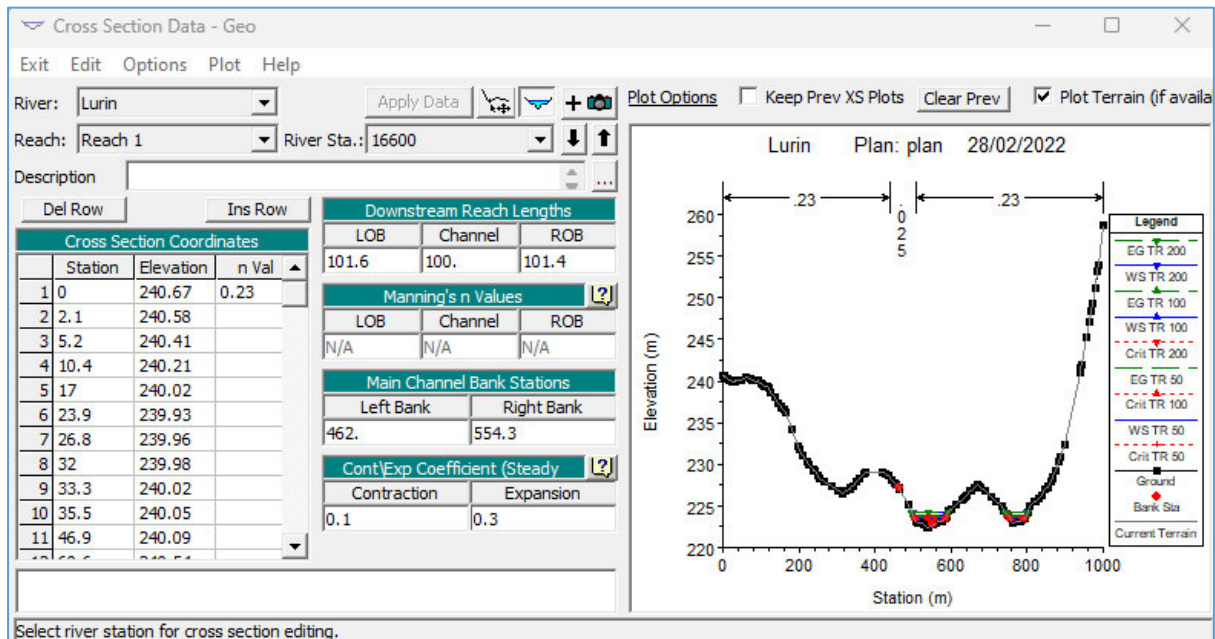
- Interpolamos la geometría con la elevación del terreno y las condiciones del coeficiente de Manning y Curva Numero.
- Abrimos la topografía del terreno en el software, no es necesario corregir la faja, porque está establecida por la ANA. Observamos que los valores de Manning también están asociados a las secciones transversales.

**Figura 40***Topografía del terreno*

- Verificar si las secciones están correctamente elaboradas o si necesitan modificación en Cross Section.

**Figura 41**

*Datos de la sección transversal*



- Teniendo los valores de Manning, se colocan los valores de los caudales para los diferentes periodos de retorno, esta información es proporcionada por el HEC-HMS en Edit > Steady Flow Data.
- En la ventana se puede colocar la cantidad de datos de caudales, en este caso tres, en Options > Entes/Edit Number of Profiles, también se pueden cambiar los nombres de las columnas donde se colocarán los datos de los caudales en Options > Edit Profile Name > Profile Name (Caudal 50, Caudal 100, Caudal 200).

**Figura 42**

*Datos de los caudales para un TR 50, 100 y 200 años*

Flow Change Location			Profile Names and Flow Rates		
River	Reach	RS	TR 50	TR 100	TR 200
1 Lurin	Reach 1	16700	94.78	142	213.35

- Colocar las condiciones de contorno, observando la elevación del terreno, tenemos que aguas arriba el régimen de flujo es crítico debido a la sinuosidad y pendiente; sin embargo, aguas abajo el régimen de flujo es normal, ya que en esta parte de la cuenca no existe tanta pendiente.

**Figura 43**

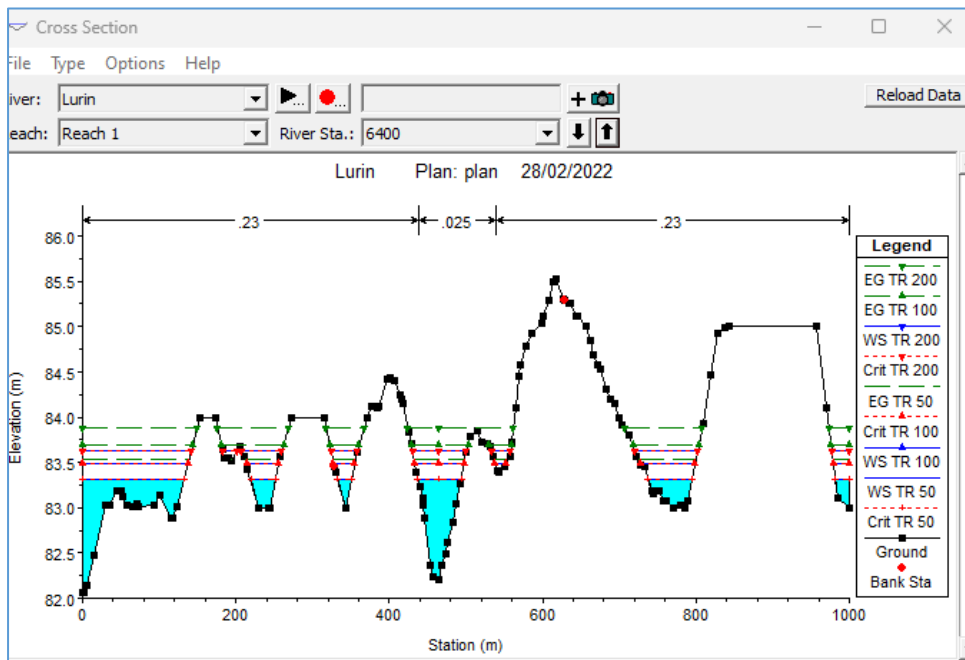
*Condiciones de contorno de flujo estacionario*

River	Reach	Profile	Upstream	Downstream
Lurin	Reach 1	all	Critical Depth	Normal Depth S = 1

- Una vez corrido, se verifica y visualiza los resultados tanto de gráficos como tabulares en View Cross Sections, se visualiza las secciones y perfiles para cada periodo de retorno.

**Figura 44**

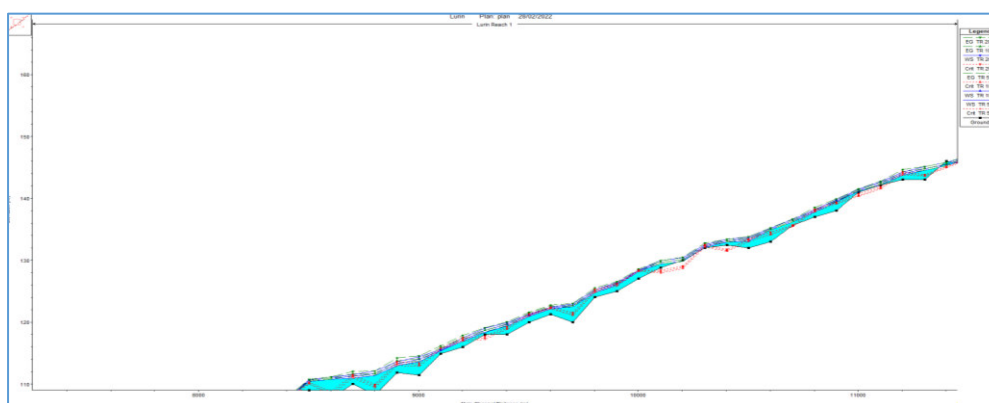
*Trazado de perfil longitudinal del río*



- Finalmente corremos el programa, para obtener la inundación en la cuenca baja del río Lurín.

**Figura 45**

*Trazado de perfil longitudinal del río*



- También se puede observar los resultados tabulares, como valores para cada periodo de retorno en View Summary Output Tables By Profiles.

**Figura 46**

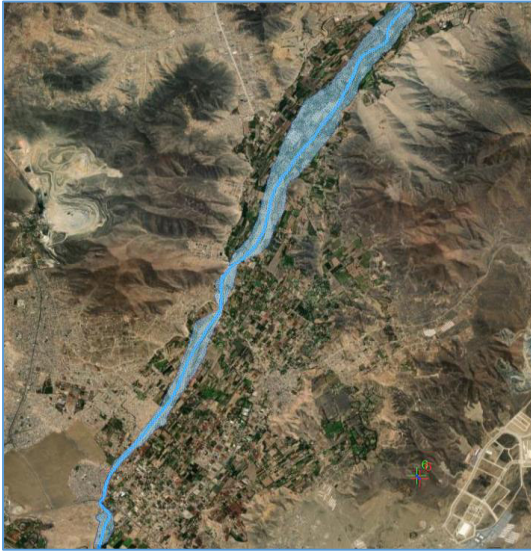
*Tabla de salida de perfiles*

Profile Output Table - Standard Table 1												
File Options Std. Tables Locations Help												
Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Max Chl Dpth (m)
Reach 1	16700	TR 50	94.00	225.41	226.45	225.36	226.46	0.009169	0.76	195.67	198.40	2.32
Reach 1	16700	TR 100	142.00	225.41	226.64	225.52	226.67	0.011026	1.15	235.62	210.84	2.51
Reach 1	16700	TR 200	214.00	225.41	226.90	225.72	226.95	0.012083	1.57	291.31	228.08	2.77
Reach 1	16600	TR 50	94.00	222.32	223.46	223.39	223.62	0.324335	1.97	56.39	115.41	1.14
Reach 1	16600	TR 100	142.00	222.32	223.83	223.54	223.94	0.117054	1.65	103.77	135.30	1.51
Reach 1	16600	TR 200	214.00	222.32	224.15	223.71	224.27	0.083502	1.78	149.75	151.61	1.83
Reach 1	16500	TR 50	94.00	219.47	221.94	220.66	221.95	0.005118	0.55	185.21	173.55	2.47
Reach 1	16500	TR 100	142.00	219.47	222.23	220.88	222.25	0.006269	0.60	255.79	282.50	2.76
Reach 1	16500	TR 200	214.00	219.47	222.50	221.20	222.53	0.007112	0.74	338.71	315.52	3.03
Reach 1	16400	TR 50	94.00	219.87	221.10	220.47	221.13	0.015022	0.74	148.89	327.65	1.25
Reach 1	16400	TR 100	142.00	219.87	221.30	220.61	221.32	0.014477	0.82	216.41	359.00	1.45
Reach 1	16400	TR 200	214.00	219.87	221.54	220.78	221.57	0.013422	0.89	306.29	393.42	1.69
Reach 1	16300	TR 50	94.00	218.04	219.40	218.81	219.43	0.018384	0.84	128.71	208.58	1.36
Reach 1	16300	TR 100	142.00	218.04	219.62	218.99	219.66	0.018318	0.93	179.04	234.65	1.58
Reach 1	16300	TR 200	214.00	218.04	219.87	219.25	219.91	0.019706	1.06	239.24	261.87	1.83
Reach 1	16200	TR 50	94.00	216.00	216.93	216.48	216.98	0.031402	1.06	96.16	130.98	0.93
Reach 1	16200	TR 100	142.00	216.00	217.15	216.62	217.21	0.031566	1.22	136.45	218.00	1.15
Reach 1	16200	TR 200	214.00	216.00	217.42	216.82	217.48	0.028061	1.31	196.20	226.95	1.42
Reach 1	16100	TR 50	94.00	215.00	215.09	214.30	215.11	0.011244	0.12	159.20	233.34	1.81
Reach 1	16100	TR 100	142.00	215.00	215.33	214.53	215.35	0.011082	0.30	218.28	260.35	2.05
Reach 1	16100	TR 200	214.00	215.00	215.58	214.75	215.61	0.012108	0.45	285.36	283.89	2.30
Reach 1	16000	TR 50	94.00	212.33	212.94	212.60	212.98	0.048852	0.72	104.61	186.43	0.95
Reach 1	16000	TR 100	142.00	212.33	213.11	212.73	213.16	0.055082	0.91	143.03	258.39	1.12
Reach 1	16000	TR 200	214.00	212.33	213.32	212.88	213.38	0.048061	0.98	200.61	292.20	1.33
Reach 1	15900	TR 50	94.00	211.94	211.67	211.18	211.68	0.006802		192.62	292.44	1.46
Reach 1	15900	TR 100	142.00	211.94	211.88	211.26	211.90	0.006266		257.29	313.97	1.67
Reach 1	15900	TR 200	214.00	211.94	212.12	211.36	212.14	0.006386	0.60	339.95	385.70	1.91
Reach 1	15800	TR 50	94.00	211.00	210.86	210.33	210.88	0.017049		125.64	157.62	1.25
Reach 1	15800	TR 100	142.00	211.00	211.10	210.46	211.13	0.017317	0.86	176.42	269.27	1.49
Reach 1	15800	TR 200	214.00	211.00	211.32	210.61	211.37	0.016187	1.53	246.60	354.30	1.71
Reach 1	15700	TR 50	94.00	208.76	207.30	207.30	207.48	0.195516		50.41	147.11	1.19
Reach 1	15700	TR 100	142.00	208.76	207.43	207.43	207.63	0.205432		72.40	183.96	1.32
Reach 1	15700	TR 200	214.00	208.76	207.57	207.57	207.81	0.268249		99.27	207.68	1.46
Reach 1	15600	TR 50	94.00	204.09	206.02	204.35	206.03	0.002093	0.19	309.60	275.85	2.78
Reach 1	15600	TR 100	142.00	204.09	206.29	204.54	206.30	0.002612	0.23	392.07	330.63	3.05
Reach 1	15600	TR 200	214.00	204.09	206.60	204.75	206.61	0.003069	0.32	500.55	388.77	3.36
Reach 1	15500	TR 50	94.00	204.69	205.27	205.27	205.49	0.028742	2.64	72.55	177.38	0.98
Reach 1	15500	TR 100	142.00	204.69	205.42	205.42	205.69	0.024030	2.84	100.82	200.55	1.13
Reach 1	15500	TR 200	214.00	204.69	205.60	205.60	205.94	0.021225	3.12	137.83	225.05	1.31
Reach 1	15400	TR 50	94.00	201.29	202.14	202.39	202.88	0.023097	3.83	25.78	64.49	0.85
Reach 1	15400	TR 100	142.00	201.29	202.28	202.62	203.25	0.024836	4.37	36.64	84.22	0.99
Reach 1	15400	TR 200	214.00	201.29	202.46	202.83	203.65	0.024285	4.88	53.30	109.30	1.17

- A partir del RAS Mapper, exportamos la inundación al software ArcGIS.

**Figura 47**

*Visualización de la inundación para un TR 200 años*

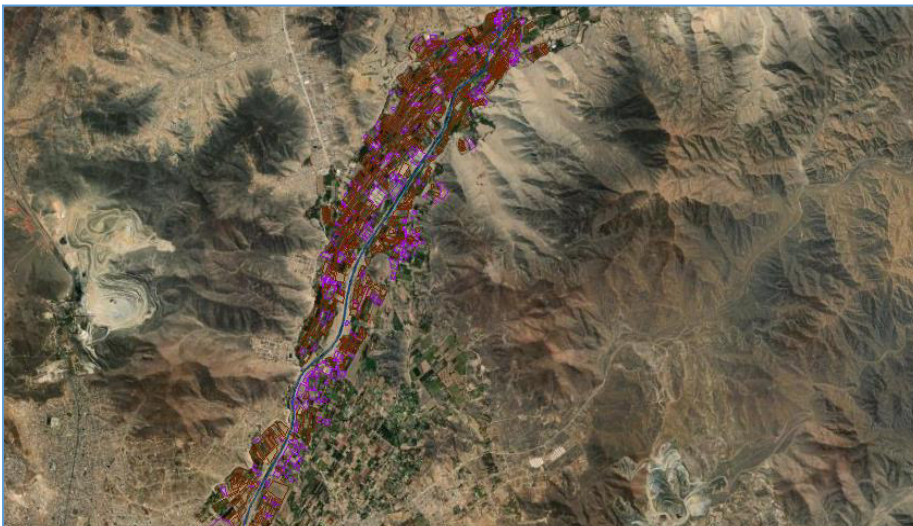


#### **3.6.2.3. Fase 4: identificación de las zonas inundadas.**

- Al terminar la exportación de la inundación al software ArcGIS, digitalizamos los predios que se encuentran en la cuenca baja del río Lurín.

**Figura 48**

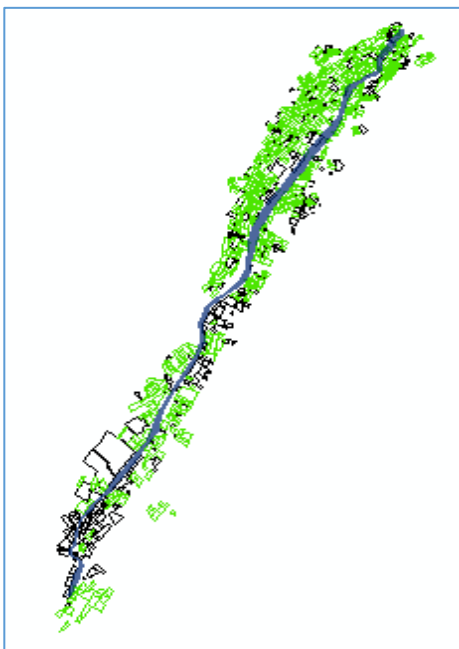
*Predios digitalizados en la cuenca baja del rio Lurín*



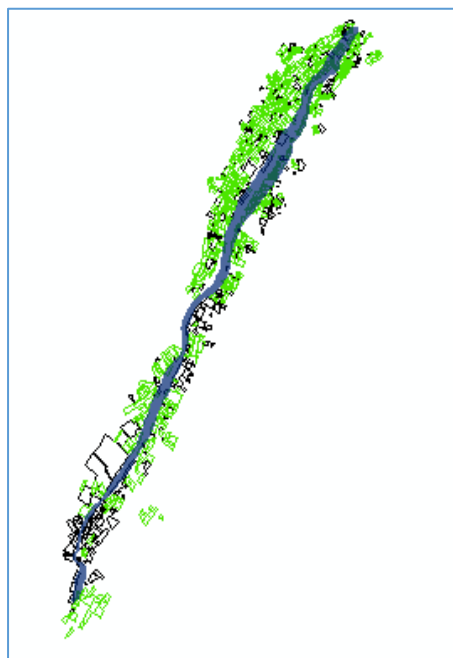
- Finalmente identificamos los predios afectados para cada tiempo de retorno.

**Figura 49**

*Predios inundados para un tiempo de retorno de 50 años*

**Figura 50**

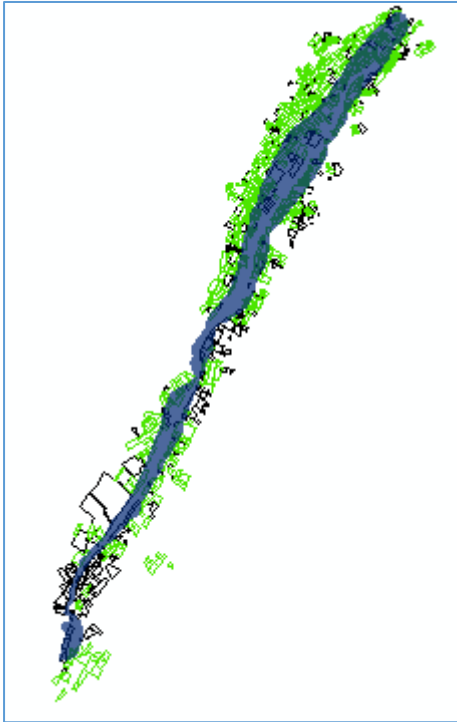
*Predios inundados para un tiempo de retorno de 100 años*





**Figura 51**

*Predios inundados para un tiempo de retorno de 200 años*

**3.6.3 Determinación del riesgo por inundación fluvial**

- Al tener el resultado del modelamiento HEC-RAS (zonas inundadas) para cada tiempo de retorno y los predios inundados identificados, utilizamos el siguiente criterio para determinar el riesgo:

**Tabla 28***Estratificación del nivel de riesgo por inundación fluvial*

<b>Nivel de Riesgos</b>	<b>Descripción</b>
<b>Riesgo muy alto</b>	<p>Altas precipitaciones fluviales, acentuadas con frecuencia por la ocurrencia del fenómeno ENOS y la variabilidad climática. Caudales entre los 143 m<sup>3</sup>/s y 213.35 m<sup>3</sup>/s. Geomorfología asociada a planicies inundables. Destrucción de caminos y carreteras entre las 156 y 324.05 ha. Pérdida de las zonas agrícolas entre las 42 y 127.51 ha y zonas urbanas entre las 17-59.56 ha, pérdidas económicas y materiales. Población instalada dentro de la faja marginal y en la desembocadura del río Lurín y sus quebradas en la cuenca baja. Expansión urbana en los sectores de la parte baja. Ubicación no adecuada de estructuras físicas. Modificaciones en el curso de agua mediante canalizaciones cerradas, sub-dimensionadas.</p>
<b>Riesgo alto</b>	<p>Altas precipitaciones fluviales, acentuadas con frecuencia por la ocurrencia del fenómeno ENOS y la variabilidad climática. Caudales entre los 95 m<sup>3</sup>/s y 142 m<sup>3</sup>/s. Geomorfología asociada a planicies inundables. Destrucción de caminos y carreteras entre las 44 y 155.18 ha. Pérdida de las zonas agrícolas entre las 4 y 41.60 ha y destrucción de zonas urbanas entre las 4 y 16.98 ha, pérdidas económicas y materiales. Población instalada dentro de los límites de la faja marginal a 2 a 3 km a la redonda de la subcuenca baja. Expansión urbana en los sectores de la parte baja. Ubicación no adecuada de estructuras físicas. Modificaciones en el curso de agua mediante canalizaciones cerradas, sub-dimensionadas.</p>
<b>Riesgo medio</b>	<p>Caudales entre los 30 m<sup>3</sup>/s y 94.78 m<sup>3</sup>/s. Geomorfología asociada a piedemonte. Los caminos y carreteras, las zonas agrícolas y las zonas urbanas están ubicados en los límites de las áreas inundadas, pérdidas económicas y materiales. Población instalada a 5 km a la redonda de los márgenes del río Lurín. Ubicación de estructuras físicas fuera de la faja marginal.</p>
<b>Riesgo bajo</b>	<p>Caudales entre los 0 m<sup>3</sup>/s y 10 m<sup>3</sup>/s. Geomorfología de colina. Caminos y carreteras a 100 km de la faja marginal del río Lurín. Zonas agrícolas ubicadas en las colinas. Las viviendas y construcciones físicas ubicados adecuadamente en la subcuenca baja. Población instalada a 100 km a la redonda de los márgenes del río Lurín. Estructuras físicas ubicadas</p>

---

fuera de la faja marginal. Estructuras de defensa dimensionadas correctamente ante eventos extremos.

---

### 3.7 Análisis de datos

Se recopiló información existente de precipitaciones máximas en 24 horas de los años 1965 al 2017. Esta información fue brindada por el SENAMHI.

#### 3.7.1 Consideraciones técnicas

- Para el caso de las estaciones seleccionadas, según la fuente del SENAMHI indica que la medición de la precipitación máxima viene a ser la mayor medición registrada entre las 7h y 19h, dos mediciones al día, seleccionándose la mayor de ambas.
- Para el análisis de las precipitaciones no necesariamente los años de precipitación tienen que ser continuos.
- En la aplicación del software Hydrognomon, definir la zona horaria para el caso de Perú es L (UTC+1100) Lima.
- El software Hydrognomon es más preciso en los cálculos, ya que Excel no cuenta con herramientas que permitan definir ecuaciones exactas en algunos casos.
- Para el cálculo del Curva Numero, no se utilizan los “shapefiles” elaborados por la ANA porque presenta un CN en rango, y no un CN específico como se precisa en este tipo de investigaciones.
- En la modelización hidrológica del HEC-HMS la conexión de las subcuencas deben ser de aguas arriba hacia aguas abajo.
- En la modelización hidrológica del HEC-HMS considerar que se trabaja con una precipitación incremental en los hietogramas; por lo tanto, se emplea la herramienta “Incremental Milimeters”.
- No es necesario contar con la extensión Hec-GeoRAS, para el software ArcGIS.

- En la modelización hidráulica del HEC-RAS al digitalizar todas las capas de la geometría del río, comenzar a dibujar de aguas arriba hacia aguas abajo, para su correcto funcionamiento.
- En la modelización hidráulica del HEC-RAS, al editar la capa de bancos, seguimos el mismo curso de la capa del río empezando del margen izquierdo del río.
- En la modelización hidráulica del HEC-RAS, al crear las secciones transversales, deben estar dentro del DEM de elevación.
- Los puntos conocidos como “Junction”, no son necesarios editarlos por estar basados en la faja marginal delimitada por el ANA.
- El valor de Manning se coloca en las tablas automáticamente después de colocarlas como información en el RAS Mapper.

## IV. RESULTADOS

### 4.1 Resultados de máximas avenidas

El modelo de cuenca empleado en el modelamiento hidrológico HEC-HMS consta de 10 subcuencas, cada una de ellas presenta características homogéneas en cuanto a la geomorfología, consideradas como unidades que presentan una respuesta hidrológica homogénea.

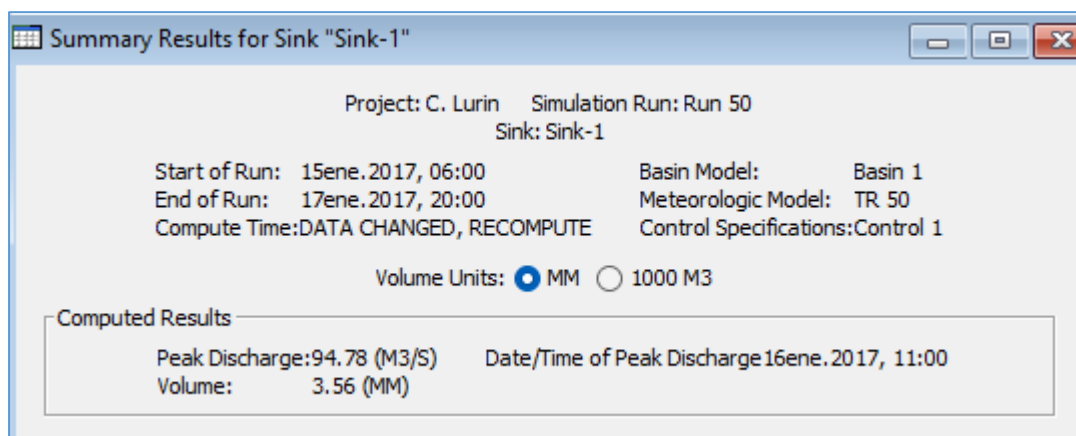
Las máximas avenidas entre los años 1965-2017 son estimadas mediante el modelamiento hidrológico HEC-HMS, teniendo como resultados caudales máximos para un periodo de retorno de 50 años 94.78 m<sup>3</sup>/s, para un periodo de retorno de 100 años 142.0 m<sup>3</sup>/s y para un periodo de retorno de 200 años 213.35 m<sup>3</sup>/s.

A continuación, se muestra la tabla general del resultado de la simulación, el hidrograma de salida y la variación de caudales máximos en 24 horas para los periodos de retorno de 50, 100 y 200 años.

En la Figura 52 se tiene el caudal máximo calculado para un periodo de retorno de 50 años de 94.78 m<sup>3</sup>/s. La descarga máxima pasa aproximadamente a las 11:00 horas después de iniciada la tormenta en el tributario.

### Figura 52

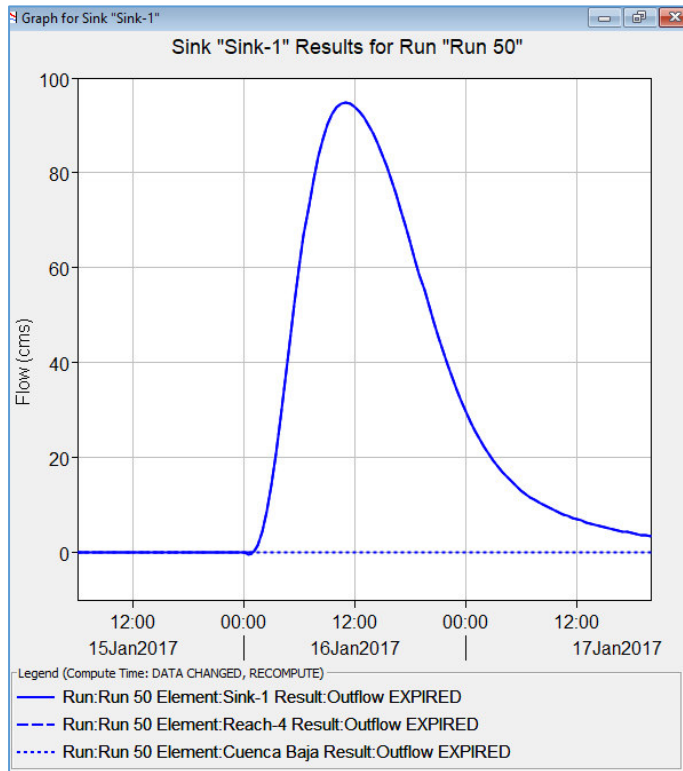
*Resultado de la simulación HEC-HMS para un periodo de retorno de 50 años*



En la Figura 53 se muestra el hidrograma de diseño para un periodo de retorno de 50 años, se muestra el resultado de la simulación en la desembocadura de la cuenca del río Lurín.

**Figura 53**

*Hidrograma de avenida del modelo para un tiempo de retorno de 50 años*



En la Tabla 29 se presentan los valores del hidrograma de la avenida de un periodo de retorno de 50 años en la cuenca baja del río Lurín, del mismo modo cada subcuenca tiene su hidrograma de avenidas resultante.

**Tabla 29**

*Variación de caudales máximos en 24 horas para un periodo de retorno de 50 años*

Fecha	Tiempo	Afluencia de Reach-4 (m <sup>3</sup> /s)	Afluencia de la cuenca baja (m <sup>3</sup> /s)	Entrada total (m <sup>3</sup> /s)
15ene.2017	06:00	0	0	0
15ene.2017	06:30	0	0	0

15ene.2017	07:00	0	0	0
15ene.2017	07:30	0	0	0
15ene.2017	08:00	0	0	0
15ene.2017	08:30	0	0	0
15ene.2017	09:00	0	0	0
15ene.2017	09:30	0	0	0
15ene.2017	10:00	0	0	0
15ene.2017	10:30	0	0	0
15ene.2017	11:00	0	0	0
15ene.2017	11:30	0	0	0
15ene.2017	12:00	0	0	0
15ene.2017	12:30	0	0	0
15ene.2017	13:00	0	0	0
15ene.2017	13:30	0	0	0
15ene.2017	14:00	0	0	0
15ene.2017	14:30	0	0	0
15ene.2017	15:00	0	0	0
15ene.2017	15:30	0	0	0
15ene.2017	16:00	0	0	0
15ene.2017	16:30	0	0	0
15ene.2017	17:00	0	0	0
15ene.2017	17:30	0	0	0
15ene.2017	18:00	0	0	0
15ene.2017	18:30	0	0	0
15ene.2017	19:00	0	0	0
15ene.2017	19:30	0	0	0
15ene.2017	20:00	0	0	0
15ene.2017	20:30	0	0	0
15ene.2017	21:00	0	0	0
15ene.2017	21:30	0	0	0
15ene.2017	22:00	0	0	0
15ene.2017	22:30	-0.01	0	0
15ene.2017	23:00	0	0	0
15ene.2017	23:30	0.01	0	0.01
16ene.2017	00:00	0.06	0	0.06
16ene.2017	00:30	-0.43	0	0
16ene.2017	01:00	-0.16	0	0
16ene.2017	01:30	1.5	0	1.5
16ene.2017	02:00	4.44	0	4.44
16ene.2017	02:30	8.65	0	8.65
16ene.2017	03:00	14.14	0	14.14
16ene.2017	03:30	20.72	0	20.72
16ene.2017	04:00	28.16	0	28.16
16ene.2017	04:30	36.11	0	36.11

16ene.2017	05:00	44.24	0	44.24
16ene.2017	05:30	52.25	0	52.25
16ene.2017	06:00	59.86	0	59.86
16ene.2017	06:30	66.9	0	66.9
16ene.2017	07:00	73.21	0	73.21
16ene.2017	07:30	78.71	0	78.71
16ene.2017	08:00	83.36	0	83.36
16ene.2017	08:30	87.15	0	87.15
16ene.2017	09:00	90.12	0	90.12
16ene.2017	09:30	92.3	0	92.3
16ene.2017	10:00	93.76	0	93.76
16ene.2017	10:30	94.56	0	94.56
16ene.2017	11:00	94.78	0	94.78
16ene.2017	11:30	94.52	0	94.52
16ene.2017	12:00	93.87	0	93.87
16ene.2017	12:30	92.9	0	92.9
16ene.2017	13:00	91.63	0	91.63
16ene.2017	13:30	90.09	0	90.09
16ene.2017	14:00	88.26	0	88.26
16ene.2017	14:30	86.16	0	86.16
16ene.2017	15:00	83.82	0	83.82
16ene.2017	15:30	81.24	0	81.24
16ene.2017	16:00	78.43	0	78.43
16ene.2017	16:30	75.42	0	75.42
16ene.2017	17:00	72.24	0	72.24
16ene.2017	17:30	68.93	0	68.93
16ene.2017	18:00	65.54	0	65.54
16ene.2017	18:30	62.1	0	62.1
16ene.2017	19:00	58.65	0	58.65
16ene.2017	19:30	55.23	0	55.23
16ene.2017	20:00	51.87	0	51.87
16ene.2017	20:30	48.6	0	48.6
16ene.2017	21:00	45.45	0	45.45
16ene.2017	21:30	42.42	0	42.42
16ene.2017	22:00	39.54	0	39.54
16ene.2017	22:30	36.82	0	36.82
16ene.2017	23:00	34.26	0	34.26
16ene.2017	23:30	31.87	0	31.87
17ene.2017	00:00	29.64	0	29.64
17ene.2017	00:30	27.57	0	27.57
17ene.2017	01:00	25.65	0	25.65
17ene.2017	01:30	23.88	0	23.88
17ene.2017	02:00	22.24	0	22.24
17ene.2017	02:30	20.74	0	20.74



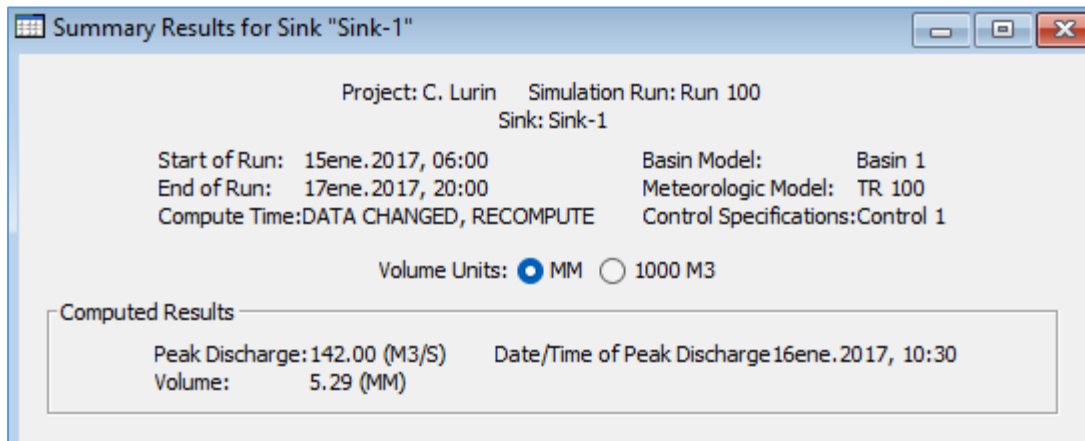
17ene.2017	03:00	19.35	0	19.35
17ene.2017	03:30	18.08	0	18.08
17ene.2017	04:00	16.92	0	16.92
17ene.2017	04:30	15.85	0	15.85
17ene.2017	05:00	14.87	0	14.87
17ene.2017	05:30	13.97	0	13.97
17ene.2017	06:00	13.15	0	13.15
17ene.2017	06:30	12.39	0	12.39
17ene.2017	07:00	11.69	0	11.69
17ene.2017	07:30	11.05	0	11.05
17ene.2017	08:00	10.46	0	10.46
17ene.2017	08:30	9.91	0	9.91
17ene.2017	09:00	9.4	0	9.4
17ene.2017	09:30	8.93	0	8.93
17ene.2017	10:00	8.49	0	8.49
17ene.2017	10:30	8.08	0	8.08
17ene.2017	11:00	7.69	0	7.69
17ene.2017	11:30	7.33	0	7.33
17ene.2017	12:00	6.99	0	6.99
17ene.2017	12:30	6.67	0	6.67
17ene.2017	13:00	6.37	0	6.37
17ene.2017	13:30	6.09	0	6.09
17ene.2017	14:00	5.82	0	5.82
17ene.2017	14:30	5.56	0	5.56
17ene.2017	15:00	5.32	0	5.32
17ene.2017	15:30	5.09	0	5.09
17ene.2017	16:00	4.87	0	4.87
17ene.2017	16:30	4.66	0	4.66
17ene.2017	17:00	4.46	0	4.46
17ene.2017	17:30	4.27	0	4.27
17ene.2017	18:00	4.09	0	4.09
17ene.2017	18:30	3.91	0	3.91
17ene.2017	19:00	3.75	0	3.75
17ene.2017	19:30	3.59	0	3.59
17ene.2017	20:00	3.44	0	3.44

**Nota.** Hidrograma correspondiente a la cuenca baja del río Lurin.

En la Figura 54 se tiene el caudal máximo calculado para un periodo de retorno de 100 años de  $142 \text{ m}^3/\text{s}$ . La descarga máxima pasa aproximadamente a las 10:30 horas después de iniciada la tormenta en el tributario.

## Figura 54

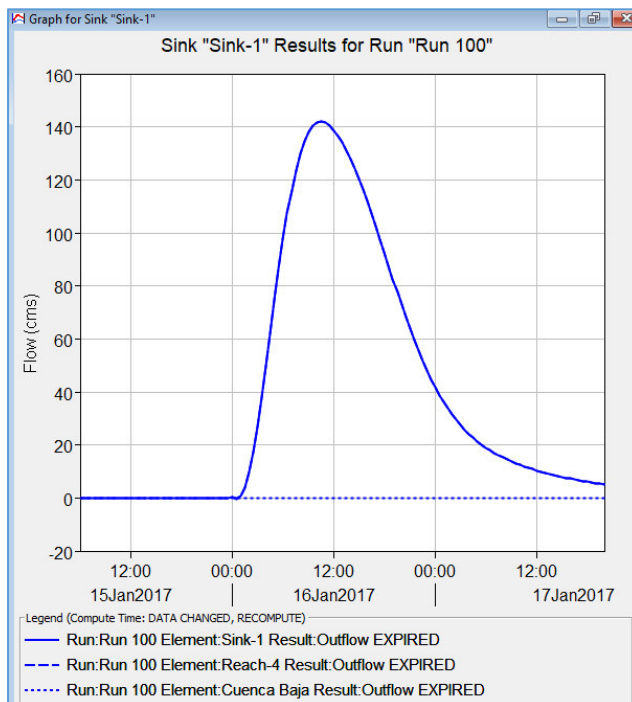
Resultado de la simulación HEC-HMS para un periodo de retorno de 100 años



En la Figura 55 se muestra el hietograma de diseño para un periodo de retorno de 100 años, se muestra el resultado de la simulación en la desembocadura de la cuenca del río Lurín.

## Figura 55

Hidrograma de avenida del modelo para un tiempo de retorno de 100 años



En la Tabla 30 se presentan los valores del hidrograma de la avenida de un periodo de retorno de 100 años en la cuenca baja del rio Lurín, del mismo modo cada subcuenca tiene su hidrograma de avenidas resultante.

**Tabla 30**

*Variación de caudales máximos en 24 horas para un periodo de retorno de 100 años*

Fecha	Tiempo	Afluencia de Reach-4 (m <sup>3</sup> /s)	Afluencia de la cuenca baja (m <sup>3</sup> /s)	Entrada total (m <sup>3</sup> /s)
15ene.2017	06:00	0	0	0
15ene.2017	06:30	0	0	0
15ene.2017	07:00	0	0	0
15ene.2017	07:30	0	0	0
15ene.2017	08:00	0	0	0
15ene.2017	08:30	0	0	0
15ene.2017	09:00	0	0	0
15ene.2017	09:30	0	0	0
15ene.2017	10:00	0	0	0
15ene.2017	10:30	0	0	0
15ene.2017	11:00	0	0	0
15ene.2017	11:30	0	0	0
15ene.2017	12:00	0	0	0
15ene.2017	12:30	0	0	0
15ene.2017	13:00	0	0	0
15ene.2017	13:30	0	0	0
15ene.2017	14:00	0	0	0
15ene.2017	14:30	0	0	0
15ene.2017	15:00	0	0	0
15ene.2017	15:30	0	0	0
15ene.2017	16:00	0	0	0
15ene.2017	16:30	0	0	0
15ene.2017	17:00	0	0	0
15ene.2017	17:30	0	0	0
15ene.2017	18:00	0	0	0
15ene.2017	18:30	0	0	0
15ene.2017	19:00	0	0	0
15ene.2017	19:30	0	0	0
15ene.2017	20:00	0	0	0
15ene.2017	20:30	0	0	0
15ene.2017	21:00	0	0	0

15ene.2017	21:30	0	0	0
15ene.2017	22:00	-0.01	0	0
15ene.2017	22:30	-0.02	0	0
15ene.2017	23:00	0	0	0
15ene.2017	23:30	0.1	0	0.1
16ene.2017	00:00	0.29	0	0.29
16ene.2017	00:30	-0.59	0	0
16ene.2017	01:00	0.56	0	0.56
16ene.2017	01:30	4.07	0	4.07
16ene.2017	02:00	9.67	0	9.67
16ene.2017	02:30	17.27	0	17.27
16ene.2017	03:00	26.74	0	26.74
16ene.2017	03:30	37.68	0	37.68
16ene.2017	04:00	49.63	0	49.63
16ene.2017	04:30	62.04	0	62.04
16ene.2017	05:00	74.41	0	74.41
16ene.2017	05:30	86.3	0	86.3
16ene.2017	06:00	97.37	0	97.37
16ene.2017	06:30	107.38	0	107.38
16ene.2017	07:00	116.15	0	116.15
16ene.2017	07:30	123.59	0	123.59
16ene.2017	08:00	129.69	0	129.69
16ene.2017	08:30	134.47	0	134.47
16ene.2017	09:00	138.01	0	138.01
16ene.2017	09:30	140.39	0	140.39
16ene.2017	10:00	141.68	0	141.68
16ene.2017	10:30	142	0	142
16ene.2017	11:00	141.47	0	141.47
16ene.2017	11:30	140.28	0	140.28
16ene.2017	12:00	138.58	0	138.58
16ene.2017	12:30	136.46	0	136.46
16ene.2017	13:00	133.95	0	133.95
16ene.2017	13:30	131.09	0	131.09
16ene.2017	14:00	127.87	0	127.87
16ene.2017	14:30	124.33	0	124.33
16ene.2017	15:00	120.48	0	120.48
16ene.2017	15:30	116.34	0	116.34
16ene.2017	16:00	111.93	0	111.93
16ene.2017	16:30	107.3	0	107.3
16ene.2017	17:00	102.48	0	102.48
16ene.2017	17:30	97.54	0	97.54
16ene.2017	18:00	92.53	0	92.53
16ene.2017	18:30	87.5	0	87.5
16ene.2017	19:00	82.51	0	82.51

16ene.2017	19:30	77.59	0	77.59
16ene.2017	20:00	72.79	0	72.79
16ene.2017	20:30	68.15	0	68.15
16ene.2017	21:00	63.69	0	63.69
16ene.2017	21:30	59.44	0	59.44
16ene.2017	22:00	55.4	0	55.4
16ene.2017	22:30	51.6	0	51.6
16ene.2017	23:00	48.04	0	48.04
16ene.2017	23:30	44.72	0	44.72
17ene.2017	00:00	41.63	0	41.63
17ene.2017	00:30	38.77	0	38.77
17ene.2017	01:00	36.12	0	36.12
17ene.2017	01:30	33.68	0	33.68
17ene.2017	02:00	31.44	0	31.44
17ene.2017	02:30	29.38	0	29.38
17ene.2017	03:00	27.48	0	27.48
17ene.2017	03:30	25.74	0	25.74
17ene.2017	04:00	24.14	0	24.14
17ene.2017	04:30	22.68	0	22.68
17ene.2017	05:00	21.33	0	21.33
17ene.2017	05:30	20.1	0	20.1
17ene.2017	06:00	18.97	0	18.97
17ene.2017	06:30	17.93	0	17.93
17ene.2017	07:00	16.97	0	16.97
17ene.2017	07:30	16.08	0	16.08
17ene.2017	08:00	15.25	0	15.25
17ene.2017	08:30	14.49	0	14.49
17ene.2017	09:00	13.78	0	13.78
17ene.2017	09:30	13.12	0	13.12
17ene.2017	10:00	12.5	0	12.5
17ene.2017	10:30	11.91	0	11.91
17ene.2017	11:00	11.37	0	11.37
17ene.2017	11:30	10.85	0	10.85
17ene.2017	12:00	10.36	0	10.36
17ene.2017	12:30	9.9	0	9.9
17ene.2017	13:00	9.47	0	9.47
17ene.2017	13:30	9.05	0	9.05
17ene.2017	14:00	8.66	0	8.66
17ene.2017	14:30	8.29	0	8.29
17ene.2017	15:00	7.94	0	7.94
17ene.2017	15:30	7.6	0	7.6
17ene.2017	16:00	7.28	0	7.28
17ene.2017	16:30	6.97	0	6.97
17ene.2017	17:00	6.68	0	6.68

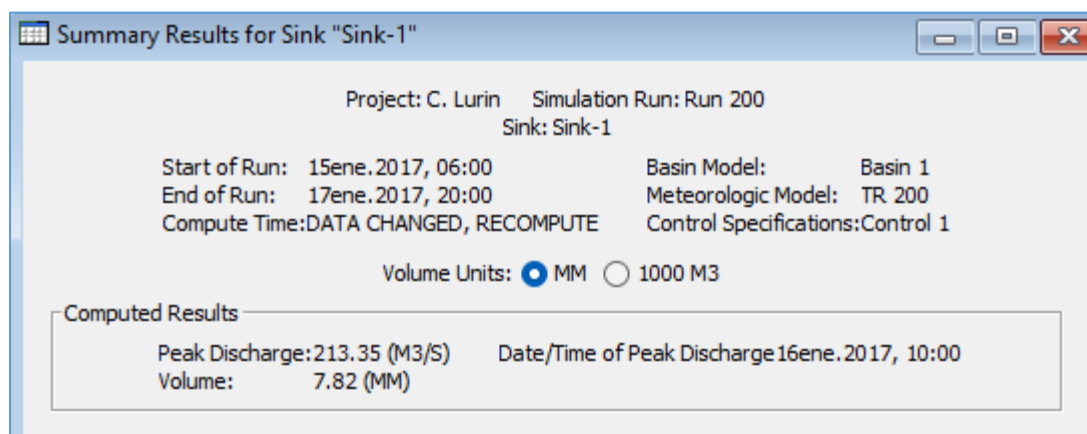
17ene.2017	17:30	6.4	0	6.4
17ene.2017	18:00	6.13	0	6.13
17ene.2017	18:30	5.87	0	5.87
17ene.2017	19:00	5.63	0	5.63
17ene.2017	19:30	5.39	0	5.39
17ene.2017	20:00	5.17	0	5.17

**Nota.** Hidrograma correspondiente a la cuenca baja del río Lurin.

En la Figura 56 se tiene el caudal máximo calculado para un periodo de retorno de 200 años de 213.35 m<sup>3</sup>/s. La descarga máxima pasa aproximadamente a las 10:00 horas después de iniciada la tormenta en el tributario.

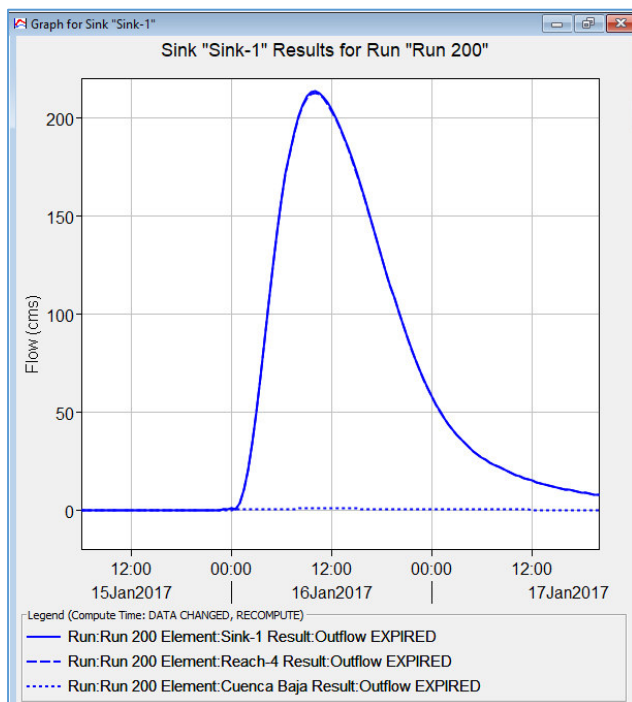
### Figura 56

*Resultado de la simulación HEC-HMS para un periodo de retorno de 200 años*



**Figura 57**

*Hidrograma del modelo para un tiempo de retorno de 200 años*



En la Tabla 31 se presentan los valores del hidrograma de la avenida de un periodo de retorno de 200 años en la subcuenca baja del río Lurín, del mismo modo cada subcuenca tiene su hidrograma de avenidas resultante.

**Tabla 31**

*Variación de caudales máximos en 24 horas para un periodo de retorno de 200 años*

Fecha	Tiempo	Afluencia de Reach-4 (m3/s)	Afluencia de la cuenca baja (m3/s)	Entrada total (m3/s)
15ene.2017	06:00	0	0	0
15ene.2017	06:30	0	0	0
15ene.2017	07:00	0	0	0
15ene.2017	07:30	0	0	0
15ene.2017	08:00	0	0	0
15ene.2017	08:30	0	0	0
15ene.2017	09:00	0	0	0
15ene.2017	09:30	0	0	0
15ene.2017	10:00	0	0	0

15ene.2017	10:30	0	0	0
15ene.2017	11:00	0	0	0
15ene.2017	11:30	0	0	0
15ene.2017	12:00	0	0	0
15ene.2017	12:30	0	0	0
15ene.2017	13:00	0	0	0
15ene.2017	13:30	0	0	0
15ene.2017	14:00	0	0	0
15ene.2017	14:30	0	0	0
15ene.2017	15:00	0	0	0
15ene.2017	15:30	0	0	0
15ene.2017	16:00	0	0	0
15ene.2017	16:30	0	0	0
15ene.2017	17:00	0	0	0
15ene.2017	17:30	0	0	0
15ene.2017	18:00	0	0	0
15ene.2017	18:30	0	0	0
15ene.2017	19:00	0	0	0
15ene.2017	19:30	0	0	0
15ene.2017	20:00	0	0	0
15ene.2017	20:30	0	0	0
15ene.2017	21:00	0	0	0
15ene.2017	21:30	0	0	0
15ene.2017	22:00	-0.05	0	0
15ene.2017	22:30	-0.06	0	0
15ene.2017	23:00	0.01	0	0.01
15ene.2017	23:30	0.32	0	0.32
16ene.2017	00:00	0.7	0	0.7
16ene.2017	00:30	0.11	0	0.11
16ene.2017	01:00	3.18	0	3.18
16ene.2017	01:30	10.18	0	10.18
16ene.2017	02:00	20.51	0.01	20.52
16ene.2017	02:30	33.85	0.02	33.88
16ene.2017	03:00	49.78	0.04	49.82
16ene.2017	03:30	67.55	0.07	67.62
16ene.2017	04:00	86.34	0.1	86.45
16ene.2017	04:30	105.34	0.15	105.48
16ene.2017	05:00	123.8	0.2	124
16ene.2017	05:30	141.11	0.26	141.37
16ene.2017	06:00	156.89	0.32	157.21
16ene.2017	06:30	170.86	0.38	171.24
16ene.2017	07:00	182.76	0.44	183.2
16ene.2017	07:30	192.54	0.5	193.04
16ene.2017	08:00	200.25	0.56	200.81



16ene.2017	08:30	205.98	0.62	206.6
16ene.2017	09:00	209.87	0.67	210.54
16ene.2017	09:30	212.04	0.71	212.75
16ene.2017	10:00	212.6	0.75	213.35
16ene.2017	10:30	211.74	0.79	212.52
16ene.2017	11:00	209.69	0.81	210.5
16ene.2017	11:30	206.75	0.82	207.57
16ene.2017	12:00	203.14	0.83	203.97
16ene.2017	12:30	198.99	0.82	199.81
16ene.2017	13:00	194.35	0.79	195.14
16ene.2017	13:30	189.25	0.75	190
16ene.2017	14:00	183.72	0.7	184.42
16ene.2017	14:30	177.8	0.64	178.44
16ene.2017	15:00	171.53	0.58	172.11
16ene.2017	15:30	164.94	0.52	165.45
16ene.2017	16:00	158.07	0.45	158.52
16ene.2017	16:30	150.97	0.39	151.37
16ene.2017	17:00	143.72	0.34	144.06
16ene.2017	17:30	136.39	0.29	136.68
16ene.2017	18:00	129.05	0.25	129.3
16ene.2017	18:30	121.76	0.21	121.97
16ene.2017	19:00	114.59	0.18	114.77
16ene.2017	19:30	107.58	0.15	107.73
16ene.2017	20:00	100.79	0.13	100.92
16ene.2017	20:30	94.26	0.11	94.37
16ene.2017	21:00	88.01	0.1	88.11
16ene.2017	21:30	82.08	0.08	82.16
16ene.2017	22:00	76.48	0.07	76.55
16ene.2017	22:30	71.22	0.06	71.28
16ene.2017	23:00	66.31	0.05	66.36
16ene.2017	23:30	61.75	0.04	61.79
17ene.2017	00:00	57.51	0.04	57.55
17ene.2017	00:30	53.6	0.03	53.63
17ene.2017	01:00	49.99	0.03	50.02
17ene.2017	01:30	46.67	0.02	46.7
17ene.2017	02:00	43.62	0.02	43.64
17ene.2017	02:30	40.81	0.02	40.83
17ene.2017	03:00	38.24	0.02	38.25
17ene.2017	03:30	35.87	0.01	35.89
17ene.2017	04:00	33.71	0.01	33.72
17ene.2017	04:30	31.72	0.01	31.73
17ene.2017	05:00	29.9	0.01	29.9
17ene.2017	05:30	28.22	0.01	28.23
17ene.2017	06:00	26.68	0.01	26.69

17ene.2017	06:30	25.27	0	25.27
17ene.2017	07:00	23.95	0	23.96
17ene.2017	07:30	22.74	0	22.74
17ene.2017	08:00	21.61	0	21.62
17ene.2017	08:30	20.56	0	20.57
17ene.2017	09:00	19.58	0	19.59
17ene.2017	09:30	18.67	0	18.67
17ene.2017	10:00	17.81	0	17.81
17ene.2017	10:30	17	0	17
17ene.2017	11:00	16.23	0	16.23
17ene.2017	11:30	15.51	0	15.51
17ene.2017	12:00	14.82	0	14.82
17ene.2017	12:30	14.17	0	14.17
17ene.2017	13:00	13.56	0	13.56
17ene.2017	13:30	12.97	0	12.97
17ene.2017	14:00	12.42	0	12.42
17ene.2017	14:30	11.89	0	11.89
17ene.2017	15:00	11.39	0	11.39
17ene.2017	15:30	10.91	0	10.91
17ene.2017	16:00	10.45	0	10.45
17ene.2017	16:30	10.02	0	10.02
17ene.2017	17:00	9.6	0	9.6
17ene.2017	17:30	9.2	0	9.2
17ene.2017	18:00	8.82	0	8.82
17ene.2017	18:30	8.46	0	8.46
17ene.2017	19:00	8.11	0	8.11
17ene.2017	19:30	7.77	0	7.77
17ene.2017	20:00	7.45	0	7.45

*Nota.* Hidrograma correspondiente a la cuenca baja del río Lurin.

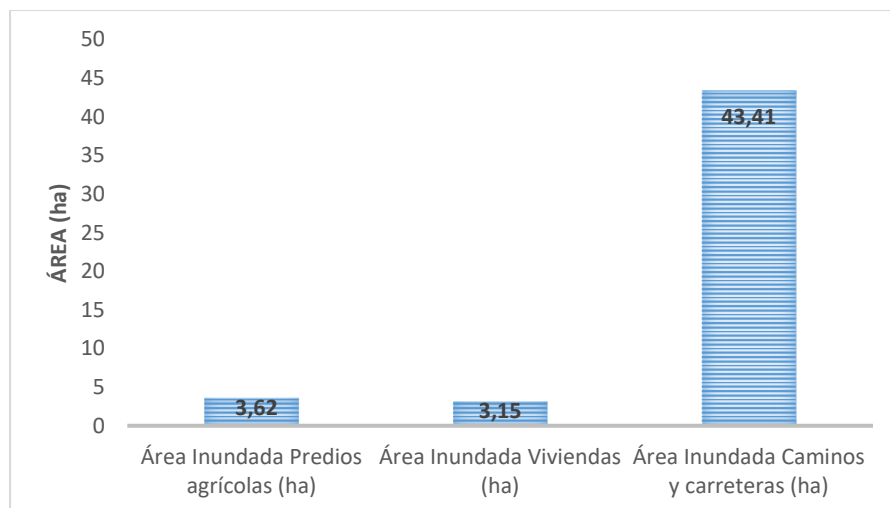
#### 4.2 Resultados de las zonas con riesgo de inundaciones fluviales

A través del modelamiento hidráulico HEC-RAS se identificaron 50.18 ha que presentan riesgo de inundación fluvial para un tiempo de retorno de 50 años, 213.76 ha para un tiempo de retorno de 100 años y 511.12 ha para un tiempo de retorno de 200 años.

**Tabla 32***Total de áreas inundadas según uso del suelo*

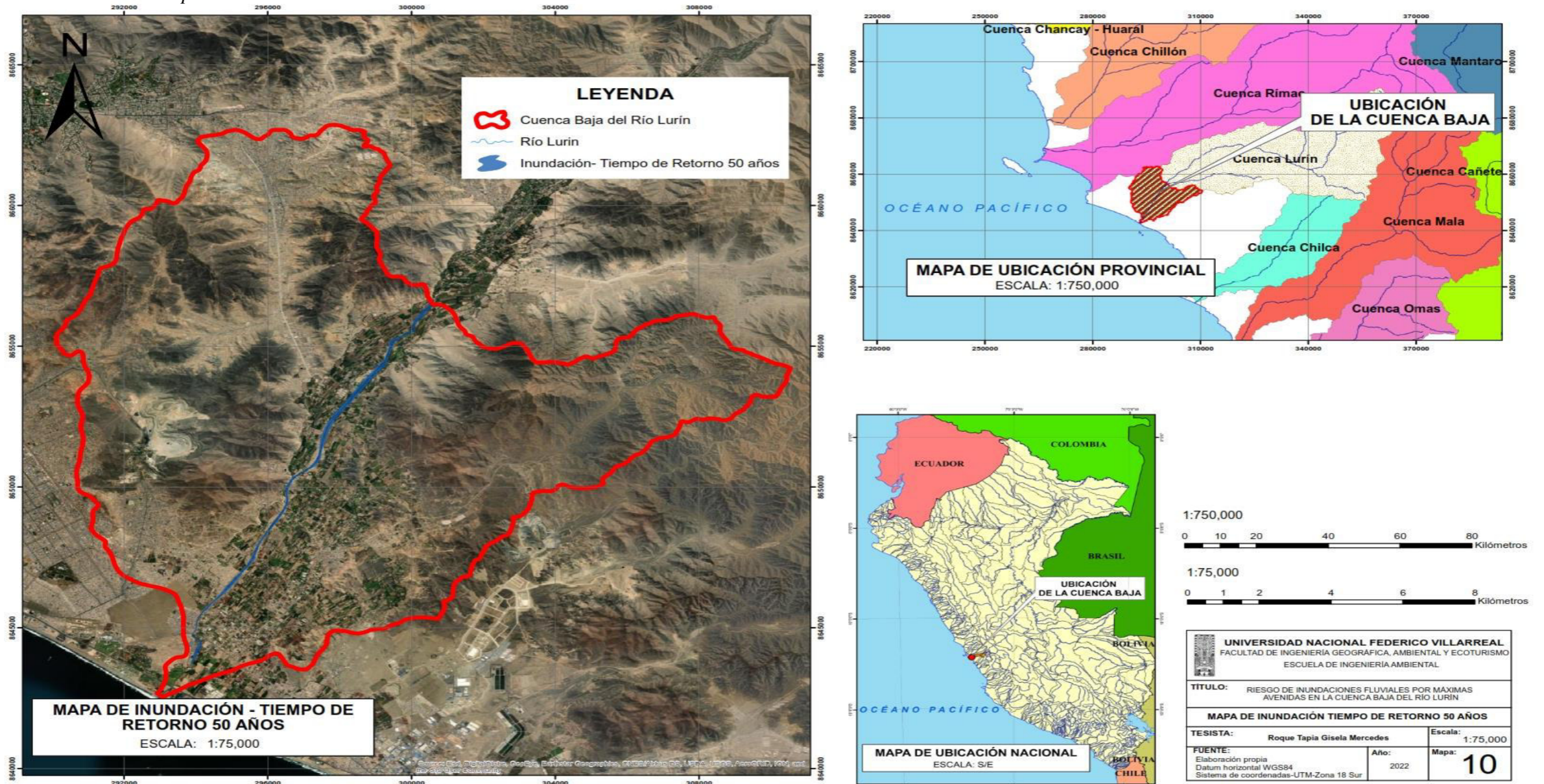
Tiempo de Retorno	Área Inundada Predios agrícolas (ha)	Área Inundada Viviendas (ha)	Área Inundada Caminos y carreteras (ha)
50 años	3.62	3.15	43.41
100 años	41.60	16.98	155.18
200 años	127.51	59.56	324.05

- **Para un TR 50 años:** En la Figura 58 se representa la cantidad de áreas inundadas según el uso del suelo de los cuales el 7.21% corresponden a los predios agrícolas, 6.28% viviendas y el 86.51% corresponde a los caminos y carreteras, las zonas afectadas comprenden el km 9 y 10 ubicado en los centros poblados Quebrada Verde y Guayabo de la cuenca baja del río Lurín.

**Figura 58***Representación de las áreas inundada para un TR 50*

**Figura 59**

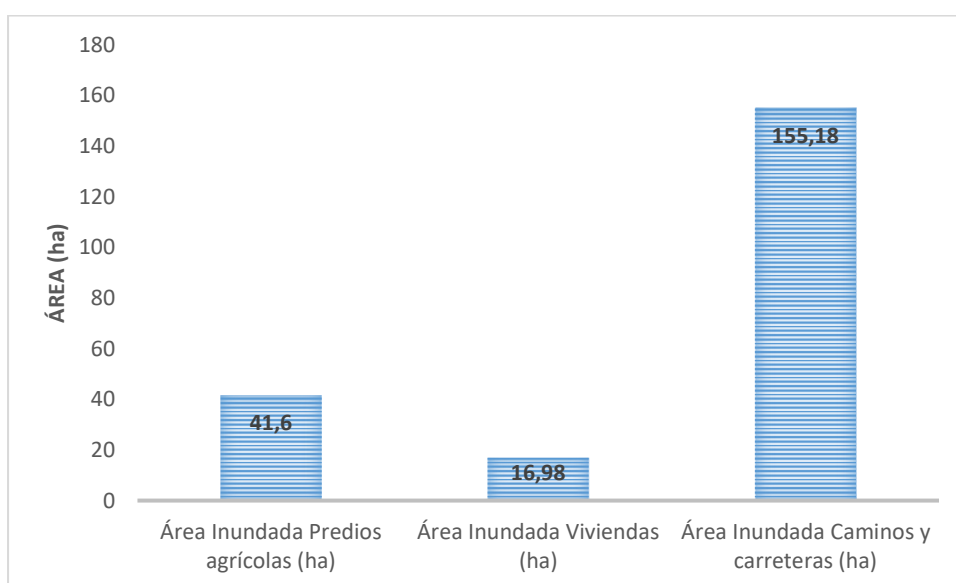
*Inundación tiempo de retorno de 50 años*



- **Para un TR 100 años:** En la Figura 60 se representa la cantidad de áreas inundadas según el uso del suelo de los cuales el 19.46% corresponden a los predios agrícolas, 7.94% viviendas y el 72.60% corresponde a los caminos y carreteras, las zonas afectadas comprenden el km 15 y 16 ubicado en los centros poblados Quebrada Verde y Guayabo de la cuenca baja del río Lurín.

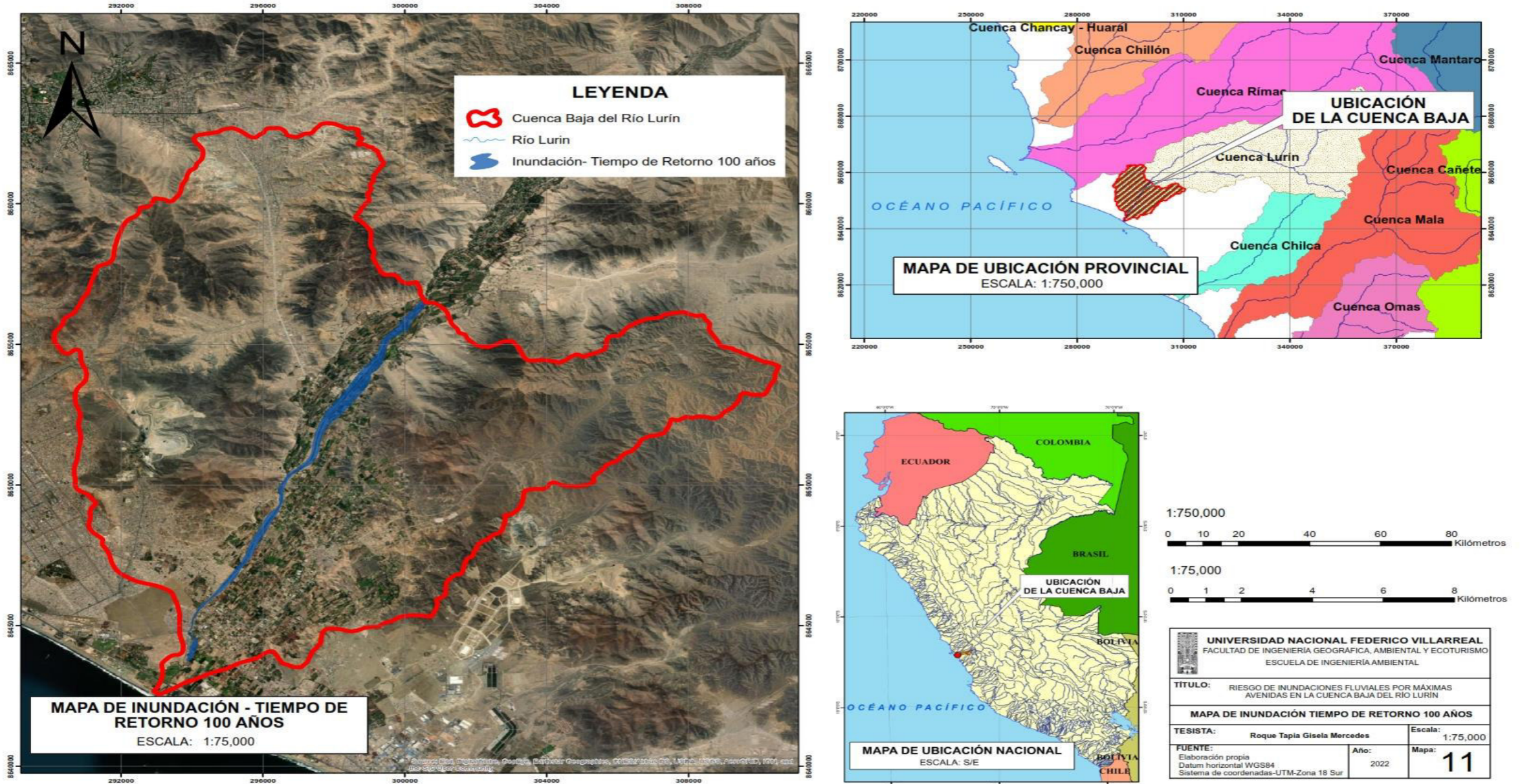
**Figura 60**

*Representación de las áreas inundada para un TR 100*



**Figura 61**

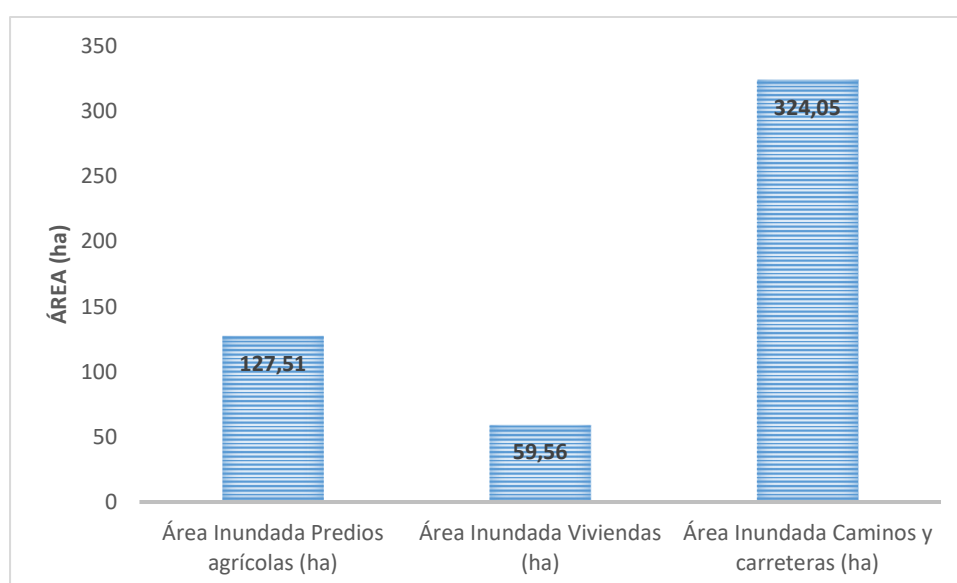
*Inundación tiempo de retorno de 100 años*



- **Para un TR 200 años:** En la Figura 62 se representa la cantidad de áreas inundadas según el uso del suelo de los cuales el 24.95% corresponden a los predios agrícolas, 11.65% viviendas y el 63.40% corresponde a los caminos y carreteras, las zonas afectadas comprenden el km 10 y 11 ubicado en los centros poblados Quebrada Verde y Guayabo de la cuenca baja del río Lurín.

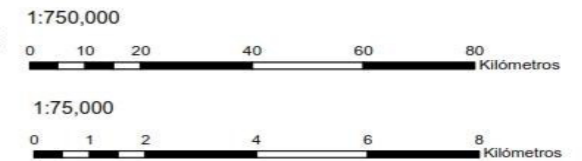
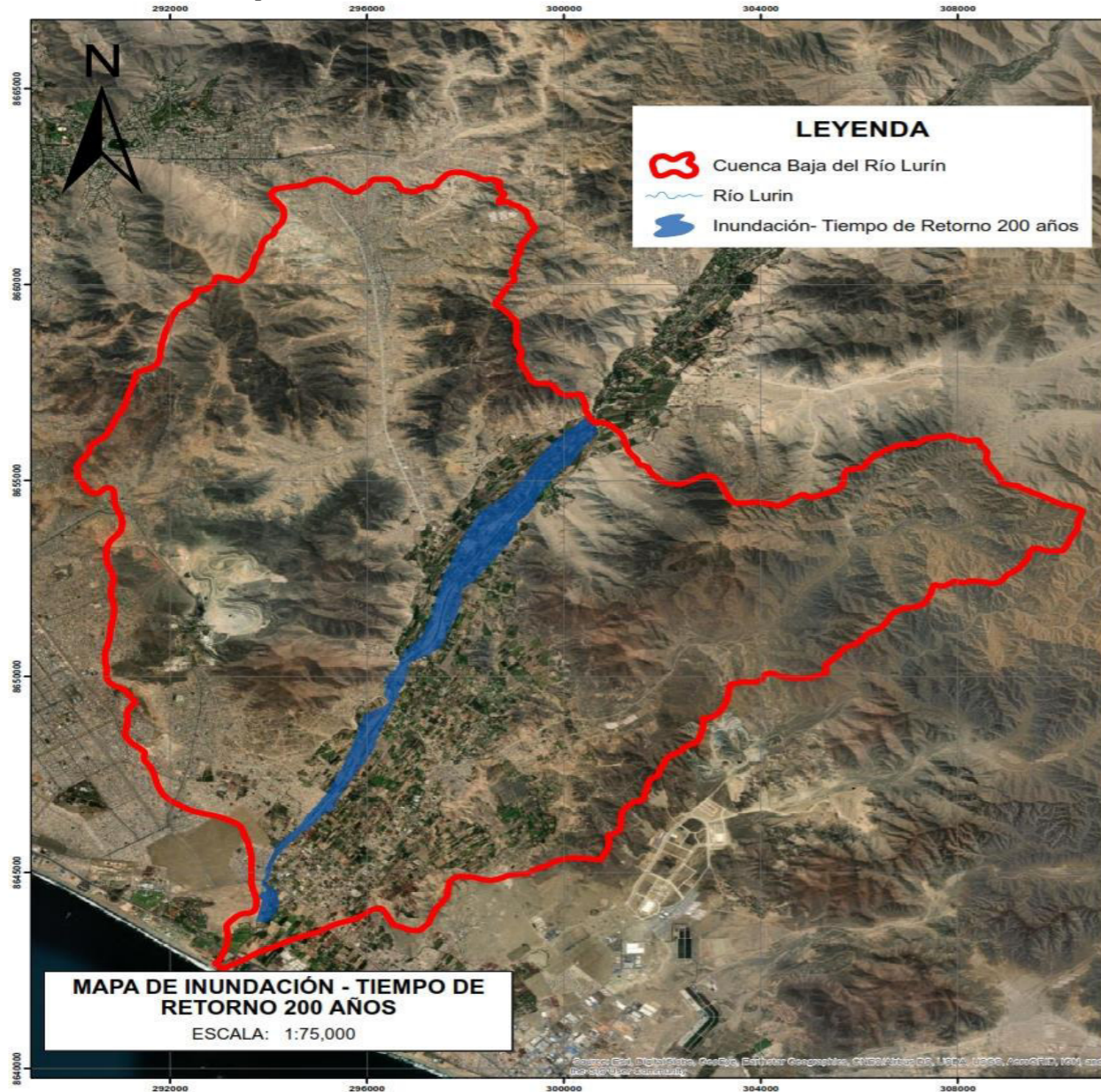
### Figura 62

*Representación de las áreas inundada para un TR 200*



**Figura 63**

*Inundación tiempo de retorno 200 años*



<b>UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLARREAL</b> FACULTAD DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO ESCUELA DE INGENIERÍA AMBIENTAL		
<b>TÍTULO:</b> RIESGO DE INUNDACIONES FLUVIALES POR MÁXIMAS AVENIDAS EN LA CUENCA BAJA DEL RÍO LURÍN		
<b>MAPA DE INUNDACIÓN TIEMPO DE RETORNO 200 AÑOS</b>		
<b>TESISTA:</b> Roque Tapia Gisela Mercedes	Escala: 1:75,000	
<b>FUENTE:</b> Elaboración propia Datum horizontal WGS84 Sistema de coordenadas-UTM-Zona 18 Sur	Año: 2022	Mapa: <b>12</b>



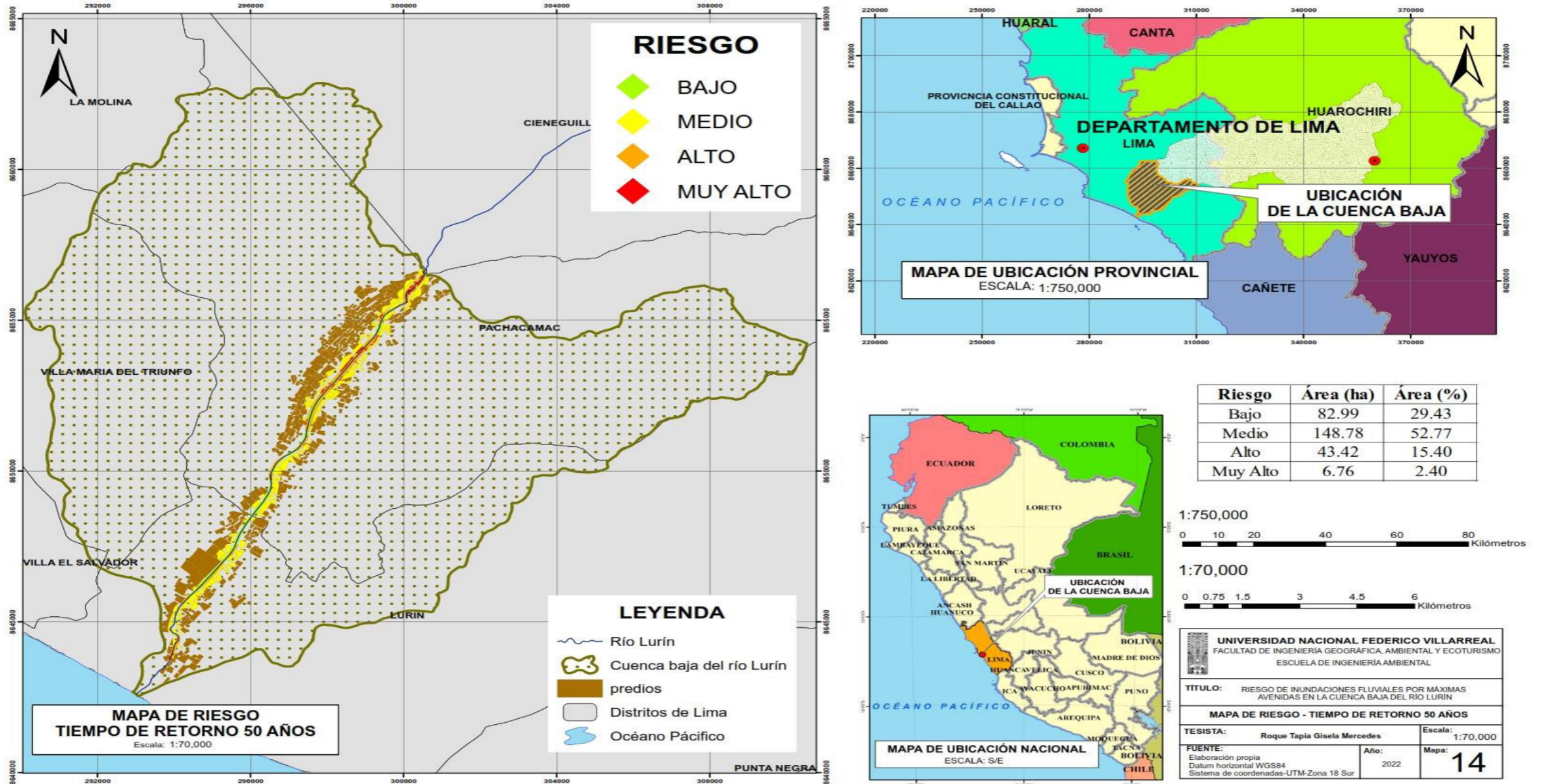
### 4.3 Resultados del riesgo de inundación fluvial

Se determinó el riesgo de inundaciones fluviales por máximas avenidas en la cuenca baja del río Lurín entre los años 1965-2017.

- **Para un TR 50 años:** el riesgo de inundación fluvial para un tiempo de retorno de 50 años es de nivel medio ya que abarca el 52.77% del total del área inundada, el caudal 94.78 m<sup>3</sup>/s está dentro del rango establecido según la estratificación del nivel de riesgo planteada en el estudio. El riesgo medio rodea el área inundada lo cual constituye un total de 148.78 ha. La población está instalada fuera de la faja marginal a 5 km de los márgenes del río Lurín. No presenta estructuras físicas de defensa.

**Figura 64**

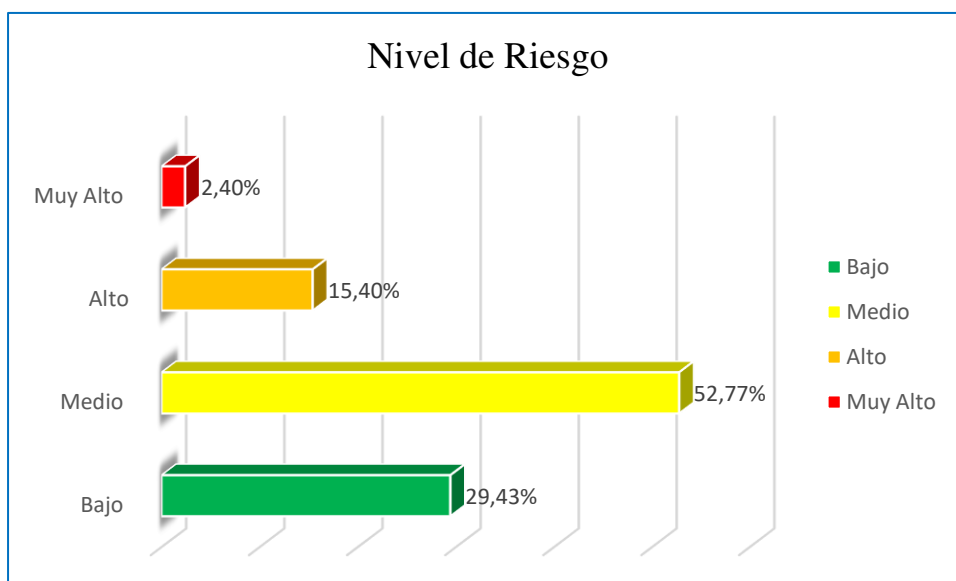
*Riesgo por inundación fluvial para un TR 50 años*



- En la Figura 65 se observa el porcentaje de los niveles de riesgo para un tiempo de retorno de 50 años, el riesgo medio cubre 148.78 ha inundadas con un 52.77%, seguida por el riesgo bajo cubre 82.99 ha inundadas con un 29.43%, el riesgo alto cubre 43.42 ha con un 15.4%, y el riesgo muy alto cubre 6.76 ha con un 2.4%.

**Figura 65**

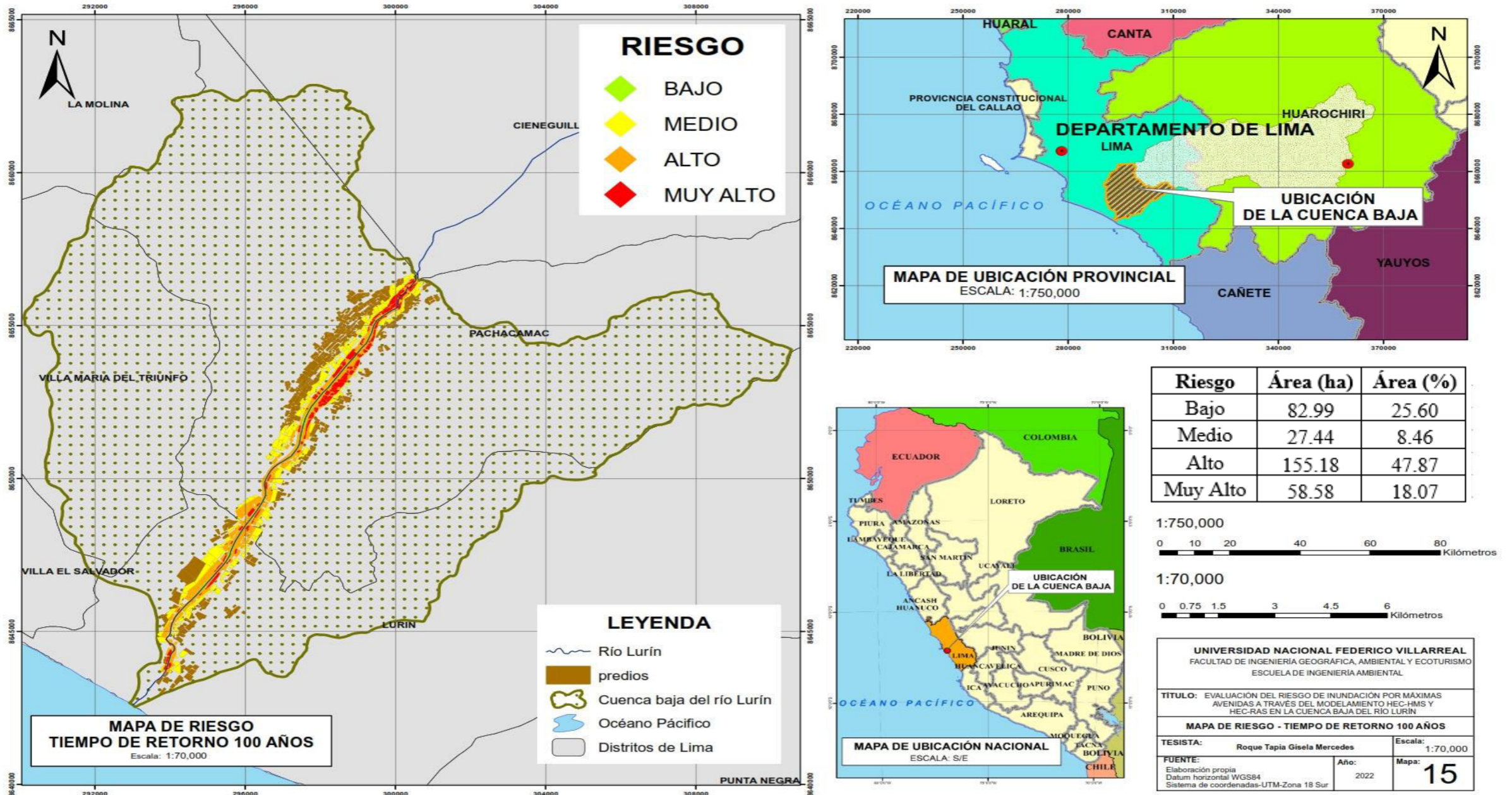
*Niveles de riesgo para un TR 50 años*



- **Para un TR 100 años:** el riesgo de inundación fluvial para un tiempo de retorno de 100 años es de nivel alto ya que abarca el 60.16% del total del área inundada, el caudal 142 m<sup>3</sup>/s está dentro del rango establecido según la estratificación del nivel de riesgo planteada en el estudio. La geomorfología está asociada a planicies inundables. La destrucción de caminos y carreteras comprende 155.18 ha, las pérdidas de las zonas agrícolas 41.60 ha y la destrucción de las viviendas en las zonas pobladas 16.98 ha. La población está instalada a 2 o 3 km de la faja marginal. Expansión urbana en los sectores de la parte baja. Ubicación no adecuada de estructuras físicas. Modificaciones del curso de agua mediante canalizaciones cerradas, sub-dimensionadas.

Figura 66

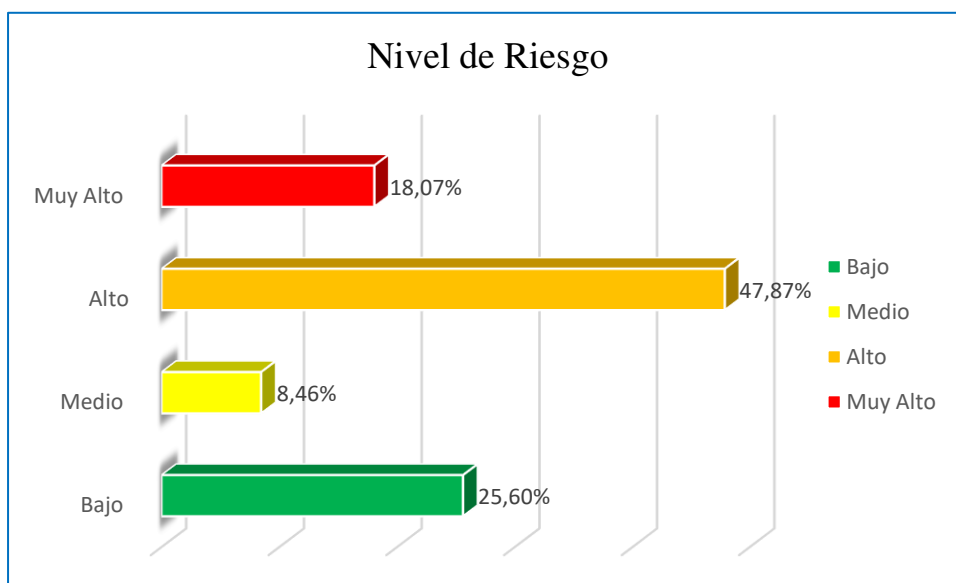
Riesgo por inundación fluvial para un TR 100 años



- En la Figura 67 se observa el porcentaje de los niveles de riesgo para un tiempo de retorno de 100 años, el riesgo alto cubre 155.18 ha inundadas con un 47.87%, seguida por el riesgo bajo cubre 82.99 ha inundadas con un 25.60%, el riesgo muy alto cubre 58.58 ha con un 18.07%, y el riesgo medio cubre 27.44 ha con un 8.46%.

**Figura 67**

*Niveles de riesgo para un TR 100 años*

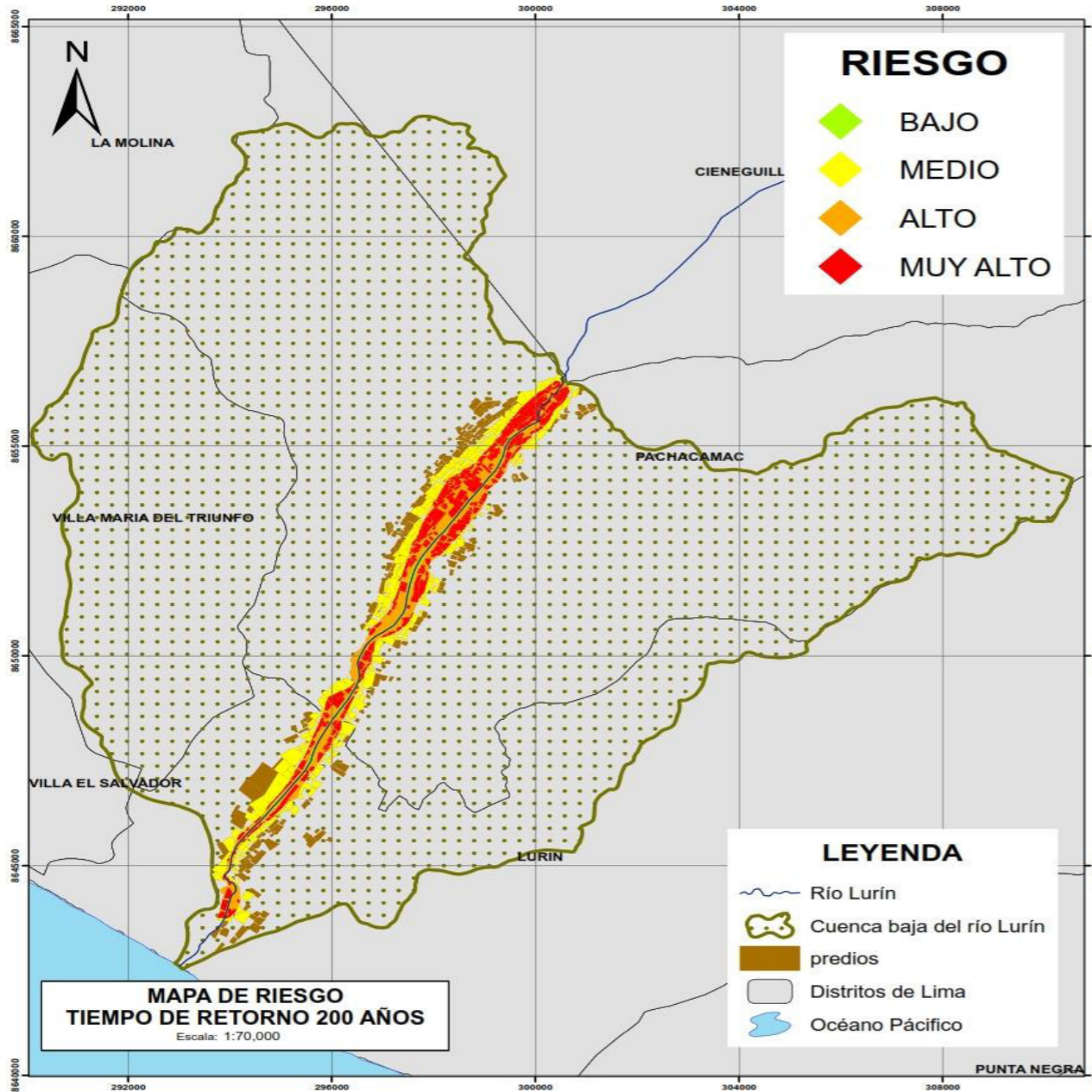


- **Para un TR de 200 años:** el riesgo de inundación fluvial para un tiempo de retorno de 200 años es de nivel muy alto ya que abarca el 36.27% del total del área inundada, el caudal 213.35 m<sup>3</sup>/s está dentro del rango establecido según la estratificación del nivel de riesgo planteada en el estudio. La geomorfología está asociada a planicies inundables. La destrucción de caminos y carreteras comprende 324.05 ha, las pérdidas de las zonas agrícolas 127.51 ha y la destrucción de las viviendas en las zonas pobladas 59.56 ha. La población está instalada a 2-3 km de la faja marginal y en la desembocadura del río Lurín y sus quebradas en la subcuenca baja. Expansión urbana en los sectores de la parte baja. No presenta estructuras físicas de defensa.

Modificaciones en el curso de agua mediante canalizaciones cerradas, subdimensionadas.

Figura 68

Riesgo por inundación fluvial para un TR 200 años



Riesgo	Área (ha)	Área (%)
Bajo	82.99	9.29
Medio	299.31	33.50
Alto	187.07	20.94
Muy Alto	324.05	36.27

1:750,000



1:70,000



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

**TÍTULO:** RIESGO DE INUNDACIONES FLUVIALES POR MÁXIMAS AVENIDAS EN LA CUENCA BAJA DEL RÍO LURÍN

**MAPA DE RIESGO - TIEMPO DE RETORNO 200 AÑOS**

**TESISTA:** Roque Tapia Gisela Mercedes **Escala:** 1:70,000

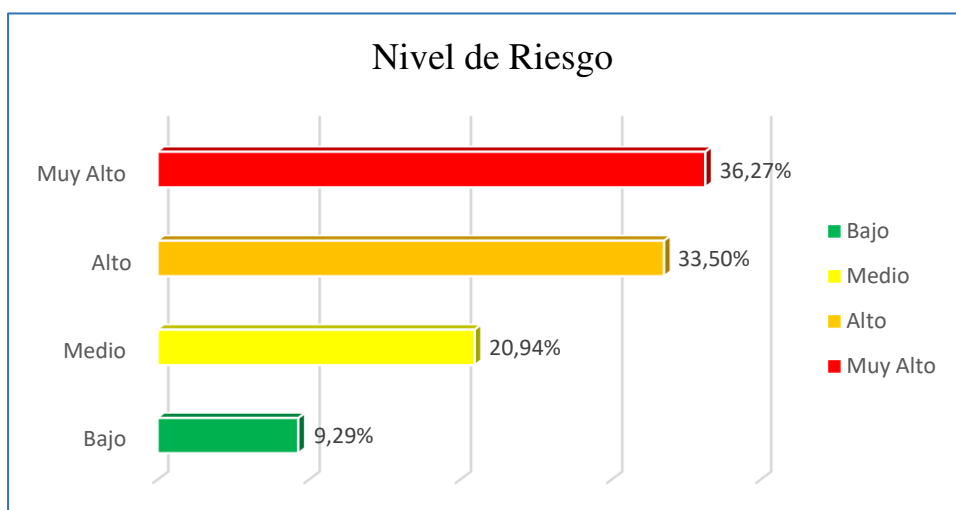
**FUENTE:** Elaboración propia **Año:** 2022 **Mapa:** 16

Datum horizontal WGS84  
Sistema de coordenadas-UTM-Zona 18 Sur

- En la Figura 69 se observa el porcentaje de los niveles de riesgo para un tiempo de retorno de 200 años, el riesgo muy alto cubre 324.05 ha inundadas con un 36.27%, seguida por el riesgo medio que cubre 82.99 ha inundadas con un 33.50%, el riesgo alto cubre 187.07 ha con un 20.94%, y el riesgo bajo cubre 299.31 ha con un 9.29%.

**Figura 69**

*Niveles de riesgo para un TR 200 años*



#### 4.4 Estrategias de mejora ante el riesgo de inundación fluvial

- **Estrategia 1:** desarrollo de medidas de intervención para la protección física en predios agrícolas y de viviendas en el km 10 y el km 11 de la cuenca baja del río Lurín.
- **Estrategia 2:** poblaciones de Pachacamac y Lurín con prácticas seguras para la resiliencia y capacidad instalada para la preparación.
- **Estrategia 3:** respuesta local frente a emergencias y desastres en los distritos de Pachacamac y Lurín.



**Tabla 33**

Medidas estrategia 1

Desarrollo de medidas de intervención para la protección física en predios agrícolas frente a peligros en el km 10 y el km 11 en la cuenca baja del río Lurín.						
Intervención	Descripción	Indicador	Responsables	Beneficiarios	Participantes	Definición Operacional
Mantenimiento de cauces y elementos estructurales de seguridad física ante la inundación.	Consiste en la limpieza y la descolmatación del material depositado en el km 11 del cauce del río Lurín para evitar el desborde y disminuir el efecto erosivo en las riberas que afectan a la infraestructura y los terrenos cultivados.	Porcentaje de avance de las medidas estructurales y no estructurales para el control de zonas críticas en cauces de ríos que han sido implementados.	ANA, MVCS, MINAGRI, Gobiernos Regionales y Locales.	Población del distrito de Pachacamac, las localidades de Picapiedra, Guayabo y Quebrada Verde, que son zonas altamente expuestas a inundaciones.	Gobierno Regional y Local	El producto consiste en brindar servicios de asistencia técnica y capacitación a los productores agrarios organizados en relación a técnicas que permitan desarrollar las actividades agrarias en condiciones normales frente a inundaciones que pueden afectar el desarrollo de los cultivos y las cosechas.
Mantenimiento y consolidación de defensas ribereñas.	Consiste en la reposición del material (roca, gaviones, etc.) en el km 10 del río Lurín a fin de restituir el diseño original de la estructura que actúa como protección de riberas y lograr la consolidación de la misma con el tiempo.	Porcentaje de hectáreas en las cuales se evidencia la incorporación de técnicas agrícolas ante inundaciones. Kilómetros de fajas monumentadas en zonas críticas.	Agrorural			

Actividades	Definición Operacional	Variable	Flujo de procesos
Mantenimiento de cauce, drenaje y estructuras de seguridad física frente a inundaciones en el distrito de Pachacamac.	Esta actividad consiste en limpiar y descolmar el cauce del río Lurín, así como fijar las defensas ribereñas existentes, mediante el uso de maquinaria adecuada. La ejecución de la actividad permitirá reducir los efectos erosivos de las crecidas, así como los daños que podría ocasionar en la población y sus medios de vida tanto de las zonas urbanas como de las zonas agrícolas y la infraestructura de riego.	Tramo de ríos priorizados por efecto de inundaciones.	<pre> graph TD     INICIO([INICIO]) --&gt; A[Identificación y priorización del ámbito de intervención]     A --&gt; B[Elaboración del Plan de intervención]     B --&gt; C[Gestión de recursos técnicos administrativos]     C --&gt; D[Coordinar o suscribir convenio con los gobiernos regionales y locales]     D --&gt; E[Ejecutar las acciones programadas en el ámbito de intervención]     E --&gt; FIN([FIN])         </pre>

Desarrollo de técnicas agrícolas ante inundaciones.	Esta actividad consiste en brindar servicios de asistencia técnica y capacitación para desarrollar conocimientos, habilidades y fortalecer actitudes, sobre la base de la experiencia de los productores agrarios, que les permita reducir, enfrentar y evitar los problemas que ocasionan, los fenómenos climáticos adversos propios de la zona de intervención, sobre la actividad agrícola.		<pre> graph TD     INICIO([INICIO]) --&gt; A[Identificación de la población objetivo y procesos de priorización]     A --&gt; B[Gestión de recursos técnicos administrativos]     B --&gt; C[Coordinación para la ejecución de la actividad]     C --&gt; D[Elaboración de material técnico de difusión para la intervención y lineamientos de ejecución]     D --&gt; E[Elaboración de informe de evaluación final]     D --&gt; F[Ejecutar las acciones programadas en el ámbito de intervención]     E --&gt; FIN([FIN])         </pre>
---	--	--	--

**Tabla 34**

Medidas estrategia 2

Poblaciones de Pachacamac y Lurín con prácticas seguras para la resiliencia y capacidad instalada para la preparación						
Intervención	Descripción	Indicador	Responsables	Beneficiarios	Participantes	Definición Operacional
Desarrollo de campañas comunicacionales en los distritos de Pachacamac y Lurín.	Consiste en implementar campañas de comunicación social de información pública y sensibilización en el ámbito local, con el objetivo de transmitir conocimientos a la población que fomenten actitudes y promuevan prácticas ante el riesgo de desastres por inundación.	Porcentaje de personas expuestas a peligros generados por inundaciones con capacidad para responder ante emergencias y desastres.	INDECI, MIDIS PROYECTO PAIS, Gobierno Regionales.	Población de los distritos de Pachacamac y Lurín.	Gobierno Regional y Local	Consiste en organizar, comunicar, entrenar y alertar a la población frente a emergencias y desastres; así como entregar bienes para la protección de la población, que permitan estar adecuadamente preparadas ante inundaciones.
Operación óptima de sistemas de alerta temprana.	Los sistemas de alerta temprana son una estructura operativa de respuesta, que implica un conjunto de mecanismos y procedimientos de detección de peligros, vigilancia de indicadores, comunicación de alertas y alarmas y evacuación de las poblaciones vulnerables hacia los lugares o zonas seguras.					
Desarrollo de prácticas seguras por parte de la población de los distritos de Pachacamac y Lurín.	Es aquella comunidad, que incorpora el enfoque de prevención de desastres en la vigilancia comunitaria en salud; generando habilidades para que los pobladores desarrollen prácticas seguras frente al riesgo de desastres por inundación.					

Actividades	Definición Operacional	Variable	Flujo de procesos
Organización y entrenamiento de las comunidades de los distritos de Pachacamac y Lurín en habilidades frente al riesgo de desastres.	Consiste en la organización a los líderes comunitarios y autoridades e incluye la convocatoria de voluntarios. Identificar los peligros de la comunidad, organizar a los líderes comunitarios y autoridades y sensibilizar en acciones de autoprotección para reducir la vulnerabilidad y riesgo ante emergencias y desastres, manejo de víctimas en masa, primeros auxilios, traslado de víctimas.	Campañas de comunicación social en el ámbito nacional	
Desarrollo de campañas comunicacionales en los distritos de Pachacamac y Lurín.	Conjunto de estrategias para la difusión de la información y sensibilización, con el objetivo de fortalecer los conocimientos y crear cultura de gestión del riesgo de desastres a la población.		
Desarrollo del sistema de alerta temprana y de comunicación en los distritos de Pachacamac y Lurín.	Es un conjunto de capacidades, instrumentos y procedimientos articulados con el propósito de monitorear, procesar y sistematizar información sobre peligros previsible en un área específica, en coordinación con el centro de operaciones de emergencia; con la finalidad de difundir y alertar a las autoridades y a la población sobre su proximidad, facilitando la aplicación de medidas anticipadas y una respuesta adecuada para reducir o evitar la pérdida de vidas, daños materiales y al ambiente.		

Tabla 35

Medidas estrategia 3

Respuesta local frente a emergencias y desastres en los distritos de Pachacamac y Lurín						
Intervención	Descripción	Indicador	Responsables	Beneficiarios	Participantes	Definición Operacional
Disposición de bienes para asistencia de las poblaciones de los distritos de Pachacamac y Lurín en situación de emergencias y desastres.	Esta actividad consiste en la administración y almacenamiento para la provisión de infraestructura temporal y móvil, que permita la preparación de servicios públicos y/o básicos en riesgo frente a emergencias y desastres.	Porcentaje de personas expuestas a peligros generados por inundación con capacidad para responder ante emergencias y desastres.	INDECI, MIDIS, PROYECTO PAIS, Gobierno Regionales	Población de los distritos de Pachacamac y Lurín.	Gobierno Regional y Local	Consiste en implementar la capacidad instalada que permita contar con recursos operativos tanto humanos, materiales y tecnológicos, de fácil desplazamiento, así como espacios para la articulación y organización para la respuesta frente a emergencias y desastres a través del desarrollo de centros y espacios de monitoreo, realización de simulacros, kits de bienes de ayuda humanitaria, agrícolas e infraestructura móvil (módulos temporales de vivienda, hospitales de campaña, kit de infraestructura educativa), bases modulares para brigadistas, hospitales de campaña, etc.
Desarrollo de campañas y simulacros en los distritos de Pachacamac y Lurín.	Es la ejecución de actividades que se realizan ante una hipótesis de emergencia en un escenario definido lo más semejante a la realidad. Es un ejercicio práctico que implica la movilización de recursos humanos y materiales. Las víctimas, damnificados y afectados son efectivamente representados y la respuesta mide en tiempo real los recursos utilizados. Se orienta a fortalecer la preparación de la población ante eventos adversos y a evaluar la ejecución de las tareas asignadas en los planes de operaciones de emergencia o de contingencia.	Porcentaje de stock mínimo de kits agrícola frente a emergencias y desastres. Porcentaje de stock mínimo de kits de bienes de ayuda humanitaria. Porcentaje de stock mínimo de kits de asistencia frente a emergencias y desastres.				
Implementación de brigadas para respuesta inmediata y complementaria ante emergencias y desastres.	La actividad consiste en organizar, equipar, instruir y entrenar a brigadas de atención con la finalidad de contar con las capacidades para la atención de la primera respuesta, respuesta complementaria y apoyo al restablecimiento de servicios.					

Actividades	Definición Operacional	Variable	Flujo de procesos
Implementación de brigadas para la atención frente a emergencias y desastres.	La actividad consiste en organizar, equipar, instruir y entrenar a brigadas de atención con la finalidad de contar con las capacidades para la atención de la primera respuesta, respuesta complementaria, apoyo al restablecimiento de servicios públicos esenciales dentro de su área de responsabilidad.	Formación de brigadas para la atención frente a la emergencia.	<pre> graph TD     INICIO([INICIO]) --&gt; A[Elaboración de los documentos de gestión para el funcionamiento de las brigadas]     A --&gt; B[Gestión de recursos técnicos administrativos]     B --&gt; C[Brindar asistencia técnica al gobierno regional y local]     C --&gt; D[Organización de las brigadas regionales y locales conforme corresponde]     D --&gt; E[Implementación de las brigadas a nivel regional y local]     D --&gt; F[Adquisición de equipamiento necesario]     E --&gt; FIN([FIN])     </pre>
Desarrollo de simulacros en los distritos de Pachacamac y Lurín.	Consiste en acciones preparatorias dirigida a la población en riesgo de desastres implicando movilización de recursos humanos y materiales. Asimismo, las víctimas, damnificados y afectados son efectivamente representados y la respuesta mide en tiempo real de los recursos utilizados en las diferentes fases de planeamiento, organización, preparación, ejecución y evaluación.		<pre> graph TD     INICIO([INICIO]) --&gt; A[Revisar normas y lineamientos de los simulacros]     A --&gt; B[Coordinar la organización y difusión del ejercicio]     B --&gt; C[Gestionar recursos técnicos administrativos]     B --&gt; D[Participar en las actividades de preparación para los escenarios.]     D --&gt; E[Asesorar y supervisión el ejercicio]     D --&gt; F[Ejecutar asistencia técnica, coordinación, difusión,]     E --&gt; G[Elaboración de informe de los ejercicios ejecutados]     E --&gt; H[Participar activamente en el simulacro]     G --&gt; FIN([FIN])     </pre>

## V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Las máximas avenidas obtenidas como resultado en la presente investigación difieren en 5.92 m<sup>3</sup>/s, 2 m<sup>3</sup>/s y 16.35 m<sup>3</sup>/s para los periodos de retorno de 50,100 y 200 años respectivamente de los resultados obtenidos según el “Estudio hidrológico de la unidad hidrográfica de Lurín” desarrollado en el 2019 por la ANA, los valores de los caudales máximos para cada tiempo de retorno no se alejan debido a que la metodología empleada para el análisis de las máximas avenidas tienen similitud en el uso del software HEC-HMS.

En comparación con lo investigado por Cardich en el 2017, en su tesis titulada “Modelamiento de máximas avenidas en la cuenca del río Lurín utilizando modelo hidrológico e hidráulico” la diferencia de máximas avenidas es de 44.6 m<sup>3</sup>/s y 86.05 m<sup>3</sup>/s para periodos de retorno de 100 y 200 años respectivamente, esta diferencia de resultados se debe a la configuración del modelo de la cuenca del río Lurín para la modelización del HEC-HMS. Los valores de áreas inundadas difieren en 64.76 ha y 337.12 ha para periodos de retorno de 100 y 200 años respectivamente; y esta diferencia parte del procesamiento para la modelización del HEC-RAS 2D y de la versión del software, para el estudio HEC-RAS 6.1 y en el caso de Cardich HEC-RAS 5.0. Para Cardich las zonas comprendidas entre la progresiva 11 + 100 y 13 + 900 son las que reciben mayor impacto de la inundación por presentan las cotas más bajas, concentrando aproximadamente el 70 % de toda el área inundable; para la presente investigación la zona de Quebrada Verde ubicado en el km 10 y 11 de la cuenca baja del río Lurín en el distrito de Pachacamac es el que presenta un nivel de riesgo alto para un tiempo de retorno de 100 años y muy alto para un tiempo de retorno de 200 años.

Se analizó el tipo de software utilizado con la tesis de Sanabria (2021) titulado “Análisis comparativo de los modelos HEC-RAS e IBER en la determinación de las zonas

de amenaza por inundación en el corregimiento de Santa Fe de Morichal, municipio de Yopal, departamento de Casanare”, para Sanabria la utilización del software unidimensional HEC-RAS se presenta como la mejor alternativa de uso debido a la facilidad en la introducción de datos y proporciona resultados confiables en un menor tiempo. El paquete IBER por ser bidimensional, representa una mejor opción para modelaciones de ríos con geometrías de mayor irregularidad, cuando se tiene especial interés en el comportamiento hidráulico del flujo a través de estribos y pilas. En general la modelación bidimensional de los softwares HEC-RAS e IBER, es similar desde la creación de la malla, asignación de rugosidades, condiciones de frontera, asignación de caudales, las diferencias representativas se identifican en la plataforma, las opciones de simulación, el tiempo computacional requerido. Para eventos de amenaza por inundación que requiera el uso de la modelación bidimensional se recomienda el uso de HEC-RAS, debido al bajo coste computacional, la visualización de los resultados, la organización de los elementos, la información de errores disponible y la actualización constante.

## VI. CONCLUSIONES

- Basado en la información de las 11 estaciones pluviométricas entre los años 1965-2017 de la cuenca del río Lurín para obtener áreas de influencia y hietogramas de precipitaciones máximas en 24 horas para los periodos de retorno de 50, 100 y 200 años se obtuvieron caudales máximos de 94.78 m<sup>3</sup>/s, 142.0 m<sup>3</sup>/s y 213.35 m<sup>3</sup>/s, respectivamente; el modelo calibrado simuló los hietogramas de las subcuencas para conocer la respuesta hidrológica en la cuenca del río Lurín.
- Las inundaciones registradas en la cuenca baja del río Lurín se presentan de manera creciente debido a las altas precipitaciones fluviales acentuadas con frecuencia por la ocurrencia del fenómeno ENOS y la variabilidad climática para cada tiempo de retorno 50, 100 y 200 años; a la geomorfología de la subcuenca baja del Lurín, principalmente las pendientes muy bajas lo que favorece la expansión del agua; mediante la digitalización de predios en la zona de estudio a través de las imágenes satelitales y el modelamiento hidráulico HEC-RAS para los periodos de retorno de 50, 100 y 200 años, las inundaciones afectan principalmente caminos y carreteras en su mayor extensión en la zona crítica de Quebrada Verde en los distritos de Pachacamac y Lurín, seguido por las superficies de cultivos y las viviendas; por lo tanto, si las máximas avenidas se incrementan para los periodos de retorno de 50, 100 y 200 años, el nivel del riesgo por inundación fluvial planteada en el presente estudio pasará de un riesgo bajo o medio a un riesgo alto o muy alto en el caso más extremo.
- El nivel de riesgo medio para un periodo de retorno de 50 años comprende un 52.77% constituyendo 148.78 ha; identificadas como las superficies que

limitan con las áreas inundadas en la cuenca baja del río Lurín en los distritos de Pachacamac y Lurín; el nivel de riesgo alto para un periodo de retorno de 100 años comprende un 36.27% de superficie constituyendo 155.18 ha; provocando la destrucción principalmente de caminos y carreteras en la cuenca baja del río Lurín en los distritos de Pachacamac y Lurín; y el nivel de riesgo muy alto para un periodo de retorno de 200 años comprende un 36.27% de superficie constituyendo 324.05 ha, provocando la destrucción principalmente de áreas de cultivo y zonas urbanas, ubicado en la cuenca baja del río Lurín en los distritos de Pachacamac y Lurín.

- De acuerdo a la estratificación de nivel de riesgo por inundación fluvial para periodos de retorno de 50, 100 y 200 años, se formularon tres estrategias de mejora: para el nivel muy alto se deben desarrollar medidas de intervención para la protección física de caminos y carreteras; superficies de cultivo y viviendas frente a la inundaciones fluviales en la zona crítica Quebrada Verde en el distrito de Pachacamac; para el nivel alto se deben desarrollar practicas seguras para la resiliencia y capacidad instalada para la preparación en las poblaciones de Pachacamac y Lurín; y para el nivel medio se debe preparar la respuesta local frente a emergencias y desastres en los distritos de Pachacamac y Lurín.

## VII. RECOMENDACIONES

- Para el cálculo de los caudales máximos de los diferentes tiempos de retorno se recomienda el modelamiento hidrológico de toda la unidad hidrológica porque este actúa como un sistema de subcuencas interconectadas y porque representa de mejor modo la respuesta conjunta de una entrada de lluvia que no es uniforme en toda la cuenca.
- Para el cálculo de las máximas avenidas se recomienda evaluar años actuales con la finalidad de tener el comportamiento de la precipitación bajo condiciones de fenómenos El Niño-Oscilación del Sur (ENOS).
- Para el cálculo de las máximas avenidas se recomienda que el registro histórico de precipitación máxima en 24 horas sea mayor a 30 años; se recomienda utilizar el software Hydrognomon para comparar los resultados del análisis de precipitación con el cálculo elaborado en Excel; realizar un análisis exhaustivo del suelo ya que la cobertura y el uso cambian a través del tiempo; para estudios en territorio peruano se recomienda utilizar valores de los grupos hidrológicos reclasificados por la ANA, finalmente se recomienda utilizar la versión HEC-HMS 4.9 las cuales traen consigo mejoras de algoritmo de cálculos y anula los errores en versiones previas.
- Para determinar el riesgo de inundación fluvial se recomienda la identificación y clasificación más específica de superficies inundadas para los cálculos de pérdidas económicas.
- Se recomienda utilizar la versión HEC-RAS 6.1, el cual no necesita el entorno de ArcGIS para modelar las inundaciones, ya que HEC-GeoRAS en Arcmap presenta múltiples fallas.
- Se recomienda detallar la topografía (1m-5m) para este tipo de estudios.



- Para el cálculo de las superficies inundadas mediante el modelamiento HEC-RAS, se recomienda que todos los nodos de los perfiles se ubiquen en los límites del margen del río.
- Se recomienda realizar investigaciones para diferentes periodos de retorno de 5,10,20,25 y 500 años a efectos de identificar la variabilidad de los caudales en la zona de estudio para plantear nuevas estrategias y lineamientos que permitan prever acciones para evitar daños físicos, materiales y/o económicos frente al riesgo de inundaciones fluviales.

## VIII. REFERENCIAS

- Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio [NASA]. (2022, 03 de marzo). <https://search.asf.alaska.edu/#/?dataset=ALOS&zoom=4.333&center=-69.173,-20.990>
- Álvarez, T.G. y Villaverde R.L. (2015). *Balance hídrico futuro en la cuenca del río Lurín a través de la modelación hidrológica ante el cambio climático* [Tesis de grado, Universidad Nacional Agraria La Molina].
- Arreguín-Cortés, F. I., López-Pérez, M., y Marengo-Mogollón, H. (2016). Las inundaciones en un marco de incertidumbre climática. *Tecnología y Ciencias del Agua*. 7(5), 5-13. <http://www.scielo.org.mx/pdf/tca/v7n5/2007-2422-tca-7-05-00005.pdf>
- Arumí, J., Jara, J. y Salgado, L. (s.f.). *Análisis hidrológico*. <https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/20.500.14001/39933/NR25825.pdf?sequence=1>
- Autoridad Nacional del Agua [ANA]. (2014). *Tratamiento del cauce del río Lurín para el control de inundaciones*. <http://sigrid.cenepred.gob.pe/sigridv3/documento/459>
- Autoridad Nacional del Agua [ANA]. (2015). *Generación del Mapa Temático de Curva Número (CN)*.
- Autoridad Nacional del Agua [ANA]. (2018). *Estado Situacional de los Recursos Hídricos en las Cuencas Chillón, Rímac y Lurín 2016/2017*. <http://repositorio.ana.gob.pe/handle/20.500.12543/2902>
- Autoridad Nacional del Agua [ANA]. (2019). *Estudio hidrológico de la unidad hidrográfica Lurín*. <https://repositorio.ana.gob.pe/handle/20.500.12543/4707>
- Autoridad Nacional del Agua [ANA]. (2019). Resolución Jefatural N°300-2019-ANA. <https://www.ana.gob.pe/normatividad/resoluciones-ana/pre-publicaciones>

- Autoridad Nacional del Agua [ANA]. (2019, 07 de julio). Resolución Jefatural N°180-2016-ANA. <https://www.ana.gob.pe/normatividad/rj-no-180-2016-ana-0>
- Autoridad Nacional del Agua [ANA]. (2020). *Gestión del conocimiento*. Enfoque de cuenca. <https://www.ana.gob.pe/portal/gestion-del-conocimiento-girh/enfoque-de-cuenca>
- Autoridad Nacional del Agua [ANA]. (s.f.). Inundaciones en el Perú. <http://www.rimd.org/advf/documentos/4962879bcbe32.pdf>
- Breña, A.F. y Jacobo M.A. (2006). *Principios y fundamentos de la hidrología superficial*. Coordinación General de Vinculación y Desarrollo Institucional de la Rectoría General de la Universidad Autónoma Metropolitana. [https://uamenlinea.uam.mx/materiales/licenciatura/hidrologia/principios\\_fundamentos/libro-PFHS-05.pdf](https://uamenlinea.uam.mx/materiales/licenciatura/hidrologia/principios_fundamentos/libro-PFHS-05.pdf)
- Cajigal, E. y Maldonado A.L. (2019). Metodología para el análisis de vulnerabilidad ante inundaciones. Un ejercicio emergente ante el cambio climático. *Economía, Sociedad y Territorio*, XIX (61), 543-574. <https://doi.org/10.22136/est20191342>
- Campos, D. (1998). *Procesos del ciclo hidrológico*. Universidad Autónoma San Luis de Potosí. <https://repositorioinstitucional.uaslp.mx/xmlui/handle/i/3331>
- Cardich, K. (2017). *Modelamiento de máximas avenidas en la Cuenca del río Lurín utilizando modelos hidrológicos e hidráulicos* [Tesis de grado, Universidad Nacional Agraria La Molina].
- Centro de Ingeniería Hidrológica del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de EE. UU [CEIWR-HER]. (2020). *Sobre HEC*. Cuerpo de Ingenieros del Ejército de EE. UU. Centro de Ingeniería Hidrológica. <https://www.hec.usace.army.mil/about/history.aspx>

- Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción de Riesgos de Desastres [CENEPRED]. (2014). *Manual para la evaluación de riesgos originados por inundaciones fluviales*. [http://cenepred.gob.pe/web/wp-content/uploads/Guia\\_Manuales/MANUAL-EVAR.INUNDACIONES.pdf](http://cenepred.gob.pe/web/wp-content/uploads/Guia_Manuales/MANUAL-EVAR.INUNDACIONES.pdf)
- Chagua, J., (2018). *Estudio de inundación de la zona correspondiente al distrito de Calango, provincia de Cañete, departamento de Lima, mediante el uso de los modelos matemáticos HEC-HMS y HEC-RAS* [Tesis de grado, Universidad Nacional Agraria La Molina].
- Chereque, W. (2003). *Hidrología para estudiantes de ingeniería civil*. Pontificia Universidad Católica del Perú. <http://repositorio.pucp.edu.pe/index/bitstream/handle/123456789/28689/hidrologia.pdf>
- Chinchay, L. (2020). *Hidrograma Unitario SCS* [diapositiva de Power Point]. *Consultores Ingenieros en Diseño Hidráulico y Medio Ambiente*.
- Chinchay, L. (2020). *Método de Conservación de Suelos* [diapositiva de Power Point]. *Consultores Ingenieros en Diseño Hidráulico y Medio Ambiente*.
- Chinchay, L. (2020). *Precipitación* [diapositiva de Power Point]. *Consultores Ingenieros en Diseño Hidráulico y Medio Ambiente*.
- Chow, V.T. (1994). *Hidráulica de canales abiertos*. Editorial Nomos S.A.
- Chow, V.T., Maidment D.R. y Mays L.W. (1994). *Hidrología aplicada*. Editorial Nomos S.A.
- El Peruano. (2019, 18 de febrero). El Perú y el cambio climático. <https://elperuano.pe/noticia-el-peru-y-cambio-climatico-75844.aspx>

- Enríquez, M.P. y Enríquez M.L. (2011). *Aplicación del método de Muskingum (modelo hidrológico) en el pronóstico de crecientes e inundaciones en la zona de Quevedo-Mocache* [Tesis de grado, Universidad Técnica Estatal de Quevedo].
- Escarcena, F.Y, (2014). *Determinación de áreas inundables de la parte media de la microcuenca del río Zapatilla, centro poblado de Ancoamaya-Ilave* [Tesis de grado, Universidad Nacional del Altiplano].
- George, J., Arcement, Jr. y Verne R. (1989). Guide for Selecting Manning's Roughness Coefficients for Natural Channels and Flood Plains [Guía para la selección de Manning, coeficientes de rugosidad para canales naturales y llanuras de inundación]. Departamento de Transporte de los Estados Unidos.
- Guevara, E. (1991). *Hidrológica: una introducción a la ciencia hidrológica aplicada*. Gueca Ediciones.
- Guha-Sapir, D., Hoyois, P. y Below, R. (2015). *Examen estadístico anual de desastres 2014: números y tendencias*  
<https://www.preventionweb.net/publications/view/45812>
- Gutiérrez, M. (2018). *Comparación de los modelos hidráulicos unidimensional y bidimensional en el análisis de inundaciones en el río Virú* [Tesis de grado, Universidad Nacional Agraria La Molina].
- Instituto Geológico Minero y Metalúrgico [INGEMMET]. (2014). *Reporte de Zonas Críticas por Peligros Geológicos y Geo-Hidrológicos en la Cuenca del Río Lurín*.  
[https://repositorio.ingemmet.gob.pe/bitstream/20.500.12544/1506/1/A6647-Reporte\\_zonas\\_criticas\\_cuenca\\_Lurin-Lima.pdf](https://repositorio.ingemmet.gob.pe/bitstream/20.500.12544/1506/1/A6647-Reporte_zonas_criticas_cuenca_Lurin-Lima.pdf)
- Instituto Nacional de Defensa Civil [INDECI]. (2020). Recomendaciones. INDECI.  
<https://www.indeci.gob.pe/recomendaciones/inundacion/>

Instituto Nacional de Defensa Civil [INDECI]. (2020). Sistema de Información Nacional para la Respuesta y Rehabilitación (SINPAD). [http://sinpad.indeci.gob.pe/sinpad/emergencias/Evaluacion/Reporte/rpt\\_eme\\_situacion\\_emergencia.asp?EmergCode=00084373&expand=1](http://sinpad.indeci.gob.pe/sinpad/emergencias/Evaluacion/Reporte/rpt_eme_situacion_emergencia.asp?EmergCode=00084373&expand=1)

Instituto Nacional de Defensa Civil [INDECI]. (2020). Sistema de Información Nacional para la Respuesta y Rehabilitación (SINPAD). [http://sinpad.indeci.gob.pe/sinpad/emergencias/Evaluacion/Reporte/rpt\\_eme\\_situacion\\_emergencia.asp?EmergCode=00042056&expand=1](http://sinpad.indeci.gob.pe/sinpad/emergencias/Evaluacion/Reporte/rpt_eme_situacion_emergencia.asp?EmergCode=00042056&expand=1)

Instituto Nacional de Defensa Civil [INDECI]. (2020). Sistema de Información Nacional para la Respuesta y Rehabilitación (SINPAD). [http://sinpad.indeci.gob.pe/sinpad/emergencias/Evaluacion/Reporte/rpt\\_eme\\_situacion\\_emergencia.asp?EmergCode=00083906&expand=1](http://sinpad.indeci.gob.pe/sinpad/emergencias/Evaluacion/Reporte/rpt_eme_situacion_emergencia.asp?EmergCode=00083906&expand=1)

Instituto Nacional de Defensa Civil [INDECI]. (2020). Sistema de Información Nacional para la Respuesta y Rehabilitación (SINPAD). [http://sinpad.indeci.gob.pe/sinpad/emergencias/Evaluacion/Reporte/rpt\\_eme\\_situacion\\_emergencia.asp?EmergCode=00083904&expand=1](http://sinpad.indeci.gob.pe/sinpad/emergencias/Evaluacion/Reporte/rpt_eme_situacion_emergencia.asp?EmergCode=00083904&expand=1)

Instituto Nacional de Defensa Civil [INDECI]. (2020). Sistema de Información Nacional para la Respuesta y Rehabilitación (SINPAD). [http://sinpad.indeci.gob.pe/sinpad/emergencias/Evaluacion/Reporte/rpt\\_eme\\_situacion\\_emergencia.asp?EmergCode=00084017&expand=1](http://sinpad.indeci.gob.pe/sinpad/emergencias/Evaluacion/Reporte/rpt_eme_situacion_emergencia.asp?EmergCode=00084017&expand=1)

Instituto Nacional de Defensa Civil [INDECI]. 2020. Sistema de Información Nacional para la Respuesta y Rehabilitación (SINPAD). [http://sinpad.indeci.gob.pe/sinpad/emergencias/Evaluacion/Reporte/rpt\\_eme\\_situacion\\_emergencia.asp?EmergCode=00084373&expand=1](http://sinpad.indeci.gob.pe/sinpad/emergencias/Evaluacion/Reporte/rpt_eme_situacion_emergencia.asp?EmergCode=00084373&expand=1)

- Mamani, H., (2014). *Modelamiento de máximas avenidas que generan riesgo de inundación en la ciudad de Ayaviri-Puno* [Tesis de grado, Universidad Nacional del Altiplano].
- Marco, F. (2015). *Análisis y evaluación del transporte de sedimentos en la Rambla del Albujón* [Tesis de grado, Universidad Politécnica de Cartagena]. Repositorio Digital de la Universidad Politécnica de Cartagena. <https://repositorio.upct.es/bitstream/handle/10317/5185/tfg621.pdf?sequence=6&isAllowed=y>
- Mendoza, M., Bautista, A. L., Quevedo, A. y Mendoza, D. (2018). Análisis hidrológico de largo plazo en la cuenca del río Metztlán Hidalgo, México, y su relación con el cambio climático. *Hidrobiológica* 28(1), 17-30. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S0188-88972018000100017&lng=pt&nrm=iso](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0188-88972018000100017&lng=pt&nrm=iso)
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones [MTC]. (2008). *Manual de hidrología, hidráulica y drenaje*. [http://transparencia.mtc.gob.pe/idm\\_docs/normas\\_legales/1\\_0\\_2950.pdf](http://transparencia.mtc.gob.pe/idm_docs/normas_legales/1_0_2950.pdf)
- Ministerio del Ambiente [MINAM]. (2015). *Historia Ambiental del Perú del siglo XVIII y XIX* (1<sup>ra</sup> ed.).
- Ministerio del Ambiente [MINAM]. (2015). *Mapa de susceptibilidad física del Perú: zonas propensas a inundaciones y deslizamientos en la costa y sierra frente a la ocurrencia de eventos hidrometeorológicos extremos*. <http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/01/MAPA-DE-SUSCEPTIBILIDAD-FISICA.pdf>
- Municipalidad Metropolitana de Lima [MML]. (2013). *Monitoreo de los sectores críticos de la cuenca del río Lurín y la reducción de riesgos en el ámbito del gobierno*

*Metropolitano.*

<http://sigrid.cenepred.gob.pe/docs/PARA%20PUBLICAR/OTROS/Informe%2058%20Monitoreo%20de%20sectores%20criticos%20Lurin%20MML%20Junio%202013.pdf>

Núñez, J.I. (2017). *Identificación de zonas urbanas propensas a riesgos por inundación ante máximas avenidas del río Utcubamba en el centro poblado Naranjitos, Amazonas* [Tesis de grado, Universidad Nacional de Cajamarca]. Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Cajamarca. <http://repositorio.unc.edu.pe/handle/UNC/1515>

Observatorio del Agua Chillón Rímac Lurín. (2019). *Diagnóstico inicial para el Plan de Gestión de Recursos Hídricos de las cuencas Chillón, Rímac, Lurín y Chilca*. Autoridad Nacional del Agua (ANA). [http://repositorio.ana.gob.pe/bitstream/handle/20.500.12543/3901/ANA0002485\\_1.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.ana.gob.pe/bitstream/handle/20.500.12543/3901/ANA0002485_1.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Oficina de las Naciones Unidas para la reducción del riesgo de desastres Las Américas y el Caribe [UNDRR]. (2019). *Pérdidas económicas, pobreza y desastres 1999-2017*. <https://www.unisdr.org/we/inform/publications/61119>

Ordoñez, J.J. (2011). *Cartilla técnica: ¿Qué es cuenca hidrológica?* Sociedad Geográfica de Lima. [https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-sam\\_files/publicaciones/varios/cuenca\\_hidrologica.pdf](https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-sam_files/publicaciones/varios/cuenca_hidrologica.pdf)

Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura [UNESCO]. (2011). *Manual de gestión de riesgos de desastre para comunicadores sociales. Una guía práctica para el comunicador social comprometido en informar y formar para salvar vidas*. <http://bvpad.indeci.gob.pe/doc/pdf/esp/doc2344/doc2344-contenido.pdf>



- Organización Meteorológica Mundial [OMM]. (1994). *Guía de prácticas hidrológicas*. (5.ª ed.). Organización Meteorológica Mundial.
- Panel Intergubernamental del Cambio Climático [IPCC]. (2012). *Glosario*. [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/AR5\\_WGII\\_glossary\\_ES.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/AR5_WGII_glossary_ES.pdf)
- Panel Intergubernamental del Cambio Climático [IPCC]. (2021, 9 de agosto). *Comunicado de prensa del IPCC*. [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2021/08/IPCC\\_WGI-AR6-Press-Release-Final\\_es.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2021/08/IPCC_WGI-AR6-Press-Release-Final_es.pdf)
- Pinedo, E.B, Alvarado, E.L y Canales, F.H. (1994). *Metodología de la Investigación*. (2.ª ed.). Organización Panamericana de la Salud.
- Presidencia del Consejo de Ministros [PCM]. (2020). *Programa Presupuestal de Reducción de la Vulnerabilidad y Atención de Emergencias por Desastres (PREVADED)*. Viceministerio de Gobernanza Territorial. [http://www.pcm.gob.pe/wp-content/uploads/2019/02/PP0068\\_2020.pdf](http://www.pcm.gob.pe/wp-content/uploads/2019/02/PP0068_2020.pdf)
- Rojo, J.D. (s.f.). *Precipitación Parte III* [diapositiva de Power Point]. Hidrología CLASE 10. [http://julianrojo.weebly.com/uploads/1/2/0/0/12008328/precipitaci%C3%B3n\\_ii.pdf](http://julianrojo.weebly.com/uploads/1/2/0/0/12008328/precipitaci%C3%B3n_ii.pdf)
- Romero-Cuéllar, J., Buitrago-Vargas, A., Quintero-Ruiz, T., y Francés, F. (2018). Simulación hidrológica de los impactos potenciales del cambio climático en la cuenca hidrográfica del río Aipe, en Huila, Colombia. *Ribagua*, 5(1), 63-78. <https://doi.org/10.1080/23863781.2018.1454574>
- Sanabria, W., (2021). *Análisis comparativo de los modelos HEC RAS e IBER en la determinación de las zonas de amenaza por inundación en el corregimiento de*

*Santa Fe de Morichal, municipio de Yopal, departamento de Casanare* [Tesis de grado, Universidad Católica de Colombia].

Sánchez H.P. (2020). *HEC-HMS* [diapositiva de Power Point]. Instituto de investigación FLUMEN UPC.

Sánchez H.P. (2020). *Primeros pasos con HEC-RAS* [diapositiva de Power Point]. Instituto de investigación FLUMEN UPC.

Sánchez, F. J. (2017). *Hidrología Superficial y Subterránea*. Createspace Independent Pub., pp. 1-10. [http://hidrologia.usal.es/temas/Hid\\_sup\\_2.pdf](http://hidrologia.usal.es/temas/Hid_sup_2.pdf)

Serrano, S., Reisancho, A., Lizano, R., Borbor-Córdova M. J. y Stewart-Ibarra, A. M. (2016). Análisis de inundaciones costeras por precipitaciones intensas, cambio climático y fenómeno de El Niño. Caso de estudio: Machala. *La Granja: Revista de Ciencias de la Vida.*, 24(2), 53-68. <https://doi.org/10.17163/lgr.n24.2016.05>

Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú [SENAMHI]. (2014). *El fenómeno EL NIÑO en el Perú*. Ediciones SENAMHI. [http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2014/07/Dossier-El-Ni%C3%B1o-Final\\_web.pdf](http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2014/07/Dossier-El-Ni%C3%B1o-Final_web.pdf)

Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú [SENAMHI]. (2016). *Vulnerabilidad climática de los recursos hídricos en las cuencas de los ríos Chillón, Rímac, Lurín y Parte Alta Del Mantaro. Resumen Ejecutivo*. Ediciones SENAMHI. <https://www.senamhi.gob.pe/load/file/01401SENA-38.pdf>

Sistema de Información para la Gestión del Riesgo de Desastre [SIGRID]. (2022, 03 de marzo). <https://sigrid.cenepred.gob.pe/sigridv3/mapa?xmin=-76.849827225&ymin=-12.150904283&xmax=-76.722111161&ymax=-12.034750637>

Torres, J.M., (2017). *Diseño Hidráulico y Modelamiento en HEC-RAS del Canal de Concreto y de Obras de Arte del Proyecto Carpintero – Tramo km 0+000 al km 5+000* [Tesis de grado, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas].

Universidad de Piura [UDEP]. (s.f.). *Capítulo 2: Precipitación*. Universidad de Piura (UDEP).

[http://www.biblioteca.udep.edu.pe/bibvirudep/tesis/pdf/1\\_136\\_147\\_89\\_1257.pdf](http://www.biblioteca.udep.edu.pe/bibvirudep/tesis/pdf/1_136_147_89_1257.pdf)

Velásquez T. (2006). *Guía Metodológica para Proyectos de Protección y/o control de Inundaciones en Áreas Agrícolas o Urbanas*. Ministerio de Economía y Finanzas (MEF).

[https://www.mef.gob.pe/contenidos/inv\\_publica/docs/instrumentos\\_metod/agricultura/GuiaInundaciones.pdf](https://www.mef.gob.pe/contenidos/inv_publica/docs/instrumentos_metod/agricultura/GuiaInundaciones.pdf)

Villacorta, S., Chambi, G., Carlotto, V. y Fidel, L. (17 al 20 de octubre 2006). Atlas Ambiental de Lima Metropolitana: mapas de susceptibilidad en el ordenamiento territorial. *XIII Congreso Peruano de Geología*, Lima, Perú. [Resúmenes extendidos, 171-174]. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/412>

Wurl, J., Martínez, C. N. e Imaz, M.A. (2017). Respuesta hidrológica al cambio climático en regiones áridas: caso de estudio en los Comondú, Baja California Sur, México. *Hidrobiológica*, (27), 13-22.

[http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0188-88972017000100013](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-88972017000100013)

## IX. ANEXOS

## Anexo A

Tabla 36

*Matriz de consistencia*

<b>Tesis: Riesgo de inundaciones fluviales por máximas avenidas en la cuenca baja del río Lurín</b>				
<b>Problema general</b>	<b>Objetivo General</b>	<b>Hipótesis</b>	<b>Variables Independiente</b>	<b>Indicadores</b>
¿Cuál es el riesgo de inundaciones fluviales por máximas avenidas en la cuenca baja del río Lurín entre los años 1965-2017?	Determinar el riesgo de inundaciones fluviales por máximas avenidas en la cuenca baja del río Lurín entre los años 1965-2017.	En la medida que las máximas avenidas se incrementen entre los años 1965-2017, para periodos de retorno de 50, 100 y 200 años, se producirán riesgos de inundaciones fluviales más altos en la cuenca baja del río Lurín.	Máximas avenidas	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Precipitación máxima en 24 horas</li> <li>•Tiempo de retorno</li> <li>•Uso mayor del suelo</li> <li>•Tipo de suelo</li> <li>•Tipo de cobertura</li> <li>•Tiempo de concentración</li> </ul>
<b>Problemas específicos</b>	<b>Objetivos Específicos</b>		<b>Variable Dependiente</b>	
• ¿Cuáles son las máximas avenidas entre los años 1965-2017 para periodos de retorno de 50, 100 y 200 años en la cuenca del río Lurín?	• Obtener las máximas avenidas entre los años 1965-2017 para periodos de retorno de 50, 100 y 200 años mediante el modelamiento hidrológico HEC-HMS de la cuenca del río Lurín.		Riesgo de inundaciones fluviales	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Caudal</li> <li>•Topografía del río</li> <li>•Zonas inundadas</li> </ul>

- |  |  |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"><li>• ¿Cuáles son las zonas que presentan riesgo de inundaciones fluviales para periodos de retorno de 50, 100 y 200 años en la cuenca baja del río Lurín?</li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>• Identificar las zonas que presentan riesgo de inundaciones fluviales para periodos de retorno de 50, 100 y 200 años mediante el modelamiento hidráulico HEC-RAS de la cuenca baja del río Lurín.</li></ul> |
| <ul style="list-style-type: none"><li>• ¿Cuáles son las estrategias de mejora ante el riesgo de inundaciones fluviales en la cuenca baja del río Lurín?</li></ul>                                      | <ul style="list-style-type: none"><li>• Proponer estrategias de mejora ante el riesgo de inundaciones fluviales en la cuenca baja del río Lurín.</li></ul>   |
-

## Anexo B

### Registro fotográfico del área de estudio

Se realizó la salida de campo a la cuenca baja del río Lurín, observando los diferentes aspectos físicos, sociales y ambientales que tiene la zona de estudio para poder analizar cómo influyen en la inundación, también se observó que se presenta en ambas márgenes zonas agrícolas que por su baja pendiente son propensas a inundarse con mayor facilidad.

#### Figura 70

Vías de acceso del C.P.R. “Quebrada Verde”



**Nota.** Vías de acceso del C.P.R “Quebrada Verde”. En el distrito de Pachacamac, fecha 15 de junio, 2020.

**Figura 71***Puente del C.P.R “Quebrada Verde”*

*Nota.* Puente del C.P.R “Quebrada Verde”. En el distrito de Pachacamac, fecha 15 de junio, 2020.

**Figura 72***Colmatacion del cauce del río Lurín*

*Nota.* Colmatación del cauce, parte baja del río Lurín en el C.P.R “Quebrada Verde”. En el distrito de Pachacamac, fecha 15 de junio, 2020.

**Figura 73***Cultivos en el distrito de Pachacamac*

**Nota.** Cultivos de alfalfa, apio, espárrago, zanahoria, etc. C.P.R “Quebrada Verde”. En el distrito de Pachacamac, fecha 15 de junio, 2020.



**Figura 74**

*Actividades de los pobladores aledaños*



**Nota.** Actividades de los pobladores aledaños: lavado de moto taxis, ropa y recreación.

C.P.R “Quebrada Verde”. En el distrito de Pachacamac, fecha 15 de junio, 2020.

**Figura 75***Viviendas en estado de vulnerabilidad*

*Nota.* Viviendas en estado de vulnerabilidad. Av. Antigua Panamericana Sur. En el distrito de Lurín, fecha 15 de junio, 2020.

Figura 76

Estado situacional de emergencia por desborde del río Lurín a la altura de C.P.R.

Picapiedra y Guayabo

Estado Situacional de la Emergencia				
<b>EMERGENCIA</b>				
<b>DESCRIPCION DESBORDE DEL RIO LURIN A LA ALTURA DE C.P.R. PICAPIEDRA Y GUAYABO (00083906)</b>				
Grupo Fenómeno		METEOROLOGICOS, OCEANOGRAFICOS	Fecha	16/03/2017 3:00:00
Fenómeno		INUNDACION	Fuente	GILBERT DENNIS SANCHEZ RAMOS
Latitud y Longitud	-12,23073	Longitud	-76,86247	Usuario
<b>INFORME PRELIMINAR</b>				
Hechos	PRODUCTO DE LA CREDIDA DEL RIO LURIN EN LA JURISDICCION DE PACHACAMAC SE DESBORDO EL RIO A LA ALTURA DE LOS C.P.R. PICAPIEDRA Y GUAYABO, LOS CUALES AFECTARON ALGUNAS VIVIENDAS Y UNA CASA RELIGIOSA CATOLICA SERVIDORA DE LA PRESENCIA DE DIOS			
Daños	PRODUCTO DE LA INUNDACION FUERON AFECTADAS 07 HABITACIONES DE LA CASA RELIGIOSA SERVIDORA DE LA PRESENCIA DE DIOS, ASI COMO EL LOTE 1 DE LA MANZANA H DEL C.PR. GUAYABO CON 12 HABITANTES (TRES FAMILIAS)			
Acciones	SE MOVILIZO PERSONAL DE LA SUBGERENCIA DE GRD DE PACHACAMAC PARA HACER EL EDAN. SE MOVILIZO PERSONAL DEL AREA DE TRANSPORTE Y ORDENAMIENTO VIAL PARA CUIDAR EL INGRESO DE VEHICULOS A LA ZONA AFECTADA Y CERCANAS AL RIO. MOVILIZACION DE PNP PARA RESGUARDAR EL ORDEN EN LAS ZONAS AFECTADAS. AVISO A MINSA A FIN DE DETERMINAR SI HAY ALGUN RIESGO BIOLÓGICO POR LA PRESENCIA DE LAS AGUAS EMPOZADAS EN LAS VIVIENDAS AFECTADAS. SE REQUIERE APOYO DE MAQUINARIA PESADA PARA PODER CERRAR LA ABERTURA HECHA POR LA FUERZA DEL RIO Y ESTA YA NO CAUSE MAS DAÑO A LAS PERSONAS AFECTADAS.			
<b>EVALUACION DE DAÑOS GENERAL</b>   Cerrar				
Grpo.Daño		Daño	Cantidad	Und.Med.
VIDA Y SALUD (PERSONAS)		AFECTADOS	73.00	PERSONAS
<b>EVALUACION DE DAÑOS POR LOCALIDAD</b>				
Localidad	Gpo. Daño	Daño	Cantidad	Und.Med.
PACHACAMAC	VIDA Y SALUD (PERSONAS)	AFECTADOS	73	PERSONAS
<b>ACCIONES REALIZADAS</b>				
Dpto.	Prov.	Dist.	Localidad	
LIMA	LIMA	PACHACAMAC	PACHACAMAC	
16/03/2017 - 0:00:00 : SE PROCEDIO A LA EVACUACION DE LA POBLACION QUE HABITABA EL CAMPAMENTO CRISTIANO BCM HACIA UNA ZOINA DE PACHACAMAC, ZONA DE REFUGIO PROPORCIONADA POR FAMILIARES				
16/03/2017 - 0:00:00 : SE PROCEDIO A LA EVALUACION DE DAÑOS Y ANALISIS DE NECESIDADES A CARGO DE LA SUBGERENCIA DE GESTION DE RIESGO DE DESATSRES DE LA MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE PACHACAMAC				
16/03/2017 - 0:00:00 : SE PROCEDIO A SOLICITAR APOYO AL MINISTERIO DE VIVIENDA, GOBIERNO REGIONAL DE LIMA A FIN DE QUE ENVIEN MAQUINARIAS DE APOYO PARA CONTROLAR Y MITIGAR LA EMERGENCIA SUSCITADA.				
16/03/2017 - 0:00:00 : SE PROCEDIO A CERRAR EL ACCESO A LA POBLACION HACIA LAS ZONAS AFECTADAS POR LA INUNDACION A CARGO DEL SERENAZGO DEL DISTRITO DE PACHACAMAC Y LA SUBGERENCIA DE TRANSPORTES Y ORDENAMIENTO VIAL.				
<b>REQUERIMIENTO DE ATENCION</b>				
Item N°	Artículo / Bien		Cantidad	Und.Med
<b>ALIMENTO</b>				
1	AGUA		15	PAQUETE
<b>MATERIALES</b>				
2	CARRETILLA STANDAR DE 3PC		5	UNIDAD
3	PALA CUCHARA C/MANGO DE MADERA		8	UNIDAD
4	SACOS DE POLIPROPILENO		300	UNIDAD
5	SACO DE POLIPROPILENO TEJIDO X 50 KG		750	UNIDAD
<b>OTROS</b>				
6	PICO DE ACERO CON MANGO DE MADERA DE 52 CM		8	UNIDAD

*Nota.* De INDECI. Distrito de Pachacamac. Fecha 16 de marzo de 2017

([http://sinpad.indeci.gob.pe/sinpad/emergencias/Evaluacion/Reporte/rpt\\_eme\\_situacion\\_emergencia.asp?EmergCode=00083906&expande=1](http://sinpad.indeci.gob.pe/sinpad/emergencias/Evaluacion/Reporte/rpt_eme_situacion_emergencia.asp?EmergCode=00083906&expande=1)).

Figura 77

Estado situacional de la emergencia por inundación en la zona de Trio Manchay Bajo

Estado Situacional de la Emergencia				
<b>EMERGENCIA</b>				
<b>INUNDACION EN LA ZONA DE TRIO MANCHAY BAJO (00083904)</b>				
<b>Grupo Fenómeno</b>		METEOROLOGICOS, OCEANOGRAFICOS	<b>Fecha</b>	14/03/2017 3:00:00
<b>Fenómeno</b>		INUNDACION	<b>Fuente</b>	GILBERT DENNIS SANCHEZ RAMOS
<b>Latitud y Longitud</b>	-12,16875	<b>Longitud</b>	-76,85801	<b>Usuario</b>
				CDDCPACHACAMAC03
<b>INFORME PRELIMINAR</b>				
<b>Hechos</b>	por la crecida del rio lurin, se desbordo a la altura de Lote afectando a la zona conocida como trio en Manchay bajo o la playa de manchay			
<b>Daños</b>	06 viviendas afectadas, 04 familias afectadas			
<b>Acciones</b>	se Movilizo personal de la subgerencia de GRD para la ealuacion de los daños. se movilizo personal de la subgerencia de seguridad ciudadana y PNP para resguardar el orden y la tranquilidad de los afectados. se solicito maquinaria pesada para poder cerrar el punto colpasado por la fuerza del agua, a fin de que no siga dañando la propiedad , enseres y demas de los afectados. se Movilizo a subgerencia de transporte y ordenamiento vial para el cierre del acceso a la zona afectada.			
<b>ZONAS AFECTADAS</b>				
<b>Región</b>	<b>Provincia</b>	<b>Distrito</b>	<b>Localidad</b>	
LIMA	LIMA	PACHACAMAC	MANCHAY BAJO	
<b>EVALUACION DE DAÑOS GENERAL</b>   Cerrar				
<b>Grpo.Daño</b>	<b>Daño</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Und.Med.</b>	
VIDA Y SALUD (PERSONAS)	AFFECTADOS	19.00	PERSONAS	
<b>EVALUACION DE DAÑOS POR LOCALIDAD</b>				
<b>Localidad</b>	<b>Gpo. Daño</b>	<b>Daño</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Und.Med.</b>
MANCHAY BAJO	VIDA Y SALUD (PERSONAS)	AFFECTADOS	19	PERSONAS
<b>ACCIONES REALIZADAS</b>				
<b>Dpto.</b>	<b>Prov.</b>	<b>Dist.</b>	<b>Localidad</b>	
LIMA	LIMA	PACHACAMAC	MANCHAY BAJO	
14/03/2017 - 0:00:00 : se realizo la Evaluacion de Daños Y analisis de Necesidades a cargo de la Subgerencia de Gestion de Riesgo de Desastres. Se Impidio el Ingreso de Personas a la Zona Afectada A cargo de Serenazgo de Pachacamac. se Dio Aviso al Gobierno Reginla de Lima Metropolitana para Apoyo con Maquinarias. Se informo A Coe Lima SObre la Situacion y a IndecI. Se Procedio a Entregar Sacos Terreros a la Poblacion afectada a fin de Poner una Barrera que los pueda Proteger de otra Afectacion por Inundacion.				
14/03/2017 - 0:00:00 : se realizo la Evaluacion de Daños Y analisis de Necesidades a cargo de la Subgerencia de Gestion de Riesgo de Desastres. Se Impidio el Ingreso de Personas a la Zona Afectada A cargo de Serenazgo de Pachacamac. se Dio Aviso al Gobierno Reginal de Lima Metropolitana para Apoyo con Maquinarias. Se informo A Coe Lima Metropolitana Sobre la Situacion y a IndecI. Se Procedio a Entregar Sacos Terreros a la Poblacion afectada a fin de Poner una Barrera que los pueda Proteger de otra Afectacion por Inundacion.				
14/03/2017 - 0:00:00 : Se convoco al GTGRD DE PACHACAMAC, a fin de evaluar la Situacion y poder tomar decisiones que puedan Minimizar los daños a a la poblacion Afectada.				

**Nota.** De INDECI. Distrito de Pachacamac, Manchay Bajo. Fecha 16 de marzo de 2017([http://sinpad.indecI.gob.pe/sinpad/emergencias/Evaluacion/Reporte/rpt\\_eme\\_situacion\\_emergencia.asp?EmergCode=00083904&expande=1](http://sinpad.indecI.gob.pe/sinpad/emergencias/Evaluacion/Reporte/rpt_eme_situacion_emergencia.asp?EmergCode=00083904&expande=1))

Figura 78

Inundación por caída de huayco en la zona de Santa Rosa de Chontay

Estado Situacional de la Emergencia				
<b>EMERGENCIA</b>				
<b>INUNDACION POR CAIDA DE HUAYCO (00084373)</b>				
Grupo Fenómeno		GEODINAMICA EXTERNA	Fecha	19/03/2017 7:00:00
Fenómeno		HUAYCO	Fuente	POBLADORES DE LA ZONA
Latitud y Longitud	-12,12396	Longitud	-76,81005	Usuario
				CDDCCIENEGUILLA02
<b>INFORME PRELIMINAR</b>				
Hechos	ANTE LA CRECIDA DEL RIO LURIN POR EFECTOS DE CAIDAS DE HUAYCO TODA LA ZONA DE SANTA ROSA DE CHONTAY TANTO MARGEN IZQUIERDO COMO MARGEN DERECHA, PRESENTAN INUNDACIONES Y DESTRUCCION EN LA TROCHA (CIENEGUILLA-HUAROCHIRI), ASI COMO INUNDACIONES EN LAS VIVIENDAS DE LA POBLACION Y AREAS AGRICOLAS.			
Daños	PERDIDA DE LA TROCHA CARROZABLE (CIENEGUILLA-HUAROCHIRI), INUNDACIONES EN LAS VIVIENDAS ALEDAÑAS A LOS MARGENES DEL RIO Y ZONAS DE CULTIVO.			
Acciones	SE HA LLEVADO AYUDA HUMANITARIA A LA POBLACION, ASI COMO SE HA CONTRATADO MAQUINARIA PESADA TIPO ORUGA A FIN DE REALIZAR LA DESCOLMATACION Y RECUPERACION DE VIA.			
<b>ZONAS AFECTADAS</b>				
Región	Provincia	Distrito	Localidad	
LIMA	LIMA	CIENEGUILLA	CIENEGUILLA	
<b>EVALUACION DE DAÑOS GENERAL</b>   Cerrar				
Grpo. Daño	Daño	Cantidad	Und. Med.	
<b>VIVIENDAS Y LOCALES PUBLICOS</b>				
VIVIENDAS AFECTADAS				
<b>EVALUACION DE DAÑOS POR LOCALIDAD</b>				
Localidad	Gpo. Daño	Daño	Cantidad	Und. Med.
CIENEGUILLA	VIVIENDAS Y LOCALES PUBLICOS	VIVIENDAS AFECTADAS	0	UNIDAD
<b>ACCIONES REALIZADAS</b>				
Dpto.	Prov.	Dist.	Localidad	
<b>REQUERIMIENTO DE ATENCIÓN</b>				
Item N°	Artículo / Bien	Cantidad	Und. Med	
<b>APOYO HUMANITARIO</b>				
Item N°	Artículo / Bien	Cantidad	Und. Med	
<b>Total Ayuda en TM 0</b>				

*Nota.* De INDECI. Distrito de Cieneguilla. Fecha 19 de marzo de 2017  
[http://sinpad.indeci.gob.pe/sinpad/emergencias/Evaluacion/Reporte/rpt\\_eme\\_situacion\\_emergencia.asp?EmergCode=00084373&expande=1](http://sinpad.indeci.gob.pe/sinpad/emergencias/Evaluacion/Reporte/rpt_eme_situacion_emergencia.asp?EmergCode=00084373&expande=1))

Figura 79

Inundación y destrucción de trocha carrozable

Estado Situacional de la Emergencia				
<b>EMERGENCIA</b>				
<b>INUNDACION Y DESTRUCCION DE TROCHA CARROZABLE (00084017)</b>				
Grupo Fenómeno		GEODINAMICA EXTERNA	Fecha	19/03/2017 10:30:00
Fenómeno		HUAYCO	Fuente	SUBGERENCIA DE GESTION DE RIESGO
Latitud y Longitud	-12,12396	Longitud	-76,81005	Usuario
				CDDCCCIENEGUILLA02
<b>INFORME PRELIMINAR</b>				
Hechos	ANTE LA CRECIDA DEL RIO LURIN POR EFECTOS DE CAIDAS DE HUAYCO TODA LA ZONA DE MOLLE BAJO TANTO MARGEN IZQUIERDA COMO MARGEN DERECHA, PRESENTA INUNDACIONES Y DESTRUCCION DE TODA LA CARRETERA (TROCHA CARROZABLE) ASI COMO INUNDACIONES DE AREAS AGRICOLAS Y POBLADORES DE ESTA ZONA			
Daños	PERDIDA DE TROCHA CARROZABLE, INUNDACIONES A CULTIVOS,			
Acciones	SE HA LLEVADO AYUDA HUMANITARIA ASI COMO SE HA CONTRATADO MAQUINARIAS PESADAS TIPO ORUGAS A FIN DE REALIZAR LA DESCOLMATACION Y LA RECUPERACION DE ESTAS VIAS			
<b>ZONAS AFECTADAS</b>				
Región	Provincia	Distrito	Localidad	
LIMA	LIMA	CIENEGUILLA	CIENEGUILLA	
<b>EVALUACION DE DAÑOS GENERAL</b>   Cerrar				
Grpo.Daño	Daño	Cantidad	Und.Med.	
AGRICULTURA - TERRENO AGRICOLA Y DE COBERTURA	AREAS DE CULTIVO PERDIDO	25.00	HECTAREAS	
<b>EVALUACION DE DAÑOS POR LOCALIDAD</b>				
Localidad	Gpo. Daño	Daño	Cantidad	Und.Med.
CIENEGUILLA	AGRICULTURA - TERRENO AGRICOLA Y DE COBERTURA	AREAS DE CULTIVO PERDIDO	25	HECTAREAS
<b>ACCIONES REALIZADAS</b>				
Dpto.	Prov.	Dist.	Localidad	
LIMA	LIMA	CIENEGUILLA	CIENEGUILLA	
16/03/2017 - 8:00:00 : Se ha realizado la contratación de maquinarias con la finalidad de realizar los trabajos de recuperación de vías así como la protección de defensas ribereñas momentáneas				
<b>REQUERIMIENTO DE ATENCIÓN</b>				
Item N°	Artículo / Bien	Cantidad	Und.Med.	
<b>APOYO HUMANITARIO</b>				
Item N°	Artículo / Bien	Cantidad	Und.Med.	
<b>Total Ayuda en TM 0</b>				

*Nota.* De INDECI. Distrito de Cieneguilla. Fecha 19 de marzo de 2017([http://sinpad.indeci.gob.pe/sinpad/emergencias/Evaluacion/Reporte/rpt\\_eme\\_situacion\\_emergencia.asp?EmergCode=00084017&expand=1](http://sinpad.indeci.gob.pe/sinpad/emergencias/Evaluacion/Reporte/rpt_eme_situacion_emergencia.asp?EmergCode=00084017&expand=1))

## Anexo C

### Registro fotográfico de la emergencia por inundación fluvial ocurrida en el río Lurín

Las fotos corresponden a las inspecciones técnicas realizadas por la Oficina de Comunicación Social, así como la Dirección Desconcentrada de INDECI-Callao en las fechas correspondientes al 06, 10 y 14 de marzo del 2017, debido a desbordes por inundación fluvial del río Lurín en los distritos de Lurín, Pachacamac y Cieneguilla.

#### Figura 80

*Desborde del río Lurín en el distrito de Lurín*



*Nota.* De INDECI. Efectos del fenómeno “El Niño Costero”. En el distrito de Lurín, fecha 14 de marzo, 2017.

### Figura 81

#### *Estructura hidráulica Puente Quebrada Verde*



*Nota.* De INDECI. Efectos del fenómeno “El Niño Costero”. En el distrito de Pachacamac, fecha 14 de marzo, 2017.

### Figura 82

#### *Desborde del río Lurín en el distrito de Cieneguilla*



*Nota.* De INDECI. Efectos del fenómeno “El Niño Costero”. En el distrito de Cieneguilla, fecha 14 de marzo, 2017.



**Figura 83***Destrucción de carreteras en el distrito de Cieneguilla*

*Nota.* De INDECI. Efectos del fenómeno “El Niño Costero”. En el distrito de Cieneguilla, fecha 14 de marzo, 2017.

**Figura 84**

*Campos de cultivo inundados en el distrito de Pachacamac*



*Nota.* De *INDECI*. Efectos del fenómeno “El Niño Costero”. Río Lurín, distrito de Pachacamac, fecha 10 de marzo, 2017.

**Figura 85**

*Viviendas ubicadas en las fajas marginales afectadas por el desborde del río Lurín*



*Nota.* De *INDECI*. Efectos del fenómeno “El Niño Costero”. Río Lurín, distrito de Cieneguilla, fecha 6 de marzo, 2017.

**Anexo D**

**TABLAS DE ANÁLISIS DE PRECIPITACIÓN**

## Análisis de precipitación-Estación Antioquia

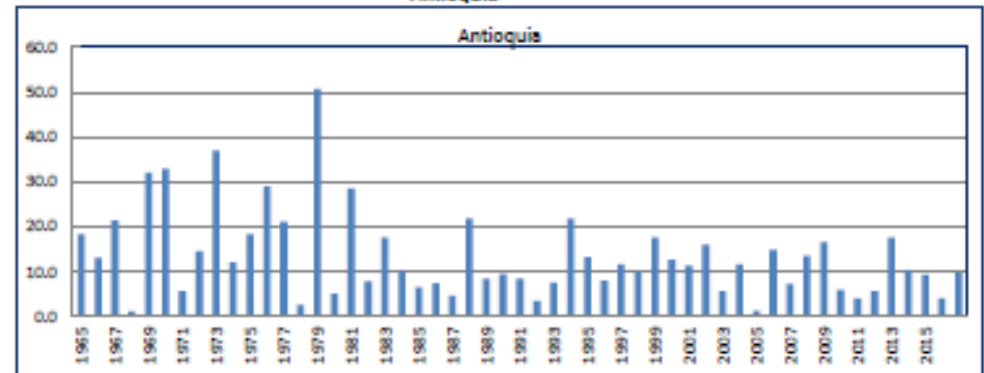
**Cuadro 1.1.1: REGISTRO HISTÓRICO**  
ESTACIÓN ANTIOQUIA

Estación : ANTIOQUIA/156100/DZ04 Longitud 76° 30' 0" "W" Dpto. LIMA  
 Parámetro : PRECIPITACIÓN MÁXIMA EN 24 HORAS (mm) Latitud : 12° 5' 0" "S" Prov. HUARACHIRI  
 Altitud : 1839 m.s.n.m. Dist. ANTIOQUIA

ANO	ENE	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.	MAXIMO
1966	S/D	5.6	18.3	0.5	0	0	0.1	0	0.1	0	0	0	18.3
1968	3	0	13	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	13.0
1967	20	21.3	20	0	0	0	0	0	0	0	0	1	21.3
1968	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.0
1968	0	32	5	0	0	0	0	0	0	0	0	4	32.0
1970	32.9	1.5	3.4	2.4	0	0	0	0	2.2	0	0	11	32.9
1971	2	5.5	3.3	1.3	0	0	0	0	0	0.1	0	1	5.5
1972	5.5	10.5	14.5	0	0	0	0	0	0.2	0	0	10.4	14.5
1973	37	6	7.3	1	0.1	0	0	0	2	0	0.1	2	37.0
1974	5	6.5	12	0.8	0	0.2	0	0.8	0	0	0	2.3	12.0
1976	8.5	18.3	13.3	0	0	0	0	0	0	0.6	0	7	18.3
1976	13	29	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	4.1	29.0
1977	9.2	21	2.2	0	0	0	0	0	0	0	1.5	1.2	21.0
1978	2.5	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.5
1979	0	1.1	50.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	50.6
1980	0	2	5	0	0	0	0	0	0	0.3	0.5	0	5.0
1981	0	2.4	29.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	29.5
1982	0.9	7.7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7.7
1983	10.6	10.5	17.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	17.5
1984	0	19	0	0	0	0	0	0	0	0.8	1.6	2	19.0
1985	5.2	2	6.4	1.5	0	0	0	0	0	0	1	0.4	6.4
1988	4	1	5	0.8	1.2	0	0	0	0	0	0	7.3	7.3
1987	4.5	0.1	3.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4.5
1988	4.2	8.3	0	0	2.3	0	0	0	0	0	0	21.8	21.8
1988	4.7	8.3	2.6	0	0	0	0	0	0	0.9	0	0	8.3
1990	0.1	0	2	0	0.9	0	0	0	0	0	0.3	9.3	9.3
1991	6	1.9	8.3	0.7	0	0	0	0	0	0.3	0	0	8.3
1992	0	3.3	0.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.3
1993	2.3	6.4	7.4	4	0	0	0	0	0	0	0.8	1.8	7.4
1994	21.8	11.1	13.8	3.4	0	0	0	0	0.1	0	0	1.3	21.8
1996	4.8	0.2	13.2	2.1	0	0	0	0	0.3	0.2	9.4	3.7	13.2
1996	5.5	7.9	6.1	4.5	0	0	0	0	0	0	0	0	7.9
1997	1.8	2	0.3	0	0	0	0	0.1	0	0.4	4.2	11.6	11.6
1998	5.6	9.6	9.8	0.1	0	0	0	0	0	0	0	4.1	9.8
1999	6.6	17.5	5.1	0.9	1.5	0	0	0	0	2.9	0.2	0.6	17.5
2000	8.4	12.6	3.4	0	0	0	0	0	0	0	0	2	12.6
2001	11.3	4.2	4.1	1.7	0	0	0	0	0	0	3.2	0	11.3
2002	1.3	16	9.8	2.7	0.1	0	0	0.1	0	1.6	0.4	1.8	16.0
2003	1.9	4.3	3.6	0	0	0	0	0	0	0	0	5.6	5.6
2004	0	11.5	2.2	1.9	0	0	0	0	0	0	0	1	11.5
2005	1.1	1.2	0.2	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0.6	1.2
2006	14.8	9.1	8.5	1.4	0	0	0	0	0	0	0.2	4.5	14.8
2007	3.2	7.2	5	5	0	0	0	0	0	0	0	1	7.2
2008	6.2	7.7	13.4	0.6	0	0	0	0	0	0	1.2	0	13.4
2009	3.7	16.5	13.8	6.2	0	0	0	0	0	0.7	0.8	0.1	16.5
2010	5.8	2.9	4.3	1.6	0	0	0	0	0	0	0	3	5.8
2011	S/D	2	0.8	0.7	0	0	S/D	0	0	0	1.7	4	4.0
2012	2.1	5.5	4.5	0	0	0	0	0	0	1.6	1	1	5.5
2013	0.6	17.5	3.5	0	0	0	0	0	0	0	0.3	1	17.5
2014	4.3	2.4	10.2	0	0	0	0	0	0	1.2	0	3.1	10.2
2016	4.8	3.6	9.2	7.1	0	0	0	0	0	0	0	2.3	9.2
2018	1.9	3.9	2.6	2.3	0	0	0	0	0	0	0	2.3	3.9
2017	7.3	7.3	9.6	2.3	0	0	0	0	0	0	0	0	9.6
PROMEDIO	6.0	7.7	7.7	1.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.1	0.2	0.5	2.7	13.4
DES. EST.	7.6	7.3	8.5	1.7	0.4	0.0	0.0	0.1	0.4	0.5	1.5	4.0	9.8
MAXIMO	37.0	32.0	50.6	7.1	2.3	0.2	0.1	0.8	2.2	2.9	9.4	21.8	50.6
MINIMO	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0
NP Datos	51	53	53	53	53	53	52	53	53	53	53	53	53

S/D: Sin Datos  
 FUENTE: SENAMHI.

**Histograma Histórico**  
Antioquia



REGISTRO HISTÓRICO  
**Cuadro 1.1.2: DATOS DE PRECIPITACIÓN MÁXIMA EN 24 HORAS**  
**ESTACIÓN ANTIOQUIA**

N°	AÑO	ORDEN	P24	log(P24)
1	1965	11	18.3	1.2625
2	1966	22	13.0	1.1139
3	1967	9	21.3	1.3264
4	1968	53	1.0	-
5	1969	4	32.0	1.5051
6	1970	3	32.9	1.5172
7	1971	44	5.5	0.7404
8	1972	19	14.5	1.1614
9	1973	2	37.0	1.5682
10	1974	24	12.0	1.0792
11	1975	12	18.3	1.2625
12	1976	5	29.0	1.4624
13	1977	10	21.0	1.3222
14	1978	51	2.5	0.3979
15	1979	1	<b>50.6</b>	1.7042
16	1980	46	5.0	0.6990
17	1981	6	28.5	1.4548
18	1982	37	7.7	0.8865
19	1983	13	17.5	1.2430
20	1984	29	10.0	1.0000
21	1985	41	6.4	0.8062
22	1986	39	7.3	0.8633
23	1987	47	4.5	0.6532
24	1988	7	21.8	1.3385
25	1989	34	8.3	0.9191
26	1990	32	9.3	0.9685
27	1991	35	8.3	0.9191
28	1992	50	3.3	0.5185
29	1993	38	7.4	0.8692
30	1994	8	21.8	1.3385
31	1995	21	13.2	1.1208
32	1996	36	7.9	0.8976
33	1997	25	11.6	1.0645
34	1998	30	9.8	0.9912
35	1999	14	17.5	1.2430
36	2000	23	12.6	1.1004
37	2001	27	11.3	1.0531
38	2002	17	16.0	1.2041
39	2003	43	5.6	0.7482
40	2004	26	11.5	1.0607
41	2005	52	1.2	0.0792
42	2006	18	14.8	1.1703
43	2007	40	7.2	0.8573
44	2008	20	13.4	1.1271
45	2009	16	16.5	1.2175
46	2010	42	5.8	0.7634
47	2011	48	4.0	0.6021
48	2012	45	5.5	0.7404
49	2013	15	17.5	1.2430
50	2014	28	10.2	1.0086
51	2015	33	9.2	0.9638
52	2016	49	3.9	0.5911
53	2017	31	9.6	0.9823

Máximo valor histórico registrado

**PRUEBA DE DATOS DUDOSOS (Método Water Resources Council)**

$$n = 53$$

$$Kn = 2.7876 *$$

Kn: valor recomendado, varía según el valor de n (significancia:10%)

→ Umbral de datos dudosos altos ( $x_u$ : unid. logarítmicas)

$$x_u = \bar{x} + Kn \cdot s \quad x_u = 1.9676$$

Precipitación máxima aceptada

$$PH = 10^{x_u} \quad PH = 92.8 \text{ mm}$$

→ Umbral de datos dudosos bajos ( $x_b$ : unid. logarítmicas)

$$x_b = \bar{x} - Kn \cdot s \quad x_b = 0.0599832$$

Precipitación mínima aceptada

$$PL = 10^{x_b} \quad PL = 1.1 \text{ mm}$$

**Nota:** Se observa que todos los valores 'P24' están dentro de los límites PH y PL,

es decir se encuentran entre 92.8 y 1,1 mm. **No existen datos dudosos.**

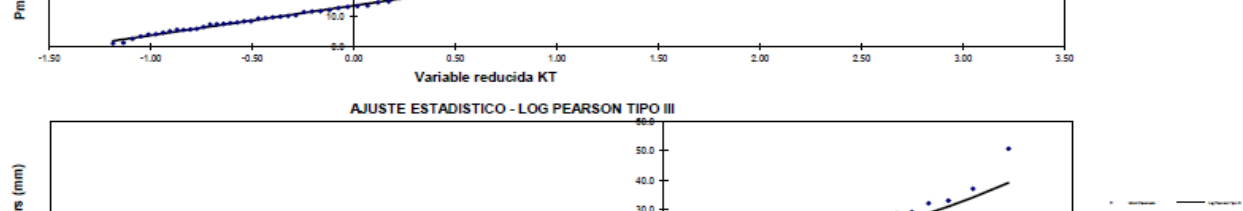
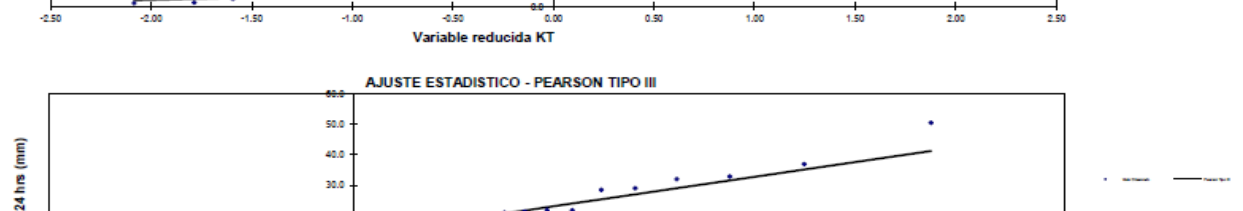
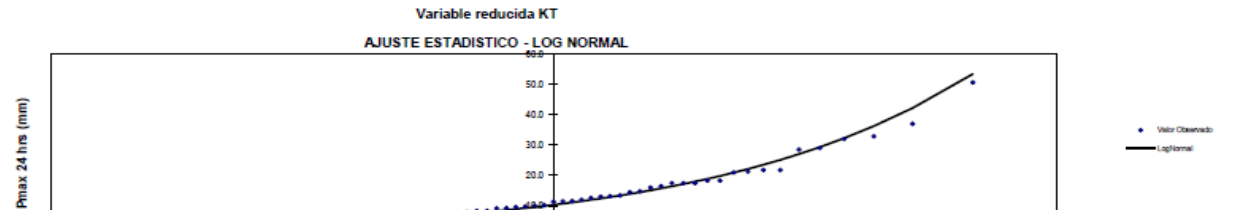
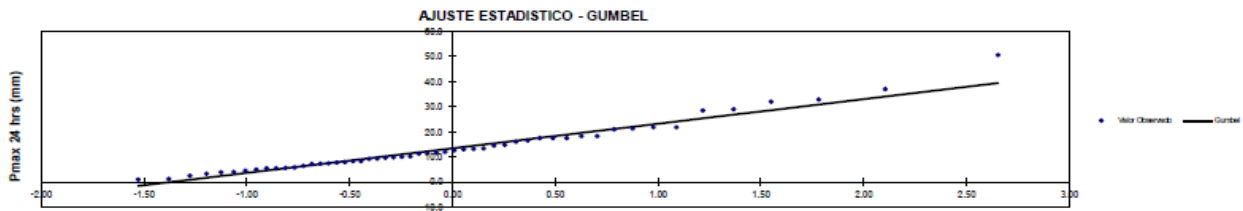
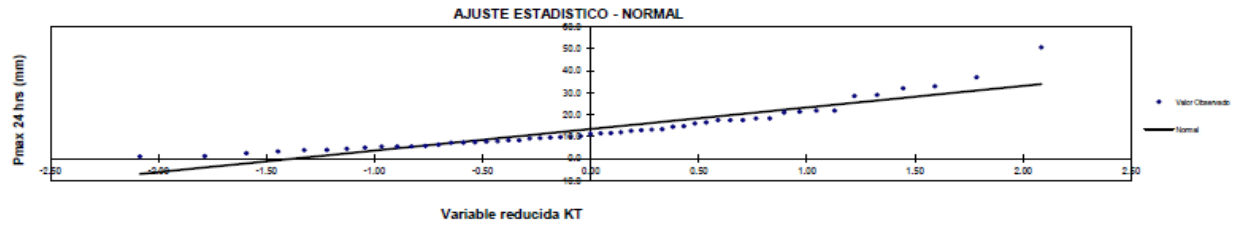
\* Referencia: Tabla 12.5.3 - Hidrología Aplicada, Ven Te Chow

**Cuadro 1.1.3: PRUEBA DE LA BONDAD DEL AJUSTE - GRÁFICA DE PROBABILIDADES**

	P24	log(P24)
Numero de datos: n	53	
Promedio: x	13.43	1.01
Desviación estándar: s	9.79	0.34
Coefficiente asimetría: Cs	1.60	-0.69
Cs/6: k	0.27	-0.12

ESTACIÓN ANTIOQUIA																		
N	T	P(KsXT)	VALOR OBSERVADO		NORMAL ESPERADO		GUMBEL ESPERADO		LOGNORMAL ESPERADO		PEARSON III ESPERADO		LOGPEARSON III					
			P24	log(P24)	K <sub>T</sub>		K <sub>T</sub>		K <sub>T</sub>		K <sub>T</sub>		K <sub>T</sub>					
1	54.00	1.85%	50.6	1.7042	2.0854	33.9	16.75	2.6529	39.4	11.19	2.0854	53.4	11.19	2.8426	41.3	9.34	1.6878	39.0
2	27.00	3.70%	37.0	1.5682	1.7862	30.9	6.08	2.1050	34.0	2.96	1.7862	42.2	2.96	2.2185	35.2	1.85	1.5138	34.0
3	18.00	5.56%	32.9	1.5172	1.5932	29.0	3.87	1.7814	30.9	2.03	1.5932	36.2	2.03	1.8518	31.6	1.34	1.3931	30.9
4	13.50	7.41%	32.0	1.5051	1.4461	27.6	4.41	1.5495	28.6	3.40	1.4461	32.3	3.40	1.5902	29.0	3.00	1.2965	28.7
5	10.80	9.26%	29.0	1.4624	1.3250	26.4	2.60	1.3677	26.8	2.18	1.3250	29.3	2.18	1.3862	27.0	2.00	1.2138	26.9
6	9.00	11.11%	28.5	1.4548	1.2206	25.4	3.12	1.2177	25.4	3.15	1.2206	27.0	3.15	1.2185	25.4	3.14	1.1403	25.4
7	7.71	12.96%	21.8	1.3385	1.1281	24.5	-2.68	1.0894	24.1	-2.30	1.1281	25.1	-2.30	1.0759	24.0	-2.17	1.0734	24.0
8	6.75	14.81%	21.8	1.3385	1.0444	23.7	-1.86	0.9771	23.0	-1.20	1.0444	23.5	-1.20	0.9517	22.7	-0.95	1.0113	22.9
9	6.00	16.67%	21.3	1.3284	0.9674	22.9	-1.60	0.8770	22.0	-0.72	0.9674	22.1	-0.72	0.8414	21.7	-0.37	0.9530	21.9
10	5.40	18.52%	21.0	1.3222	0.8958	22.2	-1.20	0.7864	21.1	-0.13	0.8958	20.9	-0.13	0.7421	20.7	0.30	0.8977	20.9
11	4.91	20.37%	18.3	1.2625	0.8285	21.5	-3.24	0.7034	20.3	-2.02	0.8285	19.8	-2.02	0.6518	19.8	-1.51	0.8448	20.1
12	4.50	22.22%	18.3	1.2625	0.7647	20.9	-2.62	0.6268	19.6	-1.27	0.7647	18.9	-1.27	0.5688	19.0	-0.70	0.7938	19.3
13	4.15	24.07%	17.5	1.2430	0.7039	20.3	-2.82	0.5554	18.9	-1.37	0.7039	18.0	-1.37	0.4919	18.2	-0.75	0.7444	18.6
14	3.86	25.93%	17.5	1.2430	0.6456	19.8	-2.25	0.4884	18.2	-0.71	0.6456	17.2	-0.71	0.4202	17.5	-0.05	0.6962	17.9
15	3.60	27.78%	17.5	1.2430	0.5895	19.2	-1.70	0.4253	17.6	-0.09	0.5895	16.4	-0.09	0.3531	16.9	0.61	0.6492	17.2
16	3.38	29.63%	16.5	1.2175	0.5351	18.7	-2.17	0.3654	17.0	-0.51	0.5351	15.7	-0.51	0.2898	16.3	0.23	0.6030	16.6
17	3.18	31.48%	16.0	1.2041	0.4822	18.2	-2.15	0.3084	16.4	-0.45	0.4822	15.1	-0.45	0.2299	15.7	0.32	0.5576	16.0
18	3.00	33.33%	14.8	1.1703	0.4307	17.6	-2.85	0.2538	15.9	-1.12	0.4307	14.5	-1.12	0.1730	15.1	-0.32	0.5126	15.5
19	2.84	35.19%	14.5	1.1614	0.3803	17.2	-2.65	0.2014	15.4	-0.90	0.3803	13.9	-0.90	0.1188	14.6	-0.09	0.4681	14.9
20	2.70	37.04%	13.4	1.1271	0.3309	16.7	-3.27	0.1510	14.9	-1.51	0.3309	13.4	-1.51	0.0670	14.1	-0.69	0.4239	14.4
21	2.57	38.89%	13.2	1.1206	0.2822	16.2	-2.99	0.1022	14.4	-1.23	0.2822	12.9	-1.23	0.0173	13.6	-0.40	0.3799	13.9
22	2.45	40.74%	13.0	1.1139	0.2342	15.7	-2.72	0.0650	14.0	-0.97	0.2342	12.4	-0.97	-0.0305	13.1	-0.13	0.3360	13.5
23	2.35	42.59%	12.6	1.1004	0.1868	15.3	-2.66	0.0090	13.5	-0.92	0.1868	12.0	-0.92	-0.0766	12.7	-0.08	0.2920	13.0
24	2.25	44.44%	12.0	1.0792	0.1397	14.8	-2.80	-0.0357	13.1	-1.08	0.1397	11.5	-1.08	-0.1211	12.2	-0.24	0.2480	12.6
25	2.16	46.30%	11.6	1.0645	0.0930	14.3	-2.74	-0.0794	12.7	-1.05	0.0930	11.1	-1.05	-0.1642	11.8	-0.22	0.2037	12.1
26	2.08	48.15%	11.5	1.0607	0.0464	13.9	-2.38	-0.1223	12.2	-0.73	0.0464	10.7	-0.73	-0.2060	11.4	0.09	0.1592	11.7
27	2.00	50.00%	11.3	1.0531	0.0000	13.4	-2.13	-0.1643	11.8	-0.52	0.0000	10.3	-0.52	-0.2467	11.0	0.29	0.1142	11.3
28	1.93	51.85%	10.2	1.0086	-0.0464	13.0	-2.78	-0.2056	11.4	-1.22	-0.0464	10.0	-1.22	-0.2862	10.6	-0.43	0.0688	10.9
29	1.86	53.70%	10.0	1.0000	-0.0930	12.5	-2.52	-0.2464	11.0	-1.02	-0.0930	9.6	-1.02	-0.3248	10.2	-0.25	0.0227	10.5
30	1.80	55.56%	9.8	0.9912	-0.1397	12.1	-2.26	-0.2866	10.6	-0.82	-0.1397	9.2	-0.82	-0.3626	9.9	-0.08	-0.0240	10.1
31	1.74	57.41%	9.6	0.9823	-0.1868	11.6	-2.00	-0.3265	10.2	-0.63	-0.1868	8.9	-0.63	-0.3995	9.5	0.08	-0.0716	9.8
32	1.69	59.26%	9.3	0.9685	-0.2342	11.1	-1.84	-0.3661	9.8	-0.55	-0.2342	8.6	-0.55	-0.4357	9.2	0.14	-0.1201	9.4
33	1.64	61.11%	9.2	0.9638	-0.2822	10.7	-1.47	-0.4055	9.5	-0.26	-0.2822	8.3	-0.26	-0.4712	8.8	0.38	-0.1697	9.0
34	1.59	62.96%	8.3	0.9191	-0.3309	10.2	-1.89	-0.4448	9.1	-0.78	-0.3309	8.0	-0.78	-0.5062	8.5	-0.17	-0.2205	8.7
35	1.54	64.81%	8.3	0.9191	-0.3803	9.7	-1.41	-0.4840	8.7	-0.39	-0.3803	7.7	-0.39	-0.5407	8.1	0.16	-0.2727	8.3
36	1.50	66.67%	7.9	0.8976	-0.4307	9.2	-1.31	-0.5234	8.3	-0.41	-0.4307	7.4	-0.41	-0.5747	7.8	0.10	-0.3266	8.0
37	1.46	68.52%	7.7	0.8865	-0.4822	8.7	-1.01	-0.5629	7.9	-0.22	-0.4822	7.1	-0.22	-0.6083	7.5	0.23	-0.3823	7.6
38	1.42	70.37%	7.4	0.8692	-0.5351	8.2	-0.79	-0.6028	7.5	-0.13	-0.5351	6.8	-0.13	-0.6416	7.1	0.25	-0.4400	7.3
39	1.38	72.22%	7.3	0.8633	-0.5895	7.7	-0.36	-0.6431	7.1	0.17	-0.5895	6.5	0.17	-0.6747	6.8	0.48	-0.5001	7.0
40	1.35	74.07%	7.2	0.8573	-0.6456	7.1	0.09	-0.6840	6.7	0.47	-0.6456	6.2	0.47	-0.7076	6.5	0.70	-0.5630	6.6
41	1.32	75.93%	6.4	0.8062	-0.7039	6.5	-0.14	-0.7257	6.3	0.08	-0.7039	5.9	0.08	-0.7403	6.2	0.22	-0.6291	6.3
42	1.29	77.78%	5.8	0.7634	-0.7647	5.9	-0.14	-0.7683	5.9	-0.11	-0.7647	5.7	-0.11	-0.7731	5.9	-0.06	-0.6989	6.0
43	1.26	79.63%	5.6	0.7482	-0.8285	5.3	0.28	-0.8121	5.5	0.12	-0.8285	5.4	0.12	-0.8059	5.5	0.06	-0.7731	5.6
44	1.23	81.48%	5.5	0.7404	-0.8958	4.7	0.84	-0.8575	5.0	0.47	-0.8958	5.1	0.47	-0.8389	5.2	0.28	-0.8526	5.3
45	1.20	83.33%	5.5	0.7404	-0.9674	4.0	1.54	-0.9048	4.6	0.93	-0.9674	4.8	0.93	-0.8722	4.9	0.61	-0.9384	4.9
46	1.17	85.19%	5.0	0.6990	-1.0444	3.2	1.80	-0.9544	4.1	0.92	-1.0444	4.5	0.92	-0.9059	4.6	0.44	-1.0321	4.6
47	1.15	87.04%	4.5	0.6532	-1.1281	2.4	2.12	-1.0071	3.6	0.93	-1.1281	4.2	0.93	-0.9403	4.2	0.28	-1.1357	4.2
48	1.13	88.89%	4.0	0.6021	-1.2206	1.5	2.52	-1.0638	3.0	0.99	-1.2206	3.9	0.99	-0.9755	3.9	0.12	-1.2522	3.8
49	1.10	90.74%	3.9	0.5911	-1.3250	0.5	3.44	-1.1260	2.4	1.50	-1.3250	3.6	1.50	-1.0119	3.5	0.38	-1.3864	3.5
50	1.08	92.59%	3.3	0.5185	-1.4461	-0.7	4.03	-1.1959	1.7	1.58	-1.4461	3.3	1.58	-1.0500	3.1	0.15	-1.5458	3.1
51	1.06	94.44%	2.5	0.3979	-1.5932	-2.2	4.67	-1.2776	0.9	1.58	-1.5932	2.9	1.58	-1.0906	2.8	-0.25	-1.7446	2.6
52	1.04	96.30%	1.2	0.0792	-1.7862	-4.1	5.26	-1.3800	-0.1	1.28	-1.7862	2.5	1.28	-1.1351	2.3	-1.12	-2.0143	2.1
53	1.02	98.15%	1.0	0.0000	-2.0854	-7.0	7.99	-1.5288	-1.5	2.54	-2.0854	2.0	2.54	-1.1867	1.8	-0.81	-2.4529	1.5

T: Periodo de retorno en años  
P: Probabilidad de ocurrencia



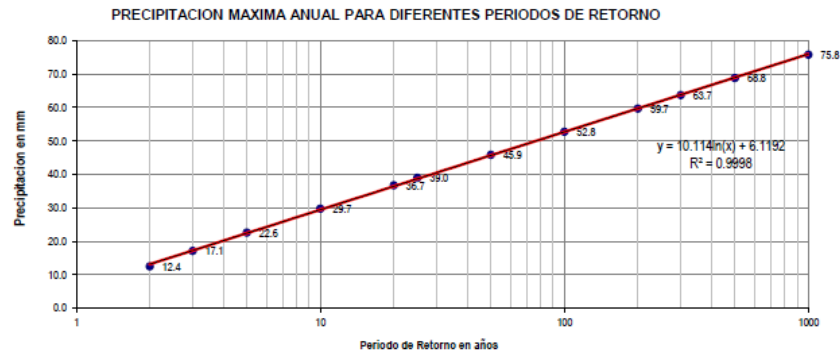
**CUADRO 1.1.4: PRUEBA DE BONDAD DE AJUSTE KOLMOGOROV - SMIRNOV  
ESTACIÓN ANTIOQUIA**

m	$x_m$	$F_o(x_m)$	$F(x_m)$ Normal	$ F_o(x_m)-F(x_m) $ Normal	$F(y_m)$ Log - Normal	$ F_o(y_m)-F(y_m) $ Log - Normal	$F(y_m)$ Pearson III	$ F_o(y_m)-F(y_m) $ Pearson III	$F(y_m)$ Log Pearson III	$ F_o(y_m)-F(y_m) $ Log Pearson III	$F(x_m)$ GEV I	$ F_o(x_m)-F(x_m) $ GEV I
1	50.60	0.981481	0.999926454	0.01844	0.927520	0.05396	0.983346	0.00186	0.972115	0.00937	0.9957	0.01421
2	37.00	0.962963	0.991958849	0.02900	0.878180	0.08478	0.919782	0.04318	0.903685	0.05928	0.9747	0.01174
3	32.90	0.944444	0.976612629	0.03217	0.854635	0.08981	0.898536	0.04591	0.883235	0.06121	0.9571	0.01267
4	32.00	0.925926	0.971047909	0.04512	0.848655	0.07727	0.870507	0.05542	0.857442	0.06848	0.9519	0.02595
5	29.00	0.907407	0.944088318	0.03668	0.826128	0.08128	0.827414	0.27999	0.779267	0.12814	0.9295	0.02214
6	28.50	0.888889	0.938096482	0.04921	0.821937	0.06695	0.639078	0.24981	0.639094	0.24979	0.9250	0.03607
7	21.80	0.870370	0.803657505	0.06671	0.749558	0.12081	0.642109	0.22826	0.641721	0.22865	0.8290	0.04142
8	21.80	0.851852	0.803657505	0.04819	0.749558	0.10229	0.645094	0.20676	0.644480	0.20737	0.8290	0.02290
9	21.30	0.833333	0.789213799	0.04412	0.742633	0.09070	0.646574	0.18676	0.645692	0.18764	0.8185	0.01484
10	21.00	0.814815	0.780256296	0.03456	0.738351	0.07646	0.652701	0.16211	0.651130	0.16368	0.8119	0.00287
11	18.30	0.796296	0.690519848	0.10578	0.694995	0.10130	0.680006	0.11629	0.675639	0.12066	0.7433	0.05303
12	18.30	0.777778	0.690519848	0.08726	0.694995	0.08278	1.000000	0.22222	0.691021	0.08676	0.7433	0.03451
13	17.50	0.759259	0.661157873	0.09810	0.680256	0.07900	1.000000	0.24074	0.702308	0.05695	0.7193	0.03996
14	17.50	0.740741	0.661157873	0.07958	0.013972	0.72677	0.000000	0.74074	0.000000	0.74074	0.5704	0.17037
15	17.50	0.722222	0.661157873	0.06106	0.013972	0.70825	0.000000	0.72222	0.000000	0.72222	0.5704	0.15185
16	16.50	0.703704	0.623050077	0.08065	0.013972	0.68973	0.000000	0.70370	0.000000	0.70370	0.5704	0.13333
17	16.00	0.685185	0.603508613	0.08168	0.013972	0.67121	0.000000	0.68519	0.000000	0.68519	0.5704	0.11481
18	14.80	0.666667	0.555626768	0.11104	0.013972	0.65269	0.000000	0.66667	0.000000	0.66667	0.5704	0.09630
19	14.50	0.648148	0.543499233	0.10465	0.013972	0.63418	0.000000	0.64815	0.000000	0.64815	0.5704	0.07778
20	13.40	0.629630	0.498770068	0.13086	0.013972	0.61566	0.000000	0.62963	0.000000	0.62963	0.5704	0.05926
21	13.20	0.611111	0.490622617	0.12049	0.013972	0.59714	0.000000	0.61111	0.000000	0.61111	0.5704	0.04074
22	13.00	0.592593	0.482479076	0.11011	0.013972	0.57862	0.000000	0.59259	0.000000	0.59259	0.5704	0.02222
23	12.60	0.574074	0.466217291	0.10786	0.013972	0.56010	0.000000	0.57407	0.000000	0.57407	0.5704	0.00370
24	12.00	0.555556	0.441938382	0.11362	0.013972	0.54158	0.000000	0.55556	0.000000	0.55556	0.5704	0.01482
25	11.60	0.537037	0.425867124	0.11117	0.013972	0.52307	0.000000	0.53704	0.000000	0.53704	0.5704	0.03333
26	11.50	0.518519	0.4218674	0.09665	0.013972	0.50455	0.000000	0.51852	0.000000	0.51852	0.5704	0.05185
27	11.30	0.500000	0.413892483	0.08611	0.524291	0.02429	1.000000	0.50000	0.703950	0.20395	0.4761	0.02392
28	10.20	0.481481	0.370745449	0.11074	0.486244	0.00476	1.000000	0.51852	1.000000	0.51852	0.4244	0.05712
29	10.00	0.462963	0.363055115	0.09991	0.478892	0.01593	1.000000	0.53704	1.000000	0.53704	0.4148	0.04815
30	9.80	0.444444	0.355419606	0.08902	0.471398	0.02695	1.000000	0.55556	1.000000	0.55556	0.4052	0.03921
31	9.60	0.425926	0.347841694	0.07808	0.013972	0.41195	1.000000	0.57407	1.000000	0.57407	0.3956	0.03029
32	9.30	0.407407	0.336588709	0.07082	0.013972	0.39344	1.000000	0.59259	1.000000	0.59259	0.3812	0.02620
33	9.20	0.388889	0.332869394	0.05602	0.013972	0.37492	1.000000	0.61111	1.000000	0.61111	0.3764	0.01250
34	8.30	0.370370	0.30016877	0.07020	0.013972	0.35640	1.000000	0.62963	1.000000	0.62963	0.3331	0.03729
35	8.30	0.351852	0.30016877	0.05168	0.013972	0.33788	1.000000	0.64815	1.000000	0.64815	0.3331	0.01877
36	7.90	0.333333	0.286116891	0.04722	0.013972	0.31936	1.000000	0.66667	1.000000	0.66667	0.3140	0.01938
37	7.70	0.314815	0.279210136	0.03560	0.013972	0.30084	1.000000	0.68519	1.000000	0.68519	0.3044	0.01037
38	7.40	0.296296	0.26900444	0.02729	0.013972	0.28232	1.000000	0.70370	1.000000	0.70370	0.2903	0.00602
39	7.30	0.277778	0.265644638	0.01213	0.013972	0.26381	1.000000	0.72222	1.000000	0.72222	0.2856	0.00780
40	7.20	0.259259	0.262306247	0.00305	0.013972	0.24529	1.000000	0.74074	1.000000	0.74074	0.2809	0.02164
41	6.40	0.240741	0.236393845	0.00435	0.013972	0.22677	1.000000	0.75926	1.000000	0.75926	0.2441	0.00340
42	5.80	0.222222	0.217923573	0.00430	0.013972	0.20825	1.000000	0.77778	1.000000	0.77778	0.2176	0.00467
43	5.60	0.203704	0.211956845	0.00825	0.013972	0.18973	1.000000	0.79630	1.000000	0.79630	0.2089	0.00522
44	5.50	0.185185	0.209009674	0.02382	0.013972	0.17121	1.000000	0.81481	1.000000	0.81481	0.2047	0.01947
45	5.50	0.166667	0.209009674	0.04234	0.270966	0.10430	1.000000	0.83333	1.000000	0.83333	0.2047	0.03799
46	5.00	0.148148	0.194639887	0.04649	0.242374	0.09423	0.268401	0.12025	1.000000	0.85185	0.1838	0.03567
47	4.50	0.129630	0.180887987	0.05126	0.212771	0.08314	0.827002	0.69737	1.000000	0.87037	0.1639	0.03428
48	4.00	0.111111	0.167761669	0.05665	0.182316	0.07121	0.858197	0.74709	1.000000	0.88889	0.1450	0.03391
49	3.90	0.092593	0.165211902	0.07262	0.176144	0.08355	1.000000	0.90741	1.000000	0.90741	0.1414	0.04879
50	3.30	0.074074	0.15044307	0.07637	0.138786	0.06471	1.000000	0.92593	1.000000	0.92593	0.1205	0.04641
51	2.50	0.055556	0.132160964	0.07661	0.089403	0.03385	1.000000	0.94444	1.000000	0.94444	0.0954	0.03981
52	1.20	0.037037	0.105833401	0.06880	0.021269	0.01577	1.000000	0.96296	1.000000	0.96296	0.0617	0.02461
53	1.00	0.018519	0.102145641	0.08363	0.013972	0.00455	1.000000	0.98148	1.000000	0.98148	0.0573	0.03874
n	53		$\Delta_{max}$	0.13086		0.72677		0.98148		0.98148		0.17037
$\alpha$	0.05		$\Delta_{critico} > \Delta_{max}$	Si se ajusta		No se ajusta		No se ajusta		No se ajusta		Si se ajusta
$\Delta_{critico}$	0.18340		Mejor Ajuste	1		3		4		5		2



**Cuadro 1.1.5: PRECIPITACIONES MÁXIMAS ANUALES EN 24 HORAS**

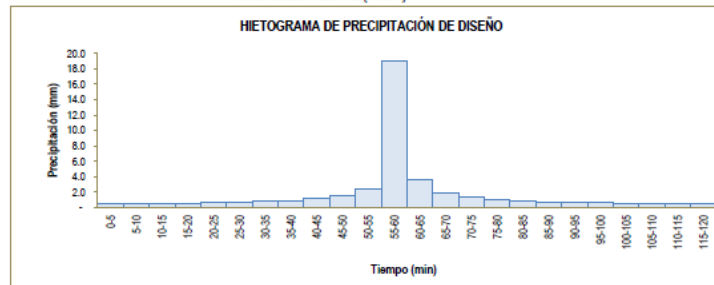
ESTACIÓN ANTIOQUIA															
		Promedio : $x = 13.4302$			$y = 1.0138$			Coeficiente de corrección de Pmax por N° de lecturas (OMM)							
		Desviación estándar : $s = 9.7920$			$sy = 0.3422$			$f(2 \text{ lecturas}) = 1.13$							
		Cs/6 : $k = 0.2659$			$k = -0.1158$										
T (años)	$P(X \leq x_T)$	DISTRIB. NORMAL		DISTRIB. GUMBELL		DISTRIB. LOGNORMAL			DISTRIB. PEARSON III		DISTRIB. LOG PEARSON III			$P_{MAX}$ mm	$P_{MAX}$ (corregida) mm
		$K_T$	$x_T$	$K_T$	$x_T$	$K_T$	$x_T$	$10^A x_T$	$K_T$	$x_T$	$K_T$	$X_t$	$10^A x_T$		
2	0.500	0.0000	13.4	-0.1643	11.8	0.00	1.0138	10.3	-0.2467	11.0	0.1142	1.0529	11.3	11.0	12.4
3	0.667	0.4307	17.6	0.2538	15.9	0.43	1.1612	14.5	0.1730	15.1	0.5126	1.1892	15.5	15.1	17.1
5	0.800	0.8416	21.7	0.7195	20.5	0.84	1.3018	20.0	0.6692	20.0	0.8552	1.3064	20.3	20.0	22.6
10	0.900	1.2816	26.0	1.3046	26.2	1.28	1.4523	28.3	1.3155	26.3	1.1834	1.4188	26.2	26.3	29.7
20	0.950	1.6449	29.5	1.8658	31.7	1.64	1.5766	37.7	1.9473	32.5	1.4261	1.5018	31.8	32.5	36.7
25	0.960	1.7507	30.6	2.0438	33.4	1.75	1.6128	41.0	2.1490	34.5	1.4922	1.5244	33.4	34.5	39.0
50	0.980	2.0537	33.5	2.5923	38.8	2.05	1.7165	52.1	2.7734	40.6	1.6702	1.5853	38.5	40.6	45.9
100	0.990	2.3263	36.2	3.1367	44.1	2.33	1.8098	64.5	3.3964	46.7	1.8167	1.6354	43.2	46.7	52.8
200	0.995	2.5758	38.7	3.6791	49.5	2.58	1.8952	78.6	4.0201	52.8	1.9399	1.6776	47.6	52.8	59.7
300	0.997	2.7131	40.0	3.9959	52.6	2.71	1.9421	87.5	4.3858	56.4	2.0035	1.6993	50.0	56.4	63.7
500	0.998	2.8782	41.6	4.3947	56.5	2.88	1.9986	99.7	4.8478	60.9	2.0760	1.7242	53.0	60.9	68.8
1000	0.999	3.0902	43.7	4.9355	61.8	3.09	2.0712	117.8	5.4773	67.1	2.1632	1.7540	56.8	67.1	75.8



**Cuadro 1.1.6: HIETOGRAMA DE PRECIPITACIÓN DE DISEÑO ESTACION ANTIOQUIA**

METODO DEL BLOQUE ALTERNO					
DURACION	INTENSIDAD	PROFUNDIDA ACUMULADA	PROFUNDIDAD INCREMENTAL	TIEMPO	PRECIPITACION
min	mm/hr	mm	mm	min	mm
60	19.036	19.036	19.036	0-5	0.461
120	11.319	22.638	3.602	60-120	0.494
180	8.351	25.053	2.415	120-180	0.534
240	6.730	26.921	1.868	180-240	0.581
300	5.693	28.465	1.544	240-300	0.641
360	4.965	29.793	1.327	300-360	0.716
420	4.423	30.963	1.171	360-420	0.816
480	4.002	32.014	1.051	420-480	0.957
540	3.663	32.971	0.957	480-540	1.171
600	3.385	33.851	0.880	540-600	1.544
660	3.152	34.667	0.816	600-660	2.415
720	2.952	35.430	0.762	660-720	19.036
780	2.780	36.146	0.716	720-780	3.602
840	2.630	36.822	0.676	780-840	1.868
900	2.497	37.462	0.641	840-900	1.327
960	2.379	38.072	0.609	900-960	1.051
1020	2.274	38.653	0.581	960-1020	0.880
1080	2.178	39.209	0.556	1020-1080	0.762
1140	2.092	39.743	0.534	1080-1140	0.676
1200	2.013	40.256	0.513	1140-1200	0.609
1260	1.940	40.750	0.494	1200-1260	0.556
1320	1.874	41.227	0.477	1260-1320	0.513
1380	1.812	41.687	0.461	1320-1380	0.477
1440	1.756	42.133	0.446	1380-1440	0.446
823.961					

CURVA INTENSIDAD-DURACION-FRECUENCIA  $I = \frac{132.49 T^{0.2890}}{t^{0.75}}$   
 I: Intensidad máxima (mm/h)



**Anexo E****TABLA DE CURVAS INTENSIDAD-DURACIÓN-FRECUENCIA (IDF)**



Universidad Nacional  
**Federico Villarreal**

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO

“RIESGO DE INUNDACIONES FLUVIALES POR MÁXIMAS AVENIDAS EN LA CUENCA BAJA DEL RÍO LURÍN”

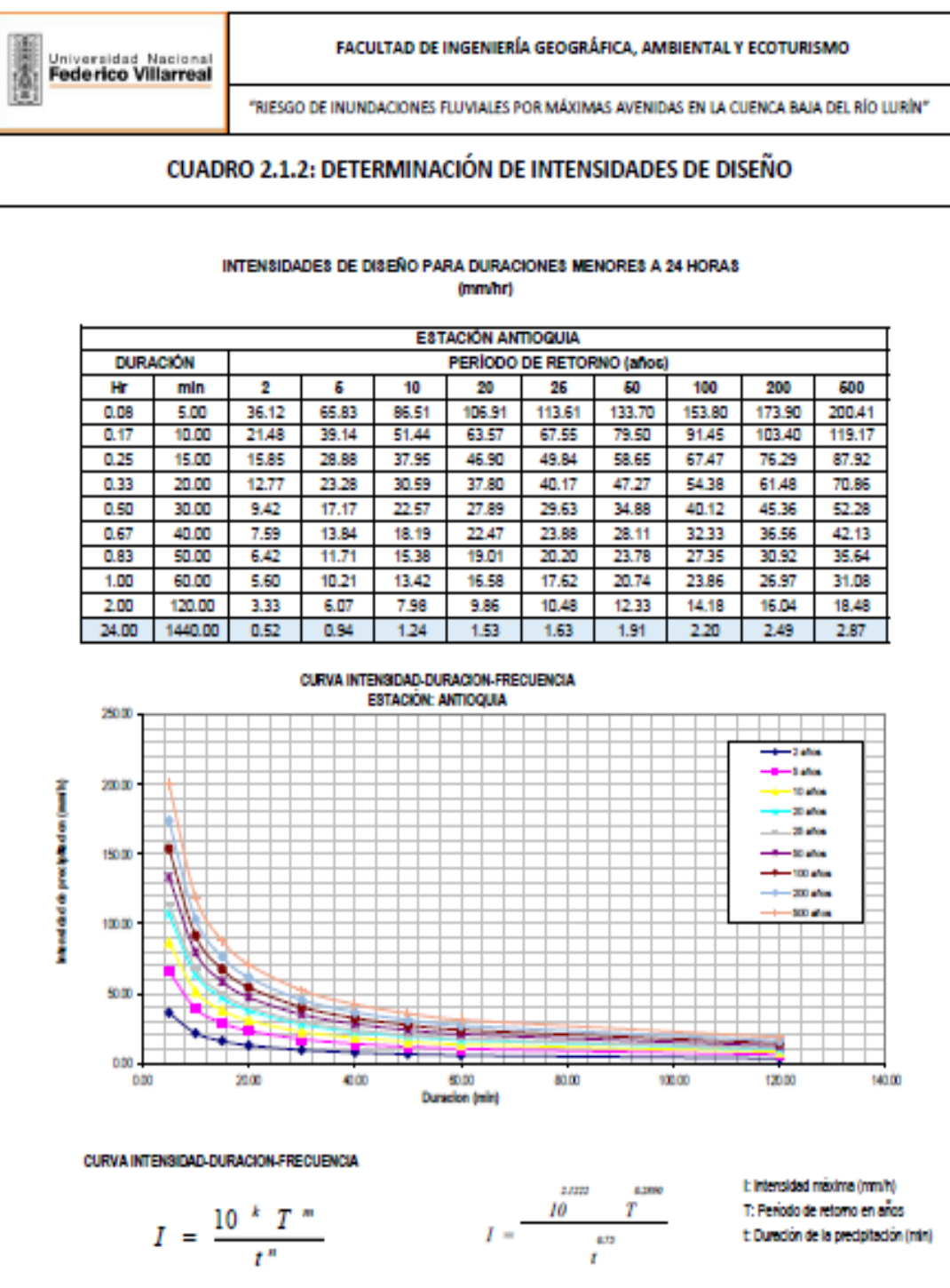
**CUADRO 2.1.1: DETERMINACIÓN DE INTENSIDADES DE DISEÑO**

DETERMINACIÓN DE COEFICIENTES REGIONALES  
MÉTODO DE DICK - PESCHKE  
(mm)

Formulación :

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

ESTACION ANTIOQUIA										
DURACION		PERIODO DE RETORNO (años)								
Hr	min	2	5	10	20	25	50	100	200	500
0.08	5.00	3.01	5.49	7.21	8.91	9.47	11.14	12.82	14.49	16.70
0.17	10.00	3.58	6.52	8.57	10.59	11.26	13.25	15.24	17.23	19.86
0.25	15.00	3.96	7.22	9.49	11.72	12.46	14.66	16.87	19.07	21.98
0.33	20.00	4.26	7.76	10.20	12.60	13.39	15.76	18.13	20.49	23.62
0.50	30.00	4.71	8.59	11.28	13.94	14.82	17.44	20.06	22.68	26.14
0.67	40.00	5.06	9.23	12.12	14.98	15.92	18.74	21.56	24.37	28.09
0.83	50.00	5.35	9.76	12.82	15.84	16.84	19.81	22.79	25.77	29.70
1.00	60.00	5.60	10.21	13.42	16.58	17.62	20.74	23.86	26.97	31.08
2.00	120.00	6.66	12.14	15.96	19.72	20.95	24.66	28.37	32.08	36.97
24.00	1440.00	12.40	22.60	29.70	36.70	39.00	45.90	52.80	59.70	68.80

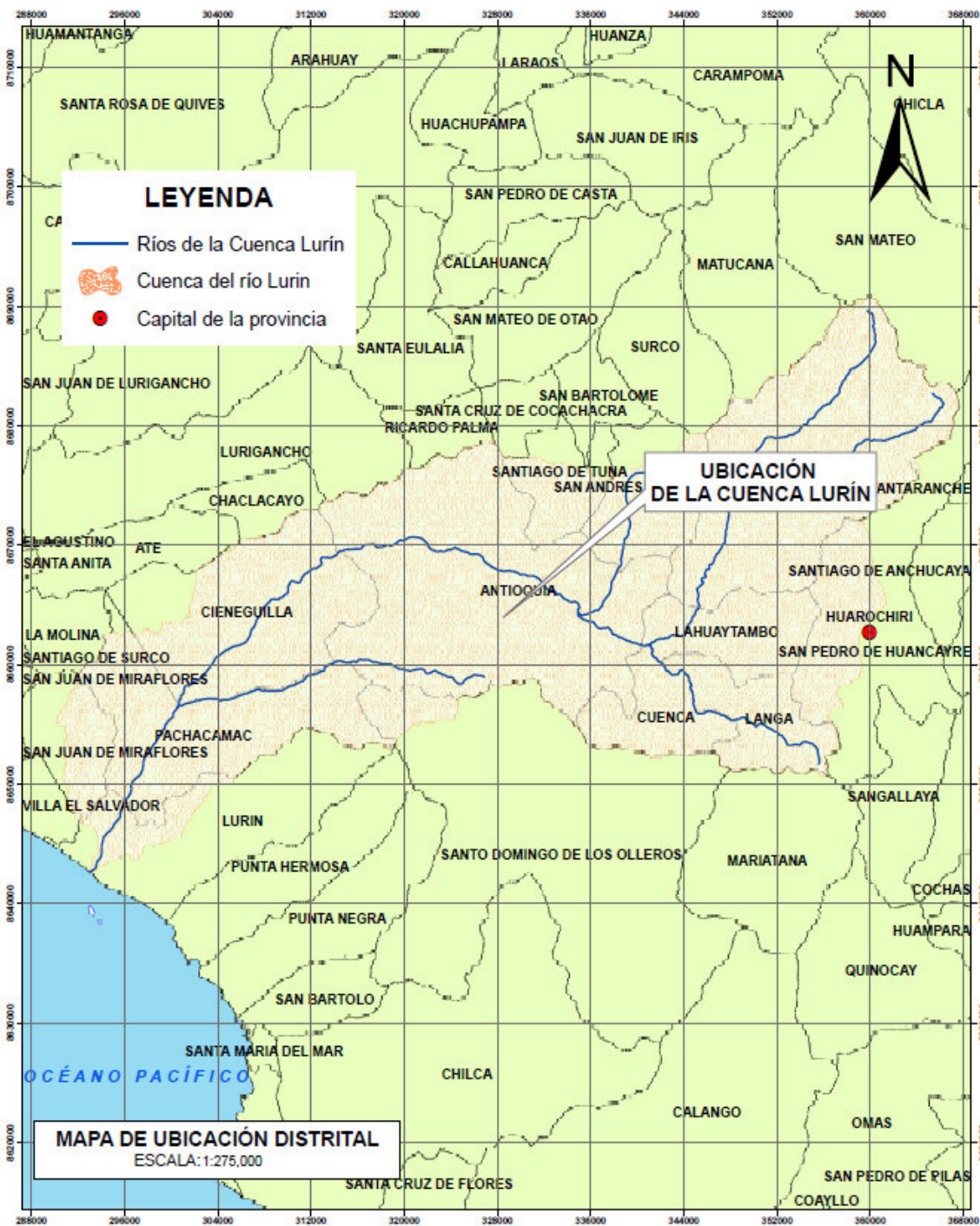


**Anexo F****TABLA DE INFLUENCIA POR EL MÉTODO DE POLÍGONO DE  
THIESEN**

<b>INFLUENCIA DE LAS ESTACIONES EN LAS SUBCUENCAS DEL RÍO LURIN SEGÚN LOS POLÍGONOS DE THIESSEN</b>				
<b>Sub Cuenca</b>	<b>Área Total (Km2)</b>	<b>Estación</b>	<b>Áreas Parciales (Km2)</b>	<b>Porcentaje %</b>
Chalilla	125.50	Matucana	6.10	4.86
		Santiago de Tuna	1.20	0.96
		Chalilla	118.19	94.18
Taquía	126.70	Chalilla	126.70	100.00
Cuenca alta	182.50	Antioquia	15.12	8.29
		Santiago de Tuna	1.97	1.08
		San Lazaro de Escomarca	11.34	6.21
		Langa	113.45	62.16
		Chalilla	40.62	22.26
Canchahuara	171.94	Antioquia	0.04	0.02
		Huachochiri	30.56	17.78
		San Lazaro de Escomarca	74.15	43.13
		Langa	52.57	30.58
		Chalilla	14.62	8.50
Chamacna	88.69	Antioquia	42.06	47.42
		Santiago de Tuna	46.63	52.58
Cuenca intermedia	92.08	Antioquia	61.65	66.95
		Langa	30.44	33.05
Cuenca media	490.64	Chosica	24.82	5.06
		Antioquia	108.50	22.11
		Santa Eulalia	91.18	18.58
		Ñaña	82.96	16.91
		Manchay bajo	58.56	11.94
		Santiago de Tuna	124.63	25.40
Tinajas	163.88	Antioquia	71.79	43.81
		Santa Eulalia	4.70	2.87
		Ñaña	1.33	0.81
		Manchay bajo	86.06	52.51
Cuenca baja	200.60	Manchay bajo	200.60	100.00

**Anexo G****MAPAS**





DIVISIÓN POLÍTICA			
N°	DISTRITO	PROVINCIA	DEPARTAMENTO
1	Cieneguilla	Lima	Lima
2	Pachacamac		
3	Lurín		
4	Villa María del Triunfo		
5	Santo Domingo de los Olleros	Huarochiri	
6	Langa		
7	Cuenca		
8	Lahuaytambo		
9	Antioquia		
10	Santiago de Tuna		
11	San Andres de Tupicocha		
12	Huarochiri		

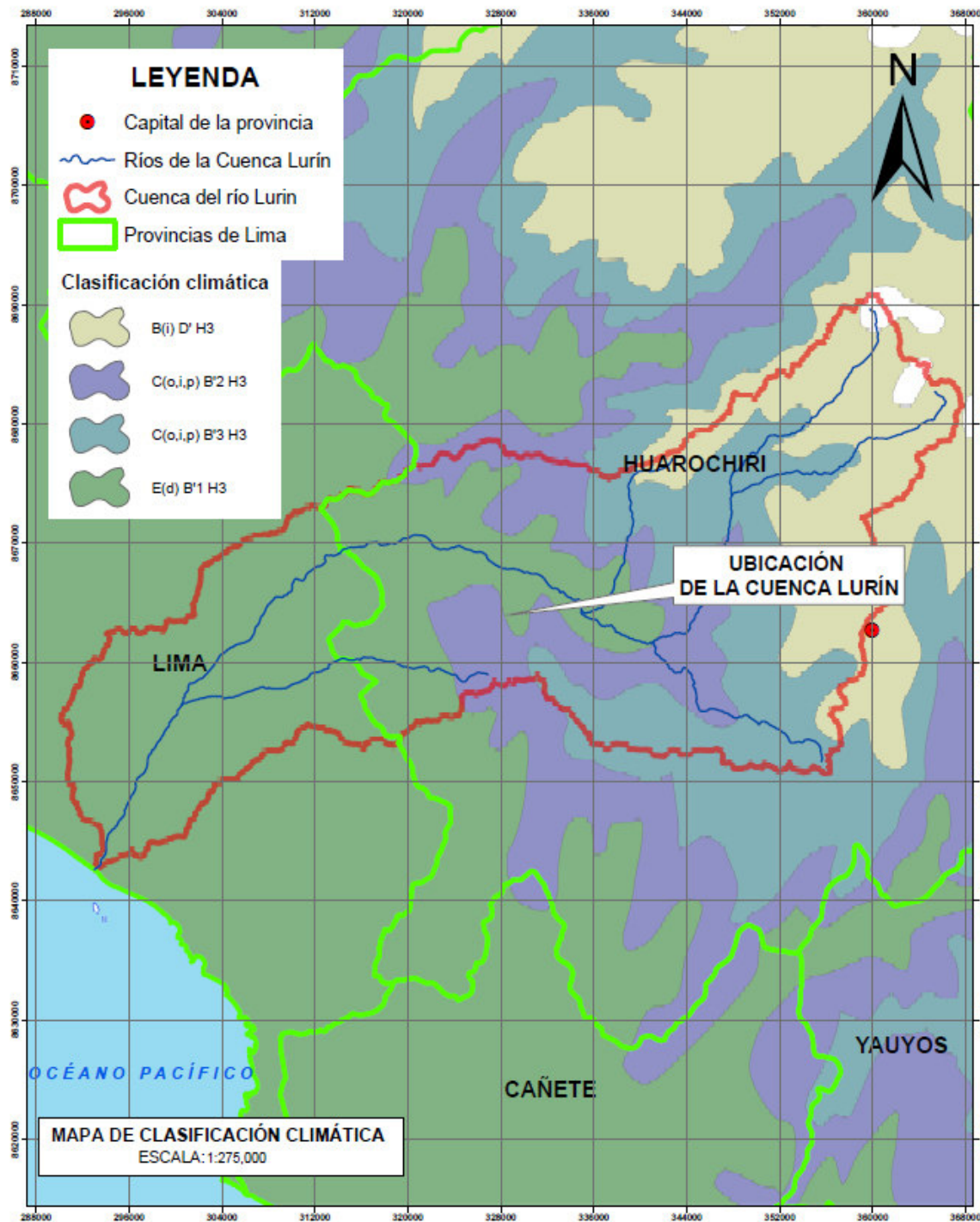


**UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLARREAL**  
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO  
ESCUELA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

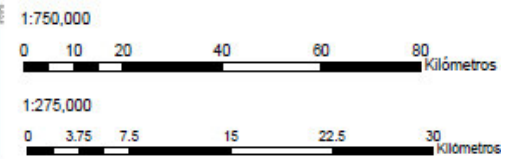
**TÍTULO:** RIESGO DE INUNDACIONES FLUVIALES POR MÁXIMAS AVENIDAS EN LA CUENCA BAJA DEL RÍO LURÍN

**MAPA DE UBICACIÓN POLÍTICA DE LA CUENCA LURÍN**

<b>TESISTA:</b> Roque Tapla Giscela Mercedes	<b>Escala:</b> 1:275,000
<b>FUENTE:</b> Institución Geográfica Nacional	<b>Año:</b> 2020
	<b>Mapa:</b> 01



CLASIFICACIÓN CLIMÁTICA MÉTODO WERRIN THORNTWHAITE		
N°	CÓDIGO	DESCRIPCIÓN
1	B(i)D'H3	Zona de clima semi frío, lluvioso, con lluvia deficiente en invierno, con humedad relativa calificada como húmeda.
2	C(o,i,p)B'2H3	Zona de clima semi seco, templado, con deficiencia de lluvia en otoño, invierno y primavera, con humedad relativa calificada como húmeda.
3	C(o,i,p)B'3H3	Zona de clima semi seco, semi frío, con deficiencia de lluvia en otoño, invierno y primavera, con humedad relativa calificada como húmeda.
4	E(d)B'1H3	Zona de clima semi cálido, desértico, con deficiencia de lluvia en todas las estaciones, con humedad relativa calificada como húmeda.



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

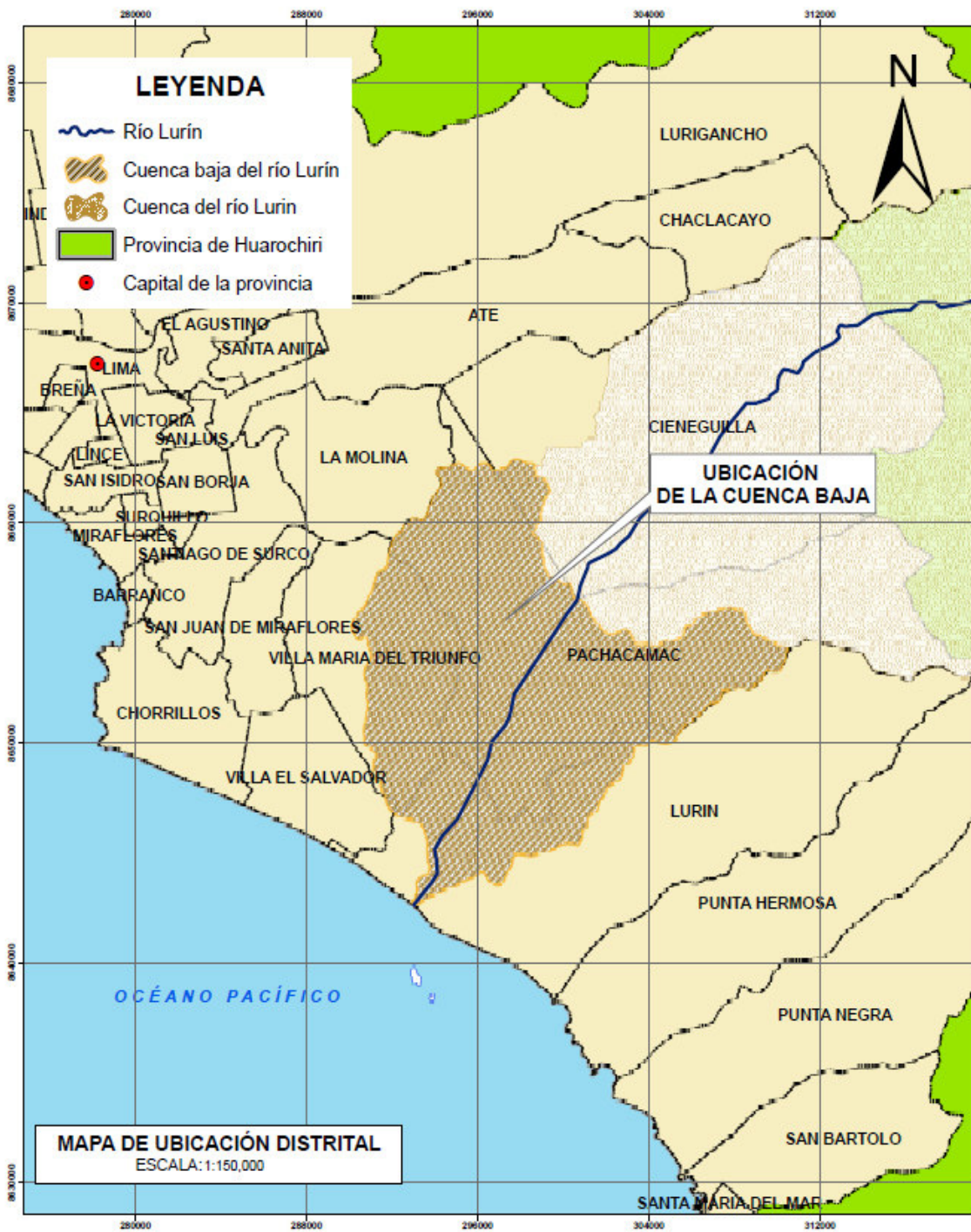
**TÍTULO:** RIESGO DE INUNDACIONES FLUVIALES POR MÁXIMAS AVENIDAS EN LA CUENCA BAJA DEL RÍO LURÍN

**MAPA DE CLASIFICACIÓN CLIMÁTICA**

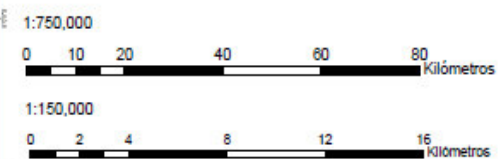
**TESISTA:** Roque Tapia Gisela Meroedec **Escala:** 1:275,000

**FUENTE:** **Año:** 2020 **Mapa:** 02

SENAMHI



DIVISIÓN POLÍTICA			
N°	DISTRITO	PROVINCIA	DEPARTAMENTO
1	Villa María del Triunfo	Lima	Lima
2	Pachacamac		
3	Lurín		
4	Cieneguilla		



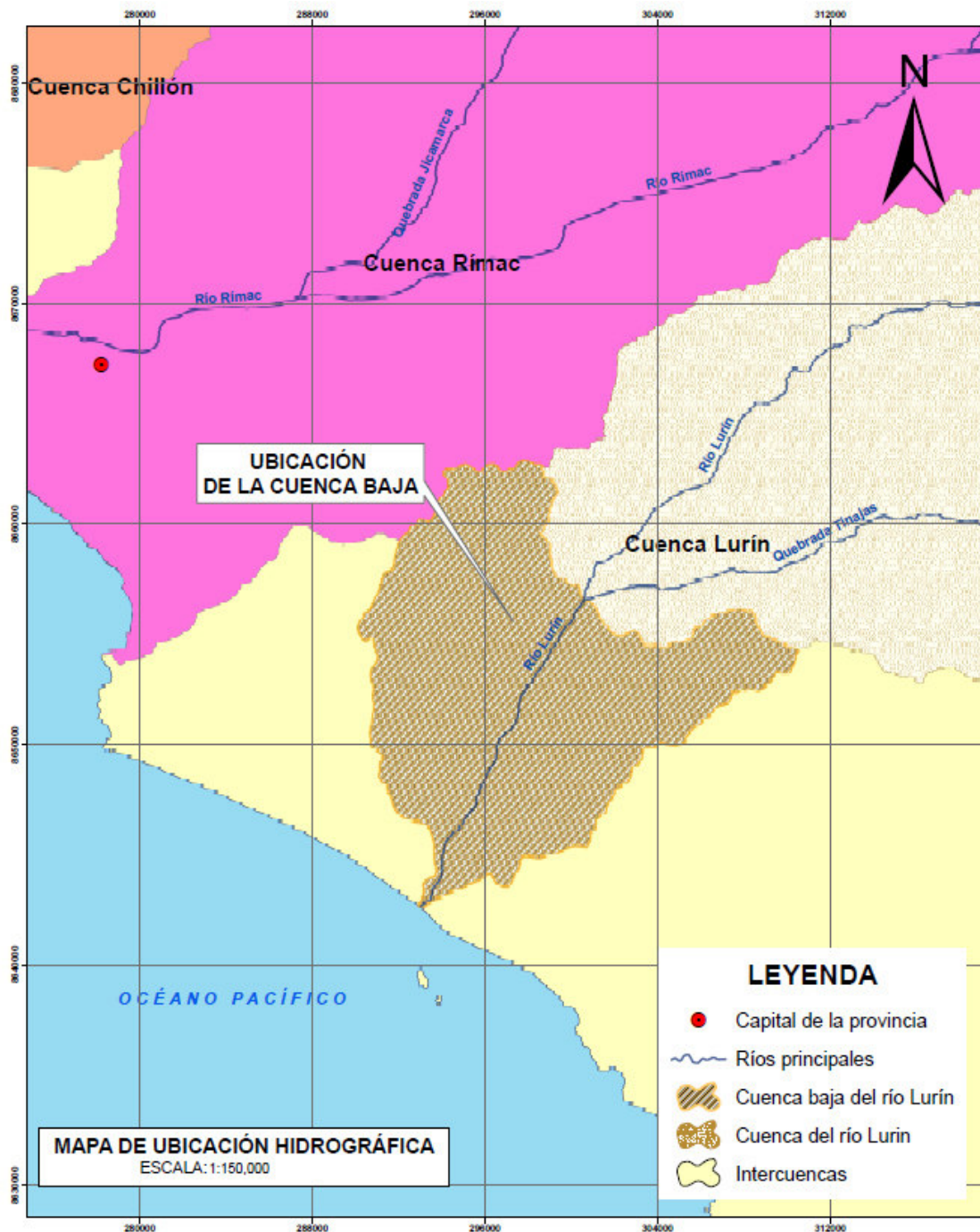
**UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLARREAL**  
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO  
ESCUELA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**TÍTULO:** RIESGO DE INUNDACIONES FLUVIALES POR MÁXIMAS AVENIDAS EN LA CUENCA BAJA DEL RÍO LURÍN

**MAPA DE UBICACIÓN POLÍTICA**

**TESISTA:** Roque Tapia Gisela Mercedes  
**ESCALA:** 1:150,000

**FUENTE:** Instituto Geográfico Nacional  
**AÑO:** 2020  
**MAPA:** 03



DIVISIÓN HIDROGRÁFICA		
N°	PUNTO	LÍMITE
1	NORTE	Cuenca Rímac
2	NORESTE	Cuenca Lurín
3	ESTE	Intercuenca Lurín-Chilca
4	SURESTE	Intercuenca Lurín-Chilca
5	SUR	Intercuenca Lurín-Chilca
6	SUROESTE	Océano Pacífico
7	OESTE	Intercuenca Rímac-Lurín
8	NOROESTE	Intercuenca Rímac-Lurín



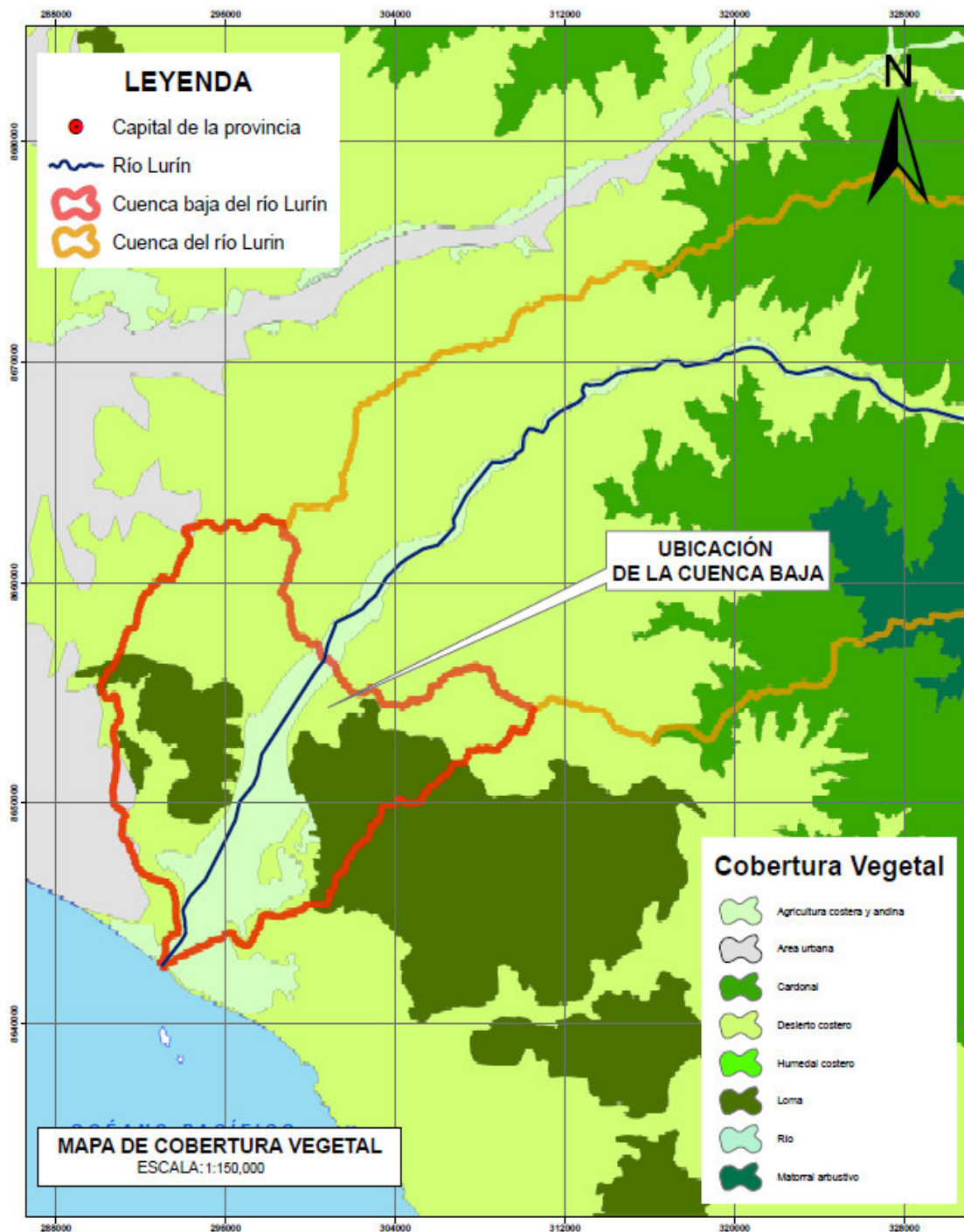
**UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLARREAL**  
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO  
ESCUELA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**TÍTULO:** RIESGO DE INUNDACIONES FLUVIALES POR MÁXIMAS AVENIDAS EN LA CUENCA BAJA DEL RÍO LURÍN

**MAPA DE UBICACIÓN HIDROGRÁFICA**

**TESISTA:** Roque Tapia Gisela Meroedes **Escala:** 1:150,000

**FUENTE:** Autoridad Nacional del Agua **Año:** 2020 **Mapa:** 04



COBERTURA VEGETAL	
N°	Nombre
1	Loma
2	Desierto Costero
3	Río
4	Área Urbana

1:750,000  
0 10 20 40 60 80 Kilómetros

1:150,000  
0 2 4 8 12 16 Kilómetros

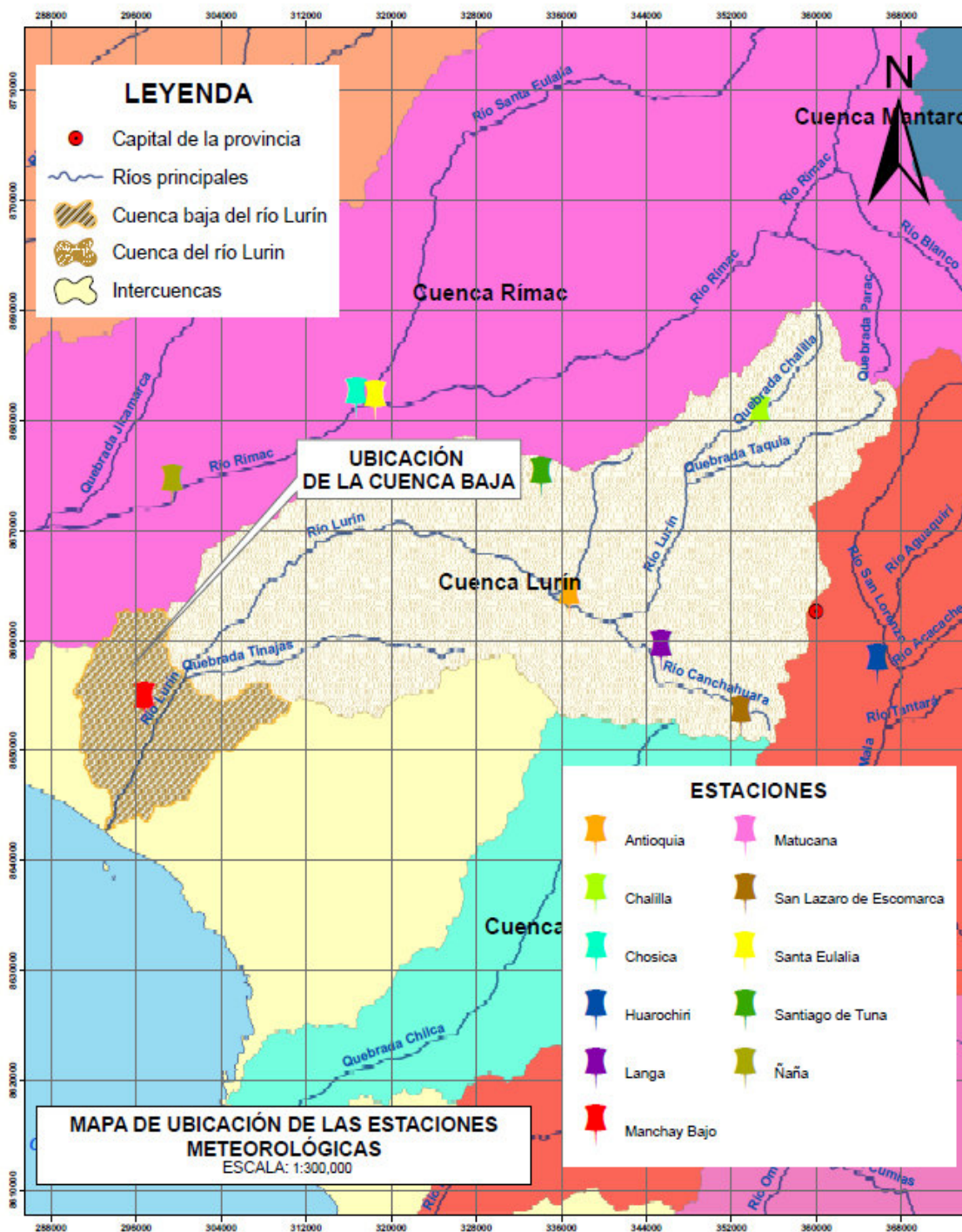
**UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLARREAL**  
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO  
ESCUELA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**TÍTULO:** RIESGO DE INUNDACIONES FLUVIALES POR MÁXIMAS AVENIDAS EN LA CUENCA BAJA DEL RÍO LURÍN

**MAPA DE COBERTURA VEGETAL**

**TESISTA:** Roque Tapia Gisela Mercedes  
**ESCALA:** 1:150,000

**FUENTE:** Ministerio del Ambiente  
**AÑO:** 2020  
**MAPA:** 05



N°	ESTACIÓN	LONGITUD	LATITUD	X	Y
1	Antioquia	76° 30' 0"	12° 5' 0"	336745	8663784
2	Chalilla	76° 20' 1"	11° 56' 1"	354777	8680438
3	Chosica	76° 41'	11° 55'	316673	8682105
4	Huaroquiri	76° 14' 3.46"	12° 8' 19.88"	365695	8657788
5	Langa	76° 25' 15.87"	12° 7' 35.23"	345361	8659060
6	Manchay Bajo	76° 52' 1"	12° 10' 1"	296859	8654288
7	Matucana	76° 22' 40.9"	11° 50' 20.86"	349887	8690865
8	Ñaña	76° 50' 31"	11° 59' 14.8"	299447	8674165
9	San Lázaro de Escobar	76° 21' 7.46"	12° 10' 51.18"	352901	8653078
10	Santa Eulalia	76° 39' 59.9"	11° 55' 12"	318494	8681747
11	Santiago de Tuna	76° 31' 26.93"	11° 58' 59.2"	334054	8674854



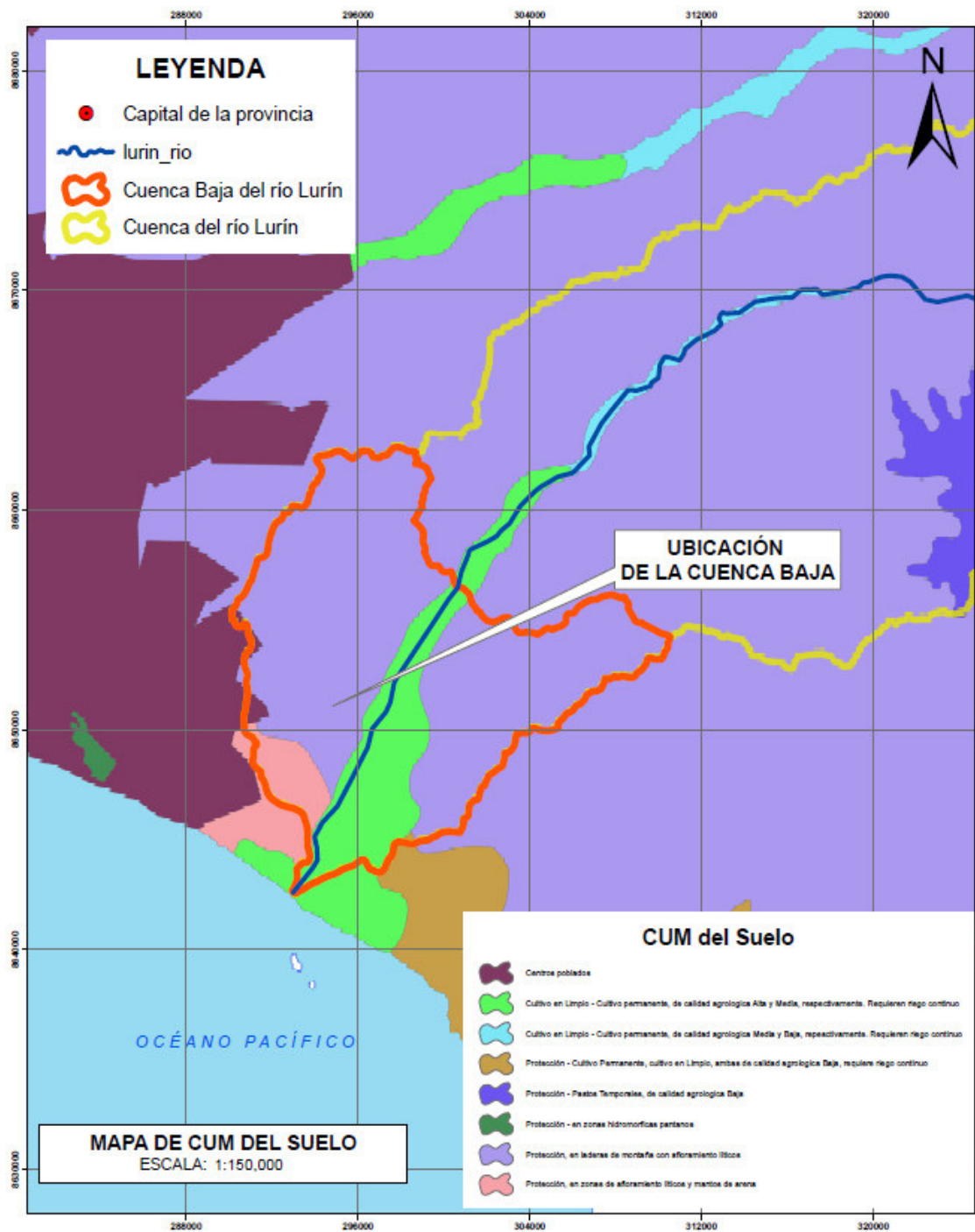
**UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLARREAL**  
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO  
ESCUELA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**TÍTULO:** RIESGO DE INUNDACIONES FLUVIALES POR MÁXIMAS AVENIDAS EN LA CUENCA BAJA DEL RÍO LURÍN

**MAPA DE UBICACIÓN DE LAS ESTACIONES METEOROLÓGICAS**

**TESISTA:** Roque Tapia Gisela Meroedes  
**Escala:** 1:300,000

**FUENTE:** SENAMH  
**Año:** 2020  
**Mapa:** 06



CUM del suelo dentro de la Cuenca Baja		
Nº	Descripción	Área (km <sup>2</sup> )
1	Centros poblados	2.007
2	Protección, en laderas de montaña con afloramiento lítico	151.937
3	Cultivo en Limpio - Cultivo permanente, de calidad agrícola Alta y Media, respectivamente. Requieren riego continuo	36.796
4	Protección, en zonas de afloramiento lítico y mantos de arena	9.599
5	Protección - Cultivo Permanente, cultivo en Limpio, ambas de calidad agrícola Baja, requiere riego continuo	0.257



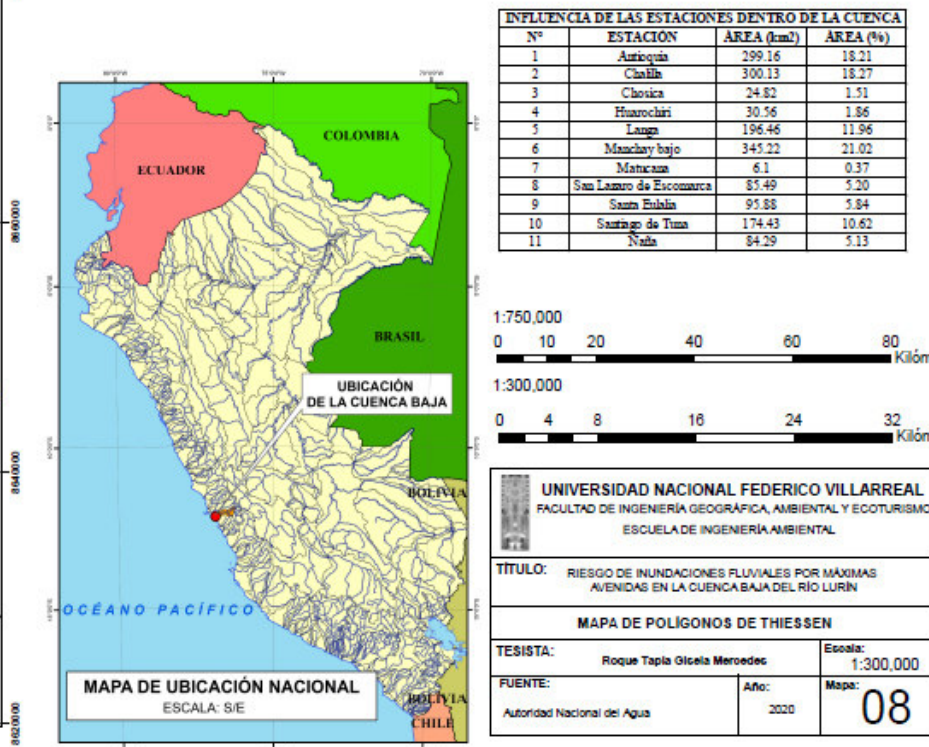
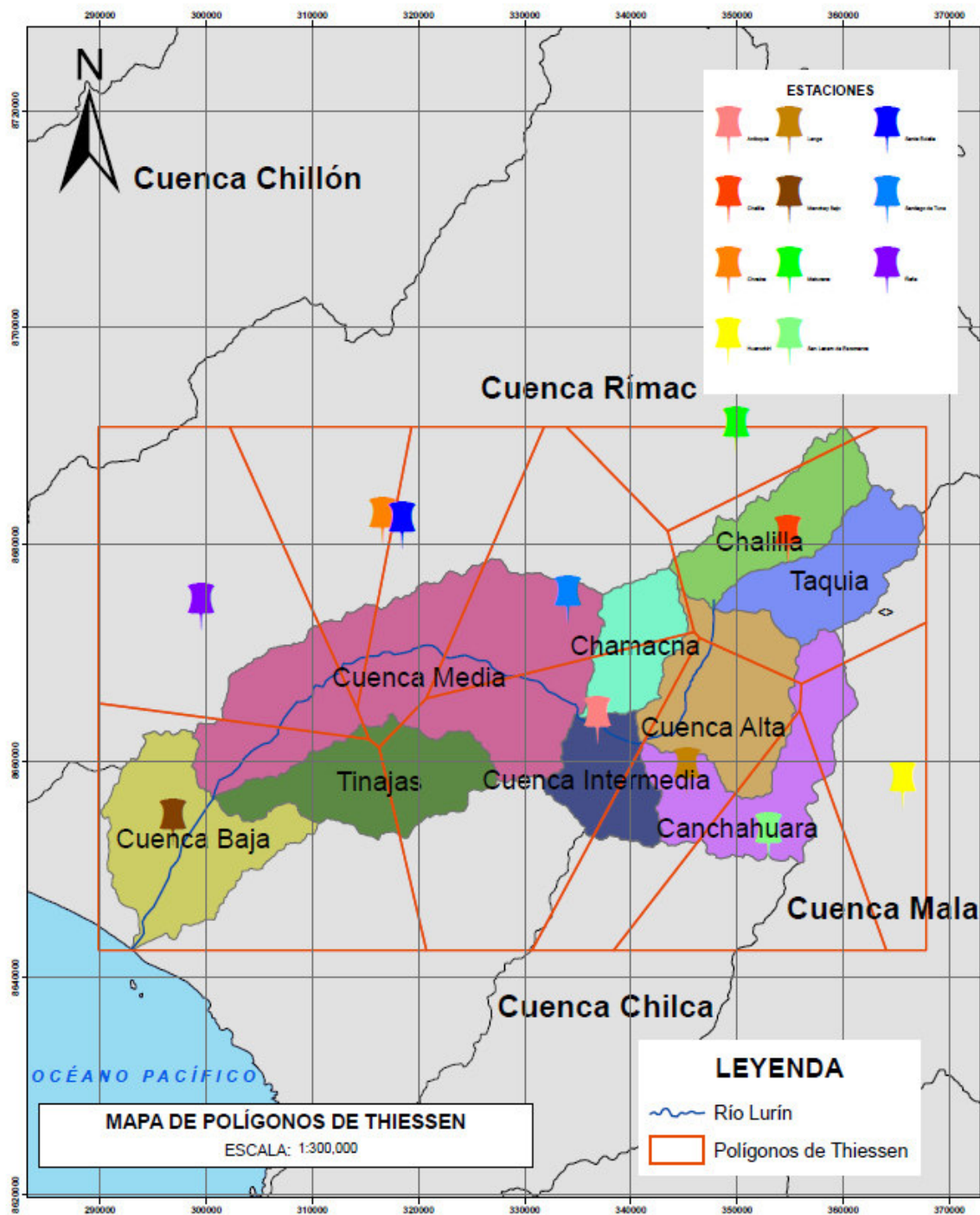
**UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLARREAL**  
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO  
ESCUELA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**TÍTULO:** RIESGO DE INUNDACIONES FLUVIALES POR MÁXIMAS AVENIDAS EN LA CUENCA BAJA DEL RÍO LURÍN

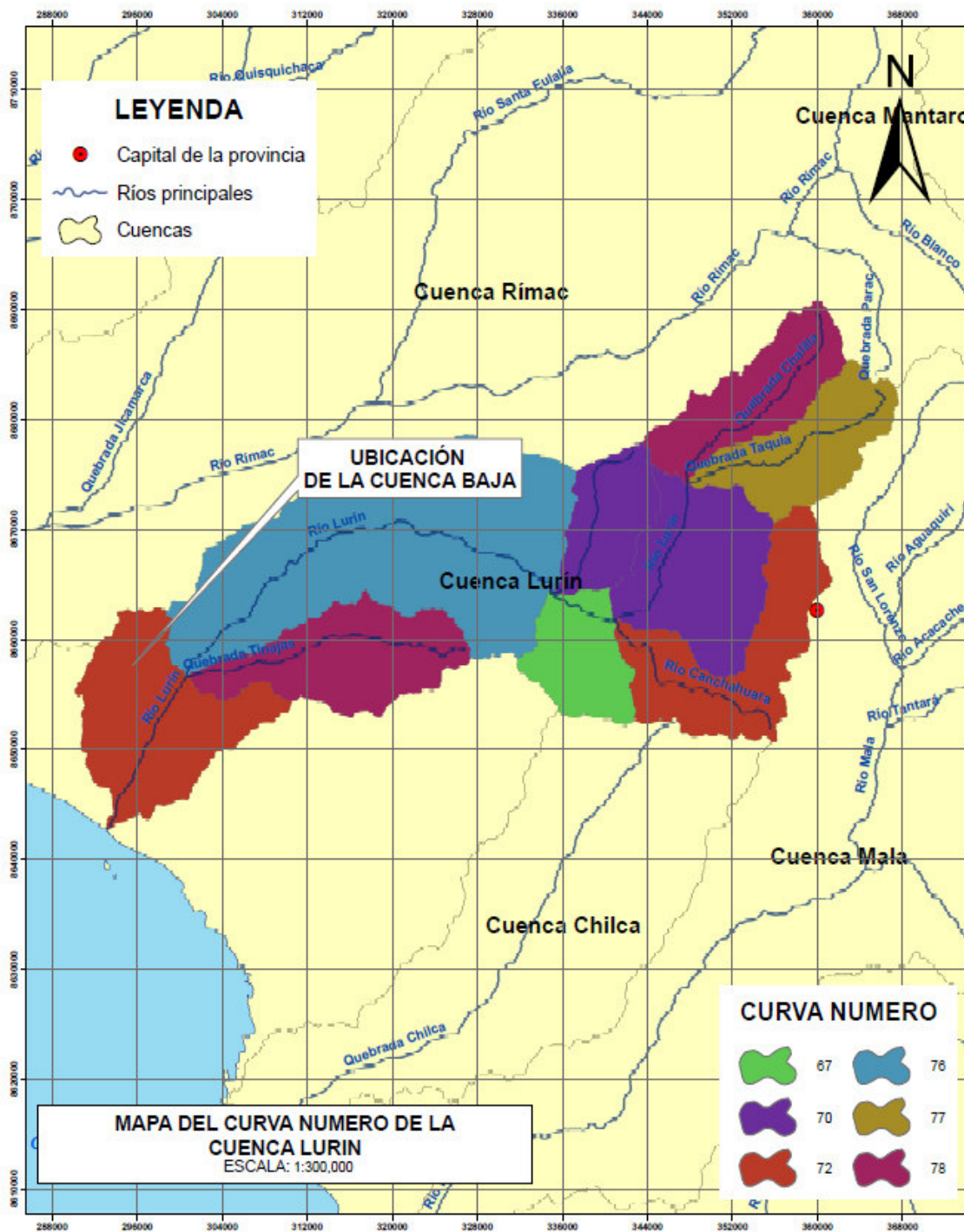
**MAPA DE CAPACIDAD DE USO MAYOR DEL SUELO**

**TESISTA:** Roque Tapia Gisela Meroedez **Escala:** 1:150,000

**FUENTE:** Ministerio del Ambiente **Año:** 2020 **Mapa:** 07







CURVA NUMERO		
Subcuenca	ÁREA TOTAL (km2)	CN
Cuenca Baja	200.60	72
Cuenca Tinajas	163.88	78
Cuenca Intermedia	92.08	67
Cuenca Canchahuara	171.94	72
Cuenca Alta	182.50	70
Cuenca Chamacna	88.69	70
Cuenca Media	490.64	76
Cuenca Taquia	126.70	77
Cuenca Chaliila	125.50	78

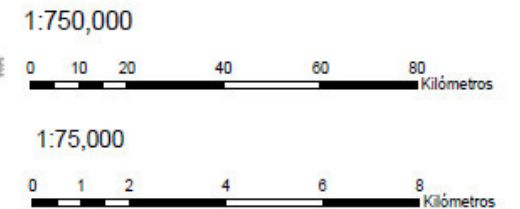
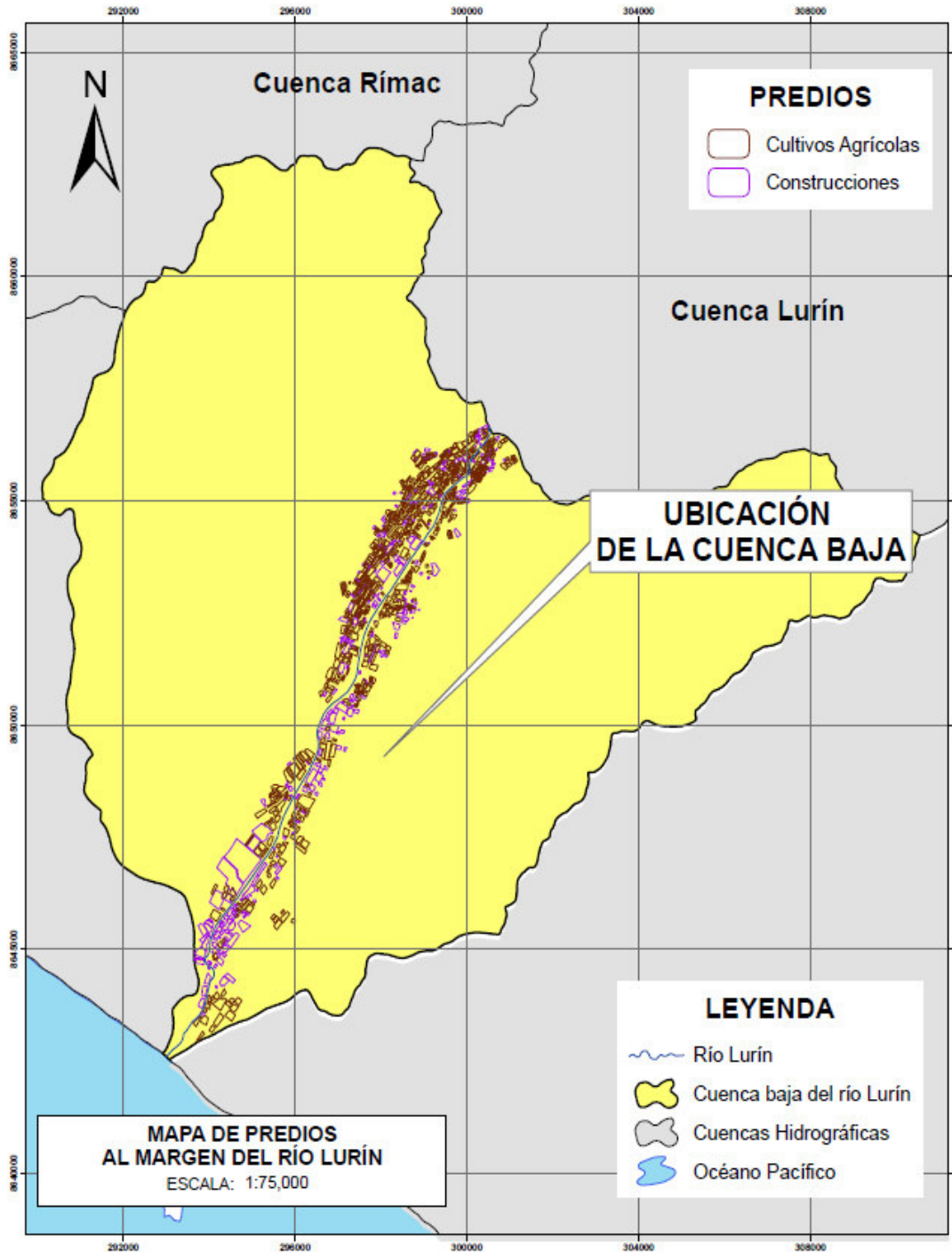


**UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLARREAL**  
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO  
ESCUELA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**TÍTULO:** RIESGO DE INUNDACIONES FLUVIALES POR MÁXIMAS AVENIDAS EN LA CUENCA BAJA DEL RÍO LURIN

**MAPA DE CURVA NUMERO DE LA CUENCA LURIN**

<b>TESISTA:</b> Roque Tapia Gisela Meroedec	<b>Escala:</b> 1:300,000
<b>FUENTE:</b> Ministerio del Ambiente Autoridad Nacional del Agua	<b>Año:</b> 2020 <b>Mapa:</b> 09



<b>UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLARREAL</b> FACULTAD DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO ESCUELA DE INGENIERÍA AMBIENTAL		
<b>TÍTULO:</b> RIESGO DE INUNDACIONES FLUVIALES POR MÁXIMAS AVENIDAS EN LA CUENCA BAJA DEL RÍO LURÍN		
<b>MAPA DE PREDIOS AL MARGEN DEL RÍO LURÍN</b>		
<b>TESISTA:</b> Roque Tapia Gisela Mercedes	<b>Escala:</b> 1:750,000	
<b>FUENTE:</b> Instituto Geográfico Nacional Google Earth	<b>Año:</b> 2020	<b>Mapa:</b> 13