



UNIVERSIDAD RICARDO PALMA

**FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

Modelación numérica para la estimación del impacto económico directo de
las inundaciones fluviales del río Lurín

TESIS

Para optar el título profesional de Ingeniero Civil

AUTORES

Delgado Pachas, Roy Wilmer
ORCID: 0009-0003-7563-645X

Verastegui Larico, Anthony Slim
ORCID: 0000-0002-0606-7658

ASESOR

López Silva, Maiquel
ORCID: 0000-0002-0946-6160

Lima, Perú

2024

METADATOS COMPLEMENTARIOS

Datos de los autores

Delgado Pachas, Roy Wilmer

DNI: 47435966

Verastegui Larico, Anthony Slim

DNI: 75961089

Datos de asesor

López Silva, Maiquel

DNI: 49087489

Datos del jurado

JURADO 1

Pereyra Salardi, Enriqueta

DNI: 06743824

ORCID: 0000-0003-2527-3665

JURADO 2

Garate Caceres, Francisco Hector

DNI: 07640930

ORCID: 0000-0003-0413-3399

JURADO 3

Chavarry Vallejos, Carlos Magno

DNI: 07410234

ORCID: 0000-0003-0512-8954

Datos de la investigación

Campo del conocimiento OCDE: 02.01.01

Código del Programa: 732016

DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD

Nosotros, Anthonny Slim Verastegui Larico, con código de estudiante N°201321146, con DNI N°75961089, con domicilio en Pasaje César Bazalar Montes E2-16 Urbanización Honor y Lealtad, distrito Santiago de Surco, provincia y departamento de Lima, y Roy Wilmer Delgado Pachas, con código de estudiante N°201711309, con DNI N°47435966, con domicilio en Avenida El Carmen 231 Urbanización El Cercado, distrito de Villa María del Triunfo, provincia y departamento de Lima, en nuestra condición de bachilleres en Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería, declaramos bajo juramento que:

La presente tesis titulada: “Modelación numérica para la estimación del impacto económico directo de las inundaciones fluviales del río Lurín” es de nuestra única autoría, bajo el asesoramiento del docente Maiquel López Silva, y no existe plagio y/o copia de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación presentado por cualquier persona natural o jurídica ante cualquier institución académica o de investigación, universidad, etc.; la cual ha sido sometida al anti plagio Turnitin y tiene el 22 % de similitud final.

Dejamos constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en la tesis, el contenido de estas corresponde a las opiniones de ellos, y por las cuales no asumimos responsabilidad, ya sean de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o de internet.

Asimismo, ratificamos plenamente que el contenido íntegro de la tesis es de nuestro conocimiento y autoría. Por tal motivo, asumimos toda la responsabilidad de cualquier error u omisión en la tesis y somos conscientes de las connotaciones éticas y legales involucradas.

En caso de falsa declaración, nos sometemos a lo dispuesto en las normas de la Universidad Ricardo Palma y a los dispositivos legales nacionales vigentes

Surco, 16 de octubre de 2024

Anthonny Slim Verastegui Larico
DNI N°75961089

Roy Wilmer Delgado Pachas
DNI N° 47435966

INFORME DE ORIGINALIDAD – TURNITIN

Modelación numérica para la estimación del impacto económico directo de las inundaciones fluviales del río Lurín

INFORME DE ORIGINALIDAD

22%	21%	7%	9%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	6%
2	repositorio.urp.edu.pe Fuente de Internet	3%
3	Submitted to Universidad Ricardo Palma Trabajo del estudiante	2%
4	repositorio.unfv.edu.pe Fuente de Internet	1%
5	repositorio.upao.edu.pe Fuente de Internet	<1%
6	es.scribd.com Fuente de Internet	<1%
7	repositorio.unc.edu.pe Fuente de Internet	<1%
8	repositorio.ucsm.edu.pe Fuente de Internet	<1%
9	repositorioacademico.upc.edu.pe Fuente de Internet	

Dra. Vargas Chang Esther Joni

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a mis padres y hermano por su apoyo que son la motivación para lograr este estudio.

Roy Wilmer Delgado Pachas

Dedico esta tesis a mi padre, madre y hermano, por su confianza y apoyo incondicional. A Matheo, mi hijo, quien me motiva a establecer y cumplir nuevas metas. Y a mis familiares y amigos, por estar siempre presentes.

Anthony Slim Verastegui Larico

AGRADECIMIENTO

Nuestro sincero agradecimiento a nuestros asesores Carlos Magno Chavarry Vallejos y Maiquel López Silva por su invaluable guía y apoyo durante la realización de esta tesis. También expresamos nuestra gratitud a nuestra Universidad Ricardo Palma por habernos formado como profesionales y brindarnos los conocimientos necesarios para realizar esta investigación.

Roy Wilmer Delgado Pachas
Anthony Slim Verastegui Larico

ÍNDICE GENERAL

METADATOS COMPLEMENTARIOS	ii
DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD	iii
INFORME DE ORIGINALIDAD – TURNITIN	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTO	vi
ÍNDICE GENERAL	vii
ÍNDICE DE TABLAS	xi
ÍNDICE DE FIGURAS	xiv
ÍNDICE DE ECUACIONES	xvi
RESUMEN	xviii
ABSTRACT.....	xix
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
1.1. Descripción de la realidad problemática	2
1.1.1. Problema e importancia	3
1.1.2. Árbol del problema (causa – problema - consecuencia).....	4
1.2. Formulación del problema	4
1.2.1. Problema general.....	4
1.2.2. Problemas específicos	4
1.3. Objetivos de la investigación	5
1.3.1. Objetivo general	5
1.3.2. Objetivos específicos	5
1.4. Delimitación de la investigación.....	5
1.4.1. Geográfica.....	5
1.4.2. Temporal	5
1.4.3. Temática.....	5
1.4.4. Muestral	6
1.5. Justificación del estudio	6
1.5.1. Conveniencia.....	6
1.5.2. Relevancia social.....	6
1.5.3. Aplicaciones prácticas.....	7
1.5.4. Utilidad metodológica.....	7

1.5.5. Valor teórico	7
1.6. Importancia del estudio	7
1.6.1. Nuevos conocimientos	7
1.6.2. Aporte.....	7
1.7. Limitaciones del estudio	7
1.7.1. Falta de estudios previos de investigación	7
1.7.2. Metodológicos o prácticos	8
1.7.3. Medidas para la recolección de datos	8
1.7.4. Obstáculos en la investigación	8
1.8. Alcance.....	8
1.9. Viabilidad de la investigación.....	8
CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO	9
2.1. Marco histórico	9
2.2. Investigaciones relacionadas con el tema	10
2.2.1. Investigaciones internacionales.....	10
2.2.2. Investigaciones nacionales	11
2.3. Artículos relacionados.....	13
2.4. Estructura teórica y científica	15
2.4.1. Ciclo hidrológico.....	15
2.4.2. Cuenca hidrográfica	16
2.4.3. Características geomorfológicas de una cuenca hidrográfica	16
2.4.4. Parámetros relativos a la red hídrica	17
2.4.5. Modelo del sistema hidrológico.....	18
2.4.6. Precipitación.....	19
2.4.7. Infiltración.....	20
2.4.8. Escorrentía	20
2.4.9. Hidrograma	21
2.4.10. Caudales máximos	24
2.4.11. Métodos empíricos	25
2.4.12. Análisis de probabilidades	27
2.4.13. Programa HEC-HMS	28
2.4.14. Programa HEC-RAS	28
2.4.15. Hidráulica fluvial	29
2.4.16. Análisis de vulnerabilidad.....	30

2.4.17. Impacto económico de las inundaciones.....	33
2.5. Definición de términos básicos	35
2.6. Fundamentos teóricos que sustentan las hipótesis	36
CAPÍTULO 3: SISTEMA DE HIPÓTESIS.....	37
3.1. Hipótesis.....	37
3.1.1. Hipótesis general.....	37
3.1.2. Hipótesis específicas	37
3.2. Variables	37
3.2.1. Definición conceptual de variables	37
3.2.2. Operacionalización de las variables	37
CAPÍTULO 4: METODOLOGÍA	39
4.1. Método de la investigación	39
4.2. Tipo de investigación	39
4.3. Nivel de investigación.....	39
4.4. Diseño de la investigación	40
4.5. Población y muestra	40
4.5.1. Población.....	40
4.5.2. Muestra.....	40
4.6. Técnicas e instrumentación de recolección de datos	40
4.6.1. Métodos y técnicas.....	40
4.6.2. Instrumentos de recolección de datos	41
4.7. Descripción de procesamiento de análisis	42
CAPÍTULO 5: ANÁLISIS DE RESULTADOS	43
5.1. Hidrografía.....	43
5.2. Parámetros geomorfológicos.....	43
5.2.1. Delimitación cuenca.....	43
5.2.2. Plano de pendiente	44
5.2.3. Plano red hídrica	44
5.2.4. Características geomorfológicas	45
5.3. Análisis de precipitación	46
5.3.1. Datos de precipitaciones máximas.....	46
5.4. Análisis de consistencia	47
5.5. Prueba de bondad	47
5.6. Precipitaciones máximas para cada periodo de retorno	47

5.7.	Curvas IDF.....	48
5.8.	Hietogramas	51
5.9.	Estimación del tiempo de concentración	53
5.10.	Curva número de la cuenca.....	56
5.11.	Determinación del caudal máximo	56
5.11.1.	Método del SCS	57
5.11.2.	Método de Clark.....	59
5.11.3.	Método de Snyder	61
5.11.4.	Método de Creager.....	64
5.12.	Simulación hidráulica	65
5.12.1.	Coefficiente de rugosidad Manning	65
5.12.2.	Resultados de modelación hidráulica bidimensional en HEC RAS	66
5.13.	Análisis de vulnerabilidad.....	72
5.13.1.	Clasificación de intensidad de amenaza.....	72
5.13.2.	Evaluación de vulnerabilidad.....	75
5.14.	Estimación del costo directo	77
5.14.1.	Cálculo de la pérdida de costo por inundación	77
5.15.	Contrastación de hipótesis:	85
	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	87
	CONCLUSIONES	92
	RECOMENDACIONES.....	94
	ANEXOS	100
	Anexo A: Matriz de consistencia.....	101
	Anexo B: Precipitación máxima 24 horas - Estación Antioquía	102
	Anexo C: Precipitación máxima 24 horas - Estación Langa	103
	Anexo D: Precipitación máxima 24 horas - Estación San Lázaro de Escomarca.....	104

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Regiones y cuencas integrante.....	26
Tabla 2 Porcentaje de daño económico por elemento expuesto.....	33
Tabla 3 Operacionalización de variables.....	38
Tabla 4 Parámetros de cuenca.....	45
Tabla 5 Precipitaciones máximas anuales en estación ficticia.....	46
Tabla 6 Test estadístico de valores críticos.....	47
Tabla 7 Prueba de bondad de ajuste Kolmogórov-Smirnov en estación ficticia.....	47
Tabla 8 Precipitaciones máximas de 24 horas.....	48
Tabla 9 Precipitaciones para diferentes duraciones.....	48
Tabla 10 Intensidades calculadas.....	48
Tabla 11 Regresión múltiple.....	49
Tabla 12 Precipitaciones obtenidas para obtención del hietograma.....	50
Tabla 13 Tiempo de concentración para diferentes métodos.....	54
Tabla 14 Parámetros estadísticos.....	54
Tabla 15 Parámetros estadísticos Tc_2	55
Tabla 16 Ponderada de curva número en condiciones normales.....	56
Tabla 17 Parámetro del modelo hidrológico.....	57
Tabla 18 Parámetros considerados en Método SCS.....	57
Tabla 19 Hidrograma Método SCS.....	58
Tabla 20 Parámetros considerados en Método de Clark.....	59
Tabla 21 Hidrograma Método Clark.....	60
Tabla 22 Parámetros considerados en método SNYDER.....	62
Tabla 23 Hidrograma método SNYDER.....	62
Tabla 25 Características y coeficientes de las regiones.....	64
Tabla 26 Caudales máximos obtenidos Método Creager.....	64
Tabla 27 Caudal máximo para diferentes métodos y Periodo de retorno.....	64
Tabla 28 Análisis estadístico de caudales máximos.....	65
Tabla 29 Análisis estadísticos utilizando la distribución t de Student.....	65
Tabla 30 Coeficiente de Manning para cada tipo de suelo.....	65
Tabla 31 Intensidad de amenaza para un periodo de retorno de 10 años.....	72
Tabla 32 Intensidad de amenaza para un periodo de retorno de 50 años.....	73
Tabla 33 Intensidad de amenaza para un periodo de retorno de 100 años.....	73

Tabla 34 Intensidad de amenaza para un periodo de retorno de 200 años	74
Tabla 35 Porcentaje de influencia para un periodo de retorno de 10 años	74
Tabla 36 Porcentaje de influencia para un periodo de retorno de 50 años	74
Tabla 37 Porcentaje de influencia para un periodo de retorno de 100 años	75
Tabla 38 Porcentaje de influencia para un periodo de retorno de 200 años	75
Tabla 39 Índice de exposición física urbana por lote	75
Tabla 40 Índice de exposición agrícola por lote	76
Tabla 41 Costo de pérdida agrícola según la profundidad de inundación – periodo de retorno 10 años	77
Tabla 42 Costo de pérdida agrícola según la profundidad de inundación – periodo de retorno 50 años	77
Tabla 43 Costo de pérdida agrícola según la profundidad de inundación – periodo de retorno 100 años	78
Tabla 44 Costo de pérdida agrícola según la profundidad de inundación – periodo de retorno 200 años	78
Tabla 45 Número de días de limpieza en función de la profundidad	78
Tabla 46 Análisis de costo unitario para la limpieza de viviendas ante inundaciones ...	79
Tabla 47 Costo de limpieza según la profundidad de inundación – periodo de retorno 10 años	79
Tabla 48 Costo de limpieza según la profundidad de inundación – periodo de retorno 50 años	79
Tabla 49 Costo de limpieza según la profundidad de inundación – periodo de retorno 100 años	80
Tabla 50 Costo de limpieza según la profundidad de inundación – periodo de retorno 200 años	80
Tabla 51 Costo promedio de alquiler de vivienda familiar	80
Tabla 52 Costo de alquiler de vivienda – periodo de retorno 10 años.....	81
Tabla 53 Costo de alquiler de vivienda – periodo de retorno 50 años.....	81
Tabla 54 Costo de alquiler de vivienda – periodo de retorno 100 años.....	81
Tabla 55 Costo de alquiler de vivienda – periodo de retorno 200 años.....	81
Tabla 56 Determinación del valor unitario de producción (P)	82
Tabla 57 Costo de pérdida en producción – periodo de retorno 10 años.....	82
Tabla 58 Costo de pérdida en producción – periodo de retorno 50 años.....	82
Tabla 59 Costo de pérdida en producción – periodo de retorno 100 años.....	82

Tabla 60 Costo de pérdida en producción – periodo de retorno 200 años.....	83
Tabla 61 Costo de pérdida en infraestructura de viviendas – periodo de retorno 50 años.....	83
Tabla 62 Costo de pérdida en infraestructura de viviendas – periodo de retorno 100 años.....	83
Tabla 63 Costo de pérdida en infraestructura de viviendas – periodo de retorno 200 años.....	83
Tabla 64 Costo de pérdida infraestructura u obras de arte – periodo de retorno 10 años.....	84
Tabla 65 Costo de pérdida infraestructura u obras de arte – periodo de retorno 50 años.....	84
Tabla 66 Costo de pérdida infraestructura u obras de arte – periodo de retorno 100 años.....	84
Tabla 67 Costo de pérdida infraestructura u obras de arte – periodo de retorno 200 años.....	85
Tabla 68 Cuadro resumen de costos por tipo.....	85

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Árbol del Problema	4
Figura 2 Ubicación de la zona de estudio	6
Figura 3 Ciclo hidrológico	16
Figura 4 La cuenca como un sistema hidrológico	18
Figura 5 Relación entre precipitación y el escurrimiento total	21
Figura 6 Características de un hidrograma	21
Figura 7 Representación gráfica de la ecuación de energía	29
Figura 8 Parámetros de evaluación de inundaciones	31
Figura 9 Rangos definidos para cada nivel de intensidad por inundaciones.	31
Figura 10 Criterio de exposición física urbana	32
Figura 11 Criterio de exposición física área agrícola	33
Figura 12 Parámetros de evaluación de inundaciones	36
Figura 13 Cuadro poblacional.....	41
Figura 14 Secuencia.....	42
Figura 15 Delimitación de la cuenca en estudio	43
Figura 16 Plano de pendiente.....	44
Figura 17 Plano de red hídrica.....	45
Figura 18 Ecuación de regresión múltiple	50
Figura 19 Curvas IDF para diferentes periodos de retorno	51
Figura 20 Gráfica de hietograma Tr 10 años	52
Figura 21 Gráfica de hietograma Tr 50 años	52
Figura 22 Gráfica de hietograma Tr 100 años	53
Figura 23 Gráfica de hietograma Tr 200 años	53
Figura 24 Distribución normal de los Tc_2	55
Figura 25 Mapa de superficies de curva número de la cuenca en estudio.....	56
Figura 26 Delimitación de cuenca en el software HEC - HMS.....	57
Figura 27 Gráfica del hidrograma por el Método SCS.....	59
Figura 28 Gráfica del hidrograma por el Método Clark	61
Figura 29 Gráfica del hidrograma por el Método Clark	63
Figura 30 Clasificación del coeficiente de rugosidad de Manning.....	66
Figura 31 Profundidad de inundación máxima – Tr =10 años	66
Figura 32 Plano de velocidades máximas – Tr =10 años	67

Figura 33 Plano de profundidad por velocidad máxima – Tr=10 años	67
Figura 34 Profundidad de inundación máxima – Tr =50 años	68
Figura 35 Plano de velocidades máximas – Tr =50 años	68
Figura 36 Plano de profundidad por velocidad máxima – Tr=50 años	69
Figura 37 Profundidad de inundación máxima – Tr =100 años	69
Figura 38 Plano de velocidades máximas – Tr =100 años	70
Figura 39 Plano de profundidad por velocidad máxima – Tr =100 años	70
Figura 40 Profundidad de inundación máxima – Tr =200 años	71
Figura 41 Plano de velocidades máximas – Tr =200 años	71
Figura 42 Plano de profundidad por velocidad máxima – Tr =200 años	72
Figura 43 Lotización de viviendas, comercios y áreas de cultivos evaluados.....	76
Figura 44 Proceso de enmallado y refinamiento del área de estudio.....	88
Figura 45 Sección transversal para tiempo de retorno de 10 años.....	89
Figura 46 Sección transversal para tiempo de retorno de 100 años.....	89
Figura 47 Pérdidas de costos directos por inundación.....	90
Figura 48 Costos por profundidades de inundación	91

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1: Factor de forma	16
Ecuación 2: Índice de compacidad	17
Ecuación 3: Densidad de drenaje	18
Ecuación 4: Modelo hidrológico.....	18
Ecuación 5: Intensidad de precipitación	19
Ecuación 6: Método Dick Peschke	19
Ecuación 7: Cálculo de intensidad máxima.....	20
Ecuación 8: Ecuación de Kirpich.....	22
Ecuación 9: Ecuación de California Culverts Practice	22
Ecuación 10: Ecuación de Izzard.....	22
Ecuación 11: Ecuación Federal Aviation administration	22
Ecuación 12: Ecuación de Onda cinemática.....	22
Ecuación 13: Ecuación de retardo SCS	22
Ecuación 14: Ecuación de Ahn - Lee.....	23
Ecuación 15: Ecuación de Bransby-Williams	23
Ecuación 16: Ecuación de Carter.....	23
Ecuación 17: Ecuación de Chow	23
Ecuación 18: Ecuación Corps of Engineers.....	23
Ecuación 19: Ecuación de Dooge	23
Ecuación 20: Ecuación de Epsey	23
Ecuación 21: Ecuación de Haktanir- Sezen	23
Ecuación 22: Ecuación de Johnstone- Cross	23
Ecuación 23: Ecuación de Kim.....	23
Ecuación 24: Ecuación de Picking.....	23
Ecuación 25: Ecuación de Pilgrim- MacDermott	24
Ecuación 26: Ecuación de Temez	24
Ecuación 27: Ecuación de USBR	24
Ecuación 28: Ecuación de USGS.....	24
Ecuación 29: Ecuación de Ventura	24
Ecuación 30: Ecuación de Yoon.....	24
Ecuación 31: Ecuación de Haytway	24
Ecuación 32: Método racional	25

Ecuación 33: Método racional modificado	25
Ecuación 34: Método de Creager.....	26
Ecuación 35: Método estadístico de Gumbel	26
Ecuación 36: Función de distribución de probabilidad normal	27
Ecuación 37: Función de distribución de probabilidad Log normal.....	27
Ecuación 38: Función de distribución de probabilidad Gumbel.....	27
Ecuación 39: Comparación de frecuencia observada y estimada	28
Ecuación 40: Número de Courant.....	29
Ecuación 41: Índice de exposición física urbana.....	32
Ecuación 42: Índice de exposición agrícola	32
Ecuación 43: Ecuación de costo agrícola	33
Ecuación 44: Costo de pérdida en vivienda.....	34
Ecuación 45: Costo de pérdida en infraestructura	34
Ecuación 46: Costo de limpieza.....	34
Ecuación 47: Costo de alquiler de vivienda.....	34
Ecuación 48: Costos de producción en comercios.....	35

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo realizar la modelación numérica para la estimación del impacto económico directo de las inundaciones fluviales del río Lurín. Para este propósito, se utilizó información obtenida proveniente de un levantamiento topográfico para identificar zonas de inundación y desarrollar los análisis que permitan la obtención de resultados del daño económico que se generaría para periodos de retorno de 10, 50, 100 y 200 años. La metodología utilizada fue deductiva con enfoques cuantitativo y cualitativo, que incluyeron indicadores de precipitación máxima diaria y el área de inundación, los datos hidrológicos se obtuvieron de bases históricas de 32 años mediante métodos retrospectivos. Se modeló la hidrología y la hidráulica del río Lurín a través de modelos estadísticos y numéricos en los softwares ArcGIS, Hec Hms y Hec Ras para la obtención de las profundidades de inundaciones, así como la metodología CENEPRED. Las pérdidas económicas directas por las inundaciones variaron entre S/ 1,288,137.71 y S/ 4,817,025.25, siendo las más afectadas las áreas comerciales, con pérdidas que representaron hasta el 65.56% del total. La profundidad de inundación, especialmente entre 1 y 1.50 metros, fue un factor clave en el aumento de los costos económicos. Los resultados concluyeron que las inundaciones en la cuenca del río Lurín afectan significativamente las pérdidas económicas, con mayor énfasis en los costos de producción. Asimismo, la frecuencia y profundidad de las inundaciones son parámetros que requieren medidas de mitigación para reducir riesgos y daños futuros.

Palabras claves: modelación hidráulica, modelo bidimensional, intensidad de amenaza, profundidad de inundación, precipitaciones.

ABSTRACT

The present research whose objective was to carry out numerical modeling to estimate the direct economic impact of river floods in the Lurin River. For this purpose, the information obtained from a topographic survey was used to identify flood zones and develop the analyses that allow to determination of results of economic damage that would be generated for return periods of 10, 50, 100 y 200 years. The methodology used was deductive with quantitative and qualitative approaches, which included indicators such as maximum daily precipitation and flood area. Hydrological data were obtained from 32 years of historical databases through retrospective methods. The hydrology and hydraulics of the Lurin river were modeled using statistical and numerical models in ArcGIS, Hec Hms y Hec RAS software to determine flood depths, as well as the CENEPRED methodology. The direct economic losses due to flooding ranged from S/ 1,288,137.71 to S/ 4,817,025.25, with commercial areas being the most affected, which represented up to 65.56% of the total losses. The flood depths between 1 and 1.5 meters was a key factor in increasing economic costs. The results conclude that floods in the Lurin River basin significantly affect economic losses, with greater emphasis on production costs. In addition, the frequency and depth of floods are parameters that require mitigation measures to reduce future risks and damages.

Keywords: hydraulic modeling, two – dimensional model, Hazard intensity, flood depth, precipitation

INTRODUCCIÓN

Las inundaciones fluviales son uno de los desastres naturales más comunes y devastadores en el mundo, causando significativos impactos económicos, sociales y ambientales. En el contexto del Perú, las inundaciones representan una amenaza recurrente, especialmente en áreas vulnerables y de alta densidad poblacional. El río Lurín, ubicado en la región de Lima, es un claro ejemplo de un sistema fluvial donde las inundaciones han generado daños considerables en infraestructuras, cultivos y comunidades, afectando de manera directa la economía local.

La presente tesis tiene como objetivo determinar el impacto económico que generan las inundaciones fluviales en la etapa 3 del distrito de Cieneguilla. Para ello, se realiza un modelamiento hidráulico de las inundaciones para periodos de retorno de 10, 50, 100 y 200 años, integrando datos históricos, topográficos y climáticos. Este enfoque permitirá una representación precisa del comportamiento del río durante eventos extremos y su consecuente impacto económico.

La investigación se divide en seis capítulos, los cuales son: El primer capítulo, el cual aborda la problemática de las inundaciones fluviales en Cieneguilla, resaltando la falta de estudios sobre su impacto económico. Se establecen los problemas y metas a alcanzar en la investigación, se delimita el área de estudio, y se justifica la importancia de la modelación numérica para mejorar la gestión del riesgo en la cuenca del río Lurín. El segundo capítulo, en el cual se presenta el banco de teoría de la tesis, basado en una amplia variedad de información bibliográfica, tanto de fuentes nacionales como internacionales, que fue recopilada y estudiada para procesar los resultados. El tercer capítulo, el cual se desarrolla las respuestas anticipadas a los problemas planteados de la investigación, enfocándose en cómo la modelación numérica puede estimar el impacto económico de las inundaciones en Cieneguilla. Además, se definen las variables involucradas en la investigación, estableciendo la relación entre la modelación numérica y las pérdidas económicas directas. El cuarto capítulo, el cual presenta el conjunto de métodos, tipo, nivel, diseño de la investigación aplicándolo a una población obteniendo muestras mediante técnicas de recolección no estructuradas. El quinto capítulo, el cual presenta el debate de los resultados en la investigación y la contrastación de las hipótesis. En el capítulo seis, donde se presentan la discusión, conclusiones y recomendaciones finales del presente trabajo de investigación.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción de la realidad problemática

A nivel global, se observa un incremento en la frecuencia de eventos extremos de inundaciones, un hecho ampliamente reconocido y asociado con los climas extremos, que a su vez se atribuyen al cambio climático global, resultado de las actividades humanas (Aponte & Torrejón-Magallanes, 2023).

En el pasado, los impactos económicos de las inundaciones han mostrado un aumento generalizado, principalmente debido al crecimiento económico y poblacional. No obstante, desde mediados de la década de 1990, el número de víctimas mortales y personas afectadas ha disminuido gracias a medidas de reducción de riesgos, como una mayor concienciación sobre los riesgos y la implementación de defensas estructurales contra inundaciones (Merz et al., 2021).

Perú se encuentra entre los países más vulnerables a inundaciones. Durante el periodo de 1980 a 2013, más de 2000 personas perdieron la vida debido a inundaciones, y los daños reportados superaron los US \$2 mil millones (Cerna et al., 2021).

Durante un año de El Niño, las lluvias e inundaciones pueden alterar las características de la superficie y causar destrucción en casas e infraestructura. A pesar de que las personas pueden percibir y reconocer la presencia de riesgos derivados de estos peligros naturales, a menudo se ven limitadas en cómo pueden o responderán (Young & León, 2009).

La expansión urbana y la colocación inapropiada de estructuras físicas en áreas con condiciones físicas inestables, junto con las modificaciones realizadas en los cursos de agua mediante canalizaciones cerradas y subdimensionadas, han provocado un aumento en los fenómenos naturales. El agua, como factor desencadenante, ha contribuido a la ocurrencia de desastres naturales en la región, resultando en pérdidas económicas significativas que afectan tanto a familias como al presupuesto nacional destinado a la reconstrucción (Roque, 2022).

Durante periodos de intensas lluvias, uno de los principales problemas que enfrenta la costa central es su vulnerabilidad a inundaciones, deslizamientos, avalanchas de lodo y erosión hídrica. Estos eventos llevan consigo la acumulación de materiales en el lecho del río Lurín, generando preocupación entre la población que reside en las áreas adyacentes y en la desembocadura de los ríos y arroyos. A pesar de la escasez de agua en la cuenca,

hay zonas destinadas a la agricultura que satisfacen la demanda del mercado limeño (Álvarez & Villaverde, 2015).

En Lima Metropolitana se han identificado un total de 81 zonas críticas y 173 peligros geológicos, que incluyen movimientos en masa, peligros geohidrológicos y otros. Entre estos, el 22% corresponden a erosión fluvial, el 8% a inundación fluvial y el 4% a erosión de ladera. Estos peligros podrían agravarse durante el Fenómeno El Niño 2023-2024, afectando viviendas e infraestructuras importantes como vías nacionales, puentes e instituciones educativas, teniendo como uno de los distritos más críticos en cuanto a expansión urbana en zonas inestables el distrito de Cieneguilla (INGEMMET, 2023).

Según un estudio realizado por Quisca (2014) para el Ministerio del Ambiente, se estima que las pérdidas económicas máximas probables debido a inundaciones en la cuenca del río Chillón son de 92.48 millones de Nuevos Soles. En cuanto a la cuenca del río Lurín, no se ha encontrado en la literatura científica estudios similares al de la cuenca del río Chillón. Por tanto, es necesario llevar a cabo al menos estudios focalizados para determinar el impacto que podrían tener los eventos de inundación.

1.1.1. Problema e importancia

1.1.1.1. Problema.

El crecimiento desordenado que ha tenido el distrito de Cieneguilla, en especial en áreas de proximidad hacia el río cerca a laderas en erosión y falta de sistemas de protección fluvial, ha hecho que existan zonas críticas ante una eventual inundación fluvial.

La carencia de datos sobre las repercusiones económicas de las inundaciones fluviales del río Lurín en el distrito de Cieneguilla dificulta la capacidad de las autoridades en tomar decisiones para implementar medidas efectivas de gestión del riesgo de inundaciones y asignar recursos de manera eficiente para la mitigación y recuperación después de eventos de inundaciones. Sin una comprensión clara del impacto económico directo de las inundaciones, las autoridades locales y los planificadores de emergencias pueden carecer de la base necesaria para tomar decisiones informadas sobre inversiones en infraestructura de mitigación de inundaciones, programas de seguro contra inundaciones y preparación para desastres.

1.1.1.2. Importancia.

La modelación numérica para la estimación del impacto económico directo de las inundaciones fluviales del río Lurín proporciona una herramienta crucial para evaluar los peligros vinculados a las inundaciones en Cieneguilla, lo que permite a las autoridades comprender mejor el alcance y severidad de los efectos económicos potenciales. Esto, a

su vez, facilita la planificación y la implementación de medidas de gestión del riesgo de inundaciones más efectivas. Además, al cuantificar el impacto económico directo de las inundaciones, puede ayudar a justificar la asignación de recursos para la implementación de infraestructuras de protección contra inundaciones y programas de preparación y respuesta ante desastres. Por último, mejorar la capacidad de predicción y evaluación del impacto económico de las inundaciones en el distrito de Cieneguilla puede contribuir significativamente a la reducción de pérdidas económicas y a la protección de la vida y el sustento de la comunidad.

1.1.2. *Árbol del problema (causa – problema - consecuencia)*

Para comprender el tema de investigación, se ha creado un árbol de problemas que se presenta en la Figura 1, ilustrando las conexiones entre las causas y los efectos.

Figura 1
Árbol del Problema



1.2. Formulación del problema

1.2.1. *Problema general*

¿Cuál es el impacto económico directo de las inundaciones fluviales en el río Lurín?

1.2.2. *Problemas específicos*

- a) ¿Cómo se caracteriza la hidrología para diferentes periodos de retorno de las máximas avenidas en el río Lurín?

- b) ¿Qué parámetros hidráulicos influyen en las inundaciones del tramo Cieneguilla – río Lurín?
- c) ¿Cómo determinar el impacto económico directo desde el punto de vista hidráulico producto a las inundaciones fluviales en el río Lurín?

1.3. Objetivos de la investigación

1.3.1. Objetivo general

Realizar la modelación numérica para la estimación del impacto económico directo de las inundaciones fluviales del río Lurín.

1.3.2. Objetivos específicos

- a) Caracterizar la hidrología para diferentes periodos de retorno para determinar las máximas avenidas de la cuenca del río Lurín.
- b) Modelar hidráulicamente el tramo Cieneguilla – río Lurín por medio del software Hec-Ras para identificar las zonas de inundación fluvial.
- c) Determinar el impacto económico directo producido por las inundaciones fluviales para evitar riesgos en la infraestructura en el tramo Cieneguilla.

1.4. Delimitación de la investigación

1.4.1. Geográfica

Este trabajo de investigación se ubica en la cuenca del río Lurín, en la etapa III del distrito de Cieneguilla. El tramo de estudio comprende desde el puente peatonal Molle hasta el puente Panquilma, en la Temporal

El estudio se llevará a cabo durante un periodo de seis meses, comenzando en abril y finalizando en octubre de 2024.

1.4.2. Temática

La delimitación temática corresponde al área de hidráulica de forma particular en la temática de Hidrología, ya que consiste en modelar el río Lurín para estimar el impacto económico directo de las inundaciones fluviales, específicamente en el tramo que va desde el puente Molle hasta el puente Panquilma.

Figura 2 se muestra el plano de la zona en estudio.

Coordenadas:

E: 307328 N: 8663833 (Puente Molle)

E: 306667 N: 8662420 (Puente Cieneguilla Panquilma)

1.4.3. Temporal

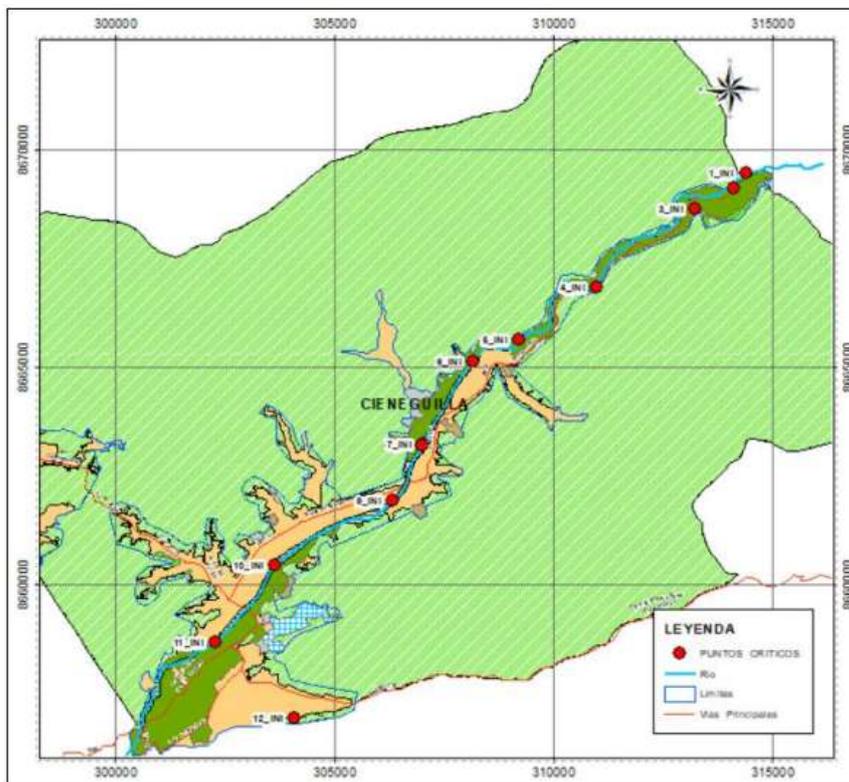
El estudio se llevará a cabo durante un periodo de seis meses, comenzando en abril y finalizando en octubre de 2024.

1.4.4. Temática

La delimitación temática corresponde al área de hidráulica de forma particular en la temática de Hidrología, ya que consiste en modelar el río Lurín para estimar el impacto económico directo de las inundaciones fluviales, específicamente en el tramo que va desde el puente Molle hasta el puente Panquilma.

Figura 2

Ubicación de la zona de estudio



Nota. Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento.

1.4.5. Muestral

Esta investigación se basa en la recopilación de datos provenientes de artículos, tesis y estudios relacionados con las inundaciones fluviales ocurridas años posteriores. Se utilizará un modelo numérico con ayuda de programas hidráulicos para determinar la zona inundable y el impacto económico generado, específicamente en la etapa 3 del distrito de Cieneguilla.

1.5. Justificación del estudio

1.5.1. Conveniencia

La investigación resulta relevante ya que tiene como propósito anticipar el impacto económico directo derivado de las inundaciones fluviales que podrían acontecer en la etapa 3 del distrito de Cieneguilla.

1.5.2. Relevancia social

La investigación busca proporcionar una fuente de datos útil para las autoridades locales en la prevención e implementación de planes de acción destinados a reducir los daños materiales y proteger a una población de aproximadamente 34,000 habitantes. Se busca evitar posibles afectaciones a viviendas, mercados, escuelas, hospitales y otras estructuras esenciales para el desarrollo económico de la población, además de prevenir pérdidas humanas como resultado de estos eventos.

1.5.3. Aplicaciones prácticas

La presente investigación es una fuente de consulta para conocer el nivel de afectación de una inundación a diversas estructuras públicas u obras de arte para poder definir su diseño constructivo conociendo las alturas inundables en determinados sectores.

1.5.4. Utilidad metodológica

El estudio permite identificar los sectores de inundación a través del modelamiento numérico que requiere de información topográfica y la caracterización hidrológica de la cuenca en estudio para estimar los impactos económicos debido a las inundaciones.

1.5.5. Valor teórico

Esta tesis aporta al campo de la Hidrología al anticipar el impacto económico directo de inundaciones fluviales en una zona específica. Esto permite identificar patrones y factores hidrológicos influyentes en la magnitud y frecuencia de las inundaciones. Asimismo, mediante modelación numérica, se pueden desarrollar y validar modelos hidrológicos y de riesgo útiles para la gestión y toma de decisiones en recursos hídricos y prevención de desastres naturales relacionados con el agua.

1.6. Importancia del estudio

1.6.1. Nuevos conocimientos

En este estudio, se emplea el tirante de agua obtenido mediante modelación numérica en áreas inundadas para evaluar los daños o pérdidas económicas en estructuras clave como viviendas, escuelas, centros de salud, obras de arte, infraestructuras viales y el sector turístico.

1.6.2. Aporte

Esta investigación propone estimar los impactos económicos derivados de las inundaciones fluviales utilizando los niveles de agua obtenidos mediante modelado numérico. Se busca identificar los daños en viviendas, obras de arte e infraestructuras viales como resultado de estas inundaciones a través de la metodología indicada por el Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres (CENEPRED), además de otros aportes generados en la literatura científica.

1.7. Limitaciones del estudio

1.7.1. Falta de estudios previos de investigación

Las investigaciones nacionales e internacionales sobre el impacto económico de las inundaciones fluviales son limitadas. La mayoría de los estudios se centran en la delimitación de áreas inundables utilizando software de geomática, y existe una falta de investigación específica sobre el impacto económico que estas inundaciones pueden ocasionar.

1.7.2. Metodológicos o prácticos

Las limitaciones prácticas pueden surgir de restricciones de recursos, como acceso limitado a datos y software especializado, así como de limitaciones de tiempo y dificultades para obtener información específica sobre las áreas afectadas por las inundaciones y la disponibilidad de expertos en economía y gestión de desastres.

1.7.3. Medidas para la recolección de datos

La ausencia de una estación hidrometeorológica en la zona de estudio implica la utilización de métodos aproximados para estimar caudales, dada la particularidad de la subcuenca. Esto conlleva a la necesidad de recurrir a las estaciones más cercanas con registros meteorológicos para recolectar datos que permitan llevar a cabo la investigación.

1.7.4. Obstáculos en la investigación

Las cartas nacionales que podrían haber sido utilizadas para acelerar el desarrollo del proyecto de investigación no pueden ser empleadas debido a que están en una escala mayor de la requerida para obtener la precisión necesaria en los datos.

1.8. Alcance

En este estudio, se llevará a cabo la modelación numérica del río Lurín con el fin de evaluar el impacto económico directo causado por las inundaciones fluviales, centrándose específicamente en la etapa 3 del distrito de Cieneguilla. Esta modelación servirá como un modelo replicable que podrá aplicarse en otras cuencas fluviales para evaluar el impacto económico en diversas poblaciones.

1.9. Viabilidad de la investigación

La investigación puede realizarse gracias a la amplia disponibilidad de información proveniente de investigaciones a nivel nacional e internacional, así como de artículos, informes periodísticos, expedientes técnicos y libros. Además, se contempla el uso de software hidrológico para generar y delimitar las áreas de inundación, lo que facilitará la evaluación del impacto económico en el centro poblacional ubicado en zonas urbanas vulnerables a lo largo de las riberas del río Lurín, específicamente en la etapa III del distrito de Cieneguilla.

CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO

2.1. Marco histórico

El río Lurín, de carácter joven y caudaloso, tiene su origen en las estribaciones de la cordillera occidental del centro de Perú, donde se encuentran picos que superan los 5000 metros sobre el nivel del mar. Fluye de manera constante en dirección de Este a Oeste, con valles estrechos en las alturas y más amplios en las partes bajas. Según mediciones de Electro Perú y Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales (ONERN), su caudal promedio es de 6,7 m/s en la cuenca del río Lurín (Bernardo & Velásquez, 2021). En las zonas bajas de la cuenca del río Lurín, donde se ubican áreas agrícolas y urbanas, también se encuentran las áreas propensas a inundaciones, deslizamientos y huaycos que afectan a las quebradas. Durante épocas de lluvias intensas, estas zonas vulnerables experimentan estos fenómenos, con materiales arrastrados hacia el río Lurín, generando preocupación entre la población. La expansión urbana y las intervenciones en los cursos de agua, sumadas a la deforestación y la destrucción de la andenería incaica que protegía los taludes, han aumentado estos eventos, especialmente en el sector medio de la cuenca. Las consecuencias de estos fenómenos naturales varían según factores como la pendiente, los materiales presentes, el drenaje, la vegetación, la forma de la cuenca y la actividad humana. El agua se destaca como un factor activador de estos eventos, que se traducen en desastres naturales con impacto económico en las familias y en el país, que deben destinar recursos para la reconstrucción (SGDC, 2013).

El 16 de marzo, en horas tempranas, el río Lurín se desbordó en el kilómetro 28 de la carretera Lima - Huarochirí, en Cieneguilla, como consecuencia de intensas lluvias, ocasionando daños a residentes y establecimientos de comida campestre. Las autoridades informaron sobre la desaparición de dos personas, y múltiples familias y negocios sufrieron pérdidas materiales significativas debido al aumento del caudal. Medios locales registraron imágenes y videos que mostraban el agua invadiendo las calles y los hogares, lo que llevó a los pobladores a retirar el agua con recipientes. Además, el flujo de agua arrastró consigo piedras, lodo y grandes rocas, generando preocupación entre los vecinos ante la posibilidad de nuevas precipitaciones y el riesgo de sufrir daños similares a los ocurridos en 2017 (Redacción Perú21, 2023).

2.2. Investigaciones relacionadas con el tema

2.2.1. Investigaciones internacionales

Tamayo & Bohórquez (2023), tiene como objetivo mitigar las inundaciones en el barrio Los Arenales de Caracolí, Colombia, causadas por la quebrada La Reina. La metodología incluye un diagnóstico de la situación, estudios hidrológicos y geomorfológicos, selección de alternativas de mitigación, y modelación hidráulica. Se utilizan herramientas como ArcGIS y Google Earth, además de información de estudios previos y registros de inundación. Se estiman los caudales utilizando métodos apropiados y se evalúan cuatro alternativas de mitigación. El aporte principal de la tesis es ofrecer una solución integral para mitigar las inundaciones en el barrio Los Arenales de Caracolí, Colombia, destacando la excavación del cauce de la quebrada La Reina como la medida más efectiva. Como conclusión, la investigación indica que es necesario erigir nuevos puentes a causa de las insuficiencias observadas en los puentes preexistentes, los cuales no satisfacen los requisitos para soportar un flujo de agua correspondiente a un periodo de retorno de 100 años.

Castillo (2023), tiene como objetivo evaluar las amenazas por inundación debido a la cuenca del Río San Juan a través de un sistema de información geográfica. La metodología consiste en la obtención de mapas de inundación a partir de los resultados de las modelaciones hidrológicas e hidráulicas para periodo de retorno de 2.33 a 10 años, donde se observa una mayor profundidad de inundación para el periodo de retorno de 10 años, donde los resultados muestran profundidades de láminas de agua de 6.2, 3.5 y 0.7m. considerándose como máximo, medio y mínimo respectivamente. Se concluye que, la zona de estudio presenta potencial de inundación debido a que el borde libre en algunas secciones críticas es menor al tirante de agua ocasionado por un evento extraordinario de crecidas del río.

Hernández & Ruíz (2021), en su investigación, busca emplear la modelación numérica para identificar áreas propensas a inundaciones por precipitaciones en la región media del río Sinú (tramo Montería). Se usa una metodología que incluye simulaciones hidrológicas y la implementación de modelos hidrodinámicos, los cuales fueron calibrados y validados con datos reales. El aporte principal radica en obtener una zonificación de inundación para diferentes periodos de retorno, ofreciendo información relevante para la gestión de riesgos y la toma de decisiones en la mitigación de inundaciones en la zona estudiada. La investigación concluye que la aplicación de la modelación numérica en la región media

del río Sinú (tramo Montería) es eficaz para identificar áreas propensas a desbordamientos debido a eventos de lluvia tanto comunes como extremos.

Díaz (2024), en su investigación, se enfoca en proponer y evaluar soluciones para contrarrestar las inundaciones en un área específica cercana al casco urbano del municipio de Guamal, en el departamento del Meta, causadas por desbordamientos del río Guamal. Se empleó una metodología que incluyó un análisis detallado del comportamiento hidráulico del río y la evaluación de condiciones hidrodinámicas utilizando el modelo bidimensional. El estudio identifica la construcción de un dique longitudinal como la mejor opción para mitigar las inundaciones en la zona, basándose en un análisis exhaustivo de diversas alternativas y resultados globales. La investigación concluye que es posible escoger la opción más idónea para contrarrestar las inundaciones en la región estudiada.

Pantevis & Torres (2020), el trabajo de grado tiene como objetivo principal identificar las áreas más propensas a inundaciones en el casco urbano de Leticia, mediante el análisis de dinámica fluvial y las características geomorfológicas de la cuenca del río Amazonas. La metodología empleada incluyó la interpretación de fotografías aéreas para analizar la evolución del río a lo largo del tiempo, seguido de la digitalización y georreferenciación de información cartográfica, y la comparación de datos históricos. Los resultados obtenidos proporcionan información valiosa sobre características hidrológicas e hidráulicas del río en el tramo Leticia, así como la identificación de los barrios más vulnerables a las inundaciones. Estos hallazgos pueden ser útiles para actualizar el Plan Básico de Ordenamiento Territorial (PBOT) del municipio y mejorar la gestión del riesgo de inundaciones. En resumen, el estudio contribuye significativamente a la comprensión y el planeamiento de la gestión integral de cuencas hidrográficas en Leticia.

2.2.2. Investigaciones nacionales

Sipan & Rojas (2023), en su trabajo se plantea la problemática de los daños económicos que causan los flujos hiperconcentrados en quebradas siendo una amenaza a la infraestructura pública, obras de arte y viviendas. La metodología de investigación es descriptivo - aplicada, donde se realizó el modelamiento hidráulico en Hec-Ras y se obtuvo el área de inundación para estimar el daño económico. El aporte de esta tesis es el uso de modelos matemáticos para estimar los daños ocasionados por las inundaciones con variables como altura máxima de agua, salario y costos. Se concluye que el impacto económico directo ocasionado por los daños ante la ocurrencia de un evento máximas avenidas con un periodo de retorno de 100 años es de S/.3 399 397.75.

Guzmán (2022), plantea la situación problemática de la ocurrencia de inundaciones debido al desborde del río Lurín. La metodología de investigación fue descriptiva y el diseño experimental y a través de las herramientas Hec-Ras, Hec-Hms y ArcGIS permiten identificar las zonas de inundación. El aporte de la tesis es la elaboración de mapas de inundación a través del modelamiento en la cuenca baja del río Lurín y mejorar en la toma de decisiones cuando ocurra un desbordamiento o inundación en los tramos críticos identificados. En su investigación concluye que a través del modelamiento hidrológico ocurrirán inundaciones con el incremento del caudal en periodos de retorno de 100, 200 y 500 años con caudales de 101.96, 120.09 y 155.67 m³/s respectivamente.

Ticlla (2022), menciona la situación problemática en la ciudad de Chota de las inundaciones de sus calles y viviendas que se ubican en los márgenes del río San Mateo y el peligro ante un evento extraordinario de sus diversos asentamientos humanos. La metodología aplicada se basa en el manual CENEPRED para conocer la vulnerabilidad de las viviendas cercanas al río San Mateo. En su investigación concluye que las probables áreas inundables en el tramo de estudio fueron de 2.59, 2.77, 2.92 y 3.13 Ha, para periodos de retorno de 10, 25, 50 y 100 años respectivamente teniendo una vulnerabilidad muy alta 119 lotes de vivienda en los asentamientos humanos. La metodología del artículo parece basarse en la revisión de la literatura existente, el análisis crítico de enfoques de modelado, la identificación de lagunas en la investigación y la proposición de enfoques futuros para abordar los desafíos en la gestión del riesgo de inundaciones urbanas.

Gómez (2022), en su trabajo de investigación tiene el objetivo de modelar hidráulica e hidrológicamente la Quebrada San Francisco para identificar riesgos de inundaciones para diferentes periodos de retorno. La metodología de trabajo realizada es de procesar datos en programas computacionales de un tramo de 9 km de la quebrada, incluido el cauce y las áreas agrícolas, para la modelación se basó en series históricas de precipitaciones máximas de 24 horas para ser procesados estadísticamente para la obtención de los caudales máximos. Los resultados de la simulación hidráulica para los periodos de retorno de 140, 200 y 500 años se tuvieron áreas inundadas en secciones angostas, por otro lado, la mayoría de las secciones presentaron un flujo subcrítico. Para el análisis de riesgo de inundación se utiliza el método de la matriz de Saaty siendo los niveles de peligro, vulnerabilidad y riesgo de inundación fluvial de 32.71%, 49.17% y 47.58% respectivamente. Se concluye que el caudal máximo para un periodo de retorno de 500 años fue de 85 m³/s con un área de inundación de 34 has incluido zonas agrícolas,

infraestructura vial y zonas de turismo, por ello el costo estimado por daños económicos ante una inundación ascendió a S/.4,001 741.50.

Roque (2022), en su trabajo de investigación presenta la problemática de inundaciones ante eventos extraordinarios de precipitación y los daños económicos de la cuenca del río Lurín. El objetivo principal es estimar el riesgo de inundaciones en la cuenca baja del río Lurín entre los años de 1965 y 2017 a través de la modelación hidrológica e hidráulica para periodos de retorno de 50, 100 y 200 años. Los resultados de la simulación hidráulica a través del software Hec Ras mostraron un caudal máximo de 213.35m³/s para un periodo de retorno de 200 años afectando un área de inundación de 511.12 Ha. Se concluye que en un periodo de retorno de 200 años existe un nivel de riesgo alto de inundaciones afectando la infraestructura vial, viviendas y áreas de cultivo. El aporte de la investigación es proponer medidas de intervención como estructuras de protección en zonas nivel de riesgo muy alto como en la zona crítica de Quebrada Verde.

2.3. Artículos relacionados

Jodhani et al. (2023) en su artículo menciona como objetivo destacar la importancia de adoptar soluciones integradas de gestión del riesgo de inundaciones, específicamente mediante la modelización de inundaciones. Su metodología implica revisar la literatura existente sobre enfoques de modelado de inundaciones, así como proporcionar una descripción general de diferentes enfoques, evaluando sus ventajas y desventajas. Además, se subraya la necesidad de avanzar en la investigación sobre modelos de inundaciones, especialmente en términos de su aplicación para comprender y mitigar los riesgos de inundaciones urbanas. Su artículo contribuye al avance del conocimiento en el campo de la gestión del riesgo de inundaciones urbanas al proporcionar una visión crítica de los enfoques de modelado existentes, identificar áreas de mejora y proponer posibles caminos futuros para la investigación y el desarrollo de modelos, como conclusión enfatiza que el respaldo financiero, la influencia política y la disponibilidad de datos precisos son preocupaciones críticas en la gestión del riesgo de inundaciones y la prevención de daños futuros.

Luo et al. (2022), en su artículo tiene como objetivo revisar y analizar las técnicas de modelización numérica utilizadas en la predicción y gestión de inundaciones urbanas, identificar los desafíos principales en la mejora de la precisión y eficiencia computacional de estos modelos, investigar tendencias clave para abordar estos desafíos, y proporcionar recomendaciones para hidrólogos sobre la selección de métodos de simulación adecuados para diferentes situaciones. Su artículo presenta una metodología compuesta por tres

partes principales: En primer lugar, se realiza una recopilación de documentos y literatura históricos, seguido de un estudio retrospectivo sobre tres aspectos clave: el modelo de escorrentía superficial urbana, la simulación numérica del drenaje urbano y el modelo de acoplamiento. En segundo lugar, se utiliza la revisión de la literatura y el análisis comparativo para describir la tecnología de simulación numérica de inundaciones urbanas en cuatro aspectos: selección del tipo, método de cálculo, aplicabilidad, ventajas y desventajas. Finalmente, se aborda la dirección de futuros desarrollos y mejoras en la simulación numérica de inundaciones urbanas, ofreciendo implicaciones para facilitar la investigación del modelo de inundación urbana. Este trabajo ofrece una guía valiosa para los hidrólogos en la selección del método adecuado de simulación numérica de inundaciones urbanas, contribuyendo así a la gestión más efectiva de este riesgo natural creciente. Teniendo como conclusión que la creación de modelos para prevenir inundaciones y mitigar desastres se ha vuelto crucial en la gestión de inundaciones urbanas.

Li et al. (2022), en su artículo examinan exhaustivamente la evaluación del riesgo de desastres por inundaciones, resaltando su creciente importancia en un contexto de rápido desarrollo urbano y cambio climático. Subrayan el impacto significativo de las inundaciones frecuentes en términos de pérdidas económicas y problemas sociales, enfatizando la necesidad de un enfoque sostenible para el desarrollo urbano. A través de una revisión de la literatura internacional de los últimos 20 años, se analiza la situación actual de la evaluación del riesgo de inundaciones, centrándose en los diferentes métodos utilizados. La metodología se basa en un análisis exhaustivo de la literatura para comprender y categorizar estos métodos. Además, se identifican tendencias futuras en este campo. El aporte principal de la investigación radica en proporcionar una visión integral del problema de las inundaciones urbanas y ofrecer una guía valiosa para informar futuras investigaciones y políticas en gestión del riesgo de inundaciones. Como conclusión indica la necesidad de un desarrollo urbano más científico y ecológicamente consciente para abordar adecuadamente este desafío.

Tanoue et al. (2020), En su artículo presenta un marco de modelado global para estimar las pérdidas económicas directas e indirectas causadas por inundaciones. Se emplean modelos computacionales que simulan la extensión, profundidad y duración de las inundaciones a escalas detalladas. Aplicando este método a la inundación en Tailandia de 2011, se estima que las pérdidas económicas directas, principalmente relacionadas con la interrupción de negocios, ascendieron a 14.700 millones de dólares, representando dos

tercios del daño total estimado. Además, se calcula que las pérdidas económicas indirectas redujeron el producto interno bruto de Tailandia en un 4,81% ese año y continuarán afectando hasta el 2030. Este enfoque integral proporciona una comprensión más completa de los riesgos económicos asociados con las inundaciones, destacando la necesidad de medidas efectivas de mitigación y adaptación. Como conclusión indica que su estructura de modelado tiene el potencial de mejorar la comprensión de diversos riesgos económicos vinculados con las inundaciones antes, durante y después de su ocurrencia. Además, dado que su enfoque se fundamenta en modelos y datos globales, podría ser valioso para calcular las pérdidas económicas indirectas a nivel global y continental provocadas por inundaciones.

Pathak et al. (2020), se enfoca en evaluar las inundaciones urbanas en Mumbai, India, mediante la implementación de estrategias específicas del sitio que integran múltiples disciplinas. Se utilizan modelos de escorrentía superficial y se acoplan modelos hidrológicos e hidráulicos para estimar la extensión de las inundaciones. Se identifican mapas de amenaza y riesgo, abarcando impactos sociales, económicos, ambientales e infraestructurales, para proponer estrategias de mitigación. Se realiza un análisis de correlación y se proponen intervenciones de gestión para reducir los riesgos en áreas vulnerables. Este enfoque busca considerar las inundaciones urbanas como una oportunidad para implementar soluciones efectivas y prácticas en lugar de solo como un desastre. Como conclusión determina que se necesitan estrategias que aborden la necesidad de planes completos y estratégicos para gestionar el riesgo de inundaciones urbanas a largo plazo, teniendo en cuenta las incertidumbres relacionadas con el cambio climático, las fluctuaciones económicas y el aumento de la población.

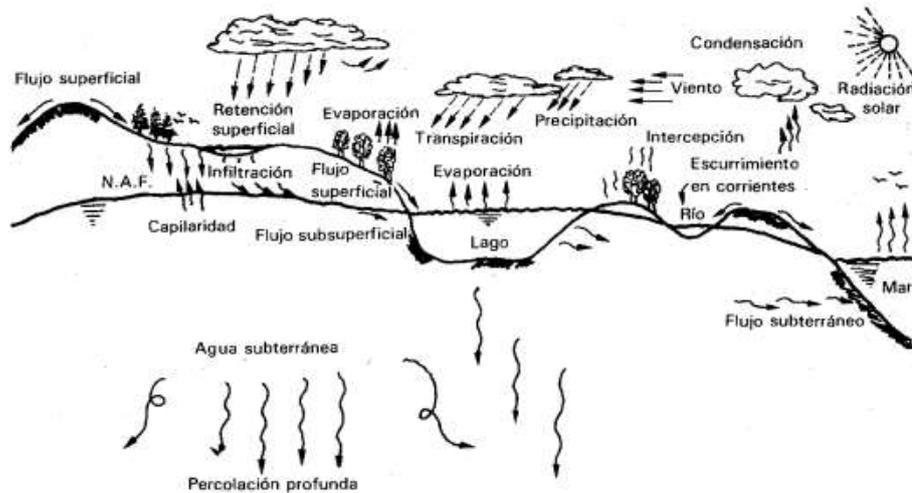
2.4. Estructura teórica y científica

2.4.1. Ciclo hidrológico

Es un proceso de transformaciones del agua de forma continua a través de la evaporación en los océanos o lagos hacia la atmósfera en forma de vapor de agua. Este pasa por un proceso de condensación y precipitación hacia la superficie en forma de escorrentía superficial o infiltrarse a aguas subterráneas para desembocar en el océano y repetir el ciclo como se representa en la Figura 3 (Chow et al., 1994).

Para Kuroiwa (2002), el ciclo hidrológico “Es el movimiento del agua a través de la atmósfera, la superficie de la tierra y los estratos superiores de la corteza terrestre. Este ciclo ocurre de manera continua y por lo tanto no tiene principio ni fin” (p.238).

Figura 3
Ciclo hidrológico



Nota. Aparicio (1992)

2.4.2. Cuenca hidrográfica

Es la superficie que vierte sus aguas de escorrentía debido a la precipitación a un punto de salida o punto de aforo. Para su delimitación se identifica la divisoria de aguas que depende de la topografía (Villón, 2002).

2.4.3. Características geomorfológicas de una cuenca hidrográfica

2.4.3.1. Área de la cuenca

Es el área proyectada en un plano horizontal que ha sido delimitado topográficamente de forma irregular. Este parámetro permite caracterizar la cuenca de forma morfométrica (Gómez, 2022).

2.4.3.2. Perímetro de la cuenca.

Es la longitud del parteaguas que delimita la cuenca hidrográfica. Presenta influencia en los parámetros de forma de la cuenca (Breña & Jacobo, 2006).

2.4.3.3. Factor de forma

Es la relación matemática entre el ancho promedio y la longitud principal del cauce, este parámetro tiene una relación directamente proporcional a la tendencia a concentrar las intensidades de lluvias, es decir a un mayor valor del factor de forma, se tiene crecientes mayor concentración de intensidades de lluvias (Villón, 2002).

Según (Breña & Jacobo, 2006) “la forma de la cuenca interviene de forma importante en las características de descarga de un río, en especial en los eventos de avenidas máximas” (p.37). Según se expresa el factor de forma en la Ecuación 1:

$$F = \frac{B}{L} \dots \dots \dots (1)$$

Donde:

B: Ancho promedio de la cuenca

L: Longitud del cauce

2.4.3.4. Índice de compacidad

Es un parámetro geomorfológico adimensional que relaciona el perímetro de la cuenca y el perímetro de una circunferencia de similar área de la cuenca. Donde se expresa la influencia del perímetro y área de la cuenca en la escorrentía. Por ende, un valor de K =1, significa que es una cuenca que producirá mayores crecientes en menor tiempo, por otro lado, una cuenca alargada (k >1) produce crecientes en ciertas partes de la cuenca (Villón, 2002). El índice de compacidad de se expresa en la Ecuación 2:

$$k = \frac{\text{Perímetro de la cuenca}}{\text{Perímetro de un círculo de igual área}} \dots \dots \dots (2)$$

$$k = \frac{P}{P_0} \dots \dots \dots (i)$$

Donde se conoce que el perímetro y área del círculo se expresa:

$$P_0 = 2\pi r \dots \dots \dots (ii)$$

Reemplazando (ii) en (i):

$$k = \frac{P}{2\pi r} \dots \dots \dots (iii)$$

Despejando el radio de la expresión del área del círculo:

$$A = \pi r^2$$

$$r = \sqrt{\frac{A}{\pi}} \dots \dots \dots (iv)$$

Sustituyendo (iv) en (iii):

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

$$K = 0.28 \frac{P}{\sqrt{A}} \dots \dots \dots (2)$$

2.4.4. Parámetros relativos a la red hídrica

2.4.4.1. Orden de la corriente

Es la jerarquización de las corrientes de una cuenca donde las corrientes iniciales que se caracterizan por carecer ramificaciones y continúan acumulando el flujo a otras corrientes conectadas de mayor orden de forma progresiva.

2.4.4.2. Densidad de drenaje.

Es la relación de la longitud total de corrientes (L) entre el área de la cuenca (A), este parámetro indica un drenaje pobre para valores de 0.5 km/km² y para cuencas muy drenadas valores superiores a 3.5 km/km² (Marcacuzco, 2006). Dicho cálculo se expresa en la Ecuación 3:

$$D_d = \frac{L}{A} \dots\dots\dots (3)$$

Donde:

L: Longitud total de la corriente

A: Área de la cuenca

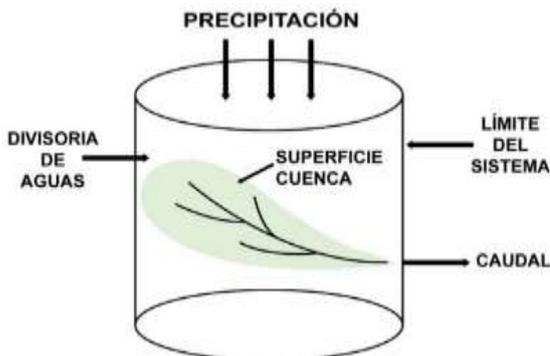
2.4.5. Modelo del sistema hidrológico.

Los fenómenos hidrológicos se representan a través de un sistema integrado por subsistemas cuyas partes están interrelacionadas. Para ello deben existir variables hidrológicas de ingreso y salida del sistema. Por ejemplo, como entrada la variable de precipitaciones y el flujo de salida que viene ser el caudal en función del tiempo en un sistema hidrológico (Chow et al., 1994)., el modelo hidrológico se expresa en la Ecuación 4:

$$Q(t) = \Omega I(t) \dots\dots\dots (4)$$

La Figura 4 muestra la cuenca hidrográfica como un sistema hidrológico que considera la precipitación como ingreso, la delimitación de la cuenca como límite del sistema y variable de salida como caudal.

Figura 4
La cuenca como un sistema hidrológico



Nota. Orellana (2021)

2.4.6. Precipitación

Es toda forma de humedad que se origina en las nubes a través de la lluvia, nieve y granizo por los cuales el agua desciende a la superficie del suelo. Por ende, desde la perspectiva hidrológica la precipitación es la fuente de agua imprescindible en la cuenca. Su medición se basa en la profundidad de la lámina de agua expresada en milímetros (Villón, 2002).

2.4.6.1. Precipitación máxima de 24 horas.

Esta variable permite estimar la intensidad pluvial máxima de un evento, estos datos se obtienen de la base de datos del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI), por ello la metodología Dick Peschke relaciona esta variable con la duración de la tormenta (MTC, 2011). El valor de precipitación máxima diaria de una base pluviométrica es menor a cualquier periodo de 24 horas debido a que un evento puede registrarse en dos días continuos, por tal motivo se multiplica un factor de 1.13 para obtener valores cercanos o confiables (Cardich, 2017).

2.4.6.2. Hietograma.

Es la representación gráfica que indica la variación de la intensidad de una tormenta cuyas unidades están en mm/hora. Mediante el hietograma se conoce la hora que el evento tiene una máxima intensidad. Además, la intensidad depende de la precipitación con respecto al tiempo (Villón, 2002). Se muestra la relación matemática de intensidad en la Ecuación 5:

$$i = \frac{P}{d} \dots \dots \dots (5)$$

Donde:

i: intensidad

P: precipitación

d: duración

2.4.6.3. Curvas de Intensidad- Duración- Frecuencia de lluvias IDF.

Es un modelo de tormenta de diseño que relaciona la intensidad de lluvia, la duración y las frecuencias como dato de entrada se requiere las precipitaciones máximas en 24 horas para ello existen dos metodologías el método de Dyck Peschke y el método de Frederic Bell (ANA, 2019). La Ecuación 6 expresa el método Dyck Peschke:

$$P_d = P_{Máx\ 24h} \frac{d^{0.25}}{1440} \dots \dots \dots (6)$$

Donde:

P_d: Profundidad de lluvia (mm)

$P_{\text{máx. 24h}}$: Precipitación máxima en 24 horas (mm)

d: Duración en minutos

Según el MTC (2011), para el cálculo de las curvas intensidad-duración- frecuencia se ha calculado indirectamente de la Ecuación 7:

$$I = K \frac{T^m}{D^n} \dots \dots \dots (7)$$

Donde:

I: Intensidad máxima (mm/h)

K, m, n: Constantes que varían con el lugar

T: Periodo de retorno en años

D: Duración de la precipitación

2.4.7. Infiltración

Según Aparicio (1992) define como el flujo de agua, a través del suelo debido a fuerzas gravitacionales y capilares. Es el proceso en el cual el flujo de agua se direcciona al interior del suelo. La cantidad de agua infiltrada se condiciona por los siguientes factores: la intensidad y duración de las lluvias, tamaño de la cuenca, grado de saturación, permeabilidad del terreno y presencia del nivel freático (Gonzales et al., 2002).

2.4.8. Escorrentía

2.4.8.1. Escorrentía superficial.

Es el flujo proveniente de la precipitación sobre el área drenada debido al exceso de agua que no se percola en el suelo. Por ello este tipo de escorrentía se conoce como precipitación en exceso (Villón, 2002).

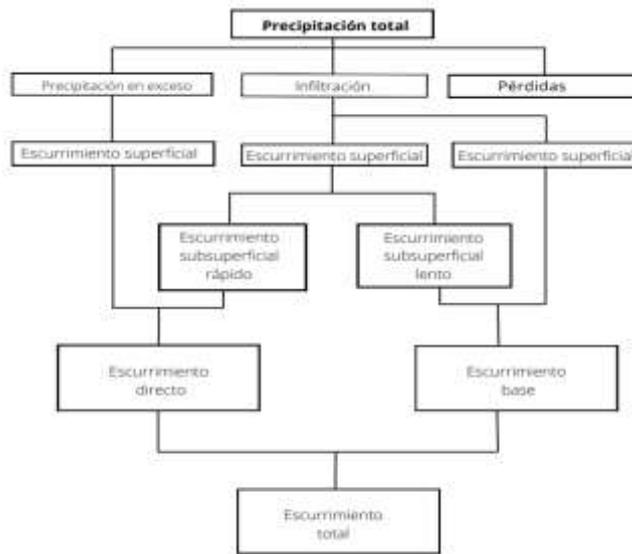
2.4.8.2. Escorrentía subsuperficial.

Es parte de la precipitación que pasa por el proceso de infiltración se puede clasificar como escurrimiento subsuperficial rápido y lento (Villón, 2002).

2.4.8.3. Escurrimiento subterráneo.

Este flujo ocurre por el agua subterránea o la infiltración del agua de precipitación luego de que el suelo esté saturado (Villón, 2002). En la Figura 5 se muestra la interacción de la precipitación y el escurrimiento:

Figura 5
Relación entre precipitación y el escurrimiento total



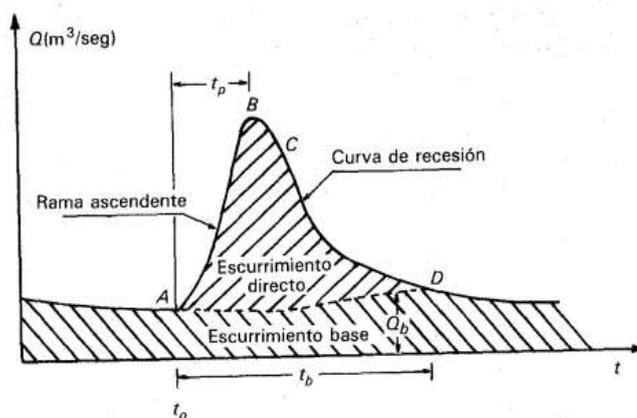
Nota. Villón (2011)

2.4.9. Hidrograma

El hidrograma es una representación gráfica de la variación del caudal en el tiempo de un evento hidrológico de una determinada área de drenaje o cuenca. El área correspondiente al hidrograma es el volumen de agua que ha pasado por el aforo en el intervalo de tiempo (Villón, 2002).

En la Figura 6 se observa las características del hidrograma donde el punto A es el inicio del volumen de agua proveniente de la tormenta, el punto B es el punto de caudal máximo que produce la tormenta, el punto C es el descenso del caudal y el punto D es el término del escurrimiento directo (Aparicio, 1992).

Figura 6
Características de un hidrograma



Nota. Aparicio (1992)

2.4.9.1. Parámetros característicos del hidrograma

Tiempo pico. Es el tiempo que transcurre al iniciar el escurrimiento directo hasta el máximo valor del hidrograma o pico de caudal (Gómez, 2022).

Tiempo de retraso. Es el espacio de tiempo entre el centro del hidrograma de lluvia efectiva y el centro del hidrograma de escorrentía superficial (Gómez, 2022).

Tiempo de concentración. Se refiere al tiempo que tarda en desplazarse un volumen unitario de agua desde el punto hidrológico inicial de la cuenca hasta el punto de aforo (Villón, 2002).

A continuación, se muestran las ecuaciones que relacionan los parámetros de la cuenca con el tiempo de concentración. Donde t_c es el tiempo de concentración (min), S es la pendiente promedio de la cuenca (m/m), L es la longitud del río más extensa (m), H es la diferencia de cotas, i es la intensidad (mm/h), c el coeficiente de retardo, C coeficiente de escorrentía, n el coeficiente de rugosidad de Manning y CN es el número de curva (MTC, 2011).

Ecuación 8 de Kirpich (1940):

$$t_c = 0.0195L^{0.77}S^{-0.385}$$

Ecuación 9 de California Culverts Practice (1942):

$$t_c = 0.0195 \left[\frac{L^3}{H} \right]^{0.385}$$

Ecuación 10 de Izzard (1946):

$$t_c = \frac{525(0.0000267i + c)L^{0.33}}{S^{0.333}i^{0.667}}$$

Ecuación 11 de Federal Aviation administration (1970)

$$t_c = \frac{0.7035(1.1 - C)L^{0.5}}{S^{0.333}}$$

Ecuación 12 de Onda cinemática (1965)

$$t_c = \frac{7L^{0.6}n^{0.6}}{i^{0.4}S^{0.3}}$$

Ecuación 13 de retardo SCS (1973)

$$t_c = \frac{0.0136L^{0.8} \left[\frac{1000}{CN} - 9 \right]^{0.7}}{S^{0.5}}$$

Por otro lado, ciertas ecuaciones presentan variación en las unidades de los parámetros como T_c tiempo de concentración (h), A es el área de la cuenca (km^2), L es la longitud

del río más extensa (km) y S es la pendiente del cauce (m/m) Las ecuaciones determinadas para realizar el cálculo de tiempo de concentración son: (Azizian, 2018).

Ecuación 14 de Ahn – Lee (1986)

$$T_c = \frac{5.6256L^{0.9417}}{A^{0.3666}S^{0.2639}}$$

Ecuación 15 de Bransby-Williams (1998)

$$T_c = \frac{0.605L}{A^{0.1}(100S)^{0.2}}$$

Ecuación 16 de Carter (1961)

$$T_c = \frac{0.0977L^{0.6}}{S^{0.2}}$$

Ecuación 17 de Chow (1988)

$$T_c = \frac{0.1602L^{0.64}}{S^{0.32}}$$

Ecuación 18 de Corps of Engineers (1977)

$$T_c = \frac{0.191L^{0.76}}{S^{0.19}}$$

Ecuación 19 de Dooge (1973)

$$T_c = \frac{0.365A^{0.41}}{S^{0.17}}$$

Ecuación 20 de Epsey (1995)

$$T_c = \frac{6.89L^{0.36}}{S^{0.18}}$$

Ecuación 21 de Haktanir- Sezen (1990)

$$T_c = 0.7473L^{0.841}$$

Ecuación 22 de Johnstone- Cross (1949)

$$T_c = 0.4623L^{0.5}S^{0.25}$$

Ecuación 23 de Kim (2015)

$$T_c = \frac{0.089A^{0.427}}{S^{0.239}}$$

Ecuación 24 de Picking (2005)

$$T_c = \frac{0.0883L^{0.667}}{S^{0.332}}$$

Ecuación 25 de Pilgrim- MacDermott (1982)

$$T_c = 0.76A^{0.38}$$

Ecuación 26 de Temez (1978)

$$T_c = \frac{0.3L^{0.76}}{S^{0.19}}$$

Ecuación 27 de USBR (1973)

$$T_c = \frac{0.00087L^{0.77}}{S^{0.385}}$$

Ecuación 28 de USGS (2000)

$$T_c = \frac{1.54L^{0.875}}{S^{0.181}}$$

Ecuación 29 de Ventura (2007)

$$T_c = \frac{4A^{0.5}L^{0.5}}{H^{0.5}}$$

Ecuación 30 de Yoon (2005)

$$T_c = \frac{1.08A^{0.09}L^{0.16}}{S^{0.12}}$$

Ecuación 31 de Haytway (1945)

$$T_c = \frac{0.606(Ln)^{0.467}}{S^{0.284}}$$

Hidrograma unitario sintético. Se desarrolla a partir de las variables hidrológicas de precipitación y caudal de una cuenca y es aplicable solo para el punto de análisis de la corriente. Su funcionalidad es para realizar hidrogramas unitarios en otros puntos de corriente de la misma cuenca o cercanas a la zona de estudio (Chow et al., 1994).

Hidrograma unitario sintético de Snyder. Es aquel que relaciona las características del hidrograma como el flujo base con las características de la cuenca. Snyder definió el hidrograma unitario con una relación directa entre la duración de lluvia y el retardo de cuenca (MTC, 2011).

2.4.10. Caudales máximos

2.4.10.1. Máximas avenidas

Es un evento donde el caudal asume un valor máximo superando los valores promedios de la cuenca del río, que ocasiona inundaciones fluviales en las áreas contiguas al cauce principal. Las máximas avenidas se relacionan directamente con la precipitación, ya sea por la intensidad o la duración de este evento (ANA, 2019).

2.4.10.2. Periodo de retorno y riesgo.

Es el tiempo promedio de años (T) que un caudal pico para una determinada cuenca será reiterado de forma superior o igual en T años. Existe una relación de la probabilidad de excedencia de un evento de máximas avenidas, la vida útil y el riesgo de falla (MTC, 2011).

2.4.11. Métodos empíricos

2.4.11.1. Método racional

Según el MTC (2011), para estimar el caudal máximo a partir de la precipitación se incluye las abstracciones en un solo coeficiente de escorrentía que depende de las características de la cuenca, este método se aplica a cuencas de áreas menores a 10 km² como se observa en la Ecuación 32:

$$Q = 0.278CIA \dots \dots \dots (32)$$

Donde:

Q: Caudal máximo (m³/s)

C: coeficiente de escorrentía

I: Intensidad máxima (mm/h)

A: Área de la cuenca (km²)

2.4.11.2. Método racional modificado

Es una adaptación del método racional donde se estima caudales máximos en cuencas de áreas menores de 770 km² y tiempos de concentración en el intervalo de 0.25 a 24 horas (MTC, 2011). Para ello se utiliza la Ecuación 33:

$$Q = 0.278CIAK \dots \dots \dots (33)$$

Donde:

Q: Caudal máximo (m³/s)

C: Coeficiente de escorrentía

I: Intensidad máxima (mm/h)

A: Área de la cuenca (km²)

K: Coeficiente de uniformidad

2.4.11.3. Método de Creager

Para el ANA (2014), este método establece una relación lineal entre el logaritmo del periodo de retorno y el caudal. Para aplicarlo, es fundamental identificar la región en la que se encuentra nuestra área de estudio como se indica en la Tabla 1.

Tabla 1
Regiones y cuencas integrante

N°	Región	Cuencas
1	Costa Norte	Tumbes a Piura
2	Costa Norte	Cascajal a Santa
3	Sierra Norte	Alto Marañón
4	Costa Central	Lacramarca a Camaná
5	Costa Sur	Quilca o Caplina
6	Sierra Central Sur	Mantaro, Apurímac
7	Selva	Ucayali, Madre de Dios

Nota. ANA (2014)

Además, se requieren coeficientes propios de la región (C_1 , C_2 , m y n) en la que se ubica la cuenca hidrográfica como se muestra en la Ecuación 34:

$$Q = (C_1 + C_2) \log(T) A^{mA^{-n}} \dots \dots \dots (34)$$

Donde:

Q: Caudal

T: Periodo de retorno

A: Área de la cuenca

2.4.11.4. Métodos estadísticos

Consideran que el caudal máximo es una variable aleatoria con una distribución particular. Para aplicar este método se requiere los caudales máximos históricos anuales (Villón, 2002).

Según Llontop-Silva & Correa-Chilón (2023), menciona el Método de Gumbel como el más difundido que se muestra en la Ecuación 35:

$$Q_{max} = Q_m - \frac{\sigma_Q}{\sigma_N} (Y_N - \log T) \dots \dots \dots (35)$$

Donde:

Q máx: Caudal máximo para un periodo de retorno

N: Número de años de registro

Qi: Caudales máximos anuales

Qm: Caudal promedio

T: Periodo de retorno

2.4.12. Análisis de probabilidades

2.4.12.1. Modelos de distribución

Los modelos de distribución permiten estimar variables hidrológicas como la precipitación o caudales máximos para diferentes periodos de retorno a través de modelos probabilísticos (MTC, 2011).

2.4.12.2. Distribución normal

Se interpreta del teorema del límite central donde una variable aleatoria X está distribuida con una media y varianza. La variable hidrológica como la precipitación anual se ajusta a este tipo de distribución (Chow et al., 1994).

La función de densidad de probabilidad normal se define en Ecuación 36:

$$f(x) = \frac{1}{s\sqrt{2\pi}} e^{-1/2\left(\frac{x-\mu}{s}\right)^2} \dots \dots \dots (36)$$

Donde:

f(x): Función densidad normal de la variable x

x: Variable independiente

μ : Media aritmética

s: Desviación estándar

2.4.12.3. Distribución Log normal

Presenta ventajas sobre la distribución normal ya que reduce la asimetría positiva de variables hidrológicas, debido a que la toma de logaritmos afecta a los valores mayores. Sin embargo, presenta ciertas limitaciones en la toma de logaritmos deben ser simétricos alrededor de la media (Chow et al., 1994). Según se muestra esta función en la Ecuación 37:

$$f(x) = \frac{1}{x\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-1/2\left(\frac{y-\mu_y}{\sigma_y}\right)^2} \dots \dots \dots (37)$$

Donde:

f(x): Función densidad log normal de la variable x

x: Variable aleatoria

σ : Desviación estándar asociada a la variable $y=\ln(x)$

μ_y : Media de la distribución normal asociada a la variable $y=\ln(x)$

2.4.12.4. Distribución de Gumbel

Es una distribución de doble exponencial y de tipo I cuya función es la distribución de probabilidades (MTC, 2011). Esta distribución se rige de la Ecuación 38:

$$F(x) = e^{-e^{-\alpha(x-\beta)}} \dots \dots \dots (38)$$

$$\alpha = \frac{1.2825}{\sigma}$$

$$\beta = \mu - 0.45\sigma$$

Donde:

F(x): Función distribución de Gumbel de la variable x

α : Parámetro de concentración

β : Parámetro de localización

2.4.12.5. Prueba de bondad de ajuste

Se aplica a la distribución de probabilidad por medio de la comparación del máximo valor absoluto de la diferencia de la función de distribución observada $F_0(x_m)$ y la estimada $F(x_m)$ con un valor crítico que depende del número de datos y el nivel de significancia. Con ello se verifica cual es la distribución de probabilidad se ajusta mejor a la serie de datos (Aparicio, 1992). Se muestra esta comparación en la Ecuación 39:

$$D = \max |F_0(x_m) - F(x_m)| \dots \dots \dots (39)$$

2.4.13. Programa HEC-HMS

Este programa ha sido desarrollado por el centro de Ingeniería Hidrológica del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos (US Army Corps of Engineers). Es un sistema de modelamiento hidrológico que se basa en la respuesta de la cuenca ante la precipitación, utilizando subsistemas interconectados del sistema de precipitación-escorrentía. Este enfoque permite una simulación detallada de cómo las variaciones en la precipitación afectan la escorrentía y otros aspectos hidrológicos (ANA, 2019).

2.4.13.1. Componentes del modelo hidrológico.

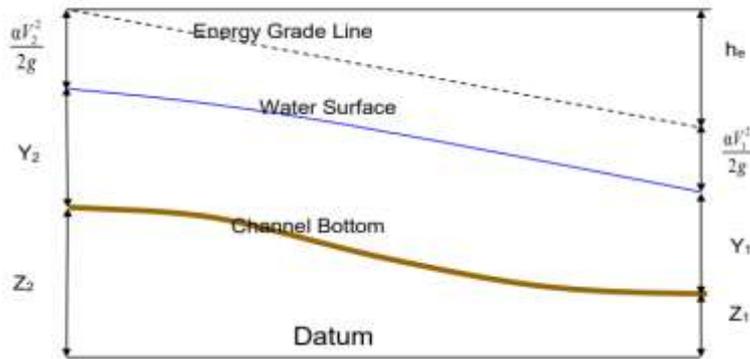
Los componentes de un proyecto son el modelo de cuenca, modelo meteorológico y las especificaciones de control. Para el modelo de cuenca se incluyen las distintas subcuencas y sus características, en el modelo meteorológico se requiere los datos de precipitaciones para cada subcuenca y las especificaciones de control se refiere al intervalo del evento hidrológico para realizar el hidrograma (US Army Corps of Engineers, 2016b).

2.4.14. Programa HEC-RAS

El software contiene cuatro componentes: simulación de flujo variado en una y dos dimensiones, perfil de superficie de agua de flujo constante, modelación de transporte de sedimentos y análisis de parámetros hidráulicos. Estos 4 componentes usan la geometría, parámetros de entrada y parámetros hidráulicos. El modelo numérico está basado en la ecuación de energía representada en la Figura 7, donde las pérdidas de energía son evaluadas por la fricción y la contracción. Además, se evalúa los efectos de las obras de

arte como puentes, alcantarillas que son considerados en la simulación (US Army Corps of Engineers, 2016a).

Figura 7
Representación gráfica de la ecuación de energía



Nota. US Army Corps of Engineers (2016)

El modelamiento hidráulico se basa en la integración del coeficiente de Manning a través de la cobertura de suelo e hidrogramas para los diferentes periodos. Además, se consideran condiciones de borde de hidrograma aguas arriba y condiciones de tirante normal aguas abajo. El modelado 2D tiene como principales resultados el tirante, nivel de la lámina de agua, velocidad y profundidad por velocidad (Mubialiwo et al., 2022).

La selección óptima del tamaño de celda y el tiempo de computación se utiliza para verificar la estabilidad de la simulación. Realizar una modelación con tiempos significantes producen errores de simulación y tiempos mínimos pueden resultar retrasos en la simulación. Por ello se rigen bajo el número de Courant (Mubialiwo et al., 2022). Este parámetro se expresa en la Ecuación 40:

$$C = \frac{V \cdot t}{x} \leq 1 \dots \dots \dots (40)$$

Donde:

C: Número de Courant

V: Velocidad promedio del flujo (m/s)

t: Tiempo de computación

x: Tamaño de celda

2.4.15. Hidráulica fluvial

2.4.15.1. Movilidad fluvial.

Se considera que un río no mantiene un movimiento constante ni uniforme, debido a la variación del caudal, otro punto a considerar es el cambio en la sección transversal en la longitud de su cauce principal. Se puede clasificar a los ríos por la presencia de áreas de

inundación o sin área de inundación debido a los movimientos laterales del flujo que ocasiona un nuevo cauce menor de estiaje para bajos periodos de retorno, sin embargo, cuando el periodo de retorno es mayor debido a un evento extraordinario se produce una inundación (Rocha, 1998).

2.4.15.2. Morfología fluvial.

Es la caracterización del río en su perfil longitudinal y su sección transversal. Un factor influyente del comportamiento del río son las obras de arte que ocasionan alteraciones del escurrimiento (Rocha, 1998).

2.4.15.3. Erosión de cauces.

Es un proceso de remoción o degradación en donde el agua desplaza el material sólido del lecho fluvial ocasionando una socavación del cauce del río que puede ser según la magnitud una erosión local o generalizada. Los factores que originan la erosión son el incremento del caudal relacionado directamente proporcional con el incremento de la velocidad y fuerza tractiva. Otro factor es el estrechamiento del cauce o sección transversal reducida que produce una profundización e incremento de la velocidad (Rocha, 1998).

2.4.15.4. Inundaciones fluviales.

Se producen ante precipitaciones intensas y continuas, donde el volumen de transporte del río excede el tirante del cauce principal ocasionando un desborde hacia las márgenes del río. Este aumento brusco de volumen de agua ocurre durante las crecidas o eventos extraordinarios como fenómeno del niño (CENEPRED, 2014).

Son procesos de origen hidrometeorológicos que dependen de las características geomorfológicas y topográficas del cauce del río o área. Este evento se acrecienta ante un fenómeno del niño o variaciones climáticas. Donde existe una creciente o incremento del caudal que ocasiona los desbordes hacia los terraplenes de la corriente conocidos como planicies de inundación que es un área seca a donde se direcciona el caudal (Kuroiwa, 2002). Un factor que ocasiona inundaciones es debido a la intervención humana o antrópica como la invasión del cauce o la faja marginal, represamiento en obras de arte debido a la falta de descolmatación del cauce y la deforestación (Tamayo & Bohórquez , 2023).

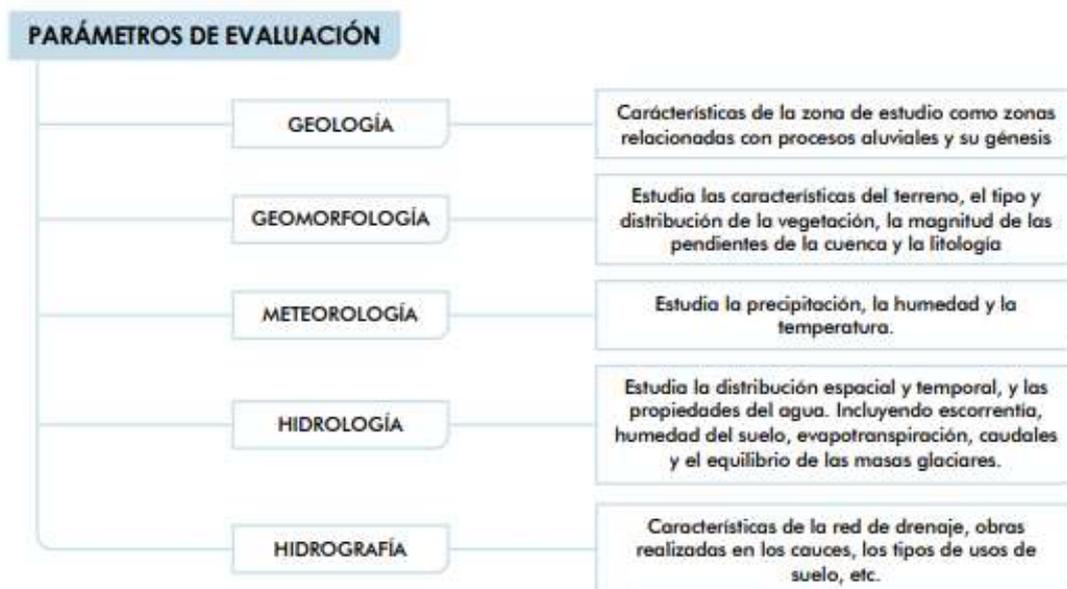
2.4.16. Análisis de vulnerabilidad

2.4.16.1. Metodología CENEPRED.

Esta metodología se ha desarrollado para reducir los impactos negativos que ocasionan los desastres naturales a nivel social, económico y ambiental siguiendo los parámetros

indicados en la Figura 8. En el caso de inundaciones el manual permite estimar el impacto económico, a través del cálculo de riesgos utilizando el método multicriterio para ponderar los parámetros de evaluación y vulnerabilidad. Se basa en información cuantitativa y cualitativa (CENEPRED, 2014).

Figura 8
Parámetros de evaluación de inundaciones



Nota. CENEPRED (2014)

2.4.16.2. Clasificación de intensidad de amenaza

La metodología propuesta para calcular la amenaza se basa en los conceptos de la Figura 9. Esta metodología, ha sido utilizada en varios estudios de amenazas y es reconocida internacionalmente. Se clasifican las áreas en tres zonas de peligro, según los parámetros hidráulicos y la topografía analizada (Quisca Samuel, 2014).

Figura 9
Rangos definidos para cada nivel de intensidad por inundaciones.

Niveles de intensidad	Profundidad del flujo (H) (m) (inundaciones estáticas)	Profundidad x velocidad. del flujo (m ² /s) (inundaciones dinámicas)
Muy alta	$H > 1.5 \text{ m}$	$H*V > 1.5 \text{ m}$
Alta	$0.5 \text{ m} < H < 1.5 \text{ m}$	$0.5 \text{ m} < H*V < 1.5 \text{ m}$
Media	$0.25 \text{ m} < H < 0.5 \text{ m}$	$0.25 \text{ m} < H*V < 0.5 \text{ m}$
Baja	$< 0.25 \text{ m}$	$H*V < 0.25 \text{ m}$

Nota. INDECI (2011)

2.4.16.3. Evaluación de vulnerabilidad

Exposición física urbana y agrícola. Esta evaluación identifica la fortaleza o vulnerabilidad de viviendas y áreas agrícolas ante posibles inundaciones. Se clasifica la exposición en cuatro niveles de vulnerabilidad: Muy Alta (4), Alta (3), Media (2) y Baja (1). Para evaluar las viviendas, se siguen los criterios establecidos en la Figura 10, considerando variables como el material de construcción, proximidad al cauce, diferencia de elevación respecto al cauce y la existencia de obras de protección (Quisca Samuel, 2014).

Figura 10

Criterio de exposición física urbana

Peso	Código	Criterio	NIVEL DE EXPOSICIÓN			
			VB	VM	VA	VMA
			1	2	3	4
20%	TDV	Tipo de vivienda	Concreto más de 2 pisos	Concreto de 2 pisos	Concreto de 1 piso	Adobe y Madera
60%	CAC	Cercanía al cauce del río	Más de 500 m	Entre 200 y 500 m	Entre 100 y 200 m	Menor a 100 m
10%	DCC	Diferencia de cota respecto al cauce	Por encima de 10 m	Entre 3 y 10 m por encima del cauce	Por encima de 3 m del cauce	Al mismo nivel y/o por debajo del cauce
10%	POP	Presencia de obra de protección	Muro de concreto	Muro de gaviones	Enrocado	No tiene

Nota. Quisca (2014)

Esta clasificación permite calcular un índice de exposición física (EFU) para cada lote evaluado, utilizando la Ecuación 41:

$$EFU = 20\% * TDV + 60\% * CAC + 10\% * DCC + 10\% * POP \dots \dots (41)$$

Para las áreas agrícolas, se aplican los criterios establecidos en la Figura 11. La valoración se basa en variables como la proximidad al cauce y la existencia de obras de protección. La descripción de cada ítem sigue los mismos principios explicados previamente.

Para definir el Índice de exposición física agrícola (EFA), se utilizará la siguiente Ecuación 42 con sus respectivos pesos:

$$EFA = 70\% * CAC + 30\% * POP \dots \dots (42)$$

Figura 11*Criterio de exposición física área agrícola*

Peso	Código	Criterio	NIVEL DE VULNERABILIDAD			
			VB	VM	VA	VMA
			1	2	3	4
70%	CAC	Cercanía al cauce del río	Más de 500 m	Entre 200 y 500 m	Entre 100 y 200 m	Menor a 100 m
30%	POP	Presencia de obra de protección	Muro de concreto	Muro de gaviones	Enrocado	No tiene

Nota. Quisca (2014)**2.4.17. Impacto económico de las inundaciones.**

Los efectos de las inundaciones sobre la economía de forma directa son las pérdidas de capital que incluye la infraestructura de transporte, telecomunicaciones, escuelas o centros de salud. Por otro lado, se encuentran las pérdidas de producción como la afectación de fábricas, cultivos, ganadería y disminución del comercio (Kuroiwa, 2002).

2.4.17.1. Estimación de las pérdidas económicas directas.

Para cuantificar los daños económicos se basa en el costo económico que implica la afectación de los elementos expuestos como áreas agrícolas, pérdida de mobiliario, deterioro de cimentaciones u obras de arte (CENEPRED, 2014).

Los daños económicos en costos agrícolas, viviendas e infraestructura se basa en las profundidades de agua inundable que se expresan en la Tabla 2:

Tabla 2*Porcentaje de daño económico por elemento expuesto*

Elemento expuesto	Daño económico (%)
Áreas agrícolas	
0.30 m	70
mayor 0.30	100
Viviendas 1 nivel	
1.00 -1.50 m	40
1.50 - 2.00 m	60
Viviendas 2 niveles	
1.00 -1.50 m	20
1.50 - 2.00 m	30
Vías secundarias	
0.50 -1.00 m	50
1.00 - 1.50 m	85

Nota. MINAM (2014)

Para la obtención de costos agrícolas se basan en el daño económico en función de la profundidad, costos por hectárea y el área de cultivo que se expresa en la Ecuación 43:

$$C_{agrícola} = A \times D \times C \dots \dots \dots (43)$$

Donde:

$C_{\text{agrícola}}$: Costo de pérdidas económicas agrícolas

A: Área (Ha)

D: Daño económico (%)

C: Costo unitario por hectárea

Para evaluar las pérdidas económicas en viviendas a nivel de daño estructural se expresa en la Ecuación 44:

$$C_{\text{vivienda}} = A \times D \times C_v \dots \dots \dots (44)$$

Donde:

C_{vivienda} : Costo de pérdidas económicas en viviendas

A: Área de vivienda (m²)

D: Daño económico según vivienda (%)

C_v : Costo por m² de vivienda según número de niveles

En infraestructuras públicas u obras de arte las pérdidas económicas se expresan en la Ecuación 45:

$$CI = C_a \times D \times PU \dots \dots \dots (45)$$

Donde:

CI: Costo de pérdidas económicas en infraestructura

C_a : Cuantificación de la estructura (volumen, longitud o unidades)

D: Daño económico (%)

PU: Costo unitario según la estructura u obra de arte

Por otro lado, Según Tanoue et al. (2020), considera ciertos parámetros como días de inundación, días de limpieza y número de elementos afectados que varían según la profundidad de inundación, esto nos permite determinar los costos de limpieza según la Ecuación 46:

$$L = D_{\text{limpieza}} \times N \times C \dots \dots \dots (46)$$

Donde:

L: Costo de pérdidas económicas por limpieza

D_{limpieza} : Días de limpieza

N: Número de unidades de viviendas y comercios afectados

C: Costo de limpieza

Asimismo, en costo de alquiler de viviendas para las familias afectadas se rigen de la Ecuación 47:

$$A = (D_{inundación} + D_{limpieza}) \times N \times C \dots \dots \dots (47)$$

Donde:

A: Costo de pérdidas económicas por alquiler

D inundación: Días de inundación

D limpieza: Días de limpieza

N: Número de unidades de viviendas y comercios afectados

C: Costo de alquiler vivienda

Además, los costos de producción se basan en el PIB per cápita ajustado por el factor de 0.895, el costo de producción se expresa en la Ecuación 48:

$$PR = (D_{inundación} + \frac{D_{recup}}{2}) \times P \dots \dots \dots (48)$$

Donde:

PR: Costo de pérdidas económicas en producción

D inundación: Días de inundación

D recup: Días de recuperación o limpieza

P: PIB per cápita x 0.895

2.5. Definición de términos básicos

- Cuenca hidrográfica

Es el área que recepciona el agua proveniente de las precipitaciones donde se distribuye y sufre transformaciones según las condiciones del suelo y características fisiográficas (UNESCO, 2011).

- Inundación fluvial

Es una planicie adyacente al cauce del río que se inunda con láminas de agua luego de un evento de máximas avenidas, siendo sus causas principales las precipitaciones extraordinarias, la dinámica fluvial o terrazas bajas (INGEMMET, 2023).

- Peligro

Es el grado de exposición de un elemento a los fenómenos naturales como la inundación, es decir el peligro de una estructura ingenieril ubicada en zonas de deslizamientos e inundaciones será alto y el costo de mitigación de ese peligro requiere alta inversión (Kuroiwa, 2002).

- Vulnerabilidad

Es el grado de daños o afectaciones a la infraestructura que está relacionado a la técnica constructiva, calidad de materiales y diseño estructural (Kuroiwa, 2002).

- Riesgo

Son los perjuicios que causaría un fenómeno natural con relación a las pérdidas económicas, bienes y servicios en un periodo de tiempo. El riesgo se expresa en función del peligro y la vulnerabilidad (Roque, 2022).

- Caudal de diseño

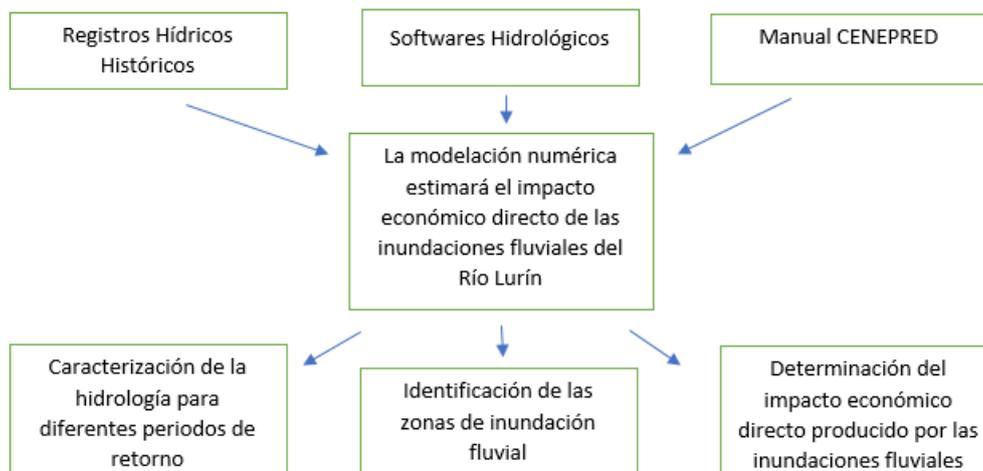
Es el caudal máximo de una determinada corriente de agua que se representa en un hidrograma para un evento específico en el tiempo (ANA, 2016).

2.6. Fundamentos teóricos que sustentan las hipótesis

En la Figura 12 se presentan los fundamentos teóricos que sustentan la hipótesis.

Figura 12

Parámetros de evaluación de inundaciones



CAPÍTULO 3: SISTEMA DE HIPÓTESIS

3.1. Hipótesis

3.1.1. *Hipótesis general*

Al realizar la modelación numérica, se estima que el impacto económico directo supere un millón de soles.

3.1.2. *Hipótesis específicas*

- a) Al caracterizar la hidrología para diferentes periodos de retorno, se determinan las máximas avenidas de la cuenca del río Lurín.
- b) Al modelar hidráulicamente el tramo Cieneguilla – río Lurín por medio del software Hec-Ras, se identifica que el tirante máximo sobrepasa las secciones geométricas.
- c) Si se determina los tirantes máximos, ancho de encauzamiento y velocidades permite estimar las inundaciones en función de las pérdidas económicas.

3.2. Variables

3.2.1. *Definición conceptual de variables*

3.2.1.1. **Variable Independiente.**

Según Borja (2012), la variable independiente se caracteriza como aquella que genera un efecto o actúa como la causa de la variable dependiente.

Variable independiente. Modelación Numérica

3.2.1.2. **Variable Dependiente.**

De acuerdo con (Borja, 2012), la variable dependiente se define como el resultado o efecto ocasionado por la acción de la variable independiente.

Variable dependiente. Impacto Económico Directo

3.2.2. *Operacionalización de las variables*

Hernández et al. (2014) afirma que:

La operacionalización de variables se refiere al conjunto de procedimientos que describe las actividades que un observador debe llevar a cabo para recibir las impresiones sensoriales, las cuales señalan la existencia de un concepto teórico en mayor o menor grado (p. 111).

El conjunto de procedimientos mencionados se expresa en la Tabla 3:

Tabla 3*Operacionalización de variables*

Variable independiente	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Unidad de referencia	Escala
Modelación Numérica	La modelación numérica es el proceso de utilizar métodos matemáticos y computacionales para simular el comportamiento de sistemas físicos, biológicos o sociales.	Procesar datos del estudio hidrológico y topográfico para obtener el modelamiento hidráulico y las zonas críticas del tramo estudiado	<ul style="list-style-type: none"> Levantamiento fotogramétrico Características hidrológicas 	<ul style="list-style-type: none"> Topografía Precipitación Caudal diseño 	<ul style="list-style-type: none"> Adimensional mm m³/s 	<ul style="list-style-type: none"> Cuantitativa Cuantitativa Cuantitativa
Variable dependiente	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Unidad de referencia	Escala
Impacto económico directo	Es el grado de afectación a nivel económico de un evento o fenómeno inmediatamente después de ocurrido	Estimar los perjuicios económicos producto de las inundaciones fluviales en infraestructuras esenciales del tramo de estudio	<ul style="list-style-type: none"> Evaluación de daños económicos Metodología multicriterio 	<ul style="list-style-type: none"> Tirante de agua % Infraestructura afectada Matrices cuantitativas y cualitativas Costos de afectación 	<ul style="list-style-type: none"> m % Adimensional soles 	<ul style="list-style-type: none"> Cuantitativa Cuantitativa Cualitativa y cuantitativa Cuantitativa

CAPÍTULO 4: METODOLOGÍA

4.1. Método de la investigación

El enfoque metodológico fue deductivo, ya que se confirmó la hipótesis a través del análisis de los parámetros hidrometeorológicos y su influencia en el aspecto económico de las inundaciones. Este método se orienta hacia la aplicación práctica, ya que buscó abordar la problemática de los efectos económicos en las infraestructuras civiles. Además, se ha empleado un enfoque cuantitativo y cualitativo, utilizando indicadores como la precipitación máxima diaria, el área de inundación y matrices de ponderación. Los datos hidrológicos se recopilieron de bases de datos históricas, utilizando métodos retrospectivos de recolección de información.

4.2. Tipo de investigación

El estudio se enmarcó en una investigación aplicada con un enfoque cuantitativo, dirigido a abordar el problema de las inundaciones en el distrito de Cieneguilla. Este tipo de investigación identificó de manera precisa la relación entre las variables climáticas, como el aumento de las lluvias y el desbordamiento del río Lurín, y el impacto en la frecuencia e intensidad de las inundaciones. A través de métodos estadísticos y análisis cuantitativos, se buscó no solo describir el fenómeno, sino también explicar las causas subyacentes y desarrollar modelos predictivos que ayuden a anticipar y gestionar mejor estas situaciones. Las conclusiones obtenidas de este estudio proporcionaron una base sólida para la implementación de estrategias efectivas de mitigación y adaptación, orientadas a reducir los riesgos y minimizar los efectos adversos en la comunidad afectada.

4.3. Nivel de investigación

El estudio se clasificó de nivel descriptivo debido a que se fundamentó en la recopilación, análisis y comprensión de datos sobre la situación presente y las particularidades o dinámicas de los fenómenos relevantes. Su propósito principal fue detectar las potenciales inundaciones provocadas por el desbordamiento del río Lurín en el distrito de Cieneguilla. Esta metodología implicó examinar detalladamente registros históricos, realizar análisis de datos actuales y realizar interpretaciones para entender mejor la naturaleza y el comportamiento de los fenómenos relacionados con las inundaciones. Al profundizar en estos aspectos, se facilitó la identificación de áreas de riesgo y se brinda una base sólida para la implementación de medidas preventivas y de mitigación en la zona afectada.

4.4. Diseño de la investigación

El diseño de investigación adoptado fue observacional, ya que implicó la recopilación de datos de campo, incluyendo información sobre la topografía y el impacto en la infraestructura, la cual será posteriormente cuantificada. Se clasifica como transversal, dado que se trabajó con series de tiempo, recolectando información del área de estudio y proporcionando datos valiosos para el análisis numérico. Además, se enmarca en un diseño prospectivo de cohortes, ya que la altura del agua obtenida a través del modelado numérico, especialmente en secciones críticas, nos permitió estimar el daño económico ocasionado por las inundaciones. Este enfoque metodológico permitió una evaluación exhaustiva de los impactos y riesgos asociados a las inundaciones, lo que resulta crucial para la implementación de medidas preventivas y de mitigación efectivas.

4.5. Población y muestra

4.5.1. Población

Debido a la recopilación de datos para la investigación en la zona de estudio, la población de la investigación fue el río Lurín.

4.5.2. Muestra

La muestra de estudio fue el tramo ubicado en la tercera etapa del distrito de Cieneguilla en el río Lurín, específicamente desde la coordenada E: 307328 N: 8663833 (Puente Molle) hasta la coordenada E: 306667 N: 8662420 (Puente Cieneguilla Panquilma). La descripción y detalles de la selección y justificación de muestreo se indica en la Figura 13:

4.6. Técnicas e instrumentación de recolección de datos

4.6.1. Métodos y técnicas

- Se realizó la observación directa para identificar las posibles zonas críticas de desborde del río Lurín
- La obtención de información de campo se realizó a través de la fotogrametría con dron en el área de estudio y para la parte hidrológica se obtuvieron los datos de precipitación del SENAMHI.
- Recopilación de datos hidrológicos relevantes del río Lurín.
- La recopilación de información o análisis documental se basó en investigaciones de alto grado académico como tesis, artículos y libros.
- Análisis de contenido.
- Realización de entrevistas y encuestas no estructuradas.

- Utilización de modelos numéricos para procesar y hacer la predicción de las inundaciones fluviales.

Figura 13

Cuadro poblacional

Selección	Descripción
Población	Debido a la recopilación de datos para la investigación en la zona de estudios, la población de la investigación es el Río Lurín.
Muestra	El tramo ubicado en la tercera etapa del distrito de Cieneguilla en el Río Lurín, específicamente desde la coordenada E: 307328 N: 8663833 (Puente Molle) hasta la coordenada E: 306667 N: 8662420 (Puente Cieneguilla Panquilma)
Justificación de muestreo	Detalles
Relevancia para la investigación	El área elegida presenta atributos de ubicación fundamentales para analizar el impacto económico directo derivado de las inundaciones fluviales causadas por el desbordamiento del río Lurín.
Criterio de Inclusión	<ul style="list-style-type: none"> • Selección de área que ha experimentado inundaciones fluviales significativas previamente, • Disponibilidad de datos históricos • Disponer de accesos a softwares para realizar la modelación numérica
Criterios de exclusión	<ul style="list-style-type: none"> • Descartar áreas donde no se hayan registrado inundaciones fluviales significativas en el pasado • Descartar localidades donde las inundaciones fluviales no representen una amenaza económica significativa para las comunidades locales y las actividades económicas • Descartar regiones donde no se disponga de datos confiables y suficientes sobre inundaciones pasadas
Metodología de selección	La metodología para seleccionar áreas de estudio implica revisión bibliográfica, análisis de datos, consultas a expertos y evaluación de vulnerabilidad, garantizando representatividad y relevancia.

4.6.2. Instrumentos de recolección de datos

Los instrumentos de recolección de datos que se usaron fueron:

- Cuadros de registros.
- Guía de aplicación no estructurada.
- Encuestas no estructuradas.

Mientras que en la investigación se utilizaron herramientas entre ellas:

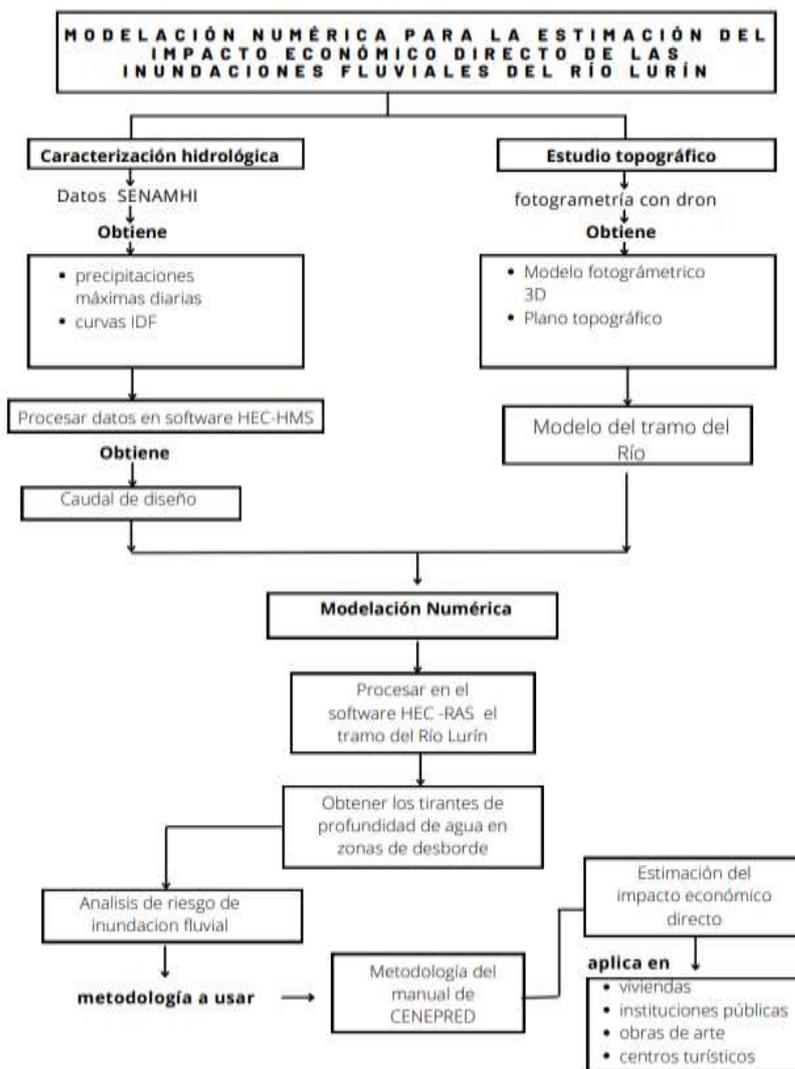
- Softwares hidrológicos
- Manual para la evaluación de riesgos originados por inundaciones fluviales – CENEPRED.

- Equipos de topografía GPS – DRON.

4.7. Descripción de procesamiento de análisis

Para el procesamiento de análisis se obtuvo la data histórica de la variable precipitación para ser relacionada con la escorrentía a través del software de modelación hidrológica Hec- Hms versión 4.11. Por otro lado, la topografía nos permitió modelar hidráulicamente el tramo del río y el área de influencia de las infraestructuras en riesgo a inundaciones que se estima a través de la metodología del manual de CENEPRED. A continuación, en la Figura 14 se muestra la secuencia del proceso:

Figura 14
Secuencia



CAPÍTULO 5: ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.1. Hidrografía

El área de estudio está ubicada en la subcuenca de Cieneguilla, que forma parte de la cuenca del río Lurín. Esta cuenca se encuentra entre las cuencas del río Rímac y una Inter cuenca conformada por la quebrada Cruz de Hueso y la cuenca de Chilca. La cuenca del río Lurín tiene una forma larga y delgada, con diferentes tipos de clima que van desde desérticos hasta zonas con nieve perpetua, dependiendo de su ubicación dentro de la cuenca. Las precipitaciones son escasas durante el año en las áreas bajas de la cuenca, mientras que, en las partes altas, las lluvias son abundantes durante el verano.

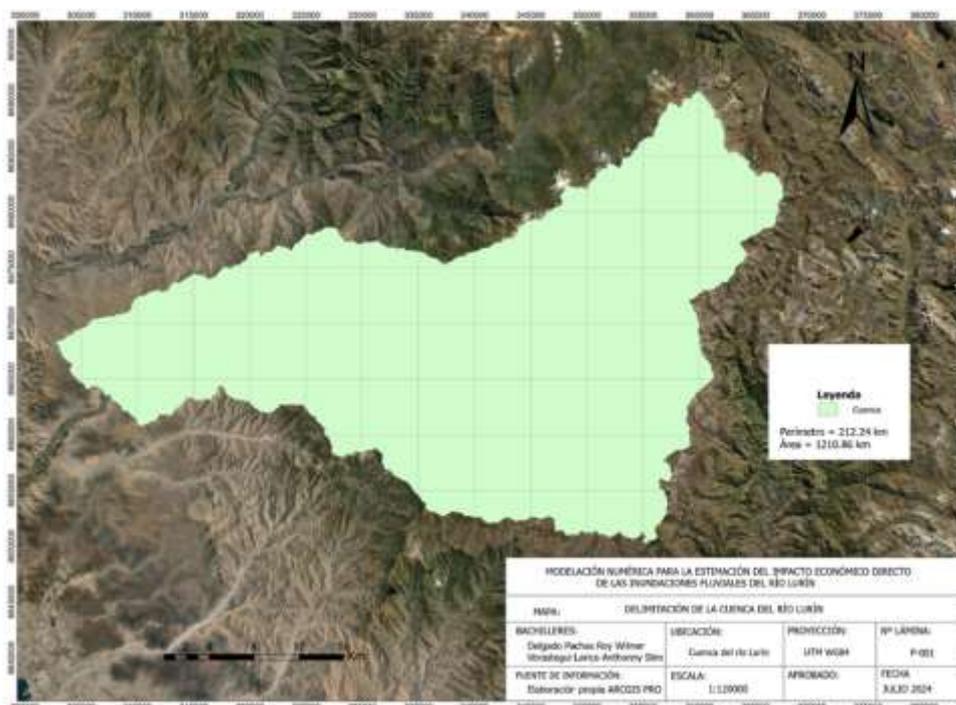
5.2. Parámetros geomorfológicos

5.2.1. Delimitación cuenca

Para delimitar con precisión la cuenca hidrográfica, se utilizó ArcGIS, una herramienta especializada que permite la modelación automática de cuencas a partir de superficies digitalizadas. Este software facilita la definición de la línea de división de aguas mediante la conexión de segmentos basados en las variaciones de altitud como se observa en la Figura 15. La línea de división creada en ArcGIS establece el límite donde las aguas de la cuenca fluyen hacia diferentes vertientes, asegurando que el punto de aforo coincida con la parte más baja de la cuenca. A continuación, se presenta la delimitación realizada:

Figura 15

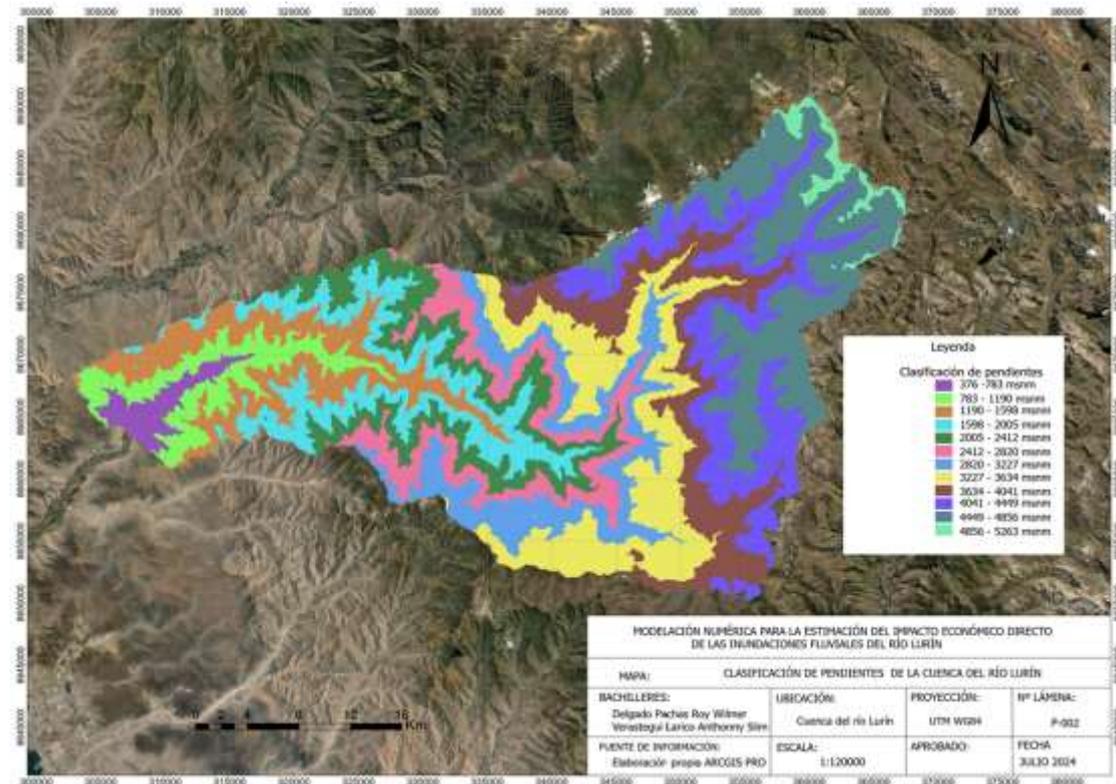
Delimitación de la cuenca en estudio



5.2.2. Plano de pendiente

El plano de pendiente es un mapa que ilustra las variaciones en las inclinaciones del terreno dentro de una cuenca específica. En la Figura 16 se muestra este mapa que es crucial para entender cómo el agua se desplaza o retiene en la cuenca, proporcionando información sobre las áreas que podrían ser vulnerables a inundaciones.

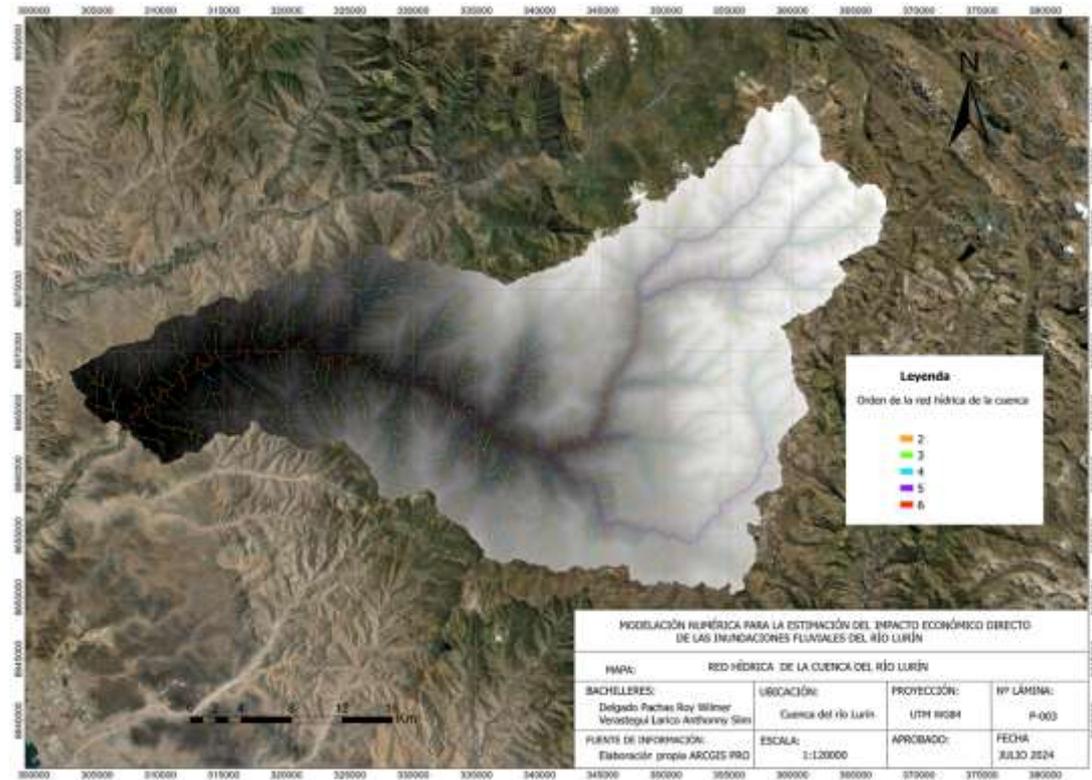
Figura 16
Plano de pendiente



5.2.3. Plano red hídrica

El plano de red hídrica es un mapa que muestra cómo están distribuidos y estructurados los cursos de agua dentro de una región geográfica determinada, incluyendo ríos, arroyos, canales, lagos y embalses. Este tipo de mapas permite clasificar los diferentes tipos de ríos (principales, secundarios, etc.) y también muestra puntos importantes como confluencias y bifurcaciones, que son elementos cruciales para entender la dinámica de la cuenca hidrográfica. A continuación, se presenta la visualización utilizando el software ArcGIS en la Figura 17:

Figura 17
Plano de red hídrica



5.2.4. Características geomorfológicas

Los parámetros geomorfológicos de esta cuenca se describen en la siguiente Tabla 4, obtenida después de realizar la delimitación y procesar los parámetros en el software ArcGIS.

Tabla 4
Parámetros de cuenca

Parámetros de cuenca	Unidad	Valor
Área	km ²	1210.861
Perímetro	km	212.24
Longitud de la cuenca	km	88.86
Cota menor	msnm	376
Cota mayor	msnm	5263
Pendiente de la cuenca	m/m	0.055
Factor de forma	adimensional	0.18

Por otro lado, el coeficiente de compacidad se determinó según la Ecuación 2, siendo el valor de 1.72, que corresponde a una cuenca alargada y la densidad de drenaje se obtuvo de la Ecuación 3, siendo un valor de 0.99 km/km².

5.3. Análisis de precipitación

5.3.1. Datos de precipitaciones máximas

Los registros históricos de precipitaciones máximas de 24 horas fueron obtenidos del SENAMHI utilizando sus bases de datos. Se analizaron datos de 3 estaciones pluviométricas con registros completos desde 1988 hasta 2019 que se detallan en los anexos 2, 3 y 4. Se creó una estación ficticia utilizando los valores máximos de precipitaciones de las estaciones mencionadas, las cuales se detallan en la Tabla 5:

Tabla 5

Precipitaciones máximas anuales en estación ficticia

Nº	AÑO	Est. Antioquía Pp máx (mm)	Est. Langa Pp máx (mm)	Est. San Lázaro de Escomarca Pp máx (mm)	Est. ficticia Pp máx (mm)
1	1988	21.8	15	30	30
2	1989	8.3	13.2	12.2	13.2
3	1990	9.3	8.9	15	15
4	1991	8.3	6.3	23.7	23.7
5	1992	3.3	4.2	24.3	24.3
6	1993	7.4	26.8	12.6	26.8
7	1994	21.8	29.9	21	29.9
8	1995	13.2	23.9	15	23.9
9	1996	7.9	13.2	26	26
10	1997	11.6	31.3	43	43
11	1998	9.8	23.5	12	23.5
12	1999	17.5	31.4	16.5	31.4
13	2000	12.6	14.8	11.8	14.8
14	2001	11.3	29.5	34.6	34.6
15	2002	16	20.6	25.5	25.5
16	2003	5.6	22.4	25.2	25.2
17	2004	11.5	18.3	27.5	27.5
18	2005	1.2	11.5	34.9	34.9
19	2006	14.8	27.4	21.8	27.4
20	2007	7.2	18.3	22	22
21	2008	13.4	26.1	21.5	26.1
22	2009	16.5	34.4	21.5	34.4
23	2010	5.8	46.9	32.3	46.9
24	2011	4	18.1	13.2	18.1
25	2012	5.5	19.2	27.8	27.8
26	2013	17.5	20.1	30.4	30.4
27	2014	10.2	15.6	43.8	43.8
28	2015	9.2	19.7	35.8	35.8
29	2016	3.9	11	24.2	24.2
30	2017	9.6	26.9	32.4	32.4
31	2018	8.8	12.3	34.7	34.7
32	2019	9.6	25.4	25.9	25.9
01	Nº datos	32	32	32	32
02	Media	10.45	20.82	24.94	28.22
03	Desv. estándar	5.08	9.07	8.78	7.87
04	Máximo	21.8	46.9	43.8	46.9
05	Mínimo	1.2	4.2	11.8	13.2

5.4. Análisis de consistencia

Para asegurar la coherencia de los datos utilizados, se empleó el software TREND para realizar un análisis de consistencia de saltos y tendencias a la estación ficticia. A continuación, se presentan los resultados de este análisis en la siguiente Tabla 6 donde se observa un 66.67% de pruebas estadísticas consistentes:

Tabla 6
Test estadístico de valores críticos

Pruebas estadísticas	Test estadístico	$\alpha=0.05$	Resultado
Mann-Kendall	2.222	1.96	S (0.05)
Spearman's Rho	2.188	1.96	S (0.05)
Linear regression	2.229	2.042	S (0.05)
Cusum	6	7.693	NS
Cumulative deviation	1.003	1.244	NS
Rank Sum	-2.054	1.96	S (0.05)
Student's t	-1.801	2.04	S (0.1)
Median Crossing	0.539	1.96	NS
Turning Point	-1.727	1.96	S (0.1)

5.5. Prueba de bondad

Para asegurar la validez y seleccionar el modelo estadístico apropiado para los datos se utilizó el software Hydrognomon. Este programa nos permitió evaluar qué distribución de probabilidad se ajusta mejor a nuestra serie de datos, como se detalla en la Tabla 7. Se optó por utilizar la distribución normal para procesar los datos, dado que obtuvimos de Se muestra esta comparación en la Ecuación 39 un valor de D máximo de 0.097, indicando un buen ajuste con los datos observados:

Tabla 7
Prueba de bondad de ajuste Kolmogórov-Smirnov en estación ficticia

Distribución de probabilidades	$\alpha=5\%$	Attained α (%)	D máx.
Normal	Aceptable	88.29	0.097
Log normal	Aceptable	72.89	0.116
Gamma	Aceptable	76.21	0.119
Pearson III	Aceptable	81.8	0.106
Log Pearson III	Aceptable	35.74	0.157
EV-Max (Gumbel)	Aceptable	72.5	0.116

5.6. Precipitaciones máximas para cada periodo de retorno

En la Tabla 8 se muestran las precipitaciones máximas para los respectivos periodos de retorno, ajustadas por un factor de 1.13, correspondiente a una única observación:

Tabla 8
Precipitaciones máximas de 24 horas

Periodo de retorno (años)	Distribución Normal	
	Pp máx.	Pp máx. x (1.13)
10	38.31	43.29
50	44.39	50.16
100	46.53	52.58
200	48.5	54.81

Nota. Pp máx representa las precipitaciones máximas en un periodo de 24 horas

5.7. Curvas IDF

Para generar la curva de intensidad-duración-frecuencia, se aplicó la Ecuación 6 del método de Dick Peschke, considerando duraciones que oscilan entre 5 minutos y 1440 minutos, y las precipitaciones correspondientes a cada periodo de retorno como se observa en la Tabla 9:

Tabla 9
Precipitaciones para diferentes duraciones

Duración (min)	Periodo de retorno (años)			
	10	50	100	200
5	10.509	12.176	12.763	13.304
10	12.497	14.480	15.178	15.821
15	13.830	16.025	16.797	17.509
20	14.861	17.220	18.050	18.814
25	15.714	18.208	19.086	19.894
30	16.447	19.057	19.976	20.821
60	19.559	22.663	23.755	24.761
360	30.611	35.469	37.179	38.753
480	32.894	38.114	39.951	41.643
600	34.781	40.301	42.243	44.032
720	36.403	42.180	44.213	46.085
1440	43.290	50.161	52.579	54.805
Pp máx	43.29	50.16	52.58	54.81

Nota. Pp máx representa las precipitaciones máximas en un periodo de 24 horas

En la Tabla 10 se calculó las intensidades en mm/h para las diferentes duraciones y periodos de retorno según la Ecuación 5:

Tabla 10
Intensidades calculadas

Duración (min)	Periodo de retorno (años)			
	10 I (mm/h)	50 I (mm/h)	100 I (mm/h)	200 I (mm/h)
5	126.10	146.12	153.16	159.64
10	74.98	86.88	91.07	94.93
15	55.32	64.10	67.19	70.03
20	44.58	51.66	54.15	56.44
25	37.71	43.70	45.81	47.74

30	32.89	38.11	39.95	41.64
60	19.56	22.66	23.76	24.76
360	5.10	5.91	6.20	6.46
480	4.11	4.76	4.99	5.21
600	3.48	4.03	4.22	4.40
720	3.03	3.51	3.68	3.84
1440	1.80	2.09	2.19	2.28

Se llevó a cabo un análisis de datos donde el periodo de retorno y la duración son variables independientes para obtener la intensidad afectados por logaritmos como se expresa en la

Tabla 11:

Tabla 11
Regresión múltiple

N.º	Periodo de retorno (años)	Duración (min)	I (mm/h)	x1 log (Tr)	x2 log(D)	y log(I)
1	10	5	126.10	1.000	0.69897	2.101
2	10	10	74.98	1.000	1.00000	1.875
3	10	15	55.32	1.000	1.17609	1.743
4	10	20	44.58	1.000	1.30103	1.649
5	10	25	37.71	1.000	1.39794	1.576
6	10	30	32.89	1.000	1.47712	1.517
7	10	60	19.56	1.000	1.77815	1.291
8	10	360	5.10	1.000	2.55630	0.708
9	10	480	4.11	1.000	2.68124	0.614
10	10	600	3.48	1.000	2.77815	0.541
11	10	720	3.03	1.000	2.85733	0.482
12	10	1440	1.80	1.000	3.15836	0.256
13	50	5	146.12	1.699	0.69897	2.165
14	50	10	86.88	1.699	1.00000	1.939
15	50	15	64.10	1.699	1.17609	1.807
16	50	20	51.66	1.699	1.30103	1.713
17	50	25	43.70	1.699	1.39794	1.640
18	50	30	38.11	1.699	1.47712	1.581
19	50	60	22.66	1.699	1.77815	1.355
20	50	360	5.91	1.699	2.55630	0.772
21	50	480	4.76	1.699	2.68124	0.678
22	50	600	4.03	1.699	2.77815	0.605
23	50	720	3.51	1.699	2.85733	0.546
24	50	1440	2.09	1.699	3.15836	0.320
25	100	5	153.16	2.000	0.69897	2.185
26	100	10	91.07	2.000	1.00000	1.959
27	100	15	67.19	2.000	1.17609	1.827
28	100	20	54.15	2.000	1.30103	1.734
29	100	25	45.81	2.000	1.39794	1.661
30	100	30	39.95	2.000	1.47712	1.602
31	100	60	23.76	2.000	1.77815	1.376
32	100	360	6.20	2.000	2.55630	0.792
33	100	480	4.99	2.000	2.68124	0.698
34	100	600	4.22	2.000	2.77815	0.626
35	100	720	3.68	2.000	2.85733	0.566
36	100	1440	2.19	2.000	3.15836	0.341
37	200	5	159.64	2.301	0.69897	2.203
38	200	10	94.93	2.301	1.00000	1.977
39	200	15	70.03	2.301	1.17609	1.845

40	200	20	56.44	2.301	1.30103	1.752
41	200	25	47.74	2.301	1.39794	1.679
42	200	30	41.64	2.301	1.47712	1.620
43	200	60	24.76	2.301	1.77815	1.394
44	200	360	6.46	2.301	2.55630	0.810
45	200	480	5.21	2.301	2.68124	0.716
46	200	600	4.40	2.301	2.77815	0.644
47	200	720	3.84	2.301	2.85733	0.584
48	200	1440	2.28	2.301	3.15836	0.359

En la Figura 18 se detalla el análisis del software Hidroesta para realizar la regresión lineal múltiple, obteniéndose las constantes m, n y k de la Ecuación 7, cuyos valores fueron k=353.26, m=0.0798 y n=0.75.

Figura 18
Ecuación de regresión múltiple



En la Tabla 12 se muestran las intensidades obtenidas aplicando para cada periodo de retorno y duración la siguiente expresión:

$$I = \frac{353.26 T^{0.0798}}{D^{0.75}}$$

Tabla 12
Precipitaciones obtenidas para obtención del hietograma

Duración	Intensidades para curva IDF - Hietograma			
	Periodo de retorno años (Tr)			
	10	50	100	200
60	19.692	22.391	23.664	25.010
120	11.709	13.313	14.071	14.871
180	8.639	9.823	10.381	10.972

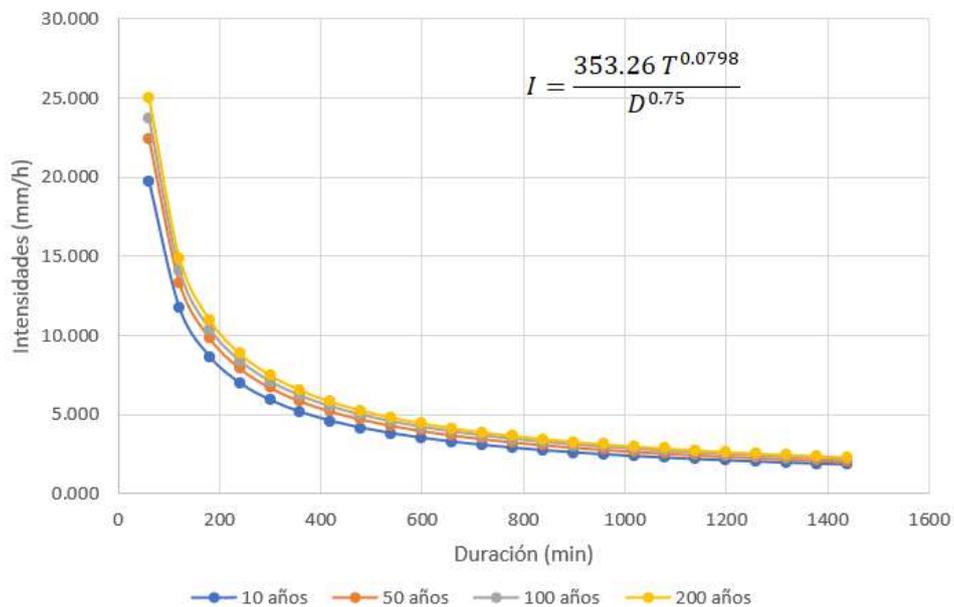
240	6.962	7.916	8.366	8.842
300	5.889	6.696	7.077	7.480
360	5.137	5.841	6.173	6.524
420	4.576	5.203	5.499	5.811
480	4.140	4.707	4.975	5.258
540	3.790	4.309	4.554	4.813
600	3.502	3.982	4.208	4.447
660	3.260	3.707	3.918	4.141
720	3.054	3.473	3.670	3.879
780	2.876	3.270	3.456	3.653
840	2.721	3.094	3.270	3.456
900	2.584	2.938	3.105	3.281
960	2.461	2.799	2.958	3.126
1020	2.352	2.674	2.827	2.987
1080	2.253	2.562	2.708	2.862
1140	2.164	2.460	2.600	2.748
1200	2.082	2.368	2.502	2.644
1260	2.007	2.282	2.412	2.549
1320	1.939	2.204	2.330	2.462
1380	1.875	2.132	2.253	2.381
1440	1.816	2.065	2.182	2.306

Nota. Se consideró una duración del evento entre 5 y 1440 minutos

Se considera los datos obtenidos anteriormente, teniendo como resultado la Figura 19 que muestra las curvas IDF para cada periodo de retorno respectivo:

Figura 19

Curvas IDF para diferentes periodos de retorno



5.8. Hietogramas

Para la obtención de los hietogramas indicados en la Figura 20, Figura 21,

Figura 22 y Figura 23, se aplicó el método de bloques alternos correspondientes a cada periodo de retorno analizado.

Figura 20

Gráfica de hietograma Tr 10 años

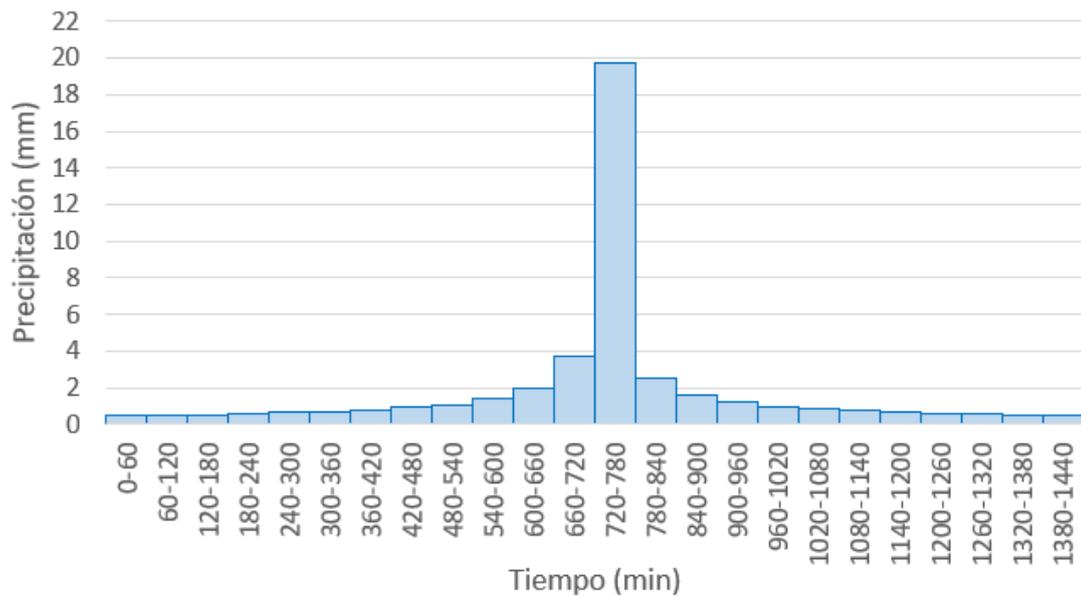


Figura 21

Gráfica de hietograma Tr 50 años

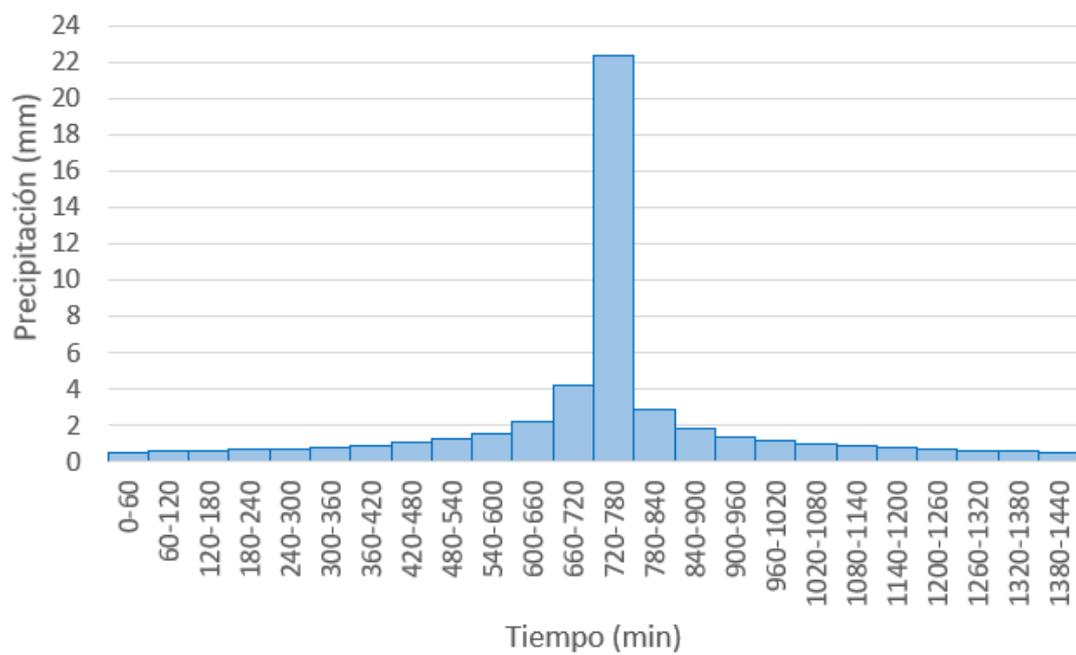


Figura 22
Gráfica de hietograma Tr 100 años

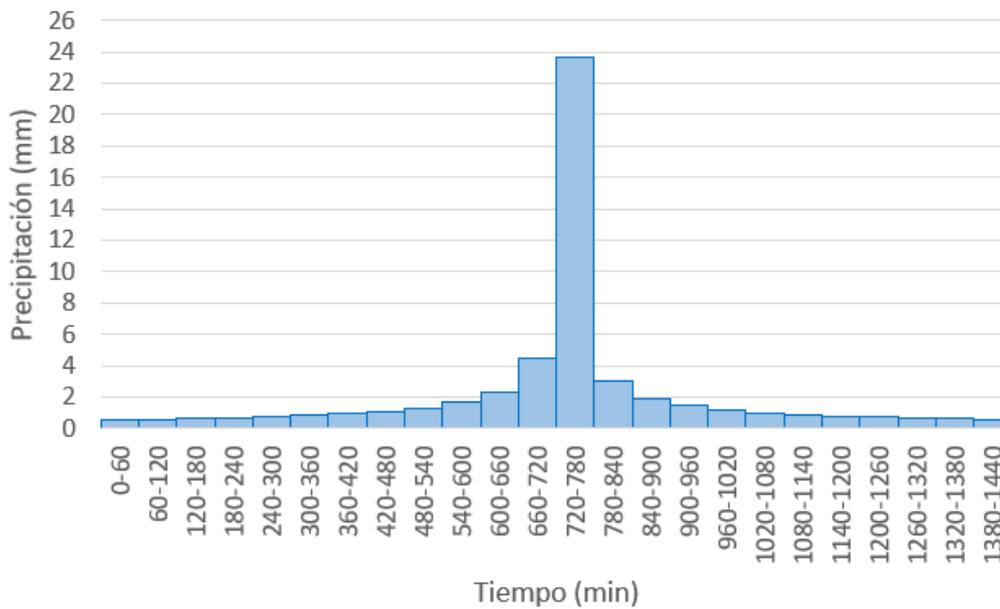
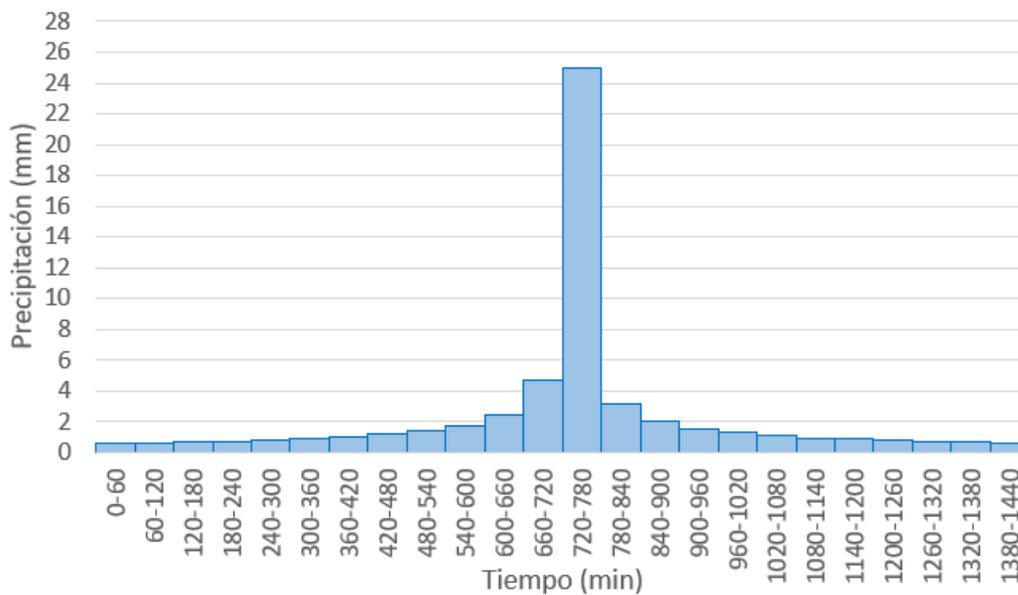


Figura 23
Gráfica de hietograma Tr 200 años



5.9. Estimación del tiempo de concentración

Para determinar el tiempo de concentración se realizó la estimación a través de las 24 ecuaciones mencionadas en la revisión bibliográfica entre la Ecuación 8 y Ecuación 31,

para ser llevadas a un análisis estadístico de los cuales no se consideraron los valores extremos por su afección en los resultados. En la Tabla 13 y Tabla 14 se muestran el análisis estadístico de las ecuaciones de mayor influencia en el modelo:

Tabla 13

Tiempo de concentración para diferentes métodos

Nº	Método de estimación	Tc ₁ (h)	Tc ₂ (h)	Tc ₃ (h)
1	Ahn Lee (1986)	63.86	...	...
2	Bransby - Williams (1998)	19.39	...	...
3	Carter (1961)	2.66	2.66	...
4	Chow et al. (1988)	7.53	7.53	...
5	Corps of Engineers. (1977)	10.33	...	...
6	Dooge (1973)	11.27	...	...
7	Epsy (1995)	58.26	...	...
8	Haktanir and Sezen (1990)	32.54	...	...
9	Johnstone - Cross (1949)	2.03	...	...
10	Kim (2015)	3.83	3.83	...
11	Silveira (2005)	4.86	4.86	4.86
12	Pilgrim and Mac Dermott (1982)	4.18	4.18	...
13	Temez (1978)	16.23	...	...
14	USGS (2000)	0.09	...	...
15	USBR (1973)	135.78	...	...
16	Ventura (2007)	18.77	...	...
17	Yoon (2005)	6.05	6.05	6.05
18	Kirpich (1940)	6.41	6.41	...
19	Ecuación de retardo SCS (1973)	27.94	...	...
20	Haytway	3.95	3.95	...
21	California Culverts Practice (1942)	6.42	6.42	...
22	Federal Aviation Administration (1970)	7.35	7.35	...
23	Izzard (1946)	6.35	6.35	6.35
24	Ecuaciones de onda cinemática Morgali y Linsley (1965)	3.48	3.48	...

Tabla 14

Parámetros estadísticos

Parámetros estadísticos	Tc ₁ (h)	Tc ₂ (h)
Media	19.148	5.255
Error típico	6.099	0.467
Mediana	6.884	5.455
Desviación estándar	29.883	1.623
Varianza de la muestra	893.013	2.635
Curtosis	10.170	-1.426
Coefficiente de asimetría	3.008	-0.095
Rango	135.695	4.867
Mínimo	0.089	2.658
Máximo	135.784	7.525
Suma	459.548	63.057
muestra (n)	24.000	12.000
Nivel de confianza (95.0%)	12.619	1.031

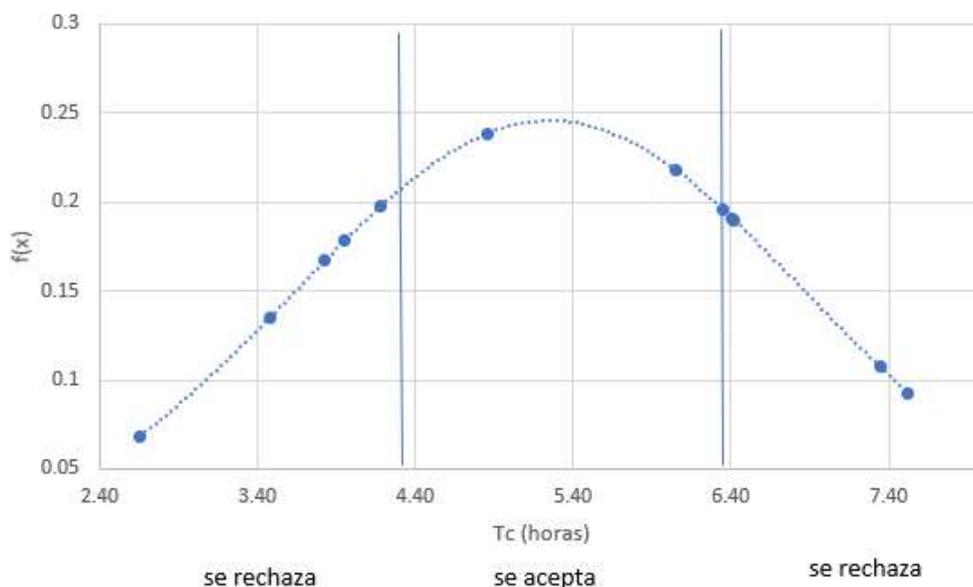
Para estimar el tiempo de concentración promedio, se utilizó la distribución t de Student, con un nivel de confianza del 95%. Este enfoque permite calcular un intervalo de confianza en el cual se espera que el tiempo de concentración promedio se encuentre con una alta probabilidad.

La Tabla 15 muestra los parámetros estadísticos determinados para el tiempo de concentración T_{c2} , con lo cual se puede determinar la distribución normal representada en la Figura 24:

Tabla 15
Parámetros estadísticos T_{c2}

Parámetros estadísticos	Valores
Promedio (μ)	5.254
Desviación estándar (S)	1.623
Muestra (n)	12
Error típico (ET)	0.467
Grados de libertad	11
t (0.975,11)	2.201
Límite inferior	4.223
Límite superior	6.286
Nivel de confianza	0.95

Figura 24
Distribución normal de los T_{c2}



Para determinar el tiempo de concentración, se emplearon los tiempos de concentración de 4.86, 6.05 y 6.35 horas incluidas en el intervalo de confianza correspondiente a t_3 , lo que resultó en un tiempo de concentración promedio de 5.75 horas.

5.10. Curva número de la cuenca

En la Figura 25 se detalla el mapa curva número para la cuenca del río Lurín que fue obtenida del mapa de curva número del Perú a través del ArcGIS, considerando condiciones normales.

Figura 25

Mapa de superficies de curva número de la cuenca en estudio



En la Tabla 16 se identifica los 2 rangos de curva número que corresponde a la cuenca hidrográfica y su ponderación realizada para obtener un valor de $CN = 70.35$:

Tabla 16

Ponderada de curva número en condiciones normales

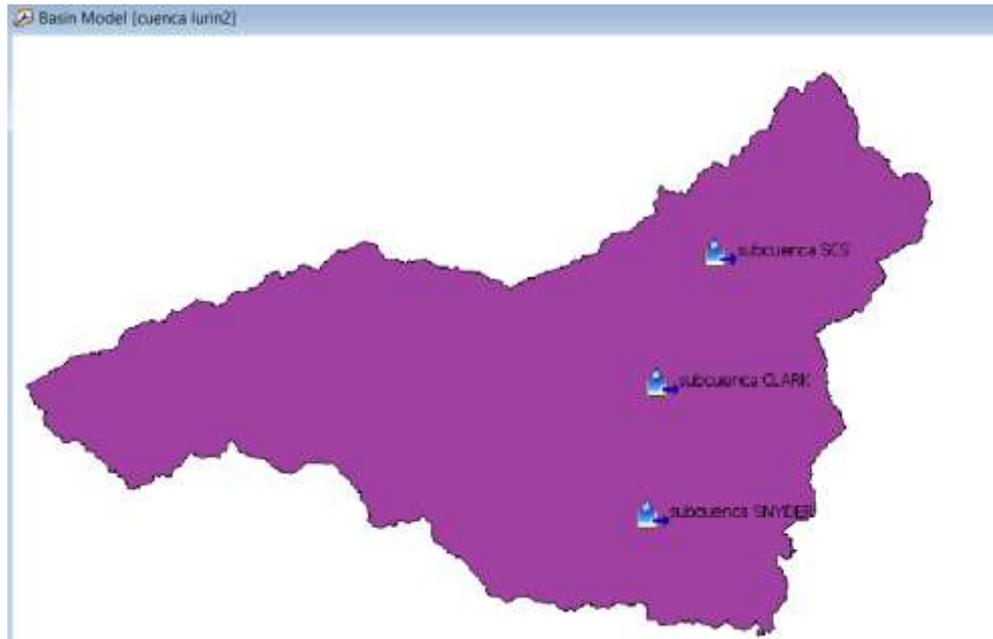
Descripción	Área (Km ²)	CN	CN promedio	CN ponderado
Área 1	4.767	55-66	60.5	288.40
Área 2	504.017	55-66	60.5	30493.03
Área 3	365.784	74-81	77.5	28348.26
Área 4	335.973	74-81	77.5	26037.91
			CN	70.35

5.11. Determinación del caudal máximo

Se empleó el modelo hidrológico Hec-Hms para simular la cuenca en estudio, teniendo en cuenta parámetros de entrada como el área de la cuenca, la curva de número ponderada, los tiempos de concentración, la abstracción inicial y los hietogramas correspondientes a cada periodo de retorno. Los parámetros del modelo hidrológico y la delimitación de la cuenca se especifican en la Tabla 17 y Figura 26 que se presentan a continuación, respectivamente:

Tabla 17*Parámetro del modelo hidrológico*

Parámetros del modelo hidrológico	Valores	Unidades
Área	1210.86	km ²
CN	70.35	adimensional
Tiempo de concentración	5.75	horas
Tiempo de retardo	0.6*Tc	horas

Figura 26*Delimitación de cuenca en el software HEC – HMS***5.11.1. Método del SCS**

Se consideró los parámetros de ingreso a la cuenca considerando método de pérdidas según la SCS curva número. Además, considerando el tiempo de retardo un 60% del tiempo de concentración, se obtuvo los parámetros e hidrograma expresados en la Tabla 18 y Tabla 19, respectivamente:

Tabla 18*Parámetros considerados en Método SCS*

Parámetros	Valores	Unidades
Tc	345	min
T lag	207	min
CN	70.35	adimensional
Io	21.41	mm

Tabla 19
Hidrograma Método SCS

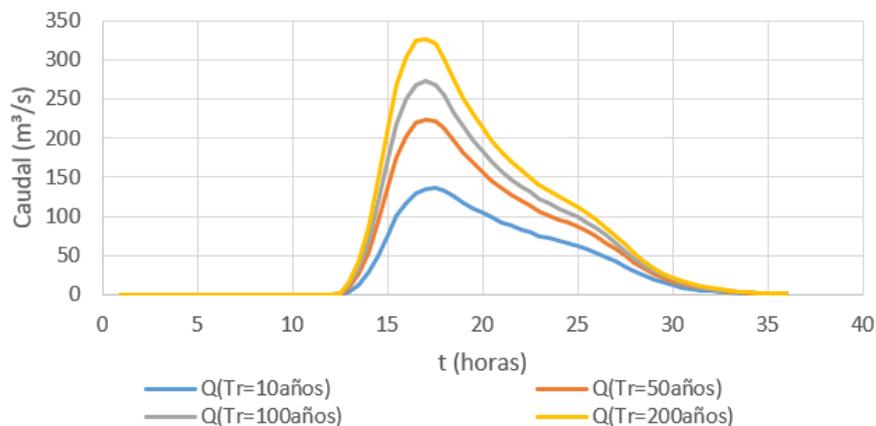
Duración Horas	Periodo de retorno (años)			
	10 Q(m ³ /s)	50 Q(m ³ /s)	100 Q(m ³ /s)	200 Q(m ³ /s)
00:00	0	0	0	0
00:30	0	0	0	0
01:00	0	0	0	0
01:30	0	0	0	0
02:00	0	0	0	0
02:30	0	0	0	0
03:00	0	0	0	0
03:30	0	0	0	0
04:00	0	0	0	0
04:30	0	0	0	0
05:00	0	0	0	0
05:30	0	0	0	0
06:00	0	0	0	0
06:30	0	0	0	0
07:00	0	0	0	0
07:30	0	0	0	0
08:00	0	0	0	0
08:30	0	0	0	0
09:00	0	0	0	0
09:30	0	0	0	0
10:00	0	0	0	0
10:30	0	0	0	0
11:00	0	0	0	0
11:30	0	0	0	0
12:00	0	0	0	0
12:30	0.1	0.7	1.2	1.9
13:00	4	8.7	11.7	15.3
13:30	13.3	26.2	33.9	43.1
14:00	28	53.4	68.3	85.9
14:30	50.6	93.6	118.3	147.2
15:00	77.1	138.7	173.4	213.7
15:30	100.4	176.4	218.6	267.2
16:00	117.9	203	249.7	303.4
16:30	130.2	219.7	268.3	323.9
17:00	135.5	224.4	272.4	327
17:30	136.9	222.5	268.4	320.3
18:00	133.6	212.9	254.9	302.3
18:30	125.5	196.1	233.2	274.8
19:00	117.7	180.9	214	251
19:30	110.8	167.9	197.6	230.8
20:00	104.3	156.2	183.1	213
20:30	98.6	146.1	170.6	197.8
21:00	93.1	136.5	158.8	183.5
21:30	88	127.7	148.1	170.5
22:00	83.4	120.2	138.9	159.5
22:30	79.3	113.3	130.6	149.6
23:00	75.4	107.1	123.1	140.7
23:30	72	101.6	116.5	132.8
00:00	68.8	96.6	110.6	125.9
00:30	65.8	91.9	105	119.3
01:00	62.4	86.9	99.1	112.4
01:30	58.6	81.2	92.5	104.8
02:00	53.8	74.4	84.7	95.9
02:30	48.1	66.4	75.5	85.4

03:00	42	57.8	65.7	74.3
03:30	35.7	49.2	55.9	63.2
04:00	29.7	40.9	46.5	52.5
04:30	24.3	33.4	38	42.9
05:00	19.5	26.9	30.5	34.5
05:30	15.5	21.3	24.2	27.3
06:00	12.3	16.9	19.2	21.7
06:30	9.8	13.5	15.3	17.2
07:00	7.8	10.7	12.1	13.6
07:30	6.2	8.5	9.6	10.9
08:00	5	6.8	7.7	8.6
08:30	3.9	5.4	6.1	6.9
09:00	3.1	4.3	4.8	5.5
09:30	2.5	3.4	3.8	4.3
10:00	2	2.7	3	3.4
10:30	1.6	2.1	2.4	2.7
11:00	1.2	1.7	1.9	2.1
11:30	1	1.3	1.5	1.7
12:00	0.8	1	1.2	1.3

En la Figura 27 se detalla los caudales picos para cada periodo de retorno y la duración del evento en horas:

Figura 27

Gráfica del hidrograma por el Método SCS



5.11.2. Método de Clark

El método de Clark requiere la estimación del coeficiente de almacenamiento, expresado en horas (HR). Para determinarlo, se considera el 66.7% del tiempo de concentración, se obtuvo los parámetros e hidrograma expresados en la Tabla 20 y Tabla 21, respectivamente:

Tabla 20

Parámetros considerados en Método de Clark

Parámetros	Valores	Unidades
Tc	5.75	horas
HR (storage coefficient)	3.84	horas
CN	70.35	adimensional
Io	21.41	mm

Tabla 21
Hidrograma Método Clark

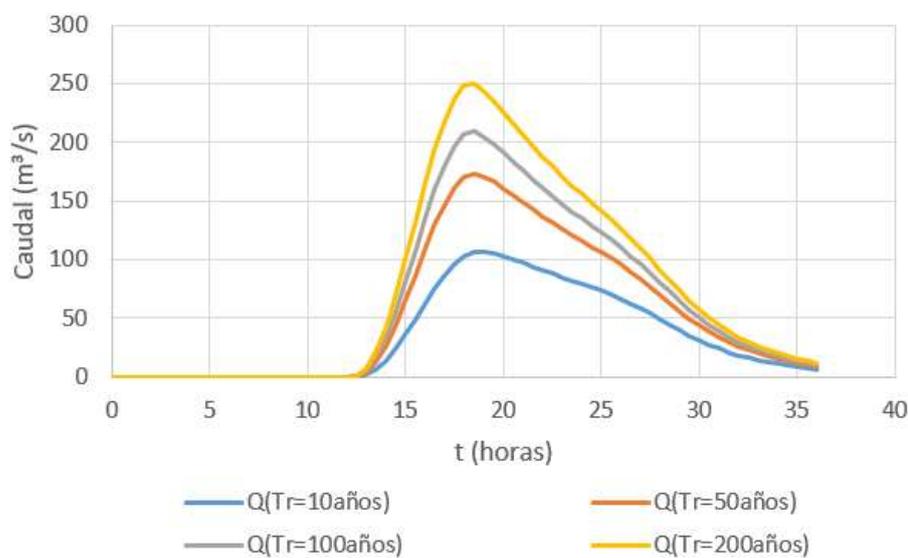
Horas	Periodo de retorno (años)			
	10 Q(m ³ /s)	50 Q(m ³ /s)	100 Q(m ³ /s)	200 Q(m ³ /s)
0:00	0	0	0	0
0:30	0	0	0	0
1:00	0	0	0	0
1:30	0	0	0	0
2:00	0	0	0	0
2:30	0	0	0	0
3:00	0	0	0	0
3:30	0	0	0	0
4:00	0	0	0	0
4:30	0	0	0	0
5:00	0	0	0	0
5:30	0	0	0	0
6:00	0	0	0	0
6:30	0	0	0	0
7:00	0	0	0	0
7:30	0	0	0	0
8:00	0	0	0	0
8:30	0	0	0	0
9:00	0	0	0	0
9:30	0	0	0	0
10:00	0	0	0	0
10:30	0	0	0	0
11:00	0	0	0	0
11:30	0	0	0	0
12:00	0	0	0	0
12:30	0	0.3	0.5	0.8
13:00	1.8	4	5.4	7.1
13:30	6.7	13.2	17.2	21.8
14:00	14.3	27.1	34.5	43.2
14:30	24.1	44.4	56	69.5
15:00	35.7	64.5	80.7	99.7
15:30	48.8	86.7	107.9	132.5
16:00	62.4	109.1	135.1	165.1
16:30	75.2	129.7	159.7	194.2
17:00	86.6	147.2	180.4	218.5
17:30	96	161.1	196.5	237
18:00	103	170.3	206.8	248.3
18:30	106.3	173.2	209.1	249.8
19:00	106.4	170.7	205	243.8
19:30	104.9	166	198.5	235.1
20:00	102.7	160.6	191.2	225.7
20:30	100	154.8	183.6	216
21:00	97.1	148.8	175.9	206.3
21:30	94.1	142.9	168.4	196.9
22:00	91.1	137.1	161	187.8
22:30	88	131.4	154	179.1
23:00	85	126	147.2	170.8
23:30	82.1	120.8	140.8	163
0:00	79.3	115.9	134.8	155.7
0:30	76.4	111.1	128.9	148.6
1:00	73.5	106.2	122.9	141.5
1:30	70.2	101	116.7	134.1
2:00	66.6	95.5	110.1	126.4

2:30	62.7	89.5	103.2	118.2
3:00	58.4	83.2	95.8	109.6
3:30	53.9	76.5	88	100.7
4:00	49.1	69.6	80	91.5
4:30	44.3	62.7	72.1	82.3
5:00	39.5	55.9	64.2	73.4
5:30	34.9	49.4	56.8	64.8
6:00	30.7	43.4	49.9	57
6:30	27	38.1	43.8	50
7:00	23.7	33.5	38.4	43.9
7:30	20.8	29.4	33.7	38.5
8:00	18.2	25.8	29.6	33.8
8:30	16	22.6	26	29.7
9:00	14	19.9	22.8	26.1
9:30	12.3	17.4	20	22.9
10:00	10.8	15.3	17.6	20.1
10:30	9.5	13.4	15.4	17.6
11:00	8.3	11.8	13.5	15.5
11:30	7.3	10.4	11.9	13.6
12:00	6.4	9	10.3	11.7

En la Figura 28 se detalla los caudales picos para cada periodo de retorno y la duración del evento en horas

Figura 28

Gráfica del hidrograma por el Método Clark



5.11.3. Método de Snyder

En este método, se considera que el tiempo de retardo es el 60% del tiempo de concentración, expresado en horas. Además, se emplea un coeficiente pico de 0.8. en la Tabla 22 y Tabla 23 se muestra los parámetros e hidrograma respectivamente:

Tabla 22*Parámetros considerados en método SNYDER*

Parámetros	Valores	Unidades
Tc	5.75	horas
Peak coefficient	0.8	adimensional
CN	70.35	adimensional
T lag	3.45	horas

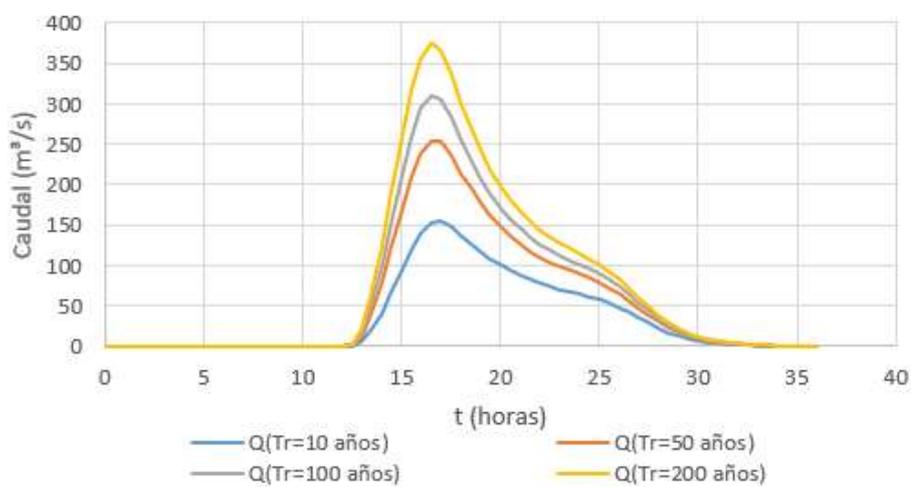
Tabla 23*Hidrograma método SNYDER*

Horas	Periodo de retorno (años)			
	10 Q(m ³ /s)	50 Q(m ³ /s)	100 Q(m ³ /s)	200 Q(m ³ /s)
0:00	0	0	0	0
0:30	0	0	0	0
1:00	0	0	0	0
1:30	0	0	0	0
2:00	0	0	0	0
2:30	0	0	0	0
3:00	0	0	0	0
3:30	0	0	0	0
4:00	0	0	0	0
4:30	0	0	0	0
5:00	0	0	0	0
5:30	0	0	0	0
6:00	0	0	0	0
6:30	0	0	0	0
7:00	0	0	0	0
7:30	0	0	0	0
8:00	0	0	0	0
8:30	0	0	0	0
9:00	0	0	0	0
9:30	0	0	0	0
10:00	0	0	0	0
10:30	0	0	0	0
11:00	0	0	0	0
11:30	0	0	0	0
12:00	0	0	0	0
12:30	0.1	1	1.6	2.5
13:00	5.5	12.2	16.5	21.8
13:30	20.2	39.7	51.3	65.1
14:00	41.4	77.9	99	123.7
14:30	67	122.4	153.8	190.5
15:00	94.6	168.8	210.5	258.7
15:30	120	209.7	259.4	316.6
16:00	139.5	239	293.5	356
16:30	151.9	254.8	310.5	374.1
17:00	154.6	253.5	306.4	366.3
17:30	147.8	236.5	283.5	336.4
18:00	137.1	214.5	255.1	300.8
18:30	126.7	194.4	229.6	269.1
19:00	117	176.5	207.3	241.6
19:30	108.3	161	188.1	218.1
20:00	100.6	147.5	171.6	198.2
20:30	93.8	136	157.5	181.3
21:00	87.8	126.1	145.5	166.9

21:30	82.6	117.6	135.2	154.6
22:00	78	110.2	126.4	144.2
22:30	73.9	103.8	118.8	135.2
23:00	70.3	98.2	112.1	127.4
23:30	67.2	93.3	106.4	120.6
0:00	64.3	89	101.3	114.7
0:30	61.5	84.6	96.1	108.6
1:00	57.3	78.4	88.9	100.3
1:30	53	72.4	82	92.5
2:00	47.8	65.2	73.8	83.2
2:30	41.8	57	64.5	72.6
3:00	35.2	48	54.3	61.1
3:30	28.6	38.9	44	49.5
4:00	22.3	30.3	34.2	38.5
4:30	16.7	22.7	25.7	28.9
5:00	12.4	16.8	19	21.4
5:30	9.1	12.4	14	15.8
6:00	6.7	9.1	10.3	11.6
6:30	4.9	6.7	7.6	8.5
7:00	3.6	4.9	5.5	6.2
7:30	2.6	3.6	4	4.5
8:00	1.9	2.6	2.9	3.3
8:30	1.3	1.8	2.1	2.3
9:00	0.9	1.3	1.5	1.6
9:30	0.7	0.9	1	1.1
10:00	0.4	0.6	0.7	0.7
10:30	0.3	0.4	0.4	0.5
11:00	0.2	0.2	0.2	0.3
11:30	0.1	0.1	0.1	0.1
12:00	0	0	0	0

En la Figura 29 se muestra los caudales picos para cada periodo de retorno y la duración del evento en horas:

Figura 29
Gráfica del hidrograma por el Método Clark



5.11.4. Método de Creager

Se estableció que la cuenca del río Lurín está en la región 4, la cual pertenece a la costa central, tal como se muestra en la Tabla 1. En consecuencia, se emplearán los coeficientes indicados en la Tabla 24 correspondientes a esta región.

Tabla 24
Características y coeficientes de las regiones

Región	C1	C2	m	n
1	1.01	4.37	1.02	0.04
2	0.1	1.28	1.02	0.04
3	0.27	1.48	1.02	0.04
4	0.09	0.36	1.24	0.04
5	0.11	0.26	1.24	0.04
6	0.18	0.31	1.24	0.04
7	0.22	0.37	1.24	0.04

Nota. ANA (2014)

En la obtención del caudal se utilizó la Ecuación 34, cuyos caudales obtenidos se expresan a continuación en la Tabla 25 para cada periodo respectivo.

Tabla 25
Caudales máximos obtenidos Método Creager

Método de Creager	
TR (años)	Q(m ³ /s)
10	339.5985
50	576.9677
100	679.1971
200	781.4264

El cuadro resumen de caudales máximos obtenidos por los 4 métodos tratados se expone en la Tabla 26. Además, se realizó un análisis estadístico considerando un periodo de retorno de 10 años a los métodos tratados, para seleccionar el caudal más confiable, obteniéndose los principales parámetros significativos indicados en la

Tabla 27.

Tabla 26
Caudal máximo para diferentes métodos y Periodo de retorno

	Método SCS	Método Clark	SNYDER	Método de Creager
TR (años)	Q (m ³ /s)	Q(m ³ /s)	Q(m ³ /s)	Q(m ³ /s)
10	136.9	106.4	154.600	339.5985
50	224.4	173.2	254.800	576.9677
100	272.4	209.1	310.5	679.1971
200	327	249.8	374.1	781.4264

Tabla 27*Análisis estadístico de caudales máximos*

Parámetros estadísticos	Caudales
Media	184.375
Error típico	52.690
Mediana	145.750
Desviación estándar	105.381
Varianza de la muestra	11105.109
Curtosis	3.350
Coefficiente de asimetría	1.785
Rango	233.200
Mínimo	106.400
Máximo	339.600
Suma	737.500
Cuenta	4
Nivel de confianza (95.0%)	167.684

También se llevó a cabo un análisis estadístico de los métodos de obtención del caudal máximo, obteniendo los resultados expresados en la Tabla 28. Para la elección de los caudales se optó por el método SCS, ya que es el que mejor se ajusta a la mediana.

Tabla 28*Análisis estadísticos utilizando la distribución t de Student*

Parámetros estadísticos	Valores
Promedio (μ)	184.375
Desviación estándar (S)	105.38
Muestra (n)	4
Error típico (ET)	52.69
Grados de libertad	3
t (0.975,11)	3.182
Límite inferior	16.714
Límite superior	352.036
Nivel de confianza	0.95

5.12. Simulación hidráulica

5.12.1. Coeficiente de rugosidad Manning

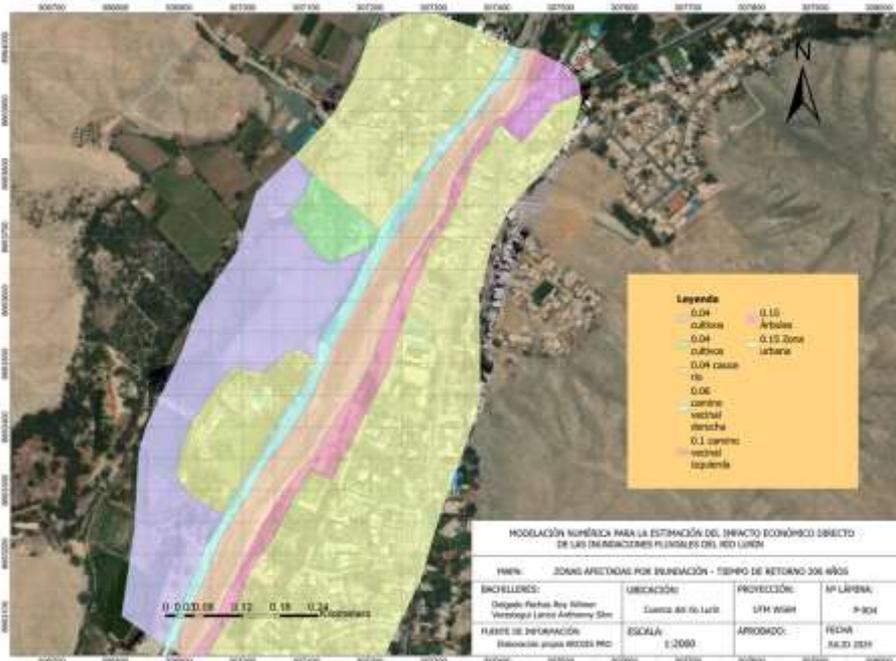
En la Tabla 29 se muestra el coeficiente de rugosidad considerando las condiciones del río y el tipo de suelo del área de inundación para condiciones normales.

Tabla 29*Coeficiente de Manning para cada tipo de suelo*

Tipo de suelo	n (coeficiente de Manning)
Río	0.04
Áreas cultivadas	0.04
Área urbana	0.15
Árboles	0.15
Camino vecinal izquierdo	0.10
Camino vecinal derecho	0.06

Nota. Tomado del manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje (MTC 2011)
 Teniendo como resultado en la Figura 30 el mapa de rugosidades de forma sectorizada.

Figura 30
Clasificación del coeficiente de rugosidad de Manning

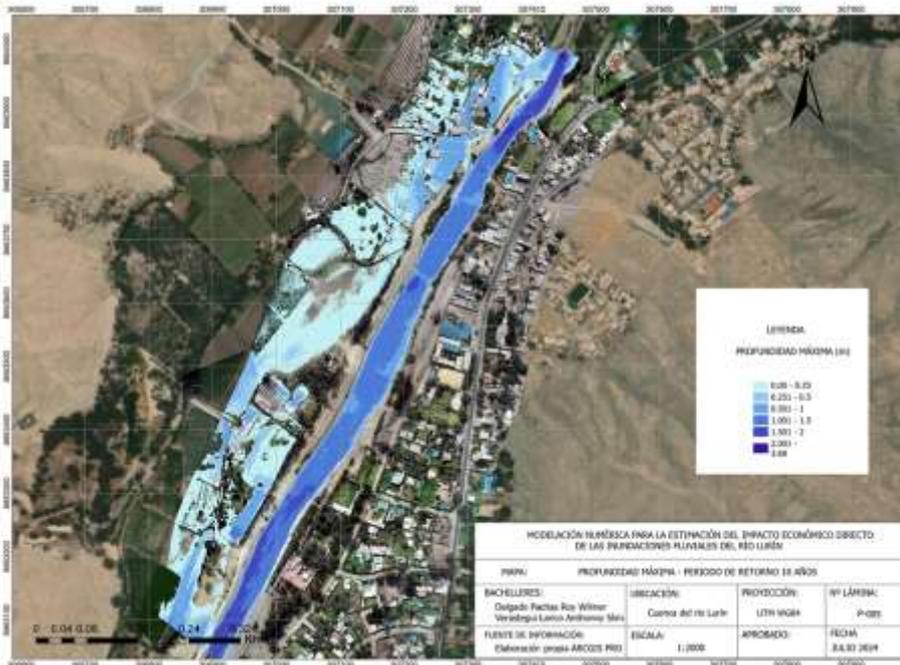


5.12.2. Resultados de modelación hidráulica bidimensional en HEC RAS

5.12.2.1. Periodo de retorno 10 años.

En la Figura 31 los resultados de profundidades de inundación máxima tuvieron un valor promedio de 0.60 m para un periodo de retorno de 10 años.

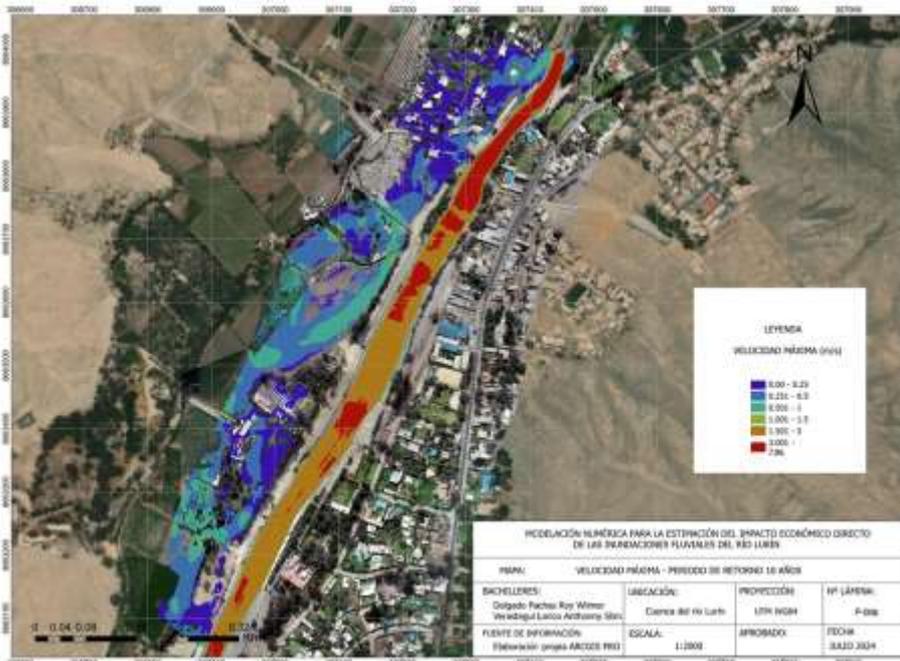
Figura 31
Profundidad de inundación máxima – $Tr = 10$ años



Los resultados de velocidades máximas tuvieron un valor promedio de 1.21 m/s para un periodo de retorno de 10 años como se muestra en la Figura 32:

Figura 32

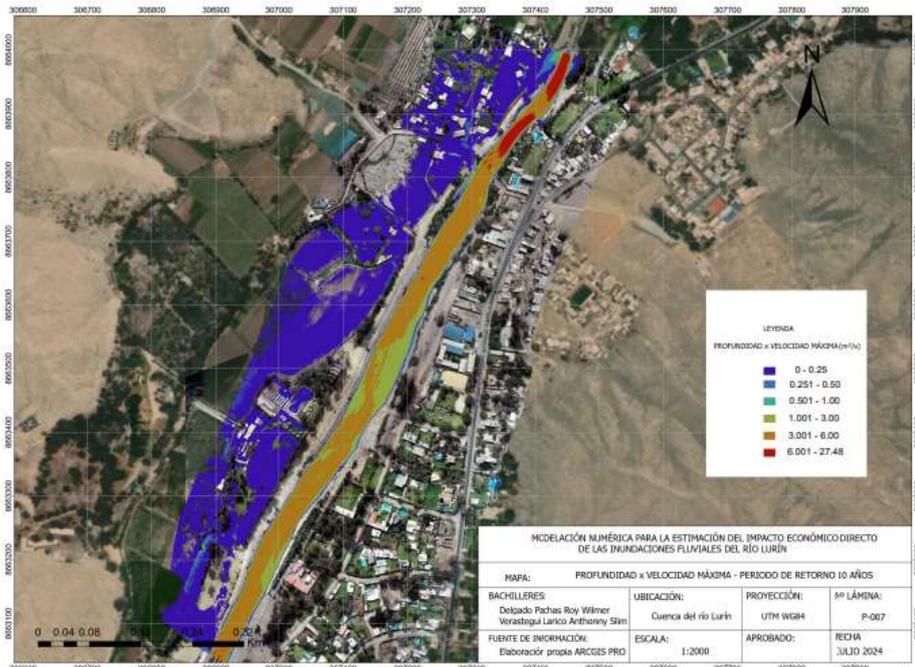
Plano de velocidades máximas – $Tr = 10$ años



Los resultados de profundidad por velocidad máxima tuvieron un valor promedio de 1.31 m.m/s para un periodo de retorno de 10 años como se muestra en la Figura 33:

Figura 33

Plano de profundidad por velocidad máxima – $Tr = 10$ años

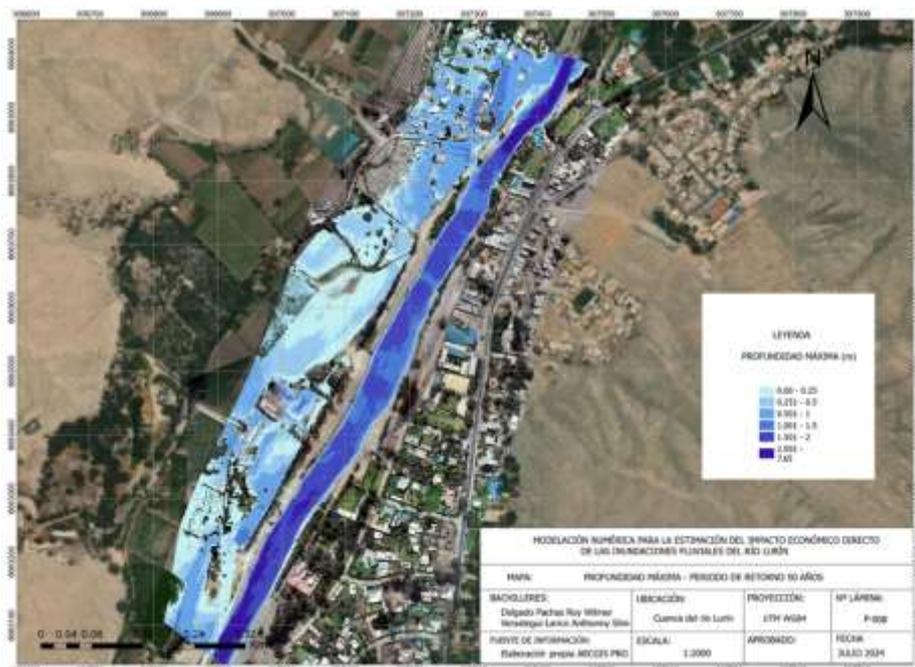


5.12.2.2. Periodo de retorno 50 años.

En la Figura 34 los resultados de profundidades de inundación máxima tuvieron un valor promedio de 0.76 m para un periodo de retorno de 50 años.

Figura 34

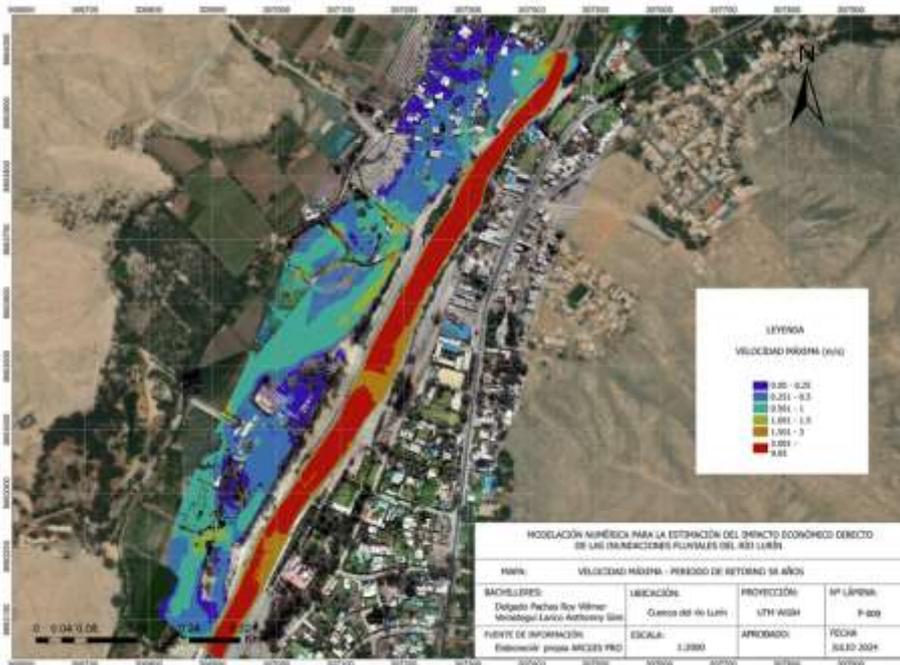
Profundidad de inundación máxima – $Tr = 50$ años



Los resultados de velocidades máximas tuvieron un valor promedio de 1.36 m/s para un periodo de retorno de 50 años como se muestra en la Figura 35:

Figura 35

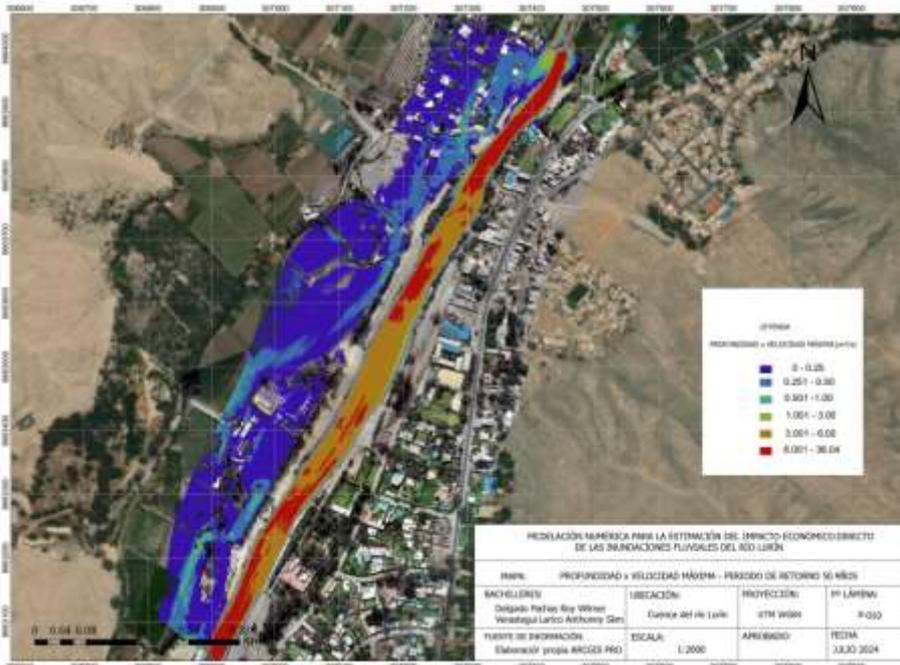
Plano de velocidades máximas – $Tr = 50$ años



Los resultados de profundidad por velocidad máxima tuvieron un valor promedio de 1.79 m.m/s para un periodo de retorno de 50 años como se muestra en la Figura 36:

Figura 36

Plano de profundidad por velocidad máxima – $Tr=50$ años

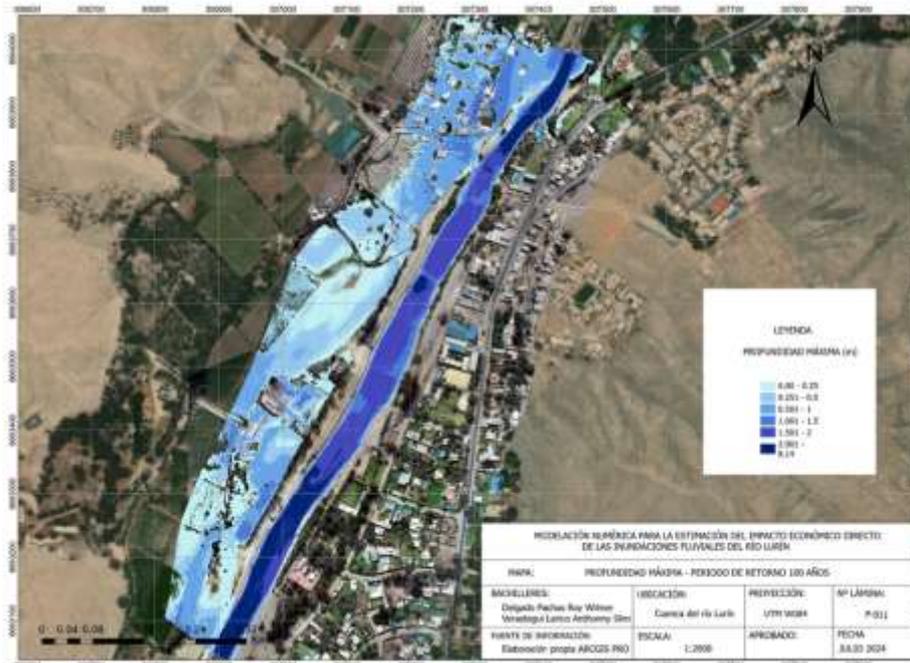


5.12.2.3. Periodo de retorno 100 años

La Figura 37 muestra los resultados de profundidades de inundación máxima cuyo valor promedio fueron de 0.83 m para un periodo de retorno de 100 años:

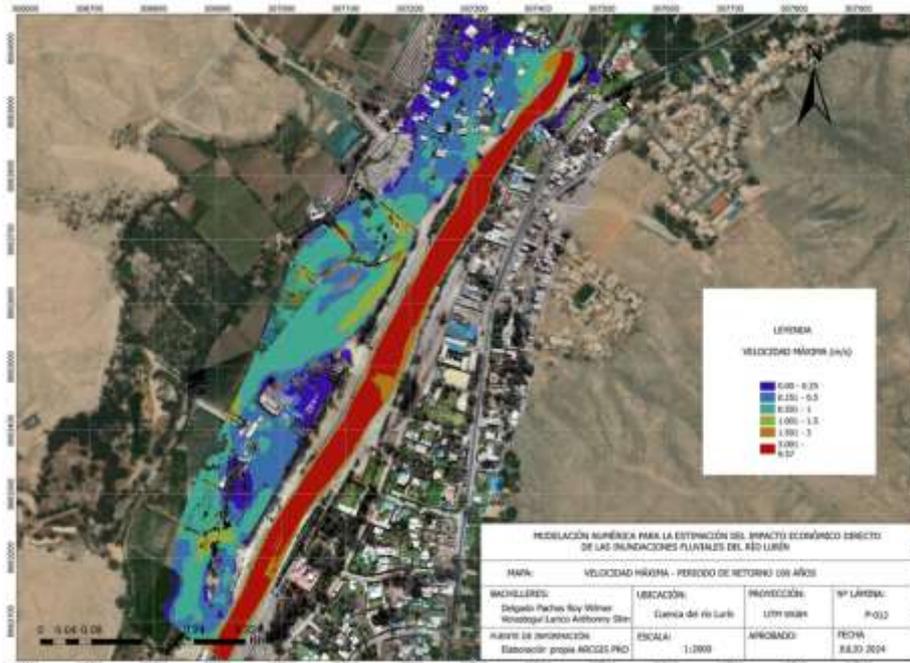
Figura 37

Profundidad de inundación máxima – $Tr = 100$ años



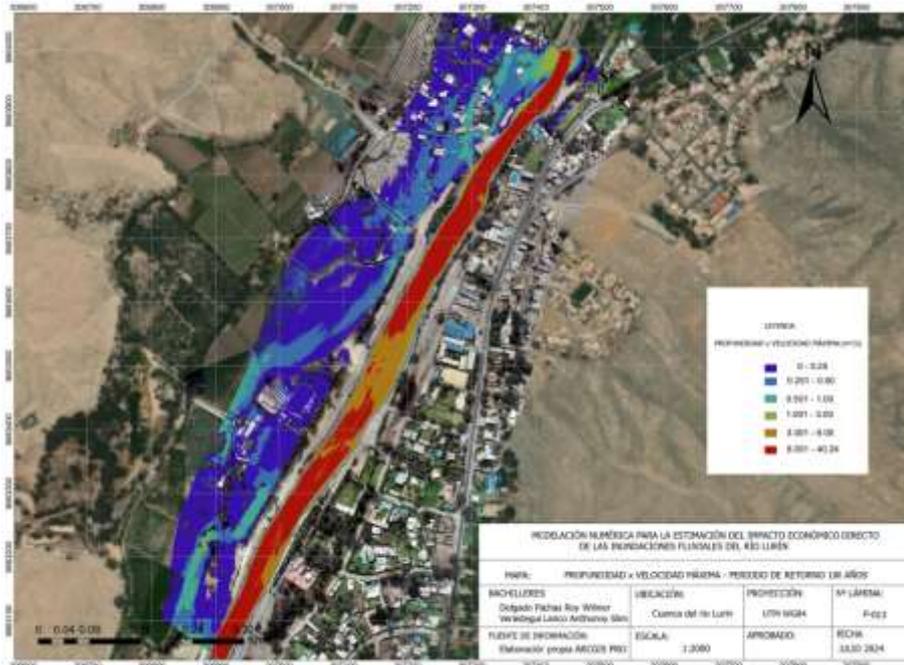
Los resultados de velocidades máximas tuvieron un valor promedio de 1.43 m/s para un periodo de retorno de 100 años como se muestra en la Figura 38:

Figura 38
Plano de velocidades máximas – $Tr = 100$ años



Los resultados de profundidad por velocidad máxima tuvieron un valor promedio de 2.06 m.m/s para un periodo de retorno de 100 años como se observa en la Figura 39:

Figura 39
Plano de profundidad por velocidad máxima – $Tr = 100$ años

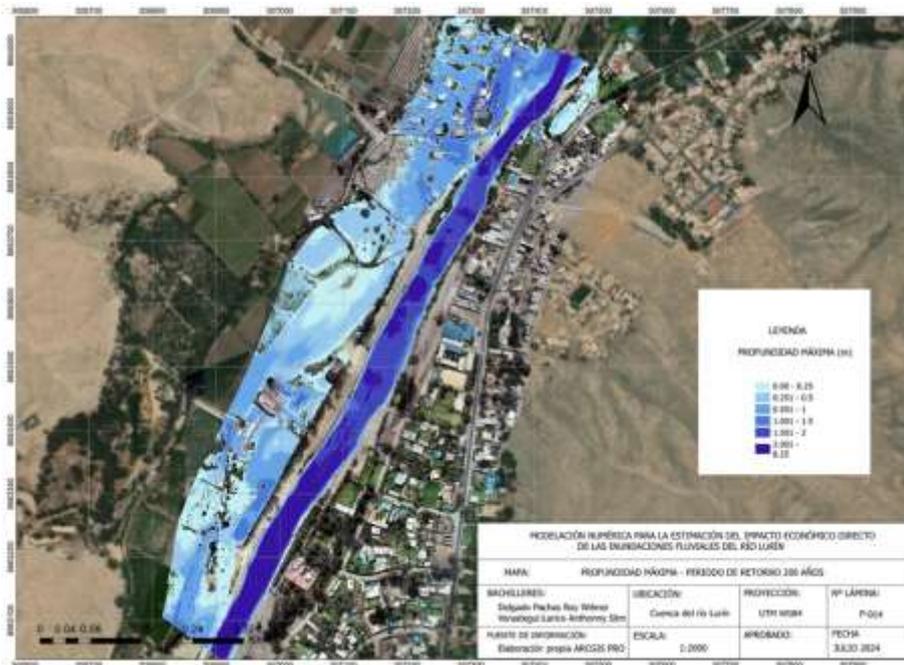


5.12.2.4. Periodo de retorno 200 años

En la Figura 40 se muestran las profundidades de inundación máxima que tuvieron un valor promedio de 0.91 m para un periodo de retorno de 200 años.

Figura 40

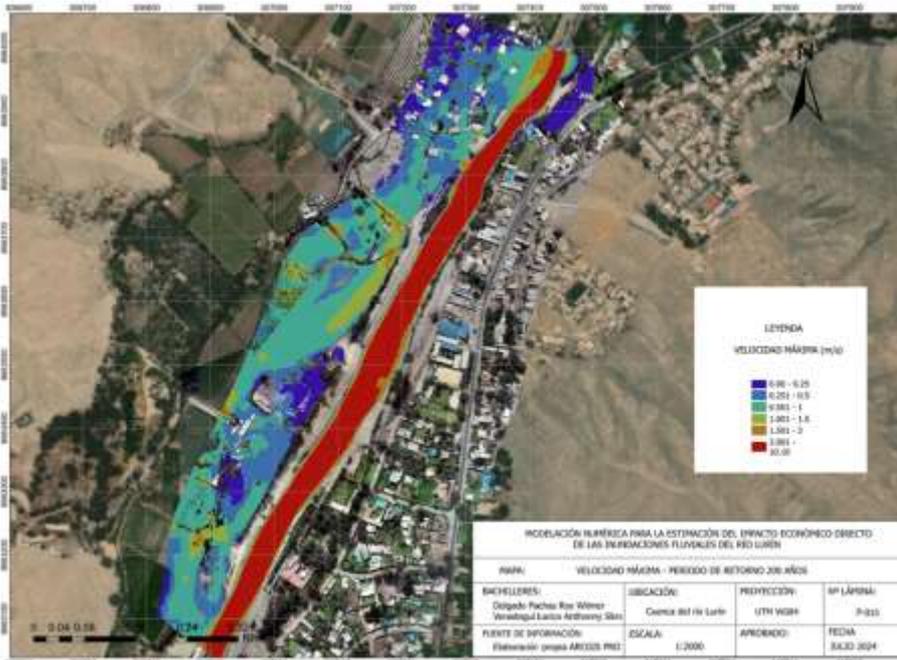
Profundidad de inundación máxima – $Tr = 200$ años



En la Figura 41 se muestran los resultados de velocidades máximas que tuvieron un valor promedio de 1.49 m/s para un periodo de retorno de 200 años.

Figura 41

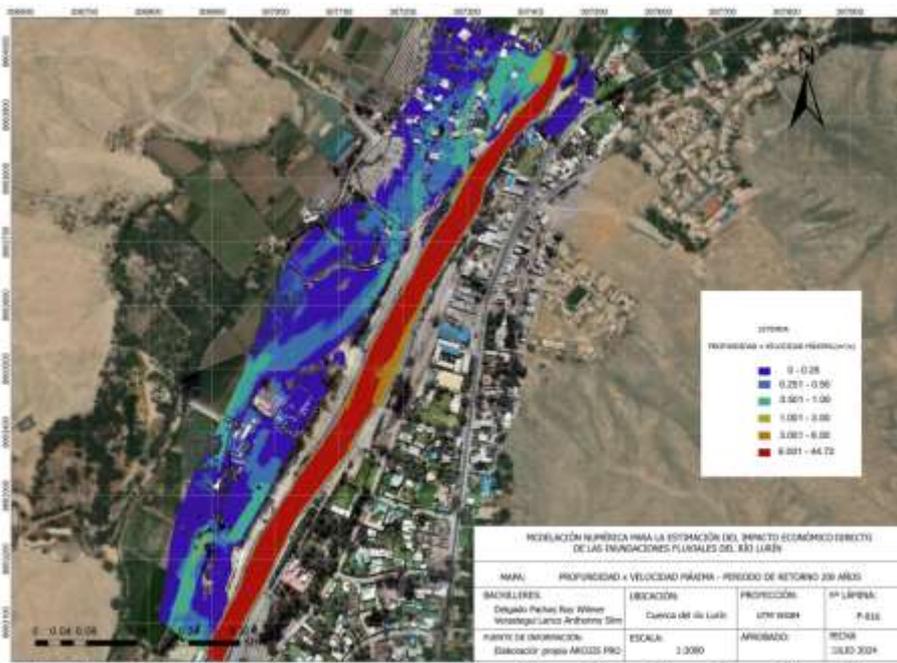
Plano de velocidades máximas – $Tr = 200$ años



En la Figura 42 se muestran los resultados de profundidad por velocidad máxima que tuvieron un valor promedio de 2.35 m.m/s para un periodo de retorno de 200 años.

Figura 42

Plano de profundidad por velocidad máxima – $Tr = 200$ años



5.13. Análisis de vulnerabilidad

5.13.1. Clasificación de intensidad de amenaza

Para clasificar la intensidad de amenaza, utilizamos la Figura 9 proporcionada por el Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI). Esta figura clasifica la intensidad de

amenaza según la profundidad del agua en la inundación generada por el modelamiento del río Lurín.

A continuación, se presentan los resultados de la intensidad de amenaza en la Tabla 30, Tabla 31, Tabla 32 y Tabla 33 para cada periodo de retorno y tipo de estructura:

Tabla 30

Intensidad de amenaza para un periodo de retorno de 10 años

Profundidad (m)	N° de lotes	Tipo de lotes	Clasificación de la intensidad de Amenaza
0.00-0.25	8	Viviendas	Baja
	3	Comercio	
	6	Área de cultivo	
0.25-0.50	2	Viviendas	Media
	1	Comercio	
	4	Área de cultivo	
0.50-1.00	-	Viviendas	Alta
	3	Comercio	
	-	Área de cultivo	
1.00-1.50	-	Viviendas	Alta
	-	Comercio	
	-	Área de cultivo	
1.50-2.00	-	Viviendas	Muy Alta
	-	Comercio	
	-	Área de cultivo	
Sin inundación	8		
Lotes evaluados	35		

Tabla 31

Intensidad de amenaza para un periodo de retorno de 50 años

Profundidad (m)	N° de estructuras	Tipo de lotes	Clasificación de la intensidad de Amenaza
0.00-0.25	-	Viviendas	Baja
	1	Comercio	
	3	Área de cultivo	
0.25-0.50	5	Viviendas	Media
	2	Comercio	
	5	Área de cultivo	
0.50-1.00	5	Viviendas	Alta
	3	Comercio	
	2	Área de cultivo	
1.00-1.50	-	Viviendas	Alta
	2	Comercio	
	-	Área de cultivo	
1.50-2.00	-	Viviendas	Muy Alta
	-	Comercio	
	-	Área de cultivo	
Sin inundación	7		
Lotes evaluados	35		

Tabla 32

Intensidad de amenaza para un periodo de retorno de 100 años

Profundidad (m)	N° de estructuras	Tipo de estructura	Clasificación de la intensidad de Amenaza
0.00-0.25	-	Viviendas	Baja
	3	Comercio	
	1	Área de cultivo	
0.25-0.50	-	Viviendas	Media
	-	Comercio	
	5	Área de cultivo	
0.50-1.00	10	Viviendas	Alta
	5	Comercio	
	4	Área de cultivo	
1.00-1.50	-	Viviendas	Alta
	3	Comercio	
	-	Área de cultivo	
1.50-2.00	-	Viviendas	Muy Alta
	-	Comercio	
	-	Área de cultivo	
Sin inundación	4		
Lotes evaluados	35		

Tabla 33

Intensidad de amenaza para un periodo de retorno de 200 años

Profundidad (m)	N° de estructuras	Tipo de estructura	Clasificación de la intensidad de Amenaza
0.00-0.25	1	Viviendas	Baja
	2	Comercio	
	-	Área de cultivo	
0.25-0.50	-	Viviendas	Media
	1	Comercio	
	5	Área de cultivo	
0.50-1.00	9	Viviendas	Alta
	3	Comercio	
	5	Área de cultivo	
1.00-1.50	1	Viviendas	Alta
	3	Comercio	
	-	Área de cultivo	
1.50-2.00	-	Viviendas	Muy Alta
	2	Comercio	
	-	Área de cultivo	
Sin inundación	3		
Lotes evaluados	35		

Con base en los datos obtenidos sobre la intensidad de amenaza a las estructuras, se determina el porcentaje de influencia que dicha amenaza ejerce en la zona analizada. A continuación, se presenta la Tabla 34, Tabla 35,

Tabla 36 y Tabla 37 correspondientes:

Tabla 34

Porcentaje de influencia para un periodo de retorno de 10 años

Clasificación	N° de lotes	% de influencia
Intensidad de amenaza baja	17	49%
Intensidad de amenaza media	7	20%
Intensidad de amenaza alta	3	9%
Intensidad de amenaza muy alta	0	0%
Sin inundación	8	23%
Total de lotes evaluados		35

Tabla 35

Porcentaje de influencia para un periodo de retorno de 50 años

Clasificación	N° de lotes	% de influencia
Intensidad de amenaza baja	4	11%
Intensidad de amenaza media	12	34%
Intensidad de amenaza alta	12	34%
Intensidad de amenaza muy alta	0	0%
Sin inundación	7	20%
Total de lotes evaluadas		35

Tabla 36

Porcentaje de influencia para un periodo de retorno de 100 años

Clasificación	N° de lotes	% de influencia
Intensidad de amenaza baja	4	11%
Intensidad de amenaza media	5	14%
Intensidad de amenaza alta	22	63%
Intensidad de amenaza muy alta	0	0%
Sin inundación	4	11%
Total de lotes evaluadas		35

Tabla 37

Porcentaje de influencia para un periodo de retorno de 200 años

Clasificación	N° de lotes	% de influencia
Intensidad de amenaza baja	3	9%
Intensidad de amenaza media	6	17%
Intensidad de amenaza alta	21	60%
Intensidad de amenaza muy alta	2	6%
Sin inundación	3	9%
Total de lotes evaluadas		35

5.13.2. Evaluación de vulnerabilidad

5.13.2.1. Exposición física urbana y agrícola.

Según la Ecuación 41, la zona estudiada respecto a los lotes mostrados en la Figura 43, tiene un índice de exposición física urbana de 3.34, lo cual ubica a la zona en un nivel de vulnerabilidad muy alta. Como se muestra en la Tabla 38:

Tabla 38*Índice de exposición física urbana por lote*

Lote	Tipo de vivienda	Cercanía al cauce	Diferencia de cota respecto al cauce	Presencia de obras de protección	Índice final
1	0.80	1.80	0.30	0.40	3.30
2	0.80	1.80	0.30	0.40	3.30
3	0.60	1.80	0.30	0.40	3.10
4	0.40	2.40	0.30	0.40	3.50
5	0.60	2.40	0.30	0.40	3.70
6	0.40	1.80	0.30	0.40	2.90
7	0.60	1.80	0.30	0.40	3.10
8	0.40	1.80	0.30	0.40	2.90
9	0.60	1.80	0.30	0.40	3.10
10	0.60	1.80	0.30	0.40	3.10
11	0.40	2.40	0.30	0.40	3.50
12	0.40	2.40	0.30	0.40	3.50
13	0.40	2.40	0.30	0.40	3.50
14	0.40	2.40	0.30	0.40	3.50
15	0.60	2.40	0.20	0.40	3.60
16	0.60	2.40	0.20	0.40	3.60
17	0.60	2.40	0.20	0.40	3.60
18	0.60	2.40	0.30	0.40	3.70
19	0.60	2.40	0.30	0.40	3.70
20	0.60	2.40	0.30	0.40	3.70
155	0.20	2.40	0.30	0.40	3.30
156	0.40	2.40	0.30	0.40	3.50
157	0.60	2.40	0.20	0.40	3.60
178	0.60	2.40	0.30	0.40	3.70
189	0.60	2.40	0.30	0.40	3.70

Figura 43*Lotización de viviendas, comercios y áreas de cultivos evaluados*



De igual manera, según la Ecuación 42, la zona estudiada tiene un índice de exposición agrícola de 3.77, lo cual ubica a la zona en un nivel de vulnerabilidad muy alta. Como se detalla en la Tabla 39:

Tabla 39
Índice de exposición agrícola por lote

Lote	Cercanía al cauce	Presencia de obra de protección	Índice final
177	2.80	1.20	4.00
179	2.80	1.20	4.00
180	2.10	1.20	3.30
181	2.80	1.20	4.00
182	2.10	1.20	3.30
183	2.10	1.20	3.30
184	2.80	1.20	4.00
185	2.80	1.20	4.00
186	2.80	1.20	4.00
188	2.80	1.20	4.00

5.14. Estimación del costo directo

5.14.1. Cálculo de la pérdida de costo por inundación

5.14.1.1. Costos de pérdidas agrícolas.

Se identificaron las áreas de cultivo en ArcGIS, donde se observa que el porcentaje de daño económico es del 70% para áreas con una profundidad menor a 0.25 metros. En cambio, para profundidades superiores a ésta, el daño alcanza el 100%. Además, para

obtener el costo se aplica la Ecuación 43. Los resultados se detallan en las Tabla 40, Nota. Costo unitario por hectárea obtenido de Quisca Samuel (2014)

Tabla 41, Tabla 42 y Tabla 43, correspondientes a periodos de retorno de 10, 50, 100 y 200 años respectivamente:

Tabla 40

Costo de pérdida agrícola según la profundidad de inundación – periodo de retorno 10 años

Nº Lote	Área (Ha)	Profundidad (m)	% Daño Económico	Costo unitario (S/.)	Costo directo (S/.)
177	1.27	0.25-0.50	100	45,000.00	57,166.13
179	0.97	0-0.25	70	45,000.00	30,514.24
180	0.65	0-0.25	70	45,000.00	20,343.02
181	1.93	0-0.25	70	45,000.00	60,675.40
182	0.59	0-0.25	70	45,000.00	18,600.53
183	0.77	0-0.25	70	45,000.00	24,367.88
184	0.74	0.25-0.50	100	45,000.00	33,387.31
185	0.46	0-0.25	70	45,000.00	14,600.94
186	1.26	0.25-0.50	100	45,000.00	56,674.84
188	1.55	0.25 -0.50	100	45,000.00	69,917.16
Costo total					386,247.46

Nota. Costo unitario por hectárea obtenido de Quisca Samuel (2014)

Tabla 41

Costo de pérdida agrícola según la profundidad de inundación – periodo de retorno 50 años

Nº Lote	Área (Ha)	Profundidad (m)	% Daño Económico	Costo unitario (S/.)	Costo directo (S/.)
177	1.27	0.50-1.00	100	45,000.00	57,166.13
179	0.97	0.25-0.50	100	45,000.00	43,591.77
180	0.65	0-0.25	70	45,000.00	20,343.02
181	1.93	0.25-0.50	100	45,000.00	86,679.15
182	0.59	0-0.25	70	45,000.00	18,600.53
183	0.77	0.25-0.50	100	45,000.00	34,811.25
184	0.74	0.25-0.50	100	45,000.00	33,387.31
185	0.46	0-0.25	70	45,000.00	14,600.94
186	1.26	0.25-0.50	100	45,000.00	56,674.84
188	1.55	0.50-1.00	100	45,000.00	69,917.16
Costo total					435,772.11

Nota. Costo unitario por hectárea obtenido de Quisca Samuel (2014)

Tabla 42

Costo de pérdida agrícola según la profundidad de inundación – periodo de retorno 100 años

Nº Lote	Área (Ha)	Profundidad (m)	% Daño Económico	Costo unitario (S/.)	Costo directo (S/.)
177	1.27	0.50-1.00	100	45,000.00	57,166.13
179	0.97	0.25-0.50	100	45,000.00	43,591.77
180	0.65	0.25-0.50	100	45,000.00	29,061.46
181	1.93	0.25-0.50	100	45,000.00	86,679.15
182	0.59	0.25-0.50	100	45,000.00	26,572.19

183	0.77	0.25-0.50	100	45,000.00	34,811.25
184	0.74	0.50-1.00	100	45,000.00	33,387.31
185	0.46	0-0.25	70	45,000.00	14,600.94
186	1.26	0.50-1.00	100	45,000.00	56,674.84
188	1.55	0.50-1.00	100	45,000.00	69,917.16
Costo total					452,462.21

Nota. Costo unitario por hectárea obtenido de Quisca Samuel (2014)

Tabla 43

Costo de pérdida agrícola según la profundidad de inundación – periodo de retorno 200 años

Nº Lote	Área (Ha)	Profundidad (m)	% Daño Económico	Costo unitario (S/.)	Costo directo (S/.)
177	1.27	0.50-1.00	100	45,000.00	57,166.13
179	0.97	0.25-0.50	100	45,000.00	43,591.77
180	0.65	0.25-0.50	100	45,000.00	29,061.46
181	1.93	0.25-0.50	100	45,000.00	86,679.15
182	0.59	0.25-0.50	100	45,000.00	26,572.19
183	0.77	0.50-1.00	100	45,000.00	34,811.25
184	0.74	0.50-1.00	100	45,000.00	33,387.31
185	0.46	0.25-0.50	100	45,000.00	20,858.48
186	1.26	0.50-1.00	100	45,000.00	56,674.84
188	1.55	0.50-1.00	100	45,000.00	69,917.16
Costo total					458,719.75

5.14.1.2. Costos por limpieza de viviendas.

Se ha considerado el costo de limpieza en función de la profundidad de inundación, siguiendo el método propuesto por Tanoue et al. (2020). Los valores correspondientes se detallan en la Tabla 44:

Tabla 44

Número de días de limpieza en función de la profundidad

Profundidad (m)	Días de limpieza (días)
0.25-0.50	6.5
0.50-0.99	13.3
1.00-1.99	26.1
2.00-2.99	42.4

Nota. (Tanoue et al., 2020)

Se calculó el costo de limpieza para viviendas y locales comerciales afectados mediante un análisis de costo unitario. Según la Tabla 45, el costo de limpieza por día es de S/ 337.18. Este valor se utilizará para determinar el costo total de la pérdida por limpieza, utilizando la Ecuación 46.

Tabla 45

Análisis de costo unitario para la limpieza de viviendas ante inundaciones

Descripción de recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Rendimiento	25	m ² /día			
Mano de obra					

Operario	hh	0.10	0.03	26.4	0.84
Peón	hh	2.00	0.64	18.75	12
					12.84
Equipos					
Herramientas manuales	% mo		5	12.84	0.64
				Costo unitario (S/.)	13.49
				Costo por día (S/.)	337.18

Los costos de limpieza para las distintas profundidades se presentan en la Tabla 46, Tabla 47,

Tabla 48 y Tabla 49 correspondientes a los periodos de retorno de 10, 50, 100 y 200 años, respectivamente:

Tabla 46

Costo de limpieza según la profundidad de inundación – periodo de retorno 10 años

Parámetros	Profundidad de inundación (m)	
	0.25-0.50	0.50 - 1.00
Nº viviendas	2	0
Nº locales comerciales	1	3
D limpieza (días)	6.5	13.3
Costo por día (S/.)	337.18	337.18
Costo de limpieza (S/.)	6,574.93	13,453.32
Costo total (S/.)		20,028.25

Tabla 47

Costo de limpieza según la profundidad de inundación – periodo de retorno 50 años

Parámetros	Profundidad de inundación (m)		
	0.25 - 0.50	0.50 - 1.00	1.00 - 1.50
Nº viviendas	5	5	0
Nº locales comerciales	2	3	2
D limpieza (Días)	6.5	13.3	26.1
Costo por día(S/.)	337.18	337.18	337.18
Costo de limpieza (S/.)	15,341.51	35,875.53	17,600.59
Costo total (S/.)			68,817.62

Tabla 48

Costo de limpieza según la profundidad de inundación – periodo de retorno 100 años

Parámetros	Profundidad de inundación (m)	
	0.50 - 1.00	1.00 - 1.50
Nº Viviendas	10	0
Nº locales comerciales	5	3
D limpieza (Días)	13.3	26.1
Costo por día (S/.)	337.18	337.18
Costo de limpieza (S/.)	67,266.61	26,400.88
Costo total (S/.)		93,667.49

Tabla 49*Costo de limpieza según la profundidad de inundación – periodo de retorno 200 años*

Parámetros	Profundidad de inundación (m)			
	0.25 - 0.50	0.50 - 1.00	1.00 - 1.50	1.50 - 2.00
Nº Viviendas	0	9	1	0
Nº Locales comerciales	1	3	3	2
D limpieza (días)	6.5	13.3	26.1	26.1
Costo por día(S/.)	337.18	337.18	337.18	337.18
Costo de limpieza (S/.)	2,191.64	53,813.29	35,201.17	17,600.59
			Costo total (S/.)	108,806.70

5.14.1.3. Costos de alquiler de viviendas.

Se ha considerado el número de viviendas y locales comerciales afectados por las inundaciones para su reubicación cercana en viviendas arrendadas. En la Tabla 50 se muestra el costo de alquiler que se ha obtenido:

Tabla 50*Costo promedio de alquiler de vivienda familiar*

Tipos de vivienda	Costo de alquiler mensual
1	S/ 500.00
2	S/ 890.00
3	S/ 1,840.00
Costo promedio (mensual)	S/ 1,076.67

Nota. Adaptado de Ministerio de vivienda construcción y saneamiento (2023)

A partir del costo promedio mensual se obtiene el costo por día de alquiler, que es de S/ 35.89, así como de los días de inundación y limpieza utilizando la Ecuación 47. Los costos totales según la profundidad de inundación se muestran en la Tabla 51, Tabla 52, Tabla 53 y Tabla 54 correspondientes a los periodos de retorno de 10, 50, 100 y 200 años respectivamente:

Tabla 51*Costo de alquiler de vivienda – periodo de retorno 10 años*

Parámetros	Profundidad de inundación (m)	
	0.25-0.50	0.50-1.00
Nº unidades	3	3
D limpieza (días)	6.5	13.3
D inundación (días)	2	2
Costo por día (S/.)	35.89	35.89
Costo de alquiler (S/.)	915.20	1,647.35
	Costo total (S/.)	2,562.55

Tabla 52*Costo de alquiler de vivienda – periodo de retorno 50 años*

Parámetros	Profundidad de inundación (m)		
	0.25-0.50	0.50-1.00	1.00-1.50
Nº unidades	7	8	2
D limpieza (días)	6.5	13.3	26.1
D inundación (días)	2	2	2
Costo por día (S/.)	35.89	35.89	35.89
Costo de alquiler (S/.)	2,135.46	4,392.94	2,017.02
	Costo total (S/.)		8,545.41

Tabla 53*Costo de alquiler de vivienda – periodo de retorno 100 años*

Parámetros	Profundidad de inundación (m)		
	0.50-1.00	1.00-1.50	
Nº unidades	15	3	
D limpieza (días)	13.3	26.1	
D inundación (días)	2	2	
Costo por día (S/.)	35.89	35.89	
Costo de alquiler (S/.)	8,236.76	3,025.53	
	Costo total (S/.)		11,262.28

Tabla 54*Costo de alquiler de vivienda – periodo de retorno 200 años*

Parámetros	Profundidad de inundación (m)			
	0.25-0.50	0.50-1.00	1.00-1.50	1.50-2.00
Nº unidades	1	12	4	2
D limpieza (días)	6.5	13.3	26.1	26.1
D inundación (días)	2	2	2	2
Costo por día (S/.)	35.89	35.89	35.89	35.89
Costo de alquiler (S/.)	305.07	6,589.40	4,034.04	2,017.02
	Costo total (S/.)			12,945.52

5.14.1.4. Costos de pérdidas por producción comercial.

En la Tabla 55 se muestra el valor unitario de producción para determinar los costos de pérdidas en el sector de turismo y recreación, se utilizó el PIB per cápita del año 2023. A este valor se multiplicó por un factor de 0.895.

Tabla 55*Determinación del valor unitario de producción (P)*

Descripción	Valor
PIB per cápita (\$)	7789.9
PIB per cápita (S/.)	29,040.75
α	0.895
P (S/.)	25,991.47

Nota. Tasa de cambio de 3.73 soles por dólar estadounidense

Los costos de pérdidas por producción se detallan en la Tabla 56, Tabla 57, Nota. El término N° unidades se refiere a locales comerciales

Tabla 58 y Nota. El término N° unidades se refiere a locales comerciales

Tabla 59, correspondientes a los tiempos de retorno de 10, 50, 100 y 200 años, respectivamente. Estos costos se calcularon utilizando la Ecuación 48.

Tabla 56

Costo de pérdida en producción – periodo de retorno 10 años

Parámetros	Profundidad de inundación (m)	
	0.25-0.50	0.50-1.00
N° unidades	1	3
D recuperación (días)	6.5	13.3
D inundación (días)	2	2
P (S/.)	25,991.47	25,991.47
Costo de pérdida (S/.)	136,455.21	674,478.61
	Costo total (S/.)	S/ 810,933.82

Nota. El término N° unidades se refiere a locales comerciales

Tabla 57

Costo de pérdida en producción – periodo de retorno 50 años

Parámetros	Profundidad de inundación (m)		
	0.25-0.50	0.50-1.00	1.00-1.50
N° unidades	2	3	2
D recuperación (días)	6.5	13.3	26.1
D inundación (días)	2	2	2
P (S/.)	25,991.47	25,991.47	25,991.47
Costo de pérdida (S/.)	272,910.42	674,478.61	782,343.21
		Costo total (S/.)	1,729,732.24

Nota. El término N° unidades se refiere a locales comerciales

Tabla 58

Costo de pérdida en producción – periodo de retorno 100 años

Parámetros	Profundidad de inundación (m)	
	0.50-1.00	1.00-1.50
N° unidades	5	3
D recuperación (días)	13.3	26.1
D inundación (días)	2	2
P (S/.)	25,991.47	25,991.47
Costo de pérdida (S/.)	1,124,131.02	1,173,514.81
	Costo total (S/.)	2,297,645.84

Nota. El término N° unidades se refiere a locales comerciales

Tabla 59

Costo de pérdida en producción – periodo de retorno 200 años

Parámetros	Profundidad de inundación (m)			
	0.25-0.50	0.50-1.00	1.00-1.50	1.50-2.00
N° unidades	1	3	3	2
D recuperación (días)	6.5	13.3	26.1	26.1

D inundación (días)	2	2	2	2
P (S/.)	25,991.47	25,991.47	25,991.47	25,991.47
Costo de pérdida (S/.)	136,455.21	674,478.61	1,173,514.81	782,343.21
			Costo total (S/.)	2,766,791.85

Nota. El término N° unidades se refiere a locales comerciales

5.14.1.5. Costos de infraestructura de viviendas.

El daño económico para estructuras de concreto armado de 1 y 2 niveles que sean afectadas por profundidades de agua superiores a 1m, obtienen daños significativos a partir del periodo de retorno de 50 años. Además, los costos unitarios por m² se basaron para viviendas tipo A propuesto por el Ministerio de vivienda, construcción y saneamiento (2023), con estos parámetros según la Ecuación 44 se obtuvieron los costos de pérdidas para cada tiempo de retorno expresadas en las Tabla 60, Tabla 61 y Tabla 62:

Tabla 60

Costo de pérdida en infraestructura de viviendas – periodo de retorno 50 años

N° Viviendas/comercios afectados	N° Niveles de piso	Profundidad de inundación (m)	Área (m ²)	Costo x m ² (S/.)	Daño económico (%)	Costo de pérdida (S/.)
2 locales	1	1.00 - 1.50	326.00	1,769.25	40	230,710.20
comerciales	2	1.00 - 1.50	304.00	2,980.33	20	181,204.06
Costo total (S/.)						411,914.26

Nota. El costo por m² fue obtenido del Ministerio de Vivienda (2023).

Tabla 61

Costo de pérdida en infraestructura de viviendas – periodo de retorno 100 años

N° Viviendas/comercios afectados	N° Niveles de piso	Profundidad de inundación (m)	Área (m ²)	Costo x m ² (S/.)	Daño económico (%)	Costo de pérdida (S/.)
3 locales	1	1.00 - 1.50	464.00	1,769.25	40	328,372.80
comerciales	2	1.00 - 1.50	304.00	2,980.33	20	181,204.06
Costo total (S/.)						509,576.86

Nota. El costo por m² fue obtenido del Ministerio de Vivienda (2023).

Tabla 62

Costo de pérdida en infraestructura de viviendas – periodo de retorno 200 años

N° Viviendas/comercios afectados	N° Niveles de piso	Profundidad de inundación (m)	Área (m ²)	Costo x m ² (S/.)	Daño económico (%)	Costo de pérdida (S/.)
5 locales comerciales	1	1.00 - 1.50	595.00	1,769.25	40	421,081.50
	2	1.00 - 1.50	77.00	2,980.33	20	45,897.08
	1	1.50 - 2.00	326.00	1,769.25	60	346,065.30
	2	1.50 - 2.00	304.00	2,980.33	30	271,806.10
Costo total (S/.)						1,084,849.98

Nota. El costo por m² fue obtenido del Ministerio de Vivienda (2023).

5.14.1.6. Costos de infraestructura pública u obras de arte.

Los daños económicos en infraestructura significantes como piscinas de recreación en comercios, vías de comunicación y postes de electrificación se estimaron según la ecuación 45 como se muestran en la Tabla 63, Tabla 64, Tabla 65 y Tabla 66:

Tabla 63

Costo de pérdida infraestructura u obras de arte – periodo de retorno 10 años

Tipo de infraestructura afectada	Profundidad de inundación (m)	Unidad de medida	Cantidad	PU (S/.)	Daño económico (%)	Costo Parcial (S/.)
2 piscinas	0.50 - 1.00	Volumen (m ³)	165	1,091.65	20	36,024.45
Camino rural	0.50 - 1.00	Longitud (km)	0.135	318,040.00	50	21,467.70
Postes (h=10m)	0.50 - 1.00	piezas	8	3,397.96	40	10,873.47
Costo total (S/.)						68,365.62

Nota. El precio unitario (PU) fue obtenido del Ministerio de Vivienda (2023).

Tabla 64

Costo de pérdida infraestructura u obras de arte – periodo de retorno 50 años

Tipo de infraestructura afectada	Profundidad de inundación (m)	Unidad de medida	Cantidad	PU (S/.)	Daño económico (%)	Costo Parcial (S/.)
2 piscinas	1.00 - 1.50	Volumen (m ³)	165	1,091.65	40	72,048.90
Camino rural	0.50 - 1.00	Longitud (km)	0.18	318,040.00	50	28,623.60
Postes (h=10m)	0.50 - 1.00	piezas	8	3,397.96	40	10,873.47
Costo total (S/.)						111,545.97

Nota. El precio unitario (PU) fue obtenido del Ministerio de Vivienda (2023).

Tabla 65

Costo de pérdida infraestructura u obras de arte – periodo de retorno 100 años

Tipo de infraestructura afectada	Profundidad de inundación (m)	Unidad de medida	Cantidad	PU (S/.)	Daño económico (%)	Costo Parcial (S/.)
2 piscinas	1.00 - 1.50	Volumen (m ³)	165	1,091.65	40	72,048.90
Camino rural	0.50 - 1.00	Longitud (km)	0.27	318,040.00	50	42,935.40
Camino rural	1.00 - 1.50	Longitud (km)	0.032	318,040.00	85	8,650.69
Postes (h=10m)	1.00 - 1.50	piezas	8	3,397.96	60	16,310.21
Costo total (S/.)						139,945.20

Nota. El precio unitario (PU) fue obtenido del Ministerio de Vivienda (2023).

Tabla 66

Costo de pérdida infraestructura u obras de arte – periodo de retorno 200 años

Tipo de infraestructura afectada	Profundidad de inundación (m)	Unidad de medida	Cantidad	PU (S/.)	Daño económico (%)	Costo Parcial (S/.)
2 piscinas	1.00 - 1.50	Volumen (m ³)	478.5	1,091.65	40	208,941.81
	1.50 - 2.00	Volumen (m ³)	165	1,091.65	60	108,073.35
Camino rural	0.50 - 1.00	Longitud (km)	0.27	318,040.00	50	42,935.40
Camino rural	1.00 - 1.50	Longitud (km)	0.032	318,040.00	85	8,650.69
Postes (h=10m)	1.00 - 1.50	piezas	8	3,397.96	60	16,310.21
Costo total (S/.)						384,911.46

Nota. El precio unitario (PU) fue obtenido del Ministerio de Vivienda (2023).

5.14.1.7. Cuadro resumen de costos directos totales por tiempos de retorno.

En la Tabla 67 se presenta un resumen de los diferentes tipos de costos directos y su valor económico para cada periodo de retorno, en el cual los costos de producción presentan mayor relevancia.

Tabla 67

Cuadro resumen de costos por tipo

Tipos de costo directos	Periodo de retorno (años)			
	10	50	100	200
Costos agrícolas	S/ 386,247.46	S/ 435,772.11	S/ 452,462.21	S/ 458,719.75
Costos de limpieza	S/ 20,028.25	S/ 68,817.62	S/ 93,667.49	S/ 108,806.70
Costos alquiler	S/ 2,562.55	S/ 8,545.41	S/ 11,262.28	S/ 12,945.52
Costos producción	S/ 810,933.82	S/ 1,729,732.24	S/ 2,297,645.84	S/ 2,766,791.85
Costos infraestructura	S/ 0.00	S/ 411,914.26	S/ 509,576.86	S/ 1,084,849.98
Costos obras de arte	S/ 68,365.62	S/ 111,545.97	S/ 139,945.20	S/ 384,911.46
Costo directo total	S/ 1,288,137.71	S/ 2,766,327.63	S/ 3,504,559.88	S/ 4,817,025.25

Nota. Los costos de infraestructura de vivienda a 10 años no fueron significantes

5.15. Contrastación de hipótesis:

Hipótesis general. Se confirma el cumplimiento de la hipótesis, ya que las pérdidas económicas directas han superado el millón de soles en todos los periodos de retorno analizados, que abarcan desde 10, 50, 100 y 200 años. En estos cálculos se han considerado diversos tipos de costos directos, tales como costos agrícolas, de limpieza, alquiler, producción, infraestructura y obras de arte. Cada uno de estos componentes contribuyó a las pérdidas económicas, las cuales en su totalidad alcanzaron un mínimo de S/ 1,288,137.71. Este análisis detallado demuestra la magnitud del impacto económico directo de las inundaciones fluviales, subrayando la importancia de implementar medidas de mitigación y prevención para reducir los daños en el futuro.

Hipótesis específica 1. Se confirma el cumplimiento de la hipótesis, ya que se ha comprobado que, al caracterizar la hidrología para diferentes periodos de retorno, se obtienen las máximas avenidas. En este proceso se detallaron exhaustivamente los parámetros morfométricos de la cuenca hidrográfica, las precipitaciones máximas y la curva número, lo que permitió desarrollar un modelo hidrológico preciso. Para determinar las máximas avenidas, se validó el método del SCS mediante un análisis estadístico exhaustivo. Los resultados arrojaron caudales máximos de 136.90 m³/s, 224.40 m³/s, 272.40 m³/s y 327 m³/s para periodos de retorno de 10, 50, 100 y 200 años, respectivamente. Este enfoque asegura una estimación confiable de los caudales máximos, lo cual es fundamental para la planificación y gestión de recursos hídricos, así como para la implementación de medidas de mitigación de inundaciones y protección de infraestructuras en la cuenca.

Hipótesis específica 2. Se confirma el cumplimiento de la hipótesis, ya que al realizar el modelamiento hidráulico bidimensional en Hec-Ras, el tirante máximo superó el cauce del río, con valores de 1.90 m, 2.24 m, 2.60 m y 2.85 m para los periodos de retorno de 10, 50, 100 y 200 años, respectivamente. Éste aumento en el nivel del agua causa inundaciones significativas que afectan viviendas, áreas agrícolas e infraestructuras.

Hipótesis específica 3. Se confirma el cumplimiento de la hipótesis, ya que, al determinar los tirantes y las velocidades máximas, se estimaron las profundidades de inundación promedio en 0.60 m, 0.76 m, 0.83 m y 0.91 m para los periodos de retorno de 10, 50, 100 y 200 años, respectivamente. Estas profundidades de inundación tienen un impacto significativo, causando pérdidas económicas directas en diversos ámbitos.

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En 2019, la Autoridad Nacional del Agua (ANA) realizó el "Estudio hidrológico de la unidad hidrográfica Lurín", en el que se analiza detalladamente la cuenca del río Lurín. Este análisis incluye la delimitación de la cuenca, el cálculo de parámetros geomorfológicos, climatología, pluviometría, hidrometría, y la evaluación de los usos y demanda de agua, culminando con el estudio de la oferta y el balance hídrico. En el análisis de la cuenca del río Lurín, se determinó un área de 1210.86 km², en comparación con los 1642.52 km² que reporta el ANA, lo que representa una diferencia del 26.3%. La pendiente de la cuenca en el estudio fue de 0.055 m/m, frente a los 0.050 m/m registrados por el ANA, indicando que los procedimientos utilizados fueron precisos. En cuanto al coeficiente de compacidad, se obtuvo un valor de 1.72, muy cercano al 1.69 del ANA, lo que sugiere que la cuenca tiene una forma alargada, siendo menos susceptible a crecidas en comparación con una cuenca de forma circular. Estos resultados comparativos con el estudio del ANA muestran que las metodologías usadas son consistentes con las del ANA y que las diferencias observadas son mínimas (ANA, 2019).

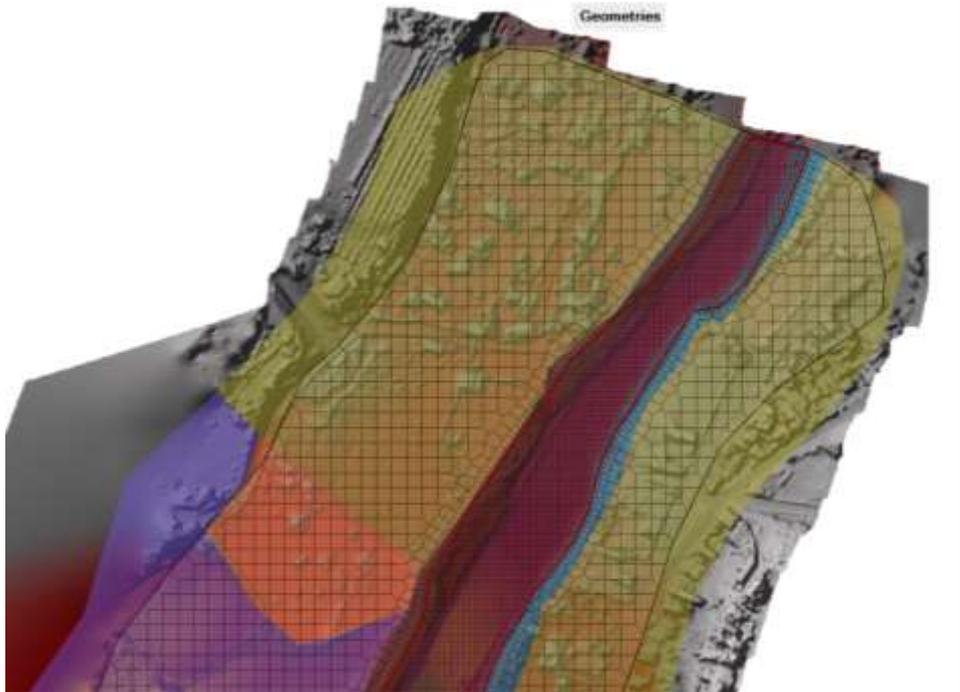
En cuanto a los resultados de la red hídrica, se obtuvo una densidad de drenaje de 0.99 km/km² y un tiempo de concentración de 5.75 horas, utilizando fórmulas empíricas de diferentes autores. Por otro lado, la ANA, en su estudio mencionado anteriormente, reporta una densidad de drenaje de 0.55 km/km² y un tiempo de concentración de 8.25 horas, basado en la ecuación de Kirpich. Esto indica que, al encontrarse nuestra densidad de drenaje dentro del rango de 0.5 a 3.5 km/km², la cuenca estudiada presenta un drenaje regular y es moderadamente propensa a crecidas.

En la simulación hidráulica se consideró un modelo bidimensional de régimen no permanente con un tiempo de computación de 2 segundo y celdas de 10 x 10 m en el área de inundación y refinamiento de 2 x 2 m en el cauce del río, como se muestra en la Figura 44 *Figura 44* para minimizar errores en la simulación, obteniendo coherencia en las inundaciones e identificar las áreas específicas de inundación. Caso muy diferente ocurre en el estudio de Cardich (2017), donde se simula con celdas de 25 x 25 m en todo el área de estudio y un tiempo de computación de 20 segundos debido a que el área a analizar era mayor. Por ello es importante conocer la dimensión del área de estudio para elegir de forma óptima el enmallado. Según Mubialiwo et al. (2022), propone un número de Courant menor a 1, para estimar el tiempo de computación relacionando el tamaño de

celda y velocidad promedio del flujo, cuyo valor obtenido en nuestro estudio mediante la Ecuación 40 fue de 0.4, siendo menor a la unidad.

Figura 44

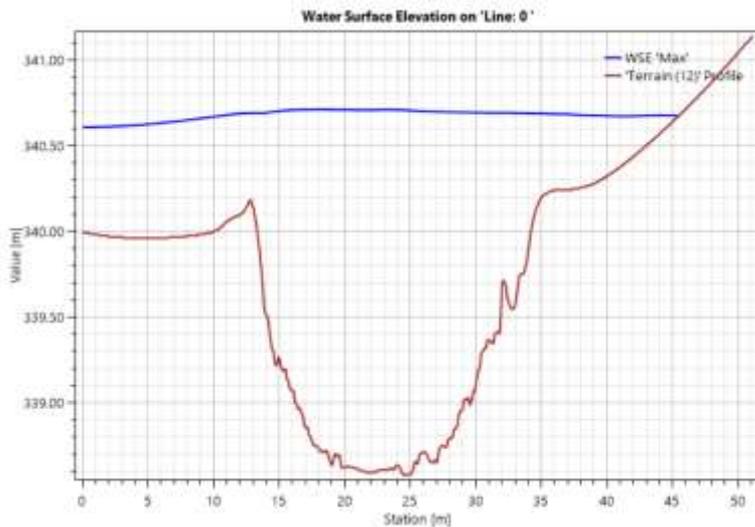
Proceso de enmallado y refinamiento del área de estudio



El ancho de encauzamiento promedio del río fue de 22 m, lo cual generó en el tramo estudiado una zona de desborde de 90 m y alturas de desbordamiento promedio de 0.7 m para los diferentes periodos de retorno. En particular para el periodo de retorno de 50 años la inundación para el caudal pico de 224.40 m³/s, ocasionaron profundidades de inundación promedio de 0.76 m y velocidades máximas promedio de 1.36 m/s, siendo perjudicial para áreas agrícolas y comercios de Cieneguilla. Por lo tanto, será necesario a estudios futuros generar obras de protección ribereña, en el caso particular de Bernardo & Velásquez (2021), realizan un estudio exhaustivo para evaluar el riesgo de inundación y prevenir desbordes del río Lurín en el distrito de Cieneguilla. Utilizando el software Hec-Ras para modelar y simular la hidráulica en cauces naturales, apoyándose en datos históricos de estaciones pluviométricas, cálculos hidráulicos y mediciones topográficas. Con ello se logra determinar los caudales correspondientes a distintos periodos de retorno y generar Modelos de Elevación Digital (DEM) para elaborar mapas de inundación en Hec-Ras utilizando Sistemas de Información Geográfica (SIG). En la Figura 45 se observa la sección transversal con su ancho de encauzamiento y una altura de desbordamiento de 0.50 m en el margen derecho para el periodo de retorno de 10 años.

Figura 45

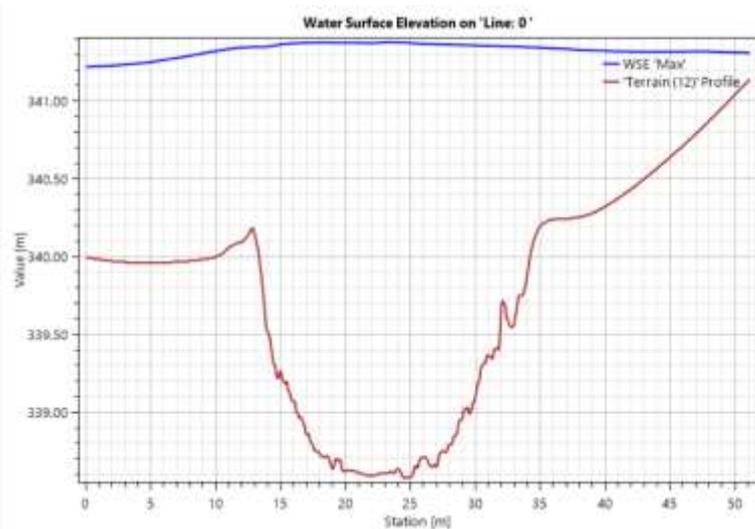
Sección transversal para tiempo de retorno de 10 años



En la Figura 46 se observa la altura de desbordamiento para un periodo de retorno de 100 años, superior a 1 m en el margen derecho de la zona crítica de inundación:

Figura 46

Sección transversal para tiempo de retorno de 100 años

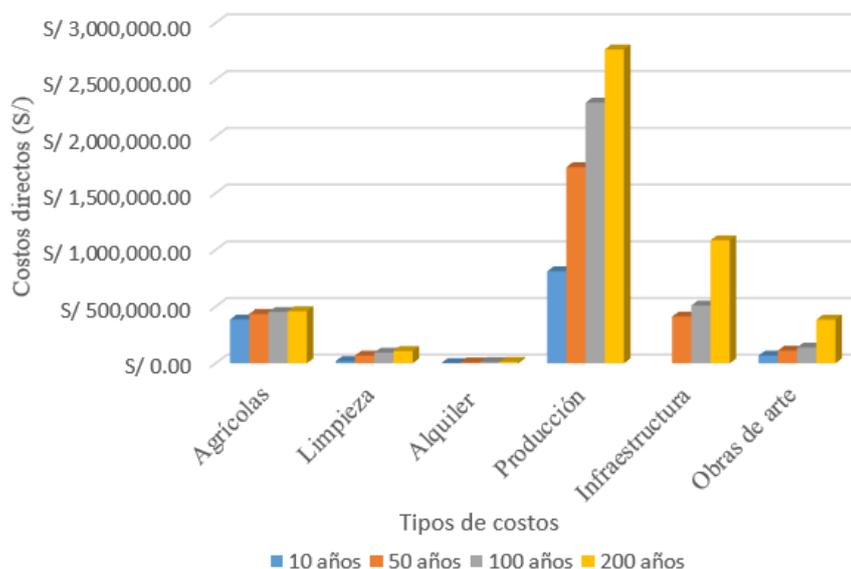


Para clasificar la intensidad de amenaza, se evaluaron 35 lotes, los cuales se categorizaron en intensidad baja, media, alta y muy alta. Todos estos lotes formaron parte del área de inundación resultante. Para un periodo de retorno de 10 años, los mayores porcentajes se encontraron en los niveles de intensidad baja y media (49% y 20% respectivamente), mientras que, para un periodo de retorno de 200 años, los mayores porcentajes corresponden a los niveles de intensidad media y alta (17% y 60% respectivamente), con un 6% en el nivel de intensidad muy alta. En cuanto a la evaluación de vulnerabilidad urbana y agrícola, se obtienen índices de 3.34 y 3.77 respectivamente, ubicándolos en un

nivel de vulnerabilidad muy alta. En 2014, el Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres (CENEPRED) realizó el "Desarrollo del perfil de riesgo por inundación de la cuenca del río Chillón", donde se evalúan los riesgos de inundación y vulnerabilidad en la cuenca del río Chillón para diferentes periodos de retorno, considerando la profundidad y velocidad de inundación en cada zona estudiada. En los costos directos con mayor impacto se consideró al costo de pérdida por producción de S/ 810,933.82 y S/ 2,766,791.85 para periodos de retorno de 10 y 200 años respectivamente siendo los valores extremos que representó un 62.12% del costo total en promedio. Por otro lado, los costos de pérdidas de menor impacto fueron de alquiler y limpieza que representaron el 0.27% y 2.24% del costo total, como se observa en la Figura 47. Estos resultados se pueden comparar con lo que se obtiene por Tanoue et al. (2020), donde los costos de producción resultan con mayor significancia en su estudio de 12.1 billones de dólares comparados con los otros costos de limpieza o emergencias de 2.6 billones de dólares que representa el 7.08% del costo total.

Figura 47

Pérdidas de costos directos por inundación

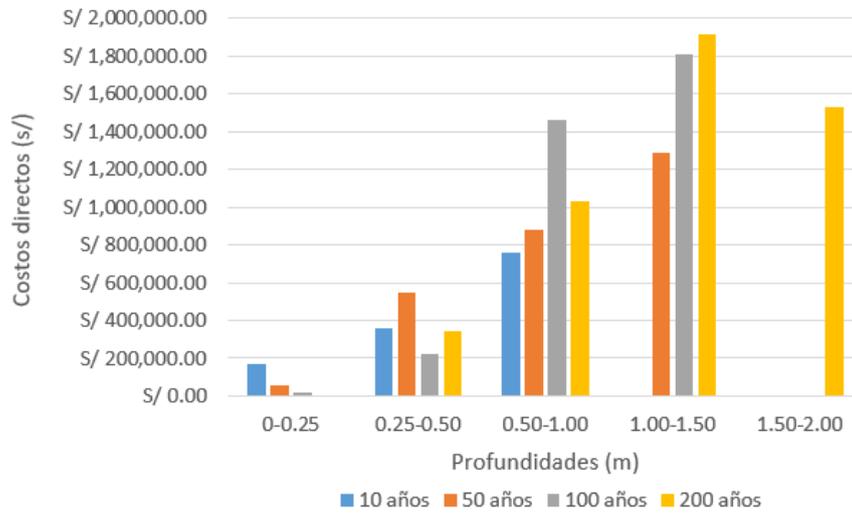


Por otro lado, en la Figura 48 se muestra para la profundidad de 0 – 0.25 m y periodo de retorno de 10 años un costo directo de S/ 169,102.01 que representa los costos agrícolas, debido a que a esa profundidad se afecta los cultivos, por el contrario, no ocasionan impactos significativos en viviendas e infraestructuras. Por otro lado, los costos directos se acentuaron en las profundidades de 0.50-1.00 y 1.00 a 1.50 m para periodos de retorno de 100 y 200 años con valores que superan 1 millón de soles. Siendo el más significativo

el costo de S/ 1,913,631.31 para el periodo de retorno de 200 años donde la profundidad de 1.00 - 1.50 m afectaron locales comerciales, viviendas e infraestructura.

Figura 48

Costos por profundidades de inundación



CONCLUSIONES

1. Se caracterizó la hidrología para diferentes periodos de retorno 10, 50, 100 y 200 años presentando una lámina máxima de la estación ficticia de 46.90mm. Además, se aplicó un análisis estadístico integrado para minimizar los errores de las series históricas de 32 años. Se definió un valor de curva número en condiciones normales de 70.25 así como un tiempo de concentración de 5.75 horas (Tabla 16 y Figura 24) Todo ello permitió modelar hidrológicamente la cuenca por el método SCS y obtener máximas avenidas de ocurrencia de 136.90 m³/s, 224.40 m³/s, 272.40 m³/s y 327 m³/s para los periodos de retornos citados respectivamente (Tabla 26).
2. Se modeló hidráulicamente el tramo del río Lurín en una dimensión y dos dimensiones en régimen no permanente con un tiempo de computación de 2 segundos, lo que evitó errores o inestabilidad del modelo. El tirante máximo obtenido superó el cauce del río en alturas de 1.90 m, 2.24 m, 2.60 m y 2.85 m, para los periodos de retorno de 10, 50, 100 y 200 años respectivamente como se observó en la Figura 31, Figura 34, Figura 37 y Figura 40. Donde en el tramo inicial se identificó la zona de inundación de 90 m hacia la margen derecha del río. Las velocidades máximas fueron de 1.21 m/s, 1.36 m/s, 1.43 m/s y 1.49 m/s obtenidos de la Figura 32, Figura 35, Figura 38 y Figura 41, respectivamente para los periodos de retorno citados.
3. Se determinó que la intensidad de la amenaza de inundación varía significativamente con el periodo de retorno. Para un periodo de retorno de 10 años, la mayoría de los lotes evaluados presentaron una intensidad de amenaza baja o media. Mientras que, para un periodo de 200 años, se observó un incremento en las intensidades media y alta, con un porcentaje menor en intensidad muy alta (Tabla 30 y Tabla 33). La evaluación de vulnerabilidad tanto urbana como agrícola mostró índices elevados, indicando un alto nivel de riesgo en ambas áreas. Estos resultados están en línea con estudios previos realizados por CENEPRED en la cuenca del río Chillón, que también identificaron altos niveles de riesgo de inundación.
4. Se determinaron las pérdidas económicas asociadas a los periodos de retorno de 10, 50, 100 y 200 años, resultando en costos directos de S/ 1,288,137.71, S/ 2,766,327.63, S/ 3,504,559.88 y S/ 4,817,025.25, respectivamente (Tabla 67). Los costos más significativos fueron las pérdidas de producción en los comercios afectados, que representaron entre el 57.44% y el 65.56% del total de las pérdidas (Figura 47). La

profundidad de inundación, en rangos de 1 a 1.50 metros, tuvo un impacto considerable en el incremento de estas pérdidas, ya que en todos los casos superaron el millón de soles (Figura 48). Este análisis resalta la relación directa entre la severidad de las inundaciones y el aumento de los costos económicos.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda la construcción de defensas ribereñas tipo gaviones en el tramo crítico de inundación para reducir el impacto de las avenidas máximas de agua. Los muros de gaviones deben tener una altura mínima superior a 3 metros en ambos márgenes del río para asegurar una protección efectiva contra los niveles máximos de agua esperados durante los periodos de retorno específicos.
2. Se recomienda utilizar datos meteorológicos de estaciones establecidas que cuenten con una trayectoria mínima de 30 años. Estos datos históricos proporcionan una base sólida y precisa para la predicción de inundaciones, ya que permiten un análisis más detallado de los patrones climáticos y las variaciones estacionales a lo largo del tiempo. La antigüedad de las estaciones contribuye a una mayor confiabilidad en las previsiones, dado que reflejan una amplia gama de condiciones meteorológicas extremas y normales. Esto, a su vez, mejora la exactitud de las proyecciones relacionadas a las dimensiones de las estructuras hidráulicas por los posibles eventos de inundación.
3. Se recomienda comparar los levantamientos topográficos obtenidos con drones y con estación total para minimizar errores en la medición de desniveles del terreno. La precisión en estos datos es esencial para una evaluación exacta de los riesgos de inundación de forma milimétrica, ya que las variaciones topográficas pueden influir significativamente en la propagación de inundaciones. Además, esta combinación metodológica permite una estimación más precisa de los costos directos e indirectos, proporcionando una base sólida para una planificación y gestión más efectiva de los riesgos de inundación.
4. Se recomienda para futuras investigaciones combinar nuevas metodologías para la obtención de ecuaciones que estimen los costos y las pérdidas directas en función de variables clave como la profundidad del agua (m), la velocidad del flujo (m/s), y la relación entre profundidad y velocidad (m^2/s). Estas variables son cruciales para evaluar el impacto en los elementos expuestos a la inundación. Además, es importante incorporar en los modelos indicadores relacionados con el cambio climático, porque anticipa los factores que tendrán un impacto creciente en las pérdidas económicas futuras.

REFERENCIAS

- Alvarez, T., & Villaverde, R. (2015). *Balance hídrico futuro en la cuenca del río Lurín a través de la modelación hidrológica ante el cambio climático* [Tesis de Pregrado, Universidad Agraria La Molina].
<https://hdl.handle.net/20.500.12996/2157>
- ANA. (2014). Tratamiento del cauce del río Lurín para el control de inundaciones.
<https://sigrid.cenepred.gob.pe/sigridv3/documento/459>
- ANA. (2016). *Glosario de Recursos Hídricos*. <https://www.ana.gob.pe/normatividad/rj-no-180-2016-ana-0>
- ANA. (2019). *Estudio hidrológico de la unidad hidrográfica Lurín*.
<https://repositorio.ana.gob.pe/handle/20.500.12543/4707>
- Aparicio, F. (1992). *Fundamentos de Hidrología de superficie* (Noriega Editores, Ed.; 1st ed.).
<https://drive.google.com/file/d/1vJR3K3pUaMLgEYKlvbi65OnH70MIaEzT/view?pli=1>
- Aponte, H., & Torrejón-Magallanes, J. (2023). Lluvias, inundaciones y su impacto en la población peruana: ¿Hemos aprendido la lección? *South Sustainability*, 4(1), e075. <https://doi.org/10.21142/SS-0401-2023-e075>
- Azizian, A. (2018). Uncertainty Analysis of Time of Concentration Equations based on First-Order-Analysis (FOA) Method. *American Journal of Engineering and Applied Sciences*, 11(1), 327–341. <https://doi.org/10.3844/ajeassp.2018.327.341>
- Bernardo, V., & Velasquez, J. (2021). *Análisis integral de riesgos para la mitigación ante inundaciones en zonas urbanas* [Tesis de Pregrado, Universidad Ricardo Palma]. <https://hdl.handle.net/20.500.14138/5000>
- Borja, M. (2012). *Metodología de la Investigación científica para Ingenieros* (Editorial Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, Ed.; Única).
- Breña, A., & Jacobo, M. (2006). *Principios y Fundamentos de la Hidrología Superficial*. Universidad Autónoma Metropolitana.
- Cardich, K. (2017). *Modelación de máximas avenidas en la cuenca del río Lurín utilizando modelos hidrológico e hidráulico* [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional Agraria La Molina].
<https://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/20.500.12996/3732>

- Castillo, J. (2023). *Evaluación de la amenaza por inundación asociada al Rio San Juan en la zona rural, comprendida entre los Corregimientos De La Primera Mojarra y Primavera del Municipio de Istmina-Chocó*. [Tesis de Pregrado, Universidad Católica de Manizales]. <https://repositorio.ucm.edu.co/handle/10839/4273>
- CENEPRED. (2014). *Manual para la evaluación de riesgos originados por fenómenos naturales. Versión 02*. <https://sigrid.cenepred.gob.pe/sigridv3/documento/257>
- Cerna, A., Chávez, R., & Florida, N. (2021). Estimación empírica de la probabilidad de eventos letales causados por inundaciones en Perú. *Revista Ciencia UNEMI, ISSN-e 2528-7737, ISSN 1390-4272, Vol. 14, N°. 37, 2021 (Ejemplar Dedicado a: Septiembre-Diciembre), Págs. 29-38, 14(37), 29–38*.
<https://doi.org/10.29076/issn.2528-7737vol14iss37.2021pp29-38p>
- Chow, V. Te, Maidment, D., & Mays, L. (1987). *Hidrología Aplicada* (McGraw - Hill, Ed.). <https://www.hidrosm.com/2021/01/libro-hidrologia-aplicada-ven-te-chow.html>
- Díaz, J. (2024). *Análisis de la dinámica fluvial del río Guamal con el fin de valorar y proponer obras de mitigación de las inundaciones para el municipio de Guamal, departamento del Meta* [Tesis de Grado, Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales]. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/85978>
- Gómez, A. (2022). *Modelamiento hidrológico e hidráulico de la quebrada caserío San Francisco con fines de identificación de zonas de inundación* [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional Agraria La Molina].
<https://hdl.handle.net/20.500.12996/5834>
- Gonzales, L., Ferrer, M., Ortuño, L., & Oteo, C. (2002). *Ingeniería Geológica*. Pearson Education.
https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5540850/mod_resource/content/1/Livro%202.pdf
- Guzmán, D. (2022). *Modelamiento hidrológico entre las avenidas Panamericana Sur y la avenida Malásquez Chacaltana, para identificar zonas inundables en los distritos de Lurín y Pachacamac, Provincia de Lima, Año 2019* [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional Federico Villareal].
<https://hdl.handle.net/20.500.13084/6312>
- Hernández, G., & Ruíz, A. (2021). *Modelación hidrodinámica para estimar escenarios de inundación bajo diferentes regímenes de precipitación. aplicación al río Sinú, tramo Montería* [Tesis de Pregrado, Universidad de Córdoba].

<https://repositorio.unicordoba.edu.co/entities/publication/5779fd34-f95f-4642-ae26-c60286edb300>

- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación* (M. Hill, Ed.; 6th ed.).
- INGEMMET. (2023). *Evaluación de zonas críticas por peligros geológicos ante fenómeno el niño 2023-2024 en el departamento de Lima Tomo I: Lima Metropolitana*. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/4923>
- Jodhani, K. H., Patel, D., & Madhavan, N. (2023). A review on analysis of flood modelling using different numerical models. *Materials Today: Proceedings*, 80, 3867–3876. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.07.405>
- Kuroiwa, J. (2002). *Reducción de desastres: Viviendo en armonía con la naturaleza* (1st ed.).
- Li, C., Sun, N., Lu, Y., Guo, B., Wang, Y., Sun, X., & Yao, Y. (2022). Review on Urban Flood Risk Assessment. *Sustainability*, 15(1), 765. <https://doi.org/10.3390/su15010765>
- Llontop-Silva, M.-L., & Correa-Chilón, D. (2023). Variabilidad estacional en la cuenca Chancay-Lambayeque: desafíos y oportunidades en la gestión de los recursos hídricos. *South Sustainability*, 4(2), e087–e087. <https://doi.org/10.21142/SS-0402-2023-e087>
- Luo, P., Luo, M., Li, F., Qi, X., Huo, A., Wang, Z., He, B., Takara, K., Nover, D., & Wang, Y. (2022). Urban flood numerical simulation: Research, methods and future perspectives. *Environmental Modelling & Software*, 156, 105478. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2022.105478>
- Marcacuzco, A. (2006). *HIDROLOGIA APLICADA* (Departamento académico de recursos de agua y tierra, Ed.; Primera edición). Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Merz, B., Blöschl, G., Vorogushyn, S., Dottori, F., Aerts, J. C. J. H., Bates, P., Bertola, M., Kemter, M., Kreibich, H., Lall, U., & Macdonald, E. (2021). Causes, impacts and patterns of disastrous river floods. *Nature Reviews Earth & Environment* 2021 2:9, 2(9), 592–609. <https://doi.org/10.1038/s43017-021-00195-3>
- Ministerio de Vivienda, C. y S. (2023). *Resolución Ministerial N.º 469-2023-VIVIENDA*. <https://www.gob.pe/institucion/vivienda/normas-legales/4796081-469-2023-vivienda>

- MTC. (2011). *Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje*.
http://transparencia.mtc.gob.pe/idm_docs/normas_legales/1_0_2950.pdf
- Mubialiwo, A., Abebe, A., Kawo, N. S., Ekolu, J., Nadarajah, S., & Onyutha, C. (2022). Hydrodynamic Modelling of Floods and Estimating Socio-economic Impacts of Floods in Ugandan River Malaba Sub-catchment. *Earth Systems and Environment*, 6(1), 45–67. <https://doi.org/10.1007/s41748-021-00283-w>
- Pantevis, M., & Torres, V. (2020). *Geomorfología y Dinámica Fluvial del Río Amazonas a la altura de Leticia, aplicado a zonas de inundación* [Tesis de grado, Universidad Santo Tomas].
<https://repository.usta.edu.co/handle/11634/29742>
- Pathak, S., Liu, M., Jato-Espino, D., & Zevenbergen, C. (2020). Social, economic and environmental assessment of urban sub-catchment flood risks using a multi-criteria approach: A case study in Mumbai City, India. *Journal of Hydrology*, 591, 125216. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125216>
- Quisca Samuel. (2014). *Desarrollo del perfil de riesgo por inundación de la cuenca del río Chillón*. <https://sigrid.cenepred.gob.pe/sigridv3/documento/6227>
- Redacción Perú21. (2023, March 16). *Cieneguilla bajo el agua: Hay dos desaparecidos tras desborde del río Lurín*. Peru 21. <https://peru21.pe/lima/cieneguilla-bajo-el-agua-hay-dos-desaparecidos-tras-desborde-del-rio-lurin-ciclon-yaku-actualidad-lima-huaico-rio-lluvias-ciclon-yaku-inundaciones-desastres-naturales-noticia/#:~:text=Este%20jueves%2016%20de%20marzo,autoridades%20han%20reportado%20dos%20desaparecidos.>
- Rocha, A. (1998). *Introducción a la Hidráulica Fluvial* (Universidad Nacional de Ingeniería, Ed.; 1st ed.). https://www.researchgate.net/profile/Arturo-Rocha-Felices-2/publication/315829253_Introduccion_a_la_Hidraulica_Fluvial/links/58e98284a6fdccb4a8322453/Introduccion-a-la-Hidraulica-Fluvial.pdf
- Roque, G. (2022). *Riesgo de inundaciones fluviales por máximas avenidas en la cuenca baja de Río Lurín* [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional Federico Villareal]. <https://hdl.handle.net/20.500.13084/6031>
- SGDC. (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/sigridv3/documento/556/descargar>

- Sipan, A., & Rojas, A. (2023). *Estimación del daño económico producido por el flujo hiperconcentrado en un sector de la Quebrada Cóndores, Chaclacayo – Lima* [Tesis de Pregrado, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC)].
<http://hdl.handle.net/10757/671888>
- Tamayo, M., & Bohórquez, D. (2023). *Alternativa para la mitigación de las inundaciones fluviales en la quebrada La Reina, ubicada en el sector de Los Arenales, Caracolí*. [Tesis de Pregrado, Universidad EIA].
<https://repository.eia.edu.co/items/cc1b9ec5-a3d5-46fa-867d-4aa070f3bf2d>
- Tanoue, M., Taguchi, R., Nakata, S., Watanabe, S., Fujimori, S., & Hirabayashi, Y. (2020). Estimation of Direct and Indirect Economic Losses Caused by a Flood With Long-Lasting Inundation: Application to the 2011 Thailand Flood. *Water Resources Research*, 56(5). <https://doi.org/10.1029/2019WR026092>
- Ticlla, Y. (2022). *Evaluación del nivel de riesgo a inundación según la metodología CENEPRED, en el río San Mateo, tramo puente “San Mateo” al puente “Lloque Yupanqui”, Chota* [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional Autónoma de Chota]. <https://hdl.handle.net/20.500.14142/205>
- UNESCO. (2011). *Manual de gestión de riesgos de desastre para comunicadores sociales*. <http://bvpad.indeci.gob.pe/doc/pdf/esp/doc2344/doc2344-contenido.pdf>
- US Army Corps of Engineers. (2016a). *HEC-HMS User’s Manual*.
<https://www.hec.usace.army.mil/confluence/hmsdocs/hmsum/latest/introduction/references>
- US Army Corps of Engineers. (2016b). *HEC-RAS Hydraulic Reference Manual*.
<https://www.hec.usace.army.mil/confluence/rasdocs/ras1dtechref/latest>
- Villón, M. (2002). *Hidrología*. <https://www.hidrosm.com/2021/01/libro-hidrologia-maximo-villon-bejar.html>
- Young, K. R., & León, B. (2009). Natural Hazards in Peru: Causation and Vulnerability. *Developments in Earth Surface Processes*, 13(C), 165–180.
[https://doi.org/10.1016/S0928-2025\(08\)10009-8](https://doi.org/10.1016/S0928-2025(08)10009-8)

ANEXOS

Anexo A: Matriz de consistencia

Problema general	Objetivo general	Hipótesis general	Variable Independiente	Indicadores	Diseño de método
¿Cuál es el impacto económico directo de las inundaciones fluviales en el río Lurín?	Realizar la modelación numérica para la estimación del impacto económico directo de las inundaciones fluviales del río Lurín.	Se estima que el impacto económico directo supere un millón de soles	Modelación numérica	<ul style="list-style-type: none"> • Topografía • Precipitación • Caudal de diseño • Coeficiente de Manning 	
Problemas específicos	Objetivos específicos	Hipótesis específicas	Variable dependiente		
¿Cómo se caracteriza la hidrología para diferentes periodos de retorno de las máximas avenidas en el río Lurín?	Caracterizar la hidrología para diferentes periodos de retorno para las máximas avenidas de la cuenca del río Lurín.	Al caracterizar la hidrología para diferentes periodos de retorno, se determina las máximas avenidas de la cuenca del río Lurín		<ul style="list-style-type: none"> • Tirante de agua inundable 	El método de la investigación fue deductivo de enfoque cuantitativo y orientación aplicada. El tipo de investigación es descriptiva-explicativa, nivel descriptiva-explicativo. El diseño es no experimental longitudinal y estudio de cohorte.
¿Qué parámetros hidráulicos influyen en las inundaciones del tramo Cieneguilla – río Lurín?	Modelar hidráulicamente el tramo Cieneguilla – río Lurín por medio del software HEC-RAS para la identificación de las zonas de inundación fluvial.	Al modelar hidráulicamente el tramo Cieneguilla – río Lurín por medio del software HEC-RAS, se identifica que el tirante máximo sobrepasa las secciones geométricas.	Impacto económico directo	<ul style="list-style-type: none"> • % infraestructura afectada 	
¿Cómo determinar el impacto económico desde el punto de vista hidráulico producto a las inundaciones fluviales en el río Lurín?	Determinar el impacto económico directo producido por las inundaciones fluviales para la reducción de riesgos en la infraestructura en el tramo Cieneguilla.	Si se determina los tirantes máximos, ancho de encauzamiento y velocidad permite estimar las inundaciones en función de las pérdidas económicas.		<ul style="list-style-type: none"> • Matrices cuantitativas y cualitativas • Costos de afectación 	

Anexo B: Precipitación máxima 24 horas - Estación Antioquía

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1988	4.2	8.3	0	0	2.3	0	0	0	0	0	0	21.8
1989	4.7	8.3	2.6	0	0	0	0	0	0	0.9	0	0
1990	0.1	0	2	0	0.9	0	0	0	0	0	0.3	9.3
1991	6	1.9	8.3	0.7	0	0	0	0	0	0.3	0	0
1992	0	3.3	0.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1993	2.3	6.4	7.4	4	0	0	0	0	0	0	0.8	1.8
1994	21.8	11.1	13.8	3.4	0	0	0	0	0.1	0	0	1.3
1995	4.8	0.2	13.2	2.1	0	0	0	0	0.3	0.2	9.4	3.7
1996	5.5	7.9	6.1	4.5	0	0	0	0	0	0	0	0
1997	1.8	2	0.3	0	0	0	0	0	0	0.4	4.2	11.6
1998	5.6	9.6	9.8	0.1	0	0	0	0	0	0	0	4.1
1999	6.6	17.5	5.1	0.9	1.5	0	0	0	0	2.9	0.2	0.6
2000	8.4	12.6	3.4	0	0	0	0	0	0	0	0	2
2001	11.3	4.2	4.1	1.7	0	0	0	0	0	0	3.2	0
2002	1.3	16	9.8	2.7	0.1	0	0.1	0.1	0	1.6	0.4	1.8
2003	1.9	4.3	3.6	0	0	0	0	0	0	0	0	5.6
2004	0	11.5	2.2	1.9	0	0	0	0	0	0	0	1
2005	1.1	1.2	0.2	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0.6
2006	14.8	9.1	8.5	1.4	0	0	0	0	0	0	0.2	4.5
2007	3.2	7.2	5	5	0	0	0	0	0	0	0	1
2008	6.2	7.7	13.4	0.6	0	0	0	0	0	0	1.2	0
2009	3.7	16.5	13.8	6.2	0	0	0	0	0	0.7	0.8	0.1
2010	5.8	2.9	4.3	1.6	0	0	0	0	0	0	0	3
2011		2	0.8	0.7	0	0	0	0	0	0	1.7	4
2012	2.1	5.5	4.5	0	0	0	0	0	0	1.6	1	1
2013	0.6	17.5	3.5	0	0	0	0	0	0	0	0	2
2014	4.3	2.4	10.2	0	0	0	0	0	0	1.2	0	3.1
2015	4.8	3.6	9.2	7.1	0	0	0	0	0	0	0	2.3
2016	1.9	3.9	2.6	2.3	0	0	0	0	0	0	0	2.3
2017	7.3	7.3	9.6	2.3	0	0	0	0	0	0	0	0
2018	1.2	4.4	4.6	8.8	0.1	0	0	0	0	0	0	0
2019	7.8	9.6	3.7	0	0	0	0	0	0	0	2	2.6

Nota. SENAMHI

Anexo C: Precipitación máxima 24 horas - Estación Langa

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1988	3	5	5.5	2	0	0	0	0	0	0	0	15
1989	12.4	13.2	10.2	7.1	0	0	0	0	0	5.4	0	0
1990	0	0	4.5	1.5		0	0	0	0	2.2	6.7	8.9
1991	4.3	6.3	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1992	4.2	3.2	3	0	0	0	0	0	0	0	0	
1993	18	26.8	20.8	2.5	0	0	0	0	0	1.1	8.2	8.6
1994	29.9	10.8	16.7	6.6	1	0	0	0	7.3	0	2.6	6.3
1995	18.6	23.9	8.1	4.9	0	0	0	0	3	1.4	16.1	10
1996	5.9	13.2	8.2	3	0	0	0	0	0	0	0	1
1997	7.9	31.3	9.1	0.4	0	0	0	0.3	3.2	0.5	3.4	21.3
1998	20.8	23.5	13.1	6	0	0	0	0	0	0.2	1.2	6.6
1999		31.4	11.2	6.2	6.5	0	0	0	1.3	3	2.5	4.9
2000	8.5	14.8	8.9	5.8	0	0	0	0	0.8	0	0	12.1
2001	29.5	13.3	24	20.2	0	0	0	0	0	0.9	16.4	0
2002	4.6	20.6	20.3	5.4	1.1	0	0	0.1	2.5	3	10.1	3.4
2003	7.3	8.7	13.6	3.2	0	0	0	0	0	0.3	0.7	22.4
2004	3.5	18.3	11.4	5.6	0	0	0	0	0.9	0	2.2	8.4
2005	9	11.5	9.5	0	0	0	0	0	0	0.1	0	9.9
2006	26.4	27.4	17.2	5	0	0	0	0	0.3	0.9	5	13
2007	6.2	9.6	9.9	18.3	0	0	0	0	0	2.7	2.6	1.4
2008	13.6	25.5	26.1	2.9	0	0	0	0.3	0	0.3	2.8	2.2
2009	13.2	34.4	27.6	8.9	0	0	0	0	0	7.3	3.6	6.8
2010	3.6	46.9	10.9	8.4	0	0	0	0	0.4	0.6	3	5.6
2011	9	6.3	9.9	18.1	0	0	1.5	0	0	0	4.7	5.1
2012	7.2	19.2	18.2	18.3	0	0	0	0	0	3.3	1.7	
2013	3.8	20.1	16.8	0.7	1.6	0	0	0	0.5	1.1	2.3	7.7
2014	12.8	10.5	15.6	4.8	1.5	0	0	0	2.1	2.6	8.8	4.8
2015	8.7	8.3	19.7	9.5	0	0	0	0	0	1.2	2.4	9
2016	11	10.8	9.5	5.1	0	0	0	0	0	0	0	5.1
2017	22.4	17.5	26.9	4.6	2.3	0	0	0	0	1.1	3.7	1.4
2018	11	10.1	12.3	6.8	0	4	0	0	0	4.7	2.8	0.6
2019	13.9	25.4	10.3	1.2	1.8	0	0	0	4.7	1	0.3	10.7

Nota. SENAMHI

Anexo D: Precipitación máxima 24 horas - Estación San Lázaro de Escobar

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1988	9.2	30	9.3	8.6	3.5	0	0	0	0	0	16	13.2
1989	9	12.2	9.2	4.5	0	0	0	0	0	0	0	0
1990	15	10.1	10.5	9	0	0	0	0	0	4.5	12.5	10
1991	10.1	7	7.1	6.5	0	0	0	0	0	0	0	0
1992	3.1	6.6	10	3.6	0	0	0	0	0	0	0	0
1993	12.6	10.2	10.6	8.6	0	0	0	0	0	7	9.3	9
1994	16.9	21	16.2	15	15	0	0	0	6.2	0	5	8.1
1995	13.1	8.5	10.8	10	5	0	0	0	0	4	10	15
1996	15	26	13	7	1.5	0	0	1	0.1	6.1	10.2	14
1997	35	43	11	4	1	0	0	0.1	5	5	6	16
1998	11.7	11	12	9.3	0	0.2	0	0	0.6	2.1	5.2	10
1999	7.1	16.5	16	7.9	10.2	0	0.8	6.8	8.5	5.7	7.4	8.1
2000	8	10.2	7.6	4.9	2.8	0	0	0.3	4.7	7.6	6.2	11.8
2001	13.3	30.9	34.6	9.6	0.3	0	0	0	1.1	3.3	11.9	0
2002	14	25.5	16.5	16	3	0	1.3	0.3	7	9.7	24.7	5.2
2003	13.2	9	15.5	7.2	1.2	0	0	0	0	5.5	3	25.2
2004	5	18.7	27.5	13.4	0	1	0	0	4.3	1.3	2.2	10.3
2005	10.3	21.4	24.5	34.9	0	0	0	0	0	0	2	30.7
2006	74	65.3	15.6	3.4	0	0	0	0	0	2.2	6.3	21.8
2007	22	6.2	21.8	17.4	0	0	0	0	0	5.4	3	3.5
2008	8		21.5	2.5	0	0	0	0	0	4.4	4.4	3.8
2009	14.9	12.5	16.6	21.5	2	0	0	0.7	0	12.3	4.4	4.5
2010	10.6	32.3	19.5	10.6	0.6	0	0	0	12.4	1.5	3.5	12.2
2011	13.2	7.1	12.4	12	2.9	0	0	0	0.6	3.2	8.8	8.4
2012	12	21.6	27.8	12.2	0	0	0	0	2.1	16.5	5.4	16.4
2013	10.1	30.4	25.4	13.5	3.5	0	0	0.7	0	12.4	5.4	13
2014	43.8	9.3	18.6	10.6	4.2	0	0	3.8	2.8	7.2	13.2	8.2
2015	35.8	14.6	16.8	22.4	0	0	0	0.6	1.2	3.8	3.6	21.3
2016	16.6	24.2	19.5	8.2	0	0	0	0	1.2	2.4	0	4.4
2017	32.4	15.2	28.9	6.4	3.2	0	0	0	4.4	3.8	5.3	7.4
2018	17.4	34.7	31	15	2	7.5	0	0	0.2	5.7	8.6	9.3
2019	23.4	25.9	22	6.8	15.2	0	0	0	0	4.8	2.8	15.4

Nota. SENAMHI