



UNIVERSIDAD
DE PIURA

FACULTAD DE INGENIERÍA

**Zonificación del riesgo por inundación en el tramo urbano
del río Piura en situaciones de FEN**

Tesis para optar el Grado de
Máster en Recursos Hídricos

Jorge Alonso Peña Valdivia

**Asesor:
Dr. Jorge Demetrio Reyes Salazar**

Piura, octubre de 2021

Dedicatoria

A Dios y a la Virgen María por brindarme fuerza y perseverancia cada día para seguir logrando mis objetivos, y a mi familia por ser el apoyo incondicional en mi vida.





Agradecimiento

Esta tesis ha sido financiada por el Proyecto Concytec - Banco Mundial “Mejoramiento y Ampliación de los Servicios del Sistema Nacional de Ciencia Tecnología e Innovación Tecnológica” 8682-PE, a través de su unidad ejecutora ProCiencia. [contrato número 060-2018-FONDECYT-BM-IADT-AV], con el objetivo de desarrollar modelos estadísticos para la predicción a corto plazo (24, 48, 72 horas) de los caudales de avenida de los ríos Chira y Piura, partiendo de un estudio exhaustivo de la red hidrometeorológica actual que garantice la calidad de la información empleada en la predicción.

Forma parte del subproyecto “Modelación hidrológica de los caudales de los ríos Chira y Piura: evaluación de la red hidrometeorológica actual y elaboración de una herramienta de predicción”, a cargo de la Universidad de Piura e IRAGER.

Se agradece a ProCiencia por el financiamiento brindado; asimismo, al Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología y al Proyecto Especial Chira Piura, por la información y las facilidades para la conformación de la base de datos hidrometeorológica.





Resumen

En el presente trabajo de tesis se propone realizar la zonificación del riesgo por inundación en el tramo urbano del río Piura, abarcando distritos como Piura, Castilla, Catacaos, Cura Mori, El Tallán y La Unión, para caudales representativos de la zona.

Para esto, se realizaron análisis hidrodinámicos y sedimentológicos del río Piura usando los caudales pronosticados adecuados para distintos periodos de retorno y simulando la topografía total de la zona en estudio en modelo numérico de inundación: IBER. Con los resultados de las simulaciones en dicho modelo se ubicaron las zonas críticas y vulnerables con mayor riesgo frente a inundaciones debido a la presencia de un Fenómeno El Niño (FEN) en la franja urbana del río Piura.

El estudio concluye con la presentación del sistema o escala de alerta frente a inundaciones con un tiempo de anticipación apropiado para que tanto las autoridades como los ciudadanos que corren el riesgo de ser afectados tomen las medidas y protección pertinentes, así como también con los planos adecuados para un mejor entendimiento y desarrollo del trabajo.



Tabla de contenido

Introducción.....	23
Capítulo 1: Generalidades	25
1.1 Planteamiento y formulación del problema.....	25
1.2 Justificación e importancia.....	25
1.3 Objetivos.....	27
1.3.1 Generales	27
1.3.2 Específicos.....	27
1.4 Antecedentes.....	27
1.4.1 A nivel internacional.....	27
1.4.2 A nivel nacional.....	28
1.5 Organización del estudio.....	29
Capítulo 2: La Cuenca Piura.....	31
2.1 Ubicación y delimitación de la cuenca.....	31
2.2 Características geomorfológicas	34
2.3 Características climatológicas de Piura.....	34
2.3.1. Precipitación	35
2.3.2. Temperatura.....	35
2.3.3. Humedad relativa.....	35
2.3.4. Evaporación.....	36
2.3.5. Horas de sol	36
2.4 Zonificación de la cuenca Piura.....	36

2.5 Red de drenaje	37
2.5.1 Río Piura.....	37
2.5.2 Lagunas	37
2.6 Fenómeno El Niño y su impacto en a la cuenca Piura.....	39
2.6.1 Fenómeno El Niño	39
2.6.2 Definición.....	39
2.6.3 Índice Oceánico El Niño	39
2.6.4 El Niño en el Perú.....	40
2.6.5 Registro histórico en el Perú.....	40
2.7 El Niño Costero 2017.....	42
2.7.1 Índice Costero del Niño.....	42
2.7.2 Definición.....	43
2.7.3 Daños registrados.....	43
Capítulo 3: Marco referencial.....	49
3.1 Marco conceptual.....	49
3.1.1 Amenaza.....	49
3.1.1.1 Amenaza biológica:	49
3.1.1.2 Amenaza geológica:.....	49
3.1.1.3 Amenaza hidrometeorológica:.....	49
3.1.1.4 Amenaza natural:	50
3.1.1.5 Amenaza socio-cultural:.....	50
3.1.1.6 Amenaza tecnológica:	50
3.1.2 Desastre	50
3.1.3 El peligro	50
3.1.4 La vulnerabilidad	50
3.1.5 El riesgo.....	50
3.1.5.1 Evaluación del riesgo:.....	50

3.1.5.2 Gestión del riesgo:	50
3.1.5.3 Riesgo de desastres:	51
3.1.6 Sistema de alerta temprana.....	51
3.1.7 Inundaciones.....	51
3.1.7.1 Inundaciones dinámicas o rápidas:	51
3.1.7.2 Inundaciones estáticas o lentas:	51
3.1.7.3 Inundaciones pluviales:	51
3.1.7.4 Inundaciones fluviales:	51
3.1.8 Iber	51
3.2 Marco legal	52
3.2.1 Entidades	52
3.2.1.2 Proyecto Especial Chira Piura (PECHP):	52
3.2.1.3 Autoridad Nacional del Agua (ANA):.....	52
3.2.2 Normativa vigente.....	52
3.2.2.1 Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje:	52
3.2.2.2 Reglamento para la delimitación y mantenimiento de fajas marginales en cursos fluviales y cuerpos naturales.....	52
3.2.2.3 Ley N°29338 Ley de los recursos hídricos.....	52
Capítulo 4: Modelación numérica con Iber.....	53
4.1 Metodología.....	53
4.2 Análisis de variables de ingreso.....	54
4.2.1 Variable hidrológica.....	54
4.2.2 Variable geométrica, modelo digital del terreno	57
4.3 Modelación numérica.....	59
4.3.1 Pre Proceso	59
4.3.1.1 Creación del modelo digital del terreno (MDT):.....	59
4.3.1.2 Parámetro de tiempo:	61

4.3.1.3 Rugosidad:.....	61
4.3.1.4 Condiciones iniciales	63
4.3.1.5 Condiciones de entorno:.....	63
4.3.1.6 Condiciones de contorno del transporte de sedimentos:.....	63
4.3.1.7 Calibración del modelo:	64
4.3.2 Proceso	65
4.3.3 Post proceso.....	65
Capítulo 5: Estimación del riesgo por inundación.....	67
5.1 Características generales de la zona en evaluación.....	67
5.1.1 Aspectos sociales	67
5.1.1.1 Población:.....	67
5.1.1.2 Población según etapas de vida:	68
5.1.1.3 Vivienda:.....	69
5.1.1.4 Servicios de agua potable:.....	70
5.1.1.5 Servicios higiénicos:	71
5.1.1.6 Servicios de energía eléctrica:	72
5.1.1.7 Salud:	73
5.1.1.8 Educación:.....	74
5.1.2 Aspectos económicos.....	75
5.2 Evaluación del nivel de peligrosidad	76
5.2.1 Definición de inundación	77
5.2.2 Parámetros de evaluación	77
5.2.3 Análisis del nivel de peligro	77
5.2.3.1 Factores condicionantes:	77
5.2.3.2 Factores desencadenantes:.....	78
5.2.3.3 Ponderación de parámetros:	78
5.2.3.4 Matriz de ponderación: Factores condicionantes	81

5.2.3.5 Matriz de ponderación: Factores desencadenantes.....	88
5.2.3.6 Determinación de los niveles de peligrosidad.....	94
5.2.3.7 Estratificación de los niveles de peligrosidad	96
5.3 Evaluación del nivel de vulnerabilidad.....	96
5.3.1 Análisis de los factores de vulnerabilidad en la dimensión social.....	97
5.3.1.1 Análisis de la fragilidad social	97
5.3.1.2 Análisis de la resiliencia social.....	101
5.3.2 Análisis de los factores de vulnerabilidad en la dimensión económica.....	105
5.3.2.1 Análisis de la fragilidad económica.....	105
5.3.2.2 Análisis de la resiliencia económica.....	109
5.3.3 Determinación de los niveles de vulnerabilidad.....	113
5.3.4 Estratificación de los niveles de vulnerabilidad	115
5.4 Evaluación del nivel de riesgo.....	116
5.4.1 Determinación del nivel de riesgo	116
5.4.2 Estratificación del nivel de riesgo.....	118
5.4.3 Resultados de los mapas de nivel de riesgo	119
Conclusiones.....	125
Recomendaciones	127
Lista de referencias	129
Anexos.....	135



Lista de figuras

Figura 1. Ubicación de la cuenca del río Piura	33
Figura 2. Mapa hidrográfico de la cuenca del río Piura	38
Figura 3. Anomalías de temperatura superficial del mar (°C) 1998-2010	42
Figura 4. Categorías de las anomalías en condiciones de la temperatura	43
Figura 5. Plaza de Armas de la ciudad de Piura inundada el día 27 de marzo del 2017 .	45
Figura 6. Inexistencia de muros de contención en la margen izquierda del río Piura, aguas arriba del Puente Cáceres	45
Figura 7. Falla de muros de contención en la margen derecha del río Piura, Calle Huancavelica	46
Figura 8. Falla de muros de contención en la margen derecha del río Piura, aguas arriba del Puente Sánchez Cerro.....	46
Figura 9. Caudales máximos instantáneos anuales en el río Piura para los años hidrológicos desde 1925-1926 hasta 2018-2019	55
Figura 10. Área de vuelo Lidar en el cauce del río Piura	58
Figura 11. Topografía del terreno de la zona de estudio a modelar en formato Raster ..	60
Figura 12. Asignación de los coeficientes de rugosidad según el uso de suelo	62
Figura 13. Niveles de flujo en la zona de estudio para un TR = 25 años referido al cuadal de 3930 m ³ /s	66
Figura 14. Distribución de población por distritos en Piura	68
Figura 15. Población según etapa de vida en la zona en evaluación	69
Figura 16. Material predominante en las paredes de cada vivienda de la zona	70
Figura 17. Viviendas con abastecimiento de agua potable	71
Figura 18. Sistemas de alcantarillado en viviendas de la zona de evaluación	72
Figura 19. Tipos de alumbrado público en viviendas	73
Figura 20. Tipos de sistema de salud en población	74

Figura 21. Nivel de instrucción de población	75
Figura 22. Actividades económicas en población de la zona de estudio	76
Figura 23. Parámetros de evaluación de inundaciones	77
Figura 24. Parámetros para el análisis de la vulnerabilidad	97
Figura 25. Ubicación de zonas de modelación para visualización de resultados	122



Lista de tablas

Tabla 1. Parámetros geomorfológicos de la cuenca del río Piura	34
Tabla 2. Tipos de clima en al cuenca del río Piura	35
Tabla 3. Caracterización de los dos episodios extraordinarios de El Niño en el Perú	40
Tabla 4. Impactos de El Niño en el Perú	41
Tabla 5. Daños a la vida y salud, por efectos de El Niño Costero 2017, procesamiento al 95.5%	44
Tabla 6. Cotas de la superficie de agua registrados el 27 de marzo del 2017	48
Tabla 7. Ubicación de los puntos de rotura de diques en la margen izquierda	48
Tabla 8. Caudales máximos (m^3/s) proyectados en el río Piura según modelo Doble Gumbel	57
Tabla 9. Características de la malla	61
Tabla 10. Parámetros de tiempo	61
Tabla 11. Valores de n Manning según el uso de suelo	61
Tabla 12. Condiciones de bode que ofrece preestablecidos Iber	63
Tabla 13. Datos de aforo en las secciones de control de tres puentes en el río Piura	64
Tabla 14. Datos seleccionados de aforo en las secciones de control de tres puentes en el río Piura	65
Tabla 15. Tirantes de agua obtenidos antes y después de la calibración	65
Tabla 16. Características de la población según sexo	68
Tabla 17. Población según etapa de vida de la zona en evaluación	69
Tabla 18. Material predominante en las paredes de cada vivienda de la zona	70
Tabla 19. Viviendas con abastecimiento de agua potable	71
Tabla 20. Sistema de alcantarillado en viviendas de la zona de evaluación	72
Tabla 21. Alumbrado público en viviendas de la zona de evaluación	73

Tabla 22. Tipos de sistema de salud en población	74
Tabla 23. Nivel de instrucción de población	75
Tabla 24. Actividades económicas en población de la zona de estudio.....	76
Tabla 25. Escala de Saaty	78
Tabla 26. Matriz de comparación de pares: Factores Condicionantes	79
Tabla 27. Matriz de Normalización: Factores Condicionantes	79
Tabla 28. Relación de consistencia: factores Condicionantes.....	80
Tabla 29. Determinación del λ Máx	80
Tabla 30. Valores de IZ para los distintos “n”	81
Tabla 31. Valores de IC y RC para factores Condicionantes	81
Tabla 32. Matriz de comparación de pares: Altitud	81
Tabla 33. Matriz de Normalización: Altitud	81
Tabla 34. Matriz de Vector Suma Ponderada: Altitud	82
Tabla 35. Determinación del IC y RC: Altitud	82
Tabla 36. Peso ponderado: Altitud	82
Tabla 37. Matriz de comparación de pares: Cercanía al cauce	83
Tabla 38. Matriz de Normalización: Cercanía al cauce	83
Tabla 39. Matriz de Vector Suma Ponderada: Cercanía al cauce	83
Tabla 40. Determinación del IC y RC: Cercanía al cauce.....	84
Tabla 41. Peso ponderado: Cercanía al cauce	84
Tabla 42. Matriz de comparación de pares: Existencia de obras de protección	84
Tabla 43. Matriz de Normalización: Existencia de obras de protección.....	85
Tabla 44. Matriz de Vector Suma Ponderada: Existencia de obras de protección	85
Tabla 45. Determinación del IC y RC: Existencia de obras de protección	86
Tabla 46. Peso ponderado: Existencia de obras de protección.....	86
Tabla 47. Matriz de comparación de pares: Uso del suelo.....	86
Tabla 48. Matriz de Normalización: Uso del suelo	87
Tabla 49. Matriz de Vector Suma Ponderada: Uso del suelo.....	87
Tabla 50. Determinación del IC y RC: Uso del suelo.....	87
Tabla 51. Peso ponderado: Uso del suelo.....	88
Tabla 52. Matriz de comparación de pares: Tirante de agua TR = 2 años	88
Tabla 53. Matriz de Normalización: Tirante de agua TR = 2 años	88
Tabla 54. Matriz de Vector Suma Ponderada: Tirante de agua TR = 2 años	89
Tabla 55. Determinación del IC y RC: Tirante de agua TR = 2 años.....	89

Tabla 56. Peso ponderado: Tirante de agua TR = 2 años.....	89
Tabla 57. Matriz de comparación de pares: Tirante de agua TR = 10 años.....	90
Tabla 58. Matriz de Normalización: Tirante de agua TR = 10 años.....	90
Tabla 59. Matriz de Vector Suma Ponderada: Tirante de agua TR = 10 años.....	90
Tabla 60. Determinación del IC y RC: Tirante de agua TR = 10 años.....	91
Tabla 61. Peso ponderado: Tirante de agua TR = 10 años.....	91
Tabla 62. Matriz de comparación de pares: Tirante de agua TR = 25 años.....	91
Tabla 63. Matriz de Normalización: Tirante de agua TR = 25 años.....	92
Tabla 64. Matriz de Vector Suma Ponderada: Tirante de agua TR = 25 años.....	92
Tabla 65. Determinación del IC y RC: Tirante de agua TR = 25 años.....	92
Tabla 66. Peso ponderado: Tirante de agua TR = 25 años.....	93
Tabla 67. Matriz de comparación de pares: Tirante de agua TR = 100 años.....	93
Tabla 68. Matriz de Normalización: Tirante de agua TR = 100 años.....	93
Tabla 69. Matriz de Vector Suma Ponderada: Tirante de agua TR = 100 años.....	94
Tabla 70. Determinación del IC y RC: Tirante de agua TR = 100 años.....	94
Tabla 71. Peso ponderado: Tirante de agua TR = 100 años.....	94
Tabla 72. Resultados de pesos ponderados de los factores condicionantes y desencadenantes.....	95
Tabla 73. Resultados de nivel de peligrosidad.....	95
Tabla 74. Niveles de peligro.....	96
Tabla 75. Estratificación del Nivel de Peligro.....	96
Tabla 76. Matriz de comparación de pares: Grupo etario.....	98
Tabla 77. Matriz de Normalización: Grupo etario.....	98
Tabla 78. Matriz de Vector Suma Ponderada: Grupo etario.....	98
Tabla 79. Determinación del IC y RC: Grupo etario.....	99
Tabla 80. Peso ponderado: Grupo etario.....	99
Tabla 81. Matriz de comparación de pares: Discapacidad.....	99
Tabla 82. Matriz de Normalización: Discapacidad.....	100
Tabla 83. Matriz de Vector Suma Ponderada: Discapacidad.....	100
Tabla 84. Determinación del IC y RC: Discapacidad.....	100
Tabla 85. Peso ponderado: Discapacidad.....	101
Tabla 86. Matriz de comparación de pares: Nivel educativo.....	101
Tabla 87. Matriz de Normalización: Nivel educativo.....	102
Tabla 88. Matriz de Vector Suma Ponderada: Nivel educativo.....	102

Tabla 89. Determinación del IC y RC: Nivel educativo	102
Tabla 90. Peso ponderado: Nivel educativo	103
Tabla 91. Matriz de comparación de pares: Tipo de seguro de salud	103
Tabla 92. Matriz de Normalización: Tipo de seguro de salud.....	103
Tabla 93. Matriz de Vector Suma Ponderada: Tipo de seguro de salud.....	104
Tabla 94. Determinación del IC y RC: Tipo de seguro de salud.....	104
Tabla 95. Peso ponderado: Tipo de seguro de salud.....	104
Tabla 96. Matriz de comparación de pares: Material predominante de las paredes	105
Tabla 97. Matriz de Normalización: Material predominante de las paredes.....	105
Tabla 98. Matriz de Vector Suma Ponderada: Material predominante de las paredes ..	106
Tabla 99. Determinación del IC y RC: Material predominante de las paredes	106
Tabla 100. Peso ponderado: Material predominante de las paredes	106
Tabla 101. Matriz de comparación de pares: Material predominante en los techos.....	107
Tabla 102. Matriz de Normalización: Material predominante en los techos	107
Tabla 103. Matriz de Vector Suma Ponderada: Material predominante en los techos..	108
Tabla 104. Determinación del IC y RC: Material predominante en los techos.....	108
Tabla 105. Peso ponderado: Material predominante en los techos.....	108
Tabla 106. Matriz de comparación de pares: Tipo de vivienda.....	109
Tabla 107. Matriz de Normalización: Tipo de vivienda	110
Tabla 108. Matriz de Vector Suma Ponderada: Tipo de vivienda.....	110
Tabla 109. Determinación del IC y RC: Tipo de vivienda.....	111
Tabla 110. Peso ponderado: Tipo de vivienda	111
Tabla 111. Matriz de comparación de pares: Régimen de tenencia	111
Tabla 112. Matriz de Normalización: Régimen de tenencia	112
Tabla 113. Matriz de Vector Suma Ponderada: Régimen de tenencia.....	112
Tabla 114. Determinación del IC y RC: Régimen de tenencia	113
Tabla 115. Peso ponderado: Régimen de tenencia	113
Tabla 116. Pesos ponderados de la dimensión social	114
Tabla 117. Pesos ponderados de la dimensión económica	114
Tabla 118. Valores de niveles de vulnerabilidad.....	114
Tabla 119. Niveles de vulnerabilidad.....	115
Tabla 120. Estratificación del Nivel de Vulnerabilidad.....	115
Tabla 121. Nivel de peligro para determinar nivel de riesgo	117
Tabla 122. Nivel de vulnerabilidad para determinar nivel de riesgo	117

Tabla 123. Matriz de riesgo..... 117
Tabla 124. Resultados de niveles de riesgo ante inundaciones 117
Tabla 125. Estratificación del Nivel de Riesgo 118





Introducción

La dimensión de los impactos provocados por eventos naturales generadores de desastres tales como tsunamis, sismos, tormentas, etc., dependen tanto de la magnitud del evento natural, así como también de las características socioculturales de las personas, es decir de cuán preparada está la población y la infraestructura. La presencia de los desastres naturales es frecuente a nivel mundial, pero el nivel de respuesta es muy precario para la gran mayoría de países en vías de desarrollo, debido a que estos no tienen una adecuada gestión del riesgo frente a desastres naturales, o si lo tienen, no lo desarrollan de la manera adecuada (Lavell, 1987).

En el caso del Perú, uno de los eventos naturales que tiene mayor importancia debido a su frecuencia, así como del nivel de daños, es el Fenómeno El Niño (FEN). El FEN trae consigo impactos positivos y negativos, dentro de los primeros se puede mencionar el aumento de la flora y fauna en las zonas donde se ha presentado una considerable precipitación; pero si se habla de los impactos negativos, el FEN ha ocasionado serios problemas en el sector salud, economía, construcción, vivienda, etc. La última imagen negativa que se tiene del FEN 2017, denominado El Niño Costero, fue la de una gran inundación en el tramo urbano del río Piura, causando innumerables daños a las viviendas y negocios en los distritos de Piura, Castilla, Catacaos, Cura Mori, El Tallán y La Unión.

Debido a esto, se ha visto necesario la realización de una zonificación del riesgo de inundación en el tramo urbano del río Piura para eventos FEN, esto mejoraría el orden territorial y la gestión misma de las ciudades, así mismo se tendría una base técnica para el desarrollo de estructuras de protección frente a inundaciones, asegurando la vida útil de la infraestructura urbana, así como también la salud y bienestar de la población.



Capítulo 1

Generalidades

1.1 Planteamiento y formulación del problema

En la actualidad se tiene un gran interés sobre conocer cuáles son las zonas que tienen un riesgo de inundación considerable en la cuenca del río Piura, en especial las ubicadas en el tramo urbano, esto debido a que durante el Fenómeno El Niño (FEN) del año 2017, considerado como El Niño Costero, el río Piura se desbordó produciendo inundaciones en distintas zonas de Piura y Castilla, inclusive en localidades ubicadas en el Bajo Piura, causando así pérdidas económicas, viviendas parcial o totalmente inhabitables, negocios temporalmente inactivos y sobre todo una cierta sensación de desprotección por parte de la población piurana. Por ello, es fundamental identificar y plantear una zonificación del riesgo de inundación en el tramo urbano del río Piura, exclusivamente en situaciones FEN, para plantear soluciones de mejora y un mejor ordenamiento territorial.

En el ordenamiento territorial y planificación adecuada de ciudades propensas a inundaciones debidas al desbordamiento de ríos, la gestión del riesgo debe ser el pilar para una adecuada planificación, logrando así, organizar y promover la prevención y el bienestar íntegro, dando cumplimiento al objetivo de realizar un desarrollo sostenible. La presente tesis permitió determinar la zonificación del riesgo por inundación en el tramo urbano del río Piura, desde la presa Los Ejidos hasta el inicio de la laguna Ramón, con el objetivo de generar pautas para el ordenamiento territorial de todas las ciudades de la provincia de Piura. Para ello se llevó a cabo un análisis del comportamiento histórico de la variable hidrológica, se estimaron niveles para diferentes caudales y niveles de fondo históricos, pasando a convertir dichos resultados en elevaciones para llevarlos a planos georreferenciados, y así con base en criterios hidrológicos y geomorfológicos, definir la zonificación del riesgo por inundación.

Teniendo en cuenta este contexto, se plantea la tesis “Zonificación del riesgo de inundación en el tramo urbano del río Piura en situaciones de FEN”.

1.2 Justificación e importancia

La cuenca hidrográfica del río Piura abarca una extensión del 30.3% del territorio de la región. Está muy influenciada por anomalías climáticas como el FEN, el cual es un fenómeno climatológico que ocurre entre los meses de diciembre y abril. En este periodo, la

temperatura del mar se incrementa generando lluvias intensas en la costa norte del Perú e impactos negativos en el ecosistema marino (Takahashi & Martínez, 2017).

El Fenómeno El Niño costero, ocurrido en el verano de 2017, afectó gran parte de la región Piura, generando en la población cierta duda e incertidumbre en el pronóstico de los caudales y niveles de agua en el río Piura. Este pronóstico es de vital importancia, ya que es necesario que tanto la población como instituciones públicas o privadas puedan informarse acerca de los datos más relevantes de dicha cuenca. Esto, con el fin de tomar las acciones adecuadas para afrontar satisfactoriamente un nuevo desastre de igual o mayor magnitud.

El comportamiento del flujo del río Piura, basándose únicamente en los niveles de agua a lo largo de todo su cauce, tiene dos fases muy marcadas. Durante la primera, aproximadamente posterior al año 2002, los niveles de agua no estaban influenciados con la inexistencia de la salida del río al mar, esto gracias a que la Laguna San Ramón aún podía almacenar cierto volumen de sedimentos, pero que poco a poco se iría colmatando. Este comportamiento del río fue de interés y preocupación a nivel nacional haciendo que en el año 2003 el Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) contratara a la Universidad de Piura para que investigue dicho comportamiento en distintos escenarios con modelación física y numérica. Partiendo de ese futuro escenario de sedimentación de dicha laguna, empezaría la segunda fase, en la cual, los niveles del río Piura en la zona urbana ya vienen siendo influenciados por dicho estado sedimentológico final.

La cuenca del río Piura no cuenta con embalses de regulación de avenidas, por lo que la necesidad de predecir los niveles de agua en zona de alto riesgo es evidente. Así mismo, en toda la cuenca sólo existen 5 estaciones hidrométricas: Los Ejidos, Tambogrande, Puente Ñácara, Salitral y Barrios, de las cuales, las cuatro primeras son manejadas por el Proyecto Especial Chira Piura (PECHP), y la última es operada por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI). En estas estaciones a lo largo de los años se han realizado mediciones de parámetros hidráulicos tales como niveles de agua, niveles de sedimentos de fondo y velocidades en toda su sección hidráulica, esto con el objetivo principal de determinar el valor del caudal en dicha estación. Sin embargo, se ha registrado que en la actualidad la frecuencia de medición de estos datos es muy baja. Es allí donde se genera la necesidad e importancia de monitorear los parámetros hidrológicos en la cuenca Piura, ya sea para las épocas de lluvia, cuyo resultado desfavorable son las posibles inundaciones, o en periodos de sequía, para un realizar un adecuado manejo del recurso hídrico para el crecimiento de la actividad económica, la salud y alimentación de la población y su relación en la determinación de los niveles de agua en zonas de posible inundación. Así mismo, se podría direccionar este estudio en evaluar si los cambios en la geomorfología, tales como los estrangulamientos que ha sufrido el cauce del río en las zonas de estudio, contribuyen a un mayor riesgo de su desborde.

Actualmente el Instituto de Hidráulica, Hidrología e Ingeniería Sanitaria (IHHS) de la Universidad de Piura se encuentra desarrollando el proyecto denominado: “Modelación hidrológica de los caudales de los ríos Chira y Piura: evaluación de la red hidrometeorológica

actual y elaboración de una herramienta de predicción”. Como parte de la investigación, la presente tesis tiene como objetivo llegar a establecer una zonificación del riesgo de inundación en el tramo urbano del río Piura en situaciones de ocurrencia del FEN. Con este análisis se podría determinar el nivel esperado del río para los caudales que serán pronosticados con los modelos estadísticos que serían desarrollados en el mencionado proyecto. Esto servirá para poder desarrollar futuras soluciones que tendrían relación directa con el estudio del transporte de sedimentos utilizado en la limpieza del cauce natural, brindando así soluciones óptimas para evitar riesgo de posibles inundaciones.

1.3 Objetivos

1.3.1 Generales

Determinar las zonas con riesgo de inundación en el tramo urbano del río Piura durante eventos de Fenómeno El Niño.

1.3.2 Específicos

- Determinar los niveles de agua para diferentes caudales en el río Piura, logrando identificar los puntos críticos frente a una inundación, mediante el uso del modelo numérico Iber.
- Analizar el comportamiento de los sedimentos de fondo del cauce del río Piura en la zona urbana mediante un análisis temporal y analizarlo para los distintos eventos FEN.
- Proponer un sistema o escala de alertas para el nivel del río en zonas críticas y vulnerables frente a inundaciones en el tramo urbano con un tiempo de anticipación apropiado para que tanto las autoridades como los ciudadanos que corren el riesgo de ser afectados tomen las medidas y protección pertinentes.

1.4 Antecedentes

1.4.1 A nivel internacional

A nivel internacional se han realizado varios estudios que han tenido como objetivo principal la determinación de las zonas de riesgo de inundación, a modo de ejemplo se mencionan algunos estudios que tienen una alta relación con la presente tesis, pero que han sido desarrolladas en otros países.

Delgado (2019) en su artículo “Zonificación del riesgo por inundación como aporte a la prevención, en el puerto – Laguna de Cocha – Colombia”, determinó las zonas del riesgo por inundación con el objetivo de generar pautas para un ordenamiento territorial. Delgado combinó las zonas de amenaza y la vulnerabilidad para establecer la zonificación del riesgo por inundación, identificando así la infraestructura e instalaciones críticas de suma importancia ubicadas dentro de cada una de las zonas encontradas.

Gutiérrez (2008) en su artículo titulado “Zonificación de amenazas por movimientos en masa, inundaciones y avenidas torrenciales, municipio de Belén, Boyacá” desarrolló una correlación de las distintas metodologías por los fenómenos de movimientos en masa e

inundaciones, los cuales son directamente relacionados con las avenidas torrenciales, generando así una nueva metodología que evaluaría no solo el terreno sino también el tránsito hidráulico en condiciones críticas.

Barrantes & Vargas (2011) en su publicación “La zonificación de amenaza por inundación como herramienta para el ordenamiento territorial en el valle del río Sixaola” presenta a las inundaciones fluviales como uno de los fenómenos naturales de mucha importancia en Costa Rica, debido a que tiene mayor frecuencia y genera anualmente innumerables daños acumulativos. Presenta a la zonificación de amenazas por inundación como una herramienta para reducir los constantes desastres naturales, mejorando así la gestión del ordenamiento territorial y la facilidad de la gestión del riesgo.

Sánchez (2012) en su trabajo de investigación “Estudio para la zonificación del riesgo por inundación en el Valle de Abrego norte de Santander”, realizó la zonificación de amenazas mediante la aplicación de herramientas GIS, junto con la aplicación del software HEC-RAS y su extensión HEC-GeoRAS, mediante el cual se realizaron simulaciones de manchas de inundación para diferentes periodos de retorno, obteniendo así la magnitud y frecuencia en que se podrían presentar eventos de inundación, clasificándolos y valorándolos en varias categorías de alta, media y baja.

Como se puede ver, existen varios estudios internacionales en países latinoamericanos, demostrando que existe un gran interés y preocupación por estudiar y mitigar el riesgo por inundación en zonas vulnerables. En el Perú se han realizado pocos estudios referidos a la determinación de dichas zonas inundables, es por ello que esta tesis pretende dar un gran aporte técnico para reforzar esta gestión y tener así un adecuado ordenamiento territorial.

1.4.2 A nivel nacional

A nivel nacional podemos mencionar algunos estudios referidos a la gestión del riesgo de inundación elaborados por distintas instituciones, a continuación, hacemos mención de algunas investigaciones realizadas en el Perú.

Soria-Díaz (2015) elaboró un artículo titulado “Riesgo de inundación de la ciudad de Iquitos, Perú” el cual elabora un diagnóstico de la ciudad de Iquitos frente al riesgo por inundación. El objetivo de esta investigación fue determinar la zonificación del riesgo por inundación en la ciudad de Iquitos, utilizando el caudal histórico del río Amazonas presentado en el año 2012, proponiendo herramienta de gestión y optimización del ordenamiento territorial.

En el año 2008 el Centro de Estudios y Prevención de Desastres (PREDES) presentó el artículo titulado “Metodología para el análisis de vulnerabilidad y riesgo ante inundaciones y sismos, de las edificaciones en centros urbanos”, el cual fue elaborado por la Arq. Olga Lozano Cortijo quien diseñó esta metodología y recibió aportes del Equipo Técnico del Proyecto Piloto Participativo de Gestión Local del Riesgo de Desastres del Distrito de Calca, Región Cusco. PREDES consideró oportuno su presentación como contribución a los objetivos de la Plataforma Global con fines de incrementar la comprensión y la disminución

del riesgo de desastres, brindando un gran aporte técnico para un desarrollo sostenible y poder ofrecer herramientas a todas las naciones para combatir el riesgo de desastres naturales.

Maza (2019) en su tesis titulada “Análisis del comportamiento hidráulico del río Piura, en el tramo Los Ejidos – Puente Independencia” evaluó el comportamiento hidráulico del río Piura usando modelo numérico Hec-Ras, simulando tres escenarios diferenciados por la topografía considerada: topografía del año 2015, topografía del año 2015 considerando el Puente Independencia ensanchado y sin dique fusible, y topografía del año 2017. Maza concluye que el modelo numérico Hec-ras otorga buenas aproximaciones comparando sus resultados con los registrados en el fenómeno del año 2017. Así mismo, Maza concluye que la influencia del aumento de la sección hidráulica del río Piura en la zona cercana al Puente Independencia es nula.

El Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción de Riesgos de Desastres (CENEPRED) en el año 2017, elaboró, en su primera fase, la evaluación de distintos centros poblados afectados por “El Niño Costero”. Estos informes fueron elaborados aplicando la metodología del “Manual para la evaluación de los riesgos originados por Fenómenos Naturales” 2da versión.

Por último, en el año 2016 se publicó en el Diario El Peruano el “Reglamento para la Delimitación y Mantenimiento de Fajas Marginales en Cursos Fluviales y Cuerpos de Agua Naturales y Artificiales”, cuyo objetivo es establecer las metodologías y criterios aplicables para la delimitación de las fajas marginales de los cauces naturales o artificiales, todo ello con arreglo a las disposiciones establecidas en la Ley de Recursos Hídricos, Ley N° 29338 y su Reglamento aprobado por Decreto Supremo N° 01-2010-AG.

1.5 Organización del estudio

La organización de la presente tesis se ha establecido de la siguiente manera:

- En el Capítulo 1: se presenta el problema, se justifica y detallan los alcances de la tesis. Se plasman los objetivos finales de esta investigación, así mismo, se da una visión rápida de los antecedentes científicos y técnicos en relación al problema planteado.
- En el Capítulo 2: se presentan las características principales de la cuenca Piura, se describe la ubicación y delimitación total de la misma, así como también se menciona la zonificación del río Piura y las características geomorfológicas principales que toman importancia al momento de realizar un análisis hidrológico. Se detalla también el Fenómeno El Niño y los impactos que ha tenido a lo largo de los años en Piura. Por último, se describe el área en estudio y se especifican los alcances del mismo.
- En el Capítulo 3: se presentan los aspectos conceptuales sobre Zonificación del Riego de Inundación, Inundaciones Fluviales, tipos de riesgos. Así mismo se exponen los aspectos legales tales como el “Reglamento para la Delimitación y Mantenimiento de Fajas Marginales en Cursos Fluviales y Cuerpos de Agua Naturales y Artificiales” (ANA, 2016), y algunas leyes que enmarcarían esta investigación.
- En el Capítulo 4: se desarrolla de manera explicativa el proceso de modelación numérica utilizando el modelo numérico de IBER para la determinación de los niveles

de agua máximos en el tramo urbano del río Piura, los cuales formarían parte de las variables de estudio para la determinación de las zonas de riesgo frente a inundaciones.

- En el Capítulo 5: se desarrolla la determinación, evaluación y análisis de los niveles de riesgo frente a inundaciones del tramo en estudio.

Posteriormente, se presentan las conclusiones y recomendaciones, se indican las referencias bibliográficas revisadas y finalmente se presentan los Anexos que complementan con valiosa información a esta tesis.



Capítulo 2

La cuenca Piura

2.1 Ubicación y delimitación de la cuenca

La cuenca del río Piura se encuentra ubicada en el departamento de Piura, en el extremo noroccidental del Perú; perteneciendo a la cuadrícula 17 entre las coordenadas UTM 9 351 196.25 a 9 477 038.59 Norte y 493 547.49 a 676 699.89 Este (Autoridad Autónoma de la Cuenca Hidrográfica Chira Piura, 2005).

La cuenca Piura abarca 29 distritos de 5 provincias de Piura, distribuidos de la siguiente manera (ANA, 2008):

- 4 distritos de la provincia de Huarmaca: Canchaque, Huarmaca, Lalaquiz y San Miguel del Faique.
- 10 distritos de la provincia de Morropón: Buenos Aires, Chalaco, Chulucanas, La Matanza, Morropón, San Juan de Bigote, Santa Catalina de Mossa, Santo Domingo, Salitral y Yamango.
- 1 distrito de la provincia de Ayabaca: Frías.
- 8 distritos de la provincia de Piura: Castilla, Catacaos, Cura Mori, El Tallán, La Arena, La Unión, Piura y Tambogrande.
- 6 distritos de la provincia de Sechura: Bellavista, Bernal, Cristo Nos Valga, Rinconada Llicuar, Sechura y Vice.

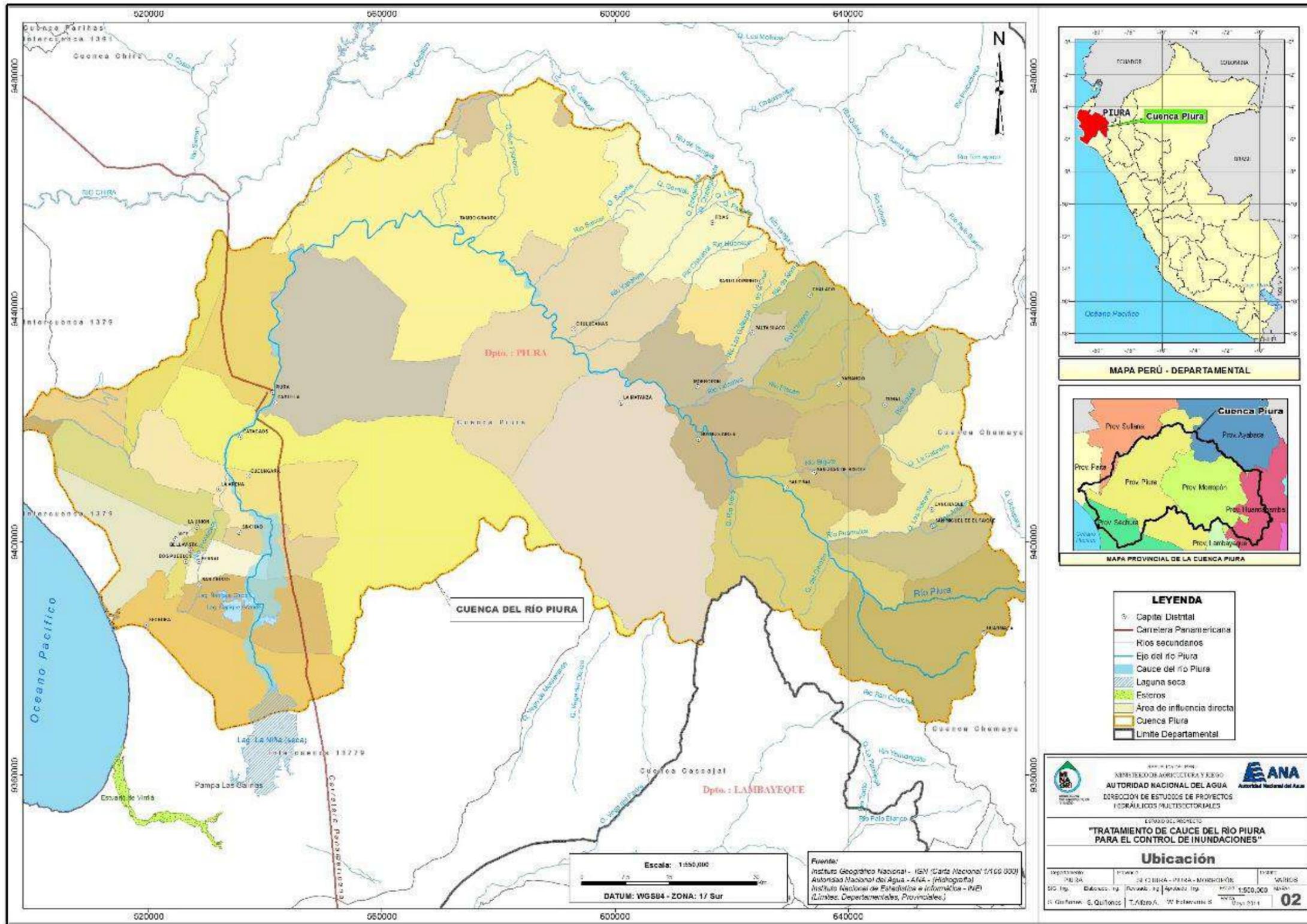
Pertenece al conjunto de cuencas de la vertiente del Pacífico, el cual se limita de la siguiente forma:

- Sector norte: limitado por las cuencas de los ríos Chipillico y Chira.
- Sector sur: limitado por la cuenca del río Cascajal.
- Sector este: limitado por la Cordillera Occidental; presenta una dirección con sentido de sur a norte, dando separación a las cuencas de los ríos Chipillico, Quiroz y Huancabamba.
- Sector oeste: limitado por un conjunto montañoso que termina en Tambogrande, en donde el río empieza a encaminarse hacia el sur-oeste, presentando su desembocadura al mar en el Océano Pacífico.

La cuenca tiene un área total de 10 872 Km², su extensión territorial representa un tercio de la superficie del departamento, debido a esto, acoge a más de la mitad de la población departamental de Piura (Neyra y Olivares, 2019). En la Figura 1 se puede observar la ubicación de la cuenca del río Piura.



Figura 1
Ubicación de la cuenca del río Piura.



Fuente: ANA (2014).

Según el último censo realizado en el año 2017, Piura como departamento, demográficamente alcanzó un total de 1 856 809 habitantes, el cual representa el 6.3% de la población total a nivel nacional (INEI, 2017).

2.2 Características geomorfológicas

La ANA (2014), en el Proyecto: “Tratamiento del cauce del río Piura para el control de inundaciones” describe las características geomorfológicas de la cuenca Piura, las cuales, después de realizados los cálculos específicos para la determinación de los parámetros de la cuenca, las resume en la Tabla 1:

Tabla 1

Parámetros geomorfológicos de la cuenca del río Piura.

Nombre del cauce	Parámetros básicos					Parámetros de forma		Parámetros de relieve	
	Área (A)	Perímetro (P)	Longitud de cauce mayor (L)	Ancho promedio (Ap)	Altitud media de la cuenca	Coeficiente de compacidad (Kc)	Factor de forma (Ff)	Pendiente media del cauce (Ic)	Pendiente media de la cuenca
	Km ²	Km	Km	Km	m.s.n.m.	$Kc = 0.28 \frac{P}{\sqrt{A}}$	$Ff = \frac{A}{L^2}$	%	%
Río Piura	10872	655	304.9	35.7	465	1.8	0.12	0.011	13

Fuente: ANA (2014).

2.3 Características climatológicas de Piura

Según la clasificación climatológica de W. Koppen, el clima de región Piura pertenece a la zona subtropical; según Pettersen el clima es del tipo semitropical costero y según W. Thornthwaite sería un clima semicálido (ANA, 2014). La cuenca Piura está caracterizada por tener pluviosidad moderada y altas temperaturas, con pequeñas oscilaciones estacionales (ANA, 2014).

La cuenca del río Piura presenta un clima muy variado, debido a la presencia de diversos pisos altitudinales en su zona territorial. Tal es el caso de la zona de Morropón y Chulucanas donde se ha registrado que la temperatura puede hasta los 31.6 grados centígrados, mientras que en Huarmaca se ha registrado una la temperatura de 14.6 grados centígrados. (Piura Perú. ORG, 2019).

Las instituciones encargadas de la medición de los datos meteorológicos e hidrológicos tales como el SENAMHI realizan mediciones en cada una de las estaciones hidrometeorológicas, obtenido gráficos y tablas de los datos obtenidos en campo. Esta institución detalla un monitoreo diario registrado a partir de los datos hidrometeorológicos de estaciones convencionales, asimismo el ANA registra su información en sus estaciones automáticas (Neyra & Olivares, 2017). El Proyecto Especial Chira Piura (PECHP) también es una institución que se encarga de realizar mediciones a los parámetros mencionados. El ANA

en el año 2012, en el “Diagnóstico de la Gestión de los Recursos Hídricos de la Cuenca Piura” presenta los tipos de climas en la cuenca del río Piura, los cuales se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 2

Tipos de clima en la cuenca del río Piura

Tipo de clima	Cobertura	Rango altitudinal (m.s.n.m.)
Cálido	La Esperanza, Mallares, Lancones, Las Lomas, Timbes, Suyo, Paimas, Sausal de Culucán, Piura, Chulucanas, Tambogrande, Morropón.	Menor de 1000
Semicálido	Nazaino, Sapillica, Montero, Sícchez, Sechura	1000 – 1700
Templado cálido	Palo Blanco, Lagunas, Pacaipampa	1700 – 2300
Templado frío	Los Alisos, Minas, Sauce, Ayabaca, Yangana. Pacaypampa	2300 – 3000
Semifrío	Arrendamiento, Las Pircas, Talaneo	3000 – 3500
Frío moderado	Las cumbres más altas de la cuenca	Mayor de 3500

Fuente: ANA (2012).

2.3.1. Precipitación

Las precipitaciones en la cuenca Piura puede clasificarse en tres tipos (ANA 2014):

- Zona baja: la cual se encuentra entre las cotas 0,0 y 80 msnm, aquí se han registrado entre los meses de enero y abril precipitaciones escasas del orden de 10 a 80 mm anuales.
- Zona media: la cual se encuentra entre las cotas 80 y 500 msnm, donde se han registrados lluvias con valores de 100 y 600 mm entre los meses de diciembre y mayo.
- Zona alta: ubicada entre la cota 500 msnm hasta la línea divisoria de aguas de las cuencas del Chira y Piura, se han registrado lluvias con valores promedios anuales que varían entre 700 y 1100 mm entre los meses de enero y mayo.

2.3.2. Temperatura

En las zonas baja y media de la cuenca de Piura presenta una temperatura media anual de 24°C, luego tiende a disminuir para las zonas altas registrando un valor de hasta los 13°C. De manera horaria, se registran valores máximos puntuales, los cuales se presentan entre las 13 y 15 horas, donde se alcanza un valor de temperatura de 38°C en las zonas bajas entre los meses de febrero y marzo; y en la zona alta se han obtenido valores de 27°C en el mismo lapso de horas. Los valores mínimos se registran entre los meses de junio a agosto, donde se han podido alcanzar valores de 15°C en la Costa, bajando hasta 8°C entre los meses de junio y septiembre en la parte alta (ANA, 2014).

2.3.3. Humedad relativa

La zona baja de los valles presenta un comportamiento de la humedad relativa similar al régimen térmico, registrando valores mensuales en el rango de 67% y 73%. Estos valores

son superados en los meses lluviosos en años de Niño intenso, los valores que se han registrado supera el 91% (ANA, 2014). La zona media de la cuenca muestra características análogas a la zona baja, sin embargo, en la parte alta mantiene valores de humedad relativa entre 70% y 95% (ANA, 2014).

2.3.4. Evaporación

Debido a la ubicación geográfica, en las zonas bajas de la cuenca la evaporación alcanza valores aproximados de 2 500 mm/ año, en la zona media presentan valores entre 2 350 a 2 500 mm/año y en la zona alta se registran unos valores entre 1 100 a 1 350 mm/año (ANA, 2014).

2.3.5. Horas de sol

Para la zona baja de la cuenca se presentan valores medios anuales de 7 horas de sol, en la zona media y alta se registran valores de 6,1 y 5,2 horas de sol respectivamente. Los valores máximos se presentan entre los meses de agosto y diciembre, decreciendo entre los meses de enero y marzo. Los valores de horas de sol máximas y mínimas diarias registradas se presentan en la zona alta, correspondiendo los valores de 10,1 y 0,7 horas de sol respectivamente (ANA 2014).

2.4 Zonificación de la cuenca Piura

Guzmán (1994) en una publicación del INGEMMET, determina en la región Piura dos grandes áreas fisiográficas, las cuales se describen a continuación:

- **Zona Alto Piura:** esta zona está conformada por el macizo rocoso de la Cordillera Occidental, con valles interandinos de topografía accidentada, con una notable divisoria de aguas, constituida por las cuencas de los ríos Huancabamba, Quiroz y Chipillico.
- **Zona Medio y Bajo Piura:** esta zona tiene una gran extensión, mayor a la de la Zona del Alto Piura y posee una pendiente en su mayoría suave. Esta zona abarca cauces pequeños erráticos de quebradas secas, las cuales se activan principalmente ante la presencia de un FEN y por un cauce principal del río que con el pasar de los años ha variado el lugar de desembocadura.

Añadido a esto, para una adecuada gestión de los recursos hídricos de la cuenca Piura, conviene dividir esta gran cuenca en tres zonas:

- **Zona Alta:** esta zona corresponde el territorio comprendido entre las elevaciones 350 y 3650 msnm. Esta posee una topografía abrupta, con ríos de altas pendientes y con valles pronunciados. Esta área se caracteriza por la presencia de continuas precipitaciones, las cuales oscilan entre los valores de 500 y 1200 mm., debido a esto, cuenta con gran vegetación en las partes altas y con poca vegetación, propia de bosque seco en la parte baja. Su clima es variado, pero va desde templado a subhúmedo.

- **Zona Media:** esta zona corresponde al territorio comprendido entre las elevaciones 50 y 350 msnm. A diferencia de la zona alta, esta posee una topografía de relieve ondulado, la cual está caracterizada por la presencia de precipitaciones que oscilan entre los 100 y 500 mm anuales. En esta zona la vegetación característica es de bosque seco acompañada de un clima seco.
- **Zona Baja:** esta zona comprende el territorio que va desde la desembocadura en el mar hasta la zona con altitud máxima de 50 msnm. Esta zona se caracteriza por poseer una topografía en su mayoría de relieve plano; así mismo, se caracteriza por la presencia de escasas precipitaciones, menores a 100 mm anuales. La vegetación en esta región es típica de bosques secos con un clima que en la mayoría de los meses del año es cálido y seco.

2.5 Red de drenaje

En la cuenca Piura se logra distinguir dos cuerpos de agua: el río Piura y el conjunto de lagunas presentes en la desembocadura del mismo río. A continuación, se describen cada uno de estos cuerpos:

2.5.1 *Río Piura*

El río Piura tiene una longitud aproximada de 304.91 Km (longitud medida desde su nacimiento hasta la laguna La Niña), empieza su recorrido en una altitud de 3250 msnm. Exactamente en la confluencia de dos ríos: el Chignia que se encuentra ubicado en la margen izquierda y el río Chalpa ubicado en la margen derecha. Posee una pendiente promedio de 0.0064, pero dicho valor es muy variante y depende mucho de la zona, tal es el caso que en la parte alta de la cuenca hasta Tambogrande, el río posee una pendiente promedio es de 0.0185, en la parte media hasta la presa Los Ejidos, la pendiente promedio es de 0.00044 y en la parte baja hasta la laguna La Niña, la pendiente promedio es de 0.00036 (ANA, 2014).

La ANA (2014) menciona sus principales afluentes según la ubicación en sus márgenes:

- Margen derecha: río Pusalca, río Bigote, río Corrales, río Charanal, río Yapatera, río Sancor, quebrada San Francisco, quebrada Carnero y quebrada De Arcillas.
- Margen izquierda: Quebradas Del Garabo y quebrada Río Seco.

2.5.2 *Lagunas*

En la zona baja de la cuenca, se encuentra la laguna Ñapique Chico, la cual cuenta con volumen de agua continuo, así mismo, se encuentran las lagunas Ñapique Grande y Ramón que actualmente no cuentan con capacidad hídrica para el almacenamiento de agua frente a posibles precipitaciones. Por último, se tiene aguas abajo la laguna La Niña, que tampoco cuenta con capacidad para el almacenamiento de agua (ANA, 2014). En la Figura 2 se muestra el mapa hidrográfico de la cuenca del río Piura.

2.6 Fenómeno El Niño y su impacto en a la cuenca Piura

2.6.1 Fenómeno El Niño

El Niño Oscilación del Sur (ENOS) es el primer tipo de variabilidad del clima que se produce anualmente tanto en los trópicos como a gran escala mundial (Ropelewski y Halpert, 1987). El ENOS es un patrón del clima que nace a partir del Océano Pacífico tropical con un periodo de ocurrencia de cinco años. El ENOS, en los últimos años, ha captado más el interés de los investigadores debido a los severos impactos y grandes pérdidas que ha dejado a su paso (Singh, Kumar, & Nieto, 2017). El Fenómeno El Niño (FEN) se genera a partir del calentamiento de aguas superficiales; afectando principalmente la zona del Sureste Asiático, Australia y Sudamérica. Se caracteriza por la incorporación de una masa superficial de aguas cálidas en el mar, específicamente en la zona norte, generando así cambios climáticos anómalos, como el aumento de la temperatura del mar, presencia de intensas precipitaciones y también de sequías (Barturén, 2017).

2.6.2 Definición

Inicialmente el término El Niño fue utilizado por primera vez por los pescadores oriundos de Paita para describir la elevación de la temperatura del mar en el Pacífico norte del Perú, así como también de la presencia de lluvias en época cercana a la Navidad y por un periodo de varios meses (Carrillo, 1892). Bjerknes (1969) registra anomalías que guardan relación con el calentamiento del mar de la costa del Perú, justo en la frontera con Ecuador, y lo relaciona tanto al calentamiento del mar del Pacífico tropical como a los cambios a escala mundial de la atmosfera tropical, "Oscilación del Sur". La fase cálida de ENOS es conocida como El Niño (EN), mientras que la fase fría es conocida como La Niña (Wang et al., 2012).

Últimas investigaciones demuestran que este calentamiento se incrementa cada cierto tiempo, esto debido a los constantes cambios que ocurren en las capas superficiales y subsuperficiales del océano (SENAMHI, 2014).

2.6.3 Índice Oceánico El Niño

La Administración Nacional para el Océano y la Atmósfera de los Estados Unidos de Norteamérica (NOAA, por sus siglas en inglés) utiliza un indicador que les ayuda a determinar si el evento se trata de El Niño o La Niña; este indicador es el Índice Oceánico El Niño (ONI, por sus siglas en inglés). El ONI representa la desviación del valor promedio de la temperatura superficial del mar que se registra en el océano Pacífico ecuatorial, el cual se conoce como El Niño 3.4, el cual es una de las importantes bases de datos que mide este fenómeno climatológico (Tootle et al., 2008). El ONI se utiliza para dar seguimiento y para poder predecir el ENOS y se compone de tres fases: cuando los valores de ONI son mayores o iguales a $+0.5^{\circ}\text{C}$ estamos hablando de la fase El Niño, cuando estos valores de ONI son menores o iguales a -0.5°C se estaría tratando de La Niña, por último, si el ONI fluctúa entre -0.5°C y $+0.5^{\circ}\text{C}$ estaría tratándose de la fase neutral (Trenberth, 2001).

2.6.4 *El Niño en el Perú*

El Perú, debido a la ubicación estratégica que tiene, es uno de los países que frecuentemente recibe grandes impactos sobre las dos principales variables del FEN: la atmósfera y el océano (CAF, 1998). Es así que se genera un grupo de eventos climatológicos, los cuales forman grandes amenazas para la población y para las actividades económicas y sociales que las representan.

Características de El Niño en el Perú: Según datos observados por el SENAMHI acerca de los dos episodios extraordinarios, El Niño 1982-1983 y El Niño 1997-1998, el comportamiento de las condiciones meteorológicas en el territorio peruano se altera, mayormente en el Altiplano y en la vertiente occidental, tal como se puede observar en la Tabla 3.

Tabla 3

Caracterización de los dos episodios extraordinarios de El Niño en el Perú

Episodio El Niño	Anomalías de temperatura mínima	Anomalías de precipitación
El Niño 1982-1983	+8.0 °C (Chiclayo) +10.0 °C (Chimbote)	En la costa norte: 3000 mm entre setiembre y mayo; en verano, mayores núcleos en Piura. En la sierra sur: déficit severo de precipitación.
El Niño 1997-1998	+8.0 °C desde Chiclayo al Norte Chico	Costa Norte: 3000 mm entre setiembre y mayo; en verano, mayores núcleos en Piura y Tumbes; incrementos de alrededor de 2000% en algunas estaciones costeras norteñas: Miraflores, Talara (Piura), Tumbes; lluvias intensas en Lambayeque; lluvias en Lima.

Fuente: SENAMHI (2014).

2.6.5 *Registro histórico en el Perú*

El SENAMHI en el año 2014 en una publicación titulada “El Fenómeno El Niño en el Perú” presenta una lista de los impactos negativos y positivos que genera el FEN en el Perú, donde se puede observar que la zona más afectada del Perú es la costa norte. En la Tabla 4 se logran observar los impactos positivos y negativos que genera el FEN.

Tabla 4*Impactos de El Niño en el Perú.*

Impactos positivos	Impactos negativos
<ul style="list-style-type: none"> - Aparición de otras especies pelágicas. - El incremento de lluvias y temperatura del aire favorece el desarrollo del cultivo de arroz en la costa. - Las lluvias intensas, en eventos El Niño de fuertes a extraordinarias, favorecen la regeneración natural de los bosques secos en la costa norte. - La aparición de praderas temporales en la costa norte es importante para la ganadería. - El exceso de lluvias favorece la recarga de acuíferos. - Las altas temperaturas del mar durante el otoño e invierno, favorecen la disminución de la intensidad de las heladas en la sierra central y norte. 	<ul style="list-style-type: none"> - Aceleración del retroceso glaciario. - Pérdida de terrenos agrícolas. - Colmatación de reservorios. - Salinización de suelos. - Destrucción de la infraestructura productiva (canales de irrigación, bocatomas, compuertas, etc.). - Destrucción de vías de comunicación (carreteras y puentes colapsados). - Muerte o migración de algunas especies vegetales y animales. - Altas probabilidades de que se produzcan incendios forestales, debido a las altas temperaturas. - Las altas temperaturas generan impacto en la producción pecuaria (baja producción de carne y leche). - Disminución de la producción de papa en la costa y sierra por altas temperaturas y exceso de humedad. - En algunos cultivos el ciclo vegetativo se acorta; ausencia de inducción floral. - Destrucción de infraestructura de saneamiento básico. - Incremento de enfermedades como el cólera, la malaria, infecciones estomacales, conjuntivitis. - Desplazamiento y profundización de cardúmenes de anchoveta, que no puede ser compensada con la presencia de nuevas especies.

Fuente: SENAMHI (2014).

Hocquenghem (1992) define como se percibe el efecto de El Niño en el Perú:

- **El Niño muy fuerte o extraordinario:** Catástrofe, daños mayores a las edificaciones en las técnicas de comunicación e irrigación.
- **El Niño fuerte:** Puede perturbar a las ciudades en las actividades de irrigación y de comunicación.
- **El Niño moderado:** Sin daño a construcciones.
- **El Niño débil:** mala cosecha en temporadas, el pasto es muy escaso por un año, no es el más beneficioso.
- **El Niño muy débil:** muy pocas precipitaciones que no permiten cosechar, y el pasto es insuficiente para la alimentación del ganado.
- **Sin Niño:** Sequía, ausencia de cosechas, retroceso del bosque seco.

2.7 El Niño Costero 2017

2.7.1 Índice Costero del Niño

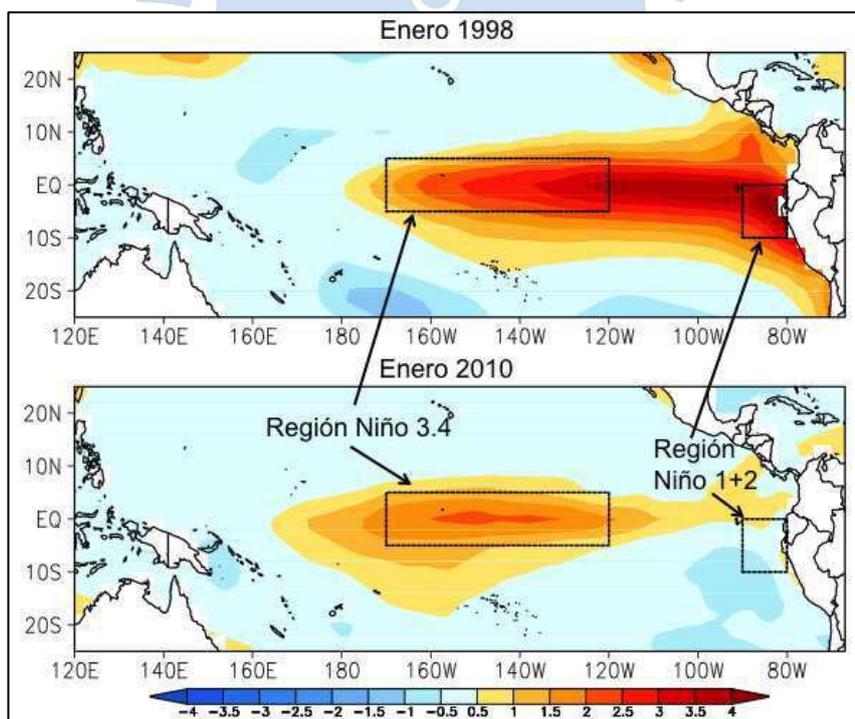
El Ministerio del Ambiente indica que el Índice Costero del Niño (ICEN) es usado de manera oficial por el Comité Multisectorial para el Estudio del Fenómeno El Niño (ENFEN) con la finalidad de monitorear el fenómeno El Niño y La Niña únicamente en la zona de la costa del Perú y cuyo mantenimiento es responsabilidad del Instituto Geofísico del Perú (IGP).

Es así que en el año 2011 el ENFEN utiliza al ICEN como un indicador para monitorear los efectos locales de El Niño. Su cálculo se basa en la aplicación de una media móvil de las anomalías mensuales de la TSM de la región Niño 1+2 de 3 meses consecutivos (Takahashi, Mosquera, & Reupo, 2014).

En el año 1998, se presentó un FEN en la costa peruana (ej. Niño 1+2) cuyas anomalías fueron superiores a las presentadas en el Pacífico central (Niño 3.4). Sin embargo, ocurrió todo lo contrario en el FEN del año 2010. Esto demuestra la gran importancia de tener monitoreado al menos estas dos regiones de manera independiente (Takahashi, Mosquera, & Reupo, 2014)

Figura 3

Anomalías de temperatura superficial del mar (°C) 1998-2010.



Fuente: SENAMHI (2014).

Es así que el ICEN clasifica las anomalías de los fenómenos según sea su valor mensual registrado según como se muestra en la Figura 4:

Figura 4

Categorías de las anomalías en condiciones de la temperatura.

Categorías	Valor mensual del ICEN
Fría Fuerte	Menor que -1.4
Fría Moderada	Mayor o igual que -1.4 y menor que -1.2
Fría Débil	Mayor o igual que -1.2 y menor que -1.0
Neutras	Mayor o igual que -1.0 y menor o igual que 0.4
Cálida Débil	Mayor que 0.4 y menor o igual que 1.0
Cálida Moderada	Mayor que 1.0 y menor o igual que 1.7
Cálida Fuerte	Mayor que 1.7 y menor o igual que 3.0
Cálida Extraordinaria	Mayor que 3.0

Fuente: Takahashi, Mosquera & Reupo (2014).

2.7.2 Definición

Mes a mes el valor del ICEN nos permite un monitoreo constante a corto tiempo, nos lo cual no permite identificar el evento El Niño en base al siguiente criterio: cuando se indica que el ICEN en la región costera del Perú tiene condiciones cálidas, se denomina Evento El Niño en dicha región, al menos durante tres meses consecutivos. Este evento es de mayor magnitud, inclusive superior a la mayor alcanzada en al menos 3 meses durante el evento.

“El Niño costero” está basado e relación a la definición de El Niño y se refiere como la presencia de valores de TSM por mayores al promedio de manera constante durante varios meses, principalmente en la región del Océano Pacífico cercano a la costa del norte del Perú y de Ecuador. Este evento puede suceder relacionado tanto como parte de ENOS, con alteraciones de mayor magnitud del campo de presión atmosférica, vientos y ondas oceánicas en el Pacífico Ecuatorial, así como a las alteraciones en la circulación atmosférica en la región del Pacífico oriental. (ENFEN, 2012) Es así que, el ENFEN adecuó un Sistema de Alerta de El Niño Costero (ENFEN, 2015) para alertar la presencia de El Niño Costero de manera oportuna, sin tener que esperar los criterios anteriormente explicados.

2.7.3 Daños registrados

Según los registros brindados por el diario El Tiempo, las lluvias fuertes empezaron el 17 de febrero, donde informaba lo siguiente: “Una fuerte lluvia acompañada de fuertes vientos, truenos, relámpagos se desató anoche en la ciudad. Luego de varios días de tregua, las precipitaciones empezaron en Tambogrande desde las 5 de la tarde, acompañadas de fuertes vientos y relámpagos”. La intensidad de las lluvias continuó a lo largo del todo el mes de febrero, generando la inundación de la ciudad de Piura, ocasionando el derrumbe de varias viviendas, el colapso de desagües, así mismo, se vieron perjudicadas 2500 hectáreas de cultivo, entre otros impactos registrados en su momento. El Centro de Operaciones de Emergencia Regional COER-Piura, anunció que las zonas más afectadas por las precipitaciones son las de Castilla, La Unión, La Arena, Talara, Morropón y Chulucanas (Neyra & Olivares, 2019).

Las lluvias fuertes continuaron durante el mes de marzo, las cuales tuvieron una duración de más de 10 horas, lo que causó serios daños a muchas de las viviendas, instituciones públicas y privadas, añadido a esto, se pudieron registrar tormentas eléctricas e inundaciones que dejaron aislada la provincia de Talara. De manera urgente se tuvieron que paralizar las actividades educativas tanto en colegios públicos y privados, el aumento del nivel del río Piura dejó a varias comunidades incomunicadas debido al cierre de algunos puentes, además de afectar carreteras e infraestructura agrícola. Así mismo, esta inundación convirtió en enormes lagos al distrito de Castilla y parte del Bajo Piura; por otro lado, en Catacaos, el agua obligó a muchos habitantes a subirse a los techos de sus casas a la espera de ser rescatados, y para quienes decidieron evacuar el lugar utilizaron embarcaciones improvisadas y sogas para no ahogarse (SENAMHI, 2017). Igualmente, se generaron inundaciones, huaicos, derrumbes, deslizamientos, tormentas, añadido a esto, hubo presencia de plagas y epidemias. INDECI califica a este fenómeno como extraordinario; debido a que ocasionó serios daños en varios departamentos de la costa del Perú.

Tabla 5

Daños a la vida y salud, por efectos del Niño Costero 2017, Procesamiento al 95.5%

Departamento	Daños a la vida y salud				
	Damnificados	Afectados	Fallecidos	Heridos	Desaparecidos
Ancash	34,313	116,848	27	126	1
Arequipa	2,110	48,914	17	40	5
Ayacucho	1,264	6,890	9	6	-
Cajamarca	1,655	11,468	8	6	2
Huancavelica	6,227	30,770	6	4	-
Ica	4,611	106,703	-	60	-
Junín	1,153	897	3	25	-
La Libertad	79,623	386,521	24	70	4
Lambayeque	44,619	138,336	9	5	2
Lima	18,775	40,176	16	76	1
Loreto	67	117,506	1	1	-
Piura	89,709	375,265	18	40	3
Tumbes	1,327	73,757	-	-	-
TOTAL	285,453	1,454,051	138	459	18

Fuente: INDECI (2017).

Según los datos mostrados en la Tabla 5, el departamento con mayor número de personas damnificadas fue Piura. La mayoría de esta población se lograron refugiar en dos campamentos temporales ubicados exactamente en los kilómetros 975 y 980 de la carretera Panamericana Norte entre Piura y Chiclayo.

Maza (2019) da a conocer los grandes impactos ocurridos en el FEN Costero, se menciona que en el distrito de Piura se llegaron a inundar las principales calles del centro de la ciudad, así como las urbanizaciones cercanas al río, tales como Urb. Los Cocos del Chipe, Urb. Quinta Ana María, Urb. Santa Isabel y Urb. Santa María del Pinar. Por la parte del distrito de Castilla, se inundaron las zonas de la Urb. Miraflores y El Indio, en la mayoría de los casos por el ingreso del agua del río debido a la falla de los muros de contención en ciertas zonas

(Figura 5, Figura 6, Figura 7 y Figura 8). En el Bajo Piura se inundaron las localidades de Catacaos, Cura Mori y Sechura por la rotura del dique izquierdo en 7 puntos críticos.

Figura 5

Plaza de Armas de la ciudad de Piura inundada el día 27 de marzo del 2017.



Fuente: Saucedo (2017).

Figura 6

Inexistencia de muros de contención en la margen izquierda del río Piura, aguas arriba del Puente Cáceres.



Fuente: Ortega (2017).

Figura 7

Falla de muros de contención en la margen derecha del río Piura, Calle Huancavelica.



Fuente: Ortega (2017).

Figura 8

Falla de muros de contención en la margen derecha del río Piura, aguas arriba del Puente Sánchez Cerro.



Fuente: Ortega (2017).

El FEN Costero del año 2017 se caracterizó por presentar precipitaciones de intensidad moderada, pero ocurridas en un corto periodo, lo que ocasionó que el río Piura no fuera capaz de desarrollar un proceso de erosión del fondo de su cauce, lo que normalmente sucedería en un evento FEN extraordinario, es por eso que los niveles de sedimentación en la zona del cauce cerca al Bajo Piura generaron una obstrucción considerable en el mismo cauce, esta sedimentación se manifestó de igual forma en el tramo urbano del cauce cerca a los distritos

de Piura y Castilla. Debido a esto, los niveles de agua fueron mayores para el caudal de 3468 m³/s en comparación con los niveles de agua registrados en los FEN de los años 1983 y 1998 (Maza, 2019).

Maza (2019) hace un análisis de las causas que originaron el desborde del río Piura según los especialistas de la región, las cuales fueron las siguientes:

- A lo largo del tiempo el río Piura ha perdido pendiente tanto de fondo como de energía, esto debido al aumento de la sedimentación y por la modificación del coeficiente de rugosidad. Esto se logra evidenciar por ejemplo en la variación de los niveles de agua y de fondo de cauce en los distintos eventos FEN: Para el FEN del año 1998 la cota de fondo del cauce se encontraba en la elevación 16.52 msnm y la cota de agua fue de 28.2 msnm, mientras que, en el año 2017, el nivel de fondo de cauce se ubicó en la cota 20.82 msnm y la superficie de agua se registró en la cota 31.6 msnm.
- Debido al proceso constante de sedimentación en el cauce del río, este perdió su capacidad hidráulica. Así mismo, en su cauce principal y llanuras de inundación, se presentó densificación de la vegetación.
- Al modificarse la superficie del cauce, ya sea por la presencia mayor de vegetación o por la modificación artificial del cauce, existe un incremento del coeficiente de rugosidad, lo generaría una disminución de la velocidad del flujo, lo que conlleva a un aumento del tirante de agua.
- Deficientes trabajos de prevención, evidenciados en la priorización del gobierno para el desarrollo de los procesos de descolmatación del tramo puente Bolognesi – Los Ejidos y Puente Independencia – Laguna Ramón, dejando un tramo central, puente Bolognesi – puente Independencia, sin descolmatar.
- Se realizaron trabajos de protección del cable concreto ubicada en ambos márgenes del Puente San Miguel, los cuales impidieron que el río erosione completamente tanto aguas arriba como aguas debajo de dicha zona.
- No se realizaron trabajos de mantenimiento adecuados en el sistema de protección contra inundaciones en los tramos críticos.

Otro tipo de estructuras que fueron afectadas fueron los puentes, en el tramo urbano, el agua superó la cota del tablero de los puentes Cáceres, Sánchez Cerro e Independencia (Maza, 2019). En la Tabla 6 se muestran los niveles de superficie del agua registrados en los puentes mencionados para el caudal de 3486 m³/s.

Tabla 6

Cotas de la superficie de agua registrados el 27 de marzo del 2017.

Puentes	Cota de agua el 27/23/2017 (msnm)
Puente Cáceres	32.30
Puente Bolognesi	29.70
Puente Independencia	24.55

Fuente: Elaboración propia con datos proporcionados por el Ing. Jorge Reyes

Por último, en el FEN Costero del 2017 se vieron afectadas las estructuras de protección de la margen izquierda del río Piura. El día 27 de marzo los diques de protección fallaron logrando inundar grandes zonas de pueblos y áreas de cultivo. Estas fallas ocurrieron en distintas localidades de los distritos de Catacaos (Simbilá, Viduque, Narihualá, Pedregal Chico y Molino Azul) y Cura Mori (Chato Chico, La bruja y San Antonio) (Maza, 2019). En la Tabla 7 se muestra con exactitud la ubicación de las zonas de rotura en progresivas con respecto al eje del dique izquierdo, así mismo, se menciona el proceso de reparación temporal de los mismos.

Tabla 7

Ubicación de los puntos de rotura de diques en la margen izquierda.

Puntos de rotura del dique izquierdo						
Ubicación	Progresiva (km)	Coordenadas UTM		Tipo de falla	Longitud (m)	Observación
		N	E			
Simbilá	6+400.00	538056	9420062	Falla controlada	150	Se pudo controlar con rocas y sacos de arena
Viduque	8+120.00	536769	9419195	Rotura por desborde	80	Sellada con relleno, geomembrana, roca y sacos de arena
Narihualá	13+450.00	533671	9415159	Rotura por desborde	80	Sellada con arena limosa compactada
Pedregal	14+620.00	533458	9414256	Rotura por desborde	80	Sellada con arena limosa compactada y geobolsas
Molino Azul	16+100.00	533586	9412867	Rotura por desborde	80	Rotura abierta

Fuente: Maza (2019).

Capítulo 3

Marco referencial

3.1 Marco conceptual

3.1.1 Amenaza

Un fenómeno, sustancia, actividad humana o condición peligrosa que pueden ocasionar la muerte, así como los daños a la propiedad privada, la pérdida de medios de económicos y de servicios básicos, problemas económicos y sociales, o daños al medio ambiente (ONU, 2009). Dentro de esta definición, conviene describir los tipos de amenazas en el capo de la reducción del riesgo de desastres:

3.1.1.1 Amenaza biológica: Se define como un fenómeno de origen orgánico o que se transmite mediante vectores biológicos, lo que incluye la exposición a microorganismos patógenos, toxinas y sustancias bioactivas que pueden generar la muerte, todo tipo de enfermedades y otros impactos en la salud de las personas, perjuicios a la propiedad privada, la pérdida de sustento económico, trastornos sociales y económicos, o daños al medio ambiente (ONU, 2009).

3.1.1.2 Amenaza geológica: Se define como un fenómeno de naturaleza geológica que podría causar la muerte, accidentes u otros impactos a la salud, así mismo puede causar perjuicios a la propiedad privada, la pérdida de sustento económicos familiares y servicios básicos, trastornos sociales y económicos, o daños al medio ambiente. Estas amenazas incluyen: movimientos telúricos, actividades y emisiones volcánicas, aludes, derrumbes en la superficie y corrientes de barro o escombros, movimiento de masas y desprendimiento de rocas. Los elementos que contribuyen a la mayor parte de estos procesos son factores hidrometeorológicos (ONU, 2009).

3.1.1.3 Amenaza hidrometeorológica: Se define como un fenómeno de naturaleza atmosférica, hidrológica u oceanográfica que puede causar la muerte, accidentes o complicaciones con la salud de las personas, así mismos perjuicios a la propiedad, la pérdida del sustento económico familiar y de los servicios básicos, trastornos sociales y económicos, o daños al medio ambiente. Entre este tipo de amenazas de puede mencionar: tempestades, ciclones tropicales, granizadas, tormentas de nieve, tornados, avalanchas, fuertes nevadas, marejadas, inundaciones, sequías, olas de calor y de frío (ONU, 2009).

3.1.1.4 Amenaza natural: Se define como un fenómeno natural que puede causar la muerte, accidentes u otros impactos a la salud, así mismo puede causar perjuicios a la propiedad privada, la pérdida de sustento económicos familiares y servicios básicos, trastornos sociales y económicos, o daños al medio ambiente (ONU, 2009).

3.1.1.5 Amenaza socio-cultural: Se define como un fenómeno que ocurre con más frecuencia de eventos relacionados a algunas amenazas geofísicas e hidrometeorológicas, por ejemplo inundaciones, aludes, inundaciones, subsidencia de la tierra y sequías, los cuales nacen de la interacción de las amenazas denominadas naturales con el suelo y los recursos naturales explotados de manera excesiva o hasta degradados (ONU, 2009).

3.1.1.6 Amenaza tecnológica: Es un tipo de amenaza que se nace a partir de las condiciones industriales y tecnológicas, tales como accidentes, procedimientos peligrosos, fallas en la infraestructura o actividades del hombre específicas las cuales podrían causar la muerte, accidentes u otros impactos a la salud, así mismo puede causar perjuicios a la propiedad privada, la pérdida de sustento económicos familiares y servicios básicos, trastornos sociales y económicos, o daños al medio ambiente (ONU, 2009).

3.1.2 Desastre

Se define como una serie paralización en el ejercicio de una comunidad o sociedad que causa una gran cantidad de muertes, así como pérdidas económicas, materiales e impacto al medio ambiente que superan la capacidad de las comunidades o sociedades perjudicadas para hacer enfrentarse a la situación haciendo uso de sus mismos recursos (ONU, 2009).

3.1.3 El peligro

“Probabilidad de ocurrencia de un fenómeno natural o inducido por la actividad del hombre, potencialmente dañino, de una magnitud dada, en una localidad conocida, que puede afectar a un área poblada, infraestructura física y/o el ambiente” (INDECI, 2006).

3.1.4 La vulnerabilidad

“Grado de debilidad o exposición de un elemento o conjunto de ellos frente a la ocurrencia de un peligro. Para su análisis la vulnerabilidad debe promover la identificación y caracterización de los elementos que se encuentren expuestos” (INDECI, 2006).

3.1.5 El riesgo

“Es la evaluación conjunta del peligro y la vulnerabilidad, es decir, la estimación de la probabilidad de pérdidas y daños ante la ocurrencia de un peligro” (INDECI, 2006).

3.1.5.1 Evaluación del riesgo: Metodología para determinar la naturaleza y el grado de riesgo mediante un análisis de las amenazas y de las condiciones de vulnerabilidad que en su conjunto podrían dejar impactos negativos a la población, la propiedad privada, el sustento económico familiar y los servicios básicos, al igual que el entorno del cual dependen (ONU, 2009).

3.1.5.2 Gestión del riesgo: Es la metodología para gestionar la incertidumbre para disminuir los potenciales los daños y las pérdidas. Esto abarca la evaluación y el análisis del riesgo, así

como también el desarrollo de estrategias y acciones para tomar control, disminuir y trasladar el riesgo (ONU, 2009).

3.1.5.3 Riesgo de desastres: Posibles pérdidas que generaría un desastre en relación a la cantidad de vidas, salud, sustento económico familiar, bienes y servicios básicos, y que podrían suceder en una población en particular en un lapso de tiempo específico en el futuro (ONU, 2009).

3.1.6 Sistema de alerta temprana

Es sistema que sirve para generar y brindar información de alerta que sea oportuna y eficaz, con el único objetivo de permitir que las personas, comunidades y organizaciones que se encuentren bajo amenaza se preparen y actúen con anticipación y de manera apropiada para disminuir la posibilidad de generar pérdidas o daños (ONU, 2009).

3.1.7 Inundaciones

“Las inundaciones se producen cuando las lluvias intensas o continuas sobrepasan la capacidad de campo del suelo, el volumen máximo de transporte del río es superado y el cauce principal se desborda e inunda los terrenos circundantes” (CENEPRED, 2015).

3.1.7.1 Inundaciones dinámicas o rápidas: Son las que se generan en ríos cuyas crecidas son repentinas y de corta duración debido a intensas lluvias en su cuenca. Debido a que el tiempo es muy corto, producen los mayores daños en la población y en la infraestructura. (CENEPRED, 2015).

3.1.7.2 Inundaciones estáticas o lentas: Son las que se producen cuando se presentan precipitaciones persistentes y generalizadas, las cuales producen un incremento lento del caudal del río hasta superar su capacidad hidráulica, generando un desborde del río, inundando áreas planas cercanas al río, denominadas llanuras de inundación (CENEPRED, 2015).

3.1.7.3 Inundaciones pluviales: “Son las que se producen por la acumulación de agua de lluvia en un determinado lugar o área geográfica sin que este fenómeno coincida necesariamente con el desbordamiento de un cauce fluvial” (CENEPRED, 2015).

3.1.7.4 Inundaciones fluviales: “Son las causadas por el desbordamiento de los ríos y los arroyos. Es atribuida al aumento brusco del volumen de agua más allá de lo que un lecho o cauce es capaz de transportar sin desbordarse” (CENEPRED, 2015).

3.1.8 Iber

Iber es un conjunto integrado de códigos de modelación para su uso en el campo del flujo en conductos abiertos, tales como ríos, canales, embalses, entre otros. Este modelo nos permite simular procesos de transporte y flujo turbulento inestable en superficie libre en flujos de aguas poco profundas, donde su módulo hidrodinámico calcula las ecuaciones de aguas someras bidimensionales promediadas en profundidad; siendo estas las ecuaciones de Saint Venant, que asumen una distribución uniforme de la velocidad en profundidad.

3.2 Marco legal

3.2.1 Entidades

3.2.1.1 Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI): “Organismo público ejecutor adscrito al Ministerio del Ambiente, tiene como misión generar y proveer información y conocimiento meteorológico, hidrológico y climático para la sociedad peruana de manera oportuna y confiable” (SENAMHI, 2021).

3.2.1.2 Proyecto Especial Chira Piura (PECHP): “Institución que se encarga de promover, desarrollar, administrar, operar y mantener infraestructura hidráulica en las cuencas Chira y Piura, destinadas a proveer, adecuada y eficientemente el recurso hídrico que se requiere para uso poblacional y productivo” (PECHP, 2021).

3.2.1.3 Autoridad Nacional del Agua (ANA): “Ente rector y máxima autoridad técnico normativa del Sistema Nacional de Gestión de los Recursos Hídricos, el cual es parte del Sistema Nacional de Gestión Ambiental” (ANA, 2021).

3.2.2 Normativa vigente

3.2.2.1 Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje:

Este manual sirve como guía para el diseño de las obras de drenaje superficial y subterránea de la infraestructura vial para cualquier zona en la que se encuentre el proyecto. Tiene como objetivo tener un documento técnico que sirva de guía para la determinación de los parámetros hidrológicos e hidráulicos de diseño para ser usados en obras de infraestructura vial (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2008).

3.2.2.2 Reglamento para la delimitación y mantenimiento de fajas marginales en cursos fluviales y cuerpos naturales

Es un reglamento que tiene por objetivo establecer las metodologías y criterios aplicables para la delimitación de las fajas marginales de los cauces naturales o artificiales, según lo establecido en la Ley de Recursos Hídricos, Ley N°29338 y su Reglamento aprobado por Decreto Supremo N°01-2010-AG.

3.2.2.3 Ley N°29338 Ley de los recursos hídricos

Es la Ley que regula el uso y gestión de los recursos hídricos tales como el agua superficial, subterránea, continental y los bienes asociados a esta misma. Su objetivo principal es regular el uso y gestión integrada del agua, la actuación del Estado y los entes privados en dicha gestión, así como en los bienes relacionados a esta (ANA, 2019).

Capítulo 4

Modelación numérica con Iber

Según el Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje, para el desarrollo de proyectos hídricos es necesario que el sustento técnico de dicho proyecto esté acompañado por un adecuado modelamiento numérico, el cual servirá de base para toda metodología de diseño hidráulico. Adicional a esto, el uso de los modelos numéricos no solo se centra en el diseño, también se recomienda en el desarrollo de planes de mejora a nivel ambiental, social y económico, mediante la realización de estudios técnicos que favorezcan el desarrollo de una comunidad, tal es el caso de un estudio para detectar las zonas con riesgo de inundación, el cual podría garantizar un adecuado ordenamiento territorial, así como garantizar un adecuado dimensionamiento y ubicación de las estructuras de protección.

Para cumplir con el objetivo principal de esta tesis, se ha visto conveniente el uso de un software que cumple con los estándares de modelación numérica a nivel internacional. Iber es un conjunto integrado de códigos de modelación para su uso en el campo del flujo en conductos abiertos, tales como ríos, canales, embalses, entre otros. Este programa se ha convertido en una de las principales herramientas utilizadas en muchos estudios en todo el mundo.

Adicional a esto, se debe mencionar que previo al desarrollo de la modelación, es necesario preparar la geometría que se requiere modelar, así como determinar las condiciones de flujo y de contorno del modelo. Para cumplir con estas etapas previas, es necesario el uso de dos programas adicionales: AutoCAD Civil 3D y ArcGIS. A continuación, se presentará la metodología a utilizar para el adecuado modelamiento.

4.1 Metodología

Para esta investigación se realizó el análisis de dos variables muy importantes para un correcto proceso de modelamiento de un río:

- Variable hidrológica: en este caso se hace referencia a la serie de caudales que se propone simular, los cuales corresponden a cada uno de los periodos de retorno que se especifique. Este proceso de análisis hidrológico para la obtención de estos caudales es explicado en el apartado 4.2.1 del presente capítulo.

- Variable geométrica: Para este caso, se tiene como base la topografía realizada por la ANA en el año 2015 mediante vuelo LIDAR. Se ha escogido esta topografía debido a que cumple con el requisito de magnitud de extensión, tanto de ancho como de largo, para así obtener resultados adecuados de zonas y niveles de inundación. Cabe resaltar que la topografía seleccionada estuvo dividida en 15 sectores, los cuales, al ser originados mediante vuelo dron, tuvieron errores de medición, de modo que se tuvo que filtrar y corregir algunas de las cotas. Para ello fue indispensable el uso de los programas ArcGIS para la detección de los errores en los niveles y AutoCAD Civil 3D para la corrección de dichos niveles.

Luego de realizar el análisis y procesamiento de las variables, se procede al ingreso de los datos necesarios al programa Iber, tales como la superficie, rugosidades, caudales, condiciones de borde, condiciones de flujo, etc. Para este caso en particular se considera flujo subcrítico, debido a que el río Piura posee en su mayoría una pendiente suave. Finalmente, se realizan las simulaciones para cada uno de los escenarios planificados, para luego obtener los resultados de zonas y niveles de inundación para luego generar mapas de inundación para cada caso en particular.

4.2 Análisis de variables de ingreso

Para esta investigación se realizó el análisis de las dos variables seleccionadas, muy importantes para un correcto proceso de modelamiento de un río.

4.2.1 Variable hidrológica

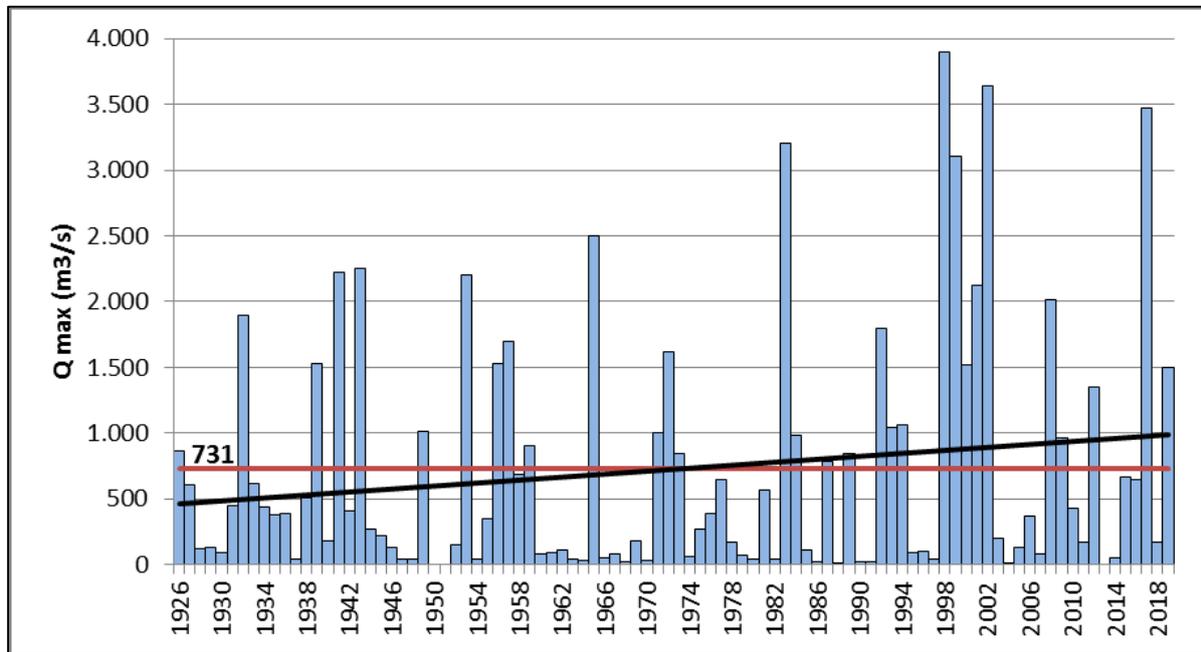
Como se mencionó anteriormente, una de las variables a tener en cuenta en la serie de simulaciones es el caudal. El análisis de esta variable se ha basado en el “Informe hidrológico de los caudales máximos anuales del río Piura”, donde Farías (2020) determina los caudales máximos instantáneos en la zona urbana del río Piura. Este documento es muy importante para esta investigación ya que contiene información histórica relevante para el desarrollo de las simulaciones.

Según este informe, en Piura, se tienen registros de caudales máximos instantáneos desde el año 1926 hasta la fecha; de este gran grupo de datos históricos, Farías selecciona los caudales máximos anuales, considerando años hidrológicos, mejor dicho, periodos anuales que empiezan en setiembre de un año y terminan en agosto del año siguiente. Recogiendo todos los datos, se tiene un total de 93 años hidrológicos, desde el año 1926 hasta 2019, excluyendo el año 2013 debido a que en ese periodo no se registraron mediciones en campo.

En la Figura 9 se puede observar los valores de caudales máximos anuales del río Piura para el periodo mencionado, donde podemos observar que la media tiene una tendencia al aumento paulatino.

Figura 9

Caudales máximos instantáneos anuales en el río Piura para los años hidrológicos desde 1925-1926 hasta 2018-2019.



Fuente: Farías, 2020.

Farías (2020) analiza dos series por separado: 1926-1982 y 1983-2019, encontrando, al realizar pruebas estadísticas de medias y de varianzas, que ambas series aparentemente corresponden a escenarios climáticos diferentes, por lo tanto, sugiere que lo más adecuado es trabajar con la serie más reciente (1983-2019) por ser la más actual y además por contar con 36 años de datos registrados, longitud suficiente para realizar un modelamiento hidráulico, lo cual cumpliría con lo presentado en el “Reglamento para la Delimitación y Mantenimiento de Fajas Marginales en Cursos Fluviales y Cuerpos Naturales y Artificiales”, el cual, en el Artículo 9 del Capítulo I, indica que la determinación de los caudales máximos se realizará utilizando información estadística de por lo menos los últimos 20 años.

Al tratarse de datos hidrológicos, es muy importante la determinación de los caudales de diseño en función de los periodos de retorno, para ello, la modelación probabilística juega un papel muy importante para llegar a las mejores estimaciones de dichos valores.

A la serie de datos antes mencionada se le ajustaron modelos tales como Lognormal de 2 y 3 parámetros, Gumbel, Doble Gumbel, LogGumbel, Gamma de 2 parámetros, Pearson III, así como LogPerson III, eligiéndose en una primera instancia los modelos probabilísticos de mejor ajuste matemático tales como: Gamma 2 parámetros, Person III y Doble Gumbel (Farías, 2020).

Debido a que, en Piura, la ocurrencia de lluvia y caudales en su río están regidos por dos periodos diferentes: periodo con presencia de lluvias de poco a intensidad, las cuales traen consigo un aumento del caudal del río Piura, pero no muy significativo, y el periodo en que

las lluvias son originadas por el FEN, las cuales sí significan un aumento excepcional en los caudales del río; Farías planteó estimar el caudal de diseño con mayor precisión utilizando la distribución Doble Gumbel.

Farías (2020) indica que, por un lado, la distribución de Gumbel está pensada para representar la distribución de una variable aleatoria definida para una población; mientras que la distribución Doble Gumbel permite modelar el comportamiento de dos poblaciones consideradas mutuamente excluyentes. La función de distribución de probabilidad para dos poblaciones se puede plantear como sigue:

$$F(x) = (1 - p)F(x; \theta_1) + p \cdot F(x; \theta_2) \quad (1)$$

Con base a esta ecuación, la probabilidad de excedencia de Gumbel de dos poblaciones se expresa mediante la siguiente ecuación:

$$F(x) = (1 - p)e^{-e^{-\frac{(x-\alpha_1)}{\beta_1}}} + p \cdot e^{-e^{-\frac{(x-\alpha_2)}{\beta_2}}} \quad (2)$$

Donde:

p : Probabilidad de que la variable x forme parte de la segunda población, que agrupa a elementos sucesivos en condiciones climatológicas ordinarias.

- α_1, α_2 parámetros de posición de la función para cada población.
- β_1, β_2 parámetros de escala de la función para cada población.

Farías (2020) procedió luego al ajuste de los parámetros, esto lo realizó mediante un proceso de iteración hasta llegar a un juego de parámetros apropiados a la muestra disponible. Paso siguiente, se evaluó este ajuste mediante una prueba de bondad de ajuste. Estas pruebas evalúan el grado de concordancia entre la distribución de un conjunto de valores de la muestra y alguna distribución teórica específica.

Finalmente, contando con la función de Doble Gumbel ajustada a la serie, Farías (2020) realizó estimaciones de los caudales máximos para diferentes periodos de retorno utilizando la ecuación (2) y sabiendo que la probabilidad de no excedencia, $F(x)$, y el periodo de retorno Tr , están relacionados por la siguiente expresión:

$$F(x) = 1 - \frac{1}{Tr} \quad (3)$$

Utilizando esta ecuación se determinaron los caudales para los distintos periodos de retorno, los cuales se muestran en la Tabla 8.

Tabla 8

*Caudales máximos (m³/s)
proyectados en el río Piura
según modelo Doble Gumbel.*

Tr	Caudal (m ³ /s)
2	400
10	2900
25	3930
100	5400

Fuente: Farías, 2020.

4.2.2 Variable geométrica, modelo digital del terreno

Como se mencionó anteriormente, una de las variables a tener en cuenta en la serie de simulaciones es la topografía de cauce. Adicional a esto, como desea determinar las zonas de inundación para cada uno de los caudales, es necesario que dicha topografía abarque, no solamente la zona del cauce del río en estudio, sino también las llanuras de inundación y todas las zonas adyacentes al cauce. Para este caso en particular se tuvo acceso a la topografía realizada en el 2015, la cual tuvo como entidad ejecutora a la ANA, este estudio topográfico se realizó mediante vuelo LIDAR, y tuvo como objetivo principal la obtención de la topografía de las zonas más importantes de la cuenca del río Piura (ver Figura 10), la zona en estudio tiene una longitud total de cauce igual a 50 km, ancho mínimo de 1.9 km, ancho máximo de 7.2 km y ancho promedio de 3.3 km, teniendo un área total de estudio de 165 km² aproximadamente.

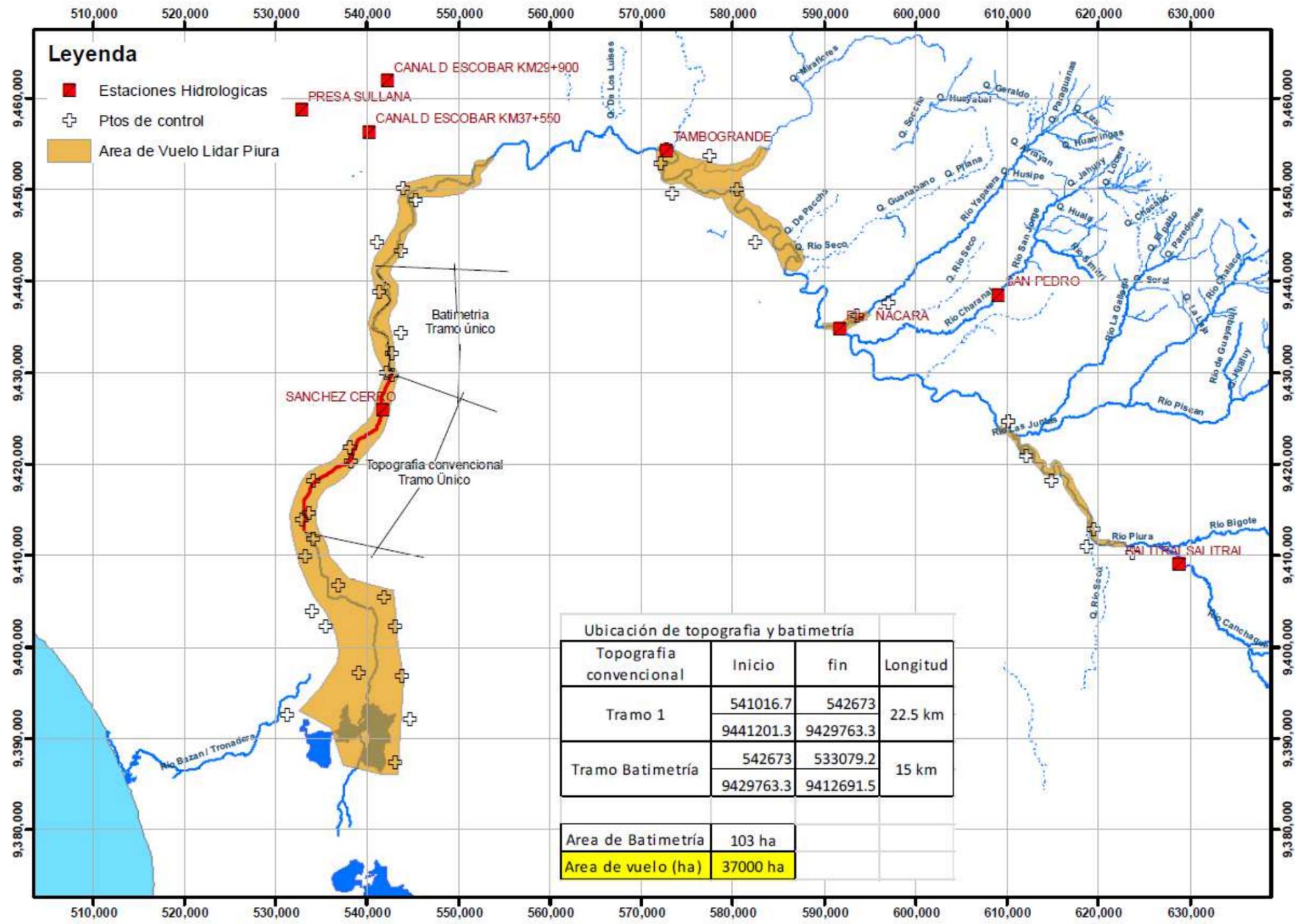
Los 50 km de longitud del cauce del río son considerados a partir del eje de la presa Los Ejidos, pasando por Piura, Castilla, Catacaos, Cura Mori, La Arena, Villa Chatito, El Tallán, hasta llegar a la entrada a la Laguna Ramón.

Como se mencionó anteriormente, este tramo estaba dividido en 15 zonas, cada una de estas se encontraban esquematizadas en planos en formato DWG, dicho formato no es compatible como variable geométrica de ingreso en Iber, de modo que, para poder utilizarlas se tuvo que convertir cada una de estos 15 planos a formato RASTER.

Una vez analizada la topografía base referente al modelo, se encontraron algunos errores que generaban discontinuidad en los niveles del terreno. Es por eso que fue necesario realizar una corrección de dichos niveles, lo que permitió generar una mayor definición de la topografía del terreno mediante la aplicación del software AutoCAD Civil 3D.

Figura 10

Área de vuelo Lidar en el cauce del río Piura.



Fuente: ANA (2015).

4.3 Modelación numérica

Luego de verificar y rectificar las dos variables para el modelo, se procede a realizar las simulaciones en Iber, para ello es necesario seguir 3 pasos importantes:

- Pre proceso: En este primer paso se definen principalmente los datos que Iber necesita para poder iniciar las simulaciones requeridas.
- Proceso: En esta etapa Iber se encarga de realizar la simulación para el escenario planteado.
- Post proceso: En esta última etapa se obtendrán los resultados requeridos de la simulación, tales como niveles de agua, zonas de inundación, velocidades, caudales específicos, entre otros.

A continuación, se presentan y describen los pasos con mayor detalle que se han realizado para la obtención de las zonas de inundación.

4.3.1 Pre Proceso

4.3.1.1 Creación del modelo digital del terreno (MDT): La creación del Modelo Digital de Terreno en Iber es uno de los pasos importantes que necesita tiempo al momento de realizar la simulación. Siendo el río Piura un cauce con geometría irregular y compleja, requiere generar un mallado eficiente.

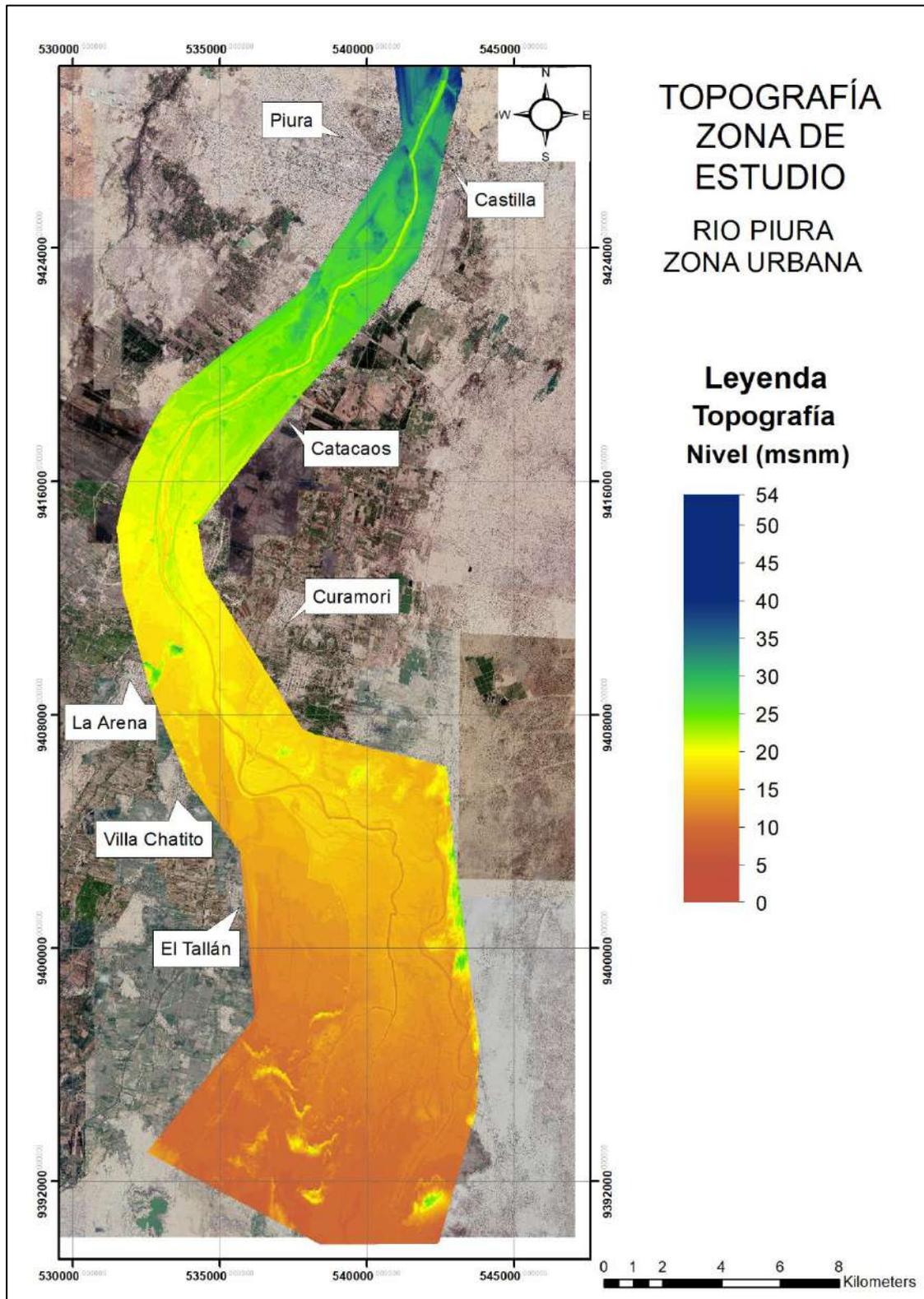
El programa Iber utiliza una malla de cálculo, la cual está compuesta por formas geométricas como triángulos y/o cuadriláteros. Para la generación de mallas Iber dispone de los siguientes tipos:

- Estructuradas y no estructuradas.
- Triangulares de forma irregular creadas con error.
- En forma de triángulos rectángulos o RTIN (regular Triangular Irregular Network).
- Regulares con totalidad de puntos de un MDT.
- Importadas en formato 2dm.

La topografía ingresada deberá contar con los datos necesarios para cada uno de los puntos pertenecientes a la superficie tales como: coordenadas georreferenciadas y las cotas de nivel de terreno. En la Figura 11 se muestra la geometría de la superficie utilizada.

Figura 11

Topografía del terreno de la zona de estudio a modelar en formato RASTER.



Fuente: Elaboración propia.

Se generó un RTIN con las siguientes características especificadas en la Tabla 9.

Tabla 9*Características de la malla.*

Característica	Valor
Forma de elementos	Triángulos
Longitud característica de elementos (m)	Cauce = 4m Franjas = 12m Exterior = 30m
Número de nodos	1,262,590
Número de elementos	2,521,540

Fuente: Elaboración propia.

4.3.1.2 Parámetro de tiempo: Para este estudio, después de llevar a cabo un análisis de sensibilidad, se dedujo que 70,000 segundos de duración era suficiente para que los resultados de la simulación dejaran de fluctuar y fuesen constantes. El tiempo máximo de simulación resulta suficiente y equilibrado entre la exigencia de cálculo y la estabilidad de la misma. De modo que se emplearon los valores mostrados en la Tabla 10.

Tabla 10*Parámetros de tiempo*

Parámetros	Valor
Instante inicial (s)	0
Tiempo máximo de simulación (s)	40000
Intervalo de resultados (s)	500

Fuente: Elaboración propia.

4.3.1.3 Rugosidad: Para la asignación de los valores de rugosidad para cada zona de estudio se empleó la metodología de Chow (1988) y se adoptaron los valores mostrados en la Tabla 11 según sea el uso del suelo.

Tabla 11*Parámetros de tiempo*

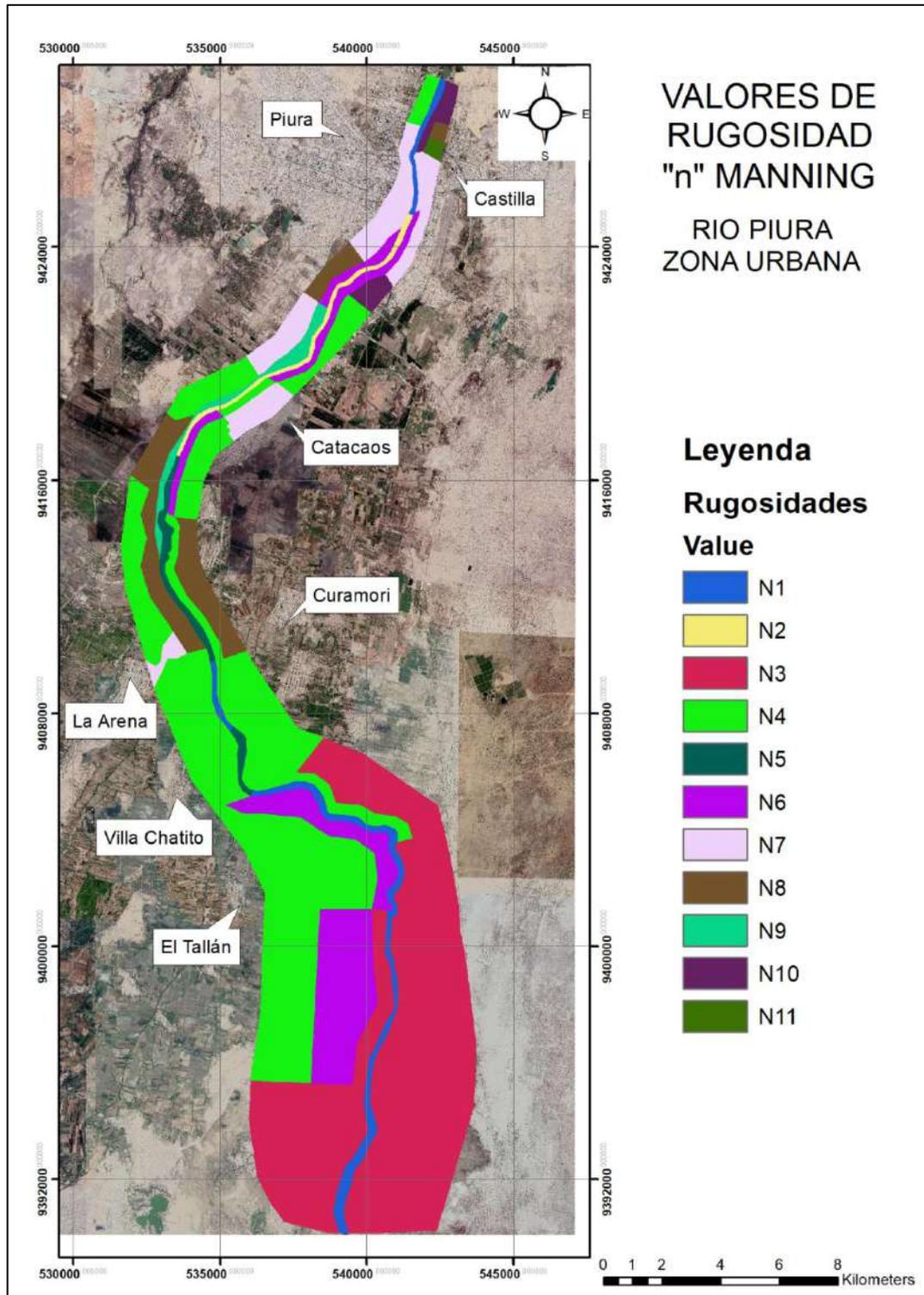
Nombre	n de Manning	Uso
N1	0.0155	Terreno de arena fina sin presencia de vegetación.
N2	0.0186	Terreno de arena fina con presencia de vegetación.
N3	0.0155	Terreno de arena fina sin presencia de vegetación.
N4	0.0186	Área cultivada sin presencia de cultivos.
N5	0.0170	Terreno de arena fina con presencia de vegetación intermedia.
N6	0.0310	Terreno con matorrales dispersos con mucha maleza.
N7	0.0150	Ciudad.
N8	0.0248	Área cultivada sin presencia de cultivos maduros.
N9	0.0372	Terreno con pocos matorrales y árboles.
N10	0.0170	Ciudad en zona de arena.
N11	0.0186	Ciudad con vegetación.

Fuente: Elaboración propia.

Cada uno de estos valores fueron asignados en las distintas zonas del área de estudio según sea el uso y características del suelo, se puede observar en la Figura 12.

Figura 12

Asignación de los coeficientes de rugosidad según el uso de suelo.



Fuente: Elaboración propia.

4.3.1.4 Condiciones iniciales: En ríos las condiciones iniciales son variables ya que estas dependen del nivel de agua que en que se encuentren. Para el caso del río Piura, este nivel es casi nulo gran parte del año, de modo que para nuestro estudio se ha considerado como condición inicial el nivel de fondo de cauce.

4.3.1.5 Condiciones de entorno: Las condiciones de contorno definen las condiciones hidráulicas en las secciones de entrada y de salida del modelo.

- Entrada: Para este caso, el fluido se ingresó como un caudal total. Los caudales que se ingresaron son los 4 caudales especificados para diferentes períodos de retorno (Tabla 8). Para cada uno de estos, se requiere definir el tipo de régimen al que pertenece el flujo; para ello Iber posee características de condiciones por defecto en su sistema, los mismos que se muestran en la Tabla 12.

Tabla 12

Condiciones de borde que ofrece preestablecidos Iber.

Contorno	Régimen		Condiciones impuestas
Entrada	Caudal total	Subcrítico/Crítico	Caudal total en dirección normal al contorno.
		Supercrítico	Caudal total en dirección normal al contorno y velocidad media.
	Caudal específico	Subcrítico/Crítico	Caudal específico en dirección normal al contorno.
		Supercrítico	a) Caudal específico en dirección normal al contorno y calado. b) Caudal específico en dirección normal al contorno y cota de agua.
Salida	Subcrítico	a) Calado b) Cota de agua c) Vertedero (cota y coeficiente de descarga) d) Curva de gasto	
	Supercrítico/crítico	No es necesario imponer ninguna condición.	

Fuente: Bladé et al. (2014).

- Salida: De la misma forma que las condiciones de entrada, las condiciones de salida se deben asignar

4.3.1.6 Condiciones de contorno del transporte de sedimentos: Para la simulación y análisis del transporte de sedimentos de fondo y en suspensión Iber considera únicamente una granulometría uniforme. Para ello, se debe considerar los siguientes aspectos para cada uno del tipo de sedimentos:

- Transporte de fondo: Para este tipo de sedimentos el cálculo que realiza Iber es empírico y está en función del esfuerzo en el fondo, calculando así el valor del caudal sólido de fondo.
- Transporte suspendido: Para este tipo en Iber se puede asignar una porción de sedimentos en suspensión al caudal definido en cualquier elemento del mallado.

4.3.1.7 Calibración del modelo: La calibración del modelo es un proceso que se desarrolla mediante la comparación de los resultados obtenidos en la simulación numérica en Iber con los resultados obtenidos en aforos hidráulicos en secciones de control del río Piura. Para este caso en particular, el Proyecto Especial Chira Piura (PECHP) posee grandiosa información de aforos realizados en los años 1983 y 1998, años en los que se presentaron Fenómeno El Niño extraordinarios. Las secciones de aforo son en tres secciones de control: 1.- Puente Bolognesi, 2.- Puente Sánchez Cerro y 3.- Puente Cáceres. A continuación, en la Tabla 13 se presentan los distintos resultados de aforos que se realizaron hasta el año 1998.

Tabla 13

Datos de aforo en las secciones de control de tres puentes en el río Piura.

Puente	Fecha	Caudal (m ³ /s)	Nivel (msnm)	Tirante (m)
Bolognesi	29/12/82	222	26.1	2.0
Bolognesi	20/01/83	1152	29.4	4.9
Bolognesi	11/03/83	1207	26.3	4.5
Bolognesi	30/03/83	2947	29.1	7.6
Bolognesi	22/12/97	308	24.7	3.3
Bolognesi	31/12/97	510	25.4	3.3
Bolognesi	09/01/98	1235	26.8	3.8
Bolognesi	18/02/98	424	24.7	4.1
Bolognesi	11/03/98	1750	27.3	5.2
Bolognesi	12/03/98	4424	27.8	-
Sánchez Cerro	21/04/83	3200	28.9	-
Sánchez Cerro	12/03/98	4424	28.9	-
Sánchez Cerro	18/03/98	1144	24.7	5.9
Sánchez Cerro	23/03/98	2274	25.9	5.4
Sánchez Cerro	25/03/98	1174	24.7	5.0
Sánchez Cerro	31/03/98	2350	26.2	5.9
Sánchez Cerro	01/04/98	3727	27.4	7.2
Sánchez Cerro	02/04/98	2352	26.0	5.2
Cáceres	12/03/98	4424	30.5	
Cáceres	17/03/98	2491	27.7	8.5
Cáceres	23/03/98	2219	26.7	6.9
Cáceres	25/03/98	1324	25.0	5.1
Cáceres	31/03/98	2289	27.1	6.8
Cáceres	01/04/98	3650	28.6	8.3
Cáceres	02/04/98	2352	26.7	6.7

Fuente: Elera (2005).

De todo este grupo de datos los que se han utilizado para la calibración del modelo son los siguientes:

Tabla 14

Datos de aforo en las secciones de control de tres puentes en el río Piura.

Puente	Fecha	Caudal (m ³ /s)	Nivel (msnm)	Tirante (m)
Bolognesi	20/01/83	1152	29.4	4.9
Sánchez Cerro	18/03/98	1144	24.7	5.9
Cáceres	25/03/98	1324	25.0	5.1

Fuente: Elera (2005).

Lo más representativo de esta información son los caudales y los tirantes de agua para cada una de las secciones de control. Para poder calibrar el modelo se utilizó un promedio entre los cuatro caudales considerados, con este valor se realizó una simulación preliminar con los valores de rugosidad predefinidas. Con esta primera simulación se determinaron los tirantes de agua en cada una de las secciones de control, para después comparar dichos datos con los obtenidos en la realidad. En la Tabla 15 se presentan los tirantes de agua obtenidos antes y después de la calibración del modelo en cada una de las secciones.

Tabla 15

Tirantes de agua obtenidos antes y después de la calibración.

Puente	Caudal (m ³ /s)	Tirantes de agua Aforos	Tirante de agua			
			Antes de calibración	Error	Después de calibración	Error
Bolognesi	1,206	5.1	6.28	23.14%	5.34	4.71%
Sánchez Cerro	1,206	6.0	7.11	18.5%	6.12	2.00%
Cáceres	1,206	4.8	5.65	17.71%	4.62	3.75%

Fuente: Elaboración propia.

Ya obteniendo errores menores al 5% es cuando se decide mantener los valores de coeficiente de rugosidad de Manning que se mostraron en la Tabla 11.

4.3.2 Proceso

En esta etapa se establecen los parámetros de cálculo y los datos del problema para cada simulación, que básicamente es indicar al software cuanto tiempo debería durar el proceso de simulación. Para este caso en particular se estableció que las simulaciones deben tener una duración de 40,000 segundos y tener intervalos de tiempo de 50 segundos.

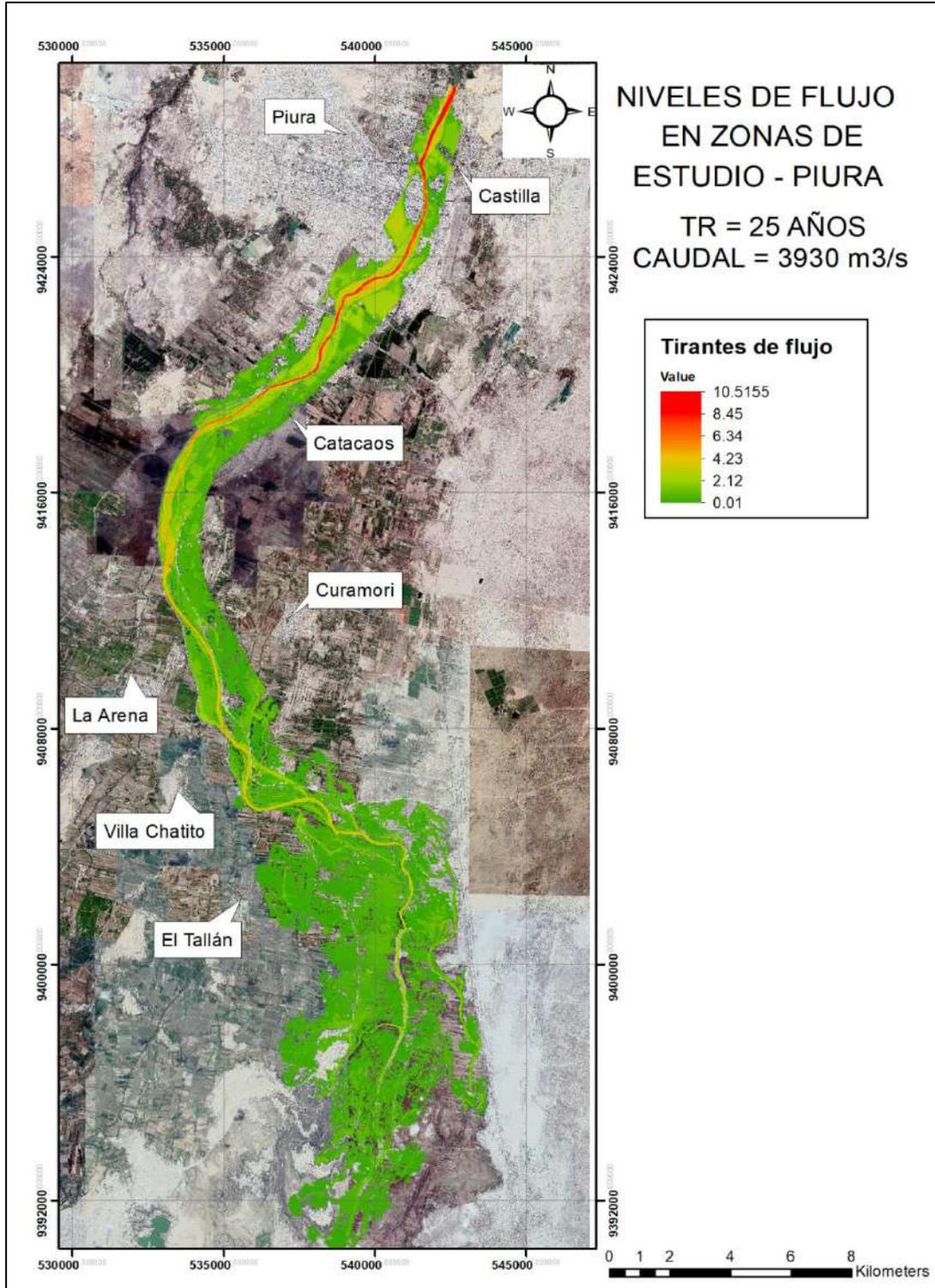
4.3.3 Post proceso

Cuando finaliza cada proceso de simulación se puede acceder al post proceso para poder visualizar y analizar los resultados. Iber dispone de varias opciones para la visualización y análisis de los resultados; en este caso sólo son necesarios los valores de tirantes de flujo para determinar los niveles de inundación. Estos resultados se pueden obtener para cada instante del tiempo establecido con áreas coloreadas o áreas coloreadas suavizadas para los diferentes caudales. En la Figura 13, se muestra el resultado de niveles de inundación para un caudal de 3930 m³/s, en esta imagen se puede observar las zonas de inundación que Iber arroja como mapas de inundación. Este tipo de visualización ayuda a apreciar de manera rápida cuáles serían las zonas afectadas por una inundación ante un caudal de 3930 m³/s en el río

Piura. Los mapas de tirantes de flujo para los 4 caudales simulados se presentan en el Anexo I – Mapa N°01 al 04.

Figura 13

Niveles de flujo en la zona de estudio para un TR = 25 años referido al caudal de 3930 m³/s.



Fuente: Elaboración propia.

Capítulo 5

Estimación del riesgo por inundación

Este capítulo tiene como objetivo determinar los niveles de riesgo por inundación fluvial originado por precipitaciones intensas en el tramo urbano del río Piura, que va desde la presa Los Ejidos hasta la desembocadura a la laguna Ramón, abarcando 50 km de longitud del río. A lo largo de este tramo, dentro del área del modelo a evaluar, se han considerado seis distritos de la provincia de Piura: Piura, Castilla, Catacaos, Cura Mori, La Arena y el Tallán. Para la estimación del riesgo por inundación de los seis distritos en evaluación se consideraron, como material referencial, los estudios realizados por el Centro Nacional de Estimación Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres (CENEPRED), el cual utiliza la metodología descrita en el Manual para la Evaluación de Riesgos originados por Fenómenos Naturales (2015):

En el “Manual para la Evaluación de Riesgos originados por Fenómenos Naturales” (CENEPRED, 2015), se indica que el riesgo es el resultado de relacionar el peligro con la vulnerabilidad de los elementos expuestos, con el único objetivo de establecer los posibles efectos y consecuencias económicas, sociales y medio ambientales relacionadas a uno o varios fenómenos peligrosos. Es por ello que primero se deberían identificar y analizar los peligros por inundación a los que está expuesta la zona de estudio, para luego realizar un análisis de los componentes que involucran la vulnerabilidad, para finalmente proceder con la conjunción de estos dos parámetros para calcular el nivel de riesgo de toda el área de estudio.

5.1 Características generales de la zona en evaluación

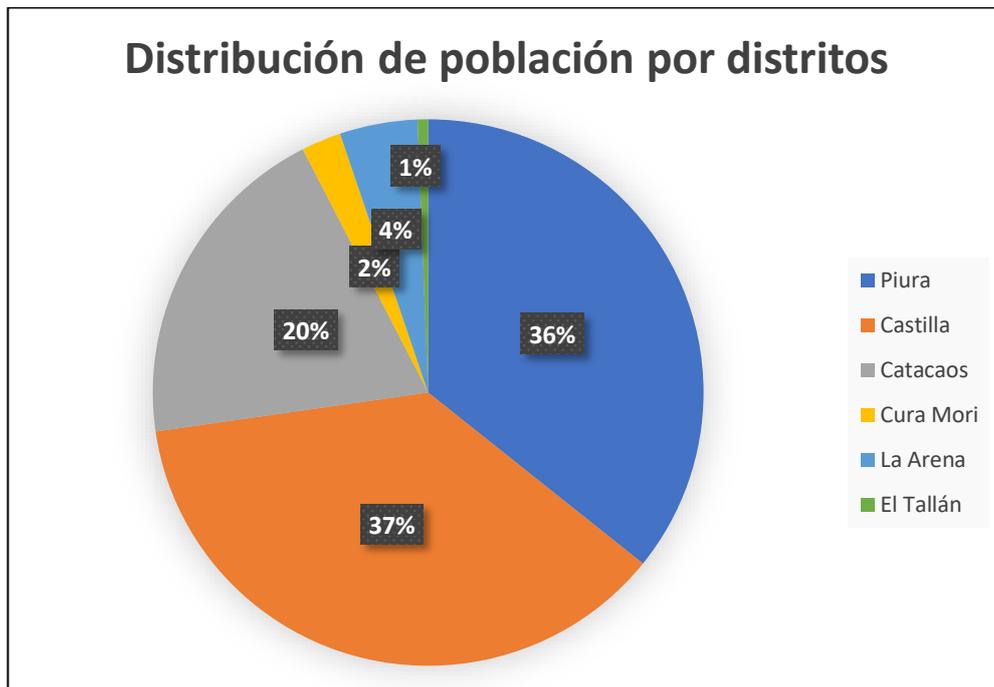
5.1.1 Aspectos sociales

5.1.1.1 Población: Según el INEI las proyecciones de la población al 2015, que es el año en el cual se tienen datos de la topografía, para los seis distritos antes mencionados eran de 312260 habitantes (Tabla 16).

Tabla 16*Características de la población según sexo.*

Población	Piura	Castilla	Catacaos	Cura Mori	La Arena	El Tallán	Total
Hombres	58,494	55,706	30,602	3,666	7,152	995	156,615
Mujeres	53,176	59,711	31,071	3,641	7,118	928	155,645
Subtotal	111,670	115,417	61,673	7,307	14,270	1,923	312,260

Fuente: Elaboración propia.

Figura 14*Distribución de población por distritos en Piura.*

Fuente: Elaboración propia.

De la gráfica se puede indicar que del total de la población de la zona en evaluación un 73% pertenecen a los distritos de Piura y Castilla, y que el 27% restante pertenecen a los distritos de Catacaos, Cura Mori, La Arena y El Tallán.

5.1.1.2 Población según etapas de vida: La población de la zona de estudio según etapas de vida, posee un 36% de adultos, la mayor fuerza laboral, un 22% son población joven entre las edades de 18 a 29 años, mientras que un 33% son niños. Las cantidades para cada uno de los distritos se muestran en la Tabla 17.

Tabla 17

Población según etapa de vida de la zona en evaluación.

Grupo etario	Piura	Castilla	Catacaos	Cura Mori	La Arena	El Tallán	Total
Niño (0 a 11a)	22,759	26,785	12,392	2,082	3,850	542	68,410
Adolescente (12a - 17a)	11,782	13,181	6,842	1,095	1,951	244	35,095
Joven (18a - 29a)	23,516	24,389	16,341	1,195	2,818	374	68,633
Adulto (30a - 59a)	41,428	40,563	22,060	2,350	4,450	591	111,442
Adulto Mayor (60a +)	12,185	10,499	4,038	585	1,201	172	28,680
Subtotal	111,670	115,417	61,673	7,307	14,270	1,923	312,260

Fuente: Elaboración propia.

Figura 15

Población según etapa de vida en la zona en evaluación



Fuente: Elaboración propia.

5.1.1.3 Vivienda: El número de viviendas de la zona en evaluación es de 73,503. El material predominante de las viviendas en esta zona es el cemento y ladrillos, que representa el 64.9%. Los materiales predominantes en las paredes de las viviendas y la cantidad de viviendas por cada una de estos se muestran en la Tabla 18.

Tabla 18

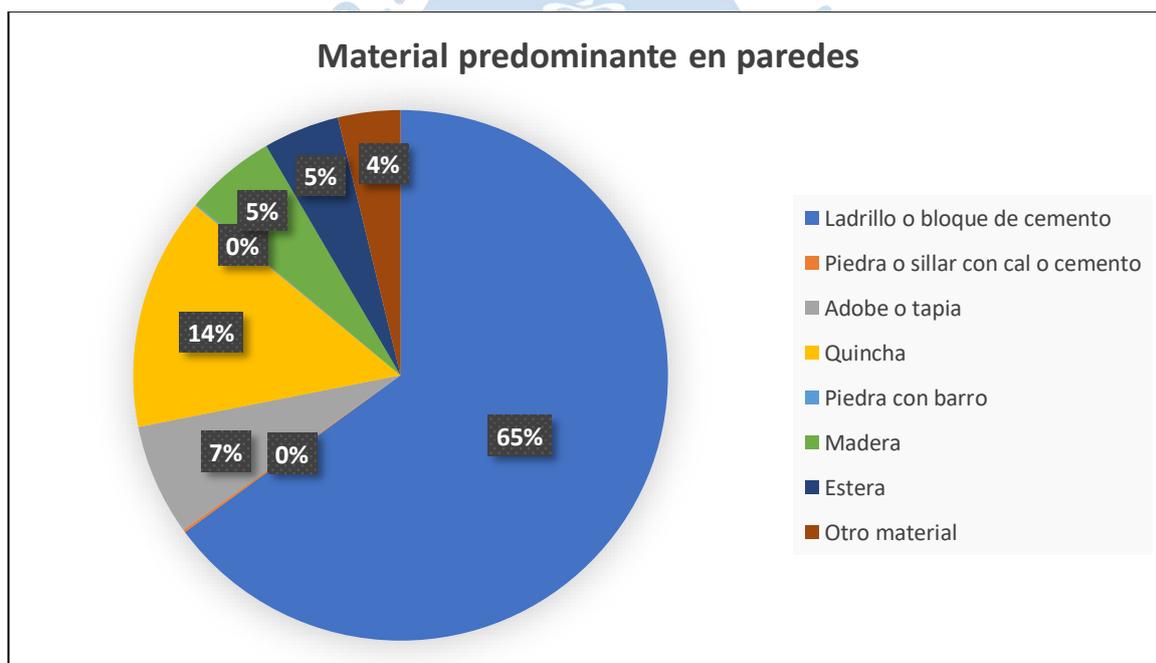
Material predominante en las paredes de cada vivienda de la zona.

Material predominante en paredes	Piura	Castilla	Catacaos	Cura Mori	La Arena	El Tallán	Total
Ladrillo o bloque de cemento	20,389	18,055	7,708	454	1,059	70	47,735
Piedra o sillar con cal o cemento	28	52	20	0	4	6	110
Adobe o tapia	1,320	2,986	215	157	308	0	4,986
Quincha	743	1,441	5,349	1,032	1,545	328	10,438
Piedra con barro	21	20	12	3	1	0	57
Madera	1,750	2,116	136	9	6	1	4,018
Estera	1,333	1,971	67	3	5	1	3,380
Otro material	1,283	536	734	44	182	0	2,779
Subtotal	26,867	27,177	14,241	1,702	3,110	406	73,503

Fuente: Elaboración propia.

Figura 16

Material predominante en las paredes de cada vivienda de la zona.



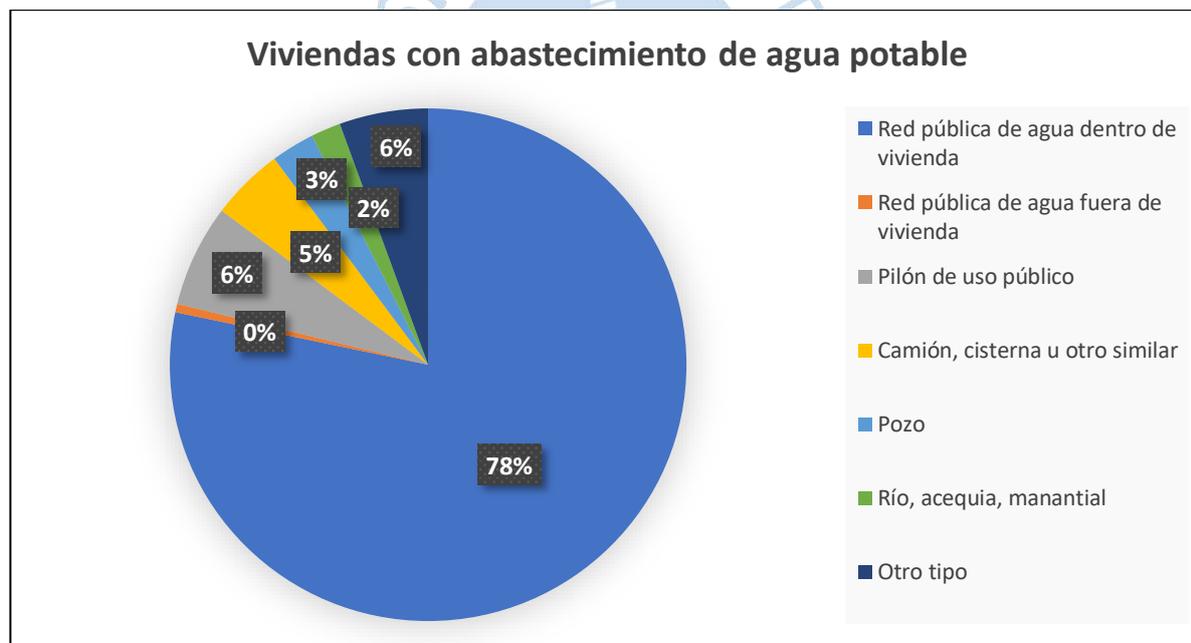
Fuente: Elaboración propia.

5.1.1.4 Servicios de agua potable: El abastecimiento de agua potable en las viviendas está dado por distintas modalidades, de dicha distribución se puede inferir que un 78.3% cuentan con una conexión a red pública de agua dentro de la vivienda, 6.4% accede al agua por medio de pilones públicos, y que un 8.6 lo accede mediante el uso de camiones cisterna. A continuación, en la Tabla 19 se presentan la cantidad de vivienda para cada una de las características de acceso al agua potable para cada distrito.

Tabla 19*Viviendas con abastecimiento de agua potable.*

Viviendas con abastecimiento de agua potable	Piura	Castilla	Catacaos	Cura Mori	La Arena	El Tallán	Total
Red pública de agua dentro de vivienda	22,175	20,074	10,279	1,555	2,511	401	56,995
Red pública de agua fuera de vivienda	173	139	56	0	19	0	387
Pilón de uso público	1,734	2,700	129	0	132	0	4,695
Camión, cisterna u otro similar	1,576	1,632	110	15	6	0	3,339
Pozo	219	858	900	0	2	4	1,983
Río, acequia, manantial	786	571	2	0	0	0	1,359
Otro tipo	204	1,203	2,065	132	440	1	4,045
Subtotal	26,867	27,177	13,541	1,702	3,110	406	72,803

Fuente: Elaboración propia.

Figura 17*Viviendas con abastecimiento de agua potable.*

Fuente: Elaboración propia.

5.1.1.5 Servicios higiénicos: En relación al servicio de desagüe o alcantarillado, el 64.2% posee conexión a la red pública de desagüe dentro de la vivienda, por otro lado, un 16.8% posee pozo negro o letrina, por último, un 15.9% no posee ninguna. En la Tabla 20 se presentan los tipos de conexiones del servicio de alcantarillado para cada uno de los distritos.

Tabla 20

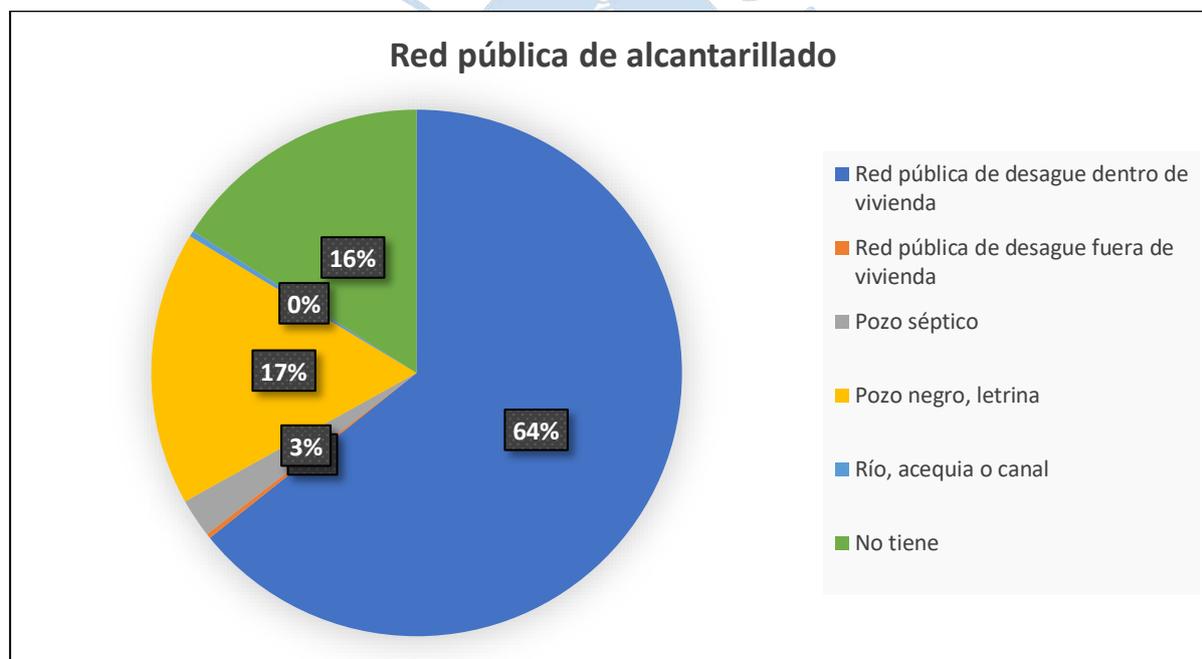
Sistema de alcantarillado en viviendas de la zona de evaluación.

Red pública de alcantarillado	Piura	Castilla	Catacaos	Cura Mori	La Arena	El Tallán	Total
Red pública de desagüe dentro de vivienda	20,835	17,649	5,862	354	1,847	209	46,756
Red pública de desagüe fuera de vivienda	156	52	3	0	2	0	213
Pozo séptico	408	1,143	152	12	6	0	1,721
Pozo negro, letrina	4,052	5,983	2,027	83	98	0	12,243
Río, acequia o canal	76	30	81	0	72	0	259
No tiene	1,340	2,320	5,416	1,253	1,085	197	11,611
Subtotal	26,867	27,177	13,541	1,702	3,110	406	72,803

Fuente: Elaboración propia.

Figura 18

Sistemas de alcantarillado en viviendas de la zona de evaluación.



Fuente: Elaboración propia.

5.1.1.6 Servicios de energía eléctrica: Respecto al servicio de alumbrado, el 89.7% cuenta con un servicio de energía eléctrica y alumbrado público en su barrio o domicilio, un 7.4% no lo obtiene mediante el uso de velas un 1.2% no posee ningún tipo de alumbrado. El tipo de energía eléctrica para cada uno de los distritos se pueden observar en la Tabla 21.

Tabla 21

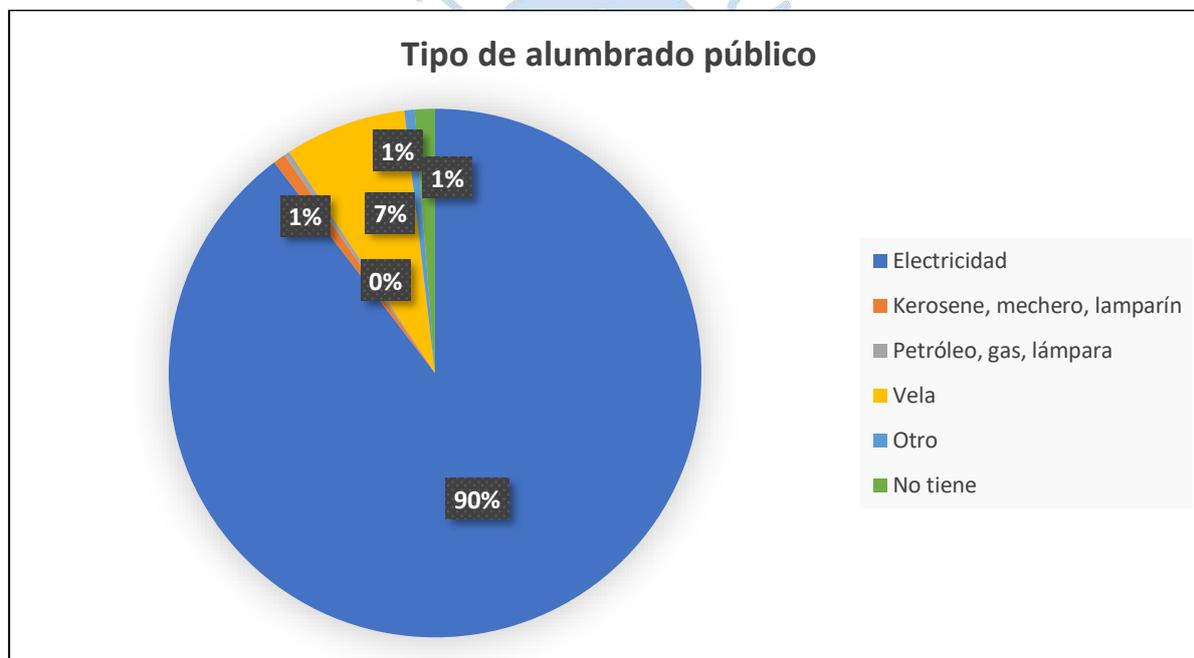
Alumbrado público en viviendas de la zona de evaluación.

Tipo de alumbrado público	Piura	Castilla	Catacaos	Cura Mori	La Arena	El Tallán	Total
Electricidad	24,384	24,657	12,048	1,359	2,537	308	65,293
Kerosene, mechero, lámparín	85	124	199	82	53	0	543
Petróleo, gas, lámpara	49	72	117	2	16	0	256
Vela	1,908	1,801	918	232	415	95	5,369
Otro	185	131	90	11	31	2	450
No tiene	256	392	169	16	58	1	892
Subtotal	26,867	27,177	13,541	1,702	3,110	406	72,803

Fuente: Elaboración propia.

Figura 19

Tipos de alumbrado público en viviendas.



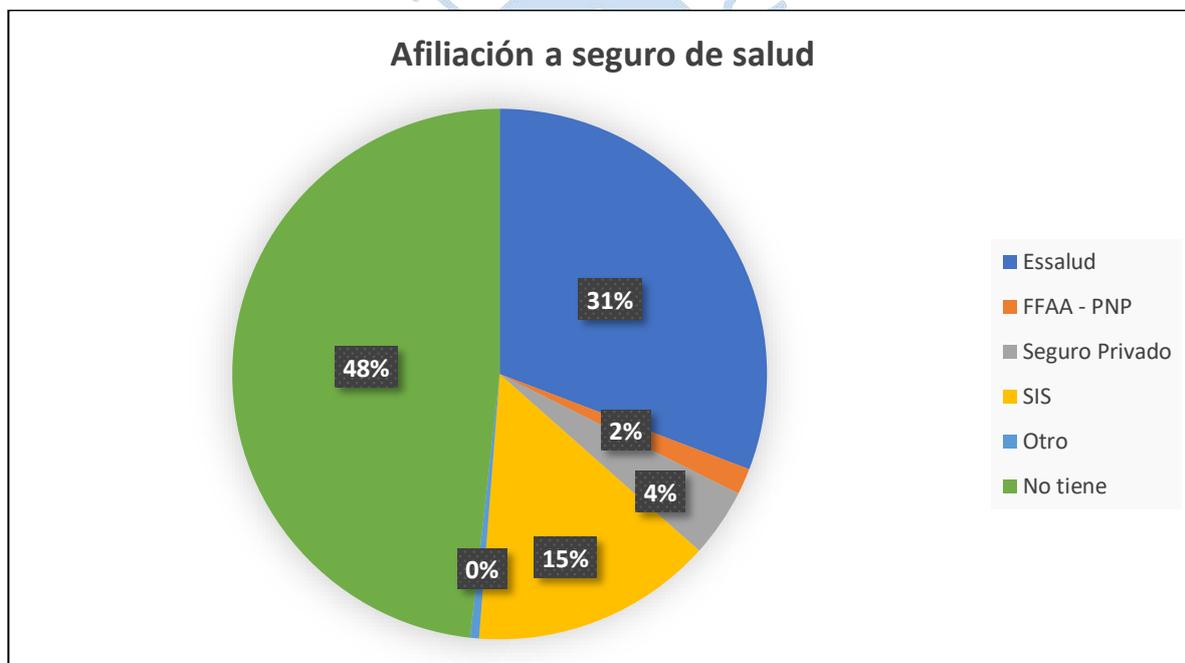
Fuente: Elaboración propia.

5.1.1.7 Salud: En la zona de estudio el acceso a los servicios de salud está concentrado principalmente entre quienes tienen acceso al ESSALUD, Fuerzas Armadas y Policía Nacional (FFAA – PNP), seguro privado o el Sistema Integral de Salud (SIS). En la Tabla 22 se presentan los tipos de sistemas de salud en la zona de estudio, es importante mencionar que sólo se tienen datos de dicho año para los distritos de Piura, Catacaos y El Tallán.

Tabla 22*Tipos sistema de salud en población.*

Afiliación a seguro de salud	Piura	Castilla	Catacaos	Cura Mori	La Arena	El Tallán	Total
Essalud	43,973	-	10,789	-	-	75	54,837
FFAA - PNP	2,670	-	167	-	-	1	2,838
Seguro Privado	6,578	-	803	-	-	3	7,384
SIS	11,834	-	12,775	-	-	1,414	2,6023
Otro	372	-	579	-	-	0	951
No tiene	48,656	-	36,670	-	-	432	85,758
Subtotal	11,4083	-	61,783	-	-	1,925	177,791

Fuente: Elaboración propia.

Figura 20*Tipos sistema de salud en población.*

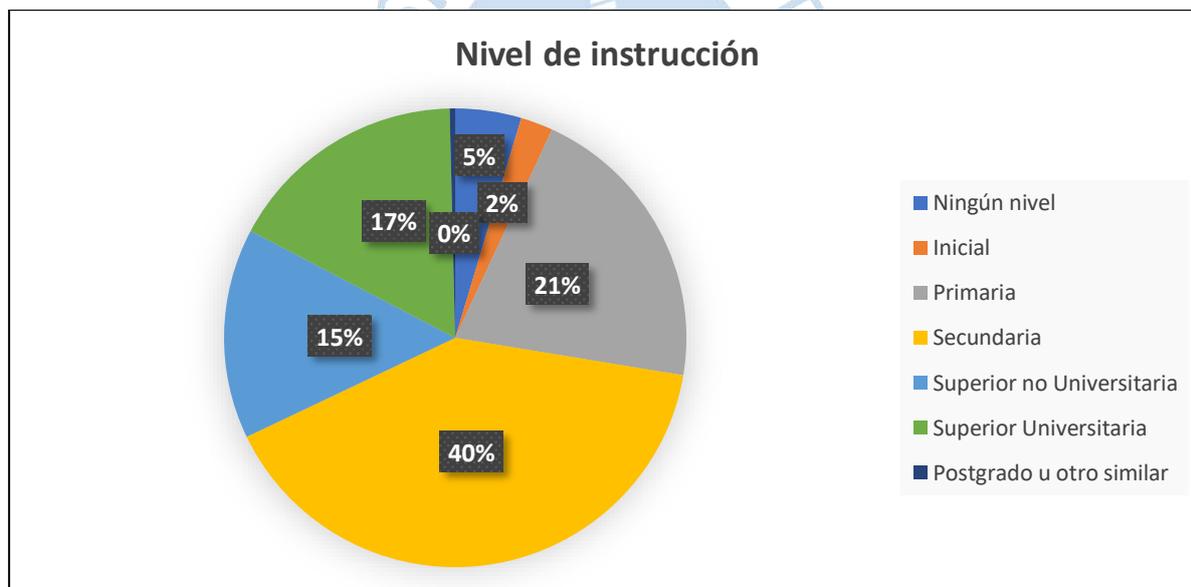
Fuente: Elaboración propia.

5.1.1.8 Educación: La zona en estudio cuenta con diversas instituciones educativas de diferentes niveles (inicial, primaria, secundaria y superior), la población por nivel de instrucción se distribuye según se muestra en la Tabla 23.

Tabla 23*Nivel de instrucción de población.*

Nivel de instrucción	Piura	Castilla	Catacaos	Cura Mori	La Arena	El Tallán	Total
Ningún nivel	1,301	2,420	3,938	1,182	1,978	220	11,039
Inicial	820	3,120	200	344	810	121	5,415
Primaria	10,735	16,199	13,232	3,116	5,519	772	49,573
Secundaria	32,654	38,500	18,943	1,924	3,751	536	96,308
Superior no Universitaria	16,361	13,141	4,896	201	704	129	35,432
Superior Universitaria	23,570	13,591	2,674	78	501	1	40,415
Postgrado u otro similar	588	310	17	1	7	0	923
Subtotal	86,029	87,281	43,900	6,846	13,270	1,779	239,105

Fuente: Elaboración propia.

Figura 21*Nivel de instrucción de población.*

Fuente: Elaboración propia.

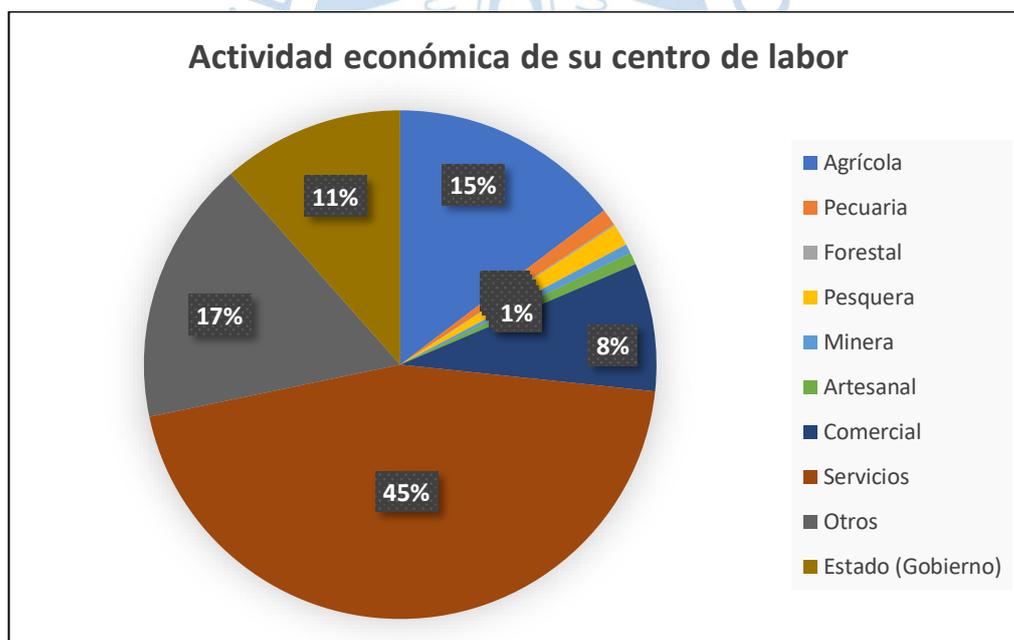
5.1.2 Aspectos económicos

El desarrollo urbano de una población va en relación al crecimiento económico de los distritos, es por ello que se considera como indicadores socioeconómicos las actividades económicas para la evaluación. La zona de estudio se caracteriza por que su actividad económica está concentrada en las actividades de servicios (45%), siendo las actividades comerciales (8.1%), los trabajadores del Estado (11.5%) y otras actividades (16.8%) las que llevan el mayor porcentaje en la población de estudio. Se trata en definitiva de un área dotada de múltiples servicios. En la Tabla 24 se presentan con mayor detalle las distribuciones de las actividades económicas para cada uno de los distritos.

Tabla 24*Actividades económicas en población de la zona de estudio*

Actividad económica de su centro de labor	Piura	Castilla	Catacaos	Cura Mori	La Arena	El Tallán	Total
Agrícola	2,530	3,252	5,989	1,297	2,544	510	16,122
Pecuaria	259	288	158	6	13	449	1,173
Forestal	33	41	15	5	1	9	104
Pesquera	496	477	330	7	179	23	1,512
Minera	323	210	90	0	8	23	654
Artesanal	87	223	508	4	18	0	840
Comercial	682	5,115	2,800	111	258	6	8,972
Servicios	20,634	20,126	7,947	181	607	91	49,586
Otros	6,147	8,487	2,719	325	727	90	18,495
Estado (Gobierno)	6,837	4,618	933	26	219	18	12,651
Subtotal	38,028	42,837	21,489	1,962	4,574	1,219	110,109

Fuente: Elaboración propia.

Figura 22*Actividades económicas en población de la zona de estudio.*

Fuente: Elaboración propia.

5.2 Evaluación del nivel de peligrosidad

Como se indicó anteriormente, el primer paso es estimar el nivel de peligrosidad y con ello establecer los planos de niveles de peligrosidad de la zona de estudio. Para ello es importante saber que el peligro es la probabilidad de que un fenómeno de origen natural, se genere en una región específica, con una cierta intensidad y en un lapso de tiempo y frecuencia definidos (CENEPRED, 2015). Así mismo, INDECI (2006) define al peligro como un

fenómeno de origen natural o antrópico potencialmente dañino, que puede generar la pérdida de vidas, daños materiales, impacto en el sustento familiar, actividades económicas paralizadas e impacto en el medio ambiente.

5.2.1 Definición de inundación

Según el CENEDRED (2015) “las inundaciones se producen cuando las lluvias intensas o continuas sobrepasan el campo del suelo, el volumen máximo de transporte del río es superado y el cauce principal se desborda e inunda los terrenos circundantes”.

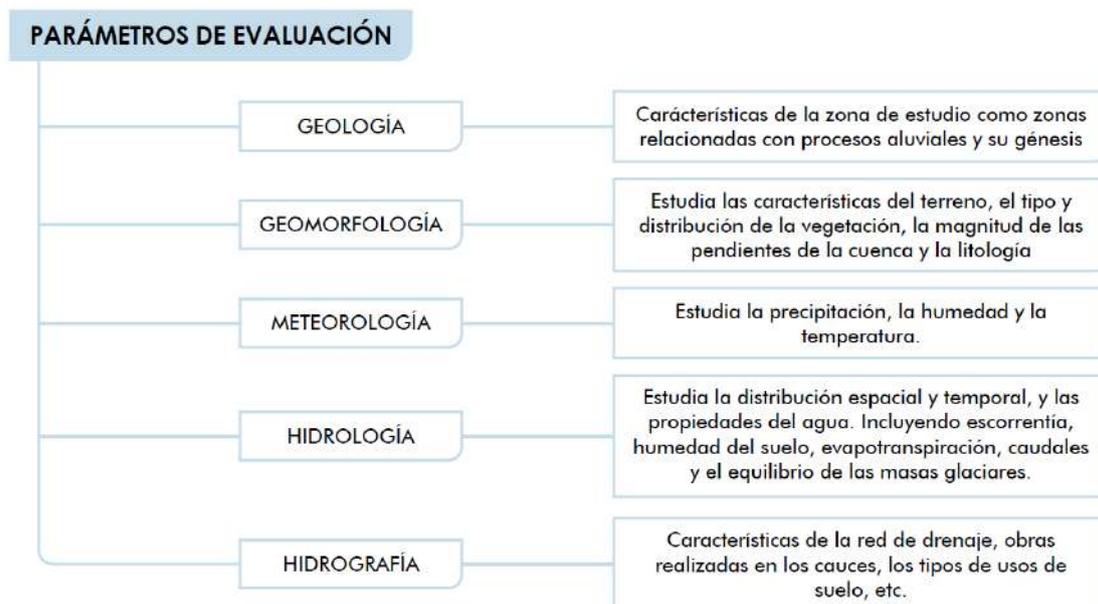
Según el CENEPRED el río Piura, según su origen, presenta un tipo de inundación fluvial, esto debido a que toda inundación presentada en esta zona es atribuida por el desbordamiento del río durante lo que se denomina una crecida. Así mismo, según su duración, su inundación es de tipo estático, esto debido a la poca pendiente y al paulatino aumento del caudal hasta superar su capacidad hidráulica del cauce.

5.2.2 Parámetros de evaluación

Para ayudar a caracterizar el fenómeno de inundación el CENEPRED presenta unos parámetros generales los cuales son utilizados para este estudio.

Figura 23

Parámetros de evaluación de inundaciones.



Fuente: CENEPRED (2015).

5.2.3 Análisis del nivel de peligro

5.2.3.1 Factores condicionantes: Para la evaluación y análisis de la peligrosidad se establecieron parámetros en función de la escala de detalle del análisis y de la disponibilidad de la información, de modo que, para este estudio se han considerado los siguientes factores condicionantes:

- Cercanía al cauce

- Altitud
- Presencia de obras de protección
- Uso del suelo

5.2.3.2 Factores desencadenantes: El parámetro desencadenante que se tomará en cuenta para este estudio son los tirantes de agua para los diferentes periodos de retorno correspondientes a 2, 10, 25 y 100 años. Estos tirantes son los que resultaron de las simulaciones en Iber del capítulo anterior.

5.2.3.3 Ponderación de parámetros: Para cada uno de los factores se necesita determinar sus valores numéricos de ponderación, estos mismos se obtuvieron mediante un proceso de análisis jerárquico que el CENEPRED (2015) lo explica en su manual y que a continuación lo explicamos paso a paso:

- **Paso 1:** Se realiza una matriz de comparación donde se evaluó la intensidad de preferencia de un parámetro frente a otro. El CENEPRED aconseja para este paso utilizar la escala desarrollada por Saaty, la cual se presenta en la Tabla 25.

Tabla 25

Escala de Saaty.

ESCALA NUMERICA	ESCALA VERBAL	EXPLICACIÓN
9	Absolutamente o muchísimo más importante que ...	Al comparar un elemento con otro el primero se considera absolutamente o muchísimo más importante que el segundo.
7	Mucho más importante o preferido que ...	Al comparar un elemento con otro el primero se considera absolutamente o muchísimo más importante o preferido que el segundo.
5	Más importante o preferido que...	Al comparar un elemento con otro el primero se considera más importante o preferido que el segundo.
3	Ligeramente más importante o preferido que ...	Al comparar un elemento con otro, el primero es ligeramente más importante o preferido que el segundo.
1	Igual o diferente a ...	Al comparar un elemento con otro, hay indiferencia entre ellos.
1/3	Ligeramente menos importante o preferido que ...	Al comparar un elemento con otro, el primero se considera ligeramente menos importante o preferido que el segundo.
1/5	Menos importante o preferido que ...	Al comparar un elemento con otro, el primero se considera menos importante o preferido que el segundo.
1/7	Mucho menos importante o preferido que ...	Al comparar un elemento con otro, el primero se considera mucho menos importante o preferido que el segundo.
1/9	Absolutamente o muchísimo	Al comparar un elemento con otro el primero se considera absolutamente o muchísimo más importante que el segundo.
2, 4, 6, 8	Valores intermedios entre dos juicios adyacentes, que se emplean cuando es necesario un término medio entre dos de las intensidades anteriores.	

Fuente: CENEPRED (2015).

Se procedió a procesar la matriz de comparación por pares de criterio, esto permitió analizar el grado de importancia que tiene cada uno de los parámetros frente a otros.

- **Paso 2:** Se empezó el análisis utilizando todos los factores condicionantes como los parámetros de análisis, para ello se comparó primero los parámetros de la fila con cada

uno de los parámetros de la columna. Es resultado del primer análisis se presenta en la Tabla 26:

Tabla 26

Matriz de comparación de pares Factores Condicionantes.

Factores Condicionantes	Altitud	Cercanía al cauce	Existencia de obras de protección	Uso del suelo
Altitud	1.000	2.000	4.000	6.000
Cercanía al cauce	0.500	1.000	2.000	4.000
Existencia de obras de protección	0.250	0.500	1.000	2.000
Uso del suelo	0.167	0.250	0.500	1.000
Suma	1.917	3.750	7.500	13.000
1/Suma	0.522	0.267	0.133	0.077

Fuente: Elaboración propia.

- **Paso 3:** Ya habiendo obtenido la matriz de comparación de pares se procede a determinar la matriz de normalización, con la cual podemos determinar el Vector Priorización (peso ponderado). Este valor nos indica la importancia de cada uno de los parámetros en la evaluación del fenómeno. En la Tabla 27 se muestran los valores obtenidos.

Tabla 27

Matriz de Normalización: Factores Condicionantes.

Factores Condicionantes	Altitud	Cercanía al cauce	Existencia de obras de protección	Uso del suelo	Vector priorización	%
Altitud	0.522	0.533	0.533	0.462	0.512	51%
Cercanía al cauce	0.261	0.267	0.267	0.308	0.275	28%
Existencia de obras de protección	0.130	0.133	0.133	0.154	0.138	14%
Uso del suelo	0.087	0.067	0.067	0.077	0.074	7%
Suma	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	100%

Fuente: Elaboración propia.

- **Paso 4:** Se procede ahora a calcular la Relación de Consistencia, el cual debe ser menor al 10% ($RC < 0.1$) para poder saber si los criterios y valores utilizados para la comparación de los pares fueron los más adecuados. En la Tabla 28 se presenta el desarrollo y resultado de la Relación de Consistencia.

Tabla 28*Relación de Consistencia: Factores Condicionantes*

Factores Condicionantes	Altitud	Cercanía al cauce	Existencia de obras de protección	Uso del suelo	Vector Suma Ponderada
Altitud	0.512	0.551	0.551	0.446	2.060
Cercanía al cauce	0.256	0.275	0.275	0.297	1.104
Existencia de obras de protección	0.128	0.138	0.138	0.149	0.552
Uso del suelo	0.085	0.069	0.069	0.074	0.297

Fuente: Elaboración propia.

Estos valores de vectores nos permiten hallar el λ Máx el cual se determina dividiendo los valores del Vector Suma ponderada y el Vector de Priorización. Los resultados se muestran en la Tabla 29.

Tabla 29*Determinación del λ Máx*

Vector Suma Ponderada	Vector priorización	λ Máx
2.060	0.512	4.020
1.104	0.275	4.009
0.552	0.138	4.009
0.297	0.074	4.003
	λ Máx	4.010

Fuente: Elaboración propia.

Luego se procede a determinar el Índice de Consistencia (IC) y la Relación de Consistencia (RC) utilizando la siguiente ecuación:

$$IC = \frac{\lambda \text{ Máx} - n}{n - 1} \quad (4)$$

$$RC = \frac{IC}{IA} \quad (5)$$

Donde:

- n: es la cantidad de parámetros de la matriz, para este caso es 4.
- IA: es el Índice Aleatorio de una matriz de comparaciones pareadas, generada, como su nombre lo indica, de forma aleatoria. CENEPRED (2015) indica que estos valores para los diferentes “n” son obtenidos mediante la simulación de 100,000 matrices, las cuales dieron como resultado:

Tabla 30*Valores de IA para los distintos "n"*

n	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
IA	0.525	0.882	1.115	1.252	1.341	1.404	1.452	1.484	1.513	1.535	1.555	1.570	1.583	1.595

Fuente: Elaboración propia.

Utilizando estos valores se pudo determinar los siguientes valores de IC y RC:

Tabla 31*Valores de IC y RC para Factores Condicionantes*

IC	0.003
RC	0.004

Fuente: Elaboración propia.

Conociendo estos valores se procede a evaluar cada uno de los factores tanto condicionantes como desencadenantes utilizando el mismo procedimiento explicado en estos 4 pasos, de modo que se debería tener para cada factor un valor de IC y RC.

5.2.3.4 Matriz de ponderación: Factores condicionantes**A. Altitud****Tabla 32***Matriz de comparación de pares: Altitud*

Altitud (msnm)	Menor a 20	De 20 a 25	De 25 a 30	De 30 a 35	Mayor a 35
Menor a 20	1.000	3.000	5.000	7.000	9.000
De 20 a 25	0.333	1.000	3.000	5.000	7.000
De 25 a 30	0.200	0.333	1.000	3.000	5.000
De 30 a 35	0.143	0.200	0.333	1.000	3.000
Mayor a 35	0.111	0.143	0.200	0.333	1.000
Suma	1.787	4.676	9.533	16.333	25.000
1/Suma	0.560	0.214	0.105	0.061	0.040

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 33*Matriz de Normalización: Altitud*

Altitud (msnm)	Menor a 20	De 20 a 25	De 25 a 30	De 30 a 35	Mayor a 35	Vector	%
Menor a 20	0.560	0.642	0.524	0.429	0.360	0.503	50%
De 20 a 25	0.187	0.214	0.315	0.306	0.280	0.260	26%
De 25 a 30	0.112	0.071	0.105	0.184	0.200	0.134	13%
De 30 a 35	0.080	0.043	0.035	0.061	0.120	0.068	7%
Mayor a 35	0.062	0.031	0.021	0.020	0.040	0.035	3%
Suma	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	100%

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 34*Matriz para Vector Suma Ponderada: Altitud*

Altitud (msnm)	Menor a 20	De 20 a 25	De 25 a 30	De 30 a 35	Mayor a 35	Vector Suma Ponderada
Menor a 20	0.503	0.781	0.672	0.474	0.313	2.743
De 20 a 25	0.168	0.260	0.403	0.339	0.244	1.414
De 25 a 30	0.101	0.087	0.134	0.203	0.174	0.699
De 30 a 35	0.072	0.052	0.045	0.068	0.104	0.341
Mayor a 35	0.056	0.037	0.027	0.023	0.035	0.177

Fuente: Elaboración propia.

Con los valores de Vector Priorización y Vector Suma Ponderada se obtienen los IC y RC para el factor: Altitud

Tabla 35*Determinación del IC y RC: Altitud.*

Vector Suma Ponderada	Vector priorización	λ Máx
2.743	0.503	5.455
1.414	0.260	5.432
0.699	0.134	5.204
0.341	0.068	5.030
0.177	0.035	5.093
λ Máx		5.243
IC		0.061
RC		0.054

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 36*Peso ponderado: Altitud*

Factor Condicionante	Altitud	Peso Ponderado	0.512	
Descriptores	A1	Menor a 20 msnm	PA1	0.503
	A2	De 20 a 25 msnm	PA2	0.260
	A3	De 25 a 30 msnm	PA3	0.134
	A4	De 30 a 35 msnm	PA4	0.068
	A5	Mayor a 35 msnm	PA5	0.035

Fuente: Elaboración propia.

La zonificación de las altitudes según se han definido en este apartado se muestran con mayor exactitud en el Anexo I – Mapa 05.

B. Cercanía al cauce

Tabla 37

Matriz de comparación de pares: Cercanía al cauce

Cercanía del cauce	Menor a 50m	Entre 50 y 100m	Entre 100 y 200m	Entre 200 y 400m	Mayor a 400m
Menor a 100m	1.000	2.000	3.000	4.000	9.000
Entre 100 y 250m	0.500	1.000	2.000	3.000	4.000
Entre 250 y 500m	0.333	0.500	1.000	2.000	3.000
Entre 500 y 1000m	0.250	0.333	0.500	1.000	2.000
Mayor a 1000m	0.111	0.250	0.333	0.500	1.000
Suma	2.194	4.083	6.833	10.500	19.000
1/Suma	0.456	0.245	0.146	0.095	0.053

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 38

Matriz de Normalización: Cercanía al cauce.

Cercanía del cauce	Menor a 50m	Entre 50 y 100m	Entre 100 y 200m	Entre 200 y 400m	Mayor a 400m	Vector priorización	%
Menor a 100m	0.456	0.490	0.439	0.381	0.474	0.448	45%
Entre 100 y 250m	0.228	0.245	0.293	0.286	0.211	0.252	25%
Entre 250 y 500m	0.152	0.122	0.146	0.190	0.158	0.154	15%
Entre 500 y 1000m	0.114	0.082	0.073	0.095	0.105	0.094	9%
Mayor a 1000m	0.051	0.061	0.049	0.048	0.053	0.052	5%
Suma	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	100%

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 39

Matriz para Vector Suma Ponderada: Cercanía al cauce.

Cercanía del cauce	Menor a 50m	Entre 50 y 100m	Entre 100 y 200m	Entre 200 y 400m	Mayor a 400m	Vector Suma Ponderada
Menor a 100m	0.448	0.505	0.461	0.375	0.470	2.259
Entre 100 y 250m	0.224	0.252	0.308	0.282	0.209	1.274
Entre 250 y 500m	0.149	0.126	0.154	0.188	0.157	0.773
Entre 500 y 1000m	0.112	0.084	0.077	0.094	0.104	0.471
Mayor a 1000m	0.050	0.063	0.051	0.047	0.052	0.263

Fuente: Elaboración propia.

Con los valores de Vector Priorización y Vector Suma Ponderada se obtienen los IC y RC para el factor: Cercanía al cauce.

Tabla 40

Determinación del IC y RC: Cercanía al cauce.

Vector Suma Ponderada	Vector priorización	λ Máx
2.259	0.448	5.044
1.274	0.252	5.049
0.773	0.154	5.029
0.471	0.094	5.021
0.263	0.052	5.045
λ Máx		5.038
IC		0.009
RC		0.008

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 41

Peso ponderado: Cercanía al cauce

Factor Condicionante	Cercanía al cauce	Peso Ponderado	0.275	
Descriptorios	CC1	Menor a 100m	PCC1	0.448
	CC2	Entre 100 y 250m	PCC2	0.252
	CC3	Entre 250 y 500m	PCC3	0.154
	CC4	Entre 500 y 1000m	PCC4	0.094
	CC5	Mayor a 1000m	PCC5	0.052

Fuente: Elaboración propia.

La cercanía al cauce según se han definido en este apartado se muestran con mayor exactitud en el Anexo I – Mapa 06.

C. Existencia de obras de protección

Tabla 42

Matriz de comparación de pares: Existencia de obras de protección

Existencia de obras de protección	Ninguna obra	Insuficientes obras	Obras poco eficientes	Obras medianamente eficientes	Protección natural
Ninguna obra	1.000	2.000	4.000	6.000	8.000
Insuficientes obras	0.500	1.000	2.000	4.000	6.000
Obras poco eficientes	0.250	0.500	1.000	2.000	4.000
Obras medianamente eficientes	0.167	0.250	0.500	1.000	2.000
Protección natural	0.125	0.167	0.250	0.500	1.000
Suma	2.042	3.917	7.750	13.500	21.000
1/Suma	0.490	0.255	0.129	0.074	0.048

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 43*Matriz de Normalización: Existencia de obras de protección*

Existencia de obras de protección	Ninguna obra	Insuficientes obras	Obras poco eficientes	Obras medianamente eficientes	Protección natural	Vector priorización	%
Ninguna obra	0.490	0.511	0.516	0.444	0.381	0.468	47%
Insuficientes obras	0.245	0.255	0.258	0.296	0.286	0.268	27%
Obras poco eficientes	0.122	0.128	0.129	0.148	0.190	0.144	14%
Obras medianamente eficientes	0.082	0.064	0.065	0.074	0.095	0.076	8%
Protección natural	0.061	0.043	0.032	0.037	0.048	0.044	4%
Suma	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	100%

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 44*Matriz para Vector Suma Ponderada: Existencia de obras de protección*

Existencia de obras de protección	Ninguna obra	Insuficientes obras	Obras poco eficientes	Obras medianamente eficientes	Protección natural	Vector Suma Ponderada
Ninguna obra	0.468	0.536	0.574	0.455	0.353	2.387
Insuficientes obras	0.234	0.268	0.287	0.303	0.265	1.358
Obras poco eficientes	0.117	0.134	0.144	0.152	0.177	0.723
Obras medianamente eficientes	0.078	0.067	0.072	0.076	0.088	0.381
Protección natural	0.059	0.045	0.036	0.038	0.044	0.221

Fuente: Elaboración propia.

Con los valores de Vector Priorización y Vector Suma Ponderada se obtienen los IC y RC para el factor: Existencia de obras de protección:

Tabla 45

Determinación del IC y RC: Existencia de obras de protección

Vector Suma Ponderada	Vector priorización	λ Máx
2.387	0.468	5.096
1.358	0.268	5.065
0.723	0.144	5.036
0.381	0.076	5.022
0.221	0.044	5.011
λ Máx		5.046
IC		0.012
RC		0.010

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 46

Peso ponderado: Existencia de obras de protección

Factor Condicionante		Pendiente del terreno	Peso Ponderado	0.138
Descriptorios	OP1	Ninguna obra	POP1	0.468
	OP2	Insuficientes obras	POP2	0.268
	OP3	Obras poco eficientes	POP3	0.144
	OP4	Obras medianamente eficientes	POP4	0.076
	OP5	Protección natural	POP5	0.044

Fuente: Elaboración propia.

La existencia de obras de protección según se han definido en este apartado se muestran con mayor exactitud en el Anexo I – Mapa 07.

D. Uso del suelo

Tabla 47

Matriz de comparación de pares: Uso del suelo

Uso del suelo	Población	Tierra de cultivo	Tierra sin cultivo	Afloramiento rocoso	Cauce
Población	1.000	3.000	5.000	7.000	9.000
Tierra de cultivo	0.333	1.000	3.000	5.000	7.000
Tierra sin cultivo	0.200	0.333	1.000	3.000	5.000
Afloramiento rocoso	0.143	0.200	0.333	1.000	3.000
Cauce	0.111	0.143	0.200	0.333	1.000
Suma	1.787	4.676	9.533	16.333	25.000
1/Suma	0.560	0.214	0.105	0.061	0.040

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 48*Matriz de Normalización: Uso del suelo.*

Uso del suelo	Población	Tierra de cultivo	Tierra sin cultivo	Afloramiento o rocoso	Cauce	Vector priorización	%
Población	0.560	0.642	0.524	0.429	0.360	0.503	50%
Tierra de cultivo	0.187	0.214	0.315	0.306	0.280	0.260	26%
Tierra sin cultivo	0.112	0.071	0.105	0.184	0.200	0.134	13%
Afloramiento rocoso	0.080	0.043	0.035	0.061	0.120	0.068	7%
Cauce	0.062	0.031	0.021	0.020	0.040	0.035	3%
Suma	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	100%

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 49*Matriz para Vector Suma Ponderada: Uso del suelo*

Existencia de obras de protección	Población	Tierra de cultivo	Tierra sin cultivo	Afloramiento rocoso	Cauce	Vector Suma Ponderada
Población	0.503	0.781	0.672	0.474	0.313	2.743
Tierra de cultivo	0.168	0.260	0.403	0.339	0.244	1.414
Tierra sin cultivo	0.101	0.087	0.134	0.203	0.174	0.699
Afloramiento rocoso	0.072	0.052	0.045	0.068	0.104	0.341
Cauce	0.056	0.037	0.027	0.023	0.035	0.177

Fuente: Elaboración propia.

Con los valores de Vector Priorización y Vector Suma Ponderada se obtienen los IC y RC para el factor: Uso del suelo.

Tabla 50*Determinación del IC y RC: Uso del suelo*

Vector Suma Ponderada	Vector priorización	λ Máx
2.743	0.503	5.455
1.414	0.260	5.432
0.699	0.134	5.204
0.341	0.068	5.030
0.177	0.035	5.093
λ Máx		5.243
IC		0.061
RC		0.054

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 51*Peso ponderado: Uso del suelo*

Factor Condicionante		Uso del suelo	Peso Ponderado	0.074
Descriptorios	US1	Ninguna obra	PUS1	0.503
	US2	Insuficientes obras	PUS2	0.260
	US3	Obras poco eficientes	PUS3	0.134
	US4	Obras medianamente eficientes	PUS4	0.068
	US5	Protección natural	PUS5	0.035

Fuente: Elaboración propia.

El uso del suelo según se han definido en este apartado se muestran con mayor exactitud en el Anexo I – Mapa 08.

5.2.3.5 Matriz de ponderación: Factores desencadenantes

El único factor desencadenante que se ha considerado para este estudio de inundación fluvial es el tirante del agua, el cual es resultado de las simulaciones realizadas en Iber.

A. Para 2 años de retorno ($Q = 400 \text{ m}^3/\text{s}$)**Tabla 52***Matriz de comparación de pares: tirante de agua $TR = 2$ años*

Tirante máximo (m)	Y > 4.17m	3.13m < Y < 4.17m	2.09m < Y < 3.13m	1.05m < Y < 2.09m	Y < 1.05m
Y > 4.17m	1.000	3.000	5.000	7.000	9.000
3.13m < Y < 4.17m	0.333	1.000	3.000	5.000	7.000
2.09m < Y < 3.13m	0.200	0.333	1.000	3.000	5.000
1.05m < Y < 2.09m	0.143	0.200	0.333	1.000	3.000
Y < 1.05m	0.111	0.143	0.200	0.333	1.000
Suma	1.787	4.676	9.533	16.333	25.000
1/Suma	0.560	0.214	0.105	0.061	0.040

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 53*Matriz de Normalización: tirante de agua $TR = 2$ años*

Tirante máximo (m)	Y > 4.17m	3.13m < Y < 4.17m	2.09m < Y < 3.13m	1.05m < Y < 2.09m	Y < 1.05m	Vector priorización	%
Y > 4.17m	0.560	0.642	0.524	0.429	0.360	0.503	50%
3.13m < Y < 4.17m	0.187	0.214	0.315	0.306	0.280	0.260	26%
2.09m < Y < 3.13m	0.112	0.071	0.105	0.184	0.200	0.134	13%
1.05m < Y < 2.09m	0.080	0.043	0.035	0.061	0.120	0.068	7%
Y < 1.05m	0.062	0.031	0.021	0.020	0.040	0.035	3%
Suma	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	100%

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 54

Matriz para Vector Suma Ponderada: tirante de agua TR = 2 años

Tirante máximo (m)	Y > 4.17m	3.13m < Y < 4.17m	2.09m < Y < 3.13m	1.05m < Y < 2.09m	Y < 1.05m	Vector Suma Ponderada
Y > 4.17m	0.503	0.781	0.672	0.474	0.313	2.743
3.13m < Y < 4.17m	0.168	0.260	0.403	0.339	0.244	1.414
2.09m < Y < 3.13m	0.101	0.087	0.134	0.203	0.174	0.699
1.05m < Y < 2.09m	0.072	0.052	0.045	0.068	0.104	0.341
Y < 1.05m	0.056	0.037	0.027	0.023	0.035	0.177

Fuente: Elaboración propia.

Con los valores de Vector Priorización y Vector Suma Ponderada se obtienen los IC y RC para el factor: Tirante de agua para TR = 2 años.

Tabla 55

Determinación del IC y RC: tirante de agua TR = 2 años

Vector Suma Ponderada	Vector priorización	λ Máx
2.743	0.503	5.455
1.414	0.260	5.432
0.699	0.134	5.204
0.341	0.068	5.030
0.177	0.035	5.093
λ Máx		5.243
IC		0.061
RC		0.054

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 56

Peso ponderado: tirante de agua TR = 2 años

Factor Condicionante	Tirante de agua TR = 2 años	Peso Ponderado	1.000	
Descriptores	TIR1	Y > 4.17m	PTIR1	0.503
	TIR2	3.13m < Y < 4.17m	PTIR2	0.260
	TIR3	2.09m < Y < 3.13m	PTIR3	0.134
	TIR4	1.05m < Y < 2.09m	PTIR4	0.068
	TIR5	Y < 1.05m	PTIR5	0.035

Fuente: Elaboración propia.

La zonificación de los tirantes de flujo para el periodo de retorno de 2 años se muestra con mayor exactitud en el Anexo I - Mapa 1.

B. Para 10 años de retorno ($Q = 2900 \text{ m}^3/\text{s}$)**Tabla 57***Matriz de comparación de pares: tirante de agua $TR = 10$ años*

Tirante máximo (m)	$Y > 7.53\text{m}$	$5.65\text{m} < Y < 7.53\text{m}$	$3.77\text{m} < Y < 5.65\text{m}$	$1.89\text{m} < Y < 3.77\text{m}$	$Y < 1.89\text{m}$
$Y > 7.53\text{m}$	1.000	2.000	4.000	6.000	8.000
$5.65\text{m} < Y < 7.53\text{m}$	0.500	1.000	2.000	4.000	6.000
$3.77\text{m} < Y < 5.65\text{m}$	0.250	0.500	1.000	2.000	4.000
$1.89\text{m} < Y < 3.77\text{m}$	0.167	0.250	0.500	1.000	2.000
$Y < 1.89\text{m}$	0.125	0.167	0.250	0.500	1.000
Suma	2.042	3.917	7.750	13.500	21.000
1/Suma	0.490	0.255	0.129	0.074	0.048

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 58*Matriz de Normalización: tirante de agua $TR = 10$ años*

Tirante máximo (m)	$Y > 7.53\text{m}$	$5.65\text{m} < Y < 7.53\text{m}$	$3.77\text{m} < Y < 5.65\text{m}$	$1.89\text{m} < Y < 3.77\text{m}$	$Y < 1.89\text{m}$	Vector priorización	%
$Y > 7.53\text{m}$	0.490	0.511	0.516	0.444	0.381	0.468	47%
$5.65\text{m} < Y < 7.53\text{m}$	0.245	0.255	0.258	0.296	0.286	0.268	27%
$3.77\text{m} < Y < 5.65\text{m}$	0.122	0.128	0.129	0.148	0.190	0.144	14%
$1.89\text{m} < Y < 3.77\text{m}$	0.082	0.064	0.065	0.074	0.095	0.076	8%
$Y < 1.89\text{m}$	0.061	0.043	0.032	0.037	0.048	0.044	4%
Suma	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	100%

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 59*Matriz para Vector Suma Ponderada: tirante de agua $TR = 10$ años*

Tirante máximo (m)	$Y > 7.53\text{m}$	$5.65\text{m} < Y < 7.53\text{m}$	$3.77\text{m} < Y < 5.65\text{m}$	$1.89\text{m} < Y < 3.77\text{m}$	$Y < 1.89\text{m}$	Vector Suma Ponderada
$Y > 7.53\text{m}$	0.468	0.536	0.574	0.455	0.353	2.387
$5.65\text{m} < Y < 7.53\text{m}$	0.234	0.268	0.287	0.303	0.265	1.358
$3.77\text{m} < Y < 5.65\text{m}$	0.117	0.134	0.144	0.152	0.177	0.723
$1.89\text{m} < Y < 3.77\text{m}$	0.078	0.067	0.072	0.076	0.088	0.381
$Y < 1.89\text{m}$	0.059	0.045	0.036	0.038	0.044	0.221

Fuente: Elaboración propia.

Con los valores de Vector Priorización y Vector Suma Ponderada se obtienen los IC y RC para el factor: Tirante de agua para $TR = 10$ años.

Tabla 60

Determinación del IC y RC: tirante de agua TR
= 10 años

Vector Suma Ponderada	Vector priorización	λ Máx
2.387	0.468	5.096
1.358	0.268	5.065
0.723	0.144	5.036
0.381	0.076	5.022
0.221	0.044	5.011
λ Máx		5.046
IC		0.012
RC		0.010

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 61

Peso ponderado: tirante de agua TR = 10 años

Factor Condicionante	Tirante de agua TR = 10 años	Peso Ponderado	1.000	
Descriptores	TIR1	$Y > 7.53\text{m}$	PTIR1	0.468
	TIR2	$5.65\text{m} < Y < 7.53\text{m}$	PTIR2	0.268
	TIR3	$3.77\text{m} < Y < 5.65\text{m}$	PTIR3	0.144
	TIR4	$1.89\text{m} < Y < 3.77\text{m}$	PTIR4	0.076
	TIR5	$Y < 1.89\text{m}$	PTIR5	0.044

Fuente: Elaboración propia.

La zonificación de los tirantes de flujo para el periodo de retorno de 10 años se muestra con mayor exactitud en el Anexo I – Mapa 2.

C. Para 25 años de retorno ($Q = 3930 \text{ m}^3/\text{s}$)

Tabla 62

Matriz de comparación de pares: tirante de agua TR = 25 años

Tirante máximo (m)	$Y > 8.45\text{m}$	$6.34\text{m} < Y < 8.45\text{m}$	$4.23\text{m} < Y < 6.34\text{m}$	$2.12\text{m} < Y < 4.23\text{m}$	$Y < 2.12\text{m}$
$Y > 8.45\text{m}$	1.000	3.000	5.000	6.000	9.000
$6.34\text{m} < Y < 8.45\text{m}$	0.333	1.000	3.000	5.000	6.000
$4.23\text{m} < Y < 6.34\text{m}$	0.200	0.333	1.000	3.000	5.000
$2.12\text{m} < Y < 4.23\text{m}$	0.167	0.200	0.333	1.000	3.000
$Y < 2.12\text{m}$	0.111	0.167	0.200	0.333	1.000
Suma	1.811	4.700	9.533	15.333	24.000
1/Suma	0.552	0.213	0.105	0.065	0.042

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 63

Matriz de Normalización: tirante de agua TR = 25 años

Tirante máximo (m)	Y > 8.45m	6.34m < Y < 8.45m	4.23m < Y < 6.34m	2.12m < Y < 4.23m	Y < 2.12m	Vector priorización	%
Y > 8.45m	0.552	0.638	0.524	0.391	0.375	0.496	50%
6.34m < Y < 8.45m	0.184	0.213	0.315	0.326	0.250	0.258	26%
4.23m < Y < 6.34m	0.110	0.071	0.105	0.196	0.208	0.138	14%
2.12m < Y < 4.23m	0.092	0.043	0.035	0.065	0.125	0.072	7%
Y < 2.12m	0.061	0.035	0.021	0.022	0.042	0.036	4%
Suma	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	100%

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 64

Matriz para Vector Suma Ponderada: tirante de agua TR = 25 años

Tirante máximo (m)	Y > 8.45m	6.34m < Y < 8.45m	4.23m < Y < 6.34m	2.12m < Y < 4.23m	Y < 2.12m	Vector Suma Ponderada
Y > 8.45m	0.496	0.773	0.690	0.432	0.326	2.717
6.34m < Y < 8.45m	0.165	0.258	0.414	0.360	0.217	1.414
4.23m < Y < 6.34m	0.099	0.086	0.138	0.216	0.181	0.720
2.12m < Y < 4.23m	0.083	0.052	0.046	0.072	0.109	0.361
Y < 2.12m	0.055	0.043	0.028	0.024	0.036	0.186

Fuente: Elaboración propia.

Con los valores de Vector Priorización y Vector Suma Ponderada se obtienen los IC y RC para el factor: Tirante de agua para TR = 25 años.

Tabla 65

Determinación del IC y RC: tirante de agua TR = 25 años

Vector Suma Ponderada	Vector priorización	λ Máx
2.717	0.496	5.475
1.414	0.258	5.492
0.720	0.138	5.217
0.361	0.072	5.016
0.186	0.036	5.130
λ Máx		5.266
IC		0.066
RC		0.060

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 66

Peso ponderado: tirante de agua TR = 25 años

Factor Condicionante		Tirante de agua TR = 25 años	Peso Ponderado	1.000
Descriptores	TIR1	Y > 8.45m	PTIR1	0.496
	TIR2	6.34m < Y < 8.45m	PTIR2	0.258
	TIR3	4.23m < Y < 6.34m	PTIR3	0.138
	TIR4	2.12m < Y < 4.23m	PTIR4	0.072
	TIR5	Y < 2.12m	PTIR5	0.036

Fuente: Elaboración propia.

La zonificación de los tirantes de flujo para el periodo de retorno de 25 años se muestra con mayor exactitud en el Anexo I – Mapa 3.

D. Para 100 años de retorno ($Q = 5400 \text{ m}^3/\text{s}$)

Tabla 67

Matriz de comparación de pares: tirante de agua TR = 100 años

Tirante máximo (m)	Y > 8.69m	6.52m < Y < 8.69m	4.35m < Y < 6.52m	2.18m < Y < 4.35m	Y < 2.18m
Y > 8.69m	1.000	2.000	4.000	6.000	9.000
6.52m < Y < 8.69m	0.500	1.000	2.000	4.000	6.000
4.35m < Y < 6.52m	0.250	0.500	1.000	2.000	4.000
2.18m < Y < 4.35m	0.167	0.250	0.500	1.000	2.000
Y < 2.18m	0.111	0.167	0.250	0.500	1.000
Suma	2.028	3.917	7.750	13.500	22.000
1/Suma	0.493	0.255	0.129	0.074	0.045

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 68

Matriz de Normalización: tirante de agua TR = 100 años

Tirante máximo (m)	Y > 8.69m	6.52m < Y < 8.69m	4.35m < Y < 6.52m	2.18m < Y < 4.35m	Y < 2.18m	Vector priorización	%
Y > 8.69m	0.493	0.511	0.516	0.444	0.409	0.475	47%
6.52m < Y < 8.69m	0.247	0.255	0.258	0.296	0.273	0.266	27%
4.35m < Y < 6.52m	0.123	0.128	0.129	0.148	0.182	0.142	14%
2.18m < Y < 4.35m	0.082	0.064	0.065	0.074	0.091	0.075	8%
Y < 2.18m	0.055	0.043	0.032	0.037	0.045	0.042	4%
Suma	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	100%

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 69

Matriz para Vector Suma Ponderada: tirante de agua $TR = 100$ años

Tirante máximo (m)	$Y > 8.69m$	$6.52m < Y < 8.69m$	$4.35m < Y < 6.52m$	$2.18m < Y < 4.35m$	$Y < 2.18m$	Vector Suma Ponderada
$Y > 8.69m$	0.475	0.532	0.568	0.451	0.382	2.407
$6.52m < Y < 8.69m$	0.237	0.266	0.284	0.300	0.255	1.342
$4.35m < Y < 6.52m$	0.119	0.133	0.142	0.150	0.170	0.713
$2.18m < Y < 4.35m$	0.079	0.066	0.071	0.075	0.085	0.377
$Y < 2.18m$	0.053	0.044	0.035	0.038	0.042	0.213

Fuente: Elaboración propia.

Con los valores de Vector Priorización y Vector Suma Ponderada se obtienen los IC y RC para el factor: Tirante de agua para $TR = 100$ años.

Tabla 70

Determinación del IC y RC: tirante de agua $TR = 100$ años

Vector Suma Ponderada	Vector priorización	λ Máx
2.407	0.475	5.070
1.342	0.266	5.049
0.713	0.142	5.025
0.377	0.075	5.013
0.213	0.042	5.010
λ Máx		5.033
IC		0.008
RC		0.007

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 71

Peso ponderado: tirante de agua $TR = 100$ años

Factor Condicionante	Tirante de agua $TR = 100$ años	Peso Ponderado	1.000	
Descriptores	TIR1	$Y > 8.69m$	PTIR1	0.475
	TIR2	$6.52m < Y < 8.69m$	PTIR2	0.266
	TIR3	$4.35m < Y < 6.52m$	PTIR3	0.142
	TIR4	$2.18m < Y < 4.35m$	PTIR4	0.075
	TIR5	$Y < 2.18m$	PTIR5	0.042

Fuente: Elaboración propia.

La zonificación de los tirantes de flujo para el periodo de retorno de 25 años se muestra con mayor exactitud en el Anexo I – Mapa 4.

5.2.3.6 Determinación de los niveles de peligrosidad

Después de haber realizado los cálculos para la determinación de los pesos ponderados de los factores condicionantes y desencadenantes, se procede a determinar los niveles de

peligrosidad, para ello se realiza una suma ponderada de cada uno de los factores hasta obtener los valores límites para cada uno de los niveles de peligrosidad. A continuación, se presenta la Tabla 72 donde se muestran los resultados del análisis anterior.

Tabla 72

Resultados de pesos ponderados de los factores condicionantes y desencadenantes.

Factores condicionantes						Factores desencadenantes					
Altitud	Cercanía al cauce	Existencia de obras de protección	Uso del suelo	Valor	Tirantes máximos	TR = 2 años	TR = 10 años	TR = 25 años	TR = 100 años	Valor	
											0.512
	0.260	0.252	0.268	0.260	0.259		0.260	0.268	0.258	0.266	0.263
	0.134	0.154	0.144	0.134	0.141		0.134	0.144	0.138	0.142	0.139
	0.068	0.094	0.076	0.068	0.076		0.068	0.076	0.072	0.075	0.073
	0.035	0.052	0.044	0.035	0.041		0.035	0.044	0.036	0.042	0.039

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla anterior se logra observar los valores de pesos ponderados por niveles, tanto para los factores condicionantes como para los factores desencadenantes. En la Tabla 73 se muestran los valores límites para cada uno de los niveles de peligrosidad. Finalmente, en la Tabla 74 se presentan los niveles de peligrosidad con sus respectivos valores límites inferiores y superiores.

Tabla 73

Resultados de nivel de peligrosidad

Factores condicionantes	Factores desencadenantes	Valor
0.5	0.483	0.484
	0.259	0.261
	0.141	0.140
	0.076	0.074
	0.041	0.040

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 74*Niveles de peligro.*

Rango			Nivel
0.261	$\leq P <$	0.484	MUY ALTO
0.140	$\leq P <$	0.261	ALTO
0.074	$\leq P <$	0.140	MEDIO
0.040	$\leq P <$	0.074	BAJO

Fuente: Elaboración propia.

5.2.3.7 Estratificación de los niveles de peligrosidad

Finalizado el análisis de los pares, se procede a la segunda etapa en la cual se define la estratigrafía de peligros por inundaciones en el tramo urbano del río Piura en su paso a lo largo de los distritos de Piura, Castilla, Catacaos, Cura Mori, La Arena y El Tallán. En la Tabla 75 se muestran los niveles de peligro con la descripción para cada uno de los niveles.

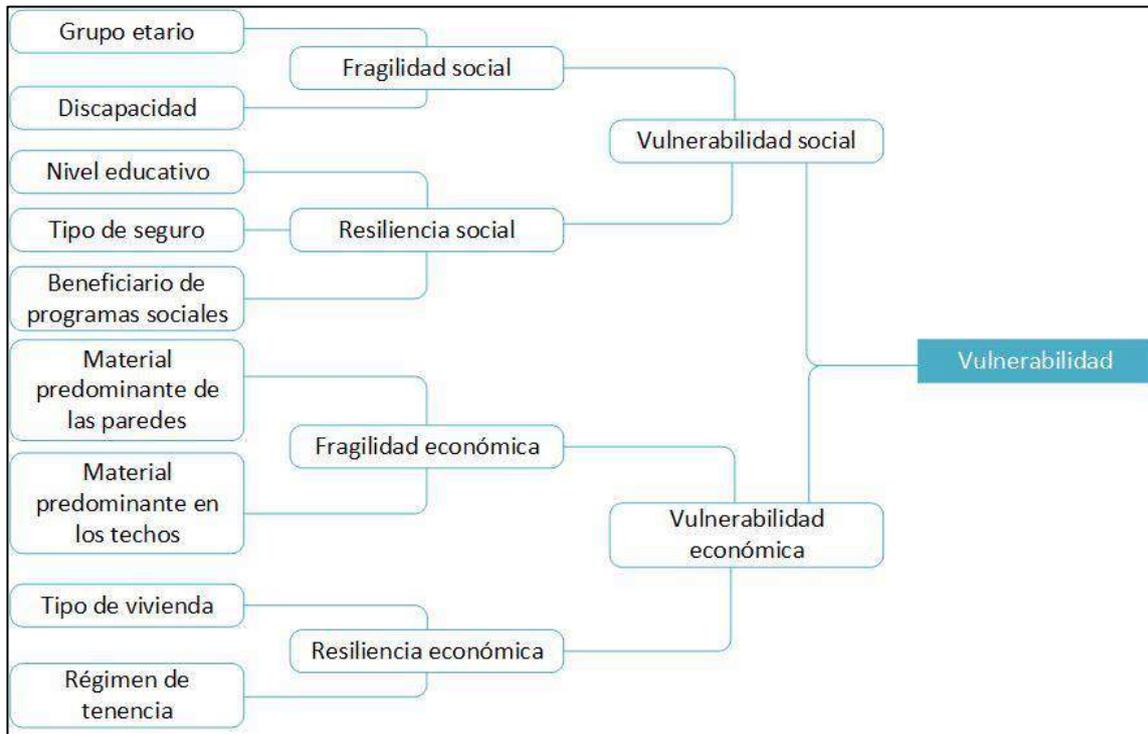
Tabla 75*Estratificación del Nivel de Peligro.*

Descripción	Rango	Nivel
Zona con altitud menor a 25 msnm, a una distancia al cauce menor a 250m, con presencia de insuficientes o ninguna obra de protección, presencia de población y/o tierras de cultivo en las zonas.	$0.261 \leq P < 0.484$	MUY ALTO
Zona con altitud entre 25 a 30 msnm, a una distancia al cauce entre 250 a 500m, con presencia de insuficientes o poco eficientes obras de protección, presencia de tierras con cultivo o sin cultivo en las zonas.	$0.140 \leq P < 0.261$	ALTO
Zona con altitud entre 30 a 35 msnm, a una distancia al cauce entre 500 a 1000m, con presencia obras de protección poco o medianamente eficientes, presencia de tierras sin cultivo o afloramiento rocoso en las zonas.	$0.074 \leq P < 0.140$	MEDIO
Zona con altitud mayor a 35 msnm, a una distancia al cauce mayor a 1000m, con presencia de obras de protección medianamente eficientes o con protección natural, afloramiento rocoso en la zona o cauce propio del río.	$0.040 \leq P < 0.074$	BAJO

Fuente: Elaboración propia.

5.3 Evaluación del nivel de vulnerabilidad

Para realizar el análisis de los niveles de vulnerabilidad del área urbana de los 6 distritos en evaluación se consideró, como material referencial, los estudios realizados por el Centro Nacional de Estimación Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres (CENEPRED), el cual utiliza la metodología descrita en el Manual para la Evaluación de Riesgos originados por Fenómenos Naturales (2015), en dichos informes consideraron realizar el análisis de los factores de la vulnerabilidad en la dimensión social y económica, utilizando los parámetros de evaluación, según detalle en los siguientes gráficos:

Figura 24*Parámetros para el análisis de la vulnerabilidad*

Fuente: CENEPRED (2015).

En la Figura 24 se pueden observar dos nuevas definiciones, las cuales se definen a continuación:

- Fragilidad: según el CENEPRED (2015) relaciona a la fragilidad con las condiciones de desventaja físicas de la comunidad, debilidad relativa del ser humano y sus medios de vida frente a un peligro, a mayor fragilidad mayor vulnerabilidad.
- Resiliencia: según el CENEPRED (2015) relaciona la resiliencia con las condiciones sociales y de organización de una población frente a cualquier peligro, a mayor resiliencia menor vulnerabilidad.

5.3.1 Análisis de los factores de vulnerabilidad en la dimensión social

El análisis de la dimensión social reside en identificar las características consideradas intrínsecas de la población del área en evaluación y su contribución al análisis de la vulnerabilidad. En los estudios del CENEPRED se identificaron y seleccionaron parámetros de evaluación agrupados en las componentes de fragilidad y resiliencia.

5.3.1.1 Análisis de la fragilidad social

Los parámetros considerados para este análisis social fueron:

- Grupo etario
- Discapacidad

A continuación, se muestra el proceso del cálculo de valor ponderación de los parámetros considerados:

A. Grupo etario

Para este parámetro se determinaron 5 descriptores obtenidos de la información censal a nivel de manzana del INEI. A continuación, se detalla el proceso para su ponderación:

Tabla 76

Matriz de comparación de pares: Grupo etario

Grupo etario	0-5 y >65 (años)	5-12 y 60-65 (años)	12-15 y 50-60 (años)	15-30 (años)	30-50 (años)
0-5 y >65 (años)	1.000	3.000	5.000	7.000	9.000
5-12 y 60-65 (años)	0.333	1.000	3.000	5.000	7.000
12-15 y 50-60 (años)	0.200	0.333	1.000	3.000	5.000
15-30 (años)	0.143	0.200	0.333	1.000	3.000
30-50 (años)	0.111	0.143	0.200	0.333	1.000
Suma	1.787	4.676	9.533	16.333	25.000
1/Suma	0.560	0.214	0.105	0.061	0.040

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 77

Matriz de Normalización: Grupo etario

Grupo etario	0-5 y >65 (años)	5-12 y 60-65 (años)	12-15 y 50-60 (años)	15-30 (años)	30-50 (años)	Vector priorización	Porcentaje
0-5 y >65 (años)	0.560	0.642	0.524	0.429	0.360	0.503	50%
5-12 y 60-65 (años)	0.187	0.214	0.315	0.306	0.280	0.260	26%
12-15 y 50-60 (años)	0.112	0.071	0.105	0.184	0.200	0.134	13%
15-30 (años)	0.080	0.043	0.035	0.061	0.120	0.068	7%
30-50 (años)	0.062	0.031	0.021	0.020	0.040	0.035	3%
Suma	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	100%

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 78

Matriz para Vector Suma Ponderada: Grupo etario

Grupo etario	0-5 y >65 (años)	5-12 y 60-65 (años)	12-15 y 50-60 (años)	15-30 (años)	30-50 (años)	Vector Suma Ponderada
0-5 y >65 (años)	0.503	0.781	0.672	0.474	0.313	2.743
5-12 y 60-65 (años)	0.168	0.260	0.403	0.339	0.244	1.414
12-15 y 50-60 (años)	0.101	0.087	0.134	0.203	0.174	0.699
15-30 (años)	0.072	0.052	0.045	0.068	0.104	0.341
30-50 (años)	0.056	0.037	0.027	0.023	0.035	0.177

Fuente: Elaboración propia.

Con los valores de Vector Priorización y Vector Suma Ponderada se obtienen los IC y RC para el factor: Grupo etario.

Tabla 79

Determinación del IC y RC: Grupo etario.

Vector Suma Ponderada	Vector priorización	λ Máx
2.743	0.503	5.455
1.414	0.260	5.432
0.699	0.134	5.204
0.341	0.068	5.030
0.177	0.035	5.093
λ Máx		5.243
IC		0.061
RC		0.054

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 80

Peso ponderado: Grupo etario.

Factor Condicionante	Grupo etario	Peso Ponderado	1.000	
Descriptores	GE1	0-5 y >65 (años)	PGE1	0.503
	GE2	5-12 y 60-65 (años)	PGE2	0.260
	GE3	12-15 y 50-60 (años)	PGE3	0.134
	GE4	15-30 (años)	PGE4	0.068
	GE5	30-50 (años)	PGE5	0.035

Fuente: Elaboración propia.

B. Discapacidad

Para este parámetro se determinaron 5 descriptores obtenidos de la información censal a nivel de manzana del INEI. A continuación, se detalla el proceso para su ponderación:

Tabla 81

Matriz de comparación de pares: Discapacidad

Discapacidad	Mental o intelectual	Visual	Para usar brazos y piernas	Para oír y/o para hablar	No tiene
Mental o intelectual	1.000	2.000	3.000	5.000	9.000
Visual	0.500	1.000	2.000	3.000	5.000
Para usar brazos y piernas	0.333	0.500	1.000	2.000	3.000
Para oír y/o para hablar	0.200	0.333	0.500	1.000	2.000
No tiene	0.111	0.200	0.333	0.500	1.000
Suma	2.144	4.033	6.833	11.500	20.000
1/Suma	0.466	0.248	0.146	0.087	0.050

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 82*Matriz de Normalización: Discapacidad*

Discapacidad	Mental o intelectual	Visual	Para usar brazos y piernas	Para oír y/o para hablar	No tiene	Vector priorización	Porcentaje
Mental o intelectual	0.466	0.496	0.439	0.435	0.450	0.457	46%
Visual	0.233	0.248	0.293	0.261	0.250	0.257	26%
Para usar brazos y piernas	0.155	0.124	0.146	0.174	0.150	0.150	15%
Para oír y/o para hablar	0.093	0.083	0.073	0.087	0.100	0.087	9%
No tiene	0.052	0.050	0.049	0.043	0.050	0.049	5%
Suma	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	100%

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 83*Matriz para Vector Suma Ponderada: Discapacidad*

Discapacidad	Mental o intelectual	Visual	Para usar brazos y piernas	Para oír y/o para hablar	No tiene	Vector Suma Ponderada
Mental o intelectual	0.457	0.514	0.450	0.436	0.439	2.295
Visual	0.229	0.257	0.300	0.262	0.244	1.291
Para usar brazos y piernas	0.152	0.128	0.150	0.174	0.146	0.751
Para oír y/o para hablar	0.091	0.086	0.075	0.087	0.097	0.437
No tiene	0.051	0.051	0.050	0.044	0.049	0.244

Fuente: Elaboración propia.

Con los valores de Vector Priorización y Vector Suma Ponderada se obtienen los IC y RC para el factor: Discapacidad.

Tabla 84*Determinación del IC y RC: Discapacidad.*

Vector Suma Ponderada	Vector priorización	λ Máx
2.295	0.457	5.021
1.291	0.257	5.023
0.751	0.150	5.012
0.437	0.087	5.008
0.244	0.049	5.017
λ Máx		5.243
IC		0.061
RC		0.054

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 85*Peso ponderado: Discapacidad*

Factor Condicionante		Discapacidad	Peso Ponderado	1.000
Descriptores	DI1	Mental o intelectual	PDI1	0.457
	DI2	Visual	PDI2	0.257
	DI3	Para usar brazos y piernas	PDI3	0.150
	DI4	Para oír y/o para hablar	PDI3	0.087
	DI5	No tiene	PDI5	0.049

Fuente: Elaboración propia.

5.3.1.2 Análisis de la resiliencia social

Los parámetros considerados para este análisis social fueron:

- Nivel educativo
- Tipo de seguro

A continuación, se muestra el proceso del cálculo de valor ponderación de los parámetros considerados:

A. Nivel educativo

Para este parámetro se determinaron 5 descriptores obtenidos de la información censal a nivel de manzana del INEI. A continuación, se detalla el proceso para su ponderación:

Tabla 86*Matriz de comparación de pares: Nivel educativo*

Nivel educativo	Ningún nivel y/o Inicial	Primaria	Secundaria	Superior no Universitario	Superior Universitario y/o posgrado u otro similar
Ningún nivel y/o Inicial	1.000	2.000	4.000	6.000	8.000
Primaria	0.500	1.000	2.000	4.000	6.000
Secundaria	0.250	0.500	1.000	2.000	4.000
Superior no Universitario	0.167	0.250	0.500	1.000	2.000
Superior Universitario y/o posgrado u otro similar	0.125	0.167	0.250	0.500	1.000
Suma	2.042	3.917	7.750	13.500	21.000
1/Suma	0.490	0.255	0.129	0.074	0.048

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 87*Matriz de Normalización: Nivel educativo.*

Nivel educativo	Ningún nivel y/o Inicial	Primaria	Secundaria	Superior no Universitario	Superior Universitario y/o posgrado u otro similar	Vector priorización	Porcentaje
Ningún nivel y/o Inicial	0.490	0.511	0.516	0.444	0.381	0.468	47%
Primaria	0.245	0.255	0.258	0.296	0.286	0.268	27%
Secundaria	0.122	0.128	0.129	0.148	0.190	0.144	14%
Superior no Universitario	0.082	0.064	0.065	0.074	0.095	0.076	8%
Superior Universitario y/o posgrado u otro similar	0.061	0.043	0.032	0.037	0.048	0.044	4%
Suma	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	100%

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 88*Matriz para Vector Suma Ponderada: Nivel educativo.*

Nivel educativo	Ningún nivel y/o Inicial	Primaria	Secundaria	Superior no Universitario	Superior Universitario y/o posgrado u otro similar	Vector Suma Ponderada
Ningún nivel y/o Inicial	0.468	0.536	0.574	0.455	0.353	2.387
Primaria	0.234	0.268	0.287	0.303	0.265	1.358
Secundaria	0.117	0.134	0.144	0.152	0.177	0.723
Superior no Universitario	0.078	0.067	0.072	0.076	0.088	0.381
Superior Universitario y/o posgrado u otro similar	0.059	0.045	0.036	0.038	0.044	0.221

Fuente: Elaboración propia.

Con los valores de Vector Priorización y Vector Suma Ponderada se obtienen los IC y RC para el factor: Nivel educativo.

Tabla 89*Determinación del IC y RC: Nivel educativo.*

Vector Suma Ponderada	Vector priorización	λ Máx
2.387	0.468	5.096
1.358	0.268	5.065
0.723	0.144	5.036
0.381	0.076	5.022
0.221	0.044	5.011
λ Máx		5.046
IC		0.012
RC		0.010

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 90*Peso ponderado: Nivel educativo*

Factor Condicionante		Nivel educativo	Peso Ponderado	0.500
Descriptores	NE1	Ningún nivel y/o Inicial	PNE1	0.468
	NE2	Primeria	PNE2	0.268
	NE3	Secundaria	PNE3	0.144
	NE4	Superior no Universitario	PNE4	0.076
	NE5	Superior Universitario y/o posgrado u otro similar	PNE5	0.044

Fuente: Elaboración propia.

B. Tipo de seguro de salud

Para este parámetro se determinaron 5 descriptores obtenidos de la información censal a nivel de manzana del INEI. A continuación, se detalla el proceso para su ponderación:

Tabla 91*Matriz de comparación de pares: Tipo de seguro de salud.*

Tipo de seguro	Ningún seguro de salud	Seguro Integral de Salud (SIS)	ESSALUD	FFAA-PNP	Seguro Privado y/u otro
Ningún seguro de salud	1.000	3.000	5.000	6.000	7.000
Seguro Integral de Salud (SIS)	0.333	1.000	3.000	5.000	6.000
ESSALUD	0.200	0.333	1.000	3.000	5.000
FFAA-PNP	0.167	0.200	0.333	1.000	3.000
Seguro Privado y/u otro	0.143	0.167	0.200	0.333	1.000
Suma	1.843	4.700	9.533	15.333	22.000
1/Suma	0.543	0.213	0.105	0.065	0.045

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 92*Matriz de Normalización: Tipo de seguro de salud.*

Tipo de seguro	Ningún seguro de salud	Seguro Integral de Salud (SIS)	ESSALUD	FFAA-PNP	Seguro Privado y/u otro	Vector priorización	Porcentaje
Ningún seguro de salud	0.543	0.638	0.524	0.391	0.318	0.483	48%
Seguro Integral de Salud (SIS)	0.181	0.213	0.315	0.326	0.273	0.261	26%
ESSALUD	0.109	0.071	0.105	0.196	0.227	0.141	14%
FFAA-PNP	0.090	0.043	0.035	0.065	0.136	0.074	7%
Seguro Privado y/u otro	0.078	0.035	0.021	0.022	0.045	0.040	4%
Suma	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	100%

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 93

Matriz para Vector Suma Ponderada: Tipo de seguro de salud.

Tipo de seguro	Ningún seguro de salud	Seguro Integral de Salud (SIS)	ESSALUD	FFAA-PNP	Seguro Privado y/u otro	Vector Suma Ponderada
Ningún seguro de salud	0.483	0.784	0.707	0.443	0.282	2.700
Seguro Integral de Salud (SIS)	0.161	0.261	0.424	0.370	0.241	1.458
ESSALUD	0.097	0.087	0.141	0.222	0.201	0.748
FFAA-PNP	0.080	0.052	0.047	0.074	0.121	0.375
Seguro Privado y/u otro	0.069	0.044	0.028	0.025	0.040	0.206

Fuente: Elaboración propia.

Con los valores de Vector Priorización y Vector Suma Ponderada se obtienen los IC y RC para el factor: Tipo de seguro de salud.

Tabla 94

Determinación del IC y RC: Tipo de seguro de salud

Vector Suma Ponderada	Vector priorización	λ Máx
2.700	0.483	5.589
1.458	0.261	5.576
0.748	0.141	5.288
0.375	0.074	5.068
0.206	0.040	5.114
λ Máx		5.327
IC		0.082
RC		0.073

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 95

Peso ponderado: Tipo de seguro de salud.

Factor Condicionante	Tipo de seguro de salud	Peso Ponderado	0.500	
Descriptores	SS1	Ningún seguro de salud	PSS1	0.483
	SS2	Seguro Integral de Salud (SIS)	PSS2	0.261
	SS3	ESSALUD	PSS3	0.141
	SS4	FFAA-PNP	PSS4	0.074
	SS5	Seguro Privado y/u otro	PSS5	0.040

Fuente: Elaboración propia.

5.3.2 Análisis de los factores de vulnerabilidad en la dimensión económica

El análisis de la dimensión económica consiste en identificar las características de las viviendas, dando así una idea aproximada de las condiciones económicas de las familias de las zonas evaluadas. En los estudios del CENEPRED se identificaron y seleccionaron parámetros de evaluación agrupados en las componentes de fragilidad y resiliencia.

5.3.2.1 Análisis de la fragilidad económica

Los parámetros considerados para este análisis económico fueron:

- Material predominante de las paredes
- Material predominante en los techos

A continuación, se muestra el proceso del cálculo de valor ponderación de los parámetros considerados:

A. Material predominante de las paredes

Para este parámetro se determinaron 5 descriptores obtenidos de la información censal a nivel de manzana del INEI. A continuación, se detalla el proceso para su ponderación:

Tabla 96

Matriz de comparación de pares: Material predominante de las paredes

Material predominante de paredes	Adobe	Estera	Quincha	Madera	Ladrillo
Adobe	1.000	2.000	4.000	6.000	8.000
Estera	0.500	1.000	3.000	5.000	7.000
Quincha	0.250	0.333	1.000	3.000	5.000
Madera	0.167	0.200	0.333	1.000	3.000
Ladrillo	0.125	0.143	0.200	0.333	1.000
Suma	2.042	3.676	8.533	15.333	24.000
1/Suma	0.490	0.272	0.117	0.065	0.042

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 97

Matriz de Normalización: Material predominante de las paredes

Material predominante de paredes	Adobe	Estera	Quincha	Madera	Ladrillo	Vector priorización	Porcentaje
Adobe	0.490	0.544	0.469	0.391	0.333	0.445	45%
Estera	0.245	0.272	0.352	0.326	0.292	0.297	30%
Quincha	0.122	0.091	0.117	0.196	0.208	0.147	15%
Madera	0.082	0.054	0.039	0.065	0.125	0.073	7%
Ladrillo	0.061	0.039	0.023	0.022	0.042	0.037	4%
Suma	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	100%

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 98

Matriz para Vector Suma Ponderada: Material predominante de las paredes

Material predominante de paredes	Adobe	Estera	Quincha	Madera	Ladrillo	Vector Suma Ponderada
Adobe	0.445	0.594	0.587	0.438	0.299	2.365
Estera	0.223	0.297	0.441	0.365	0.262	1.588
Quincha	0.111	0.099	0.147	0.219	0.187	0.763
Madera	0.074	0.059	0.049	0.073	0.112	0.368
Ladrillo	0.056	0.042	0.029	0.024	0.037	0.189

Fuente: Elaboración propia.

Con los valores de Vector Priorización y Vector Suma Ponderada se obtienen los IC y RC para el factor: Material predominante de las paredes.

Tabla 99

Determinación del IC y RC: Material predominante de las paredes

Vector Suma Ponderada	Vector priorización	λ Máx
2.365	0.445	5.309
1.588	0.297	5.341
0.763	0.147	5.198
0.368	0.073	5.035
0.189	0.037	5.062
λ Máx		5.189
IC		0.047
RC		0.042

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 100

Peso ponderado: Material predominante de las paredes

Factor Condicionante	Material predominante de las paredes	Peso Ponderado	0.500	
Descriptor	MP1	Adobe	PMP1	0.445
	MP2	Estera	PMP2	0.297
	MP3	Quincha	PMP3	0.147
	MP4	Madera	PMP4	0.073
	MP5	Ladrillo	PMP5	0.037

Fuente: Elaboración propia.

B. Material predominante en techos

Para este parámetro se determinaron 5 descriptores obtenidos de la información censal a nivel de manzana del INEI. A continuación, se detalla el proceso para su ponderación:

Tabla 101

Matriz de comparación de pares: Material predominante en los techos.

Material en techos	Otro material (cartón, plástico, entre otros)	Estera y/o paja, hojas de palmera	Madera y/o caña o estera con torta de barro	Plancha de calamina y/o Tejas	Concreto armado
Otro material (cartón, plástico, entre otros)	1.000	3.000	5.000	7.000	9.000
Estera y/o paja, hojas de palmera	0.333	1.000	3.000	5.000	7.000
Madera y/o caña o estera con torta de barro	0.200	0.333	1.000	3.000	5.000
Plancha de calamina y/o Tejas	0.143	0.200	0.333	1.000	3.000
Concreto armado	0.111	0.143	0.200	0.333	1.000
Suma	1.787	4.676	9.533	16.333	25.000
1/Suma	0.560	0.214	0.105	0.061	0.040

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 102

Matriz de Normalización: Material predominante en los techos.

Material en techos	Otro material (cartón, plástico, entre otros)	Estera y/o paja, hojas de palmera	Madera y/o caña o estera con torta de barro	Plancha de calamina y/o Tejas	Concreto armado	Vector priorización	Porcentaje
Otro material (cartón, plástico, entre otros)	0.560	0.642	0.524	0.429	0.360	0.503	50%
Estera y/o paja, hojas de palmera	0.187	0.214	0.315	0.306	0.280	0.260	26%
Madera y/o caña o estera con torta de barro	0.112	0.071	0.105	0.184	0.200	0.134	13%
Plancha de calamina y/o Tejas	0.080	0.043	0.035	0.061	0.120	0.068	7%
Concreto armado	0.062	0.031	0.021	0.020	0.040	0.035	3%
Suma	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	100%

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 103

Matriz para Vector Suma Ponderada: Material predominante en los techos.

Material en techos	Otro material (cartón, plástico, entre otros)	Estera y/o paja, hojas de palmera	Madera y/o caña o estera con torta de barro	Plancha de calamina y/o Tejas	Concreto armado	Vector Suma Ponderada
Otro material (cartón, plástico, entre otros)	0.503	0.781	0.672	0.474	0.313	2.743
Estera y/o paja, hojas de palmera	0.168	0.260	0.403	0.339	0.244	1.414
Madera y/o caña o estera con torta de barro	0.101	0.087	0.134	0.203	0.174	0.699
Plancha de calamina y/o Tejas	0.072	0.052	0.045	0.068	0.104	0.341
Concreto armado	0.056	0.037	0.027	0.023	0.035	0.177

Fuente: Elaboración propia.

Con los valores de Vector Priorización y Vector Suma Ponderada se obtienen los IC y RC para el factor: Material predominante en los techos.

Tabla 104

Determinación del IC y RC: Material predominante en los techos.

Vector Suma Ponderada	Vector priorización	λ Máx
2.743	0.503	5.455
1.414	0.260	5.432
0.699	0.134	5.204
0.341	0.068	5.030
0.177	0.035	5.093
λ Máx		5.243
IC		0.061
RC		0.054

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 105

Peso ponderado: Material predominante en los techos.

Factor Condicionante	Material predominante en techos	Peso Ponderado	0.500	
Descriptores	MT1	Otro material (cartón, plástico, entre otros)	PMT1	0.503
	MT2	Estera y/o paja, hojas de palmera	PMT2	0.260
	MT3	Madera y/o caña o estera con torta de barro	PMT3	0.134
	MT4	Plancha de calamina y/o Tejas	PMT4	0.068
	MT5	Concreto armado	PMT5	0.035

Fuente: Elaboración propia.

5.3.2.2 Análisis de la resiliencia económica

Los parámetros considerados para este análisis económico fueron:

- Tipo de vivienda
- Régimen de tenencia

A continuación, se muestra el proceso del cálculo de valor ponderación de los parámetros considerados:

A. Tipo de vivienda

Para este parámetro se determinaron 5 descriptores obtenidos de la información censal a nivel de manzana del INEI. A continuación, se detalla el proceso para su ponderación:

Tabla 106

Matriz de comparación de pares: Tipo de vivienda.

Tipo de vivienda	No destinado para habitación	Choza o cabaña y/o vivienda improvisada	Vivienda en quinta y/o vivienda en casa vecindad	Departamento en edificio	Casa independiente
No destinado para habitación	1.000	3.000	6.000	8.000	9.000
Choza o cabaña y/o vivienda improvisada	0.333	1.000	3.000	6.000	8.000
Vivienda en quinta y/o vivienda en casa vecindad	0.167	0.333	1.000	3.000	6.000
Departamento en edificio	0.125	0.167	0.333	1.000	3.000
Casa independiente	0.111	0.125	0.167	0.333	1.000
Suma	1.736	4.625	10.500	18.333	27.000
1/Suma	0.576	0.216	0.095	0.055	0.037

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 107*Matriz de Normalización: Tipo de vivienda.*

Tipo de vivienda	No destinado para habitación	Choza o cabaña y/o vivienda improvisada	Vivienda en quinta y/o vivienda en casa vecindad	Departamento en edificio	Casa independiente	Vector priorización	Porcentaje
No destinado para habitación	0.576	0.649	0.571	0.436	0.333	0.513	51%
Choza o cabaña y/o vivienda improvisada	0.192	0.216	0.286	0.327	0.296	0.263	26%
Vivienda en quinta y/o vivienda en casa vecindad	0.096	0.072	0.095	0.164	0.222	0.130	13%
Departamento en edificio	0.072	0.036	0.032	0.055	0.111	0.061	6%
Casa independiente	0.064	0.027	0.016	0.018	0.037	0.032	3%
Suma	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	100%

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 108*Matriz para Vector Suma Ponderada: Tipo de vivienda.*

Tipo de vivienda	No destinado para habitación	Choza o cabaña y/o vivienda improvisada	Vivienda en quinta y/o vivienda en casa vecindad	Departamento en edificio	Casa independiente	Vector Suma Ponderada
No destinado para habitación	0.513	0.790	0.779	0.489	0.292	2.863
Choza o cabaña y/o vivienda improvisada	0.171	0.263	0.390	0.367	0.259	1.450
Vivienda en quinta y/o vivienda en casa vecindad	0.086	0.088	0.130	0.183	0.195	0.681
Departamento en edificio	0.064	0.044	0.043	0.061	0.097	0.310
Casa independiente	0.057	0.033	0.022	0.020	0.032	0.164

Fuente: Elaboración propia.

Con los valores de Vector Priorización y Vector Suma Ponderada se obtienen los IC y RC para el factor: Tipo de vivienda.

Tabla 109*Determinación del IC y RC: Tipo de vivienda.*

Vector Suma Ponderada	Vector priorización	λ Máx
2.863	0.513	5.580
1.450	0.263	5.503
0.681	0.130	5.245
0.310	0.061	5.070
0.164	0.032	5.070
λ Máx		5.293
IC		0.073
RC		0.066

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 110*Peso ponderado: Tipo de vivienda.*

Factor Condicionante	Tipo de vivienda	Peso Ponderado	0.500	
Descriptores	TV1	No destinado para habitación	PTV1	0.513
	TV2	Choza o cabaña y/o vivienda improvisada	PTV2	0.263
	TV3	Vivienda en quinta y/o vivienda en casa vecindad	PTV3	0.130
	TV4	Departamento en edificio	PTV4	0.061
	TV5	Casa independiente	PTV5	0.032

Fuente: Elaboración propia.

B. Régimen de tenencia

Para este parámetro se determinaron 5 descriptores obtenidos de la información censal a nivel de manzana del INEI. A continuación, se detalla el proceso para su ponderación:

Tabla 111*Matriz de comparación de pares: Régimen de tenencia.*

Régimen de tenencia	Otro tipo de tenencia	Cedida por el centro de trabajo	Alquilada	Propia por invasión	Propia, pagándola o pagada
Otro tipo de tenencia	1.000	3.000	4.000	8.000	9.000
Cedida por el centro de trabajo	0.333	1.000	3.000	4.000	8.000
Alquilada	0.250	0.333	1.000	3.000	4.000
Propia por invasión	0.125	0.250	0.333	1.000	3.000
Propia, pagándola o pagada	0.111	0.125	0.250	0.333	1.000
Suma	1.819	4.708	8.583	16.333	25.000
1/Suma	0.550	0.212	0.117	0.061	0.040

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 112*Matriz de Normalización: Régimen de tenencia.*

Régimen de tenencia	Otro tipo de tenencia	Cedida por el centro de trabajo	Alquilada	Propia por invasión	Propia, pagándola o pagada	Vector priorización	Porcentaje
Otro tipo de tenencia	0.550	0.637	0.466	0.490	0.360	0.501	50%
Cedida por el centro de trabajo	0.183	0.212	0.350	0.245	0.320	0.262	26%
Alquilada	0.137	0.071	0.117	0.184	0.160	0.134	13%
Propia por invasión	0.069	0.053	0.039	0.061	0.120	0.068	7%
Propia, pagándola o pagada	0.061	0.027	0.029	0.020	0.040	0.035	4%
Suma	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	100%

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 113*Matriz para Vector Suma Ponderada: Régimen de tenencia.*

Régimen de tenencia	Otro tipo de tenencia	Cedida por el centro de trabajo	Alquilada	Propia por invasión	Propia, pagándola o pagada	Vector Suma Ponderada
Otro tipo de tenencia	0.501	0.786	0.535	0.547	0.319	2.687
Cedida por el centro de trabajo	0.167	0.262	0.401	0.273	0.283	1.387
Alquilada	0.125	0.087	0.134	0.205	0.142	0.693
Propia por invasión	0.063	0.066	0.045	0.068	0.106	0.347
Propia, pagándola o pagada	0.056	0.033	0.033	0.023	0.035	0.180

Fuente: Elaboración propia.

Con los valores de Vector Priorización y Vector Suma Ponderada se obtienen los IC y RC para el factor: Régimen de tenencia.

Tabla 114

Determinación del IC y RC: Régimen de tenencia.

Vector Suma Ponderada	Vector priorización	λ Máx
2.687	0.501	5.369
1.387	0.262	5.293
0.693	0.134	5.184
0.347	0.068	5.079
0.180	0.035	5.080
λ Máx		5.201
IC		0.050
RC		0.045

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 115

Peso ponderado: Régimen de tenencia.

Factor Condicionante	Régimen de tenencia	Peso Ponderado	0.500	
Descriptores	RT1	Otro tipo de tenencia	PRT1	0.501
	RT2	Cedida por el centro de trabajo	PRT2	0.262
	RT3	Alquilada	PRT3	0.134
	RT4	Propia por invasión	PRT4	0.068
	RT5	Propia, pagándola o pagada	PRT5	0.035

Fuente: Elaboración propia.

5.3.3 Determinación de los niveles de vulnerabilidad

A continuación, se presentan los resultados de los pesos ponderados tanto de la dimensión social como de la económica, y finalmente se presentan los rangos de los 4 niveles de vulnerabilidad para la zona de estudio: Muy alta, alta, media y baja.

Tabla 116*Pesos ponderados de la dimensión social.*

Dimensión social						
Fragilidad			Resiliencia			Total
Grupo etario	Discapacidad	Valor	Nivel educativo	Tipo de seguro	Valor	Promedio total
0.503	0.457	0.480	0.468	0.461	0.465	0.472
0.260	0.257	0.259	0.268	0.270	0.269	0.264
0.134	0.150	0.142	0.144	0.145	0.144	0.143
0.068	0.087	0.077	0.076	0.077	0.076	0.077
0.035	0.049	0.042	0.044	0.046	0.045	0.043

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 117*Pesos ponderados de la dimensión económica.*

Dimensión económica						
Fragilidad			Resiliencia			Total
Material predominante en	Material predominante en techos	Valor	Tipo de vivienda	Régimen de tenencia	Valor	Promedio total
0.445	0.503	0.474	0.513	0.501	0.507	0.490
0.297	0.260	0.279	0.263	0.262	0.263	0.271
0.147	0.134	0.141	0.130	0.134	0.132	0.136
0.073	0.068	0.070	0.061	0.068	0.065	0.068
0.037	0.035	0.036	0.032	0.035	0.034	0.035

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 118*Valores de niveles de vulnerabilidad.*

Dimensión Social	Dimensión Económica	Valor
0.500	0.472	0.481
	0.264	0.267
	0.143	0.140
	0.077	0.072
	0.043	0.039

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 119*Niveles de vulnerabilidad*

Rango		Nivel	
0.267	$\leq P <$	0.481	MUY ALTO
0.140	$\leq P <$	0.267	ALTO
0.072	$\leq P <$	0.140	MEDIO
0.039	$\leq P <$	0.072	BAJO

Fuente: Elaboración propia.

5.3.4 Estratificación de los niveles de vulnerabilidad

Finalizado el análisis de las variables, tanto de los factores sociales como económicos, se procede a la siguiente etapa en la cual se define la estratigrafía de la vulnerabilidad ante inundaciones en el tramo urbano del río Piura en su paso a lo largo de los distritos de Piura, Castilla, Catacaos, Cura Mori, La Arena y El Tallán. En la Tabla 119 se muestran los niveles de vulnerabilidad con la descripción para cada uno de los niveles.

Tabla 120*Estratificación del Nivel de Vulnerabilidad.*

Descripción	Rango	Nivel
Grupo etario de 0-12 y >60 años, con discapacidad tanto mental o intelectual y visual, con nivel educativo primario, inicial o ninguno, posee Seguro Integral de Salud o no posee ningún seguro de salud. El material predominante de paredes en su vivienda es de adobe o estera, el material predominante en techos es de cartón, plástico, estera, paja u hojas de palmera, cuenta con una vivienda que no es destinada para habitación, es una choza, cabaña o vivienda improvisada, y finalmente posee régimen de tenencia cedida por el centro de trabajo o de otro tipo de tenencia.	$0.267 \leq P < 0.481$	MUY ALTO
Grupo etario de 12-15 y 50-60 años, Con discapacidad visual y dificultad para usar brazos y piernas, con nivel educativo secundario o primario, posee ESSALUD o Seguro Integral de Salud. El material predominante de paredes en su vivienda es de estera o quincha, el material predominante en techos es de estera, paja, hojas de palmera, madera, caña o estera con torta de barro, cuenta con una vivienda que es una choza, cabaña, vivienda improvisada, vivienda en quinta o vivienda en casa vecindad, y finalmente posee régimen de tenencia alquilada o cedida por el centro de trabajo.	$0.140 \leq P < 0.267$	ALTO
Grupo etario de 15-30 años, con discapacidad usar brazos y piernas y dificultad para oír y/o para hablar, con nivel educativo superior	$0.072 \leq P < 0.140$	MEDIO

no universitario o secundario, posee un seguro de las FFAA-PNP o ESSALUD. El material predominante de paredes en su vivienda es de quincha o madera, el material predominante en techos es de madera, caña o estera con torta de barro, plancha de calamina o tejas, cuenta con una vivienda en quinta, vivienda en casa vecindad o departamento en edificio, y finalmente posee régimen de tenencia propia por invasión o alquilada.		
Grupo etario de 30-50 años, con discapacidad para oír y/o hablar o sin ninguna discapacidad, con nivel educativo superior no universitario o universitario y/o con postgrado, posee un seguro privado o de las FFAA-PNP. El material predominante de paredes en su vivienda es de madera o ladrillo, el material predominante en techos es de plancha de calamina, tejas o concreto armado, cuenta con departamento en edificio o una casa independiente y finalmente posee régimen de tenencia propia por invasión o propia pagándola o totalmente pagada.	0.039 <= P < 0.072	BAJO

Fuente: Elaboración propia.

5.4 Evaluación del nivel de riesgo

Una vez identificados y analizados los peligros a los que está expuesta el ámbito geográfico de estudio y habiendo desarrollado el análisis de los factores que se vinculan directamente con la vulnerabilidad, se procede a la determinación de los niveles de riesgo mediante la conjunción del peligro y de la vulnerabilidad del área de estudio (CENEPRED, 2015). El objetivo de este procedimiento es determinar los posibles efectos y consecuencias sociales, económicas y ambientales relacionadas a uno o varios fenómenos peligrosos

Para la determinación de los valores de niveles de riesgo se utiliza la siguiente ecuación, mediante la cual se expresa que el riesgo es una función del peligro y la vulnerabilidad”.

$$R_{ie}|_t = f(P_i, V_e)|_t$$

Donde:

R = Riesgo

Pi = Peligro

Ve = Vulnerabilidad

5.4.1 Determinación del nivel de riesgo

Para determinar el nivel de riesgo se tomó como guía el método simplificado Matriz de Riesgo, el cual permite determinar el nivel de riesgo a partir de los datos conocidos de los niveles de peligrosidad y de los niveles de vulnerabilidad, los cuales ya fueron calculados en

los apartados anteriores. En la Tabla 120 y Tabla 121 se muestran nuevamente los valores límites de los niveles de peligrosidad y vulnerabilidad de la zona estudiada, con estos valores se construye la Matriz de Riesgo cuyos resultados son mostrados en la Tabla 122 y Tabla 123.

Tabla 121

Nivel de peligro

Rango			Nivel
0.261	<=P<	0.484	MUY ALTO
0.140	<=P<	0.261	ALTO
0.074	<=P<	0.140	MEDIO
0.040	<=P<	0.074	BAJO

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 122

Nivel de vulnerabilidad

Rango			Nivel
0.267	<=P<	0.481	MUY ALTO
0.140	<=P<	0.267	ALTO
0.072	<=P<	0.140	MEDIO
0.039	<=P<	0.072	BAJO

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 123

Matriz de riesgo

PMA	0.484	0.03	0.07	0.13	0.23
PA	0.261	0.02	0.04	0.07	0.13
PM	0.14	0.01	0.02	0.04	0.07
PB	0.074	0.01	0.01	0.02	0.04
	0.072	0.140	0.267	0.481	
	VB	VM	VA	VMA	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 124

Resultados de niveles de riesgo ante inundaciones.

Rango			Nivel
0.070	<=P<	0.233	MUY ALTO
0.020	<=P<	0.070	ALTO
0.005	<=P<	0.020	MEDIO
0.002	<=P<	0.005	BAJO

Fuente: Elaboración propia.

5.4.2 Estratificación del nivel de riesgo

Finalizado el análisis de todas las variables de peligrosidad y de vulnerabilidad, dando como resultados los niveles de riesgo por inundación, se procede a la siguiente etapa en la cual se define la estratigrafía del riesgo por inundación en el tramo urbano del río Piura en su paso a lo largo de los distritos de Piura, Castilla, Catacaos, Cura Mori, La Arena y El Tallán. En la Tabla 124 se muestran los niveles de riesgo con la descripción para cada uno de los niveles.

Tabla 125

Estratificación del Nivel de Riesgo.

Descripción	Rango	Nivel
Zona con altitud menor a 25 msnm, a una distancia al cauce menor a 250m, con presencia de insuficientes o ninguna obra de protección, presencia de población y/o tierras de cultivo en las zonas, grupo etario de 0-12 y >60 años, con discapacidad tanto mental o intelectual y visual, con nivel educativo primario, inicial o ninguno, posee Seguro Integral de Salud o no posee ningún seguro de salud. El material predominante de paredes en su vivienda es de adobe o estera, el material predominante en techos es de cartón, plástico, estera, paja u hojas de palmera, cuenta con una vivienda que no es destinada para habitación, es una choza, cabaña o vivienda improvisada, y finalmente posee régimen de tenencia cedida por el centro de trabajo o de otro tipo de tenencia.	$0.070 \leq P < 0.233$	MUY ALTO
Zona con altitud entre 25 a 30 msnm, a una distancia al cauce entre 250 a 500m, con presencia de insuficientes o poco eficientes obras de protección, presencia de tierras con cultivo o sin cultivo en las zonas, grupo etario de 12-15 y 50-60 años, Con discapacidad visual y dificultad para usar brazos y piernas, con nivel educativo secundario o primario, posee ESSALUD o Seguro Integral de Salud. El material predominante de paredes en su vivienda es de estera o quincha, el material predominante en techos es de estera, paja, hojas de palmera, madera, caña o estera con torta de barro, cuenta con una vivienda que es una choza, cabaña, vivienda improvisada, vivienda en quinta o vivienda en casa vecindad, y finalmente posee régimen de tenencia alquilada o cedida por el centro de trabajo.	$0.020 \leq P < 0.070$	ALTO
Zona con altitud entre 30 a 35 msnm, a una distancia al cauce entre 500 a 1000m, con presencia obras de protección poco o	$0.005 \leq P < 0.020$	MEDIO

<p>medianamente eficientes, presencia de tierras sin cultivo o afloramiento rocoso en las zonas, grupo etario de 15-30 años, con discapacidad usar brazos y piernas y dificultad para oír y/o para hablar, con nivel educativo superior no universitario o secundario, posee un seguro de las FFAA-PNP o ESSALUD. El material predominante de paredes en su vivienda es de quincha o madera, el material predominante en techos es de madera, caña o estera con torta de barro, plancha de calamina o tejas, cuenta con una vivienda en quinta, vivienda en casa vecindad o departamento en edificio, y finalmente posee régimen de tenencia propia por invasión o alquilada.</p>		
<p>Zona con altitud mayor a 35 msnm, a una distancia al cauce mayor a 1000m, con presencia de obras de protección medianamente eficientes o con protección natural, afloramiento rocoso en la zona o cauce propio del río, grupo etario de 30-50 años, con discapacidad para oír y/o hablar o sin ninguna discapacidad, con nivel educativo superior no universitario o universitario y/o con postgrado, posee un seguro privado o de las FFAA-PNP. El material predominante de paredes en su vivienda es de madera o ladrillo, el material predominante en techos es de plancha de calamina, tejas o concreto armado, cuenta con departamento en edificio o una casa independiente y finalmente posee régimen de tenencia propia por invasión o propia pagándola o totalmente pagada.</p>	<p>0.002 ≤ P < 0.005</p>	<p>BAJO</p>

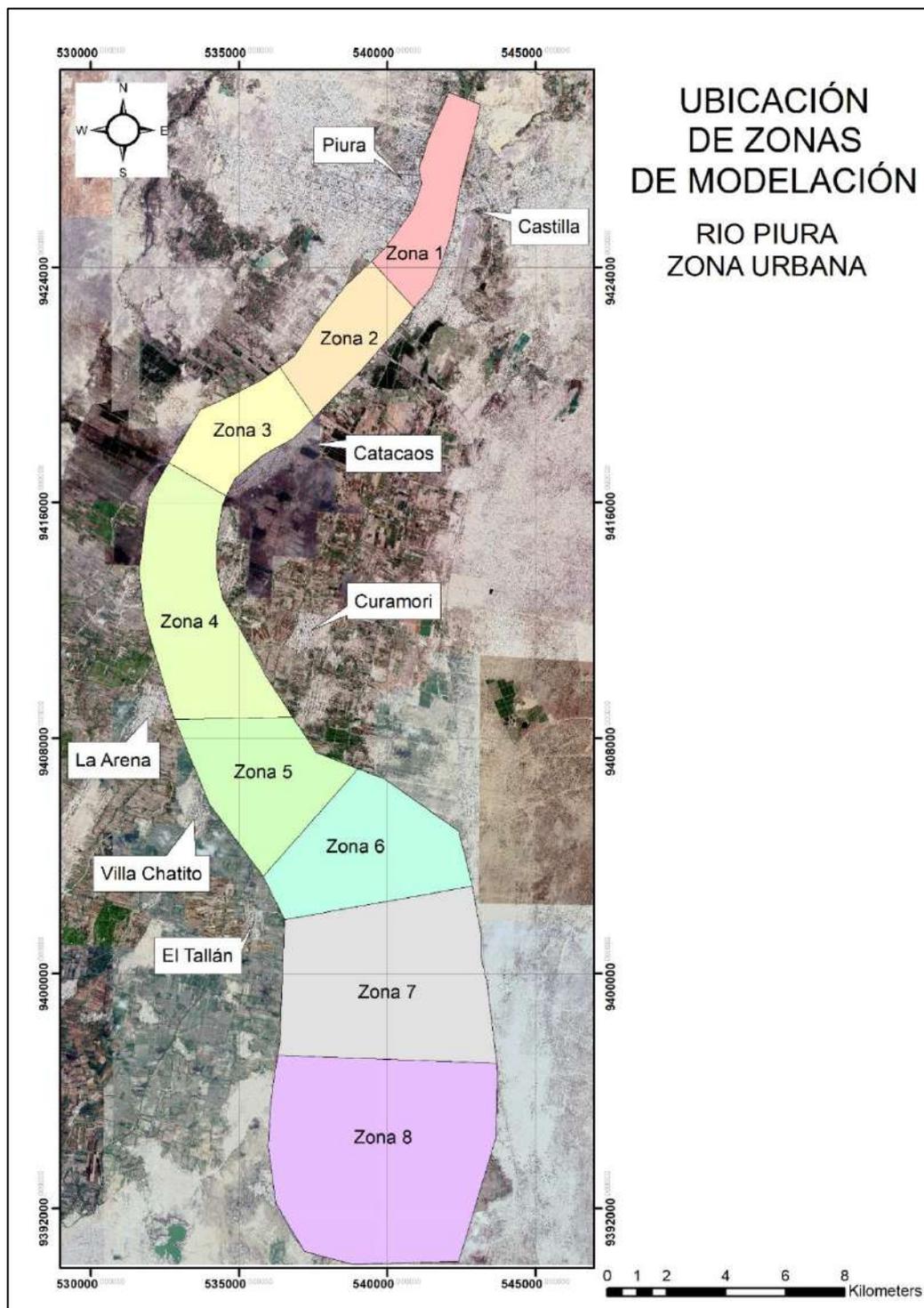
Fuente: Elaboración propia.

5.4.3 Resultados de los mapas de nivel de riesgo

Para la totalidad de las variables evaluadas en esta tesis, y adicionalmente, determinando la ponderación de cada una de estas, basándome en los resultados obtenidos en el análisis multicriterio, se realizaron los mapas de niveles de riesgo frente a inundaciones. Estos mapas resultan del desarrollo de un álgebra de mapas, el cual se desarrolló utilizando la herramienta “Map Algebra” del ArcGIS, el cual muestran finalmente la zonificación del riesgo por inundación del río Piura utilizando los valores de ponderación para cada una de las variables (ver Anexo I – Mapa 9 al Mapa 40). Para un mejor entendimiento y adecuada visualización de los resultados obtenidos se ha dividido toda el área de estudio en 8 zonas, cuyas ubicaciones y límites se pueden observar en la Figura 25.

Figura 25

Ubicación de zonas de modelación para visualización de resultados.



Fuente: Elaboración propia.

Los resultados indican que para un caudal de $400 \text{ m}^3/\text{s}$, correspondiente a un $\text{TR} = 2$ años, en el tramo que va desde la presa Los Ejidos hasta aguas abajo del Puente Bolognesi (ver Mapa 9), no hay presencia de desborde del río Piura, de modo que la zona de riesgo se

focaliza únicamente en la franja central del cauce mismo. De igual forma, se puede observar que no existe riesgo de inundación en la zona urbana del tramo 2 (ver Mapa 10), donde se puede observar que tanto La Legua como Simbilá aún no se ven afectados por la crecida del río Piura. Aguas abajo, cerca de la zona de Catacaos (ver Mapa 11) se puede observar que existen unas áreas, delimitadas por el dique de la margen derecha, que ya inician un desarrollo de inundación, pero que aún no registra un peligro inminente para la población de Catacaos. Por la zona de Narihualá (ver Mapa 12), el río en su margen izquierda comienza a abarcar terreno, pero hasta ahora limitado por el dique de la margen derecha. Este mismo comportamiento se puede observar en los siguientes tramos (ver Mapa 13 Mapa 14), donde el río continúa en su cauce principal sin causar inundaciones en zonas pobladas. A partir del último tramo de estudio (ver Mapa 15 y Mapa 16), es donde el flujo abarca las llanuras de inundación cercanas al cauce, esto debido a la poca variación de desniveles que existe entre el eje del cauce principal y las márgenes izquierda y derecha del río, pudiendo observar un aumento de la zona de inundación.

Analizando ahora los resultados obtenidos para un caudal de $2900 \text{ m}^3/\text{s}$, correspondiente a un $\text{TR} = 10$ años, podemos observar en la Zona 1 (Mapa 17) que tanto en la margen izquierda como en la derecha existe inundación, cerca de la zona de Quinta Ana María, Los Cocos del Chipe, zona posterior a la Universidad Nacional de Piura y en la zona del Centro Comercial Open Plaza. Este escenario cubre mayor preocupación en la zona entre Piura y Catacaos (Mapa 18) donde se puede observar una mayor zona de riesgo por inundación en la margen izquierda del río, repercutiendo en la seguridad de la población de Simbilá y del Hospital Privado. En la tercera zona (Mapa 19) ya se logra observar una gran zona de riesgo por inundación de alto a muy alto en Catacaos, poniendo en riesgo la vida de la población y de la infraestructura de las viviendas. En la siguiente zona (Mapa 20) se puede observar que el agua tiene un ingreso a la margen izquierda del cauce, repercutiendo en la población de Narihualá. Es importante resaltar que en la margen derecha el río no se desborda, debido a la presencia del dique, que, hasta este caudal, ha logrado cumplir hidráulicamente su objetivo. Gracias a esto, podemos observar que los pobladores de La Arena están seguros hasta el momento. El mismo comportamiento ocurre en la quinta zona (Mapa 21) donde se puede observar desborde del río Piura en la margen izquierda, pero un ligero desborde en la margen derecha en una curva de cambio de dirección del río hacia la izquierda. Ya en las tres últimas zonas (Mapa 22, Mapa 23 y Mapa 24) se aprecia una abertura del cauce, propio del bajo desnivel entre el eje del cauce y las márgenes del río.

Analizando ahora el tercer escenario, para un caudal de $3930 \text{ m}^3/\text{s}$, correspondiente a un $\text{TR} = 25$ años, en la primera zona urbana (Mapa 25) el agua ha podido ingresar con mayor fuerza tanto en la margen izquierda como en la derecha, repercutiendo en la mayor cantidad de viviendas y locales, perjudicando así a la población de los distritos de Piura y Castilla. Se logra observar como el Open Plaza, la Universidad Nacional de Piura, el Hospital Cayetano Heredia, la zona del Grifo Mega, y algunas zonas del centro de Piura están en la zona de riesgo alto. Para la zona 2 (Mapa 26) se puede observar con mayor magnitud el desborde del río en la margen izquierda, perjudicando a la población de Simbilá y quizás inhabilitando el Hospital

Privado. En la margen derecha se puede observar como la inundación llega a la zona de La Legua. Aguas abajo, en la tercera zona (Mapa 27) se sigue observando el desborde por todo Catacaos, así mismo se logra observar que la inundación ya abarca la zona del Pueblo La Piedra. En la cuarta zona (Mapa 28) vemos que el nivel de riesgo en Narihualá aumenta debido a la crecida del nivel de agua en la zona. Se puede observar que aumenta el riesgo de desborde en la margen derecha del río, poniendo en riesgo la estructura del dique, que hasta ahora ha cumplido con su objetivo hidráulico. Lo mismo se logra observar en la quinta zona (Mapa 29) donde la margen derecha queda resguardada por la presencia del dique, sin embargo, en la otra margen se puede observar que la población de Chato Chico se estaría viendo perjudicada por el ingreso del agua a su zona, poniendo en riesgo su vida y el estado de sus viviendas. Para las últimas tres zonas (Mapa 30, Mapa 31 y Mapa 32) se sigue observando la ampliación del cauce debido al aumento del nivel de agua en dichas áreas, perjudicando así a algunas tierras agrícolas presentes en dichas zonas.

Para el último escenario, para un caudal de $5400 \text{ m}^3/\text{s}$, correspondiente a un $\text{TR} = 100$ años, en la primera zona urbana (Mapa 33) el agua nuevamente ha podido ingresar con mayor fuerza tanto en la margen izquierda como en la derecha, de modo que, continúan inundándose la mayor cantidad de viviendas y locales, perjudicando así a la población de los distritos de Piura y Castilla. Se logra observar nuevamente como el Open Plaza, la Universidad Nacional de Piura, el Hospital Cayetano Heredia, la zona del Grifo Mega, y algunas zonas del centro de Piura pasan a estar en la zona de muy alto riesgo.

Para la zona 2 (Mapa 34) se sigue observando con mayor magnitud el desborde del río en la margen izquierda, perjudicando a la población de Simbilá y toda la zona aledaña al Hospital Privado. En la margen derecha se puede observar como la inundación llega con mayor fuerza a la zona de La Legua. Aguas abajo, en la tercera zona (Mapa 35) se sigue observando el desborde por todo Catacaos, aumentando el nivel de riesgo a Muy Alta, la zona del Pueblo La Piedra pasa a estar a un nivel de riesgo de Alto. En la cuarta zona (Mapa 36) vemos que el nivel de Riesgo en Narihualá aumenta debido a la crecida del nivel de agua en la zona. En todos los escenarios, inclusive en este último, podemos observar que el dique de la margen derecha ha cumplido con su objetivo hidráulico, encausar al río para unas crecidas y proteger a su área lateral frente a inundaciones. Lo mismo se logra observar en la quinta zona (Mapa 37) donde la margen derecha queda resguardada por la presencia del dique, sin embargo, en la otra margen se puede observar que la población de Chato Chico el nivel de riesgo está en Alto y Muy Alto, esto debido al aumento del nivel de agua en esta zona. Para las últimas tres zonas (Mapa 38, Mapa 39 y Mapa 40) se sigue observando la ampliación del cauce debido al aumento del nivel de agua en dichas áreas, perjudicando así a algunas tierras agrícolas presentes en dichas zonas.

Piura ha tenido cambios en su geomorfología, como ejemplo tenemos los estrangulamientos debidos a obras de encauzamiento existentes que producen un desequilibrio en la forma de planta y geometría del río, contribuyendo así a un mayor riesgo de su desborde. Ancieta (2008) estudia y describe este desequilibrio, logrando concluir que, debido a la existencia de los diques de encauzamiento, protecciones y otras estructuras que impiden el

desarrollo natural del cauce. A consecuencia de esto el río tiene una amplitud de cauce impedida, lo cual hace que el río corra entre los diques en más o menos grandes distancias de un lado a otro, chocando al pie las estructuras presentes en su cauce (Ancieta, 2008). Adicional a esto, la desviación del curso o cauce natural del río en la zona más baja crea un complicado problema complejo en su morfología, como resultado se genera un proceso conocido como fenómeno de agradación-degradación, lo cual llevaría a adoptar medidas de mitigación para afrontar los cambios de los niveles de niveles de fondo del cauce principal, así como del aumento de los niveles de agua para eventos extraordinarios (Ancieta, 2008). Esta referencia relacionada al estrangulamiento del río Piura en algunas zonas de su cauce concuerda con los resultados obtenidos en todas las simulaciones realizadas en esta tesis, tales es así que, las principales zonas de inicio de inundación se presentan en mayor magnitud en la margen derecha del río y aguas arriba de las zonas de angostamiento.

En relación a lo último, es importante mencionar que todas las estructuras protección, fueron indispensables para la protección contra posibles desbordes del río, a fin de evitar inundaciones y posibles daños a la propiedad privada, tales como infraestructura y áreas de irrigación existentes.





Conclusiones

Después de haber explicado su desarrollo, el presente trabajo nos permite llegar a las siguientes conclusiones:

- La ciudad de Piura es un foco de constante estudio y análisis hidráulico e hidrológico debido a la presencia del Fenómeno El Niño. Para mejorar la gestión de dicho fenómeno, no solamente basta con la acción científica y el desarrollo de innumerables estudios del río Piura, sino que es necesario la implementación de sistemas de gestión hídrica adecuados que analicen lo que ha acontecido en años pasados y que logren pronosticar el comportamiento del río para distintos escenarios FEN. La falta de un desarrollo eficaz en la infraestructura de protección, evidencia la ausencia de interés por parte de las autoridades de lograr una gran meta, tener salvaguardada a la población frente a cualquier fenómeno natural.
- La topografía utilizada como referencia fue un archivo resultado del vuelo LIDAR desarrollado en el año 2017, se utilizó dicha topografía debido a que es la única en la actualidad que abarca las zonas externas al cauce (llanuras de inundación) lo cual fueron de vital importancia abarcar para un modelo de inundación.
- Para el análisis hidráulico se ha logrado una calibración adecuada mediante una selección de los valores de rugosidad en los 50 km de longitud de cauce abarcado. Es importante mencionar que también se ha considerado los valores de rugosidad para las zonas de ciudades, poblados y de áreas de producción agrícola. Con dicha calibración, se pudo determinar los niveles de agua y las zonas de inundación para 4 caudales específicos = $400 \text{ m}^3/\text{s}$, $2900 \text{ m}^3/\text{s}$, $3930 \text{ m}^3/\text{s}$ y $5400 \text{ m}^3/\text{s}$, correspondientes a los TR de 2 años, 10 años, 25 años y 100 años. Al procesar el modelo hidráulico IBER se obtuvieron archivos en formato ráster de tirantes de agua, los cuales fueron reclasificados y posteriormente ponderados con los resultados del proceso de análisis jerárquico multicriterio.
- Con los resultados de los rangos de los niveles de peligro, vulnerabilidad y riesgo se procedió a analizar las zonas de bajo, medio, alto y muy alto riesgo de inundación, los cuales pueden verse con mayor detenimiento en los mapas de zonificación del riesgo.
- Las simulaciones han logrado evidenciar el comportamiento del flujo frente a caudales en el río Piura inclusive mayores al del 2017, dicha conclusión va acompañada de la gran preocupación del tesista de velar por la seguridad de la población de Piura, que

año a año no logra presenciar un trabajo eficaz en las estructuras de protección, tanto en la margen derecha como en la izquierda.

- Los resultados obtenidos de las simulaciones realizadas dejan en evidencia que las zonas donde el río ha sido modificado geomorfológicamente debido a las obras de encauzamiento por necesidad de protección contra inundaciones son las que generan posibles inundaciones en lugares contrarios al protegido. Es por ello que en la mayoría de las simulaciones se ha logrado observar que la zona más castigada por una inundación es la ubicada en la margen izquierda del río Piura, sin dejar de lado la inundación existente en su margen derecha, pero en menor proporción en comparación al de la margen izquierda.
- En relación al estrangulamiento del río Piura en algunas zonas de su cauce se concluye que, si influye en los desbordes del mismo, esto debido a que los resultados obtenidos en las simulaciones concuerdan con los registros históricos, tales es así que, las principales zonas de inicio de inundación se presentan en mayor magnitud en la margen izquierda del río y aguas arriba de las zonas de angostamiento.
- Comparando los resultados obtenidos en las simulaciones, con las registradas y evidenciadas en el FEN Costero del año 2017, se concluye que el modelo utilizado Iber ha logrado aproximarse muy bien según los resultados obtenidos para los dos caudales cercanos al 3468 m³/s. Esto quiere decir, que las zonas de inundación que el modelo ha arrojado, tales como Urb. Los Cocos del Chipe, Urb. Quinta Ana María, Urb. Santa Isabel y Urb. Santa Maria del Pinar en el distrito de Piura; Urb. Miraflores y A.H. El Indio en el distrito de Castilla; y las localidades de Catacaos, Cura Mori y Sechura por parte del Bajo Piura, son las mismas que se han registrado durante el evento climatológico.
- Por último, se concluye que los resultados de esta evaluación son base para posteriores estudios relacionados a la protección de la ciudad de Piura frente a inundaciones.

Recomendaciones

Se recomienda que las instituciones relacionadas a los desastres naturales, el área de ordenamiento territorial del Gobierno Regional de Piura considere la presente tesis, debido a que los resultados obtenidos son de mucha importancia para la adecuada gestión, tanto para el adecuado ordenamiento territorial, como para la adecuada gestión de protección frente a inundaciones fluviales. Los resultados obtenidos en el modelamiento fueron procesados con datos topográficos amplios y adecuados para el estudio, se estimó y cuantificó los niveles de afectación para poder obtener así un instrumento para la toma de decisiones en una planificación urbana segura.

Se recomienda realizar anualmente topografía mediante vuelo LIDAR de toda la zona urbana de Piura, esto debido a la constante variación que existe tanto en el cauce mismo del río, como en el crecimiento poblacional y urbano.

Por último, se recomiendan a las autoridades que, en las zonas más vulnerables, las cuales han sido detectadas tanto en este estudio, como en los registros de años pasados, se implementen intervenciones estructurales de defensas ribereñas adecuadas, así como también medidas no estructurales, tales como un adecuado ordenamiento territorial o una reubicación de la población expuesta al peligro por inundación fluvial.



Lista de referencias

ANA (2012). *Diagnóstico de la gestión de los recursos hídricos de la cuenca Chira – Piura: Informe Principal*. Proyecto de Modernización de la Gestión de Recursos Hídricos. Publicaciones [101]. Perú.

ANA (2014). *Tratamiento del cauce del río Piura para el control de inundaciones*. Dirección de Planificación y Desarrollo de los Recursos Hídricos (DPDRH). Publicaciones [151]. Perú.

ANA (2016) *Reglamento para la Delimitación y Mantenimiento de Fajas Marginales en Cursos Fluviales y Cuerpos de Agua Naturales y Artificiales*. Resolución Jefatural N°153-2016-ANA. Perú.

ANA (2019). *Ley de los recursos hídricos: Ley N° 29338*. Ediciones ANA. Publicaciones [145]. Perú.

ANA (15 de enero de 2021). *Nosotros*. <https://www.ana.gob.pe/nosotros/la-autoridad/nosotros>

Alvarado, C. y Ettmer, B (2008). *Agradación y degradación del río Piura – realineamiento del cauce principal inferior, fenómeno El Niño, Perú*. Ingeniería hidráulica en México, vol XXIII, núm. 3, pp. 5-28.

Avaria, S., Carrasco, J., Rutlland, J. y Yáñez, E. (2004). *El Niño-La Niña 1997-2000. Sus Efectos en Chile*. CONA, Chile, Valparaíso. pp. 13-27.

Barrantes, G. & Vargas J. (2011). *La zonificación de amenaza por inundación como herramienta para el ordenamiento territorial en el valle del río Sixaola*. Revista Geográfica de America Central. N°46, I Semestre 2011, pp. 67-85.

Bjerknes, J. (1969) *Atmospheric teleconnections from the equatorial Pacific*. Monthly Weather Review v. 18, p. 820-829.

Bladé, E., Cea, L., Corestein, G, Escolano, E., Puertas, J., Vázquez-Cendón, E., Dolz, J., Coll, A. (2014). *Iber: herramienta de simulación numérica del flujo en ríos*. Revista Internacional de Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño en Ingeniería, Volumen 30, pp. 1-10.

Bladé, E., Cea, L. & Corestein, G. (2014). *Modelización numérica de inundaciones fluviales*. Ingeniería del Agua, 18(1), 71-81.

Carrillo, C. (1892). *Hidrografía oceánica: Las corrientes oceánicas y estudios de la Corriente Peruana o de Humbolt*. Boletín de la Sociedad Geográfica de Lima, v 2, p. 72-110.

CAF. (1998). *El fenómeno el niño 1997 - 1998*. Corporación Andina de Fomento, 4, 304.

CENEPRED (2015) *Manual para la evaluación de riesgos originados por fenómenos naturales*. 2 versión. Extraído de https://www.cenepred.gob.pe/web/wp-content/uploads/Guia_Manuales/Manual-Evaluacion-de-Riesgos_v2.pdf

CENEPRED (2017a) *Informe de evaluación del riesgo de inundación pluvial y fluvial originado por lluvia intensas en el área urbana del distrito de Piura*. Extraído de <https://sigrid.cenepred.gob.pe/sigridv3/documento/4023>

CENEPRED (2017b) *Informe del riesgo por desborde del río Piura e inundación pluvial en el centro poblado de castilla, distrito de castilla, provincia y departamento de Piura*. Extraído de <http://sigrid.cenepred.gob.pe/sigridv3/documento/4094>

CENEPRED (2017c) *Informe de evaluación de riesgo por desborde del río Piura e inundación pluvial en el centro poblado de Catacaos, distrito de Catacaos, provincia y departamento de Piura*. Extraído de <https://sigrid.cenepred.gob.pe/sigridv3/documento/4104>

CENEPRED (2017d) *Informe de evaluación del riesgo por precipitación pluvial y desborde del dren 13078 en el área de influencia en el distrito de Cura Mori, provincia y departamento de Piura*. Extraído de <https://sigrid.cenepred.gob.pe/sigridv3/documento/3970>

CENEPRED (2017e) *Informe de evaluación de riesgo por inundación pluvial en el centro poblado La Arena, distrito de La Arena, provincia de Piura, departamento de Piura*. Extraído de <http://sigrid.cenepred.gob.pe/sigridv3/documento/4058>

CENEPRED (2017f) *Informe de evaluación del riesgo de inundación pluvial originado por lluvias intensas en el centro poblado de Sinchao, capital del distrito El Tallan – Piura*. Extraído de <https://sigrid.cenepred.gob.pe/sigridv3/documento/4115>

Delgado, J. (2019) *Zonificación del riesgo por inundación como aporte a la prevención, en el puerto – Laguna de la Cocha – Colombia*. Revista Novedades Colombianas. pp. 27-47.

ENFEN (2012). *Definición operacional de los eventos El Niño y La Niña y sus magnitudes en la costa del Perú*. Nota Técnica ENFEN 04-2012. Perú.

ENFEN (2015). *Sistema de alerta ante El Niño y La Niña Costeros*. Nota Técnica ENFEN 01-2015. Perú.

Elera, G. (2005). *Modelación numérica del río Piura utilizando River 2D, entre los puentes Cáceres e Integración*. Universidad de Piura. Piura. Perú.

Farías, M. (2020). *Informe Hidrológico de los caudales máximos anuales del río Piura*. Sub Proyecto de Investigación “Modelación hidrológica de los caudales de los ríos Chira y Piura: Evaluación de la red hidrometeorológica actual y elaboración de una herramienta de predicción”. Proyecto CONCYTEC – Banco Mundial. Piura. Perú.

Glantz, M. (1996). *Corrientes de Cambio: El Impacto de El Niño sobre el Clima y la Sociedad*. Cambridge University Press, Cambridge, 141 pp.

Gutiérrez, A. (2015). *Zonificación de amenazas por movimientos en masa, inundaciones y avenidas torrenciales, municipio de Belén, Boyacá*. Revista Ingeniería, Investigación y Desarrollo.

Hocquenghem, A (1992). *Eventos El Niño lluvias anormales en la costa del Perú: siglos XVI – XIX*. Bull. Inst. fr. études andines. 21(1): pp.197-278.

INDECI (2006). *Compendio Estadístico de Prevención y Atención de Desastres 2006*. Glosario de Términos. Lima. Perú.

INEI (2017) *Perú: Perfil Sociodemográfico*. Informe Nacional, Censos Nacionales 2017: XII de Población, VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas. Extraído de https://www.inei.gov.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1539/

Guzmán, M. (1994). *Estudio geodinámico de la cuenca del río Piura*. INGEMMET. Boletín C: Geodinámica e Ingeniería Geológica; N°9. Extraído de <https://repositorio.ingemmet.gob.pe/handle/20.500.12544/255>

Lavell, A. (1987). *Desastres naturales y zonas de riesgo en Centroamérica*. Estudios Sociales Centroamericanos (C.R.), pp. 79-85.

Maza, J. (2019). *Análisis del comportamiento hidráulico del río Piura, en el tramo Los Ejidos – Puente Independencia*. Universidad de Piura. Piura. Perú.

Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones (2008). *Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje*. Extraído de http://transparencia.mtc.gob.pe/idm_docs/normas_legales/1_0_2950.pdf

Neyra, D., Olivares, A. (2019). *Análisis hidrometeorológico de la cuenca del río Piura durante El Niño Costero 2017*. Universidad de Piura. Piura. Perú.

ONU (2009). *Terminología sobre Reducción del Riesgo de Desastres*. Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres de las Naciones Unidas (UNISDR). Ginebra, Suiza, mayo del 2009.

PREDES (2008). *Metodología para el análisis de vulnerabilidad y riesgo ante inundaciones y sismos, de las edificaciones en centros urbanos*. Extraído de <https://www.eird.org/plataforma-tematica-riesgo-urbano/recopilacion-de-articulos/olga-lozano.pdf>

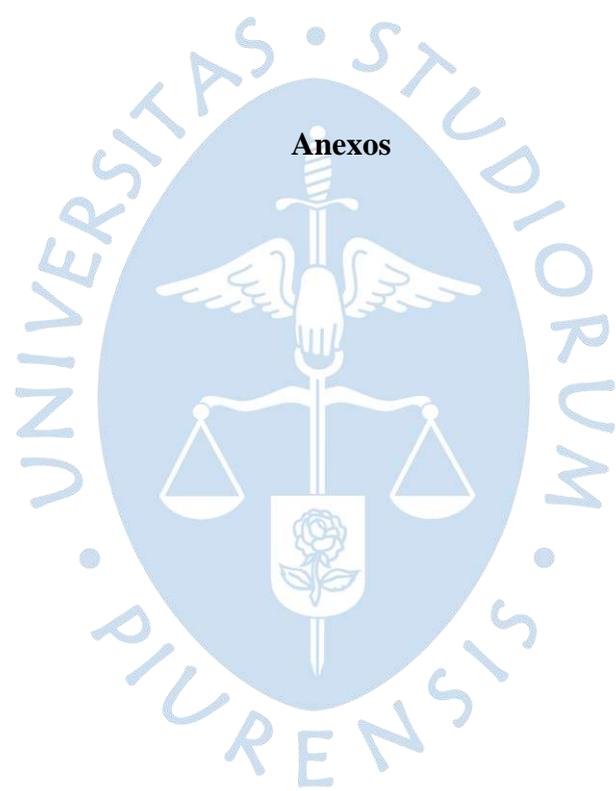
Proyecto Especial Chira Piura (16 de enero de 2021). *Misión*. Extraído de <http://www.chirapiura.gob.pe/institucional/mision>

- Piura Perú (s.f.). *Clima de Piura*. Extraído de <https://www.piuraperu.org/clima.html>
- Reyes, J. (2017). *Problemas en el manejo del río Piura en zonas urbanas*. Universidad de Piura, Piura, Perú.
- Ropelewski, C.F.; Halpert, M.S. *Global and regional scale precipitation patterns associated with the El Niño Southern Oscillation*. Monthly Weather Review, v. 115, n. 8, p. 1606-1626, 1987.
- Sánchez, C. (2012). *Estudio para la zonificación del riesgo por inundación en el Valle de Abrego norte de Santander*. Trabajo de grado para optar el título de Ingeniero Ambiental. Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña. Facultad de Ciencias Agrarias y del Ambiente. Ingeniería Ambiental. Ocaña, Colombia.
- SENAMHI (2021). Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú. Extraído de <https://www.gob.pe/senamhi>
- SENAMHI (2014). *El fenómeno El Niño en el Perú*. Plan Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres – PLANAGERD 2014 – 2021. Lima. Perú.
- Singh, J., Kumar, D., & Nieto, J. J. (2017). *Analysis of an El Niño-Southern Oscillation model with a new fractional derivative*. Chaos, Solitons & Fractals, 99, 109–115. <https://doi.org/10.1016/j.chaos.2017.03.058>
- Soluciones Prácticas. (s.f.). *Gestión de riesgos y resiliencia ante inundaciones en Piura y Lima*. Boletín Informativo del Proyecto: Aliados ante Inundaciones. Lima. Perú.
- Soria-Díaz (2015) *Riesgo de inundación de la ciudad de Iquitos, Perú*. Universidad Científica del Perú. Ciencia amazónica (Iquitos) 2015; 5(1): pp. 11-24.
- Tootle, G. A.; Piechota, T.C.; Gutiérrez, F. (2008) *The relationships between Pacific and Atlantic Ocean Sea surface temperature and Colombian streamflow variability*. Journal Hydrology 349: p. 268-276.
- Trenberth, K. E. (1997) *The definition of El Niño*. Bulletin of the American Meteorological Society 78: p. 2771-2777.
- UDEP & UNP (2001). *Estudio para el Tratamiento Integral del Río Piura*. Proyecto PNUD – Gobierno PER 98/018, CTAR Piura. Piura.
- Takahashi K. (2017). *Fenómeno El Niño: “Global” vs “Costero”*. Boletín Técnico: Generación de información y monitoreo del Fenómeno El Niño, Vol. 4 N°4 2017.
- Takahashi K.; Mosquera K.; Reupo J. (2014). *El Índice Costero El Niño (ICEN): Historia y actualización*. Boletín Técnico: Generación de modelos climáticos para el pronóstico de la ocurrencia del Fenómeno El Niño, 1(2), 8-9.
- Villanueva, S. (2018). *Gestión logística de donaciones de Piura en Acción: Fenómeno Niño Costero 2017*. Universidad de Piura. Piura. Perú.

Wang, C.; Deser, C.; Yu, J.Y.; Dinezio, P.; Clement, A. *El Niño-Southern Oscillation (ENSO): A review*. In “Coral Reefs of the Eastern Pacific”, P. Glynn, D. Mannzello, and I. Enochs, Eds., Springer Science Publisher.

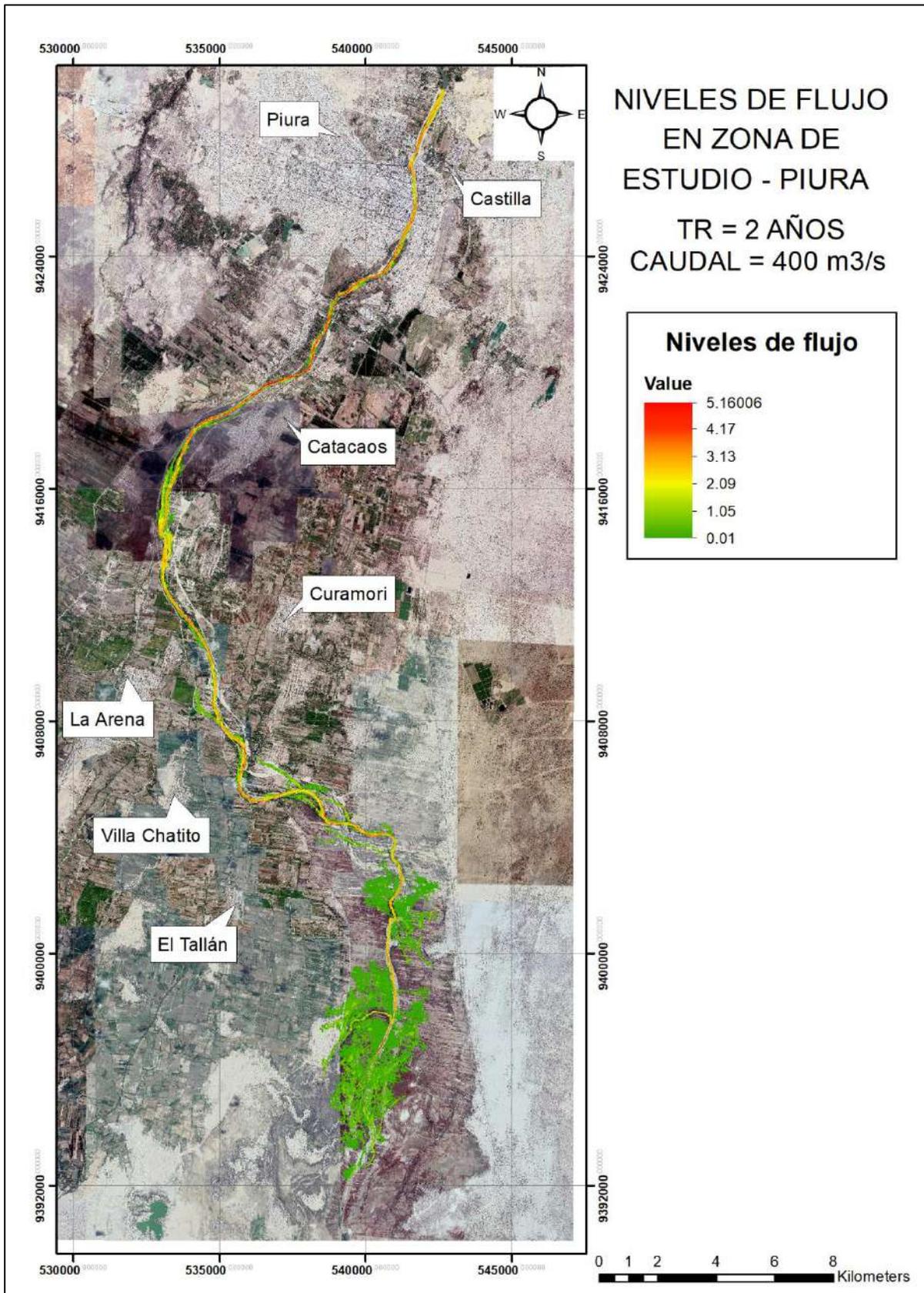




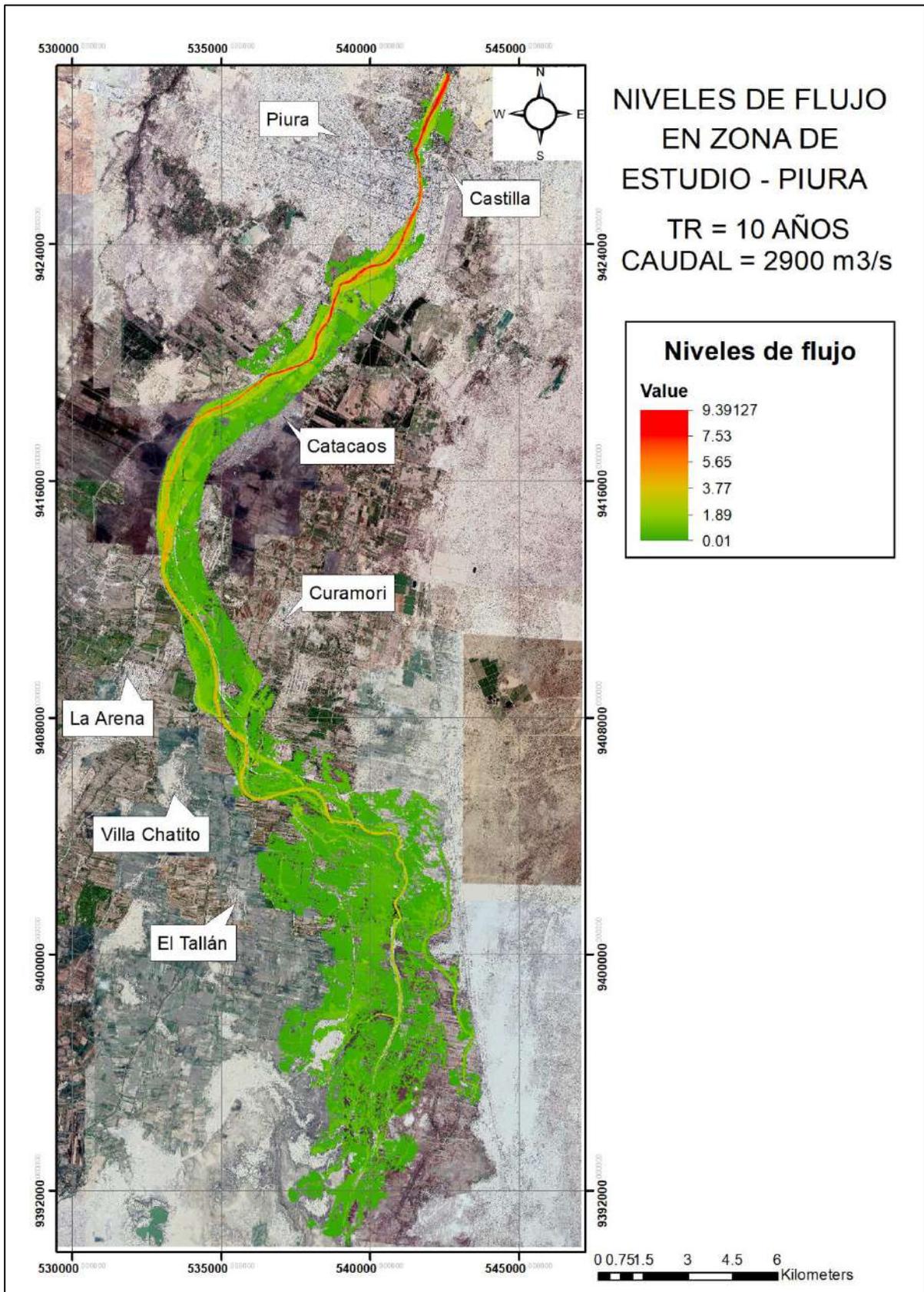


Anexos

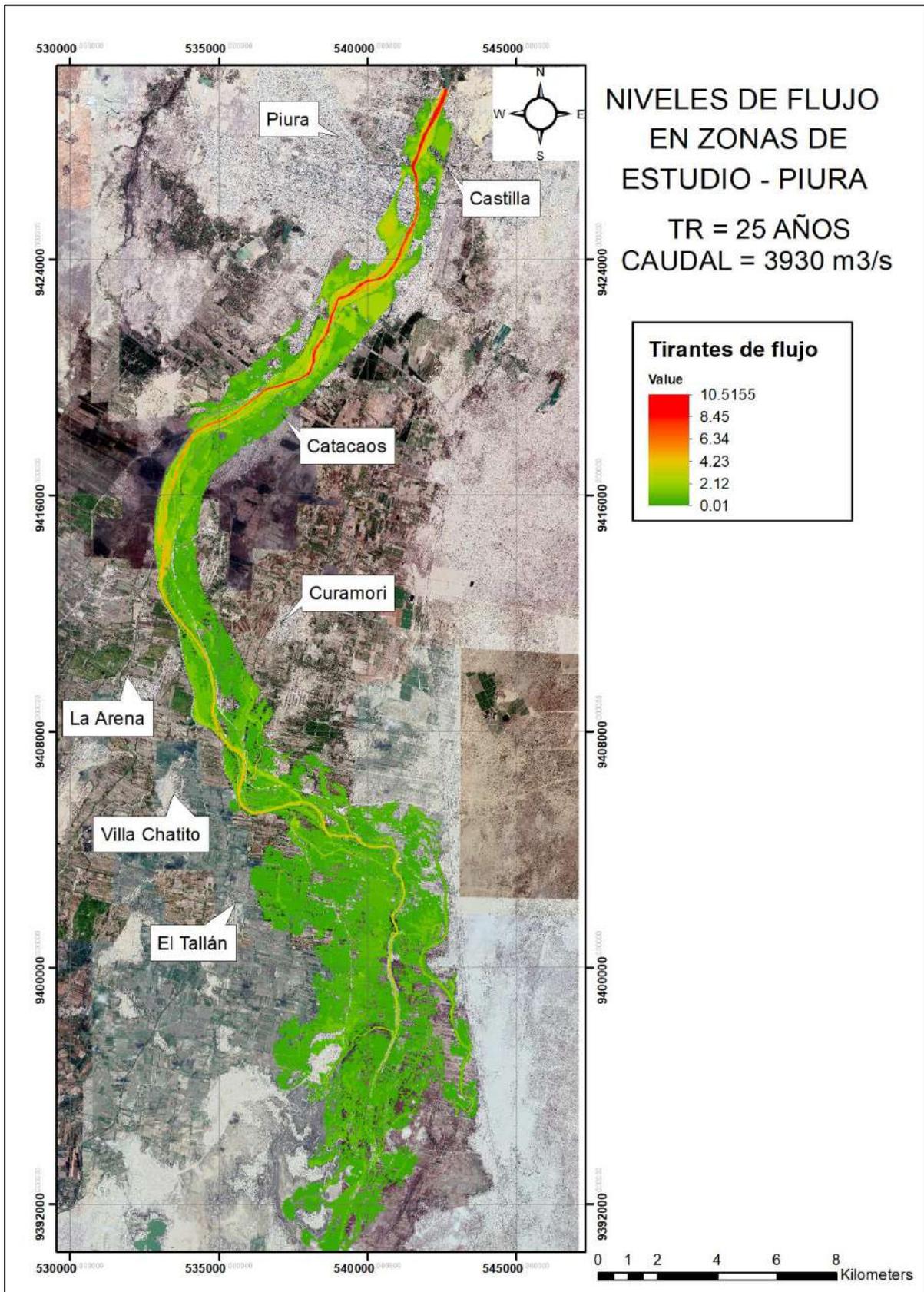
Anexo 1: Mapas



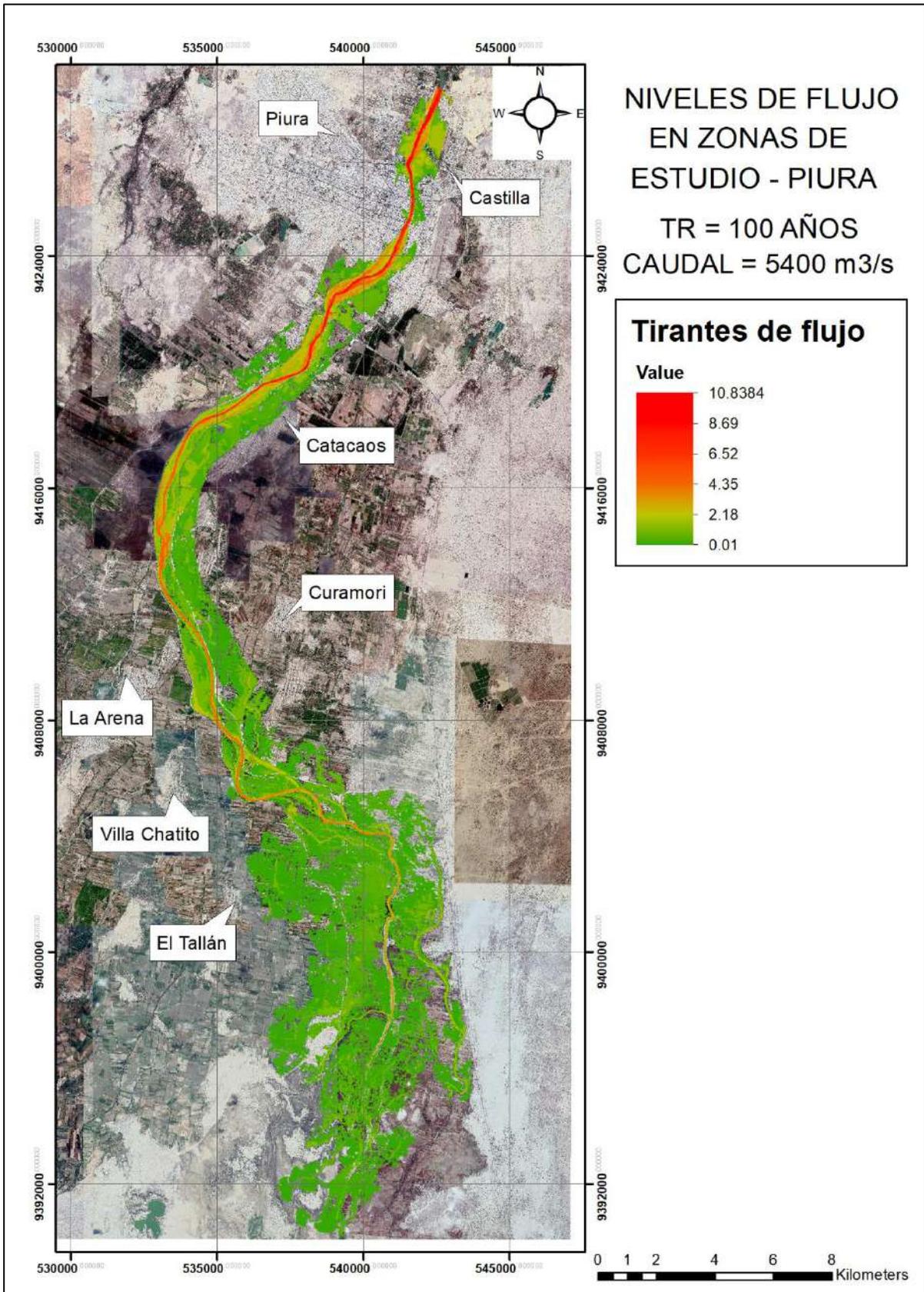
Mapa 1. Niveles de flujo en la zona de estudio para un TR = 2 años referido al caudal de 400 m³/s.
Fuente: Elaboración propia.



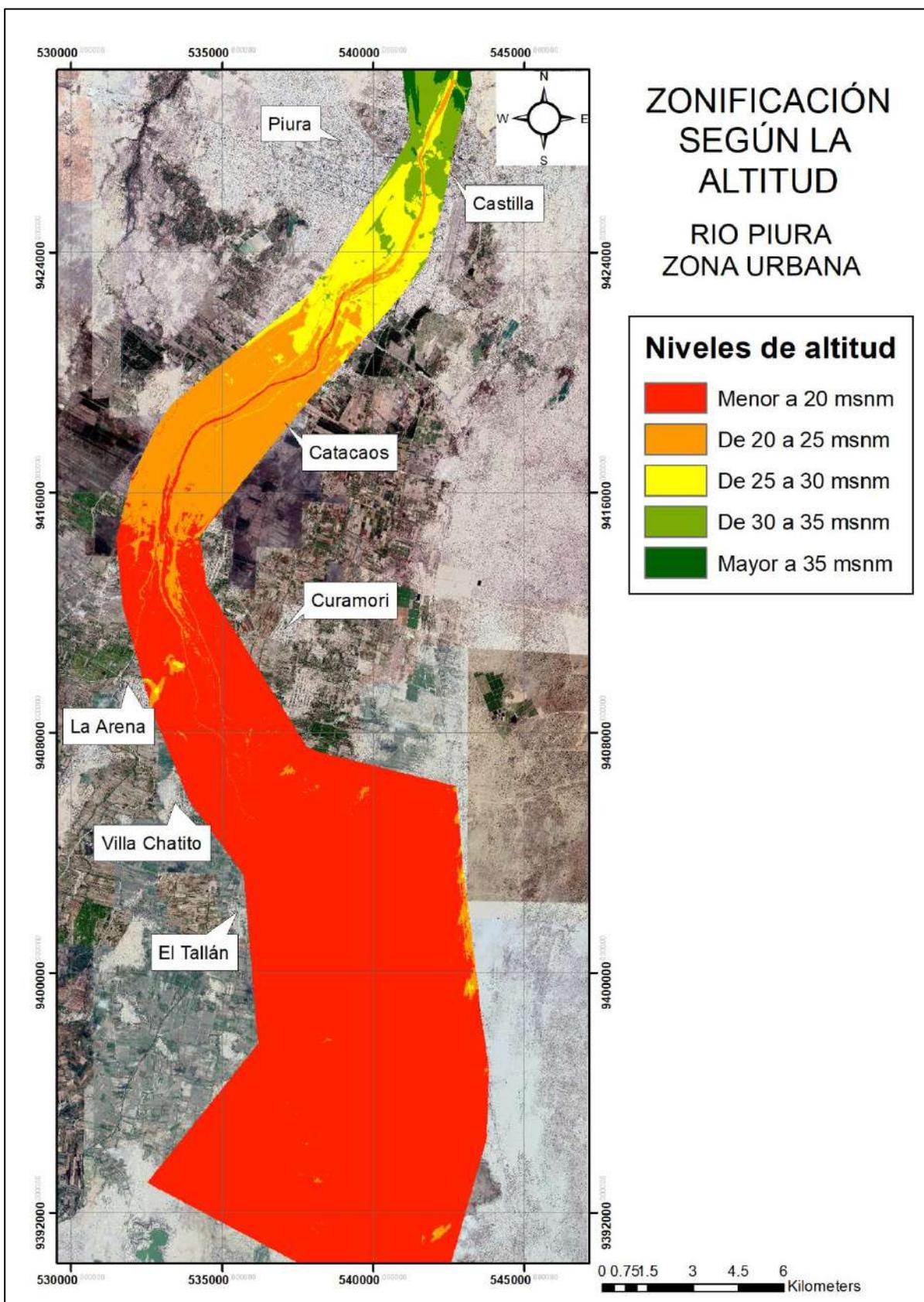
Mapa 2. Niveles de flujo en la zona de estudio para un TR = 10 años referido al caudal de 2900 m³/s
 Fuente: Elaboración propia.



Mapa 3. Niveles de flujo en la zona de estudio para un TR = 25 años referido al caudal de 3930 m³/s.
Fuente: Elaboración propia.

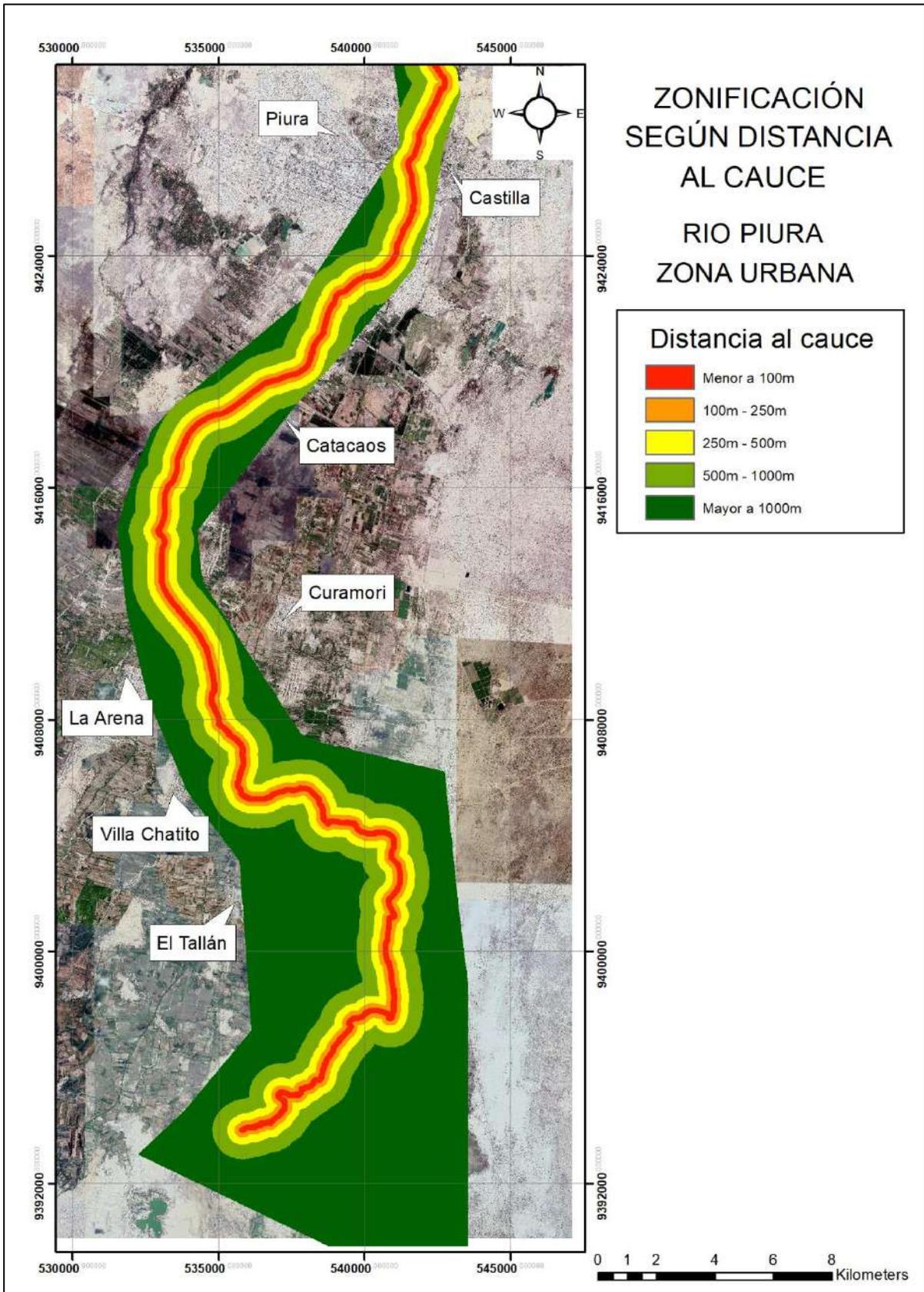


Mapa 4. Niveles de flujo en la zona de estudio para un TR = 100 años referido al caudal de 5400 m³/s.
 Fuente: Elaboración propia.

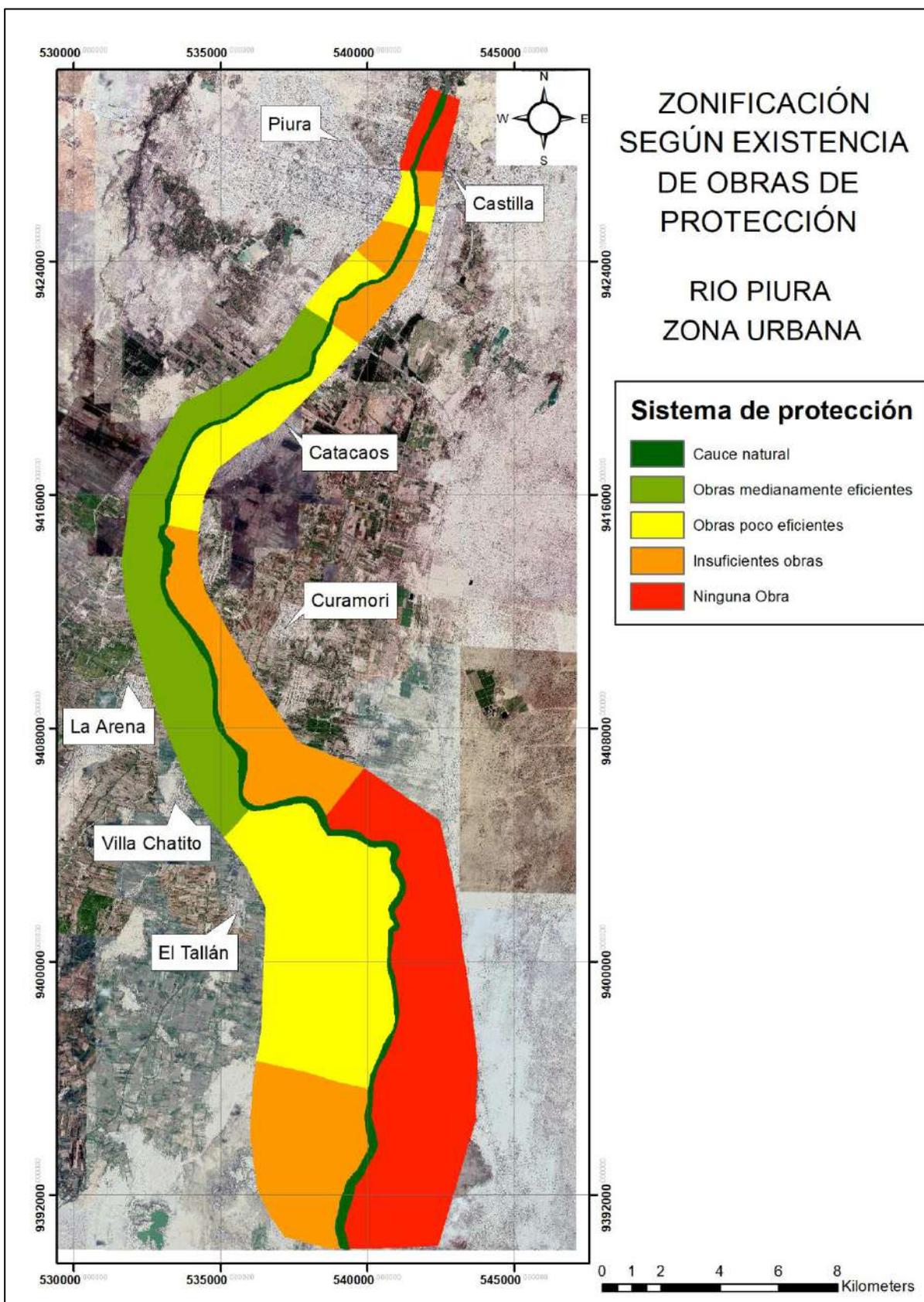


Mapa 5. Zonificación del área de estudio según niveles de altitud.

Fuente: Elaboración propia.

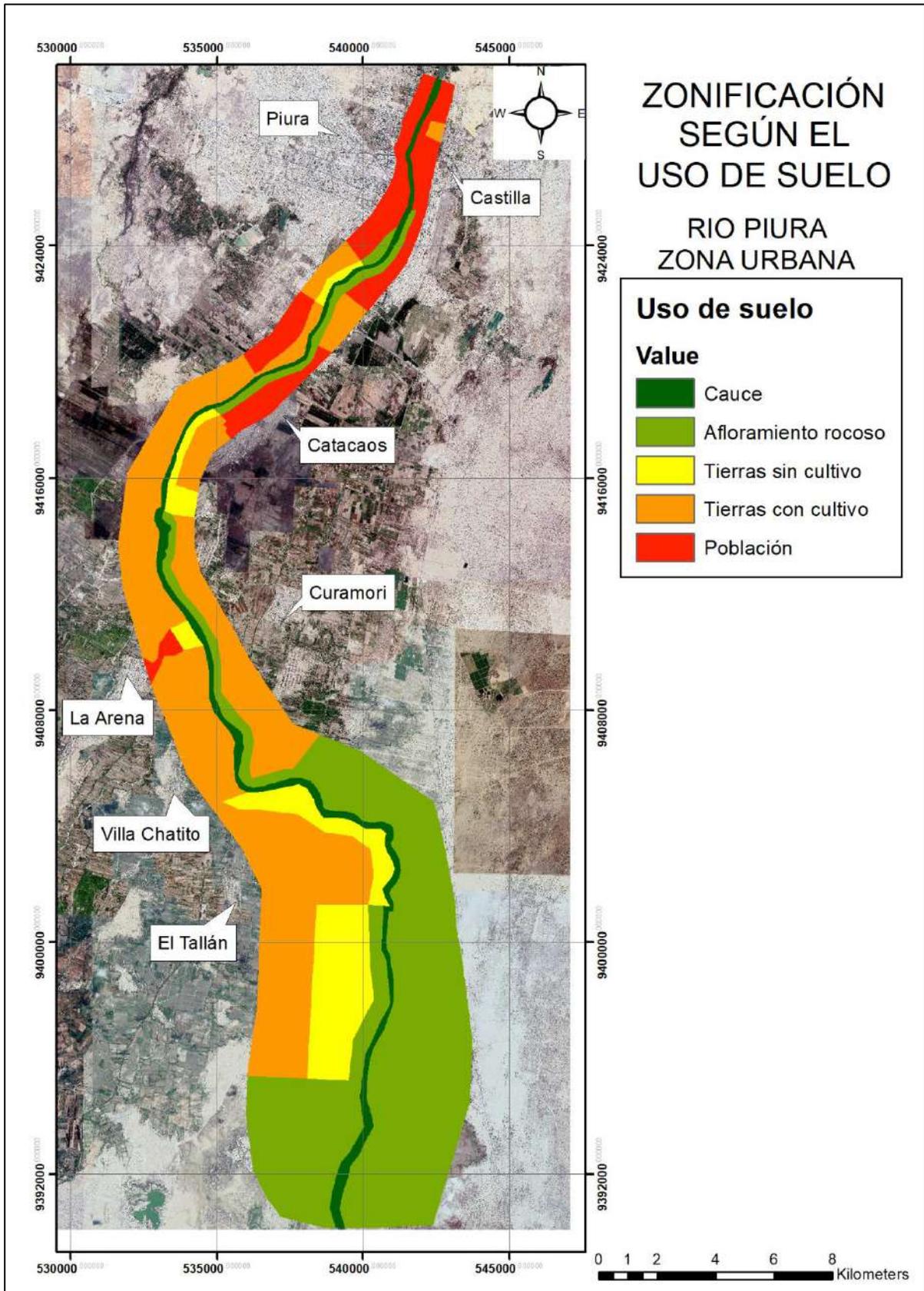


Mapa 6. Zonificación del área de estudio según niveles de altitud.
Fuente: Elaboración propia.

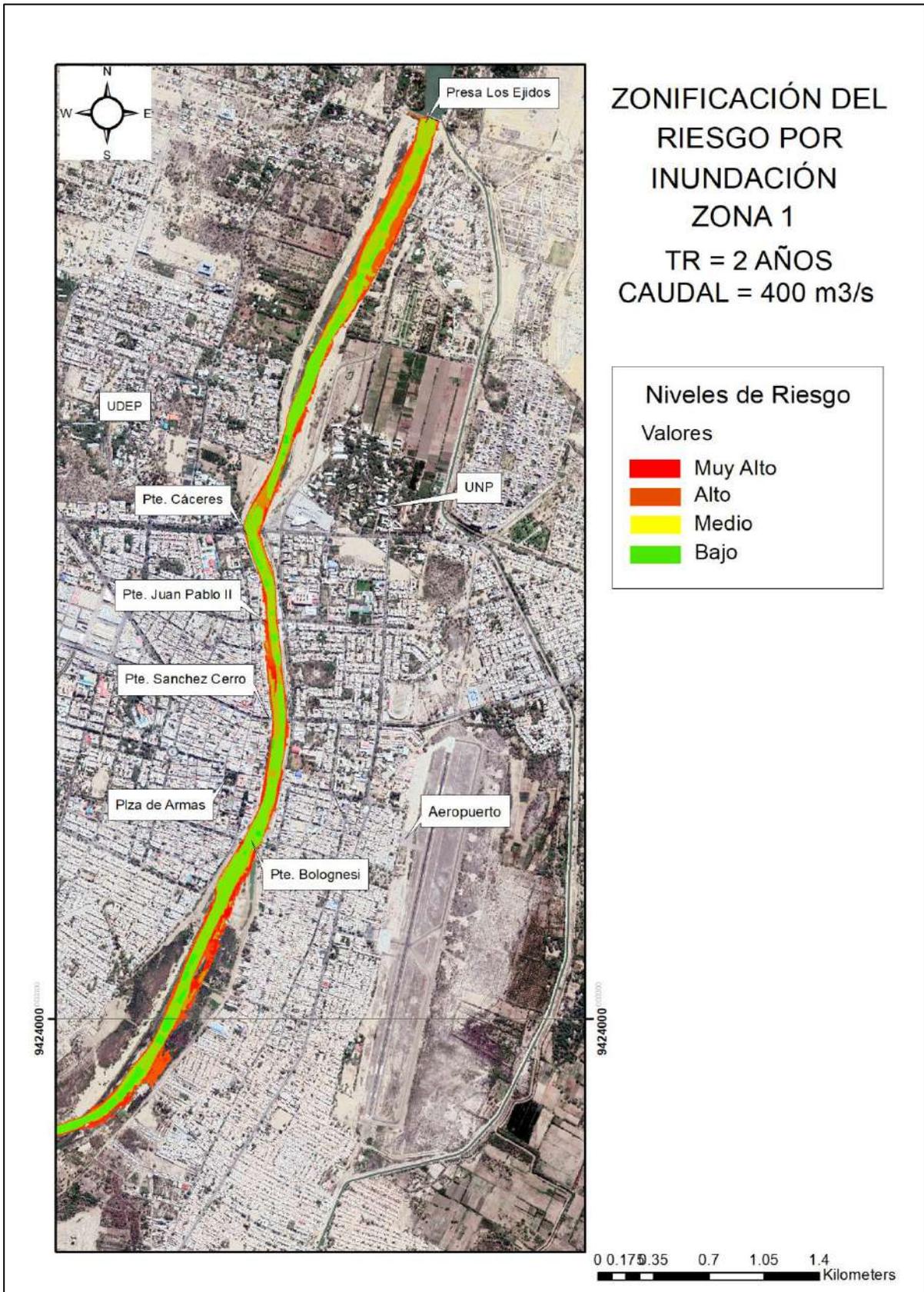


Mapa 7. Zonificación del área de estudio según existencia de obras de protección.

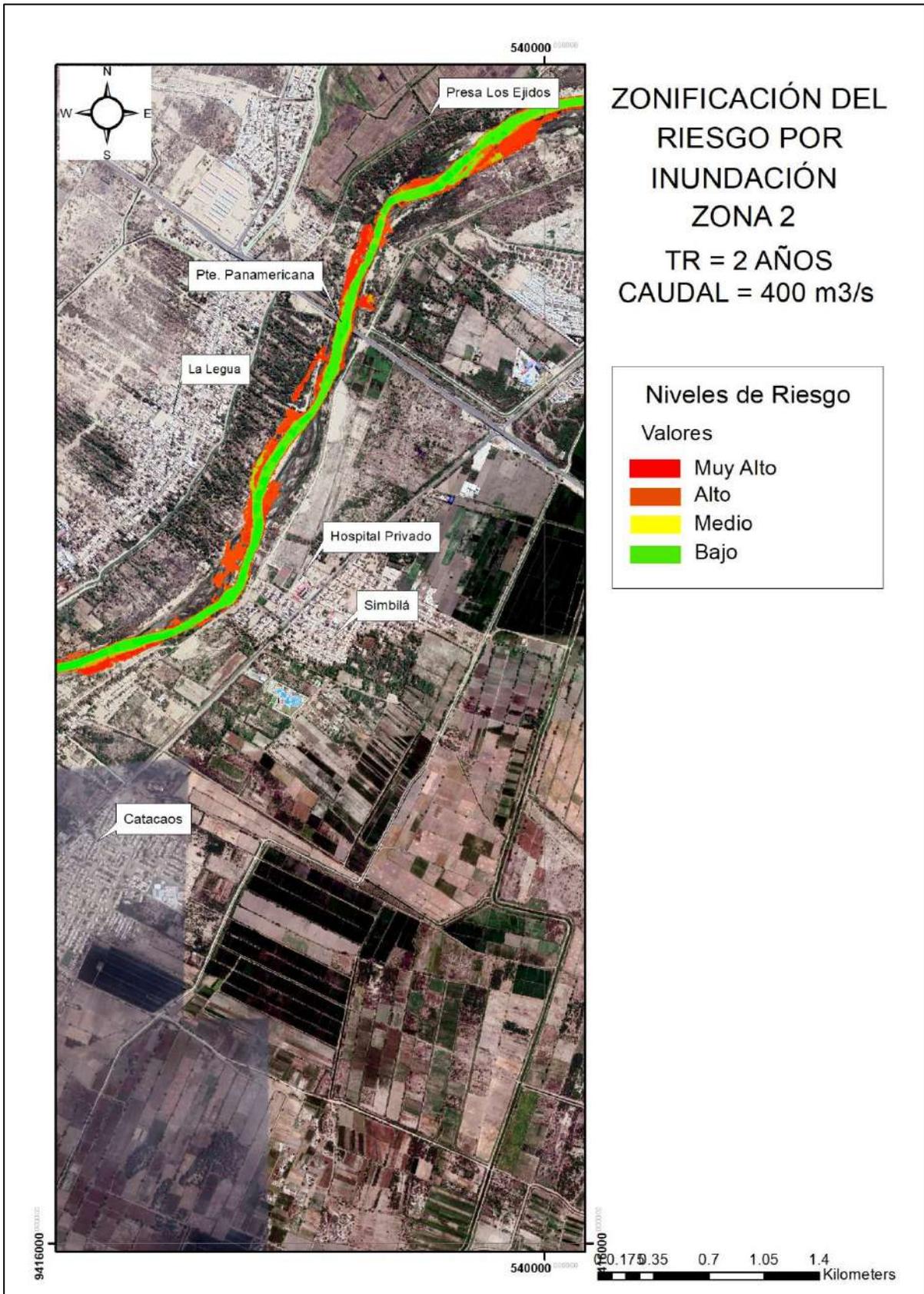
Fuente: Elaboración propia.



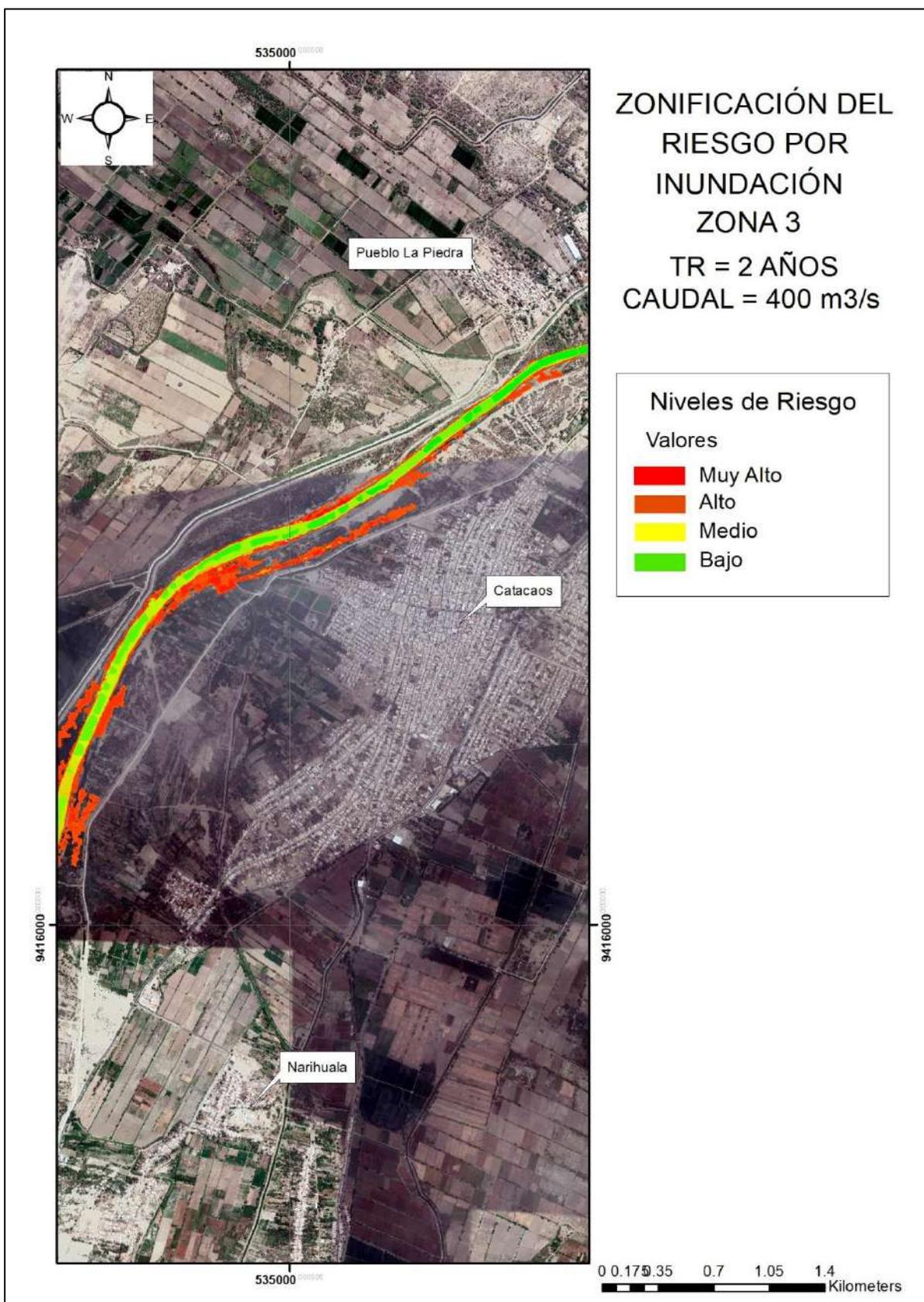
Mapa 8. Zonificación del área de estudio según uso del suelo.
Fuente: Elaboración propia.



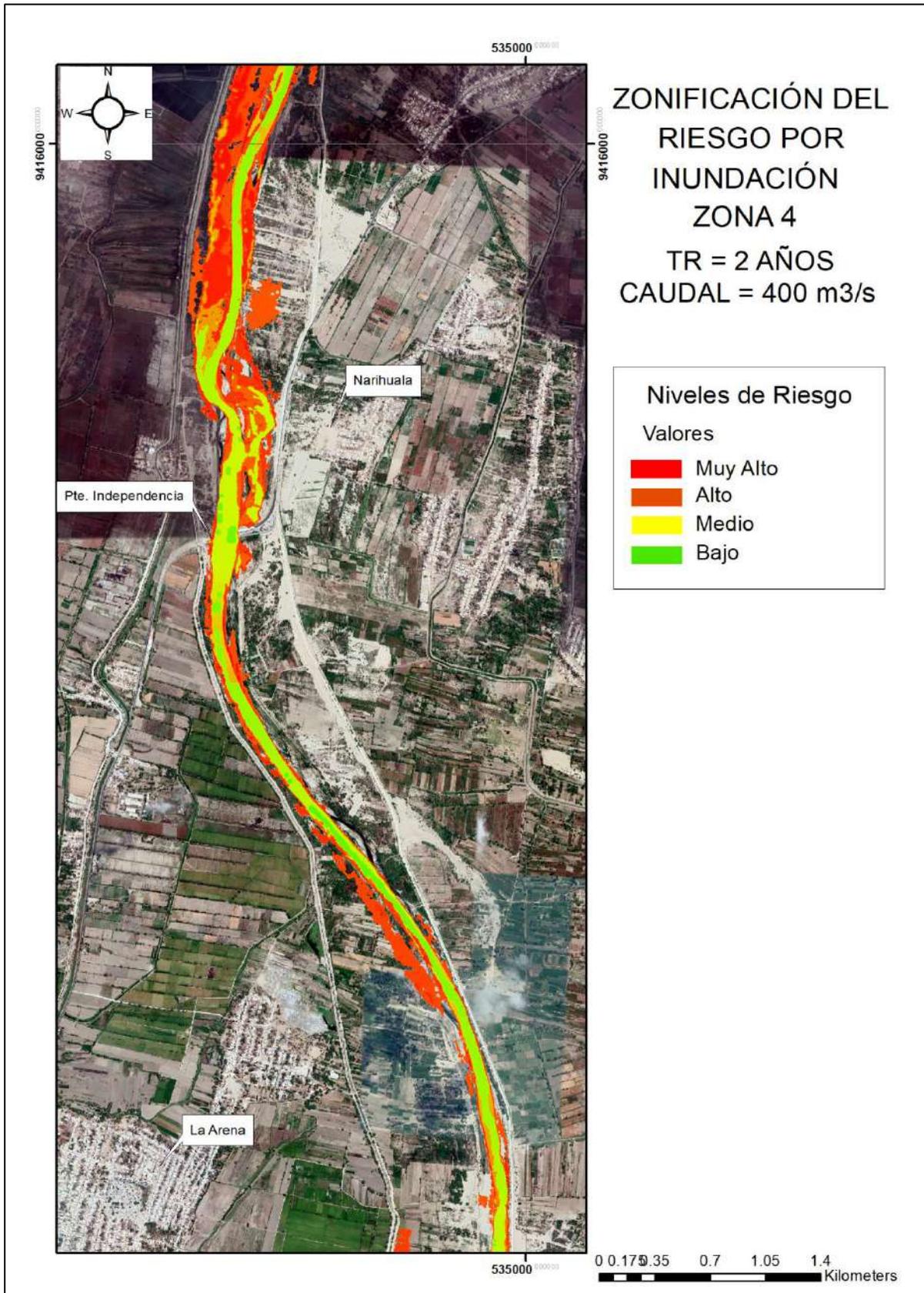
Mapa 9. Zonificación del riesgo por inundación de la zona urbana del río Piura – Zona 1, Q = 400 m³/s.
 Fuente: Elaboración propia.



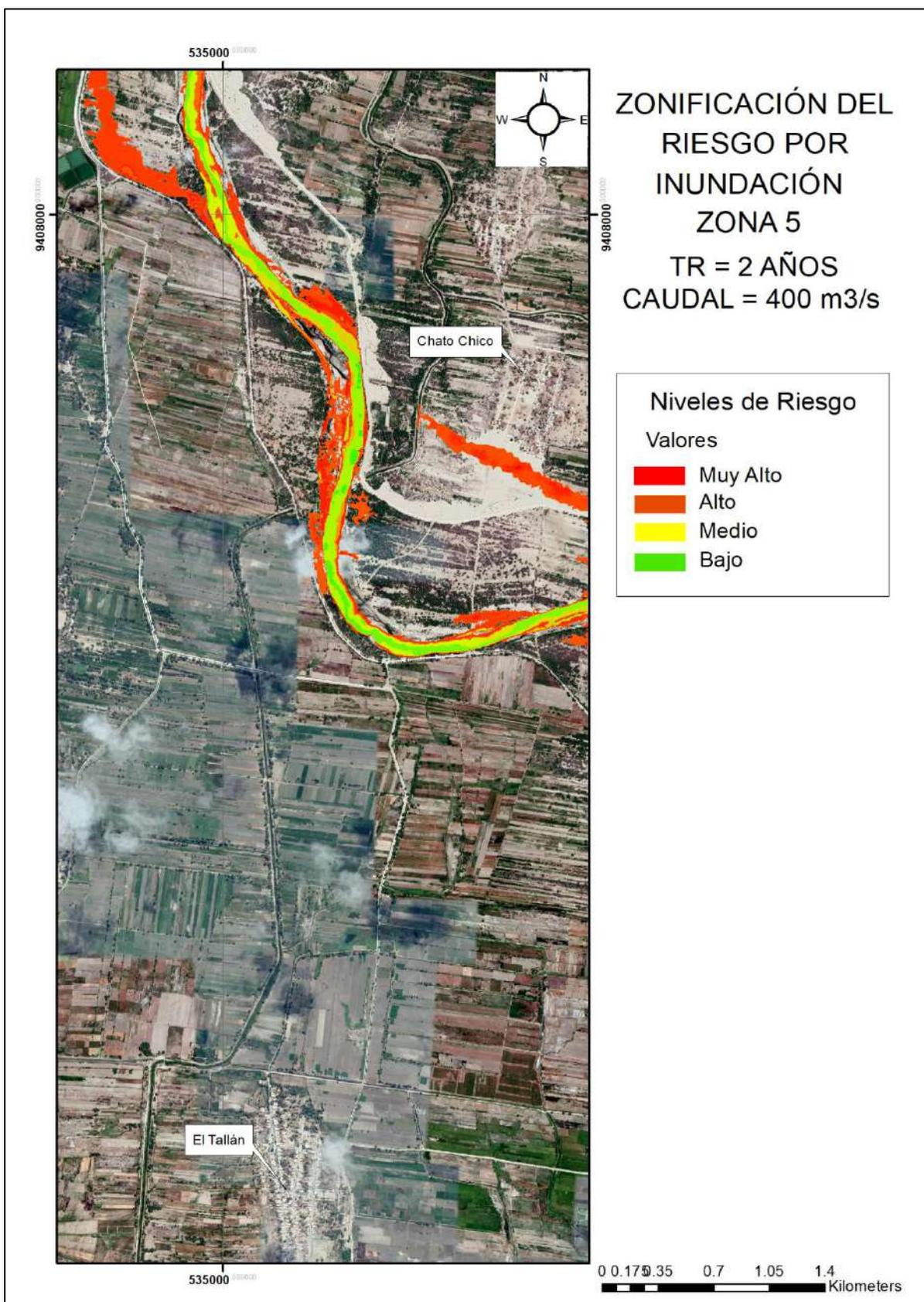
Mapa 10. Zonificación del riesgo por inundación de la zona urbana del río Piura – Zona 2, Q = 400 m³/s.
 Fuente: Elaboración propia.



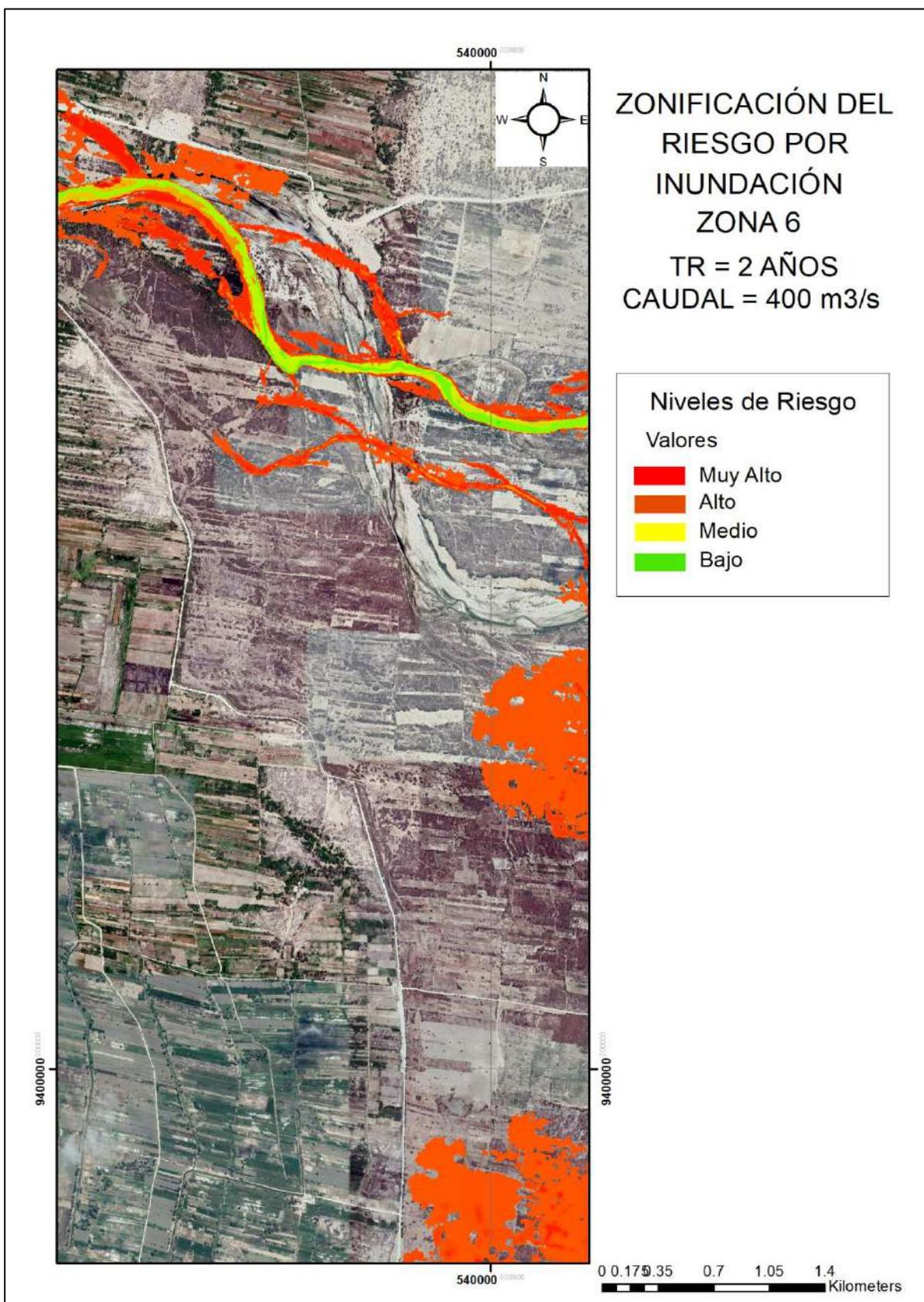
Mapa 11. Zonificación del riesgo por inundación de la zona urbana del río Piura – Zona 3, $Q = 400 \text{ m}^3/\text{s}$.
Fuente: Elaboración propia.



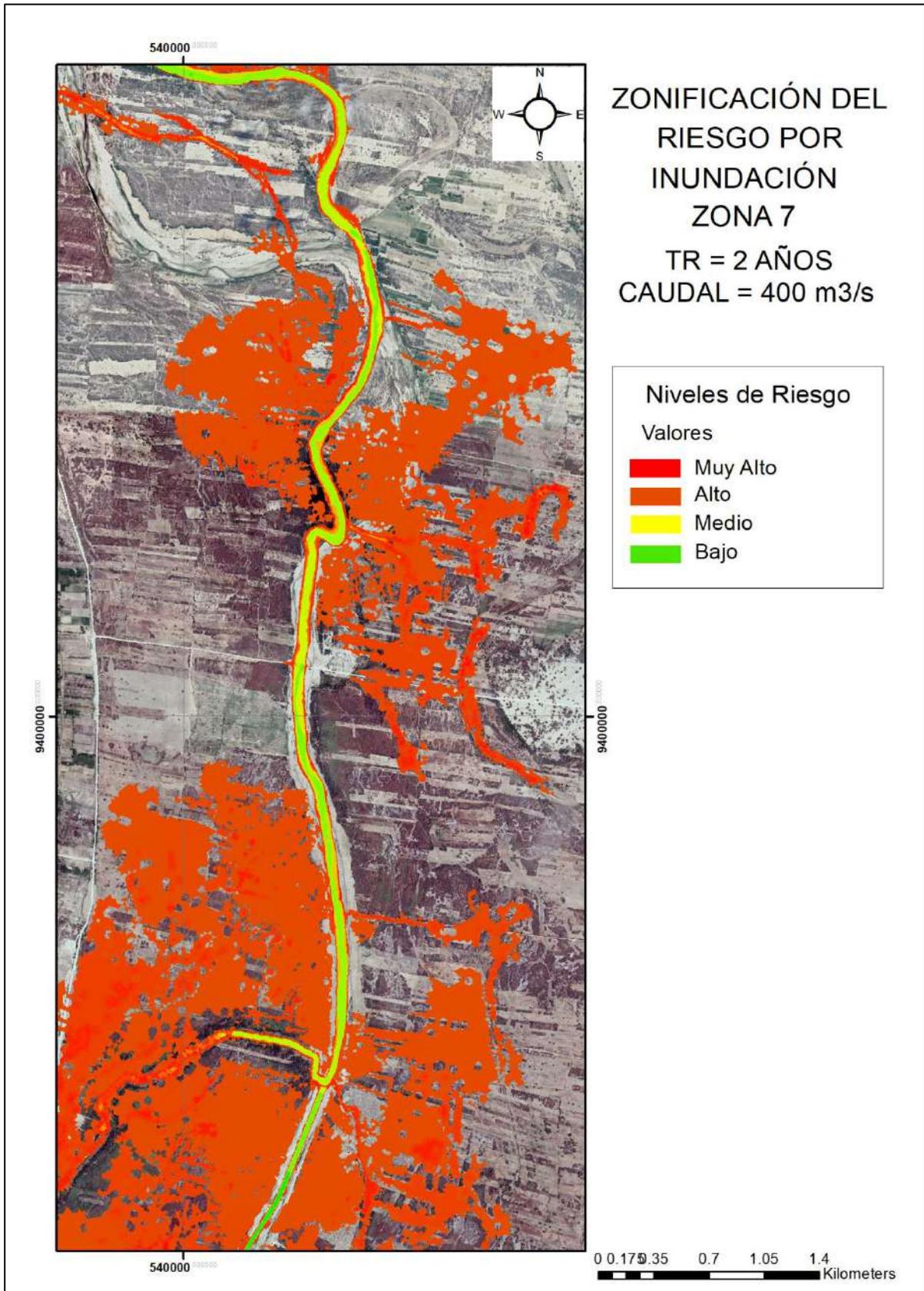
Mapa 12. Zonificación del riesgo por inundación de la zona urbana del río Piura – Zona 4, $Q = 400 \text{ m}^3/\text{s}$.
Fuente: Elaboración propia.



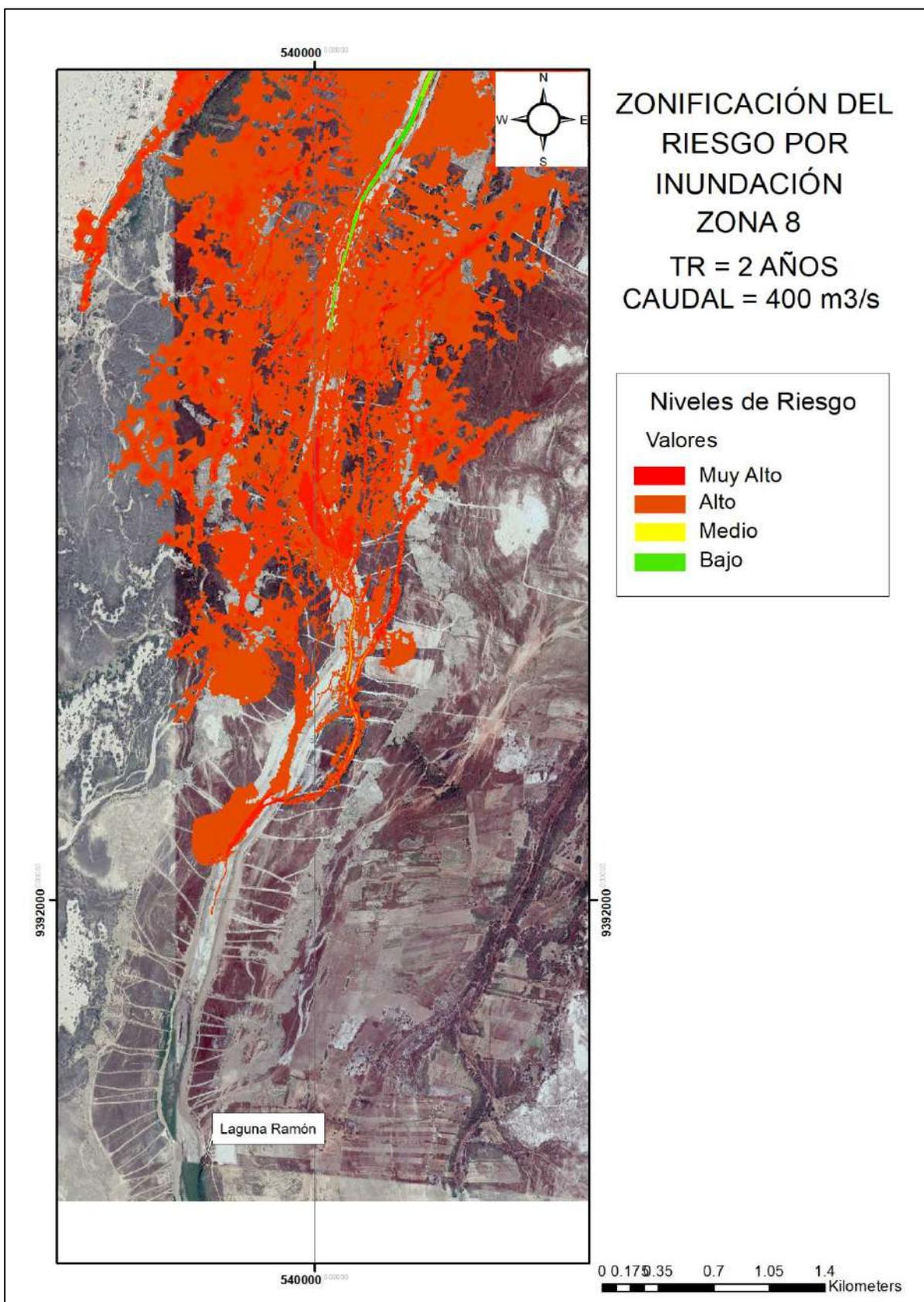
Mapa 13. Zonificación del riesgo por inundación de la zona urbana del río Piura – Zona 5, $Q = 400 \text{ m}^3/\text{s}$.
Fuente: Elaboración propia.



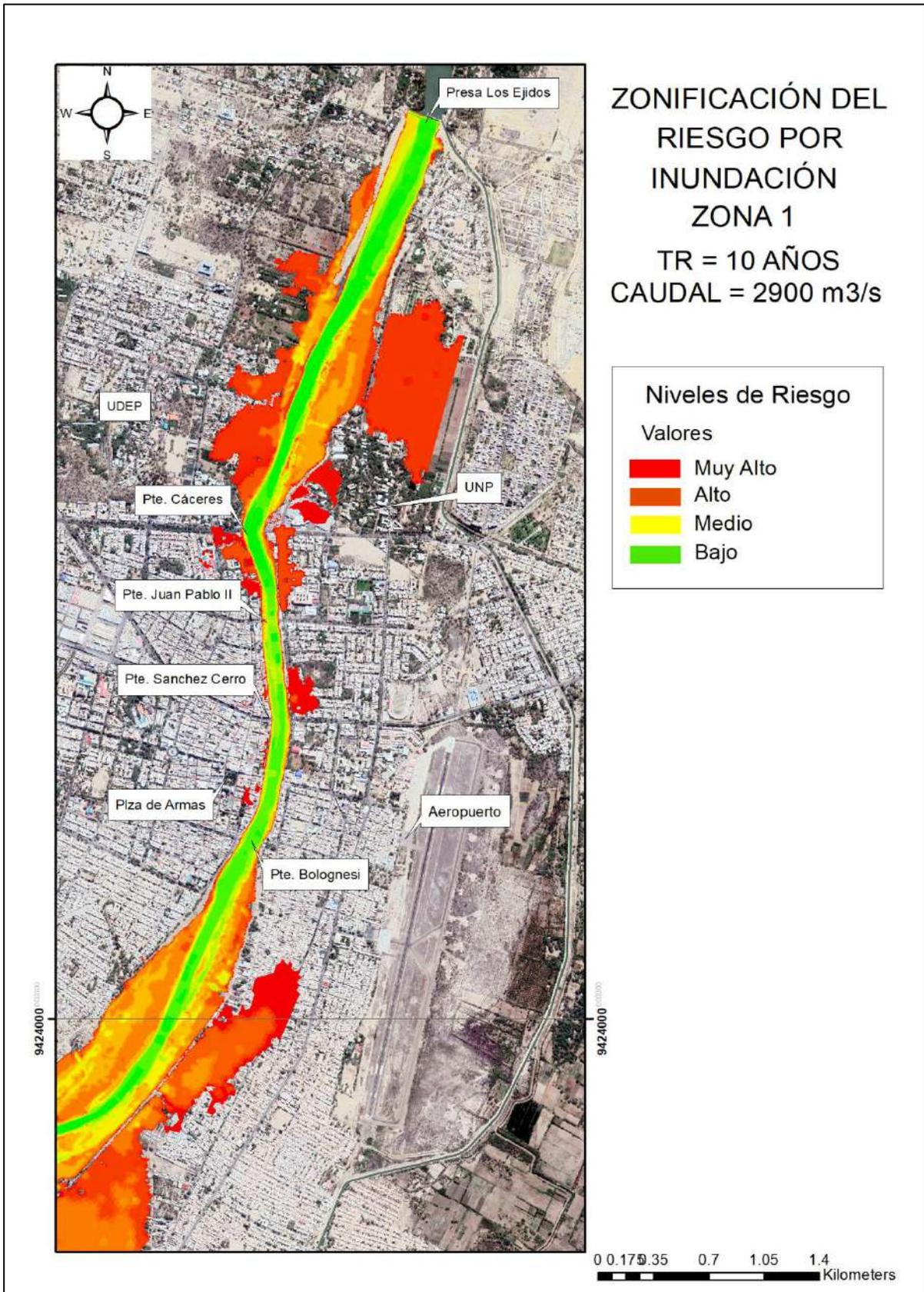
Mapa 14. Zonificación del riesgo por inundación de la zona urbana del río Piura – Zona 6, $Q = 400 \text{ m}^3/\text{s}$.
 Fuente: Elaboración propia.



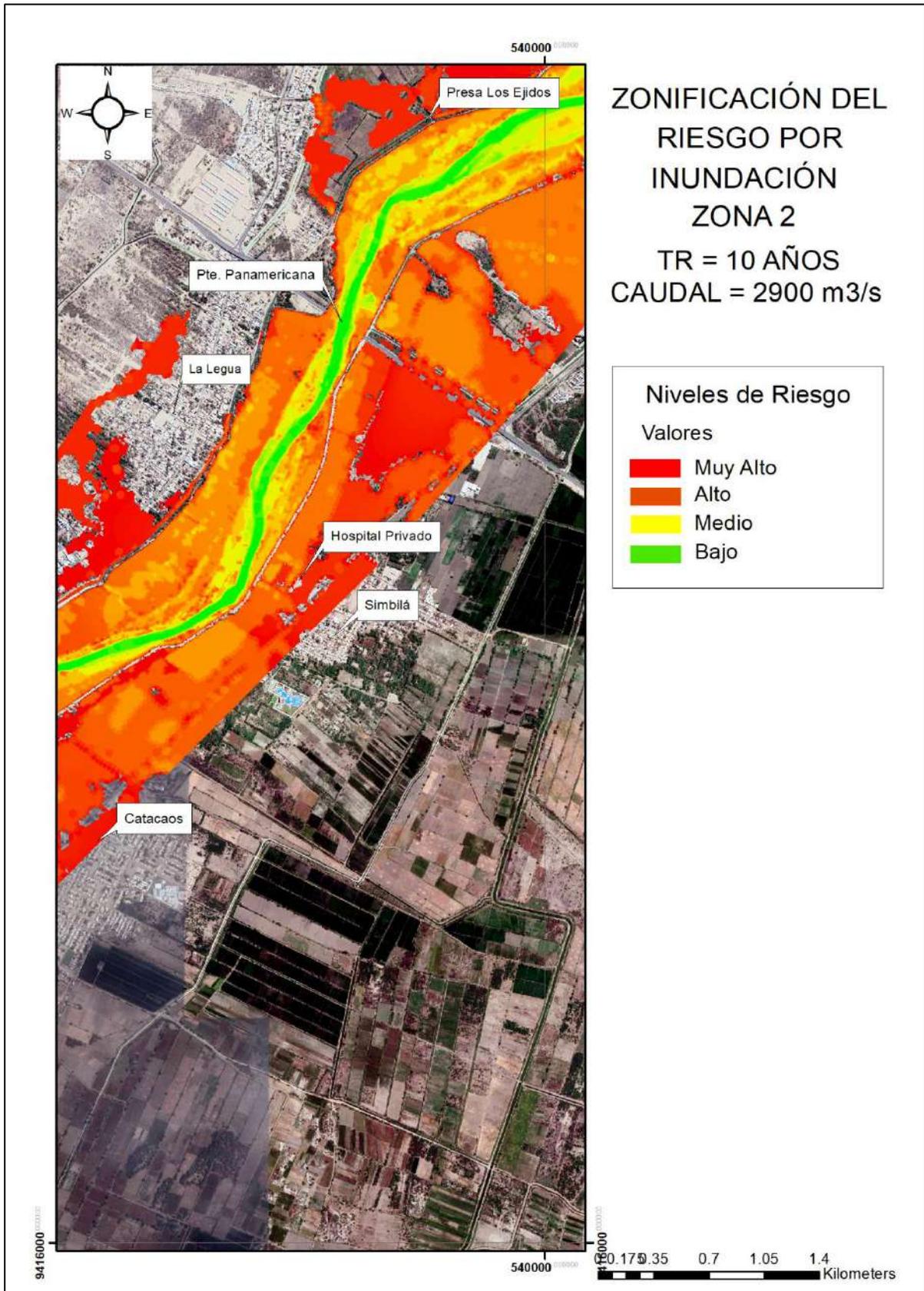
Mapa 15. Zonificación del riesgo por inundación de la zona urbana del río Piura – Zona 7, $Q = 400 \text{ m}^3/\text{s}$.
Fuente: Elaboración propia.



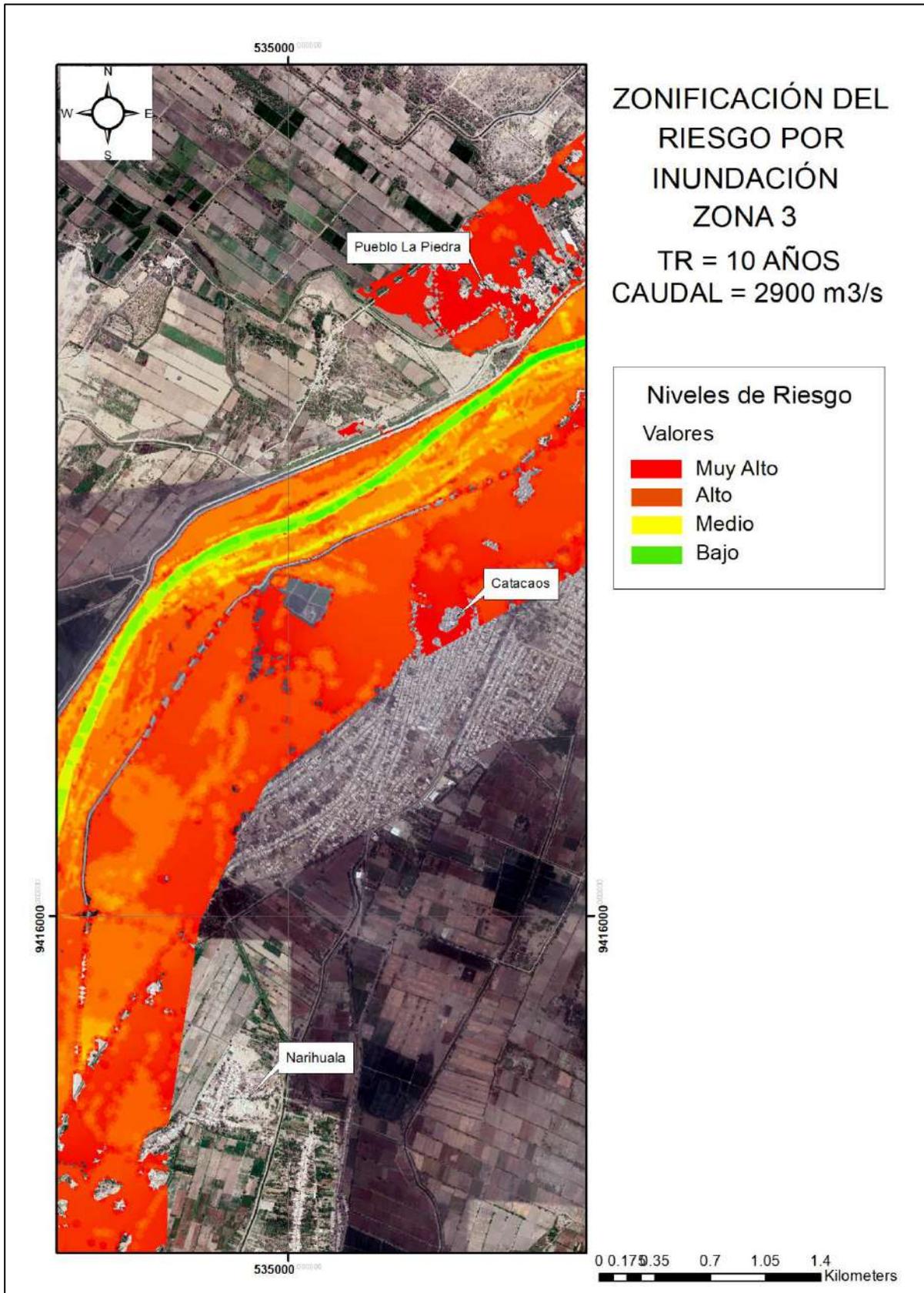
Mapa 16. Zonificación del riesgo por inundación de la zona urbana del río Piura – Zona 8, $Q = 400 \text{ m}^3/\text{s}$.
Fuente: Elaboración propia.

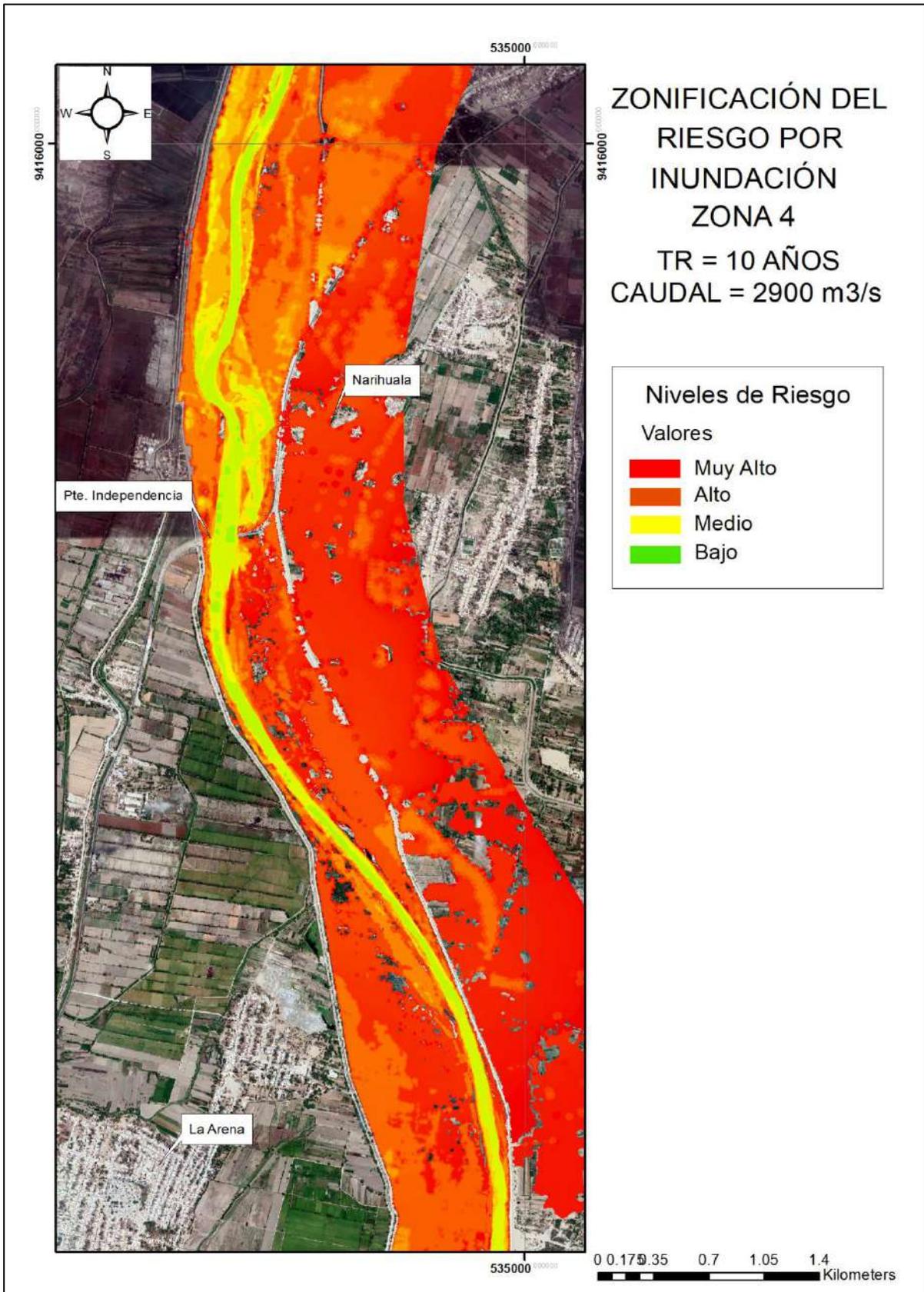


Mapa 17. Zonificación del riesgo por inundación de la zona urbana del río Piura – Zona 1, Q = 2900 m³/s.
Fuente: Elaboración propia.

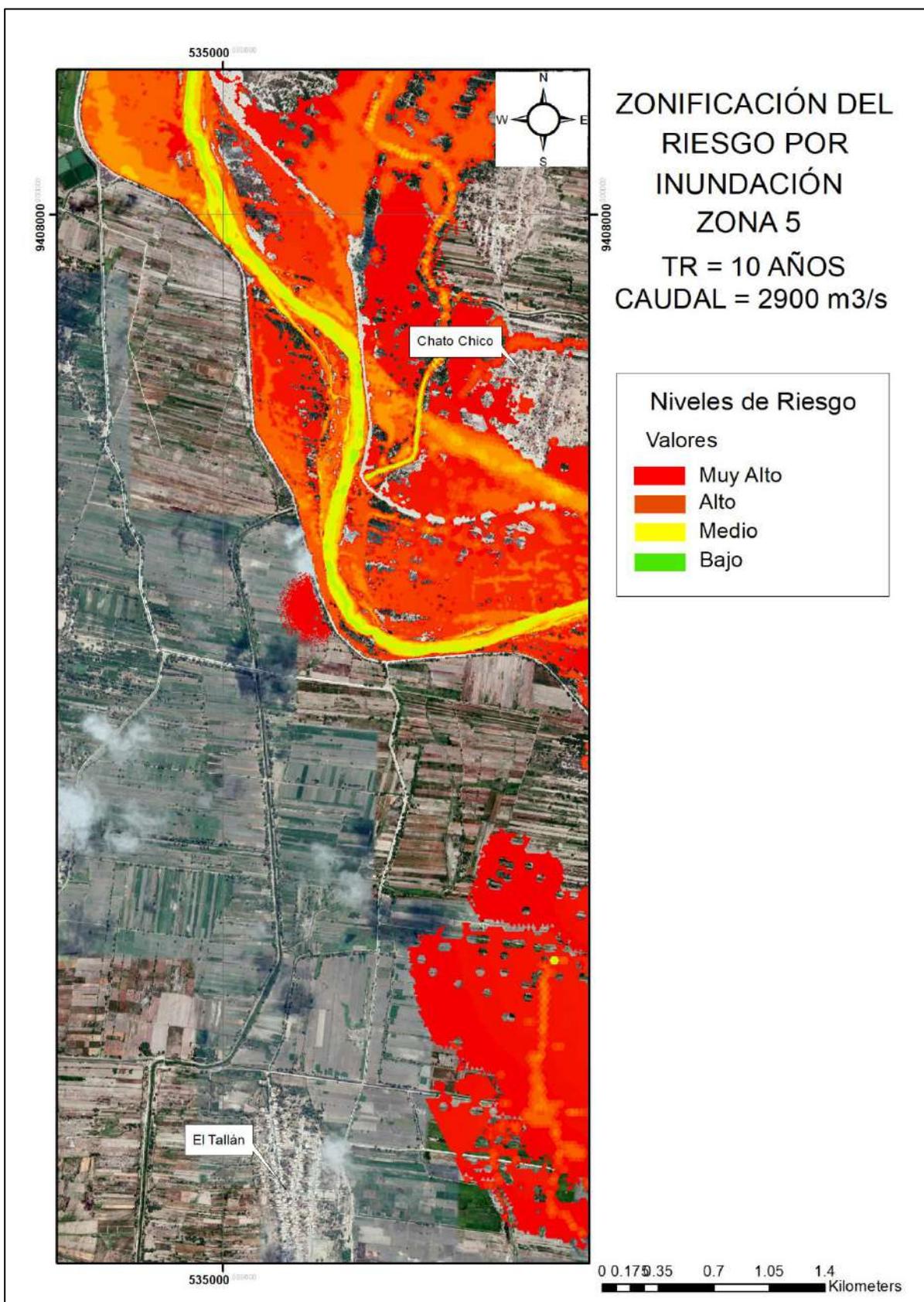


Mapa 18. Zonificación del riesgo por inundación de la zona urbana del río Piura – Zona 2, $Q = 2900 \text{ m}^3/\text{s}$.
Fuente: Elaboración propia.

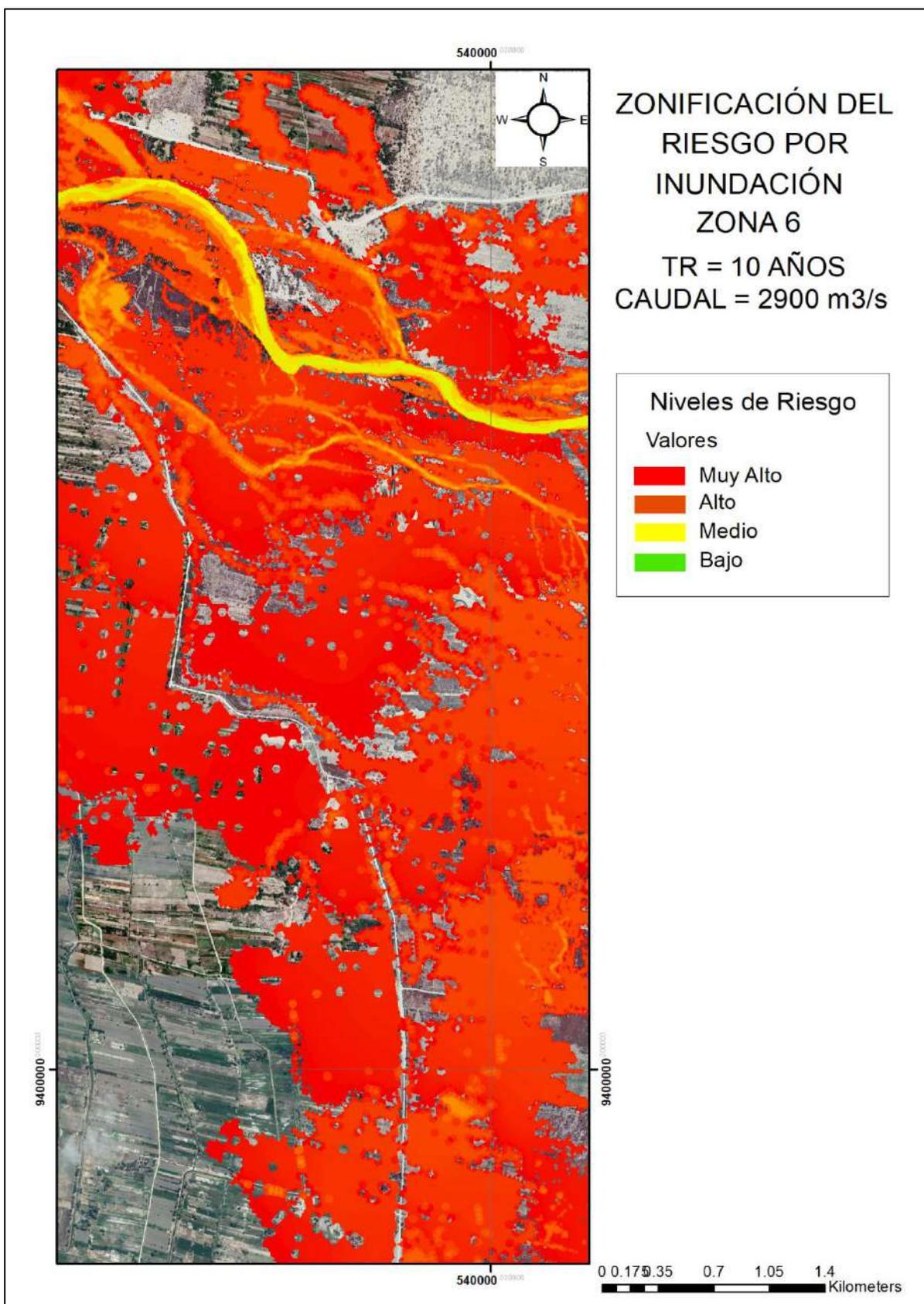




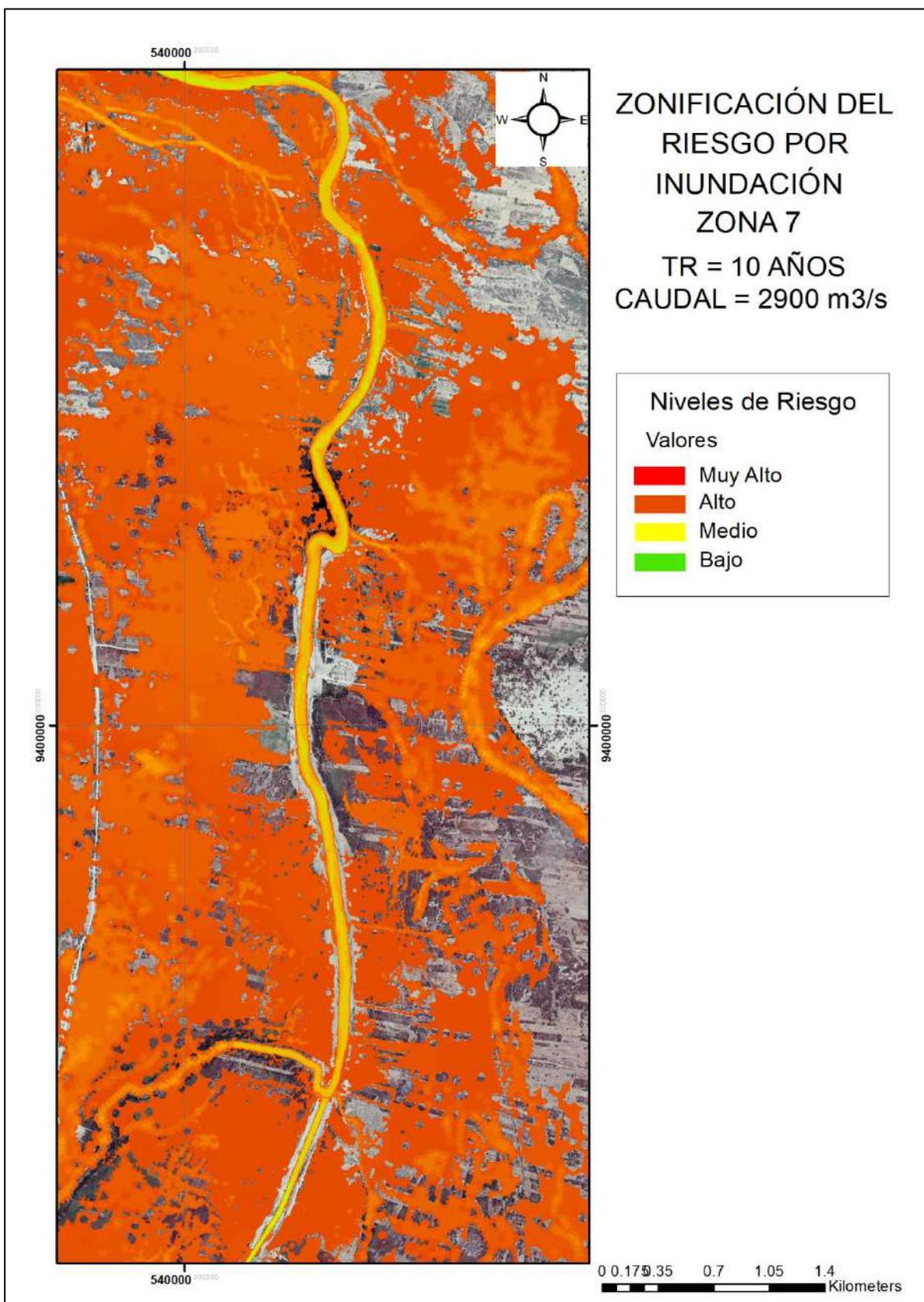
Mapa 20. Zonificación del riesgo por inundación de la zona urbana del río Piura – Zona 4, $Q = 2900 \text{ m}^3/\text{s}$.
 Fuente: Elaboración propia.



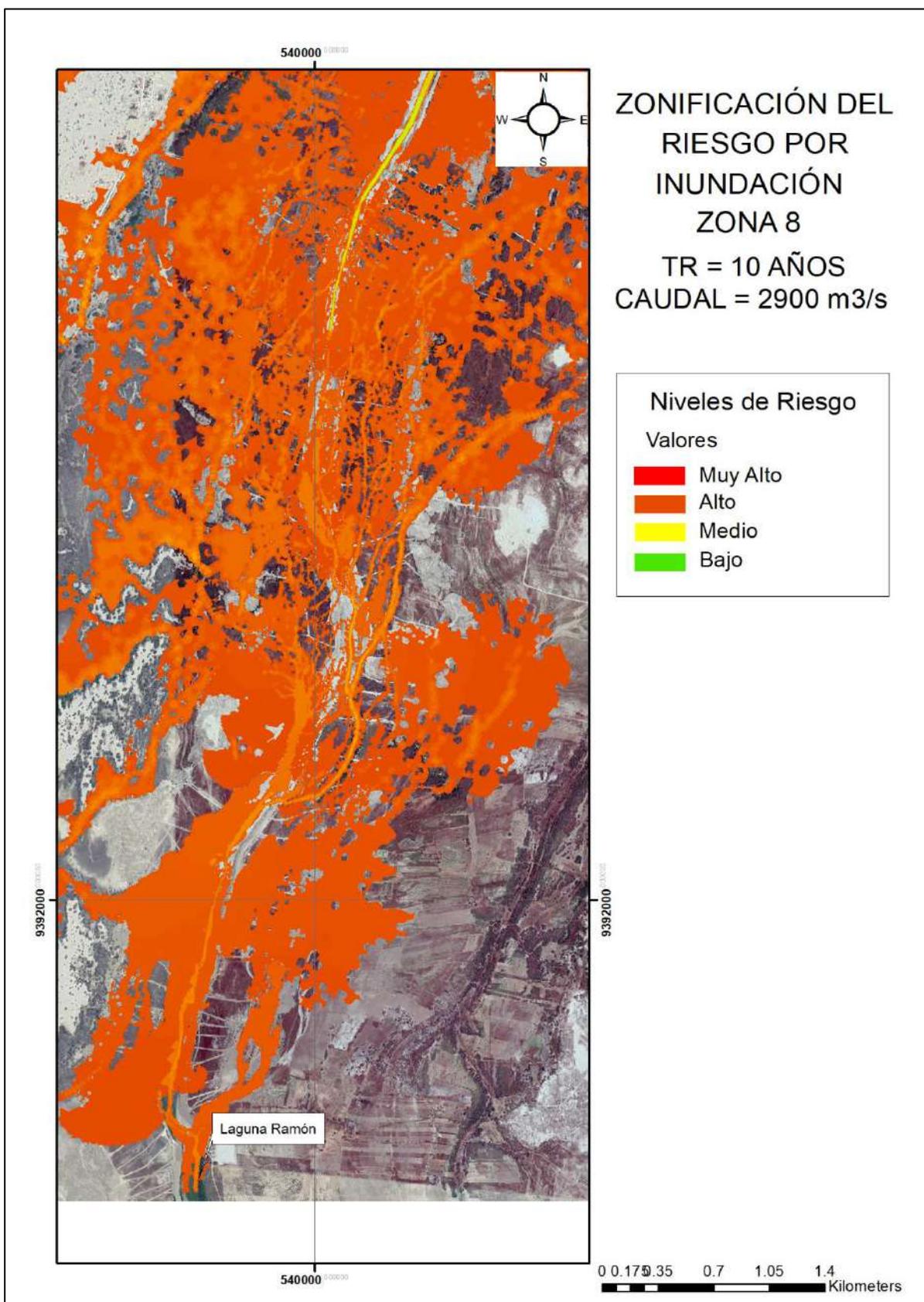
Mapa 21. Zonificación del riesgo por inundación de la zona urbana del río Piura – Zona 5, $Q = 2900 \text{ m}^3/\text{s}$.
Fuente: Elaboración propia.



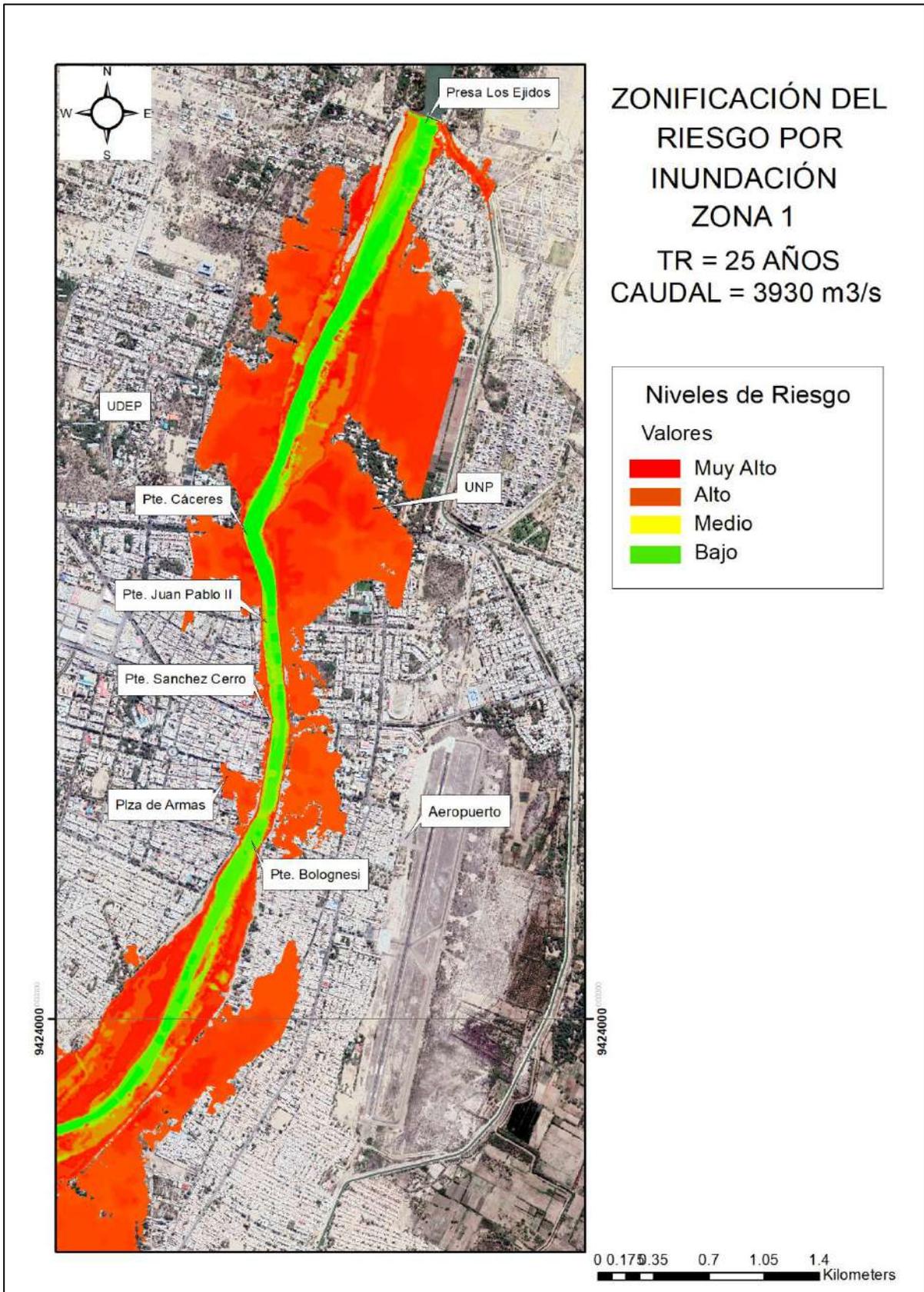
Mapa 22. Zonificación del riesgo por inundación de la zona urbana del río Piura – Zona 6, $Q = 2900 \text{ m}^3/\text{s}$.
Fuente: Elaboración propia.



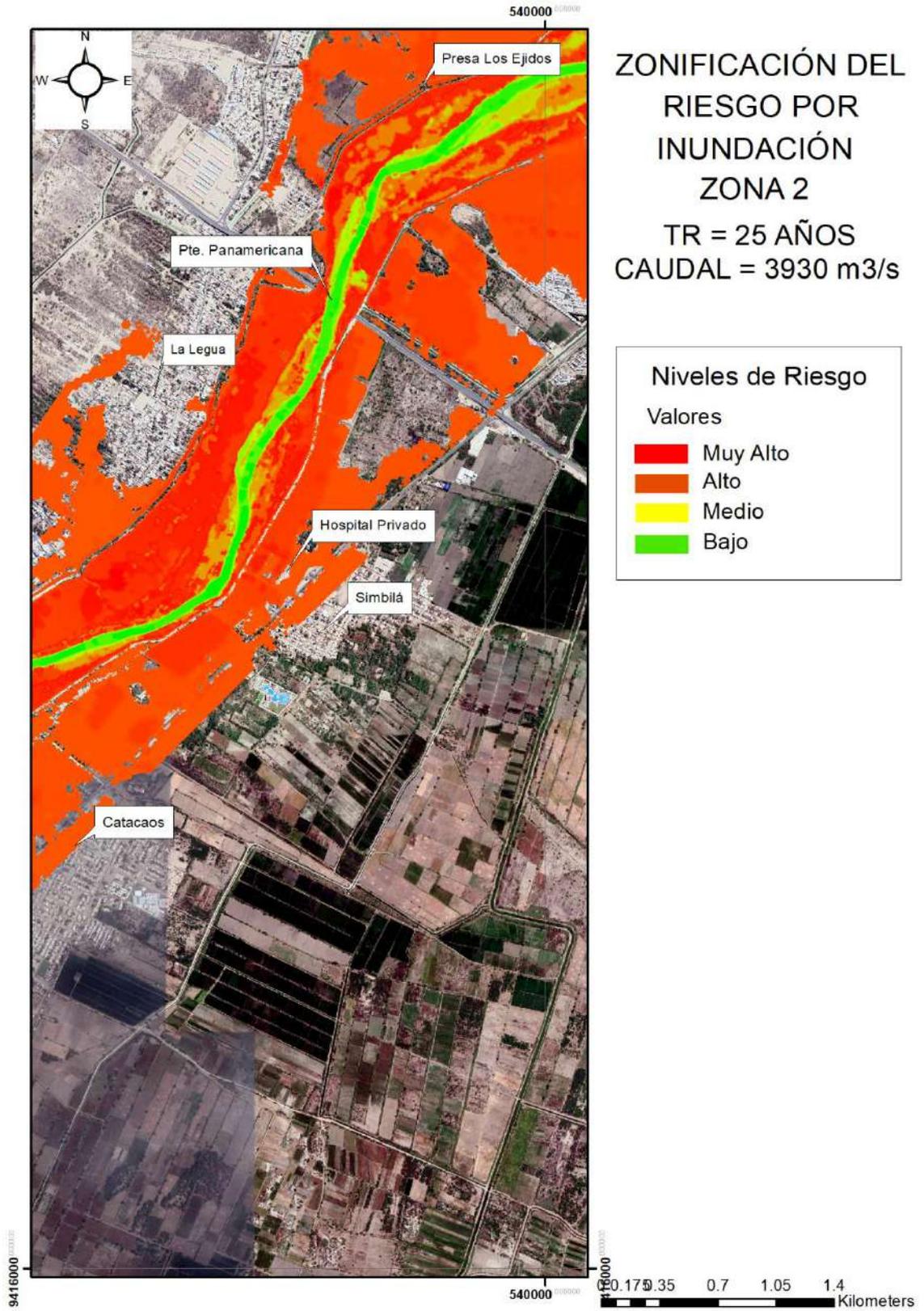
Mapa 23. Zonificación del riesgo por inundación de la zona urbana del río Piura – Zona 7, $Q = 2900 \text{ m}^3/\text{s}$.
Fuente: Elaboración propia.



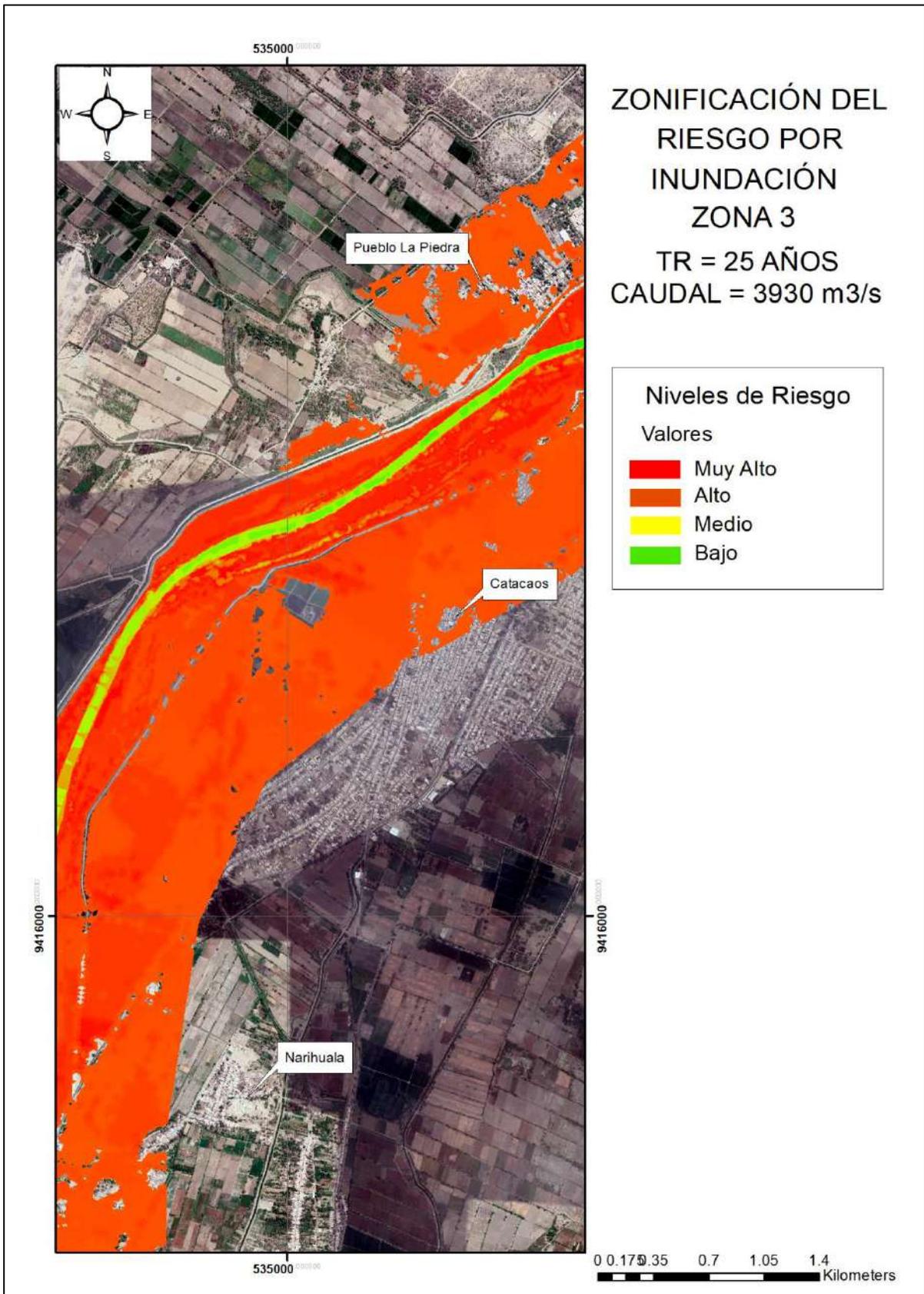
Mapa 24. Zonificación del riesgo por inundación de la zona urbana del río Piura – Zona 8, $Q = 2900 \text{ m}^3/\text{s}$.
Fuente: Elaboración propia.



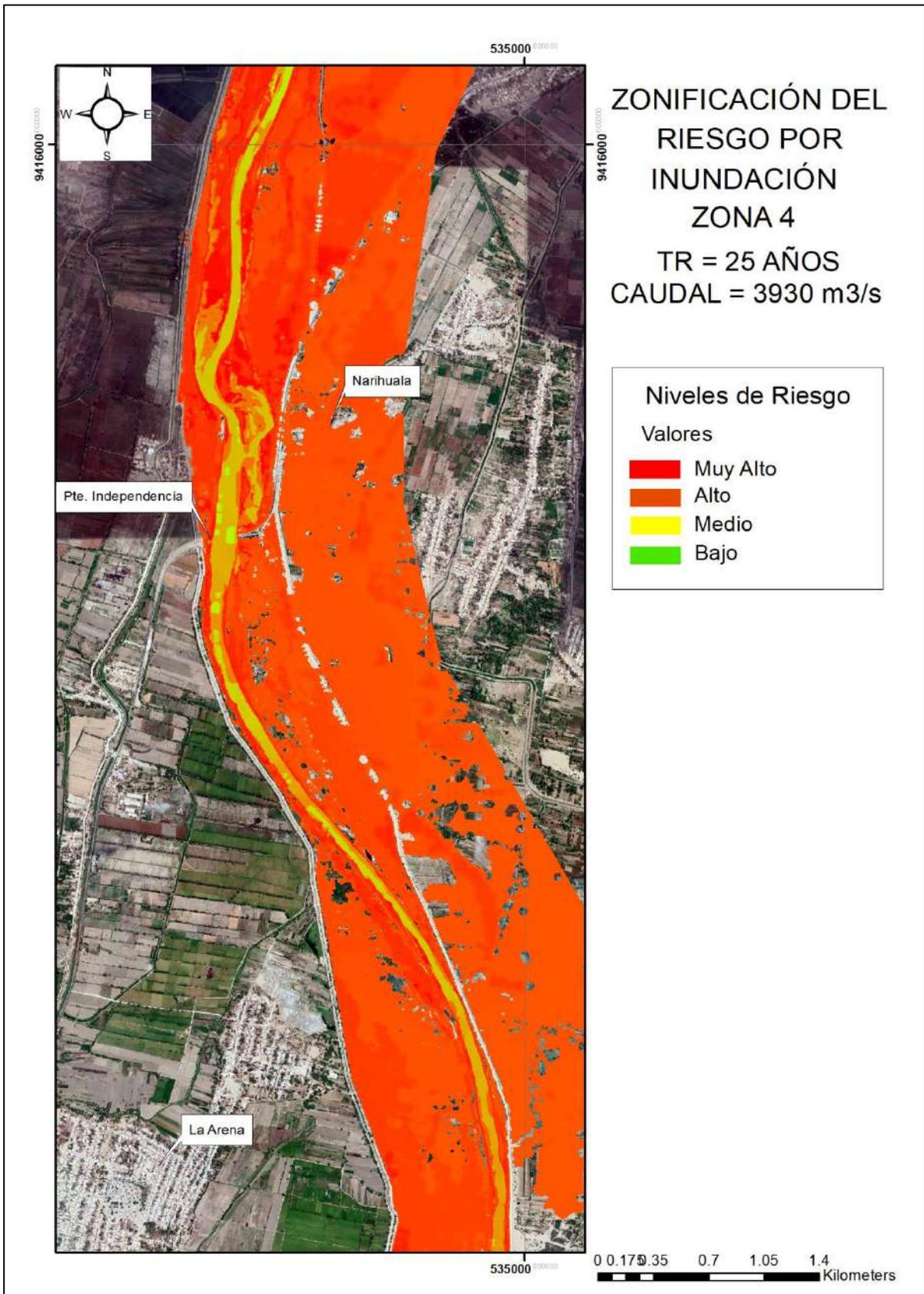
Mapa 25. Zonificación del riesgo por inundación de la zona urbana del río Piura – Zona 1, Q = 3930 m³/s.
Fuente: Elaboración propia.



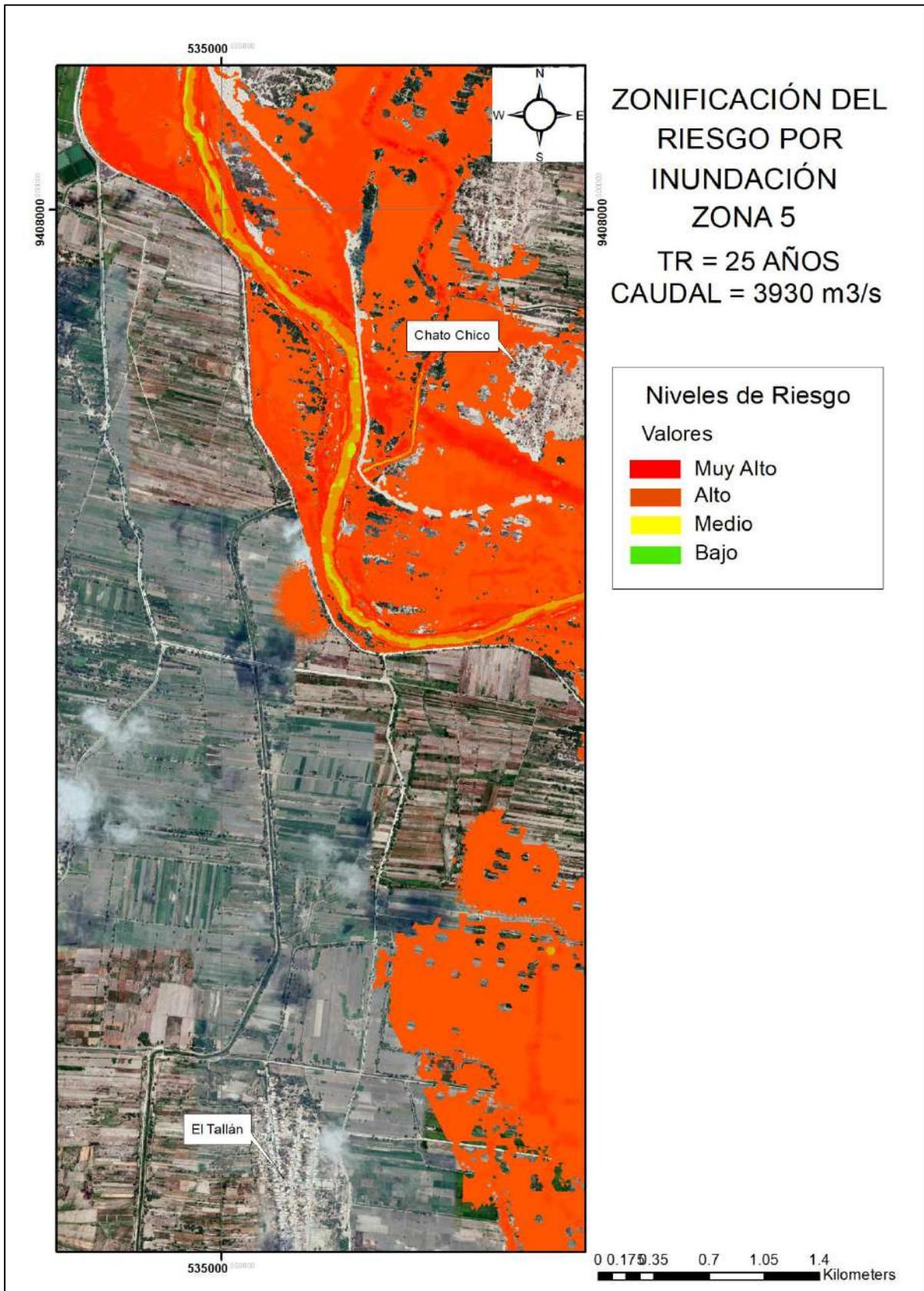
Mapa 26. Zonificación del riesgo por inundación de la zona urbana del río Piura – Zona 2, $Q = 3930 \text{ m}^3/\text{s}$.
Fuente: Elaboración propia.



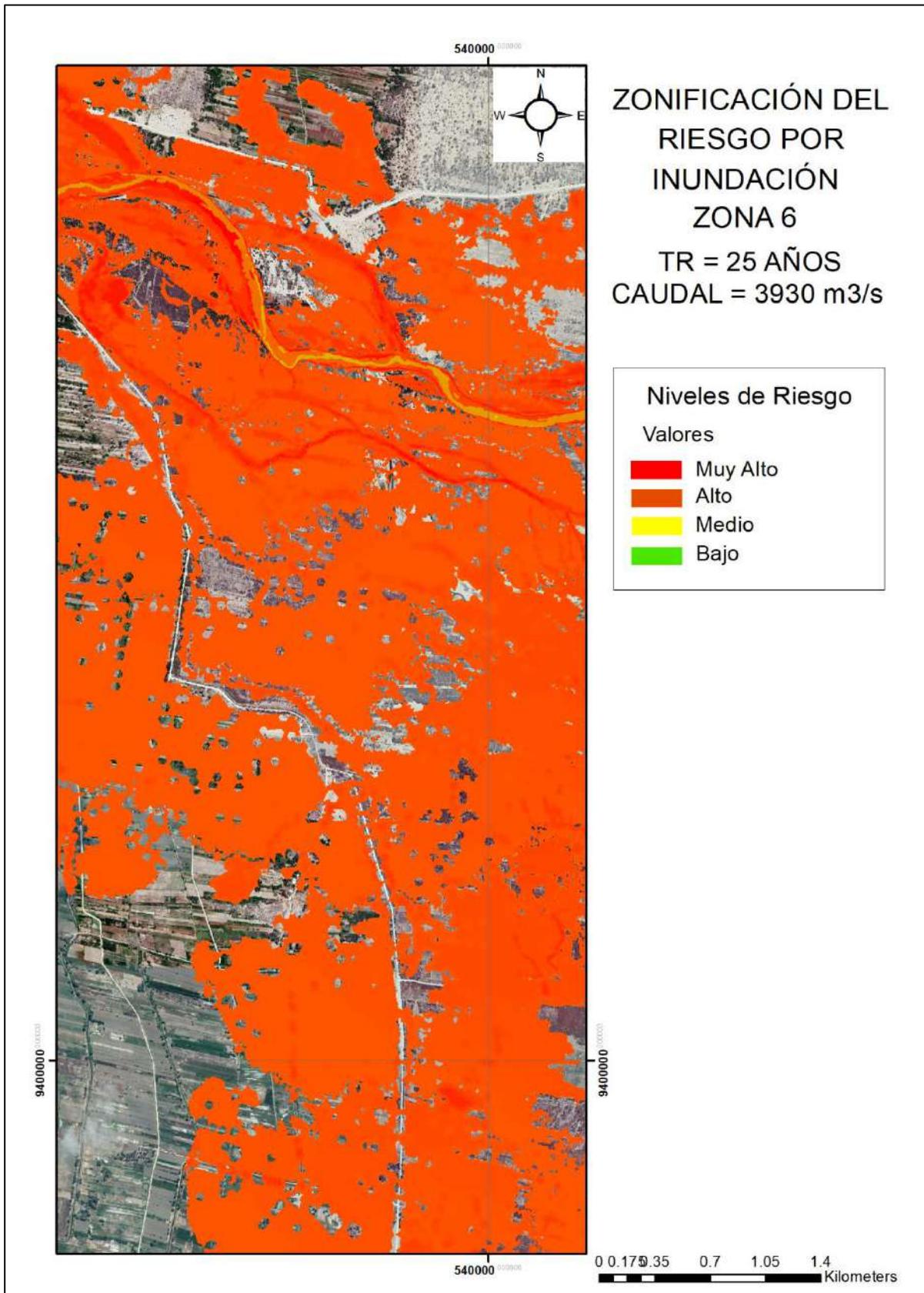
Mapa 27. Zonificación del riesgo por inundación de la zona urbana del río Piura – Zona 3, $Q = 3930 \text{ m}^3/\text{s}$.
 Fuente: Elaboración propia.



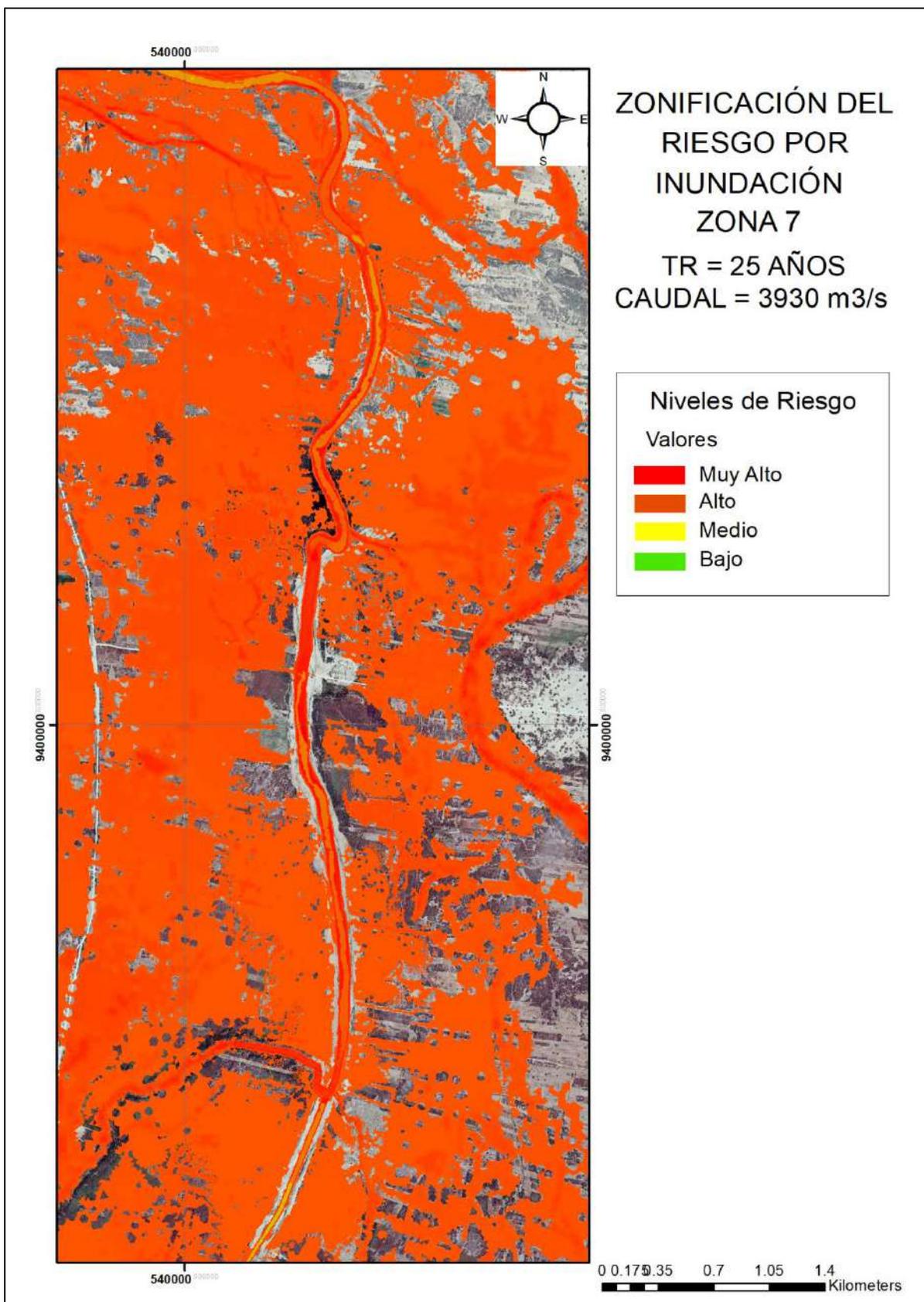
Mapa 28. Zonificación del riesgo por inundación de la zona urbana del río Piura – Zona 4, $Q = 3930 \text{ m}^3/\text{s}$.
Fuente: Elaboración propia.



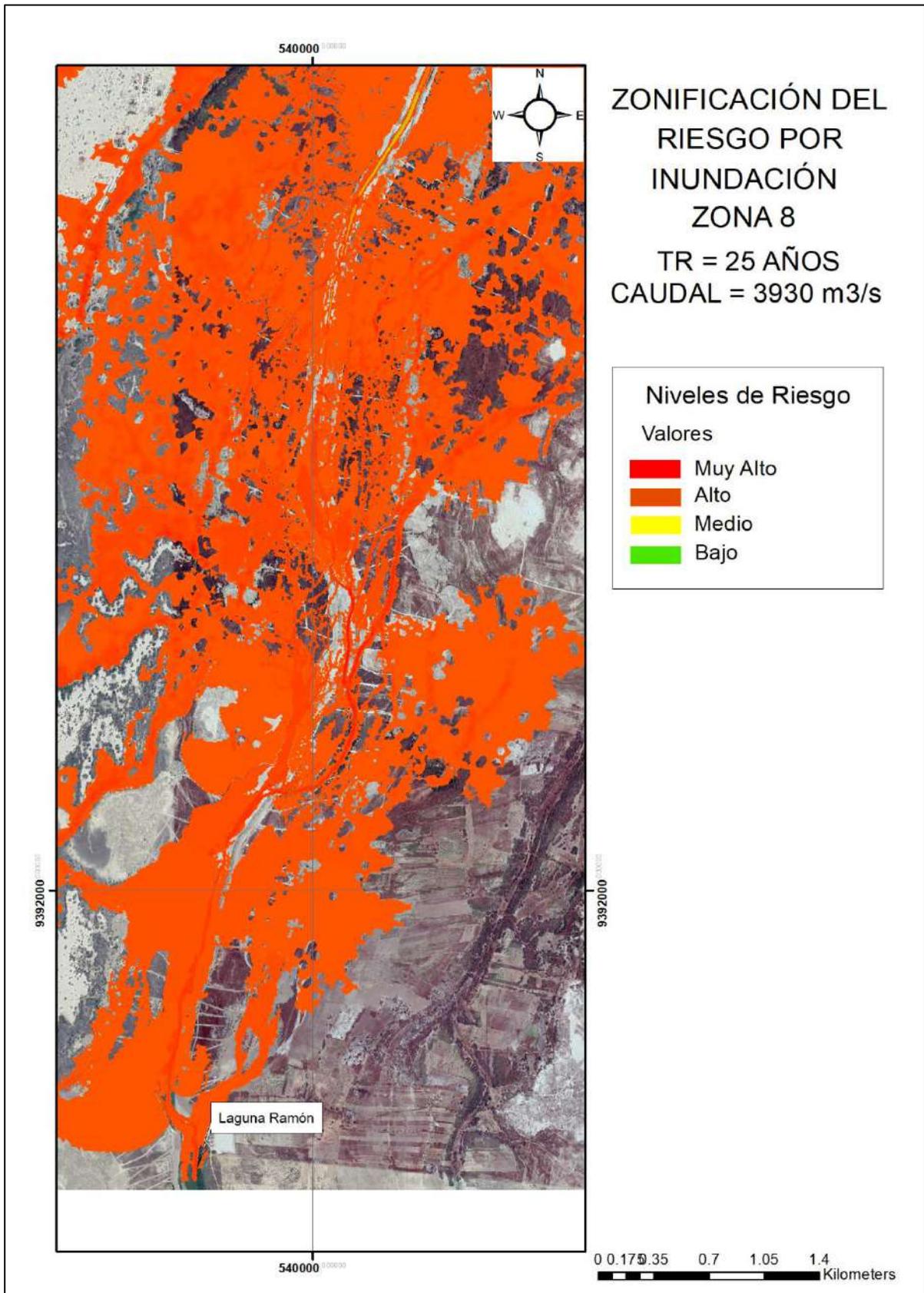
Mapa 29. Zonificación del riesgo por inundación de la zona urbana del río Piura – Zona 5, $Q = 3930 \text{ m}^3/\text{s}$.
Fuente: Elaboración propia.



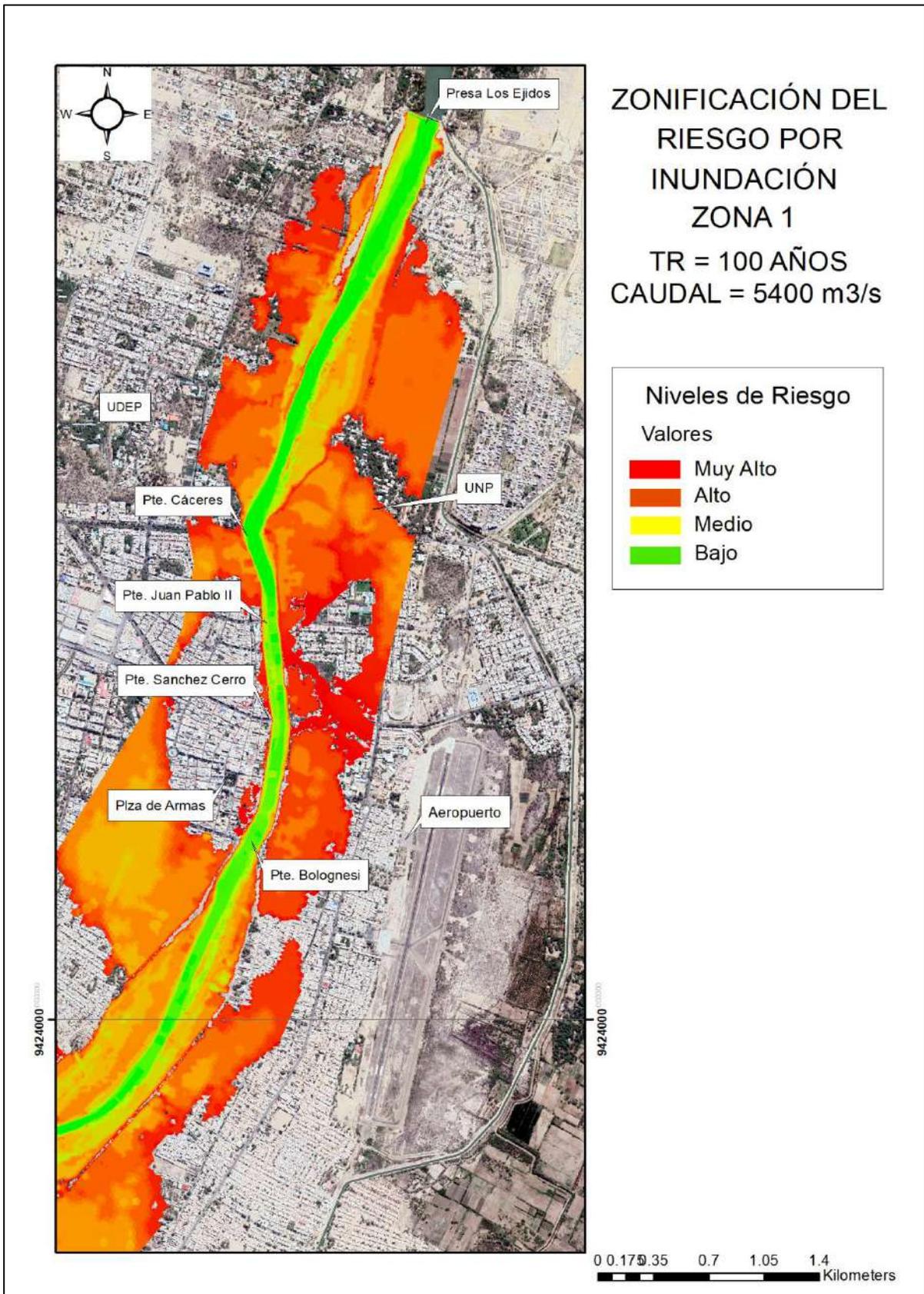
Mapa 30. Zonificación del riesgo por inundación de la zona urbana del río Piura – Zona 6, $Q = 3930 \text{ m}^3/\text{s}$.
Fuente: Elaboración propia.



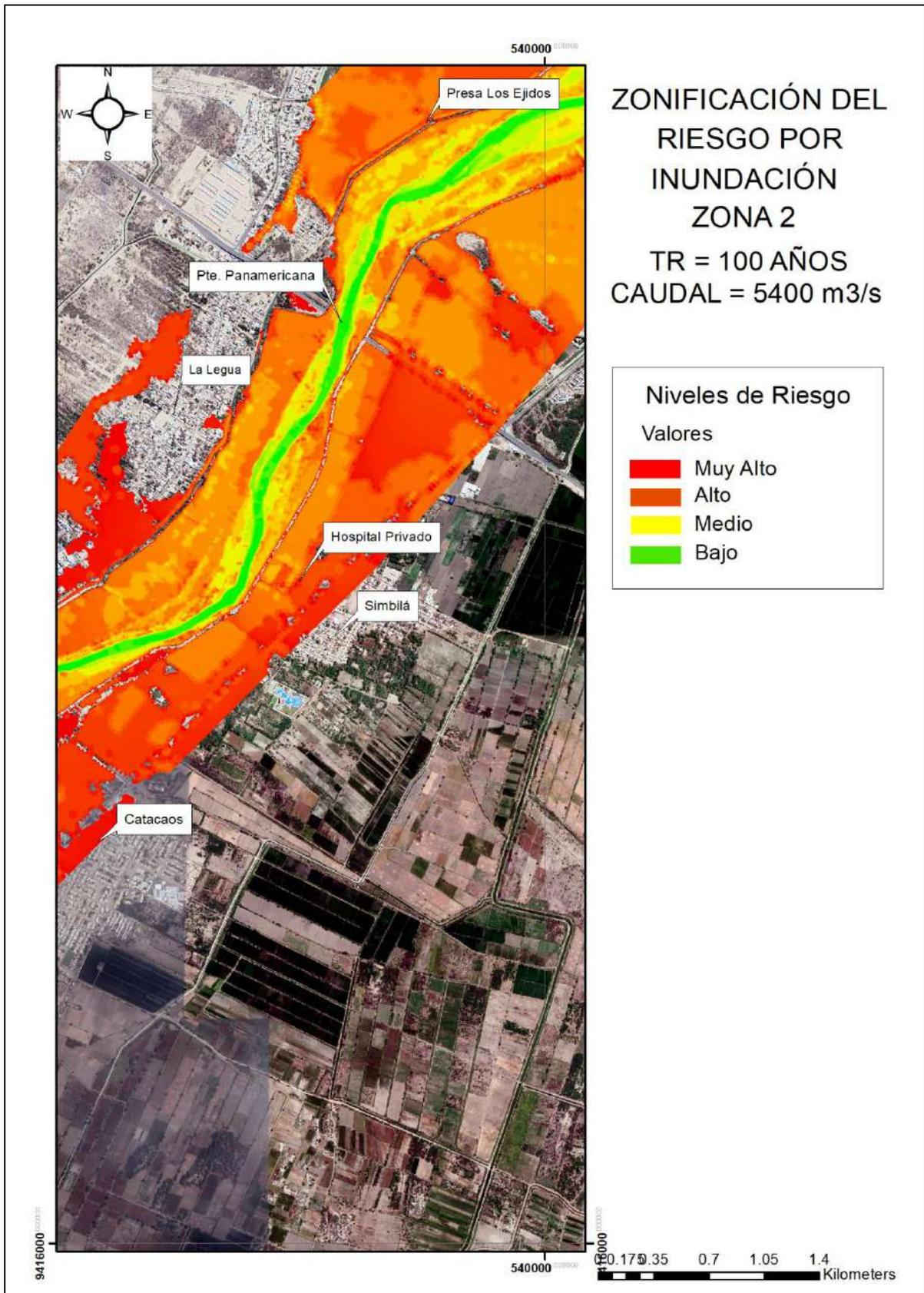
Mapa 31. Zonificación del riesgo por inundación de la zona urbana del río Piura – Zona 7, $Q = 3930 \text{ m}^3/\text{s}$.
Fuente: Elaboración propia.

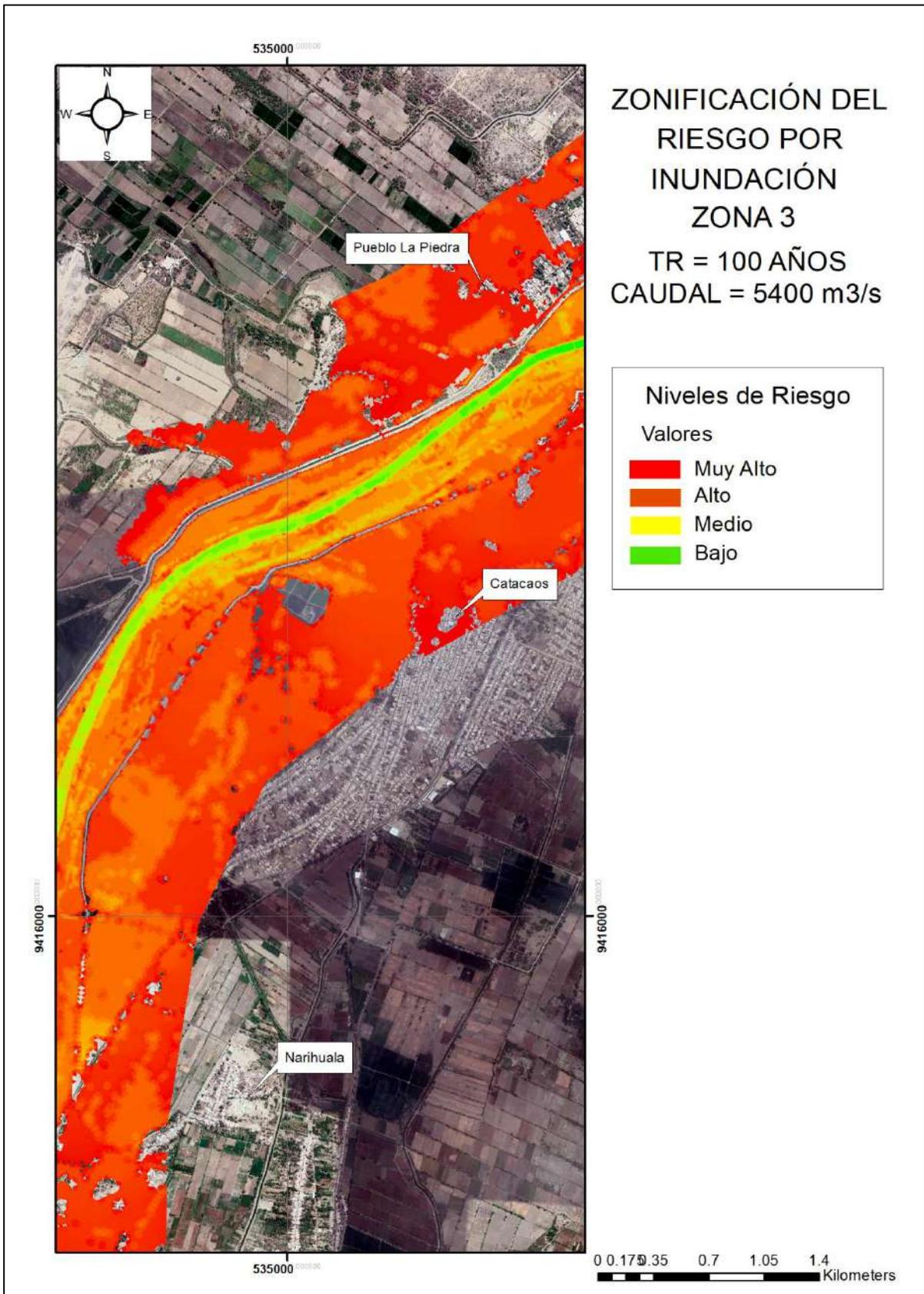


Mapa 32. Zonificación del riesgo por inundación de la zona urbana del río Piura – Zona 8, Q = 3930 m³/s.
Fuente: Elaboración propia.

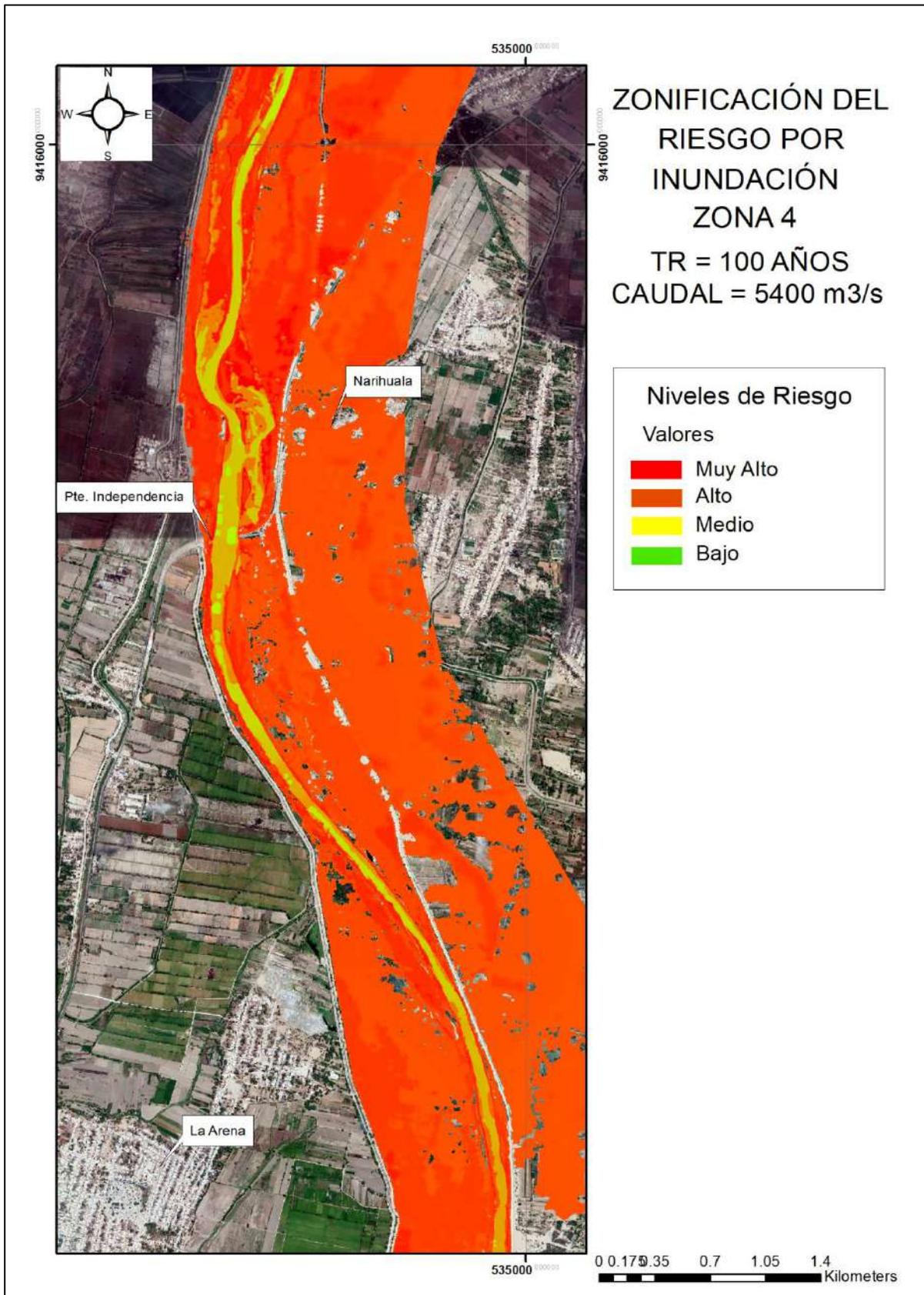


Mapa 33. Zonificación del riesgo por inundación de la zona urbana del río Piura – Zona 1, Q = 5400 m³/s.
 Fuente: Elaboración propia.

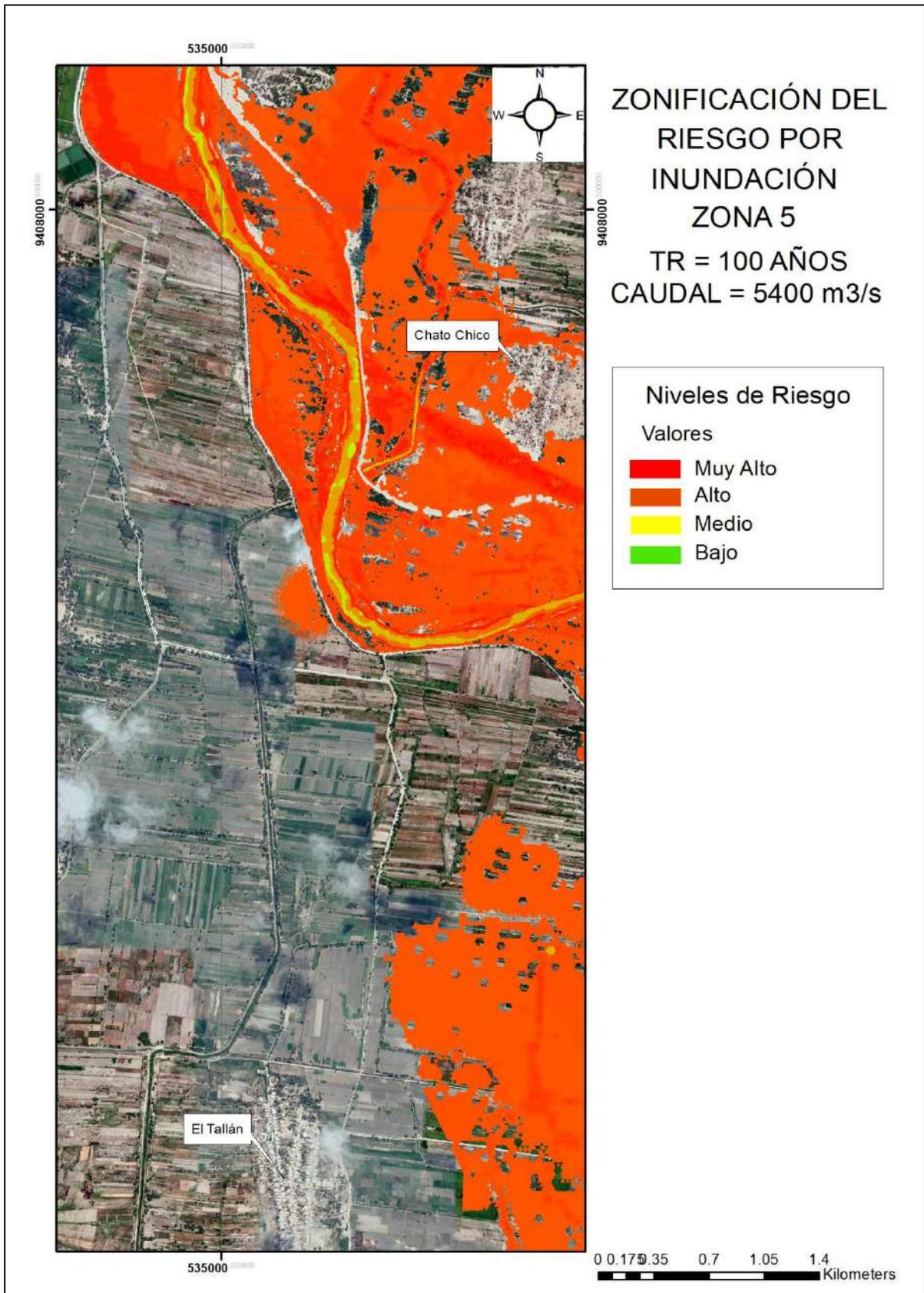




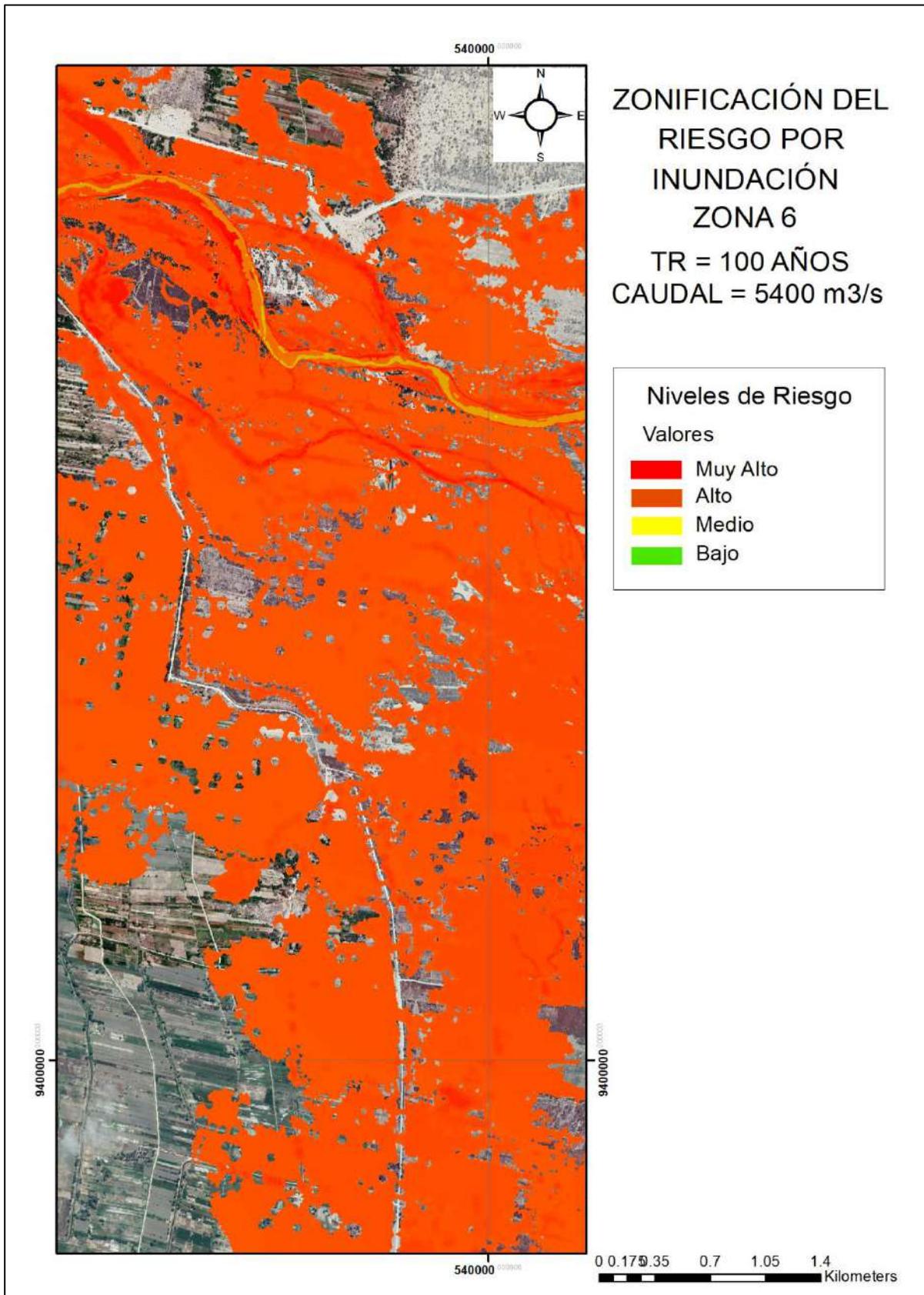
Mapa 35. Zonificación del riesgo por inundación de la zona urbana del río Piura – Zona 3, Q = 5400 m³/s.
Fuente: Elaboración propia.



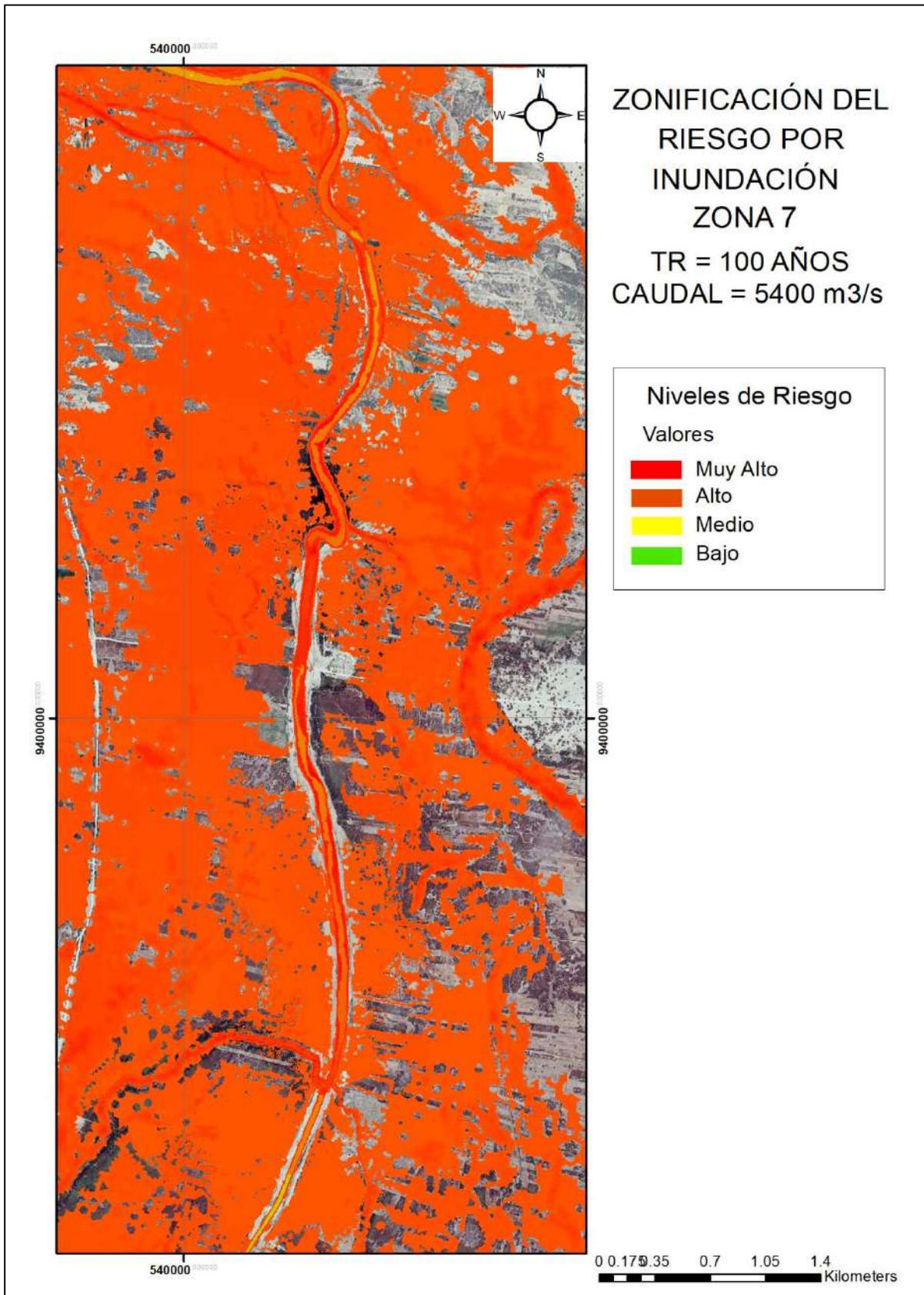
Mapa 36. Zonificación del riesgo por inundación de la zona urbana del río Piura – Zona 4, $Q = 5400 \text{ m}^3/\text{s}$.
Fuente: Elaboración propia.



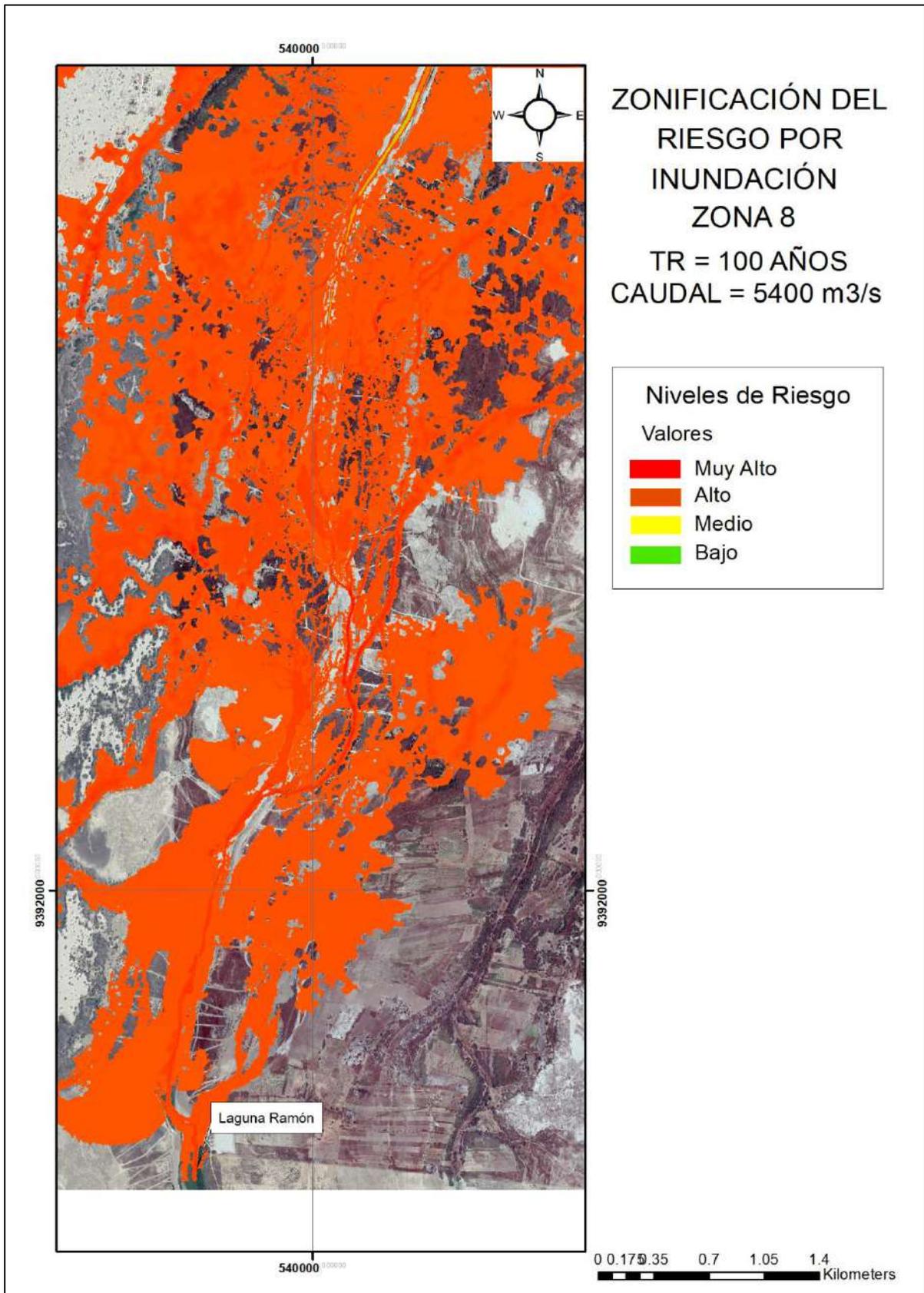
Mapa 37. Zonificación del riesgo por inundación de la zona urbana del río Piura – Zona 5, $Q = 5400 \text{ m}^3/\text{s}$.
Fuente: Elaboración propia.



Mapa 38. Zonificación del riesgo por inundación de la zona urbana del río Piura – Zona 6, $Q = 5400 \text{ m}^3/\text{s}$.
Fuente: Elaboración propia.



Mapa 39. Zonificación del riesgo por inundación de la zona urbana del río Piura – Zona 7, $Q = 5400 \text{ m}^3/\text{s}$.
Fuente: Elaboración propia.



Mapa 40. Zonificación del riesgo por inundación de la zona urbana del río Piura – Zona 8, Q = 5400 m³/s.
Fuente: Elaboración propia.