



Análisis de vulnerabilidad y riesgos climáticos para la ciudad de Rivera, Uruguay

Autor: IHCantabria
30 de agosto de 2024



LISTADO DE SIGLAS Y ACRÓNIMOS

ANEP	Administración Nacional de Educación Pública
ASSE	Administración de Servicios de Salud del Estado
DINACC	Dirección Nacional de Cambio Climático
DINAGUA	Dirección Nacional de Aguas
DINOT	Dirección Nacional de Ordenamiento Territorial
DNC	Dirección Nacional del Catastro
FVC	Fondo Verde para el Clima
IDEUy	Infraestructura de datos espaciales de Uruguay
IDR	Intendencia Departamental de Rivera
INE	Instituto Nacional de Estadísticas
INUMET	Instituto Uruguayo de Meteorología
IPCC	Panel Intergubernamental Cambio Climático en sus siglas en inglés
LULC	Usos y ocupación del suelo
MA	Ministerio de Ambiente
MGAP	Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca
MIRA	Monitor Integral de Riesgos y Afectaciones
MUSD \$	Millón de dólares americanos
N4C	Nature4Cities
NAP	Planes Nacionales de Adaptación en sus siglas en inglés
NBI	Necesidades básicas insatisfechas
OAN	Observatorio Ambiental Nacional
OSE	Obras Sanitarias del Estado
PAE	Pérdida anual esperada
PMP	Pérdidas máximas probables
PMB	Programa de Mejora de Barrios
PNUMA	Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (UNEP en su siglas en inglés)
SbN	Soluciones basadas en la Naturaleza
SINAE	Sistema Nacional de Emergencias
SNRCC	Sistema nacional de Respuesta al Cambio Climático
SSP	Trayectorias socioeconómicas compartidas en sus siglas en inglés
USD \$	Dólar americano

ÍNDICE

1. RESUMEN EJECUTIVO	10
2. INTRODUCCIÓN	11
3. OBJETIVO	12
4. ÁREA DE ESTUDIO	13
5. METODOLOGÍA DE ANÁLISIS DEL RIESGO	15
6. DATOS DE PARTIDA	17
6.1. Modelo digital del terreno	17
6.2. Cobertura y usos del suelo	18
6.3. Información climática y escenarios de cambio climático	18
6.3.1. Clima actual.....	18
6.3.2. Proyecciones climáticas	19
6.4. Datos socioeconómicos e información urbanística	21
7. ESTUDIO DE RIESGO POR ESCASEZ DE RECURSOS HÍDRICOS	22
7.1. Metodología de obtención del riesgo por escasez de recursos hídricos	22
7.2. Caracterización de la amenaza	23
7.2.1. Modelo hidrológico	23
7.2.2. Modelo de gestión de usos del agua	26
7.3. Caracterización de la vulnerabilidad.....	30
7.3.1. Densidad de población.....	30
7.3.2. Población sensible	31
7.3.3. Mujeres	32
7.3.4. Necesidades básicas insatisfechas (NBI)	33
7.4. Cálculo del riesgo	35
7.4.1. Metodología de obtención del riesgo estandarizado	35
7.4.2. Indicador de riesgo por escasez de recursos hídricos.....	36
8. ESTUDIO DE RIESGO POR INUNDACIÓN FLUVIAL.....	39
8.1. Enfoque técnico	40
8.2. Caracterización de la amenaza	40
8.2.1. Selección del área de estudio y delimitación de las cuencas vertientes	40
8.2.2. Caracterización de las lluvias extremas	41
8.2.3. Aplicación de modelos hidrológicos e hidráulicos.....	43
8.2.4. Resultados de la caracterización de la amenaza.....	44
8.3. Caracterización de la exposición	50
8.3.1. Exposición física.....	51
8.3.2. Exposición social	60
8.4. Caracterización de la vulnerabilidad.....	63
8.5. Cálculo del riesgo	63
8.5.1. Evaluación de los daños económicos por inundación	65
8.5.2. Evaluación de los daños sociales por inundación.....	70
9. ESTUDIO DE RIESGO POR OLA DE CALOR Y FRÍO	73



9.1. Caracterización de la amenaza	73
9.1.1. Ola de calor	73
9.1.2. Ola de frío	73
9.2. Caracterización de la vulnerabilidad.....	74
9.2.1. Densidad de población.....	75
9.2.2. Población sensible	76
9.2.3. Mujeres	77
9.2.4. Necesidades básicas insatisfechas (NBI)	79
9.2.5. Accesibilidad a los centros sanitarios	80
9.2.6. Zonas sin bosques o áreas verdes	82
9.2.7. Hogares que no cuentan con fuente de energía para calefactar ambientes o medio para calentar agua.....	84
9.3. Cálculo del riesgo	85
9.3.1. Metodología de obtención del riesgo estandarizado	85
9.3.2. Indicador de riesgo por ola de calor	87
9.3.3. Indicador de riesgo por ola de frío	90
10. CADENAS DE IMPACTO	94
11. CONCLUSIONES	98
11.1.1. Estudio de riesgo por escasez de recursos hídricos	98
11.1.2. Estudio de riesgo por inundación fluvial.....	98
11.1.3. Estudio de riesgo por ola de calor y frío.....	98
12. RECOMENDACIONES	100
13. BIBLIOGRAFÍA	102

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1. Localización del área de estudio y lugar de celebración de los talleres, la ciudad de Rivera. A la izquierda se puede apreciar su localización de cabecera dentro de la Cuenca del río Tacuarembó. A la derecha, el área de estudio cuyos límites son los del Ámbito de aplicación del Plan Local en el que se circunscribe el análisis realizado.....	13
Figura 2. Información referente a eventos del Monitor Integral de Riesgos y Afectaciones (MIRA) para el Departamento de Rivera. Fuente: SINAE (2024).	14
Figura 3. Esquema conceptual del Quinto Informe de Evaluación - IE5 del IPCC. Fuente: IPCC, 2014.	15
Figura 4. Modelo digital de elevaciones hidrológicamente consistente (MDTHC) para la cuenca drenante de Rivera. Fuente: IDEUy, 2019.....	17
Figura 5. Mapa de usos y coberturas del suelo para la cuenca drenante de Rivera. Fuente: MGAP y OAN, 2021.....	18
Figura 6. Precipitación diaria en la estación EM Rivera (1994-2024). Fuente: INUMET, 2024.	19
Figura 7. Temperatura media, máxima y mínima diaria en la estación EM Rivera en el 2023. Fuente: INUMET, 2024.	19
Figura 8. Cambios proyectados en las precipitaciones para el horizonte cercano bajo escenario SSP245. Promedio de los 10 modelos corregidos. Fuente: (Barreiro, et al., 2020).....	20
Figura 9. Cambios proyectados en la temperatura para el horizonte cercano bajo escenario SSP585. Promedio de los 10 modelos corregidos. Fuente: (Barreiro, et al., 2020).	21
Figura 10. Cuenca del arroyo Cuñapirú. Fuente: IHCantabria, 2024.	24

Figura 11. Estadísticos significativos del régimen natural de caudales en Rivera. Fuente: IHCantabria, 2024.	25
Figura 12. Gráfica de cajas de precipitación (mm/mes) y caudales naturales (m ³ /s) en Rivera en situación actual. Fuente: IHCantabria, 2024.	25
Figura 13. Gráfica de cajas de precipitación (mm/mes) y caudales naturales (m ³ /s) en Rivera, para el horizonte 2030 SSP245. Fuente: IHCantabria, 2024.	25
Figura 14. Gráfica de cajas de precipitación (mm/mes) y caudales naturales (m ³ /s) en Rivera, para el horizonte 2030 SSP585. Fuente: IHCantabria, 2024.	26
Figura 15. Variaciones de indicadores hidroclimáticos en Rivera bajo dos escenarios de cambio climático. Fuente: IHCantabria, 2024.	26
Figura 16. Esquema de funcionamiento del modelo de gestión del agua. Fuente: IHCantabria, 2024.	27
Figura 17. Demandas hídricas consideradas en la cuenca del río Yí. Fuente: IHCantabria, 2024, con información de DINAGUA.	28
Figura 18. Garantías de satisfacción de los diferentes usos en la subcuenca de Rivera, considerando el clima actual y dos escenarios de cambio climático. Fuente: IHCantabria, 2024.	29
Figura 19. Densidad de población en el área de estudio. Fuente: IHCantabria, 2024, con información del Censo de 2011.	31
Figura 20. Porcentaje de población sensible en el área de estudio. Fuente: IHCantabria, 2024, con información del Censo de 2011.	32
Figura 21. Porcentaje de mujeres en el área de estudio. Fuente: IHCantabria, 2024, con información del Censo de 2011.	33
Figura 22. Porcentaje de hogares con NBI en el área de estudio. Fuente: IHCantabria, 2024, con información del Censo de 2011.	35
Figura 23. Riesgo por escasez de recursos hídricos en el área de estudio. Fuente: IHCantabria, 2024.	37
Figura 24. Esquema amenaza-exposición-vulnerabilidad-riesgo. Fuente: IHCantabria, 2024.	40
Figura 25. Cuenca del arroyo Cuñapirú. Fuente: IHCantabria, 2024.	41
Figura 26. Curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) para la situación actual. Fuente: IHCantabria, 2024, con información de (dica&asociados, 2020).	42
Figura 27. Curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) para el horizonte 2030 SSP245. Fuente: IHCantabria, 2024, con información de (dica&asociados, 2020) y (Barreiro, et al., 2020).	42
Figura 28. Curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) para el horizonte 2030 SSP585. Fuente: IHCantabria, 2024, con información de (dica&asociados, 2020) y (Barreiro, et al., 2020).	43
Figura 29. Tormentas de diseño T100 para la cuenca del arroyo Cuñapirú en situación actual y para el horizonte 2030 (SSP245). Fuente: IHCantabria, 2024, con información de (dica&asociados, 2020).	43
Figura 30. Mapa de profundidad de la lámina de agua para el evento de 10 años de periodo de retorno en la situación actual y en el horizonte 2030 (SSP245 y SSP585). Fuente: IHCantabria, 2024.	45
Figura 31. Mapa de área inundable para el evento de 10 años de periodo de retorno en los tres escenarios analizados. Fuente: IHCantabria, 2024.	46
Figura 32. Incremento de la profundidad de la lámina de agua (m) para el evento de 10 años de periodo de retorno en el horizonte 2030 SSP245, respecto de la situación actual. Fuente: IHCantabria, 2024.	47
Figura 33. Mapa de profundidad de la lámina de agua para el evento de 100 años de periodo de retorno en la situación actual y en el horizonte 2030 (SSP245 y SSP585). Fuente: IHCantabria, 2024.	48
Figura 34. Mapa de área inundable para el evento de 100 años de periodo de retorno en los tres escenarios analizados. Fuente: IHCantabria, 2024.	49
Figura 35. Incremento de la profundidad de la lámina de agua (m) para el evento de 100 años de periodo de retorno en el horizonte 2030 SSP245, respecto de la situación actual. Fuente: IHCantabria, 2024.	50
Figura 36. Distribución de la superficie edificada y la población según categorías de calidad constructiva. Fuente: IHCantabria, 2024.	51



Figura 37. Distribución geográfica de la calidad constructiva de las edificaciones residenciales. Fuente: IHCantabria, 2024.	52
Figura 38. Distribución geográfica de las infraestructuras críticas por categoría. Fuente: IHCantabria, 2024.	54
Figura 39. Valor económico expuesto de las edificaciones (MUSD \$) para el evento de 100 años de periodo de retorno en la situación actual y en el horizonte 2030 (SSP245 y SSP585). Fuente: IHCantabria, 2024.	57
Figura 40. Valor económico expuesto de las IC (MUSD \$) para el evento de 100 años de periodo de retorno en la situación actual y en el horizonte 2030 (SSP245 y SSP585). Fuente: IHCantabria, 2024.	59
Figura 41. Distribución geográfica de la densidad de población en el área de estudio. Fuente: IHCantabria, 2024.	60
Figura 42. Población expuesta (hab./ha) para el evento de 100 años de periodo de retorno en la situación actual y en el horizonte 2030 (SSP245 y SSP585). Fuente: IHCantabria, 2024.	62
Figura 43. Funciones de daño para calcular los riesgos de inundación. Fuente: IHCantabria, 2024.	63
Figura 44. Distribución geográfica de la pérdida económica en edificaciones para 100 años de periodo de retorno (USD \$/m ²) en la situación actual y en el horizonte 2030 (SSP245 y SSP585). Fuente: IHCantabria, 2024.	66
Figura 45. Distribución geográfica de la pérdida económica en IC para 100 años de periodo de retorno (USD \$/m ²) en la situación actual y en el horizonte 2030 (SSP245 y SSP585). Fuente: IHCantabria, 2024.	68
Figura 46. Curva de excedencia de pérdidas económicas. Fuente: IHCantabria, 2024.	70
Figura 47. Distribución geográfica de la pérdida de vidas humanas (hab./km ²) para 100 años de periodo de retorno en la situación actual y en el horizonte 2030 (SSP245 y SSP585). Fuente: IHCantabria, 2024.	72
Figura 48. Densidad de población en el área de estudio. Fuente: IHCantabria, 2024, con información del Censo de 2011.	75
Figura 49. Porcentaje de población sensible en el área de estudio. Fuente: IHCantabria, 2024, con información del Censo de 2011.	77
Figura 50. Porcentaje de mujeres en el área de estudio. Fuente: IHCantabria, 2024, con información del Censo de 2011.	78
Figura 51. Porcentaje de hogares con NBI en el área de estudio. Fuente: IHCantabria, 2024, con información del Censo de 2011.	80
Figura 52. Distancia a un centro sanitario en el área de estudio. Fuente: IHCantabria, 2024, con información del Censo de 2011.	81
Figura 53. Áreas de bosque, áreas verdes y arbolado urbano en el área de estudio. Fuente: IHCantabria, 2024.	82
Figura 54. Porcentaje de áreas sin bosque o áreas verdes en el área de estudio. Fuente: IHCantabria, 2024.	83
Figura 55. Porcentaje de hogares que no cuentan con fuente de energía para calefactar ambientes o medio para calentar agua en el área de estudio. Fuente: IHCantabria, 2024, con información del Censo de 2011.	85
Figura 56. Riesgo por ola de calor en el área de estudio en la situación actual. Fuente: IHCantabria, 2024.	88
Figura 57. Riesgo por ola de calor en el área de estudio para el horizonte 2030 SSP245. Fuente: IHCantabria, 2024.	89
Figura 58. Riesgo por ola de calor en el área de estudio para el horizonte 2030 SSP585. Fuente: IHCantabria, 2024.	90
Figura 59. Riesgo por ola de frío en el área de estudio para la situación actual. Fuente: IHCantabria, 2024.	91
Figura 60. Riesgo por ola de calor en el área de estudio para el horizonte 2030 SSP245. Fuente: IHCantabria, 2024.	92
Figura 61. Riesgo por ola de calor en el área de estudio para el horizonte 2030 SSP585. Fuente: IHCantabria, 2024.	93

Figura 62. Cadena de impacto del riesgo por escasez de recursos hídricos en Rivera. Fuente: IHCantabria, 2024.	95
Figura 63. Cadena de impacto del riesgo por riesgo de inundación en Rivera. Fuente: IHCantabria, 2024.	96
Figura 64. Cadena de impacto del riesgo por riesgo de ola de calor y frío en Rivera. Fuente: IHCantabria, 2024.	97

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1. Cambios en la precipitación y temperatura para el horizonte 2030. Fuente: IHCantabria, 2024, con información de (Barreiro, et al., 2020).	20
Tabla 2. Características de las subcuencas consideradas. Fuente: IHCantabria, 2024.	23
Tabla 3. Demandas hídricas consideradas en la cuenca del arroyo Cuñapirú. Fuente: IHCantabria, 2024.	27
Tabla 4. Garantías de satisfacción de las demandas existentes en la subcuenca de Rivera. Fuente: IHCantabria, 2024.	29
Tabla 5. Déficit hídrico para consumo humano en la subcuenca del arroyo Cuñapirú para la situación actual y el horizonte 2030 SSP245 y SSP585. Fuente: IHCantabria, 2024.	29
Tabla 6. Variables y pesos que componen el índice agregado de NBI para los hogares del área de estudio. Fuente: IHCantabria, 2024, con información del Censo de 2011.	34
Tabla 7. Niveles de riesgo considerados. Fuente: IHCantabria, 2024.	36
Tabla 8. Indicadores de amenaza y vulnerabilidad frente a la escasez de recursos hídricos. Fuente: IHCantabria, 2024.	36
Tabla 9. Factor de ponderación para escenarios futuros para cada SSP y año horizonte 2030, por periodo de retorno. Fuente: IHCantabria, 2024.	42
Tabla 10. Caudales pico en el arroyo Cuñapirú tras su paso por el área de estudio. Fuente: IHCantabria, 2024.	44
Tabla 11. Distribución de área y población según categoría de calidad constructiva de las edificaciones. Fuente: IHCantabria, 2024.	52
Tabla 12. Valores de reposición según calidad constructiva, y valor total en millones de dólares (MUSD \$), de las edificaciones residenciales inventariadas. Fuente: IHCantabria, 2024.	53
Tabla 13. Inventario de infraestructuras críticas del área de estudio. Fuente: IHCantabria, 2024.	53
Tabla 14. Valores de reposición según categoría, y valor total en millones de dólares (MUSD \$), para las infraestructuras críticas del área de estudio. Fuente: IHCantabria, 2024.	55
Tabla 15. Superficie edificada expuesta (ha) y valor económico expuesto (MUSD \$) para cada periodo de retorno y escenario climático. Valores relativos respecto del total inventariado. Fuente: IHCantabria, 2024.	55
Tabla 16. Número de IC expuestas y el valor económico expuesto de IC (MUSD \$) para cada periodo de retorno y escenario climático. Valores relativos respecto del total inventariado. Fuente: IHCantabria, 2024.	58
Tabla 17. Población expuesta para cada periodo de retorno y escenario climático. Valores relativos respecto del total inventariado. Fuente: IHCantabria, 2024.	61
Tabla 18. Resultados de daños directos por inundación en edificaciones. Valores relativos respecto del total inventariado. Fuente: IHCantabria, 2024.	65
Tabla 19. Resultados de daños directos por inundación en IC. Valores relativos respecto del total inventariado. Fuente: IHCantabria, 2024.	67
Tabla 20. Resultados de daños económicos por inundación. Valores relativos respecto del total inventariado. Fuente: IHCantabria, 2024.	69
Tabla 21. Resultados de daños sociales por inundación. Valores relativos respecto del total inventariado. Fuente: IHCantabria, 2024.	71



Tabla 22. Valores que toman los indicadores que caracterizan las olas de calor. Fuente: IHCantabria, 2024.	73
Tabla 23. Valores que toman los indicadores que caracterizan las olas de frío. Fuente: IHCantabria, 2024.	74
Tabla 24. Variables y pesos que componen el índice agregado de NBI para los hogares del área de estudio. Fuente: IHCantabria, 2024, con información del Censo de 2011.	79
Tabla 25. Niveles de riesgo considerados. Fuente: IHCantabria, 2024.	86
Tabla 26. Indicadores de amenaza y vulnerabilidad frente a las olas de calor. Fuente: IHCantabria, 2024.	86
Tabla 27. Indicadores de amenaza y vulnerabilidad frente a las olas de calor. Fuente: IHCantabria, 2024.	87

1. RESUMEN EJECUTIVO

El presente documento, elaborado en el marco del proyecto Nature4Cities (N4C) liderado por el Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), analiza la vulnerabilidad y el riesgo climático en la ciudad de Rivera, Uruguay. Este proyecto busca implementar Soluciones basadas en la Naturaleza (SbN) como herramientas para reducir riesgos asociados al cambio climático y fomentar la sostenibilidad en áreas urbanas. En el caso de Rivera, el enfoque está en integrar estas soluciones en la planificación territorial, fortaleciendo las capacidades locales y promoviendo la co-creación de conocimiento con actores clave. La ciudad de Rivera es eminentemente urbana y tiene la peculiaridad de conformar un continuo con la ciudad brasileña de Sant'Ana do Livramento, es por tanto una ciudad frontera, con todos los procesos sociodemográficos y dinámica territorial que ello implica. Sus ecosistemas clave, como los pastizales y los bosques nativos, desempeñan un papel esencial en la regulación hídrica, la mitigación de sequías e inundaciones y el mantenimiento de la calidad ambiental.

El análisis identifica tres principales amenazas hidroclimáticas para Rivera: escasez de recursos hídricos, inundaciones y olas de calor y frío, evaluadas desde el presente hasta escenarios futuros con cambio climático. En cuanto al riesgo de escasez de recursos hídricos, se determinó que la ciudad no enfrenta un déficit significativo en el suministro de agua bajo los escenarios climáticos analizados. No obstante, ciertas áreas son más vulnerables debido a factores socioeconómicos. Los asentamientos irregulares, como La Colina y La Alegría, y Villa Sara, presentan mayores riesgos debido a la falta de acceso a agua potable y otros servicios básicos. Asimismo, las zonas más altas de la ciudad, como Cerro del Marco y Cerro Marconi, experimentan problemas de abastecimiento debido a la insuficiente capacidad de bombeo de la red.

El riesgo de inundaciones es uno de los más críticos para Rivera, especialmente por el desbordamiento del arroyo Cuñapirú y sus afluentes, así como por la falta de capacidad del sistema de drenaje pluvial en áreas urbanas. Se estima que un evento de inundación con un periodo de retorno de 100 años afectaría a más de 13,000 personas, dañaría 65 hectáreas de edificaciones residenciales y pondría en riesgo 77 infraestructuras críticas. Las pérdidas económicas asociadas a este tipo de eventos podrían ascender a 14 millones de dólares en la actualidad y aumentar a millones de dólares para el año 2030 debido al impacto del cambio climático. Las áreas más vulnerables incluyen barrios como La Raca, Pueblo Nuevo, Bisio, Saavedra, Máximo Xavier y Lavalleja.

En relación con las olas de calor y frío, el análisis muestra que los eventos de calor extremo se incrementarán en frecuencia e intensidad en el futuro, afectando principalmente a los barrios periurbanos como Mandubí y Recreo. Por el contrario, el riesgo asociado a las olas de frío disminuirá en escenarios futuros, aunque algunas áreas céntricas seguirán siendo vulnerables a este fenómeno.

Es fundamental implementar SbN que integren medidas estructurales y no estructurales para gestionar los riesgos climáticos. Estas soluciones no solo permiten abordar amenazas específicas, sino que también aportan beneficios múltiples, como la mejora de la calidad del agua, la regulación de la temperatura urbana y la creación de espacios verdes para la población. Además, se enfatiza la necesidad de proteger ecosistemas clave como los pastizales y los bosques ribereños, fundamentales para la regulación hídrica y la adaptación climática. La información generada por este análisis constituye una herramienta esencial para la toma de decisiones informadas, permitiendo una planificación urbana sostenible que garantice la resiliencia de Rivera frente a los desafíos climáticos actuales y futuros. Este enfoque, además, busca ser replicable en otras ciudades del país y la región, promoviendo una respuesta coordinada y escalable al cambio climático.



2. INTRODUCCIÓN

Este documento se realiza en el marco del proyecto Nature4Cities (N4C), implementado por el Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), financiado por el Fondo Verde para el Clima (FVC) y cofinanciado por el programa de la Unión Europea Euroclima+. Este proyecto regional, implementado en Rivera y en otras 12 ciudades de la región, tiene por objetivo reducir la vulnerabilidad y el riesgo al cambio climático de las áreas urbanas a través de Soluciones basadas en la Naturaleza (SbN). En particular en Uruguay las ciudades donde se implementa el programa fueron identificadas a partir de condiciones de vulnerabilidad climática con base en los estudios realizados en el Plan Nacional de Adaptación a la variabilidad y el Cambio Climático en ciudades e Infraestructuras (NAP Ciudades). Para este proyecto la Dirección Nacional de Cambio Climático (DINACC) del Ministerio de Ambiente (MA) es la autoridad nacional designada (NDA) y el Grupo de adaptación en ciudades del Sistema nacional de Respuesta al Cambio Climático (SNRCC) es el ámbito nacional de coordinación.

Para lograr el objetivo del proyecto, es necesario un proceso participativo que permita la co-creación de conocimientos y así facilitar la incorporación de las actoras y los actores en el proceso de diagnóstico de los riesgos climáticos, exploración de soluciones y selección de las SbN a implementar, dentro de otras actividades. De esta manera, se puede apoyar la toma de decisiones en las ciudades a través de la integración de la vulnerabilidad y riesgos en la planificación urbana para asegurar el escalonamiento de las SbN y sus múltiples co-beneficios vinculados al buen uso de los ecosistemas urbanos y periurbanos.

El principal objetivo que se busca con este tipo de evaluaciones es el de disponer de información útil para la exploración e identificación de las SbN, el conocimiento de las escalas y niveles de decisión implicados y como insumo para el intercambio y validación de la definición, implementación e integración de SbN en el contexto de la ciudad. No se trata de realizar nuevos diagnósticos, sino más bien poner a disposición de todas las personas e instituciones involucradas la información existente y aquella que es necesaria para la integración de la vulnerabilidad y los riesgos climáticos en el ordenamiento territorial y la toma de decisiones.

Esta evaluación está dirigida principalmente a personal técnico, asesores y consultores de los gobiernos nacionales y subnacionales y otros actores clave a nivel de la ciudad tanto del sector público, la sociedad civil y el sector privado. Al mismo tiempo, los métodos y hallazgos de la evaluación tratan de integrar y asegurar sinergias con otras iniciativas existentes en las ciudades. Además, a nivel local y nacional, los gobiernos e instituciones, se pueden beneficiar para mejorar y crear capacidad e integrar las metodologías y hallazgos para su replicación y escalamiento a otras ciudades.

3. OBJETIVO

Tomando como referencia los enfoques planteados por el Proyecto Nature4Cities, así como los lineamientos de la gestión de cambio climático en Uruguay, y las necesidades y capacidades locales, se plantean los siguientes objetivos generales para el análisis de vulnerabilidad y riesgo climáticos, en el marco de un proceso de consulta con los actores del grupo de trabajo de esta iniciativa:

- Identificar información que aporte al conocimiento sobre la vulnerabilidad y el riesgo de cambio climático en Rivera, mediante una articulación nacional y local, y generar criterios para las capacidades institucionales y los procesos de planificación territorial.
- Identificar los puntos o áreas que destacan por su alto nivel de riesgo dada su exposición y su sensibilidad socioeconómica ante las amenazas hidrológicas que se manifiestan como eventos dañinos exacerbados por el efecto del cambio climático, señalando las áreas, los grupos de población e infraestructuras críticas que implican la necesidad de acciones de SbN.

Más concretamente, con este análisis se pretende:

- Conocer las amenazas hidrológicas actuales y futuras que impactan en los sistemas de interés considerados por el proyecto (población, viviendas e infraestructuras críticas) como resultado del análisis del clima del pasado, actual y futuro (proyecciones de cambio climático).
- Identificar y evaluar cuándo y dónde ocurren los impactos de la variabilidad climática y el cambio climático.
- Identificar áreas, grupos sociales e infraestructuras vulnerables a los impactos climáticos y las causas de su vulnerabilidad.
- Conocer las principales medidas y acciones estructurales y no estructurales llevadas a cabo en la ciudad con el objetivo de adaptarse a los impactos climáticos.
- Conocer cuáles son los mecanismos generadores de riesgo a través de la visualización de la cadena de impactos para cada riesgo considerado.
- Obtener una cartografía de riesgos (mapas de amenaza, de vulnerabilidad y de riesgos) que permitan obtener una comprensión de la situación de riesgo climático actual y futuro de forma rápida y sencilla.

4. ÁREA DE ESTUDIO

Rivera es la ciudad capital del Departamento homónimo, ubicado en el norte de Uruguay. Se localiza en la cabecera de la cuenca del río Tacuarembó (16,273 Km²), más concretamente en la subcuenca 51 de nivel 2 y en la subcuenca 517 nivel 3, río Tacuarembó entre Ao. Cuñapirú y Ao. Buena Orden (3,564.6 km²).

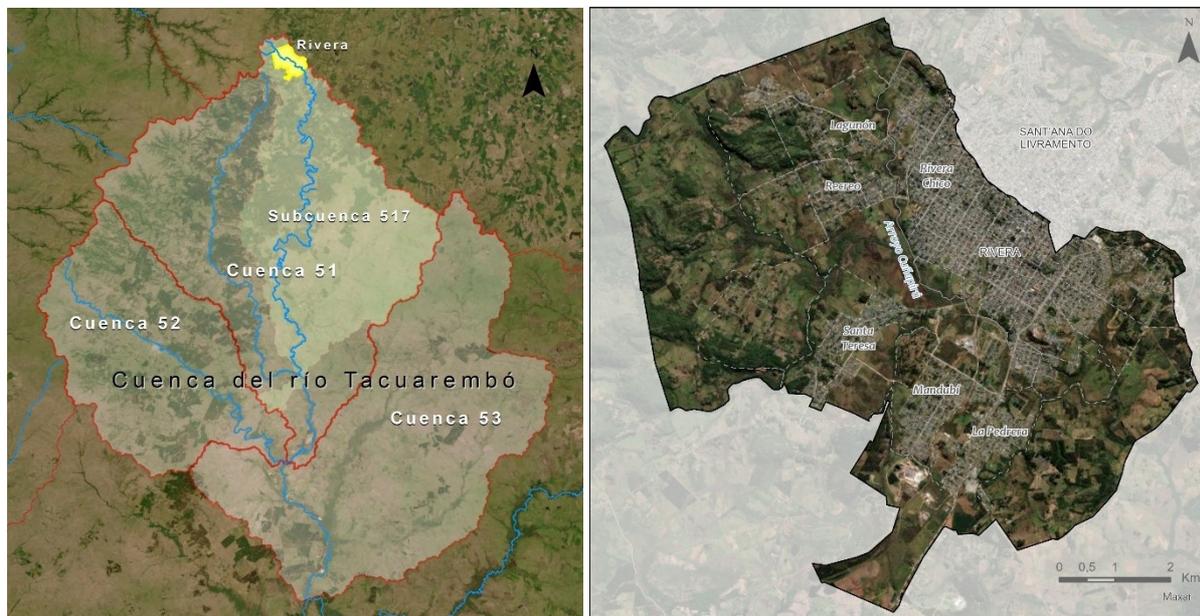


Figura 1. Localización del área de estudio y lugar de celebración de los talleres, la ciudad de Rivera. A la izquierda se puede apreciar su localización de cabecera dentro de la Cuenca del río Tacuarembó. A la derecha, el área de estudio cuyos límites son los del Ámbito de aplicación del Plan Local en el que se circunscribe el análisis realizado.

La ciudad de Rivera presenta una temperatura media anual que oscila entre los 18 y los 18.5 °C creciendo de S a N, mientras que la pluviosidad crece en dirección SO-NE, desde unos 1500 mm a 1600 mm. La velocidad media del viento oscila entre 4 y 3.5 m/s y la insolación acumulada media es 2500 horas. La ciudad de Rivera presenta una temperatura media anual de 18.2 °C y una precipitación media de 1484 mm.

La cuenca vertiente a la ciudad de Rivera, la cuenca del arroyo Cuñapirú, contiene ecosistemas naturales fundamentales, de campo natural y bosques nativos, que desempeñan un rol crucial en la regulación hidrológica de la región. Los pastizales son particularmente importantes debido a su capacidad de infiltración de agua superior otros tipos de cobertura. Esta infiltración contribuye a reducir la pérdida de agua retenida, mitigando tanto la sequía como las inundaciones. Por otro lado, el bosque ripario también juega un papel vital en la regulación de caudales reduciendo los caudales máximos y demorando el pico de agua antes de llegar a las áreas urbanas, lo que disminuye considerablemente el riesgo de inundaciones. Este efecto amortiguador protege a las comunidades urbanas de las crecidas repentinas, aportando un servicio ecosistémico esencial.

En cuanto a los riesgos presentes en el área de estudio, el Monitor Integral de Riesgos y Afectaciones (MIRA), sistema central de información creado por el Sistema Nacional de Emergencias (SINAE) cuyo principal objetivo es apoyar la toma de decisiones en la gestión integral de riesgos, permitiendo registrar información referente a eventos, desde 2005 registra los datos que se visualizan en la Figura

2 para el Departamento de Rivera. Ente los eventos registrados figuran **tormentas, vientos fuertes inundaciones, lluvias intensas e incendios.**

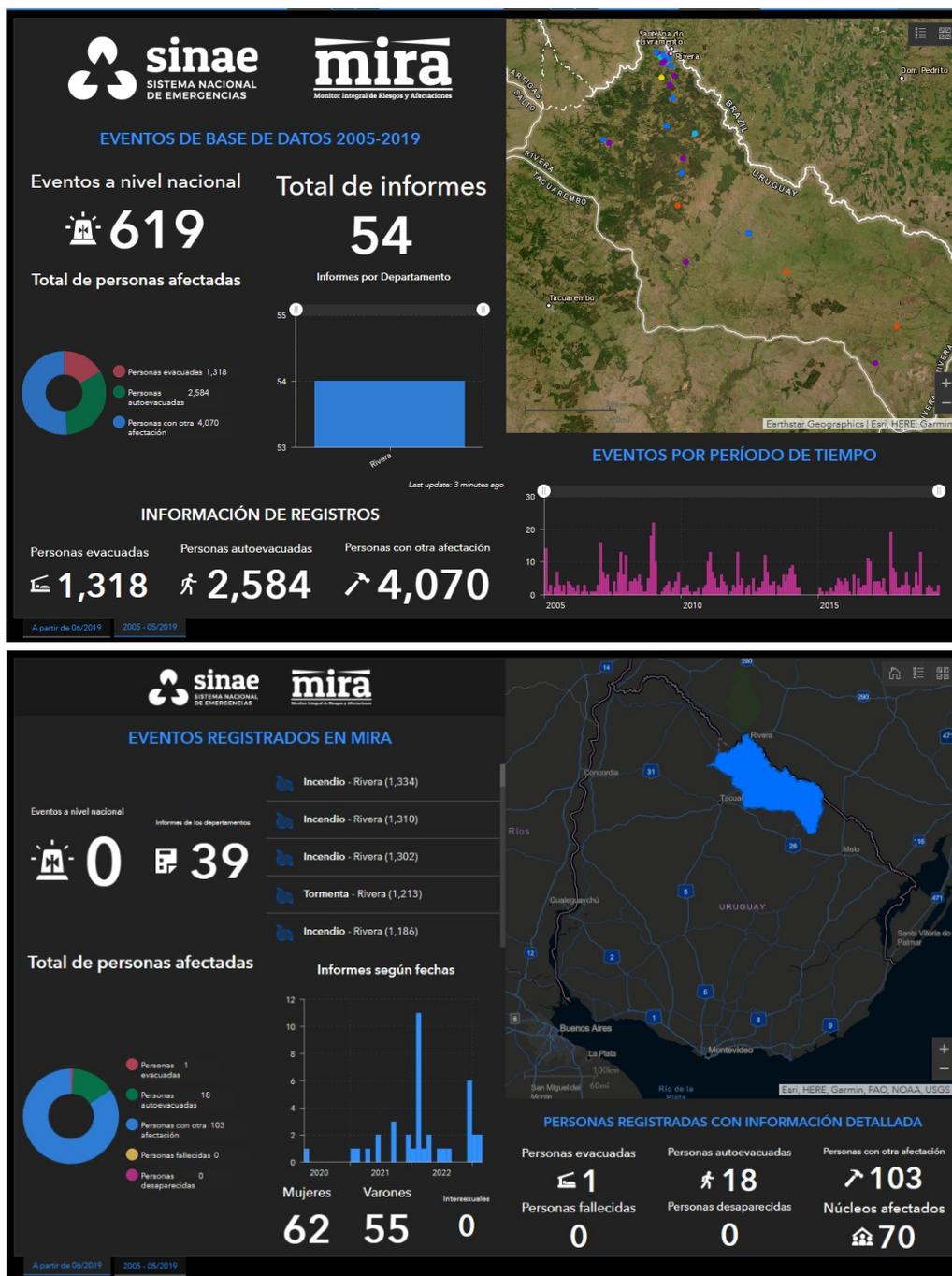


Figura 2. Información referente a eventos del Monitor Integral de Riesgos y Afecaciones (MIRA) para el Departamento de Rivera. Fuente: SINAЕ (2024).

En el marco del proyecto Nature4Cities, se evalúan los riesgos consensuados en las fases iniciales del proyecto con PNUMA y la DINACC del Ministerio de Ambiente, como la autoridad nacional designada, en el área de estudio: escasez de recursos hídricos, inundación, y olas de calor y frío.

5. METODOLOGÍA DE ANÁLISIS DEL RIESGO

Para recopilar los datos necesarios para la realización del análisis de vulnerabilidad, se ha usado un enfoque que combina tanto métodos cuantitativos, incluyendo modelos y escenarios climáticos, cartografía y sistemas de información geográfica, como enfoques socio-geográficos, complementados con consultas a la comunidad a través de los grupos de actores clave y de entrevistas al personal e instituciones del gobierno local.

La evaluación del riesgo frente al cambio climático se ha realizado con el enfoque propuesto por el Grupo Intergubernamental de Cambio Climático en su quinto informe de evaluación (IPCC, 2014), contemplando el riesgo como el resultado de la interacción de la amenaza, la exposición y la vulnerabilidad (Figura 3).

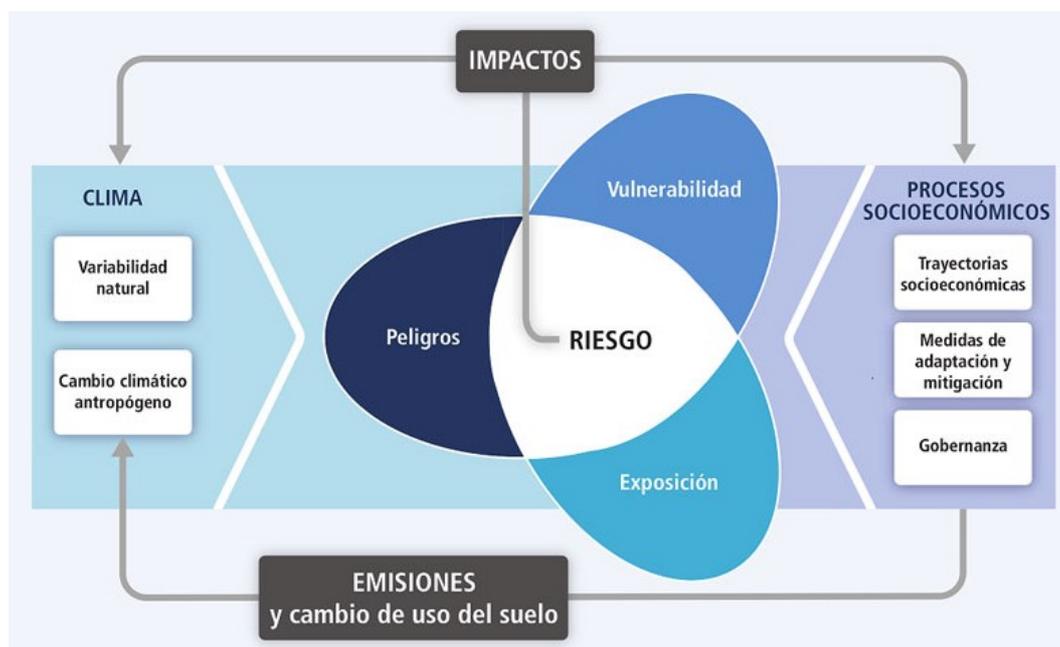


Figura 3. Esquema conceptual del Quinto Informe de Evaluación - IE5 del IPCC. Fuente: IPCC, 2014.

Este estudio aborda el concepto del riesgo desde una perspectiva integral, y lo concibe como la confluencia espacial y temporal de eventos peligrosos actuando sobre infraestructura y personas expuestas en condiciones de vulnerabilidad.

Ello implica que no basta solamente con la ocurrencia de un evento peligroso o dañino para hablar de riesgos, sino que debe incluir, además, el análisis de infraestructura y población expuesta y que la misma presente condiciones de vulnerabilidad.

Definición de Riesgo

El IPCC define el riesgo como el potencial de consecuencias adversas sobre la vida, la salud, los medios de subsistencia, los activos económicos, sociales y culturales, los servicios ambientales y los sistemas naturales debido a eventos peligrosos (incluidos aquellos relacionados con el clima) o tendencias de cambio. El riesgo se evalúa en función de tres componentes clave: peligro, exposición y vulnerabilidad.

Componentes del Riesgo

- Peligro/Amenaza: Se refiere a la posible ocurrencia de eventos físicos, como fenómenos meteorológicos extremos, incremento del nivel del mar, o cambios de temperatura y precipitación. Los peligros pueden ser naturales o inducidos por la actividad humana.
- Exposición: Involucra la presencia de personas, medios de vida, especies o ecosistemas, servicios ambientales, recursos, infraestructura o bienes económicos, sociales o culturales en lugares que podrían verse afectados negativamente por los peligros climáticos.
- Vulnerabilidad: Se refiere a la propensión o predisposición de los sistemas expuestos a sufrir daños. La vulnerabilidad depende de factores sociales, económicos, ambientales e institucionales, que pueden incrementar o disminuir la susceptibilidad al daño. A su vez, la vulnerabilidad tiene dos componentes, la sensibilidad (factores intrínsecos del sistema de interés que afectan la forma de enfrentar el impacto de una amenaza) y la capacidad de adaptación (habilidad de la sociedad).

Los cambios en el sistema climático (variabilidad natural y cambio climático antropogénico) y las trayectorias socioeconómicas, la adaptación y mitigación y la gobernanza, son impulsores de amenazas, exposición y vulnerabilidad.

El IPCC también enfatiza la importancia de abordar la equidad, la justicia social y la sostenibilidad en la evaluación y gestión del riesgo climático. Esto incluye reconocer las disparidades en la vulnerabilidad y la capacidad de adaptación entre diferentes regiones, comunidades y grupos socioeconómicos.

6. DATOS DE PARTIDA

6.1. Modelo digital del terreno

En el presente estudio, se cuenta con Modelo Digital de Terreno Hidrológicamente Consistente (MDTHC) de 2.5 m de tamaño de píxel, con una precisión vertical de 1.5 m y horizontal de 1.0 m (Figura 4), producto de la adquisición de Imágenes Digitales de Cobertura Nacional, considerado consistente cuando representa adecuadamente el relieve permitiendo una correcta simulación de los procesos hidrológicos ocurrentes en esa área, de la infraestructura de Infraestructura de Datos Espaciales de Uruguay (IDEUy).

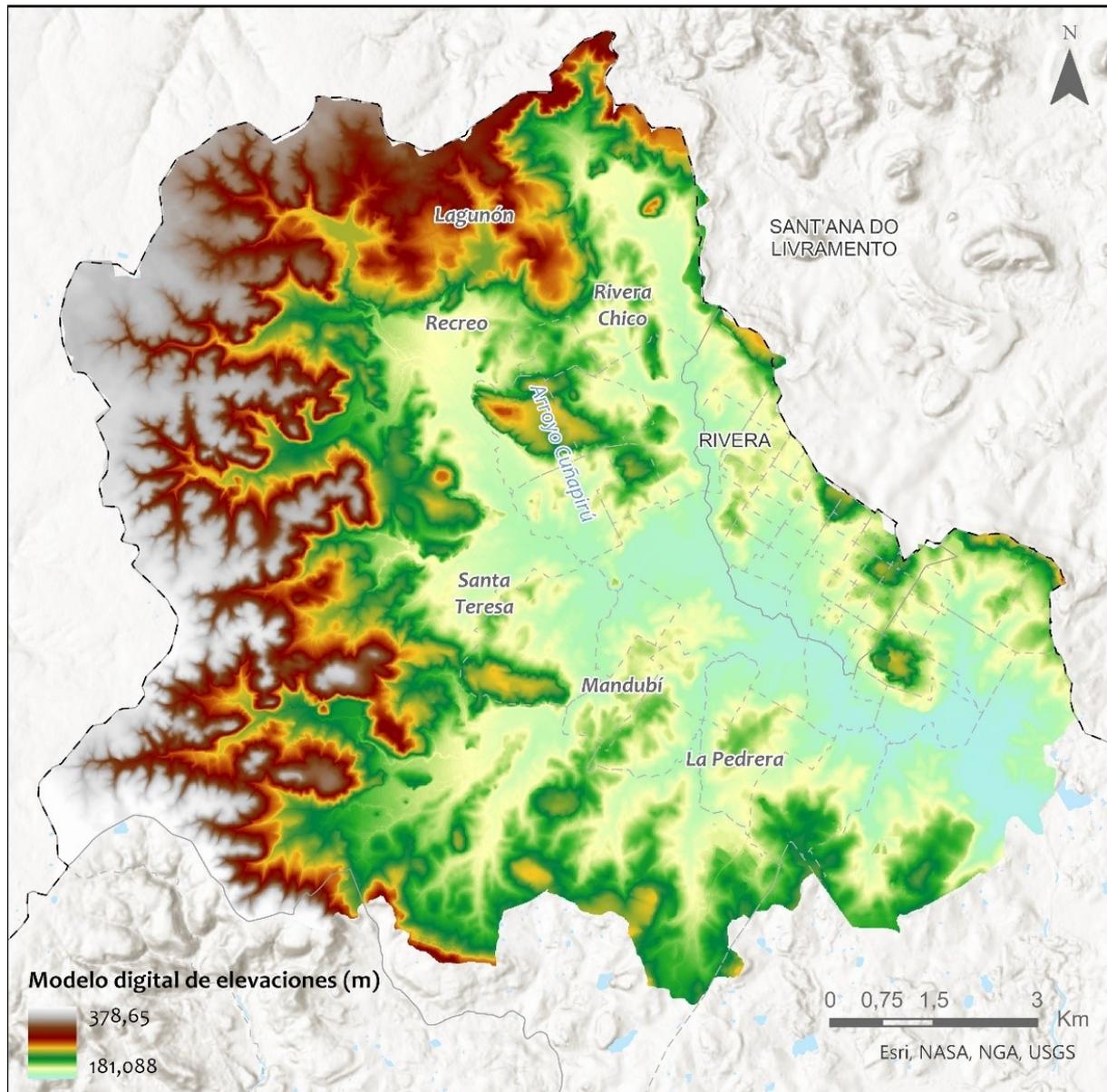


Figura 4. Modelo digital de elevaciones hidrológicamente consistente (MDTHC) para la cuenca drenante de Rivera. Fuente: IDEUy, 2019.

6.2. Cobertura y usos del suelo

Como capas de cobertura y usos del suelo se utilizó la información procedente del Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca (MGAP) del año 2021 para la cobertura de bosque nativo y del Observatorio Ambiental Nacional (OAN) del año 2021 referentes al resto de las coberturas (Figura 5).

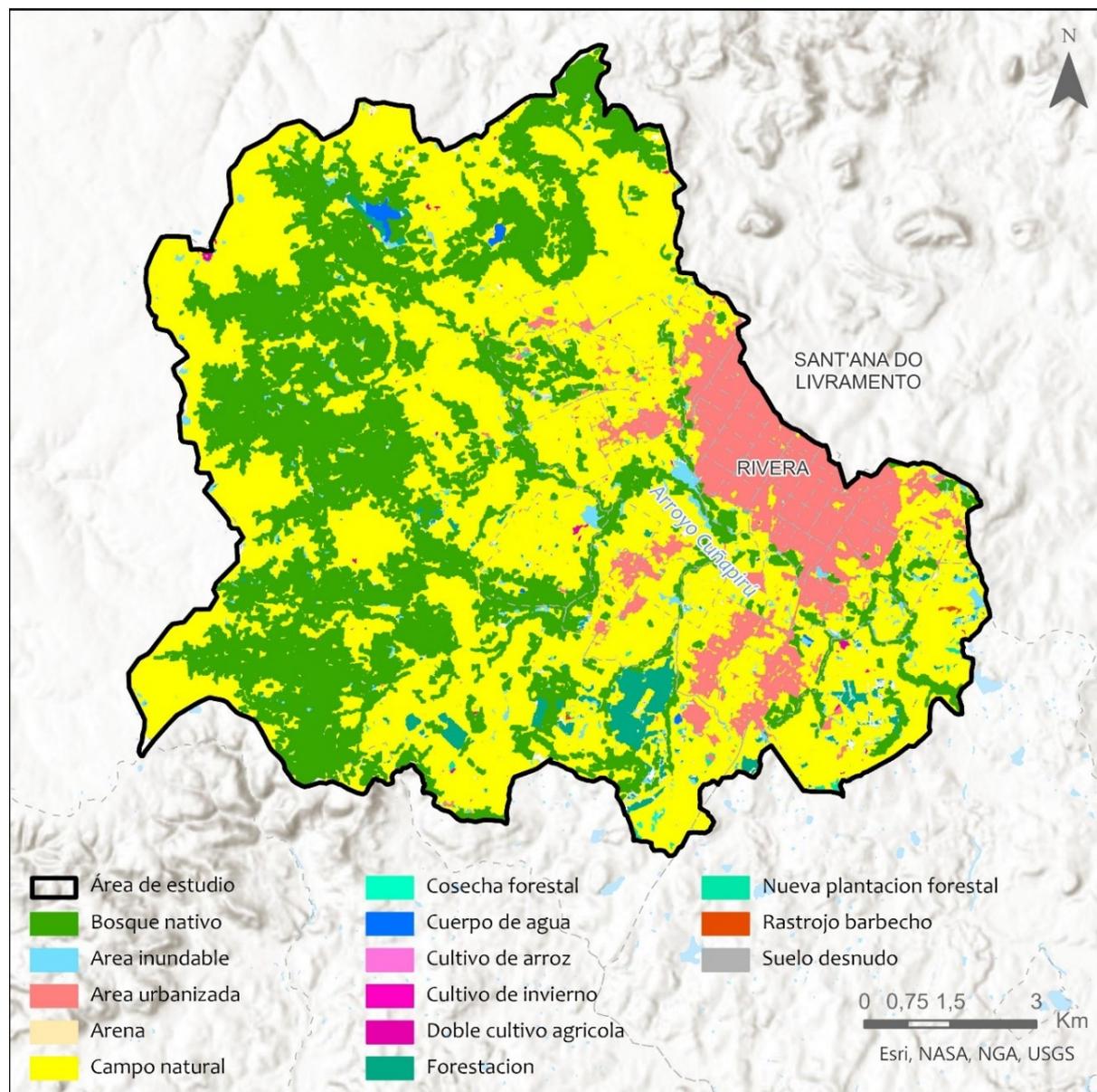


Figura 5. Mapa de usos y coberturas del suelo para la cuenca drenante de Rivera. Fuente: MGAP y OAN, 2021.

6.3. Información climática y escenarios de cambio climático

6.3.1. Clima actual

Para análisis planteado se cuenta con información diaria de precipitación, y temperaturas media, máxima y mínima, proporcionada por INUMET, en la estación meteorológica de Rivera (EM Rivera) en el periodo comprendido entre 1994 y 2024 (Figura 6 y Figura 7).

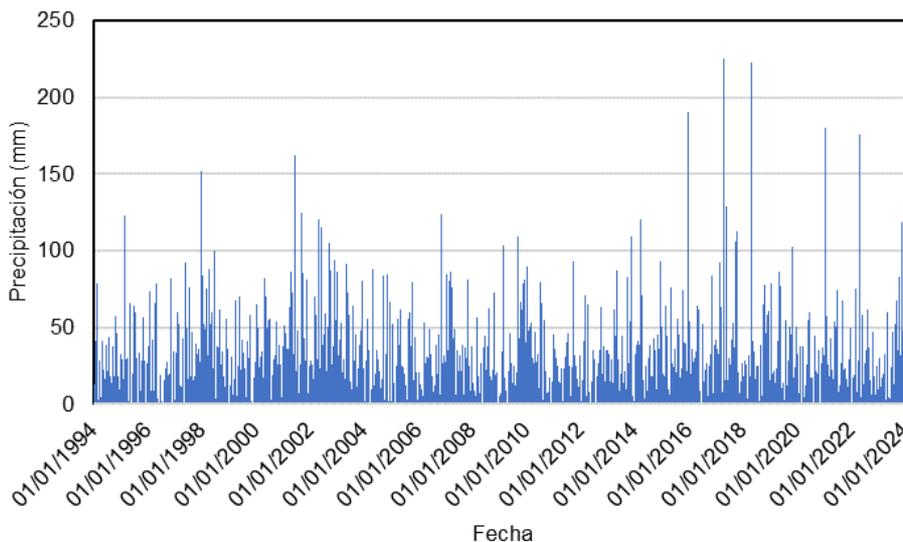


Figura 6. Precipitación diaria en la estación EM Rivera (1994-2024). Fuente: INUMET, 2024.

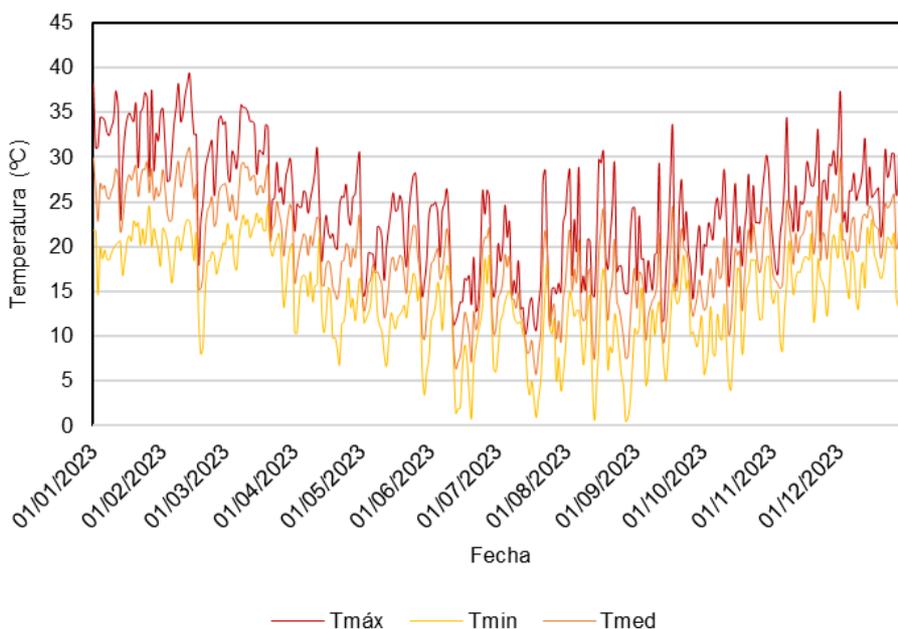


Figura 7. Temperatura media, máxima y mínima diaria en la estación EM Rivera en el 2023. Fuente: INUMET, 2024.

6.3.2. Proyecciones climáticas

En el presente estudio se analizan, además del clima actual, dos escenarios climáticos futuros en el horizonte 2030, en el que se considera la influencia del cambio climático en dos trayectorias socioeconómicas y de emisiones distintas: SSP2-4.5 y SSP5-8.5.

La obtención de las variaciones en la precipitación y temperaturas en los escenarios con cambio climático se realiza con base en los resultados recogidos en el informe Proyecciones climáticas con reducción de escala sobre Uruguay (Barreiro, et al., 2020) del Plan Nacional de Adaptación Costera de Uruguay (NAP Costas) facilitado por la Dirección Nacional de Cambio Climático (DINACC). A partir de este informe se ha generado la siguiente tabla (Tabla 1) que presenta los cambios en la precipitación

y temperatura medias para cada estación (DEF, MAM, JJA y SON) en el entorno de la ciudad de Rivera.

Variable	Estación	Horizonte	Variación	
			SSP2-4.5	SSP5-8.5
Precipitación (mm)	DEF	2030 (2020-2044)	+20	0
	MAM		+40	+40
	JJA		+10	0
	SON		+20	0
	Anual		+90	+40
Temperatura (°C)	DEF		+0.8	+1.1
	MAM		+1.1	+1.3
	JJA		+0.8	+1.1
	SON		+0.9	+1.2
	Anual		+0.9	+1.2

Tabla 1. Cambios en la precipitación y temperatura para el horizonte 2030. Fuente: IHCantabria, 2024, con información de (Barreiro, et al., 2020).

Al no disponer de las series temporales de las variables climáticas proyectadas generadas para el estudio, los cambios en la precipitación y temperaturas medias se han obtenido de las figuras del informe del NAP Costas (p. ej. Figura 8 y Figura 9), tomando el valor en el que se ubican aproximadamente la cuenca vertientes al área de estudio.

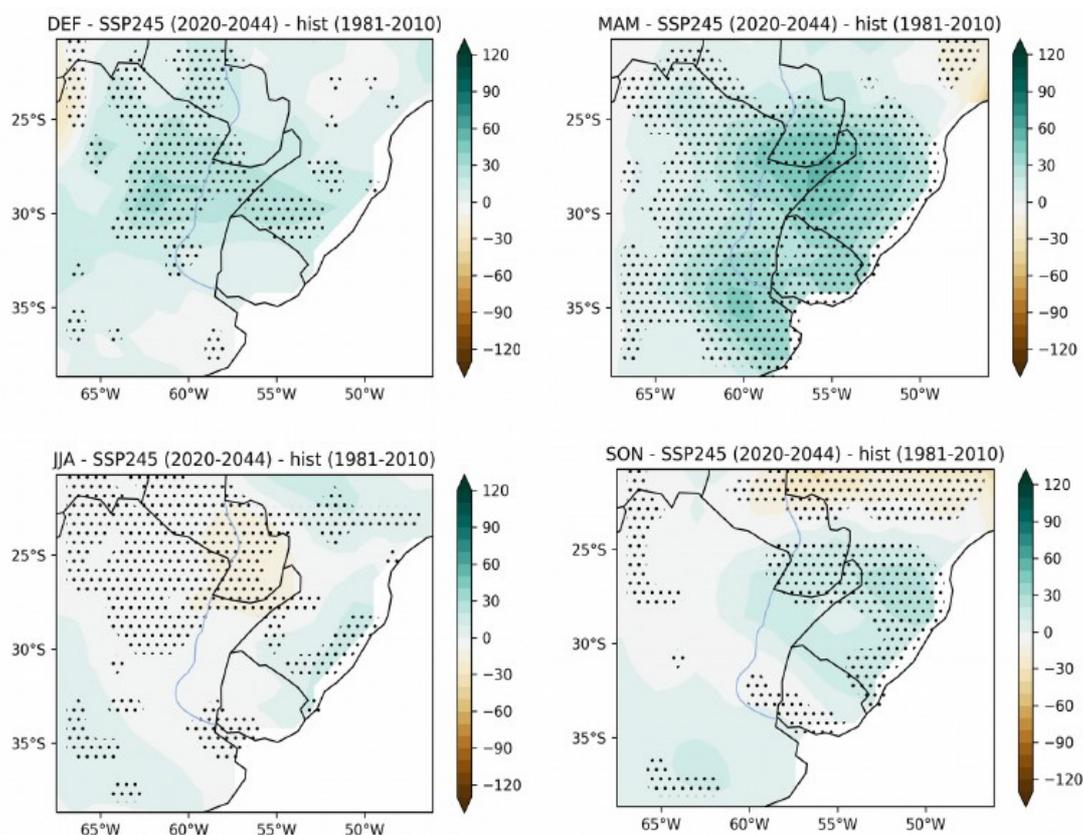


Figura 8. Cambios proyectados en las precipitaciones para el horizonte cercano bajo escenario SSP245. Promedio de los 10 modelos corregidos. Fuente: (Barreiro, et al., 2020).

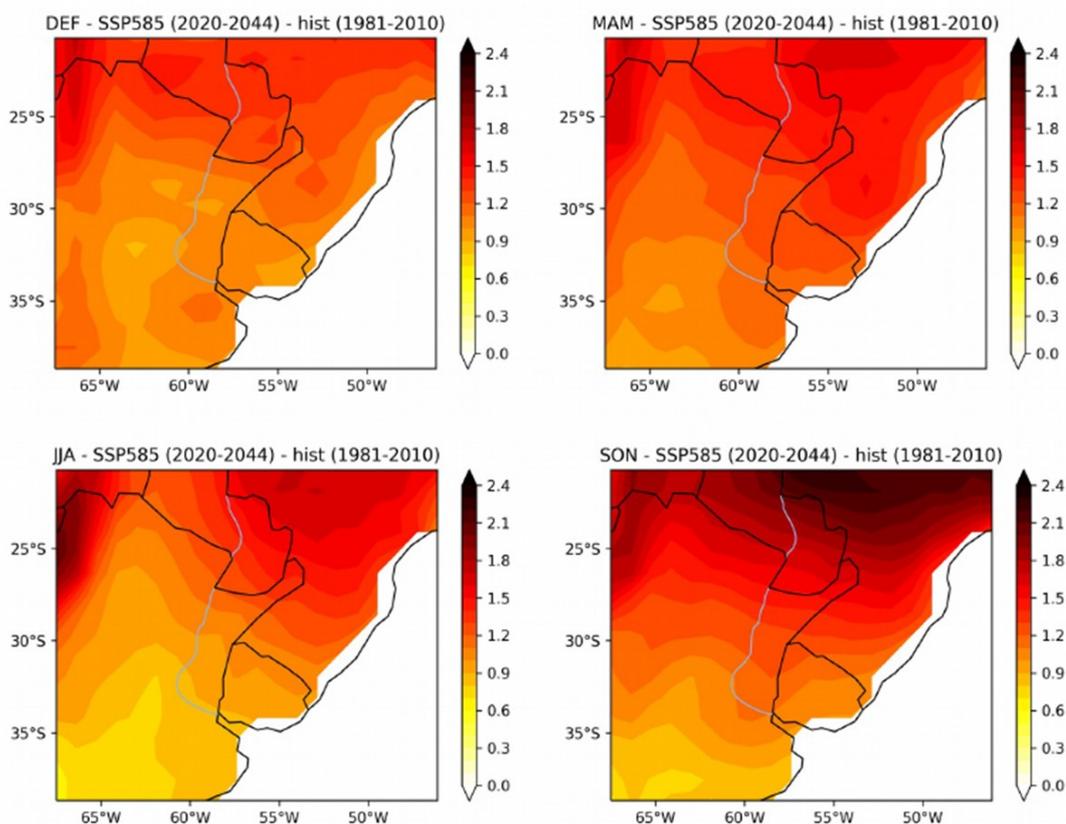


Figura 9. Cambios proyectados en la temperatura para el horizonte cercano bajo escenario SSP585. Promedio de los 10 modelos corregidos. Fuente: (Barreiro, et al., 2020).

6.4. Datos socioeconómicos e información urbanística

Los riesgos resultan de la combinación de una amenaza y un receptor, cuyas características de vulnerabilidad determinan la generación de daños. Por ello, es importante caracterizar los principales atributos de los elementos expuestos a un determinado riesgo, para evaluar su vulnerabilidad. Existe una gran variedad de atributos que configuran la vulnerabilidad en sentido amplio, algunos de los cuales pueden cuantificarse, mientras que otros no (por ejemplo, los relacionados con aspectos psicológicos, sociales y culturales). Este análisis se centrará en un enfoque cuantitativo de los factores de vulnerabilidad. A continuación, se resumen las principales fuentes de información recopilada:

1. Padrón urbano de la Dirección Nacional del Catastro (DNC), del que se obtiene información sobre usos de las construcciones declaradas (vivienda, comercial, centro de enseñanza, centro de salud, etc.) y categorías de construcción a nivel de parcela.
2. Infraestructuras públicas extraídas de las siguientes fuentes: la Administración Nacional de Educación Pública (ANEP), Administración de los Servicios de Salud del Estado (ASSE), Dirección Nacional de Aguas (DINAGUA), Infraestructuras de Datos Espaciales del Uruguay (IDEUy), e Intendencia Departamental de Rivera.
3. Censo de población, hogares y vivienda de Uruguay (2011).
4. Delimitación de asentamientos irregulares del Programa de Mejoramiento de Barrios (PMB, 2018) suministrado por la Dirección Nacional de Ordenamiento Territorial (DINOT).
5. Base de datos Open Buildings, en la que se incluye la huella de cada edificio.

7. ESTUDIO DE RIESGO POR ESCASEZ DE RECURSOS HÍDRICOS

El objetivo principal del presente estudio es conocer cómo afecta la escasez del recurso hídrico a la población del área de estudio, ámbito del Plan de la Microrregión de Rivera. La escasez representa una situación permanente de déficit en relación con la demanda de agua en un sistema de recursos de ámbito local o regional, caracterizado, bien por un clima árido o bien por un rápido crecimiento de las demandas consuntivas.

El agua que se utiliza en la cuenca del río Tacuarembó, donde se ubica el área de estudio, proviene de fuentes superficiales y de fuentes subterráneas, siendo el Acuífero Guaraní la principal fuente de la ciudad de Rivera. Las principales obras de aprovechamiento de aguas superficiales registradas en la cuenca son los embalses, que incluyen a represas y tajamares, seguidos de tomas y reservorios o tanques. Algunos de los usos que se registran a partir de estas obras son para riego, usos termales, turísticos y recreativos, industriales y para consumo humano.

También se registran aprovechamientos de las aguas subterráneas que se realizan mediante la construcción de pozos atravesando uno o varios sistemas acuíferos o mediante obras de captación de aguas manantiales.

El alcance y la disponibilidad de información para este estudio permite el análisis de la escasez de recursos hídricos superficiales, y la evaluación del riesgo de escasez de recursos hídricos para consumo humano, principal uso del área de estudio y más prioritario.

7.1. Metodología de obtención del riesgo por escasez de recursos hídricos

Para obtener el riesgo de escasez de recursos hídricos se ha seguido una metodología que incluye los siguientes pasos, aplicados de forma secuencial:

- Obtención del régimen natural de caudales del arroyo Cuñapirú en la subcuenca correspondiente al área urbana de Rivera, empleando un modelo hidrológico semidistribuido.
- Obtención del régimen de caudales modificado, considerando los principales usos del agua y embalses en la cuenca. Se consideran caudales de mantenimiento como restricciones a los usos existentes, con una prioridad dada.
- Determinación de la garantía de satisfacción media de los diferentes usos, a partir del modelo anterior. Dicha garantía opera como un nivel de amenaza, dentro del marco conceptual de análisis de riesgos aplicado.
- Obtención de las principales variables de vulnerabilidad relevantes para determinar el riesgo de escasez de recursos hídricos.
- Cálculo del riesgo estandarizado, definido en una escala homogénea de 0 a 1, como combinación de la amenaza y la vulnerabilidad.

Cabe señalar que el procedimiento descrito se basa en procesar series climáticas de las variables relevantes (precipitación, temperaturas y evapotranspiración potencial) a escala mensual y con duración de 30 años, tanto para el clima actual como para las proyecciones de cambio climático futuras (horizonte 2030 SSP245 y SSP585), por lo que el recurso analizado en este estudio es únicamente el superficial. Los resultados son también las series de satisfacción de las demandas a escala mensual,



que posteriormente se postprocesan para obtener sus estadísticos (media, desviación típica y percentiles). Por tanto, el análisis es totalmente probabilista en lo que respecta a la amenaza, si bien los factores de vulnerabilidad, y el riesgo resultante, se expresan de manera determinista.

7.2. Caracterización de la amenaza

Para la caracterización de la amenaza de escasez de recursos hídricos se realiza el análisis hidrológico en régimen natural y posteriormente el balance hídrico a nivel de subcuenca, teniendo en cuenta los usos del agua. La obtención del balance hídrico a nivel de subcuenca es una tarea fundamental para conocer la disponibilidad real de agua a escala de cuenca hidrográfica. Su finalidad es determinar, con los caudales naturales obtenidos tras la aplicación de un modelo hidrológico y las demandas existentes en las diferentes subcuencas, esto es, el agua que se utiliza para cada uso, la garantía de suministro de cada demanda considerada y los caudales intervenidos fluyentes en cada tramo de río.

7.2.1. Modelo hidrológico

Uno de los fenómenos que pueden generar mayores impactos, como consecuencia del cambio climático, es la alteración del régimen de caudales en los ríos. El análisis de recursos hídricos en régimen natural tiene como objetivo cuantificar la variabilidad de los caudales fluyentes en la cuenca alta del río Tacuarembó (zona tributaria de la ciudad de Rivera), tanto en situación actual como bajo distintas proyecciones de cambio climático. Cabe resaltar que el objetivo en este estudio es determinar no sólo los caudales medios, sino su variabilidad a lo largo del año (por meses o estaciones), incluyendo la caracterización de años secos y húmedos.

Para el modelado hidrológico de la cuenca del río Tacuarembó a la altura de Rivera se ha utilizado el modelo *Logistic Equilibrium Model* (LEM, por sus siglas en inglés) desarrollado por IHCantabria.

El cauce principal que atraviesa la ciudad de Rivera es el arroyo Cuñapirú, afluente del río Tacuarembó, que a su vez es parte de la cuenca del río Negro que recubre una gran parte del país. Consiste en una única subcuenca (Figura 10), cuyas características principales se presentan en la Tabla 2. Se trata de un territorio con poca pendiente y relativamente homogéneo; debido a su pequeño tamaño.

ID	Nombre de la subcuenca	Área (km ²)	Altura media (m)	Longitud del cauce (km)	Pendiente
51001	Arroyo Cuñapirú	131,75	378,82	22,59	0,0066

Tabla 2. Características de las subcuencas consideradas. Fuente: IHCantabria, 2024.

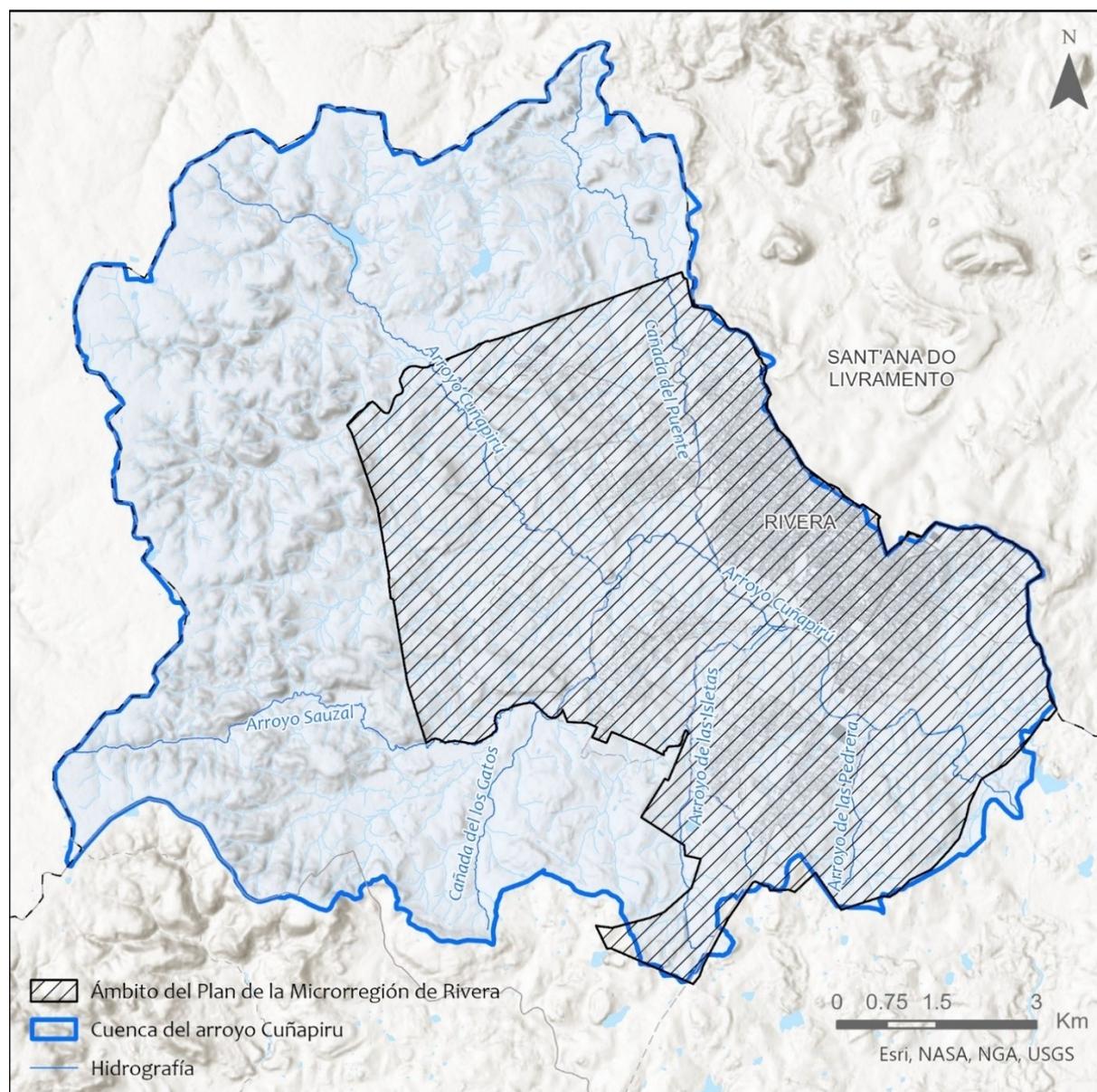


Figura 10. Cuenca del arroyo Cuñapirú. Fuente: IHCantabria, 2024.

El modelo se ha ejecutado con las series de precipitación y temperatura tanto para la situación actual como para los escenarios de cambio climático considerados (SSP245 y SSP585 2030). Con el clima actual, los caudales medianos oscilan entre 4 m³/s en el mes de octubre, y 2 m³/s entre diciembre y marzo. Esto se debe sobre todo a la variación de las temperaturas y a la variabilidad de la lluvia de cada mes (no tanto a su valor medio). Nótese que los extremos tienden a ocurrir en los meses con menor caudal medio. Debido a la homogeneidad de la lluvia, la variación del caudal es baja, con caudales de tiempo «húmedo» (percentil 80%) igual a 3-4 veces el caudal de tiempo «seco» (percentil 20%), como se observa en la Figura 11.

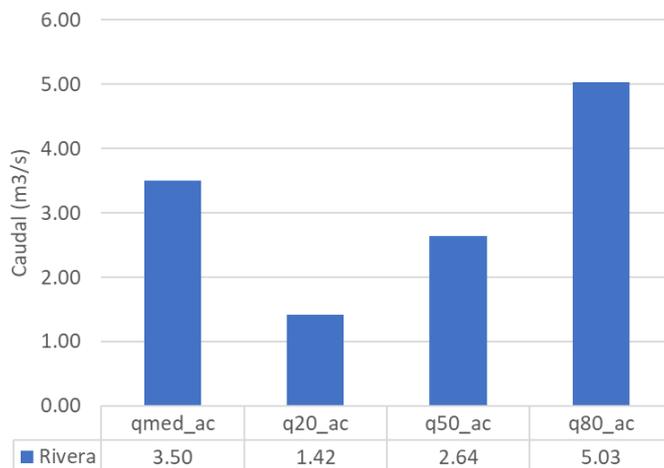


Figura 11. Estadísticos significativos del régimen natural de caudales en Rivera. Fuente: IHCantabria, 2024.

Los resultados por meses se muestran en las Figura 12, Figura 13 y Figura 14 (clima actual y escenarios SSP245, SSP585). En cada rectángulo vertical del diagrama de cajas, la marca central indica la mediana y los bordes inferior y superior del cuadro indican los percentiles 25 y 75, respectivamente. Los bigotes se extienden hasta los puntos de datos más extremos que no se consideran valores atípicos, y los valores atípicos se trazan individualmente utilizando el símbolo marcador 'o'.

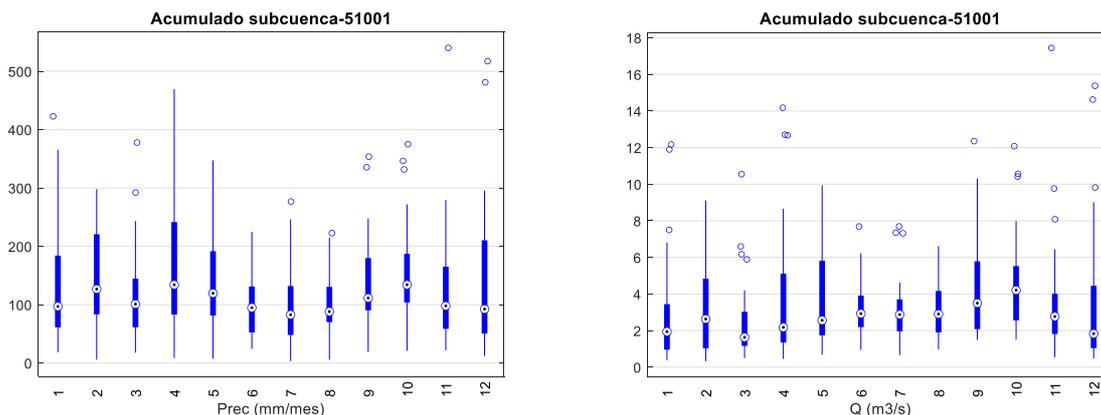


Figura 12. Gráfica de cajas de precipitación (mm/mes) y caudales naturales (m³/s) en Rivera en situación actual. Fuente: IHCantabria, 2024.

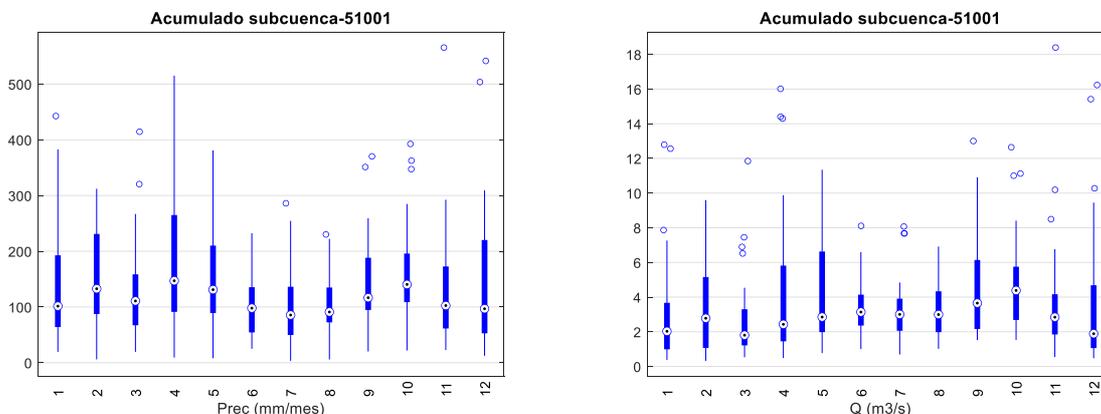


Figura 13. Gráfica de cajas de precipitación (mm/mes) y caudales naturales (m³/s) en Rivera, para el horizonte 2030 SSP245. Fuente: IHCantabria, 2024.

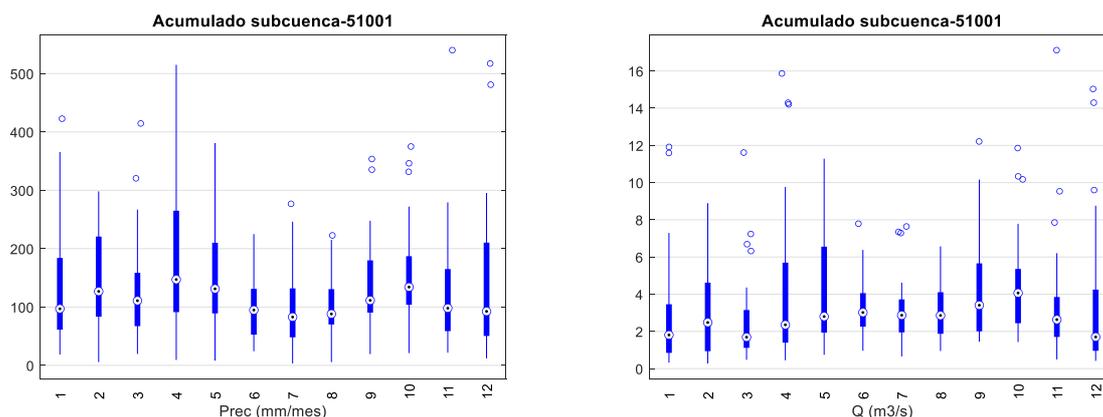


Figura 14. Gráfica de cajas de precipitación (mm/mes) y caudales naturales (m3/s) en Rivera, para el horizonte 2030 SSP585. Fuente: IHCantabria, 2024.

Tal y como se observa en la Figura 15, el escenario SSP245 predice aumentos generales en torno al 5% en todas las variables, mientras que el escenario SSP585 generaría un descenso muy leve de los caudales, debido al aumento de las temperaturas, y por consiguiente de la evapotranspiración potencial. La razón por la que el caudal medio aumente muy levemente (+0.6%) con el cambio climático, mientras que los otros estadísticos disminuyen, se debe a la aportación del régimen extremal.

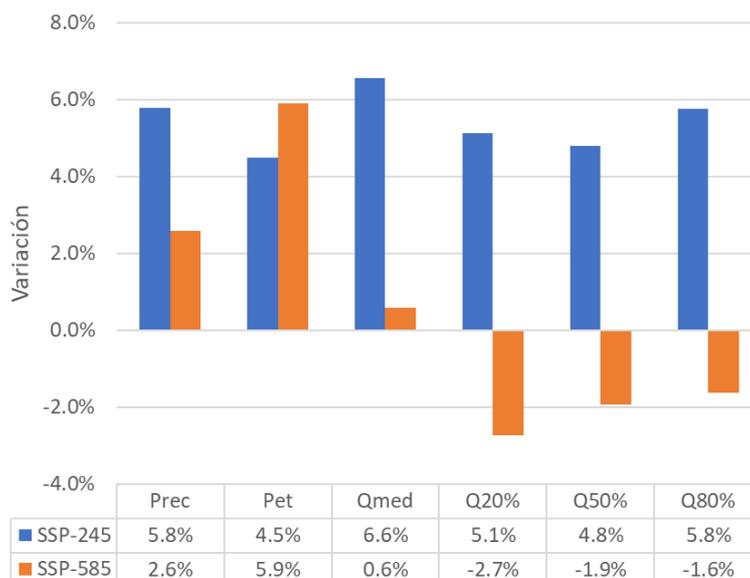


Figura 15. Variaciones de indicadores hidroclimáticos en Rivera bajo dos escenarios de cambio climático. Fuente: IHCantabria, 2024.

7.2.2. Modelo de gestión de usos del agua

El modelo de gestión permite obtener los caudales modificados en cada tramo de río, considerando las demandas y los vertidos generados por ellas. Para ello se parte de los caudales naturales obtenidos tras la aplicación del modelo hidrológico (ver apartado previo) en todos los puntos de demanda existentes en cada subcuenca con su información básica (caudal demandado, tipo de uso, prioridad de uso, subcuenca en la que se capta y subcuenca en la que se vierte) y los embalses existentes caracterizados por su volumen, área, caudal de salida máximo y curva de explotación (Figura 16).

Todas las demandas tienen un orden de prioridad asignado (1, 2, 3, etc.). Estas se van satisfaciendo en orden de prioridad, de manera que una demanda con una prioridad mayor (p.ej. 1) se satisfará antes que una con una prioridad menor (p.ej. 3). En este sentido, nunca una demanda de prioridad menor podrá satisfacerse antes que una demanda de prioridad mayor, aunque esté situada aguas arriba. Las demandas con la misma prioridad se satisfacen de aguas arriba hacia aguas abajo; las demandas con la misma prioridad que captan del mismo tramo se reparten equitativamente el caudal disponible.

Además, el modelo es capaz de tener en cuenta el caudal ecológico en cada tramo de río y la prioridad de uso de este. El caudal ecológico se trata como una demanda ficticia: más concretamente, como una reserva de agua (o restricción de otros usos de menor prioridad) que se capta y devuelve en la misma subcuenca.

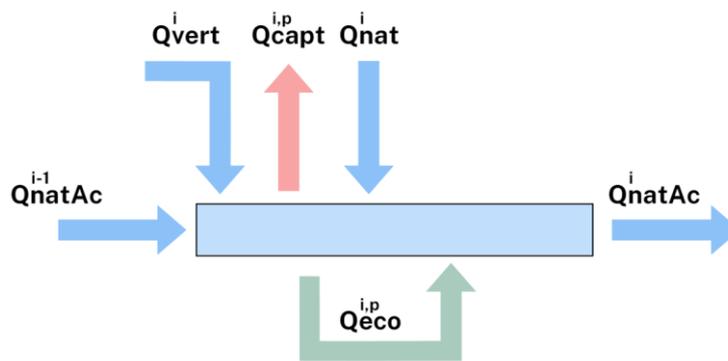


Figura 16. Esquema de funcionamiento del modelo de gestión del agua. Fuente: IHCantabria, 2024.

En la cuenca vertiente a Rivera se han considerado los siguientes tipos de usos, obtenidos del sistema de información de DINAGUA y agregados para las subcuencas establecidas para el análisis (Tabla 3): consumo humano (HUM), uso industrial (IND), riego (RIE), uso agropecuario (AGP), otros usos (OTR) y caudal ecológico.

Uso	Prioridad	Demanda anual (hm ³)
Consumo humano	1	1.274
Industrial	2	0.167
Riego	2	0.010
Uso agropecuario	2	0.021
Otros Usos	2	0.348

Tabla 3. Demandas hídricas consideradas en la cuenca del arroyo Cuñapirú. Fuente: IHCantabria, 2024.

Las necesidades de agua de la población tienen prioridad sobre las demás demandas (1), y se considera el resto de las actividades productivas con una prioridad inferior (2). Para los caudales ecológicos se ha adoptado el criterio del 10% del caudal medio de cada tramo, y se les ha otorgado una prioridad de 1.

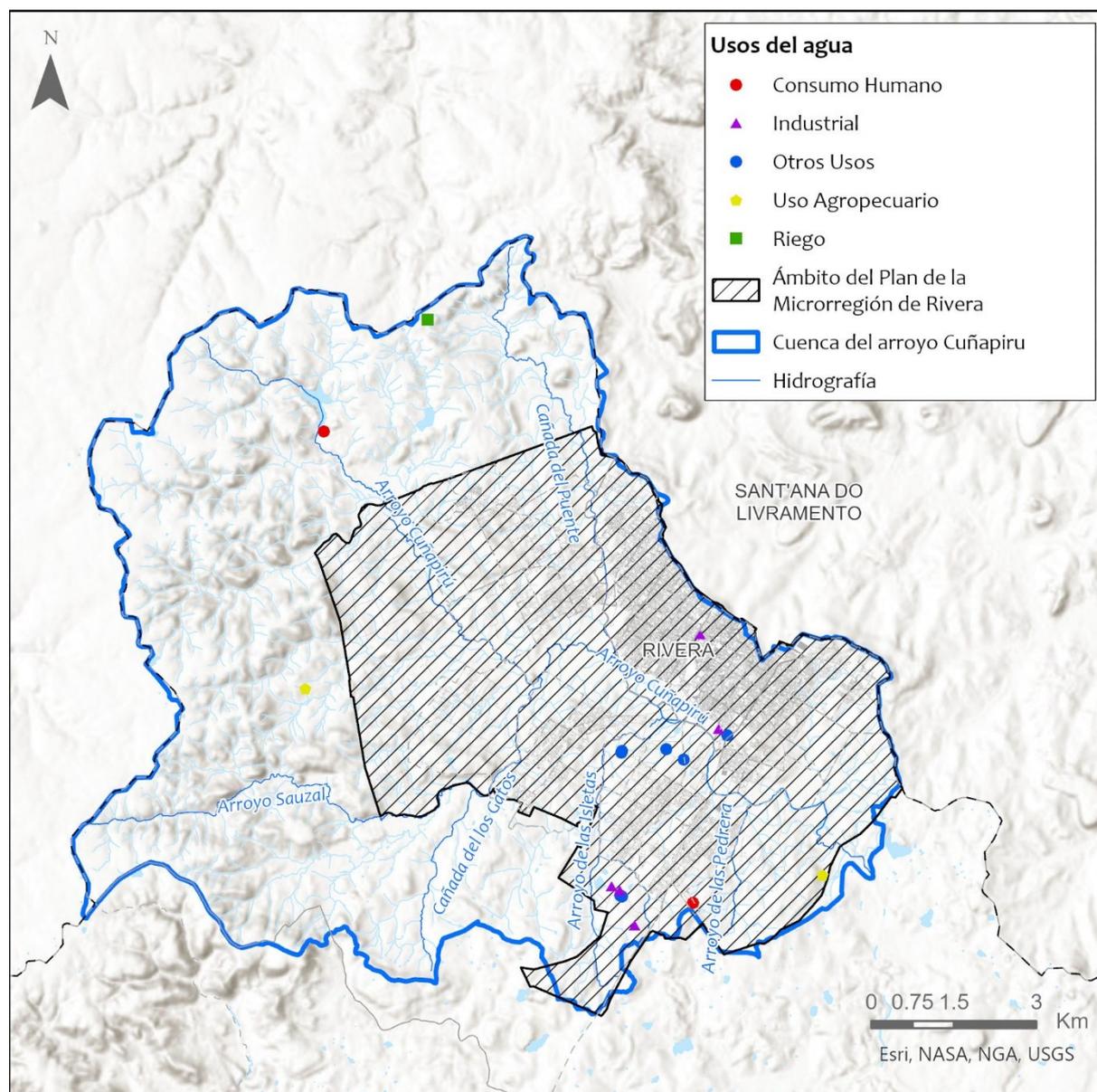


Figura 17. Demandas hídricas consideradas en la cuenca del río Yí. Fuente: IHCantabria, 2024, con información de DINAGUA.

Como resultados principales del balance hídrico a nivel de subcuenca se encuentran:

- Los caudales captados o satisfechos de cada demanda.
- Los caudales modificados en cada tramo de río (o subcuenca).
- Garantía volumétrica de cada demanda.
- Garantías volumétricas de satisfacción de las diferentes demandas a nivel de subcuenca.

Los resultados en Rivera se recogen en la Tabla 4. Las garantías de satisfacción de los diferentes usos en la cuenca son del 100% en el caso de los usos humanos, y muy altas en el resto. Se mantienen así en todos los escenarios. El ligero descenso de la garantía de otros usos se debe a que en 1 o 2 meses (de los 30 años simulados) el caudal fluyente resulta inferior al caudal ecológico, al que se le ha dado una prioridad superior (e igual al abastecimiento humano).

Cuenca	Tipo	Prioridad	Demanda media (m ³ /s)	Garantía en volumen	Garantía en tiempo
51001	HUM	1	0.040	100%	100%
51001	OTR	2	0.017	99.3%	99.2%

Tabla 4. Garantías de satisfacción de las demandas existentes en la subcuenca de Rivera. Fuente: IHCantabria, 2024.

Por lo tanto, la garantía de demanda para uso humano es total, y solo se produce un déficit puntual para otros usos en algunos momentos, debido a las restricciones impuestas por caudal ecológico. En el caso de considerar los escenarios de cambio climático, los resultados varían muy poco con respecto al clima actual (Figura 18). Las garantías de satisfacción de los diferentes usos en la cuenca se mantienen muy altas, y no se ve afectado el uso de abastecimiento urbano. El ligero descenso de la garantía en el resto de los usos se debe al criterio de considerar los caudales ecológicos con la misma prioridad que el abastecimiento humano, pero no se produciría si se les asigna una prioridad inferior.

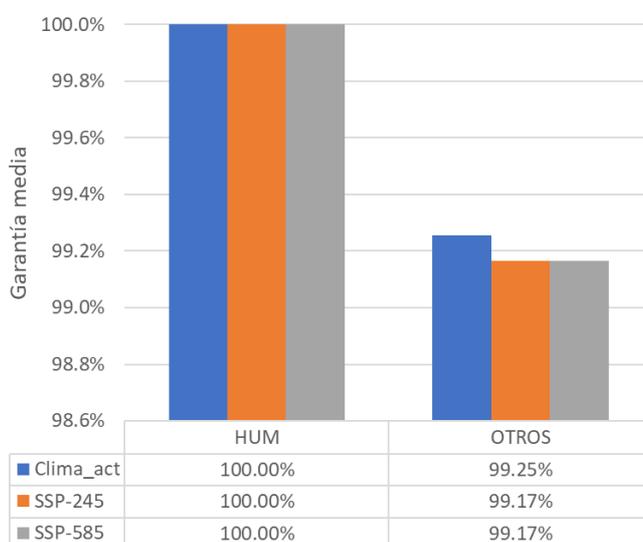


Figura 18. Garantías de satisfacción de los diferentes usos en la subcuenca de Rivera, considerando el clima actual y dos escenarios de cambio climático. Fuente: IHCantabria, 2024.

El indicador de amenaza que se utiliza posteriormente para para el cálculo del riesgo por escasez de recursos hídricos a la población, en combinación con los indicadores de vulnerabilidad que se presentan a continuación, es el déficit hídrico para consumo humano (volumen de la garantía hídrica que no se satisface). En la Tabla 5 se recoge el valor del déficit en el área de estudio en los escenarios climáticos analizados. Como se comenta anteriormente las variaciones en los regímenes de precipitación y temperatura en los escenarios con cambio climático no afectan a la garantía de agua para consumo por lo que el valor del déficit es el mismo en los tres escenarios climáticos analizados.

Escenario	Déficit hídrico
Situación actual	0%
Horizonte 2030 SSP245	0%
Horizonte 2030 SSP585	0%

Tabla 5. Déficit hídrico para consumo humano en la subcuenca del arroyo Cuñapirú para la situación actual y el horizonte 2030 SSP245 y SSP585. Fuente: IHCantabria, 2024.

7.3. Caracterización de la vulnerabilidad

En este apartado se analizan las principales variables de vulnerabilidad relevantes para determinar el riesgo de escasez de recursos hídricos.

En cuanto a los indicadores de vulnerabilidad, se han considerado los siguientes:

- Densidad de población. Las zonas más densas suelen ser más vulnerables al fenómeno.
- Porcentaje de población sensible. La proporción de ancianos y niños es un factor de vulnerabilidad a la escasez de recursos hídricos bien documentado.
- Porcentaje de mujeres. Las mujeres son más vulnerables a la escasez de recursos hídricos por una combinación de factores sociales, económicos y de roles de género.
- Necesidades básicas insatisfechas (NBI). Identifican carencias críticas en una población y caracterizan la pobreza. En este caso, utiliza indicadores directamente relacionados con dos áreas de necesidades básicas de las personas (vivienda y servicios básico), disponibles en los censos de población y vivienda.

Todas estas variables se obtienen con datos del Censo de 2011 de Uruguay del Instituto Nacional de Estadística (INE) a nivel de segmento censal. Para su visualización en los mapas estos valores a nivel segmento censal se han trasladado a una capa de edificaciones residenciales obtenida a partir de parcelario urbano de la Dirección Nacional del Catastro (DNC) y la base de datos global Open Buildings.

7.3.1. Densidad de población

Las zonas densamente pobladas son más vulnerables a la escasez de agua debido a su alta demanda, que sobrecarga las fuentes disponibles y la infraestructura de distribución, provocando pérdidas y un suministro ineficiente. Además, la contaminación de fuentes hídricas por desechos domésticos, industriales y agrícolas reduce la disponibilidad de agua potable, mientras que la competencia entre sectores incrementa los conflictos y dificulta una gestión sostenible.

El crecimiento urbano no planificado agrava el problema al generar asentamientos sin acceso adecuado al agua y saneamiento. Estas áreas suelen depender de fuentes limitadas, lo que las hace más susceptibles a sequías, cortes de suministro y fallos en la infraestructura, impactando gravemente la salud pública y la estabilidad social.

En la Figura 19 se presenta la distribución espacial de la densidad de población a nivel de segmento censal (Censo 2011) en el área de estudio. Se puede observar que las zonas más densamente pobladas se encuentran en el microcentro de la ciudad, sobre todo en el oeste de esta área, mientras que en las áreas periurbanas las cifras son considerablemente menores.

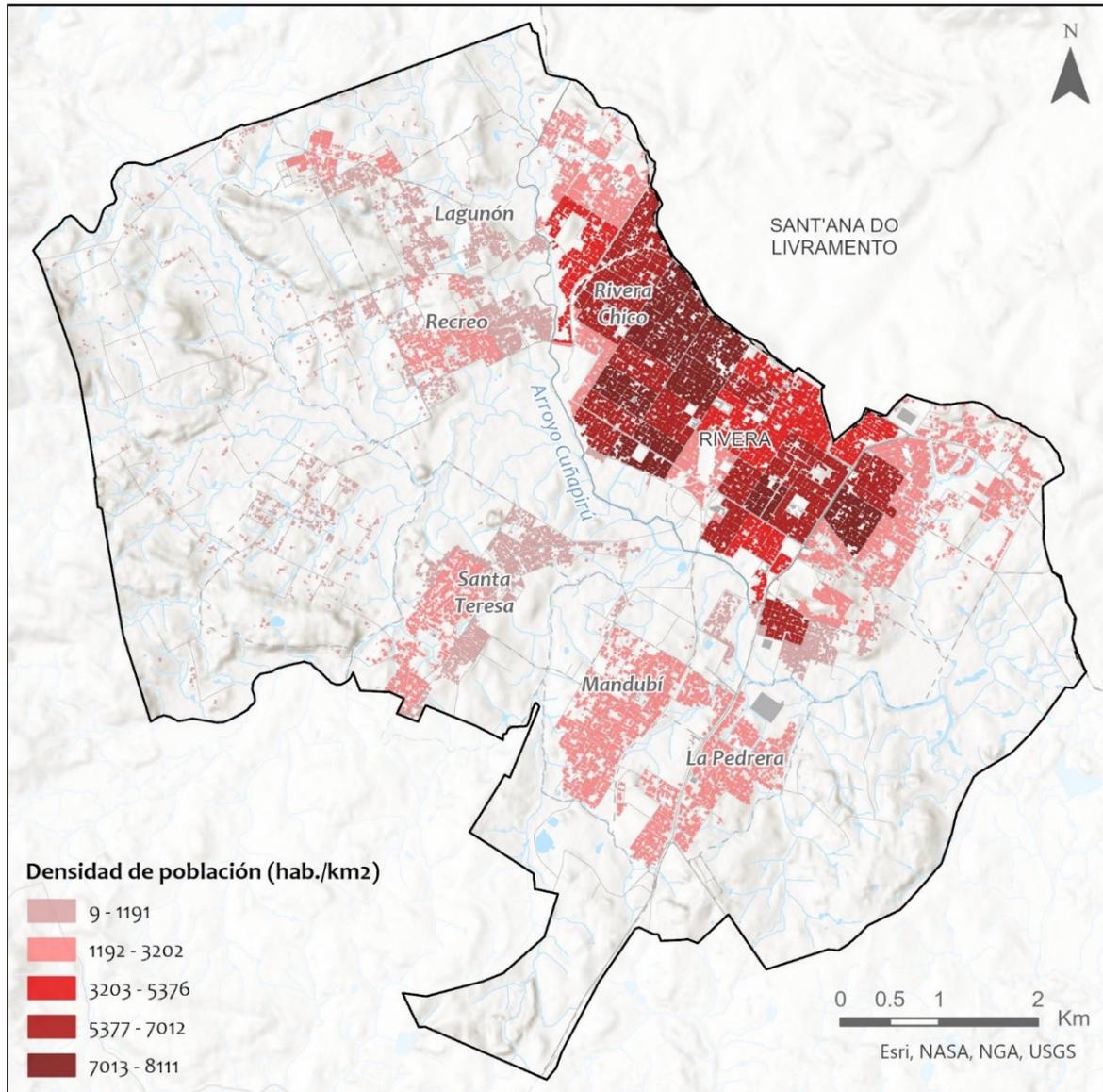


Figura 19. Densidad de población en el área de estudio. Fuente: IHCantabria, 2024, con información del Censo de 2011.

7.3.2. Población sensible

Las zonas con alta población de niños y ancianos son especialmente vulnerables a la escasez de agua debido a su mayor susceptibilidad a enfermedades transmitidas por el agua y su necesidad crítica de hidratación para mantener la salud. Los niños, en etapas de desarrollo, y los ancianos, con sistemas inmunológicos más débiles y menor percepción de la sed, enfrentan mayores riesgos de deshidratación y problemas de salud en estas condiciones.

Además, estas poblaciones dependen de otros para acceder al agua potable, lo que se agrava si los cuidadores también enfrentan dificultades. La escasez de agua afecta la preparación de alimentos, impactando la nutrición de los más vulnerables, mientras que su limitada capacidad para buscar soluciones alternativas o adaptarse a crisis hídricas los expone a consecuencias graves en contextos de sequías o cortes de suministro.

En la Figura 20 se presenta la distribución espacial de la población sensible, entendida como la población menor de 5 años y mayor de 65 años, a nivel de segmento censal (Censo 2011) en el área

de estudio. La zona centro de la ciudad y barrios como La Raca y Bisio concentran el mayor porcentaje de población sensible, sin embargo, en zonas periurbanas como Lagunón, Recreo, Mandubí y La Pedrera el porcentaje es bastante menor.

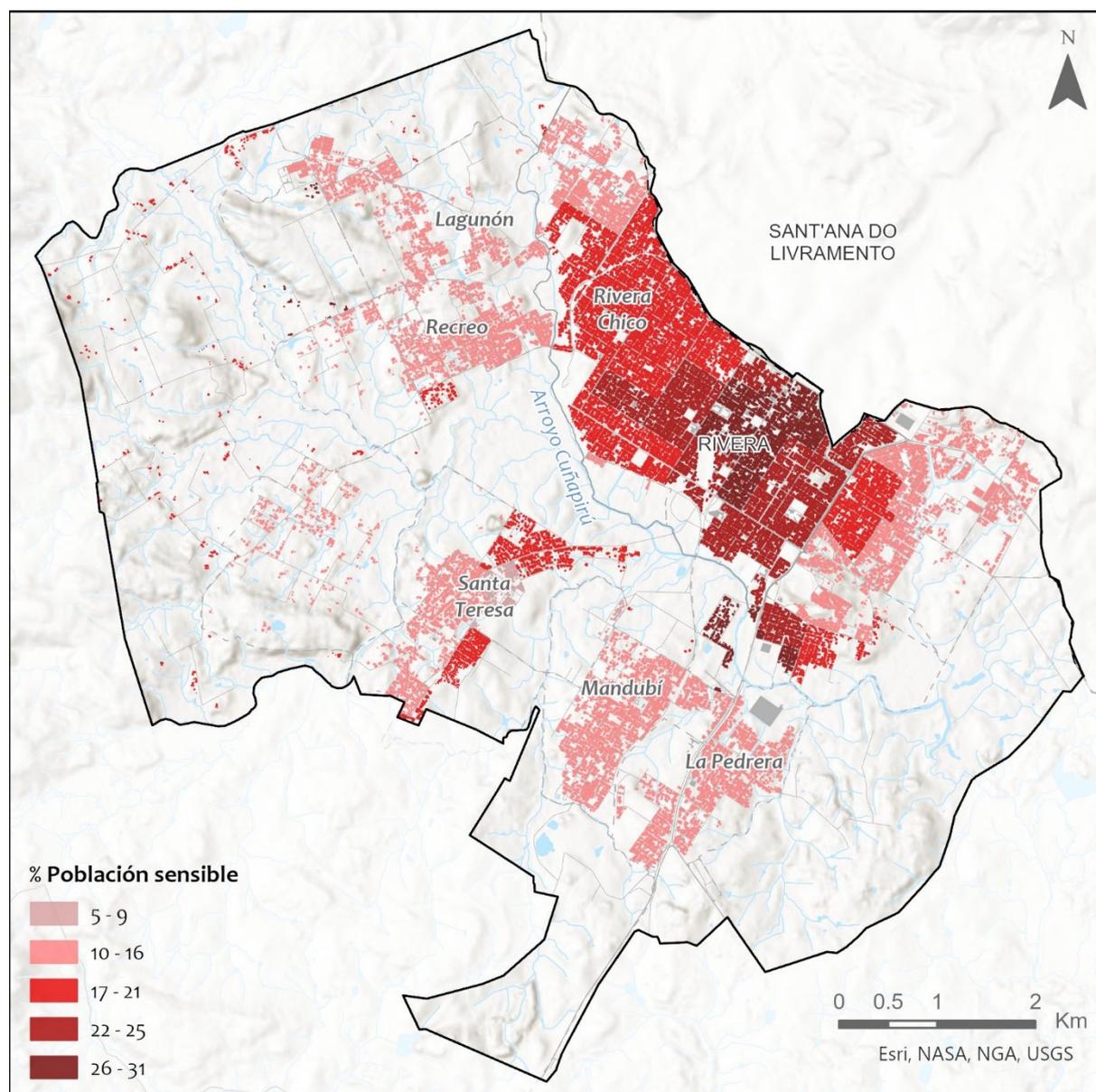


Figura 20. Porcentaje de población sensible en el área de estudio. Fuente: IHCantabria, 2024, con información del Censo de 2011.

7.3.3. Mujeres

La vulnerabilidad de las mujeres frente a la escasez de recursos hídricos está ligada a los roles de género tradicionales, que las hacen responsables de gestión del agua en muchos hogares, exponiéndolas directamente a los efectos de la escasez. Además, necesitan agua adicional para su higiene personal durante la menstruación, el embarazo y la lactancia, lo que aumenta su dependencia de un suministro adecuado.

Su limitada participación en la toma de decisiones sobre la gestión hídrica implica que sus necesidades específicas a menudo no se prioricen. La falta de acceso a agua segura también afecta su capacidad para generar ingresos, particularmente en actividades productivas como la agricultura o pequeños negocios, lo que incrementa su vulnerabilidad económica.

En la Figura 21 se presenta la distribución espacial del porcentaje de mujeres a nivel de segmento censal (Censo 2011) en el área de estudio. A pesar de que no hay grandes variaciones en los valores, el mayor porcentaje de mujeres se encuentra en el microcentro de la ciudad.

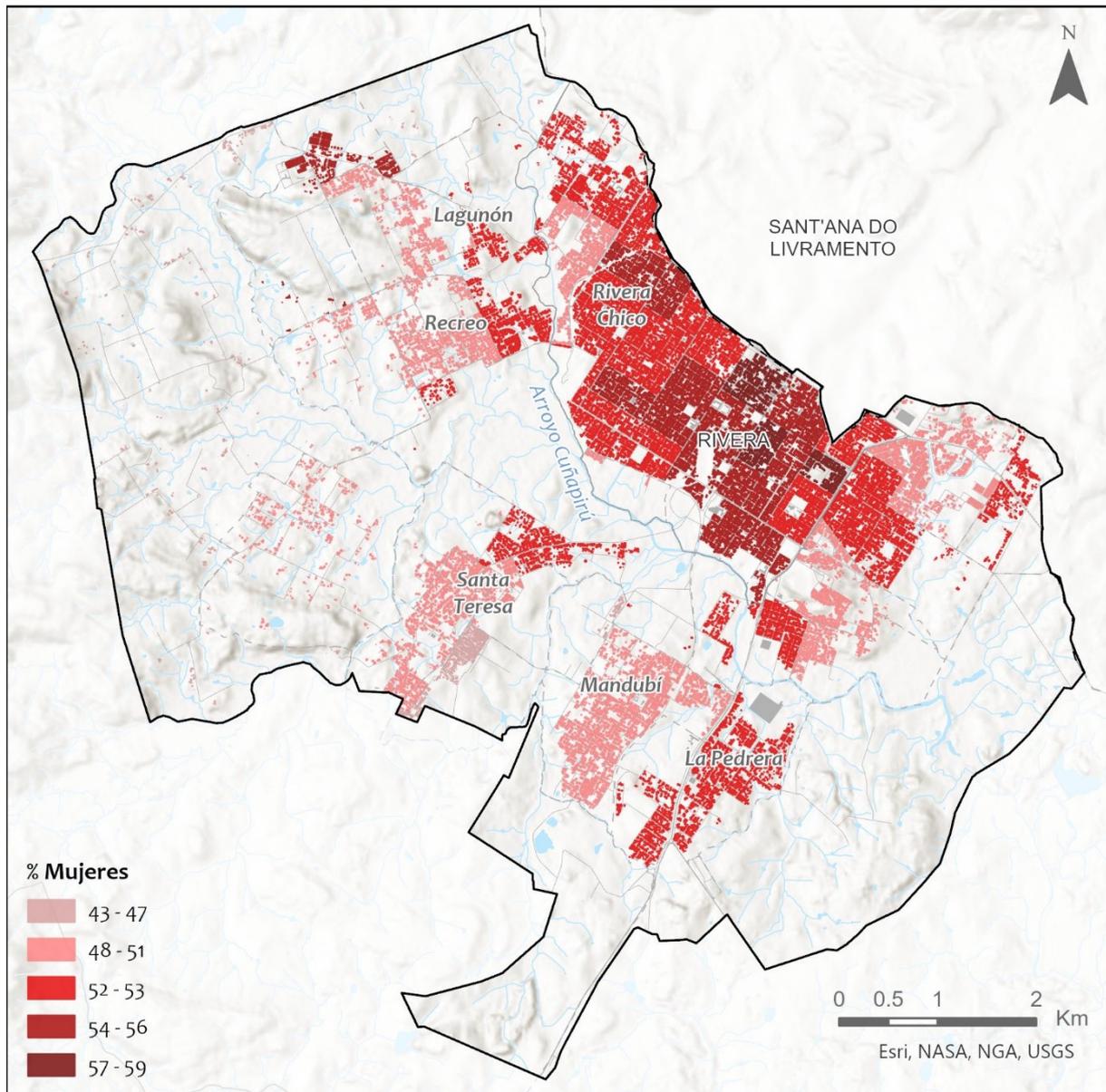


Figura 21. Porcentaje de mujeres en el área de estudio. Fuente: IHCantabria, 2024, con información del Censo de 2011.

7.3.4. Necesidades básicas insatisfechas (NBI)

Las zonas con Necesidades Básicas Insatisfechas (NBI) son más vulnerables a la escasez de agua debido a infraestructuras deficientes, que limitan el acceso a agua potable y saneamiento, y a una baja capacidad económica que impide adoptar soluciones como el almacenamiento o la purificación de

agua. Estas comunidades suelen depender de fuentes no seguras, lo que incrementa el riesgo de enfermedades transmitidas por el agua, especialmente en contextos de escasez.

Además, la desigualdad en la distribución de recursos y la falta de representación política agravan su vulnerabilidad, dejándolas al final de las prioridades en el suministro de agua. La falta de acceso a educación y herramientas para gestionar los recursos hídricos también dificulta la implementación de soluciones sostenibles, perpetuando la exposición a riesgos asociados con la escasez de agua.

Para el cálculo de este indicador de vulnerabilidad se ha calculado un índice agregado de NBI para los hogares del Censo de 2011 en función de las variables y pesos que se describen en la Tabla 6.

Indicador NBI	Peso	Descripción	Variables del Censo de 2011
Precariedad de los materiales de la vivienda	15	Al menos una de las siguientes condiciones se cumple: la casa cuenta con paredes de madera o chapa, barro (terrón, adobe o fajina) materiales de desecho; la casa cuenta con techos livianos sin cielo raso, de quincha y materiales de desecho; la casa cuenta sólo con contrapiso sin piso y tierra sin piso ni contrapiso.	MATERIAL PAREDES EXTERIORES (VIVDV01) MATERIAL TECHOS (VIVDV02) MATERIAL PISOS (VIVDV03)
Personas por habitación o hacinamiento	15	Una habitación para dormir es compartida por tres o más personas.	TOTAL HABITACIONES PARA DORMIR (HOGHD01) TOTAL PERSONAS (HOGPR01)
Carencia de electricidad	15	No tiene medio de alumbrado eléctrico.	PRINCIPAL MEDIO DE ALUMBRADO ELÉCTRICO (VIVDV07)
Carencia de saneamiento mejorado	20	El hogar cuenta con un servicio de entubado hacia el arroyo, superficie o hueco en el suelo).	EVACUACIÓN SERVICIO SANITARIO (HOGSH03)
Carencia de fuentes de agua mejorada para beber	35	La principal fuente de agua para beber y cocinar es: pozo surgente no protegido, aljibe, cachimba, arroyo o río; o el agua no llega por cañería dentro de la vivienda que habita el hogar.	ORIGEN DEL AGUA PARA BEBER Y COCINAR (VIVDV05) VIVIENDA (VIVDV06)

Tabla 6. Variables y pesos que componen el índice agregado de NBI para los hogares del área de estudio.
Fuente: IHCantabria, 2024, con información del Censo de 2011.

En la Figura 22 se presenta la distribución espacial del porcentaje de hogares con NBI a nivel de segmento censal (Censo 2011) en el área de estudio. Este indicador de vulnerabilidad tiene una distribución distinta a los anteriormente analizados, localizándose los valores más altos en las áreas periurbanas de Rivera, y especialmente donde se localizan los asentamientos informales de La Colina, La Alegría y La Humedad. También resaltan las zonas de Villa Sara, donde no tienen acceso a la red de abastecimiento de agua potable, y las zonas de Bella Vista y La Arenera, actualmente provistos de servicios básicos, pero que con datos del 2011 se muestran como zonas altamente vulnerables.

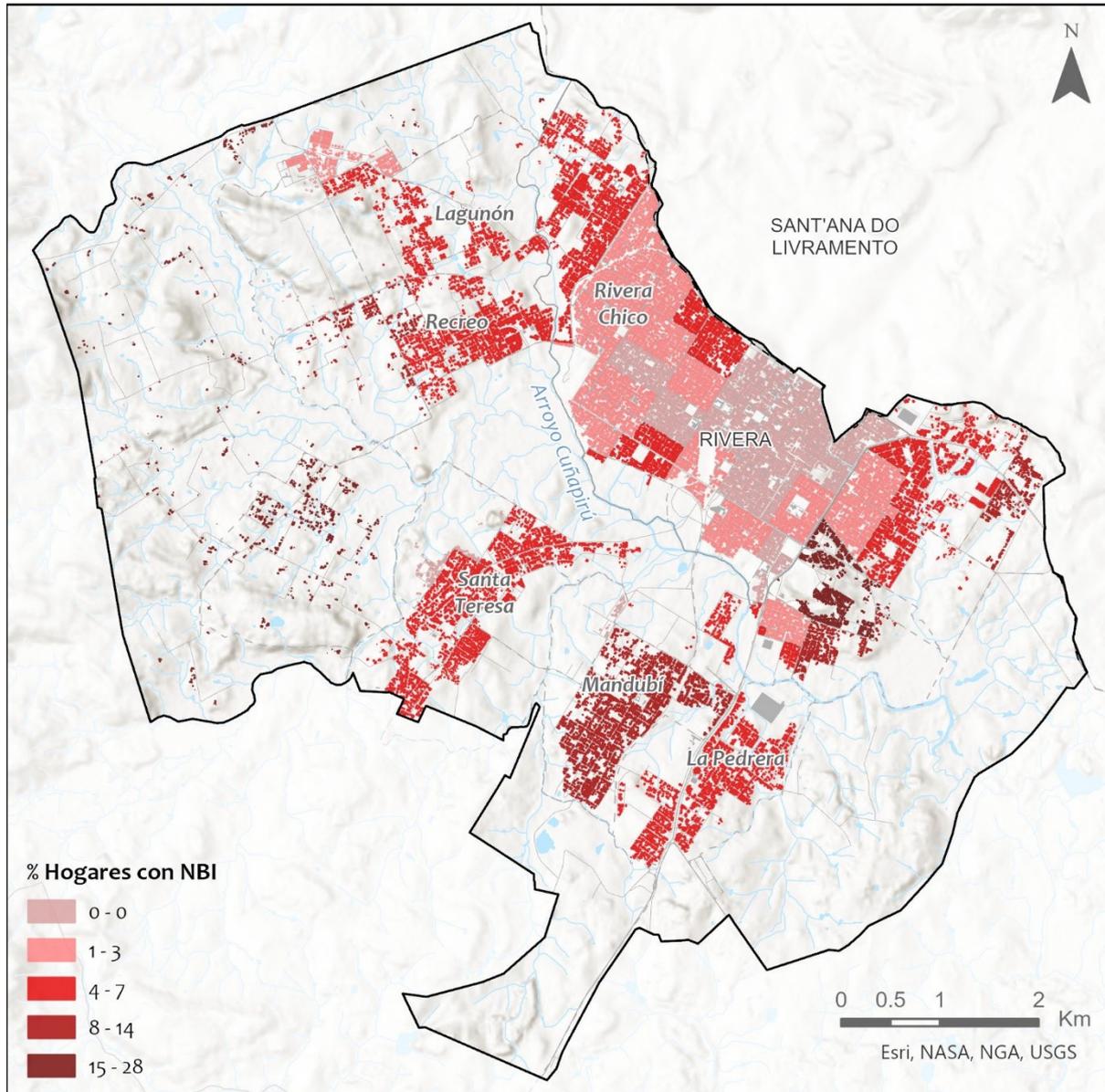


Figura 22. Porcentaje de hogares con NBI en el área de estudio. Fuente: IHCantabria, 2024, con información del Censo de 2011.

7.4. Cálculo del riesgo

7.4.1. Metodología de obtención del riesgo estandarizado

Para el cálculo del riesgo estandarizado, en primer lugar, se obtienen los indicadores de riesgo estándar, a partir de los indicadores de amenaza y vulnerabilidad elaborados previamente. Estos suelen estar expresados en unidades y escalas diferentes (de menos infinito a infinito, de 0 a infinito, de 0 a 1), por lo que, antes de combinarlos, deben homogeneizarse en una escala de 0 a 1 utilizando una función de transformación. Para elegir la función de transformación, se establecen los valores que definen los umbrales de riesgo en cada contexto.

Por ejemplo, el indicador que expresa el déficit hídrico (volumen de la garantía hídrica que no se satisface) de una cuenca es adimensional y va de 0 a infinito. El criterio experto indica que un valor mayor de 5% comienza a tener cierto riesgo (umbral de riesgo bajo a medio) y que un valor mayor de 10% ya supone un riesgo alto. Con estos criterios, se define la función con la que se obtiene el riesgo

estandarizado correspondiente, que otorga un valor de 0.33 al valor de 5% y de 0.66 al de 10%, interpolando o extrapolando para el resto de los valores.

NIVEL DE RIESGO	RANGOS DEL RIESGO ESTANDARIZADO (RE)
Muy bajo	$0 \leq RE < 0.2$
Bajo	$0.2 \leq RE < 0.4$
Medio	$0.4 \leq RE < 0.6$
Alto	$0.6 \leq RE < 0.8$
Muy alto	$0.8 \leq RE \leq 1$

Tabla 7. Niveles de riesgo considerados. Fuente: IHCantabria, 2024.

Una vez estandarizados los indicadores de amenaza y vulnerabilidad, a estos se les asigna un peso que determina la relevancia de este dentro del proceso de generación del riesgo y se combinan para obtener el indicador de riesgo. Los pesos deben estar equilibrados entre los componentes del riesgo (amenaza y vulnerabilidad) para que el indicador de riesgo sea coherente. Los umbrales y pesos adoptados se basan en juicio de experto, teniendo en cuenta las características y particularidades del área de estudio. En la Tabla 8 se presentan cada uno de los indicadores empleados con sus umbrales y pesos asignados.

Indicador	Umbrales adoptados		Peso
	Riesgo bajo a medio	Riesgo medio a alto	
Déficit (amenaza)	5%	10%	5
Densidad de población hab./km ² (vulnerabilidad)	1000	3000	1
Porcentaje de población sensible (vulnerabilidad)	10%	25%	1
Porcentaje de mujeres (vulnerabilidad)	52%	55%	1
Porcentaje de hogares con NBI (vulnerabilidad)	20%	50%	2

Tabla 8. Indicadores de amenaza y vulnerabilidad frente a la escasez de recursos hídricos. Fuente: IHCantabria, 2024.

7.4.2. Indicador de riesgo por escasez de recursos hídricos

Como resultado final se obtienen mapas con la distribución de los niveles de riesgo, a nivel de segmento censal, para el área de estudio (Figura 23).

En el caso de Rivera, las variaciones en los regímenes de precipitación y temperatura en los escenarios con cambio climático no afectan a la garantía de agua para consumo por lo que el valor del déficit es el mismo en los tres escenarios climáticos analizados, y al ser los indicadores de vulnerabilidad estáticos ya que derivan del Censo de 2011, el riesgo se mantiene estable igualmente en los tres escenarios climáticos analizados.

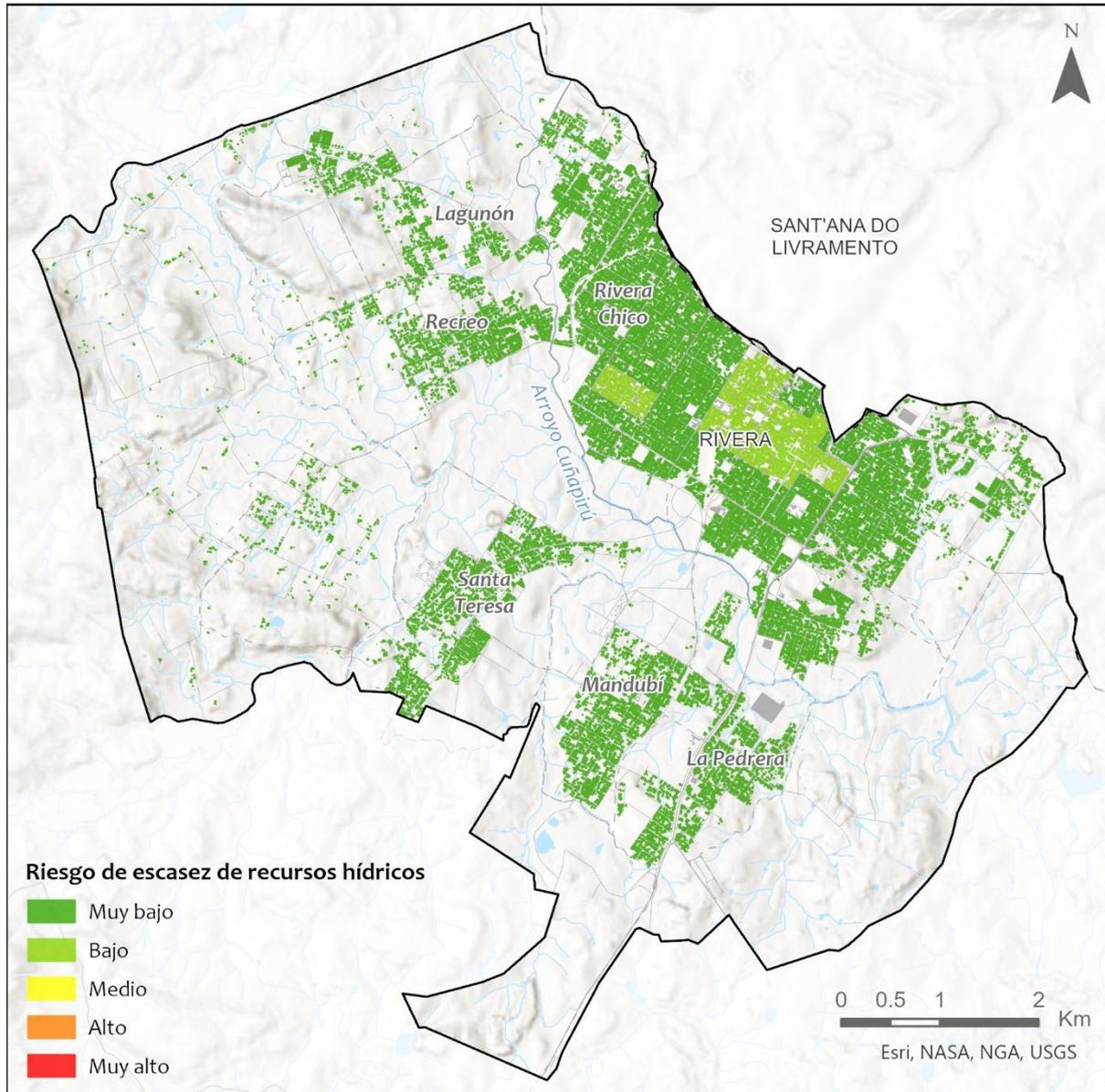


Figura 23. Riesgo por escasez de recursos hídricos en el área de estudio. Fuente: IHCantabria, 2024.

Al no haber déficit hídrico en la cuenca del arroyo Cuñapirú, ésta se encuentra en general un nivel bajo o muy bajo de riesgo. Hay zonas en el centro y norte de la ciudad que destacan ligeramente respecto del resto del área debido a que concentran una mayor densidad de población, y porcentaje de población sensible y de mujeres, pero sin dejar de encontrarse en riesgo bajo.

En los talleres de validación de resultados realizados en la intendencia de Rivera hubo algunas consideraciones respecto a la caracterización de la vulnerabilidad de algunas zonas del área de estudio, debido que los datos en los que se basa proceden del Censo de 2011 y es lógico que haya habido variaciones desde entonces. La mayoría de los asentamientos con mayor vulnerabilidad por NBI están consideradas correctamente, a excepción de La Colina, uno de los asentamientos pendientes de regularizar existentes en Rivera, que debería tener mayor vulnerabilidad que la representada por las variables del Censo de 2011, y los asentamientos ya regularizados La Arenera, una parte de La Humedad y Bella Vista, a los que ya se les ha provisto de servicios básicos.

Se mencionó como especialmente vulnerable también el barrio de Villa Sara, debido a que no tiene acceso a la red agua potable, y se abastece a través de pozos y aljibes, lo que se ve correctamente reflejado en el Censo de 2011, del que se ha obtenido la información para categorizar la vulnerabilidad.

Adicionalmente se identifican las zonas altas de la ciudad, como Cerro del Marco y Cerro Marconi, en riesgo por abastecimiento de agua potable ya que, en épocas de mayor demanda, el suministro de agua no tiene continuidad por la falta de capacidad de bombeo de la red.

Esta información queda reflejada en el informe de los talleres, si bien no puede ser incorporada al análisis actual dado que no se dispone de los datos del Censo de 2023 para actualizar las zonas mencionadas más allá del punto de vista cualitativo que queda expresado en el mismo.



8. ESTUDIO DE RIESGO POR INUNDACIÓN FLUVIAL

El objetivo principal del presente estudio es conocer cómo afecta la inundación a las edificaciones, infraestructuras críticas y población del área de estudio, ámbito del Plan de la Microrregión de Rivera, para lo cual se realiza un análisis de dicho riesgo cuantificando las pérdidas económicas a través de la evaluación del peligro de inundación, así como la exposición y vulnerabilidad (física y social) tanto para un escenario climático basado en datos históricos (situación actual), como para dos escenarios climáticos futuros en el horizonte 2030, en el que se considera la influencia del cambio climático en dos trayectorias socioeconómicas y de emisiones distintas: SSP2-4.5 y SSP5-8.5.

Para la consecución de este objetivo general se establecen, a su vez, los siguientes objetivos específicos:

- Calcular la amenaza de inundación y las variables que le caracterizan: profundidad de la lámina de agua en las zonas de afectación.
- Conocer y analizar la exposición de los elementos físicos urbanos (edificaciones e infraestructuras críticas) y de la población a la amenaza de inundación.
- Analizar la vulnerabilidad de los diferentes tipos de elementos (físicos y humanos) obteniendo sus curvas de daño.
- Calcular los distintos indicadores económicos y sociales que caractericen el riesgo en el área de estudio.

Para llevar a cabo dicho estudio se cuenta con la información digital recopilada de diversas fuentes de información espacial, gráfica y alfanumérica que se presentan en el apartado 6.

8.1. Marco metodológico

Siguiendo un marco conceptual ampliamente aceptado, el **riesgo** resulta de la coincidencia, en el tiempo y en el espacio, de una amenaza y un ente (ser vivo o cualquier elemento físico o intangible del territorio) susceptible de experimentar una pérdida de valor, funcionalidad o bienestar, como consecuencia de ese peligro. La **exposición** es la cualidad binaria que refleja esta coincidencia, mientras que la **vulnerabilidad** recoge todos los factores que explican la conversión del peligro en daños. La vulnerabilidad es, en definitiva, la caracterización de ciertas propiedades de los elementos expuestos, desde el punto de vista de su potencial de ser afectados o destruidos, y puede tener varias dimensiones: humana (daño físico o psicológico, muerte), económica (pérdida de valor de activos), o de otro tipo (por ejemplo, daños ambientales o de patrimonio) (BID, 2019).

Este esquema se resume en la pseudoecuación **Riesgo = Amenaza x Exposición x Vulnerabilidad** (Figura 24), que indica que el impacto total que puede producir un evento tiene una probabilidad asociada que resulta de combinar la probabilidad de dicho evento, la probabilidad de que afecte espacialmente zonas ocupadas y, finalmente, la de que los activos y personas expuestos sufran daños (BID, 2019).

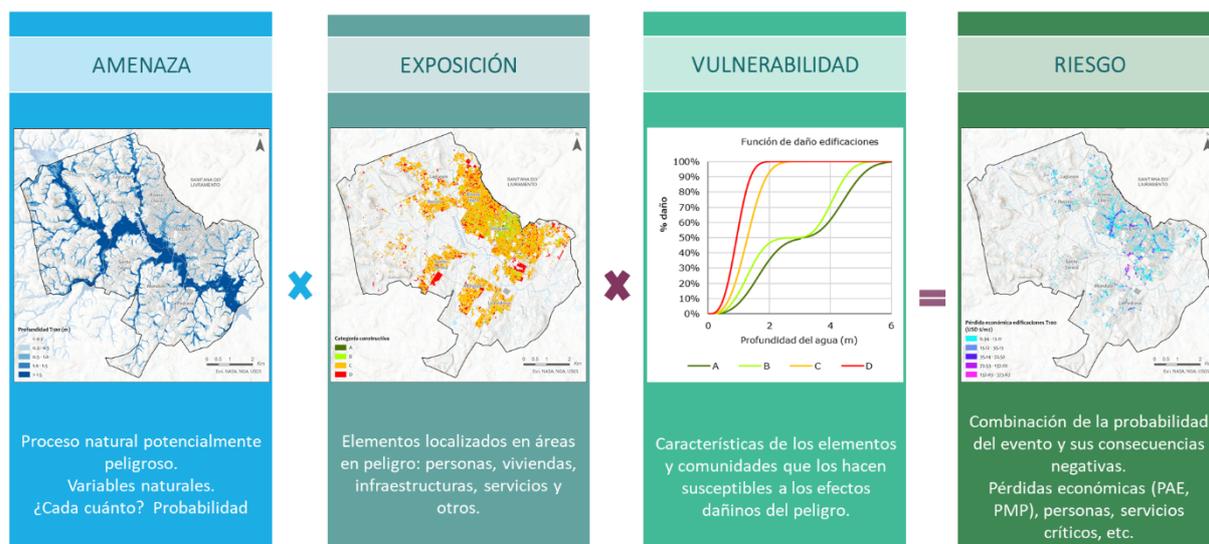


Figura 24. Esquema amenaza-exposición-vulnerabilidad-riesgo. Fuente: IHCantabria, 2024.

8.1. Enfoque técnico

Una evaluación probabilística de riesgo busca estimar la distribución de pérdidas (económicas y humanas) que se puede esperar que ocurran con una cierta recurrencia temporal en una cartera determinada de activos o población que está expuesto a una o más peligros. El procedimiento consiste básicamente en crear un conjunto de todos los posibles eventos que podrían ocurrir en un área de estudio, en este caso eventos de inundación, que afectan la cartera de activos expuestos para evaluar las pérdidas debidas a cada evento, y luego agregar estas pérdidas (utilizando la tasa de ocurrencia de cada evento como factor de ponderación) para obtener la distribución completa de las pérdidas esperadas con su correspondiente tasa de excedencia. Las medidas de riesgo más comunes que se pueden obtener de este menú son la pérdida anual esperada (PAE) y las pérdidas máximas probables (PMP) (BID, 2019).

8.2. Caracterización de la amenaza

8.2.1. Selección del área de estudio y delimitación de las cuencas vertientes

Para el estudio de las inundaciones el área de influencia es la cuenca vertiente a la ciudad de Rivera, la del arroyo Cuñapirú (Figura 25), con un área de unos 131 km², y los cursos de agua afluentes al mismo como son la Cañada del Puente, Arroyo Sauzal, Cañada de los Gatos, Arroyo de las Isletas, y Arroyo de la Pedrera.



Figura 25. Cuenca del arroyo Cuñapirú. Fuente: IHCantabria, 2024.

8.2.2. Caracterización de las lluvias extremas

La caracterización de las lluvias extremas se realiza por medio de las curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF). Estas curvas representan la relación matemática existente entre la intensidad de la precipitación, su duración y la frecuencia con la que se observa.

Esta caracterización se realiza tanto para el escenario climático basado en datos históricos (situación actual), como para dos escenarios climáticos futuros en el horizonte 2030, en el que se considera la influencia del cambio climático en dos trayectorias socioeconómicas y de emisiones distintas: SSP245 y SSP585.

Para la situación actual, las curvas IDF empleadas en este estudio (Figura 26) se han tomado las generadas en el Plan de Aguas Pluviales Urbanas de la Ciudad de Rivera (dica&asociados, 2020) para la cuenca del arroyo Cuñapirú a partir de datos históricos de la estación meteorológica de la ciudad de Rivera (EM Rivera), para los periodos de retorno de 5, 10, 50, 100 y 500 años de periodo de retorno.

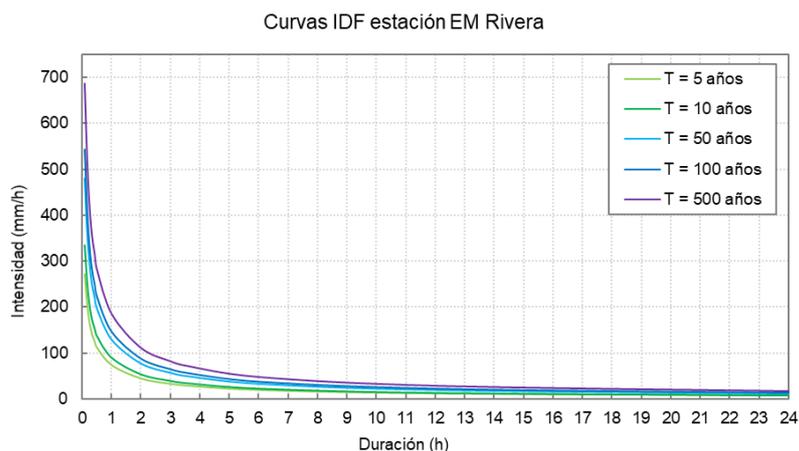


Figura 26. Curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) para la situación actual. Fuente: IHCantabria, 2024, con información de (dica&asociados, 2020).

Para obtener las curvas IDF para los escenarios futuros se obtienen factores de ponderación (Tabla 9) que relacionan Proyecciones climáticas con reducción de escala sobre Uruguay (Barreiro, et al., 2020), con las lluvias extremas actuales. Como se observa en la Tabla 9 se espera que la intensidad de las lluvias incremente entre un 5 y 9% en los escenarios futuros, dependiendo de la frecuencia del evento y la trayectorias socioeconómicas (SSP).

Periodo de retorno (T)	Horizonte 2030	
	SSP245	SSP585
5	1.07	1.05
10	1.08	1.06
50	1.08	1.07
100	1.08	1.07
500	1.09	1.08

Tabla 9. Factor de ponderación para escenarios futuros para cada SSP y año horizonte 2030, por periodo de retorno. Fuente: IHCantabria, 2024.

En la Figura 28 se muestran las curvas IDF obtenidas para los periodos de retorno de 5, 10, 50, 100 y 500 años para las estaciones seleccionadas en el horizonte 2030 SSP245 y SSP585.

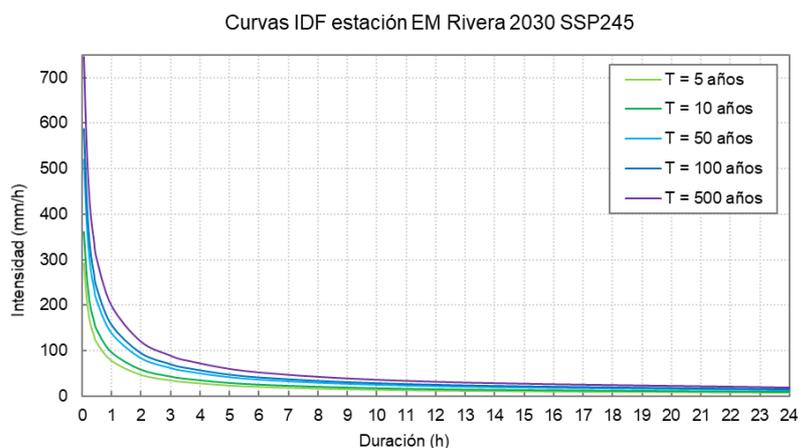


Figura 27. Curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) para el horizonte 2030 SSP245. Fuente: IHCantabria, 2024, con información de (dica&asociados, 2020) y (Barreiro, et al., 2020).

Curvas IDF estación EM Rivera 2030 SSP585

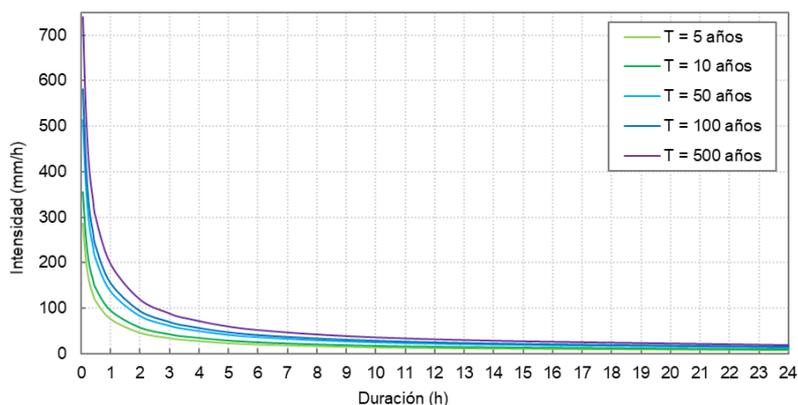


Figura 28. Curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) para el horizonte 2030 SSP585. Fuente: IHCantabria, 2024, con información de (dica&asociados, 2020) y (Barreiro, et al., 2020).

A partir de las curvas IDF se definen tormentas de cálculo, o hietogramas, con una duración, magnitud y estructura temporal fijas, y un periodo de retorno determinado. En este caso se definen hietogramas para los periodos de retorno de 5, 10, 50, 100 y 500 años, para la cuenca del arroyo Cuñapirú.

A modo de ejemplo de estos hietogramas, en la Figura 29 y se muestran los hietogramas de diseño de 100 años de periodo de retorno para cada uno de los escenarios climáticos analizados.

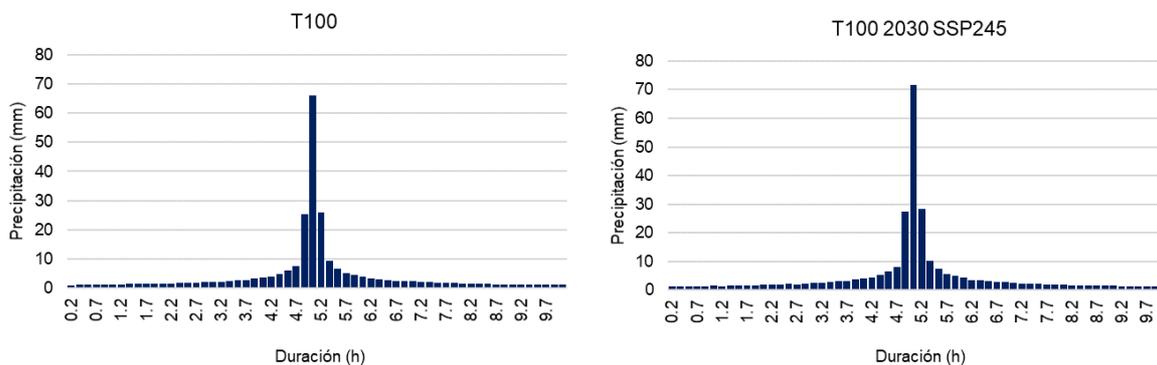


Figura 29. Tormentas de diseño T100 para la cuenca del arroyo Cuñapirú en situación actual y para el horizonte 2030 (SSP245). Fuente: IHCantabria, 2024, con información de (dica&asociados, 2020).

8.2.3. Aplicación de modelos hidrológicos e hidráulicos

Una vez determinado el ámbito de estudio y definido el régimen extremal de precipitaciones, el último paso de proceso es la aplicación de un modelo hidrológico, para transformar los eventos de precipitación en caudales fluyentes a través de los tramos de estudio, e hidráulico que, a partir de una topografía de los cauces y zonas adyacentes, permite obtener el nivel del agua en cada punto del área de estudio, variable que en este caso caracteriza la amenaza de inundación.

Dentro del área de estudio se ha realizado un modelado hidrológico-hidráulico con el modelo bidimensional HEC-RAS 2D (*Hydrologic Engineering Center's River Analysis System*) desarrollado por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de EEUU (USACE).

8.2.4. Resultados de la caracterización de la amenaza

Como resultado de este estudio, se obtienen mapas de zonas inundables, caracterizadas por la profundidad de la lámina de agua, para cada uno de los eventos de 5, 10, 50, 100 y 500 años de periodo de retorno y escenarios climáticos analizados: situación actual, y horizonte 2030 (SSP245 y SSP585).

En la Tabla 10 se presenta la comparativa entre los diferentes escenarios climáticos analizados de los caudales pico en el arroyo Cuñapirú tras su paso por el área de estudio que definen estos eventos de inundación.

Periodo de retorno (años)	Caudal pico (m ³ /s)		
	Situación actual	Horizonte 2030 SSP245	Horizonte 2030 SSP585
5	381	443	424
10	593	689	667
50	1,211	1,406	1,374
100	1,525	1,764	1,727
500	2,335	2,681	2,640

Tabla 10. Caudales pico en el arroyo Cuñapirú tras su paso por el área de estudio. Fuente: IHCantabria, 2024.

A modo de ejemplo, de la Figura 30 a la Figura 35 se muestran los mapas de máxima profundidad de agua obtenidos para los eventos de 10 y 100 años de periodo de retorno en el área de estudio para el escenario climático actual, y los cambios que se producen el horizonte 2030 SSP245 y SSP585, respecto de la actual. Se muestran en las figuras las profundidades superiores a 30 cm, ya que se puede asumir que la red de pluviales podría gestionar estos primeros centímetros de agua en el evento de precipitación extrema.

Estos resultados de caracterización de la amenaza de inundación (áreas inundables) fueron validados en los talleres realizados para tal fin en la Intendencia de Rivera, en el que participaron varios actores locales. Los resultados serán de mucha utilidad para la planificación debido a que la inundación se encuentra modelizada tanto para la ciudad (se observó que se reflejaban fielmente las zonas que se inundan tras episodios de lluvia) como para las riberas del arroyo Cuñapirú para distintos periodos de retorno.

Se localizaron zonas especialmente afectadas por inundaciones como los barrios de La Raca, Pueblo Nuevo y Bisio, al este de Rivera, las calles Uruguay y Paysandú en el centro de la ciudad, y algunas calles de las zonas de Saavedra, Máximo Xavier y Lavalleja debido en este caso a los rellenos locales que se realizan dentro de los padrones privados.

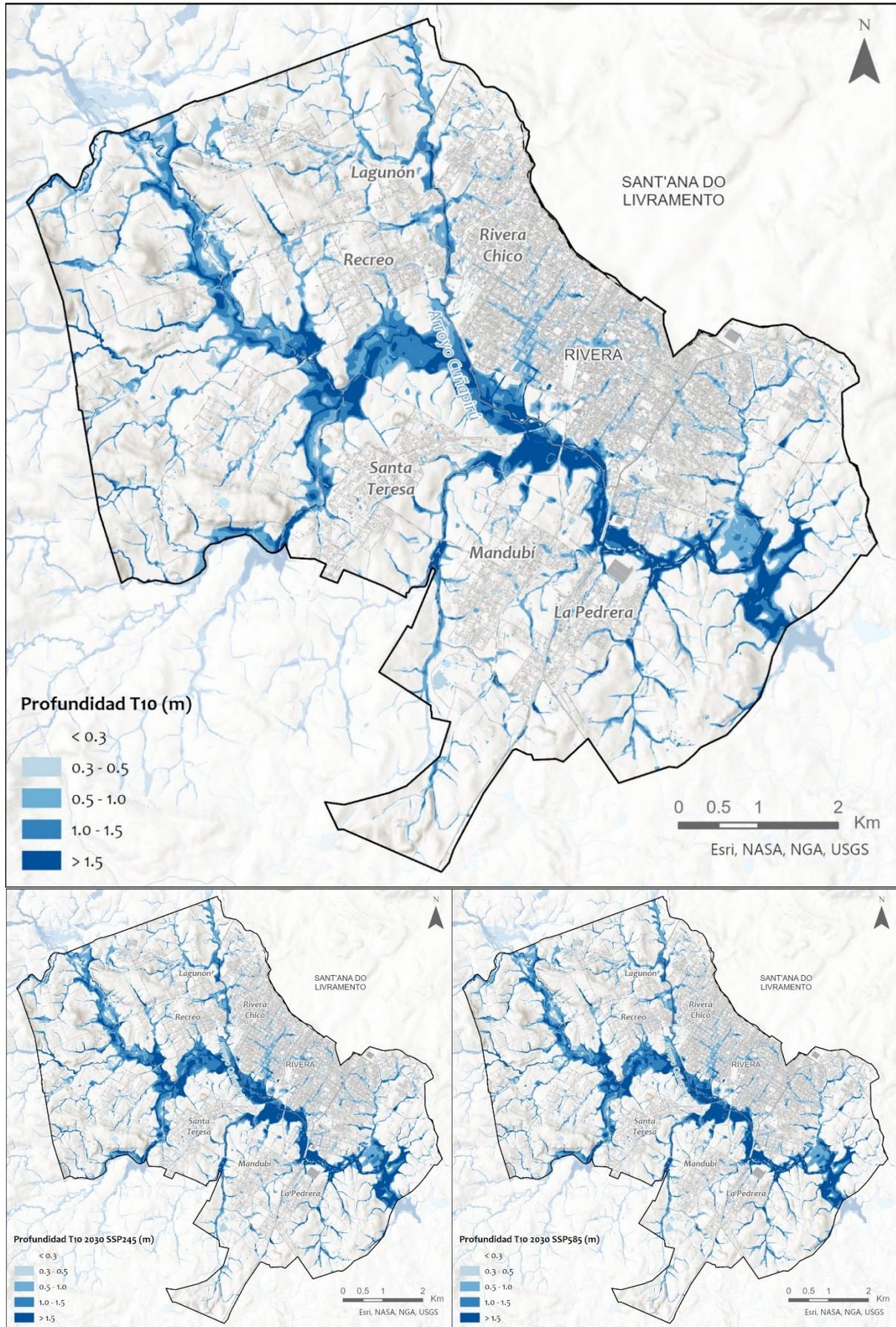


Figura 30. Mapa de profundidad de la lámina de agua para el evento de 10 años de periodo de retorno en la situación actual y en el horizonte 2030 (SSP245 y SSP585). Fuente: IHCantabria, 2024.

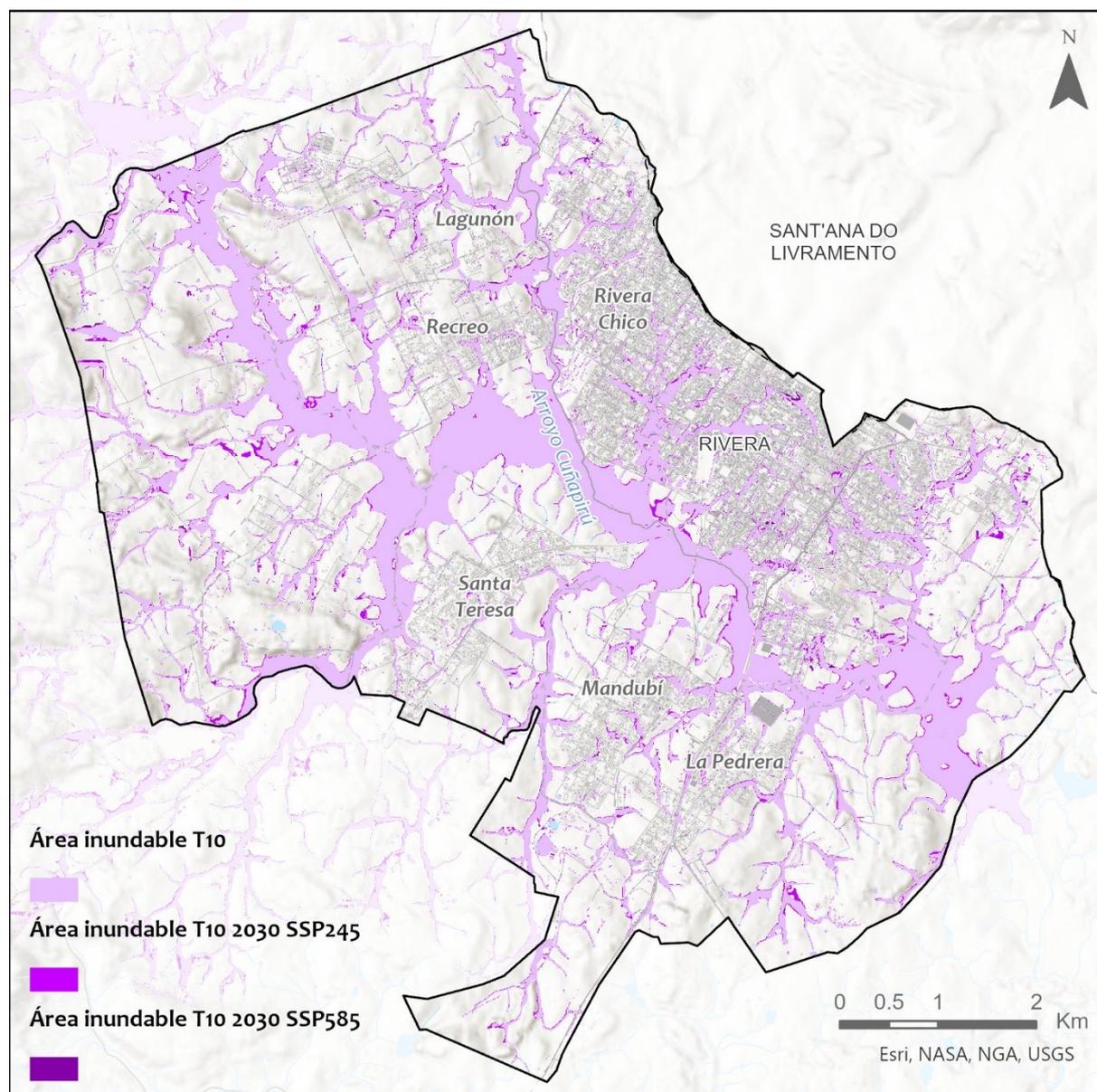


Figura 31. Mapa de área inundable para el evento de 10 años de periodo de retorno en los tres escenarios analizados. Fuente: IHCantabria, 2024.

Como se puede observar en la Figura 31, en el evento de 10 años de periodo de retorno (evento de alta probabilidad) para el horizonte 2030 en los dos escenarios climáticos, debido al aumento de los caudales de escorrentía, el área inundable se incrementará de forma general en el área de estudio, pero no de forma alarmante. Entre los escenarios futuros no se aprecia mucha diferencia a este respecto.

Para este mismo evento, en el escenario con cambio climático en el que los caudales son más altos (SSP245), la profundidad del agua aumenta del orden de 10 cm el área del microcentro de la ciudad, y entre 20 y 50 cm en el cauce del arroyo Cuñapirú, lo que incrementará los riesgos económicos y humanos en estas áreas (Figura 32).

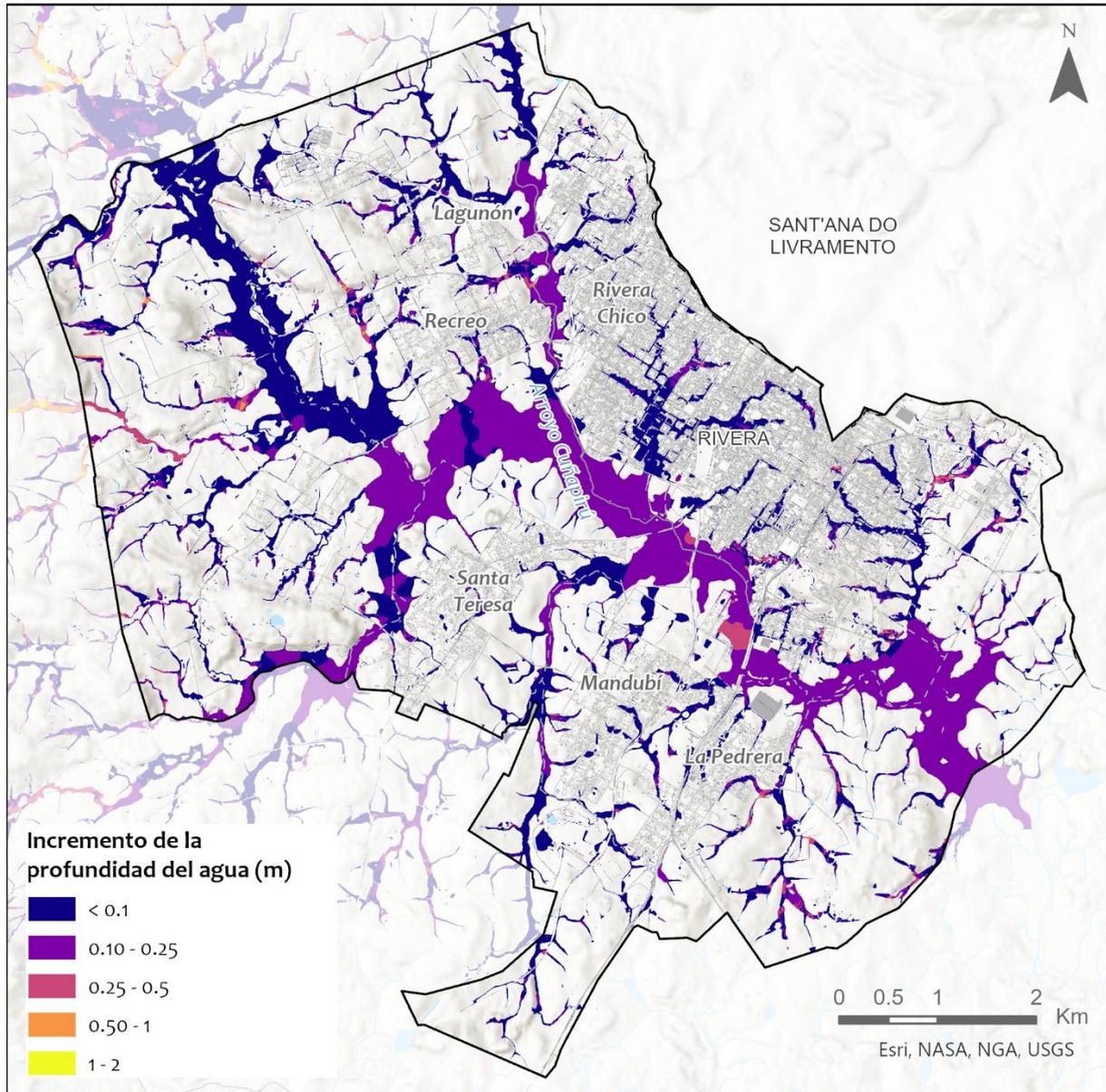


Figura 32. Incremento de la profundidad de la lámina de agua (m) para el evento de 10 años de periodo de retorno en el horizonte 2030 SSP245, respecto de la situación actual. Fuente: IHCantabria, 2024.

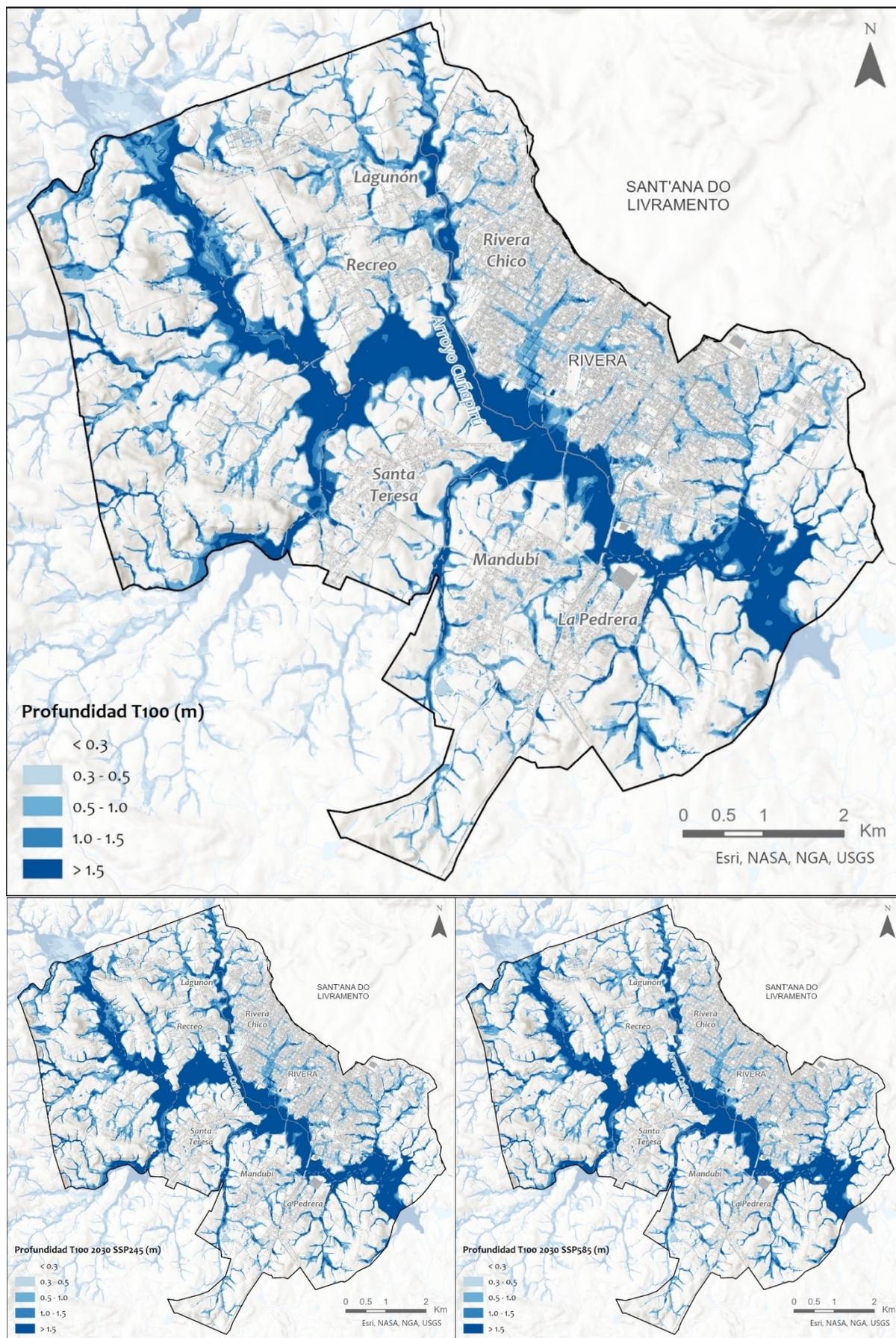


Figura 33. Mapa de profundidad de la lámina de agua para el evento de 100 años de periodo de retorno en la situación actual y en el horizonte 2030 (SSP245 y SSP585). Fuente: IHCantabria, 2024.

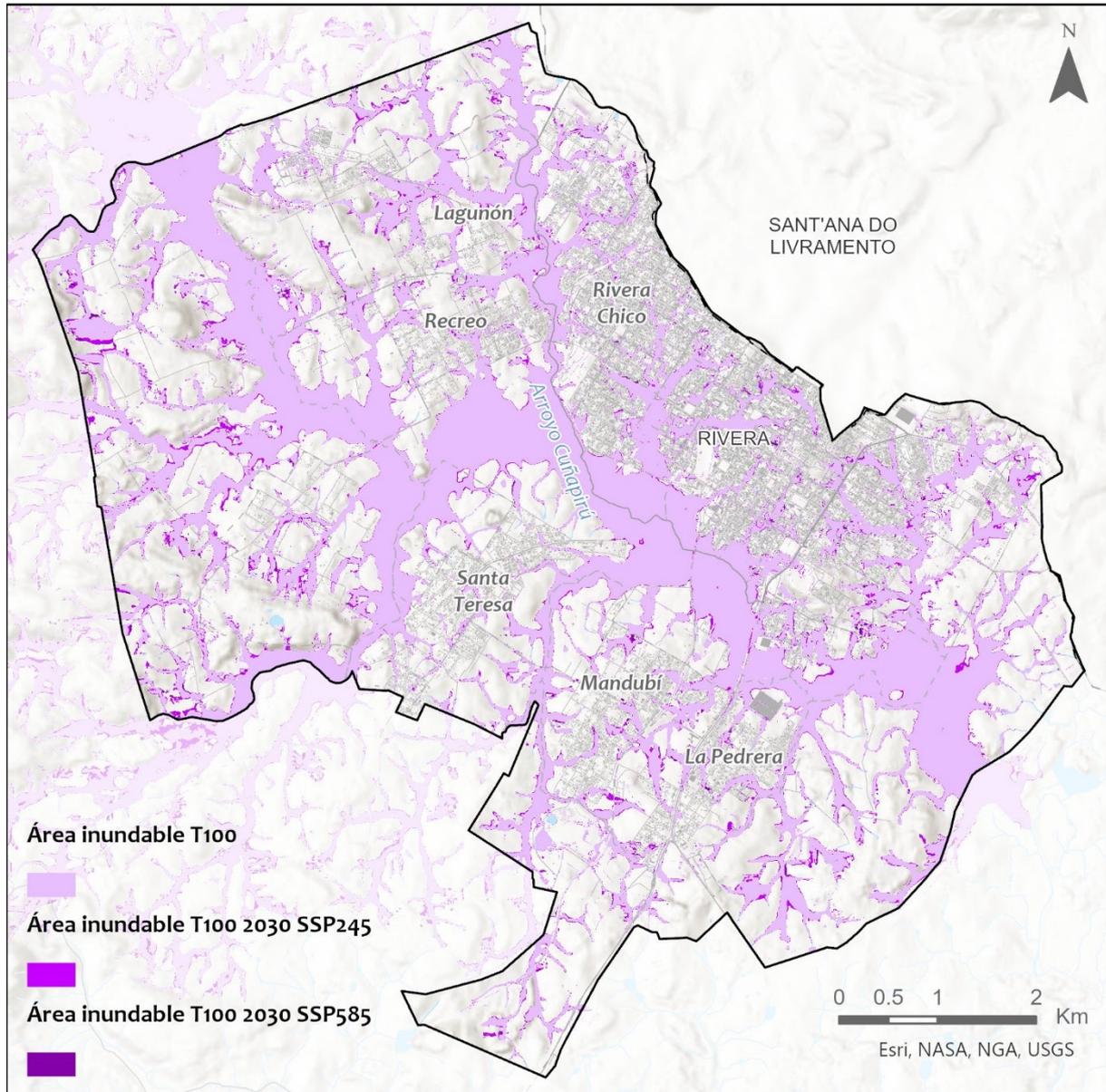


Figura 34. Mapa de área inundable para el evento de 100 años de periodo de retorno en los tres escenarios analizados. Fuente: IHCantabria, 2024.

Como se puede observar en la Figura 34, en el evento de 100 años de periodo de retorno (evento de baja probabilidad) para el horizonte 2030 en los dos escenarios climáticos, del mismo modo que para el evento de alta probabilidad de ocurrencia, el área inundable se incrementará de forma general en el área de estudio, pero no en gran medida. Entre los escenarios futuros no se aprecia mucha diferencia a este respecto.

En cuanto a la profundidad, en el escenario en el que los caudales son más altos (SSP245), la magnitud de los aumentos se mantiene, del orden de 10 cm de incremento en el área del microcentro, y entre 20 y 50 cm en el cauce del arroyo Cuñapirú, lo que incrementará los riesgos económicos y humanos en estas áreas (Figura 35).

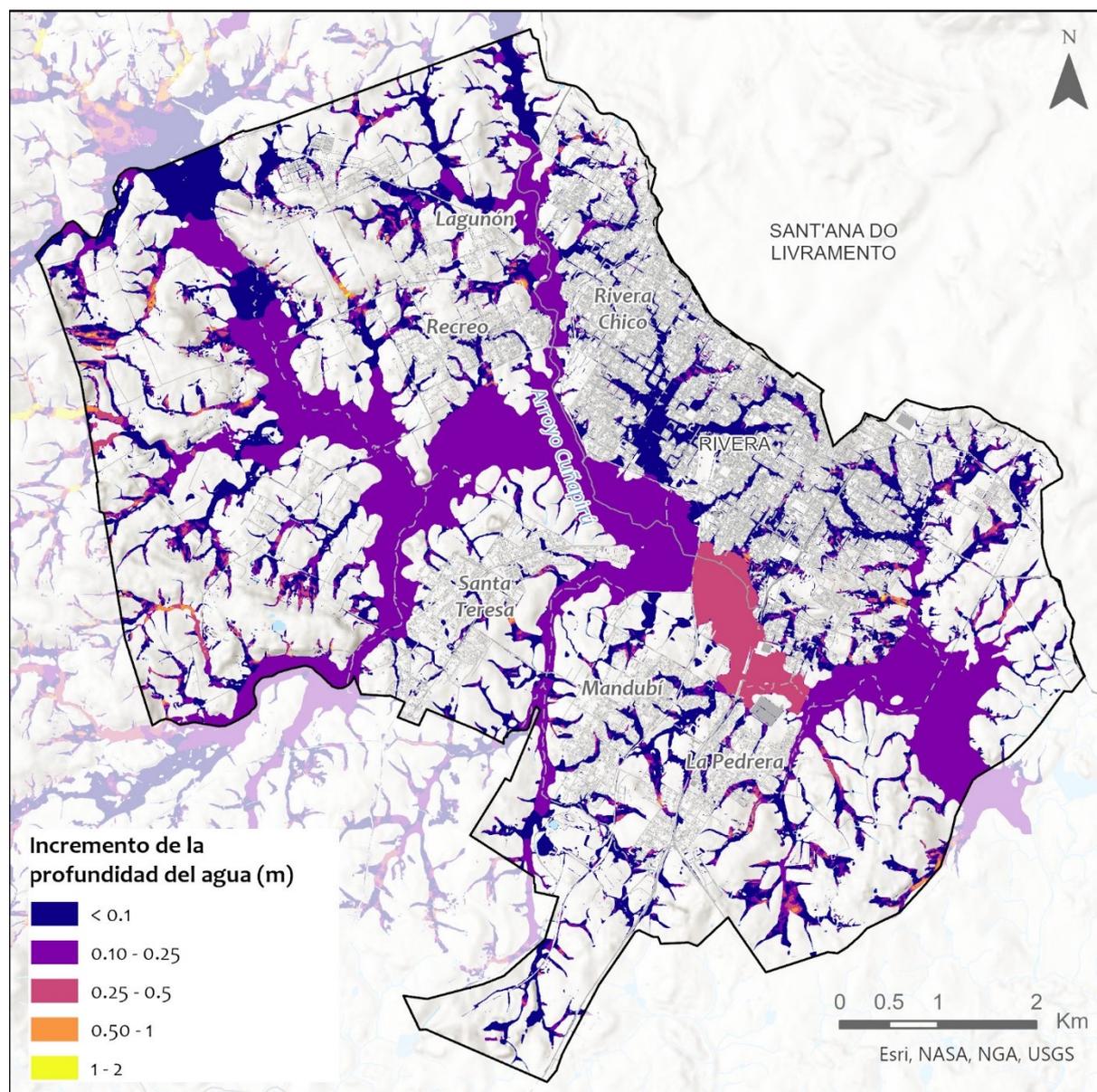


Figura 35. Incremento de la profundidad de la lámina de agua (m) para el evento de 100 años de periodo de retorno en el horizonte 2030 SSP245, respecto de la situación actual. Fuente: IHCantabria, 2024.

8.3. Caracterización de la exposición

La evaluación de la exposición engloba la identificación y caracterización de los elementos expuestos. Para ello, se desarrolla un inventario de activos expuestos donde se recopilan todos los activos físicos (edificaciones e infraestructuras críticas¹) y los activos sociales (población).

A continuación, se desarrollan en sendos subcapítulos la exposición física y la exposición social siguiendo el esquema antes mencionado: se procede a inventariar los elementos, se caracterizan los mismos y se presentan los resultados en forma de mapas y tablas. A modo de ejemplo, se muestran

¹ Infraestructuras públicas cuya afectación supone un trastorno para el funcionamiento del sistema urbano (edificios destinados a ofrecer atención y asistencia médica, centros comerciales, escuelas y universidades, infraestructuras destinadas a la producción de energía, infraestructuras industriales, edificios ocupados por los servicios de policía, los bomberos y el ejército, centros de transporte y las principales vías de comunicación, etc.).

los mapas de elementos expuestos para el evento de 100 años de periodo de retorno en el área de estudio.

8.3.1. Exposición física

Tanto para las edificaciones como para las infraestructuras críticas (IC) se ha obtenido el área expuesta, medida como el área total propensa al peligro, y los índices de exposición (proporción del área expuesta frente al área total).

De forma previa al análisis de los resultados de la exposición, se presenta a continuación la caracterización y el inventario de los elementos físicos urbanos presentes en la zona de estudio.

Caracterización de las edificaciones residenciales

Las edificaciones de la zona de estudio se clasifican en 4 calidades constructivas, basadas en materiales de construcción, tipología edificatoria, acceso a servicios básicos y estrato socioeconómico de la población que las ocupa: A (alta); B (media); C (limitada, tipo popular); y D (muy baja a precaria).

Con base en la información disponible, se realizó una selección las edificaciones que se encontraban dentro de las parcelas con uso “vivienda” asignado en el padrón urbano, y aquellas que con base en la ortofoto se categorizaron como residenciales. Aquellas que contaban con información de categoría de construcción recogido en el padrón urbano se clasificaron en las cuatro calidades constructivas (A, B, C y D); las que no contaban con este tipo de información se les asignó la categoría promedio de la zona censal, o en su defecto segmento, en la que se encontraban, en función de la información disponible.

Como arrojan los datos del siguiente gráfico, la calidad constructiva que más superficie ocupa en el área de estudio es la de tipo popular (C), concentrando en torno al 80% de la población del área edificada dedicada a uso residencial. Le sigue la calidad constructiva precaria (D) con casi un 12% de la población del área de uso residencial. La categoría alta (A) y media (B) son las menos abundantes en lo que respecta al área que ocupan dentro del ámbito de estudio concentrando un 1 y un 7.2% de la población y una 1.2 y un 7.6% del área residencial edificada respectivamente. Del análisis de la calidad constructiva de la situación actual de la zona de estudio se observa que es un área con escasos contrastes en materia de calidad de vivienda donde predomina la vivienda de tipo bajo (C).

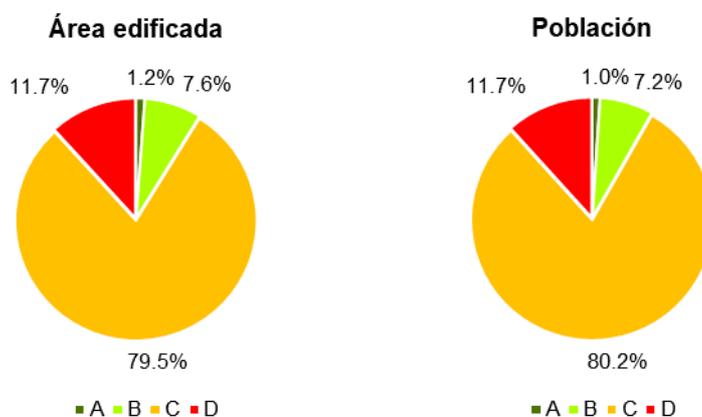


Figura 36. Distribución de la superficie edificada y la población según categorías de calidad constructiva. Fuente: IHCantabria, 2024.

Calidad constructiva	Área (ha)	%	Población	%
A	4.40	1.2	784	1.0
B	28.72	7.6	5,484	7.2
C	299.44	79.5	61,470	80.2
D	44.26	11.7	8,935	11.7
Total	377	100	76,672	100

Tabla 11. Distribución de área y población según categoría de calidad constructiva de las edificaciones. Fuente: IHCantabria, 2024.

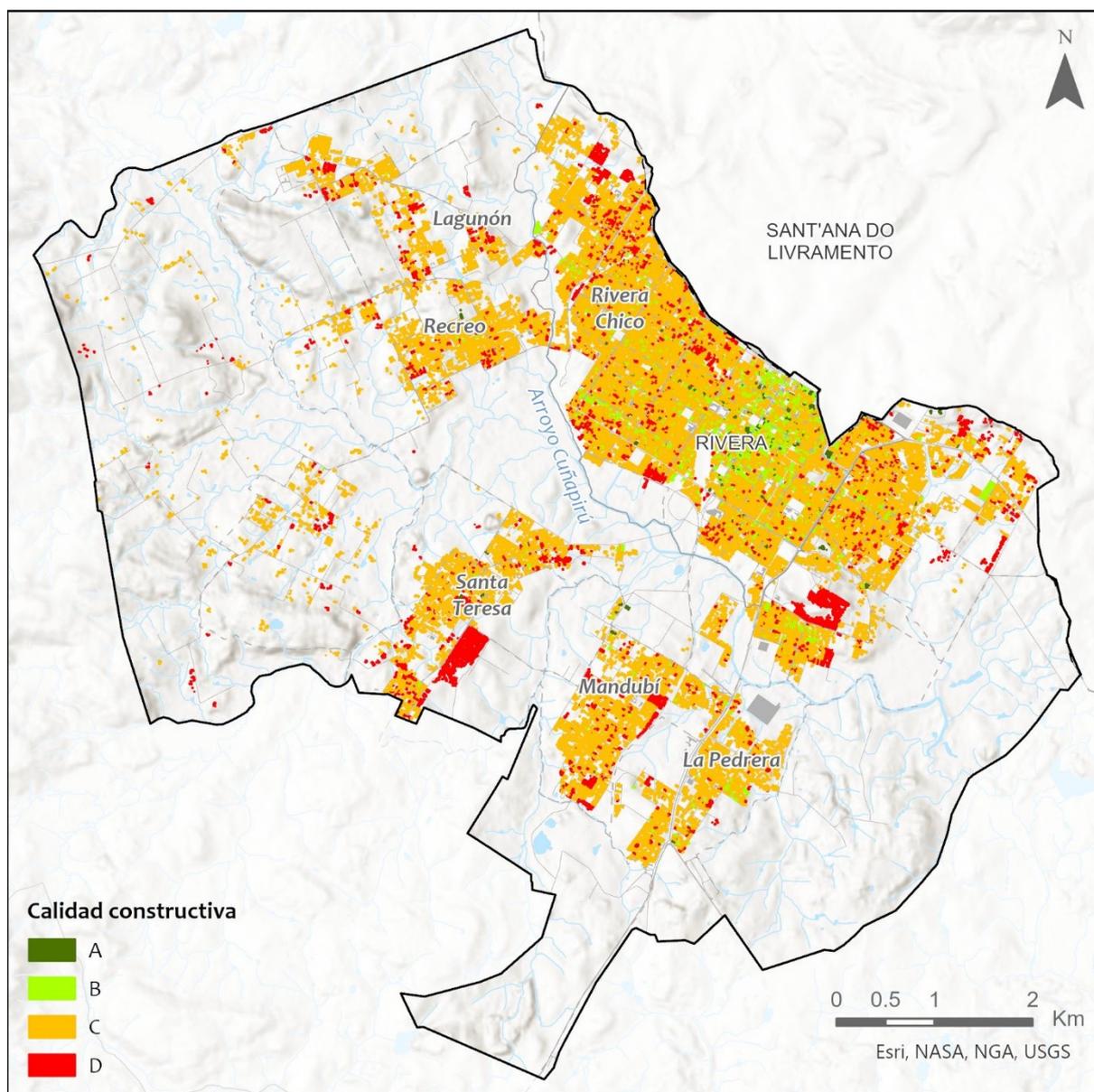


Figura 37. Distribución geográfica de la calidad constructiva de las edificaciones residenciales. Fuente: IHCantabria, 2024.

Valor económico de las edificaciones

El valor económico de reposición (o valor en riesgo) de las edificaciones residenciales considerado representa el conjunto de activos susceptibles de deteriorarse por efecto de una inundación. Este



conjunto de activos incluye: su continente (elementos estructurales e instalaciones) y contenido (equipamiento).

La estimación de este valor económico de reposición para cada categoría de calidad constructiva se ha realizado con base en la consulta de la Metodología del Índice de Costo de la Construcción de Vivienda (INE, 2023) en la que se recoge el monto imponible en construcción de vivienda nueva según tipologías para el año 2019. Estos valores se han actualizado a 2024 aplicando el Índice de Costo de la Construcción de Vivienda (ICCV) obtenido del INE.

En la Tabla 12 se presentan los valores de reposición para cada una de las categorías de calidades constructivas en los que se ha basado, tanto la estimación del valor económico de reposición del total de las edificaciones residenciales inventariadas, como el cálculo de su valor expuesto.

Calidad constructiva	Valor de reposición (USD \$/m2)	Valor total (MUSD \$)	%
A	2,848.00	125.33	4.7
B	1,308.00	375.61	14.1
C	714.00	2,138.00	80.1
D	65.00	28.77	1.1
Total		2,667.72	100

Tabla 12. Valores de reposición según calidad constructiva, y valor total en millones de dólares (MUSD \$), de las edificaciones residenciales inventariadas. Fuente: IHCantabria, 2024.

Inventario de infraestructuras críticas

En lo referente a las infraestructuras críticas afectadas por inundaciones, es preciso realizar un análisis de los valores económicos expuestos derivados del daño o destrucción de estas. Los daños económicos en estas infraestructuras pueden ser directos, cuando lo que se evalúa es el valor económico de la infraestructura dañada, o indirectos, cuando lo que se tiene en cuenta es la capacidad afectada, la pérdida de servicio y el tiempo de recuperación de la infraestructura debido a la afectación por inundación. En este estudio solo se evalúan los daños directos derivados de los eventos de inundación. Así pues, con vistas a valorar lo mencionado previamente, se realizó un inventario de las infraestructuras críticas (IC), que son aquellas infraestructuras cuya afectación suponga un trastorno para el funcionamiento del sistema urbano. Este inventario se ha realizado, del mismo modo que para las edificaciones residenciales, con base en información del parcelario urbano y la fotointerpretación de imágenes de satélite. Con base en esta información para el presente, las infraestructuras urbanas del área de estudio han sido identificadas, localizadas y clasificadas en categorías según el tipo de uso que se hace de ellos o el subsistema infraestructural al que pertenecen: agua y saneamiento, asistencia médica, comercial, educación, industrial, servicios urbanos (policía y bomberos) y transporte.

Categoría IC	Número de elementos	%
Agua y saneamiento	1	0.43
Asistencia Médica	12	5.17
Comercial	157	67.67
Educación	50	21.55
Industrial	9	3.88
Servicios Urbanos	2	0.86
Transporte	1	0.43
Total	232	100.00

Tabla 13. Inventario de infraestructuras críticas del área de estudio. Fuente: IHCantabria, 2024.

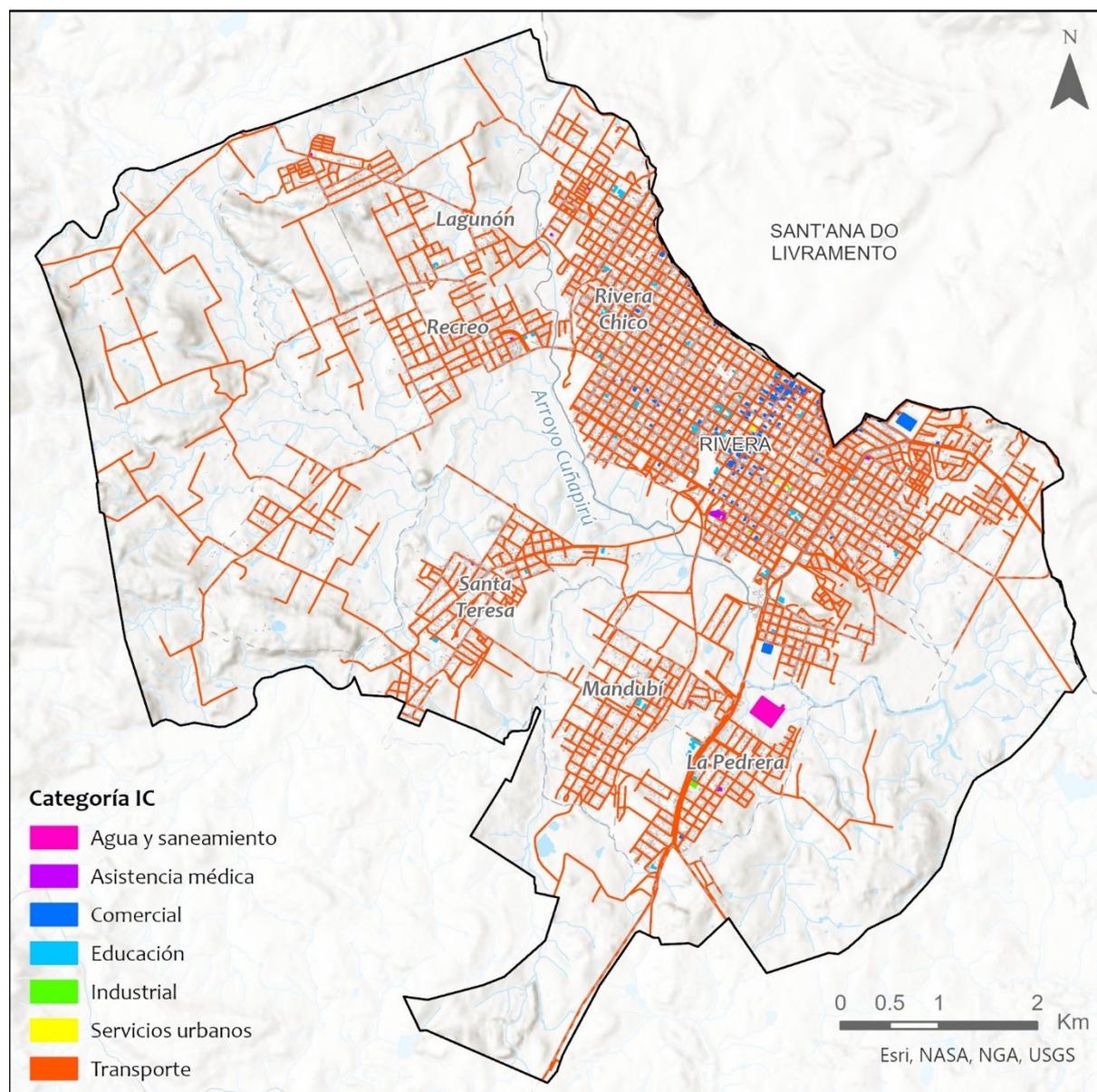


Figura 38. Distribución geográfica de las infraestructuras críticas por categoría. Fuente: IHCantabria, 2024.

Valor económico de las infraestructuras críticas

El valor económico de reposición de las infraestructuras críticas considera, al igual que para las edificaciones residenciales, el conjunto de activos susceptibles de deteriorarse por efecto de la inundación.

En este caso, se han considerado valores unitarios específicos (USD \$/m²) para cada categoría de IC teniendo en cuenta que, cada una de ellas tiene unos costes estructurales y de instalaciones diferentes. Estos valores se basan en valores unitarios de este tipo de infraestructuras en otras ciudades (en concreto, basados en valores representativos de ciudades de la iniciativa Ciudades Emergentes Sostenibles del BID) escalados en función de los costes considerados para las edificaciones residenciales.

En la Tabla 14 se presentan los valores de reposición para cada una de las categorías consideradas de IC, así como el valor económico de reposición del total.

Categoría IC	Valor de reposición (USD \$/m2)	Valor total (MUSD \$)
Agua y saneamiento	1.10	4.56
Asistencia Médica	150.00	1.26
Comercial	8.50	1.44
Educación	60.00	5.39
Industrial	2.00	0.00
Servicios Urbanos	60.00	0.24
Transporte	0.80	4.92
Total		17.82

Tabla 14. Valores de reposición según categoría, y valor total en millones de dólares (MUSD \$), para las infraestructuras críticas del área de estudio. Fuente: IHCantabria, 2024.

Resultado de la exposición física a inundación

En este apartado se presenta un resumen de los resultados de la exposición física que incluye la exposición tanto de las edificaciones como de las infraestructuras críticas para cada escenario considerado, poniendo especial atención en los periodos de 10 y 100 años, que representan eventos de alta y baja probabilidad de ocurrencia respectivamente.

Se considera que una edificación residencial está expuesta cuando la profundidad máxima es superior a **0.3 m**; en el caso de las IC, la exposición viene dada por la profundidad máxima superior a **0.5 m**, considerando que este tipo de elementos suelen tener un plinto con nivel de acceso más elevado.

La Tabla 15 presenta la superficie edificada expuesta y el valor económico expuesto, para todos los periodos de retorno analizados, obtenida de cruzar la amenaza de inundación con la superficie edificada para cada escenario climático analizado. La tabla también muestra el porcentaje de la superficie edificada expuesta y el valor económico expuesto con respecto al total inventariado.

Periodo de retorno (años)	Superficie edificada expuesta		Valor económico expuesto	
	ha	%	MUSD \$	%
SITUACIÓN ACTUAL				
5	21.84	5.80	160.16	6.00
10	32.33	8.58	235.42	8.82
50	55.75	14.79	401.17	15.04
100	64.66	17.16	465.16	17.44
500	83.42	22.14	599.05	22.46
HORIZONTE 2030 SSP245				
5	24.70	6.56	180.83	6.78
10	36.39	9.66	264.15	9.90
50	60.51	16.06	435.78	16.34
100	70.73	18.77	508.09	19.05
500	90.97	24.14	652.73	24.47
HORIZONTE 2030 SSP585				
5	24.07	6.39	176.29	6.61
10	35.55	9.43	258.91	9.71
50	60.08	15.94	433.13	16.24
100	70.37	18.67	505.65	18.95
500	90.48	24.01	648.92	24.32

Tabla 15. Superficie edificada expuesta (ha) y valor económico expuesto (MUSD \$) para cada periodo de retorno y escenario climático. Valores relativos respecto del total inventariado. Fuente: IHCantabria, 2024.

La superficie edificada expuesta representa un considerable porcentaje del total para la situación actual, que va de un 8.58% para el periodo de retorno de 10 años (evento de alta probabilidad) a un 17.16% de las edificaciones para el periodo de retorno de 100 años (evento de baja probabilidad).

Para los escenarios con cambio climático en el horizonte 2030 estos porcentajes sufren un ligero aumento, algo más marcado en el SSP245 que en el SSP585, pero sin grandes diferencias entre ellos, situándose en torno al 9.5% de la superficie edificada expuesta para el periodo de retorno de 10 años y del 18.7% para el periodo de retorno de 100 años.

En cuanto al valor económico expuesto la relación entre los escenarios climáticos se mantiene, siendo el valor económico expuesto para la situación actual un 235.42 MUSD \$, lo que en términos relativos supone un 8.82%, para el evento de alta probabilidad de ocurrencia (10 años de periodo de retorno) y 465.16 MUSD \$, un 17.44% del valor total de las edificaciones, para el periodo de retorno de baja probabilidad de ocurrencia (100 años de periodo de retorno).

Para el horizonte 2030 estos porcentajes se sitúan en torno al 9.8% del valor de las edificaciones para el periodo de retorno de 10 años y del 19% para el periodo de retorno de 100 años, para los dos escenarios climáticos futuros analizados.

A modo de ejemplo, en la Figura 39 se presenta la distribución geográfica de los valores económicos expuestos para el periodo de retorno de 100 años en los tres escenarios climáticos analizados.

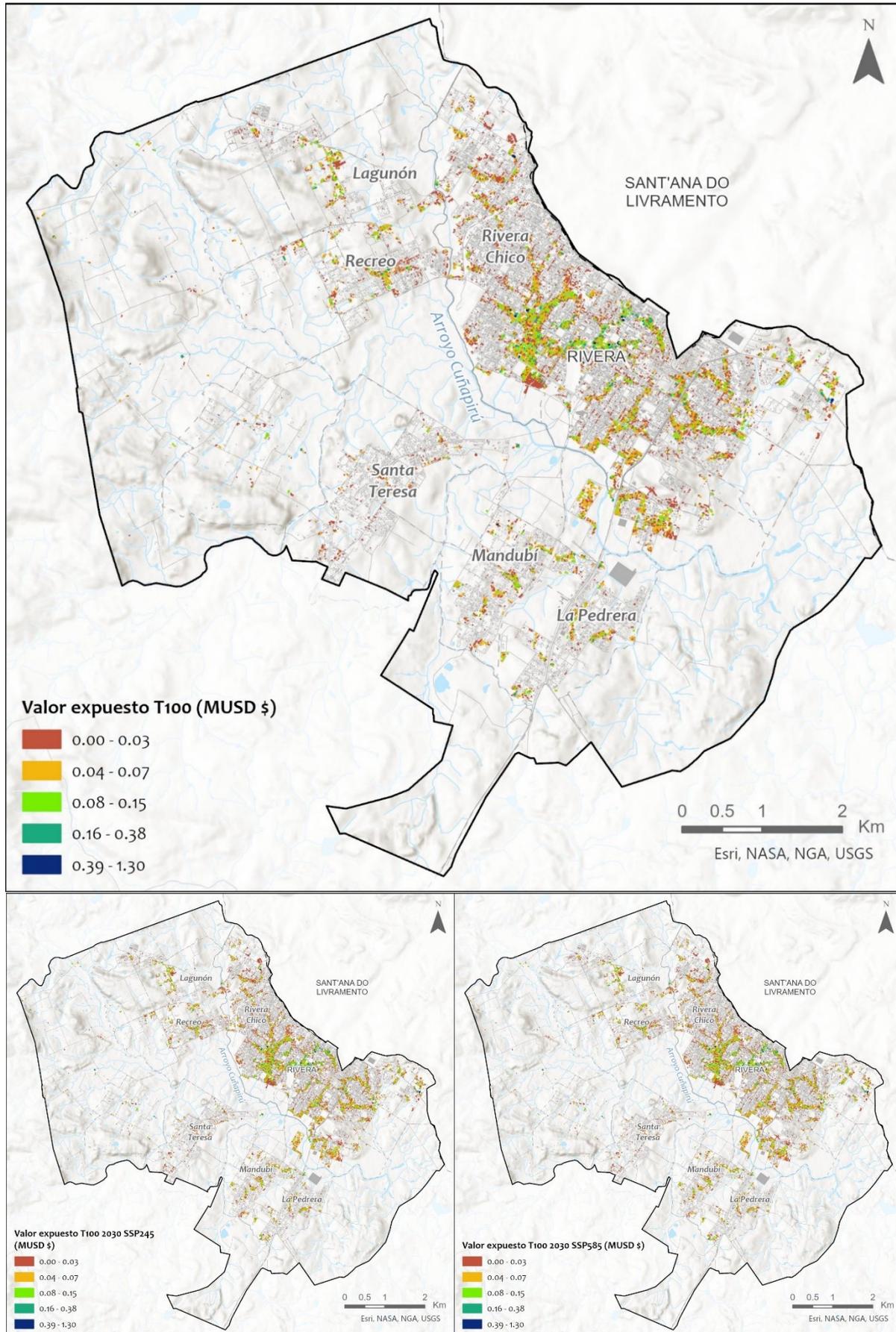


Figura 39. Valor económico expuesto de las edificaciones (MUSD \$) para el evento de 100 años de periodo de retorno en la situación actual y en el horizonte 2030 (SSP245 y SSP585). Fuente: IHCantabria, 2024.

La Tabla 16 presenta el número de IC expuestas y el valor económico expuesto de IC, para todos los periodos de retorno analizados, obtenida de cruzar la amenaza de inundación con el inventario de infraestructuras críticas para cada escenario climático analizado. La tabla también muestra el porcentaje de IC expuestas y el valor económico de IC expuestas con respecto al total inventariado.

Periodo de retorno (años)	Elementos expuestos		Valor económico expuesto	
	Número	%	MUSD \$	%
SITUACIÓN ACTUAL				
5	46	19.83	0.17	0.97
10	57	24.57	0.29	1.62
50	71	30.60	0.57	3.20
100	77	33.19	0.73	4.10
500	88	37.93	0.94	5.30
HORIZONTE 2030 SSP245				
5	50	21.55	0.20	1.15
10	60	25.86	0.29	1.65
50	75	32.33	0.66	3.69
100	80	34.48	0.72	4.03
500	93	40.09	1.14	6.41
HORIZONTE 2030 SSP585				
5	51	21.98	0.20	1.14
10	59	25.43	0.29	1.61
50	74	31.90	0.68	3.81
100	82	35.34	0.75	4.22
500	91	39.22	1.07	6.00

Tabla 16. Número de IC expuestas y el valor económico expuesto de IC (MUSD \$) para cada periodo de retorno y escenario climático. Valores relativos respecto del total inventariado. Fuente: IHCantabria, 2024.

Un alto porcentaje de las infraestructuras críticas del área de estudio están afectadas por eventos de inundación en situación actual, un 24.57% para el periodo de retorno de 10 años (evento de alta probabilidad) y un 33.19% de las IC para el periodo de retorno de 100 años (evento de baja probabilidad).

Para los escenarios con cambio climático en el horizonte 2030 estos porcentajes sufren un ligero aumento, de en torno a un 1%, algo más marcado en el SSP245 que en el SSP585, pero sin grandes diferencias entre ellos.

En cuanto al valor económico el porcentaje expuesto es considerablemente menor, siendo para la situación actual un 1.62%, lo que en términos absolutos supone 0.29 MUSD \$ para el evento de alta probabilidad de ocurrencia (10 años de periodo de retorno) y un 4.10%, 0.73 MUSD \$ para el periodo de retorno de baja probabilidad de ocurrencia (100 años de periodo de retorno).

Para el horizonte 2030 estos porcentajes se sitúan en torno al 1.61-1.65% del valor de las IC para el periodo de retorno de 10 años y del 4.03-4.22% para el periodo de retorno de 100 años, para los dos escenarios climáticos futuros analizados. Es decir, no se produce apenas cambio en el valor económicos de las IC expuestas.

A modo de ejemplo, en la Figura 40 se presenta la distribución geográfica de los valores económicos expuestos para el periodo de retorno de 100 años en los tres escenarios climáticos analizados.

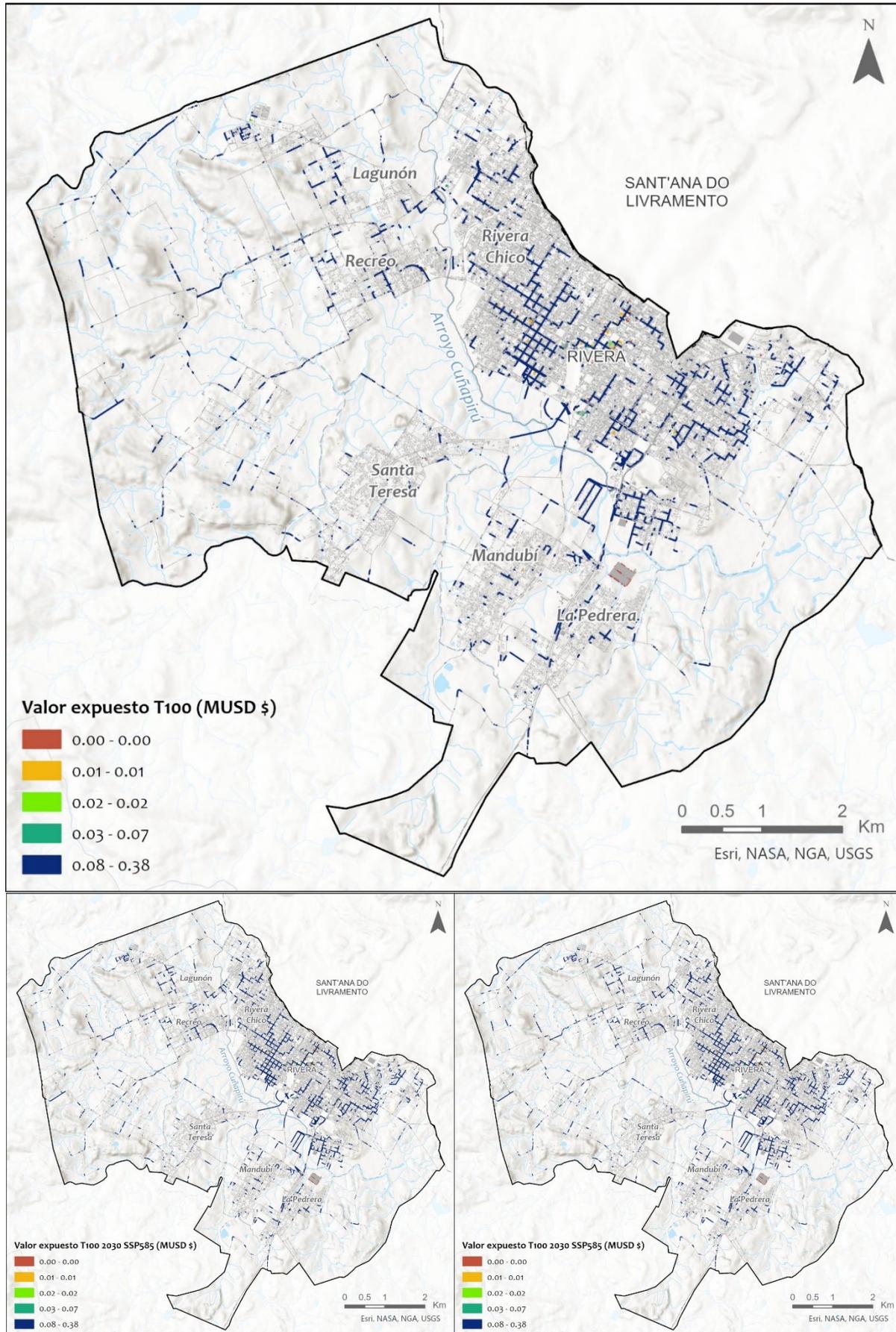


Figura 40. Valor económico expuesto de las IC (MUSD \$) para el evento de 100 años de periodo de retorno en la situación actual y en el horizonte 2030 (SSP245 y SSP585). Fuente: IHCantabria, 2024.

8.3.2. Exposición social

La exposición social se refiere inicialmente a la cantidad de personas afectadas por un peligro en particular. Se asume la población estática como punto de inicio típico y simplificado para estimar la exposición social.

Inventario de población

Se ha considerado una población de 76,672 habitantes con una densidad media poblacional aproximada de 220 hab./ha edificada. Esta población ha sido obtenida de a partir de los datos de población del Censo de 2011 de Uruguay del Instituto Nacional de Estadística (INE), trasladada a la capa de edificaciones residenciales dentro del ámbito del Plan de la Microrregión de Rivera.

En la Figura 41 se presenta la distribución geográfica de la densidad de población en el área de estudio.

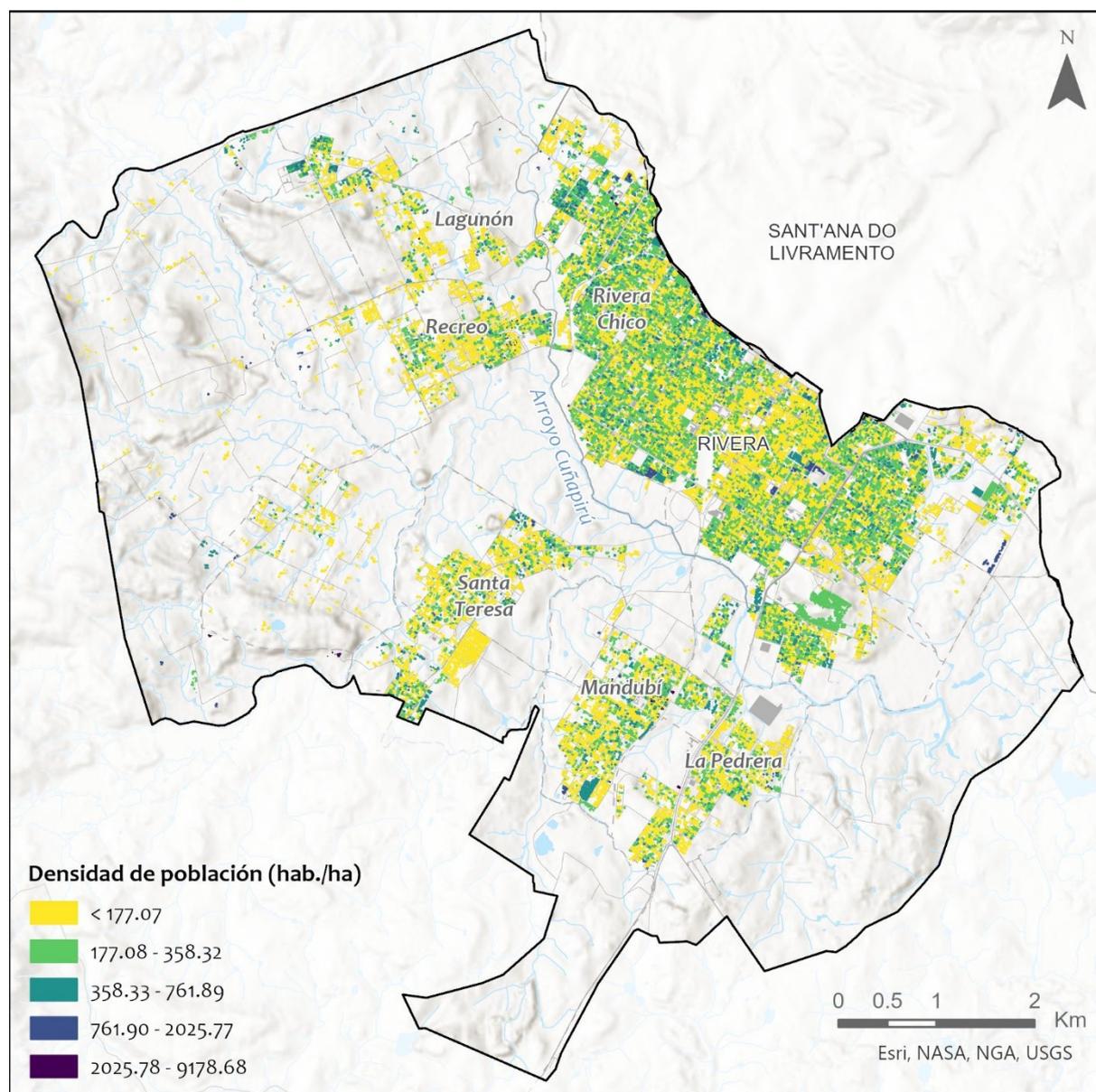


Figura 41. Distribución geográfica de la densidad de población en el área de estudio. Fuente: IHCantabria, 2024.



Resultado de la exposición social a inundación

En este apartado se presenta un resumen de los resultados de la exposición social para los periodos de retorno analizados.

Para obtener la población expuesta a inundaciones se ha tenido en cuenta la densidad de población presentada en el apartado de inventario de población y las capas de área inundable para los de distintos periodos de retorno.

La presenta Tabla 17 el número de habitantes expuestos para todos los periodos de retorno analizados, obtenido de cruzar la amenaza de inundación con el inventario de población para cada escenario climático analizado. La tabla también muestra el porcentaje de población expuesta con respecto al total inventariado.

Periodo de retorno (años)	Población expuesta	
	Habitantes	%
SITUACIÓN ACTUAL		
5	4,604	6.00
10	6,651	8.67
50	11,354	14.81
100	13,164	17.17
500	16,928	22.08
HORIZONTE 2030 SSP245		
5	5,149	6.72
10	7,460	9.73
50	12,281	16.02
100	14,341	18.70
500	18,477	24.10
HORIZONTE 2030 SSP585		
5	5,043	6.58
10	7,269	9.48
50	12,234	15.96
100	14,231	18.56
500	18,410	24.01

Tabla 17. Población expuesta para cada periodo de retorno y escenario climático. Valores relativos respecto del total inventariado. Fuente: IHCantabria, 2024.

Como se puede apreciar, la población afectada representa un considerable porcentaje de la población total para la situación actual, que va de un 8.77% para el periodo de retorno de 10 años a un 17.17% de la población para el periodo de retorno de 100 años.

Para los escenarios con cambio climático estos porcentajes sufren un ligero aumento, de en torno al 1%, pasando de los 6,651 habitantes afectados en situación actual, a 7,460 en el escenario SSP245 y 7,269 en el escenario SSP585 para el periodo de retorno de 10 años, y de 13,164 habitantes afectados en situación actual, a 14,341 en el escenario SSP245 y 14,231 en el escenario SSP585 para el periodo de retorno de 100 años. Se puede observar que la diferencia entre los dos escenarios climáticos futuros a 2030 es casi inapreciable.

En la Figura 42 se presenta la distribución geográfica de la población afectada para el periodo de retorno de 100 años en la situación actual y en el horizonte 2030 SSP245, el más desfavorable de los escenarios con cambio climático.

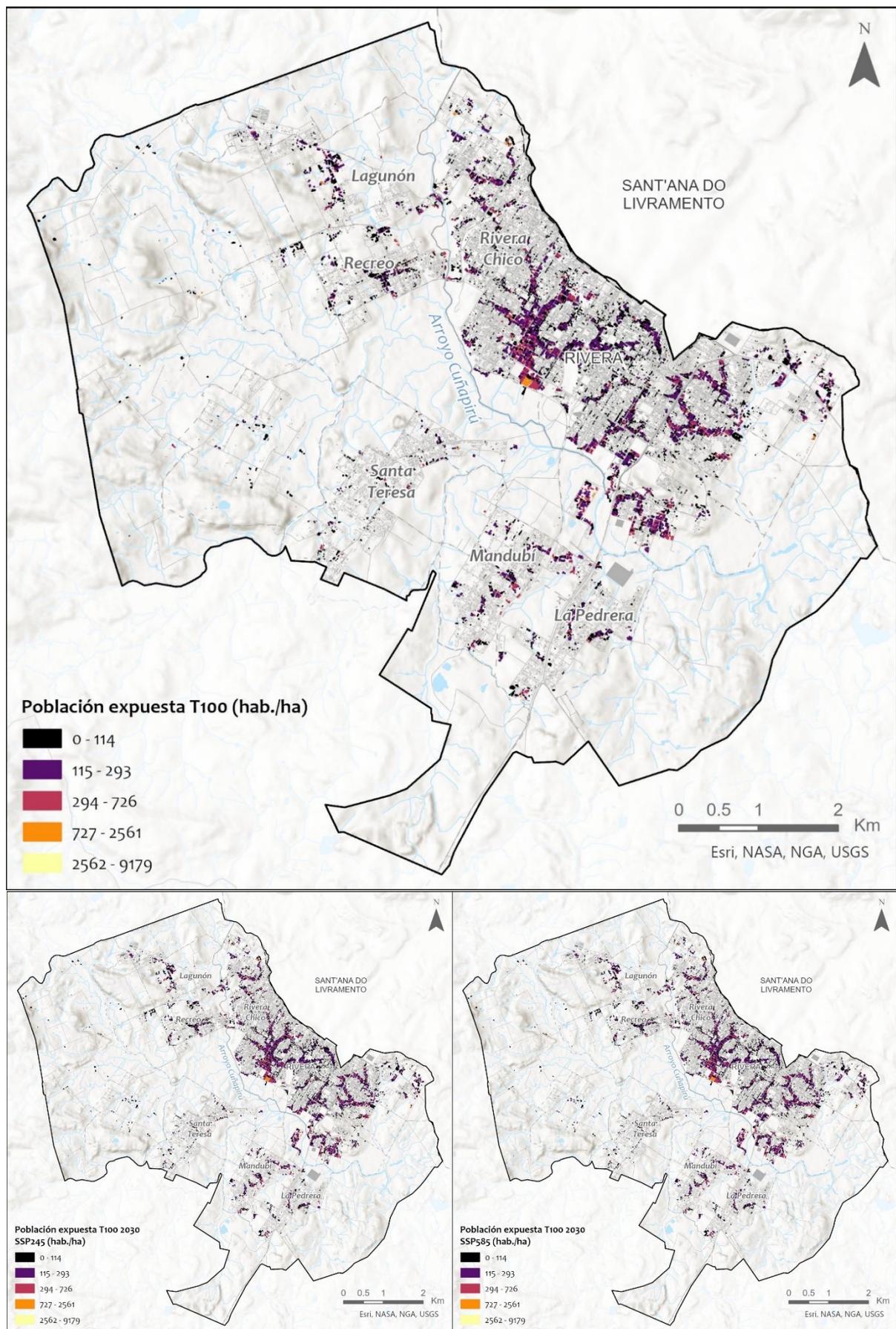


Figura 42. Población expuesta (hab./ha) para el evento de 100 años de periodo de retorno en la situación actual y en el horizonte 2030 (SSP245 y SSP585). Fuente: IHCantabria, 2024.

8.4. Caracterización de la vulnerabilidad

El análisis de la vulnerabilidad de los elementos expuestos consiste en el estudio del grado de afectación que puede generar el peligro en los elementos expuestos, siendo una cualidad intrínseca al sistema y función de las características naturales de esos elementos expuestos.

La vulnerabilidad física se representa mediante curvas de vulnerabilidad o funciones de daño (Figura 58) para cada calidad constructiva o categoría de IC, que relacionan la profundidad de la lámina de agua con el daño potencial sobre el elemento analizado, que dependerá de las características intrínsecas de este. Las funciones de vulnerabilidad física para inundaciones se han establecido considerando las definidas por las herramientas ERN-Vulnerabilidad (CAPRA, www.capra.org) y HAZUS (<https://www.fema.gov/hazus>), adaptándolas al contexto del presente estudio según la caracterización física de las construcciones.

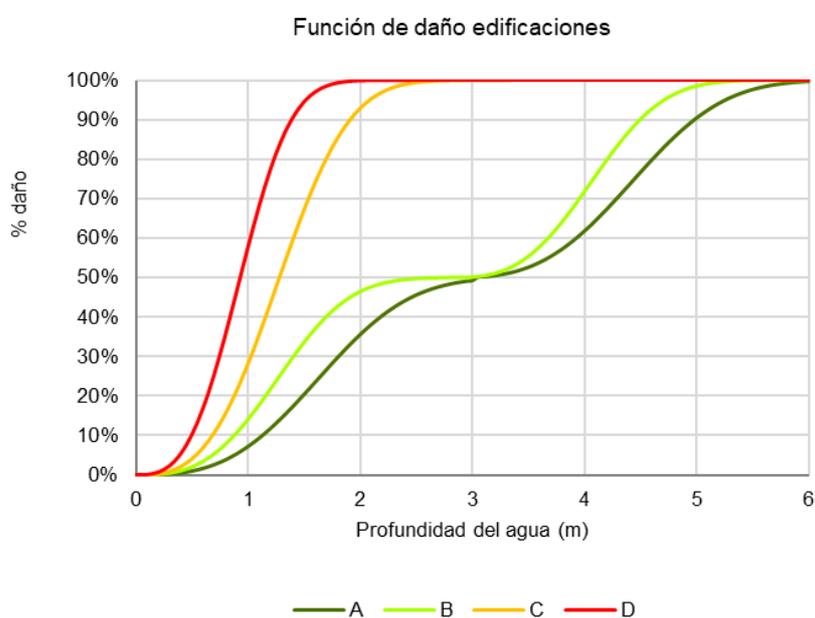


Figura 43. Funciones de daño para calcular los riesgos de inundación. Fuente: IHCantabria, 2024.

La vulnerabilidad social se representa con la fórmula debida a (Jonkman, et al., 2008), que ha sido empleada con éxito en diversos estudios y se basa en datos de eventos reales. Estos autores introducen una probabilidad de muerte que depende la profundidad de la lámina de agua (h), la velocidad (v) y la tasa de aumento de la lámina del agua (dh/dt).

8.5. Cálculo del riesgo

En este capítulo se presentan riesgos económicos y sociales, tanto en su faceta de daños económicos en edificaciones e infraestructuras críticas, como en la vertiente social, expresada en número de fallecidos y afectados. Estos riesgos se han calculado para cada escenario considerado y para todos los periodos de retorno considerados (5, 10, 50, 100 y 500 años).

Para el cálculo de los daños se han considerado las siguientes categorías de daño económico para cada periodo de retorno:

- Daños directos en edificaciones: se obtienen aplicando las curvas de vulnerabilidad a las tipologías de viviendas de la zona, teniendo en cuenta la profundidad del agua alcanzado por los eventos de distinto periodo de retorno.
- Daños directos en infraestructuras críticas: son el equivalente a los daños en edificaciones, pero aplicados a infraestructuras públicas.
- Daños totales: la suma de todos los anteriores para cada periodo de retorno.

Igualmente, se han considerado para cada periodo de retorno los siguientes tipos de daño humano:

- Número de personas afectadas por eventos: se define como el número de habitantes ubicados en lugares afectados por un evento y se ha obtenido como aquellas personas censadas en zonas cuya profundidad asociada a un evento dado es superior a 0.3 m.
- Número de fallecidos y heridos graves.

Toda esta información se ha condensado en un número más reducido de parámetros (con dimensiones) e indicadores (adimensionales) de daño, tanto económico como humano:

PARÁMETROS DE DAÑO ECONÓMICO	INDICADORES DE DAÑO ECONÓMICO
<ul style="list-style-type: none"> ➤ <u>Pérdida máxima probable (PMP)</u>: la PMP representa el valor de pérdida global para una tasa de excedencia dada. Dependiendo de la capacidad de la entidad para manejar el riesgo, se puede optar por gestionar pérdidas hasta determinado periodo de retorno (BID, 2019). ➤ <u>Pérdida anual esperada (PAE)</u>: la PAE se calcula como la suma del producto entre las pérdidas esperadas para determinado evento, y la probabilidad de ocurrencia de dicho evento en un periodo de un año, para todos los periodos de retorno considerados. En términos probabilistas, la PAE es la esperanza matemática de la pérdida anual (BID, 2019). 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ <u>Índice de daños económicos medios</u>, es el porcentaje que representa la PMP sobre la renta total de la zona afectada (%). ➤ <u>Índice de daños económicos medios</u>, es el porcentaje que representa la PAE sobre la renta total de la zona afectada (%).
PARÁMETROS DE DAÑOS HUMANOS	INDICADORES DE DAÑOS HUMANOS
<ul style="list-style-type: none"> ➤ <u>Número medio anual de personas afectadas por eventos de inundación</u> ➤ <u>Número medio de fallecidos anuales</u> 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ <u>Índice de afectación humana (%)</u>: porcentaje de afectados por el peligro. ➤ <u>Índice de fatalidad</u>: proporción de fallecidos y heridos graves por cada millón de habitantes.

Además de todas las tablas y figuras con resultados para todos los periodos de retorno y escenarios climáticos evaluados, a modo de ejemplo, se muestran los mapas de elementos expuestos para los eventos de 100 años de periodo de retorno en el área de estudio.



8.5.1. Evaluación de los daños económicos por inundación

Riesgo económico en edificaciones

Los riesgos económicos directos en las edificaciones del área de estudio, debidos a una inundación se han obtenido aplicando las curvas de vulnerabilidad antes descritas a las tipologías de viviendas de la zona, teniendo en cuenta la profundidad del agua alcanzada por los eventos de distinto periodo de retorno. Con estos valores, también se ha podido estimar un valor anualizado medio de dichos daños.

Los riesgos económicos directos en las edificaciones para los escenarios contemplados se presentan en la Tabla 18.

Indicador de riesgo de inundación	T5	T10	T50	T100	T500	PAE
SITUACIÓN ACTUAL						
Daños directos edificaciones (MUSD \$)	1.97	3.50	9.68	13.45	23.22	1.12
Daños directos edificaciones (% sobre el valor de reposición)	0.07	0.13	0.36	0.50	0.87	0.04
HORIZONTE 2030 SSP245						
Daños directos edificaciones (MUSD \$)	2.38	4.40	11.49	16.18	28.01	1.36
Daños directos edificaciones (% sobre el valor de reposición)	0.09	0.17	0.43	0.61	1.05	0.05
HORIZONTE 2030 SSP585						
Daños directos edificaciones (MUSD \$)	2.23	4.11	11.43	15.98	27.30	1.30
Daños directos edificaciones (% sobre el valor de reposición)	0.08	0.15	0.43	0.60	1.02	0.05

Tabla 18. Resultados de daños directos por inundación en edificaciones. Valores relativos respecto del total inventariado. Fuente: IHCantabria, 2024.

Para la situación actual los resultados obtenidos indican que los daños directos por inundación pueden oscilar, para eventos de menor a mayor periodo de recurrencia, entre 1.97 MUSD \$ y 23.22 MUSD \$, con un valor medio anual de 1.12 MUSD \$. Estos daños representan entre un 0.07% y un 0.87% del valor económico de reposición inventariado de las edificaciones, con un valor medio anual de 0.04%.

En cuanto a los escenarios con cambio climático los resultados apuntan a un ligero aumento de los daños directos por inundación que pueden oscilar, para eventos de menor a mayor periodo de recurrencia, entre 2.38 MUSD \$ y 28.01 MUSD \$ para el SSP245 y entre 2.23 MUSD \$ y 27.30 MUSD \$ para el SSP585, con un valor medio anual de en torno a 1.30 MUSD \$ para ambos. Estos daños representan entre un 0.1% y un 1% del valor económico de reposición inventariado de las edificaciones, con un valor medio anual de 0.05%. A la vista de los resultados se puede concluir que no apenas hay diferencia entre los dos escenarios futuros en el horizonte 2030.

En la Figura 44 se presenta la distribución geográfica de la de la pérdida económica en edificaciones para el periodo de retorno de 100 años en los tres escenarios climáticos analizados.

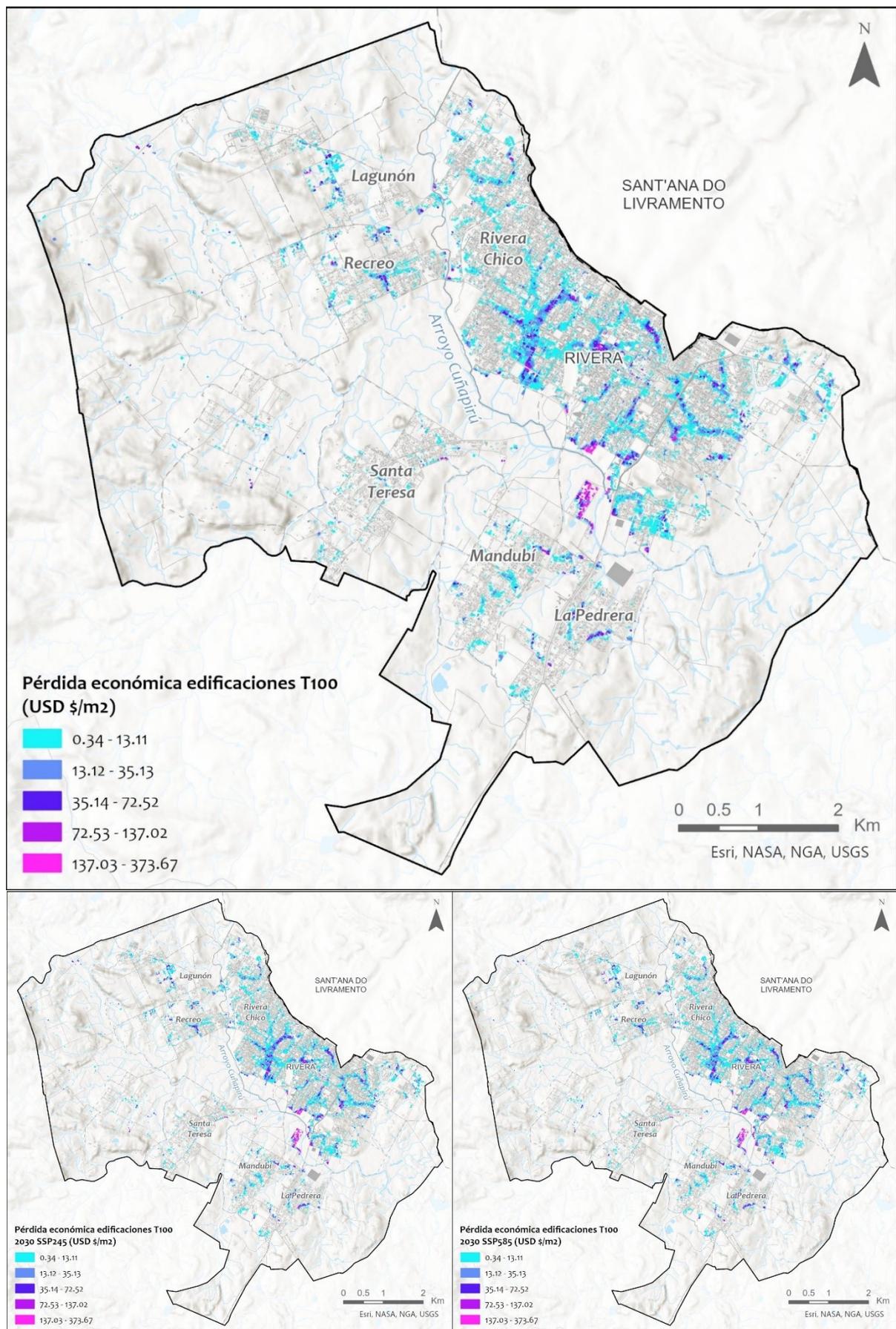


Figura 44. Distribución geográfica de la pérdida económica en edificaciones para 100 años de periodo de retorno (USD \$/m²) en la situación actual y en el horizonte 2030 (SSP245 y SSP585). Fuente: IH Cantabria, 2024.



Riesgo económico infraestructuras críticas

Las inundaciones también pueden dañar infraestructuras críticas, de carácter público o privado, que además de sufrir un daño directo, inducen daños indirectos o sistémicos, derivados de la interrupción de los flujos o servicios que generan. En el ámbito de este estudio solo se evalúan los daños económicos directos, que son el equivalente a los daños directos en edificaciones, pero aplicados a infraestructuras críticas. Dependen del nivel máximo del agua en el lugar donde se encuentra cada infraestructura.

En la Tabla 19 se presenta un resumen de los resultados obtenidos de daños en infraestructuras críticas para una inundación fluvial asociada a cada uno de los eventos y escenarios climáticos.

Indicador de riesgo de inundación	T5	T10	T50	T100	T500	PAE
SITUACIÓN ACTUAL						
Daños directos IC (MUSD \$)	0.05	0.09	0.19	0.25	0.36	0.03
Daños directos IC (% sobre el valor de reposición)	0.27	0.49	1.05	1.42	2.03	0.14
HORIZONTE 2030 SSP245						
Daños directos IC (MUSD \$)	0.06	0.09	0.22	0.25	0.44	0.03
Daños directos IC (% sobre el valor de reposición)	0.32	0.49	1.25	1.41	2.46	0.16
HORIZONTE 2030 SSP585						
Daños directos IC (MUSD \$)	0.06	0.08	0.24	0.26	0.42	0.03
Daños directos IC (% sobre el valor de reposición)	0.32	0.48	1.33	1.44	2.36	0.16

Tabla 19. Resultados de daños directos por inundación en IC. Valores relativos respecto del total inventariado. Fuente: IHCantabria, 2024.

Para la situación actual los resultados obtenidos indican que los daños directos pueden oscilar, para eventos de menor a mayor periodo de recurrencia, entre 50,000 USD \$ y 360,000 USD \$, con un valor medio anual de 30,000 USD \$. Estos daños representan entre un 0.27% y un 2.03% del valor económico de reposición inventariado de las IC, con un valor medio anual de 0.14%, lo que representa un valor muy bajo del total.

En cuanto a los escenarios con cambio climático los resultados, del mismo modo que en las edificaciones residenciales, apuntan a un aumento muy pequeño de los daños directos por inundación que pueden oscilar, para eventos de menor a mayor periodo de recurrencia, entre 60,000 USD \$ y 440,000 USD \$ para el SSP245 y entre 60,000 USD \$ y 420,000 USD \$ para el SSP585, con un valor medio anual igual al que encontramos en la situación actual de 30,000 USD \$ para ambos. Estos daños representan para ambos escenarios futuros en el horizonte 2030 entre un 0.32% y un 2.4% del valor económico de reposición inventariado de las edificaciones, con un valor medio anual de 0.16%.

En la Figura 45 se presenta la distribución geográfica de la de la pérdida económica en edificaciones para el periodo de retorno de 100 años en los tres escenarios climáticos analizados.

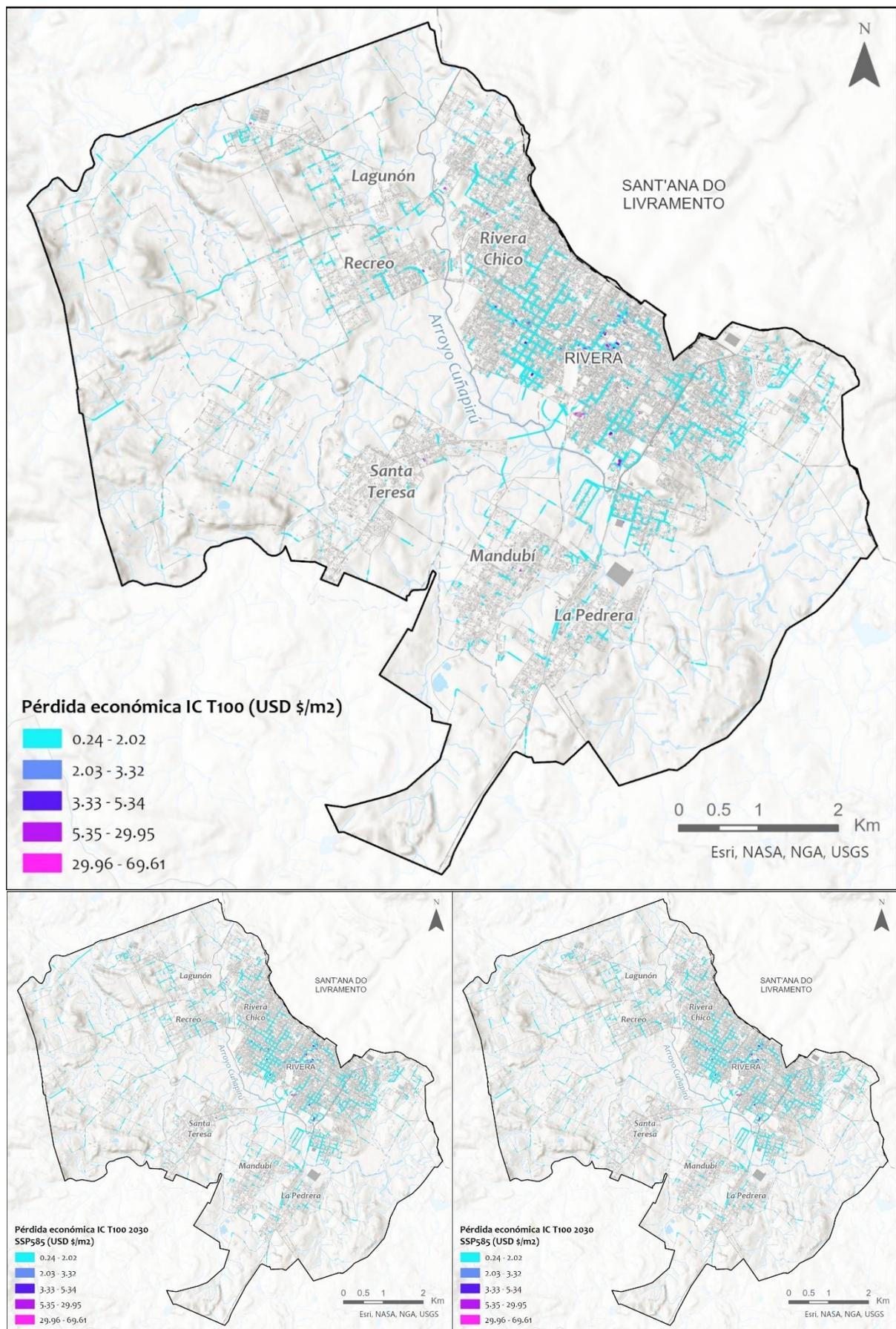


Figura 45. Distribución geográfica de la pérdida económica en IC para 100 años de periodo de retorno (USD \$/m²) en la situación actual y en el horizonte 2030 (SSP245 y SSP585). Fuente: IH Cantabria, 2024.



Riesgo económico total por inundación

En este apartado se presentan los riesgos económicos totales teniendo en cuenta los riesgos directos tanto para las edificaciones como para las infraestructuras críticas para periodos de retorno y escenarios climáticos analizados.

Se presentan además los siguientes indicadores de riesgos económicos:

- Pérdida máxima probable (PMP): la PMP representa el valor de pérdida global para una tasa de excedencia dada. Dependiendo de la capacidad de la entidad para manejar el riesgo, se puede optar por gestionar pérdidas hasta determinado periodo de retorno (BID, 2019).
- Pérdida anual esperada (PAE): la PAE se calcula como la suma del producto entre las pérdidas esperadas para determinado evento, y la probabilidad de ocurrencia de dicho evento en un periodo de un año, para todos los eventos estocásticos considerados. En términos probabilistas, la PAE es la esperanza matemática de la pérdida anual (BID, 2019).
- Índice de daños económicos totales, sobre el valor de la renta total de la zona afectada² (%).

En la Tabla 20 se presentan los daños económicos totales y los indicadores de riesgos de desastres económicos para los escenarios y periodos de retorno considerados.

Indicador de riesgo de inundación	T5	T10	T50	T100	T500	PAE
SITUACIÓN ACTUAL						
Daños directos edificaciones (MUSD \$)	1.97	3.50	9.68	13.45	23.22	1.12
Daños directos IC (MUSD \$)	0.05	0.09	0.19	0.25	0.36	0.03
Daños totales (MUSD \$)	2.02	3.59	9.87	13.70	23.58	1.14
Daños totales (% sobre el valor de reposición total)	0.08	0.13	0.37	0.51	0.88	0.04
Índice de daños económicos (% daños sobre renta)	0.12	0.21	0.57	0.79	1.36	0.07
HORIZONTE 2030 SSP245						
Daños directos edificaciones (MUSD \$)	2.38	4.40	11.49	16.18	28.01	1.36
Daños directos IC (MUSD \$)	0.06	0.09	0.22	0.25	0.44	0.03
Daños totales (MUSD \$)	2.44	4.49	11.71	16.43	28.45	1.39
Daños totales (% sobre el valor de reposición total)	0.09	0.17	0.44	0.61	1.06	0.05
Índice de daños económicos (% daños sobre renta)	0.14	0.26	0.68	0.95	1.64	0.08
HORIZONTE 2030 SSP585						
Daños directos edificaciones (MUSD \$)	2.23	4.11	11.43	15.98	27.30	1.30
Daños directos IC (MUSD \$)	0.06	0.08	0.24	0.26	0.42	0.03
Daños totales (MUSD \$)	2.29	4.19	11.67	16.23	27.72	1.33
Daños totales (% sobre el valor de reposición total)	0.09	0.16	0.43	0.60	1.03	0.05
Índice de daños económicos (% daños sobre renta)	0.13	0.24	0.67	0.94	1.60	0.08

Tabla 20. Resultados de daños económicos por inundación. Valores relativos respecto del total inventariado. Fuente: IHCantabria, 2024.

En la Figura 46 se presenta la curva de excedencia de las pérdidas económicas.

² PIB per cápita de Uruguay (2023) Fuente: Indicadores del Banco Mundial (<https://datos.bancomundial.org/indicador/NY.GDP.PCAP.CD?locations=UY>)

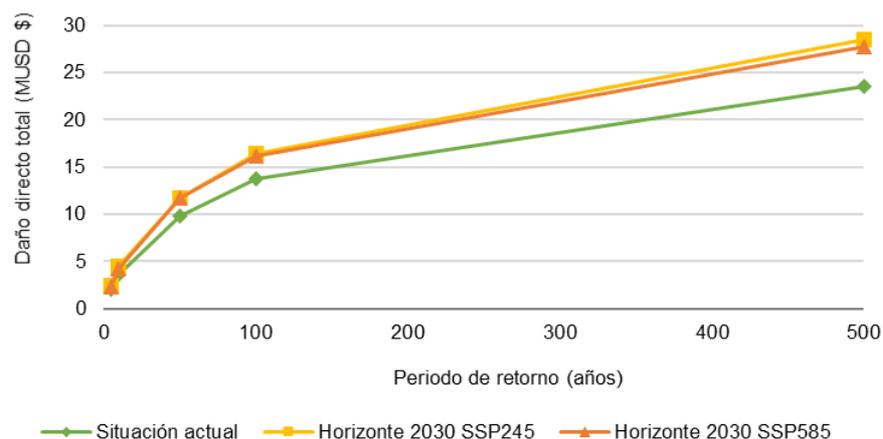


Figura 46. Curva de excedencia de pérdidas económicas. Fuente: IHCantabria, 2024.

Para la situación actual el riesgo económico total aumenta, como es de esperar, a medida que lo hace el periodo de retorno, de los 2.02 MUSD \$ a los 23.58 MUSD \$, con un valor medio anual de USD 1.14 MUSD \$. Estos valores suponen entre un 0.08% y un 0.88% del valor de reposición total de las edificaciones y las IC, y entre un 0.12% y un 1.36% del valor de la renta del área de estudio.

En el horizonte 2030 cambio climático SSP245 el riesgo económico total aumenta ligeramente respecto de la situación actual para todos los periodos de retorno con valores que van desde los 2.44 MUSD \$ a los 28.45 MUSD \$, con un valor medio anual de 1.39 MUSD \$. Estos valores suponen entre un 0.09% y un 1.06% del valor de reposición total de las edificaciones y las infraestructuras críticas, y entre un 0.14% y un 1.64% del valor de la renta del área de estudio.

En el horizonte 2030 cambio climático SSP585 presenta cifras muy similares a las del otro escenario futuro, con valores que van desde los 2.29 MUSD \$ a los 27.72 MUSD \$, con un valor medio anual de 1.33 MUSD \$. Estos valores suponen entre un 0.09% y un 1.03% del valor de reposición total de las edificaciones y las infraestructuras críticas, y entre un 0.13% y un 1.60% del valor de la renta del área de estudio.

8.5.2. Evaluación de los daños sociales por inundación

En este apartado se presentan los riesgos sociales para todos los periodos de retorno analizados. Concretamente, se han obtenido:

- Número de personas afectadas por eventos de inundación: se define como el número de habitantes ubicados en lugares afectados por un evento y se ha obtenido como aquellas personas censadas en zonas cuya profundidad de agua asociada a un evento dado es superior a 0.3 m.
- Número de fallecidos y heridos graves

Además, se han obtenido los correspondientes indicadores de riesgos sociales debidos a inundaciones adimensionalizados con respecto a la población total:

- Índice de afectación humana (%): porcentaje de afectados por el peligro.
- Índice de fatalidad: proporción de fallecidos y heridos graves por cada millón de habitantes.



Riesgo social por inundación

En la Tabla 21 se presentan los daños sociales y los indicadores de riesgos de desastres sociales para los escenarios y periodos de retorno considerados.

Indicador de riesgo de inundación	T5	T10	T50	T100	T500	PAE
SITUACIÓN ACTUAL						
Personas afectadas	4,604	6,651	11,354	13,164	16,928	1,978
Fallecidos y heridos graves	0.13	0.20	0.42	0.55	1.02	0.06
Índice de afectación (% personas afectadas respecto de la población total)	6.00	8.67	14.81	17.17	22.08	2.58
Índice de fatalidad (vidas por millón de habitantes)	1.72	2.63	5.46	7.13	13.33	0.81
HORIZONTE 2030 SSP245						
Personas afectadas	5,149	7,460	12,281	14,341	18,477	2,202
Fallecidos y heridos graves	0.15	0.23	0.48	0.66	1.32	0.07
Índice de afectación (% personas afectadas respecto de la población total)	6.72	9.73	16.02	18.70	24.10	2.87
Índice de fatalidad (vidas por millón de habitantes)	1.96	3.06	6.29	8.56	17.19	0.94
HORIZONTE 2030 SSP585						
Personas afectadas	5,043	7,269	12,234	14,231	18,410	2,159
Fallecidos y heridos graves	0.15	0.23	0.48	0.64	1.28	0.07
Índice de afectación (% personas afectadas respecto de la población total)	6.58	9.48	15.96	18.56	24.01	2.82
Índice de fatalidad (vidas por millón de habitantes)	1.90	2.94	6.22	8.38	16.73	0.92

Tabla 21. Resultados de daños sociales por inundación. Valores relativos respecto del total inventariado. Fuente: IHCantabria, 2024.

Para la situación actual las personas afectadas aumentan de 4,604 a 16,928, conforme lo hace el periodo de retorno de la inundación. Así, el 6% de la población se ve afectada directamente por eventos de inundación fluvial moderados o leves con cierta frecuencia (cada 5 años); en el caso de un hipotético evento extremo, por ejemplo, una avenida de 500 años de periodo de retorno, este fenómeno podría afectar, con variada intensidad, al 22.08% de la población.

Inundaciones de distinta magnitud producen un índice de fatalidad entre 1.72 y 13.33 (eventos de 5 y 500 años de periodo de retorno, respectivamente), lo que da una fatalidad media anualizada de 0.81.

En el horizonte 2030 cambio climático SSP245 las personas afectadas aumentan ligeramente respecto de la situación actual para todos los periodos de retorno con valores que van 5,149 desde a 18,477 personas afectadas lo que supone un 6.72% a un 24.10% de la población inventariada para 5 y 500 años de periodo de retorno. En cuanto al índice de fatalidad este va de 1.96 a 17.19 (eventos de 5 y 500 años de periodo de retorno, respectivamente), lo que da una fatalidad media anualizada de 0.94.

En el horizonte 2030 cambio climático SSP585, del mismo modo que para los daños económicos, presenta cifras muy similares a las del otro escenario futuro, con valores que van 5,043 desde a 18,410 personas afectadas lo que supone un 6.58% a un 24.01% de la población inventariada para 5 y 500 años de periodo de retorno. En cuanto al índice de fatalidad este va de 1.90 a 16.73 (eventos de 5 y 500 años de periodo de retorno, respectivamente), lo que da una fatalidad media anualizada de 0.92.

En las Figura 47 se presenta la distribución geográfica de la de la estimación de pérdida de vidas humanas para el periodo de retorno de 100 años en los tres escenarios climáticos analizados.

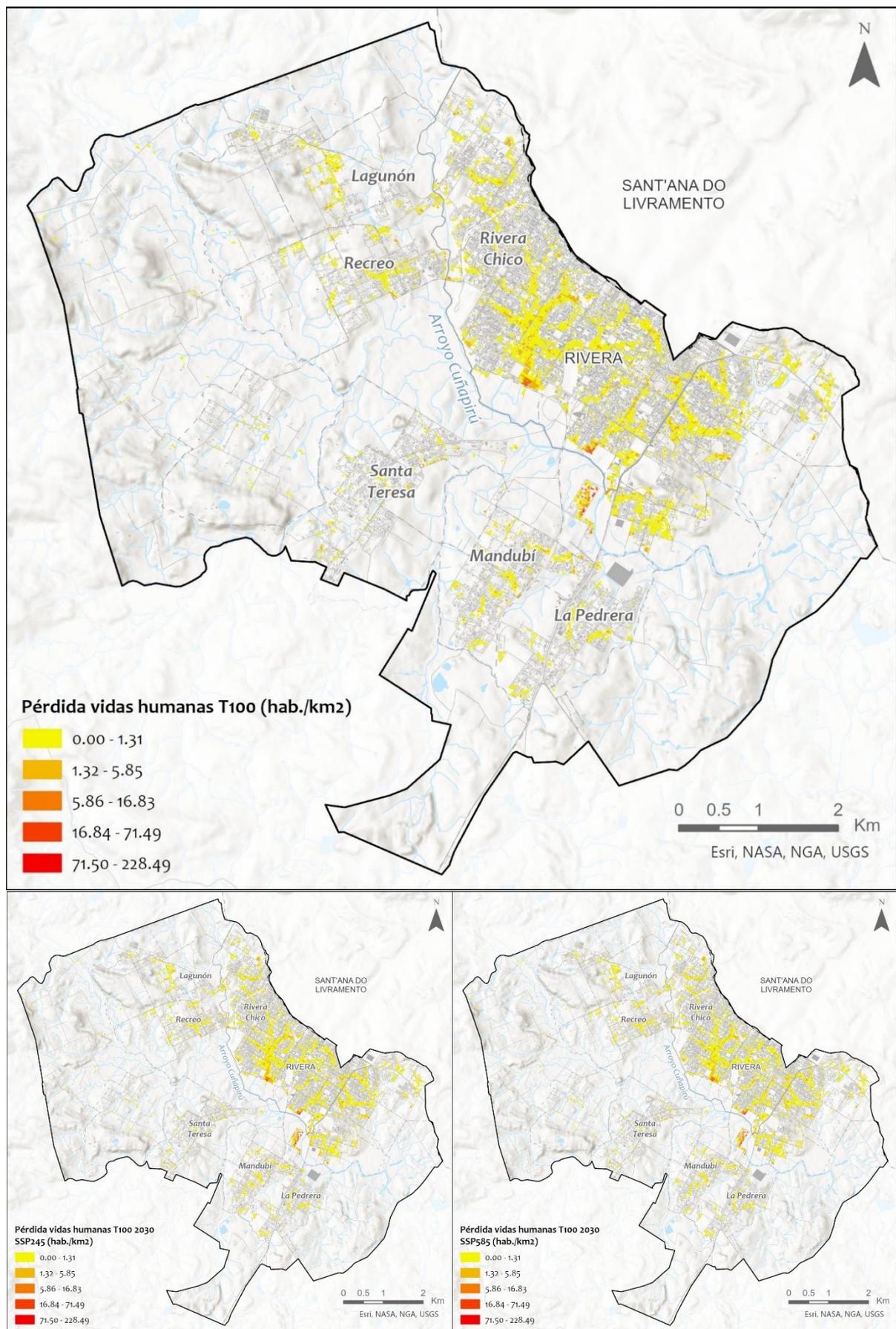


Figura 47. Distribución geográfica de la pérdida de vidas humanas (hab./km²) para 100 años de periodo de retorno en la situación actual y en el horizonte 2030 (SSP245 y SSP585). Fuente: IHCantabria, 2024.



9. ESTUDIO DE RIESGO POR OLA DE CALOR Y FRÍO

El objetivo principal del presente estudio es conocer cómo afectan las olas de calor y de frío a la población del área de estudio, ámbito del Plan de la Microrregión de Rivera.

9.1. Caracterización de la amenaza

El objetivo de este apartado es la caracterización de las olas de calor y de frío, en cuanto a frecuencia y duración, en el área de estudio en cada uno de los escenarios de estudio. Para esto, se tienen en cuenta las temperaturas mínimas y máximas proporcionadas por INUMET y se realiza un tratamiento y un procedimiento estadístico de los datos.

9.1.1. Ola de calor

Una ola de calor se define generalmente como un período prolongado de temperaturas anormalmente altas, que puede variar según el contexto geográfico. No hay una definición única universalmente aceptada, pero comúnmente se considera una ola de calor cuando las temperaturas máximas diarias superan un umbral específico durante varios días consecutivos.

En Uruguay, el INUMET considera ola de calor cuando la temperatura mínima y máxima supera el percentil 90 por, al menos, 3 días consecutivos.

Estos valores umbrales se calculan con base en la distribución climatológica de las temperaturas extremas tomando cierto período de referencia (1994-2024). Para la estación meteorológica de Rivera los percentiles 90 de las temperaturas máxima y mínima son **32.1°C y 20°C**, respectivamente.

Los indicadores de amenaza que se han tenido en cuenta para caracterizar la misma son los siguientes:

- Frecuencia: La frecuencia de las olas de calor ha aumentado en muchas partes del mundo debido al cambio climático. Esto significa que estos eventos están ocurriendo más a menudo que en el pasado.
- Duración: Las olas de calor pueden durar desde unos pocos días hasta varias semanas. La duración prolongada aumenta el riesgo de impactos adversos en la salud, la infraestructura y el medio ambiente.

Indicador	Actual	2030 SSP245	2030 SSP585
Número de olas de calor	1.86	3.31	4.17
Duración media (días)	4.17	4.45	4.41

Tabla 22. Valores que toman los indicadores que caracterizan las olas de calor. Fuente: IHCantabria, 2024.

9.1.2. Ola de frío

Una ola de frío se define generalmente como un período prolongado de temperaturas anormalmente bajas, que puede variar según el contexto geográfico. No hay una definición única universalmente aceptada, pero comúnmente se considera una ola de frío cuando las temperaturas mínimas diarias no superan un umbral específico durante varios días consecutivos.

En Uruguay, el INUMET considera ola de frío cuando la temperatura mínima y máxima no supera el percentil 10 por, al menos, 3 días consecutivos.

Estos valores umbrales se calculan con base en la distribución climatológica de las temperaturas extremas tomando cierto período de referencia (1994-2024). Para la estación meteorológica de Rivera los percentiles 10 de las temperaturas máxima y mínima son **15.2°C y 5.4°C**, respectivamente.

Los indicadores de amenaza que se han tenido en cuenta para caracterizar la misma son los siguientes:

- Frecuencia: La frecuencia de las olas de frío puede variar dependiendo de la región y del cambio climático. Algunas áreas pueden experimentar un aumento en la frecuencia de estos eventos debido a cambios en los patrones climáticos.
- Duración: Las olas de frío pueden durar desde unos pocos días hasta varias semanas. La duración prolongada aumenta el riesgo de impactos adversos en la salud, la infraestructura y el medio ambiente.

Indicador	Actual	2030 SSP245	2030 SSP585
Número de olas de frío	2.31	1.86	1.76
Duración media (días)	4.1	3.85	3.78

Tabla 23. Valores que toman los indicadores que caracterizan las olas de frío. Fuente: IHCantabria, 2024.

9.2. Caracterización de la vulnerabilidad

En este apartado se analizan los principales indicadores de vulnerabilidad relevantes para determinar el riesgo de ola de calor y de frío.

En cuanto a los indicadores de vulnerabilidad, se han considerado los siguientes:

- Densidad de población. Las zonas más densas suelen ser más vulnerables al fenómeno.
- Porcentaje de población sensible. La proporción de ancianos y niños es un factor de vulnerabilidad a las olas de calor y frío bien documentado.
- Porcentaje de mujeres: Las mujeres son más vulnerables a las olas de calor y frío por una combinación de factores fisiológicos, sociales, económicos y de roles de género.
- Necesidades básicas insatisfechas (NBI). Identifican carencias críticas en una población y caracterizan la pobreza. En este caso, utiliza indicadores directamente relacionados con dos áreas de necesidades básicas de las personas (vivienda y servicios básicos), disponibles en los censos de población y vivienda.
- Accesibilidad a los centros sanitarios.
- Zonas sin bosques o áreas verdes.

Todas estas variables se obtienen con datos del Censo de 2011 de Uruguay del Instituto Nacional de Estadística (INE) a nivel de segmento censal. Para su visualización en los mapas estos valores a nivel segmento censal se han trasladado a una capa de edificaciones residenciales obtenida a partir de

parcelario urbano de la Dirección Nacional del Catastro (DNC) y la base de datos global Open Buildings.

9.2.1. Densidad de población

En la Figura 48 se presenta la distribución espacial de la densidad de población a nivel de segmento censal (Censo 2011) en el área de estudio. Se puede observar que las zonas más densamente pobladas se encuentran en el microcentro de la ciudad, sobre todo en el oeste de esta área, mientras que en las áreas periurbanas las cifras son considerablemente menores.

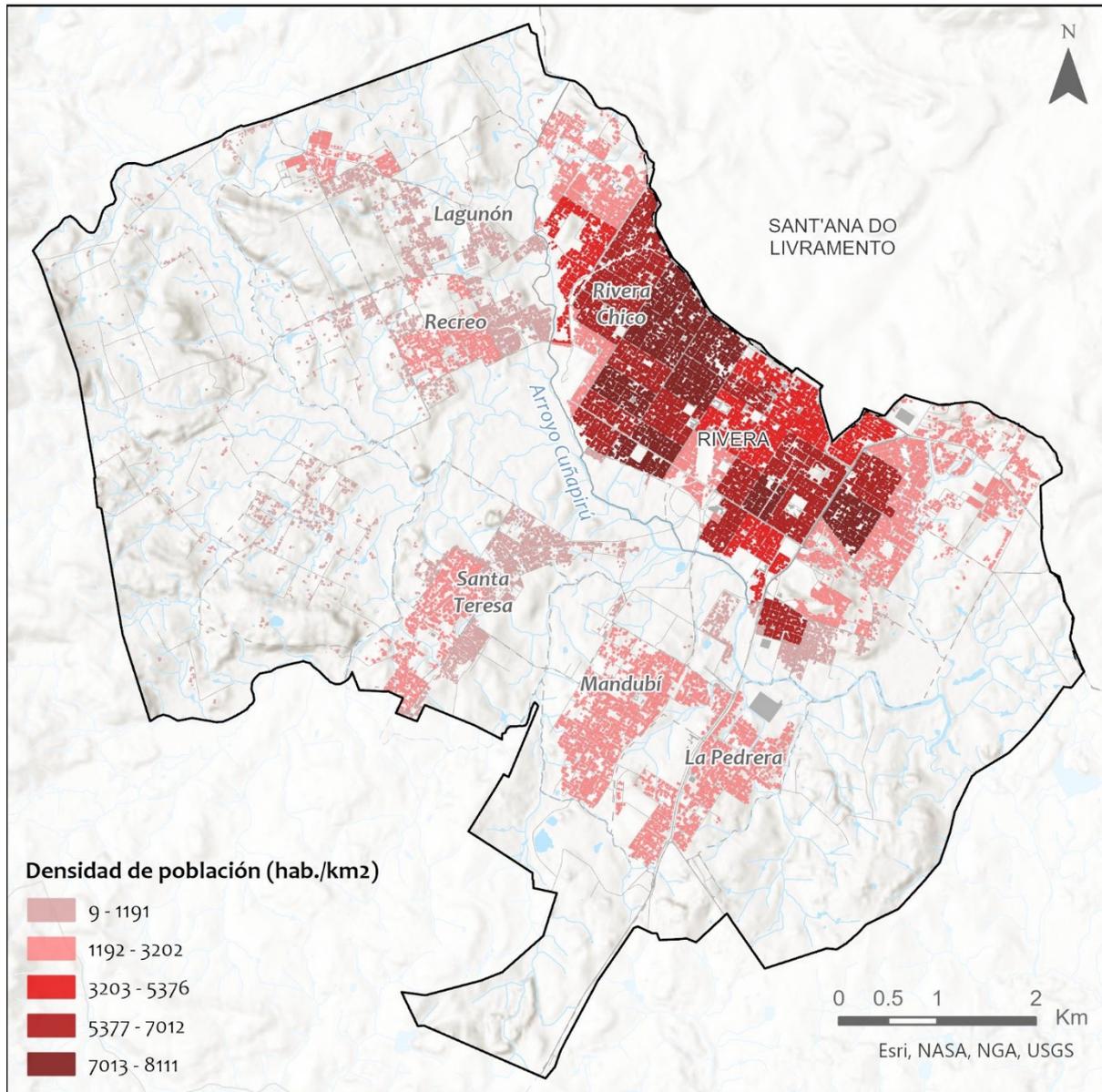


Figura 48. Densidad de población en el área de estudio. Fuente: IHCantabria, 2024, con información del Censo de 2011.

Las zonas densamente pobladas son más vulnerables frente a las olas de calor debido al efecto isla de calor urbano, donde materiales como asfalto y concreto retienen calor, elevando las temperaturas por encima de las áreas rurales. Esto, junto con la sobrecarga o falla de infraestructuras de refrigeración y la escasez de espacios verdes, aumenta el riesgo de golpes de calor y enfermedades

relacionadas. Además, las viviendas en estas áreas suelen ser mal adaptadas, con poca ventilación o aislamiento, lo que agrava la exposición al calor extremo, especialmente en comunidades de bajos ingresos.

Durante las olas de frío, la demanda de calefacción sobrecarga los sistemas disponibles, exponiendo a las personas vulnerables, como ancianos y familias sin recursos, a enfermedades como la hipotermia. La mala calidad del aire ya sea por contaminantes acumulados durante el calor o por calefacción a base de combustibles en el frío, agrava problemas respiratorios. La falta de planificación urbana y de infraestructura resiliente hace que estas áreas enfrenten mayores riesgos ante temperaturas extremas, exacerbando la vulnerabilidad de sus habitantes.

9.2.2. Población sensible

Las zonas con alta concentración de población sensible, como niños y ancianos, son especialmente vulnerables frente a olas de calor debido a sus características fisiológicas y condiciones de salud. Los niños tienen un sistema de termorregulación inmaduro, lo que los hace más propensos a sufrir golpes de calor o deshidratación, mientras que los ancianos experimentan una disminución en la capacidad de regular la temperatura debido a factores como menor sudoración, reducción de la sensación de sed y enfermedades crónicas preexistentes. Además, la dependencia de cuidadores en ambos grupos puede retrasar la identificación y respuesta ante síntomas graves durante el calor extremo, aumentando los riesgos.

Frente a las olas de frío, la regulación térmica limitada también pone en riesgo a niños y ancianos. Los niños son más susceptibles a infecciones respiratorias, mientras que los ancianos, con menor capacidad para generar calor corporal, pueden sufrir hipotermia o agravamiento de enfermedades cardiovasculares y respiratorias. Los factores socioeconómicos, como la pobreza y el acceso limitado a recursos, agravan la situación, ya que muchas personas en estos grupos viven en viviendas mal aisladas o carecen de acceso adecuado a calefacción o refrigeración, exponiéndolos aún más a temperaturas extremas.

En la Figura 49 se presenta la distribución espacial de la población sensible, entendida como la población menor de 5 años y mayor de 65 años, a nivel de segmento censal (Censo 2011) en el área de estudio. La zona centro de la ciudad y barrios como La Raca y Bisio concentran el mayor porcentaje de población sensible, sin embargo en zonas periurbanas como Lagunón, Recreo, Mandubí y La Pedrera el porcentaje es bastante menor.

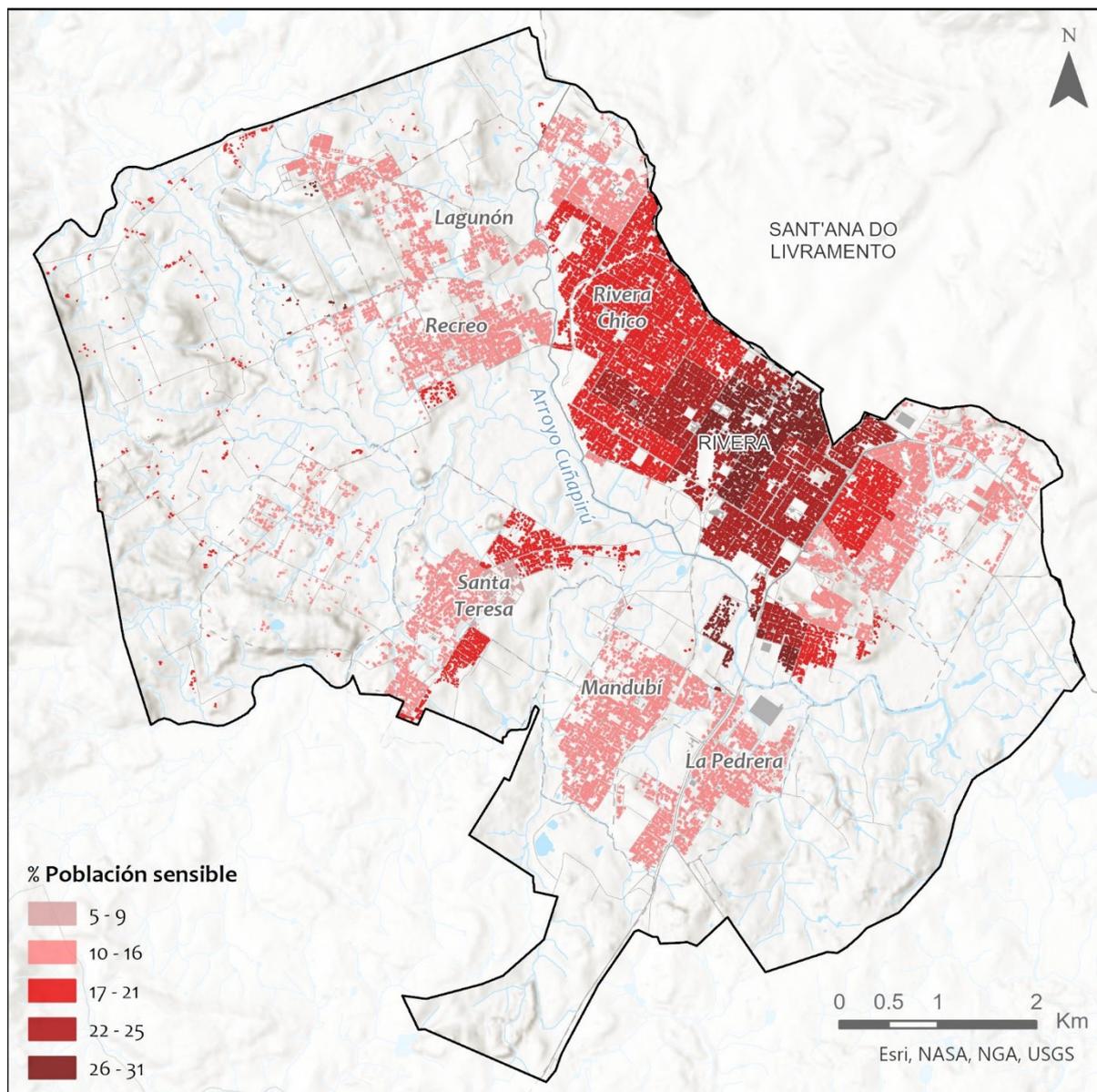


Figura 49. Porcentaje de población sensible en el área de estudio. Fuente: IHCantabria, 2024, con información del Censo de 2011.

9.2.3. Mujeres

La vulnerabilidad de las mujeres frente a las olas de calor y frío se relaciona con factores biológicos, sociales y económicos. Durante las olas de calor, las diferencias en la composición corporal y hormonal afectan su capacidad para regular la temperatura, haciéndolas más propensas al estrés térmico. Además, los roles de género, como el cuidado de otras personas, pueden aumentar su exposición al calor o llevarlas a descuidar su propio bienestar. Las condiciones de salud preexistentes, como enfermedades autoinmunes y cardiovasculares, también agravan los riesgos durante temperaturas extremas.

En el frío extremo, las mujeres enfrentan desafíos similares debido a su menor masa muscular, que reduce la generación de calor corporal. Las condiciones como osteoporosis y enfermedades crónicas, prevalentes en mujeres mayores, aumentan la vulnerabilidad a hipotermia y lesiones relacionadas con

el frío. Los factores socioeconómicos, como ingresos más bajos y viviendas inadecuadas, dificultan su acceso a calefacción y protección adecuada.

Finalmente, las desigualdades de género limitan el acceso a recursos esenciales, como atención médica y educación, especialmente para mujeres en situación de pobreza o en áreas rurales. Estas barreras, junto con la priorización del bienestar de sus familias, hacen que las mujeres enfrenten mayores riesgos frente a temperaturas extremas.

En la Figura 50 se presenta la distribución espacial del porcentaje de mujeres a nivel de segmento censal (Censo 2011) en el área de estudio. A pesar de que no hay grandes variaciones en los valores, el mayor porcentaje de mujeres se encuentra en el microcentro de la ciudad.

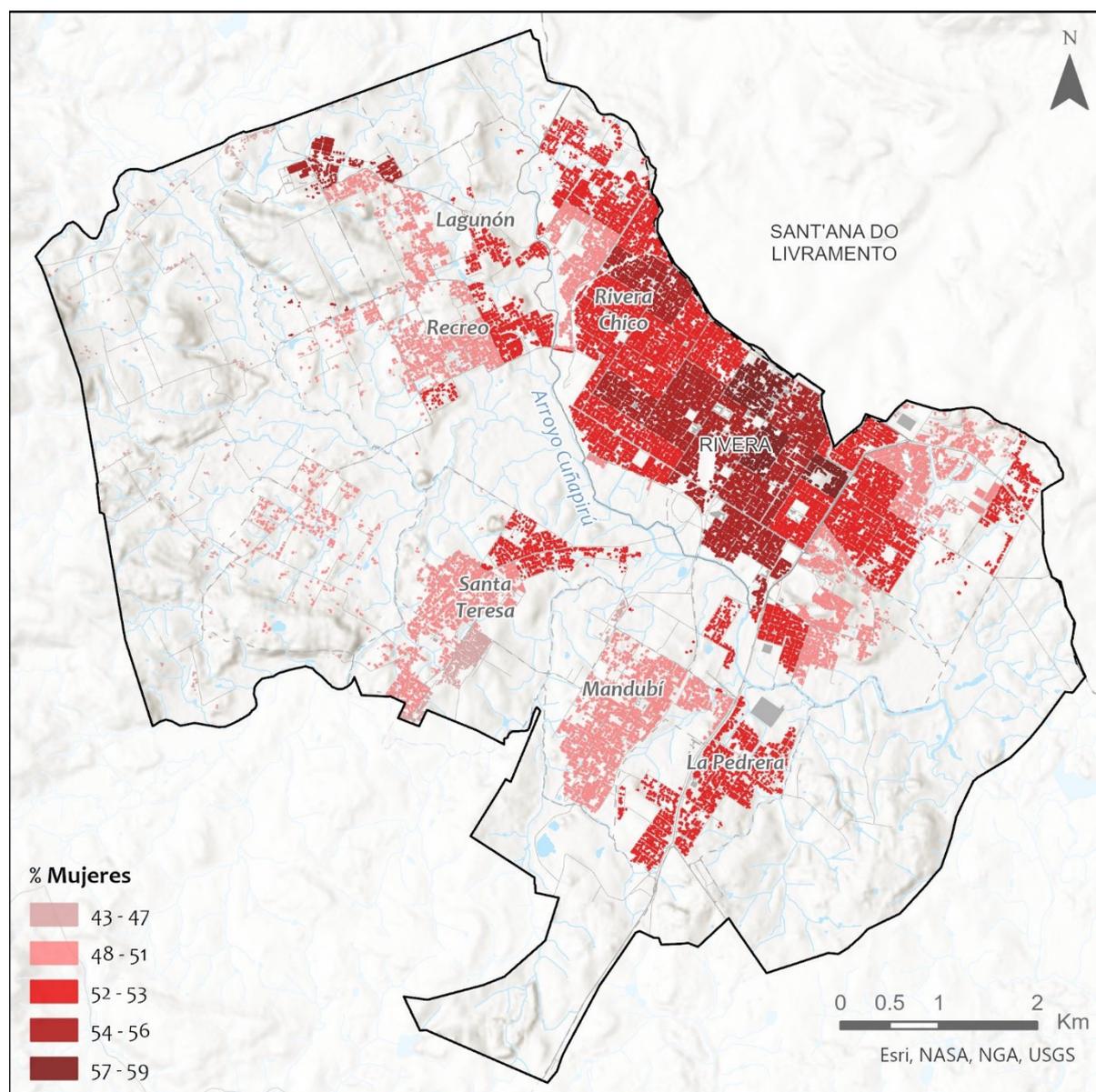


Figura 50. Porcentaje de mujeres en el área de estudio. Fuente: IHCantabria, 2024, con información del Censo de 2011.



9.2.4. Necesidades básicas insatisfechas (NBI)

Las zonas con Necesidades Básicas Insatisfechas (NBI) son particularmente vulnerables frente a las olas de calor y frío debido a la combinación de viviendas inadecuadas, acceso limitado a servicios básicos y recursos económicos escasos. Las viviendas suelen estar mal aisladas, construidas con materiales precarios y, en muchos casos, abarcan espacios hacinados que intensifican la exposición a temperaturas extremas. Además, la falta de electricidad y agua potable dificulta el uso de medios de enfriamiento o calefacción y complica la hidratación y el saneamiento durante condiciones climáticas extremas.

La pobreza en estas áreas reduce la capacidad de las personas para adquirir ventiladores, aires acondicionados, calentadores o ropa adecuada, mientras que su dependencia del empleo informal las expone aún más a ambientes exteriores hostiles. A esto se suma el acceso limitado a atención médica, con infraestructuras insuficientes y poblaciones ya afectadas por problemas de salud crónicos. Las desigualdades sociales, como la alta proporción de niños y ancianos, junto con el bajo nivel educativo, dificultan la preparación y respuesta ante fenómenos extremos.

Por último, las redes de apoyo comunitario suelen ser débiles, y la falta de planificación para emergencias agrava la situación. El efecto acumulativo de la pobreza perpetúa un ciclo de vulnerabilidad, donde las condiciones de vida, salud y trabajo interactúan para hacer que cualquier crisis climática tenga un impacto desproporcionado en estas comunidades.

Para el cálculo de este indicador de vulnerabilidad se ha calculado un índice agregado de NBI para los hogares del Censo de 2011 en función de las variables y pesos que se describen en la Tabla 24.

Indicador NBI	Peso	Descripción	VARIABLES del Censo de 2011
Precariedad de los materiales de la vivienda	15	Al menos una de las siguientes condiciones se cumple: la casa cuenta con paredes de madera o chapa, barro (terron, adobe o fajina) materiales de desecho; la casa cuenta con techos livianos sin cielo raso, de quincha y materiales de desecho; la casa cuenta sólo con contrapiso sin piso y tierra sin piso ni contrapiso.	MATERIAL PAREDES EXTERIORES (VIVDV01) MATERIAL TECHOS (VIVDV02) MATERIAL PISOS (VIVDV03)
Personas por habitación o hacinamiento	15	Una habitación para dormir es compartida por tres o más personas.	TOTAL HABITACIONES PARA DORMIR (HOGHD01) TOTAL PERSONAS (HOGPR01)
Carencia de electricidad	15	No tiene medio de alumbrado eléctrico.	PRINCIPAL MEDIO DE ALUMBRADO ELÉCTRICO (VIVDV07)
Carencia de saneamiento mejorado	20	El hogar cuenta con un servicio de entubado hacia el arroyo, superficie o hueco en el suelo).	EVACUACIÓN SERVICIO SANITARIO (HOGSH03)
Carencia de fuentes de agua mejorada para beber	35	La principal fuente de agua para beber y cocinar es: pozo surgente no protegido, aljibe, cachimba, arroyo o río; o el agua no llega por cañería dentro de la vivienda que habita el hogar.	ORIGEN DEL AGUA PARA BEBER Y COCINAR (VIVDV05) VIVIENDA (VIVDV06)

Tabla 24. Variables y pesos que componen el índice agregado de NBI para los hogares del área de estudio. Fuente: IHCantabria, 2024, con información del Censo de 2011.

En la Figura 51 se presenta la distribución espacial del porcentaje de hogares con NBI a nivel de segmento censal (Censo 2011) en el área de estudio. Este indicador de vulnerabilidad tiene una distribución distinta a los anteriormente analizados, localizándose los valores más altos en las áreas periurbanas de Rivera, y especialmente donde se localizan los asentamientos informales de La Colina, La Alegría y La Humedad. También resaltan las zonas de Villa Sara, donde no tienen acceso a la red de abastecimiento de agua potable, y las zonas de Bella Vista y La Arenera, actualmente provistos de servicios básicos, pero que con datos del 2011 se muestran como zonas altamente vulnerables.

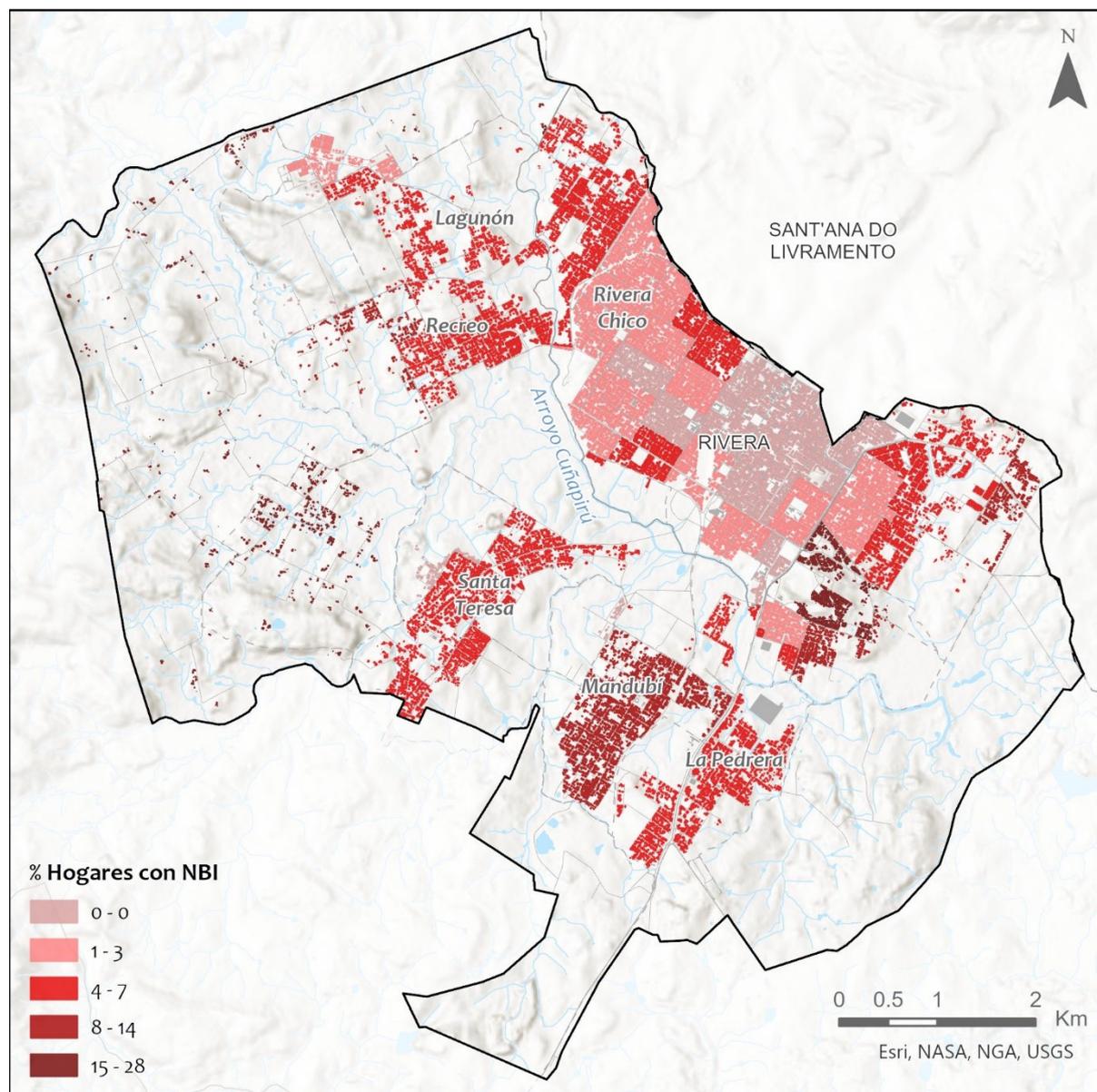


Figura 51. Porcentaje de hogares con NBI en el área de estudio. Fuente: IHCantabria, 2024, con información del Censo de 2011.

9.2.5. Accesibilidad a los centros sanitarios

En la Figura 52 se presenta la distribución espacial de la distancia existente a un centro sanitario en kilómetros, a nivel de segmento censal (Censo 2011) en el área de estudio. Las zonas con menos

acceso a un centro sanitario se encuentran principalmente en el área periurbana, en las zonas más alejadas de Lagunón y Recreo, Villa Sara, Bisio y en el asentamiento de La Colina.

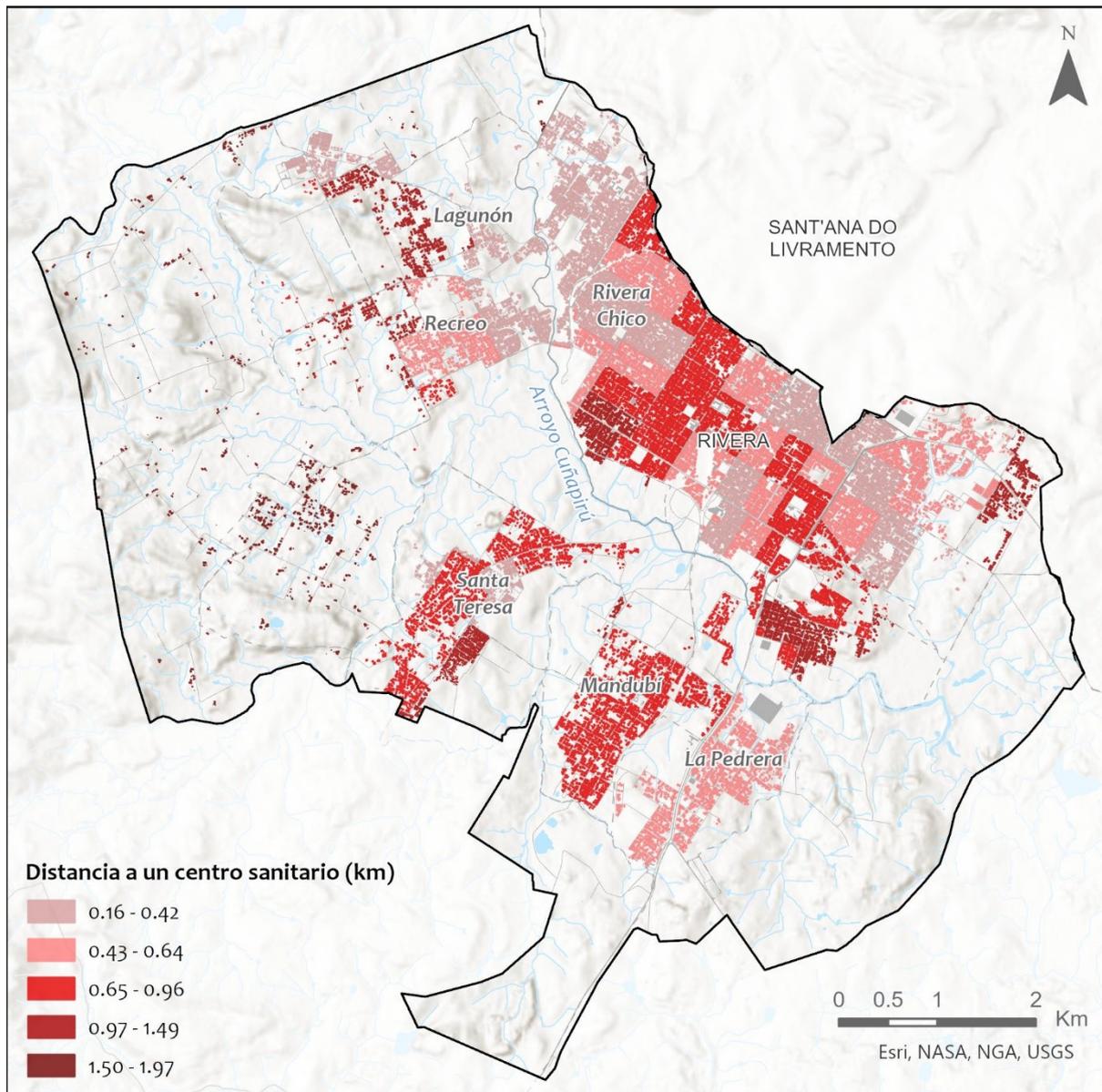


Figura 52. Distancia a un centro sanitario en el área de estudio. Fuente: IHCantabria, 2024, con información del Censo de 2011.

La distancia a un centro de salud incrementa la vulnerabilidad frente a olas de calor y frío debido a retrasos en la atención médica y limitaciones en la movilidad. Las emergencias relacionadas con el calor, como golpes de calor y deshidratación, o con el frío, como hipotermia, requieren una atención rápida. Sin embargo, vivir lejos de un centro médico prolonga el tiempo de respuesta, lo que aumenta el riesgo de complicaciones graves o incluso muertes. Además, el acceso al transporte es limitado en muchas áreas remotas, especialmente para personas vulnerables como ancianos o discapacitados, y las condiciones adversas de las vías pueden agravar este problema durante eventos climáticos extremos.

Las poblaciones más vulnerables, como personas con enfermedades crónicas, niños y ancianos, enfrentan mayores riesgos si no pueden acceder rápidamente a atención médica durante una emergencia. Además, la distancia dificulta el acceso a recursos preventivos como vacunas, medicación y orientación médica, lo que incrementa la exposición a complicaciones de salud. Este problema se agrava por los costos adicionales de transporte y tiempo, que afectan desproporcionadamente a las personas de bajos ingresos, reforzando las desigualdades en salud y su vulnerabilidad frente a eventos extremos de temperatura.

9.2.6. Zonas sin bosques o áreas verdes

La Figura 53 presenta la distribución espacial de las áreas de bosque, áreas verdes y arbolado urbano, en el área de estudio y en la Figura 54 el inverso, el porcentaje de área sin bosques o áreas verdes por segmento censal. En lo referente al arbolado urbano, se consideró la información disponible desde la Intendencia de Rivera al momento del análisis, que no necesariamente refleja la situación real.

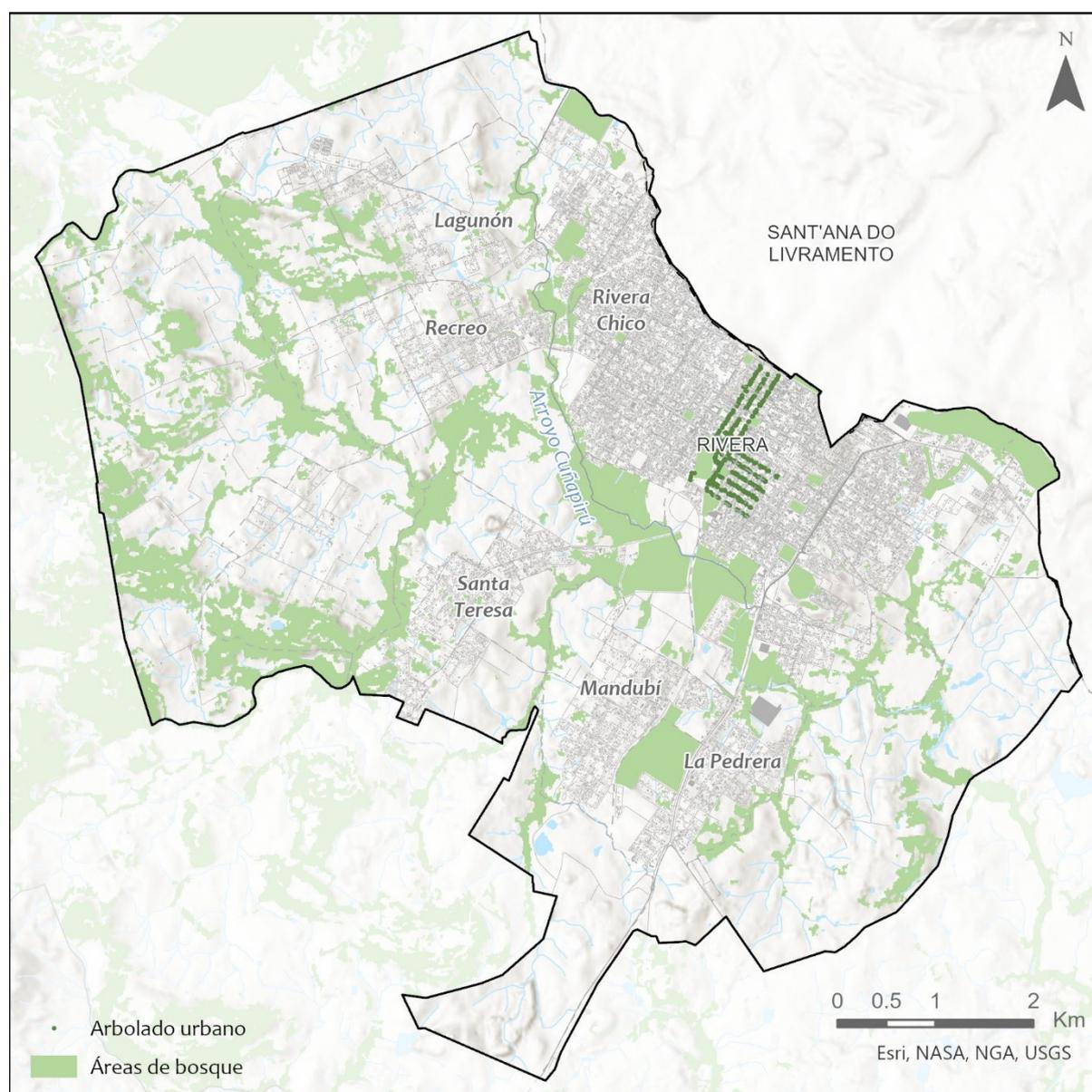


Figura 53. Áreas de bosque, áreas verdes y arbolado urbano en el área de estudio. Fuente: IHCantabria, 2024.

Las ciudades sin áreas verdes y bosques son más vulnerables frente a las olas de calor debido a la falta de mecanismos naturales que regulen la temperatura y mejoren la calidad del aire. En ausencia de vegetación, el efecto de isla de calor urbano se intensifica, lo que aumenta las temperaturas, haciendo que las olas de calor sean más peligrosas. Además, se pierde la capacidad de enfriamiento natural a través de la evapotranspiración, y la falta de sombra expone a los habitantes a temperaturas más altas. La calidad del aire también empeora, lo que agrava los problemas respiratorios durante olas de calor.

Esta falta de vegetación eleva la demanda de energía para refrigeración, generando mayores costos económicos y sobrecargando las redes eléctricas. Además, la ausencia de espacios recreativos afecta la salud mental, ya que los habitantes no tienen lugares para relajarse o escapar del estrés urbano, lo que agrava los impactos del calor extremo. En general, la falta de áreas verdes disminuye la resiliencia ambiental, aumenta el riesgo de enfermedades relacionadas con el calor y las condiciones de salud respiratorias y cardiovasculares, y limita la capacidad de la ciudad para adaptarse al cambio climático.

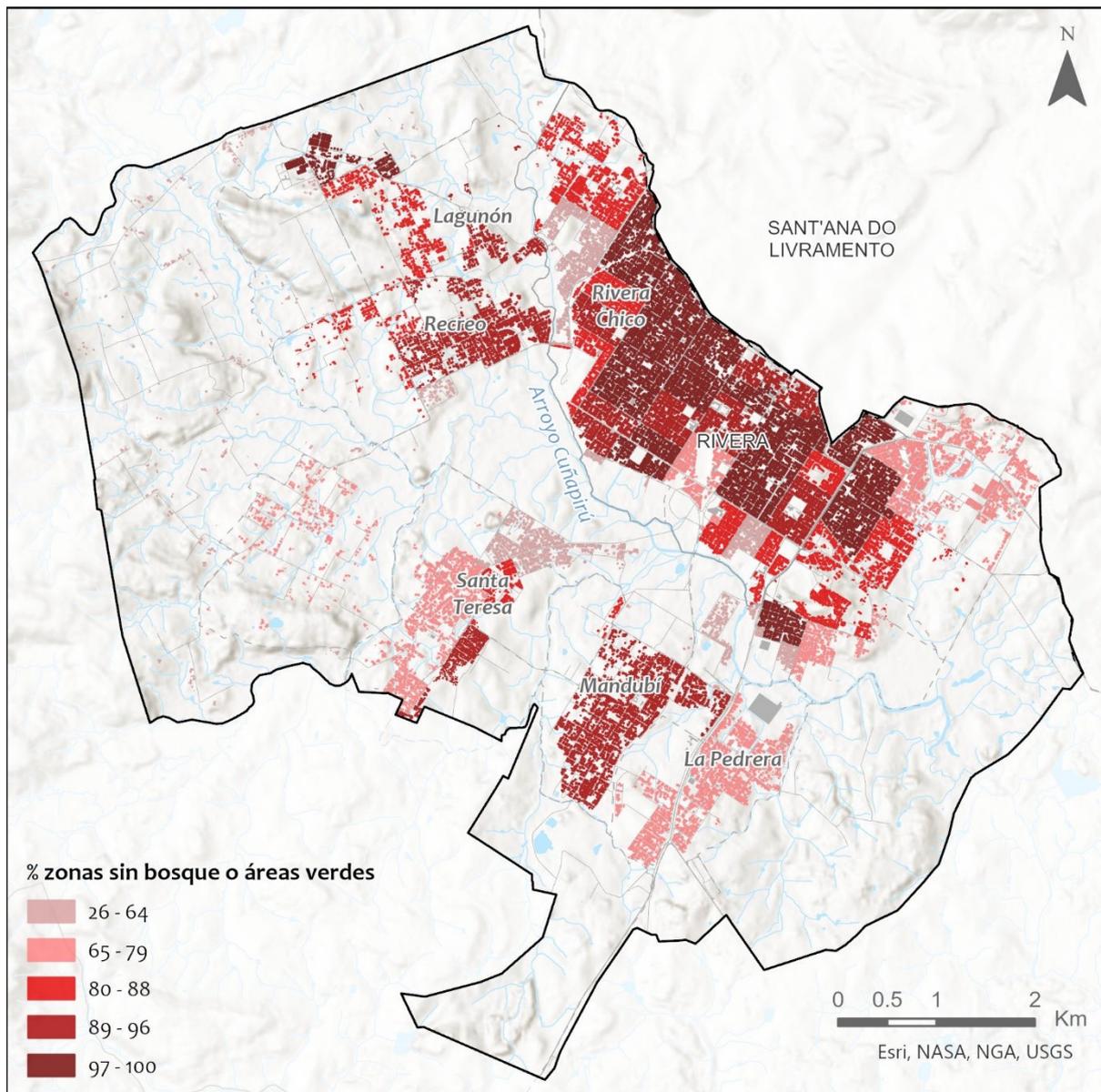


Figura 54. Porcentaje de áreas sin bosque o áreas verdes en el área de estudio. Fuente: IHCantabria, 2024.

Como se observa en la Figura 54 prácticamente toda el área urbana tiene valores muy altos de superficie impermeable, especialmente el microcentro de la ciudad. Algunas zonas periurbanas de Santa Teresa y la Pedrera tienen valores menores por la presencia de bosque en el entorno de los arroyos.

En el caso del riesgo de ola de frío, se sustituye el indicador de zonas sin bosques por el de hogares que no cuentan con fuente de energía para calefactar ambientes o medio para calentar agua.

9.2.7. Hogares que no cuentan con fuente de energía para calefactar ambientes o medio para calentar agua

Las zonas sin acceso a energía para calefacción enfrentan graves riesgos durante olas de frío, ya que no pueden regular adecuadamente la temperatura interior, lo que aumenta la exposición a problemas de salud como hipotermia, y enfermedades crónicas. La falta de agua caliente también afecta la higiene y la preparación de alimentos, dificultando la salud y el bienestar de las personas, especialmente en climas fríos. Además, la deficiente calidad de las viviendas, mal aisladas y a menudo hacinadas, empeora la exposición a las temperaturas extremas, creando condiciones insalubres.

Estos factores no solo generan riesgos físicos, sino que también afectan la salud mental, contribuyendo a problemas como la ansiedad y el estrés. La falta de recursos para calentar de manera segura obliga a las personas a depender de métodos peligrosos e ineficaces, como estufas sin ventilación. Además, las comunidades más afectadas enfrentan un impacto económico significativo, con mayores costos en salud y pérdida de productividad laboral, lo que perpetúa un ciclo de pobreza y vulnerabilidad. La desigualdad social se agrava, ya que las personas más pobres son las que sufren las consecuencias más severas de esta falta de acceso a recursos.

En la Figura 55 se presenta la distribución espacial de hogares que no cuentan con fuente de energía para calefactar ambientes o medio para calentar agua, a nivel de segmento censal (Censo 2011) en el área de estudio. Según los datos del censo, las áreas periurbanas son las más vulnerables por este motivo, Lagunón, Recreo, La Colina, Mandubí, La Raca y Bisio destacan por el alto porcentaje de hogares sin fuente de energía para calefactar o calentar agua.

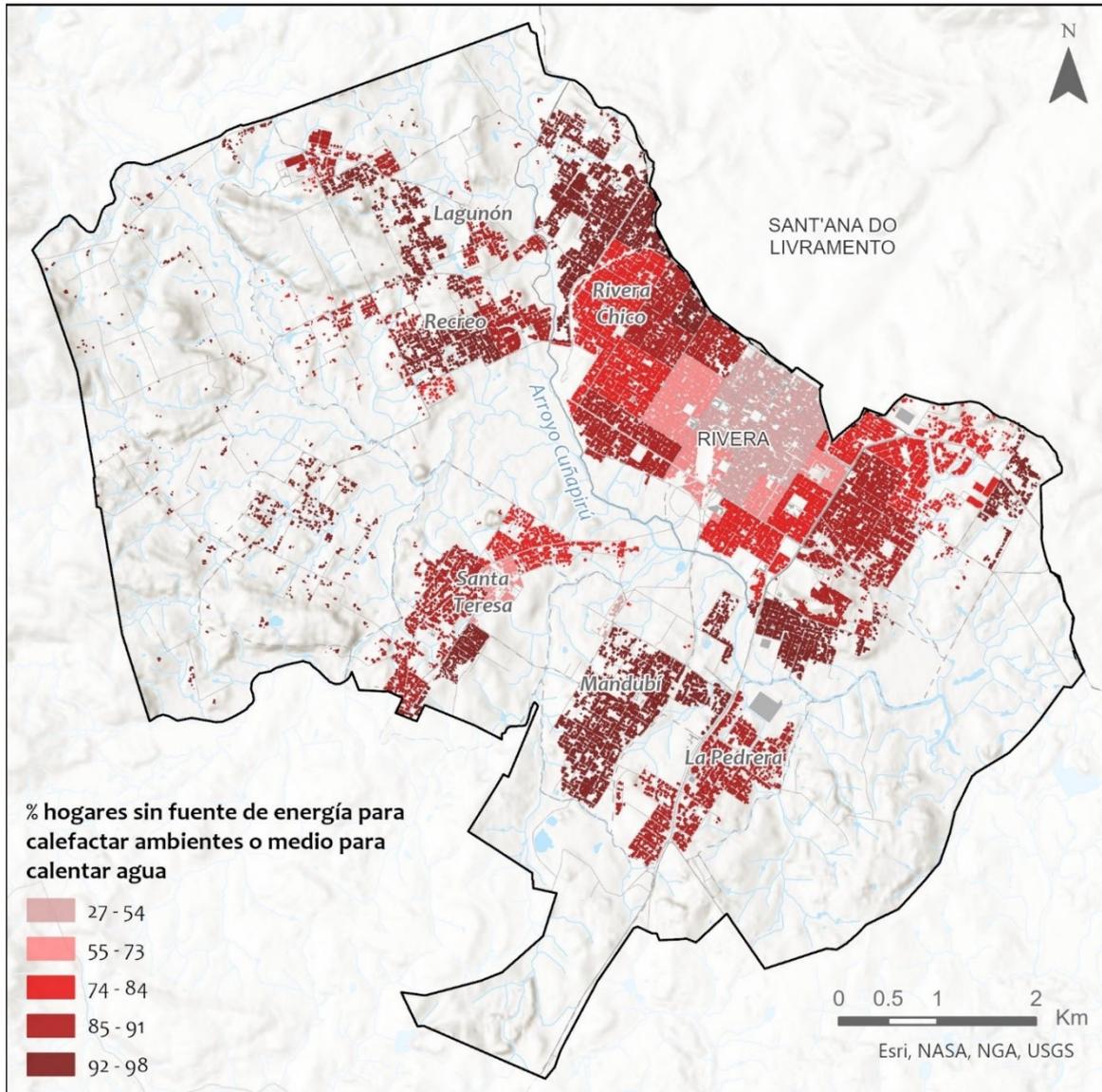


Figura 55. Porcentaje de hogares que no cuentan con fuente de energía para calefactar ambientes o medio para calentar agua en el área de estudio. Fuente: IHCantabria, 2024, con información del Censo de 2011.

9.3. Cálculo del riesgo

9.3.1. Metodología de obtención del riesgo estandarizado

Para el cálculo del riesgo estandarizado, en primer lugar, se obtienen los indicadores de riesgo estándar, a partir de los indicadores de amenaza y vulnerabilidad elaborados previamente. Estos suelen estar expresados en unidades y escalas diferentes (de menos infinito a infinito, de 0 a infinito, de 0 a 1), por lo que, antes de combinarlos, deben homogeneizarse en una escala de 0 a 1 utilizando una función de transformación. Para elegir la función de transformación, se establecen los valores que definen los umbrales de riesgo en cada contexto.

Por ejemplo, el número de olas de calor (en días) va de 0 a infinito. El criterio experto indica que un valor mayor de 2 días comienza a tener cierto riesgo (umbral de riesgo bajo a medio) y que un valor mayor de 5 días ya supone un riesgo alto. Con estos criterios, se define la función con la que se obtiene el riesgo estandarizado correspondiente, que otorga un valor de 0.33 al valor de 5% y de 0.66 al de 10%, interpolando o extrapolando para el resto de los valores.

NIVEL DE RIESGO	RANGOS DEL RIESGO ESTANDARIZADO (RE)
Muy bajo	$0 \leq RE < 0.2$
Bajo	$0.2 \leq RE < 0.4$
Medio	$0.4 \leq RE < 0.6$
Alto	$0.6 \leq RE < 0.8$
Muy alto	$0.8 \leq RE \leq 1$

Tabla 25. Niveles de riesgo considerados. Fuente: IHCantabria, 2024.

Una vez estandarizados los indicadores de amenaza y vulnerabilidad, a estos se les asigna un peso que determina la relevancia de este dentro del proceso de generación del riesgo y se combinan para obtener el indicador de riesgo. Los pesos deben estar equilibrados entre los componentes del riesgo (amenaza y vulnerabilidad) para que el indicador de riesgo sea coherente. Los umbrales y pesos adoptados se basan en juicio de experto, teniendo en cuenta las características y particularidades del área de estudio.

En la Tabla 26 se presentan cada uno de los indicadores empleados para la obtención del riesgo de ola de calor con sus umbrales y pesos asignados.

Indicador	Umbrales adoptados		Peso
	Riesgo bajo a medio	Riesgo medio a alto	
Número de olas de calor por año (amenaza)	2	5	4
Duración media de las olas de calor (amenaza)	3	7	3
Densidad de población hab./km ² (vulnerabilidad)	1000	3000	1
Porcentaje de población sensible (vulnerabilidad)	20%	30%	1
Porcentaje de mujeres (vulnerabilidad)	52%	55%	1
Porcentaje de hogares con NBI (vulnerabilidad)	20%	50%	2
Distancia a un centro de salud en km (vulnerabilidad)	1	5	1
Zonas sin bosques o áreas verdes (vulnerabilidad)	80%	90%	1

Tabla 26. Indicadores de amenaza y vulnerabilidad frente a las olas de calor. Fuente: IHCantabria, 2024.

En la Tabla 27 se presentan cada uno de los indicadores empleados para la obtención del riesgo de ola de frío con sus umbrales y pesos asignados.



Indicador	Umbrales adoptados		Peso
	Riesgo bajo a medio	Riesgo medio a alto	
Número de olas de calor por año (amenaza)	2	5	4
Duración media de las olas de calor (amenaza)	4	7	3
Densidad de población hab./km ² (vulnerabilidad)	1000	3000	1
Porcentaje de población sensible (vulnerabilidad)	10%	25%	1
Porcentaje de mujeres (vulnerabilidad)	52%	55%	1
Porcentaje de hogares con NBI (vulnerabilidad)	20%	50%	2
Distancia a un centro de salud en km (vulnerabilidad)	1	5	1
Hogares que no cuentan con fuente de energía para calefactar ambientes o medio para calentar agua (vulnerabilidad)	20%	30%	1

Tabla 27. Indicadores de amenaza y vulnerabilidad frente a las olas de calor. Fuente: IHCantabria, 2024.

9.3.2. Indicador de riesgo por ola de calor

Como resultado final se obtienen mapas con la distribución de los niveles de riesgo, a nivel de segmento censal, para el área de estudio (Figura 56, Figura 57 y Figura 58) para los diferentes escenarios estudiados.

Como se puede observar en los resultados, el riesgo de ola de calor se incrementa para horizontes futuros respecto de la situación actual siendo el escenario SSP585 el que proyecta la mayor afectación del riesgo para el área de estudio, alcanzando la mayor parte del área urbana y parte de los barrios periurbanos, como Mandubí, Recreo y Villa Sara.

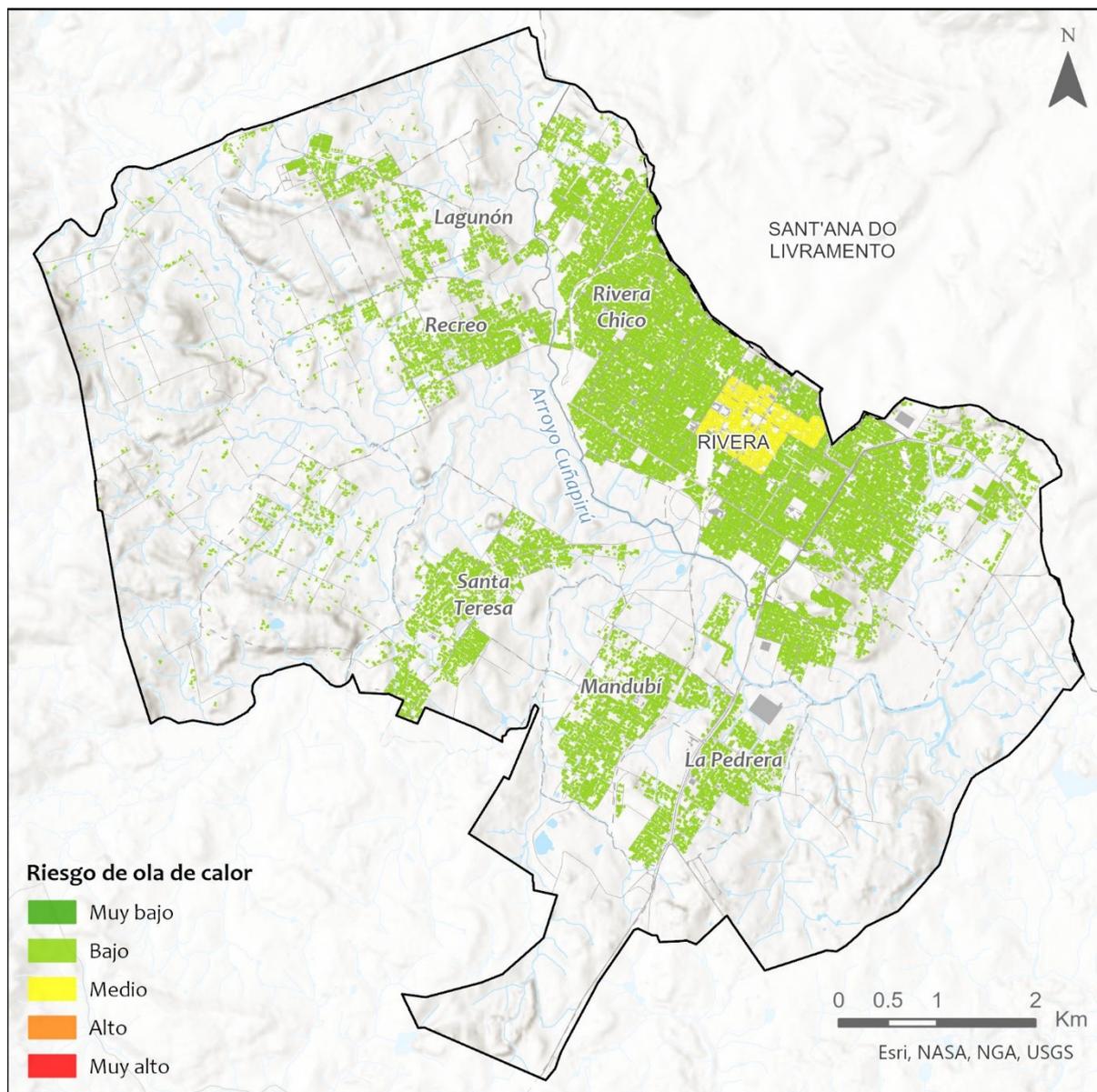


Figura 56. Riesgo por ola de calor en el área de estudio en la situación actual. Fuente: IHCantabria, 2024.

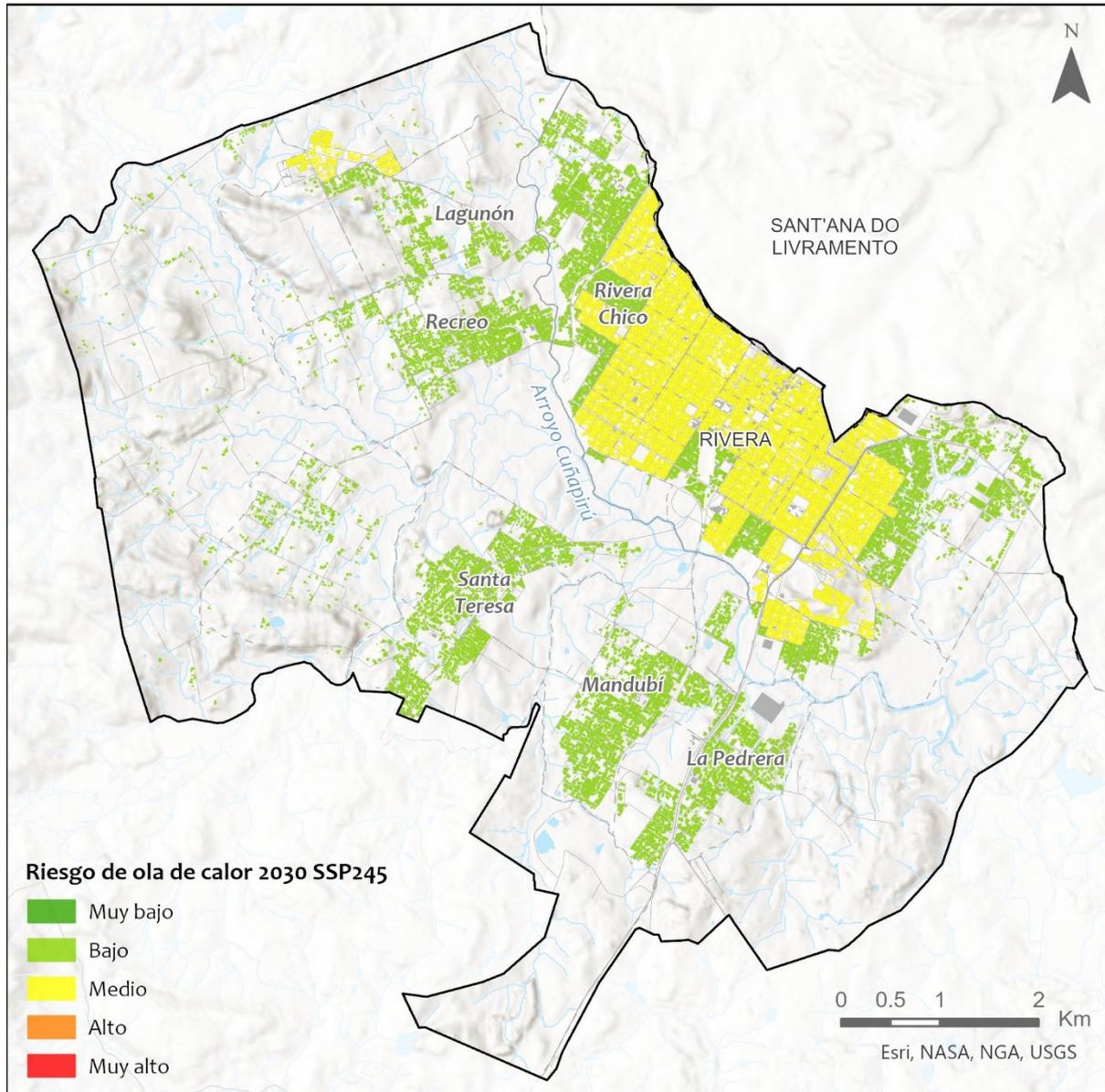


Figura 57. Riesgo por ola de calor en el área de estudio para el horizonte 2030 SSP245. Fuente: IHCantabria, 2024.

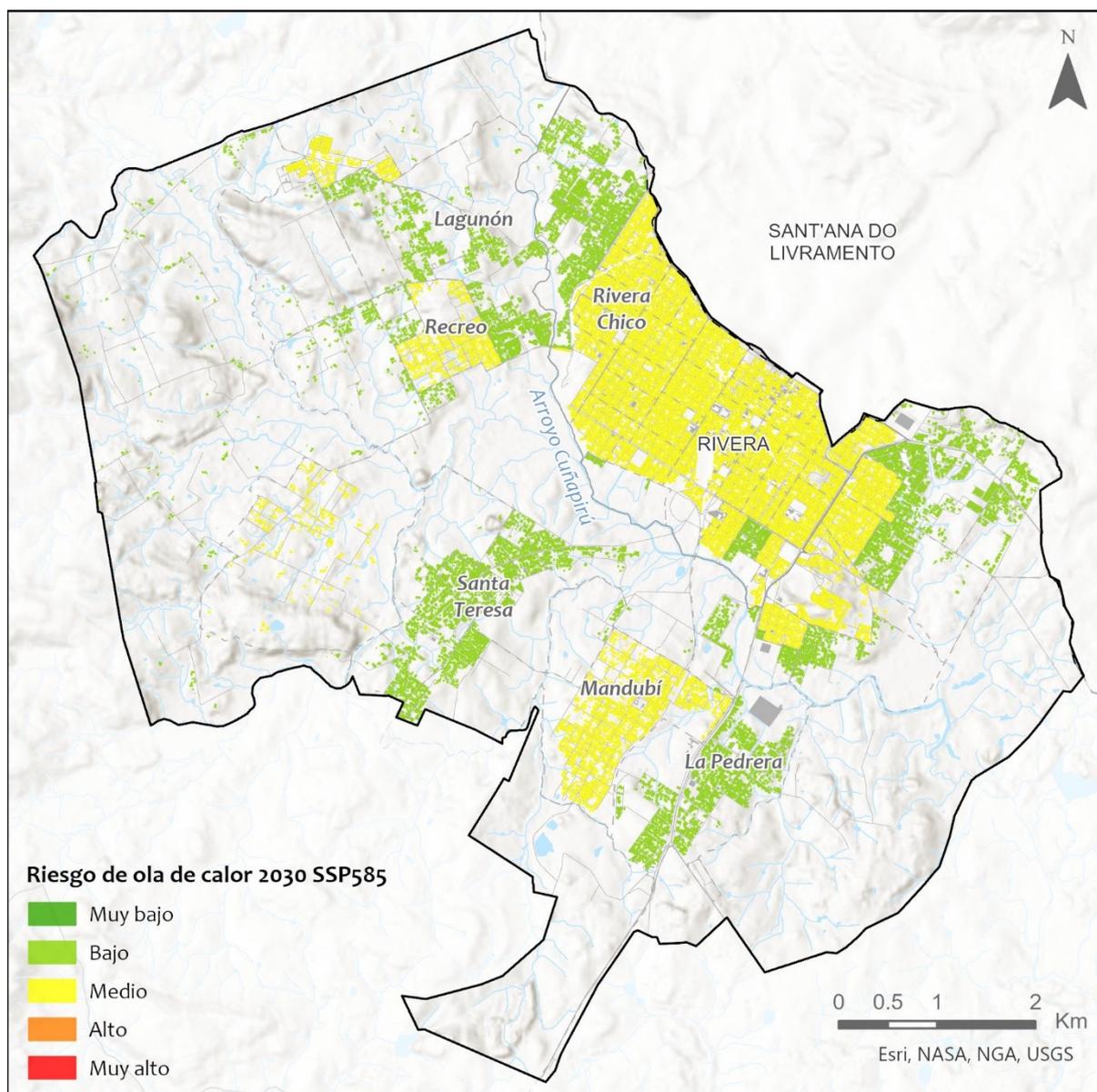


Figura 58. Riesgo por ola de calor en el área de estudio para el horizonte 2030 SSP585. Fuente: IHCantabria, 2024.

9.3.3. Indicador de riesgo por ola de frío

Como resultado final se obtienen mapas con la distribución de los niveles de riesgo, a nivel de segmento censal, para el área de estudio (Figura 59, Figura 60 y Figura 61).

Como se puede observar en las siguientes figuras, para escenarios futuros se proyecta un descenso de la afectación de las olas de frío respecto de la situación actual, quedando una pequeña área en el centro de la ciudad con riesgo medio y el resto del área de estudio con riesgo bajo.

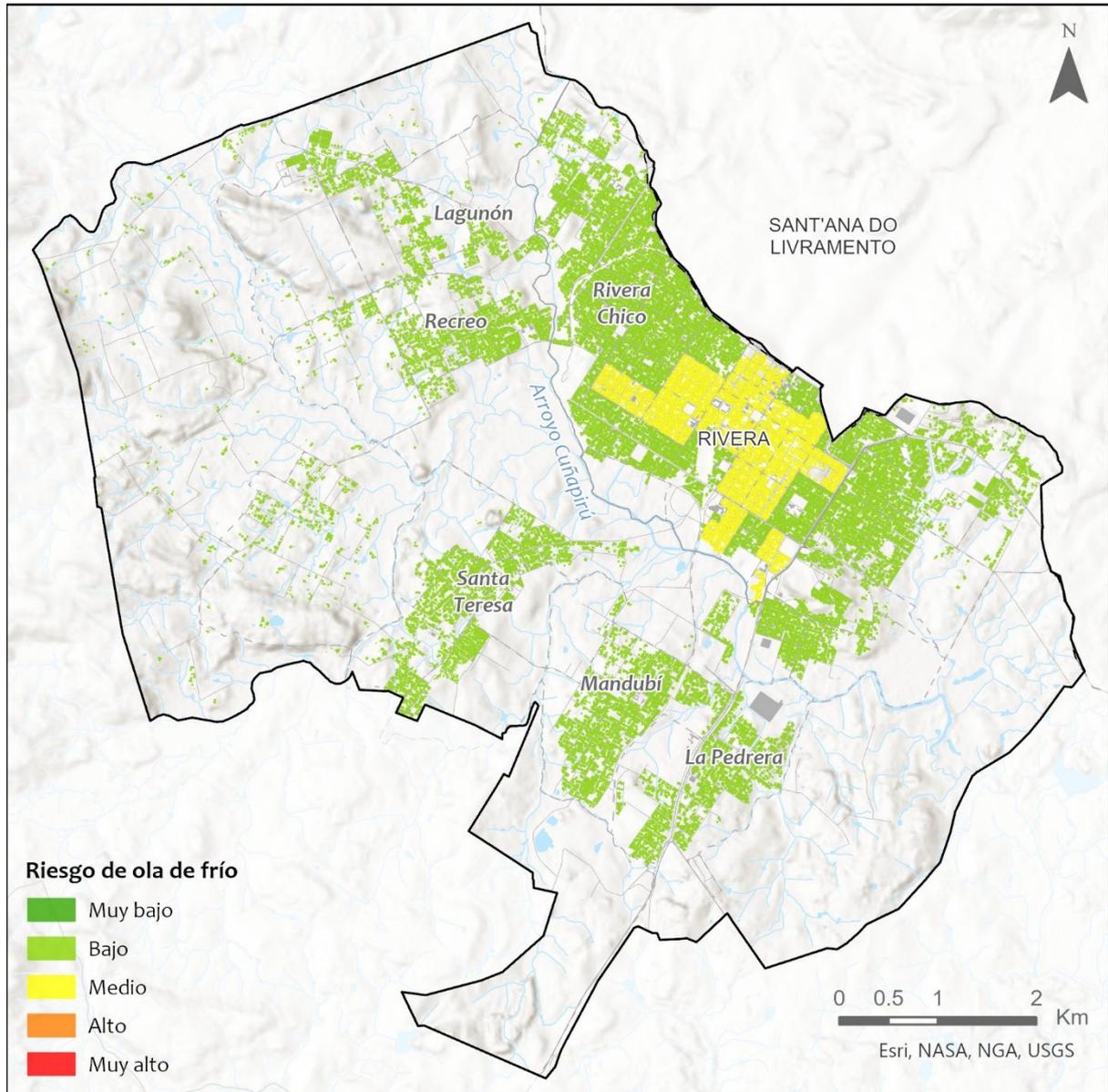


Figura 59. Riesgo por ola de frío en el área de estudio para la situación actual. Fuente: IHCantabria, 2024.

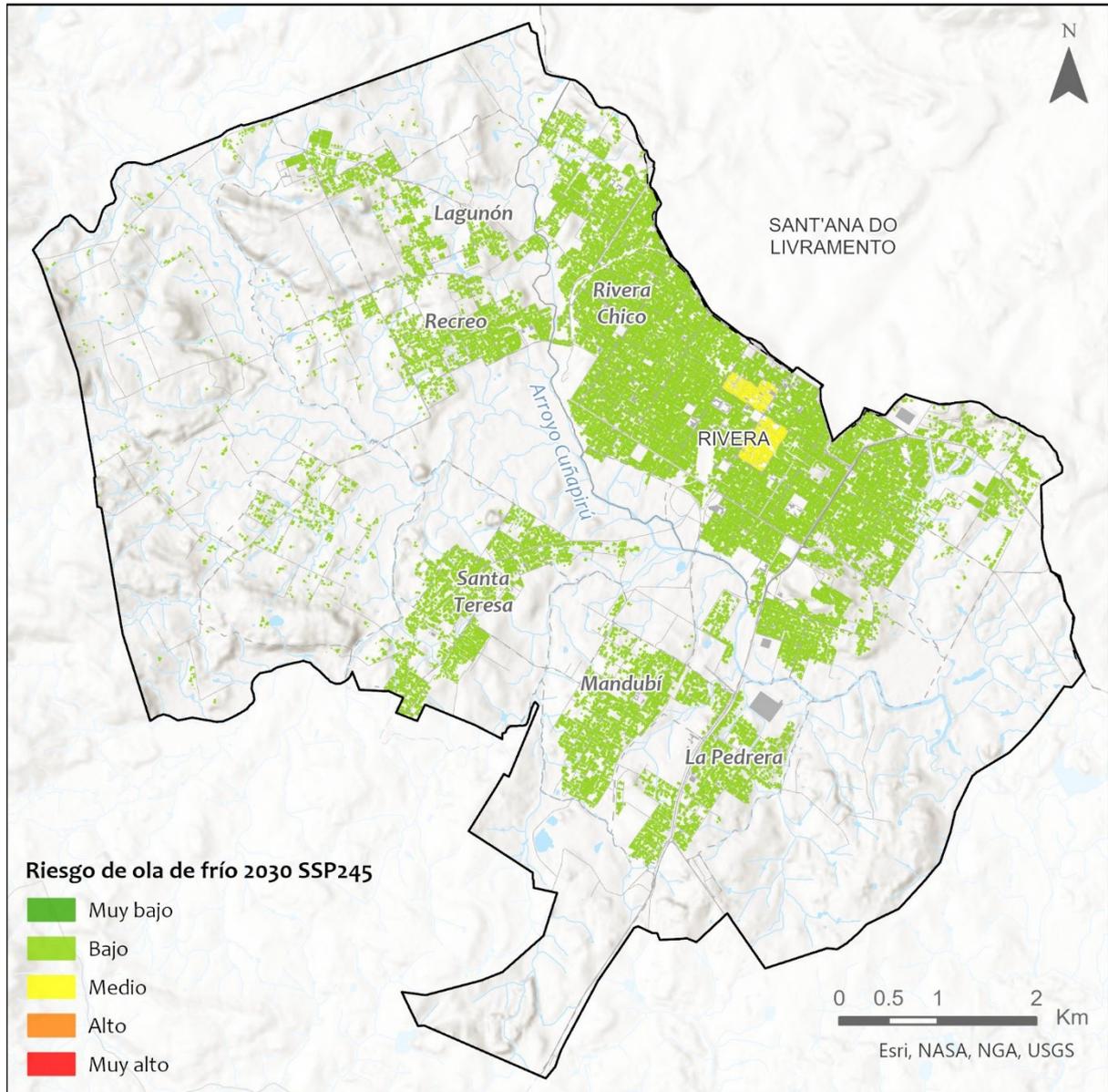


Figura 60. Riesgo por ola de calor en el área de estudio para el horizonte 2030 SSP245. Fuente: IHCantabria, 2024.

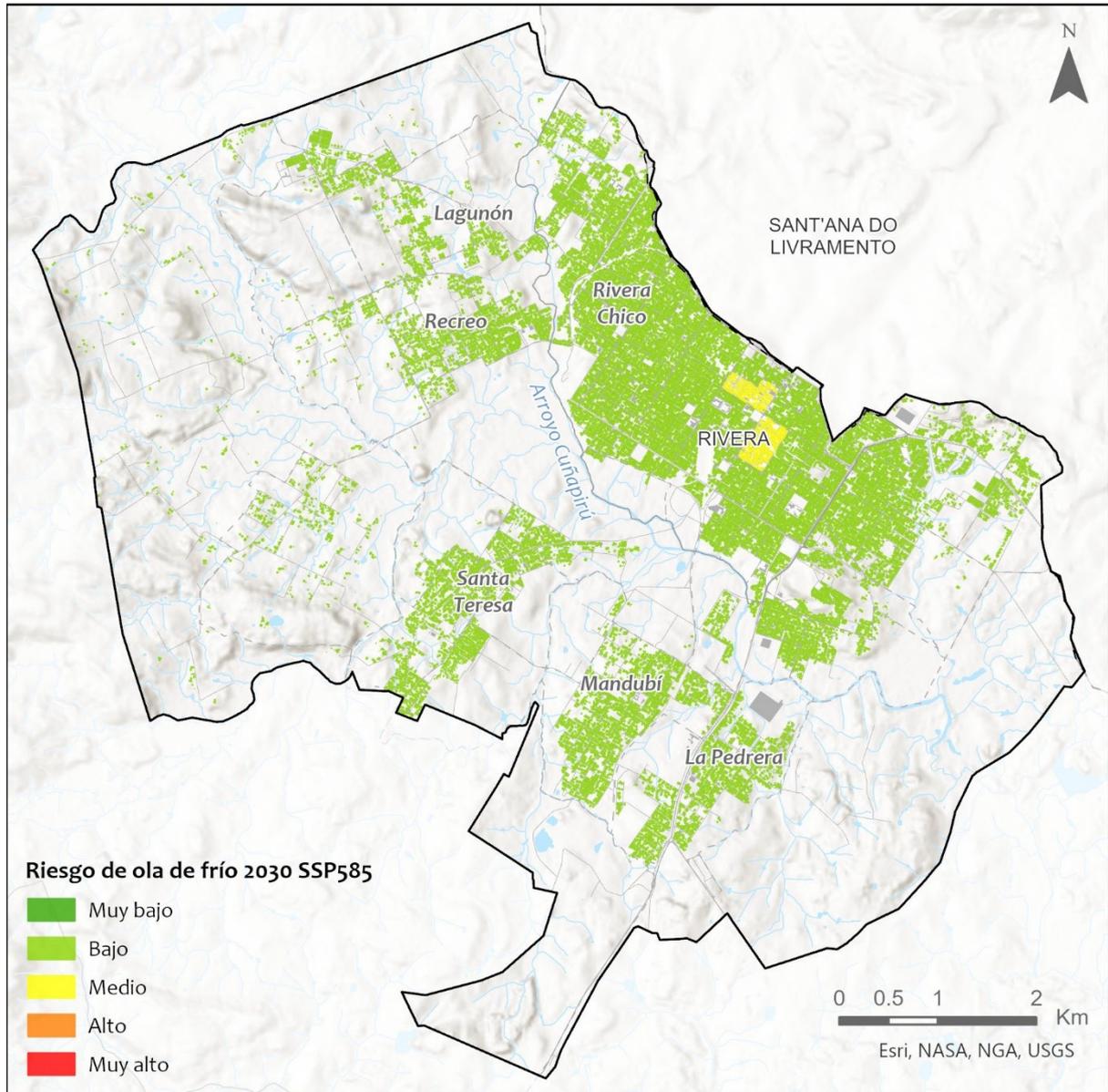


Figura 61. Riesgo por ola de calor en el área de estudio para el horizonte 2030 SSP585. Fuente: IHCantabria, 2024.

10. CADENAS DE IMPACTO

Las cadenas de impacto han sido construidas según la metodología presentada en el documento de la GIZ (GIZ et al., 2018), y adaptadas a la problemática del cambio climático y de las amenazas seleccionadas, en el contexto del taller participativo llevado a cabo con el objetivo de validar el análisis de vulnerabilidad y riesgo climático para la ciudad de Rivera que se presenta en este documento.

La estructura de la cadena de impacto desarrollada según el enfoque del IE5 del IPCC se basa en la comprensión del riesgo y sus componentes. El desarrollo de cadenas de impactos (causa-efecto) hacen visibles los mecanismos de construcción de los distintos riesgos identificados a través de:

- La identificación preliminar de impactos derivados de una amenaza determinada.
- El establecimiento de los factores que determinan la exposición ante la amenaza tratada.
- La determinación de los atributos del sistema que contribuyen al aumento de la vulnerabilidad (análisis de la sensibilidad), y cuáles permiten manejar los impactos adversos del cambio climático (capacidad de adaptación).

A continuación, se presentan las cadenas de impacto formadas para cada uno de los riesgos evaluados. Estas cadenas incluyen información local recopilada durante los talleres de validación de resultados de las evaluaciones de vulnerabilidad y riesgos celebrados en la Intendencia de Rivera.

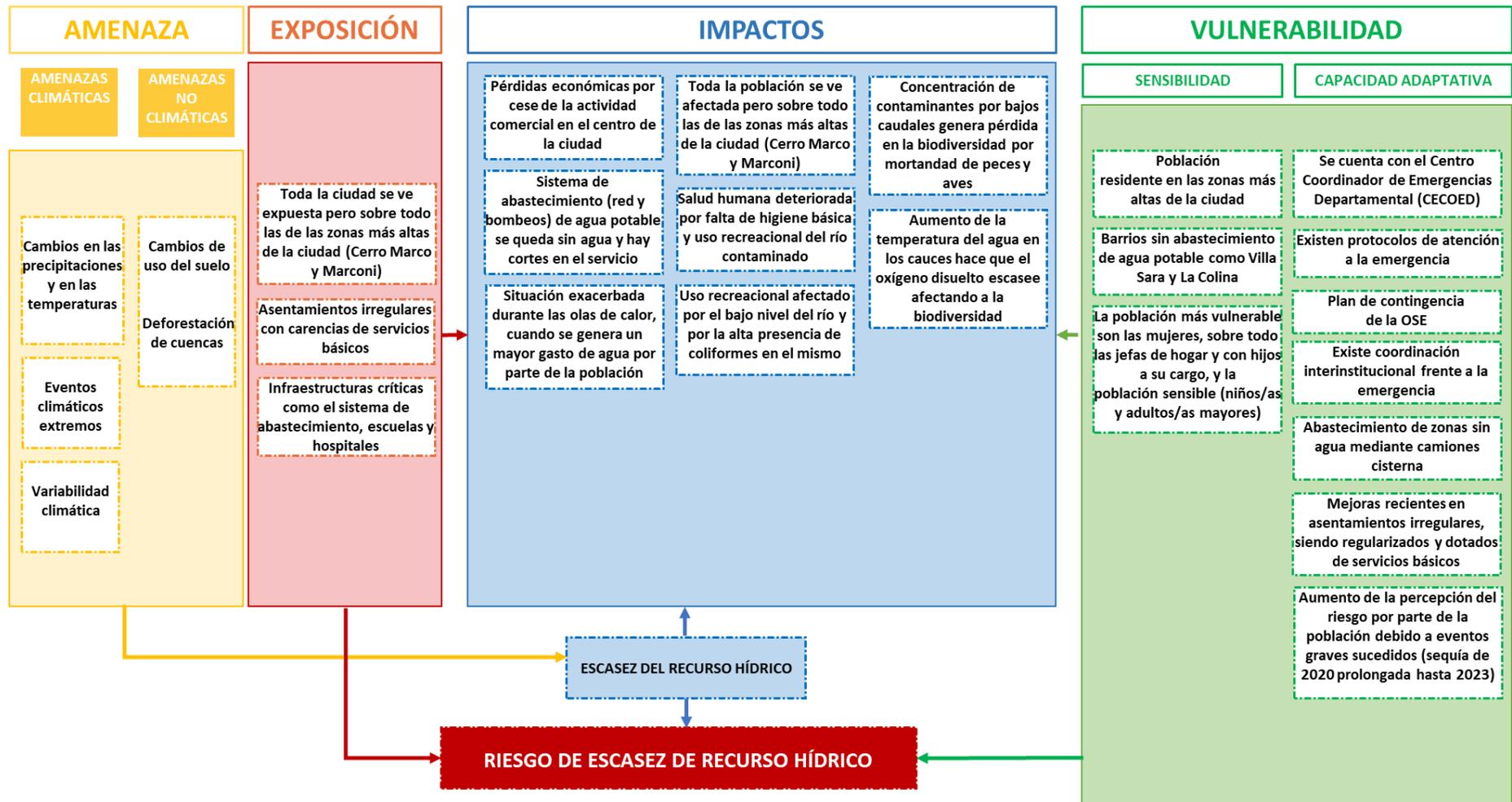


Figura 62. Cadena de impacto del riesgo por escasez de recursos hídricos en Rivera. Fuente: IHCantabria, 2024.

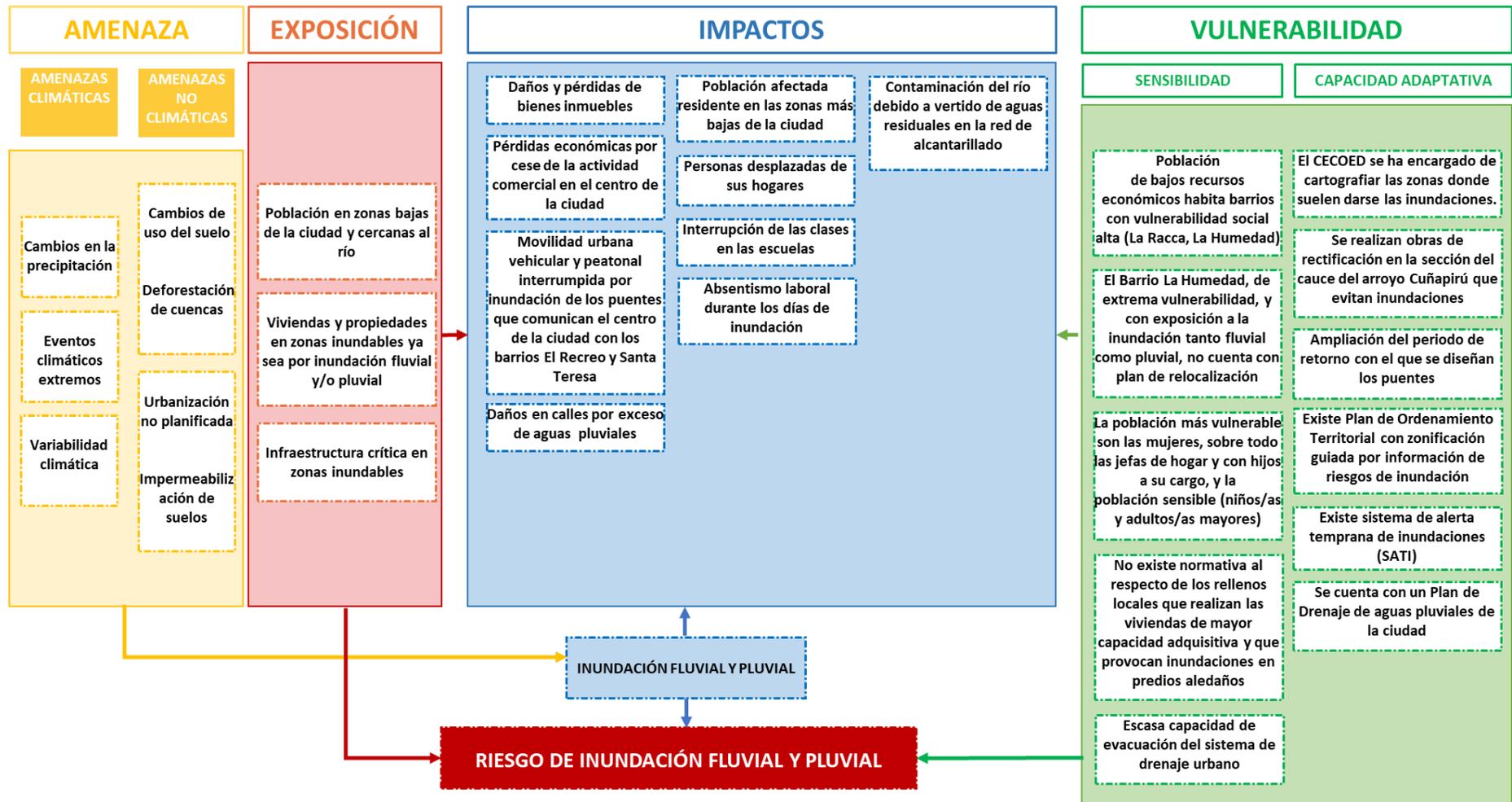


Figura 63. Cadena de impacto del riesgo por riesgo de inundación en Rivera. Fuente: IHCantabria, 2024.

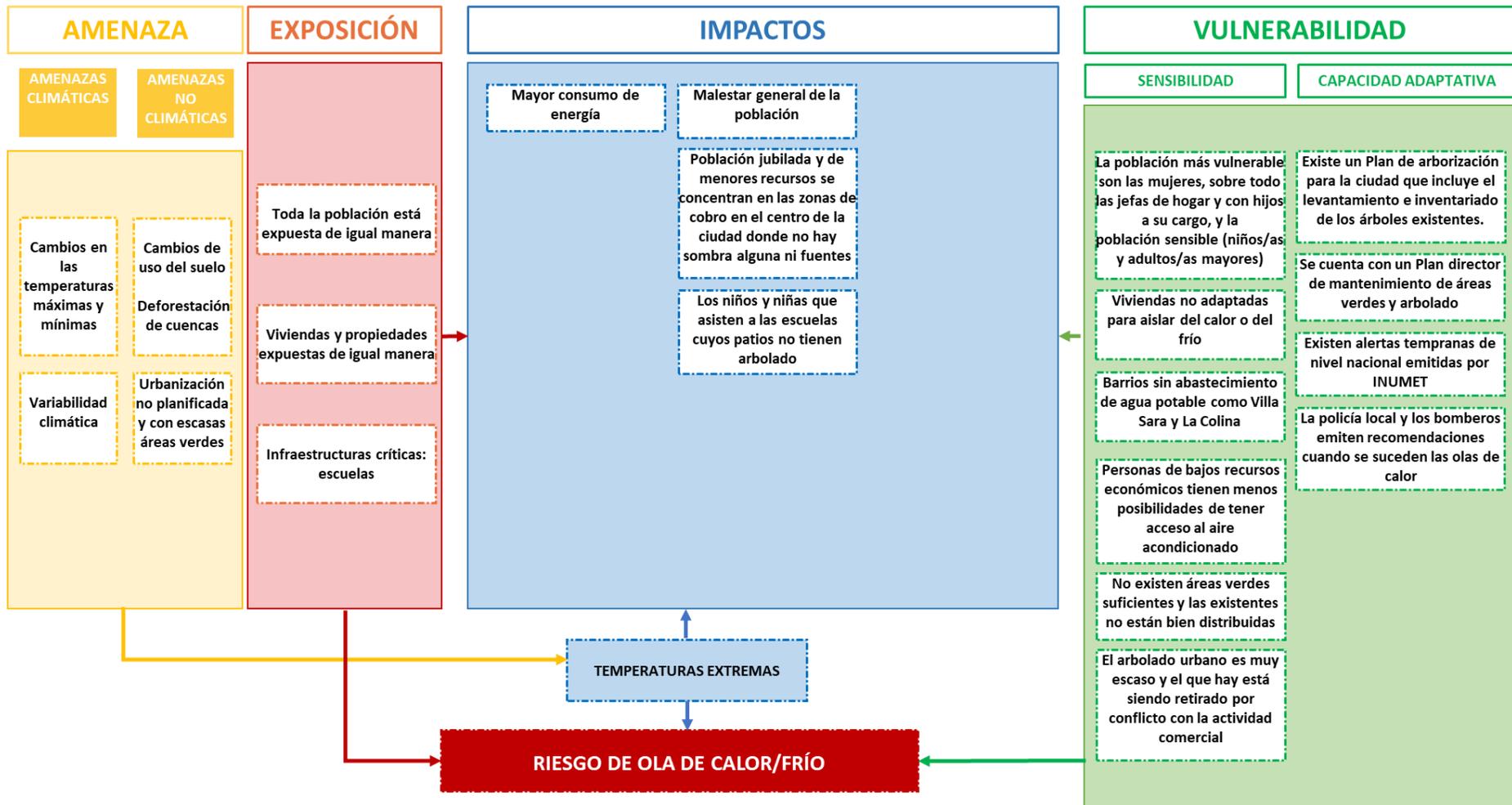


Figura 64. Cadena de impacto del riesgo por riesgo de ola de calor y frío en Rivera. Fuente: IHCantabria, 2024.

11. CONCLUSIONES

11.1.1. Estudio de riesgo por escasez de recursos hídricos

En el caso de Rivera, las variaciones en los regímenes de precipitación y temperatura en los escenarios con cambio climático no afectan a la garantía de agua para consumo por lo que el valor del déficit es el mismo en los tres escenarios climáticos analizados, y al ser los indicadores de vulnerabilidad estáticos ya que derivan del Censo de 2011, el riesgo se mantiene estable igualmente en los tres escenarios climáticos analizados.

El balance hídrico superficial realizado en la cuenca del arroyo Cuñapirú indica que no existe déficit hídrico en ésta, por lo que el área de estudio se encuentra en general un nivel bajo o muy bajo de riesgo. Hay zonas en el centro y norte de la ciudad que destacan ligeramente respecto del resto del área debido a que concentran una mayor densidad de población, población sensible y porcentaje de mujeres, pero sin dejar de encontrarse en riesgo bajo.

Dentro de la ciudad se identifican como altamente vulnerables los asentamientos irregulares, sin acceso a servicios básicos, como La Colina y La Alegría, y Villa Sara, que no tiene abastecimiento de agua potable de la red, y se abastece a través de pozos y aljibes. Adicionalmente se identifican las zonas altas de la ciudad en riesgo por abastecimiento de agua potable ya que, en épocas de mayor demanda, el suministro de agua no tiene continuidad por la falta de capacidad de bombeo de la red.

11.1.2. Estudio de riesgo por inundación fluvial

El estudio de riesgo realizado indica que las inundaciones en ámbito del Plan de la Microrregión de Rivera se deben tanto al desbordamiento del arroyo Cuñapirú, y sus principales afluentes, que atraviesan el área urbana de Rivera, como por la falta de capacidad de la red de drenaje pluvial en varias zonas de la ciudad, dando lugar a daños, tanto económicos (en edificaciones e infraestructuras críticas) como sociales (afectación de vidas humanas).

Con el clima actual, para un evento de 100 años de periodo de retorno, se encuentran afectadas 65 ha de edificaciones residenciales (17% del total edificado), 77 infraestructuras críticas y alrededor de 13,000 personas.

Se espera que por efecto del cambio climático los eventos extremos de precipitación sean más frecuentes, dando lugar a un incremento del riesgo por inundación, donde los daños económicos asociados al evento de 100 años de periodo de retorno ascenderán de los 14 MUSD \$, estimados para la situación actual, a 16 MUSD \$ en el horizonte 2030 con cambio climático. Asimismo, la pérdida anual esperada (PAE) asociada al riesgo de inundación ascenderá de 1.14 MUSD \$ a 1.33 MUSD.

Las zonas especialmente afectadas por inundaciones son Barrio Pueblo Nuevo, al este de Rivera, las calles Uruguay y Paysandú en el centro de la ciudad, y algunas calles de las zonas Saavedra, Máximo Xavier y Lavalleja debido en este caso a los rellenos locales se realizan dentro de los padrones privados.

11.1.3. Estudio de riesgo por ola de calor y frío

El estudio de riesgo realizado indica que las olas de calor se incrementarán para horizontes futuros respecto de la situación actual siendo el escenario SSP585 el que proyecta la mayor afectación del



riesgo para el área de estudio, alcanzando la mayor parte del área urbana y parte de los barrios periurbanos, como Mandubí y Recreo.

Respecto del riesgo de ola de frío, el estudio proyecta para escenarios futuros un descenso de la afectación de las olas de frío respecto de la situación actual, quedando una pequeña área en el centro de la ciudad con riesgo medio y el resto del área de estudio con riesgo bajo.

12. RECOMENDACIONES

El proceso llevado a cabo para la evaluación de riesgos hidroclimáticos en el ámbito del Plan de la Microrregión de Rivera ha dado lugar a la identificación de una serie de carencias en la información disponible y recomendaciones para futuros estudios de la misma naturaleza que se enumeran a continuación:

- Para la evaluación de riesgos hidroclimáticos en diferentes horizontes temporales y escenarios con cambio climático, es necesario disponer de series temporales de las variables climáticas que caracterizan las amenazas a estudiar para cada uno de ellos, respecto de clima actual (caracterizado con datos históricos). En este estudio no se ha logrado disponer de ellas, por lo que se han realizado hipótesis derivadas de la información disponible.

Sería recomendable para futuros proyectos disponer de las series temporales de precipitación y temperatura para los diferentes horizontes temporales que se han generado en el NAP COSTAS (Barreiro, et al., 2020).

- Para la correcta caracterización de los caudales fluyentes, tanto en régimen medio como en régimen extremal, en el arroyo Cuñapirú sería conveniente contar con un aforo que permita calibrar el modelo hidrológico de la cuenca con datos observados en el cauce.
- Para evaluar los posibles daños derivados de una inundación es necesario conocer las características de los edificios que conforman la trama urbana en cuanto a tipología estructural, altura, uso predominante y valor de reposición. La información disponible para la creación del inventario de edificaciones de tipo residencial e infraestructuras críticas hace necesaria la realización de una serie de hipótesis para poder realizar este estudio. En torno a un tercio de las parcelas del padrón urbano del catastro no contiene información sobre usos, calidad constructiva o área edificada, y en una fracción no despreciable de las que sí lo contienen se han localizado errores.

Por otro lado, no existe una capa de edificaciones propiamente dicha, y aunque la base de datos de Open Buildings resulta de gran utilidad en este caso, esta no contiene más que la huella de los edificios, sin ningún tipo de propiedad asociada que pueda permitir su clasificación en función de su calidad constructiva.

Es por eso por lo que, para futuros estudios de esta naturaleza, o réplicas de este en otras áreas del país, sería recomendable la creación de una capa de edificaciones que contenga su uso, calidad constructiva o tipología estructural, altura y, de ser posible, su valor de reposición o valor en riesgo.

- Otro aspecto que podría abordarse en futuros estudios de mayor alcance, y en la medida que se disponga de más información, es la estimación de los daños indirectos por inundación asociados a las infraestructuras críticas, que, además de sufrir daños directos, causan daños indirectos o sistémicos derivados de la interrupción de los flujos o servicios que prestan.
- La caracterización de la vulnerabilidad debe actualizarse cuando se cuente con un nuevo Censo de población, dado que el actual estudio tiene en cuenta la información del Censo de 2011 y hay ciertas discrepancias con la realidad en algunas zonas del área de estudio.



- En la ciudad de Rivera también se detecta un fenómeno de isla de calor urbana nocturna, pero la falta de datos, siendo el más básico la temperatura en el interior de las ciudades, no permite la realización del análisis.

13. BIBLIOGRAFÍA

- Barreiro, M., Arizmendi, F. & Trinchín, R., 2020. *Proyecciones climáticas con reducción de escala sobre Uruguay*, s.l.: s.n.
- BID, 2019. *Bases generales para el desarrollo de estudios de reducción de riesgos hidroclimáticos en ciudades: lecciones aprendidas de la iniciativa Ciudades Emergentes y Sostenibles ante el reto del cambio climático en Latinoamérica y el Caribe*. s.l.:Eduardo García, Ginés Suárez, Maricarmen Esquivel, Avelina Ruiz, Daniela Zuloaga, Ophelie Chevalier.
- dica&asociados, 2020. *Plan de Aguas Pluviales Urbanas de la Ciudad de Rivera*, s.l.: s.n.
- dica&asociados, 2020. *Plan de Aguas Pluviales Urbanas de la Ciudad de Rivera*, s.l.: s.n.
- INE, 2023. *Metodología del Índice de Costo de la Construcción de Vivienda*, s.l.: s.n.
- Jonkman, S. N., Vrijling, J. K. & Vrouwenvelder, A. C. W. M., 2008. *Methods for the estimation of loss of life due to floods: a literature review and a proposal for a new method*. s.l.:s.n.