

Estudios Base para el Municipio de Rionegro, Antioquia

Cambio Climático, Riesgos Naturales y Crecimiento Urbano

Rionegro
Tarea de Todos



Alcaldía de Rionegro
Departamento de Antioquia



ESTUDIOS AMBIENTALES MUNICIPIO DE RIONEGRO, COLOMBIA

RESUMEN EJECUTIVO INTEGRADO



INTRODUCCIÓN

El presente documento hace parte del resumen ejecutivo en el cual se presentan las ideas principales de los Estudio del Módulo 1 Cambio Climático, Módulo 2 Vulnerabilidad y Riesgos Naturales y el Módulo 3 Crecimiento Urbano para Municipio de Rionegro (Antioquia) dentro del Programa de Ciudades Sostenibles y Competitivas promovido por FINDETER en el marco del Programa Ciudades Emergentes y Sostenibles del Banco Interamericano de Desarrollo (BID) y con el financiamiento del Municipio de Rionegro.

1 RESUMEN MÓDULO 1 CAMBIO CLIMÁTICO

La evidencia científica indica que el calentamiento en el sistema climático es inequívoco y que muchos de los cambios observados no han tenido precedentes en los últimos tiempos. Los últimos 30 años han sido sucesivamente más cálidos que años anteriores desde 1850¹.

El presente trabajo se realizó bajo el concepto y metodología del Programa Ciudades Emergentes y Sostenibles (CES) del Banco interamericano de Desarrollo (BID), el cual se traslada a Colombia con el nombre de Programa de Ciudades Sostenibles y Competitivas (CSC) a través de la Financiera del Desarrollo Territorial (FINDETER). Dentro de sus objetivos tiene como prioridad apoyar a la sostenibilidad de los municipios en los ámbitos ambiental, urbano, económico, social y fiscal. Así, el presente documento plantea una Hoja de Ruta de Mitigación de Gases de Efecto Invernadero (GEI) que busca integrar el desarrollo y la limitación de las emisiones en el Municipio de Rionegro (Departamento de Antioquia, Colombia). Para el cálculo se ha considerado como área de estudio tanto la zona rural como la urbana, y una población de 125.855 habitantes, de los cuales, el 69,1% se ubica en la cabecera municipal² en el año 2015.

¹ IPCC, 2013: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp.

² Universidad Católica de Oriente.

³ Tasa de descuento social y evaluación de proyectos: algunas reflexiones prácticas para América Latina y el Caribe / Javier Campos, Tomás Serebrisky, Ancor Suárez-Alemán. (IDB Monografía; 413.

El documento presenta la metodología empleada, los resultados del inventario de GEI para el año base 2015 y de un segundo año, el 2010, el cual es necesario para la confección del escenario tendencial o *Business as Usual* para los años 2030 y 2050; el Escenario de Crecimiento Inteligente (*Smart*) a partir de la selección de 15 acciones enfocadas en la reducción de GEI; y los costos y beneficios percibidos por las medidas de mitigación aplicando una tasa de descuento del 12%³. Igualmente, posibles opciones para la financiación.

1.1 DIAGNÓSTICO

La Hoja de Ruta de Mitigación de GEI se basa en un diagnóstico cualitativo y cuantitativo. El diagnóstico cualitativo permite identificar las causas de las emisiones a partir de una exhaustiva revisión documental y entrevistas con actores clave. Para el diagnóstico cuantitativo se han seguido las Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero⁴ y el Protocolo Global para Inventarios de Emisión de Gases de Efecto Invernadero a Escala Comunitaria v2 (2014), con lo cual se ha creado una herramienta específica⁵, adaptada al área de estudio. Este diagnóstico ha servido para identificar el potencial de reducción de emisiones de cada sector.

El inventario de emisiones de GEI indica que las emisiones totales en Rionegro ascienden a 329.327 t CO₂e y las absorciones a -37.752 t CO₂e, dando como resultado un balance de 291.575 t CO₂e. En términos per cápita, el balance de emisiones asciende a 2,32 t CO₂e. Este balance es inferior tanto a la media de América Latina y Caribe (6,3 t CO₂e) como a la media mundial (6,5 t CO₂e); así como al resto de los países más desarrollados de Europa (8,5 t CO₂e)⁶. En la

Tabla 1 se presenta detalladamente las cifras para los años seleccionados.

⁴ Instituto para las Estrategias Ambientales Globales (IGES, del inglés, Institute for Global Environmental Strategies), Hayama, Japón

⁵ Se trata de la misma herramienta informática a la que se hace referencia a lo largo del informe y que se entrega como anexo.

⁶ CAIT Climate Data Explorer. 2017. Washington, DC: World Resources Institute. Available online at: <http://cait.wri.org>

Tabla 1 Resultados de los inventarios de GEI para los años 2010 y 2015

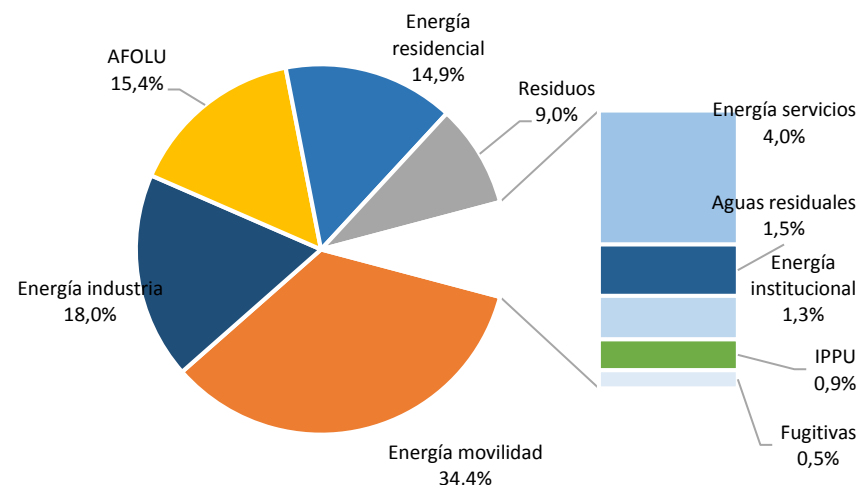
	Año adicional 2010 (t CO ₂ e)	Año base 2015 (t CO ₂ e)
Emisiones totales	273.751	329.327
Emisiones totales per cápita	2,45	2,62
Absorciones totales	-24.425	-37.752
Balance	249.325	291.575
Balance de Emisiones Per cápita	2,23	2,32

Fuente: Elaboración propia

Un reporte adicional, pero que no se contabiliza, son las emisiones de origen biogénico⁷. A modo informativo, en el año 2010 fueron de 4.993 t CO₂e y para el año base 2015 ascienden a 6.619t CO₂e.

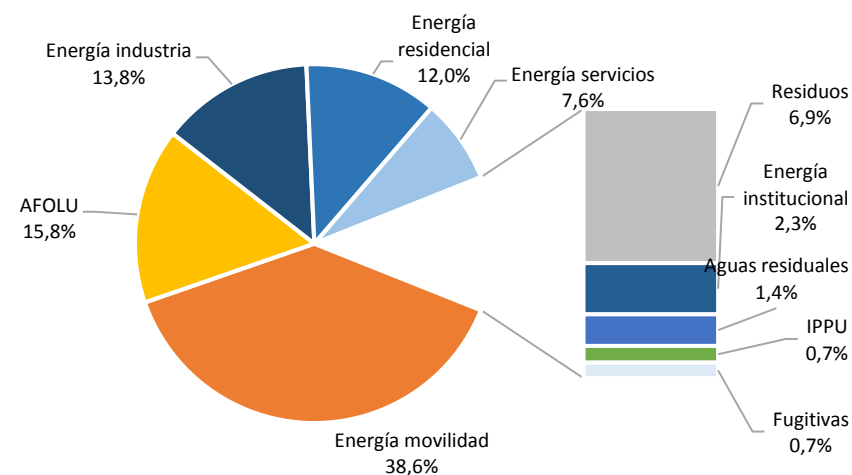
Los cálculos señalan que el sector Energía Movilidad concentra la mayor cantidad de emisiones. En el año 2010 representaba el 34,4% (94.114 t CO₂e) y en el año 2015 el 38,6% (127.253 t CO₂e), aumentando tanto la participación total como las emisiones absolutas, especialmente por la tendencia creciente del parque vehicular. Les siguen en participación los sectores Energía Industria, AFOLU, y Energía Residencial, concentrando estos cuatro sectores alrededor del 82,7% y 80,3% de las emisiones totales en los años 2010 y 2015 respectivamente. En la Figura 1 y Figura 2 se muestran detalladamente las participaciones de cada uno de los sectores.

Figura 1 Emisiones totales de GEI desagregadas para el año adicional 2010



Fuente: Elaboración propia

Figura 2 Emisiones totales de GEI desagregadas para el año base 2015



Fuente: Elaboración propia

⁷ La metodología GPC estipula que las emisiones de CO₂ provenientes de la combustión de materiales de origen biogénicos (e.g. biomasa, biocombustible, etc.) deben reportarse de forma

diferenciada, pero no debe contabilizarse en los totales de emisión ya que podría dar pie a una doble contabilidad.

No obstante, lo presentado, el objeto de los inventarios de emisiones de GEI a nivel de ciudad no es la comparación entre ellas. El valor de las emisiones debe servir para que Rionegro evalúe sus progresos hacia un desarrollo bajo en carbono, fijando un año base con el cual compararse en el tiempo. La tendencia de estas emisiones desde el año base determinará la eficacia de las políticas públicas para descarbonizar su economía.

1.2 Escenario tendencial o *Business as Usual*

Se plantea un escenario tendencial o *Business as Usual* (BaU) a los años 2030 y 2050. En el año 2030 el balance de emisiones resulta en 495.887 t CO₂e, mientras que en el año 2050, el valor es de 1.085.873 t CO₂e. Se proyecta que las emisiones aumentan un 272% mientras que las absorciones disminuirán un 10,5%. En la Tabla 2 se presentan las emisiones, totales y per cápita, para los años seleccionados.

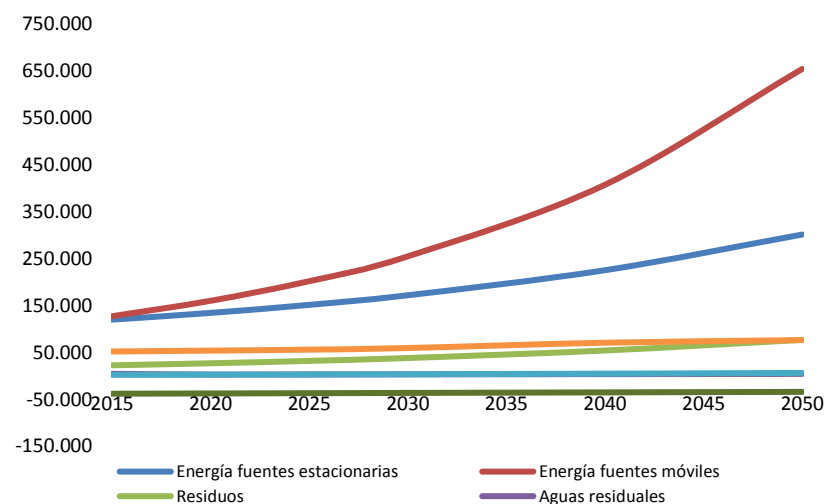
Tabla 2 Emisiones bajo un Escenario Tendencial proyectado a los años 2030 y 2050

	2030 (t CO ₂ e)	2050 (t CO ₂ e)
Emisiones Totales	531.887	1.119.676
Absorciones	-36.059	-33.803
Balance de emisiones	495.828	1.085.873
Per cápita Tendencial (Balance de emisiones)	2,52	3,20

Fuente: Elaboración propia.

La tendencia incremental se da por varios factores. El primero de ellos, por el aumento población el cual se proyecta se incremente un 170%, pasando de 125.855 habitantes en 2015 a 339.399 habitantes en 2050, desembocando en mayor consumo de energía eléctrica, por ejemplo. El segundo, marcado, por la tendencia incremental del consumo de combustibles fósiles asociados al sector movilidad, tanto terrestre como aérea. En la Figura 3 se presenta el comportamiento en el tiempo de las emisiones y absorciones.

Figura 3 Emisiones totales bajo un escenario tendencial

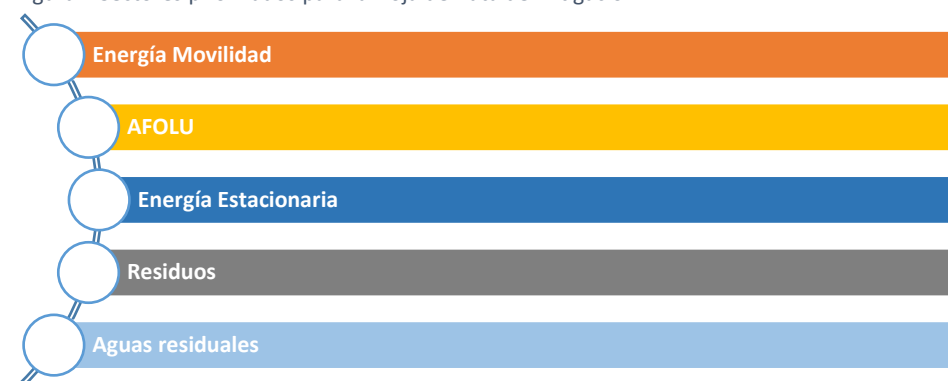


Fuente: Elaboración propia

1.3 Hoja de Ruta de Mitigación de GEI

Para la definición de acciones en la Hoja de Ruta de Mitigación de GEI se han priorizado conjuntamente 15 acciones de mitigación. Estas acciones fueron seleccionadas en colaboración con los agentes relevantes identificados a través de talleres de trabajo individuales participativos enfocados a los sectores priorizados:

Figura 4 Sectores priorizados para la Hoja de Ruta de mitigación



Fuente: Elaboración propia

Como resultado, se tienen las acciones de mitigación específicas para el Municipio de Rionegro que se presentan en la Tabla 3.

Tabla 3 Acciones de mitigación específicas para el municipio de Rionegro

SECTOR	ACCIONES	
Energía Fuentes Estacionarias	E.F.E. 1	Eficiencia energética en nuevos edificios residenciales a través de normativas municipales: Criterios bioclimáticos, energía solar fotovoltaica y jardines verticales.
	E.F.E. 2	Hogares verdes y energéticamente eficientes: Adecuación de viviendas existentes con techos verdes y paneles solares fotovoltaicos.
	E.F.E. 3	Rionegro iluminada y energéticamente eficiente: Sustitución de luminarias del alumbrado público por tipo LED y con autoabastecimiento a través de paneles solares.
	E.F.E. 4	Rionegro ambientalmente responsable desde la Compra y Contratación: Vehículos y computadores de la administración municipal más eficientes.
	E.F.E. 5	Edificios institucionales sostenibles y con bajo consumo energético: Iluminación eficiente abastecida con paneles solares.
Energía Fuentes Móviles	E.F.M. 1	Planificación urbana basada en criterios de sostenibilidad ambiental: Rionegro compacta, diversa y amigable con la movilidad.
	E.F.M. 2	Sistema de Transporte Masivo ferroviario APM (Movilizadores Automáticos de Personas) Aeromovel: Conexión Periferia – Centro – Periferia aporte para una movilidad sostenible en Rionegro.
	E.F.M. 3	Movilidad intermunicipal baja en emisiones. Conexión Aeropuerto José María Córdoba - Área Metropolitana del Valle de Aburrá con autobuses impulsados por motores eléctricos.
	E.F.M. 4	Sistema de Bicicletas Públicas como alternativa al transporte motorizado convencional: Ampliación del Sistema Bici-Río.

SECTOR	ACCIONES	
Residuos	R.1	Compostaje en zonas rurales de Rionegro a pequeña escala: Plantas piloto demostrativas como alternativa para el aprovechamiento de residuos y producción de enmiendas orgánicas.
	R.2	Promoción de acciones para reducir en origen la producción de basura y fomentar la separación de residuos: Rionegro Reduce, Maneja y Recicla.
Aguas residuales	A.R.1	Proyecto Descargas Cero: Modernización de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales con tratamiento del 100% de los vertimientos, con aprovechamiento de biogás.
AFOLU	A.1	Rionegro Verde: Desarrollo de proyectos específicos de restauración en rondas hídricas y nacimientos de agua con especies típicas de ecosistemas de bosque húmedo Montano Bajo y bosque muy húmedo Montano Bajo.
	A.2	Programa de capacitación a los agricultores y productores ganaderos sobre buenas prácticas: alimentación de bovinos y manejo del estiércol.
Transversal	T.1	Educación ambiental y sensibilización ciudadana

Fuente: Elaboración propia

Con la implementación de las 15 acciones de mitigación, se tiene una reducción de Gases de Efecto Invernadero en el año 2050 de 505.022 t CO₂e (46,5%) y un ahorro energético de 1.641.937 MWh. En la Tabla 4 se presentan las emisiones sectoriales bajo un Escenario Inteligente.

Tabla 4 Emisiones de Gases de Efecto Invernadero bajo un Escenario Inteligente

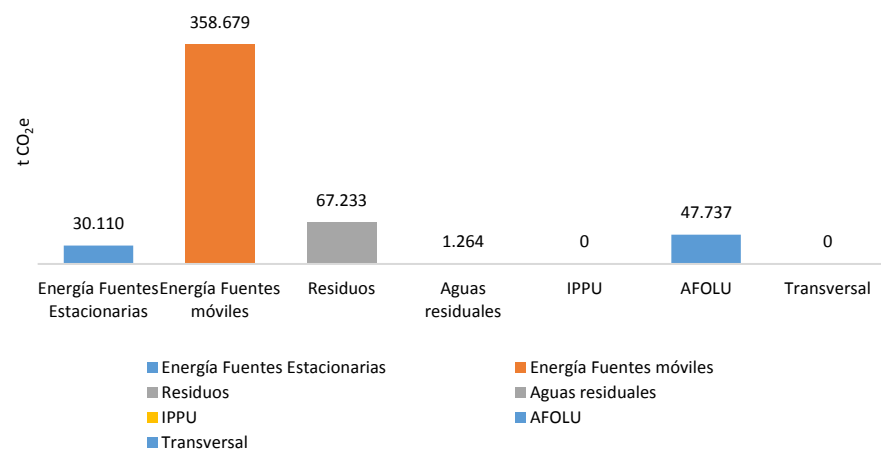
	2015	2030	2050
	t CO ₂ e	t CO ₂ e	t CO ₂ e
Energía fuentes estacionarias	120.007,0	142.517,7	271.153,0
Energía fuentes móviles	114.613,0	73.630,6	295.186,8
Residuos	22.775,4	946,7	9.774,4

	2015	2030	2050
	t CO ₂ e	t CO ₂ e	t CO ₂ e
Aguas residuales	4.663,6	2.589,2	3.259,5
IPPU	2.465,8	3.263,0	6.576,4
AFOLU	37.177,9	39.216,6	53.744,9
TOTAL	301.737,8	262.163,7	639.695,1
Emisiones totales per cápita	2,4	1,00	1,8
Absorciones	-37.751,6	-38.895,6	-58.844,3
Balance de emisiones	263.951,0	223.268,1	580.850,8
Balance per cápita	2,1	1,1	1,7

Fuente: Elaboración propia

Las mayores reducciones acumuladas se presentan en el Sector Movilidad (71%) seguido del Sector Residuos (13,3%). En la Figura 4 se presentan las emisiones reducidas.

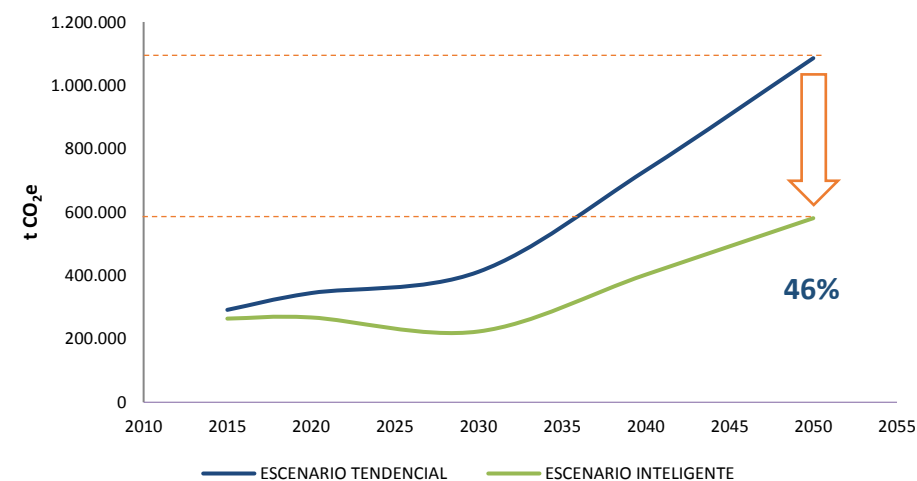
Figura 5 Reducción de emisiones de GEI por sector



Fuente: Elaboración propia

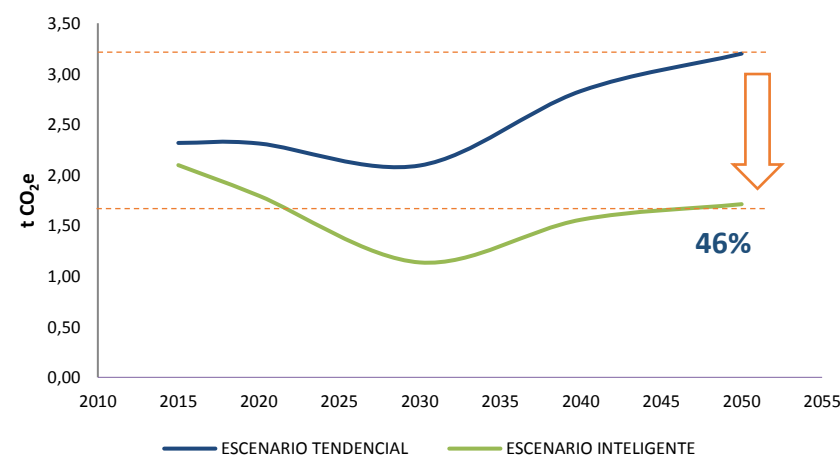
En la Figura 5 y Figura 6 se presenta el comportamiento del balance de las emisiones bajo un Escenario Tendencial y un Escenario Inteligente, tanto totales como per cápita.

Figura 6 Balance de emisiones bajo los escenarios Tendencial e Inteligente



Fuente: Elaboración propia

Figura 7 Balance de emisiones per cápita bajo los escenarios Tendencial e Inteligente



Fuente: Elaboración propia

1.4 ANALISIS COSTO-EFECTIVIDAD DE LAS MEDIDAS

En la Tabla 5 Se presentan las acciones de mitigación planteadas y a si mismo se plantea el Costo-Efectividad de reducir las emisiones, estos valores indican el costo de reducir una tonelada de CO₂e.

Tabla 5. Costo-Efectividad de las acciones de mitigación (USD/t CO₂e)

ACCIÓN DE MITIGACIÓN		Costo -efectividad (USD/t CO ₂ e)
E.F.E. 1	Eficiencia energética en nuevos edificios residenciales a través de normativas municipales: Criterios bioclimáticos, energía solar fotovoltaica y jardines verticales.	-185
E.F.E. 2	Hogares verdes y energéticamente eficientes: Adecuación de viviendas existentes con techos verdes y paneles solares fotovoltaicos.	-562
E.F.E. 3	Rionegro iluminada y energéticamente eficiente: Sustitución de luminarias del alumbrado público por tipo LED y con autoabastecimiento a través de paneles solares.	-730
E.F.E. 4	Rionegro ambientalmente responsable desde la Compra y Contratación: Vehículos y computadores de la administración municipal más eficientes.	-440
E.F.E. 5	Edificios institucionales sostenibles y con bajo consumo energético: Iluminación abastecida con paneles solares.	-564
E.F.M. 1	Planificación urbana basada en criterios de sostenibilidad ambiental: Rionegro compacta, diversa y amigable con la movilidad.	No Aplica
E.F.M. 2	Sistema de Transporte Masivo ferroviario APM (Movilizadores Automáticos de Personas) Aeromovel: Conexión Periferia – Centro – Periferia aporte para una movilidad sostenible.	-473
E.F.M. 3	Movilidad intermunicipal baja en emisiones. Conexión Aeropuerto José María Córdoba - Área Metropolitana del Valle de Aburrá con autobuses impulsados por motores eléctricos.	-157

ACCIÓN DE MITIGACIÓN		Costo -efectividad (USD/t CO ₂ e)
E.F.M. 4	Sistema de Bicicletas Públicas como alternativa al transporte convencional: Ampliación del Sistema Bici-Río	-353
R.1	Compostaje en zonas rurales de Rionegro a pequeña escala: Plantas piloto demostrativas como alternativa para el aprovechamiento de residuos y producción de enmiendas orgánicas.	-18
R.2	Promoción de acciones para reducir en origen la producción de basura y fomentar la separación de residuos: Rionegro Reduce, Maneja y Recicla.	-78
A.R.1	Proyecto Descargas Cero: Modernización de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales con tratamiento del 100% de los vertimientos, con aprovechamiento de biogás.	-1.408
A.1	Rionegro Verde: Desarrollo de proyectos específicos de reforestación en rondas hídricas y nacimientos de agua con especies típicas de ecosistemas de bosque húmedo Montano Bajo y bosque muy húmedo Montano Bajo.	-13
A.2	Programa de capacitación a los agricultores y productores ganaderos sobre buenas prácticas: alimentación de bovinos y manejo del estiércol.	-168
T.1	Educación ambiental y sensibilización ciudadana	-382

Fuente: Elaboración Propia

1.5 CO-BENEFICIOS

Las reducciones de las emisiones de GEI, traen asociados una serie de beneficios ambientales, sociales y económicos. Sin ánimo de exhaustividad se presentan para el caso del municipio de Rionegro las siguientes:

- Mejora en la calidad del aire y a la salud humana. Esto es debido especialmente a través de las acciones asociadas al sector movilidad, las cuales, por medio de los sistemas integrados de transporte planteados, se minimizará la presión vehicular en



el municipio y por ende se reducirán las emisiones de materiales particulados contaminantes a la atmosfera.

- Reducción Energética, Gracias a las reducciones en el consumo energético por medio de las acciones de mitigación establecidas, se logrará contribuir a seguridad energética de Rionegro y por lo tanto a una economía más competitiva.
- Los servicios ecosistémicos derivados de las acciones asociadas al medio natural, como, por ejemplo, la restauración y conservación de sumideros de carbono en las riberas de los ríos Negro, y Nare, con especies de ecosistema de bosque húmedo montano bajo (bh – MB) y bosque muy húmedo Montano Bajo (bmh – MB), las cuales además sirven para protección de bocatomas de agua; protección de la erosión; reducción de la escorrentía superficial y regulación de los caudales.

1.6 CONCLUSIONES

1.6.1 Inventarios de emisiones de GEI – Línea Base

- Las emisiones totales del Municipio de Rionegro para el año base 2015 se calcularon en 329.327 t CO₂e. Para el segundo año adicional, 2010, se contabilizan en 273.751 t CO₂e. En términos per cápita se tienen 2,3 y 2,2 t CO₂e respectivamente. No obstante son valores que corresponden a la media de ciudades de América Latina y El Caribe; y significativamente inferiores a la de países más industrializados.
- Las principales emisiones de GEI se producen en el sector Energía Movilidad, representando el 39% de las emisiones totales. En su gran mayoría (88,9%), debido a los consumos de gasolina y diésel. Nafta y Queroseno de Aviación complementan las emisiones del sector, aunque son menos significativas.
- Otros sectores claves por sus aportes de emisiones de GEI son AFOLU, Energía Industrial y Energía Residencial, con participaciones del orden de 16%, 14% y 12% respectivamente en el año base 2015.
- Para el año base seleccionado 2015, el CO₂ es el GEI que aporta las mayores emisiones con un 78% del total, seguido del CH₄ con el 16%. El N₂O y los gases fluorados aportan el 5% y 1% respectivamente.

- Bajo un Escenario Tendencial, en los años 2030 y 2050 se tienen emisiones totales de 531.887 t CO₂e y 1.119.766 t CO₂e. Los sectores Energía Movilidad y Energía Fuentes Estacionarias aportan más el 80% de los GEI. Los cambios en los usos de los suelos, asentamientos y pastizales mantiene una tendencia creciente, en detrimento de los bosques húmedos montano bajos y muy húmedos montano bajos.
- Para el desarrollo de los inventarios de los años 2010 y 2015, se emplearon factores de emisión y absorción disponibles para Colombia publicados por el IDEAM. Esto mejora la calidad del inventario y ayuda a reducir la incertidumbre.

1.6.2 Escenario Inteligente y Acciones de Mitigación

- La Hoja de Ruta de Mitigación de Rionegro plantea 15 acciones basadas en las energías renovables, la eficiencia energética, una correcta gestión de los recursos y la coordinación, educación y participación.
- Estas acciones suponen una reducción total en el año 2050 de 505.022 t CO₂e y supondrían un ahorro energético de 1.641 GWh. Representan reducciones de GEI del orden del 46,5%.
- Con la adopción de las acciones propuestas, el balance de emisiones de Rionegro en el año 2050 bajo un Escenario Inteligente se calcula en 580.850,8 t CO₂e frente a las 1.085.872,9 t CO₂e del Escenario Tendencial. En términos per cápita, el balance de emisiones de este escenario sería de 3,2 t CO₂e frente a las 1,7 t CO₂e en el Escenario Tendencial.
- La principal reducción de emisiones se produce en el sector Energía Fuentes Móviles, con un potencial de reducción de 358.679 t CO₂e; un 71% de las emisiones totales, especialmente a través de la acción “Sistema de Bicicletas Públicas como alternativa al transporte convencional: Ampliación del Sistema Bici-Río”, la cual supone un 25% de las reducciones totales.
- Se recomienda convertir esta Hoja de Ruta en un Plan Integral de Cambio Climático articulado con la iniciativa Plan de Crecimiento Verde y Desarrollo Compatible con el Clima para el Oriente Antioqueño de CORNARE. Igualmente, con el Plan

Departamental de Adaptación y Mitigación al Cambio Climático⁸ y el Nodo Regional de Cambio Climático de Antioquia.

- Los análisis Costo-Efectividad de las 15 medidas ACB (USD/t CO₂e) presentan valores negativos, lo cual se traduce en un ahorro por tonelada de carbono reducido.

2. RESUMEN MÓDULO 2 VULNERABILIDAD Y RIESGOS NATURALES

2.1 PRIORIZACIÓN DE AMENAZAS

Con el objetivo de que la selección de amenazas se ajustase a las necesidades de análisis en Rionegro, se identificó y analizó la información relativa a estudios existentes ya realizados, además de realizar un análisis multicriterio para facilitar su comparación y priorización posterior de forma participativa por los principales actores clave.

De esta forma, las amenazas priorizadas resultaron finalmente las siguientes:

1. Inundación
2. Vientos extremos
3. Sismo

2.2 ANÁLISIS PROBABILÍSTICO DEL RIESGO DE INUNDACIÓN FLUVIAL

2.2.1 Estudio Hidrológico

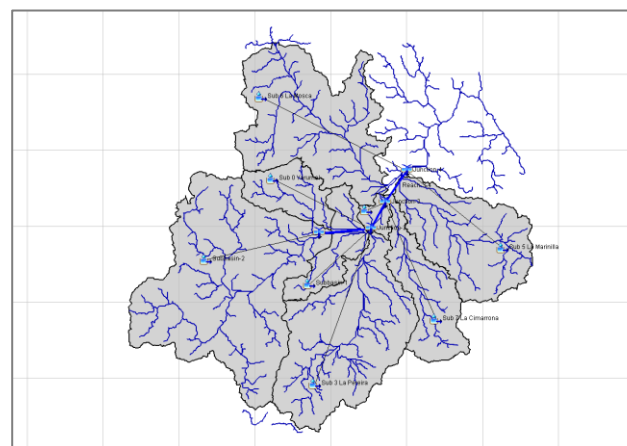
Para la elaboración del estudio hidrológico, en primer lugar se realizó un análisis de las precipitaciones en los escenarios de clima actual y de cambio climático, para lo cual se han determinado las precipitaciones máximas diarias para los periodos de retorno de 3, 25, 50 y 100 años en 2 estaciones meteorológicas del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM): La Selva y Aeropuerto José María Córdova.

Resulta preciso destacar, que en el escenario de cambio climático únicamente se producía un pequeño aumento de la precipitaciones en el escenario R.C.P. 8.5 para el periodo de retorno de 100 años en la estación de La Selva, disminuyendo respecto al escenario actual en el resto de escenarios y también en las proyecciones correspondientes a la estación Aeropuerto José María Córdova.

A continuación, se procedió a obtener la lluvia eficaz o neta, es decir, la parte de la precipitación total del aguacero que realmente contribuye a la generación de caudales, contemplándose los fenómenos de interceptación, retención e infiltración, para lo cual se elaboró el mapa de usos de la tierra realizando un análisis de la imagen LANDSAT del año 2015.

En el presente estudio, se realizaron los modelos hidrológicos correspondientes a la cuenca del Río Negro completa, y a las subcuencas de las quebradas La Pereira, La Mosca, Cimarrona y Yarumal. En la Figura 8 se muestra el esquema del modelo hidrológico realizado para la cuenca completa del Río Negro.

Figura 8 Esquema del modelo hidrológico de la cuenca del Río Negro



Fuente: Elaboración propia

⁸ Al momento de la redacción del documento el Plan se encontraba en fase de formulación, por lo cual, se recomienda consultarlo una vez esté publicado por parte de la Gobernación de Antioquia.

Además de este análisis, se realizó un estudio hidrológico simplificado mediante el método racional, de las cuencas San Antonio, El Burro, El Pozo, Subachoque, El Águila y Malpaso, con objeto de determinar los caudales máximos generados en los periodos de retorno de 3, 25, 50 y 100 años.

Referente a estas quebradas, dado que por sus dimensiones quedan fuera de la escala de trabajo del Programa CSC, se ha buscado realizar un análisis basado en datos obtenidos en campo, análisis hidrológicos simplificados utilizando el Método Racional, y estudios hidráulicos, basados no en modelos matemáticos, como en el resto de quebradas, sino en un análisis preliminar mediante la aplicación de la fórmula de Manning suponiendo que se cumple la condición de calado normal o flujo uniforme en cada tramo de estudio.

De esta forma, lo que se busca es analizar que tramos de cada quebrada por sus dimensiones y características geométricas no tienen capacidad para transportar los caudales asociados a cada periodo de retorno, poniendo el foco así en aquellas zonas con menor capacidad y con más elementos expuestos cercanos, de forma que queden priorizados estudios de menor escala en esos tramos con topografía de campo y un análisis hidráulico más complejo y preciso.

A continuación, en la Figura 9 se muestra un ejemplo del análisis realizado para una de las quebradas, en este caso la quebrada Subachoque, donde se señala el posible riesgo.

Figura 9 Esquema riesgo de la quebrada Subachoque



Fuente: Elaboración propia

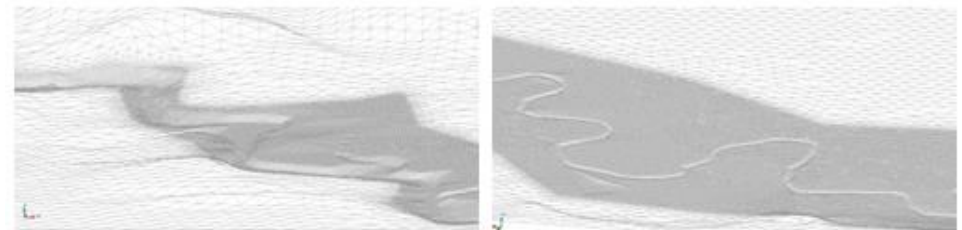
Cabe destacar los estudios relativos a la quebrada Subachoque y El Pozo, “Estudios y diseños de la Quebrada Subachoque” y “Estudio Hidrológico e Hidráulico de la Quebrada El Pozo hasta la zona de confluencia con el Río Negro” los cuales señalan la incapacidad hidráulica de las secciones ya para periodos de retorno bajos, así como propuesta de diferentes alternativas de solución.

2.2.2 Estudio hidráulico

Para la simulación del flujo en lámina libre se usó el modelo IBER, el cual trabaja sobre una malla no estructurada de volúmenes finitos formada por elementos triangulares o cuadriláteros. En el módulo hidrodinámico, que constituye la base de IBER, se resuelven las ecuaciones de aguas someras bidimensionales promediadas en profundidad (ecuaciones de St. Venant 2D).

A continuación, en la Figura 10 se muestra un ejemplo de las mallas de cálculo para tramos pertenecientes a la quebrada La Mosca y el Río Negro.

Figura 10 Malla de cálculo no estructurada desarrollada para el cálculo hidráulico de la quebrada La Mosca (izquierda) y del Río Negro (derecha)



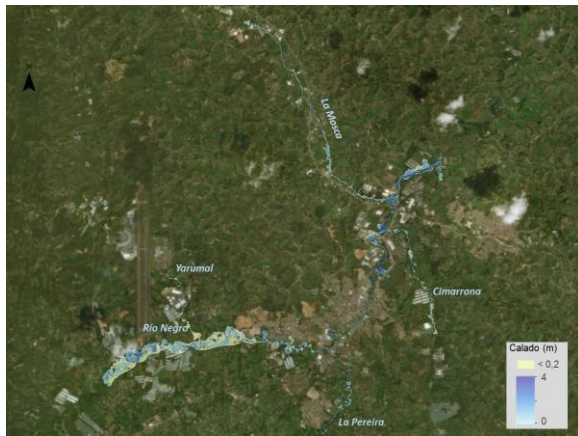
Fuente: Elaboración propia

Con objeto de analizar el comportamiento de las estructuras de paso sobre el cauce, se ha procedido a modelizar un total de 20 puentes para el conjunto de los cauces estudiados, de forma que se consigue simular si los puentes ya ejecutados afectan o no al comportamiento del flujo del agua.

Además, se han tenido en cuenta medidas de mitigación ya realizadas, como el muro de defensa en la margen izquierda del Río Negro a su paso por el barrio El Centro.

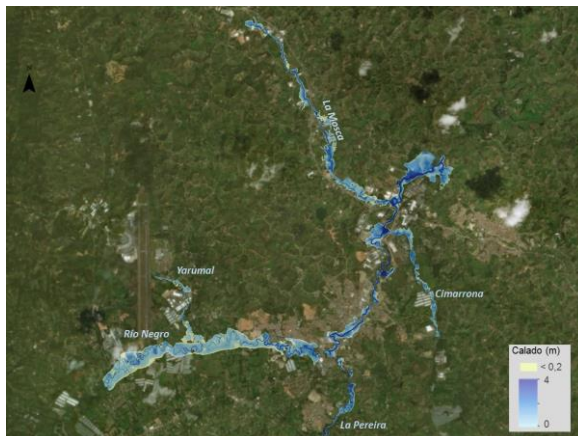
Se muestra a continuación en la Figura 11 y Figura 12 las cotas de inundación máximas alcanzadas para 3 y 100 años de periodo de retorno para el Río Negro y las quebradas La Pereira, La Mosca, Yarumal y Cimarrona.

Figura 11 Calados máximos para el periodo de retorno de 3 años



Fuente: Elaboración propia

Figura 12 Calados máximos para el periodo de retorno de 100 años



Fuente: Elaboración propia

2.2.3 Evaluación de la Exposición y Vulnerabilidad

Una vez valorada la amenaza de inundación fluvial, se procede a realizar una evaluación de los elementos expuestos, así como un análisis de su vulnerabilidad.

Se ha estimado el valor expuesto de las construcciones de Rionegro en cada uno de los cauces analizados para los periodos de retorno de 3, 25, 50 y 100 años.

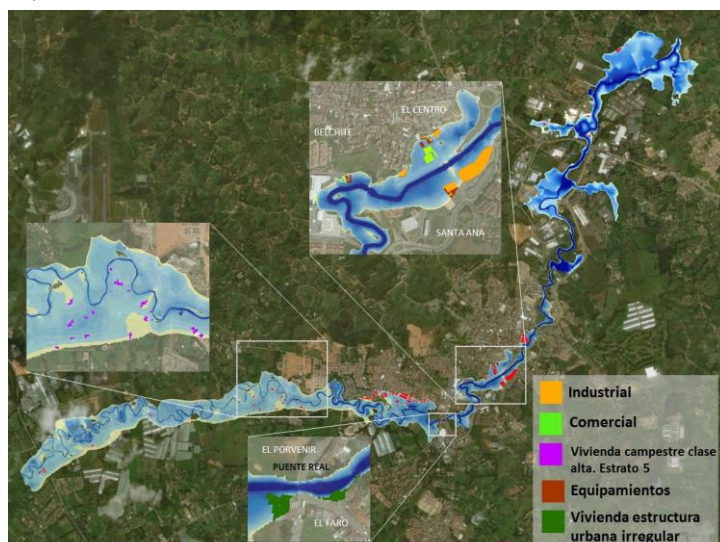
Así, en el caso del Río Negro este valor varía entre USD 11,8 millones y USD 75,7 millones para los periodos de retorno de 3 y 100 años respectivamente, destacando construcciones de tipo industrial, comercial, equipamientos y vivienda dispersa de clase alta. Referente a la quebrada La Mosca el valor expuesto varía entre USD 1,3 millones y USD 15, 7 millones para los periodos de retorno de 3 y 100 años respectivamente, resultando fundamentalmente edificaciones de carácter industrial y vivienda campestre de clase media. Respecto a la quebrada Yarumal este valor varía entre USD 182.000 y USD 873.000 para los periodos de retorno de 3 y 100 años, respectivamente (no habiéndose detectado elementos expuestos en las quebradas La Pereira y Cimarrona).

Toda la infraestructura crítica afectada por inundaciones se encuentra en las márgenes del Río Negro, consistiendo en una estación de bomberos, un centro de salud, la estación de bombeo de aguas residuales de Rionegro y dos torres de alta tensión, concluyendo que la ciudad es poco vulnerable en su conjunto frente a inundaciones, exceptuando la localización de la única estación de bomberos en zona inundable en caso de avenida extraordinaria.

A modo representativo en la se muestran los elementos expuestos para la amenaza de inundación en el Río Negro asociada a 100 años de periodo de retorno.

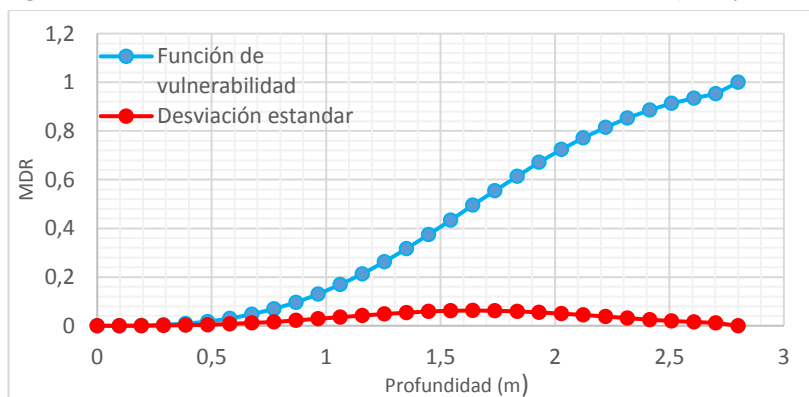
De acuerdo a la definición reflejada en el programa “Aproximación holística para la evaluación probabilística del riesgo” (*Central America Probabilistic Risk Assessment CAPRA, 2005*) la vulnerabilidad es la predisposición de un sistema, elemento, componente, grupo humano o cualquier grupo biológico o no, a sufrir afectación ante la acción de una situación de amenaza específica.

Figura 13 Exposición de las construcciones a la amenaza de inundación fluvial del Río Negro para el periodo de retorno de 100 años



Fuente: Elaboración propia

Figura 14 Curva de vulnerabilidad física ante inundación costera M1 (Mampostería 1 piso)



Fuente: CAPRA

Se han seleccionado una serie de curvas de vulnerabilidad de la plataforma CAPRA, que se han considerado como potencialmente representativas de los tipos de edificación identificados. A título ilustrativo se muestra una de estas curvas en la Figura 14, donde la curva azul representa la función de vulnerabilidad que relaciona la profundidad alcanzada por el agua en metros con el porcentaje de daño respecto al valor de reposición del elemento expuesto en tanto por uno. La línea roja representa la desviación estándar de los puntos utilizados en la obtención de la función de vulnerabilidad.

2.2.4 Cálculo del Riesgo

Una vez estimada la vulnerabilidad de las construcciones expuestas a la amenaza de inundación de los cauces analizados se ha realizado el cálculo de riesgo monetario extrapolando el porcentaje de daño (MDR) ocasionado a los distintos tipos de estructura según las profundidades de agua alcanzadas para cada periodo de retorno.

A continuación en la Tabla 6, Tabla 7 y Tabla 8 **Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se muestra la pérdida máxima probable para el Río Negro y las quebradas de La Mosca y Yarumal, en cada uno de los periodos de retorno. A modo ilustrativo en la Figura 15 se muestra la representación gráfica de la curva de excedencia de pérdidas.

Tabla 6 Cálculo de PML para la amenaza de inundación en el Río Negro

Periodo de retorno (años)	Superficie construida expuesta(m ²)	Perdida máxima probable (USD)
3	9.152	70.453
25	43.799	736.248
50	51.766	886.702
100	84.885	2.721.650

Fuente: Elaboración propia

Tabla 7 Cálculo de PML para la amenaza de inundación en la quebrada La Mosca

Periodo de retorno (años)	Superficie construida expuesta(m ²)	Perdida máxima probable (USD)
3	1.287	6.018
25	6.540	797.106
50	13.149	1.419.940

Periodo de retorno (años)	Superficie construida expuesta(m ²)	Perdida máxima probable (USD)
100	17.102	1.716.123

Fuente: Elaboración propia

Tabla 8 Cálculo de PML para la amenaza de inundación en la quebrada Yarumal

Periodo de retorno (años)	Superficie construida expuesta(m ²)	Perdida máxima probable (USD)
3	186	0
25	306	124
50	913	171
100	1.080	5.272

Fuente: Elaboración propia

La pérdida anual esperada (PAE) que se corresponde con la superficie del área bajo la curva de excedencia se ha calculado, obteniendo un valor de USD 186.824 en el caso del Río Negro; un valor de USD 205.992 para la quebrada La Mosca, y de USD 105 en el caso de la quebrada Yarumal. Así, Resulta un total de USD 392.921 para el conjunto de los cauces estudiados.

Figura 15 Representación gráfica de la curva de excedencia de pérdida por la amenaza de inundación en el Río Negro



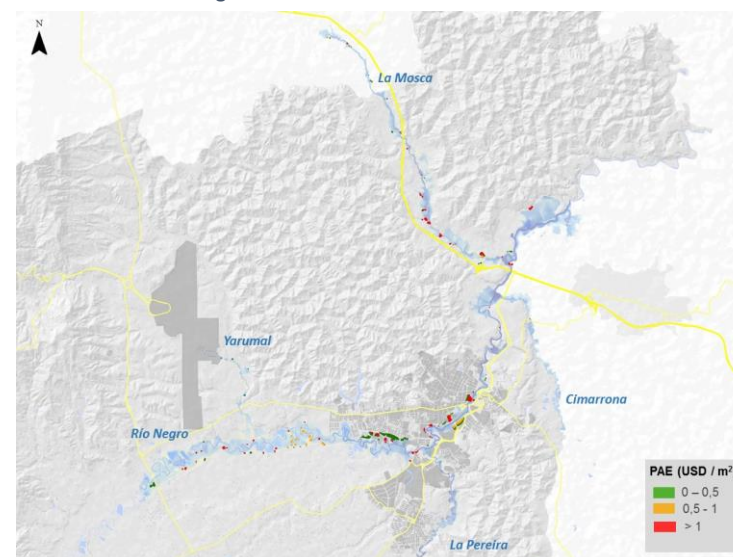
Fuente: Elaboración propia

También se ha obtenido el número de viviendas afectadas por la amenaza de inundación para cada uno de los cauces, así como la población que podría verse afectada en base a las densidades de habitantes por vivienda por clase de análisis establecidas en el Módulo 3. Así, para el conjunto de los cauces estudiados el número de viviendas oscila entre 21 y 466 para los periodos de retorno de 3 y 100 años respectivamente. Referente a la población susceptible de verse afectada varía entre 72 y 1.593 para los periodos de retorno de 3 y 100 años, respectivamente.

Finalmente, en base a datos de huella histórica en Rionegro, se ha analizado como se ha ido construyendo el riesgo desde el año 1948 hasta la actualidad, así como se ha proyectado en el escenario tendencial de crecimiento urbano, el riesgo en los años horizontes 2030 y 2050. De esta forma, se ha estimado un valor de pérdida anual esperada en 2050 de USD 974.662 y un total de 1.156 viviendas afectadas.

En la Figura 17 se puede observar la construcción del riesgo en el escenario tendencial.

Figura 16 Representación gráfica de la pérdida anual esperada (PAE) para la amenaza de inundación en Rionegro



Fuente: Elaboración propia

Figura 17 Construcción del riesgo hasta 2050



Fuente: Elaboración propia

2.3 ANÁLISIS DETERMINISTA DEL RIESGO POR VIENTOS EXTREMOS

Para el estudio del riesgo por vientos en Rionegro se han seguido los siguientes pasos:

- En primer lugar, dado que las estaciones meteorológicas circundantes no cuentan con datos apropiados para el análisis estadístico de los vientos, resulta más apropiado realizar un estudio determinista a partir de distintas velocidades de vientos. Para la normativa colombiana, el viento base de cálculo para la zona de Rionegro es de 120km/h. A falta por tanto de una serie historia de ráfagas máximas, se propone el estudio determinista de daños para 115,120, 150 y 180 km/h.
- Una vez establecidas las velocidades para el análisis se ha procedido a obtener un mapa de vulnerabilidad en función de las tipologías de cubiertas. Para ello se ha empleado la información relativa a las unidades homogéneas con las que se trabaja en el Módulo 3, denominadas *Clases de Análisis*, además de completar el estudio mediante observación de las construcciones a través de visores y ortofotos.
- De esta forma, se han caracterizado las distintas divisiones en términos de tipologías constructivas, calidad de los materiales o número de plantas, entre otras.

- Una vez clasificadas las construcciones de la zona de estudio se ha procedido a aplicar las curvas de vulnerabilidad para la amenaza de vientos obtenidos de la plataforma para el estudio de amenazas naturales en América Latina CAPRA. Así se consigue obtener un porcentaje de daño en función de la velocidad máxima que se ha considerado para cada periodo de retorno.
- Este porcentaje se aplica sobre los metros construidos expuestos, obteniendo por tanto un valor de metros cuadrados afectados a los que se le aplica el correspondiente coste de reposición. El sumatorio de las pérdidas correspondientes a la superficie afectada para las velocidades de viento consideradas por periodo de retorno representa la denominada pérdida máxima probable. Obteniendo así 4 mapas correspondientes a las 4 velocidades de análisis establecidas.

Se han distinguido un total de 4 tipologías constructivas representativas, a las cuales se les ha asignado su respectiva curva de vulnerabilidad. Estas curvas diferencian entre cerramientos flexibles y rígidos y cubierta flexible y pesada.

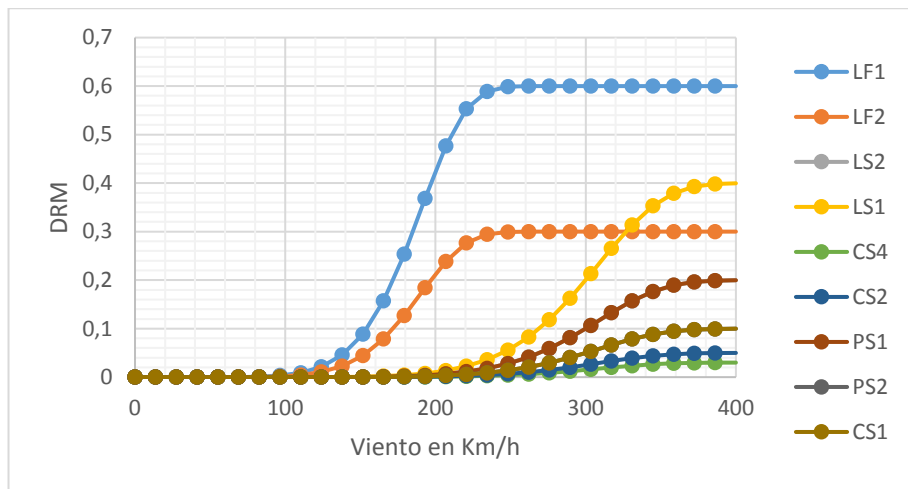
Las curvas asocian una velocidad de viento a un porcentaje de daño para la totalidad de la edificación.

Catalogando y agrupando las tipologías de edificios según sus características es posible obtener un mapa de vulnerabilidad de los edificios a los vientos extremos según zonas. (Figura 19)

En dicho mapa se pueden identificar las zonas en las que, debido a su tipología constructiva, cabe esperar más daños.

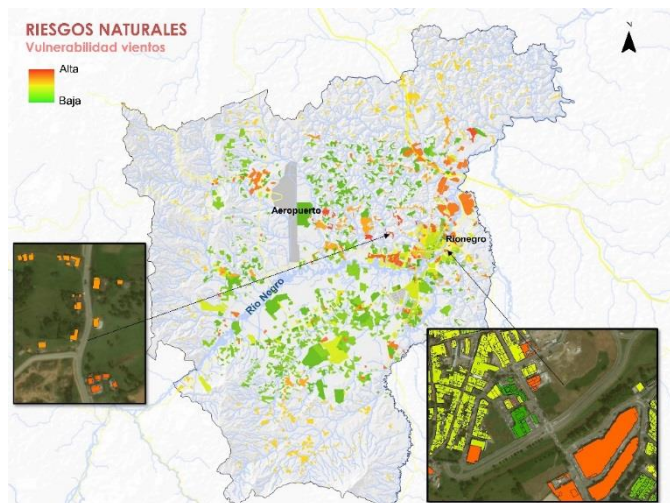
Finalmente, mediante el valor de reposición de cada elemento y el área construida, así como su grado de deterioro según el viento, se puede estimar la pérdida monetaria para cada velocidad. A modo representativo, en la Figura 18 se muestra el mapa de pérdidas para la velocidad de viento correspondiente a 180 km/h. Resulta preciso destacar que las pérdidas comienzan a no ser despreciables a partir de vientos de 115 km/h. En la se muestra el valor de pérdidas para cada una de las velocidades establecidas.

Figura 18 Curvas de vulnerabilidad de las tipologías constructivas frente a la acción del viento



Fuente: Elaboración propia

Figura 19 Vulnerabilidad de las construcciones frente a la acción del viento



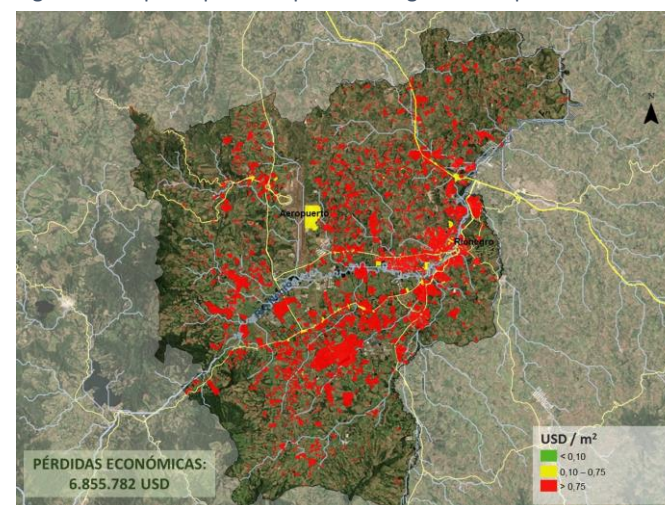
Fuente: Elaboración propia

Tabla 9 Pérdidas económicas por la amenaza de vientos para cada una de las velocidades establecidas

Viento Km/h	115	120	150	180
Pérdidas (USD)	205.205	345.444	1.678.336	6.855.782

Fuente: Elaboración propia

Figura 20 Mapa de pérdidas para daños generados por vientos de hasta 180 km/h



Fuente: Elaboración propia

2.4 CÁLCULO PROBABILÍSTICO DEL RIESGO SÍSMICO

El objetivo del estudio realizado es el de evaluar la amenaza y riesgo sísmico en el Municipio de Rionegro. Para ello, se evalúa en primer lugar la amenaza con el fin de caracterizar la acción sísmica que sirva como input para el posterior cálculo del riesgo sísmico. Se caracterizan así los movimientos esperados por sismos futuros, con dos probabilidades de excedencia: 10 % en 50 años y 5 % en 50 años. Estos movimientos corresponden a periodos de retorno de 475 y 975 años respectivamente, que se eligen como referencia por ser los manejados habitualmente en normativas para edificaciones convencionales (475 años) y de especial importancia (975 años). Estos periodos de

retorno se corresponden con los Grupos de uso I y II del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10, 2010), respectivamente.

Los factores que influyen en la estimación del riesgo son:

- Probabilidad de que se produzca un evento sísmico que genere movimientos de cierta intensidad.
- Posibles efectos locales de amplificación de las ondas sísmicas, directividad, etc.
- Vulnerabilidad de las construcciones.
- Existencia de habitantes y bienes que puedan ser afectados.

Siguiendo esta secuencia, en el presente estudio de riesgo se cuantificarán estos factores, obteniendo como principales resultados el daño físico en las diferentes veredas del municipio, en términos de porcentaje de viviendas con diferentes grados de daño, daño medio, número de víctimas mortales y heridos, y las pérdidas económicas.

2.4.1 Peligrosidad sísmica

La estimación de la peligrosidad o amenaza sísmica se efectúa, en primer lugar, por medio de un cálculo probabilista zonificado. Se tienen en cuenta todas las fuentes sísmicas incluidas en una zona de influencia de 500 km alrededor de Rionegro y se estima la probabilidad anual de excedencia de distintos niveles de movimiento a causa de todas esas fuentes.

Según el Reglamento Colombiano de Construcción Sismorresistente (NRS-10, 2010), Rionegro se sitúa sobre la zona de amenaza sísmica intermedia, donde los valores básicos de aceleración son de 0.15 g.

Respecto al marco sismotectónico local, se ha llevado un análisis de la sismicidad registrada en la zona (tanto histórica como instrumental), así, según estudios realizados por CORNARE, el municipio de Rionegro no ha sido afectado por sismos históricos importantes. Sin embargo, el municipio se encuentra localizado cerca de fallas activas como Cuenca y Santa Helena (CORNARE, 2011), La Acuarela y Rodas, identificadas en el estudio de Rendón (2012) como fallas que necesitan estudios específicos, y a menos de 30 km del sistema de fallas de San Jerónimo y la Falla de La Estufa, entre otras.

La peligrosidad sísmica se ha estimado en términos de los siguientes parámetros de movimiento: aceleración pico (PGA) y aceleraciones espectrales SA(T) referentes a 8 periodos estructurales $T = 0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.5, 1.0, 2.0$ y 3.0 segundos, todas ellas expresadas en g. Los cálculos se han hecho primeramente sin considerar el efecto local, de modo que las aceleraciones que se obtienen en la primera fase representan el movimiento esperado en emplazamientos genéricos en roca. Estas aceleraciones se estiman para los periodos de retorno de 475 y 975 años.

El sismo de control es aquel que con mayor probabilidad causará la excedencia del movimiento en el emplazamiento o población de estudio. Determinar las características de este sismo requiere encontrar el conjunto de valores de las variables magnitud y distancia, en adelante denominado par (M, R), que presentan mayor contribución a la peligrosidad. Así, los escenarios sísmicos identificados para los sismos de control resultantes son los que se presentan a continuación en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

Tabla 10 Escenarios sísmicos identificados para los sismos de control resultantes de la desagregación

Escenario	Tipo	Localización	Magnitud (Mw)	Distancia R (km)
Escenario 1	Probable	Falla San Jerónimo	6.2	30
Escenario 2	Extremo	Intraplaca (src44)	7.4	180

Fuente: Elaboración propia

Con objeto de realizar la evaluación del efecto local o del sitio se requiere conocer la composición del suelo en el emplazamiento, a efectos de caracterizar su comportamiento ante la sacudida sísmica.

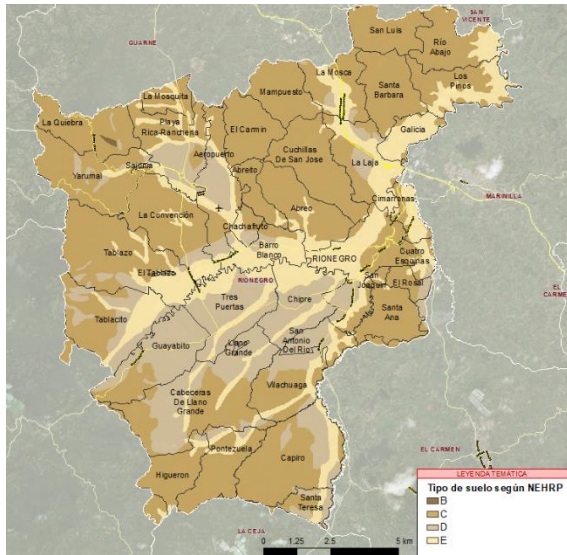
Así, para la elaboración del mapa de suelo se ha partido de la carta geológica (parte sur) del Servicio Geológico Colombiano (SGC) (Plancha 147) e información proporcionada por la Corporación Autónoma de la Cuenca del Río Negro – Nare (CORNARE).

Se establece una relación entre los tipos de suelos identificados y la clasificación propuesta por NEHRP (NEHRP, 2009) para representar la distribución de suelos en la ciudad y determinar el tipo de suelo en cada clase de análisis. Así se han identificado los

tipos de suelos B, C, D y E correspondientes a roca; suelo muy denso y roca suave; suelos no cohesivos, y suelos blandos o que requieren evaluación específica in situ.

En la Figura 21 se muestra el mapa de distribución de suelos en Rionegro.

Figura 21 Mapa de distribución de suelos según la clasificación de NEHRP en Rionegro



Fuente: Elaboración propia

Una vez definidos los tipos de suelo existentes en la región de estudio, la consideración del efecto local requiere evaluar o asignar los factores de amplificación o de desamplificación correspondientes a cada tipo de suelo identificado en la ciudad.

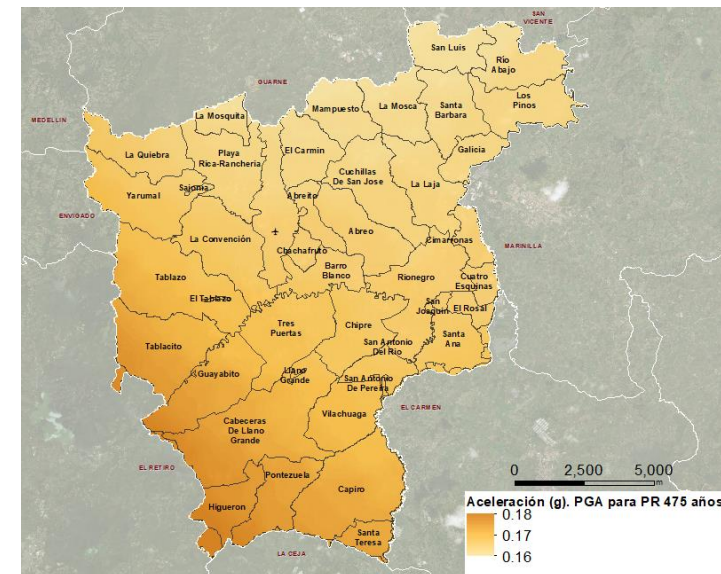
Finalmente, los movimientos obtenidos en el cálculo de la amenaza en roca, se combinan con el mapa de clasificación de suelos obtenido y se aplican los factores de amplificación que se determinen para cada tipo de suelo, permitiendo obtener mapas de peligrosidad, considerando efecto local.

Los resultados que se obtienen para caracterizar de forma completa el movimiento, tanto para emplazamientos genéricos en roca como incluyendo el efecto local del suelo, son los

siguientes: Mapas del movimiento esperado con probabilidad de excedencia de 10% en 50 años (PR de 475 años), en términos de aceleraciones pico, PGA y espectrales de corto periodo SA (0.1 s) y largo periodo SA (1 s); Mapas del movimiento esperado con probabilidad de excedencia de 5% en 50 años (PR de 975 años), en términos de aceleraciones pico, PGA y espectrales de corto periodo SA (0.1 s) y largo periodo Sa (1 s); y Espectros de amenaza uniforme UHS en diferentes puntos del municipio de Rionegro, para periodos de retorno de 475 y 975 años.

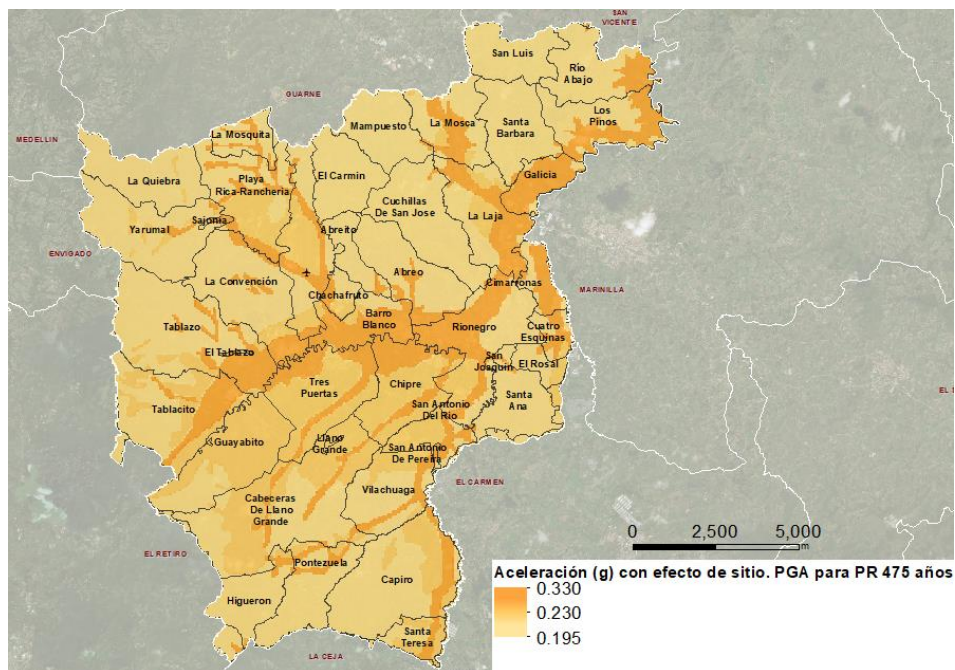
A modo de ejemplo en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se muestra el mapa de peligrosidad en roca para el periodo de retorno de 475 años obtenido en términos de PGA. En la Figura 22 se muestra el mapa de peligrosidad para el periodo de retorno de 475 años obtenido en términos de PGA, incluyendo el efecto local en cada vereda del municipio.

Figura 22 Mapa de peligrosidad en roca para PGA (g) y PR 475 años en Rionegro



Fuente: Elaboración propia

Figura 23 Mapa de aceleraciones PGA, incluyendo el efecto local, para PR 475 años



Fuente: Elaboración propia

2.4.2 Exposición y vulnerabilidad al sismo

La exposición de una población ante una amenaza se refiere al número de personas e inmuebles que pueden estar afectados por dicha amenaza y, por tanto, sufrir el correspondiente riesgo. Para caracterizar la exposición en los estudios de riesgo sísmico es necesario crear una base de datos con la localización y características relevantes de los edificios, así como con el número de personas que los ocupa (población).

Así, en base a información proporcionada por el DANE (2016) se conoce el número de viviendas y habitantes por vereda, de forma que en Rionegro hay registrados en el año 2016 un total de 38,995 viviendas y 133,313 habitantes.

La vulnerabilidad se define como la probabilidad que tiene un elemento expuesto de sufrir daños ante una cierta amenaza. En este caso, la amenaza viene expresada como el movimiento del suelo debido a la ocurrencia de un determinado evento sísmico, probable o extremo.

Para estimar el daño debido al movimiento sísmico sobre un conjunto de edificaciones que conforman un núcleo urbano, se requiere una clasificación de las tipologías constructivas, atendiendo a su comportamiento ante sismos, con la consiguiente asignación de la clase de vulnerabilidad a cada tipología.

Se han distinguido un total de 6 clases de vulnerabilidad. En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se muestra el número de viviendas y el tanto por ciento sobre el total que representan clasificadas en función de la clase de vulnerabilidad:

Tabla 11 Clasificación de las viviendas de Rionegro por clase de vulnerabilidad

CLASE DE VULNERABILIDAD	NÚMERO DE VIVIENDAS	% DE VIVIENDAS
Vivienda de construcción precaria (AD)	2.018	5,20 %
Mampostería no reforzada (M5)	15.243	39,10 %
Muros de mampostería no confinada (M6)	4.549	11,70 %
Muros de mampostería confinada (M7)	7.236	18,60 %
Muros de concreto armado en dos direcciones horizontales (C2)	214	0,50 %
Pórticos de concreto armado (C3)	9.735	25,00 %

Fuente: Elaboración propia

2.4.3 Cálculo de Riesgo Sísmico

El riesgo se cuantifica mediante parámetros de daño y parámetros de pérdidas humanas y materiales. Así el cálculo del mismo requiere estimar la probabilidad de que una determinada tipología alcance o supere cada uno de los grados de daño predefinidos ante

la acción sísmica representativa del escenario de peligrosidad definido, es decir, ante el movimiento máximo esperado en la zona de estudio.

Así, se clasifican y estiman los diferentes grados de daño, obteniendo además un índice de daño medio. También se realiza una estimación de las pérdidas humanas en función del número de edificios colapsados, así como de pérdidas en términos económicos.

Finalmente se obtienen los resultados esperados del estudio de riesgo sísmico asociados a los dos escenarios sísmicos establecidos (Escenario 1 y Escenario 2), obteniendo sus correspondientes mapas de riesgo con los resultados globales de viviendas con diferentes grados de daño, de víctimas mortales y distintos tipos de heridos y de costes de reconstrucción y de reparación de daño extenso, moderado y ligero.

Referente al Escenario 1 las veredas con mayor porcentaje de daño completo se localizan en la zona noroeste del municipio, puesto que es el área más cercana al plano de ruptura generado para el sismo de Mw6.2, situado en la falla de San Jerónimo.

Para este escenario se ha estimado una cifra de 3 víctimas mortales a causa del posible colapso de edificios con daño completo.

Respecto al Escenario 2 las veredas con mayor porcentaje de daño completo son las de Barro Blanco y Cimarronas.

El número de víctimas mortales estimado para este escenario es el que se muestra a continuación en la Tabla 12.

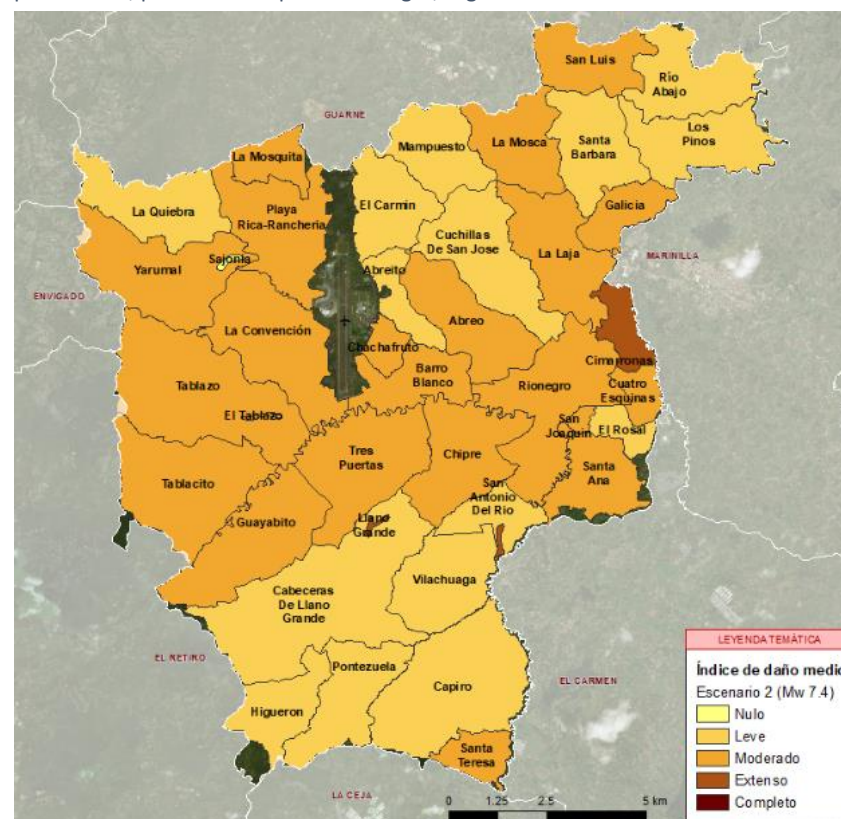
Tabla 12 Resultados globales de víctimas mortales y distintos tipos de heridos, resultantes en Rionegro según el Escenario 2.

Muertos	Urgencia	Atención médica	Con heridas leves	Sin daños
75	74	79	77	2.755

Fuente: Elaboración propia

A continuación, a modo representativo, en la Figura 24 se muestra el mapa de índice de daño medio para Rionegro en el Escenario 2.

Figura 24 Mapa de índice de daño medio resultante de la simulación del sismo de Mw 7.4, dado por veredas, para el municipio de Rionegro, según el Escenario 2.



Fuente: Elaboración propia

2.4.4 Mapa de limitantes constructivas

En base a los resultados de amenaza sísmica, considerando el posible efecto local dado por las condiciones de los suelos según el mapa de geología regional utilizado, y en atención al riesgo sísmico condicionado además por la vulnerabilidad de edificaciones presentes en el municipio de Rionegro, se ha construido un mapa de limitantes constructivas.

[illegible]

Así se han distinguido 4 zonas, siendo estas las siguientes:

- Conviene destacar que en cualquier zona de la ciudad se podría construir siguiendo estrictamente el código sísmico. Pero es de suma importancia tener en consideración que en las zonas de mayor amenaza (Zona I), marcadas en rojo en el mapa, se deberían llevar

Una vez obtenidos los resultados de riesgos, a continuación se exponen las medidas de mitigación propuestas para las amenazas analizadas que se detallan más ampliamente en el documento.

- **Master Plan Parque lineal y fluvial Río Negro.** En la mayor parte del recorrido del Río Negro no hay afecciones puesto que se han respetado las márgenes del río. Así, se realiza esta propuesta con el objetivo de que se sigan respetando las márgenes en el futuro y de evitar la construcción del riesgo, así como de mejorar la dotación de zonas verdes y darle cara al principal río de la ciudad.
- **Ecoparque quebrada La Pereira.** Análogamente al caso anterior, se han respetado las márgenes de la quebrada, por lo que la propuesta tiene el objetivo de mantener las características ecológicas y ambientales de sus riberas y a su vez permitir usos recreativos, lúdicos compatibles así como ciclorutas que permitan disminuir la necesidad del transporte motorizado en la ciudad, reduciendo la congestión y la emisión de gases de efecto invernadero.
- **Reforestación y conservación de bosques de ribera.** Con objeto de aumentar la infiltración de la cuenca, reducir la erosión y posterior sedimentación, así como, en consonancia con lo expuesto en el Módulo 1, reducir las emisiones asociadas a los cambios de usos del suelo. Así se establece el objetivo de restaurar 2.210 ha en el año horizonte 2050 lo que representaría una reducción de un 5% de los caudales asociados a un periodo de retorno de 100 años.
- **Verificación de las cotas en la margen izquierda del Río Negro cerca de la Avenida 51 en el Centro.**

En las imágenes aéreas de los últimos 7 años se aprecia además de la construcción del muro existente que ha sido modelizado, un movimiento de tierras en la misma margen y el desplazamiento del cauce, si bien se ha incluido

este desplazamiento en el MDT basado en curvas de nivel facilitadas por CORNARE, el objetivo es fijar las cotas necesarias en la margen para evitar que se produzca la inundación, siendo probable que estas coincidan con las existentes en la actualidad en esa zona.

- **Reubicación de viviendas en Puente Real.**

En la zona de Puente Real se ha calculado el valor de pérdida anual esperada en el caso de las viviendas en las que ha sido posible su digitalización, resultando un total de 8.440 US\$ y una superficie afectada de aproximadamente 1500 m², que vendrían a representar unas 14 viviendas y unas 52 personas.

No obstante, para la toma de decisiones sería necesario un análisis más detallado con objeto de identificar exactamente el número de viviendas y población que sería necesario reubicar.

- **Estudio topográfico en detalle / construcción de muros de defensa por la inundación de la quebrada La Mosca.**

En su mayoría las afecciones se concentran en la parte baja del tramo de estudio sobre industrias localizadas muy cerca del cauce, donde para avenidas de 100 años de periodo de retorno se llegan a registrar calados de hasta 3 metros. Resulta preciso añadir que dichas construcciones podrían construirse a una cota superior a la obtenida en el modelo digital del terreno debido a la incertidumbre altimétrica del mismo, por lo que se precisaría de un estudio topográfico detallado para determinar si se verían afectadas o no.

- **Plan de Ordenamiento Territorial que tenga en cuenta los riesgos naturales.**

El coste de elaboración de un POT teniendo en cuenta los estudios ya existentes de remoción en masa, inundaciones y sismo, podría ascender grosso modo los USD 250.000, comparando este gasto con el ahorro en PAE, asumiendo que esta es lineal desde la actualidad hasta el escenario tendencial en 2050 y aplicándole una tasa de descuento del 8%, se consigue una rentabilidad de 13.2%, recuperándose la inversión en 23 años.

- **Estudios de microzonificación sísmica mediante análisis de ruido ambiental com técnicas SPAC.**

Se propone la realización del estudio de microzonificación propuesto mediante equipos portátiles de registro de vibración ambiental SPC-51.

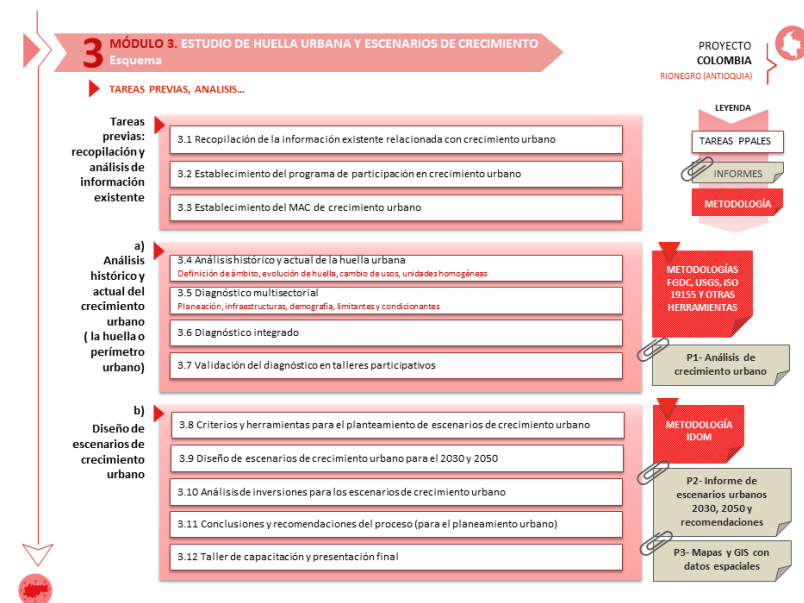
- **Otras medidas de mitigación.**

- Reducir la vulnerabilidad de las edificaciones, evitando la autoconstrucción
- Ampliación del estudio o realización de estudios específicos para las infraestructuras críticas existentes en la ciudad

3. RESUMEN MÓDULO 3 CRECIMIENTO URBANO

El estudio del crecimiento urbano evaluará la huella urbana del Municipio de Rionegro, en virtud de su evolución histórica, las tendencias actuales y esperadas. La Figura 26 muestra el diagrama de tareas del M3.

Figura 26 Diagrama de tareas de la Metodología para el Módulo 3



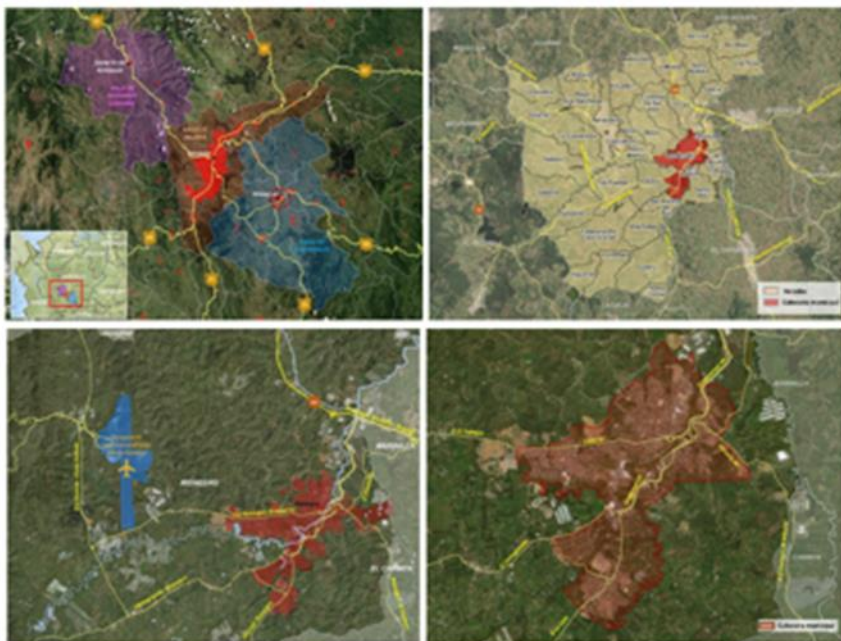
Fuente: Elaboración propia

El estudio planteará escenarios con horizonte temporal 2030 y 2050, con el objetivo de identificar recomendaciones hacia un modelo de crecimiento sostenible.

3.1 AMBITO DE ESTUDIO Y APROXIMACIÓN MULTIESCALAR

El Estudio de Crecimiento Urbano propone una aproximación de lo general a lo particular, dadas las condiciones a nivel territorial de Rionegro es fundamental considerar diferentes escalas de trabajo, tal como se muestra en la Figura 21.

Figura 27 Ámbito de Estudio y Aproximación Multiescalar



Fuente: Elaboración propia

1. Escala de los 3 Valles: Es importante comprender el territorio a partir de la dinámica y relación existente entre El Valle de Occidente Cercano (Santa Fe de Antioquía), El Valle de Aburrá (Medellín) y El Valle de San Nicolás (Rionegro).
2. Escala del Municipio de Rionegro Rural: es determinante por la importante ocupación del suelo (vivienda rural, vivienda campestre, presencia de invernaderos).

3. Escala próxima de Suelo Urbano y Suburbano: en donde se da la relación con el Aeropuerto Internacional José María Córdova, zonas logísticas, empresas, sector industrial, invernaderos, vivienda campestre y equipamientos que generan una relación con la huella urbana continua de Rionegro.

4. Escala Huella continua de Rionegro: concentración de las principales actividades urbanas y origen del territorio desde su primer asentamiento. Así mismo es el principal centro de actividades económicas de la región del Valle de San Nicolás.

Como resultado de la aproximación multiescalar, el estudio de Crecimiento Urbano de Rionegro busca resaltar las diferentes dinámicas presentes en el territorio desde la amplitud de los 3 Valles hasta la ocupación en la cabecera urbana. Este análisis nutrirá en profundidad la etapa de diagnóstico urbano del municipio de Rionegro que a su vez son insumo para el contraste de información con los actores principales (multiescalares) y que definirán la planificación de la ciudad en el horizonte 2030 y 2050.

3.2 EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE RIONEGRO

La revisión histórica se realiza teniendo en cuenta los períodos y fechas de mayor importancia para el municipio, al igual que la disponibilidad de registros cartográficos o mapas históricos para el proceso de digitalización de la huella urbana. Los períodos trabajados se enumeran a continuación:

Siglo XVI PERIODO CONQUISTA (1542, 1581)

La primera ocupación del territorio se da con la llegada de población que busca oportunidades en actividades agrícolas y de extracción minera de oro en aluvión, con el paso del tiempo se generó una ruta comercial cuyo fin era abastecer el occidente de la región, en cierta forma el crecimiento de la ciudad se dio por los diferentes caminos de comunicación entre los territorios de oriente y occidente.

El territorio que hoy en día ocupa Rionegro fue descubierto en 1541 por Álvaro de Mendoza. Existe discrepancia en las fechas de la primera fundación del poblado: por un lado, en el Anuario Estadístico elaborado por la Alcaldía en 2016, se indica que fue fundada el 6 de diciembre de 1542 bajo el nombre de San Nicolás El Magno. Sin embargo,



existen estudios de las Universidades Javeriana y Nacional que afirman que la fecha real de fundación, bajo el mismo nombre, ocurrió en 1558 (Pérez, 2010). A pesar de haber sido fundado en estas fechas, se reconoce que el primer asentamiento no ocurrió antes de 1581, fecha en la cual sus tierras fueron ocupadas por mineros provenientes de Remedios, Segovia y Santa Fe.

Siglo XVII PERIODO COLONIAL (1669)

El poblado se desarrolló a lo largo del Siglo XVII como una vecindad difusa, sin mayores cambios registrados en la historia de Antioquia. Se destaca la constitución como parroquia de la población en 1669, año en el cual el territorio estaba contaba con una población dispersa, conformada en su mayoría por haciendas ganaderas de la Ciudad de Arma.

Siglo XVIII PERIODO COLONIAL (1728, 1786)

La buena disposición de tierras para la explotación minera atrajo comerciantes provenientes de Santa Fe de Antioquia e incluso de España, con lo cual se registra una población de 9.838 habitantes hacia el año 1728 distribuidos en las veredas de El Tablazo, San Antonio, La Mosca, El Retiro, San Vicente Ferrer, Concepción, Santa Bárbara y La Ceja.

Este período está marcado por la construcción espontánea de templos sagrados en las distintas veredas del actual municipio: se registra la construcción de la Iglesia de San Antonio de Pereira en 1722, la Capilla de Los Sagrados Corazones (hoy conocida como Capilla de San Francisco) en 1759 y la Catedral de San Nicolás en 1774. Adicionalmente, en 1790 se construye La Casa de La Convención, edificio que más adelante pasaría a ser de relevancia histórica para Antioquia. Para este período, la huella contaba con una extensión de 8 ha.

Cabe mencionar que en 1786 se hizo el primer documento que dictaba el ordenamiento territorial. Este plan marcó las directrices del trazado actual, así como las estrategias para la expansión urbana de Santiago de Arma.

Siglo XIX (Huellas de 1808, 1816, 1852)

Bajo las directrices del plan de ordenamiento de 1786, Santiago de Arma expandió sus horizontes a través de la construcción del Puente Real, alrededor de 1800. Dicho puente conectó el Valle de San Nicolás con Llanogrande, atravesando el Río Negro. Supuso una importante ruta comercial hacia el sur occidente de Antioquia y sentó las bases para la fundación de nuevas poblaciones como Sonsón (1800) y Abejorral (1805), que hoy en día son municipios del Oriente Antioqueño.

La plaza principal se ubicó al occidente de la Iglesia de San Nicolás el Magno, y alrededor de ella se encontraban los edificios de mayor importancia, tales como La Maestranza y el Cabildo. Por otro lado, se puede apreciar el avance en materia urbana, mediante la inclusión de varios equipamientos como el hospital, el cementerio, las escuelas y el cuartel. Adicionalmente, cabe mencionar que para este período existía también otro poblado en el “Otro lado del Río” que rendía sus tributos a Santa Fe de Antioquia.

Siglo XX (Huellas de 1930, 1968, 1982)

Desde la última década del Siglo XIX inició la recesión de Rionegro. La construcción del Tranvía de Oriente en 1921, que intentó sin éxito conectar a Medellín con el Magdalena Medio obviando el paso por el centro urbano del Valle de San Nicolás agravó su decaimiento.

Su proceso de modernización fue lento, y comenzó con la introducción de la energía eléctrica (1917) y de un sistema de acueducto (1924). El municipio, al entender que su supervivencia dependía de la conexión con la capital antioqueña, construyó en 1929 la carretera que llevaba a Medellín a través de Santa Elena y en 1955 la Vía Las Palmas.

En la década de los 60, Rionegro se estableció como un territorio predominantemente rural dedicado a acoger vivienda campestre para las clases altas de Medellín que llegaban al municipio atraídos por sus bondades climáticas. Sin embargo, tras el resurgimiento del mercado industrial en las cercanías del casco urbano, se aceleró el crecimiento poblacional y se publicó el Plan Regulador Básico del Municipio en 1968 con el fin de regular el crecimiento de la huella. Cabe mencionar que, a partir de 1963, se considera el Centro Histórico como bien de interés cultural para la nación por medio del Decreto 264 de 1963.

Los años 80 estuvieron marcados por la construcción de importantes edificios institucionales, dotacionales y equipamientos que dinamizaron en el proceso de urbanización. La construcción de la autopista Medellín – Bogotá, y el Aeropuerto Internacional José María Córdova en 1982.

En los años 90, Rionegro se ve fuertemente influenciado por algunos proyectos de orden nacional. Desde el fortalecimiento de su relación con Medellín, el municipio ha tenido un gran desarrollo territorial y se ha consolidado como el epicentro del Oriente Antioqueño.

Gracias a la nueva oferta laboral producto del crecimiento industrial del municipio, se registraron altas migraciones de veredas y municipios aledaños. Adicionalmente, el atractivo como territorio de descanso ha fortalecido la ocupación del municipio a partir de vivienda campestre y parcelaciones para estratos altos.

Siglo XXI (Huellas de 2000, 2005, 2017)

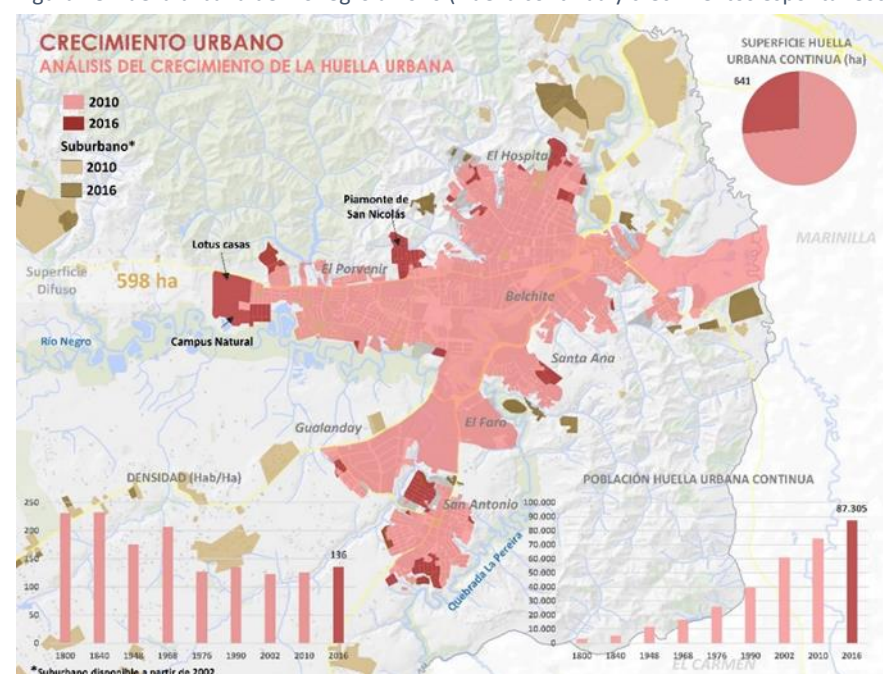
Para el 2002, Rionegro presentó un importante desarrollo, expandiéndose hasta las 495 ha. El Porvenir creció considerablemente, conectándose con Belchite para formar una huella continua al norte del Río Negro. Por su parte, se avanzó en el proceso de conurbación con San Antonio debido al crecimiento de El Faro y del propio San Antonio.

En el período entre 2002 y 2010, la zona urbana creció hasta 590 ha. Más allá de los desarrollos puntuales sobre los límites de la cabecera, este período se destaca por la inclusión de las zonas aledañas al Río Negro a la huella urbana. Este cambio se debió a la construcción de las vías actuales, calles 43 y 45 a ambos lados del río. Como se puede ver, se trata de un eje articulador entre los barrios del norte y los del sur de municipio.

La huella urbana actual del municipio muestra una trama desarticulada que se puede explicar a partir del acelerado crecimiento al que se ha visto sometido Rionegro. Según la digitalización de IDOM, el municipio cuenta con un área urbana continua de 641 ha asociada a una población de 87.305. Resulta relevante destacar que se ha iniciado un proceso de densificación a través de la construcción en altura para suplir la alta demanda de vivienda.

La huella es continua hacia el noroccidente del Río Negro, sin embargo, carece de compacidad y de lógicas claras en el trazado vial. Se puede ver que el municipio mantiene la tendencia de crecimiento sobre los ejes viales que conectan con otras poblaciones como Medellín, Marinilla, Llanogrande y más recientemente El Carmen de Viboral. Adicionalmente, se puede ver que el Río Negro se ha convertido en un eje divisorio entre el norte y sur de la huella. A pesar de que el costado sur está ocupado principalmente por edificios que deben ser potenciadores del espacio público.

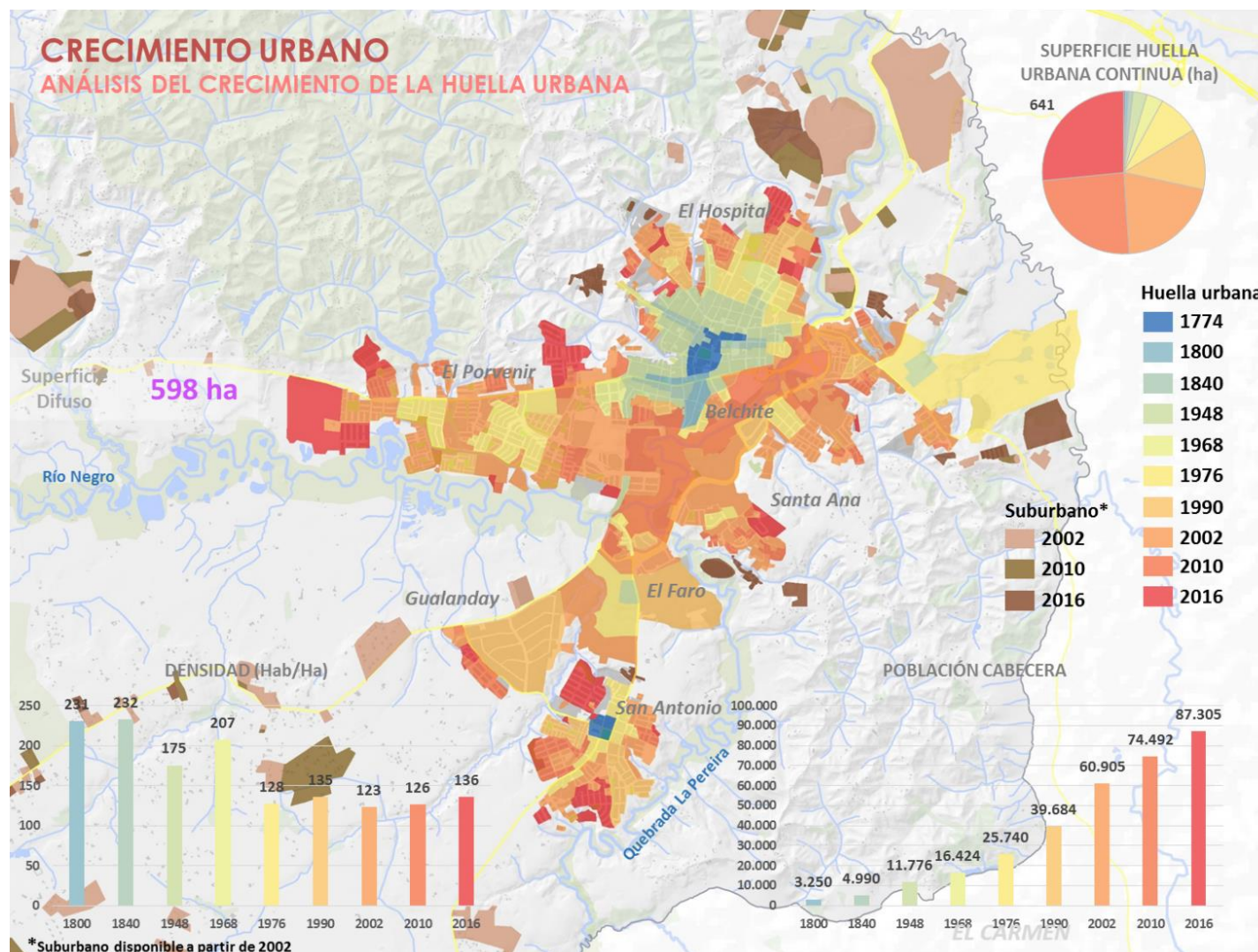
Figura 28 Huella urbana de Rionegro a 2016 (Huella continua y crecimientos espontáneos)



Fuente: Elaboración propia

A continuación, se muestra en la el resumen de las huellas analizadas para el crecimiento urbano de Rionegro:

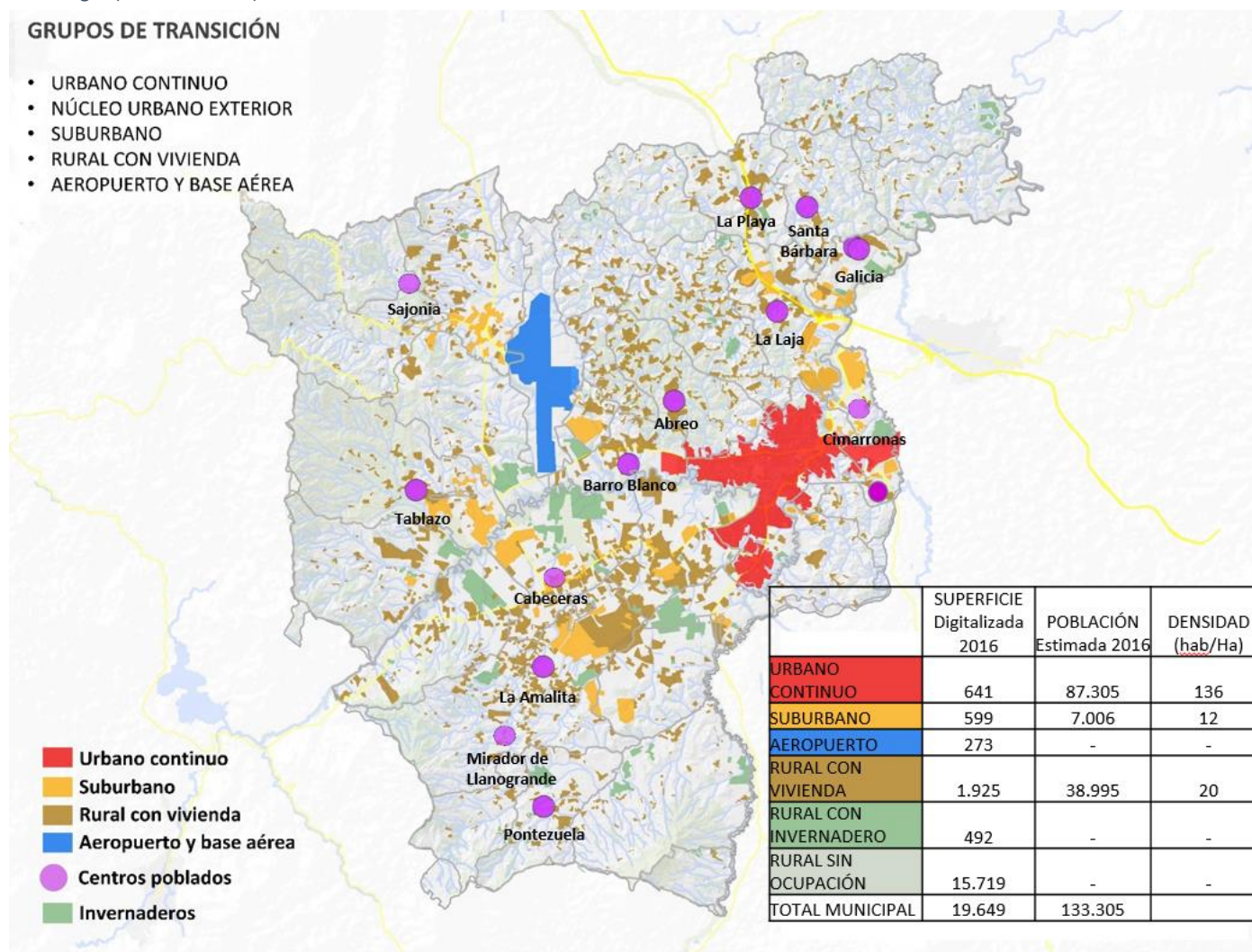
Figura 29 Resumen Crecimiento de la Huella Urbana



Fuente: Elaboración propia

3.3 ANÁLISIS DEL DESARROLLO URBANO MEDIANTE UNIDADES MORFOLÓGICAS HOMOGÉNEAS

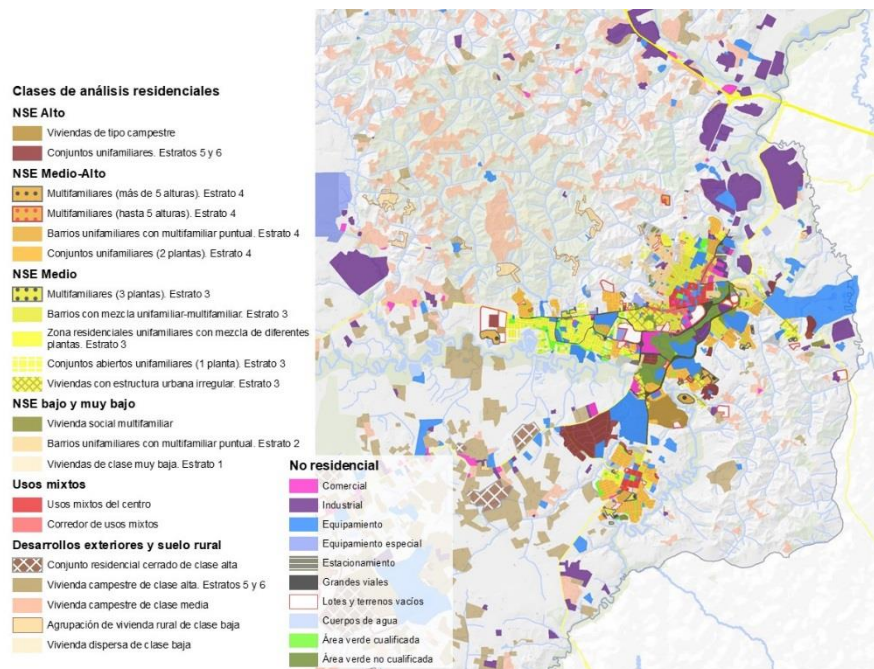
Figura 30 Suelos de Transición de Rionegro (Urbano + Rural)



Fuente: Elaboración propia

Para el caso de Rionegro, se ha realizado una división del territorio o sectorización de la huella por “clases de análisis homogéneas” como lo muestra la Figura 31; útil para caracterizar el municipio, en cuanto a usos, densidad, tipología edificatoria, servicios urbanos, etc. De esta forma se comprenderá mejor la visión socio-espacial del territorio y la proyección de los escenarios de crecimiento urbano.

Figura 31 Clases de Análisis Rionegro



Fuente: Elaboración propia

3.4 ASPECTOS CLAVES DEL DIAGNÓSTICO

Densidades: Dentro de los rangos encontrados, las mayores densidades poblacionales, mayores a 450 hab/ha, provienen del estrato medio. En este sentido, se puede inferir que los núcleos familiares de este estrato son los más amplios de la cabecera. Así mismo, se puede ver que estas densidades corresponden a las zonas de mayor consolidación urbana en los barrios de El Porvenir, Belchite y El Alto del Medio.

De esta manera, se genera un fuerte contraste con la clase alta rionegrera, que se maneja en un rango entre los 5 hab/ha y los 85 hab/ha. Esto evidencia la repartición del estrato en áreas de mayor extensión, que se corresponde con la tipología edificatoria para este nivel socioeconómico, de baja ocupación y grandes extensiones de suelo de uso privado, como es el caso de las parcelaciones de Gualanday y Baden Baden.

Distribución estratos socioeconómicos:

- Los estratos altos se ubican primordialmente al sur del Río Negro, en las urbanizaciones conocidas como Baden Baden y Gualanday. Cabe precisar que Gualanday es una urbanización de origen suburbano que ha sufrido un proceso de conurbación. Así mismo, se registra actualmente la dispersión de estratos altos hacia las zonas periféricas de El Porvenir, Santa Ana y Cuatro Esquinas, siempre asociados a ubicaciones cercanas al suelo suburbano.
- Los estratos medio – altos presentan su mayor concentración al sur de la cabecera, en el barrio San Antonio. Al igual que los estratos altos, han comenzado un proceso de ubicación dispersa en los límites urbanos de la ciudad, especialmente sobre el costado sur de la calle 43.
- Los estratos medios conforman el mayor porcentaje de ocupación de la huella urbana y se ubican al norte del Río Negro. El Porvenir, El Alto del Medio y El Hospital son los barrios donde se concentra este nivel socioeconómico.
- Los estratos bajo y muy bajo es que representa un menor porcentaje de ocupación en la huella urbana. Se ubica en su mayoría en la zona norte de El Alto del Medio, aunque también se identifican zonas de este estrato en El Centro y Cuatro Esquinas.

Áreas verdes y espacios públicos:

Las verdes cualificadas se distribuyen de manera distinta en función de los estratos socioeconómicos, la siguiente tabla muestra la distribución ligada al estrato socioeconómico dentro de la huella urbana continua correspondiente a 641 ha a 2016.

Tabla 13 Datos comparativos por estrato socioeconómico

	Densidad población (hab/ha)	hab/viv	m ² Área verde cualificada/habitante
Estrato medio vinculado a usos mixtos	39,83	3,06	5,03
Estrato alto	10,91	3,17	0,64
Estrato medio-alto	59,20	3,33	3,11
Estrato medio	97,98	3,51	2,98
Estrato bajo y muy bajo	135,12	3,51	0,63

Fuente: Elaboración propia

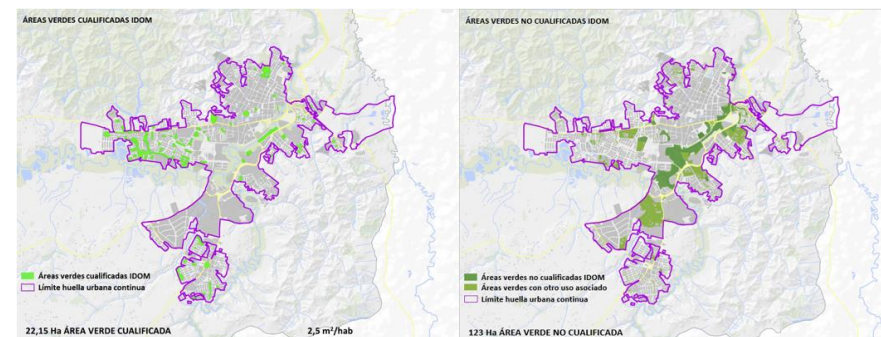
Adicionalmente, IDOM digitalizó las superficies correspondientes a los indicadores de áreas verdes cualificadas y no cualificadas, lo cual arrojó los siguientes resultados:

Tabla 14 Resumen Áreas Verdes Cálculo IDOM

	Superficie Digitalizada	Indicador (Unidad de Medida m ² /hab)
Áreas Verdes Cualificadas cálculo IDOM	22,15 ha	2,5m ² /hab
Áreas Verdes No Cualificadas cálculo IDOM (sin ningún uso)	123,04 ha	—
Total Áreas Verdes Generales o Totales (Áreas Verdes Cualificadas IDOM + Áreas Verdes No Cualificadas IDOM)	145,19 ha	16,6 m ² /hab

Fuente: Elaboración propia

Figura 32 Mapas Áreas Verdes Cualificadas IDOM y No Cualificadas IDOM



Fuente: Elaboración propia

También se desarrolló una matriz DOFA en la cual se analizaron las principales fortalezas y debilidades existentes en el territorio de Rionegro.

Tabla 15 Debilidades vinculadas a la huella urbana de Rionegro

PRIORIZACIÓN	DEBILIDAD
1	Expansión urbana acelerada y no planificada: crecimiento desarticulado y con sectores informales.
2	Deterioro ambiental: deficiente relación de las zonas urbanas con su entorno natural.
3	Disparidad entre núcleos urbanos y zonas rurales: gran segregación socioespacial reflejada en usos de suelo y actividades.
4	Infraestructura vial débil e inconclusa, con baja dotación de red peatonal y ciclovías.
5	Mala imagen urbana, paisaje urbano caótico no estructurado
6	Vacíos Normativos: Descontrol en la ocupación de suelo y liberación de alturas

Fuente: Elaboración propia

Tabla 16 Fortalezas vinculadas a la huella urbana de Rionegro

PRIORIZACIÓN	FORTALEZA
1	Ubicación estratégica en el Oriente Antioqueño, nodo estratégico entre Bogotá y Medellín.
2	Desarrollo de grandes proyectos con fuerte impacto regional.
3	Diversificación económica: agroindustria, floricultura, ganadería, comercio y posibilidad de ampliar a industria aeroportuaria.
4	Interés del municipio por actualizar y fortalecer la planificación institucional.

Fuente: Elaboración propia

3.5 ESCENARIOS DE CRECIMIENTO URBANO EN LOS HORIZONTES 2030 Y 2050

A continuación, se incluyen tablas, mapas y gráficos que permiten comparar las estimaciones realizadas para los tres (3) escenarios de crecimiento urbano del municipio de Rionegro en la línea de horizonte a 2020 y 2030.

Las principales conclusiones de los escenarios se detallan a continuación, es importante mencionar que para el caso de Rionegro se muestra el desarrollo de la huella en el suelo urbano y en el suelo rural dado el impacto que existe a nivel de ocupación en estos suelos.

Escenario Tendencial: se genera un gran crecimiento de la huella urbana + rural llegando a las 5.852 ha, el modelo de ciudad se daría por una fuerte especulación inmobiliaria ejemplarizada por la figura de la vivienda campestre como detonante en el suelo suburbano y rural. En sólo el suelo urbano la ocupación llegaría a las 1.377 ha en 2050, no sería posible reconocer un límite urbano definido.

Escenario Óptimo: se propone un crecimiento planificado y controlado de la huella urbana y rural (4.372 ha para 2050), por medio de la expansión en anillos que permita generar compacidad, así mismo el Río Negro es la columna vertebral del sistema de áreas verdes cualificadas que será integradas a la estructura ecológica principal dejando un indicador de 9 m²/hab (suelo urbano y rural), para el suelo rural será de 10 m²/hab.

Escenario Intermedio: se proyecta una huella total de 4.637 ha que suman el suelo urbano y rural. Dentro de esta huella se incluyen parte de los principios de compacidad y extensión por medio de un anillo adicional. Se incluyen los grandes proyectos de infraestructura de transporte masivo, la red terminada de ciclorutas, la consolidación de los vacantes y un sistema de centralidades que equilibran la repartición de actividades en suelo urbano y rural.

En la Tabla 17 se muestra la comparativa de los escenarios en el **suelo urbano + rural** con los principales indicadores en términos de superficie, densidad, número de viviendas y áreas verdes cualificadas.

Tabla 17 Comparativa por escenarios para el suelo urbano + suelo rural

		ACTUAL	TENDENCIAL	ÓPTIMO	INTERMEDIO
SUPERFICIE HUELLA URBANA + RURAL	ha	3.438	5.852	4.372	4.637
POBLACIÓN	hab	133.305	339.598	339.598	339.598
DENSIDAD URBANA MEDIA BRUTA	hab/ha	39	58	78	73
DENSIDAD URBANA MEDIA NETA	Hab/ha	60	76	189	141
VIVIENDAS	viv	38.985	127.780	127.780	127.780
DENSIDAD URBANA MEDIA CONSTRUIDA BRUTA	viv/ha	11	22	29	28
AREAS VERDES CUALIFICADAS	m ²	221.552	221.552	3.035.842	3.521.021
AREAS VERDES CUALIFICADAS	m ² /hab	1,7	0,65	9	8,6
POBLACIÓN EN RIESGO (total)	hab	3.514	7.692	0	0

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 18 muestra la comparativa de los escenarios en el **suelo urbano** con los principales indicadores en términos de superficie, densidad, número de viviendas y áreas verdes cualificadas.

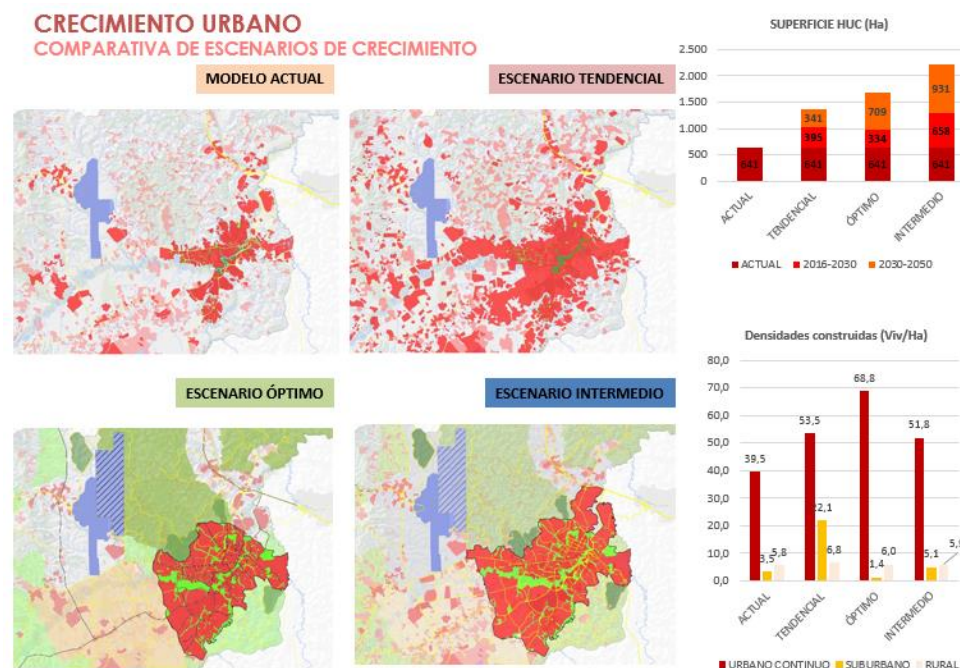
Tabla 18 Comparativa de escenarios en el suelo urbano

		ACTUAL	TENDENCIAL	ÓPTIMO	INTERMEDIO
SUPERFICIE HUELLA URBANA	ha	641	1.377	1.684	2.230
POBLACIÓN	hab	87.305	195.939	307.939	307.028
DENSIDAD URBANA MEDIA BRUTA	hab/ ha	136	142	183	138
DENSIDAD URBANA MEDIA NETA	Hab/ ha	-	-	-	-
VIVIENDAS	viv	25.321	73.726	115.868	115.525
DENSIDAD URBANA MEDIA CONSTRUIDA BRUTA	viv/ ha	40	54	69	52
AREAS VERDES CUALIFICADAS	m ²	221.552	221.552	3.035.842	3.521.021
AREAS VERDES CUALIFICADAS	m ² /hab	2,5	1,13	10	11,5
POBLACIÓN EN RIESGO (total)	hab	-	-	0	0

Fuente: Elaboración propia

Los cambios en el modelo urbano con viviendas multifamiliares y la incorporación de usos mixtos generan un aumento de la densidad urbana construida, no obstante al tenerse en cuenta todo el territorio de Rionegro (más allá de la huella urbana continua con 641 ha) la densidad no se incrementa mucho frente a la superficie total de 19.649 ha (explicada en los grupos de transición compuesta por urbano continuo, suburbano, rural con vivienda, aeropuerto y base aérea, rural con invernadero, y rural son ocupación).

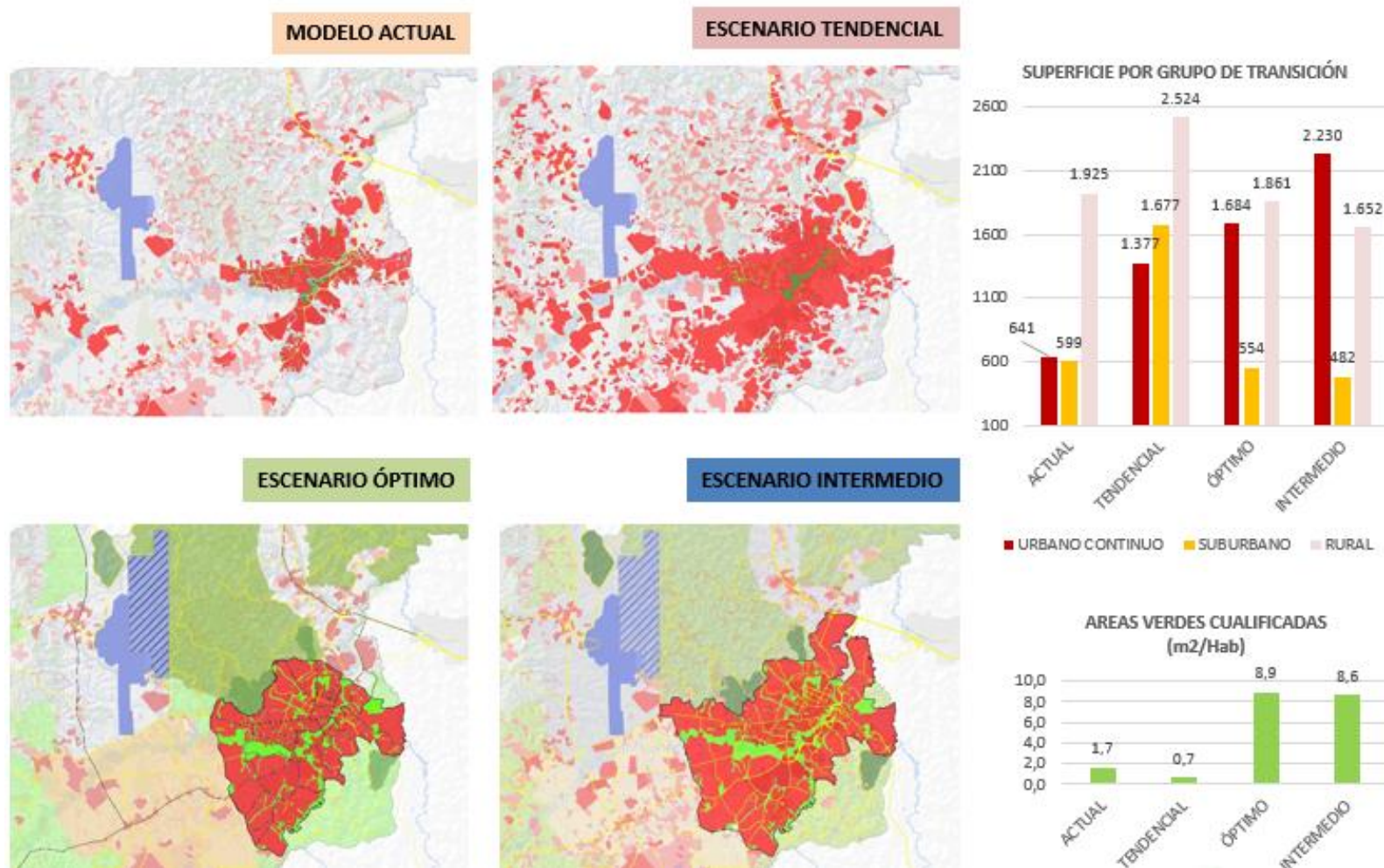
Figura 33 Comparativo superficie y densidades construidas de los escenarios de crecimiento urbano



Fuente: Elaboración propia

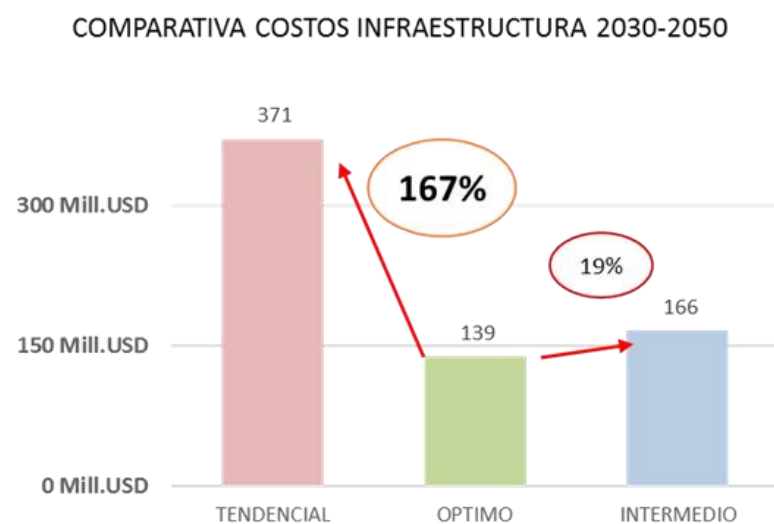
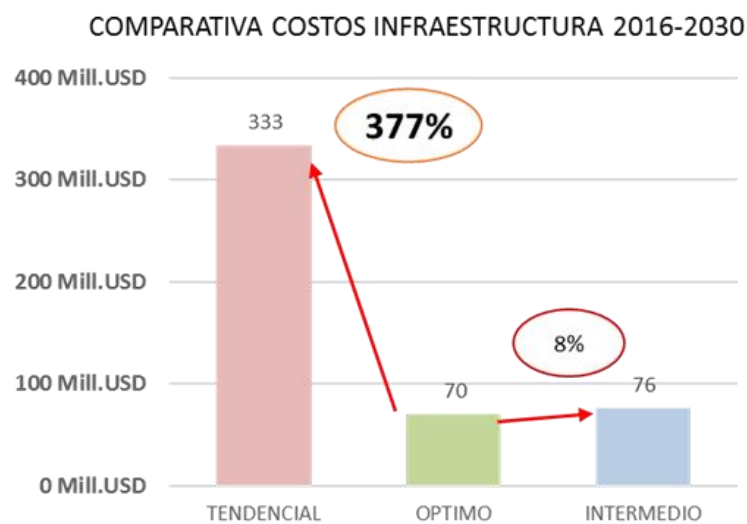
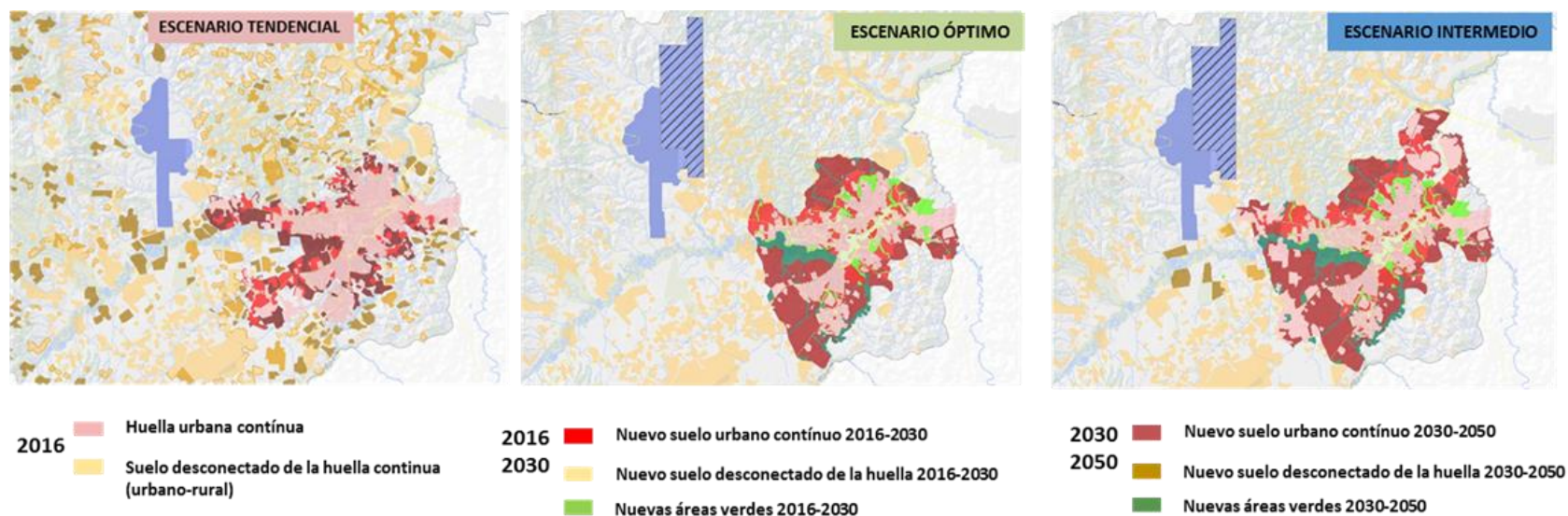
Figura 34 Comparativo superficie grupos de transición (urbana + rural) y áreas verdes cualificadas (urbana + suburbana + rural) de los escenarios de crecimiento urbano

CRECIMIENTO URBANO COMPARATIVA DE ESCENARIOS DE CRECIMIENTO



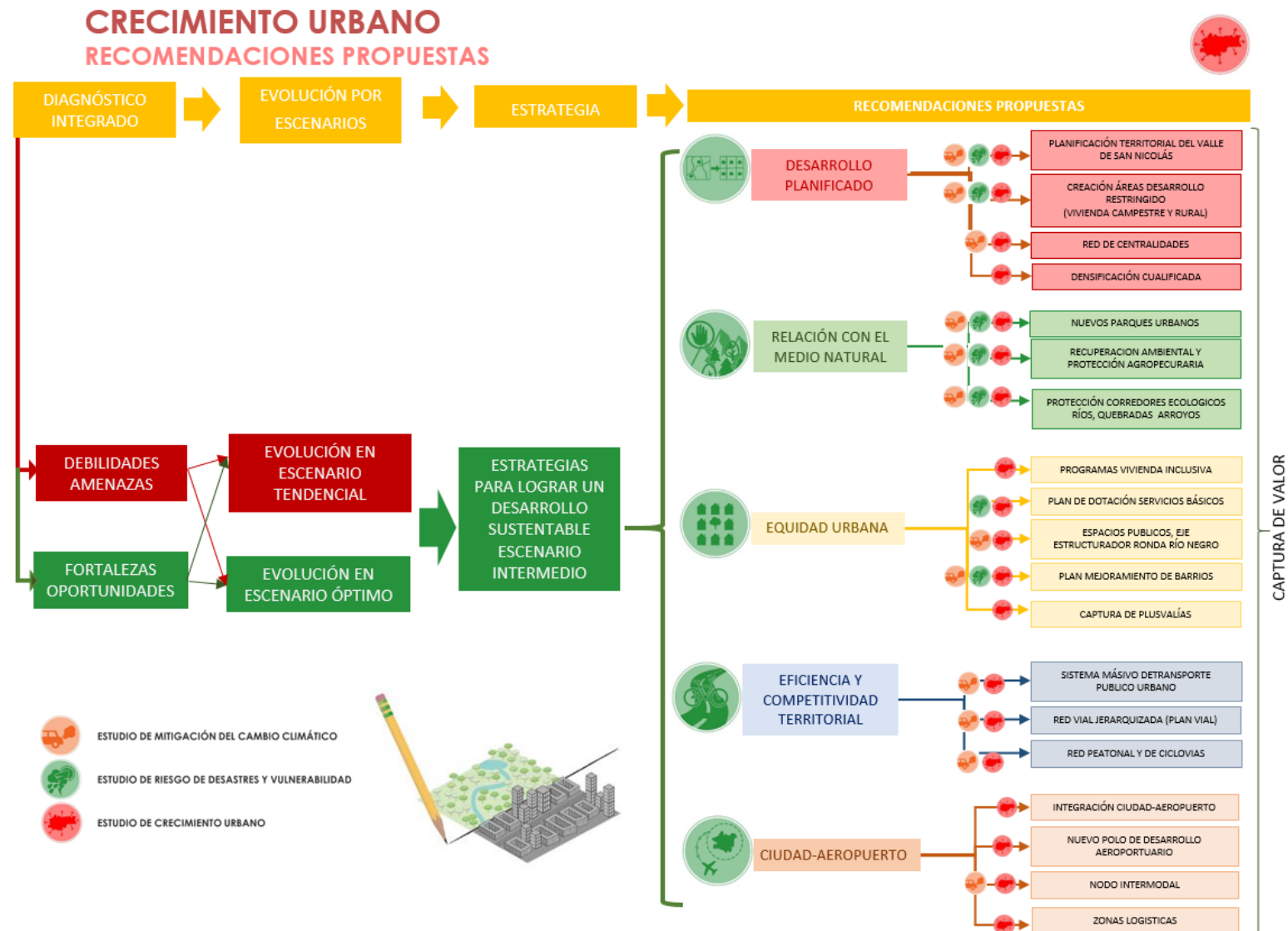
Fuente: Elaboración propia

Figura 35 Comparativa de Costos Escenarios



Fuente: Elaboración propia

Figura 36 Recomendaciones propuestas para Rionegro



Fuente: Elaboración propia

Figura 37 Ejemplos Principales recomendaciones para Rionegro



Fuente: Elaboración propia