

# Riesgo de inundación en Bañados de Asunción

## Efectos del Cambio Climático

Juan Pablo Nogues  
César Álvarez Díaz  
Eduardo García Alonso  
Márcia Casseb  
Juliana Almeida  
Daniela Zuloaga  
María Cristina Rojas Eberhard  
Armando Lozano  
Osvaldo Cristaldo  
Salma Abraham  
Beatriz Tejerina Vega  
Natalia Sampedro Carral  
Andrés Wehrle Martínez

División de Vivienda y  
Desarrollo Urbano  
Unidad de Soluciones  
Ambientales y Sociales

NOTA TÉCNICA N°  
IDB-TN-02494

# Riesgo de inundación en Bañados de Asunción

## Efectos del Cambio Climático

Juan Pablo Noguez  
César Álvarez Díaz  
Eduardo García Alonso  
Márcia Casseb  
Juliana Almeida  
Daniela Zuloaga  
María Cristina Rojas Eberhard  
Armando Lozano  
Osvaldo Cristaldo  
Salma Abraham  
Beatriz Tejerina Vega  
Natalia Sampedro Carral  
Andrés Wehrle Martínez

**Catalogación en la fuente proporcionada por la  
Biblioteca Felipe Herrera del  
Banco Interamericano de Desarrollo**

Riesgo de inundación en Bañados de Asunción: efectos del cambio climático / Juan Pablo Noguez, César Álvarez Díaz, Eduardo García Alonso, Marcia Casseb, Juliana Almeida, Daniela Zuloaga, María Cristina Rojas Eberhard, Armando Lozano, Osvaldo Cristaldo, Salma Abraham, Beatriz Tejerina Vega, Natalia Sampedro Carral, Andrés Wehrle Martínez; editores, Marcia Casseb, Zachary Hurwitz, Juan Pablo Noguez, Osvaldo Cristaldo, Salma Abraham.

p. cm. — (Nota técnica del BID ; 2494)

Incluye referencias bibliográficas.

1. Flood damage prevention-Paraguay. 2. Climatic changes-Environmental aspects-Paraguay. 3. Disaster relief-Paraguay. 4. Natural disasters-Risk assessment-Paraguay. 5. Public investments-Paraguay. I. Noguez, Juan. II. Álvarez Díaz, César. III. García, Eduardo. IV. Casseb, Marcia. V. Almeida, Juliana S. VI. Zuloaga, Daniela. VII. Rojas Eberhard, María. VIII. Lozano, Armando. IX. Cristaldo, Osvaldo. X. Abraham, Salma. XI. Sampedro, Natalia. XII. Wehrle, Andrés. XIII. Hurwitz, Zachary, editora. XIV.

Banco Interamericano de Desarrollo. Unidad de Soluciones Ambientales y Sociales. XV. Serie.

IDB-TN-2494

Keywords: Cambio climático, prevención de daños, inundaciones, agua, saneamiento, vivienda, infraestructura, desastre, salud.

JEL Codes: Q54, Q56, O18.

<http://www.iadb.org>

Copyright © [2023] Banco Interamericano de Desarrollo. Esta obra se encuentra sujeta a una licencia Creative Commons IGO 3.0 Reconocimiento-NoComercial-SinObrasDerivadas (CC-IGO 3.0 BY-NC-ND) (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/igo/legalcode>) y puede ser reproducida para cualquier uso no-comercial otorgando el reconocimiento respectivo al BID. No se permiten obras derivadas.

Cualquier disputa relacionada con el uso de las obras del BID que no pueda resolverse amistosamente se someterá a arbitraje de conformidad con las reglas de la CNUDMI (UNCITRAL). El uso del nombre del BID para cualquier fin distinto al reconocimiento respectivo y el uso del logotipo del BID, no están autorizados por esta licencia CC-IGO y requieren de un acuerdo de licencia adicional.

Note que el enlace URL incluye términos y condiciones adicionales de esta licencia.

Las opiniones expresadas en esta publicación son de los autores y no necesariamente reflejan el punto de vista del Banco Interamericano de Desarrollo, de su Directorio Ejecutivo ni de los países que representa.



# Riesgo de inundación en Bañados de Asunción

## Efectos del Cambio Climático

**Editores:** Márcia Casseb, Zachary Hurwitz, Juan Pablo Nogues, Osvaldo Cristaldo, Salma Abraham.

**Autores:** Juan Pablo Nogues, César Álvarez Díaz, Eduardo García Alonso, Márcia Casseb, Juliana Almeida, Daniela Zuloaga, María Cristina Rojas Eberhard, Armando Lozano, Osvaldo Cristaldo, Salma Abraham, Beatriz Tejerina Vega, Natalia Sampedro Carral, Andrés Wehrle Martínez.



2023



## **EQUIPO DE TRABAJO**

### **RIESGO DE INUNDACIONES BAJO EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LOS BAÑADOS DE ASUNCIÓN, PARAGUAY**

#### **EDITORES:**

Márcia Casseb  
Zachary Hurwitz  
Juan Pablo Nogues  
Osvaldo Cristaldo  
Salma Abraham

#### **AUTORES:**

##### **BID**

Márcia Casseb  
Juliana Almeida  
Juan Pablo Nogues  
Daniela Zuloaga  
María Cristina Rojas Eberhard  
Armando Lozano  
Osvaldo Cristaldo  
Salma Abraham

##### **IHCANTABRIA**

César Álvarez Díaz  
Eduardo García Alonso  
Beatriz Tejerina Vega  
Natalia Sampedro Carral  
Andrés Wehrle Martínez

#### **COLABORADORES:**

Sofía del Castillo  
Sonia Chavez  
Caren Kremer

#### **DISEÑO Y DIAGRAMACIÓN:**

Sofía Argüello  
Ana Alarcón

# Riesgo de inundación en Bañados de Asunción

## Efectos del Cambio Climático

**Editores:** Márcia Casseb, Zachary Hurwitz, Juan Pablo Nogues, Osvaldo Cristaldo, Salma Abraham.

**Autores:** Juan Pablo Nogues, César Álvarez Díaz, Eduardo García Alonso, Márcia Casseb, Juliana Almeida, Daniela Zuloaga, María Cristina Rojas Eberhard, Armando Lozano, Osvaldo Cristaldo, Salma Abraham,



# Carta de presentación



**Edna Armendáriz**

Representante del Banco Interamericano de Desarrollo (BID) en Paraguay

Uno de los mayores desafíos a los que se enfrenta la humanidad actualmente es la crisis climática, consecuencia de las actividades antrópicas relacionadas a las emisiones de gases de efecto invernadero. Los efectos del cambio climático se evidencian mayormente en las ciudades, ya que éstas albergan a más de la mitad de la población del planeta, poseen gran diversidad de infraestructuras, concentración de habitantes y baja adaptabilidad a cambios en su diseño urbano. En América Latina y el Caribe, la proporción de población que vive en ciudades actualmente es del 80%.

El Grupo BID, compuesto por el BID, BID Invest y BID Lab, trabaja para mejorar la calidad de vida, la salud, la educación y la infraestructura en la región a través de apoyo financiero y técnico. Con una historia que se remonta a 1959, el Grupo BID es la principal fuente de financiamiento para el desarrollo de la región, y nuestro objetivo es alcanzar su desarrollo de una manera sostenible y respetuosa con el clima. En este marco se afianzan las metas y desafíos de desarrollo enfocados en el cambio climático y la sostenibilidad ambiental, que buscan generar resiliencia urbana por medio de estrategias de prevención e inversiones enfocadas a paliar los daños actuales y enfrentar los retos futuros.

En 2019, ONU Hábitat estimó que 880 millones de personas vivían en asentamientos informales, siendo ésta la población más vulnerable a eventos climáticos extremos. Los problemas generados por la ocupación de áreas de riesgo por asentamientos informales en las ciudades es uno de los grandes desafíos para los gobiernos nacionales y locales de nuestra región, y particularmente para Paraguay que presenta altos niveles de vulnerabilidad. Los desastres climáticos en ciudades son causantes de grandes pérdidas económicas y humanas y pueden tener efectos significativamente negativos, especialmente para las poblaciones vulnerables. Por ello, los asentamientos informales deben ser priorizados en las políticas públicas, agendas institucionales y en los planes y proyectos a escala territorial y urbana.

En el caso de Paraguay, cerca de 76,000 personas se asientan en zonas inundables de Asunción y cercanas a la planicie de inundación del río Paraguay, territorios más conocidos como “Los Bañados de Asunción”. Estas zonas históricamente han cumplido un rol importante en la trama urbana de la ciudad, pero a lo largo de los años y con el aumento de la población, se han convertido en áreas vulnerables, cada vez más afectadas a las cíclicas inundaciones por la ausencia de infraestructura y servicios básicos.

En este contexto, es de importancia evaluar los riesgos de inundación bajo los efectos del cambio climático en los Bañados de Asunción, lo cual no solo amplía el conocimiento basado en evidencias de la situación actual y futura, sino que también refuerza la importancia de la planificación urbana y la no ocupación de zonas de alta vulnerabilidad, además de la necesidad de fortalecer la gestión de riesgos de desastres. Esto se convierte en un desafío transversal a ser abordado de manera articulada e integral por las instituciones del sector público y por la sociedad civil, considerando que la exposición de estos territorios y sus poblaciones genera múltiples retos económicos y sociales.

Esperamos que esta nota técnica, que se presenta como una contribución del BID al abordaje de la ocupación informal en zonas de riesgo en Paraguay, fortalezca la visión de las futuras intervenciones en estas áreas, proporcionando una mirada integral y a largo plazo sobre la importancia de la planificación estratégica y la articulación de acciones de adaptación al cambio climático. Mis sinceros agradecimientos al equipo de trabajo y a las instituciones colaboradoras.

# Contenido

|   |    |
|---|----|
| 1. INTRODUCCIÓN.....  | 13 |
| El impacto de las inundaciones fluviales y pluviales de los bañados de la ciudad de Asunción..... | 13 |
| 2. CAMBIO CLIMÁTICO Y CIUDADES .....  | 15 |
| 3. ANTECEDENTES Y CONTEXTUALIZACIÓN DE LOS ESTUDIOS.....  | 27 |
| 3.1 Programa de Rehabilitación y Vivienda del Bañado Sur.....                                     | 36 |
| 3.2 Metodología para análisis de riesgo .....   | 46 |
| 3.3 Caracterización de Área del Estudio.....  | 51 |
| 4. AMENAZAS NATURALES Y CAMBIO CLIMÁTICO EN LOS BAÑADOS.....                                      | 62 |
| 4.1 Definición de las características microclimáticas de la zona de estudio .....                 | 64 |
| 4.2 Recopilación y análisis de los datos meteorológicos disponibles .....                         | 66 |
| 4.3 Análisis de la precipitación.....   | 68 |
| 4.4 Análisis de la temperatura .....  | 70 |
| 4.5 Recopilación y análisis de los datos de nivel del río Paraguay.....                           | 71 |
| 4.6 Análisis extremal .....   | 72 |
| 4.7 Análisis del cambio climático.....  | 75 |
| 4.8 Proyecciones de cambio climático: régimen medio .....   | 80 |
| 4.9 Proyecciones de cambio climático: régimen extremal .....                                      | 83 |

|  |     |
|--|-----|
| 5. EVALUACIÓN DE EXPOSICIÓN, VULNERABILIDAD, RIESGO Y PROPUESTA DE MEDIDAS .....                                 | 87  |
| 5.1 Exposición física .....  | 88  |
| 5.2 Exposición social .....  | 97  |
| 5.3 Evaluación de la vulnerabilidad .....  | 100 |
| 5.4 Evaluación del riesgo actual .....   | 104 |
| 5.5 Propuesta de medidas de gestión de riesgo .....  | 109 |
| 5.6 Evaluación de Escenarios .....   | 122 |
| <br>   |     |
| 6. ANÁLISIS COSTO-BENEFICIO .....  | 137 |
| 6.1 Enfoque metodológico .....   | 137 |
| 6.2 Cuantificación de costos y beneficios .....  | 140 |
| 6.3 Resultados .....   | 143 |
| <br>   |     |
| 7. PLAN DE GESTIÓN DEL RIESGO DE DESASTRES Y CAMBIO CLIMÁTICO .....  | 147 |
| 7.1 Medidas estructurales .....  | 149 |
| 7.2 Medidas no estructurales .....   | 161 |
| <br>   |     |
| REFERENCIAS .....  | 165 |
| <br>   |     |
| ANEXO A .....  | 167 |
| A.1 Costos y beneficios preliminares de Solución 1 Bañado Sur .....  | 168 |
| A.2 Costos y beneficios preliminares de Solución 2 Bañado Sur .....  | 171 |
| A.3 Identificación de consideraciones adicionales de costo- beneficio - Solución 1 y Referencias del Anexo ..... | 194 |

# Tablas

|   |     |
|---|-----|
| <b>Tabla 1.</b> Principales características de las cuencas vertientes a los bañados.....  | 57  |
| <b>Tabla 2.</b> Análisis de las series de precipitación de la estación Silvio Pettirossi.....   | 68  |
| <b>Tabla 3.</b> Análisis de las series de temperatura de la estación Silvio Pettirossi.....   | 70  |
| <b>Tabla 4.</b> Función de distribución de extremos de niveles.....   | 74  |
| <b>Tabla 5.</b> Variables disponibles en el servicio NASA Earth Exchange Global Daily Downscaled Projections (NEX-GDDP).....                              | 76  |
| <b>Tabla 6.</b> Factores medios de cambio respecto de la curva IDF actual para cada uno de los periodos y escenarios.....                                 | 84  |
| <b>Tabla 7.</b> Niveles extremos para períodos de cambio climático (genextreme) basado en los datos de la estación hidrométrica del Puerto Pilcomayo..... | 86  |
| <b>Tabla 8.</b> Relación entre clase socioeconómica y categorías de calidad constructiva y valores de reposición considerados.....                        | 88  |
| <b>Tabla 9.</b> Distribución de área, valor de reposición y población según categoría de calidad constructiva de las edificaciones.....                   | 89  |
| <b>Tabla 10.</b> Edificaciones afectadas por inundación y valor económico expuesto según periodo de retorno de 10 y 100 años.....                         | 92  |
| <b>Tabla 11.</b> Población expuesta a inundación según periodo de retorno de 10 y 100 años en situación actual y con cambio climático.....                | 97  |
| <b>Tabla 12.</b> Funciones de daño para las diferentes categorías de infraestructuras críticas.....   | 101 |
| <b>Tabla 13.</b> Parámetros de daño económico y humano.....   | 105 |
| <b>Tabla 14.</b> Resultados de daños económicos por inundación.....   | 106 |
| <b>Tabla 15.</b> Cifras e indicadores de riesgo humano frente a inundaciones.....   | 108 |
| <b>Tabla 16.</b> Síntesis de medidas propuestas en el Bañado Norte. Solución 1.....   | 110 |
| <b>Tabla 17.</b> Síntesis de medidas propuestas en el Bañado Norte. Solución 2.....   | 112 |
| <b>Tabla 18.</b> Síntesis de medidas propuestas en el Bañado Sur. Solución 1.....   | 116 |
| <b>Tabla 19.</b> Síntesis de medidas propuestas en el Bañado Sur. Solución 2.....   | 118 |
| <b>Tabla 20.</b> Síntesis de medidas propuestas en el Bañado Sur. Solución 3.....   | 120 |
| <b>Tabla 21.</b> Costes y beneficios considerados para los escenarios del Bañado Norte.....   | 144 |
| <b>Tabla 22.</b> Parámetros de rentabilidad para los escenarios de intervención del Bañado Norte.....   | 144 |
| <b>Tabla 23.</b> Costes y beneficios considerados para los escenarios del Bañado Sur.....   | 146 |
| <b>Tabla 24.</b> Parámetros de rentabilidad para los escenarios de intervención del Bañado Sur.....   | 146 |



# Figuras

|   |    |
|---|----|
| <b>Figura 1.</b> Población urbana que vive en barrios marginales o asentamientos informales, 2018 (millones de personas).....   | 16 |
| <b>Figura 2.</b> Impactos globales y regionales del cambio climático observados en los ecosistemas.....   | 17 |
| <b>Figura 3.</b> Impactos globales y regionales del cambio climático observados en sistemas humanos.....  | 17 |
| <b>Figura 4.</b> La vulnerabilidad humana observada difiere entre los países y determina fuertemente cómo los peligros climáticos afectan a las personas y a la sociedad..... | 18 |
| <b>Figura 5.</b> Medidas de adaptación a impactos climáticos.....   | 21 |
| <b>Figura 6.</b> Medidas de mitigación a impactos climáticos.....   | 22 |
| <b>Figura 7.</b> Comparación del ciclo hidrológico entre zona verde y zona urbana.....  | 24 |
| <b>Figura 8.</b> Fotografía aérea de la ciudad de Asunción con indicación de la ubicación de los bañados.....   | 29 |
| <b>Figura 9.</b> Distribución de los asentamientos urbanos y viviendas precarias 2015.....  | 35 |
| <b>Figura 10.</b> Metodología de evaluación de riesgo de desastres y cambio climático.....  | 39 |
| <b>Figura 11.</b> Metodología de evaluación de riesgo de desastres y cambio climático.....  | 45 |
| <b>Figura 12.</b> Esquema amenaza-exposición-vulnerabilidad-riesgo utilizado en este estudio.....   | 47 |
| <b>Figura 13.</b> Mapa presentando la ubicación del área de estudio en el contexto de la Cuenca de la Plata.....  | 50 |
| <b>Figura 14.</b> Mapa del área de estudio identificando los principales arroyos que aportan caudal a los bañados.....  | 53 |
| <b>Figura 15.</b> Modelo digital del terreno de detalle del Bañado Norte 0.3 m de resolución.....   | 55 |
| <b>Figura 16.</b> Modelo digital del terreno de detalle del Bañado Sur 0.3 m de resolución.....   | 56 |
| <b>Figura 17.</b> Modelo digital del terreno combinado de 1 m de tamaño de pixel.....   | 58 |
| <b>Figura 18.</b> Delimitación de las cuencas vertientes a los bañados.....   | 59 |
| <b>Figura 19.</b> Áreas de estudio definidas para las diferentes escalas de análisis.....   | 60 |
| <b>Figura 20.</b> Medias de precipitación y vientos a diferentes alturas para enero y julio.....  | 65 |
| <b>Figura 21.</b> Localización de las estaciones meteorológicas analizadas en el estudio.....   | 67 |
| <b>Figura 22.</b> Serie de precipitación horaria en la Estación del Aeropuerto Silvio Pettirossi.....   | 69 |
| <b>Figura 23.</b> Serie de precipitación diaria de la Estación del Aeropuerto Silvio Pettirossi.....  | 69 |
| <b>Figura 24.</b> Serie de temperatura diaria de la Estación del Aeropuerto Silvio Pettirossi.....  | 70 |
| <b>Figura 25.</b> Serie de niveles del río Paraguay.....  | 71 |
| <b>Figura 26.</b> Análisis de tendencia de la serie de niveles.....   | 71 |
| <b>Figura 27.</b> Análisis de la correlación entre las variables precipitación diaria y nivel del río Paraguay en Asunción.....   | 72 |
| <b>Figura 28.</b> Curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) generadas para Asunción.....   | 73 |
| <b>Figura 29.</b> Curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) de Asunción.....   | 73 |

# Figuras

|  |     |
|--|-----|
| <b>Figura 30.</b> Función de distribución de extremos de niveles (genextreme). Se representan además los parámetros de la función de distribución (c, loc y scale).....              | 74  |
| <b>Figura 31.</b> Escenarios de emisiones de gases de efecto invernadero. ....   | 76  |
| <b>Figura 32.</b> Tendencia de la precipitación media anual en Asunción para los RCPs 4.5 y 8.5.....   | 77  |
| <b>Figura 33.</b> Tendencia de la temperatura máxima en Asunción para los RCPs 4.5 y 8.5. ....   | 77  |
| <b>Figura 34.</b> Tendencia de la temperatura mínima en Asunción para los RCPs 4.5 y 8.5. ....   | 77  |
| <b>Figura 35.</b> Comparativa entre diversos estadísticos de los modelos globales y los datos locales reconstruidos en el periodo de referencia 1959-2005.* .....                    | 78  |
| <b>Figura 36.</b> Proceso de desagregación temporal para proyecciones de cambio climático. ....  | 79  |
| <b>Figura 37.</b> Análisis de las variables de precipitación y temperatura para escenarios de cambio climático con respecto a los datos observados en el período de referencia. .... | 81  |
| <b>Figura 38.</b> Curvas IDF de Asunción para el escenario RCP 8.5 en el medio plazo (2041-2070).....  | 84  |
| <b>Figura 39.</b> Curvas IDF para la situación actual vs. escenarios de cambio climático para 10 y 100 años de periodo de retorno.....   | 85  |
| <b>Figura 40.</b> Imágenes de edificaciones en el Barrio de Tacumbú en el Bañado Sur. ....   | 89  |
| <b>Figura 41.</b> Distribución geográfica de la calidad constructiva de las edificaciones en el Bañado Norte.....  | 90  |
| <b>Figura 42.</b> Distribución geográfica de la calidad constructiva de las edificaciones en el Bañado Sur.....  | 91  |
| <b>Figura 43.</b> Número de infraestructuras críticas del área de estudio según fuentes de información consultadas.....  | 93  |
| <b>Figura 44.</b> Inventario de infraestructuras críticas en el bañado Norte.....  | 94  |
| <b>Figura 45.</b> Inventario de infraestructuras críticas en el bañado Sur.....  | 95  |
| <b>Figura 46.</b> Densidad poblacional actual en el Bañado Norte.....  | 98  |
| <b>Figura 47.</b> Densidad poblacional actual en el Bañado Sur.....  | 99  |
| <b>Figura 48.</b> Funciones de daño para calcular los riesgos de inundación. ....  | 101 |
| <b>Figura 49.</b> Funciones de daño para infraestructuras críticas de tipo I y II.....   | 102 |
| <b>Figura 50.</b> Funciones de daño para infraestructuras críticas de tipo III y IV. ....  | 103 |
| <b>Figura 51.</b> Conjunto de medidas propuestas en el Bañado Norte. Solución 1. ....  | 111 |
| <b>Figura 52.</b> Conjunto de medidas propuestas en el Bañado Norte. Solución 2. ....  | 113 |
| <b>Figura 53.</b> Conjunto de medidas propuestas en el Bañado Sur. Solución 1. ....  | 117 |
| <b>Figura 54.</b> Conjunto de medidas propuestas en el Bañado Sur. Solución 2.....   | 119 |
| <b>Figura 55.</b> Conjunto de medidas propuestas en el Bañado Sur. Solución 3.....   | 121 |

# Figuras

|  |     |
|--|-----|
| <b>Figura 56.</b> Comparación de los mapas de calados en el Bañado Norte para 100 años de periodo de retorno entre la Solución 1 del escenario con intervenciones y el escenario base..... | 123 |
| <b>Figura 57.</b> Comparación de los mapas de calados en el Bañado Norte para 100 años de periodo de retorno entre la Solución 2 del escenario con intervenciones y el escenario base..... | 124 |
| <b>Figura 58.</b> Comparación de los mapas de calados en el Bañado Sur para 100 años de periodo de retorno entre la Solución 1 del escenario con intervenciones y el escenario base.....   | 125 |
| <b>Figura 59.</b> Comparación de los mapas de calados en el Bañado Sur para 100 años de periodo de retorno entre la Solución 2 del escenario con intervenciones y el escenario base.....   | 126 |
| <b>Figura 60.</b> Comparación de los mapas de calados en el Bañado Sur para 100 años de periodo de retorno entre la solución 3 del escenario con intervenciones y el escenario base.....   | 127 |
| <b>Figura 61.</b> Mapa de exposición de las edificaciones, periodo de retorno T100 años. Inundación Fluvial. Bañado Norte. Escenario 1.....  | 130 |
| <b>Figura 62.</b> Mapa de exposición de las edificaciones, periodo de retorno T100 años. Inundación Fluvial. Bañado Norte. Escenario 2.....  | 131 |
| <b>Figura 63.</b> Mapa de exposición de las edificaciones, periodo de retorno T100 años. Inundación Fluvial. Bañado Sur. Escenario 1.....  | 132 |
| <b>Figura 64.</b> Mapa de exposición de las edificaciones, periodo de retorno T100 años. Inundación Fluvial. Bañado Sur. Escenario 2.....  | 133 |
| <b>Figura 65.</b> Mapa de exposición de las edificaciones, periodo de retorno T100 años. Inundación Fluvial. Bañado Sur. Escenario 3.....  | 134 |
| <b>Figura 66.</b> Plazo de implementación de las medidas propuestas en el Bañado Norte.....  | 150 |
| <b>Figura 67.</b> Plazo de implementación de las medidas propuestas en el Bañado Sur.....  | 156 |
| <b>Figura A1.</b> Mapa detallado de las intervenciones propuestas en la Solución 1 del Bañado Sur.....   | 169 |
| <b>Figura A2.</b> Mapa detallado de las intervenciones propuestas en la Solución 2 del Bañado Sur.....   | 172 |
| <b>Figura A3.</b> Mapa detallado de intervenciones que están siendo implementadas por el gobierno Nacional.....  | 182 |
| <b>Figura A4.</b> Mapa detallado la propuesta de Solución 3.....   | 183 |
| <b>Figura A5.</b> Localización valor de predios urbanos (oferta).....  | 187 |
| <b>Figura A6.</b> Precio en Gs. por m <sup>2</sup> en el Barrio San Vicente.....   | 189 |
| <b>Figura A7.</b> Precio en USD. por m <sup>2</sup> en el Barrio San Jara.....   | 189 |
| <b>Figura A8.</b> Precio en USD. por m <sup>2</sup> en el Barrio Mcal. Lopez.....  | 189 |
| <b>Figura A9.</b> Mapa con el valor de la vivienda nueva.....  | 191 |
| <b>Figura A10.</b> Mapa con localización de la oferta nueva de locales comerciales.....  | 192 |
| <b>Figura A11.</b> Mapa con localización de la oferta de oficinas.....   | 193 |

Barrio Tacumbú 2015. Fotografía: Fotociclo.





# 1.

## Introducción

### El impacto de las inundaciones fluviales y pluviales de los bañados de la ciudad de Asunción

El Marco de Política Ambiental y Social (MPAS) del Banco Interamericano de Desarrollo, vigente desde el 31 de octubre de 2021, establece diez Normas de Desempeño Ambiental y Social (NDAS) que definen los requisitos aplicables a cada operación financiada por el Banco, según su alcance, naturaleza, y proporcionalidad de sus impactos y riesgos ambientales y sociales. El MPAS aplica a préstamos, garantías, y subvenciones de inversión financiados por el Banco.

Dentro del marco de este trabajo, la NDAS 4 sobre Salud y Seguridad Comunitaria es la más relevante. Esta norma reconoce que las actividades, los equipos y la infraestructura de un proyecto pueden aumentar la exposición de la comunidad a riesgos e impactos, incluidos los causados por amenazas naturales y el cambio climático. Además, las comunidades que ya están sometidas a los impactos adversos de amenazas naturales y el cambio climático pueden experimentar una aceleración o intensificación de dichos impactos como consecuencia de las actividades del proyecto. Los impactos de amenazas naturales y el cambio climático pueden afectar al propio proyecto y provocar con ello ulteriores efectos adversos para la salud y seguridad de las personas.

La NDAS4 aborda la responsabilidad del prestatario de evitar o minimizar los riesgos e impactos que las actividades relacionadas con el proyecto puedan suponer para la salud y la seguridad de la comunidad y, en particular, para los grupos vulnerables. También plantea la responsabilidad que incumbe al prestatario de evitar o minimizar los riesgos e impactos para el proyecto que puedan derivarse de amenazas naturales o el cambio climático.

La NDAS 4 indica que se deberá considerar cuidadosamente el riesgo de que un proyecto pueda exacerbar una situación local ya de por sí delicada y aumentar con ello el riesgo de conflicto a nivel personal o comunitario, o provocar presión sobre recursos locales escasos, pues ello puede causar más conflicto y mayores peligros para la seguridad humana.

El presente trabajo desarrolla un análisis pormenorizado del riesgo bajo un escenario climático estacionario, y bajo un escenario de un nuevo régimen estacionario debido a los cambios en los ciclos hidrológicos regionales. Específicamente se estudia el impacto de las inundaciones fluviales y pluviales de los bañados de la ciudad de Asunción.



**El BID ha liderado estos estudios con la intención de contribuir a la generación de conocimiento vinculado a la gestión de riesgos de desastres y cambio climático. En este sentido el trabajo puede ser considerado una propuesta de buenas prácticas. Específicamente estos estudios son de valor para la planificación previa de inversiones, asistencias y políticas en zonas con alta vulnerabilidad al cambio climático y con un potencial de adaptación al cambio climático.**

# 2.

## Cambio Climático y Ciudades

### Un mundo cada vez más urbanizado

**De acuerdo con datos de la ONU, desde 2007, más de la mitad de la población mundial ha estado viviendo en ciudades, lo que debe llegar al 60 % para 2030.**

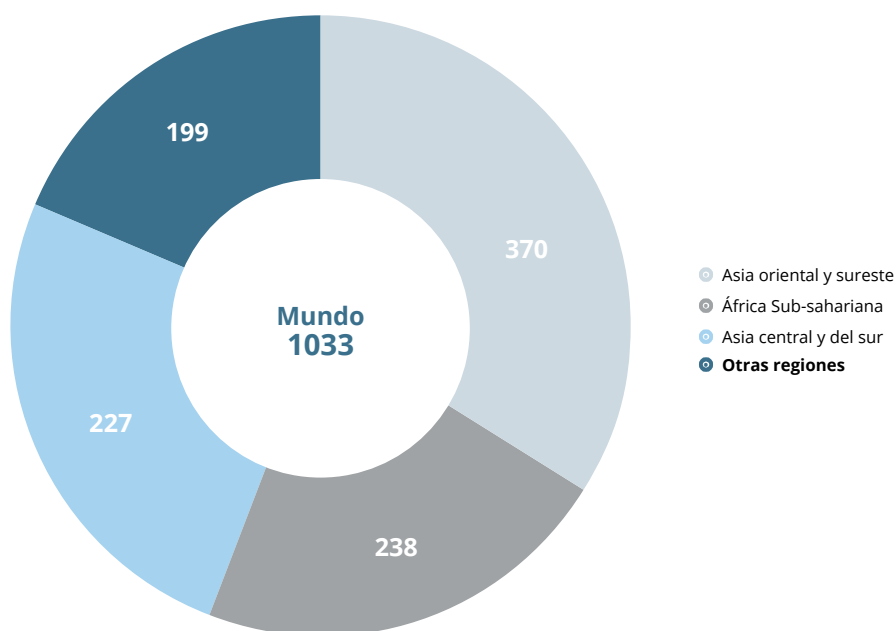
**En un mundo que alcanza 8 mil millones de personas en 2022, se estima que 1 en cada 8 habitantes vive en tugurios o en viviendas inadecuadas<sup>1</sup>.** Las ciudades son cada vez más importantes en el desarrollo económico de los países. Son centros de innovación y generación de conocimiento y oportunidades de desarrollo social. Sin embargo, la rápida urbanización y la falta de planificación resultaron en la proliferación de áreas informales sin la adecuada provisión de infraestructura y de viviendas, lo que resultó en el crecimiento de barrios marginales sin la provisión de servicios adecuados (agua potable, saneamiento, recolección de residuos sólidos, equipamientos públicos, sistemas de transporte).

**La aceleración del cambio climático y el impacto en las ciudades.** Uno de los mayores retos a los que se enfrenta la humanidad actualmente es la aceleración del cambio climático por la actividad antrópica. Los efectos del cambio climático sobre la naturaleza y la humanidad se experimentan primero en las ciudades, ya que conforman un conjunto de microcosmos que, por el momento, ya alberga a más de la mitad de la población del planeta (55% de la población actualmente y con una proyección de alcanzar casi el 70% para el año 2050). En la región de Latinoamérica y Caribe (LAC) la proporción de población viviendo en ciudades actualmente aumenta hasta el 81%.

<sup>1</sup> La ONU define una vivienda inadecuada como aquella que presenta al menos una de las siguientes condiciones: está construida con materiales poco resistentes; no tiene acceso adecuado a agua potable y alcantarillado; y alberga a más de tres personas por habitación.



**Figura 1.** Población urbana que vive en barrios marginales o asentamientos informales, 2018 (millones de personas).



Fuente: Edición propia en base a - SDG Indicators (un.org).

**El mundo está viendo consecuencias socioeconómicas devastadoras por los impactos del cambio climático:** récord en temperaturas, incendios forestales, colapso de ecosistemas terrestres y marítimos, huracanes más severos y frecuentes, inundaciones y sequías. La región de ALC puede perder alrededor del 4% de su PIB por los impactos del cambio climático en los próximos 15 años. Además, se espera que alrededor de 2 millones de personas caigan en la pobreza extrema en la región para 2030 debido al calentamiento global<sup>2</sup>.

Según el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, este fenómeno ya ha alterado los ecosistemas terrestres, de agua dulce y oceánicos a escala global, con múltiples impactos evidentes a escala regional y local.

El cambio climático ya ha tenido diversos impactos adversos en los sistemas humanos, incluso en la seguridad del agua y la producción de alimentos, la salud y el bienestar, y las ciudades, los asentamientos e infraestructura.

**El 80 % de las pérdidas totales causadas por los desastres en ALC se producen en las zonas urbanas.** Es un dato para tener en cuenta, pues los eventos climáticos, y sus impactos, se cobraron entre 1998 y 2020 más de 312,000 vidas y afectaron a más de 277 millones de personas en la región. Una de cada cinco ciudades (con más de 500mil habitantes) en el mundo son altamente vulnerables a desastres climáticos, y lo más impactados son las áreas más pobres y barrios informales<sup>3</sup>.

**Por otro lado, la acción climática también representa una oportunidad para la inversión pública y privada.** La descarbonización de las economías trae más trabajo y crecimiento de una forma sostenible. Estimamos la creación de 15 millones de puestos de trabajo netos para 2050 y el 1 por ciento adicional del PIB en la región para 2030 generados por los sectores verdes (como energía renovable, electromovilidad, tecnologías limpias, economía circular, etc)<sup>4</sup>.

<sup>2</sup> Banco Mundial - Hoja de ruta para la acción climática en América Latina y el Caribe 2021-2025

<sup>3</sup> BID 2021 - Diseño ecológico: estrategias para la ciudad vulnerable

<sup>4</sup> OIT - BID 2020 - El Empleo en un Futuro de Cero Emisiones Netas en América Latina y el Caribe

Figura 2. Impactos globales y regionales del cambio climático observados en los ecosistemas.

| Ecosistemas                  | Cambios en la estructura del ecosistema |            |        | Cambios de rango de las especies |            |        | Cambios en el tiempo (fenología) |            |             |
|------------------------------|---|------------|--------|----------------------------------|------------|--------|----------------------------------|------------|-------------|
|                              | Terrestre                               | Agua dulce | Océano | Terrestre                        | Agua dulce | Océano | Terrestre                        | Agua dulce | Océano      |
| Global                       | ●                                       | ●          | ●      | ●                                | ●          | ●      | ●                                | ●          | ●           |
| África                       | ●                                       | ●          | ●      | ●                                | ○          | ●      | ○                                | ●          | ●           |
| Asia                         | ●                                       | ●          | ●      | ●                                | ●          | ○      | ●                                | ●          | ●           |
| Australasia                  | ●                                       | ○          | ●      | ●                                | ○          | ●      | ●                                | ○          | ●           |
| América central y Sudamérica | ●                                       | ●          | ●      | ●                                | ●          | ●      | ○                                | ○          | ●           |
| Europa                       | ●                                       | ●          | ●      | ●                                | ●          | ●      | ●                                | ●          | ●           |
| Norteamérica                 | ●                                       | ●          | ●      | ●                                | ●          | ●      | ●                                | ●          | ●           |
| Islas pequeñas               | ●                                       | ●          | ●      | ●                                | ●          | ●      | ●                                | ○          | ●           |
| Ártico                       | ●                                       | ●          | ●      | ●                                | ●          | ●      | ●                                | ●          | ●           |
| Antártico                    | ●                                       | ○          | ●      | ●                                | ○          | ●      | ●                                | ○          | ○           |
| Región mediterránea          | ●                                       | ○          | ●      | ●                                | ●          | ●      | ●                                | ○          | ●           |
| Bosques tropicales           | ●                                       | ○          | na     | ●                                | ○          | na     | ○                                | ○          | na          |
| Región montañosa             | ●                                       | ●          | na     | ●                                | ●          | na     | ●                                | ●          | na          |
| Desiertos                    | ●                                       | na         | na     | ●                                | na         | na     | ○                                | na         | na          |
| Puntos de biodiversidad      | ●                                       | ○          | ●      | ●                                | ○          | ●      | ●                                | ○          | no evaluado |

Referencias:  
 Confianza en atribución al Cambio climático  
 ● Alto o muy alto    ● Bajo    na No aplica  
 ● Medio    ○ Evidencia limitada,

Fuente: Edición propia en base a IPCC, 2022: Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability.

Figura 3. Impactos globales y regionales del cambio climático observados en sistemas humanos.

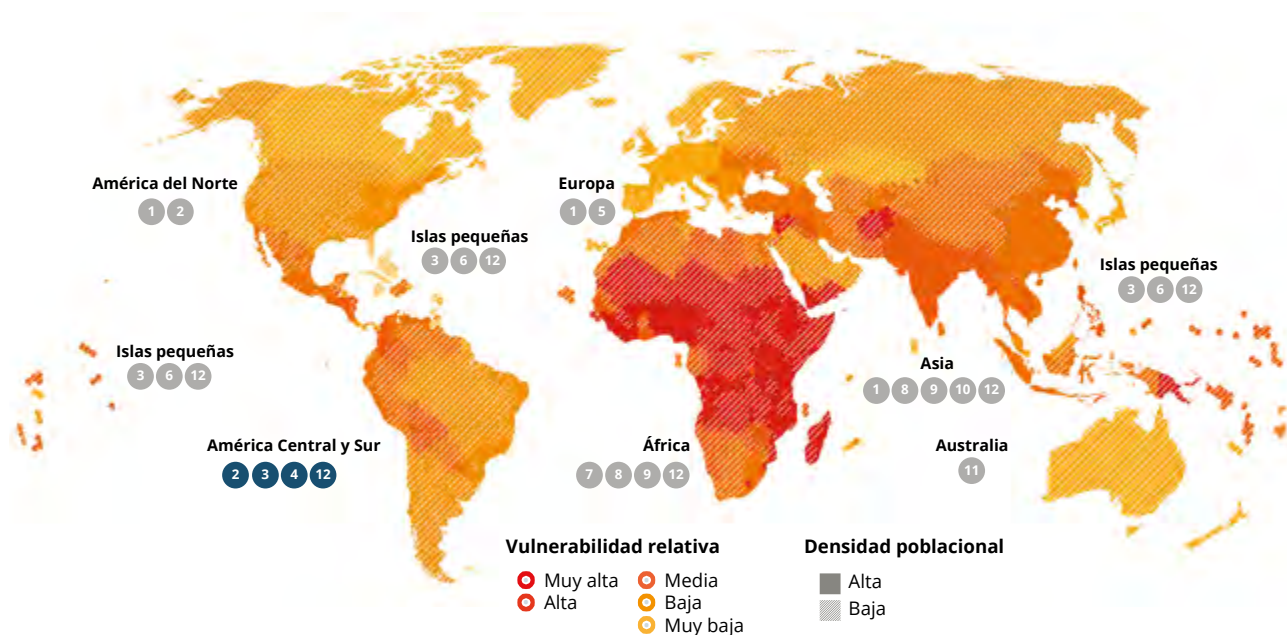
| Sistemas humanos             | Impactos en la escasez de agua y la producción de alimentos |                      |                                       |                      | Impactos en la salud y el bienestar |                             |              |             | Impactos en las ciudades, asentamientos e infraestructura |  |                            |                                   |
|------------------------------|---|----------------------|---------------------------------------|----------------------|-------------------------------------|-----------------------------|--------------|-------------|---|--|----------------------------|-----------------------------------|
|                              | Escasez de agua   | Agricultura/cultivos | Salud animal y productividad ganadera | Producción piscícola | Enfermedades infecciosas            | Calor, desnutrición y otros | Salud mental | Migración   | Inundación pluvial y daños asociados                      | Daños en áreas costeras por inundación / tormentas | Daños a la infraestructura | Daños a sectores económicos clave |
| Global                       | +   | -                    | ○                                     | -                    | -                                   | -                           | -            | -           | -   | -  | -                          | -                                 |
| África                       | -   | -                    | -                                     | -                    | -                                   | -                           | -            | -           | -   | -  | -                          | -                                 |
| Asia                         | +   | +                    | -                                     | -                    | -                                   | -                           | -            | -           | -   | -  | -                          | -                                 |
| Australasia                  | ±   | -                    | +                                     | -                    | -                                   | -                           | -            | no evaluado | -   | -  | -                          | -                                 |
| América central y Sudamérica | ±   | -                    | +                                     | -                    | -                                   | -                           | -            | no evaluado | -   | -  | -                          | -                                 |
| Europa                       | +   | +                    | -                                     | ±                    | -                                   | -                           | -            | -           | -   | -  | -                          | -                                 |
| Norteamérica                 | +   | +                    | -                                     | ±                    | -                                   | -                           | -            | -           | -   | -  | -                          | -                                 |
| Islas pequeñas               | -   | -                    | -                                     | -                    | -                                   | -                           | -            | -           | -   | -  | -                          | -                                 |
| Ártico                       | ±   | +                    | -                                     | -                    | -                                   | -                           | -            | -           | -   | -  | -                          | +                                 |
| Ciudades costeras            | ○   | ○                    | ○                                     | -                    | ○                                   | -                           | no evaluado  | -           | ○   | -  | -                          | -                                 |
| Región mediterránea          | -   | -                    | -                                     | -                    | -                                   | -                           | no evaluado  | -           | +   | -  | ○                          | -                                 |
| Región montañosa             | +   | +                    | -                                     | ○                    | -                                   | -                           | -            | -           | -   | na   | -                          | -                                 |

Referencias:  
 Confianza en atribución al Cambio climático  
 ● Alto o muy alto    ● Bajo    na No aplica  
 ● Medio    ○ Evidencia limitada, insuficiente

Impactos a sistemas humanos  
 - Aumento de impactos adversos    ± Aumento de impactos adversos y positivos

Fuente: Edición propia en base a IPCC, 2022: Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability.

**Figura 4.** La vulnerabilidad humana<sup>5</sup> observada difiere entre los países y determina fuertemente cómo los peligros climáticos afectan a las personas y a la sociedad.



Fuente: Edición propia en base a IPCC, 2022: *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability*.

#### Ejemplos de poblaciones locales vulnerables | Ejemplos de algunos aspectos de vulnerabilidad

**1. Pueblos indígenas del Ártico** | desigualdad en salud, acceso limitado a recursos de subsistencia y cultura

**2. Minorías étnicas urbanas** | desigualdad estructural, marginación, exclusión de los procesos de planificación

**3. Pequeños productores de café** | acceso y estabilidad limitada al mercado, dependencia de un solo cultivo, apoyo institucional

**4. Pueblos indígenas en la Amazonía** | degradación de la tierra, deforestación, pobreza, falta de apoyo

**5. Personas mayores, especialmente aquellas pobres y socialmente aisladas** | problemas de salud, discapacidad, acceso limitado de apoyo

**6. Comunidades insulares** | tierras limitadas, crecimiento de la población y degradación de los ecosistemas costeros

**7. Niños en comunidades rurales de bajos ingresos** | inseguridad alimentaria, sensibilidad a la desnutrición y enfermedades

**8. Personas desarraigadas por los conflictos en Oriente Próximo y el Sahel** | estatus temporal prolongado, movilidad limitada

**9. Mujeres y no binarios** | acceso limitado y control sobre los recursos (agua, tierra, créditos)

**10. Inmigrantes** | situación informal, acceso limitado a servicios de salud y vivienda, exclusión de los procesos de toma de decisiones

**11. Pueblos Aborígenes e Isleños del Estrecho de Torres** | pobreza, inseguridad alimentaria y de vivienda, dislocación de la comunidad

**12. Personas que viven en asentamientos informales** | pobreza, servicios básicos limitados y a menudo ubicados en áreas con alta exposición a amenazas climáticas

<sup>5</sup> Mapa de la vulnerabilidad humana observada basado en dos sistemas integrales de indicadores globales que utilizan datos nacionales, además de ejemplos de poblaciones locales vulnerables seleccionadas y pueblos indígenas.

**Las ciudades son el corazón de la región de ALC pues albergan un 81% de la población y contribuyen más de un 65 por ciento del PIB.** Pese a que las ciudades representan menos del 3% de la superficie habitable del planeta, suponen el 75% de las emisiones globales de CO<sub>2</sub><sup>6</sup>. Aunque esto pueda parecer un problema, en verdad es una gran oportunidad, pues las ciudades, además de ser el motor económico y social de nuestra región, están llamadas a liderar la lucha contra el cambio climático. Sin embargo, esta concentración de personas y activos las hacen especialmente vulnerables al cambio climático.

Las ciudades crean núcleos de calor que – dependiendo de la geometría urbana, la actividad humana y los materiales de construcción – intensifican los efectos del cambio climático en hasta 4 grados, impactando la salud y la calidad del aire. Por otro lado, la impermeabilidad del suelo en las ciudades las hace vulnerables a desastres naturales como inundaciones y subida del nivel del mar. Abordar estas fragilidades es crítico para las ciudades en la región, donde dos de cada cinco habitantes viven en una vivienda precaria, y uno de cada cinco vive en asentamientos informales constantemente afectados por estos eventos.

**En efecto, los núcleos urbanos son una importante fuente de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI),** al concentrar la mayor parte de la población y de la actividad económica e industrial mundial. Sin embargo, las ciudades tienen el potencial para generar acciones transformadoras orientadas a hacer frente al cambio climático, y jugar un papel clave para cumplir con los objetivos de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible y el Acuerdo de París.

Este último establece como meta limitar el calentamiento mundial a muy por debajo de **2°C y preferiblemente a 1.5°C**. A pesar de ello, según las investigaciones y análisis, se estima que las actuales Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional (NDC, por sus siglas en inglés) darán como resultado un calentamiento de 2.4°C para 2100<sup>7</sup>.

**Por otro lado, la acción climática también representa una oportunidad para la inversión pública y privada.** La descarbonización de las economías trae más trabajo y crecimiento de una forma sostenible. Estimamos la creación de 15 millones de puestos de trabajo netos para 2050 y el 1% adicional del PIB en la región para 2030 generados por los sectores verdes (como energía renovable, electromovilidad, tecnologías limpias, economía circular, etc).

### **La importancia de involucrar a las ciudades, crear estrategias y combatir el cambio climático desde el ámbito local**

Para que las ciudades puedan contribuir a los compromisos de las NDCs es importante dotarlas de herramientas y acceso a recursos. Se estima que la inversión climática en ciudades en desarrollo está en 384 miles de millones de dólares, muy por debajo de las oportunidades de inversión que alcanzan casi los 30 billones de dólares de aquí a 2030 (trillones en inglés), especialmente en las áreas de residuos, eficiencia hídrica, vehículos eléctricos, transporte público y edificios verdes. Además, se estima que en las ciudades un 35% de la inversión actual es privada de actores locales y un 22% pública.

**Uno de los principales desafíos de la acción climática es la integración vertical de las NDC a nivel subnacional.** Para avanzar en esta agenda los gobiernos nacionales en coordinación con las ciudades deben promover políticas e incentivos para garantizar que las iniciativas a nivel de ciudad tengan suficientes recursos, marcos regulatorios adecuados y capacidad para lograr un cambio significativo. El objetivo de estas políticas es contribuir, de forma conjunta y coordinada, al logro de los compromisos nacionales y de las metas climáticas y ambientales globales.

6 Banco Mundial - Hoja de ruta para la acción climática en América Latina y el Caribe 2021-2025

7 OIT - BID 2020 - El Empleo en un Futuro de Cero Emisiones Netas en América Latina y el Caribe

A medida que los países actualizan sus NDC, las ciudades tienen la oportunidad de integrar sus compromisos climáticos a los del gobierno nacional y estos a su vez pueden aprovechar la cercanía de los gobiernos locales con la ciudadanía para aumentar la ambición climática y la acción efectiva. Varias autoridades estatales y municipales ya empezaron a crear sus propios Planes de Mitigación y Adaptación Climática en varios países de ALC.

### **Éstas son algunas recomendaciones para mejorar la localización de las NDC, y convertirlas en acción local:**

- Involucrar a los gobiernos de las ciudades en el diseño e implementación de NDC, a través de un diálogo fortalecido entre los niveles nacional y local, por ejemplo, a través de consultas con las partes interesadas.
- Incorporar los esfuerzos de los gobiernos municipales tanto en el desarrollo como en la actualización de las NDC y durante su implementación.
- Mejorar la coordinación vertical y la cooperación entre los niveles de gobierno.
- Desarrollar una estrategia marco para la localización de las NDC con apoyo conectado para los gobiernos de las ciudades.
- Abordar las interrelaciones entre distintas agendas (por ejemplo, ODS, gestión de riesgos, biodiversidad, planes de desarrollo) y aprovechar las sinergias.
- Establecer planes climáticos locales y apoyar la implementación y el financiamiento local.
- Fortalecer la capacidad técnica y conocimiento a nivel de ciudad, seguido de acceso adecuado a financiamiento.
- Apoyar los esfuerzos conjuntos para la recopilación, procesamiento y uso de datos.

- Promover colaboraciones entre ciudades a través de alianzas y redes para una acción climática local ambiciosa, y crear oportunidades para reunir a los alcaldes y líderes de la ciudad como el caso de la Red Argentina de Municipios frente al Cambio Climático.

La concentración de la acción climática en ciudades también puede tener efectos positivos. Un 76% de la demanda energética proviene de ciudades, en su mayoría asociado al transporte y edificios. Las ciudades tienen un rol relevante a la hora de reducir viajes, a través de una adecuada planificación espacial.

### **La respuesta a las ciudades puede venir de una acción coordinada que busca:**

- Potenciar una urbanización sostenible.
- Restaurar ecosistemas degradados.
- Desarrollar una estrategia de adaptación y mitigación al cambio climático.
- Mejorar la gestión de riesgos y la resiliencia.

### **Las ciudades pueden:**

- Orientar la movilidad hacia el transporte público y no motorizado.
- Fomentar la economía circular mediante una mejor gestión de residuos. Promover mayor uso de renovables y la eficiencia energética en edificios residenciales y comerciales.
- Aumentar la cobertura boscosa en áreas urbanas y promover soluciones basadas en la naturaleza (SBN) e infraestructura verde urbana (IVU).

### Ejemplos de Medidas de adaptación y mitigación en Inversiones Urbanas

La respuesta de proyectos y operaciones urbanas con medidas de adaptación (adaptarse a los impactos climáticos) o mitigación (reducción de emisiones) a los efectos del cambio climático depende del conocimiento del contexto climático de cada país, su ubicación, tamaño, población, además de aspectos como los ecosistemas existentes en las áreas urbanas y periurbanas, la biodiversidad nativa, la existencia de ocupaciones informales, la densidad en la ocupación del territorio.

### Hay distintos riesgos climáticos que afectan a las ciudades dependiendo de su localización en el territorio y de las especificidades locales

Pueden ocurrir, por ejemplo:

- **Cambios en el medio físico:** aumento de la temperatura, cambio en los patrones de precipitaciones; subida del nivel del mar; pérdida de glaciares; alteraciones en las corrientes marinas y atmosféricas que regulan el clima (i.e. el Niño).
- **Efectos en sistemas clave:** Abastecimiento de agua; daños a infraestructura (i.e. por inundaciones o incendios); Seguridad alimentaria; Impactos en la salud (golpes de calor, contaminación atmosférica, dispersión de enfermedades zoonóticas); gasto en climatización de los hogares.

En este sentido, las tablas abajo ofrecen un listado ejemplificativo de medidas para adaptarse a impactos climáticos, así como para reducir emisiones (mitigación), con diversos alcances: vivienda, barrio, ciudades y de políticas públicas.

Figura 5. Medidas de adaptación a impactos climáticos.

| Medida  | Alcance |  |  |  |
|---|---------|--|--|--|
| Certificación y etiquetado de construcciones (i. e. EDGE)                               |         |  |  |  |
| Uso de materiales locales y/o reciclados (i. e. pavimentos, materiales de construcción) |         |  |  |  |
| Renovación de electrodomésticos   |         |  |  |  |
| Electrificación del consumo energético  |         |  |  |  |
| Generación distribuida  |         |  |  |  |
| Movilidad y micromovilidad eléctrica  |         |  |  |  |
| Movilidad y micromovilidad activa (i. e. ciclovías, veredas anchas, etc.)               |         |  |  |  |
| Gestión de residuos   |         |  |  |  |
| Desarrollo orientado al transporte  |         |  |  |  |

Vivienda    Barrio    Ciudad    Política pública

Fuente: BID 2022



**Figura 6.** Medidas de mitigación a impactos climáticos.

| Medida  | Alcance |  |  |  |
|---|---------|--|--|--|
| Priorizar las acciones de mejora de capacidad adaptativa para familias en riesgo climático                        |         |  |  |  |
| Reasentar zonas de riesgo climático no manejable  |         |  |  |  |
| Incluir medidas de adaptación a eventos climáticos rápidos y lentos en el diseño (i. e. tormentas, sequías, etc.) |         |  |  |  |
| Infraestructura de adaptación (i. e. defensa costera, fluvial, gestión de arroyos, eficiencia de agua)            |         |  |  |  |
| Promoción de servicios ecosistémicos (i. e. soluciones basadas en la naturaleza)                                  |         |  |  |  |
| Mejoras de los mapas de riesgo y zoneamiento climático  |         |  |  |  |

Vivienda   
 Barrio   
 Ciudad   
 Política pública

Fuente: BID 2022.

**Entre las propuestas de mitigación y adaptación en el entorno urbano señalamos las soluciones basadas en la naturaleza (SBN) y la infraestructura verde urbana (IVU).**

Las SBN son acciones para proteger, gestionar de manera sostenible y restaurar ecosistemas naturales o modificados que abordan los desafíos sociales de manera efectiva y adaptativa, proporcionando simultáneamente beneficios para el bienestar humano y la biodiversidad. La IVU es una herramienta que proporciona beneficios ecológicos, económicos y sociales a través de SBN que ayudan a mitigar y adaptar a la vez.

**La infraestructura gris (o tradicional) es necesaria, pero necesita ser mejorada con SBN e innovación.**

El desarrollo y regeneración de las ciudades se tiene que realizar de manera holística donde la IVU tenga mayor relevancia. La experiencia está demostrando que los beneficios económicos de las soluciones verdes urbanas superan los costos en el largo plazo.

**La IVU posee los objetivos de:**

- Potenciar una urbanización sostenible,
- Restaurar ecosistemas degradados,
- Desarrollar una estrategia de adaptación y mitigación al cambio climático,
- Mejorar la gestión de riesgos y la resiliencia. Las soluciones de ingeniería convencional implementadas de manera individual no son sostenibles en el tiempo.



## Operacionalizando la Infraestructura Verde Urbana (IVU)

Frente a la importancia de la IVU, fueron desarrollados tres manuales para brindar apoyo a los gobiernos y proveedores de servicios urbanos en la toma de decisión sobre el tipo de solución más adecuado de infraestructura verde, a evaluar el costo-beneficio y actuar de acuerdo con el marco normativo vigente. Este material apoya la transversalización de la IVU en los códigos de planificación, presupuestos y documentos de ordenamiento territorial.



### Infraestructura Verde Urbana I: Retos, oportunidades y manual de buenas prácticas.

Ofrece una lista de ejemplos de casos prácticos a nivel internacional de soluciones de infraestructura verde urbana.

Estos ejemplos exponen la problemática y cómo una solución particular de IVU fue escogida para resolver la amenaza climática.



### Infraestructura Verde Urbana II: Implementación y seguimiento de soluciones.

Compila una serie de fichas técnicas con algunas soluciones de infraestructura verde, incluyendo información

sobre los servicios ecosistémicos que proporciona y los beneficios económicos que se generan por su adopción. Las soluciones incluyen espacios verdes, corredores, parques urbanos, coberturas arbóreas, infraestructura de transporte lineal verde, jardines de lluvia y parques de ribera, entre otros.



### Infraestructura Verde Urbana III: Análisis de países.

Se analiza un grupo de países al momento de implementar soluciones basadas en la naturaleza.

## Vulnerabilidad de las ciudades a inundaciones

El impacto de las aguas de lluvia afecta a los sistemas humanos y naturales, incluidos los servicios sociales y de salud, servicios de emergencia, negocios, recreación, servicios públicos, sistemas de transporte, recursos ambientales locales, servicios gubernamentales y presupuestos municipales<sup>8</sup>.

### Las inundaciones en las ciudades se producen por varios motivos:

- La urbanización mal planificada, con una expansión urbana en terrazas y llanuras de inundación;
- Cambios de uso del suelo inapropiados;
- Una tasa de urbanización elevada con amplias superficies impermeables;
- Reducción de áreas verdes que faciliten la filtración del agua; y
- La falta o envejecimiento de la infraestructura tradicional y su sobrecarga.

### En definitiva, cambios de las conexiones entre los sistemas humanos y naturales y cambios del ciclo natural del agua

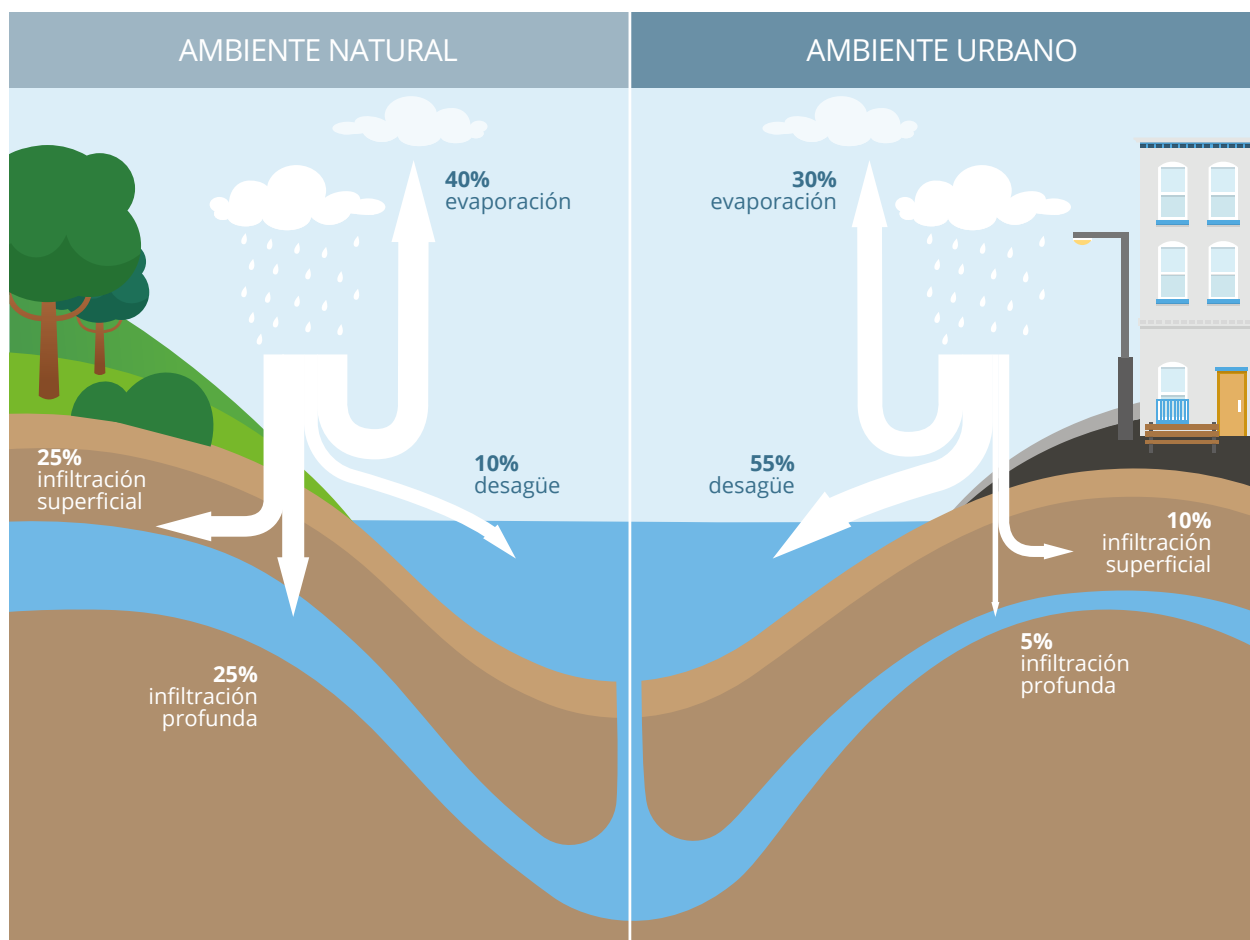
Además, el cambio climático está haciendo que la situación empeore: las proyecciones climáticas señalan un aumento de la frecuencia e intensidad de los períodos de lluvia que van a afectar en mayor medida a las ciudades, debido a su capacidad reducida de filtración de agua. Las estimaciones también contemplan aumento del número de tormentas y ciclones. El resultado de estos eventos afecta negativamente a las ciudades. Como muestra la Figura 7, las zonas urbanas aumentan el caudal en superficie hasta un 55% respecto al 10% que se produciría en superficies verdes.

<sup>8</sup> Tuler Seth P, *et al.* 2016 Stormwater Management in a Time of Climate Change: Insights from a Series of Scenario-Building Dialogues. Weather, Climate and Society. April 2016, Vol. 8, No. 2.

Las aguas pluviales pueden inundar y erosionar carreteras, inundar espacios e instalaciones subterráneas, inundar hogares y negocios, transportar escombros y arena hacia alcantarillas bloqueando los sistemas de drenaje, saturar instalaciones de tratamiento de aguas residuales y arrastrar productos químicos peligrosos. Además, en ciudades con Sistemas de Alcantarillado Combinado (CSO, por sus siglas en inglés), el exceso de agua pluvial puede producir el vertido de agua sin tratar a los cursos fluviales. El régimen pluvial también puede afectar a los deslizamientos de tierra.

Según el Grupo de Liderazgo Climático de Ciudades C40, los costos económicos globales para las ciudades, debido al aumento de los mares y las inundaciones, podrían llegar a US\$1 billón a mediados del siglo XXI. En 2019 en Uruguay y Argentina, por ejemplo, las lluvias e inundaciones llegaron a causar daños por un valor de US\$2.500 millones, según la Organización Meteorológica Mundial (OMM)<sup>9</sup>. Solo en la ciudad de Nueva York, con el huracán Sandy en 2012, las inundaciones costeras afectaron a unos 90.000 edificios y 2 millones de personas perdieron energía, lo que causó daños importantes e interrumpió la actividad comercial con un valor en pérdidas económicas de más de US\$19.000 millones.

**Figura 7.** Comparación del ciclo hidrológico entre zona verde y zona urbana.



Fuente: Edición propia en base a City of Detroit Water and Sewerage Department, from Stormwater Management Design Manual. 2018

**En LAC, entre 1970 y 2013, las inundaciones fueron el desastre natural más frecuente.**

En 2019, ciudades como Resistencia (Argentina), batieron el récord de lluvias con 556,8 milímetros, y entre el 40% y el 50% de la localidad acabó inundada.

**Con mucha frecuencia, las inundaciones suponen el coste de vidas humanas.** Los efectos de las inundaciones de Río de Janeiro en 2011 acabaron con 24 fallecidos en Petrópolis y 500 fallecidos si se considera toda la región, incluyendo barrios de Río y favelas. En Ecuador, solo entre los meses de enero y marzo de 2017, 127.500 personas se vieron afectadas por inundaciones y 27 fallecieron<sup>10</sup>.

**Los daños y pérdidas económicas para las ciudades pueden ser muy elevados.** En 2002, en La Paz (Bolivia) las tormentas de febrero supusieron pérdidas económicas equivalentes a US\$70 millones (además de acabar con la vida de 70 personas). Las tormentas de 2005 y 2006 causaron el desbordamiento de los ríos de la ciudad, afectando a las obras de cauce y control hidráulico, donde estos daños fueron cuantificados en US\$4 millones. Muchas ciudades de la región se encuentran en una situación de especial riesgo, como en El Salvador, ya que se ubica en una zona de alta pluviosidad, donde se han registrado más de 2.100 eventos de inundación en el último siglo. Las tormentas y huracanes más graves que ha sufrido El Salvador en los últimos años han supuesto daños por valor de más de US\$300 millones cada una individualmente (BID, 2016).

**A nivel de Latinoamérica, Paraguay se encuentra entre los países más vulnerables al cambio climático.** No obstante, ciertas regiones del país están más expuestas que otras a los efectos del cambio climático, por lo que, las mismas sufren mayores daños. Los departamentos más vulnerables a nivel nacional, basado en datos meteorológicos de precipitación y temperatura (periodo 1992-2012), y en datos socioeconómicos como población y nivel de pobreza, son: Caazapá con clasificación de vulnerabilidad muy alta, Concepción, Canindeyú, Itapúa y Caaguazú con clasificación de vulnerabilidad alta<sup>11</sup>. La frecuencia de precipitación ha aumentado en los meses de verano. Adicionalmente, la cantidad de lluvia (máximo 5 días totales de lluvia) verán un ligero aumento a lo largo del siglo 21. La mayoría de los escenarios proyectan un aumento promedio de lluvias hasta el fin del siglo bajo un escenario de alta emisiones, con una disminución en el noroeste (RCP8.5)<sup>12</sup>.

10 <https://www.eluniverso.com/noticias/2017/04/12/nota/6135256/27-muertos-127500-afectados-inundaciones-ecuador-segun-sgr/>

11 <http://dncc.mades.gov.py/cambio-climatico/problematika>

12 World Bank 2021 - Paraguay climate risk country profile



Banco San Miguel y Centro de Asunción 2021. Fotografía: Jorge Saenz.



## 3.

## Antecedentes y Contextualización de los Estudios

Los bañados de Asunción a lo largo de su historia han sido el punto de entrada al Paraguay, desde que Juan de Salazar y Espinosa pisó tierra en los mismos bañados en 1537 y fundó la ciudad de Nuestra Señora Santa María de la Asunción. Es sobre los hombros de los bañados donde se estableció el Palacio de Gobierno, el Congreso Nacional, la Catedral, así como los puntos culturales más emblemáticos de Asunción. En el transcurso de su historia, los bañados (norte y sur) fueron tomando diferentes roles, primeramente, sirviendo como lugar de desembarque e intercambio de productos del comercio ribereño y luego, una vez instalada el Puerto de Asunción, se utilizaron como lugar de esparcimiento y recreación donde se podría albergar parques y mobiliarios urbanos. Pero los bañados nunca dejaron de pertenecer al río y siempre fueron inundados de forma periódica a razón de los ciclos hidrológicos del río.

**Entre mediados a fines del siglo XX (Entre 1960 a 2000) a medida que la población fue migrando hacia las afueras del casco histórico de Asunción se perdió la pertenencia y utilización de los bañados (Causarano, 2012).** En ese sentido los bañados terminaron siendo tierras sin uso, en barbecho y sin proyección de utilización. A esto se agregó la alta migración de poblaciones rurales a la ciudad que fueron instalándose de a poco en los bañados.

**Primeramente, el Bañado Norte, específicamente la Chacarita baja, y luego el Bañado Sur,** en las zonas de Ita Enramada y Tacumbu. Hoy día los bañados albergan más de 72.000 habitantes sobre una extensión de más de 2.000 hectáreas (Figura 1). La población que ocupa los bañados lo ha hecho por lo general de manera informal, sin contar con titulaciones, o servicios básicos. En ese sentido los hogares de escasos recursos se concentran en estos espacios que acumulan las dificultades y condiciones de alta vulnerabilidad.

**Las amenazas de inundaciones por crecidas del río han venido en aumento (Grassi, 2020) debido al cambio climático y al cambio de uso de la tierra. Agregado a esta amenaza se suma la amenaza de inundaciones pluviales, causadas por lluvias repentinas de gran intensidad y aumentadas por la impermeabilización del suelo de la ciudad y la baja cobertura de desagüe pluvial e infraestructura de almacenamiento y tratamiento de agua.**

Es dentro de este contexto histórico, urbanístico e hidrológico que se propuso realizar una Evaluación Probabilista del Riesgo de Inundación (EPRI) en las áreas geográficas de la ciudad de Asunción con morfologías diferentes, pero con un ecosistema y una población de características similares que se encuentran a orillas del río Paraguay a 7 km de distancia: (1) Bañado Norte y (2) Bañado Sur, (ver Figura 8).

**La metodología consiste en:**

- Identificación de las amenazas que provienen de las inundaciones pluviales y fluviales y su proyección probabilística debido al cambio climático.
- Análisis de riesgo de la infraestructura y la población que es afectada por estas amenazas, considerando las pérdidas asociadas a la infraestructura y la vulnerabilidad de la población desplazada por los eventos.

**Al unificar estos datos es posible contabilizar las potenciales pérdidas económicas incorporando los efectos del cambio climático, así como la exposición y vulnerabilidad de la población. Basado en este análisis la propuesta metodológica propone diferentes estrategias urbanísticas para gestionar los riesgos. Las diferentes estrategias pueden ser consideradas como alternativas y priorizadas basado en un análisis de costos y beneficios.**



**Figura 8.** Fotografía aérea de la ciudad de Asunción con indicación de la ubicación de los bañados.



**Leyenda**  
Bañado Norte (1200 ha)  
Bañado Sur (930 ha)







# La transformación histórica del territorio

**Una suma de hechos históricos y transformaciones territoriales de la ciudad de Asunción alteraron sustancialmente las dinámicas socio ambientales y contribuyeron a la formación de estos asentamientos informales denominados hoy “Bañados de Asunción”.**

La ciudad de Asunción inicialmente se valió de su proximidad al Río Paraguay, este elemento fundamental se convirtió en la vía principal de comunicación con el exterior, fue lugar de cruces culturales, flujos de actores sociales, militares y dinámicas de colonización. El inicio de su urbanización se da en el año de la fundación de su primer fuerte militar, en 1537. Una de las características principales fue la adaptación de las construcciones a la topografía existente, razón por la cual la trama era mayormente irregular, esto resulta una particularidad ya que en sus inicios no se utilizó el trazado de cuadrícula, característico de las leyes de indias y comúnmente visto en los trazados urbanos latinoamericanos.

“La conformación de la ciudad se redujo a la zonificación de los elementos arquitectónicos; los programas religiosos se distribuyeron espaciadamente en un esquema concéntrico; los de gobierno, como polo central; mientras que las viviendas se dispersan ocupando la periferia. La relación de la ciudad con el medio rural es total, ya que no existe un corte abrupto entre ambos. El paisaje urbano y rural se entremezcla”<sup>13</sup>.

Plano de la Asunción colonial, Dr. Félix de Azara a pedido del Cabildo, 1809.



Fuente: Asociación Cultural Mandu'arã.

13 Asunción. Reconciliando la ciudad con el río. Espacios públicos potenciales (2019). Patricia Giménez Franco.

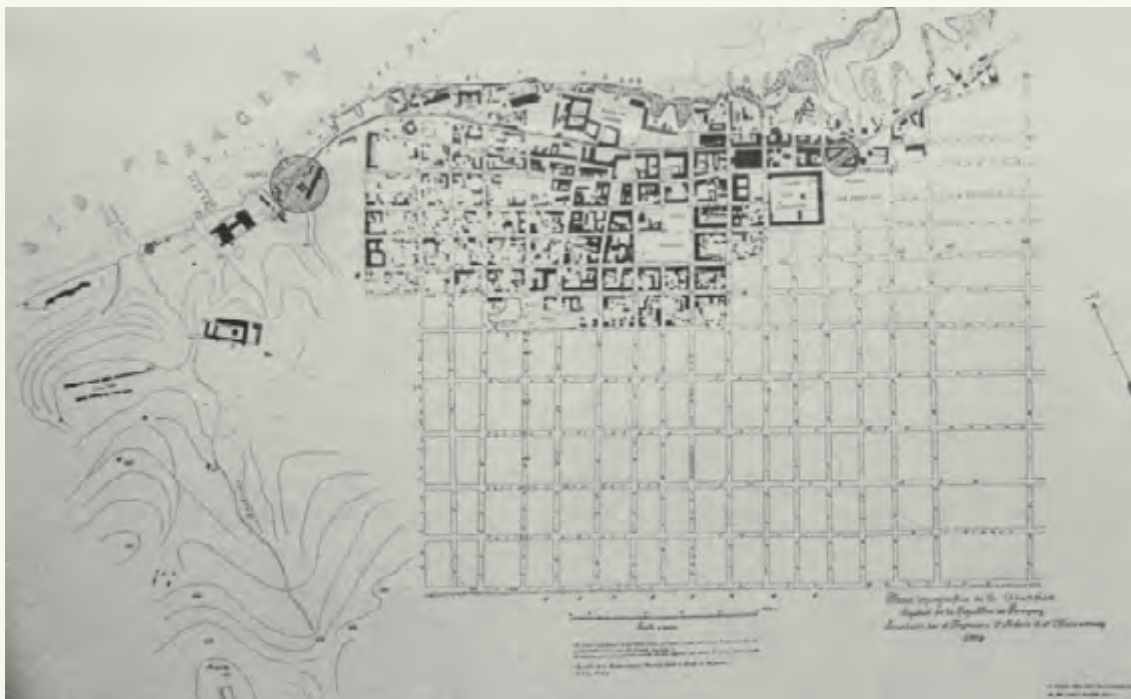
Durante la época independiente (1811-1870) el Estado promovió la internacionalización del país con políticas migratorias para el asentamiento de extranjeros; conformándose así los grandes latifundios en manos de extranjeros, que confinaron a los pueblos indígenas a vivir como mano de obra esclava.

Según Canese (2019), en 1821 el Dr. Francia propone la regularización de las cuadras por motivos sobre todo estratégicos y de control pero también en la búsqueda de corregir, en cierta medida, la exclusión social imperante mediante la entrega de terrenos urbanos a pobladores mestizos provenientes del campo.

Durante el periodo de gobernanza de los López (1844 a 1865) avanzó la modernización tecnológica y arquitectónica de la ciudad, con una línea férrea que conectaría a la ciudad de Asunción con los poblados cercanos dando paso a una revolución industrial con la construcción de fábricas, astilleros y otros emprendimientos, todos por iniciativa y bajo dominio del Estado Paraguayo.<sup>14</sup> En este mismo periodo además, se promulgaron las leyes de organización edilicia y policial, como también el registro de propiedades urbanas y catastro.

Esto se vio mayormente implementado en el sistema de cuadrícula de calles, sin embargo se puede apreciar en los mapas que el borde ribereño no sufrió cambios desde la época colonial, en la zona norte continuaban los barrancos y edificios institucionales originales y en la zona sur el territorio estaba aún poco intervenido.

Plano de la Asunción independiente, 1869.



Fuente: [lorenzozucolillo.wordpress.com](http://lorenzozucolillo.wordpress.com)

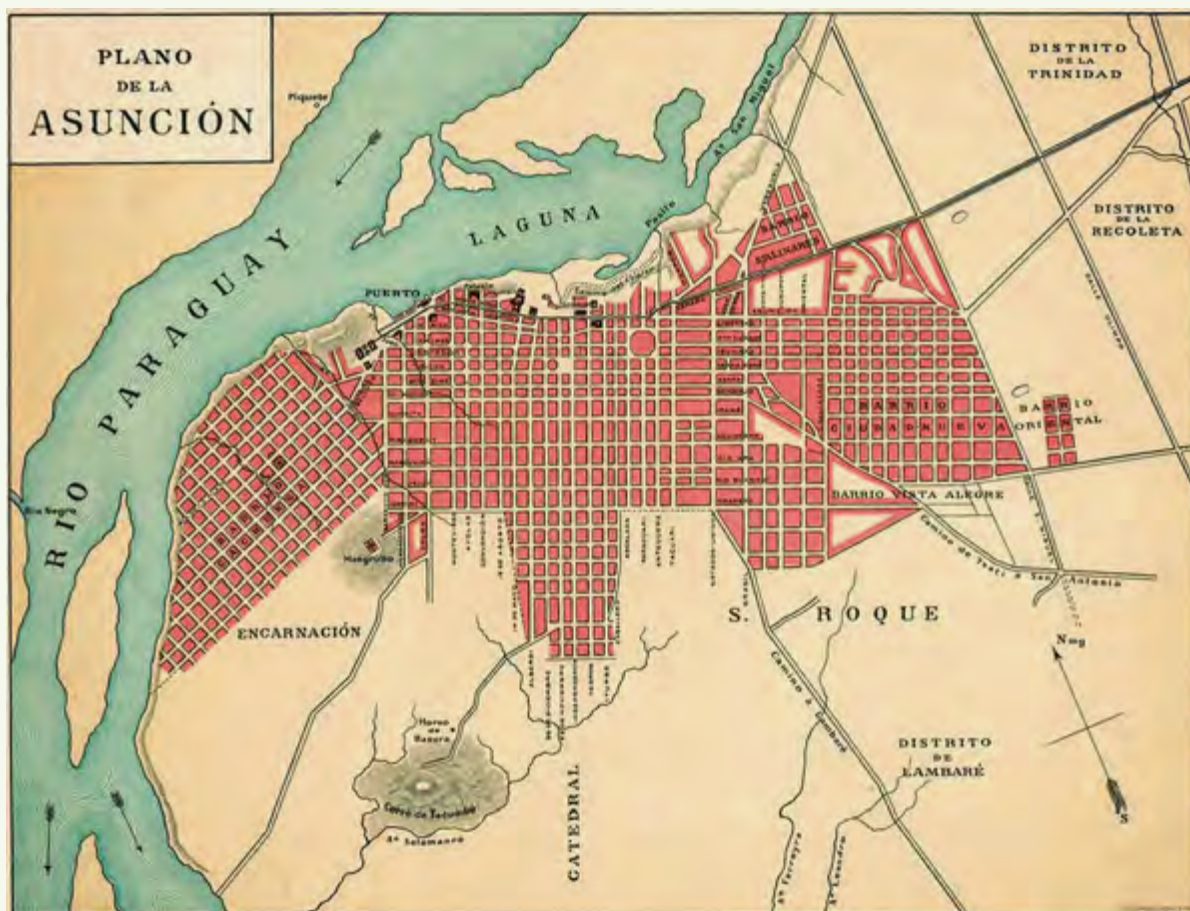
<sup>14</sup> Urbanización popular en el Área Metropolitana de Asunción: resistencia y perspectiva de cambio (2019). Dra. Marta Isabel Canese de Estigarribia.

Luego de la Guerra de la Triple Alianza (1864-1870) entre Paraguay y tres países del Cono Sur (Brasil, Argentina y Uruguay), el país quedó devastado, así se inicia un largo proceso de reconstrucción donde el gobierno fomenta la inmigración americana y europea y la privatización de las propiedades del estado. En este contexto se afianzaron aún más las estructuras urbanas existentes y se crearon nuevos poblados como centros de servicios para las zonas agrícolas.

“La expansión de las villas y casas-quinta, se afianzó con un carácter semiurbano a principios del siglo XX; esta búsqueda de la trama abierta, comienza a diferenciar el centro de la periferia y a marcar una transición entre la ciudad y el campo.”<sup>15</sup>

Afirma Galeano (2014), que desde la década del '60 en adelante llegan los primeros habitantes del Bañado Sur, muchos de ellos de origen campesino, como resultado de la migración campo-ciudad, en busca de mejores oportunidades económicas y calidad de vida. Estos fueron rellenando con cascotes las estructuras de las primeras casas, en ese entonces en un territorio inundado, con extensos yuyales, lleno de barro y de basura.<sup>16</sup>

Plano de la Asunción, 1920.



Fuente: viejosmapas.com

15 Asunción. Reconciliando la ciudad con el río. Espacios públicos potenciales (2019). Patricia Giménez Franco.

16 Exclusión Social y Pobreza Urbana, experiencias y análisis desde el Bañado Sur (2014). José Galeano Monti.

El sector rural era característico por la ausencia de una infraestructura adecuada, lo cual no dista mucho de la realidad actual. Según Giménez (2019), las pautas habitacionales del sector rural se trasladaron a las unidades habitacionales “marginales” en la ciudad, principalmente en la ribera, zona de mayor peligrosidad de inundaciones; además se sumaron otras inadecuaciones como la disminución del tamaño de los lotes, el hacinamiento y el deterioro de la materialidad y espacialidad de las viviendas. Así también, cabe destacar que a pesar de la situación de vulnerabilidad característica de estos asentamientos, en la zona norte, el barrio Chacarita era el que más se destacaba desde ese entonces por su fuerte tejido social e identidad barrial.

### **Paraguay es el 8vo país más vulnerable de LAC y el más vulnerable en América del Sur<sup>17</sup>.**

Según registros de la Secretaría de emergencia Nacional, sólo en 2019 hubo alrededor 120.000 habitantes afectados por inundaciones y crecidas, más del 60% de distritos del país son vulnerables a la amenaza de tormentas. Además del factor de inundación, que claramente tiene un peso muy alto en lo que respecta a caracterizar como zona y población vulnerable a los bañados, no es menor señalar que estas áreas están físicamente desconectadas del trazado y la dinámica urbana, aislados de la planificación urbanística de los barrios aledaños, la costanera y de la ciudad en general. Esto ha generado una importante exclusión social, la cual se fue agravando a lo largo de los años, potenciada además por la situación de pobreza, carencia de servicios básicos, calidad precaria de viviendas, bajos ingresos y trabajos inestables.

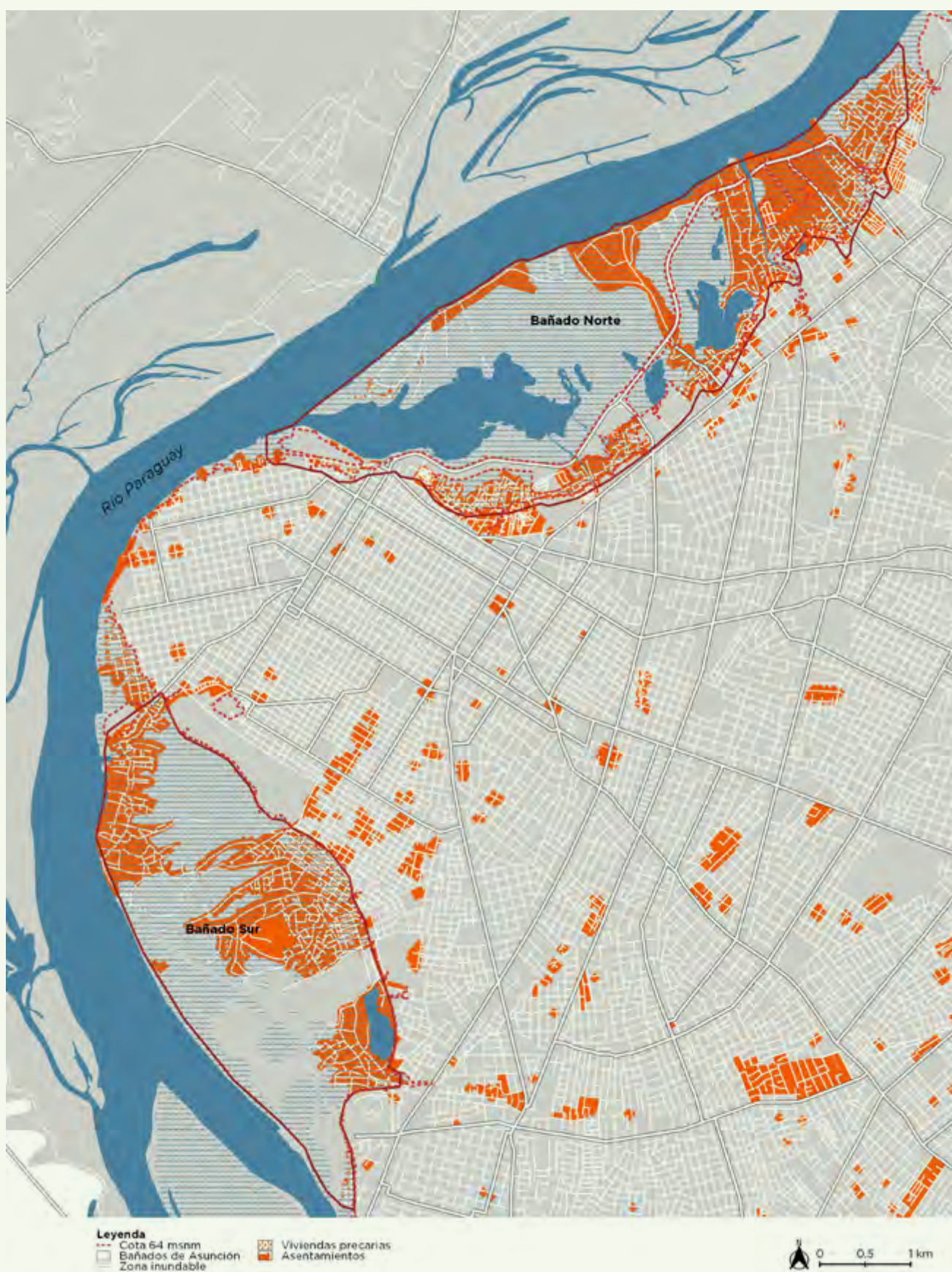
En su mayoría las familias que han construido en zona inundable no cuentan con la tenencia de tierra, ya que por debajo de la cota de 62 m se considera inundable, y por ende, no apto para ser habitado, siendo propiedad municipal o de jurisdicción de la marina nacional. Los bañados han evolucionado con altos niveles de crecimiento demográfico, incluso mayores que los del resto del municipio. Según el Atlas del Área Metropolitana de Asunción (2021) mientras la población de Asunción se estabiliza alrededor de los 530.000 habitantes, la población de los bañados sigue aumentando (en torno a +25 % de crecimiento entre 2002 y 2012). Este crecimiento se puede ver territorializado en el mapeo a continuación sobre la distribución de asentamientos urbanos precarios.

En este contexto, existe una deuda pendiente por parte de los municipios en la gestión de asentamientos informales tanto en zonas urbanas como periurbanas, empezando por la falta de base de información histórica consolidada sobre los asentamientos informales existentes en el territorio, respecto a su localización, cuantificación y caracterización, esto dificulta de sobremanera la necesaria articulación de políticas públicas y proyectos a nivel nacional y subnacional que permitan la integración de estos territorios al tejido urbano formal.

<sup>17</sup> Fuente: CAF. (2014). Índice de vulnerabilidad y adaptación al cambio climático en la región de América Latina y el Caribe.



Figura 9. Distribución de los asentamientos urbanos y viviendas precarias 2015.



Fuente: STP/MADES/PNUD/FMAM. 2021. Atlas del Área Metropolitana de Asunción.

# 3.1 Programa de Rehabilitación y Vivienda del Bañado Sur

## Barrio Tacumbú: un ejemplo de adaptación planificada

Esta urbanización está planificada para uno de los barrios situados en el Bañado Sur de Asunción, a la orilla del río Paraguay, con un área de 65 hectáreas. El barrio ha tenido una rápida expansión; hoy cuenta con 2,517 viviendas (censo del 2017) y unos 10,000 habitantes, todos residiendo por debajo de los 64 msn.

**La población del Barrio Tacumbú se ve directamente afectada por las inundaciones estacionales y extraordinarias debido a las crecidas del Río Paraguay.** Aunado a esto, el barrio tiene deficiencias en términos de infraestructura y servicios adecuados. Esto genera impactos sociales, económicos y ambientales que repercuten en la calidad de vida de la población del barrio. Las inundaciones de enero de 2018 afectaron a 23 mil familias que habitan en los Bañados de Asunción, de las cuales 13 mil habitan en el Bañado Tacumbú (BID, 2018).

En este contexto, el 24 de octubre de 2019 el Senado<sup>18</sup> de Paraguay firmó la aprobación del crédito del BID que solventará los costos de las obras del Programa de Rehabilitación y Vivienda del del Bañado Sur/Barrio Tacumbú, el cual presenta al Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones (MOPC) como organismo ejecutor. Este programa tiene como fin último mejorar la calidad de vida de los habitantes del barrio e incluye la construcción de un nuevo barrio con viviendas dignas, así como servicios, espacios públicos y equipamientos urbanos. De igual manera, considera el saneamiento y recuperación de humedales, arroyos y lagunas aledañas al barrio.

**Este Programa, consta de tres componentes, los cuales se describen a continuación:**

### Componente I. Infraestructura Urbana Sostenible

Este componente conlleva el desarrollo de infraestructura y soluciones de vivienda con base en lineamientos y criterios de construcción sostenible y resiliente, asegurando la reducción de riesgo ante inundaciones y otros efectos del cambio climático. Este incluye:

- La construcción de 1,500 soluciones habitacionales para la población en riesgo de inundaciones.
- La provisión de servicios públicos básicos que cubren agua potable, infraestructura de saneamiento, alumbrado público, electricidad y acceso vial.
- La generación de espacios públicos, equipamientos urbanos de calidad y espacios comunitarios.
- La ejecución de una estrategia de financiamiento para las familias vulnerables para el pago de servicios básicos y vivienda, con énfasis en mujeres jefas de hogar de bajos ingresos, los adultos mayores y las familias con personas con discapacidad.

18 Última Hora. (2019). Congreso sanciona préstamos por USD 400 millones para obras públicas. Cabe mencionar que USD 100 millones fueron los destinados al programa de rehabilitación de viviendas en el Bañado Sur.

## Componente II. Infraestructura Verde y Resiliencia

El segundo componente busca asegurar la resiliencia ambiental del barrio a través de la implementación de infraestructura verde y acciones de mitigación para hacer frente a los efectos del cambio climático agravantes para el barrio. Estos incluyen:

- El saneamiento y recuperación de los arroyos, lagunas y humedales existentes en el área de intervención.
- La protección de zonas naturales de amortiguamiento mediante la creación de corredores biológicos con especies nativas de la zona. Además de la reducción de la escorrentía pluvial y la mejora de la reserva ecológica de la bahía de Asunción.
- La reducción de la escorrentía pluvial. Esto involucra el desarrollo de estrategias estructurales y no estructurales a través de infraestructura verde para aliviar la presión que eventos extremos ejercen en el drenaje.
- La siembra de arbolado urbano en espacios públicos, zonas peatonales y ciclovías para mitigar el efecto de isla de calor en el barrio.
- El impulso de una gestión integral y formal de residuos en el barrio; reduciendo así los riesgos de inundación por colmatación de los cuerpos de agua.

## Componente III. Sostenibilidad social e Institucional

Este componente comprende el financiamiento de actividades que promueven el incremento de la sostenibilidad social, capacidad adaptativa de las familias, la gobernanza y el desarrollo local. Estas incluyen:

- Capacitación laboral y desarrollo empresarial con enfoque de género y orientadas a las necesidades específicas de las personas de bajos ingresos o sin ocupación laboral.
- Un programa de capacitación y de contratación de mano de obra local para las obras de infraestructura.
- Acciones para la generación de una mayor gobernanza para sostener las intervenciones financiadas por el Programa.
- La implementación del programa “Barrio Sin Violencia” con actividades para prevenir la violencia de género intrafamiliar.

### **La ejecución del programa considera el diseño y ejecución de una Estrategia de Comunicación y Participación Social.**

Esta Estrategia se creó con el objetivo de fortalecer los procesos de comunicación y participación entre el gobierno y la comunidad del barrio. De manera que la toma de decisiones responda a procesos participativos, inclusivos y significativos, atendiendo las preocupaciones y las necesidades de los actores involucrados. Para lo cual se tomaron en cuenta las condiciones, características del barrio, así como las estructuras comunitarias existentes, las cuáles se caracterizan por ser redes de solidaridad consolidadas. Las organizaciones sociales del barrio Tacumbú han gestionado el acceso de sus habitantes a empleos, servicios médicos, equipamiento urbano, servicios públicos y viviendas.



## Consideraciones de cambio climático en el Programa de Rehabilitación y Vivienda del Bañado Sur/Barrio Tacumbú

### Contexto de riesgo de desastre y cambio climático del proyecto

**El Barrio Tacumbú está expuesto a fuertes amenazas climáticas como inundaciones y olas de calor.** Las inundaciones en particular, por desborde del Río Paraguay y por lluvias intensas locales, son determinantes.

En este sentido, La política de gestión de riesgo de desastre y cambio climático que hace parte del Marco de Políticas Ambientales y Sociales del BID prevé la aplicación de la metodología de riesgo de desastre y cambio climático del BID<sup>19</sup>.

La metodología tiene como objetivo establecer un proceso unificado para la identificación, evaluación y gestión del riesgo de desastre y de cambio climático para todos los proyectos y toma en consideración los niveles de información en cada etapa, la variedad de proyectos y operaciones financiadas por el BID y la disponibilidad de información dependiendo del país y del tipo de amenaza.

El resultado es un proceso sistemático y viable que agrega resiliencia, sostenibilidad y valor a los proyectos. Los principios fundamentales que inspiran esta propuesta son los siguientes:

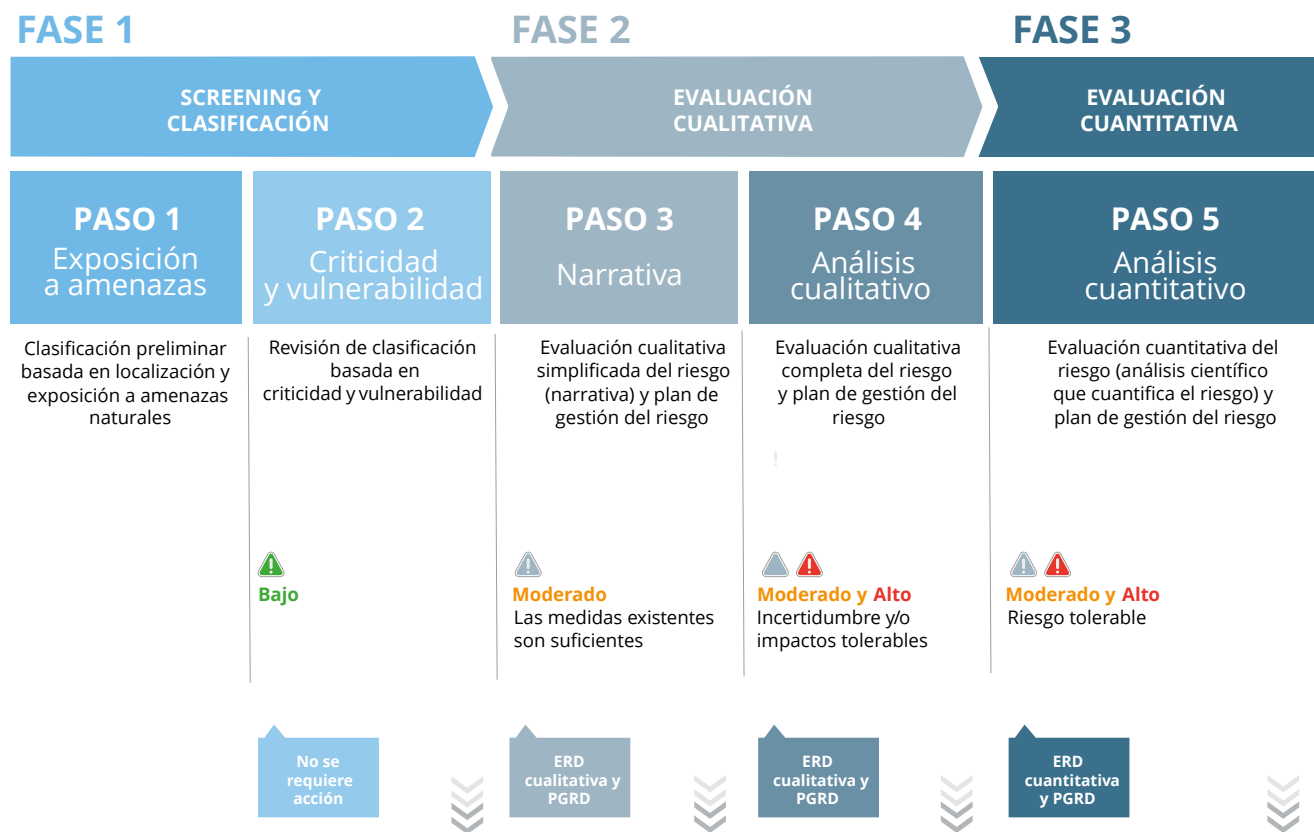
- Cumplimiento con el mandato esencial de la Política sobre no financiar proyectos que aumenten el riesgo social, económico o ambiental en términos absolutos con respecto a la línea de base.
- Aclaración de las implicancias de considerar tanto el riesgo de desastre y de cambio climático sobre proyecto mismo, como la potencial exacerbación del riesgo de desastre y cambio climático existente sobre terceros debido al proyecto.
- Mejoramiento de los procesos y productos mediante el fortalecimiento del marco conceptual, posibilitando un proceso escalable, desarrollando herramientas y recomendaciones concretas.

<sup>19</sup> BID 2019 - Resumen ejecutivo Metodología de evaluación del riesgo de desastres y Cambio Climático

La Metodología propuesta incluye una serie de fases y pasos donde los esfuerzos y los recursos guardan relación con los niveles de riesgo, tal como lo muestra la siguiente figura:

Figura 10. Metodología de evaluación de riesgo de desastres y cambio climático.

## METODOLOGIA



## CICLO DEL PROYECTO

Identificación » Preparación »

**IMPLEMENTACIÓN:** Dado que no existen requerimientos relacionados con el ciclo de vida de las operaciones, estos pasos pueden completarse después de la aprobación.

Fuente: Edición propia en base a BID-Resumen ejecutivo Metodología de evaluación del riesgo de desastres y Cambio Climático-2019.

# FASE 1

## Screening

**Se aplica a todos los proyectos del BID y consta de dos pasos:**

### **PASO 1: Clasificación preliminar en base a la ubicación y las amenazas**

El primer paso supone la utilización de la Herramienta de screening actual<sup>20</sup> en el sistema central de gestión de operaciones del BID. Esta herramienta es utilizada por los especialistas del BID para identificar si para un proyecto aplica la Política de gestión del riesgo de desastres mediante la consideración de las posibles amenazas que podrían afectar al proyecto. La herramienta se basa en una serie de preguntas específicas para cada proyecto y está respaldada por una plataforma con un sistema de información geográfica (SIG) que permite a los especialistas completar la herramienta con precisión. El resultado es una clasificación inicial del riesgo de la operación. Esta clasificación está incluida en el Formulario de screening de salvaguardias.

La herramienta proporciona automáticamente una clasificación inicial del riesgo de desastres y cambio climático de la operación, que puede ser riesgo bajo, moderado o alto, en base a las respuestas del cuestionario. El cuestionario, que está incluido en el sistema central de gestión de operaciones del BID, incluye un enlace hacia una plataforma con un SIG que contiene en total 21 mapas de amenazas como ayuda para contestar las preguntas sobre exposición a amenazas naturales.

De los 21 mapas, 10 se relacionan con amenazas naturales sin considerar el cambio climático, incluidas amenazas geofísicas (sismo, tsunami, deslizamiento de tierra, incendio, erupción volcánica, viento huracanado, marea de tormenta, inundaciones por desbordamiento de ríos, sequías y olas de calor) y los restantes 11 se relacionan con amenazas hidrometeorológicas que consideran el cambio climático (aumento del nivel del mar, sequía, escasez de agua, dos proyecciones de olas de calor y cinco proyecciones de precipitaciones, todas para fin de siglo).

### **PASO 2: Clasificación basada en criticidad y vulnerabilidad**

El segundo paso de la Metodología propuesta está diseñado para reflejar la criticidad y los niveles de vulnerabilidad propios del proyecto y complementar el resultado del paso anterior para obtener una clasificación de riesgo de desastres y cambio climático que sea representativa de la operación en sí y no simplemente de las amenazas. La vulnerabilidad se refiere a las cualidades inherentes que determinan la susceptibilidad de una estructura (o sistema) de sufrir daños. La criticidad se refiere al grado de importancia que tiene una estructura o un sistema en un contexto más amplio debido al tipo y a la escala de los servicios o de la funcionalidad que ofrece. Ambos conceptos permiten un mejor entendimiento de las posibles consecuencias (impactos físicos en la estructura, en la población y en los servicios) que una falla de la operación podría generar debido a amenazas naturales.

<sup>20</sup> El cuestionario sobre riesgo de desastres y cambio climático se incluyó en la Herramienta de preselección de salvaguardias por primera vez en 2012. El resultado es una clasificación inicial del riesgo de la operación. Esta clasificación está incluida en el Formulario de screening de salvaguardias.



Para facilitar el proceso de reconocimiento de las características que hacen a una estructura o a un sistema más o menos crítico y vulnerable, se incluyen preguntas orientativas generales sobre características físicas, nivel del servicio provisto y magnitud de posibles efectos negativos sobre terceros. Además, trabajando en conjunto con especialistas sectoriales, se desarrollaron múltiples gráficos específicos para distintos subsectores que ilustran este concepto para vías, sistemas de agua y saneamiento y represas hidroeléctricas, escuelas, hospitales, proyectos urbanos e infraestructura de riego, entre otros. Estos gráficos reflejan los atributos más universales como también los técnicamente pertinentes de cada tipo de infraestructura que constituyen la principal preocupación para el sector correspondiente. El siguiente gráfico es el ejemplo desarrollado para la infraestructura de agua y saneamiento.

**El objetivo de este paso es ayudar identificar características críticas del proyecto, complementar la clasificación inicial del riesgo de la operación en base a las amenazas y decidir (según la clasificación resultante) si es necesario realizar una evaluación adicional del riesgo.** Como resultado de esta fase los proyectos se clasifican como de riesgo bajo, moderado o alto (si como resultado del Paso 2 surge una nueva clasificación, el formulario de screening de salvaguardias debe ser actualizado para reflejar dicha clasificación). Si la operación es clasificada como de bajo riesgo, puede abandonar el proceso en esta instancia; todas las demás deben pasar a la Fase 2.

## FASE 2

### Evaluación cualitativa del riesgo de desastres y cambio climático

Se aplica a todos los proyectos del BID clasificados como de riesgo moderado o alto y consta de dos pasos. Algunos proyectos clasificados como de riesgo moderado pueden omitir el Paso 4 y los siguientes pasos, si el Paso 3 reúne suficiente información.

#### **PASO 3: Evaluación cualitativa simplificada del riesgo (narrativa del riesgo) y plan de gestión del riesgo**

El tercer paso se aplica a todos los proyectos con riesgo moderado y alto y supone recopilar todos los datos relevantes sobre estudios, documentos y consideraciones de diseño que ya existan para la operación. El objetivo es documentar cómo y en qué medida se tuvieron en cuenta temas de gestión del riesgo de desastres y cambio climático.

Este paso también funciona como un primer filtro para identificar las operaciones de riesgo moderado que (junto con las de riesgo alto) deben pasar al siguiente paso y las que pueden abandonar el proceso en esta instancia debido a que demostraron de forma suficiente (en base a la narrativa) que las cuestiones relacionadas con riesgos han sido abordadas de forma adecuada.

#### **PASO 4: Evaluación cualitativa completa del riesgo**

El cuarto paso supone realizar una evaluación cualitativa completa del riesgo acompañada de un plan de gestión del riesgo de desastres para todos los proyectos de riesgo alto, como así también para los de riesgo moderado que lo requieran según se determinó en el paso anterior.

Esto podría, por ejemplo, suponer la realización un análisis de modos de falla con expertos en el tema y en el sector para evaluar cualitativamente todas las formas en que un proyecto podría fallar como consecuencia del acontecimiento de un fenómeno natural, las causas de la falla y las consecuencias tanto para la estructura como para el entorno y las comunidades aledañas, incluida una estimación del orden de magnitud de los impactos que no ocurrirían si el proyecto no se realiza.

Al realizar primero una evaluación cualitativa de todos los riesgos es posible determinar fácilmente si se requiere una evaluación cuantitativa detallada, y si la respuesta es afirmativa, la evaluación cuantitativa puede ser enfocada adecuadamente para cubrir únicamente las partes específicas de la operación y los temas que realmente la requieren. Este paso incluye también un plan de gestión del riesgo de desastres y cambio climático para las características de la operación que se considera que no comprometen su viabilidad técnica y/o económica; las que sí pueden comprometer la viabilidad de la operación deben pasar a la Fase 3.



## FASE 3

### Evaluación cuantitativa del riesgo de desastres y cambio climático

Se aplica a todas las características específicas de una operación que requieran una evaluación cuantitativa conforme a los resultados del PASO 4.

#### PASO 5: Evaluación cuantitativa del riesgo de desastres y cambio climático

El quinto paso supone la realización de una evaluación cuantitativa del riesgo acompañada de un plan de gestión del riesgo de desastres y cambio climático (PGRD) para las operaciones de riesgo alto o moderado que lo requieren, según se determinó en los pasos anteriores.

Esto implica modelar cuantitativamente los aspectos (que pueden estar vinculados con atributos físicos específicos, estructuras, modos de falla o amenazas) que se determinó requieren mayor investigación. Implica también evaluar científicamente y matemáticamente la vulnerabilidad, la amenaza y el riesgo para esos aspectos seleccionados de la estructura en sí, del entorno y de las comunidades aledañas, incluida una estimación de los impactos que no ocurrirían si el proyecto no existiese.

También debe realizarse una evaluación de tolerabilidad al riesgo y de viabilidad técnica y económica para asegurar el cumplimiento con la política del Banco (no aumentar el riesgo con respecto a la situación actual y cumplir con las mejores normas de tolerabilidad de cada subsector).

La Metodología ofrece diversos métodos, técnicas y modelos para calcular el riesgo tanto de estructuras individuales como de sistemas según los tipos de amenazas, estructuras y nivel de detalle requerido.

Además de lo anterior, ciertos métodos innovadores como la metodología de Decisiones Robustas (Robust Decision Making o RDM, por sus siglas en inglés) están cobrando creciente relevancia para los sistemas con una incertidumbre significativa. Este método difiere de los análisis estándar de costo-beneficio, que buscan predecir costos y beneficios de un conjunto de proyectos o diseños de proyecto iniciales para luego seleccionar la opción óptima, todo ello supeditado a una caracterización exhaustiva de las incertidumbres.

Por el contrario, la metodología de RDM utiliza primero modelos de simulación para probar bajo condiciones forzadas una o unas pocas acciones seleccionadas (políticas y/o inversiones) según una amplia gama de futuros plausibles (Groves y Lempert, 2007; Lempert y otros, 2003, 2006) conforme a una lista de numerosos criterios de medición del éxito. Se ha utilizado ampliamente en el sector del agua en la última década.

El PGRD podría incluir diferentes tipos de medidas, como recomendaciones sobre:

- **Diseño:** medidas grises (soluciones estructurales o de ingeniería) como la construcción de lagunas de retención u otras estructuras como muros de retención, o medidas verdes (por ejemplo mediante la adaptación basada en el ecosistema);
- **Construcción:** plan de respuesta a la emergencia durante los trabajos de construcción; y
- **Operación:** medidas relacionadas con cambios en procesos y procedimientos para la operación y el mantenimiento de un proyecto (por ejemplo, ajustar la frecuencia de limpieza de un canal de drenaje para garantizar su máxima capacidad), planes de continuidad del negocio y/o de contingencia, sistemas de alerta temprana, esquemas de protección financiera (incluidos los seguros); o bien podría constituir una combinación híbrida de los aspectos anteriores.

Banco San Miguel. Fotografía: Jorge Saenz.



Las medidas establecidas en el PGRD deben incluir un indicador de costo beneficio, como así también el nivel o prioridad.

### Evaluación cuantitativa de riesgos de desastres y cambio climático

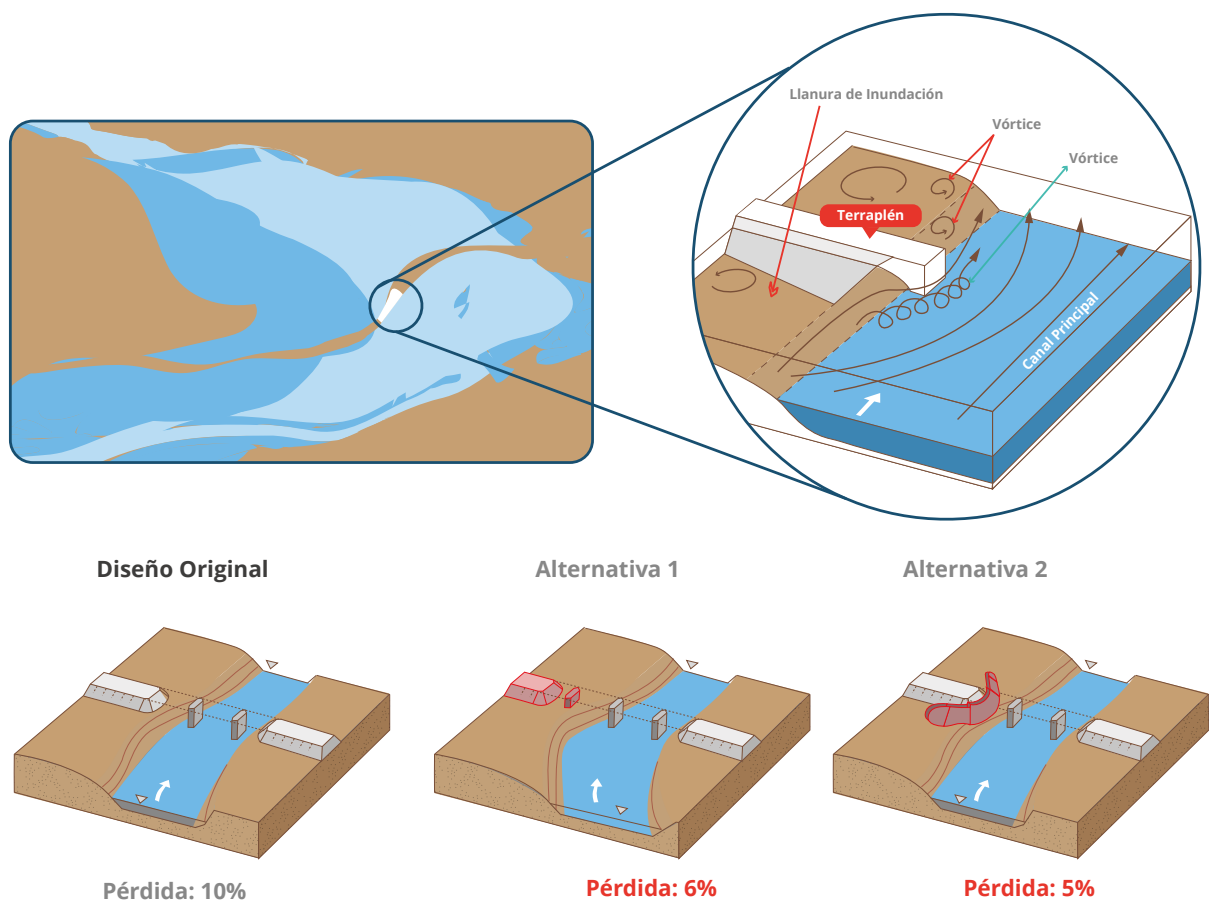
La evaluación cuantitativa del riesgo es un modelo matemático y/o físico utilizado para cuantificar el riesgo en términos económicos (pérdidas económicas esperadas).

Los métodos para calcular el riesgo varían desde métodos simples de “exposición” (donde se calcula únicamente la cantidad de personas y activos expuestos a la amenaza), hasta métodos totalmente probabilistas (donde la modelación se realiza estrictamente bajo la teoría probabilista para obtener el rango completo de posibles pérdidas).

Las opciones intermedias incluyen métodos deterministas donde se modelan uno o más escenarios discretos de amenaza (simulados o bien recreados históricamente, por ejemplo, escenarios de diseño o del peor caso posible) y se calcula la vulnerabilidad y las pérdidas previstas para esos escenarios.

Las siguientes figuras muestran un ejemplo hipotético de un modelo y un cálculo de riesgo (incluida la modelación de la amenaza y de la vulnerabilidad) y la correspondiente evaluación cuantitativa de las medidas propuestas para reducir el riesgo.

Figura 11. Metodología de evaluación de riesgo de desastres y cambio climático.



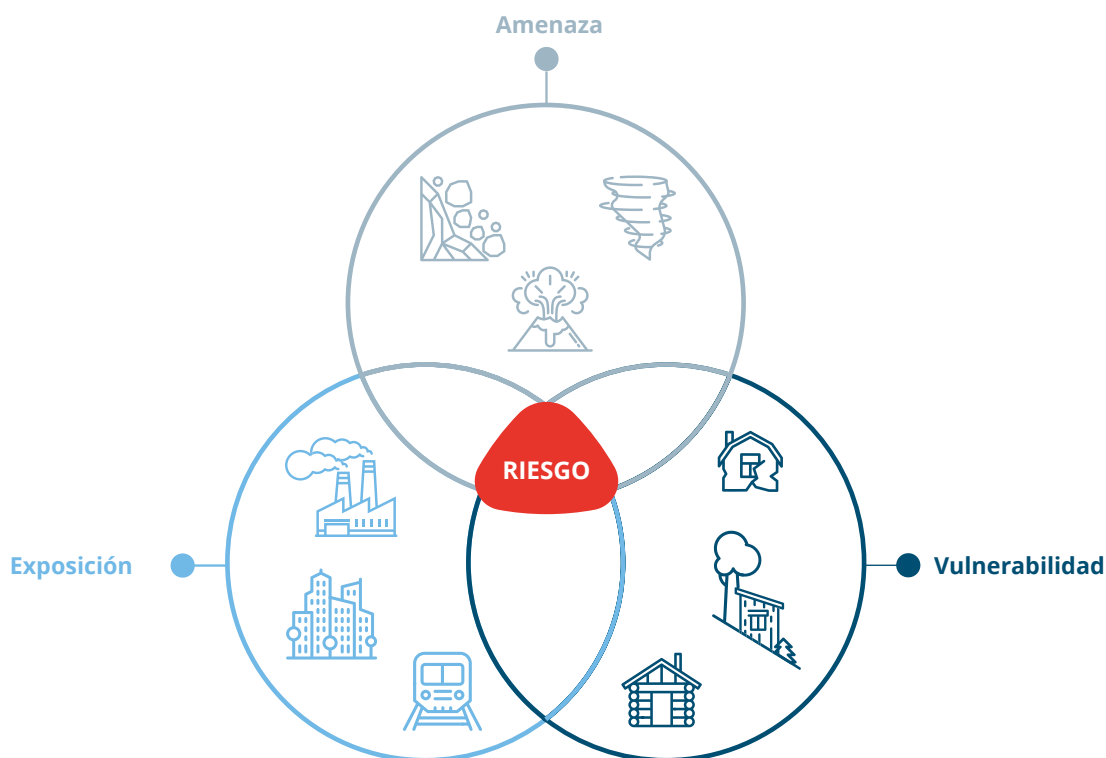
Fuente: Edición propia en base a BID-Resumen ejecutivo Metodología de evaluación del riesgo de desastres y Cambio Climático - 2019



## 3.2 Metodología para análisis de riesgo

La metodología presentada en este estudio se basa en la “Metodología de Evaluación del Riesgo de Desastres y Cambio Climático para proyectos del BID” (BID, 2019), que fundamenta la NDAS 4 del MPAS donde se define que 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 esa amenaza.

**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).**



El esquema indica que el impacto total que puede producir un evento tiene una probabilidad asociada que resulta de combinar la probabilidad de que ocurra dicho evento (amenaza), la probabilidad de que afecte espacialmente zonas ocupadas (exposición) y, finalmente, la de que los activos y personas expuestos sufran daños (vulnerabilidad).

Figura 12. Esquema amenaza-exposición-vulnerabilidad-riesgo utilizado en este estudio.



## Amenaza

Proceso natural potencialmente peligroso.

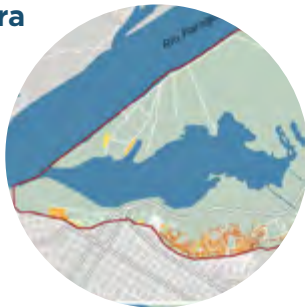
**Variables naturales**  
¿cada cuánto? (probabilidad)



## Exposición

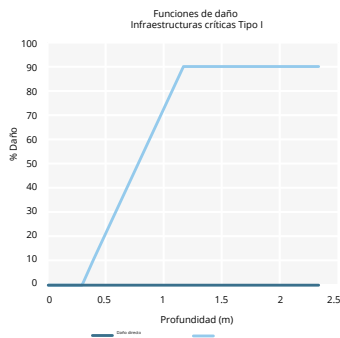
Elementos localizados en áreas de amenaza

- Infraestructura**
- Viviendas**
- Personas**
- Servicios**
- Ecosistemas**
- Otros**



## Vulnerabilidad

Características de los elementos y de las comunidades que los hacen susceptibles a los efectos dañinos de la amenaza

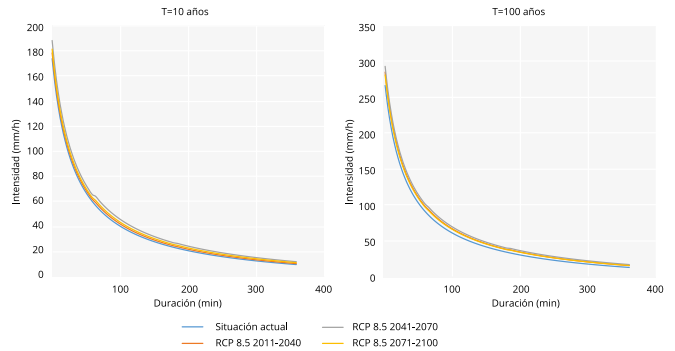


## Riesgo



Combinación de la probabilidad del evento y sus consecuencias negativas

**Pérdidas (PML, PAE...)**  
**Personas, servicios críticos, etc**



Fuente: Elaboración propia.



A continuación, se recogen y definen los componentes del riesgo, siguiendo y/o adaptando las definiciones propuestas por la UN International Strategy for Disaster Reduction (2009) y aplicadas por la Intergovernmental Oceanographic Commission en el documento “Hazard Awareness and Risk Mitigation in Integrated Coastal Area Management (ICAM)” (Organization (WMO) *et al.* 2009):

- **Riesgo:**  
La combinación de la probabilidad de que se produzca un evento y sus consecuencias negativas.
- **Amenaza:**  
Un fenómeno, sustancia, actividad humana o condición peligrosa que pueden ocasionar la muerte, lesiones u otros impactos a la salud, al igual que daños a la propiedad, la pérdida de medios de sustento y de servicios, trastornos sociales y económicos, o daños ambientales. Una amenaza está caracterizada por su localización, intensidad, frecuencia, probabilidad de ocurrencia y duración.
- **Exposición:**  
La población, las propiedades, los sistemas u otros elementos presentes en las zonas donde existen amenazas y, por consiguiente, están expuestos a experimentar pérdidas potenciales.
- **Vulnerabilidad:**  
las condiciones y características de los elementos expuestos a la amenaza que les hacen más susceptibles de sufrir los impactos negativos de la misma y que, en definitiva, pueden implicar una mayor o menor afección al sistema. En evaluaciones probabilísticas / cuantitativas del riesgo, el término Vulnerabilidad expresa el porcentaje de elementos expuestos que es probable que se pierdan debido a una determinada amenaza.





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 amenazas naturales.

**El procedimiento consiste en modelar un conjunto de escenarios de intensidades de inundación asociados con determinados Periodos de Retorno, con los cuales se afecta la cartera de activos expuestos para evaluar las pérdidas asociadas a dichos periodos de retorno y así obtener una aproximación a la distribución de pérdidas esperadas para distintas probabilidades.**

La métrica más común que se puede obtener de este análisis es:

- La pérdida anual promedio (PAP).

Un estudio de esta naturaleza consta de cuatro módulos:

- Módulo de amenaza.
- Módulo de exposición.
- Módulo de vulnerabilidad.
- Módulo de riesgo.

Cada uno de los cuales se explica a continuación.



**Figura 13.** Mapa presentando la ubicación del área de estudio en el contexto de la Cuenca de la Plata.



## 3.3 Caracterización de Área del Estudio

**El área metropolitana de Asunción está situada sobre la orilla izquierda (oriental) del río Paraguay, casi frente a la confluencia de éste con el río Pilcomayo. El río Paraguay es el cuerpo hidrográfico más importante de la ciudad y la separa al noroeste de la región Occidental y al sur del territorio de la República Argentina, encontrándose rodeada por el departamento Central, con el que limita al norte, este y sur.**

**Asunción se encuentra dentro de la subcuenca del Río Paraguay, que a su vez forma parte de la gran Cuenca de la Plata, la segunda más extensa en América del Sur.** La Cuenca de la Plata se localiza en el sureste del continente sudamericano, abarcando territorios de cinco países: Argentina, Bolivia, Brasil, Paraguay y Uruguay - ver Figura 3. Tiene una extensión de 3,182,000 km<sup>2</sup>, equivalente al 17% de la superficie de América del Sur. Abarca gran parte del sur, del sudeste y del centro-oeste del Brasil, (1,414,000 km<sup>2</sup>); casi todo el norte, la Mesopotamia y la pampa húmeda de Argentina (984,000 km<sup>2</sup>); todo el territorio de Paraguay (407,000 km<sup>2</sup>); el SE de Bolivia (222,000 km<sup>2</sup>); y gran parte de Uruguay (155,000 km<sup>2</sup>). Está formada por tres sistemas hídricos principales: los de los ríos Paraguay, Paraná y Uruguay (Maschinen *et al.* 2016).

El río Paraguay nace en Brasil, en la meseta central del Mato Grosso a una altura de 300 metros sobre el nivel del mar. Luego discurre en dirección sur a través de las marismas del Gran Pantanal. En un corto tramo, forma frontera con Bolivia, entre la laguna La Gaiba y la laguna Mandioré y se interna en el Paraguay, pasando por su capital Asunción, y tras la desembocadura por la margen derecha de uno de sus afluentes, el río Pilcomayo, y en su tramo final, su curso comienza a ser la frontera entre la Argentina y el Paraguay, hasta desaguar en el río Paraná frente a la localidad argentina de Isla del Cerrito.

**El río Paraguay constituye el afluente más importante del río Paraná con el cual es considerado el segundo sistema fluvial más importante de Sudamérica; conteniendo en su cuenca y sistema, al humedal más grande del mundo “El Pantanal”, el cual abarca más de 140,000 km<sup>2</sup> en Brasil, Paraguay y Bolivia.**

Su cuenca hidrográfica está constituida principalmente por una gran planicie que cuenta con un área tributaria del orden de los 800,000 km<sup>2</sup> hasta la ciudad de Asunción y de 1,124,250 km<sup>2</sup> hasta su desembocadura en el río Paraná (35.3% de la cuenca del Plata) encontrándose entre las 20 mayores de la tierra. Su cauce principal tiene una longitud total de alrededor 2,695 km, que lo sitúan también entre los 40 ríos más largos del mundo. Tras unirse al río Paraná continúa su recorrido por Argentina y desemboca finalmente en Mar de Plata en el Atlántico Sur.



### 3.3 Caracterización de Área del Estudio

El río Paraguay es un río de llanura, por lo que las variaciones de sus caudales son lentas a lo largo de todo el tramo de su recorrido, presentando un solo máximo y mínimo anual en todos los puntos de control (ICES, 2014). Su pequeñísimo desnivel (5 a 6 cm/km) y los muchos meandros que se forman, son la causa de la extrema lentitud de su curso, hasta el extremo de que se ha calculado que lleva cerca de 6 meses que el agua que fluye de Corumbá, en Brasil, llegue al Río de la Plata.

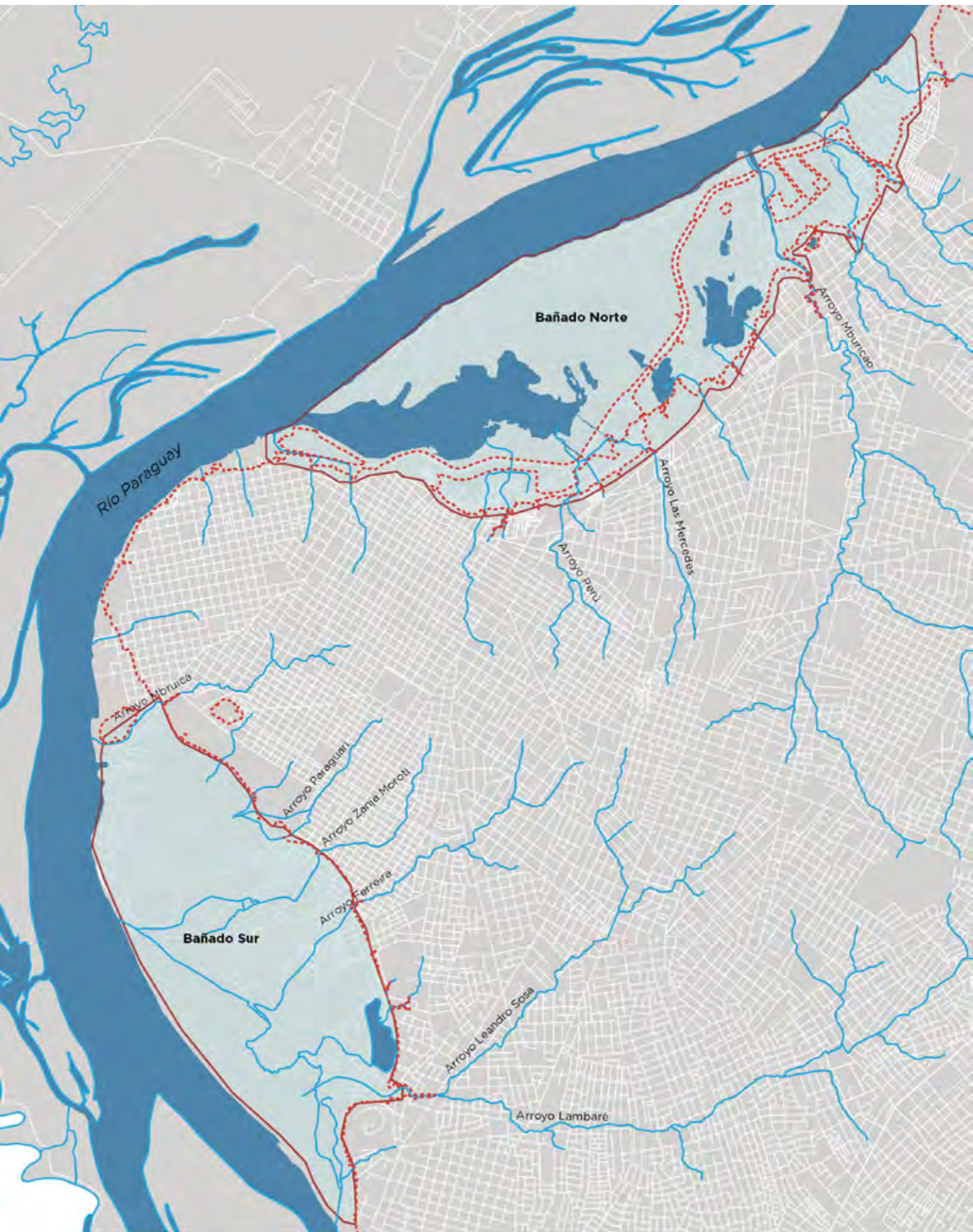
En Asunción, el cauce del río Paraguay desciende desde el norte, bordea el pequeño cabo Itá Pytá Punta, para luego tomar su rumbo hacia el sur. A su paso, hacia la orilla izquierda, forma la Bahía de Asunción, donde se encuentra el puerto más importante del país. La ciudad cuenta con varios arroyos que atraviesan la ciudad y desembocan en el río Paraguay, y algunos de ellos se encuentran escondidos recorriendo los subsuelos de la ciudad. Estos son: Mburicaó, Cará Cará, Jaen, Mburicá, Paraguari, Zanja Morotí, San Vicente, Leandro y Lambaré, entre otros (ICES, 2014) – ver Figura 14.

**Las inundaciones producidas por las crecidas del Río Paraguay en la ciudad de Asunción, especialmente, en la zona baja de la Bahía, han traído consigo consecuencias desfavorables para los pobladores de las zonas inundadas.** Los bañados de Asunción constituyen áreas naturales de inundación a las orillas del río Paraguay. Con el paso de los años en estos bañados se han ubicado asentamientos irregulares de población de escasos recursos económicos principalmente (ICES, 2014).

Como consecuencia, la inundación de estas áreas se ha convertido en uno de los problemas socio ambientales más serios en la ciudad. Cuando los bañados sufren crecidas del río significativas los residentes deben abandonar sus casas por un largo periodo de tiempo que puede durar meses debido al régimen lento del río. Durante este periodo de evacuación, las condiciones de vida de estas personas se deterioran considerablemente debido a la falta de trabajo, comida y acceso a infraestructuras sanitarias causando serios problemas sociales, económicos, de salud pública y medioambientales (ICES, 2014).

Por otro lado, se producen inundaciones urbanas debidas a las lluvias que afectan tanto a estas áreas ribereñas como a zonas con pendientes principalmente las calles de la ciudad, debido a la falta de un sistema de drenaje apropiado tanto pluvial como cloacal con que cuenta la ciudad. Según el Plan de Drenaje Pluvial Urbano del Gran Asunción (NK – NKLAC, 2015), las causas principales de la inundación urbana debidas al microdrenaje son, por un lado, la falta de un sistema apropiado de desagüe pluvial con una sección de paso suficiente, con una cobertura de aproximadamente el 17%, (lo que produce que las lluvias caídas se concentren en las calles) y por el otro, la acumulación de basura en cauces y alcantarillas que obstruyen el paso del agua. En cuanto a la causa principal de las inundaciones debidas al macrodrenaje, el plan señala a la ocupación de áreas inundables en las riberas del río Paraguay y de los arroyos de la zona.

Figura 14. Mapa del área de estudio identificando los principales arroyos que aportan caudal a los bañados.



- Leyenda**
- Cota 64 msnm
  - Arroyos
  - Bañados de Asunción



### 3.3 Caracterización de Área del Estudio

Para llevar a cabo esta tarea, el aspecto fundamental en cualquier estudio hidrológico/hidráulico, y que además condiciona la precisión de los resultados de los estudios de inundación, es la propia calidad de los datos topográficos disponibles (la precisión de los datos altimétricos del terreno). En el presente estudio se ha generado un modelo digital del terreno (MDT) de un metro de resolución combinando toda la información topográfica disponible y los MDTs de detalle para las áreas de interés, Bañado Norte y Bañado Sur, desarrollados mediante servicios de fotogrametría aérea para el presente proyecto.

Concretamente se han utilizado los siguientes datos:

- **MDTs de detalle de los bañados:** Mediante servicios de fotogrametría aérea donde se realizó un modelo digital detallado de superficie de los Bañados Norte y Sur (ver Figura 15 y Figura 16).
- **Curvas de nivel de 2012 en el área de Asunción** realizadas por Nippon-Koei en el marco del desarrollo del Plan Maestro de Alcantarillado de Asunción con una resolución de 1 metro.
- **Batimetría del río Paraguay:** se dispone de pequeños tramos de información batimétrica a lo largo de tramos de estudio que se han completado con la información de cartas náuticas obtenidas de <https://webapp.navionics.com>
- **Batimetría de la laguna Yrupe localizada en el Bañado Sur realizada utilizando un equipo “Acoustic Doppler Current Profiler” (ADCP)** por sus siglas en inglés, el cual es un instrumento que calcula las componentes de la velocidad del agua en diferentes capas de la columna de la misma, en las 3 direcciones, así como también la topografía del fondo.
- **MDT global de la ALOS Misión, realizada por la JAXA** (Japón) en colaboración con la NASA (EEUU) y que cuenta con una resolución de 12.5 m.

Puesto que las fuentes de información topográfica de las que se dispone tienen diferente calidad y nivel de resolución se ha empleado el MDT de base a píxeles de 1 metro manteniendo sus valores originales y, además, se ha realizado un proceso de edición manual para corregir solapes e imperfecciones generados en los procesos automáticos de interpolación, mejorar la traza e implementación de los fondos de los cuerpos de agua en las zonas de los bañados (pequeñas quebradas y lagunas) e incluir los pasos bajo la costanera norte de las quebradas que desembocan en el bañado.

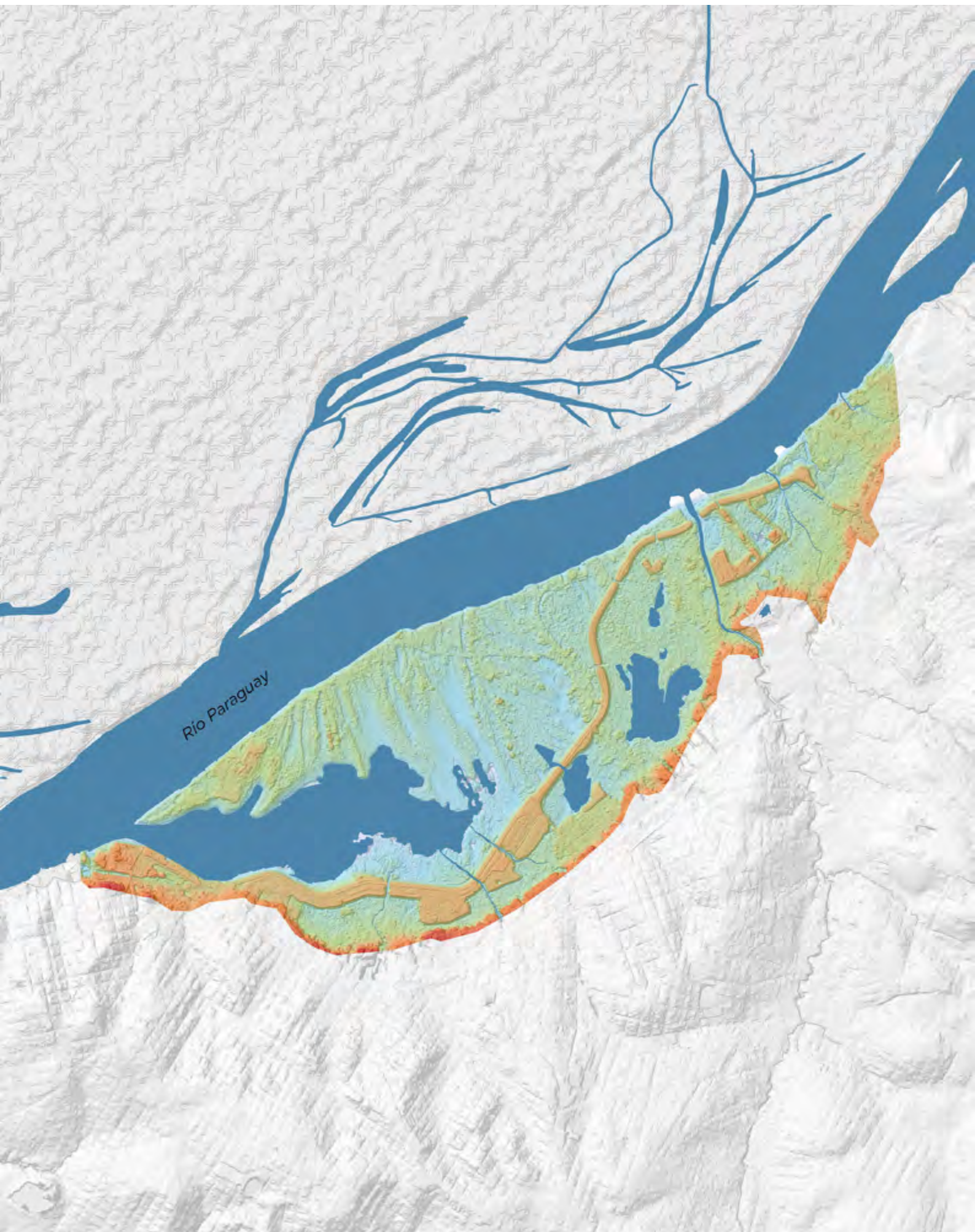
Adicionalmente, se ha considerado la reciente ejecución de rellenos en la margen derecha del río, aguas arriba del Bañado Norte, que aún no se encuentran reflejados en los modelos digitales del terreno (MDT) de bases de datos globales y que, según información local, se sitúan de forma generalizada a la cota 64. El MDT resultante se presenta en la Figura 17.

Para representar de manera adecuada el desbordamiento del río Paraguay a su paso por la ciudad de Asunción se ha considerado una escala que considera un tramo de río de unos 65 km de longitud que va desde Villa Hayes (aguas arriba) hasta Villeta (aguas abajo) con una anchura de alrededor de 5 km a ambos márgenes del río obteniendo, de esta manera, un área de estudio de 660 km<sup>2</sup> – ver Figura 19.

En cuanto a las escalas para el análisis de la inundación pluvial se definió la delimitación de cuencas en base en el modelo digital del terreno (MDT) de un metro de resolución generado para el presente proyecto (ver Figura 17). En la Figura 18 se presentan las cuencas vertientes a los bañados y en la Tabla 1 sus principales características.

Por último, en la Figura 19 se presentan las tres escalas de estudio de forma conjunta, río Paraguay, Bañado Norte y Bañado Sur donde, para ambos bañados, además de las cuencas vertientes a los mismos se incluye el área de cada uno de los bañados y el tramo del río Paraguay colindante a los mismos, obteniendo un área de estudio de 85.5 km<sup>2</sup> para el Bañado Norte y de 75.91 km<sup>2</sup> para el Bañado Sur.

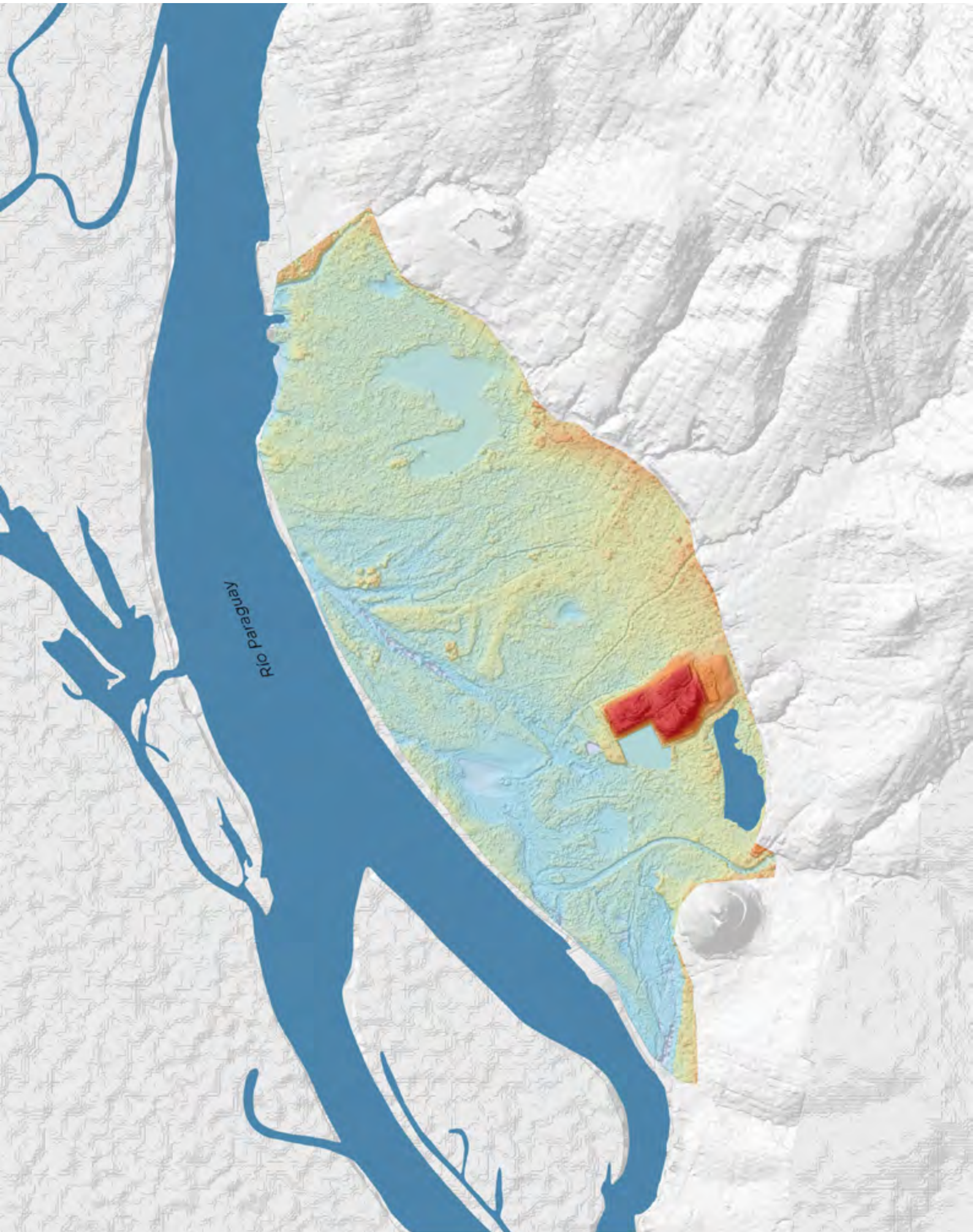
Figura 15. Modelo digital del terreno de detalle del Bañado Norte 0.3 m de resolución.



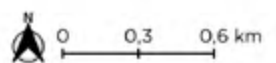
**Leyenda**  
MDT Bañado Norte  
80,643  
1,80255



Figura 16. Modelo digital del terreno de detalle del Bañado Sur 0.3 m de resolución.



Leyenda  
MDT Bañado Sur  
87,9577  
0





**Tabla 1.** Principales características de las cuencas vertientes a los bañados.

| ZONA         | CUENCA | ÁREA VERTIENTE (KM <sup>2</sup> ) | LONGITUD (KM) | PENDIENTE (M/M) | TIEMPO DE CONCENTRACIÓN* (H) |
|--------------|--------|-----------------------------------|---------------|-----------------|------------------------------|
| Bañado Norte | 1      | 4.59                              | 5.28          | 0.009           | 2.6                          |
|              | 2      | 0.70                              | 2.12          | 0.022           | 1.1                          |
|              | 3      | 6.93                              | 6.93          | 0.010           | 3.1                          |
|              | 4      | 2.80                              | 4.21          | 0.015           | 2.0                          |
|              | 5      | 4.00                              | 6.21          | 0.011           | 2.8                          |
|              | 6      | 16.99                             | 11.86         | 0.008           | 4.9                          |
|              | 7      | 2.22                              | 3.47          | 0.014           | 1.7                          |
|              | 8      | 1.80                              | 2.62          | 0.022           | 1.3                          |
|              | 9      | 2.51                              | 4.92          | 0.020           | 2.1                          |
|              | 10     | 3.44                              | 4.32          | 0.022           | 1.9                          |
|              | 11     | 1.75                              | 3.35          | 0.025           | 1.5                          |
|              | 12     | 1.25                              | 2.28          | 0.023           | 1.1                          |
|              | 13     | 2.73                              | 4.13          | 0.019           | 1.9                          |
|              | 14     | 0.64                              | 2.07          | 0.030           | 1.0                          |
|              | 15     | 0.54                              | 1.74          | 0.033           | 0.9                          |
| Bañado Sur   | 16     | 0.75                              | 2.51          | 0.026           | 1.2                          |
|              | 17     | 2.66                              | 4.83          | 0.017           | 2.1                          |
|              | 18     | 7.65                              | 6.24          | 0.014           | 2.7                          |
|              | 19     | 4.66                              | 6.07          | 0.015           | 2.6                          |
|              | 20     | 2.79                              | 5.20          | 0.015           | 2.3                          |
|              | 21     | 26.85                             | 13.20         | 0.010           | 5.2                          |
|              | 22     | 1.42                              | 2.44          | 0.042           | 1.1                          |
|              | 23     | 0.84                              | 1.97          | 0.037           | 0.9                          |
|              | 24     | 1.43                              | 2.70          | 0.032           | 1.2                          |
|              | 25     | 0.41                              | 1.93          | 0.033           | 0.9                          |

(\*) Tiempo de concentración obtenido mediante la fórmula de Témez (1978).

Fuente: Elaboración propia.

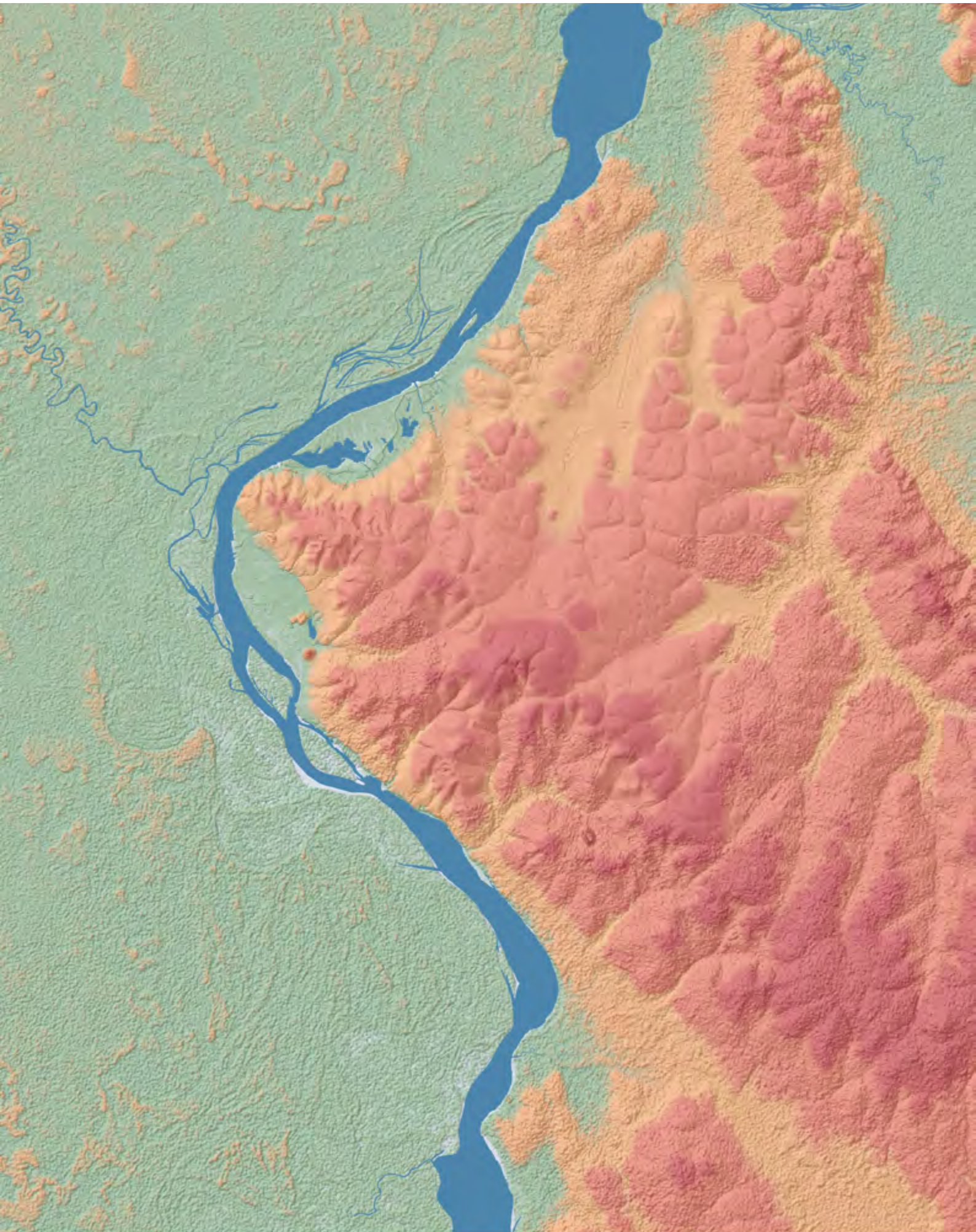
### Alcance y limitaciones de la metodología

Se debe aclarar que los modelos desarrollados para las inundaciones pluviales no han sido calibrados debido a la falta de datos de gastos así como datos de escorrentía urbana. Dentro del contexto de este estudio que se enfoca más en las diferencias entre eventos y escenarios y no en los valores absolutos.

Así mismo el análisis en si no es completamente probabilístico porque se toman ciertos escenarios bajo periodos de retorno extremos específicos para calcular la Pérdida Anual Esperada (PAE). Los escenarios son dictados a escala de la cuenca y no todos los posibles eventos a nivel de cada grilla/celda son considerados.



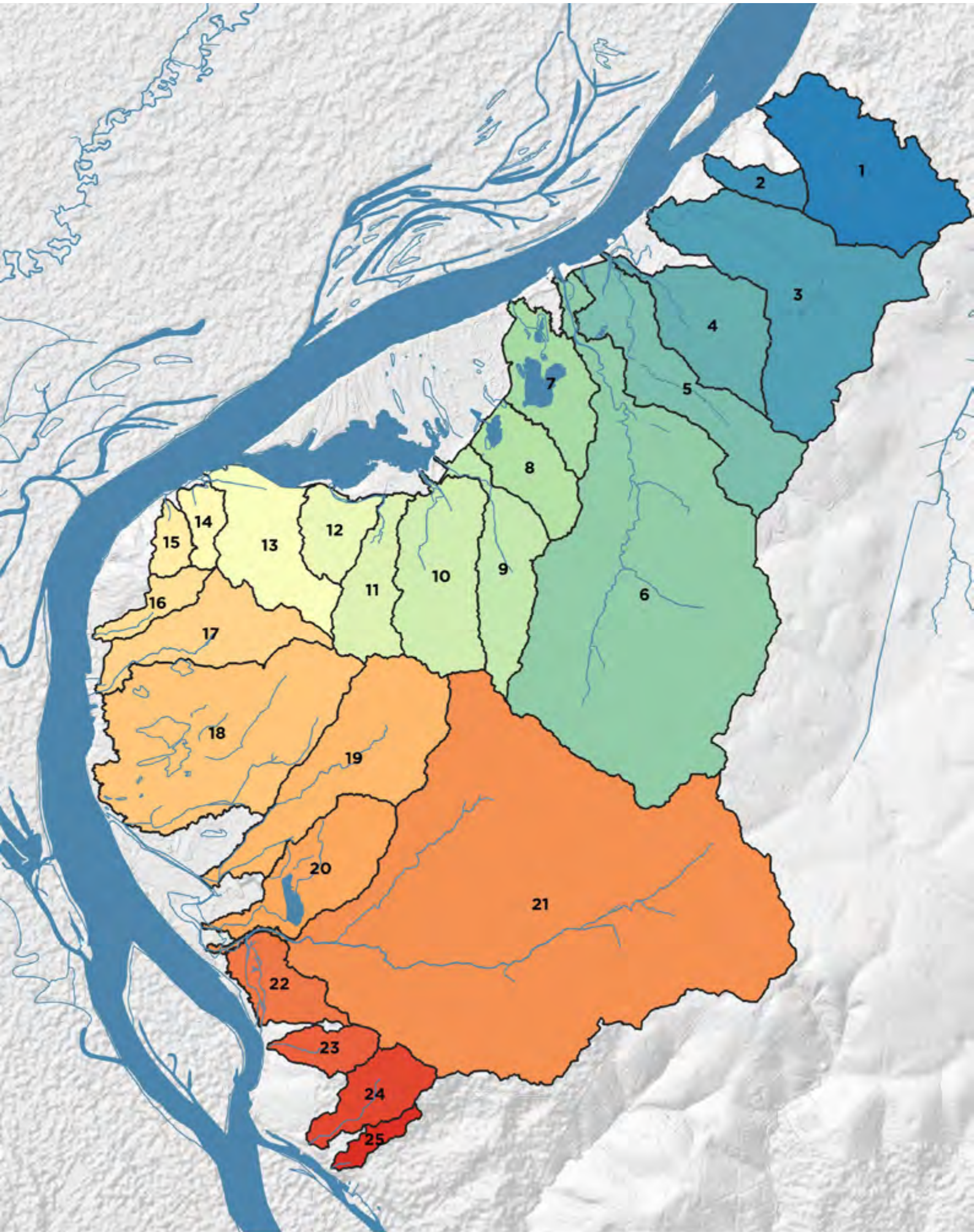
Figura 17. Modelo digital del terreno combinado de 1 m de tamaño de pixel.



**Leyenda**  
**MDT Combinado**  
278,5  
34



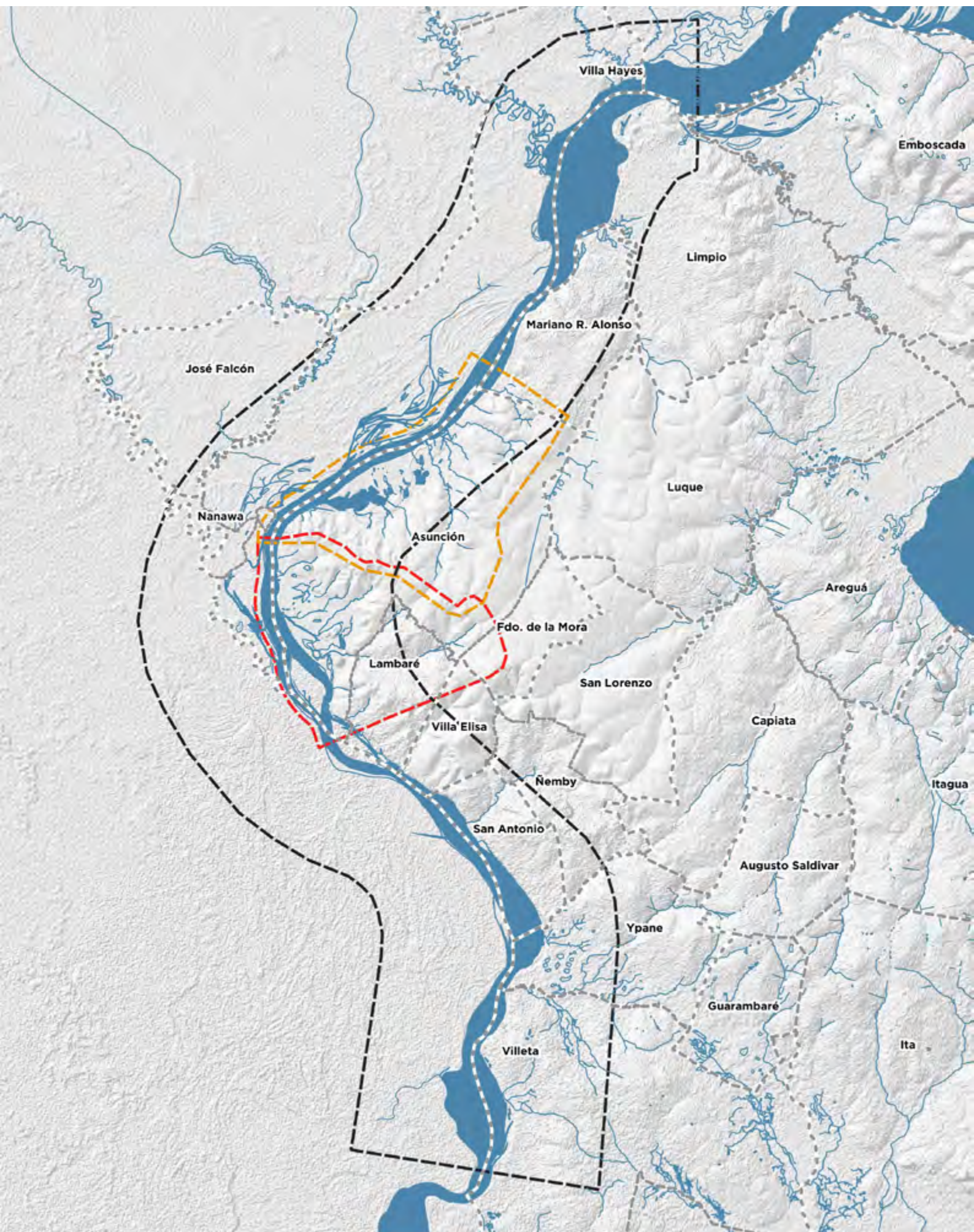
Figura 18. Delimitación de las cuencas vertientes a los bañados.



**Leyenda**  
— Cauces hidricos  
□ Cuencas vertientes a los bañados



Figura 19. Áreas de estudio definidas para las diferentes escalas de análisis.



- Leyenda**
- Modelo Río Paraguay
  - Modelo Bañado Norte
  - Modelo Bañado Sur
  - Limites distritales



Banco San Miguel 2021. Fotografía: Jorge Saenz.



# 4

## Amenazas naturales y cambio climático en los Bañados

**El análisis de la precipitación, la temperatura y los niveles del río Paraguay y su variación en el tiempo por efecto del cambio climático, constituyen aspectos clave a la hora de valorar las amenazas de la ciudad de Asunción.**

**Para llevar a cabo dicho análisis se evaluó la información recogida en estaciones meteorológicas e hidrológicas locales, y con las previsiones de cambio climático facilitadas en los informes del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) y en los estudios desarrollados dentro del Programa Marco para la Gestión Sostenible de los Recursos Hídricos de la Cuenca del Plata<sup>21</sup>.**

En los estudios del IPCC se recogen los resultados del modelado del clima futuro calculados mediante diferentes modelos climáticos (hasta un total de 21), en distintos escenarios de concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera (denominados Trayectorias de Concentración Representativas o RCPs por sus siglas en inglés)

Los modelos climáticos disponibles en la actualidad consideran la evolución del clima desde el año 2006 hasta el horizonte de 2100, y fueron calibrados con datos meteorológicos globales disponibles entre los años 1950 y 2005, el denominado periodo de referencia o retrospectivo.

Mediante técnicas de downscaling estadístico (Diez-Sierra & del Jesús, 2019), donde se ha desarrollado una metodología de downscaling<sup>22</sup> mediante modelos de regresión y modelos puntuales de desagregación temporal, se han obtenido los resultados de estos modelos globales en el área de estudio para poder así caracterizar la evolución del clima (precipitación y temperatura) en los periodos 2020-2040, 2041-2070 y 2071-2100, cuyos horizontes temporales (2040, 2070 y 2100) corresponden a escenarios de cambio en el corto, medio y largo plazo, respectivamente. Dicha predicción de cambio en la precipitación y la temperatura se ha realizado para dos escenarios de emisiones de gases de efecto invernadero:

- RCP 4.5
- RCP 8.5.

<sup>21</sup> <https://cicplata.org/es/>

<sup>22</sup> Definición: Procedimiento para inferir información de alta resolución a partir de variables de baja resolución.



El primero representa un escenario moderado en el que se prevé que las emisiones de GEI continúen creciendo hasta el año 2040, fecha a partir de la cual se habrán establecido las medidas adecuadas para reducirlas. El escenario RCP 8.5 corresponde a una situación de emisiones poco optimista, en la que la concentración de CO<sub>2</sub>-eq en la atmósfera seguirá creciendo por efecto de la actividad humana hasta el año 2100<sup>23</sup>.

En el caso de la determinación de la variación de los caudales y, por tanto, de los niveles en el río Paraguay en Asunción, se ha hecho necesario recurrir a los resultados disponibles en el estudio de la Cuenca de La Plata, mencionado anteriormente, en el que se integran los modelos de cambio climático con un modelo hidrológico de toda la cuenca. En este caso, el escenario de cambio climático disponible corresponde al RCP 4.5.

La metodología para la obtención de la distribución en el tiempo de las variables hidroclimáticas objetivo, en los diferentes escenarios de cambio climático y horizontes de cálculo, contempla las siguientes tareas:

- La definición macroclimática de la zona de estudio.
- La recopilación y análisis de la información meteorológica e hidrológica disponible.
- La caracterización de la variabilidad temporal de la precipitación, temperatura y nivel en la situación actual.
- La determinación del régimen extremal de precipitaciones y niveles en situación actual.
- La selección del modelo climático global cuyos resultados mejor se ajusten a las condiciones en el área de estudio.
- La distribución en el tiempo de las variables climáticas objetivo, en los diferentes escenarios de cambio climático y horizontes de cálculo.

<sup>23</sup> Este estudio utiliza los escenarios de cambio climático definidos en la 5ª revisión del informe del clima del IPCC. Sin embargo, en 2022 empezarán a implantarse los nuevos escenarios de la 6ª revisión. Estos escenarios no hacen únicamente mención a la concentración de gases de efecto invernadero (RCP), sino que los combinan con diferentes evoluciones del sistema socioeconómico, recogidas en otra serie de escenarios conocidos como SSP (Shared Socioeconomic Pathways). Los dos escenarios más utilizados en evaluación de impactos, RCP4.5 y RCP8.5, se han visto ligeramente modificados y pasan a denominarse SSP2-4.5 y SSP5-8.5, respectivamente, aunque a efectos de la evaluación de impactos, podrían sustituirse los primeros por los segundos manteniendo la estructura de trabajo descrita en este estudio sin mayores complicaciones conceptuales.



# 4.1 Definición de las características microclimáticas de la zona de estudio

**Para definir y entender el clima en la ciudad de Asunción es necesario describir previamente los principales rasgos climáticos de gran escala que gobiernan la región Andina. En este apartado se describe la climatología del área de estudio, haciendo especial hincapié en la estacionalidad, las variaciones interanuales y las tendencias detectadas en el periodo climático de referencia, en este caso 1959-2005.**

El clima en estas zonas del planeta está gobernado por varios factores fundamentales. El primero de ellos son las fluctuaciones de la zona de convergencia (vientos alisios) o Zona de Convergencia Intertropical (ITCZ, por sus siglas en inglés). Esta zona de bajas presiones y precipitaciones de carácter convectivo presenta una acusada estacionalidad (ver Figura 20). Durante el mes de Julio, la precipitación máxima continental se localiza al norte del Ecuador, mientras al sur la cuenca amazónica experimenta su temporada seca. Hacia finales de octubre se produce un descenso súbito de la ITCZ, transportando ingentes cantidades de precipitación a la parte central de Sudamérica durante los meses finales e iniciales del año.

**El clima de Paraguay es de tipo tropical seco y húmedo con tendencia a la continentalidad, veranos muy calurosos y lluviosos e inviernos templados y secos.** El tercio sur presenta un tipo de clima más templado. Paraguay está dividido en dos regiones geográficas, divididas por el Río Paraguay, la Oriental y la Occidental o Chaco. Asunción se encuentra en la región Oriental que se caracteriza por un clima más húmedo mientras que el Chaco es una región seca y árida.

Como país austral que es, los meses de las estaciones son verano: diciembre, enero y febrero; otoño: marzo, abril y mayo; invierno: junio, julio y agosto; y primavera: septiembre, octubre y noviembre.

Los centros de acción fundamentales que afectan a Paraguay son la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT), el anticiclón del Atlántico sur y, ocasionalmente, el frente polar austral, sobre todo en la zona sur.

Las masas de aire presentes son de tipo ecuatorial, cálidas y húmedas, procedentes de la Amazonía brasileña, tropical continental y polar continental, procedentes de la Pampa y la Patagonia. Uno de los factores fundamentales que influyen en el clima de Paraguay es su escasa altitud, que permite una libre circulación de las masas de aire.

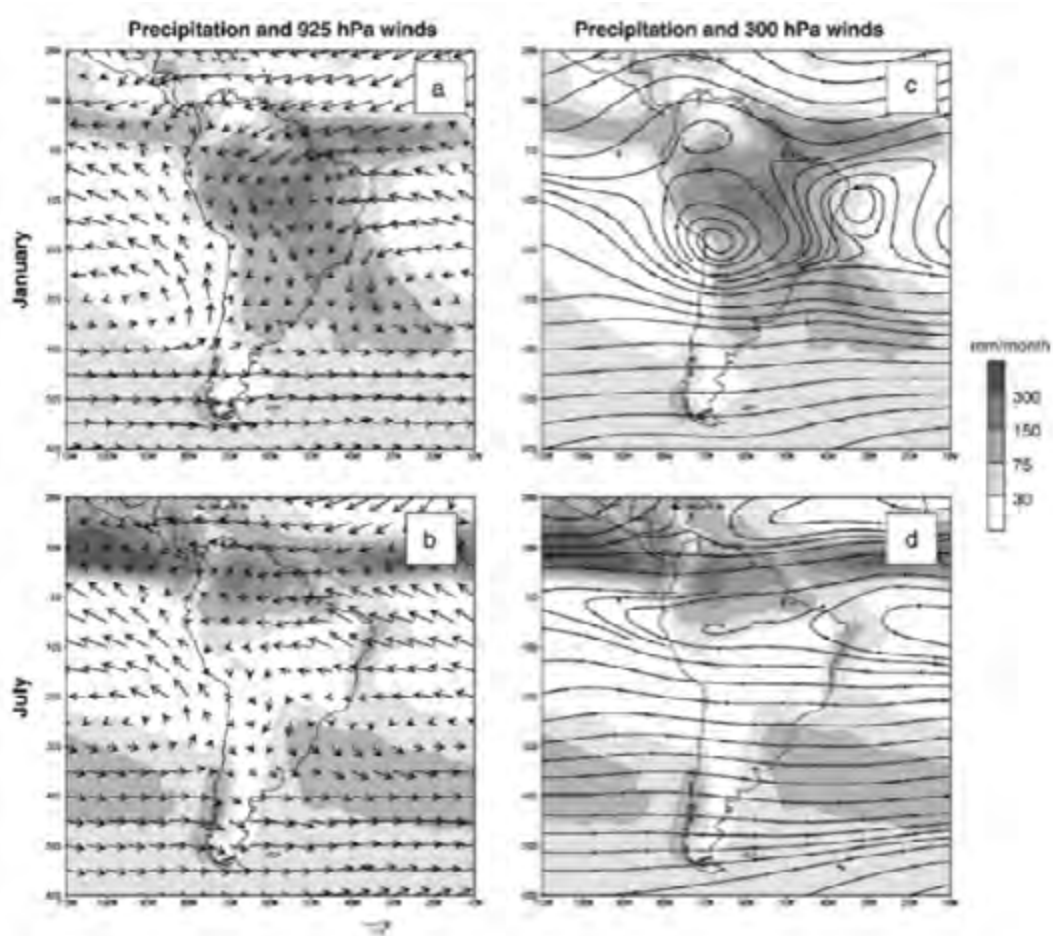
Durante el verano es dominante el viento siroco que sopla desde el noreste. Es de tipo cálido y húmedo. En invierno el viento dominante es más fresco, ya que proviene del sur, de la Pampa, impulsado por el anticiclón del Atlántico, pero en todo caso más fresco que el siroco. Los vientos suelen ser flojos, raramente se superan los 70 km/h, aunque ocasionalmente llegan huracanados, con velocidades superiores a 160 km/h. En las grandes llanuras se pueden originar tornados.



La temperatura media anual es de unos 22°C, pero a diferencia de otros climas tropicales la amplitud térmica anual es apreciable (10°C). En el Chaco la oscilación térmica anual puede llegar a los 30°C (de 32°C hasta -2°C). Los veranos pueden llegar a ser muy calurosos (41°C), con una temperatura media de 27°C y con una humedad relativa superior al 80%. Los inviernos y primaveras son más frescas y secas, con una media de 17°C. Las temperaturas muestran un patrón claro de sur y este, con temperaturas medias entre los 20°C y los 25°C, a nornoroeste.

**Existen dos estaciones bien diferenciadas, una lluviosa y otra seca. La estación lluviosa se da en la primavera y el verano austral, y la seca en el otoño y el invierno austral. Los meses más secos son julio y agosto, y los más lluviosos de octubre a marzo. Las precipitaciones, sobre todo en verano, suelen ser torrenciales. Varían mucho de una región a otra. Debido a la distancia al mar se observa un marcado gradiente que va de sureste, donde se recogen más de 1800 mm, a noroeste, donde caen menos de 600 mm. El Chaco tiene un clima semiárido que le da tintes de zona semiárida.**

**Figura 20.** Medias de precipitación y vientos a diferentes alturas para enero y julio.



Fuente: Garreaud, R. et al. 2007.



## 4.2 Recopilación y análisis de los datos meteorológicos disponibles

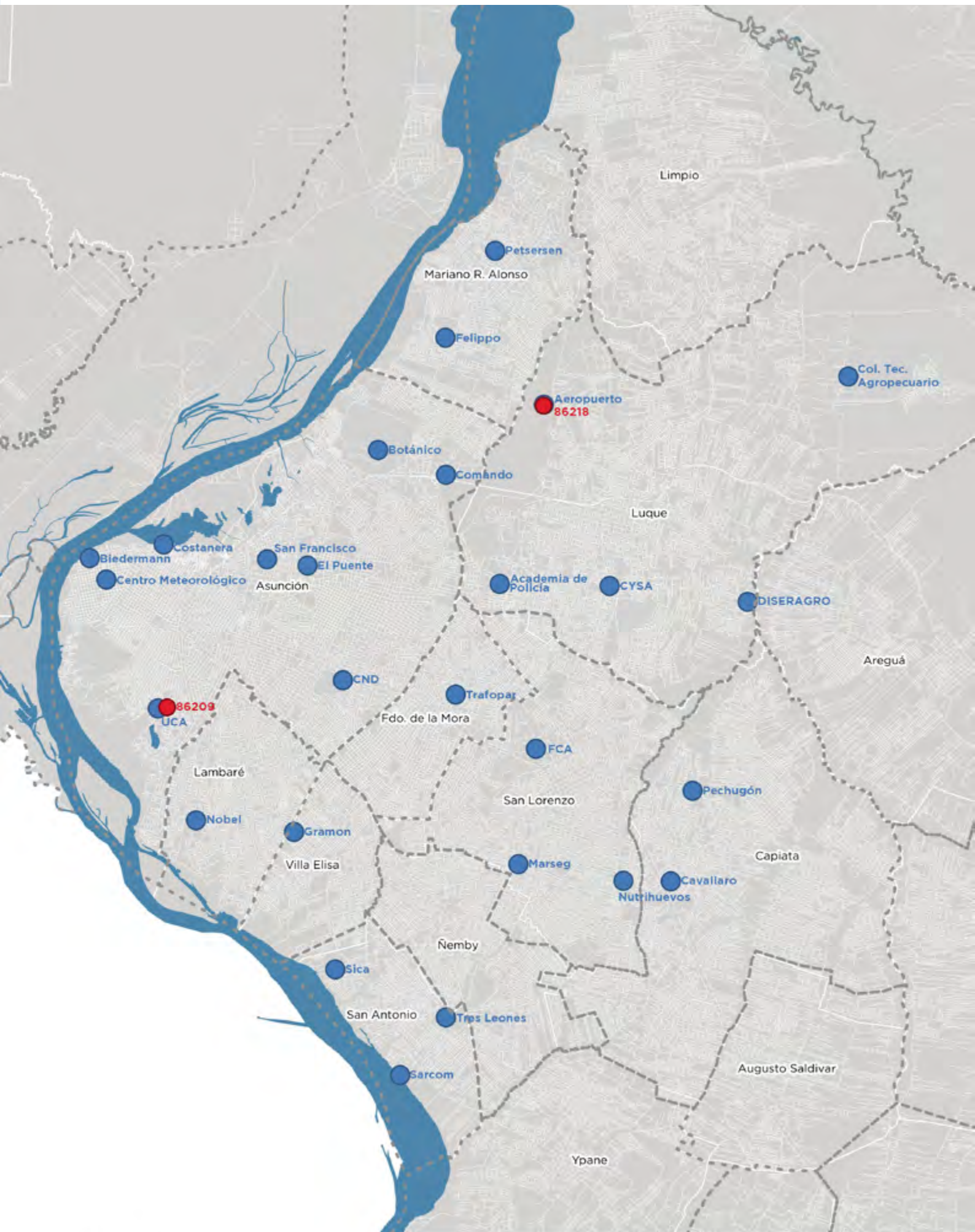
En la Figura 21 se muestran las estaciones, procedentes de dos bases de datos, proporcionadas por la Dirección de Meteorología e Hidrología (DMH) del Paraguay. Las denominadas en la figura como Estaciones 1 min proceden del proyecto Variabilidad espacial y temporal de la lluvia sobre el Gran Asunción y sus implicaciones realizado por la Universidad Paraguayo Alemana cuya resolución temporal es 1 minuto y cubre desde el año 2016 al año 2017. Esta base de datos sólo contiene datos de precipitación. Hay que destacar que esta base de datos en cada una de las estaciones proporciona dos series de datos correspondientes a dos pluviómetros de distinto tipo.

La otra base de datos denominada Estaciones 15 min contiene datos de precipitación y temperatura 15-minutales, y cubre desde el año 2015 hasta los primeros meses de 2020. Esta base de datos contiene, además, datos de diferentes variables climáticas.

Además, de una de las estaciones de esta base de datos, la estación 86218 localizada en el Aeropuerto Silvio Pettirossi, se tienen datos diarios desde el año 1959 hasta 2020, tanto de precipitación como de temperatura.



Figura 21. Localización de las estaciones meteorológicas analizadas en el estudio.



**Leyenda**  
● Estaciones 15 min  
● Estaciones 1 min

## 4.3 Análisis de la precipitación

**Tras el análisis de las series de precipitación, donde se han agregado las series a resolución temporal horaria y se ha llevado a cabo un control de calidad y homogenización de los datos con el objetivo de garantizar que las series de tiempo de las distintas estaciones efectivamente representen señales asociadas al sistema climático en la zona correspondiente, y no a otros factores (p.ej. errores del sensor, humanos, desplazamiento de la estación, cambio del medio circundante a la estación, etc.).**

La estación seleccionada para la continuación del estudio es la estación 86218 localizada en el Aeropuerto Silvio Pettirossi, ya que es la serie con mejor calidad, mayor número de años y de la que se tienen además datos diarios más antiguos.

En la siguiente tabla se muestran las características analizadas de las series de precipitación de la estación seleccionada.

**Tabla 2.** Análisis de las series de precipitación de la estación Silvio Pettirossi.

| ESTACIÓN 86218           | SERIE HORARIA | SERIE DIARIA |
|--------------------------|---------------|--------------|
| Nº años completos        | 0             | 50           |
| Porcentaje de huecos (%) | 13.77         | 3.32         |
| Nº años con datos        | 6             | 62           |
| Nº meses completos       | 0             | 709          |
| Nº días completos        | 1394          | -            |
| Año inicio               | 2015          | 1959         |
| Año fin                  | 2020          | 2020         |

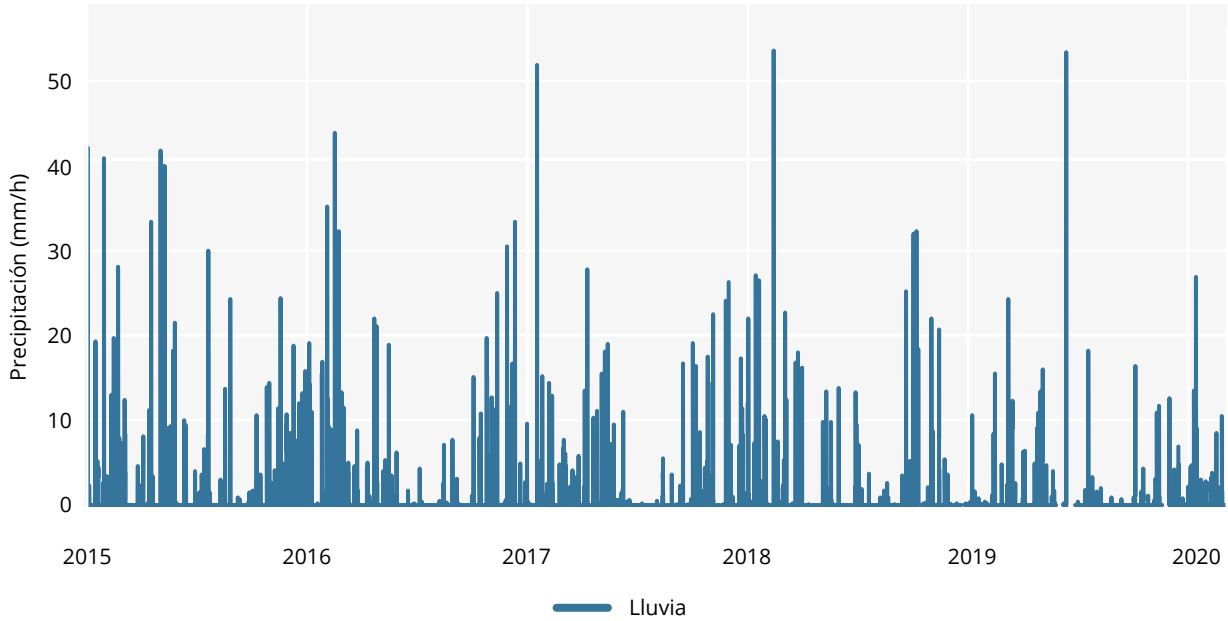
Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar, la serie horaria se extiende entre los años 2015 y 2020 con un porcentaje de huecos en torno al 14%, destacando que en todos los meses de la serie existen huecos.

Esta cantidad de datos es relativamente baja para realizar cualquier tipo de análisis climático que proporcione una referencia clara de la variabilidad climática que existe en el municipio y de los eventos extremos que se han dado. Por tanto, será necesario recurrir a una reconstrucción de la serie horaria.



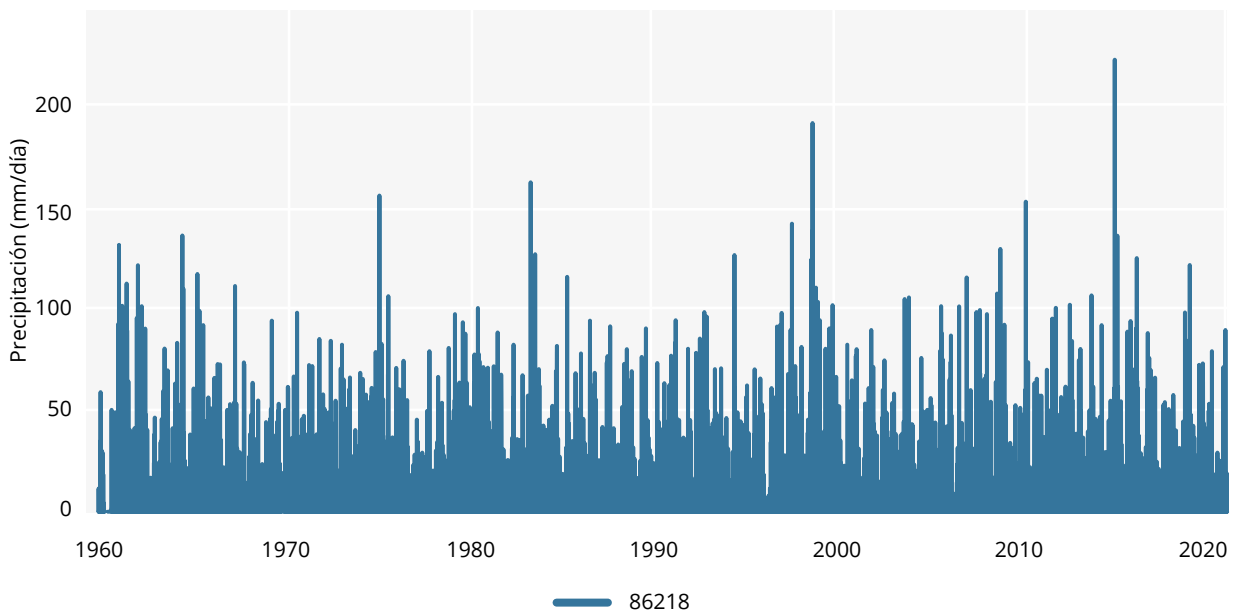
**Figura 22.** Serie de precipitación horaria en la Estación del Aeropuerto Silvio Pettirossi.



Fuente: Elaboración propia.

Sin embargo, la serie diaria es mucho más extensa, contiene 50 años de datos comprendidos entre el año 1959 y 2020. En este caso el porcentaje de huecos es de en torno al 3%, por lo que es una serie óptima para realizar un análisis climático que permita conocer fielmente el régimen medio.

**Figura 23.** Serie de precipitación diaria de la Estación del Aeropuerto Silvio Pettirossi.



Fuente: Elaboración propia.

## 4.4 Análisis de la temperatura

En la Tabla 3 se muestran las características analizadas de las series de temperatura de la estación seleccionada.

**Tabla 3.** Análisis de las series de temperatura de la estación Silvio Pettirossi.

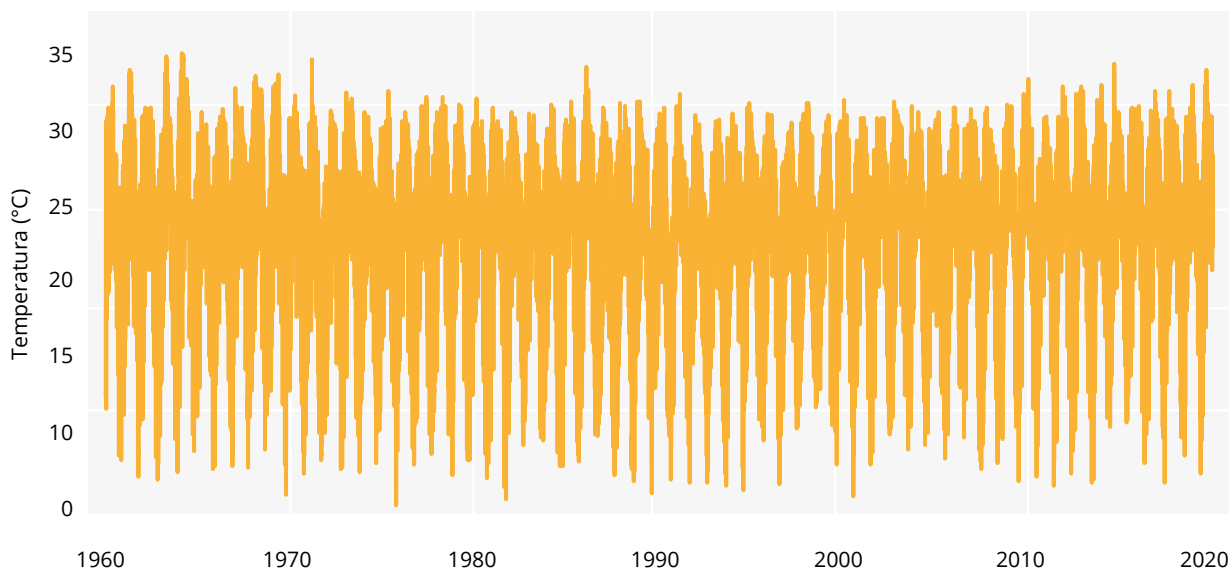
| ESTACIÓN 86218           | SERIE HORARIA | SERIE DIARIA |
|--------------------------|---------------|--------------|
| Nº años completos        | 0             | 48           |
| Porcentaje de huecos (%) | 13.85         | 3.58         |
| Nº años con datos        | 6             | 62           |
| Nº meses completos       | 0             | 702          |
| Nº días completos        | 1366          | -            |
| Año inicio               | 2015          | 1959         |
| Año fin                  | 2020          | 2020         |

Fuente: Elaboración propia.

Al igual que ocurre con la serie horaria de precipitación, la de temperatura se extiende entre los años 2015 y 2020 con un porcentaje de huecos en torno al 14%, destacando que en todos los meses de la serie existen huecos.

La serie diaria es mucho más extensa, contiene 48 años de datos comprendidos entre el año 1959 y 2020. En este caso el porcentaje de huecos es de en torno al 4%, por lo que es una serie óptima para realizar un análisis de la variabilidad climática de la zona de estudio.

**Figura 24.** Serie de temperatura diaria de la Estación del Aeropuerto Silvio Pettirossi.



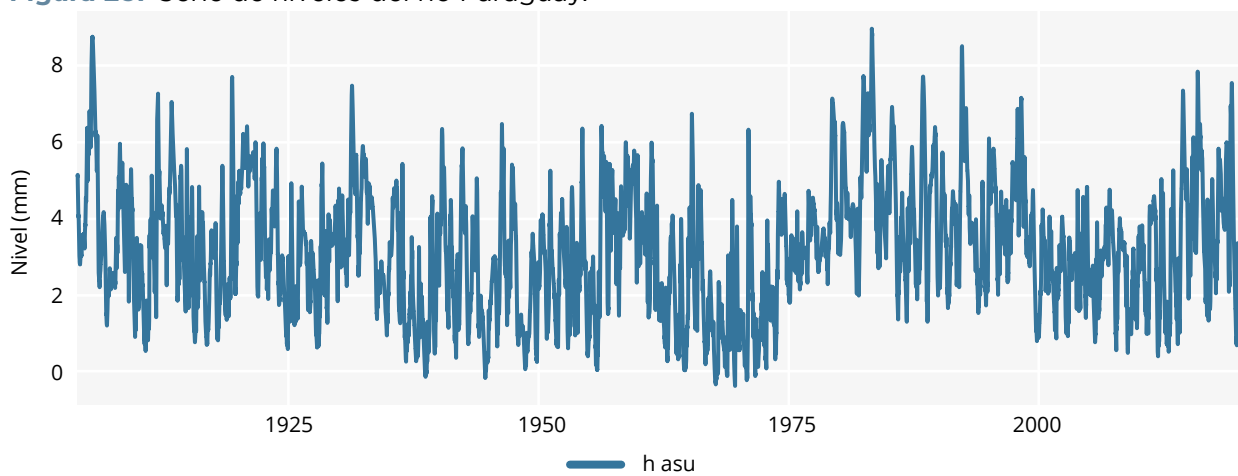
Fuente: Elaboración propia.

## 4.5 Recopilación y análisis de los datos de nivel del río Paraguay

Otro de los datos utilizados en el estudio son los valores de nivel del río Paraguay. La serie de niveles utilizada corresponde al registro situado en el puerto de Asunción, desde el 01/01/1904 hasta la actualidad.

En el marco del presente proyecto, se trunca la serie hasta el 01/01/2020 (117 años de datos). En la siguiente figura se muestra la serie de datos utilizada. La cota del nivel "0" de la regla limnimétrica es la 54.04 m.s.n.m.

**Figura 25.** Serie de niveles del río Paraguay.

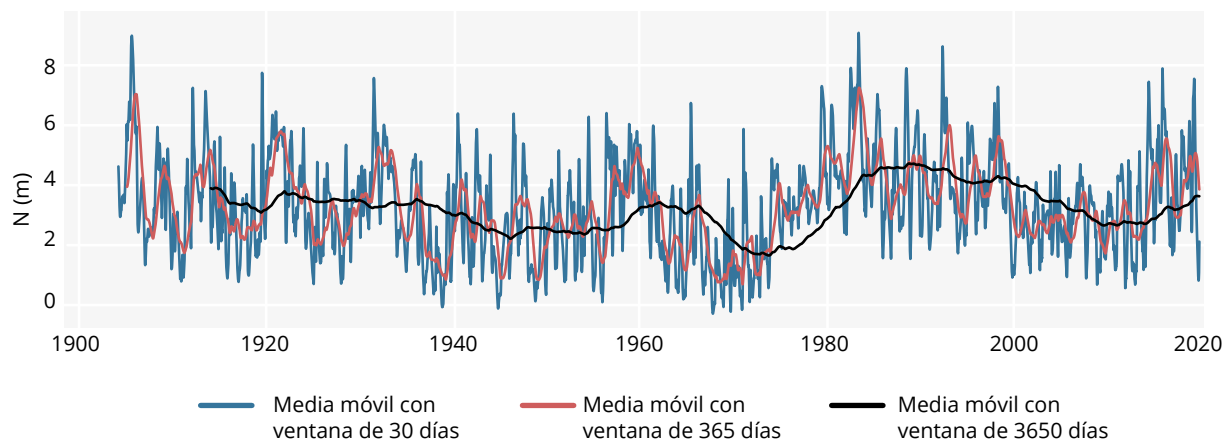


Fuente: Elaboración propia.

Tras analizar la tendencia de la serie de niveles se observa que para el año 1975 se produce un cambio de tendencia como se puede apreciar en la Figura 26.

Este cambio de tendencia puede deberse a un cambio en la localización del aforo o a un cambio de instrumento y, por lo tanto, es necesario tenerlo en cuenta en la serie para el cálculo de extremos, ya que al tener una serie con dos tendencias diferentes se pueden estar subestimando dichos valores extremos.

**Figura 26.** Análisis de tendencia de la serie de niveles.



Fuente: Elaboración propia.



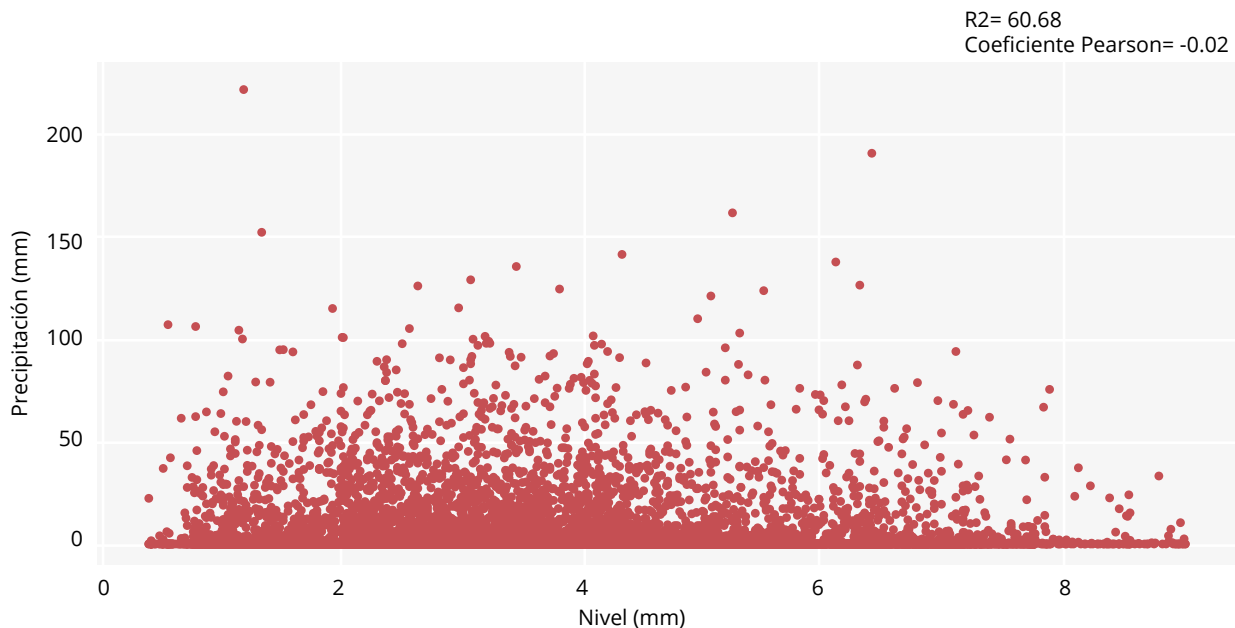
## 4.6 Análisis extremal

Para llevar a cabo el análisis de la distribución de máximos en las dos variables que inciden sobre la inundación fluvial y urbana (el nivel del río Paraguay y la precipitación en Asunción), se procedió, en primer lugar, al análisis de la dependencia estadísticas entre ambas. En la Figura 27 se presenta la relación entre la precipitación diaria registrada en la estación del Aeropuerto y el nivel del río medido en la estación de Asunción.

Como puede apreciarse en dicha figura, no hay una correlación significativa entre ambas variables, conclusión esperable dado el tamaño y las características hidrológicas del río Paraguay.

Por tanto, a continuación, se procede al análisis de los regímenes extremales de las dos variables seleccionadas, considerándose como independientes una de otra.

**Figura 27.** Análisis de la correlación entre las variables precipitación diaria y nivel del río Paraguay en Asunción.

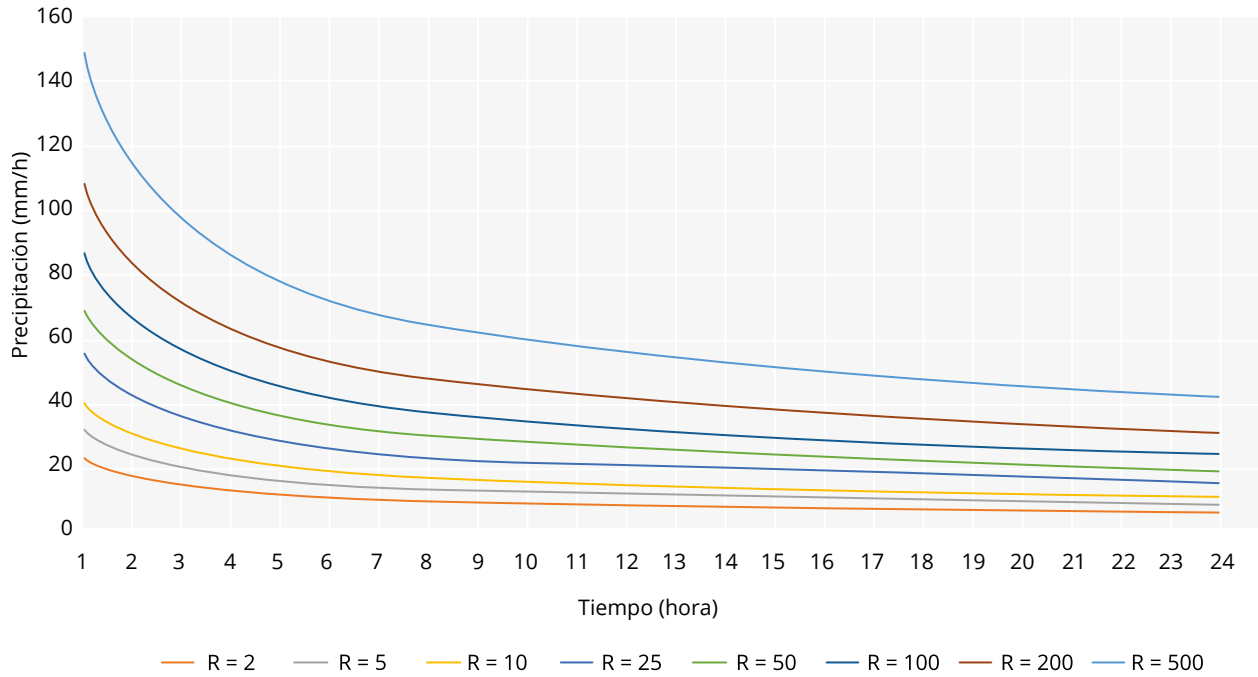


Fuente: Elaboración propia.

La caracterización del régimen extremal de precipitaciones se ha realizado por medio de la obtención 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.

La correcta caracterización estadística de la lluvia, sobre todo de corta duración, es muy importante para dimensionar el drenaje urbano y de esta manera evitar inundaciones súbitas, más aún en una cuenca con tan reducidos tiempos de concentración. La adecuación de las curvas de IDF de las series de precipitación y de su régimen extrema para este estudio están presentados en la Figura 28.

**Figura 28.** Curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) generadas para Asunción.



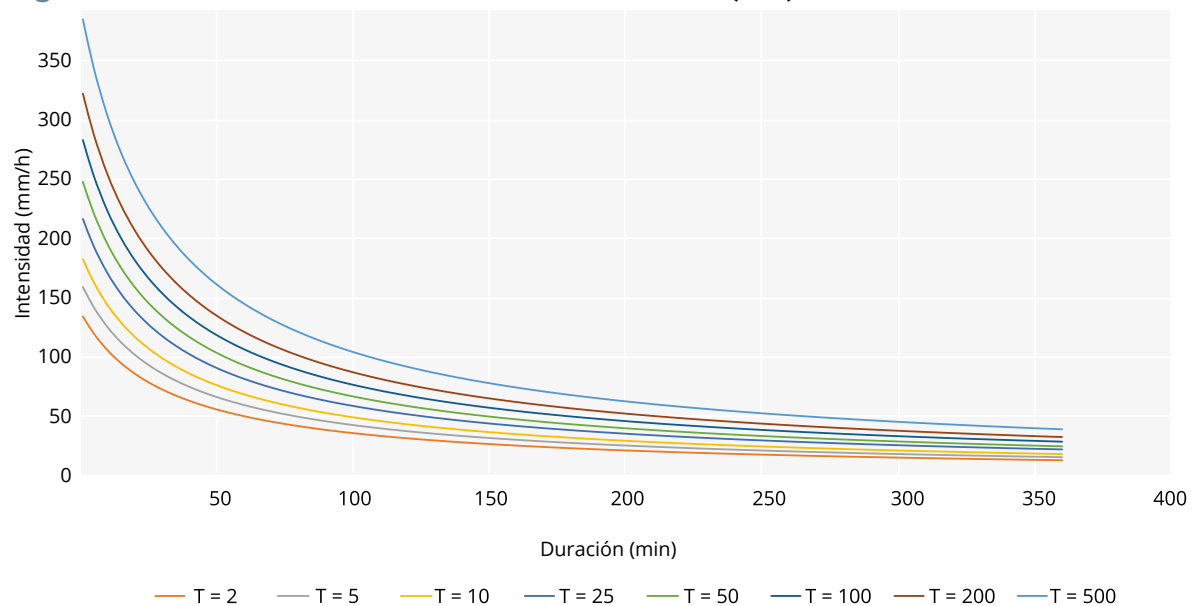
Fuente: Elaboración propia.

A la vista de los resultados, y considerando que ya existen unas curvas IDF para Asunción, confeccionadas por la UNA/DINAC (Universidad Nacional de Asunción, Facultad de Ingeniería y la Dirección) actualizadas por Cuevas y Rolón (2010) (Figura 29), se considera la utilización de estas últimas, por tener valores más elevados que los obtenidos con la adecuación de los modelos climáticos-Figura 28.

Estos datos son los que se utilizarán en las fases posteriores para el diseño de las actuaciones de mitigación (<5 h), encontrándonos, de este modo, del lado de la seguridad.

Para obtener los valores de nivel para distintos períodos de retorno es necesario ajustar los máximos anuales de la serie a una función de distribución.

**Figura 29.** Curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) de Asunción.



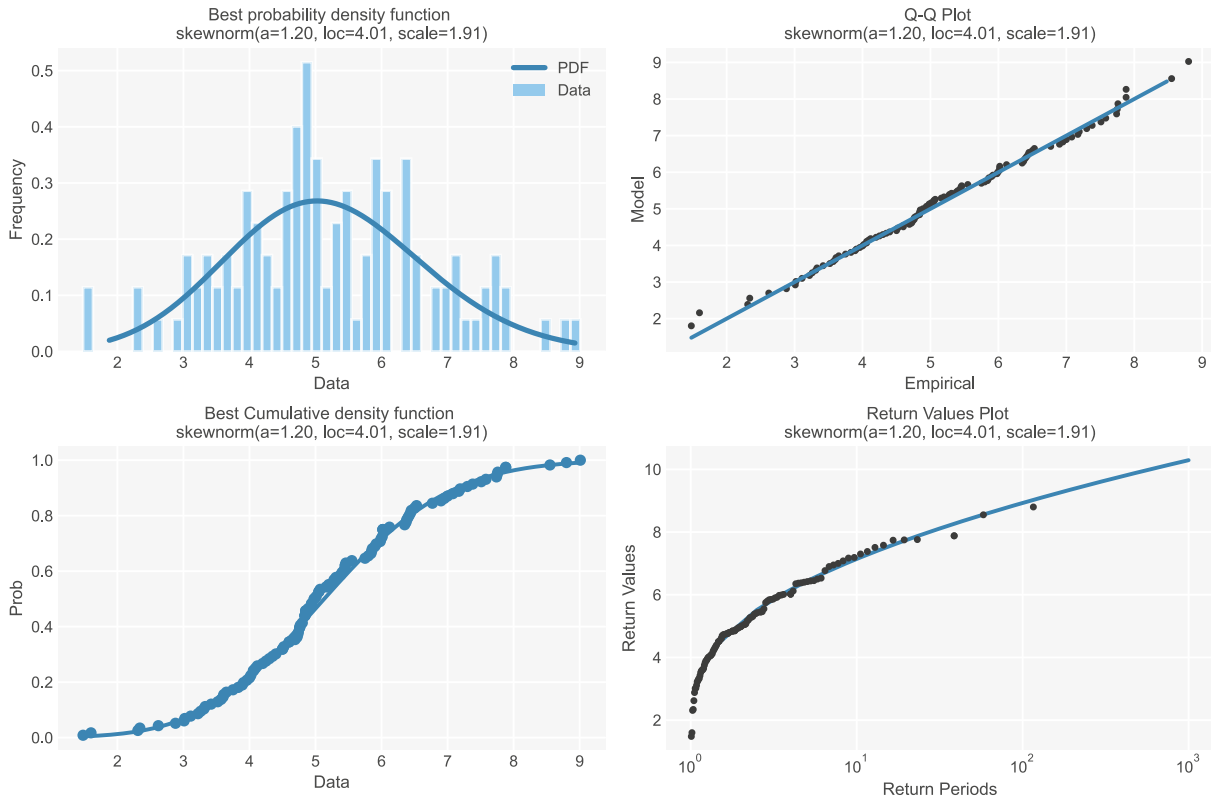
Fuente: Cuevas y Rolón (2010).

#### 4.6 Análisis extremal

Para seleccionar la función de distribución se busca aquella que minimice el error cuadrático medio entre las CDF de los datos y la CDF teórica de la función de distribución analizada.

En la Figura 30 se presenta la función que da un mejor ajuste, Generalized Extreme Value (GEV) y, por lo tanto, la que se va a utilizar. Para mayor detalle el análisis realizado ver Anejo IV.

**Figura 30.** Función de distribución de extremos de niveles (genextreme). Se representan además los parámetros de la función de distribución (c, loc y scale).



Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se muestran los valores para los distintos períodos de retorno, teniendo en cuenta que el nivel 0 corresponde con la cota 54.04.

**Tabla 4.** Función de distribución de extremos de niveles.

| T (PERIODO DE RETORNO) | NIVEL (MSNM)     |
|------------------------|------------------|
|                        | GENEXTREME (GEV) |
| 2                      | 59.18            |
| 5                      | 60.51            |
| 10                     | 61.21            |
| 25                     | 61.93            |
| 50                     | 62.37            |
| 100                    | 62.74            |
| 500                    | 63.39            |

Fuente: Elaboración propia.



## 4.7 Análisis del cambio climático

**Para la caracterización climática futura, se analizaron los modelos globales denominados GCM (Global Climate Model). Estos modelos simulan numéricamente las interacciones de la atmósfera, los océanos, el relieve terrestre y el hielo. Son frecuentemente utilizados para el estudio de las dinámicas del sistema meteorológico y climático con el propósito de obtener proyecciones del clima futuro.**

**Sin embargo, el desconocimiento acerca de la posible evolución futura de la situación socioeconómica global hace necesario establecer escenarios de concentraciones de CO<sub>2</sub>-eq mediante el uso de las denominadas rutas de concentración representativas (Representative Concentration Pathways o RCP).** Estos RCPs representan ciertas condiciones de emisión de gases de efecto invernadero (principalmente provenientes del desarrollo industrial) y cambios en el uso del suelo (desarrollo agrícola), que proporcionan situaciones de referencia para la simulación, de acuerdo con distintos escenarios plausibles de desarrollo socioeconómico.

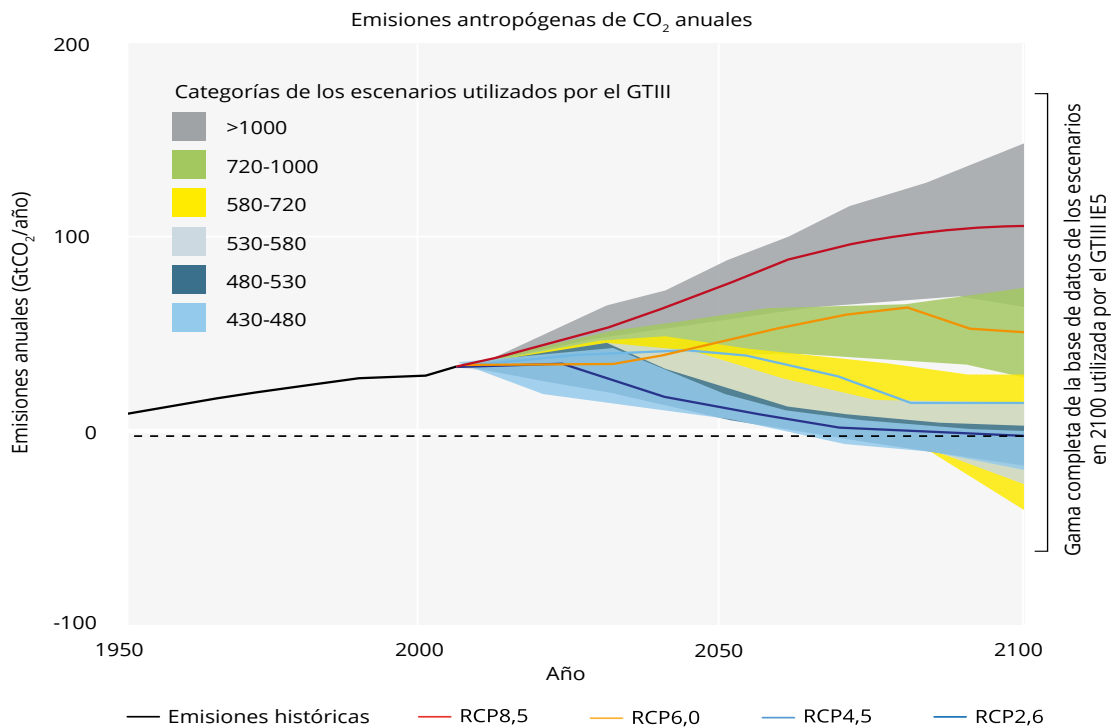
La NASA ofrece actualmente el servicio Climate Data Services (CDS) con acceso al dataset del NEX-GDDP (NASA Earth Exchange Global Daily Downscaled Projections). El conjunto de datos NEX-GDDP incluye proyecciones en escala reducida para RCP 4.5 y RCP 8.5 de 21 modelos para los que se produjeron resultados diarios de precipitación y temperatura. Además, la resolución espacial del conjunto de datos ofrecidos por este servicio es de 0.25 grados (- 25 km x 25 km) lo cual permite hacer proyecciones locales y regionales y mejorar la comprensión pública de posibles patrones climáticos globales a escala espacial de ciudades y cuencas individuales, casi mejor que muchos modelos regionales.

En la Figura 31 se presentan los escenarios de emisión de gases de efecto invernadero donde cada una de las proyecciones climáticas incluye la temperatura máxima diaria, la temperatura mínima y la precipitación para los períodos, desde 1950 hasta 2005 (retrospectiva) y de 2006 a 2099 (ejecución prospectiva):

- **“Historical” o histórica:** Contiene datos desde 1950 hasta 2005 (retrospectiva).
- **RCP8.5:** contiene datos desde 2006 a 2099 (ejecución prospectiva) considerando el escenario RCP 8.5.
- **RCP4.5:** contiene datos desde 2006 a 2099 (ejecución prospectiva) considerando el escenario RCP 4.5.

#### 4.7 Análisis del cambio climático

**Figura 31.** Escenarios de emisiones de gases de efecto invernadero.



Fuente: [http://sedac.ipcc-data.org/ddc/ar5\\_scenario\\_process/RCPs.html](http://sedac.ipcc-data.org/ddc/ar5_scenario_process/RCPs.html).

La tabla siguiente resume las tres variables a las que se tiene acceso con este servicio, la descripción asociada a cada una de ellas, así como las unidades específicas en las que se descarga la información de cada una de ellas.

**Tabla 5.** Variables disponibles en el servicio NASA Earth Exchange Global Daily Downscaled Projections (NEX-GDDP).

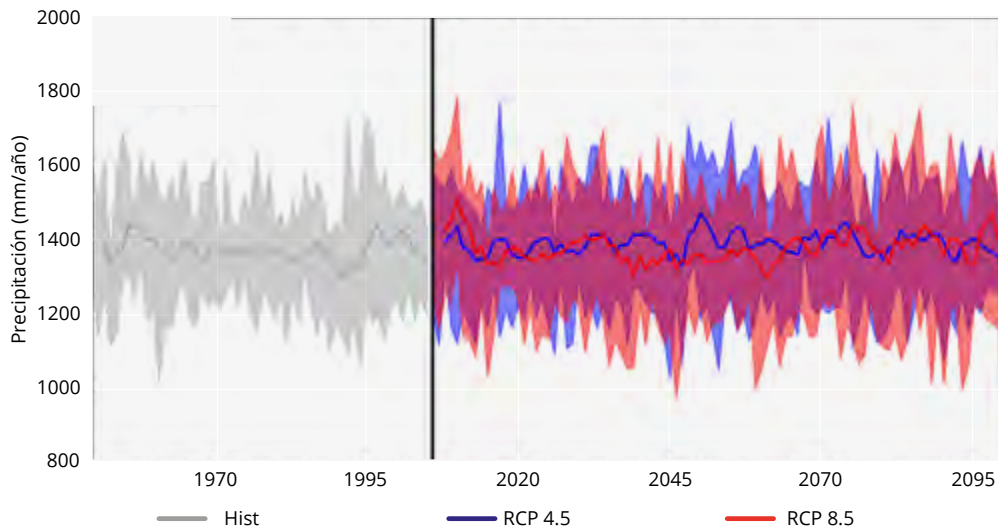
| VARIABLE      | DESCRIPCIÓN   | UNIDADES                           |
|---------------|---|------------------------------------|
| Tasmin        | Temperatura mínima diaria del aire cercano a la superficie.   | °K                                 |
| Tasmax        | Temperatura máxima diaria del aire cercano a la superficie.   | °K                                 |
| Precipitation | Precipitación diaria en la superficie; incluyendo tanto la fase líquida como la sólida de todo tipo de nubes. | kg m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> |

Fuente: Elaboración propia.

Para poder evaluar cómo va a influir el cambio climático en la temperatura y la precipitación, es necesario seleccionar aquel modelo que se comporte de manera semejante a la realidad de la zona de estudio en el período de referencia (1959-2005) ya que, como se puede observar en las Figuras 32, 33 y 34, donde se representa la media

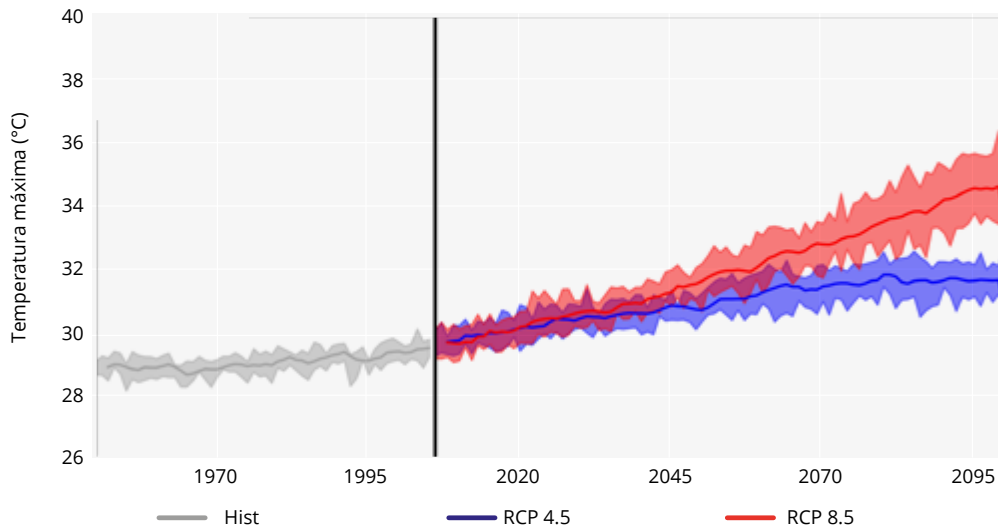
de las series de precipitación y temperatura de la estación seleccionada, existe cierta disparidad entre los resultados que proporcionan los diferentes modelos existentes en la actualidad (cuyo rango de variación viene representado por las franjas de colores).

**Figura 32.** Tendencia de la precipitación media anual en Asunción para los RCPs 4.5 y 8.5.



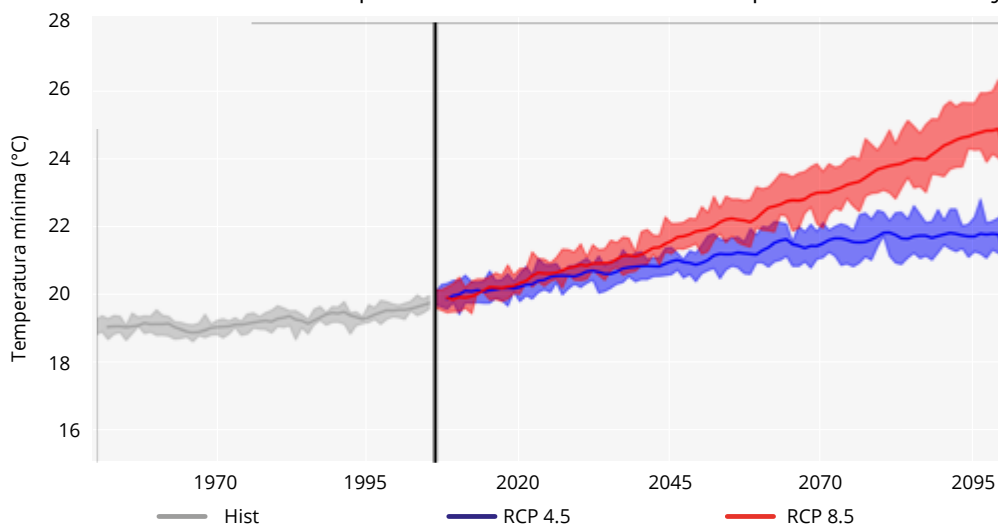
Fuente: Elaboración propia.

**Figura 33.** Tendencia de la temperatura máxima en Asunción para los RCPs 4.5 y 8.5.



Fuente: Elaboración propia.

**Figura 34.** Tendencia de la temperatura mínima en Asunción para los RCPs 4.5 y 8.5.



Fuente: Elaboración propia.

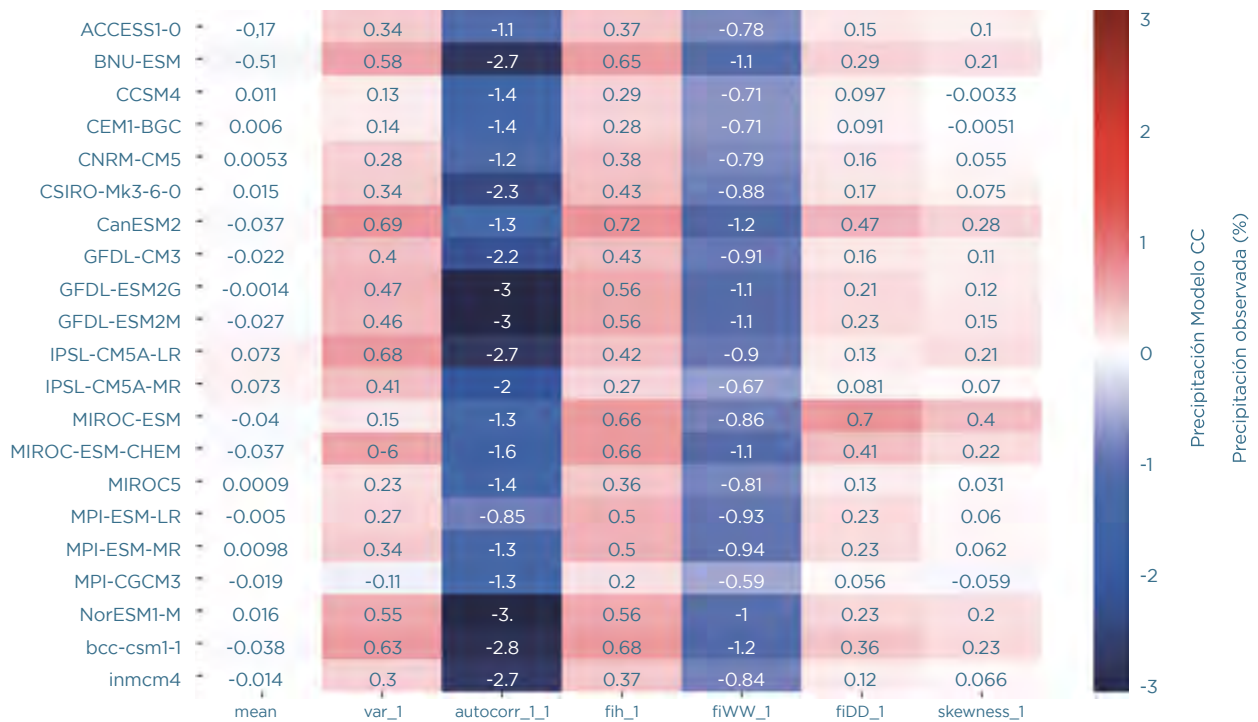


#### 4.7 Análisis del cambio climático

Para poder realizar la evaluación de las variables climáticas mencionadas, sin necesidad de simular cada una de las predicciones que proporcionan los modelos, se selecciona aquel cuyos estadísticos sean más parecidos al de la serie de la estación meteorológica seleccionada.

Observando la Figura 35, que representa la diferencia entre los estadísticos de cada uno de los modelos y la serie observada, se aprecia que dicha diferencia en las medias es similar en todos ellos. Sin embargo, donde aparecen diferencias importantes es en la varianza. En este sentido, existen diversos modelos en los que alguno de estos valores son menores, pero el más equilibrado en todos los estadísticos es el MIROC5 (Watanabe *et al.* 2010), que es el modelo finalmente elegido.

**Figura 35.** Comparativa entre diversos estadísticos de los modelos globales y los datos locales reconstruidos en el periodo de referencia 1959-2005.\*



\*Media; var\_1- varianza 1 día; autocorr\_1\_1-Autocorrelación con un lag de 1 día; fih\_1 - Proporción de días secos; fiww\_1 - probabilidad de días húmedos consecutivos; fiDD\_1 - probabilidad de días secos consecutivos; Skewness\_1 - Asimetría diaria.

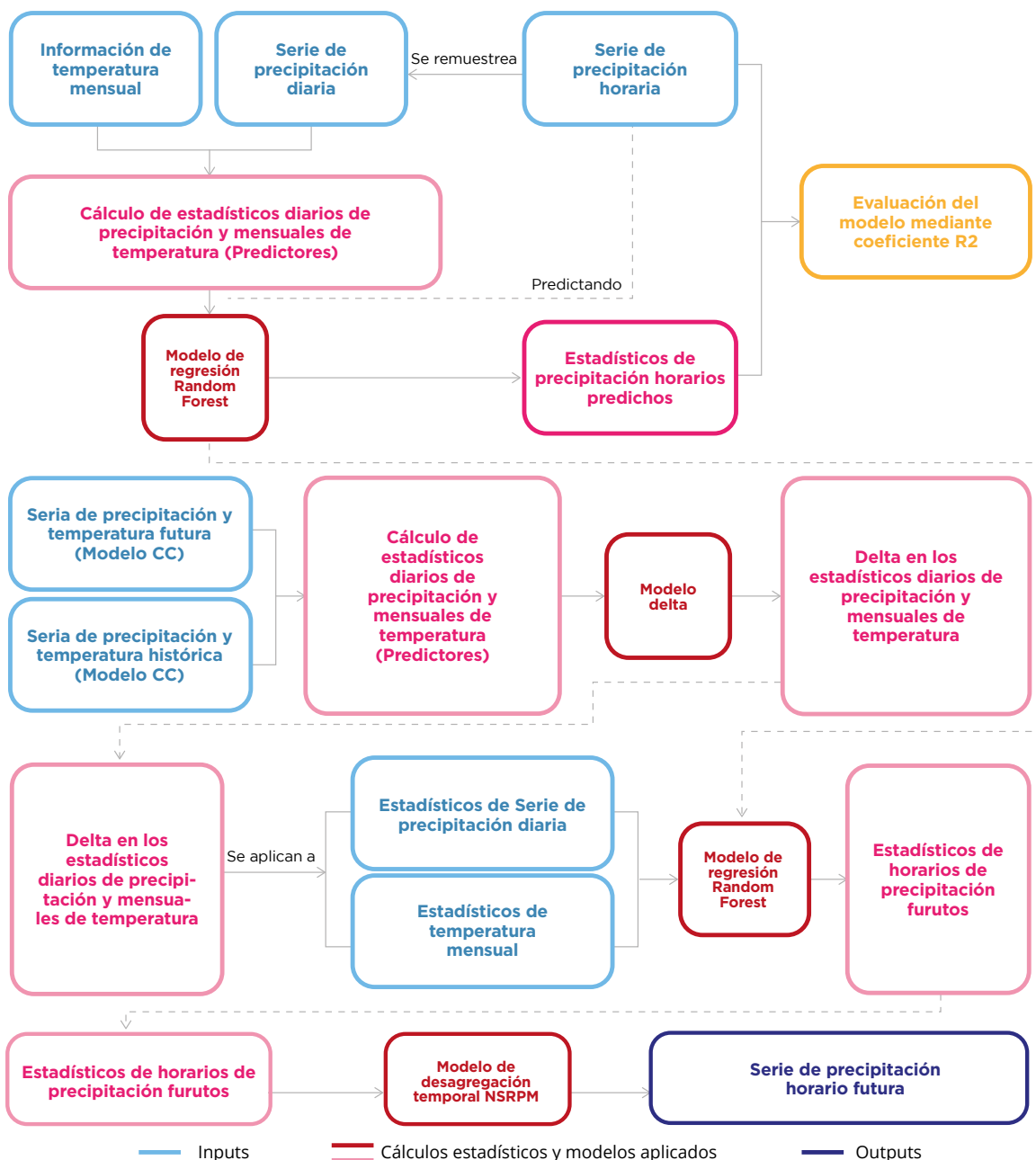
Fuente: Elaboración propia.

**Se puede concluir de las proyecciones que el sistema de precipitación en Asunción estaría aumentando en los dos escenarios climáticos en el transcurso del siglo, y que esta estaría afectando las inundaciones pluviales en el Área de Estudio.**

Uno de los principales inconvenientes de las proyecciones climáticas de los GCMs es que no se pueden utilizar directamente en aplicaciones hidrológicas, ya que presentan sesgos muy importantes. En este sentido, ha sido necesario realizar una reconstrucción tanto de las series de precipitación como de temperatura para corregir el sesgo. En el caso de la precipitación, además de tener en cuenta el sesgo existente entre la observación y en el modelado del período histórico de los GCM, para poder realizar un régimen extremal adecuado, es necesario tener una serie horaria para los escenarios de cambio climático.

Para ello se va a utilizar una metodología que permita corregir el sesgo existente además de obtener una serie horaria. La metodología aplicada para la realización de estas correcciones (Diez-Sierra & del Jesús, 2019) consiste en una desagregación temporal de la precipitación a través de modelos de regresión y modelos puntuales para proyecciones bajo cambio climático. El de esquema de la metodología aplicada se presenta en la Figura 36.

Figura 36. Proceso de desagregación temporal para proyecciones de cambio climático.



Fuente: Elaboración propia.

## 4.8 Proyecciones de cambio climático: régimen medio

**En este apartado se presenta cómo afectará el cambio climático en estas variables a lo largo del año. Para ello se han expuesto los resultados en la Figura 37 donde se analiza, por un lado, como cambia porcentualmente la precipitación media acumulada para cada uno de los meses del año y, por otro, el cambio de la temperatura máxima y mínima para cada mes en términos relativos.**

### Precipitación

Como se puede observar en la Figura 37 la variable de precipitación puede sufrir cambios acusados para los diferentes periodos y escenarios estudiados. Estos cambios pueden ser de incrementos en dicha variable o decrementos dependiendo del mes del año que se esté analizando.

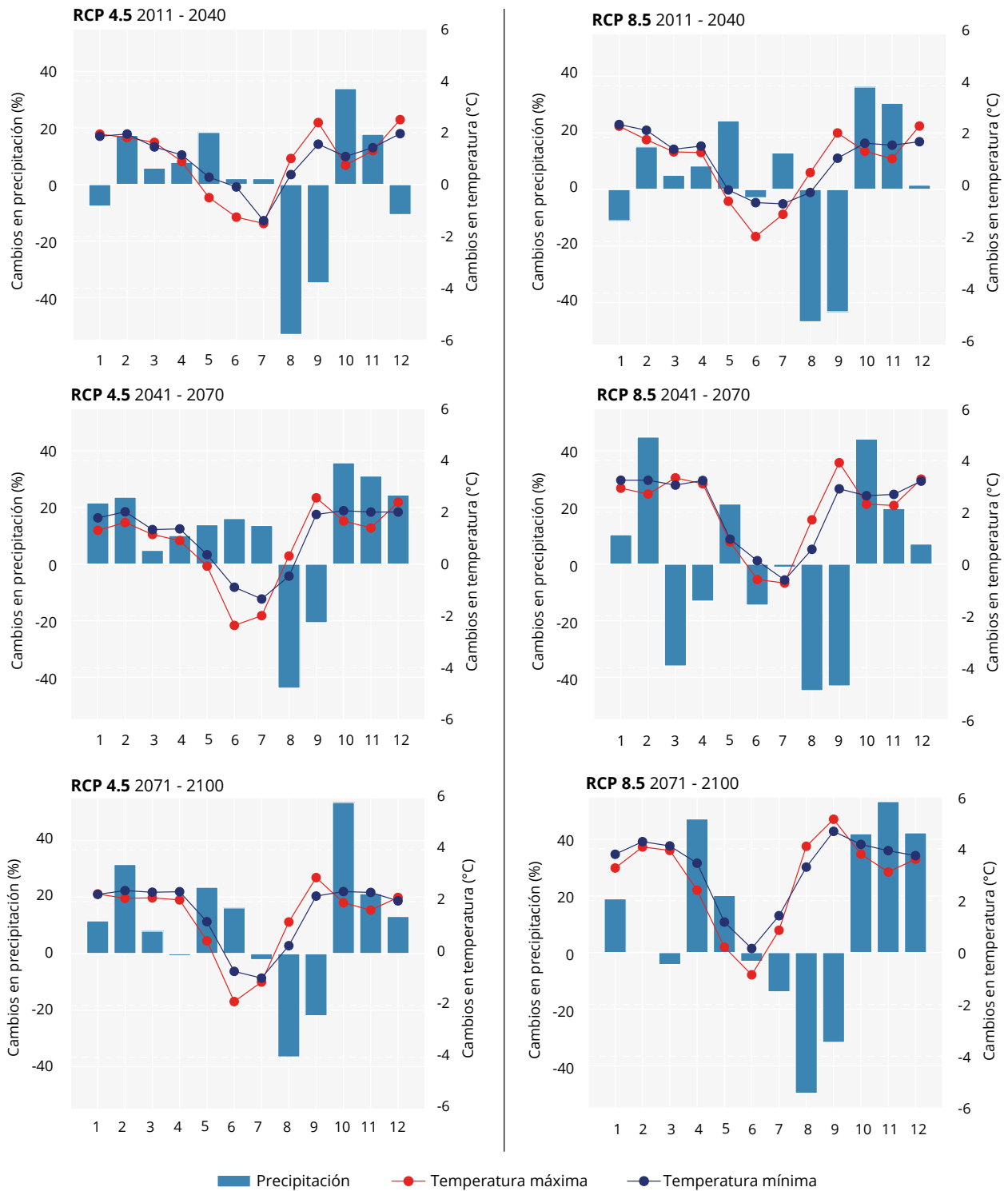
En el período de corto plazo (2011-2040) y escenario RCP 4.5 se aprecia cómo en los meses de febrero hasta julio se producen incrementos de la precipitación de hasta el 20%. Sin embargo, es a partir del mes de junio donde aparece dos meses con un decremento brusco de la precipitación de entorno al 40%. Es el mes de septiembre cuando la precipitación vuelve a incrementarse con respecto al período histórico. En los meses del comienzo del verano, diciembre y enero, aparece un ligero decremento de la precipitación. Si se realiza el cómputo global de la precipitación anual, la reducción porcentual que se produce en la precipitación es del -0.07%.

Para este mismo escenario y los periodos de medio (2041-2070) y largo plazo (2071-2100), la tendencia mensual sigue un patrón parecido al de corto plazo. En este caso, sólo se producen decrementos en los meses agosto y septiembre menos pronunciados que en el corto plazo, mientras que los incrementos son mayores. Hay que destacar que los incrementos para el medio y largo plazo son diferentes, existiendo meses donde los incrementos son mayores en uno que en otro. En cuanto a la precipitación media anual, la tendencia en ambos horizontes es a aumentar, en un 10.8% en el medio plazo y en un 9.74% en el largo.

Para el RCP 8.5 los patrones son similares, aunque con cambios más bruscos. En el caso del corto plazo los cambios son muy parecidos a los del escenario RCP 4.5 aunque en este caso la tendencia anual es a aumentar en torno al 2.5%. Los cambios más significativos entre escenarios aparecen en el medio plazo donde la tendencia es al decremento de la precipitación en la mayoría de los meses, dando lugar a un decremento anual de la precipitación del -0.41%. Para el largo plazo los incrementos y decrementos de precipitación son mucho más pronunciados que en el resto de los periodos analizados, con un incremento anual del 10.1%.



**Figura 37.** Análisis de las variables de precipitación y temperatura para escenarios de cambio climático con respecto a los datos observados en el período de referencia.



Fuente: Elaboración propia.



## Temperatura

En el caso de la temperatura el patrón de la variación climática es similar en todos los períodos y escenarios analizados. Pero en promedio se ve un incremento en la temperatura a nivel anual, dando lugar a cambios medios anuales de:

- **Para el período 2011-2040:** el cambio en la temperatura máxima es de  $+0.91^{\circ}\text{C}$  y de  $+0.97^{\circ}\text{C}$  para la temperatura mínima
- **Para el período 2041-2070:** el cambio en la temperatura máxima es de  $+0.7^{\circ}\text{C}$  y de  $+1.01^{\circ}\text{C}$  para la temperatura mínima.
- **Para el período 2071-2100:** el cambio en la temperatura máxima es de  $+1.34^{\circ}\text{C}$  y de  $+1.53^{\circ}\text{C}$  para la temperatura mínima.

Sin embargo, se ve que tanto la mínima y la máxima sufren una disminución durante los meses de mayo a julio. En síntesis, por 9 meses del año se perciben aumentos en temperatura mínima y máxima, y por 3 meses se percibe una reducción de la temperatura mínima y máxima.

En el caso del RCP 8.5, se ve un aumento de temperatura en todos los meses comparado con el escenario RCP 4.5, aunque comparado con la situación actual los meses de mayo a julio muestran, también, máximos y mínimos mas bajos.

- **Para el período 2011-2040:** el cambio en la temperatura máxima es de  $+0.99^{\circ}\text{C}$  y de  $+1.11^{\circ}\text{C}$  para la temperatura mínima.
- **Para el período 2041-2070:** el cambio en la temperatura máxima es del  $+2.08^{\circ}\text{C}$  y de  $+2.10^{\circ}\text{C}$  para la temperatura mínima.
- **Para el período 2071-2100:** el cambio en la temperatura máxima es del  $+2.8^{\circ}\text{C}$  y de  $+3.2^{\circ}\text{C}$  para la temperatura mínima.

## 4.9 Proyecciones de cambio climático: régimen extremal

### Precipitación

**El objetivo de esta sección es calcular las curvas IDF para los periodos horizonte 2011-2040, 2041-2070 y 2070-2100.**

La metodología aplicada puede descomponerse en los siguientes puntos:

- Se ajusta una distribución generalizada de extremos (GEV) a los máximos anuales de la serie horaria reconstruidas mediante el modelo de generación sintética de precipitación (Diez-Sierra & del Jesús, 2019) a partir de la información proporcionada por el GCM para los periodos 2011-2040, 2041-2070, 2070-2100. (ver Figura 34).
- A partir de las distribuciones ajustadas en el punto anterior, se calculan los periodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50, 100, 200 y 500 años de precipitación.
- Una vez que se tienen los diferentes períodos de retorno para cada espacio de tiempo se construyen unas curvas IDF para cada escenario y periodo temporal.
- Debido a que los valores de las curvas IDF obtenidas por esta consultoría se encuentran por debajo, como se ha mencionado anteriormente, se decide utilizar las confeccionadas por la UNA/DINAC (Universidad Nacional de Asunción, Facultad de Ingeniería y la Dirección) actualizadas por Cuevas y Rolón (2010) para la situación actual y, por tanto, para actualizar estas curvas, se calculan unos factores de cambio de las curvas desarrolladas mediante una serie sintética de precipitación para cada periodo de retorno y espacio temporal respecto a la situación actual.
- Estos factores se aplican a las curvas IDF confeccionadas por la UNA/DINAC que se utilizan actualmente en la ciudad, Figura 29.

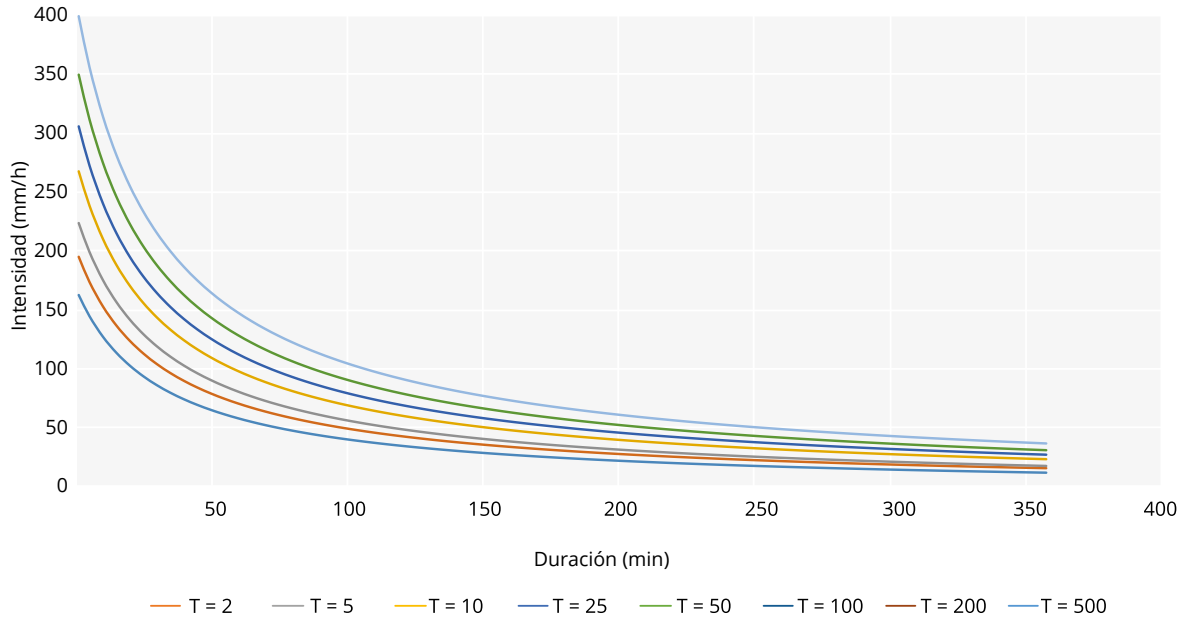
A modo de ejemplo de los resultados del estudio, en la Figura 38 se presentan las curvas IDF para el escenario RCP 8.5 en el medio plazo (2041-2070), en la Figura 39 las gráficas comparativas de la curva IDF entre los diferentes escenarios respecto de la situación actual para 10 y 100 años de periodo de retorno y, en Tabla 4 se muestra la media de los factores de cambio para cada uno de los períodos de retorno correspondientes a la intensidad máxima diaria.

**Por lo tanto, se considera que los factores multiplicadores para las diferentes recurrencias de las curvas IDF indican que los eventos extremos pluviales ocurrirán con mayor intensidad.**



#### 4.9 Proyecciones de cambio climático: régimen extremal

**Figura 38.** Curvas IDF de Asunción para el escenario RCP 8.5 en el medio plazo (2041-2070).



Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 6.** Factores medios de cambio respecto de la curva IDF actual para cada uno de los períodos y escenarios.

| T<br>(PERIODO DE<br>RETORNO) | RCP 4.5<br>2011-2040 | RCP 4.5<br>2041-2070 | RCP 4.5<br>2071-2100 | RCP 8.5<br>2011-2040 | RCP 8.5<br>2041-2070 | RCP 8.5<br>2071-2100 |
|------------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| 2                            | 1.08                 | 1.15                 | 1.03                 | 1.03                 | 1.10                 | 1.12                 |
| 5                            | 1.07                 | 1.16                 | 1.03                 | 1.04                 | 1.18                 | 1.11                 |
| 10                           | 1.05                 | 1.15                 | 1.02                 | 1.06                 | 1.22                 | 1.12                 |
| 25                           | 1.03                 | 1.13                 | 1.01                 | 1.11                 | 1.25                 | 1.13                 |
| 50                           | 1.01                 | 1.11                 | 1.00                 | 1.15                 | 1.27                 | 1.14                 |
| 100                          | 0.99                 | 1.09                 | 1.00                 | 1.20                 | 1.29                 | 1.15                 |
| 200                          | 0.97                 | 1.07                 | 0.99                 | 1.26                 | 1.30                 | 1.16                 |
| 500                          | 0.96                 | 1.05                 | 0.99                 | 1.35                 | 1.32                 | 1.18                 |

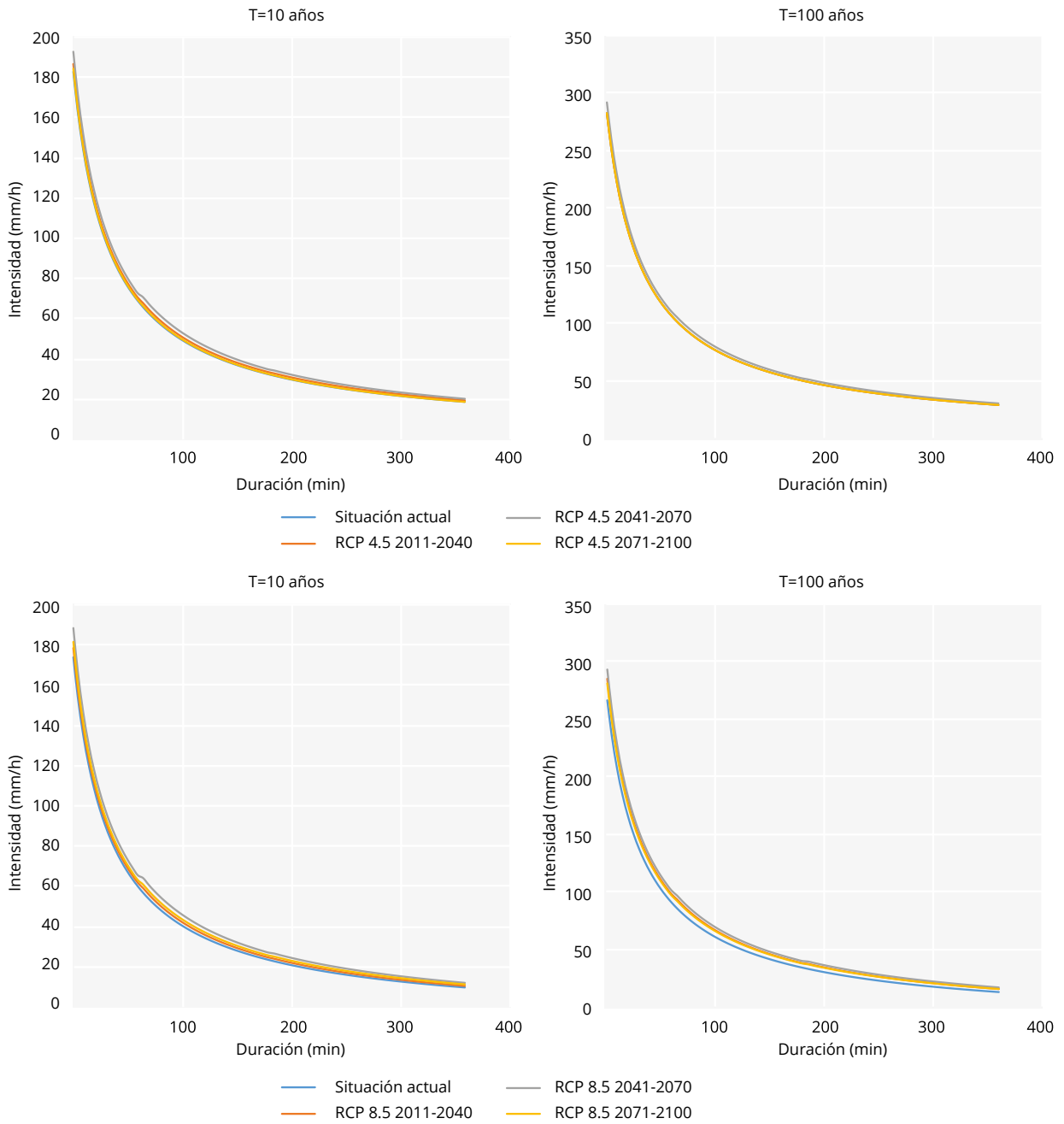
Fuente: Elaboración propia.

## Niveles

Para realizar el análisis extremal de los niveles del río Paraguay para los diferentes escenarios de cambio climático se han utilizado las predicciones obtenidas en los estudios desarrollados en el Programa Marco para la Gestión Sostenible de los Recursos Hídricos de la Cuenca de la Plata (<https://cicplata.org/es/>). Concretamente, se han utilizado dos fuentes de datos diferentes que provienen del mismo estudio hidrológico y a las que se ha tenido acceso:

- Predicciones de cambio climático para la estación hidrométrica localizada en Puerto Bermejo del documento titulado Análisis Diagnóstico Transfronterizo (ADT) y programa de acciones estratégicas (PAE) (Maschinen *et al.* 2016).
- Series de caudales diarios obtenidos mediante modelado hidráulico (utilizando el modelo hidrológico MGB-IPH) para la estación hidrométrica Pilcomayo (Projeto Modelagem Hidrológica da Bacia do Prata utilizando o MGB-IPH-Produto N2: Impacto das Mudanças Climáticas na Bacia do Prata, Collischonn, *et al.* 2015).

**Figura 39.** Curvas IDF para la situación actual vs. escenarios de cambio climático para 10 y 100 años de periodo de retorno.



Fuente: Elaboración propia.

#### 4.9 Proyecciones de cambio climático: régimen extremal

En ambos casos se ha caracterizado el régimen extremal para el escenario RCP 4.5 y los periodos 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2100 mediante la aplicación de factores. No se ha considerado el escenario RCP 8.5 puesto que no hay predicciones para el mismo.

**Tabla 7.** Niveles extremos para períodos de cambio climático (genextreme) basado en los datos de la estación hidrométrica del Puerto Pilcomayo.

| T<br>(PERIODO DE RETORNO) | 2011-2040 | 2041-2070 | 2071-2100 | PERIODO DE REFERENCIA |
|---------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------------------|
| 2                         | 57.69     | 58.36     | 59.06     | 59.18                 |
| 5                         | 59.05     | 59.72     | 60.39     | 60.51                 |
| 10                        | 59.72     | 60.43     | 61.10     | 61.22                 |
| 25                        | 60.51     | 61.15     | 61.82     | 61.94                 |
| 50                        | 60.95     | 61.59     | 62.26     | 62.38                 |
| 100                       | 61.31     | 61.96     | 62.63     | 62.75                 |
| 200                       | 61.62     | 62.27     | 62.94     | 63.06                 |
| 500                       | 61.95     | 62.60     | 63.27     | 63.40                 |

Fuente: Elaboración propia.

**Tras analizar los resultados obtenidos, la tendencia general es la disminución de los niveles a lo largo de los períodos analizados tanto para la estación Pilcomayo, localizada justo aguas abajo de Asunción, como para la estación Puerto Bermejo, que se localiza cerca de la desembocadura del río Paraguay. Por lo tanto, se considera que los niveles más altos en el río Paraguay se dan en la situación actual y que no van a sufrir aumentos en el futuro.**

En la Tabla 7 se presentan a modo de ejemplo los resultados para la función que da un mejor ajuste para la situación actual, Generalized Extreme Value (GEV) en la estación Pilcomayo. Para mayor detalle el análisis realizado ver Anejo IV.



## 5.

## Evaluación de exposición, vulnerabilidad, riesgo y propuesta de medidas

La exposición constituye una de las variables de la función del riesgo. En este contexto, la evaluación de la exposición engloba la identificación y caracterización de los elementos expuestos como paso previo a la caracterización de la exposición.

En este sentido, se ha desarrollado un inventario de activos (elementos existentes en el área de estudio) que incluye todos los activos físicos<sup>24</sup> (edificaciones e infraestructuras críticas y edificios) y los activos sociales<sup>25</sup> (población) que forman parte del área de estudio caracterizándolos a través de sus condiciones físicas, sus sectores de uso y su valor económico de forma que permita determinar su vulnerabilidad frente a la amenaza estudiada.

Los mapas en la figuras 41 y 42 muestran los resultados de tres escenarios modelados en el bañados norte y sur. Los escenarios corresponden a inundaciones fluviales bajo situación actual, inundaciones pluviales bajo situación actual e inundaciones pluviales bajo cambio climático - todos dentro de un periodo de retorno de 100 años. Como se indico anteriormente estos son los escenarios climáticos mas extremos y conservadores.

En los mapas se presenta en color 'lila' las zonas inundadas bajo el escenario base, sin considerar las soluciones estructurales propuestas. Dicho de otra forma, si se consideran las soluciones propuestas no se inundan las áreas pintadas en 'lila', pero si bajo el escenario base. De esta forma en un solo mapa podemos ver las areas inundadas bajo la solución propuesta y las areas que dejan de ser inundadas.

<sup>24</sup> Se ha contado con información digital facilitada por el Banco Mundial desarrollada a partir de imágenes de drones y de cámaras Street View por la empresa GPHR (junio, 2020) dentro del Programa Global para Viviendas Resilientes (*World Bank Global Program for Resilient Housing*) e incluye datos del área y la altura media a nivel de edificio como insumo principal para la conformación de los inventarios de cada uno de los bañados; si bien, puesto que su extensión no cubre la huella urbana de los dos bañados por completo, se ha completado con la información digital a nivel de manzana facilitada por el MUVH que cuenta con el número de viviendas en cada manzana y su localización en el año 2012 y la inspección directa en el sitio de algunas zonas derivadas de las vistas de campo realizadas durante la primer misión y observaciones de las últimas imágenes de satélite e interpretación de las mismas.

<sup>25</sup> La población ha sido obtenida como combinación de diferentes fuentes de información: datos de población del Estudio de Riesgos y Vulnerabilidad al Cambio Climático para el Área Metropolitana de Asunción, bajo el Programa de Ciudades Emergentes y Sostenibles (ESCI) del BID, censo de Tacumbú de 2017 (Global Consultores-Itaipu) e información sobre población en diferentes áreas de los bañados obtenida de la plataforma Asu Participa.

## 5.1 Exposición física

Las edificaciones se clasifican en cuatro categorías de calidad constructiva, en función del nivel socioeconómico de la población, la tipología edificatoria y el acceso a servicios de abastecimiento y saneamiento básicos<sup>26</sup>.

**Tabla 8.** Relación entre clase socioeconómica y categorías de calidad constructiva y valores de reposición considerados<sup>27</sup>.

| CALIDAD CONSTRUCTIVA | CLASE SOCIOECONÓMICA | PRECIO (USD/M <sup>2</sup> ) |
|----------------------|----------------------|------------------------------|
| A                    | Alta                 | 1,050                        |
| B                    | Media                | 437.5                        |
| C                    | Baja                 | 287.5                        |
| D                    | Precaria             | 87.26                        |

Fuente: Elaboración propia.

Alguna de las principales conclusiones del inventario realizado son las siguientes:

- Los bañados de la ciudad de Asunción son áreas con escasos contrastes en materia de calidad de vivienda donde predomina la vivienda de tipo precario asociada a viviendas de clase baja
- La calidad constructiva que más superficie ocupa es la de tipo precario (D) concentrando el 70% de la población de ambos bañados y el 64% y el 49% del área dedicada a uso residencial para el Bañado Norte y Sur, respectivamente.
- Le sigue la calidad constructiva baja (C) con un concentrando casi el 30% de la población restante y ocupando un 33% del Bañado Norte y un 51% del Bañado Sur.
- La categoría de tipo medio (B) es la menos abundante en lo que respecta a las hectáreas (3% en el Bañado Norte y 0.3% en el Bañado Sur) y la que menor cantidad de población reúne (6% en el Bañado Norte y 0.3% en el Bañado Sur) y no existen edificaciones del tipo A.

<sup>26</sup> Clasificación realizada con base en la información disponible (p. ej. Estudio de Riesgos y Vulnerabilidad al Cambio Climático para el Área Metropolitana de Asunción, bajo el Programa de Ciudades Emergentes y Sostenibles (ESCI) del BID), junto con un análisis de fotointerpretación y el trabajo de campo desarrollado.

<sup>27</sup> La estimación del valor económico de reposición para cada categoría de calidad constructiva se ha realizado con base en información del MUVH de diferentes proyectos en los bañados que incluyen estimaciones de costos de construcción de viviendas sociales, así como la valoración social de viviendas precarias donde los precios referenciales han sido obtenidos de diferentes fuentes: Eco Bahía Project Presentation 1-Municipality of Asuncion, 2016, Promediados entre Costos y Mandu'á. Precios de SATs, Licitaciones del programa Vy'á rendá recientes, etc., una valoración sobre costos de viviendas de mayor categoría constructiva en otras zonas de la ciudad (<https://www.5dias.com.py/2019/01/el-valor-del-m%C2%B2-en-distintos-barrios-de-asuncion/#prettyPhoto>) y datos de obtenidos de otras ciudades estudiadas bajo la iniciativa CES con viviendas de tipologías similares.

Figura 40. Imágenes de edificaciones en el Barrio de Tacumbú en el Bañado Sur.

Calidad Constructiva C:



Calidad Constructiva D:



Fuente: Censo Tacumbú 2017 y Global Consultores-Itaipu, MUVH.

Tabla 9. Distribución de área, valor de reposición y población según categoría de calidad constructiva de las edificaciones.

| CALIDAD CONSTRUCTIVA | HA.          | %          | VALOR TOTAL (MUS\$) | %          | POBLACIÓN     | %          |
|----------------------|--------------|------------|---------------------|------------|---------------|------------|
| <b>BAÑADO NORTE</b>  |              |            |                     |            |               |            |
| A                    | -            | -          | -                   | -          | -             | -          |
| B                    | 2.04         | 2.8        | 8.91                | 7.57       | 2,388         | 5.6        |
| C                    | 23.63        | 32.6       | 67.95               | 57.73      | 10,219        | 24.2       |
| D                    | 46.80        | 64.6       | 40.84               | 34.70      | 29,728        | 70.2       |
| <b>TOTAL</b>         | <b>72.47</b> | <b>100</b> | <b>117.70</b>       | <b>100</b> | <b>42,335</b> | <b>100</b> |
| <b>BAÑADO SUR</b>    |              |            |                     |            |               |            |
| A                    | -            | -          | -                   | -          | -             | -          |
| B                    | 0.18         | 0.3        | 0.81                | 0.65       | 78            | 0.3        |
| C                    | 33.34        | 50.8       | 95.83               | 76.90      | 9,104         | 30.1       |
| D                    | 32.06        | 48.9       | 27.98               | 22.45      | 21,089        | 69.6       |
| <b>TOTAL</b>         | <b>65.58</b> | <b>100</b> | <b>124.62</b>       | <b>100</b> | <b>30,271</b> | <b>100</b> |

Fuente: Elaboración propia.



Figura 41. Distribución geográfica de la calidad constructiva de las edificaciones en el Bañado Norte.

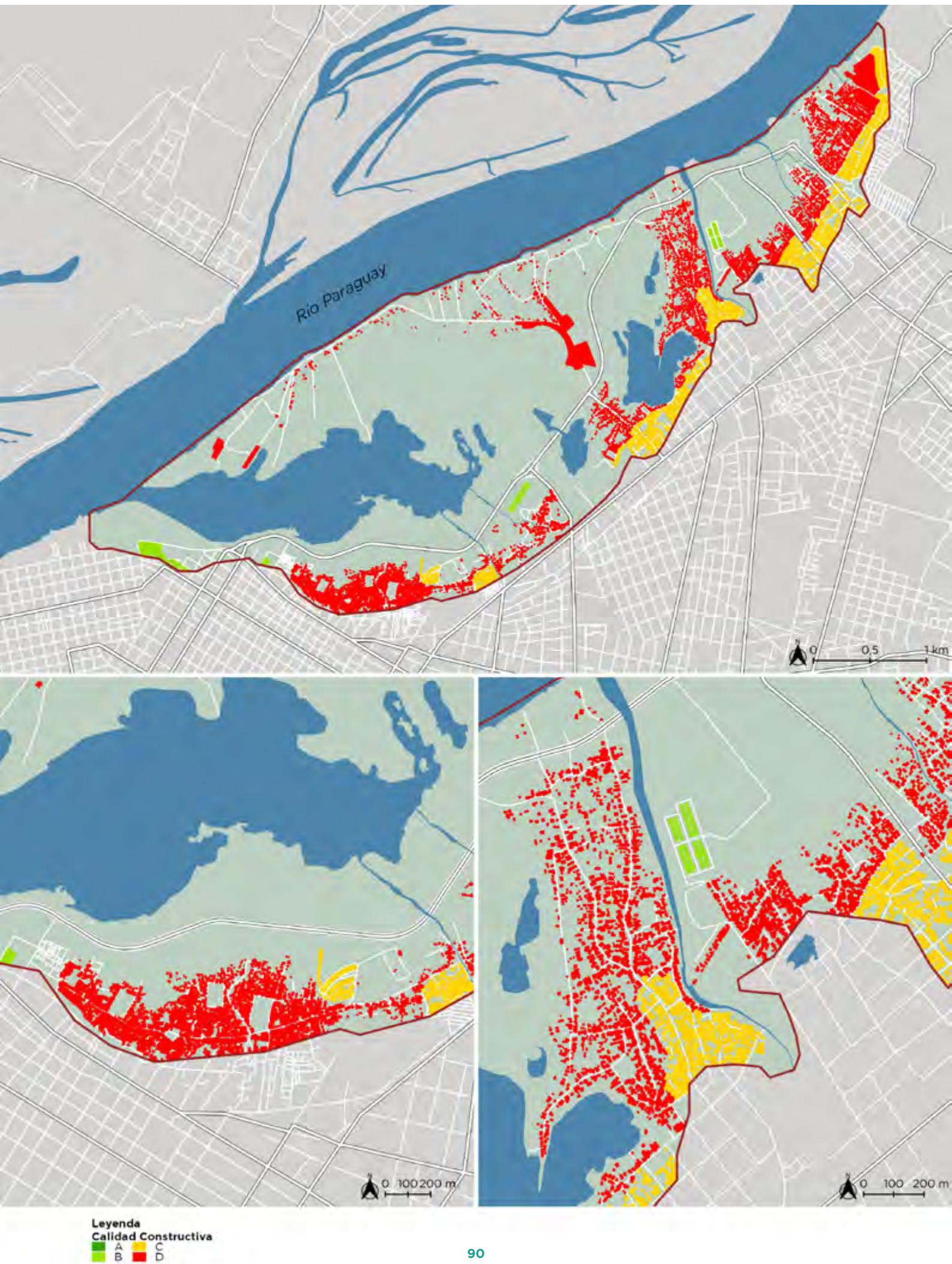
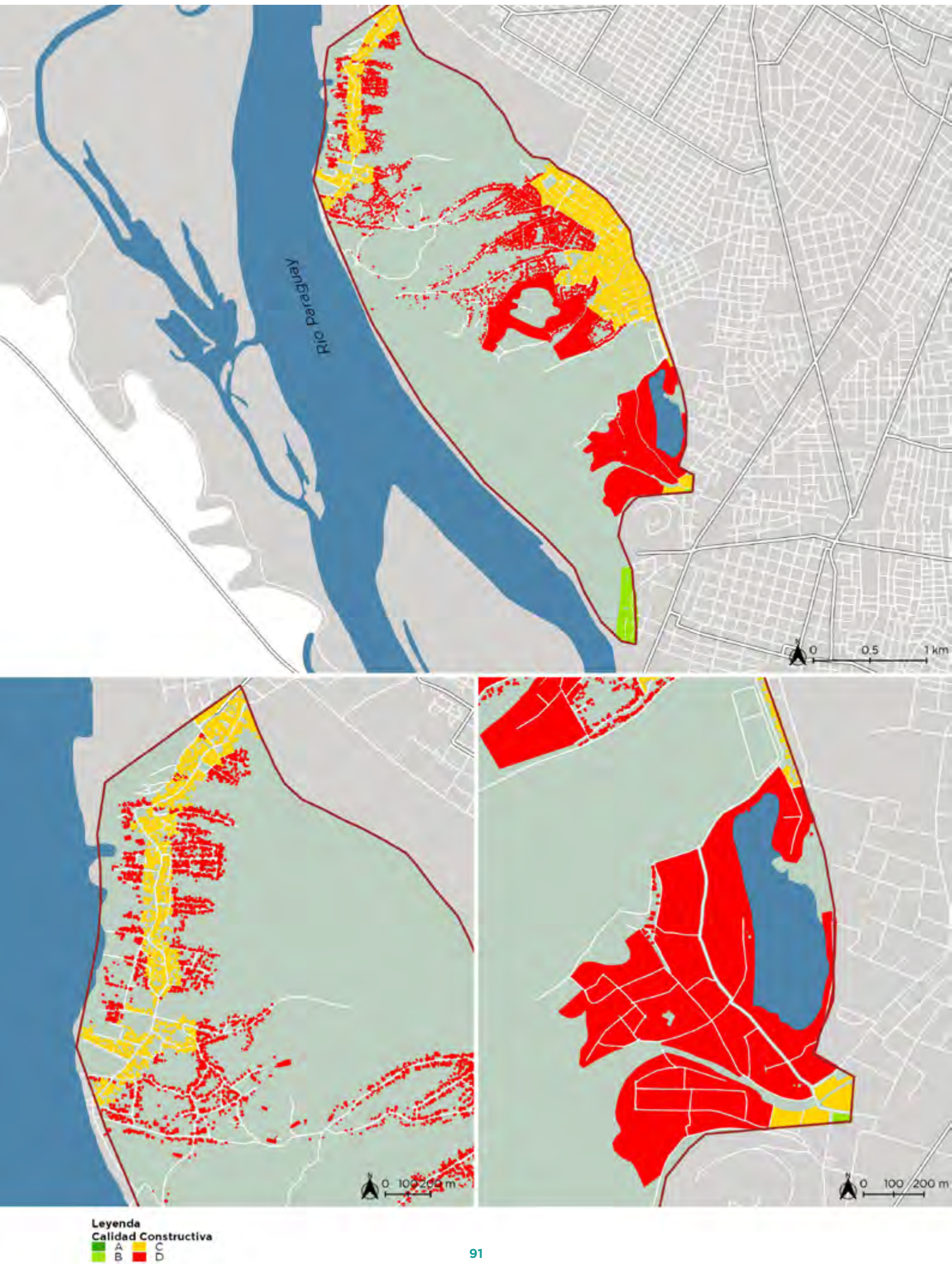




Figura 42. Distribución geográfica de la calidad constructiva de las edificaciones en el Bañado Sur.



## 5.1 Exposición física

En la Tabla 10 se presentan los resultados de la exposición física para cada escenario considerado en cada bañado para los periodos de 10 y 100 años, que representan eventos de alta y baja probabilidad de ocurrencia respectivamente. Las principales conclusiones obtenidas son:

- El área edificada afectada representa un gran porcentaje del área inventariada en ambos bañados menos y como es lógico, se produce un incremento en el número de superficie afectada conforme aumenta el periodo de retorno.
- El área edificada expuesta a inundación con periodo de retorno de 10 años representa un 41.7% del área edificada total para la inundación fluvial en el Bañado Norte y un 46.65 % en el Bañado Sur, esta cifra disminuye para la inundación pluvial donde el área edificada expuesta representa el 27.7% y el 37.7% en los Bañados Norte y Sur para el clima actual y teniendo en cuenta el cambio climático el 32.4% y 42.9%.
- Para el periodo de retorno de 100 años esta cifra aumenta un 67.2 % de la superficie edificada total para la inundación fluvial del Bañado Norte, y a un 71.1 % en el Bañado Sur. Respecto a la inundación pluvial, aumenta hasta el 37.6% y el 49.1% para el clima actual y hasta el 42.9% y el 55.7% teniendo en cuenta el cambio climático para los Bañados Norte y Sur, respectivamente.

**Tabla 10.** Edificaciones afectadas por inundación y valor económico expuesto según periodo de retorno de 10 y 100 años.

|                                     | BAÑADO NORTE |       | BAÑADO SUR |       |
|-------------------------------------|--------------|-------|------------|-------|
| INUNDACIÓN FLUVIAL SIT. ACTUAL      | T10          | T100  | T10        | T100  |
| Área edif. inundada (ha.)           | 30.19        | 41.7  | 21.76      | 33.2  |
| % Área edif. inundada               | 41.7         | 67.2  | 46.65      | 71.1  |
| Valor edif. expuesto (MUS\$)        | 31.41        | 61.77 | 30.21      | 73.30 |
| % Valor edif. expuesto              | 26.69        | 52.48 | 24.24      | 58.82 |
| INUNDACIÓN PLUVIAL SIT. ACTUAL      | T10          | T100  | T10        | T100  |
| Área edif. inundada (ha.)           | 20.11        | 27.28 | 24.74      | 32.18 |
| % Área edif. inundada               | 27.7         | 37.6  | 37.7       | 49.1  |
| Valor edif. expuesto (MUS\$)        | 27.34        | 37.54 | 48.75      | 62.14 |
| % Valor edif. expuesto              | 23.23        | 31.89 | 39.12      | 49.86 |
| INUNDACIÓN PLUVIAL CAMBIO CLIMÁTICO | T10          | T100  | T10        | T100  |
| Área edif. inundada (ha.)           | 23.46        | 31.08 | 28.14      | 36.54 |
| % Área edif. inundada               | 32.4         | 42.9  | 42.9       | 55.7  |
| Valor edif. expuesto (MUS\$)        | 32.07        | 42.91 | 54.94      | 69.93 |
| % Valor edif. expuesto              | 27.25        | 36.45 | 44.08      | 56.12 |

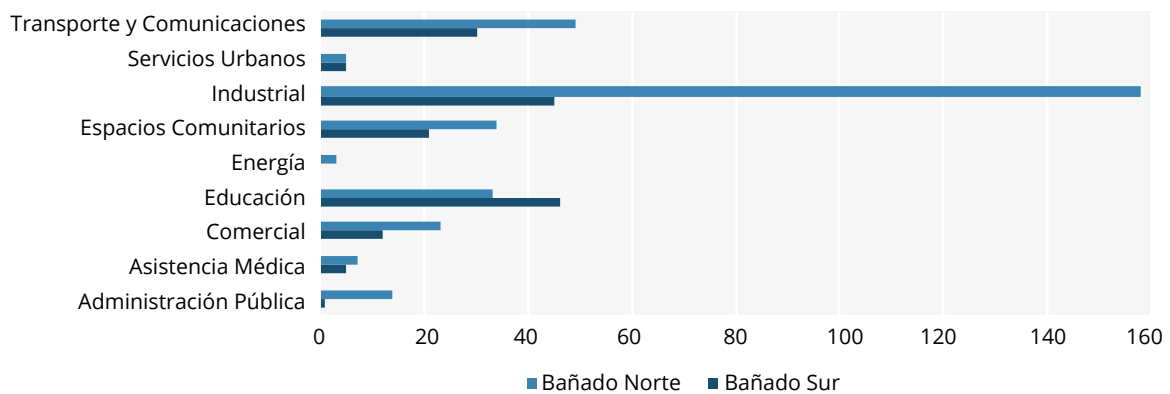
Fuente: Elaboración propia.

En lo referente a las infraestructuras críticas (infraestructuras urbanas y áreas comerciales) se ha elaborado una base de datos (inventario) que cuenta con los siguientes elementos:





**Figura 43.** Número de infraestructuras críticas del área de estudio según fuentes de información consultadas.

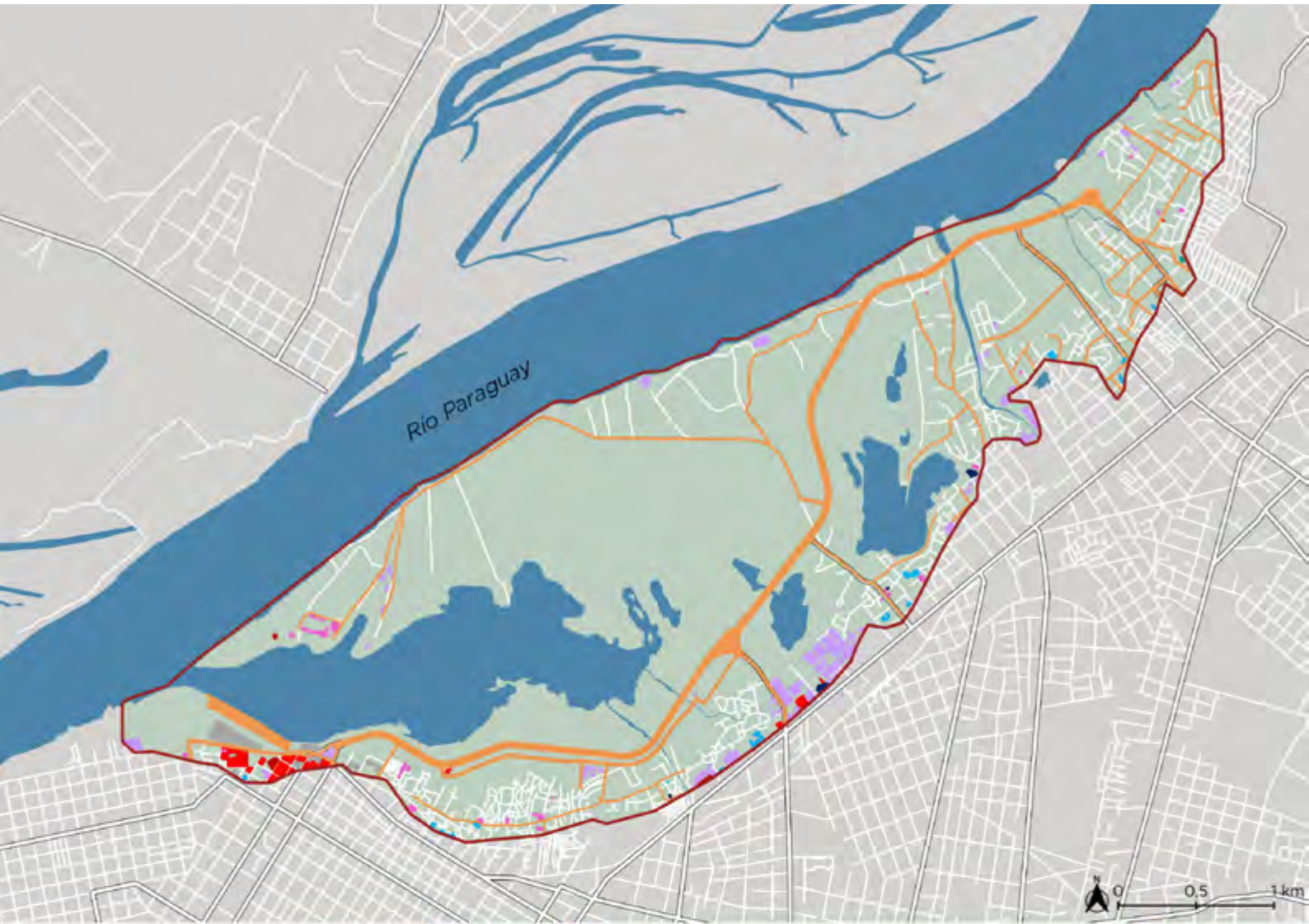


Fuente: Elaboración propia.



**Como se puede observar en las figuras, existen más infraestructuras críticas en el Bañado Norte que en el Bañado Sur. Esto se debe principalmente a que en el Bañado Norte existen gran cantidad de áreas industriales convirtiéndolos en los elementos más numerosos. En cuanto al resto de categorías, el orden de magnitud es similar en ambos bañados siendo los más abundantes los elementos pertenecientes a las categorías Industrial, Transporte y Comunicaciones y Educación.**

Figura 44. Inventario de infraestructuras críticas en el bañado Norte.



**Leyenda**

**Categoría de IC**

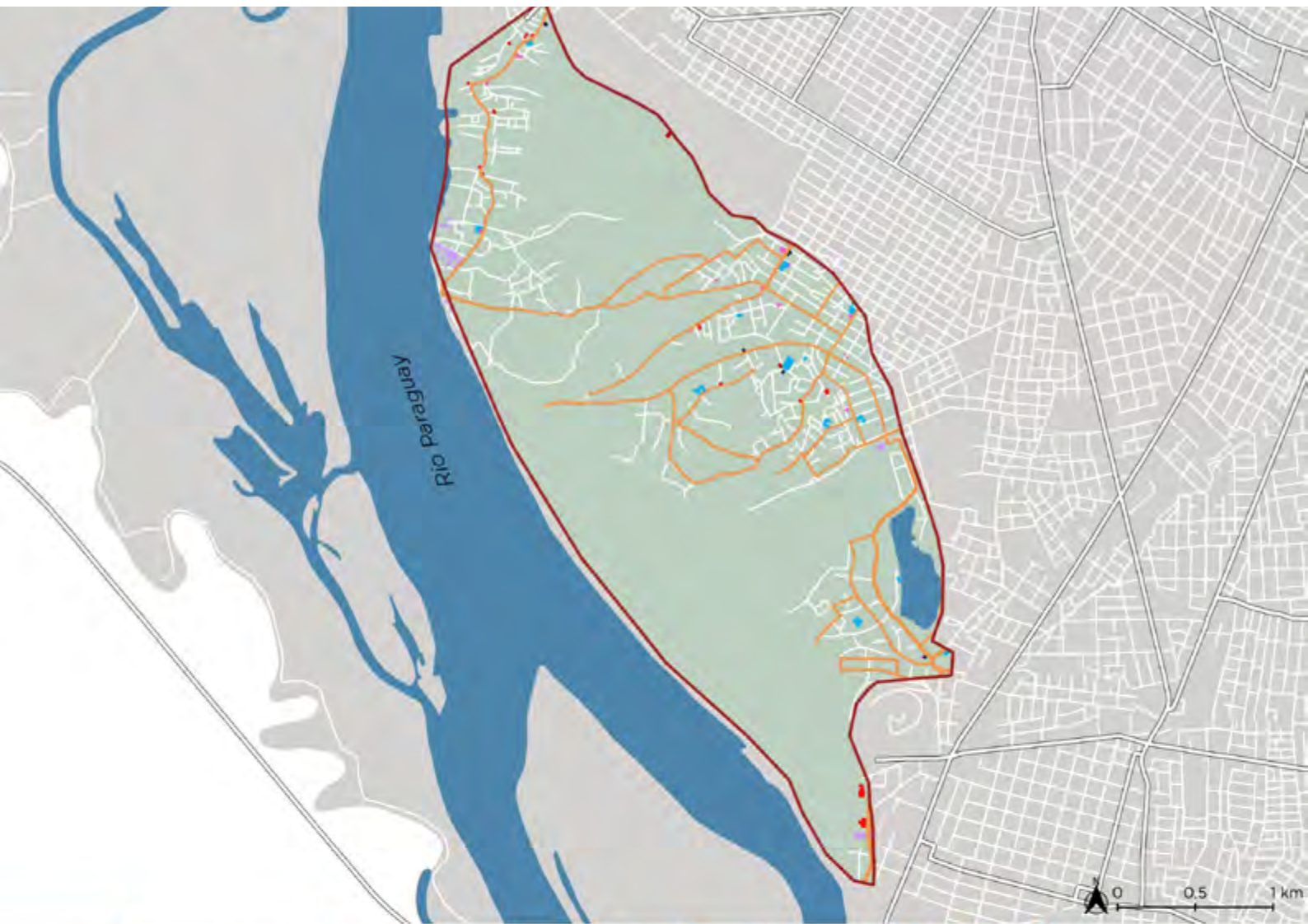
- Administración Pública
- Asistencia Médica
- Comercial

- Educación
- Energía
- Espacios Comunitarios

- Industrial
- Servicios Urbanos
- Transporte y Comunicaciones



Figura 45. Inventario de infraestructuras críticas en el bañado Sur.



**Leyenda**

**Categoría de IC**

- Administración Pública
- Asistencia Médica
- Comercial

- Educación
- Espacios Comunitarios
- Industrial

- Servicios Urbanos
- Transporte y Comunicaciones



Bahía de Asunción 2021. Fotografía: Jorge Saenz.



## 5.2 Exposición social

**La exposición social se refiere a la cantidad de personas afectadas por una amenaza particular. Para obtener la población expuesta a inundaciones se ha tenido en cuenta la densidad de población (población inventariada) y las láminas de inundación de distintos periodos de retorno.**

**Se ha considerado una población de 42,335 habitantes en el Bañado Norte y 30,271 en el Bañado Sur con una densidad media poblacional aproximada de 460 Hab./ha y 220 Hab./ha, respectivamente.**

En la Tabla 11 se presenta la población expuesta en los bañados para los periodos de retorno de 10 y 100 años. Las principales conclusiones obtenidas son:

- La población afectada representa un gran porcentaje de la población inventariada en ambos bañados mayor, como es lógico, conforme aumenta el periodo de retorno.
- La población expuesta a inundación con periodo de retorno de 10 años representa un 44.5 % de la población total para la inundación fluvial en el Bañado Norte y un 38.8 % en el Bañado Sur, esta cifra disminuye para la inundación pluvial donde la población expuesta representa el 29.4% y el 35.5% en los Bañados Norte y Sur para el clima actual y, teniendo en cuenta el cambio climático, el 33.6% y 40.8%.
- Para el periodo de retorno de 100 años esta cifra aumenta un 68.1 % de la población total para la inundación fluvial del Bañado Norte y a un 77.6 % en el Bañado Sur. Respecto a la inundación pluvial, aumenta hasta el 43.4% y el 47.3% para el clima actual y hasta el 50.8% y el 54.1% teniendo en cuenta el cambio climático para los Bañados Norte y Sur, respectivamente.

**Tabla 11.** Población expuesta a inundación según periodo de retorno de 10 y 100 años en situación actual y con cambio climático.

| INUNDACIÓN FLUVIAL SIT. ACTUAL      | BAÑADO NORTE |        | BAÑADO SUR |        |
|-------------------------------------|--------------|--------|------------|--------|
|                                     | T10          | T100   | T10        | T100   |
| Población afectada/expuesta         | 18,791       | 28,820 | 11,750     | 23,484 |
| % respecto del total de población   | 44.4         | 68.1   | 38.8       | 77.6   |
| INUNDACIÓN PLUVIAL SIT. ACTUAL      | T10          | T100   | T10        | T100   |
| Población afectada/expuesta         | 12,441       | 16,281 | 10,753     | 14,307 |
| % respecto del total de población   | 29.4         | 38.5   | 35.5       | 47.3   |
| INUNDACIÓN PLUVIAL CAMBIO CLIMÁTICO | T10          | T100   | T10        | T100   |
| Población afectada/expuesta         | 14,206       | 18,393 | 12,365     | 16,392 |
| % respecto del total de población   | 33.6         | 43.4   | 40.8       | 54.1   |

Fuente: Elaboración propia.



Figura 46. Densidad poblacional actual en el Bañado Norte.





Figura 47. Densidad poblacional actual en el Bañado Sur.



## 5.3 Evaluación de la vulnerabilidad

**El análisis de la vulnerabilidad de los elementos expuestos consiste en el estudio del grado de afectación que puede generar la amenaza sobre los mismos, siendo una cualidad intrínseca al sistema y función de las características naturales de esos elementos y del umbral a partir del cual se produce el impacto objeto de estudio. Se trata de evaluar las características intrínsecas de los elementos expuestos que les hacen más susceptibles de sufrir los impactos negativos de una amenaza.**

### Vulnerabilidad física

**La vulnerabilidad física se representa mediante curvas de vulnerabilidad o funciones de daño que relacionan la profundidad de la lámina de agua con el daño potencial sobre el elemento analizado, que dependerá de las características intrínsecas de éste.**

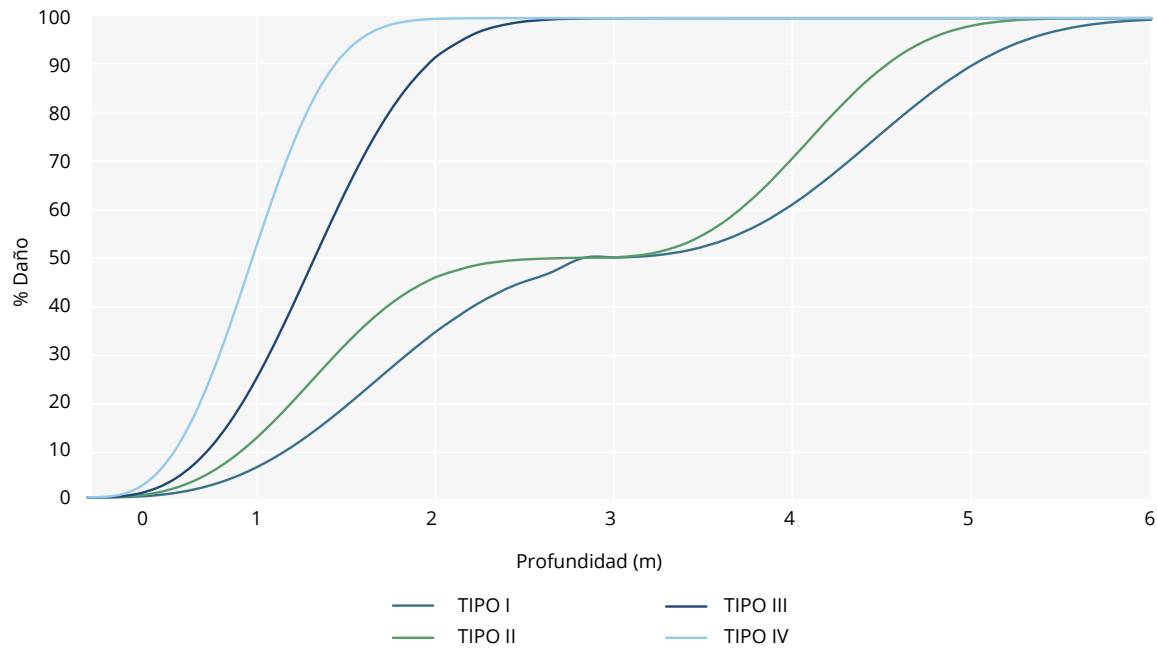
La asignación de funciones de daño por inundación en edificaciones viene definida para cada tipología de calidad constructiva considerando cuatro funciones de daño, dos para viviendas de un solo piso (planta baja) y otras dos para viviendas de dos o más pisos.

Para la asignación de estas funciones, se ha aplicado el juicio de experto para seleccionar las funciones CAPRA<sup>28</sup> que mejor se relacionan con las cuatro categorías empleadas (A, B, C y D), que finalmente se han ajustado con funciones analíticas para facilitar la implementación. La hipótesis de trabajo es que este tipo de inundaciones dañan las instalaciones y los equipamientos de cualquier vivienda, sea de madera o de ladrillo, pero no alteran en general su estructura. Únicamente para la categoría D, la más frágil, se ha incluido un criterio de colapso (daño estructural del 100%), basada en datos empíricos de desastres y del manual técnico de HAZUS<sup>29</sup>. En la Figura 48 se muestran de forma gráfica las funciones de daño por inundaciones adoptadas en el caso de no sufrir colapso.

<sup>28</sup> La Plataforma CAPRA (Central American Probabilistic Risk Assessment en inglés) es una iniciativa que busca fortalecer la capacidad institucional para evaluar, entender y comunicar el riesgo de desastres con el fin último de integrar la información de riesgo de desastre generada en las políticas y programas de desarrollo. Dicha plataforma cuenta con un software abierto para calificar las funciones de exposición.

<sup>29</sup> Hazus es una herramienta de análisis de peligros naturales basada en un sistema de información geográfica desarrollada y distribuida gratuitamente por la Agencia Federal para el Manejo de Emergencias (FEMA). El programa Hazus mantiene modelos para estimar el riesgo de daños por terremotos, inundaciones, huracanes y tsunamis. Cada modelo Hazus utiliza información de inventario (edificios, infraestructura y población), datos de extensión e intensidad de amenazas y funciones de daño para estimar los impactos de los desastres.

**Figura 48.** Funciones de daño para calcular los riesgos de inundación.



Fuente: CAPRA.

En el caso de las infraestructuras críticas, se asigna una función de daño a cada categoría de infraestructura crítica, agrupadas por su tipología y tipo de servicios que provén (Tabla 12).

**Tabla 12.** Funciones de daño para las diferentes categorías de infraestructuras críticas.

| CATEGORÍAS                  | TIPO DE FUNCIÓN DE DAÑO DE INFRAESTRUCTURAS CRÍTICAS |
|-----------------------------|--|
| Espacios comunitarios       | Tipo I   |
| Administración pública      | Tipo II  |
| Asistencia médica           |  |
| Educación                   |  |
| Comercial                   |  |
| Servicios urbanos           | Tipo III   |
| Energía                     |  |
| Industrial                  | Tipo IV  |
| Transporte y comunicaciones |  |

Fuente: CAPRA.



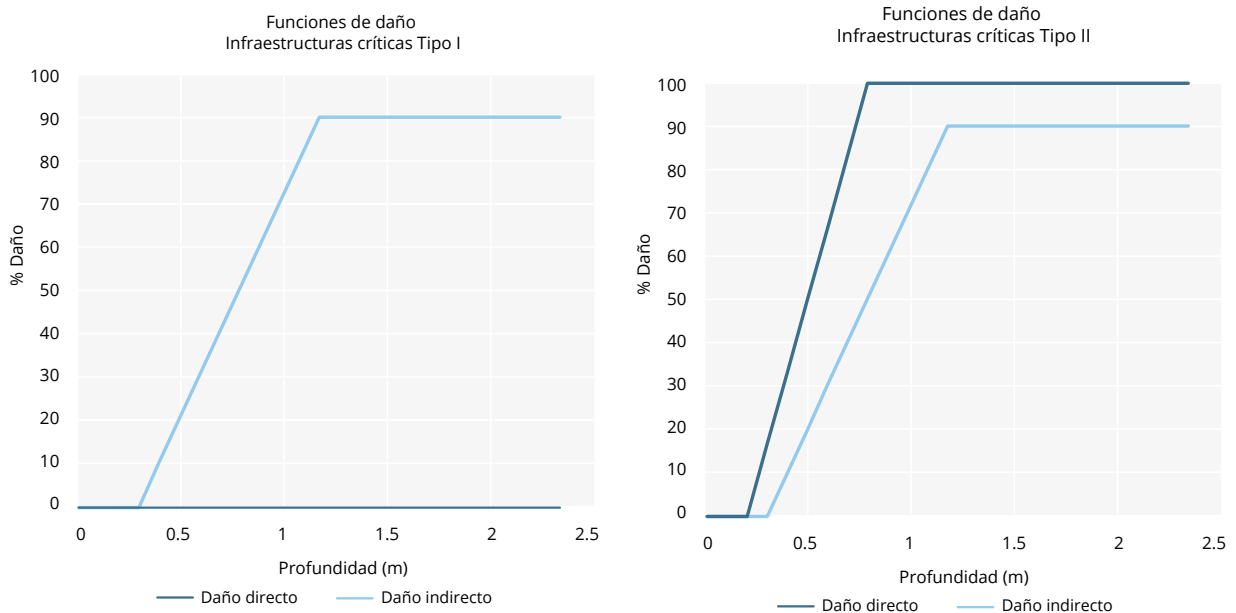
### 5.3 Evaluación de la vulnerabilidad

Para cada tipo de función de daño, se asignan dos funciones de daño (Figuras 49 y 50):

- **Funciones de daño que permiten valorar los daños directos, asociados a la afección de la propia infraestructura crítica.** A partir de estas funciones es posible cuantificar los costes de la infraestructura crítica.
- **Funciones de daño que permiten valorar los daños indirectos, asociados a la pérdida de servicio.** A partir de estas funciones es posible cuantificar los costes derivados de la no funcionalidad de la infraestructura crítica.

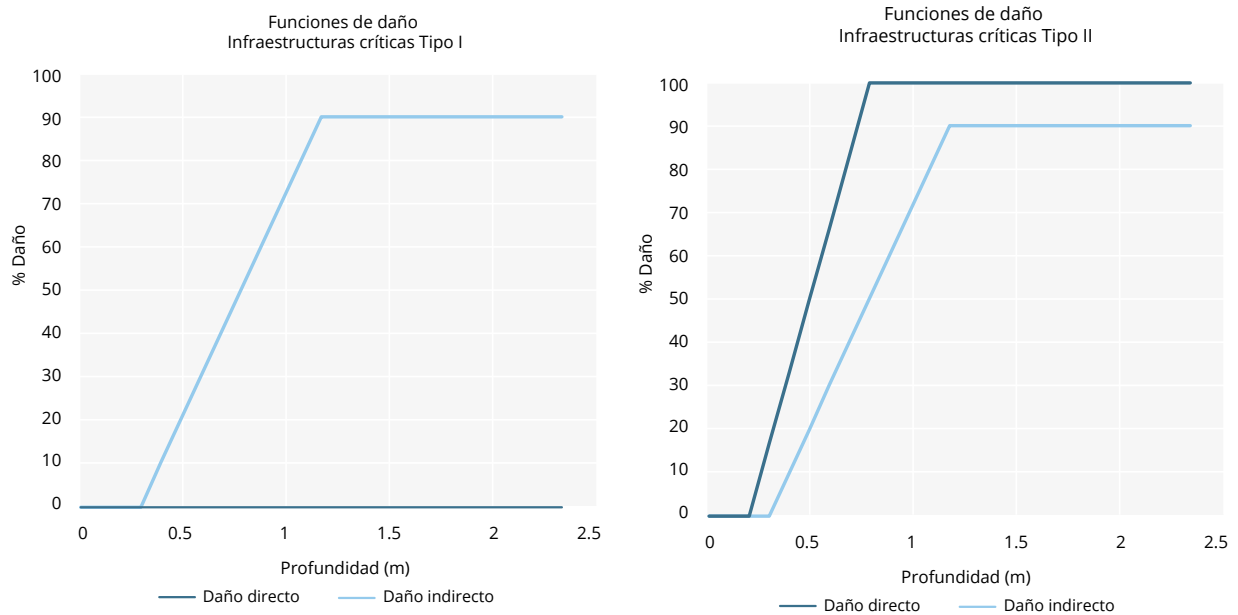
Estas funciones de daño en infraestructuras críticas no están disponibles de forma genérica en la literatura técnica, y por tanto se han elaborado a partir de la experiencia adquirida en numerosas ciudades de Latinoamérica y el Caribe, tratando de minimizar el número de parámetros necesarios y con un enfoque práctico.

**Figura 49.** Funciones de daño para infraestructuras críticas de tipo I y II.



Fuente: CAPRA.

**Figura 50.** Funciones de daño para infraestructuras críticas de tipo III y IV.



Fuente: CAPRA.

## Vulnerabilidad social

**La densidad de población es uno de los factores clave de la vulnerabilidad, ya que determina la cantidad de personas que potencialmente pueden encontrarse en un lugar alcanzado por las aguas de una creciente.** No obstante, una alta densidad de población no implica una vulnerabilidad alta, ya que la población puede estar más o menos expuesta a la peligrosidad en función de las características tipológicas y estructurales de los edificios, así como de otras variables no estructurales asociadas a la capacidad de evacuación temprana de la zona afectada.

Una de las fórmulas disponibles, que ha sido empleada con éxito en diversos estudios y se basa en datos de eventos reales, es la debida a Jonkman *et al.* (2008), que introducen una probabilidad de muerte que depende del calado, la velocidad y la tasa de aumento del calado.

## 5.4 Evaluación del riesgo actual

Para el cálculo de los daños por inundación 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 el calado alcanzado por los eventos de distinto periodo de retorno.
  - **Daños indirectos de reubicación:** se obtiene únicamente para la inundación fluvial por desbordamiento del río Paraguay. Se ha considerado que todas las personas afectadas por inundación fluvial para cada periodo de retorno tienen que abandonar sus viviendas por un tiempo determinado (resultado del análisis del régimen de persistencia del río) que depende de la cota en la que se encuentren. El valor económico (daño indirecto de reubicación) se obtiene de considerar un coste por persona y por día de 10\$, que representa el coste de realojamiento y manutención de las personas afectadas.
  - **Daños directos en infraestructuras críticas:** son el equivalente a los daños en edificaciones, pero aplicados a infraestructuras públicas.
  - **Capacidad afectada:** se ha estimado la merma de capacidad que una inundación genera en cada uno de los subsistemas críticos analizados. Se han empleado para ello un conjunto de curvas de daño, descritas anteriormente, que relacionan los calados de agua con la pérdida de servicio que conllevan.
  - **Daños indirectos en infraestructuras críticas:** tratan de recoger, mediante precios sombra, el daño económico derivado de la interrupción de un servicio al que cada infraestructura crítica está ligada.
  - **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 fallecidos y heridos graves.**
  - **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 cuyo calado asociado a un evento dado es superior a 0.3 m.
  - **Número de personas con necesidad de refugio de larga duración:** en el caso de la inundación fluvial la mayor parte de las personas afectadas, debido a la persistencia en el tiempo de la inundación, deben de abandonar sus viviendas por un periodo de tiempo determinado. Se han considerado personas con necesidad de refugio de larga duración aquellas afectadas por la inundación fluvial que tienen que abandonar sus viviendas por un periodo de más de dos semanas de duración (localizadas a una cota de menos de 63 m).
  - **Número de personas con necesidad de refugio permanente:** se calcula a partir del número de personas censadas en viviendas que sufren colapso por efecto de las inundaciones.



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

**Tabla 13.** Parámetros de daño económico y humano.

| PARÁMETROS DE DAÑO ECONÓMICO:   | INDICADORES DE DAÑO ECONÓMICO:  |
|---|---|
| <p><b>Pérdida anual esperada (PAE)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● 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.</li> <li>● 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.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>● Índice de daños económicos medios, es el porcentaje que representa la PAE sobre la renta total de la zona afectada (%).</li> <li>● Índice de daños económicos medios, es el porcentaje que representa la PMP sobre la renta total de la zona afectada (%).</li> </ul>  |
| PARÁMETROS DE DAÑOS HUMANOS:  | INDICADORES DE DAÑOS HUMANOS:   |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>● Número medio de fallecidos anuales</li> <li>● Número medio anual de personas afectadas por eventos de inundación</li> <li>● Número medio anual de personas con necesidad de refugio de larga duración.</li> <li>● Número medio anual de personas con necesidad de refugio permanente</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>● Índice de fatalidad: proporción de fallecidos y heridos graves por cada millón de habitantes.</li> <li>● Índice de afectación humana (%): porcentaje de afectados por inundaciones.</li> <li>● Índice de refugiados de larga duración: proporción de personas con necesidades de refugio de larga duración.</li> <li>● Índice de refugiados permanentes: proporción de personas con necesidades de refugio permanente cuyas viviendas han sufrido un colapso por efecto de las inundaciones (Personas/millón de hab.)</li> </ul> |

Fuente: Elaboración propia.

## Riesgo económico

En la Tabla 14 se presentan los daños económicos totales y los indicadores de riesgos de desastres económicos obtenidos en los bañados para los tres escenarios analizados para los periodos de retorno de 10 y 100 años, así como los valores anualizados.

Para todos los escenarios el riesgo económico total aumenta a medida que aumenta el periodo de retorno siendo mucho mayor para la inundación fluvial que para la pluvial, tanto para el clima actual como teniendo en cuenta el cambio climático, con un valor del PAE para el Bañado Norte de MUS\$ 5.40, MUS\$ 0.62 y MUS\$ 0.75 respectivamente, de los cuales la mayor parte son daños económicos a las edificaciones. En comportamiento es similar para el bañado Sur con un valor del PAE de MUS\$ 2.89, MUS\$ 0.59 y MUS\$ 0.71.

**Tabla 14.** Resultados de daños económicos por inundación.

| INUNDACIÓN FLUVIAL SIT. ACTUAL                     | BAÑADO NORTE |        |       | BAÑADO SUR |        |       |
|--|--------------|--------|-------|------------|--------|-------|
|  | T10          | T100   | PAE   | T10        | T100   | PAE   |
| Daños directos edif. (MUS\$)                       | 2.73         | 9.48   | 1.26  | 1.17       | 10.50  | 0.75  |
| Daños indirectos de reubicación (MUS\$)            | 10.52        | 14.74  | 3.53  | 6.76       | 12.29  | 1.90  |
| Daños directos IC (MUS\$)                          | 0.96         | 3.34   | 0.44  | 0.14       | 1.22   | 0.09  |
| Daños indirectos IC (MUS\$)                        | 0.38         | 1.32   | 0.17  | 0.24       | 2.12   | 0.15  |
| Daños totales (MUS\$)                              | 14.58        | 28.87  | 5.40  | 8.30       | 26.13  | 2.89  |
| Daños totales (% sobre valor de reposición total)  | 10.14%       | 20.07% | 3.76% | 6.48%      | 20.40% | 2.26% |
| Índice de daños econ. (% daños sobre renta)        | 6.36%        | 12.60% | 2.36% | 5.06%      | 15.94% | 1.77% |
| INUNDACIÓN PLUVIAL SIT. ACTUAL                     | T10          | T100   | PAE   | T10        | T100   | PAE   |
| Daños directos edif. (MUS\$)                       | 0.57         | 1.09   | 0.31  | 0.56       | 0.97   | 0.41  |
| Daños directos IC (MUS\$)                          | 0.29         | 0.55   | 0.15  | 0.16       | 0.27   | 0.11  |
| Daños indirectos IC (MUS\$)                        | 0.30         | 0.58   | 0.16  | 0.09       | 0.15   | 0.06  |
| Daños totales (MUS\$)                              | 1.16         | 2.22   | 0.62  | 0.81       | 1.39   | 0.59  |
| Daños totales (% sobre valor de reposición total)  | 0.81%        | 1.54%  | 0.43% | 0.63%      | 1.09%  | 0.46% |
| Índice de daños econ. (% daños sobre renta)        | 0.51%        | 0.97%  | 0.27% | 0.49%      | 0.85%  | 0.36% |
| INUNDACIÓN PLUVIAL CAMBIO CLIMÁTICO                | T10          | T100   | PAE   | T10        | T100   | PAE   |
| Daños directos edif. (MUS\$)                       | 0.76         | 1.57   | 0.39  | 0.72       | 1.36   | 0.49  |
| Daños directos IC (MUS\$)                          | 0.34         | 0.70   | 0.17  | 0.21       | 0.39   | 0.14  |
| Daños indirectos IC (MUS\$)                        | 0.37         | 0.75   | 0.19  | 0.12       | 0.22   | 0.08  |
| Daños totales (MUS\$)                              | 1.47         | 3.02   | 0.75  | 1.04       | 1.98   | 0.71  |
| Daños totales (% sobre valor de reposición total*) | 1.02%        | 2.10%  | 0.52% | 0.81%      | 1.55%  | 0.55% |
| Índice de daños econ. (% daños sobre renta)        | 0.64%        | 1.32%  | 0.33% | 0.63%      | 1.21%  | 0.43% |

Fuente: Elaboración propia.

## Riesgo social

En la Tabla 15 se presentan los daños sociales y los indicadores de riesgos de desastres sociales obtenidos en los bañados para los tres escenarios analizados para los periodos de retorno de 10 y 100 años. Las principales conclusiones obtenidas son:

- En torno al 45% de la población del Bañado Norte y el 40% del Bañado Sur se ve afectada directamente por eventos de inundación fluvial moderados o leves con cierta frecuencia (cada 10 años o menos); en el caso de un hipotético evento extremo, este fenómeno podría afectar, con variada intensidad, a más de dos tercios de la población. Estos valores disminuyen para la inundación pluvial con en torno a un 30% y de un 33% de personas afectadas para el periodo de retorno de 10 años para el clima actual y teniendo en cuenta el cambio climático en el Bañado Norte y de en torno a un 32% y de un 36% en el Bañado Sur, valores que aumentan hasta un 40% y un 45% para el periodo de retorno de 100 años en el Bañado Norte y hasta un 47% y un 54% en el Bañado Sur.
- La gran cantidad de personas afectadas por la inundación fluvial son además personas con necesidad de refugio de largo periodo. Esto se debe a que necesitan abandonar sus viviendas por un periodo de tiempo determinado que viene definido por la persistencia de la inundación y que, como se ha visto anteriormente, no es nada despreciable y acarrea un gran coste económico para el realojamiento y manutención de estas personas durante el tiempo en que sus viviendas permanecen inundadas (daño económico indirecto a las edificaciones).
- Las personas con necesidad de refugio permanente debido a que su vivienda ha sufrido un colapso son mínimas para la inundación fluvial, solo dándose para eventos de altos periodos de retorno (cada 100 años o más). Este número aumenta para la inundación pluvial debido a que las velocidades producidas por este tipo de inundación son mayores, pero sigue siendo bajo.
- Los resultados de pérdidas de vidas a causa de la inundación fluvial indican que, al menos en términos relativos a la magnitud de los daños económicos, la fatalidad por inundaciones en los bañados es reducida con una fatalidad media anualizada de 0.45 en el Bañado Norte (una persona cada dos años, aproximadamente) y de 0.15 en el Bañado Sur (una persona cada seis años). Los fallecimientos estimados se deben principalmente al ahogamiento de personas aisladas, probablemente ancianos, enfermos o niños. El índice de fatalidad es de 11 por cada millón de habitantes y año en el Bañado Norte, y de 5 en el Bañado Sur, valor relativamente alto que se explica por la gran cantidad de personas que viven en asentamientos informales en zonas inundables dentro del bañado.
- En cuanto a los resultados de pérdidas de vidas causadas por la inundación pluvial, estos son menores que para la inundación fluvial, con valores medios anualizados de 0.2 para el clima actual y de 0.25 teniendo en cuenta el efecto del cambio climático para el bañado Norte, y de 0.2 y 0.45 para el Bañado Sur. Por último, en términos proporcionales a la población de cada bañado, el índice medio de fatalidad es de 5 por cada millón de habitantes y año para el clima actual y de 6 teniendo en cuenta el cambio climático.



## 5.4 Evaluación del riesgo actual

**Tabla 15.** Cifras e indicadores de riesgo humano frente a inundaciones.

|   | BAÑADO NORTE |        |        | BAÑADO SUR |        |        |
|---|--------------|--------|--------|------------|--------|--------|
| INUNDACIÓN FLUVIAL SIT. ACTUAL                          | T10          | T100   | PAE    | T10        | T100   | PAE    |
| Personas afectadas                                      | 18,791       | 28,820 | 6,229  | 11,750     | 23,484 | 3,342  |
| Personas con necesidad de refugio de larga duración     | 18,786       | 28,442 | 6,217  | 11,750     | 23,474 | 3,342  |
| Personas con necesidad de refugio permanente            | -            | 3.83   | 0.08   | 0.00       | 0.00   | 0.00   |
| Fallecidos y heridos graves                             | 0.86         | 5.08   | 0.45   | 0.33       | 2.02   | 0.15   |
| Índice de afectación (%)                                | 44.39%       | 68.08% | 14.71% | 38.82%     | 77.58% | 11.04% |
| Índice de refugiados de larga duración (%)              | 44.38%       | 67.18% | 14.69% | 38.82%     | 77.55% | 11.04% |
| Índice de refugiados permanentes (pers. por mill. hab.) | -            | 90.53  | 1.81   | 0.00       | 0.00   | 0.06   |
| Índice de fatalidad (vidas por mill. hab.)              | 20.31        | 120.04 | 10.56  | 10.81      | 66.72  | 4.95   |
| INUNDACIÓN PLUVIAL SIT. ACTUAL                          | T10          | T100   | PAE    | T10        | T100   | PAE    |
| Personas afectadas                                      | 12,441       | 16,281 | 9,491  | 10,753     | 14,307 | 8,194  |
| Personas con necesidad de refugio permanente            | 1.31         | 7.59   | 0.76   | 4.39       | 11.07  | 2.33   |
| Fallecidos y heridos graves                             | 0.28         | 0.41   | 0.21   | 0.22       | 0.33   | 0.16   |
| Índice de afectación (%)                                | 29.39%       | 38.46% | 22.42% | 35.52%     | 47.26% | 27.07% |
| Índice de refugiados permanentes (pers. por mill. hab.) | 30.87        | 179.31 | 17.92  | 145.00     | 365.84 | 77.10  |
| Índice de fatalidad (vidas por mill. hab.)              | 6.63         | 9.77   | 4.96   | 7.21       | 10.75  | 5.34   |
| INUNDACIÓN PLUVIAL CAMBIO CLIMÁTICO                     | T10          | T100   | PAE    | T10        | T100   | PAE    |
| Personas afectadas                                      | 14,206       | 18,393 | 10,466 | 12,365     | 16,392 | 9,093  |
| Personas con necesidad de refugio permanente            | 2.46         | 9.80   | 1.29   | 8.93       | 19.53  | 3.80   |
| Fallecidos y heridos graves                             | 0.34         | 0.52   | 0.24   | 0.26       | 0.41   | 0.19   |
| Índice de afectación (%)                                | 33.56%       | 43.45% | 24.72% | 40.85%     | 54.15% | 30.04% |
| Índice de refugiados permanentes (pers. por mill. hab.) | 58           | 232    | 31     | 295        | 645    | 126    |
| Índice de fatalidad (vidas por mill. hab.)              | 7.93         | 12.29  | 5.64   | 8.67       | 13.45  | 6.12   |

Fuente: Elaboración propia.

## 5.5 Propuesta de medidas de gestión de riesgo

**La evaluación probabilista del riesgo de inundación realizada para la situación actual ha permitido la identificación de las áreas más afectadas por la amenaza de inundación tanto pluvial como fluvial.**

Como resultado se ha obtenido que una gran superficie del área de ambos bañados tiene un alto riesgo de inundación, siendo afectados por este fenómeno incluso para periodos de retorno muy bajos. Además, estas áreas coinciden con las localizaciones de las viviendas precarias ya mencionadas en apartados anteriores.

Debido a todos estos factores se ha descartado la propuesta de medidas puntuales en zonas priorizadas, puesto que las zonas en riesgo abarcan gran parte del área de los bañados y en favor de medidas globales que mitiguen los riesgos de inundación en la totalidad del área de los bañados.

Esencialmente, se pueden adoptar dos estrategias para la defensa de los bañados frente al desbordamiento del río Paraguay: rellenar hasta una cota a la que no exista riesgo para generar una cierta superficie urbana o la implantación de una solución basada en bombeos, que consiste en desconectar el bañado del río Paraguay durante ciertos periodos del año, utilizando diques, compuertas y/o instalaciones de bombeo para mantener temporalmente el nivel interior del agua por debajo del nivel del río, manteniendo a salvo las edificaciones existentes por encima de una cierta cota de diseño.

**La mitigación de la inundación que producen los arroyos que atraviesan los bañados se estructura a partir de actuaciones de ordenación hidráulica de los cauces con defensas en las márgenes que protejan zonas urbanas y restrinjan los usos y la ocupación de las áreas de influencia de los cauces; asimismo la modificación y/o consolidación de los límites de estos corredores posibilitará la recuperación para el desarrollo urbano de terrenos actualmente inundables.**

Otro aspecto muy importante para evitar inundaciones es controlar las áreas que carecen de una red de drenaje de aguas pluviales bien desarrollada, donde la propia escorrentía urbana origina situaciones de inundación local en puntos bajos. Las medidas de mitigación, en este caso, se deben orientar a facilitar el paso de los caudales por los bañados y acelerar la evacuación de las zonas de acumulación.

A continuación, se procede a describir el conjunto de medidas, en cada uno de los bañados de Asunción, encaminadas a mitigar los riesgos de inundación.

### Medidas propuestas en el Bañado Norte

**Para el Bañado Norte, se ha adoptado como estrategia principal la de aportar material de relleno que eleve la cota de los terrenos que son actualmente inundables.** La autopista Costanera Norte, construida en la zona interior del bañado, delimita la zona urbana que debe ser consolidada dentro del mismo. Fuera de este perímetro, se asume que todas las viviendas situadas por debajo de la cota de inundación deben ser reubicadas. Dentro de este planteamiento se proponen dos escenarios de intervención diferentes que se describen a continuación.

## Solución 1

- **Rellenos hasta la cota +64 m:** elevación situada por encima del nivel en el río Paraguay asociado a un periodo de retorno de 500 años, reduciendo así el riesgo producido por desbordamiento del río Paraguay.
  - **Construcción de viviendas sociales:** en esta nueva superficie urbana se plantea reubicar todas las viviendas afectadas por el desbordamiento del río dentro del bañado (para llevar a cabo los rellenos, las viviendas existentes deberán ser demolidas, y reemplazadas por viviendas nuevas).
  - **Compensación por daños personales derivados de la reubicación:** en Paraguay es habitual indemnizar a las familias afectadas por una reubicación por los daños personales causados (desarraigo social y cultural, gastos de desalojo, perjuicios psicológicos, etc.).
  - **Ordenación hidráulica de cauces:** limpieza, desbroce, dragado, aumento de la capacidad hidráulica y construcción de defensas en determinados tramos de cauce, prestando especial atención a los puentes y alcantarillas por su incidencia sobre el comportamiento hidráulico del cauce.
  - **Área de amortiguación y laminación:** en la zona central del bañado, en el interior de la Costanera Norte, se mantiene un espacio natural inundable que sirva de amortiguación y laminación de las inundaciones y favorezca la interacción libre del agua y su recirculación.
- El conjunto de todas las actuaciones descritas anteriormente y esquematizadas en la Figura 51, se presenta, junto con su coste estimado<sup>30</sup>, en la Tabla 16.

**Tabla 16.** Síntesis de medidas propuestas en el Bañado Norte. Solución 1.

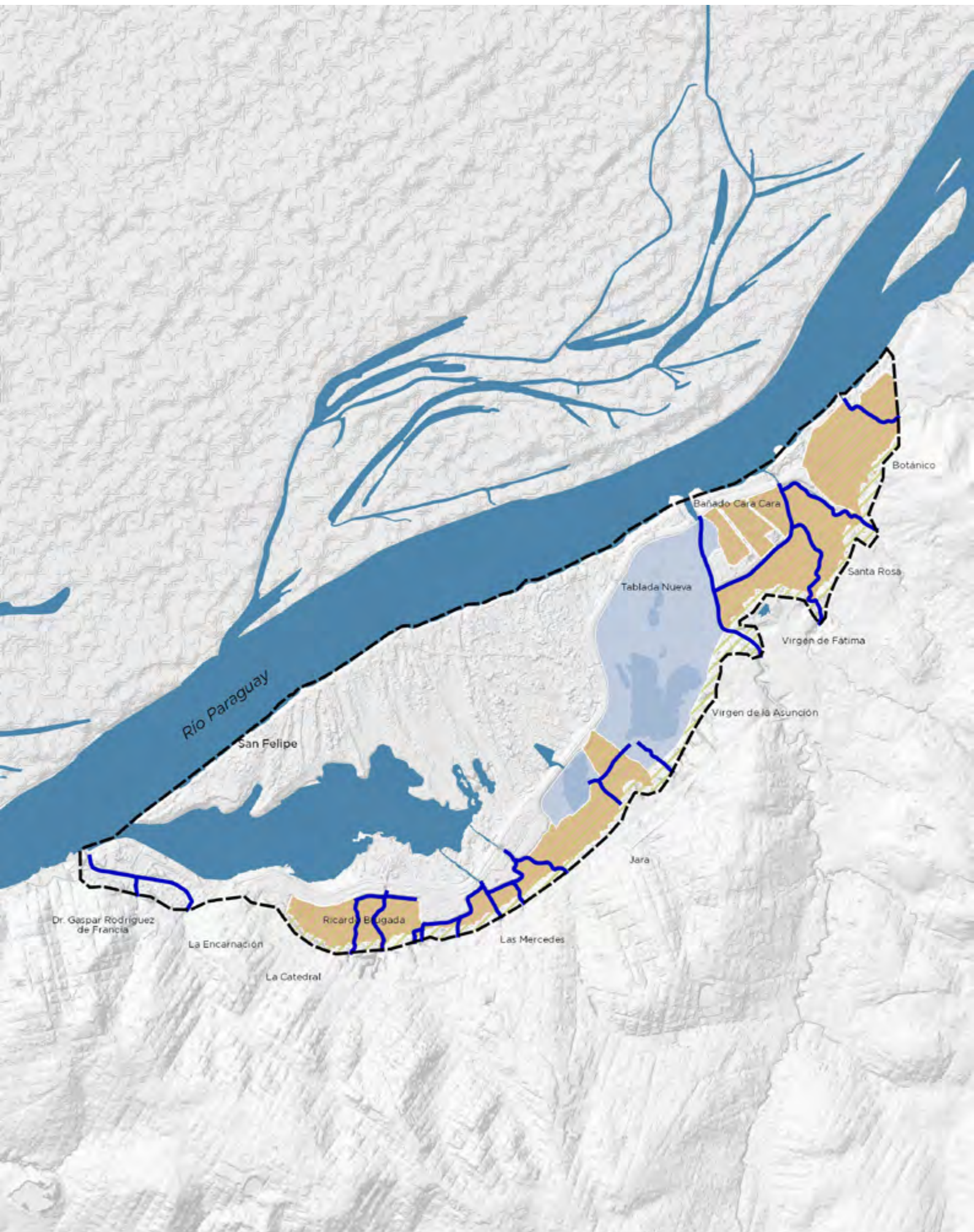
|   | MACRO-UNIDAD  | MEDICIÓN | UNIDADES       | PRECIO UNITARIO (USD) | IMPORTE (MUSD) |
|---|---|----------|----------------|-----------------------|----------------|
| 1 | Relleno precedente del cauce del río Paraguay                         | 7.80E+06 | m <sup>3</sup> | 5                     | 39             |
| 2 | Construcción de nuevas viviendas sociales derivadas de la reubicación | 9,382    | vivienda       | 20,000                | 187.64         |
| 3 | Compensación por daños personales derivados de la reubicación         | 9,382    | vivienda       | 5,000                 | 46.91          |
| 4 | Encauzamiento y adecuación de los arroyos que vierten al bañado norte | 12,300   | m              | 300                   | 3.69           |
|   |   |          |                | <b>TOTAL:</b>         | <b>277.24</b>  |

Fuente: Elaboración propia.

<sup>30</sup> El precio unitario de las diferentes macro-unidades se basa en datos obtenidos de la construcción de la autopista costanera norte y de las viviendas sociales que fueron realizadas en el marco de este proyecto (Proyecto: "Construcción de la Avenida Costanera Norte de Asunción - 2ª Etapa (11,522 km), junio 2012". MOPC y Fondo para la Convergencia Estructural del MERCOSUR), así como en información del MUVH de diferentes proyectos en los bañados que incluyen estimaciones de costos de construcción de viviendas sociales, así como la valoración social de viviendas precarias donde los precios referenciales han sido obtenidos de diferentes fuentes: Eco Bahía Project Presentation 1-Municipality of Asunción, 2016, Promediados entre Costos y Mandu'á. Precios de SATs, Licitaciones del programa Vy'á rendá recientes, etc. y datos de obtenidos de otras ciudades estudiadas bajo la iniciativa CES con viviendas de tipologías similares.



Figura 51. Conjunto de medidas propuestas en el Bañado Norte. Solución 1.



**Leyenda**

**Escenario de intervención**

**Solución 1**

Ordenación hidráulica cauces



Relleno



Regularización del terreno



Ordenación hidráulica cauces



Área de amortiguación y laminación



0 0,5 1 km

## Solución 2

El segundo escenario de intervención propuesto es una variante sobre el anterior donde se plantea no realizar rellenos en la zona de Chacarita baja, sino dejar esa área como un área pública inundable de zonas verdes y parques de usos comunales y reubicar a la población de la zona fuera del bañado.

En este sentido, las viviendas que en el escenario 1 se reubicaban sobre los rellenos propuestos sobre esta zona se reubican fuera del bañado (2,105 viviendas) de las 9,382 viviendas que es necesario reubicar.

El conjunto todas las actuaciones que incluye este escenario se presentan en la Figura 52, junto con su coste estimado, en la Tabla 17.

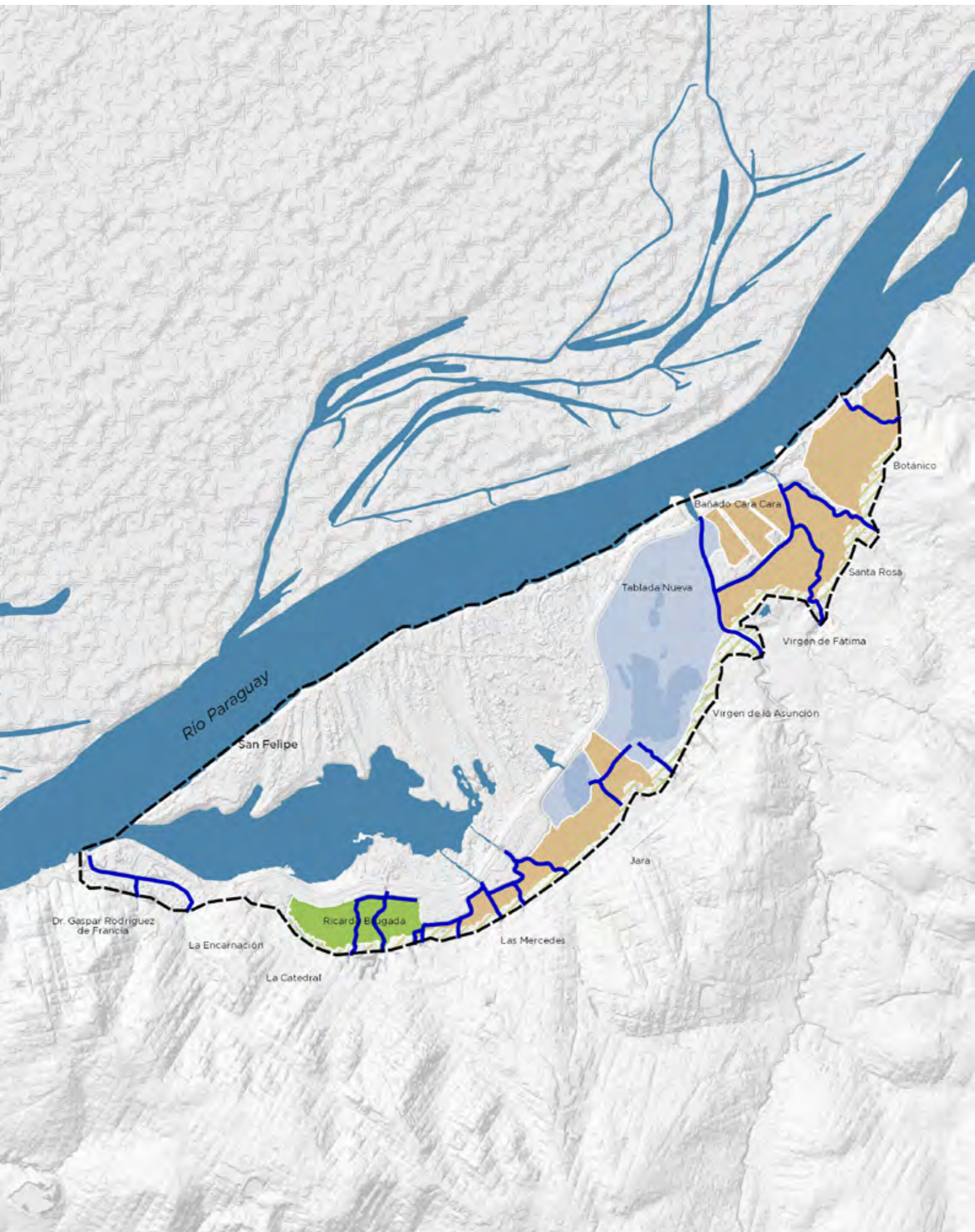
**Tabla 17.** Síntesis de medidas propuestas en el Bañado Norte. Solución 2.

|   | MACRO-UNIDAD  | MEDICIÓN | UDS.           | PRECIO UNITARIO (USD) | IMPORTE (MUSD) |
|---|---|----------|----------------|-----------------------|----------------|
| 1 | Relleno procedente del cauce del río Paraguay                                 | 6.43E+06 | m <sup>3</sup> | 5                     | 32.13          |
| 2 | Construcción de nuevas viviendas sociales derivadas de la reubicación         | 9,382    | vivienda       | 20,000                | 187.64         |
| 3 | Compensación por daños personales derivados de la reubicación                 | 9,382    | vivienda       | 5,000                 | 46.91          |
| 4 | Encauzamiento y adecuación de los arroyos que vierten al bañado norte.        | 12,300   | m              | 300                   | 3.69           |
| 5 | Adecuación del espacio público y creación de zonas verdes y de usos comunales | 370,209  | m <sup>2</sup> | 50                    | 18.51          |
|   |   |          |                | <b>TOTAL:</b>         | <b>288.88</b>  |

Fuente: Elaboración propia.

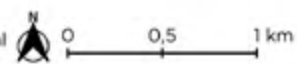


Figura 52. Conjunto de medidas propuestas en el Bañado Norte. Solución 2.



**Leyenda**  
**Escenario de intervención**  
**Solución 1**  
— Ordenación hidráulica cauces

■ Relleno  
■ Regularización del terreno y drenaje pluvial  
■ Área de amortiguación y laminación  
■ Parques y zonas verdes inundables





## Medidas propuestas en el Bañado Sur

La configuración del Bañado Sur y la ubicación de la traza de la futura Costanera Sur hacen posible que en este bañado puedan plantearse las dos estrategias mencionadas anteriormente: la implantación de una solución basada en bombeos, que desconecte el bañado del río Paraguay durante ciertos periodos del año (Solución 1) o rellenar hasta una cota a la que no exista riesgo para generar una cierta superficie urbana (Soluciones 2 y 3).

Con base en estas dos estrategias, seguidamente se presentan tres soluciones en el Bañado Sur. Todas las soluciones tienen en cuenta la próxima construcción de las Fases 1 y 2 del proyecto “Construcción de la Franja Costera del Bañado Sur” (MOPC, 2018) que incluye la ejecución de la Costanera Sur bordeando el bañado y un relleno en la zona de Tacumbú donde reubicar las viviendas afectadas por inundación en ese barrio. A propósito de la ejecución de este proyecto se incluye en el escenario con intervenciones de las dos soluciones la construcción de un nuevo canal que permita el desagüe de la laguna Yrupe y la conexión de la misma con el resto del sistema laguna del Bañado Sur.

### Solución 1

- **Cierre perimetral del bañado dotado de estaciones de bombeo y compuertas:** que permitan desacoplar temporalmente el nivel del río Paraguay y el nivel del agua interior, aprovechando la presencia de la autopista Costanera Sur. Se trata de un sistema de protección que aísla el bañado del río cuando se supera un determinado nivel crítico operativo, y desde ese instante toda el agua de escorrentía es evacuada mediante bombas de tornillo, hasta que el nivel del Paraguay vuelve a descender.
- **Regularización del terreno original con excavación y relleno local en el entorno del bañado:** La implantación del sistema de protección perimetral requiere de ciertos trabajos de regularización del terreno que posteriormente permitan la definición de una red de drenaje pluvial. Esta regularización del terreno implica movimientos de tierras a escala local para conseguir un contorno predefinido de la zona segura, así como para suprimir puntos bajos que generan acumulación de agua.
- **Construcción de viviendas sociales:** La implantación de este sistema elimina el riesgo asociado al desbordamiento del río Paraguay y, por tanto, no requiere la reubicación masiva de viviendas, pero aún así es necesario reubicar algunas viviendas situadas por debajo de la cota segura establecida en 59.2 m además de las viviendas situadas en el trazado del desvío del río Lambaré.
- **Compensación por daños personales derivados de la reubicación:** en Paraguay es habitual indemnizar a las familias afectadas por una reubicación por los daños personales causados (desarraigo social y cultural, gastos de desalojo, perjuicios psicológicos, etc.).
- **Ordenación hidráulica de cauces:** Limpieza, desbroce, dragado, aumento de la capacidad hidráulica y construcción de defensas en determinados tramos de cauce, prestando especial atención a los puentes y alcantarillas por su incidencia sobre el comportamiento hidráulico del cauce.

- **Desvío y encauzamiento del tramo final del río Lambaré:** para la defensa del área urbana situada al sur del bañado incluida la construcción de un muro de protección que proteja la margen izquierda del río, justo antes de su confluencia con el Paraguay.
- **Costes de urbanización y mejoramiento de barrios:** El desarrollo informal tiene desde su nacimiento precariedades en cuanto a la accesibilidad, el espacio público, infraestructura de servicios públicos y equipamientos, los cuales persistirían al mantenerse el asentamiento, costo que en algún momento debe asumir la administración pública mediante el mejoramiento con inversiones en estos soportes urbanos. Esta actuación incluye el mejoramiento de viviendas para adecuarlas a las estructuras resistentes y espacios adecuados básicos, el mejoramiento vial y de las zonas verdes, el mejoramiento o construcción de equipamientos, la construcción de redes de servicios públicos (mejorar y complementar la red local de servicios públicos de alcantarillado, acueducto y luz).
- **Sensores de monitorización de variables hidroclimáticas:** (fundamentalmente los niveles y las precipitaciones en la zona), junto con un sistema experto que facilite la explotación del sistema basado en los datos disponibles.

El conjunto de todas las actuaciones descritas anteriormente y esquematizadas en la Figura 53, se presenta, junto con su coste estimado, en la Tabla 18.

Además de las medidas estructurales descritas, la solución basada en el cierre temporal del Bañado requiere de algunas medidas normativas y de gestión, para garantizar el correcto funcionamiento del sistema.

**Es de particular importancia la delimitación y señalización, posiblemente a través de elementos físicos integrados con el entorno urbano a modo de paseo fluvial, de los límites de la zona segura, a partir de los cuales el territorio sigue siendo inundable y no puede volver a ocuparse. El coste de estas medidas se ha incluido dentro de los gastos de mantenimiento y explotación de este tipo de solución, tal y como se detalla más adelante, en el análisis coste-beneficio.**

Por otra parte, es preciso informar a la población en general del protocolo y de operación del sistema de protección, incluyendo cuándo y por qué se abre o se cierra el recinto del Bañado, con qué criterios se ponen en funcionamiento las bombas, cuál es el grado de fiabilidad y el margen de seguridad del sistema, etc.

## 5.5 Propuesta de medidas de gestión de riesgo

**Tabla 18.** Síntesis de medidas propuestas en el Bañado Sur. Solución 1.

|   | MACRO-UNIDAD   | MEDICIÓN | UNIDADES       | PRECIO UNITARIO (USD) | IMPORTE (MUSD) |
|---|--|----------|----------------|-----------------------|----------------|
| 1 | Construcción de nuevas viviendas sociales derivadas de la reubicación  | 121      | vivienda       | 20,000                | 2.42           |
| 2 | Compensación por daños personales derivados de la reubicación  | 121      | vivienda       | 5,000                 | 0.61           |
| 3 | Estación de bombeo con 6 m <sup>3</sup> /s de capacidad (4+2 tornillos de 1 m <sup>3</sup> /s) con un juego de compuertas asociado <sup>31</sup> | 2        | -              | 8,000,000             | 16             |
| 4 | Obra de desvío y encauzamiento del tramo final del río Lambaré hasta la confluencia con el río Paraguay  | 1,945    | m              | 2,000                 | 3.89           |
| 5 | Encauzamiento y adecuación de los arroyos que vierten al bañado sur, hasta llegar a la zona no segura  | 5,160    | m              | 500                   | 2.58           |
| 6 | Regularización del terreno original con excavación y relleno local en el entorno del bañado  | 100,000  | m <sup>3</sup> | 10                    | 1              |
| 7 | Costes de urbanización y mejoramiento de barrios <sup>32</sup>   | -        | -              | 129                   | 129.00         |
| 8 | Sistema de monitorización y control  | 1        | -              | 500,000               | 0.5            |
|   |  |          |                | <b>TOTAL:</b>         | <b>156.00</b>  |

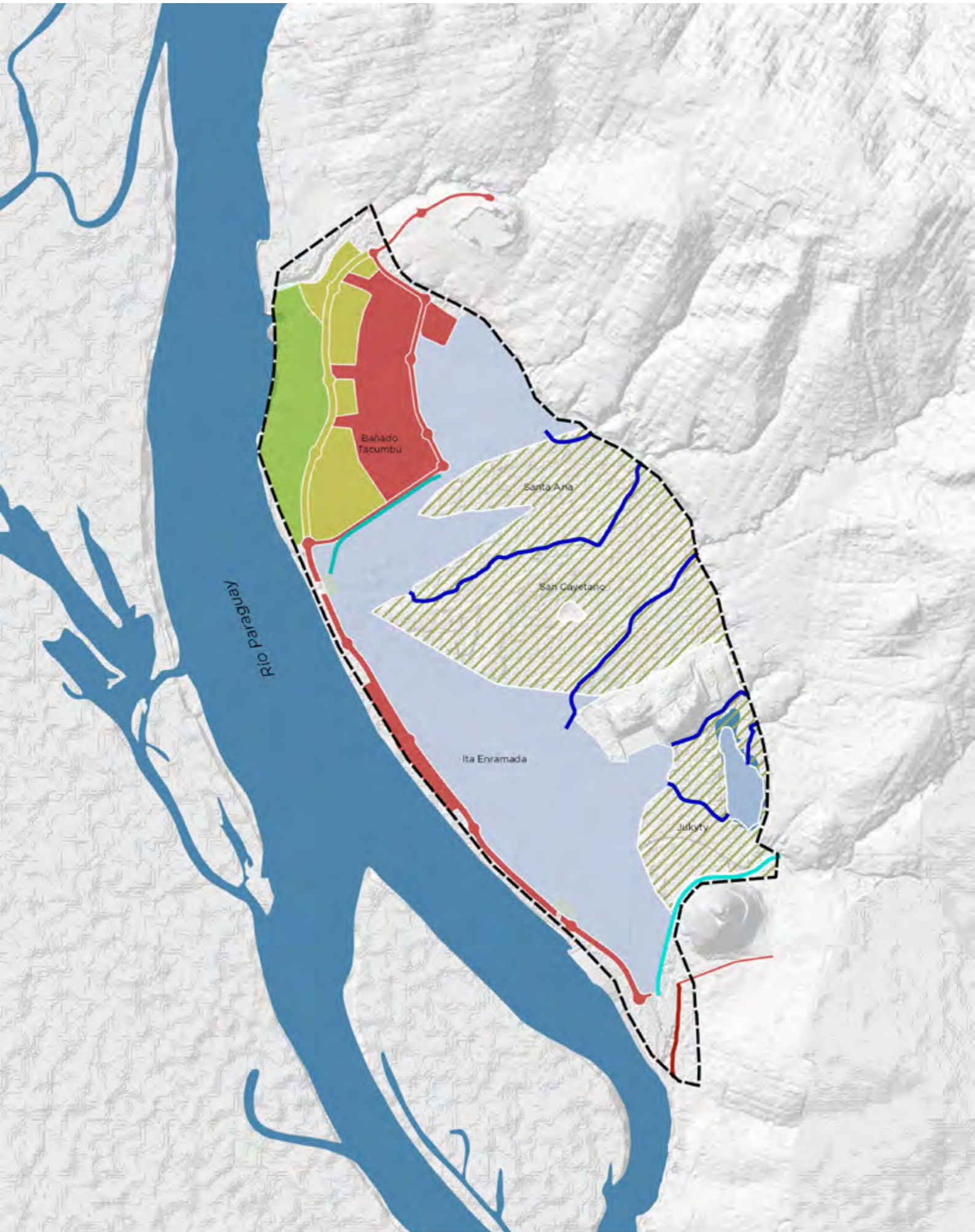
Fuente: Elaboración propia.

31 El precios unitario de esta macro-partida se ha estimado a partir de la experiencia en proyectos similares a escala internacional como el siguiente proyecto desarrollado dentro de la iniciativa CES del BID: "Pre-feasibility Studies for the Climate Vulnerability Reduction Loan Program for Belize: hazard modeling and cost benefit analysis of coastal and flooding risk reduction works. Belize City Flood Reduction Pilot Project, BID, IHCantabria, 2017".

32 Para hacer los cálculos de los costos del Mejoramiento Integral de estos Barrios, se hizo una estimación de las manzanas, vías y zonas verdes (a partir de la foto de Google Earth), y por otro lado se calcularon los porcentajes de infraestructura pública planteada en la primera fase del Bañado Sur. Estos datos se promediaron y ajustaron, lo que derivó en unos porcentajes de 17,5% en Zonas Verdes y 15% en vías. Así mismo se asumió un 8% en equipamientos (con base en el porcentaje referencia en Colombia). En cuanto a los valores, se consultaron varias revistas paraguayas sobre costos, en las que sin embargo no se encontraron datos precisos de urbanismo. Entonces se usaron datos de costos de urbanismo recientes en Bogotá, asumiendo el valor más bajo de construcción de vías, y los valores de construcción de parques y equipamientos al 70%. Los costos de servicios públicos se tomaron de la revista de costos de Paraguay: [https://issuu.com/costos/docs/edicion\\_292\\_-\\_enero\\_-\\_isuu\\_2020](https://issuu.com/costos/docs/edicion_292_-_enero_-_isuu_2020), teniendo en cuenta que no es una obra nueva, sino suponiendo existencia del 60%. Para la estimación del costo de mejoramiento de vivienda se utilizó el dato del subsidio que se está entregando en Colombia, para reforzamientos y soportes básicos.



Figura 53. Conjunto de medidas propuestas en el Bañado Sur. Solución 1.



**Leyenda**

**Escenario de intervención**

**Solución 1**

— Construcción nuevo canal

— Desvío arroyo Lambaré

— Muro de protección

— Ordenación hidráulica cauces

— Compuerta y estación de bombeo

— Proyecto de construcción de la Franja

Costera del Bañado Sur. Fase 1

— Proyecto de construcción de la Franja

Costera del Bañado Sur. Fase 2

— Regularización del terreno y drenaje pluvial

— Área de amortiguación y laminación

— Parques y zonas verdes inundables



0 0,3 0,6 km

## Solución 2

Se proponen las mismas medidas que para la solución de rellenos en el Bañado Norte complementadas con el desvío y encauzamiento del tramo final del río Lambaré para la defensa del área urbana situada al sur del bañado, incluida la construcción de un muro de protección que proteja la margen izquierda del río, justo antes de su confluencia con el Paraguay.

El conjunto todas las actuaciones descritas anteriormente y esquematizadas en la Figura 54. Conjunto de medidas propuestas en el Bañado Sur. Solución 2., se presentan, junto con su coste estimado, en la Tabla 19.

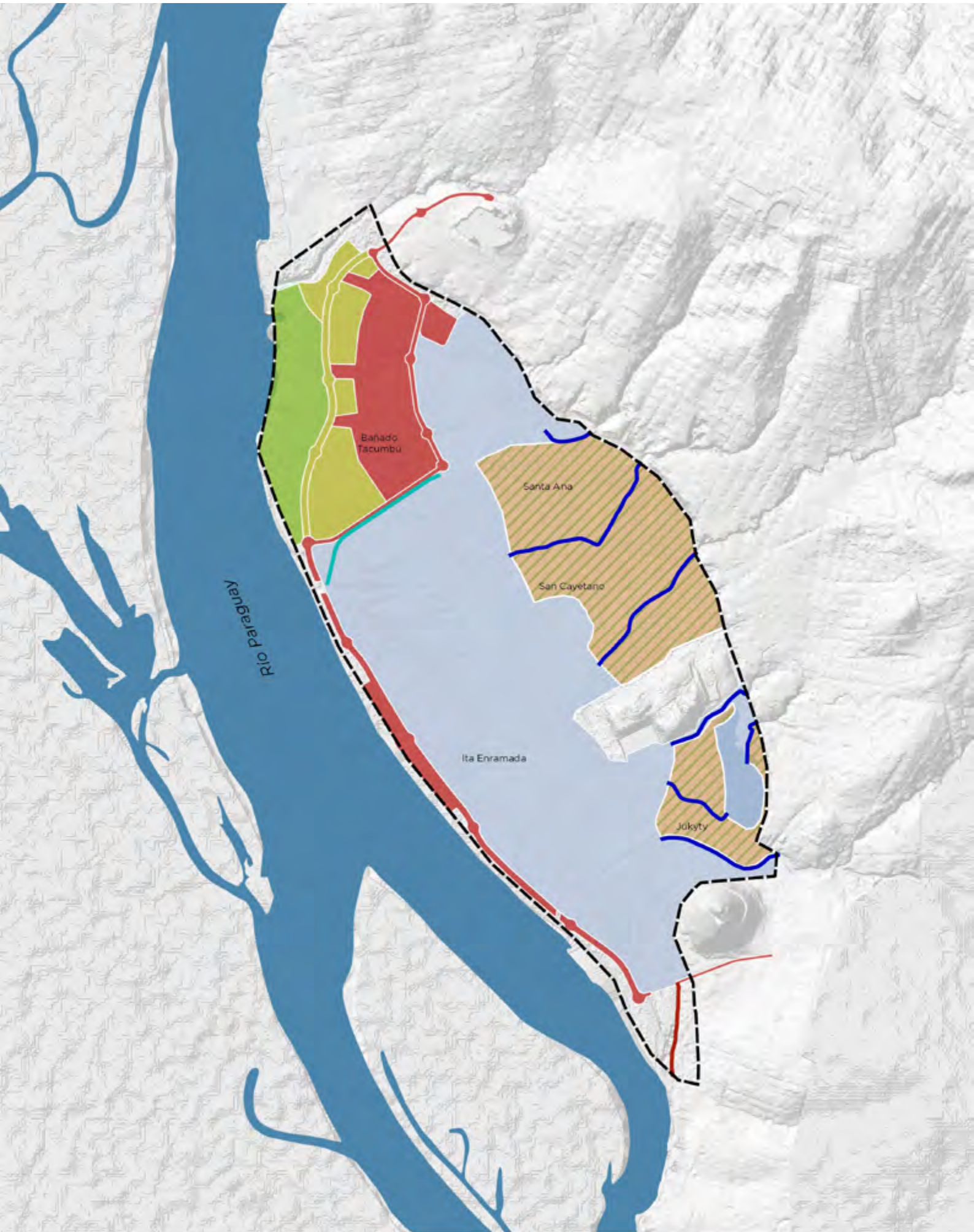
**Tabla 19.** Síntesis de medidas propuestas en el Bañado Sur. Solución 2.

|   | MACRO-UNIDAD  | MEDICIÓN | UDS.           | PRECIO UNITARIO (USD) | IMPORTE (MUSD) |
|---|---|----------|----------------|-----------------------|----------------|
| 1 | Relleno procedente del cauce del río Paraguay   | 4.91E+06 | m <sup>3</sup> | 5                     | 24.55          |
| 2 | Construcción de nuevas viviendas sociales derivadas de la reubicación                                 | 6,680    | vivienda       | 20,000                | 133.60         |
| 3 | Compensación por daños personales derivados de la reubicación   | 6,680    | vivienda       | 5,000                 | 33.40          |
| 4 | Encauzamiento y adecuación de los arroyos que vierten al bañado sur, hasta llegar a la zona no segura | 4,700    | m              | 550                   | 2.58           |
| 5 | Obra de encauzamiento del tramo final del río Lambaré hasta la confluencia con el río Paraguay        | 590      | m              | 1,000                 | 0.59           |
|   |   |          |                | <b>TOTAL:</b>         | <b>194.72</b>  |

Fuente: Elaboración propia.



Figura 54. Conjunto de medidas propuestas en el Bañado Sur. Solución 2.



**Leyenda**

**Escenario de intervención**

**Solución 2**

— Construcción nuevo canal

— Muro de protección

— Ordenación hidráulica cauces

■ Rellenos

■ Proyecto de construcción de la Franja Costera del Bañado Sur. Fase 1

■ Proyecto de construcción de la Franja Costera del Bañado Sur. Fase 2

■ Regularización del terreno y drenaje pluvial

■ Área de amortiguación y laminación

■ Parques y zonas verdes inundables



## Solución 3

La tercera propuesta de actuaciones en el Bañado Sur es una variante de la Solución 2 y se basa, al igual que la anterior, en generar superficie urbana mediante la elevación del terreno en ciertos sectores de la zona inundable hasta la cota segura, empleando material del cauce del río Paraguay.

La diferencia con la Solución 2 es que, además de los rellenos propuestos para la reubicación de las viviendas situadas dentro del bañado se proponen nuevos rellenos para financiar, de esta manera se habilita suelo vendible para otros productos inmobiliarios, se captura valor y se propicia la mezcla social y la diversidad en el nuevo barrio.

Estos nuevos rellenos se localizan en zonas accesibles desde la futura costanera sur y, al igual que los otros rellenos planteados, se plantea rellenar hasta la cota +64 m.

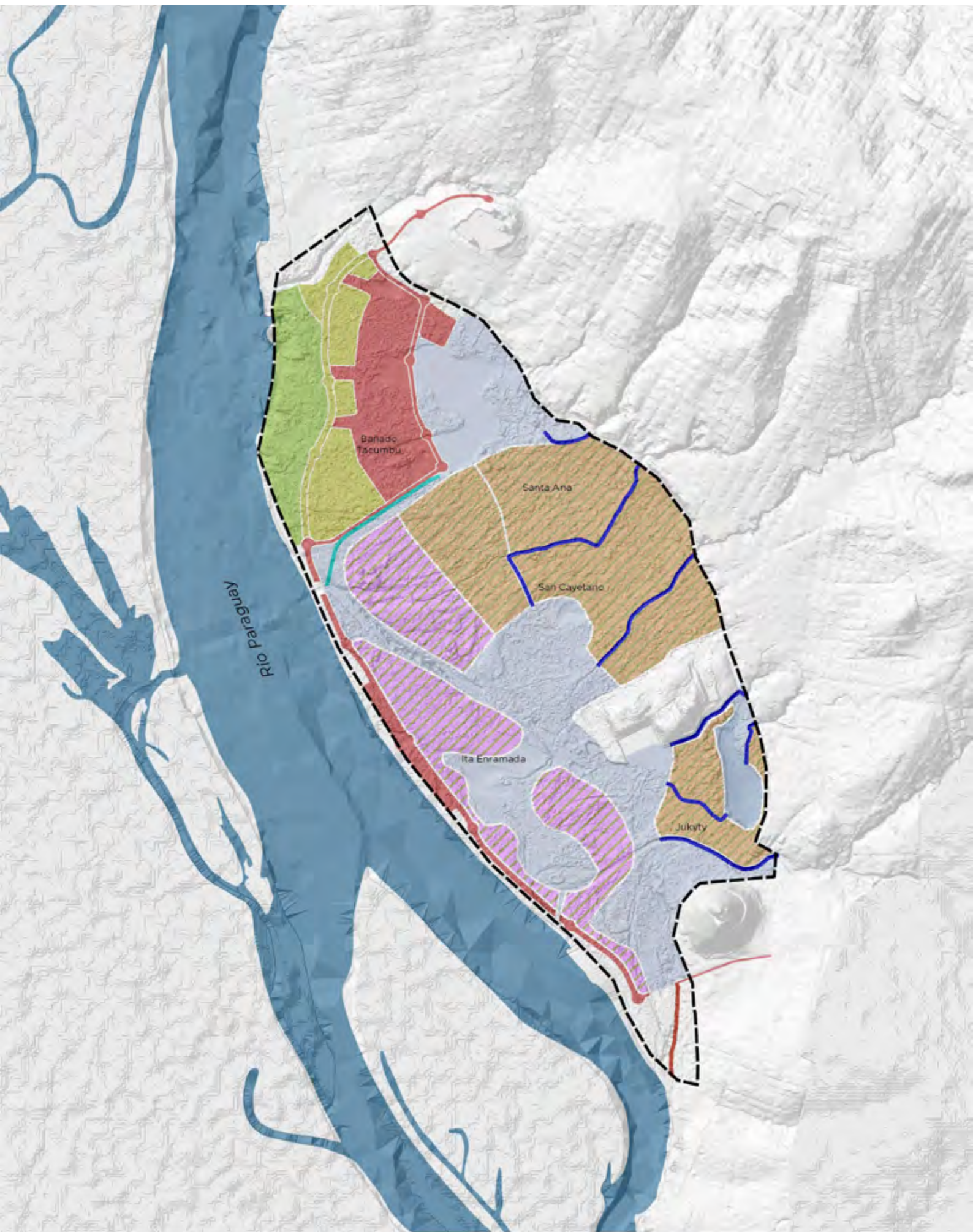
El conjunto todas las actuaciones descritas anteriormente y esquematizadas en la Figura 55. Conjunto de medidas propuestas en el Bañado Sur. Solución 3., se presentan, junto con su coste estimado, en la Tabla 20.

**Tabla 20.** Síntesis de medidas propuestas en el Bañado Sur. Solución 3.

|   | MACRO-UNIDAD  | MEDICIÓN | UDS.           | PRECIO UNITARIO (USD) | IMPORTE (MUSD) |
|---|---|----------|----------------|-----------------------|----------------|
| 1 | Relleno procedente del cauce del río Paraguay para reubicación de viviendas                           | 7.05E+06 | m <sup>3</sup> | 5                     | 35.24          |
| 2 | Relleno procedente del cauce del río Paraguay para financiar  | 7.23E+06 | m <sup>3</sup> | 5                     | 36.17          |
| 3 | Construcción de nuevas viviendas sociales derivadas de la reubicación                                 | 6,680    | vivienda       | 20,000                | 133.60         |
| 4 | Compensación por daños personales derivados de la reubicación   | 6,680    | vivienda       | 5,000                 | 33.40          |
| 5 | Encauzamiento y adecuación de los arroyos que vierten al bañado sur, hasta llegar a la zona no segura | 5,060    | m              | 500                   | 2.53           |
| 6 | Obra de encauzamiento del tramo final del río Lambaré hasta la confluencia con el río Paraguay        | 590      | m              | 1,000                 | 0.59           |
| 7 | Costes de urbanización y mejoramiento de barrios  | 1.35E+06 | m <sup>2</sup> | 200                   | 270.68         |
|   |   |          |                | <b>TOTAL:</b>         | <b>512.21</b>  |

Fuente: Elaboración propia.

Figura 55. Conjunto de medidas propuestas en el Bañado Sur. Solución 3.



**Leyenda**

**Escenario de intervención**

**Solución 3**

— Construcción nuevo canal

— Muro de protección

— Ordenación hidráulica cauces

— Rellenos para reubicar

— Rellenos para financiar

— Proyecto de construcción de la Franja Costera del Bañado Sur, Fase 1

— Proyecto de construcción de la Franja Costera del Bañado Sur, Fase 2

— Regularización del terreno y drenaje pluvial

— Área de amortiguación y laminación

— Parques y zonas verdes inundables

## 5.6 Evaluación de Escenarios

**Para evaluar el efecto de las medidas estructurales propuestas sobre la inundabilidad tanto fluvial como pluvial en las áreas de estudio (áreas de intervención de los Bañados Norte y Sur de Asunción), se han comparado los resultados obtenidos para cada uno de los escenarios propuestos con el escenario sin intervenciones (escenario base).**

Concretamente se ha evaluado el efecto en la reducción de la huella de inundación y la variación de los calados que originan las medidas de reducción de riesgos propuestas para cada escenario de intervención planteado.

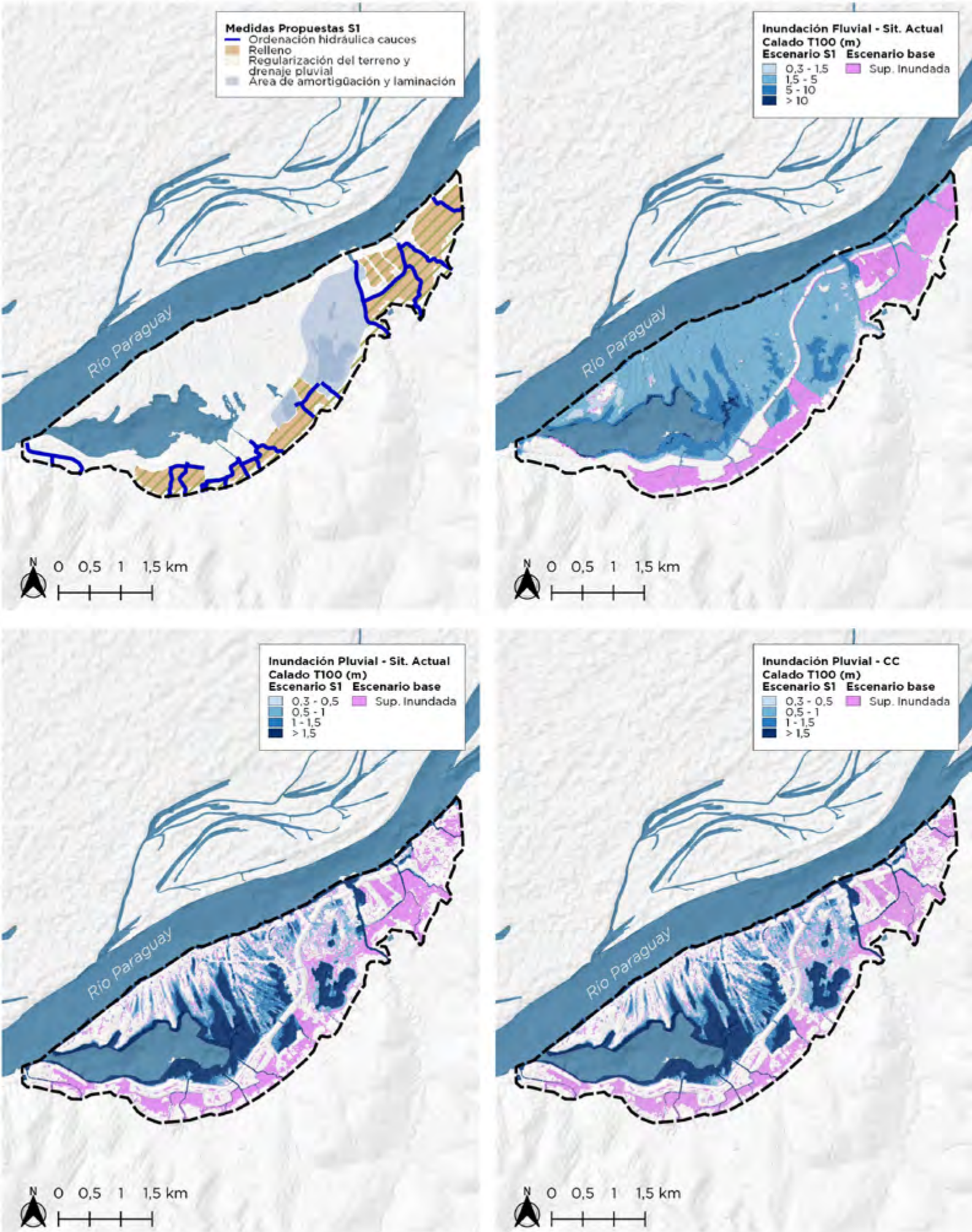
En las siguientes figuras se presentan los mapas comparativos de calados máximos entre los diferentes escenarios de intervención (tras la ejecución de las medidas estructurales propuestas) y el escenario base (que representa la situación actual), para el evento de 100 años de periodo de retorno. En estos mapas se observa la efectividad de las medidas de reducción de riesgos planteadas en los diferentes escenarios.

Los siguientes mapas muestran los resultados de tres escenarios modelados en el bañados norte y sur. Los escenarios corresponden a inundaciones/crecidas fluviales bajo situación climática actual, inundaciones pluviales bajo situación climática actual e inundaciones pluviales bajo cambio climático - todos dentro de un periodo de retorno de 100 años. Como se indicó anteriormente estos son los escenarios climáticos mas extremos y conservadores.

En los mapas se presenta en color 'lila' las zonas inundadas bajo el escenario base, sin considerar las soluciones estructurales propuestas. Dicho de otra forma, si se consideran las soluciones propuestas no se inundan las areas pintadas en 'lila', pero si bajo el escenario base. De esta forma en un solo mapa podemos ver las areas inundadas bajo la solución propuesta y las areas que dejan de ser inundadas.

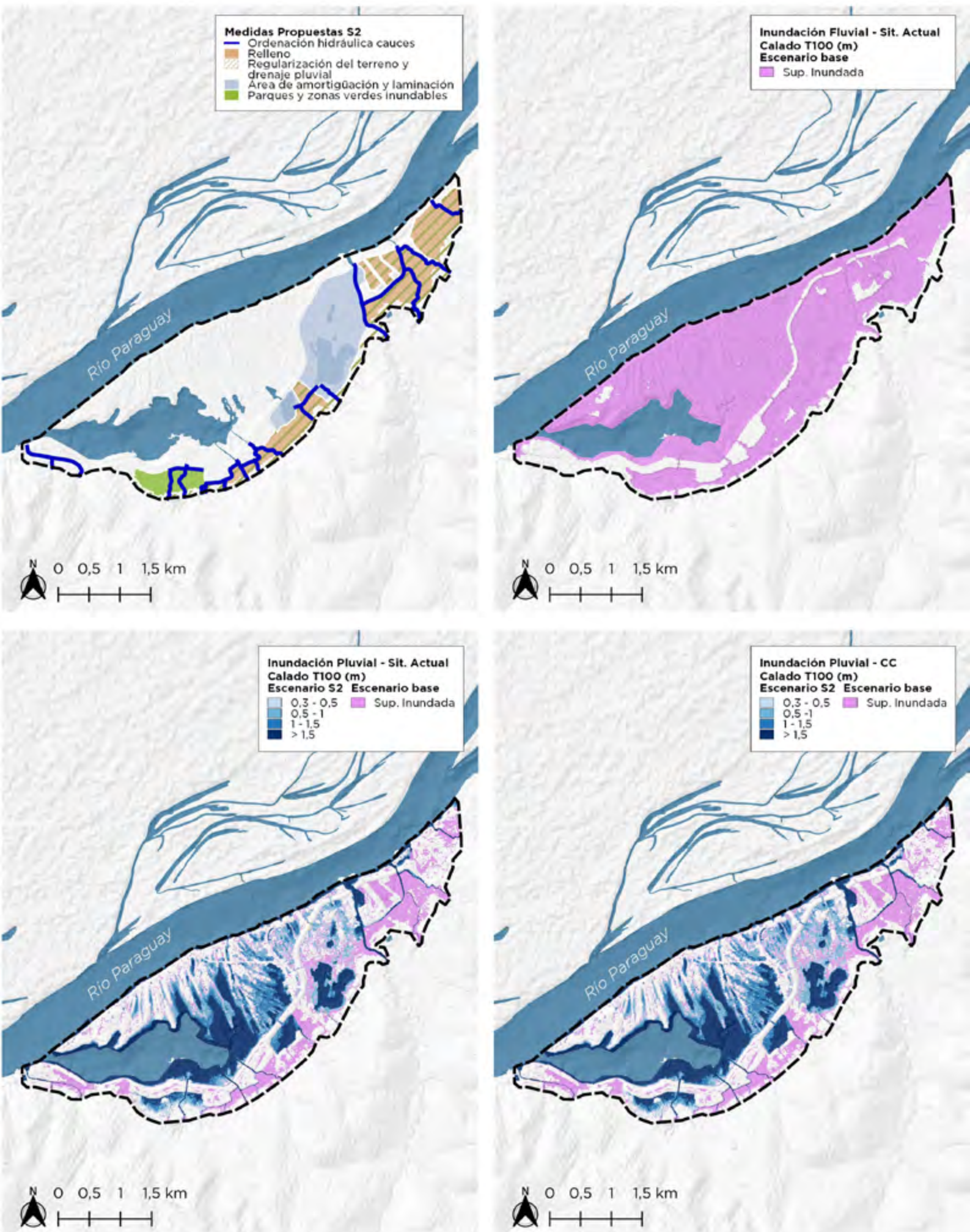


**Figura 56.** Comparación de los mapas de calados en el Bañado Norte para 100 años de periodo de retorno entre la Solución 1 del escenario con intervenciones y el escenario base.



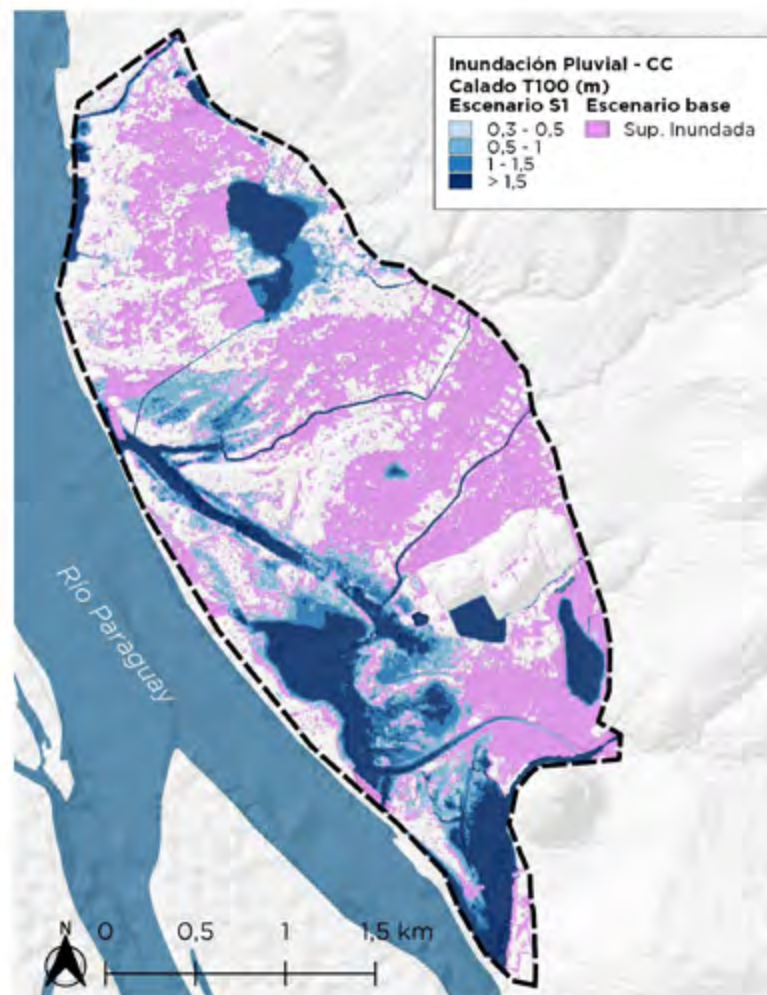
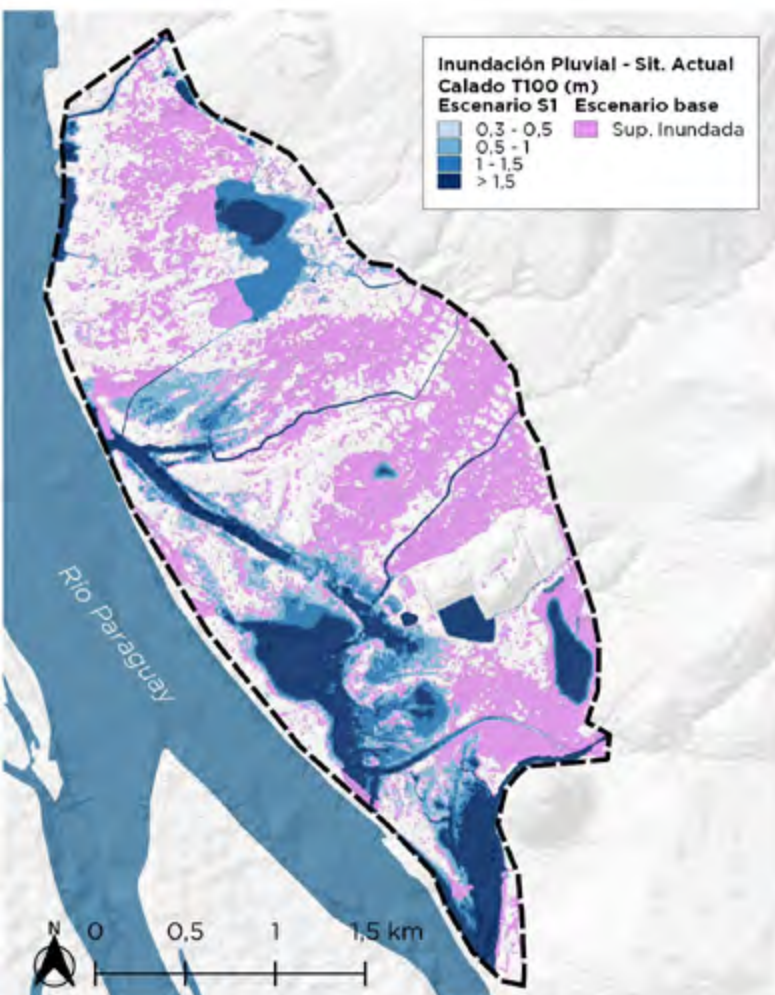
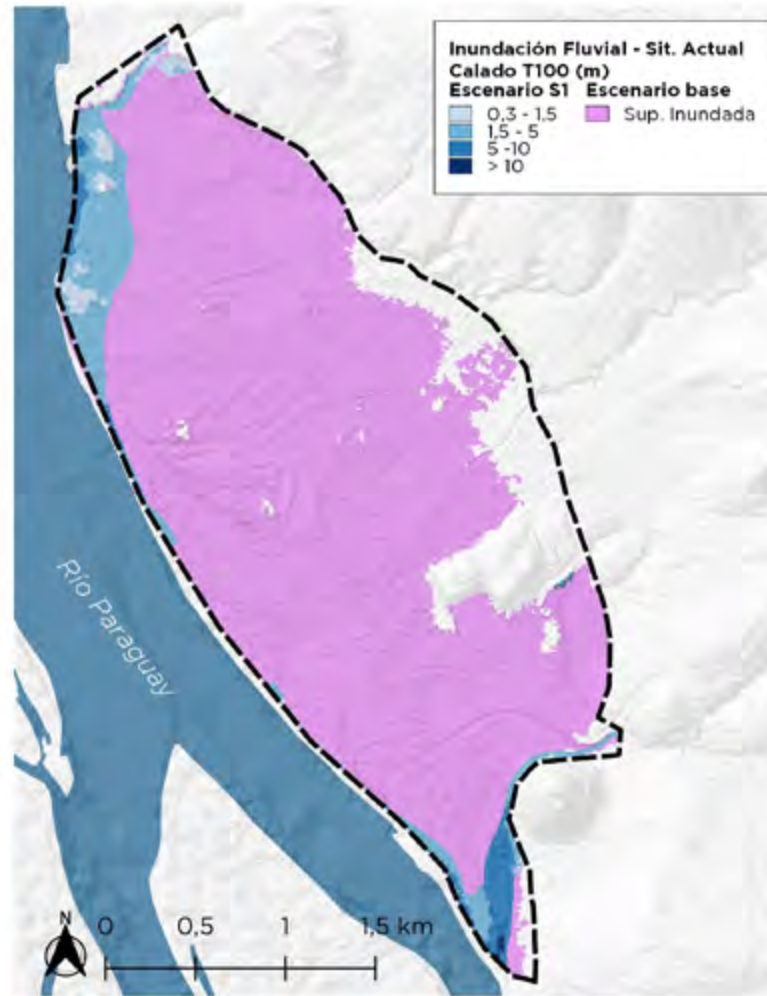
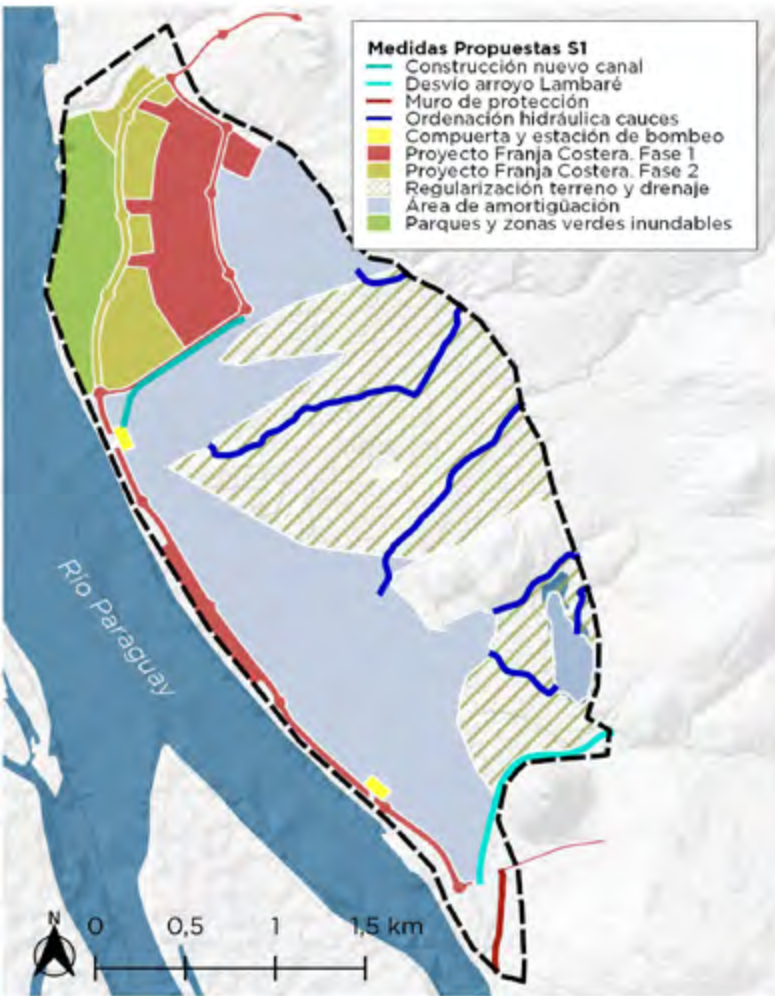


**Figura 57.** Comparación de los mapas de calados en el Bañado Norte para 100 años de periodo de retorno entre la Solución 2 del escenario con intervenciones y el escenario base.



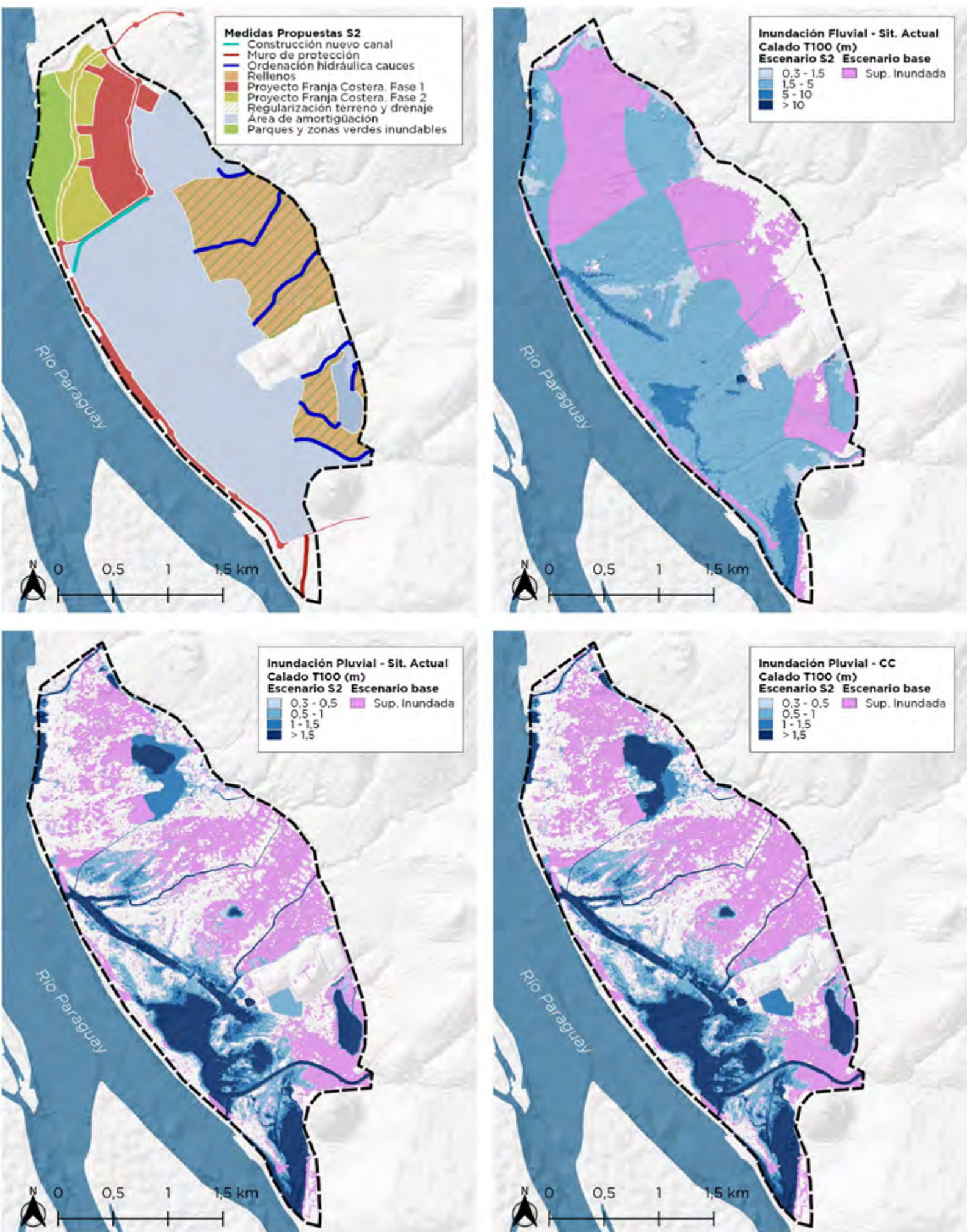


**Figura 58.** Comparación de los mapas de calados en el Bañado Sur para 100 años de periodo de retorno entre la Solución 1 del escenario con intervenciones y el escenario base.



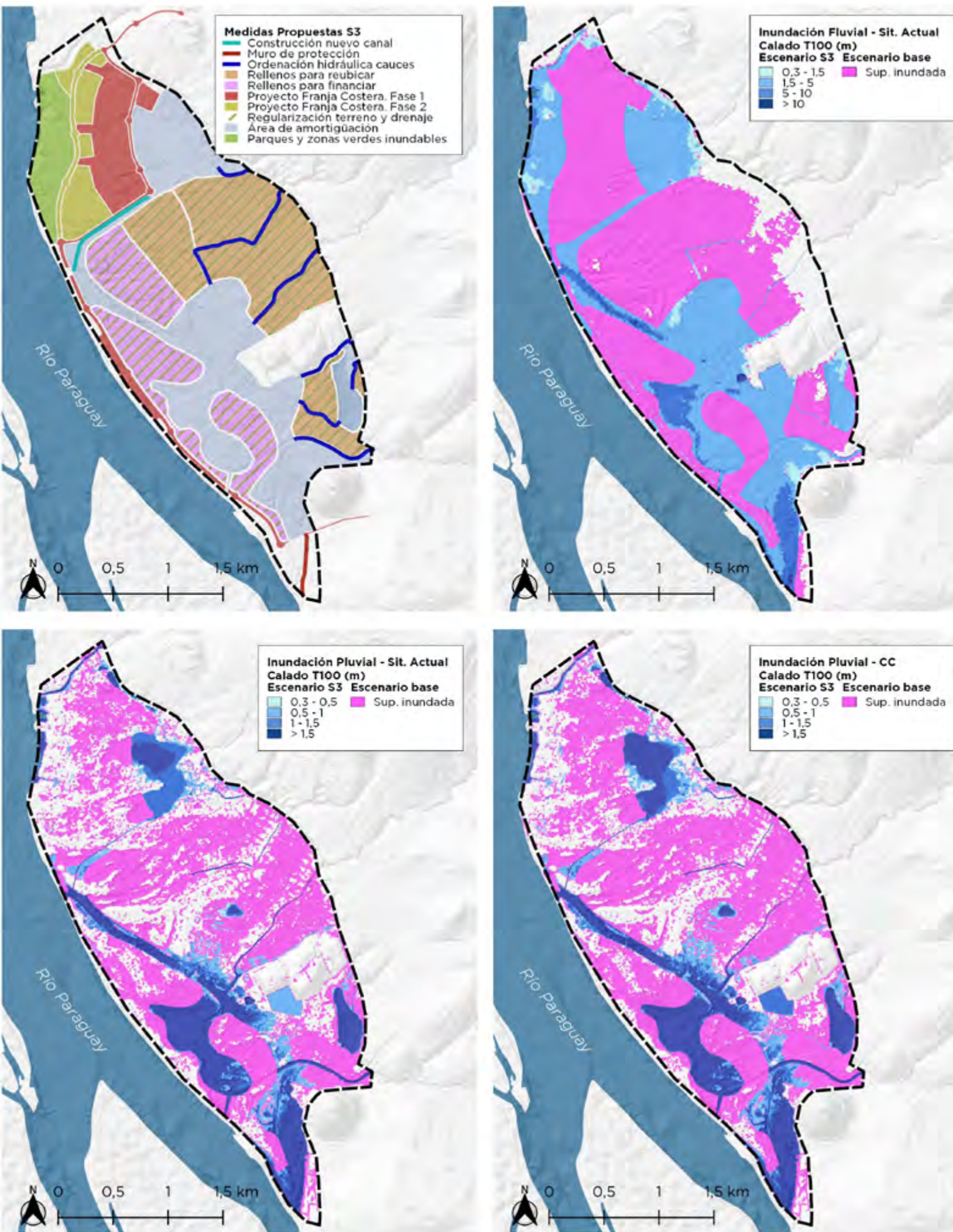


**Figura 59.** Comparación de los mapas de calados en el Bañado Sur para 100 años de periodo de retorno entre la Solución 2 del escenario con intervenciones y el escenario base.





**Figura 60.** Comparación de los mapas de calados en el Bañado Sur para 100 años de periodo de retorno entre la solución 3 del escenario con intervenciones y el escenario base.





Río Paraguay 2021. Fotografía: Jorge Saenz.







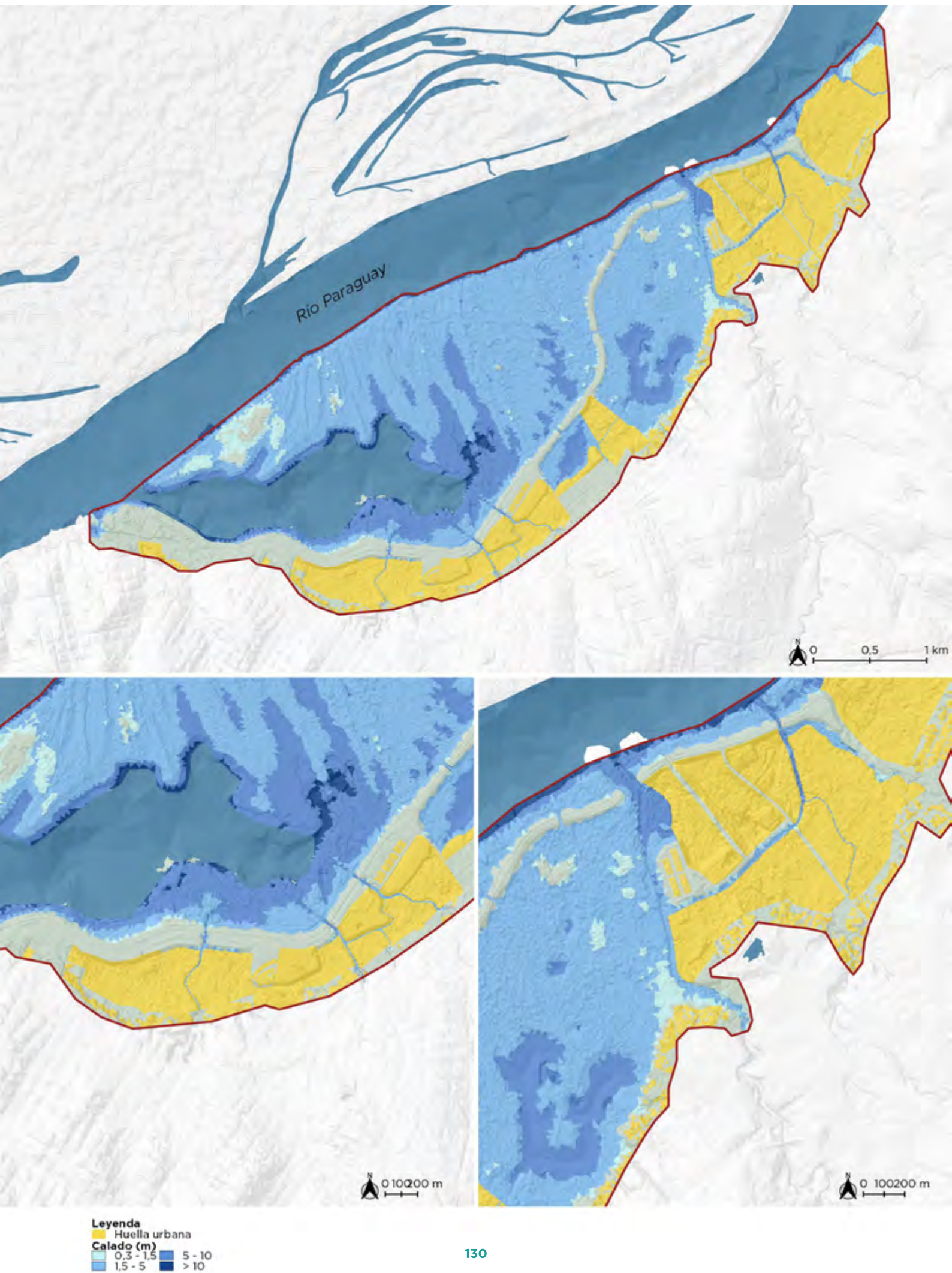
**Puesto que todas las edificaciones y por tanto la población para cada uno de los escenarios de intervención propuestos en las áreas de intervención de los bañados se han situado en zonas no inundables para ninguno de los periodos de retorno estudiados (tanto por inundaciones de origen fluvial como pluvial) al cruzar los resultados de amenaza (láminas de inundación de distintos periodos de retorno) con las edificaciones y la población inventariada se obtiene que la exposición tanto física como social es nula para todos los escenarios analizados.**

En consecuencia, y siguiendo la misma metodología que para el escenario base, al no haber ni edificaciones ni población expuesta al realizar el cruce de capas, tanto la vulnerabilidad como el riesgo físico y social son nulos numéricamente (siempre existirá un riesgo residual).

Para ilustrar estos resultados se presentan los mapas obtenidos al cruzar los mapas de calados (amenaza) con la huella urbana propuesta en cada escenario de intervención para la inundación fluvial de 100 años de periodo de retorno. En todos ellos se observa cómo no existe superficie edificada expuesta a la inundación.

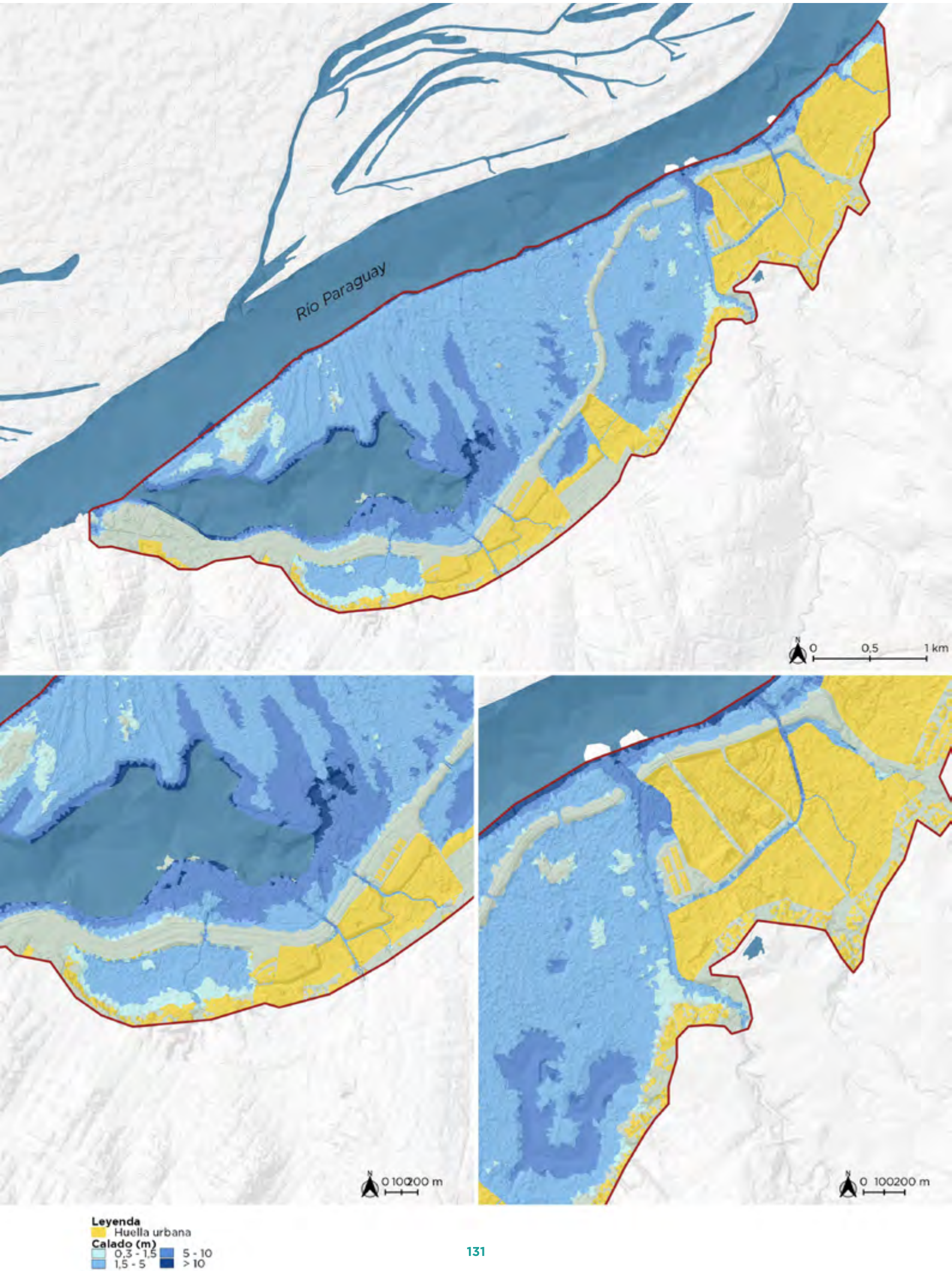


**Figura 61.** Mapa de exposición de las edificaciones, periodo de retorno T100 años. Inundación Fluvial. Bañado Norte. Escenario 1.



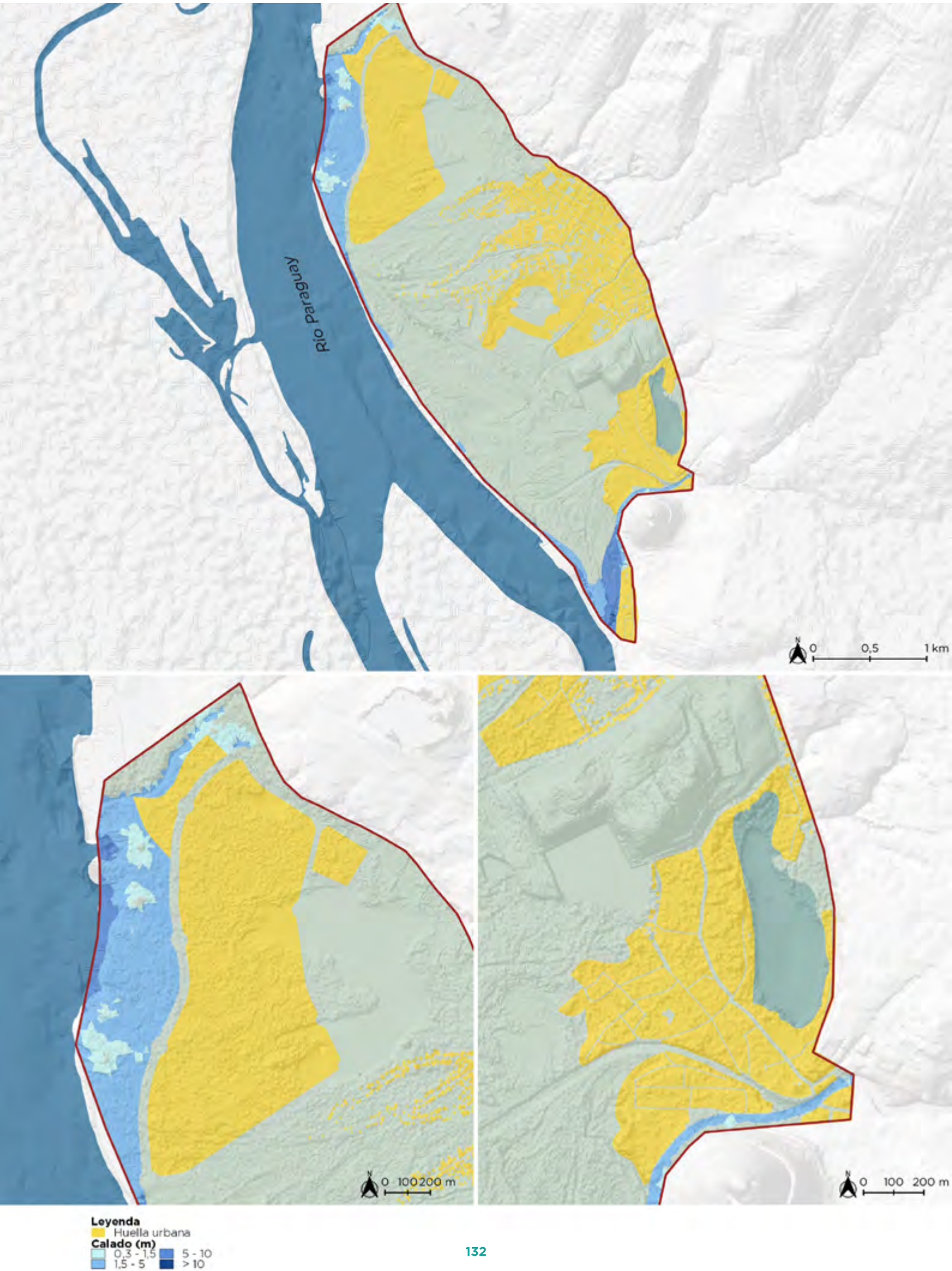


**Figura 62.** Mapa de exposición de las edificaciones, periodo de retorno T100 años. Inundación Fluvial. Bañado Norte. Escenario 2.



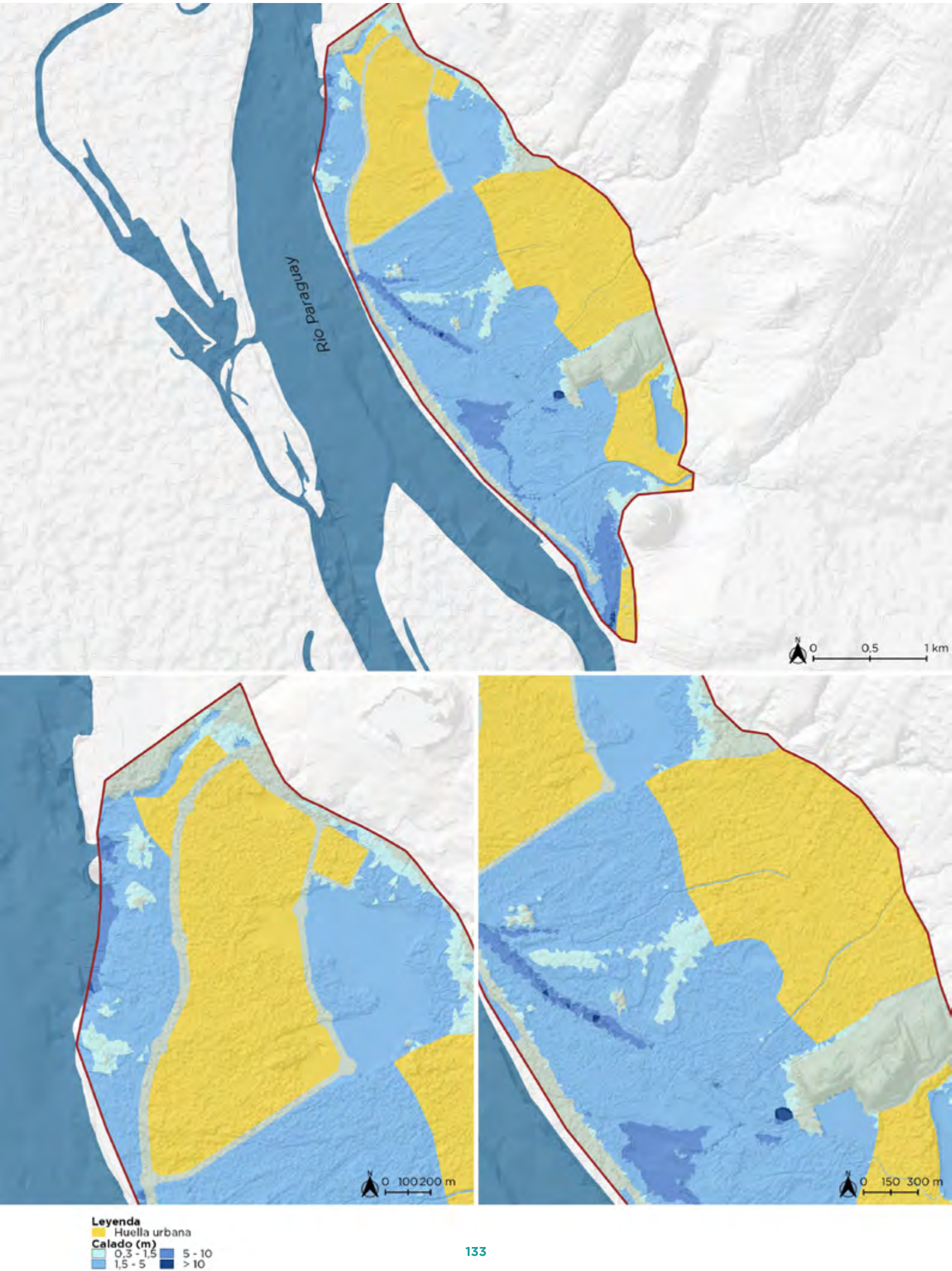


**Figura 63.** Mapa de exposición de las edificaciones, periodo de retorno T100 años. Inundación Fluvial. Bañado Sur. Escenario 1.



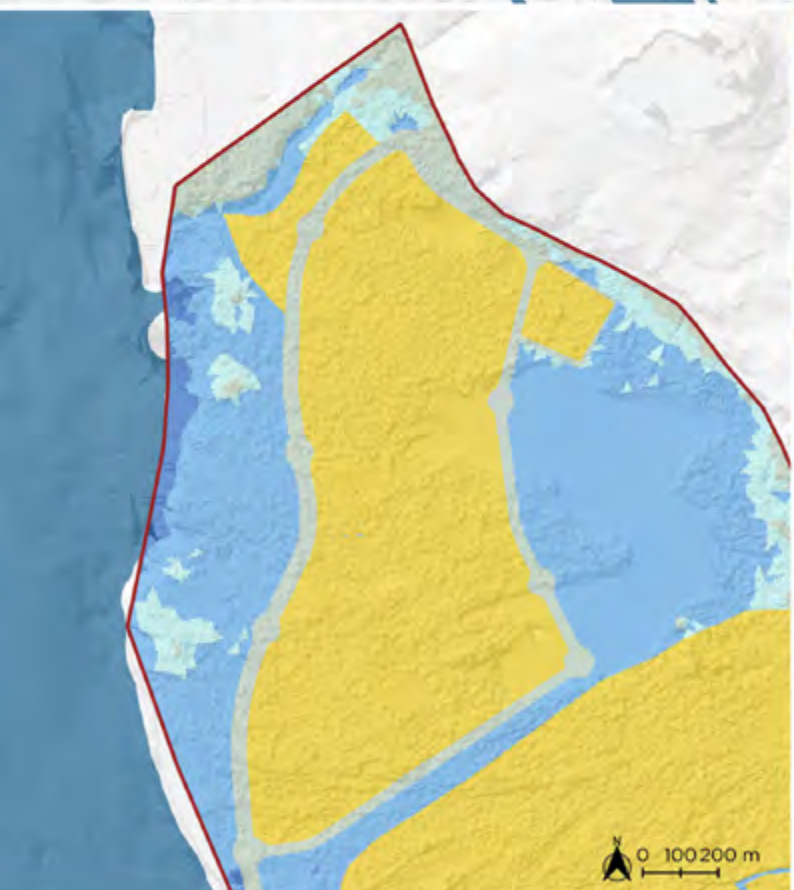
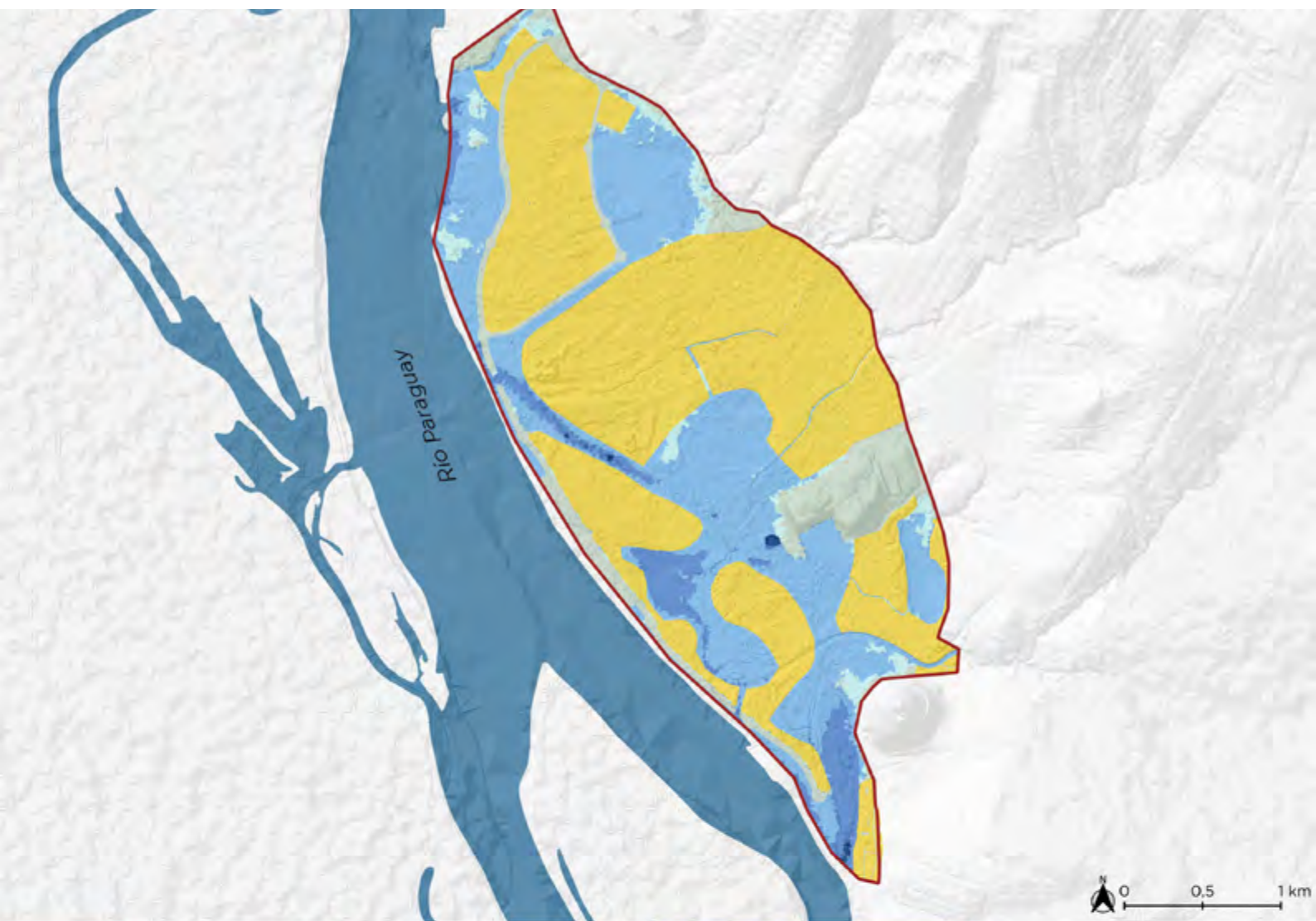


**Figura 64.** Mapa de exposición de las edificaciones, periodo de retorno T100 años. Inundación Fluvial. Bañado Sur. Escenario 2.





**Figura 65.** Mapa de exposición de las edificaciones, periodo de retorno T100 años. Inundación Fluvial. Bañado Sur. Escenario 3



- Leyenda**
- Huella urbana
  - Calado (m)**
  - 0,3 - 1,5
  - 1,5 - 5
  - 5 - 10
  - > 10



El riesgo real asociado a alternativas de intervención estará condicionado a la completa y perfecta ejecución y mantenimiento de las obras previstas, y dependerá de la topografía final del terreno y de los patrones de urbanización y edificación futuros. En sentido estricto, no es posible evaluar el riesgo futuro, puesto que requeriría poder predecir la evolución del sistema socioeconómico que determina el urbanismo, así como otras variables no deterministas; lo que es factible es estimar las tendencias del riesgo, asumiendo ciertas hipótesis simplificadoras (escenarios) en la evolución de las variables de ocupación del suelo y demográficas.

Las soluciones propuestas en este documento para los dos bañados sean basadas en rellenos o en sistemas de compuertas y bombeos, no pueden tener en realidad riesgo nulo, sino que conservarán un cierto riesgo residual asociado a diversas causas:

- **Diseño y/o ejecución no óptima de las obras e infraestructuras de protección.** Los rellenos elevados, por ejemplo, son a priori una medida muy segura frente a las crecidas del río Paraguay, pero no se puede asegurar que los arroyos encauzados situados entre los rellenos no se taponen o saturan; asimismo, el acabado final de la superficie de los rellenos determinará la capacidad de drenaje local de las aguas pluviales, que no será ilimitado.
- **Ocurrencia de sucesos extraordinarios.** Las obras de encauzamiento de ríos y arroyos locales se suelen diseñar para resistir eventos de 100 años de periodos de retorno. En el caso de los rellenos y el dique de protección del polder, se han diseñado para una cota de +64 m que se encuentra por encima de los 500 años de periodo de retorno. No obstante, pueden suceder catástrofes de magnitud superior, especialmente en un contexto de clima cambiante y comportamiento no estacionario del régimen extremal de las variables climáticas dominantes.

- **Evolución no controlada de la ocupación del suelo** (por ejemplo, nada impide que se sigan implantando viviendas precarias en las zonas no rellenadas o en las riberas de los cauces dentro de las zonas rellenadas, incluso si se realizan rellenos).
- **Riesgos de operación** (en el caso de la Solución 1 del Bañado Sur). Si las compuertas se atascan o las bombas no funcionan, obviamente no se alcanzarán los niveles de protección buscados.

**No es posible introducir de manera cuantitativa todos estos factores para evaluar el riesgo residual de las alternativas propuestas a nivel de prediseño, que en todo caso se prevé muy bajo. Por este motivo, se ha considerado en todas las alternativas un riesgo residual nulo, lo que simplifica la interpretación de los resultados y la comparación entre las mismas. En el proyecto de construcción definitivo, una vez seleccionada la alternativa más adecuada, se deberá dedicar un apartado monográfico al plan de mitigación de riesgos.**



# 6.

## Análisis costo-beneficio

### 6.1 Enfoque metodológico

**E**l análisis costo-beneficio (ACB) es un método cuantitativo de análisis y selección de escenarios en general, y de programas de medidas para la reducción de riesgos en particular, basado en evaluar su eficiencia económica, representada por algún parámetro de rentabilidad financiera; esencialmente, consiste en un balance de beneficios y costos agregados que introduce un factor de preferencia temporal y que otorga más peso a los flujos de caja presentes frente a los futuros. Las técnicas de ACB son herramientas adecuadas para priorizar un conjunto de opciones ante un problema o disyuntiva, en la medida que sus ventajas e inconvenientes sean monetizables, es decir, se les pueda asignar un precio en unidades monetarias para convertirlos en beneficios o costos. En los casos donde los escenarios analizados incluyen únicamente bienes de mercado convencionales, los precios vigentes se incorporan directamente y es ahí donde el ACB se sitúa en un terreno más firme, a pesar de que siempre existirán fuentes de incertidumbre (por ejemplo, la evolución oferta-demanda, en el marco de la dinámica competitiva en los mercados).

Este es el caso de las decisiones empresariales en un contexto microeconómico, donde todo análisis de negocio es, en definitiva, un análisis costo-beneficio; aquí, las tasas de descuento equivalen al costo del capital en los mercados financieros.

La aplicación del ACB para la evaluación de políticas públicas es una práctica extendida, si bien presenta algunas características específicas, que conviene reseñar:

- La determinación de las tasas de descuento aplicables en proyectos ligados a políticas públicas es una tarea más controvertida que en el caso de una empresa o particular.
- Muchos de los efectos, positivos o negativos, de la implementación de una política pública son de naturaleza social, ambiental o incluso cultural, por lo que resultan difíciles de valorar en términos monetarios.



## 6.1 Enfoque metodológico

- Incluso los costos y beneficios de naturaleza estrictamente económica derivados de aplicar una determinada política pública son difíciles de valorar en todas sus dimensiones (costos y beneficios ocultos e indirectos, las denominadas externalidades) bien por falta de información o por la impredecibilidad del sistema del que dependen.
- Las tasas de descuento constantes, basadas en la fórmula del interés compuesto, muestran un descenso exponencial en el tiempo, que hace que los flujos de caja a largo plazo tengan menos importancia. En términos de políticas públicas, esto implica un sesgo intergeneracional y hace que los proyectos con beneficios o costos alejados del instante presente no estén representados favorablemente.
- El análisis costo-beneficio no tiene en cuenta la forma en que se distribuyen los flujos de caja entre los receptores y, por tanto, los aspectos de equidad e igualdad social. Esta omisión tiene particular relevancia al analizar inversiones en países en vías de desarrollo, donde los aspectos distributivos suelen considerarse prioritarios.
- Daños económicos directos sobre infraestructuras críticas.
- Daños humanos monetizables (por ejemplo, costos de albergue para refugiados).
- Daños indirectos debidos a alteraciones del tráfico.
- Daños indirectos debidos a la interrupción de negocios (lucro cesante).
- Beneficios por generación de plusvalías del suelo, derivadas de las actuaciones previstas.
- Beneficios sociales por generación de empleo y consumo local (normalmente asociados a actividades de construcción).
- Otros beneficios o daños indirectos (turismo, seguridad ciudadana, salud pública, etc.).

Dentro de la evaluación de políticas e inversiones públicas, la aplicación de técnicas de ACB a la evaluación de medidas de reducción de riesgos plantea algunos retos y limitaciones aún más específicas, que se suman a los anteriores. En general, un ACB aplicado a una actuación de reducción de riesgos deberá considerar los siguientes flujos de caja:

- Costos fijos de infraestructuras y sistemas tecnológicos.
- Costos de reubicación y de compensación (pueden incluirse en el presupuesto de las obras).
- Costos variables de mantenimiento y explotación de infraestructuras y sistemas.
- Daños económicos directos sobre edificaciones.

Como se puede observar, la mayor parte de los flujos de caja son negativos (costos o gastos), debido al hecho de que las actuaciones de reducción de riesgos son, en esencia, medidas defensivas, que tratan de reducir los daños frente al escenario nulo (no actuar), por lo general sin aspirar a generar beneficios netos (para ello, las plusvalías del suelo y el resto de los beneficios indirectos deberían superar la suma de todos las inversiones y gastos de operación). No obstante, es una práctica habitual en los ACB aplicados a proyectos de este tipo considerar el escenario nulo como referencia, y tratar como beneficios (con signo positivo) la reducción de daños que cada escenario de actuación induce con respecto a ella. Con esta convención, el escenario nulo no genera flujos de caja y su valor actualizado neto (VAN, ver definición más adelante) es cero, lo que evita tener que analizarla y facilita la interpretación de los resultados del resto de escenarios (cualquier escenario con VAN mayor a cero es superior al escenario nulo).

Los parámetros de rentabilidad empleados en proyectos de reducción de riesgos, y que sirven para comparar escenarios, son los mismos que se emplean en otros ámbitos:

- **Valor actualizado neto:** Es la suma de todos los flujos de caja descontados (es decir, expresados en unidades monetarias constantes de un determinado año, que puede ser el de inicio o final de proyecto).
- **Tasa interna de retorno estándar (TIR) y modificada (TIRM):** Es la tasa de descuento que iguala los costos y beneficios descontados ( $VAN=0$ ) y da idea de la rentabilidad interna de la inversión.
- **Periodo de recuperación de la inversión:** Tiempo necesario para llegar al equilibrio financiero (momento en que la suma de gastos descontados es igual a la suma de ingresos descontados).
- **Razón beneficio/costo:** Es el cociente entre la suma de ambos conceptos, una vez descontados.

## Selección de la tasa de descuento social

La mayoría de los Organismos de Financiación Multilaterales aconsejan el uso de tasas de descuento social, para la evaluación económica de proyectos, que van entre el 6 y el 15%; en Latinoamérica y El Caribe, la tasa adoptada suele estar entre el 8% y el 12%, dependiendo del costo de oportunidad del capital en cada país y momento del ciclo económico.

No obstante, estas cifras pueden ser válidas para proyectos de escala intra-generacional, con resultados a corto y medio plazo, pero resultan por lo general inadecuadas para los proyectos de reducción de riesgos. El problema del descenso abrupto del factor de descuento basado en el interés compuesto se hace especialmente notorio en los proyectos de este tipo, ya que suelen incluir grandes infraestructuras con vida útil y efectos esperados superiores a un siglo.

Por ello, algunos países, sobre todo en el mundo desarrollado, han ido adoptando, para proyectos de larga vida útil, entre ellos los relacionados con cambio climático y agua, tasas de descuento entre el 1 y el 4% (ver un amplio análisis de las prácticas vigentes en (ASIAN DEVELOPMENT BANK, 2013). Asimismo, un amplio grupo de expertos en economía ambiental ha recomendado el uso de una tasa de descuento no basada en la fórmula del interés compuesto (funciones hiperbólicas o de otros tipos), para proyectos que afectan a varias generaciones, como ya es de aplicación en algunos países como Reino Unido y Francia (Arrow *et al.* 2013).

En el caso de los Bañados de Asunción, se ha adoptado como cifra intermedia para la tasa de descuento un valor del 10%, si bien cabe recordar que algunos parámetros de rentabilidad (en concreto la tasa interna de retorno o TIR) no dependen de él.

## 6.2 Cuantificación de costos y beneficios

El cálculo de los costes directos asociados a cada componente del programa se ha justificado anteriormente; se han separado los costes de inversión de capital (CAPEX), que se realizan habitualmente en los 2-3 años iniciales, de los costes variables (OPEX), que incluyen el mantenimiento y explotación de las posibles infraestructuras a lo largo de su periodo de funcionamiento, así como todo tipo de inversiones recurrentes en formación, capacitación, sensibilización, etc.

Para el cálculo de los beneficios, se han considerados los siguientes conceptos susceptibles de producirlos:

### A. Pérdidas evitadas por reducción en daños

Varias de las componentes propuestas aportarán una reducción del daño/riesgo asociado a eventos de amenazas naturales, y más concretamente inundaciones y deslizamientos. Este apartado de la evaluación de beneficios se centra en la reducción de daños económicos, mientras que los beneficios en términos humanos se valoran en el apartado siguiente.

Para determinar los beneficios por reducción del riesgo se dispone, para cada escenario, de la superficie urbana mejorada, así como el valor medio en riesgo anualizado (PAE) por hectárea que existe en la actualidad (situación previa a la actuación), y que se verá mitigado. Esta pérdida anual esperada debe incluir tanto los daños directos (deterioro o destrucción de activos físicos) como los daños económicos indirectos: lucro cesante de negocios cerrados temporalmente, alteraciones del tráfico, etc. (ver apartado de riesgos).

### B. Beneficios de salud pública

En los desastres ligados a fenómenos naturales, los daños humanos pueden ser tan importantes como los económicos, especialmente en lugares con altas tasas de pobreza, donde el valor de los activos materiales en riesgo suele ser bajo. Cuantificar este tipo de daños en términos monetarios es controvertido y plantea dilemas morales, pero no tenerlos en cuenta a la hora de discriminar entre diversos escenarios, tampoco resulta satisfactorio. En este capítulo de beneficios se pretende cuantificar el efecto en la salud pública que tendría la reducción de riesgos de inundación debido a las intervenciones propuestas. Es sabido que todos estos fenómenos pueden producir:

- **Daños directos:** muertos y heridos
- **Daños indirectos:** diarreas y propagación de enfermedades infecciosas.
- **Daños psicológicos y problemas sociales:** ligados a unas condiciones insalubres de vida, abandono temporal de la vivienda, interrupción de servicios básicos (luz y agua), etc.

Para estimar estos riesgos de forma simplificada, se han considerado para cada actuación dos variables agregadas: por un lado, la población equivalente que será aliviada de riesgos de salud pública, debido a cada actuación; por otro, el coste medio anual que se asigna a este hecho por baja laboral o reducción de la productividad. Como ya se ha comentado en la introducción, es controvertido y discutible monetizar la salud y el sufrimiento humanos, pero en este caso se ha optado por considerarlos como una merma de productividad.



Las personas equivalentes que se ven mejoradas en cuanto a aspectos de salud pública se basan en considerar las áreas mejoradas, una densidad de población media y un factor de duración del problema (por ejemplo, si alguien sufre de media inundaciones durante 1 mes al año debido a puntas de contaminación del aire, esto equivale a 1/12 (8.3%) de absentismo medio anual.

### C. Plusvalías de suelo urbano y stock de vivienda

Varias de las componentes del programa de medidas propuesto incluyen modificaciones significativas del entorno urbano, sea mediante creación de zonas edificables, la habilitación de nuevos parques o la mejora del drenaje. Todas estas actuaciones suelen tener un efecto de revalorización del precio de las edificaciones, en el entorno del lugar de intervención o, directamente, la creación de suelo útil que antes no existía.

Para este estudio, las plusvalías de suelo que pueden esperarse de las actuaciones propuestas han sido proporcionadas por un equipo de urbanistas que han analizado datos del mercado inmobiliario de Asunción, así como casos reales de otras ciudades de Latinoamérica que han experimentado transformaciones similares a las propuestas.

### D. Costos por reducción de servicios ecosistémicos (abastecimiento, paisaje, depuración, etc.)

La cuantificación y valoración de los servicios ecosistémicos es un tema actualmente en boga, sobre el cual existe una nutrida bibliografía. En este caso, se ha considerado un marco conceptual suficientemente simple y genérico, que dé cabida a diferentes servicios ambientales, teniendo en cuenta fundamentalmente las actuaciones de refulado. Para ello, se considera el área de ecosistemas de tipo laguna o humedal que se perdería consecuencia de cada escenario. Después, en función de los servicios ecosistémicos dominantes, se asigna de manera particular un valor por hectárea y año a dicha superficie, lo que permite obtener el valor equivalente por reducción de servicios ecosistémicos.

Los principales servicios ecosistémicos que se suelen asociar a las lagunas y zonas inundables son los siguientes:

- Depuración natural de aguas de escorrentía y vertidos.
- Servicios turísticos asociados a la naturaleza (paisaje, paseo, recreación, etc.).
- Mantenimiento de las actividades pesqueras.
- Almacenamiento del agua y reducción de riesgos de inundación.

Este tipo de pérdidas están generalmente asociadas a los escenarios que conllevan grandes volúmenes de dragado y relleno.

### E. Beneficios sociales diversos

Es conveniente incluir un apartado específico de beneficios que tenga en cuenta un conjunto de variables diversos y difíciles de cuantificar, pero no por ello menos importantes:

- Redistribución de la renta a través de generación de impuestos derivados de la reducción de la economía informal.
- Regularización del régimen de propiedad del suelo.
- Efecto multiplicador del gasto público al activar la economía y el empleo local (enfoque keynesiano).
- Mejoras de fortalecimiento normativo e institucional, que forman parte, en mayor o menor medida, de las soluciones propuestas.
- Mejoras sociales diversas: reducción de la delincuencia (asociada a la mejora del espacio urbano), avances en igualdad de género, educación ambiental y aumento de la capacidad de respuesta ante emergencias, etc.

Por otra parte, toda mejora en desarrollo institucional, en las capacidades técnicas de los profesionales implicados en la población de riesgos o en la educación pública en general (y especialmente la de género), tendrá repercusión positiva en la respuesta ante catástrofes y favorecerá la adaptación al cambio climático.

Para considerar estos efectos se ha considerado en cada escenario un factor de beneficios sociales, estimado por juicio de experto en función de la naturaleza de cada componente, que se aplica sobre la inversión total (CAPEX) prorrateada a lo largo de 20 años. El factor aplicado oscila entre el 15% y 50%, dependiendo de la naturaleza de las intervenciones propuestas (por ejemplo, la creación de espacios públicos verdes aporta más beneficios de este tipo que la creación de zonas edificables).

**Diversos organismos de financiamiento multilaterales, entre ellos el BID, adoptan por convención en los análisis coste-beneficio una tasa de retorno social sobre todo gasto público realizado, sea de la naturaleza que sea, debido al efecto keynesiano de activación de la economía y fomento de la economía local. Además, si las medidas propuestas incluyen el afloramiento de economías informales, y su tránsito a sistemas más formales con el consiguiente pago de impuestos, esto también puede considerarse como un beneficio (aunque los impuestos como tales no deben considerarse como beneficios puros, ya que son una mera transferencia de capital, que no tiene porqué llevar aparejada la creación de valor).**

## 6.3 Resultados

### Bañado Norte

Se presentan a continuación los resultados del ACB para cada una de las tres alternativas consideradas en el Bañado Norte:

- **ESCENARIO 0:** Sin actuaciones
- **ESCENARIO 1:** Refulado de las zonas inundables
- **ESCENARIO 2:** Refulado parcial con zonas verdes

El escenario 0 considera como costes únicamente la reparación de los daños derivados de las inundaciones en el bañado, tal y como se han obtenido en los apartados previos de este estudio. Dado que no existen beneficios como tales, el análisis coste-beneficio únicamente arroja un valor actualizado neto negativo de USD 68.3 millones, que es la suma de la pérdida anual esperada (PAE) descontada, a lo largo del todo el periodo de cálculo.

Los resultados para cada escenario de intervención obtenidos siguiendo los criterios descritos en el apartado anterior, se resumen en la Tabla 21.

A partir de esta información, se ha llevado a cabo una estimación de los flujos de caja y el análisis costo-beneficio de cada escenario.

La siguiente tabla refleja los resultados obtenidos en el ACB para el Bañado Norte donde se observa que todas las componentes arrojan indicadores de rentabilidad favorables o muy favorables, con tasas internas de retorno superiores al 9% (13.7 para el E1 y 11.4% para el E2) y periodos de recuperación de la inversión de 17 años para el E1 y de 24 años para el E2.



### 6.3 Resultados

**Tabla 21.** Costes y beneficios considerados para los escenarios del Bañado Norte.

| ESCENARIO DE INTERVENCIÓN                                  | E1     | E2     |                         |
|--|--------|--------|-------------------------|
| <b>COSTOS</b>  |        |        |                         |
| Inversión en inmovilizado                                  | 277    | 289    | MUSD                    |
| Costes variables de capital                                | 6      | 6      | MUSD/año                |
| <b>PARÁMETROS ACB</b>                                      |        |        |                         |
| Área con reducción de riesgos por catástrofes              | 57     | 57     | ha                      |
| Pérdida anual esperada (PAE) por ha                        | 110000 | 110000 | USD/ha/año              |
| Reducción de personas expuestas a riesgos de salud pública | 301.62 | 301.62 | per/año                 |
| Coste anual equivalente por baja laboral                   | 3600   | 3600   | USD/per/año             |
| Área con plusvalías de suelo/edificación                   | 68.4   | 39.9   | ha                      |
| Precio medio inicial de renta de la superficie edificada   | 250    | 250    | USD/m <sup>2</sup> /año |
| Plusvalía media por sup. edificada sobre el valor inicial  | 520    | 520    |                         |
| Área de ecosistemas afectados                              | 40     | 20     | ha                      |
| Pérdida de servicios ecosistémicos                         | 7000   | 7000   | USD/ha/año              |
| Factor beneficio social sobre inversiones                  | 25%    | 50%    |                         |
| <b>BENEFICIOS</b>  |        |        |                         |
| Reducción en daños medios anuales por catástrofes          | 6.27   | 6.27   | MUSD/año                |
| Beneficios de salud pública                                | 1.09   | 1.09   | MUSD/año                |
| Plusvalías de suelo urbano y stock de vivienda             | 36.94  | 21.55  | MUSD/año                |
| Pérdidas por servicios ecosistémicos                       | -0.28  | -0.14  | MUSD/año                |
| Beneficios sociales  | 8.14   | 16.97  | MUSD/año                |
| Beneficios totales   | 52.15  | 45.73  | MUSD/año                |

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 22.** Parámetros de rentabilidad para los escenarios de intervención del Bañado Norte.

| BAÑADO NORTE                          | E0     | E1    | E2    |
|---------------------------------------|--------|-------|-------|
| Total inversiones descontadas (MUS\$) | 0      | 283   | 298   |
| Total beneficios descontados (MUS\$)  | 0      | 387   | 339   |
| VAN (MUS\$)                           | -68.27 | 104   | 41    |
| Tasa interna de retorno (TIR)         | -      | 13.7% | 11.4% |
| Retorno sobre la inversión (BEN/INV)  | -      | 1.37  | 1.14  |
| Periodo de equilibrio (años)          | -      | 17.0  | 24.0  |

Fuente: Elaboración propia.

## Bañado Sur

Se presentan a continuación los resultados del ACB para cada uno de los tres escenarios considerados en el Bañado Sur:

- **ESCENARIO 0:** Sin actuaciones
- **ESCENARIO 1:** Polder
- **ESCENARIO 2:** Refulado parcial
- **ESCENARIO 3:** Refulado extenso

El escenario 0 considera como costes únicamente la reparación de los daños derivados de las inundaciones en el bañado, tal y como se han obtenido en los apartados previos de este estudio. Dado que no existen beneficios como tales, el análisis coste-beneficio únicamente arroja un valor actualizado neto negativo de USD 39.6 millones, que es la suma de la pérdida anual esperada (PAE) descontada, a lo largo del todo el periodo de cálculo.

Los resultados para cada escenario de intervención obtenidos siguiendo los criterios descritos en el apartado anterior, se resumen en la Tabla 23.

A partir de esta información, se ha llevado a cabo una estimación de los flujos de caja y el análisis costo-beneficio de cada escenario.

La siguiente tabla refleja los resultados obtenidos en el ACB para el Bañado Sur donde se observa que todas las componentes arrojan indicadores de rentabilidad favorables o muy favorables, con tasas internas de retorno superiores al 9% (9.5% para el E1, 13.3% para el E2 y 14.2% para el E3), y periodos de recuperación de la inversión de 18 años para el E2 y de 16 años para el E3.

### 6.3 Resultados

**Tabla 23.** Costes y beneficios considerados para los escenarios del Bañado Sur.

| ESCENARIO DE INTERVENCIÓN                                  |        |        |        |                         |
|--|--------|--------|--------|-------------------------|
| COSTOS   | E1     | E2     | E3     | UNIDADES                |
| Inversión en inmovilizado                                  | 156    | 195    | 512    | MUSD                    |
| Costes variables de capital                                | 3      | 4      | 10     | MUSD/año                |
| PARÁMETROS ACB   |        |        |        |                         |
| Área con reducción de riesgos por catástrofes              | 33     | 33     | 33     | ha                      |
| Pérdida anual esperada (PAE) por ha                        | 110000 | 110000 | 110000 | USD/ha/año              |
| Reducción de personas expuestas a riesgos de salud pública | 20     | 200    | 200    | per/año                 |
| Coste anual equivalente por baja laboral                   | 3600   | 3600   | 3600   | USD/per/año             |
| Área con plusvalías de suelo/edificación                   | 64     | 64     | 200    | ha                      |
| Precio medio inicial de renta de la superficie edificada   | 220    | 220    | 220    | USD/m <sup>2</sup> /año |
| Plusvalía media por sup. edificada sobre el valor inicial  | 330    | 440    | 440    |                         |
| Área de ecosistemas afectados                              | 20     | 64     | 200    | ha                      |
| Pérdida de servicios ecosistémicos                         | 7000   | 7000   | 7000   | USD/ha/año              |
| Factor beneficio social sobre inversiones                  | 15%    | 15%    | 15%    |                         |
| BENEFICIOS   |        |        |        |                         |
| Reducción en daños medios anuales por catástrofes          | 3.63   | 3.63   | 3.63   | MUSD/año                |
| Beneficios de salud pública                                | 0.072  | 0.72   | 0.72   | MUSD/año                |
| Plusvalías de suelo urbano y stock de vivienda             | 14.08  | 28.16  | 88     | MUSD/año                |
| Pérdidas por servicios ecosistémicos                       | -0.14  | -0.448 | -1.4   | MUSD/año                |
| Beneficios sociales  | 2.75   | 3.43   | 9.02   | MUSD/año                |
| Beneficios totales   | 20.39  | 35.49  | 99.97  | MUSD/año                |

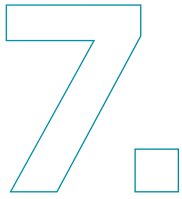
Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 24.** Parámetros de rentabilidad para los escenarios de intervención del Bañado Sur.

| ESCENARIO DE INTERVENCIÓN             | E0     | E1   | E2    | E3    |
|---------------------------------------|--------|------|-------|-------|
| Total inversiones descontadas (MUS\$) | 0      | 159  | 199   | 523   |
| Total beneficios descontados (MUS\$)  | 0      | 151  | 263   | 742   |
| VAN (MUS\$)                           | -39.59 | -8   | 65    | 219   |
| Tasa interna de retorno (TIR)         | -      | 9.5% | 13.3% | 14.2% |
| Retorno sobre la inversión (BEN/INV)  | -      | 0.95 | 1.33  | 1.42  |
| Periodo de equilibrio (años)          | -      | #N/D | 18.0  | 16.0  |

Fuente: Elaboración propia.





## Plan de Gestión del Riesgo de Desastres y Cambio Climático

**E**n este capítulo se presenta el Plan de Gestión de Riesgo de Desastres para la implementación de las medidas de reducción de riesgo de inundación propuestas en las áreas de intervención de los Bañados Norte y Sur de Asunción.

**Las medidas propuestas se han dividido en dos grandes categorías: medidas estructurales, entendidas como actuaciones de modificación del espacio físico mediante obras de diversa naturaleza, y medidas no estructurales, que agrupan un conjunto variado de herramientas de carácter “blando”. Las medidas estructurales y no estructurales son complementarias y deben llevarse siempre a cabo de forma coordinada.**

A continuación, se procede a describir el conjunto de medidas estructurales (según su plazo de implementación) y no estructurales de los escenarios de intervención seleccionados con base en el resultado del análisis coste beneficio: Escenario 1 para el Bañado Norte y Escenario 3 para el Bañado Sur.

Barrio Tacumbú 2015. Fotografía: Fotociclo.





## 7.1 Medidas estructurales



### Medidas propuestas en el Bañado Norte

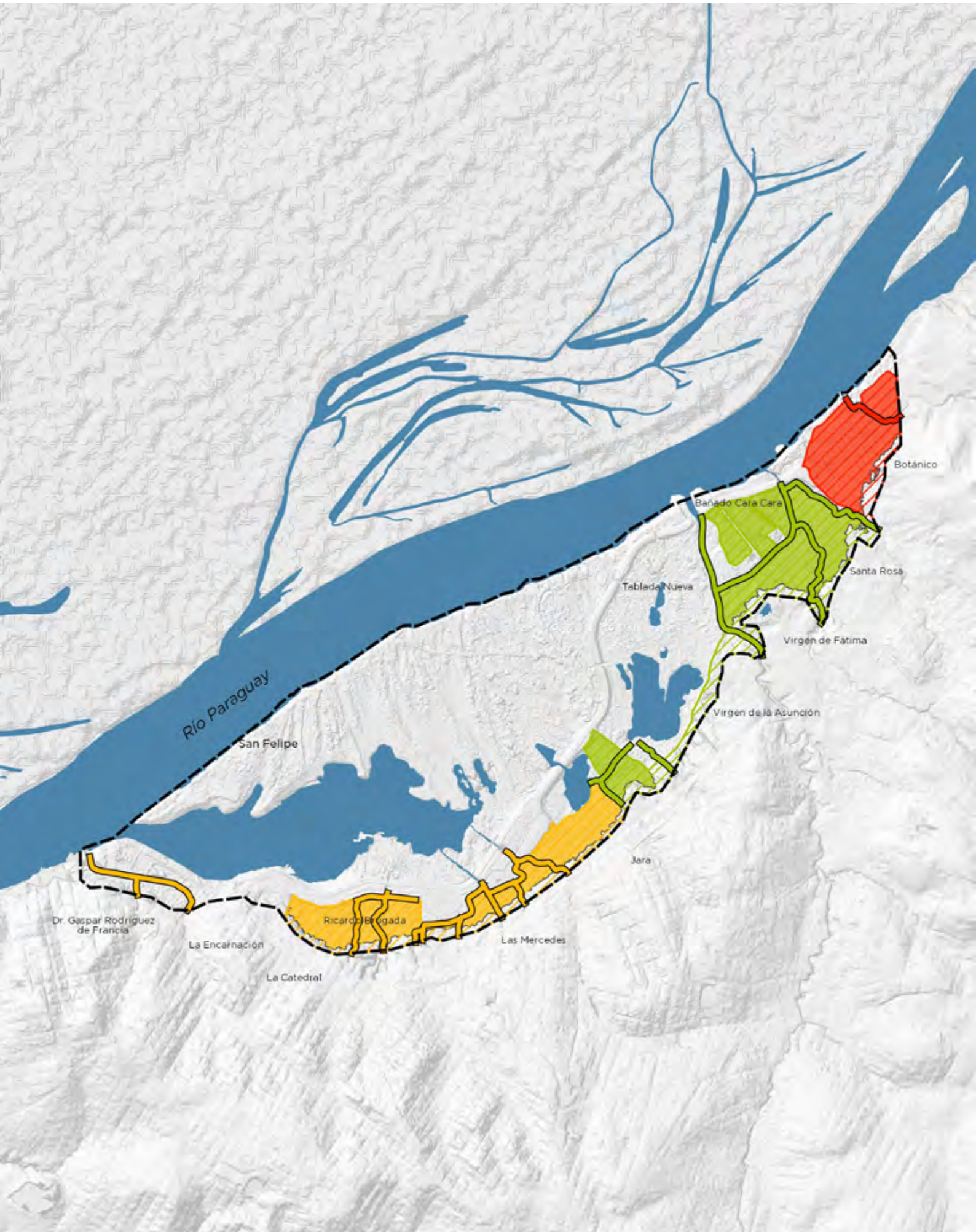
En la Figura 66 se presenta el plazo de implementación para las medidas estructurales de reducción de riesgos en el Bañado Norte, seguido de las tablas donde se desglosan las medidas a implantar en cada fase:

- Corto (menos de 2 años) plazo
- Medio (entre 2 y 5 años) plazo
- Largo (entre 5 y 10 años) plazo

Así como su etapa de aplicación (las medidas propuestas se pueden implementar en la etapa de Diseño, Construcción u Operación dentro del ciclo de desarrollo del programa) y el responsable de cada una de ellas (institución o persona responsable del desarrollo e implementación de las medidas de mitigación de riesgos).



Figura 66. Plazo de implementación de las medidas propuestas en el Bañado Norte.



**Leyenda**  
**Plazo de implementación**  
Corto Plazo  
Medio Plazo  
Largo Plazo

| MEDIDAS A CORTO PLAZO  |  |
|--|--|
| <p><b>Relleno precedente del cauce del río Paraguay:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Actividades de dragado y refulado precedente del río Paraguay de 3.70 millones de m<sup>3</sup>.</li> <li>- Relleno de una superficie de 97.55 ha hasta la cota +64 m.</li> </ul>  | <p><b>Etapas del ciclo de proyecto: Construcción</b></p> <p>Responsables: Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones (MOPC)</p>   |
| <p><b>Construcción de nueva vivienda social derivada de la reubicación:</b></p> <p>Reubicación de 4,508 viviendas sobre la superficie rellenada, incluyendo todas viviendas afectadas por el desbordamiento del río de los barrios de Tablada Nueva, Bañado Cara Cara, Santa Rosa, Virgen de Fátima y parte de Jara y la parte del Banco San Miguel localizada al sur de la Costanera Norte.</p> | <p><b>Etapas del ciclo de proyecto: Construcción</b></p> <p>Responsables: Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones (MOPC), Municipalidad de Asunción y Ministerio de Urbanismo, Vivienda y Hábitat (MUVH),</p>  |
| <p><b>Regularización del terreno y drenaje pluvial:</b></p> <p>Tanto en la nueva superficie urbana generada en el bañado, como en las zonas no afectadas por el desbordamiento del río Paraguay, en las que se localizan viviendas que no es necesario reubicar.</p>   | <p><b>Etapas del ciclo de proyecto: Construcción y operación</b></p> <p>Responsables: Ministerio de Urbanismo, Vivienda y Hábitat (MUVH), Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones (MOPC) y Municipalidad de Asunción</p>   |
| <p><b>Actividades de la construcción e instalación de Servicios Públicos:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Construcción de la red de agua potable, red cloacal.</li> <li>- Instalación de la red eléctrica.</li> <li>- Conexión de las viviendas a las diferentes redes públicas.</li> <li>- Titulación de propiedades.</li> </ul>   | <p><b>Etapas del ciclo de proyecto: Construcción y operación</b></p> <p>Responsables: Ministerio de Urbanismo, Vivienda y Hábitat, Empresa de Servicios Sanitarios del Paraguay (ESSAP), Servicio Nacional de Catastro, Administración Nacional de Electricidad (ANDE) y Municipalidad de Asunción</p> |
| <p><b>Encauzamiento y adecuación de los arroyos que vierten al Bañado Norte:</b></p> <p>Limpieza, desbroce, dragado, aumento de la capacidad hidráulica y construcción de defensas a lo largo de 6,000 m de tramos de cauce.</p>   | <p><b>Etapas del ciclo de proyecto: Diseño, Construcción y operación</b></p> <p>Responsables: Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones (MOPC) y Municipalidad de Asunción</p>   |

| MEDIDAS A MEDIO PLAZO  |   |
|--|---|
| <p><b>Relleno precedente del cauce del río Paraguay:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Actividades de dragado y refulado precedente del río Paraguay de 2.60 millones de m<sup>3</sup>.</li> <li>- Relleno de una superficie de 78.14 ha hasta la cota +64 m.</li> </ul>  | <p><b>Etapas del ciclo de proyecto: Construcción</b></p> <p>Responsables: Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones (MOPC)</p>  |
| <p><b>Construcción de nueva vivienda social derivada de la reubicación:</b></p> <p>Reubicación de 2,802 viviendas sobre la superficie rellenada, incluyendo todas viviendas afectadas por el desbordamiento del río de los barrios de Dr. Ricardo Brugada, concretamente la zona de Chacarita Baja, Las Mercedes y parte del barrio de Jara.</p>   | <p><b>Etapas del ciclo de proyecto: Construcción</b></p> <p>Responsables: Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones (MOPC), Municipalidad de Asunción y Ministerio de Urbanismo, Vivienda y Hábitat (MUVH)</p>  |
| <p><b>Regularización del terreno y drenaje pluvial:</b></p> <p>Tanto en la nueva superficie urbana generada en el bañado, como en las zonas no afectadas por el desbordamiento del río Paraguay, en las que se localizan viviendas que no es necesario reubicar.</p>   | <p><b>Etapas del ciclo de proyecto: Construcción y operación</b></p> <p>Responsables: Ministerio de Urbanismo, Vivienda y Hábitat (MUVH), Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones (MOPC) y Municipalidad de Asunción</p>  |
| <p><b>Actividades de la construcción e instalación de Servicios Públicos:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Construcción de la red de agua potable, red cloacal.</li> <li>- Instalación de la red eléctrica.</li> <li>- Conexión de las viviendas a las diferentes redes públicas.</li> <li>- Titulación de propiedades.</li> </ul> | <p><b>Etapas del ciclo de proyecto: Construcción y operación</b></p> <p>Responsables: Ministerio de Urbanismo, Vivienda y Hábitat (MUVH), Empresa de Servicios Sanitarios del Paraguay (ESSAP), Servicio Nacional de Catastro, Administración Nacional de Electricidad (ANDE) y Municipalidad de Asunción</p> |
| <p><b>Encauzamiento y adecuación de los arroyos que vierten al Bañado Norte:</b></p> <p>Limpieza, desbroce, dragado, aumento de la capacidad hidráulica y construcción de defensas a lo largo de 5,730 m de tramos de cauce.</p>   | <p><b>Etapas del ciclo de proyecto: Diseño, Construcción y operación</b></p> <p>Responsables: Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones (MOPC) y Municipalidad de Asunción</p>  |



| MEDIDAS A LARGO PLAZO  |  |
|--|--|
| <p><b>Relleno precedente del cauce del río Paraguay:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Actividades de dragado y refulado precedente del río Paraguay de 1.50 millones de m<sup>3</sup>.</li> <li>- Relleno de una superficie de 55.4 ha hasta la cota +64 m.</li> </ul>   | <p><b>Etapas del ciclo de proyecto:</b><br/><b>Construcción</b></p> <p>Responsables: Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones (MOPC)</p>  |
| <p><b>Construcción de nueva vivienda social derivada de la reubicación:</b></p> <p>Reubicación de 2,072 viviendas sobre la superficie rellenada, incluyendo todas viviendas afectadas por el desbordamiento del río del barrio Botánico incluyendo la zona de San Antonio.</p>   | <p><b>Etapas del ciclo de proyecto:</b><br/><b>Construcción</b></p> <p>Responsables: Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones (MOPC), Municipalidad de Asunción y Ministerio de Urbanismo, Vivienda y Hábitat (MUVH)</p>  |
| <p><b>Regularización del terreno y drenaje pluvial:</b></p> <p>Tanto en la nueva superficie urbana generada en el bañado, como en las zonas no afectadas por el desbordamiento del río Paraguay, en las que se localizan viviendas que no es necesario reubicar.</p>   | <p><b>Etapas del ciclo de proyecto:</b><br/><b>Construcción y operación</b></p> <p>Responsables: Ministerio de Urbanismo, Vivienda y Hábitat (MUVH), Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones (MOPC) y Municipalidad de Asunción</p>  |
| <p><b>Actividades de la construcción e instalación de Servicios Públicos:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Construcción de la red de agua potable, red cloacal.</li> <li>- Instalación de la red eléctrica.</li> <li>- Conexión de las viviendas a las diferentes redes públicas.</li> <li>- Titulación de propiedades.</li> </ul> | <p><b>Etapas del ciclo de proyecto:</b><br/><b>Construcción y operación</b></p> <p>Responsables: Ministerio de Urbanismo, Vivienda y Hábitat (MUVH), Empresa de Servicios Sanitarios del Paraguay (ESSAP), Servicio Nacional de Castro, Administración Nacional de Electricidad (ANDE) y Municipalidad de Asunción</p> |
| <p><b>Encauzamiento y adecuación de los arroyos que vierten al Bañado Norte:</b></p> <p>Limpieza, desbroce, dragado, aumento de la capacidad hidráulica y construcción de defensas a lo largo de 570 m de tramos de cauce.</p>   | <p><b>Etapas del ciclo de proyecto:</b> <b>Diseño, Construcción y operación</b></p> <p>Responsables: Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones (MOPC) y Municipalidad de Asunción</p>  |



Barrio Tacumbú 2022. Fotografía: Leonardo Mendez.





Barrio Tacumbú 2022. Fotografía: Leonardo Mendez.



## Medidas propuestas en el Bañado Sur

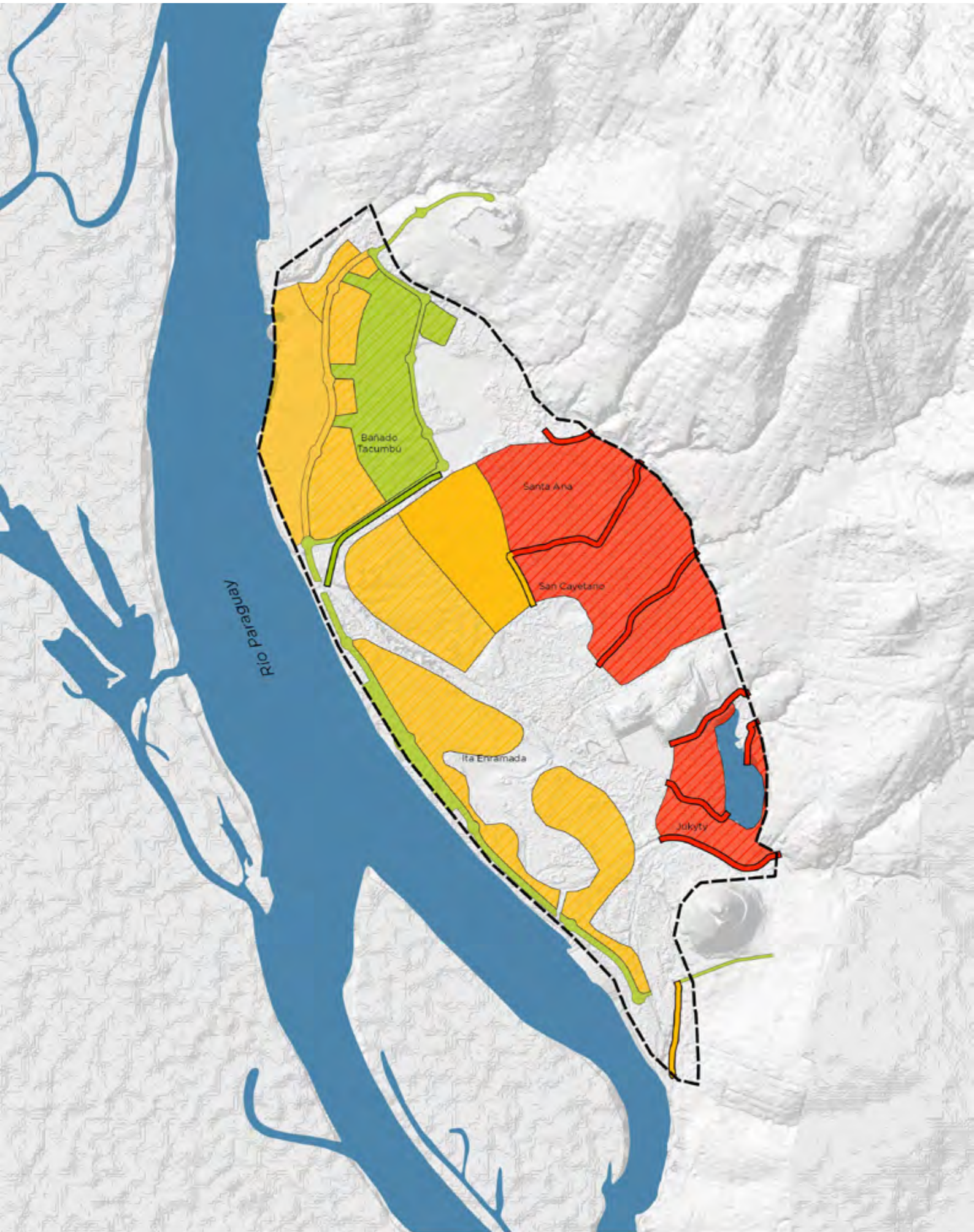
En la Figura 67 se presenta el plazo de implementación para las medidas estructurales de reducción de riesgos en el Bañado Sur, seguido de las tablas donde se desglosan las medidas a implantar en cada fase:

- Corto (menos de 2 años) plazo
- Medio (entre 2 y 5 años) plazo
- Largo (entre 5 y 10 años) plazo

Así como su etapa de aplicación (las medidas propuestas se pueden implementar en la etapa de Diseño, Construcción u Operación dentro del ciclo de desarrollo del programa) y el responsable de cada una de ellas (institución o persona responsable del desarrollo e implementación de las medidas de mitigación de riesgos).



Figura 67. Plazo de implementación de las medidas propuestas en el Bañado Sur.



**Leyenda**  
**Plazo de implementación**  
Corto Plazo  
Medio Plazo  
Largo Plazo

| MEDIDAS A CORTO PLAZO  |   |
|--|---|
| PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN DE LA FRANJA COSTERA DEL BAÑADO SUR. FASE 1. (MOPC, 2018)   |   |
| <p><b>Relleno precedente del cauce del río Paraguay:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Actividades de dragado y refulado precedente del río Paraguay de unos 4.35 millones de m<sup>3</sup>.</li> <li>- Relleno de una superficie de alrededor de 95 ha hasta la cota +64 m.</li> </ul>   | <p><b>Etapa del ciclo de proyecto: Construcción</b></p> <p>Responsables: Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones (MOPC).</p>  |
| <p><b>Construcción de nueva vivienda social derivada de la reubicación:</b></p> <p>Reubicación de 1,580 viviendas sobre la superficie rellenada, considerando que las 2,705 viviendas a reubicar en el barrio Tacumbú se reparten de manera uniforme entre las dos fases del proyecto.</p>   | <p><b>Etapa del ciclo de proyecto: Construcción</b></p> <p>Responsables: Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones (MOPC), Municipalidad de Asunción y Ministerio de Urbanismo, Vivienda y Hábitat (MUVH).</p>  |
| <p><b>Regularización del terreno y drenaje pluvial:</b></p> <p>Tanto en la nueva superficie urbana generada en el bañado, como en las zonas no afectadas por el desbordamiento del río Paraguay, en las que se localizan viviendas que no es necesario reubicar.</p>   | <p><b>Etapa del ciclo de proyecto: Construcción y operación</b></p> <p>Responsables: Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones (MOPC) y Municipalidad de Asunción.</p>  |
| <p><b>Actividades de la construcción e instalación de Servicios Públicos:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Construcción de la red de agua potable, red cloacal.</li> <li>- Instalación de la red eléctrica.</li> <li>- Conexión de las viviendas a las diferentes redes públicas.</li> <li>- Titulación de propiedades.</li> </ul> | <p><b>Etapa del ciclo de proyecto: Construcción y operación</b></p> <p>Responsables: Ministerio de Urbanismo, Vivienda y Hábitat (MUVH), Empresa de Servicios Sanitarios del Paraguay (ESSAP), Servicio Nacional de Catastro, Administración Nacional de Electricidad (ANDE) y Municipalidad de Asunción.</p> |
| <p><b>Construcción de la fase 1 de la Costanera Sur</b></p>  | <p><b>Etapa del ciclo de proyecto: Diseño, Construcción y operación</b></p> <p>Responsables: Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones (MOPC) y Municipalidad de Asunción.</p>  |
| <p><b>Construcción de nuevo canal:</b></p> <p>Construcción de un canal que permita el desagüe de la laguna Yrupe y conexión con el resto del sistema lagunar del Bañado Sur de unos 1,050 ml.</p>  | <p><b>Etapa del ciclo de proyecto: Diseño, Construcción y operación</b></p> <p>Responsables: Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones (MOPC) y Municipalidad de Asunción.</p>  |

| MEDIDAS A MEDIO PLAZO  |   |
|--|---|
| PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN DE LA FRANJA COSTERA DEL BAÑADO SUR. FASE 2 (MOPC, 2018)  |   |
| <p><b>Relleno procedente del cauce del río Paraguay:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Actividades de dragado y refulado procedente del río Paraguay de unos 2.30 millones de m<sup>3</sup>.</li> <li>- Relleno de una superficie de alrededor de 52 ha hasta la cota +64 m.</li> </ul>   | <p><b>Etapas del ciclo de proyecto:</b><br/><b>Construcción</b></p> <p>Responsables: Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones (MOPC).</p>  |
| <p><b>Construcción de nueva vivienda social derivada de la reubicación:</b></p> <p>Reubicación de 1,125 viviendas sobre la superficie rellenada, considerando que las 2,705 viviendas a reubicar en el barrio Tacumbú se reparten de manera uniforme entre las dos fases del proyecto.</p>   | <p><b>Etapas del ciclo de proyecto:</b><br/><b>Construcción</b></p> <p>Responsables: Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones (MOPC), Municipalidad de Asunción y Ministerio de Urbanismo, Vivienda y Hábitat (MUVH).</p>  |
| <p><b>Regularización del terreno y drenaje pluvial:</b></p> <p>Tanto en la nueva superficie urbana generada en el bañado, como en las zonas no afectadas por el desbordamiento del río Paraguay, en las que se localizan viviendas que no es necesario reubicar.</p>   | <p><b>Etapas del ciclo de proyecto:</b><br/><b>Construcción y operación</b></p> <p>Responsables: Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones (MOPC) y Municipalidad de Asunción.</p>  |
| <p><b>Actividades de la construcción e instalación de Servicios Públicos:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Construcción de la red de agua potable, red cloacal.</li> <li>- Instalación de la red eléctrica.</li> <li>- Conexión de las viviendas a las diferentes redes públicas.</li> <li>- Titulación de propiedades.</li> </ul>   | <p><b>Etapas del ciclo de proyecto:</b><br/><b>Construcción y operación</b></p> <p>Responsables: Ministerio de Urbanismo, Vivienda y Hábitat (MUVH), Empresa de Servicios Sanitarios del Paraguay (ESSAP), Servicio Nacional de Catastro, Administración Nacional de Electricidad (ANDE) y Municipalidad de Asunción.</p> |
| <p><b>Construcción de la fase 2 de la Costanera Sur.</b></p>   | <p><b>Etapas del ciclo de proyecto: Diseño, Construcción y operación</b></p> <p>Responsables: Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones (MOPC) y Municipalidad de Asunción.</p>   |
| <p><b>Relleno procedente del cauce del río Paraguay:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Actividades de dragado y refulado procedente del río Paraguay de 9.38 millones de m<sup>3</sup> (2.15 Mm<sup>3</sup> para la reubicación de viviendas y 7.23 Mm<sup>3</sup> para financiar.).</li> <li>- Relleno de una superficie de 182 ha hasta la cota +64 m, 47 ha para la reubicación de viviendas y 135 ha para financiar.</li> </ul> | <p><b>Etapas del ciclo de proyecto:</b><br/><b>Construcción</b></p> <p>Responsables: Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones (MOPC).</p>  |



| MEDIDAS A MEDIO PLAZO   |   |
|---|---|
| PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN DE LA FRANJA COSTERA DEL BAÑADO SUR. FASE 2 (MOPC, 2018)   |   |
| <p><b>Construcción de nueva vivienda social derivada de la reubicación:</b></p> <p>Reubicación de 1,348 viviendas sobre la superficie rellenada para la reubicación de viviendas, incluyendo todas viviendas afectadas por el desbordamiento del río asentadas sobre los futuros rellenos y las que se sitúan en las zonas que quedan como áreas de amortiguación y laminación.</p> <p>Estas viviendas pertenecen a los siguientes barrios: Santa Ana y San Cayetano.</p> | <p><b>Etapas del ciclo de proyecto: Construcción</b></p> <p>Responsables: Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones (MOPC), Municipalidad de Asunción y Ministerio de Urbanismo, Vivienda y Hábitat (MUVH).</p>   |
| <p><b>Regularización del terreno y drenaje pluvial:</b></p> <p>Tanto en la nueva superficie urbana generada en el bañado, como en las zonas no afectadas por el desbordamiento del río Paraguay, en las que se localizan viviendas que no es necesario reubicar.</p>  | <p><b>Etapas del ciclo de proyecto: Construcción y operación</b></p> <p>Responsables: Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones (MOPC) y Municipalidad de Asunción.</p>   |
| <p><b>Actividades de la construcción e instalación de Servicios Públicos:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Construcción de la red de agua potable, red cloacal.</li> <li>- Instalación de la red eléctrica.</li> <li>- Conexión de las viviendas a las diferentes redes públicas.</li> <li>- Titulación de propiedades.</li> </ul>  | <p><b>Etapas del ciclo de proyecto: Construcción y operación</b></p> <p>Responsables: Ministerio de Urbanismo, Vivienda y Hábitat (MUVH), Empresa de Servicios Sanitarios del Paraguay (ESSAP), Servicio Nacional de Catastro Administración Nacional de Electricidad (ANDE) y Municipalidad de Asunción.</p> |
| <p><b>Encauzamiento y adecuación de los arroyos que vierten al Bañado Sur:</b></p> <p>Limpieza, desbroce, dragado, aumento de la capacidad hidráulica y construcción de defensas a lo largo de 360 ml de tramos de cauce.</p>   | <p><b>Etapas del ciclo de proyecto: Diseño, Construcción y operación</b></p> <p>Responsables: Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones (MOPC) y Municipalidad de Asunción.</p>   |
| <p><b>Obra de encauzamiento del tramo final del río Lambaré hasta la confluencia con el río Paraguay:</b></p> <p>Esta defensa se sitúa en el borde del río, paralela a la calle Maestras Paraguayas, con una longitud aproximada de 590 m.</p>  | <p><b>Etapas del ciclo de proyecto: Diseño, Construcción y operación</b></p> <p>Responsables: Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones (MOPC) y Municipalidad de Asunción.</p>   |

| MEDIDAS A LARGO PLAZO  |   |
|--|---|
| <p><b>Relleno procedente del cauce del río Paraguay:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Actividades de dragado y refulado procedente del río Paraguay de 4.91 millones de m<sup>3</sup>.</li> <li>- Relleno de una superficie de 465.60 ha hasta la cota +64 m.</li> </ul>   | <p><b>Etapas del ciclo de proyecto:</b><br/><b>Construcción</b></p> <p>Responsables: Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones (MOPC).</p>  |
| <p><b>Construcción de nueva vivienda social derivada de la reubicación:</b></p> <p>Reubicación de 5,332 viviendas sobre la superficie rellenada, incluyendo todas viviendas afectadas por el desbordamiento del río asentadas sobre los futuros rellenos. Estas viviendas pertenecen a los siguientes barrios: Santa Ana, San Cayetano y Jukyti.</p> | <p><b>Etapas del ciclo de proyecto:</b><br/><b>Construcción</b></p> <p>Responsables: Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones (MOPC), Municipalidad de Asunción y Ministerio de Urbanismo, Vivienda y Hábitat (MUVH).</p>  |
| <p><b>Regularización del terreno y drenaje pluvial:</b></p> <p>Tanto en la nueva superficie urbana generada en el bañado, como en las zonas no afectadas por el desbordamiento del río Paraguay, en las que se localizan viviendas que no es necesario reubicar.</p>   | <p><b>Etapas del ciclo de proyecto:</b><br/><b>Construcción y operación</b></p> <p>Responsables: Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones (MOPC) y Municipalidad de Asunción.</p>  |
| <p><b>Actividades de la construcción e instalación de Servicios Públicos:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Construcción de la red de agua potable, red cloacal.</li> <li>- Instalación de la red eléctrica.</li> <li>- Conexión de las viviendas a las diferentes redes públicas.</li> <li>- Titulación de propiedades.</li> </ul>   | <p><b>Etapas del ciclo de proyecto:</b><br/><b>Construcción y operación</b></p> <p>Responsables: Ministerio de Urbanismo, Vivienda y Hábitat (MUVH), Empresa de Servicios Sanitarios del Paraguay (ESSAP), Servicio Nacional de Catastro, Administración Nacional de Electricidad (ANDE) y Municipalidad de Asunción.</p> |
| <p><b>Encauzamiento y adecuación de los arroyos que vierten al Bañado Sur:</b></p> <p>Limpieza, desbroce, dragado, aumento de la capacidad hidráulica y construcción de defensas a lo largo de 4,700 ml de tramos de cauce.</p>  | <p><b>Etapas del ciclo de proyecto: Diseño, Construcción y operación</b></p> <p>Responsables: Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones (MOPC) y Municipalidad de Asunción.</p>   |

Nota: Lo valores del proyecto de la franja costera tanto del volumen de refulado como de la superficie de relleno se han estimado a partir de la información geométrica disponible de la superficie rellenada y de la superficie del terreno actual (MDT generado para el presente proyecto) y deben tomarse como un valor orientativo. En cuanto a los valores de las viviendas a reubicar en cada fase se han estimado, ya que no se dispone de la distribución final de las viviendas del proyecto del MOPC.

## 7.2 Medidas no estructurales

Las medidas no estructurales propuestas son comunes a los dos bañados y complementarias a las medidas estructurales.

Estas medidas han de implementarse entre el medio y el largo plazo.

### A. Salvaguardas ambientales y sociales en los escenarios propuestos

#### Cantidad y calidad de las masas de agua interiores a los bañados

El riesgo principal es el deterioro de la calidad de las masas de agua en el interior de los bañados, expuestas a una mayor presión urbanística y de vertidos, así como a menores tasas de renovación si se modifica la geometría de las mismas y sus conexiones con el río principal.

Los proyectos de detalle deben incluir estudios de calidad de las masas de agua interiores. Dichos estudios deben considerar al menos los siguientes aspectos:

- Tasas de renovación de las masas de agua interiores con la nueva geometría en planta y perfil.
- Tasas de acumulación de sedimentos potencialmente contaminados en zonas lénticas.
- Riesgos asociados a problemas de calidad de agua: contaminación fecal persistente, eutrofización, riesgos epidemiológicos por mosquitos, fondos anóxicos, etc.
- Acumulación de residuos sólidos en zonas localizadas.
- Desarrollo de una gestión integral de cuencas y la promoción de la economía circular de las cuencas aportantes a los bañados.

Este riesgo debe ser mitigado mediante las siguientes acciones:

- Sistemas de saneamiento de las zonas de nueva ocupación.
- Minimización de los vertidos a los cauces que vierten a los bañados, ya fuera del su propio ámbito. Esto requiere de un plan municipal de saneamiento.
- Monitorización y control de la cantidad y calidad de las masas de agua en los bañados, lo que requiere de una red de medida y de un presupuesto para campañas de control.

#### Salvaguardas sociales

Resulta clave evitar que se produzcan nuevos asentamientos informales en las zonas que son reubicadas y se destinan a funciones de conservación ambiental, laminación de avenidas y otros servicios ecosistémicos. Este objetivo requiere de un conjunto de medidas concertadas y complementarias de diversa naturaleza:

- Vigilancia continua de las zonas susceptibles de ocupación por responsables de la administración hidráulica o ambiental designada.
- Un marco normativo que establezca de manera clara las reglas, los procedimientos y las sanciones.
- Un entorno político y jurídico que garantice la correcta aplicación de la normativa y, sobre todo, del régimen sancionador.



### Aspectos ambientales

Las medidas estructurales propuestas, especialmente en del Bañado Sur, suponen una alteración de la geometría de las lagunas dentro del espacio del bañado. Más allá del efecto en la calidad del agua y en los procesos de acumulación de sedimentos, los cambios en la geometría alterarán las condiciones en que operan los ecosistemas asociados, y por lo tanto las especies que habitan. Los cambios inducidos en los ecosistemas lénticos de los bañados tienen al menos dos dimensiones: calidad del espacio urbano asociado (aspecto visual, olores, presencia de herpetofauna cerca de las zonas de viviendas, presencia de insectos, etc.) y servicios ecosistémicos asociados (pesca, autodepuración de agua, provisión de bienes culturales y estéticos).

**Se recomienda analizar los efectos que los cambios geométricos tendrían en los ecosistemas, y en los servicios que proveen.**

Implantación del Plan de Manejo de la Reserva Ecológica Banco San Miguel y Bahía de Asunción: La Reserva Ecológica del Banco San Miguel y la Bahía de Asunción (REBSMyBA), fue establecida por Ley 2.715/05, y fue el resultado de varios esfuerzos orientados a la implementación de un área protegida dentro de la Bahía de Asunción y el Río Paraguay, entendida como el área que ocupa el Banco San Miguel, la zona de las lagunas temporales y permanentes y la Bahía en sí (espejo de agua y zonas de inundación periódica).

El Plan de Manejo existente del Banco San Miguel y la Bahía de Asunción se ha diseñado con la participación de técnicos de la Municipalidad de Asunción, el Ministerio del Ambiente y Desarrollo Sostenible, Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones, sociedad civil, y organizaciones de base, en diferentes momentos históricos, y con procesos que se han instalado a partir de las necesidades de población de la ciudad de Asunción y que constituyen una geografía definida por infraestructura de servicios, que debe ser manejada en un contexto urbano, pero desde un enfoque ecosistémico.

El objetivo general del Plan de Manejo es la GOBERNANZA DE LA RESERVA BIOLÓGICA BANCO SAN MIGUEL Y BAHÍA DE ASUNCIÓN, así como la creación de un Comité de Gestión Interinstitucional, y que este Plan contribuya a que los ecosistemas mantengan sus funciones ambientales y contribuya a una mejor calidad de vida de la población de Asunción.

La implantación de plan servirá, por lo tanto, para la protección de la zona de la Reserva Ecológica Banco San Miguel y Bahía de Asunción, la zonificación del territorio y la puesta en marcha de prácticas para la restauración y conservación del área, en el marco del cumplimiento de la Ley N° 352/94 “De Áreas Silvestres Protegidas” que tiene como objetivo fijar normas generales para la regulación y manejo del Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SINASIP).

**El documento insta igualmente a la recomposición, fortalecimiento y conservación del área silvestre protegida conforme a la competencia de cada institución, dando cumplimiento a las leyes nacionales de carácter ambiental vigentes.**

Alteraciones en el río Paraguay: Los escenarios basados en refulados se basan en extraer y trasladar un gran volumen de material del fondo del río Paraguay, entre 5 y 10 hm<sup>3</sup> según el caso. Esto constituye una perturbación morfológica significativa, incluso para un sistema tan grande como este río, cuyo impacto en forma de procesos de erosión y acumulación en otras zonas del cauce y de sus riberas, incluso lejanas, puede ser muy importante. La respuesta de un sistema fluvial de estas características a una perturbación de tal magnitud puede conllevar cambios severos en el territorio, con escalas de decenas de km y durante décadas. Por tanto, se recomienda llevar a cabo un estudio del impacto de las obras de dragado en la morfodinámica, la flora y la fauna del río Paraguay, llegando a cuantificar el efecto de dichos impactos en las actividades económicas que dependen de ellos (pesca, navegación fluvial y erosión de asentamientos urbanos de ribera, principalmente).

Aspectos normativos y de ordenación urbana: Los escenarios con refulado se basan en crear un espacio urbano completamente nuevo, sobre un terreno virgen constituido por el material vertido. La planificación del nuevo espacio urbano puede plantearse desde cero con criterios de optimización y normas de buena práctica; el proceso de ocupación del nuevo territorio es controlable y no tiene a priori riesgos significativos.

## B. Observatorio de los bañados de Asunción

Se considera que los bañados de Asunción tienen una singularidad y una problemática que requieren de ciertos instrumentos o instituciones específicas. Se propone la creación de un ente público, con participación municipal y estatal (en proporción a acordar), con la única misión de promover y canalizar la transformación de los bañados de Asunción. Con este fin, el Observatorio de los Bañados tendría al menos las siguientes funciones:

- Mantener, validar y actualizar periódicamente una base de datos fiable de los bañados, incluyendo capas de información hidroclimáticas, socioeconómicas, catastrales, ambientales y de desastres. Esta base de datos, junto con los documentos disponibles (proyectos, informes, libros, etc.) relativos a los bañados, sería de fácil acceso y consulta para cualquier ciudadano u organización.
- Emitir informes anuales sobre los avances / cambios/ retrocesos experimentados por los bañados en términos demográficos, sociales, económicos, de catástrofes, etc.
- Servir de canal de comunicación entre los habitantes del bañado, representados por sectores geográficos o por gremios, y las autoridades municipales o nacionales. De esta forma, se promovería la participación pública en los procesos de decisión, al tiempo que se fomenta una cierta organización de la sociedad, lo que incrementa las opciones de un diálogo social constructivo.

- Llevar a cabo ciertos planes y programas con una clara componente social y de interacción con el territorio dentro de los bañados. En este sentido, el Observatorio no es un ente diseñado para ser órgano ejecutor de obras civiles, pero sí puede participar, por ejemplo, en proyectos para canalizar fondos nacionales e internacionales de cooperación al desarrollo; también servir como interlocutor oficial de agencias para el desarrollo y ONG internacionales.
- Servir como órgano de asesoramiento a la población de los bañados sobre aspectos de reubicación temporal, temas urbanísticos, aspectos jurídicos, etc.
- Colaborar con las autoridades públicas y organismos de financiación internacionales en el desarrollo e implementación de proyectos transformadores (como el actual proyecto de la costanera sur y relleno de Tacumbú).
- Defender los intereses de los habitantes de los bañados, siempre que se consideren legítimos, frente a las autoridades locales y nacionales, así como frente a grupos de interés privados.

### C. Sistema de monitorización y control

Esta actuación consiste en la instalación de nuevos equipos de medida de variables hidrometeorológicas en los dos bañados. En concreto, se propone la instalación y mantenimiento de los siguientes equipos: una estación meteorológica, incluyendo al menos pluviómetro, barómetro, higrómetro y termómetro en cada bañado para caracterizar el clima a escala local; una estación de aforo (caudal) en un arroyo urbano representativo; un sensor de nivel en las lagunas interiores de ambos bañados; y un sistema de control periódico de los parámetros básicos de calidad de agua en el río principal y en las masas de agua interiores de los bañados.

Estos instrumentos, que podrían ser mantenidos por el Observatorio de los Bañados, servirían para monitorizar el estado físico-químico de las masas de agua, así como para proporcionar información del clima y procesos hidrológicos a escala local, lo que permitirá un mejor diseño de todas las actuaciones de ingeniería, desde obras de protección y drenaje, hasta los propios sistemas de alerta temprana (ver epígrafe siguiente).



# Referencias

- Arrow, K., Cropper, M., Gollier, C., Groom, B., Heal, G., Newell, R., Nordhaus, W., Pindyck, R., Pizer, W., Portney, P., Sterner, T., Tol, R. S. J., & Weitzman, M. (2013). Determining Benefits and Costs for Future Generations. *Science*, 341(6144).
- ASIAN DEVELOPMENT BANK. (2013). *Cost-Benefit Analysis for Development: A Practical Guide*.
- Barandiarán, M., Esquivel, M., Lacambra, S., Suárez, G., & Zuloaga, D. (2019). Metodología de Evaluación del Riesgo de Desastres y Cambio Climático para proyectos del BID. Banco Interamericano de Desarrollo.
- BID. (2021). Guías para el Marco de Política Ambiental y Socia. BID. <https://www.iadb.org/es/mpas/guias>
- Causarano, M. (2012). Un Puente Imaginario entre 1800 y 2011. In *Encuentro con la Ciudad Escondida. Expedición a la Asunción Colonial*.
- Diez-Sierra, J., & del Jesus, M. (2019). Subdaily rainfall estimation through daily rainfall downscaling using random forests in Spain. *Water (Switzerland)*, 11(1). <https://doi.org/10.3390/w11010125>
- Grassi, B. (2020). Estado del Clima. Paraguay 2019. Cambio Climático, Evidencias Científicas e Impactos.
- Maschinen, B., Investition, A., Beschaffungen, G., Ersatzbeschaffungen, B., & Mittelherkunft, S. (2016). Análisis Diagnóstico Transfronterizo (ADT) y programa de acciones estratégicas (PAE).
- Organization (WMO), W. M., Management, (ICAM) Integrated Coastal Area, (UNESCO) United Nations Educational, S. and C. O., Commission, (IOC) Intergovernmental Oceanographic, & World Meteorological Organization (WMO). (2009). *IOC Manuals and Guides*, 50. Hazard awareness and risk mitigation in ICAM: Integrated Coastal Area Management. UNESCO. [http://ioc-unesco.org/index.php?option=com\\_oe&task=viewDocumentRecord&docID=3947](http://ioc-unesco.org/index.php?option=com_oe&task=viewDocumentRecord&docID=3947)
- Watanabe, M., Suzuki, T., O'ishi, R., Komuro, Y., Watanabe, S., Emori, S., Takemura, T., Chikira, M., Ogura, T., Sekiguchi, M., Takata, K., Yamazaki, D., Yokohata, T., Nozawa, T., Hasumi, H., Tatebe, H., & Kimoto, M. (2010). Improved Climate Simulation by MIROC5: Mean States, Variability, and Climate Sensitivity. *Journal of Climate*, 23(23), 6312–6335. <https://doi.org/10.1175/2010JCLI3679.1>

Barrio Tacumbú 2022. Fotografía: Leonardo Mendez.







## Anexo A

### Análisis de Costos y Beneficios en el Bañado Sur

A continuación, se revisan los costos y beneficios identificados primero para el sistema de cierre y bombeo en el Bañado Sur, Solución 1 y Solución 2, y luego la solución 3 que implica dejar la costanera abierta con un refulado.



# A.1 Costos y beneficios preliminares de Solución 1 Bañado Sur

La Solución 1 – ver Figura A1–define un sistema de cierre utilizando la Costanera Sur, compuertas y tornillos de bombeo para subir y depositar el agua de los arroyos en el río cuando sube la cota de inundación, acompañado de una regularización de los terrenos, sin intervenir, de manera sustancial, la ocupación actual de los habitantes.

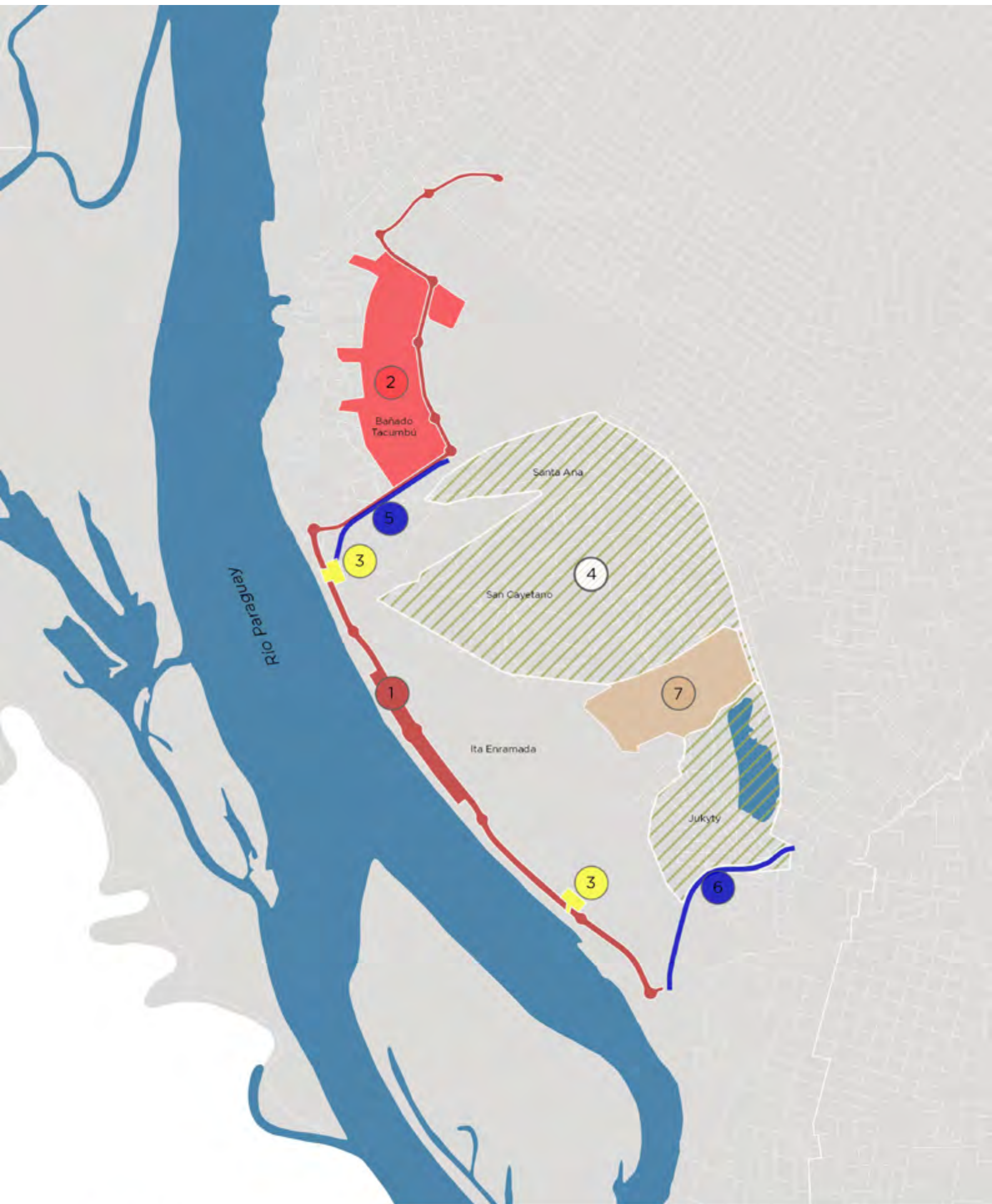
Las siguientes tablas son un resumen del análisis costo-beneficio de esta solución, en el que se determina que la inversión llega a equilibrio económico en 14 años, información a partir de la cual se definen los costos y beneficios relacionados con el mercado del suelo que no fueron contemplados en análisis anteriores.

**Tabla A1.** Valoración de las inversiones asociadas a la solución basada en bombeos en el Bañado Sur.

| INVERSIONES   |   | INV. CAPITAL | COSTE EXPLOT. | DURAC. OBRAS | VIDA ÚTIL |
|---------------|---|--------------|---------------|--------------|-----------|
| ID            | DESCRIPCIÓN   | (MUS\$)      | (MUS\$/AÑO)   | (AÑOS)       | (AÑOS)    |
| 1             | Construcción de nuevas viviendas sociales derivadas de la reubicación                                       | 2.42         |               | 4            | 50        |
| 2             | Compensación por daños personales derivados de la reubicación   | 0.61         |               | 4            | 50        |
| 3             | Estación de bombeo con 6 m <sup>3</sup> /s de capacidad (4+2 tornillos de 1 m <sup>3</sup> /s) + compuertas | 16           | 0.16          | 4            | 25        |
| 4             | Obra de desvío y encauzamiento del tramo final del río Lambaré hasta la confluencia con el río Paraguay     | 3.89         |               | 4            | 50        |
| 5             | Encauzamiento y adecuación de los arroyos que vierten al bañado sur, hasta llegar a la zona no segura       | 2.58         |               | 4            | 50        |
| 6             | Regularización del terreno original con excavación y relleno en el entorno del bañado                       | 1            |               | 4            | 50        |
| 7             | Sistema de monitorización y control   | 0.5          | 0.1           | 4            | 50        |
| <b>TOTAL:</b> |   | <b>27</b>    | <b>0.26</b>   |              |           |

Fuente: Elaboración propia.

Figura A1. Mapa detallado de las intervenciones propuestas en la Solución 1 del Bañado Sur.



**Convenciones**

1 Costanera Sur

2 Refulado fase 1

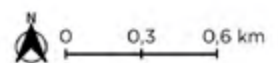
3 Bombas de tronillo y compuertas

4 Regularización terreno

5 Nuevo Canal

6 Desviación Caño Lambaré

7 Relleno Sanitario



## A.1 Costos y beneficios preliminares de Solución 1 Bañado Sur

**Tabla A2.** Valoración de las inversiones asociadas a la solución basada en bombeos en el Bañado Sur.

| INVERSIONES   |   | INV. CAPITAL | COSTE EXPLOT. | DURAC. OBRAS | VIDA ÚTIL |
|---------------|---|--------------|---------------|--------------|-----------|
| ID            | DESCRIPCIÓN   | (MUS\$)      | (MUS\$/AÑO)   | (AÑOS)       | (AÑOS)    |
| 1             | Construcción de nuevas viviendas sociales derivadas de la reubicación                                       | 2.42         |               | 4            | 50        |
| 2             | Compensación por daños personales derivados de la reubicación   | 0.61         |               | 4            | 50        |
| 3             | Estación de bombeo con 6 m <sup>3</sup> /s de capacidad (4+2 tornillos de 1 m <sup>3</sup> /s) + compuertas | 16           | 0.16          | 4            | 25        |
| 4             | Obra de desvío y encauzamiento del tramo final del río Lambaré hasta la confluencia con el río Paraguay     | 3.89         |               | 4            | 50        |
| 5             | Encauzamiento y adecuación de los arroyos que vierten al bañado sur, hasta llegar a la zona no segura       | 2.58         |               | 4            | 50        |
| 6             | Regularización del terreno original con excavación y relleno en el entorno del bañado                       | 1            |               | 4            | 50        |
| 7             | Sistema de monitorización y control   | 0.5          | 0.1           | 4            | 50        |
| <b>TOTAL:</b> |   | <b>27</b>    | <b>0.26</b>   |              |           |

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla A3.** Beneficios de la Solución 1 para el Bañado Sur.

| BENEFICIOS                            |      |           |
|---------------------------------------|------|-----------|
| COSTES DE REPARACIÓN DE DAÑOS.        |      | UNIDAD    |
| Daños medios actuales (sin obras)     | 3.66 | MUS\$/año |
| Daños medios futuros sin obras (2050) | 3.78 | MUS\$/año |
| Daños medios futuros con obras (2050) | 0    | MUS\$/año |
| Ahorro medio en daños actual          | 3.66 | MUS\$/año |
| Ahorro medio en daños futuro          | 3.78 | MUS\$/año |

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla A4.** Parámetros de rentabilidad para una tasa de descuento del 6%.

|                                       |        |
|---------------------------------------|--------|
| Total inversiones descontados (MUS\$) | 30.2   |
| Total beneficios descontados (MUS\$)  | 53.4   |
| VAN (MUS\$)                           | 23.3   |
| Tasa interna de retorno (TIR)         | 12.55% |
| Retorno sobre la inversión (BEN/INV)  | 1.77   |
| Periodo de equilibrio (años)          | 14     |

Fuente: Elaboración propia.

La Solución 1 se diferencia de las demás soluciones porque requiere del costo de encauzamiento y adecuación de los arroyos que vierten al Bañado Sur hasta llegar a la zona no segura.

Así mismo se necesita del costo de regularización del terreno original con excavación y relleno en el entorno del Bañado.



## A.2 Costos y beneficios preliminares de Solución 2 Bañado Sur

La segunda solución – ver Figura A2 – consiste en refulados interiores (costado oriental de la costanera) para reubicar 6,680 viviendas adicionales a las 2,705 iniciales proyectadas en la fase 1. Solución que implica un alto costo económico y de gestión para reubicar a los habitantes, ejecutar los refulados, el urbanismo y la construcción de las viviendas. La siguiente ilustración muestra esta solución.

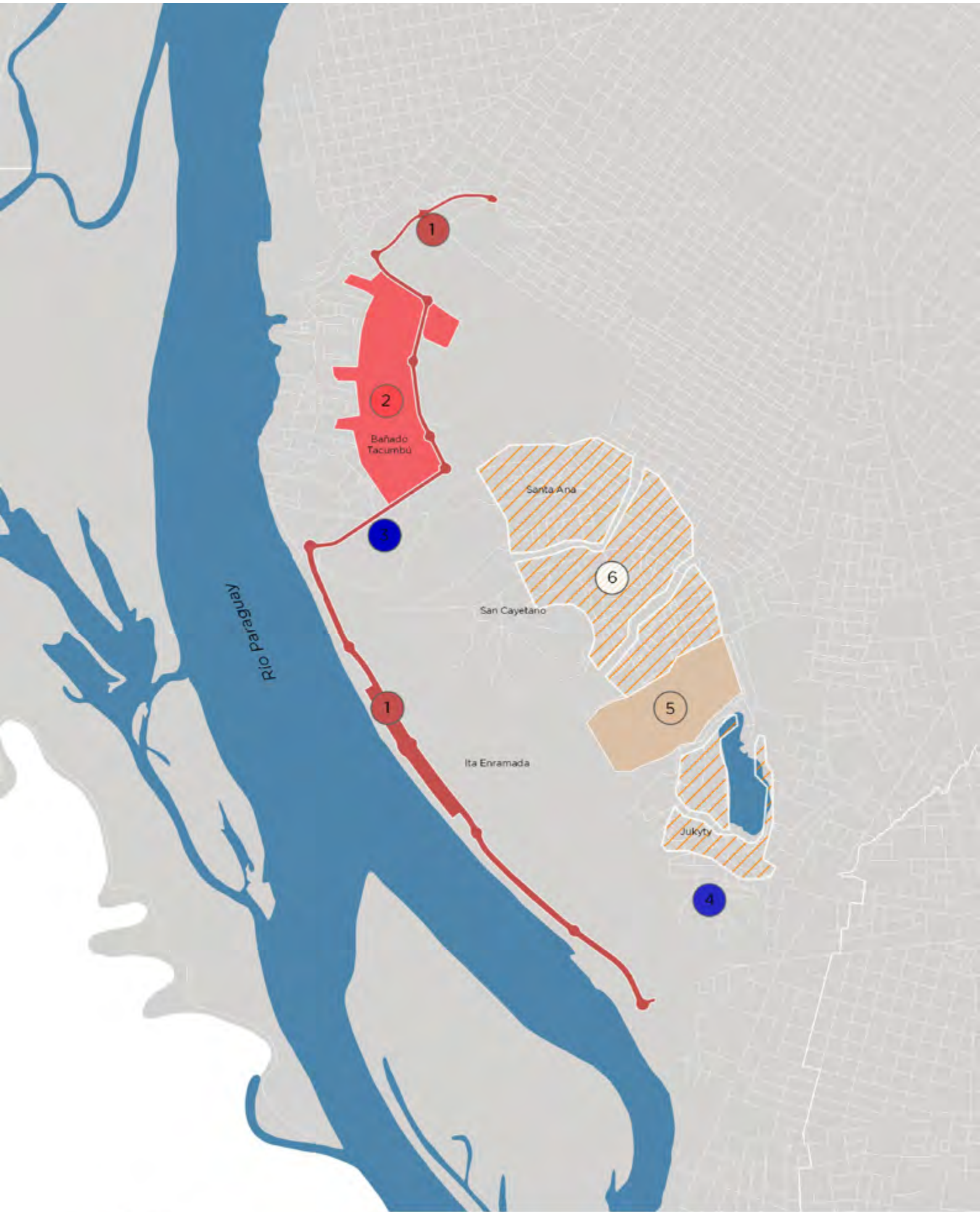
Las siguientes tablas en las que determina que la inversión en 50 años no llega a equilibrio económico, condición que tiene como punto de partida un costo por efecto de préstamo a fondo perdido. En este caso es relevante identificar costos y beneficios adicionales a los presentados para mejorar la información disponible en el momento de tomar decisiones respecto de las soluciones propuestas.

**Tabla A5.** Valoración de las inversiones asociadas a la solución basada en rellenos en el Bañado Sur.

| INVERSIONES   |   | INV. CAPITAL  | COSTE EXPLOT. | DURAC. OBRAS | VIDA ÚTIL |
|---------------|---|---------------|---------------|--------------|-----------|
| ID            | DESCRIPCIÓN   | (MUS\$)       | (MUS\$/AÑO)   | (AÑOS)       | (AÑOS)    |
| 1             | Relleno procedente del cauce del río Paraguay   | 24.55         | -             | 4            | 50        |
| 2             | Construcción de nuevas viviendas sociales derivadas de la reubicación                                 | 133.6         | -             | 4            | 50        |
| 3             | Compensación por daños personales derivados de la reubicación   | 33.4          | -             | 4            | 50        |
| 4             | Encauzamiento y adecuación de los arroyos que vierten al bañado sur, hasta llegar a la zona no segura | 2.35          | -             | 4            | 50        |
| 5             | Obra de encauzamiento del tramo final del río Lambaré hasta la confluencia con el río Paraguay        | 0.59          | -             | 4            | 50        |
| <b>TOTAL:</b> |   | <b>194.49</b> | <b>0</b>      |              |           |

Fuente: Elaboración propia.

Figura A2. Mapa detallado de las intervenciones propuestas en la Solución 2 del Bañado Sur.



**Convenciones**

- ① Costanera Sur
- ② Refulado fase 1
- ③ Nuevo Canal
- ④ Desviación Caño Lambaré

- ⑤ Relleno Sanitario
- ⑥ Refulado Interior

**Tabla A6.** Beneficios de la Solución 1 para el Bañado Sur.

| BENEFICIOS                            |      |           |
|---------------------------------------|------|-----------|
| COSTES DE REPARACIÓN DE DAÑOS.        |      |           |
| Daños medios actuales (sin obras)     | 3.66 | MUS\$/año |
| Daños medios futuros sin obras (2050) | 3.78 | MUS\$/año |
| Daños medios futuros con obras (2050) | 0    | MUS\$/año |
| Ahorro medio en daños actual          | 3.66 | MUS\$/año |
| Ahorro medio en daños futuro          | 3.78 | MUS\$/año |

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla A7.** Parámetros de rentabilidad para una tasa de descuento del 6%.

|                                       |       |
|---------------------------------------|-------|
| Total inversiones descontadas (MUS\$) | 178.8 |
| Total beneficios descontados (MUS\$)  | 101.3 |
| VAN (MUS\$)                           | -77.5 |
| Tasa interna de retorno (TIR)         | 0.94% |
| Retorno sobre la inversión (BEN/INV)  | 0.57  |
| Periodo de equilibrio (años)          | -     |

Fuente: Elaboración propia.



## A.3 Identificación de consideraciones adicionales de costo- beneficio – Solución 1 y Solución 2

### Solución 1

En la Solución 1 se señala que esta tiene una vida útil de 50 años, salvo los equipos electromecánicos y las compuertas de las estaciones de bombeo, que tienen una vida útil de 25 años. En este sentido, se sugiere incluir el costo del reemplazo de esas compuertas, así como de los equipos, de tal manera que las dos soluciones puedan ser comparables porque aseguran una duración por el mismo periodo de tiempo.

En esta solución el riesgo de eventos extremos no es protegido, sino cambia la condición de la amenaza a la población asentada al costado oriental de la barrera. Si por efecto del deterioro de los materiales, o incluso por intervención antrópica, la barrera falla, la inundación puede ser súbita y por ende más peligrosa, pero menos recurrente que un escenario sin obras, así que se sugiere incluir costos de obras y estrategias para enfrentar la amenaza, como sistema de respaldo en caso de la ocurrencia de un suceso desastroso. Los costos están asociados a la cantidad de población que puede ser afectada y las acciones necesarias para atender el suceso.

Por ello es necesario incluir la construcción y/o adecuación de albergues y pago de arriendos temporales, para los residentes de las 6.680 viviendas del interior del Bañado Sur. En una distribución de 40% de albergues y 60% en arriendos, se obtiene que a 2,672 viviendas se les debe garantizar el espacio mínimo en albergues y a 4,008 viviendas se les debe garantizar arriendo temporal.

Contando con mínimo 20 m<sup>2</sup> de albergue por vivienda, se requerirían 53,440 m<sup>2</sup> de área construida, a razón de USD 361.69 por metro cuadrado, la construcción de estos albergues sumaría alrededor de USD 19,328,513. Esto sin contar el suelo. Al respecto se debe tener en cuenta que los albergues pueden ser equipamientos deportivos, culturales y educativos que, a un promedio de 2,000 m<sup>2</sup> por equipamiento, se requerirían un total de 27.

En cuanto a los arriendos, a un promedio de USD216 mensuales por vivienda, para 4,008 viviendas, el monto a cubrir sería de USD 865,728 mensuales. Se debe prever el periodo de emergencia que se debe cubrir para determinar el costo total. Esto sería para el cubrimiento total de la población ubicada en el área objeto de regularización del Bañado Sur.

Adicionalmente se requieren actividades de evacuación, divulgación, capacitación y simulacros, cuyo costo estaría asociado a una estrategia dispuesta para una eventualidad en un periodo de 100 años:

- Equipos y personal
- Esquema de mando durante la emergencia
- Restablecimiento de actividades
- Plan de evacuación
- Plan de divulgación y capacitación
- Simulacros

**El costo de la atención en cuanto a personal y bienes requeridos corresponde a USD 2,138,120.**

La decisión de mantener la ocupación actual y de generar una barrera que produce la percepción de seguridad, sumada a la falta de un urbanismo formal, favorece el crecimiento de la ocupación informal. En respuesta a este fenómeno el gobierno tendrá que aumentar los recursos para controlar dicho crecimiento.

El control urbanístico tiene como punto de partida una norma legítima que sea incorporada al comportamiento cotidiano de la comunidad. Desde este principio, el control urbanístico tiene un precio inicial a cargo del estado, destinado a ajustar las normas, socializarlas, disponer de personal en campo para controlar y sancionar, y un equipo para divulgar y capacitar. Con el tiempo, el control de estado pasa gradualmente al control social, sin embargo, el Estado siempre tendrá el deber de controlar y monitorear.

A medida que aumenta el control social, el presupuesto dispuesto para el control urbanístico es menor. El costo del primer año de control está alrededor de USD 5,775,000. Una vez establecida la reglamentación adecuada, el costo de los primeros años de seguimiento y control corresponde a USD 2,138,120. Después del quinto año, el control se reduce a monitoreo y sanción con un costo promedio de USD 346,000 anual<sup>33</sup>.

El desarrollo informal tiene desde su nacimiento precariedades en cuanto a la accesibilidad, el espacio público, infraestructura de servicios públicos y equipamientos, los cuales persistirán al mantenerse el asentamiento, costo que en algún momento debe asumir la administración pública mediante el mejoramiento con inversiones en estos soportes urbanos. El costo se mide por el valor de las obras para mejorar el asentamiento, que puede llegar a ser hasta tres veces mayor que construir nuevamente el barrio (sin incluir costos de refulado) (Metrovivienda, 2003). Las obras requeridas se discriminan de la siguiente manera:

- Mejoramiento de vivienda: el mejoramiento básico de la vivienda para adecuarlas a estructuras resistentes y espacios adecuados básicos está en el orden de USD 4,854 por vivienda. El inventario de viviendas tipo D que se priorizan para mejoramiento son 4,961. En total se requieren USD 24,080,694.
- Mejoramiento vial: el mejoramiento para 454.591 m<sup>2</sup> de vías en el área ocupada interior, objeto de regularización, a un orden de USD 131,5 por m<sup>2</sup>, corresponde a USD 59.776.443,5.
- Mejoramiento de zonas verdes: el mejoramiento para 533.387 m<sup>2</sup> de zonas verdes en el área ocupada interior, objeto de regularización, a un orden de USD 8.4 m<sup>2</sup>, corresponde a USD 2.480.450.8.
- Mejoramiento o construcción de equipamientos: la construcción y el mejoramiento para 242.449 m<sup>2</sup> de equipamientos en el área ocupada interior, objeto de regularización, a un orden de USD 31,87 por m<sup>2</sup>, corresponde a USD 7.726.849,6.

<sup>33</sup> Para hacer los cálculos de los costos del Mejoramiento Integral de estos Barrios, se hizo una estimación de las manzanas, vías y zonas verdes (a partir de la foto de Google Earth), y por otro lado se calcularon los porcentajes de infraestructura pública planteada en la primera fase del Bañado Sur. Estos datos se promediaron y ajustaron, lo que derivó en unos porcentajes de 17,5% en Zonas Verdes y 15% en vías. Así mismo se asumió un 8% en equipamientos (con base en el porcentaje referencia en Colombia). En cuanto a los valores, se consultaron varias revistas paraguayas sobre costos, en las que sin embargo no se encontraron datos precisos de urbanismo. Entonces se usaron datos de costos de urbanismo recientes en Bogotá, asumiendo el valor más bajo de construcción de vías, y los valores de construcción de parques y equipamientos al 70%. Los costos de servicios públicos se tomaron de la revista de costos de Paraguay: [https://issuu.com/costos/docs/edicion\\_292\\_-\\_enero\\_-\\_isuu\\_2020](https://issuu.com/costos/docs/edicion_292_-_enero_-_isuu_2020), teniendo en cuenta que no es una obra nueva, sino suponiendo existencia del 60%.

### A.3 Identificación de consideraciones adicionales de costo- beneficio – Solución 1 y Solución 2

- Construcción de redes de servicios públicos: mejorar y complementar la red local de servicios públicos de alcantarillado, acueducto y luz para cubrir el área interior ocupada equivalente a 300 ha. con un promedio de USD 11,1 por metro cuadrado, corresponde a USD 33.300.000.

De acuerdo con lo anterior el costo total de mejoramiento básico para la zona objeto de regularización corresponde a USD 129.364.438.

#### **Solución 1, beneficios adicionales a ser analizados**

La construcción de la Costanera y el sistema de bombeo no afecta de manera sustancial a la población existente en esta zona del Bañado. Las actividades y relaciones con el área urbana de esta población se producen principalmente por las vías que conducen hacia el oriente del asentamiento. A diferencia de procesos de reasentamiento (como se están planteando en la Solución 2, así sean temporales), en este caso los lazos que producen los intercambios comerciales y culturales existentes no se rompen. La medición de este beneficio se debe descomponer en variables mensurables directas e indirectas. Las mensurables se asocian con los valores de las transacciones económicas y los rendimientos, mientras que las indirectas están asociadas con los intercambios culturales que se miden, con metodologías indirectas, por los efectos producidos posteriormente.

Este proyecto, en el que se invertirán más de USD 200 millones, busca tener un impacto vial y urbanístico, teniendo en cuenta que incluye no sólo la construcción de la Avenida, sino también la intervención de las áreas inundables, la construcción de un parque y la adecuación de 1.000 metros de playa (Agencia de Información Paraguaya, 2017). Lo anterior sin duda generará mayor valor en un área beneficiada (definir y medir) que se localiza en los dos extremos de la costanera. Una actualización de la tasación fiscal, generaría incrementos en la base gravable para el impuesto inmobiliario.

Aunque no existe reglamentación para el cobro de la plusvalía en Paraguay, este constituye un caso importante para generar un piloto, como se menciona en las consideraciones adicionales.

#### **Solución 1, consideraciones adicionales**

Sobre esta propuesta se deben tener en cuenta también las siguientes consideraciones, que si bien no están dadas para ser incluidas en el análisis costo- beneficio, son “oportunidades” que se pierden con la implementación de la Solución 1.

#### **Oportunidad para la recuperación de incrementos en el valor del suelo**

Como se mencionó en los beneficios adicionales, la costanera tendrá impacto en los valores del suelo de las áreas que une. Este incremento derivado de una inversión colectiva, tiene la oportunidad de ser recuperado por el estado en forma de impuesto inmobiliario (actualizando tasaciones fiscales), reglamentado la contribución por mejoras o cualquier otro instrumento de recuperación de plusvalías.

Esta oportunidad de recuperación de incrementos en el valor del suelo, tiene impacto en el apalancamiento del deudor:

- Disminución de las presiones de liquidez: disponibilidad de pago deudor en efectivo para pago de la deuda % (recaudo impuestos contra el monto de la deuda).
- Disminución de la presión del apalancamiento: el monto de los ingresos contra deuda %.



Se podrían implementar dos instrumentos para la captura de valor: El primero es el cobro por mejoras, o valorización, que consiste en una distribución del valor de la obra entre los predios, distintos a la solución del programa, ubicados en las proximidades del proyecto al norte y al sur que se benefician por mejor accesibilidad a través de la costanera. El primer instrumento pretende capturar el valor de la obra en el momento de su ejecución y está condicionado a la cantidad de predios beneficiados al norte y sur de la costanera. El segundo se captura en el largo plazo, cuando las familias beneficiarias del programa decidan enajenar sus propiedades. El segundo instrumento es el tributo por participación de plusvalía que se determina a los predios objeto del programa, cuyo valor se captura en el momento de la enajenación de los predios.

### **Oportunidad para el mercado Inmobiliario y propiedad**

Es necesario aclarar jurídicamente la posibilidad de enajenación de los predios por debajo de la cota 61. La Ordenanza 284 de 2013 cambian la cota de inundación de 62 a 61 y permite la enajenación de los predios por debajo de esta cota una vez se modifique la Ordenanza No 34/96 del “Plan Maestro de la Franja Costera de Asunción”, que plantee un nuevo plan regulador para las zonas de los bañados. En este sentido, esta solución parte del supuesto de que los predios por debajo de la cota 61 no podrán ser enajenados. Así la ocupación del territorio se mantiene, en su gran mayoría, por debajo de la cota 61 m, es decir, la tierra se mantiene sin un valor comercial. Se pierde la oportunidad de aumentar el patrimonio de las familias, posibilidad de acceder al mercado de crédito formal como capital para procesos de acumulación y generar seguridad respecto a los derechos de propiedad.

### **Oportunidad de accesibilidad y conexión con el Área Urbana**

La Costanera funciona como una barrera que protege el asentamiento humano de la crecida del río Paraguay, pero no de conexión de la zona a ser intervenida con el área urbana. Dado que la apuesta de esta solución de mantener los barrios como están, el tejido urbano se mantiene con sus conexiones viales existentes sin mejora en trazado y en cantidad de vías, sin impacto en la mejora de la accesibilidad. El nivel de la vía Costanera estaría elevado por encima de la cota 62 m, y la ocupación de la población por debajo de esta cota, lo cual aumenta la condición de “espacio intersticial” (Ortiz, Goetz, & Gache, 2020) de estos barrios del Bañado Sur.

## Solución 2

Con el refulado propuesto en la Solución 2 la amenaza de inundación se reduce de manera sustancial, pero aparece una nueva condición porque su contención puede fallar, lo que significa una amenaza a la población que ocupa la zona por posibles deslizamientos del suelo, aunque con pocas probabilidades de ocurrencia. El refulado debe estar acompañado de monitoreos y mecanismos para garantizar la estabilidad de los terrenos y su comportamiento frente a las inundaciones, lo que implica costos adicionales en un sistema de respaldo en caso de la ocurrencia de un suceso desastroso. Este costo correspondería aproximadamente con el 5% del monto requerido para atender un suceso desastroso en la Solución 1.

La generación de un nuevo suelo urbano por encima de la cota 61 m<sup>34</sup> implica costos de urbanización correspondientes a la infraestructura de servicios públicos, construcción de vías locales, equipamientos y espacio público. El costo se determina por el valor de las obras en la superficie total de los refulados. Para este análisis se estima un costo de urbanismo de USD 31,52 por m<sup>2</sup> sobre un área de 173,5 ha, para un total de USD 54.537.657,31.

La entrega de las viviendas a las familias reubicadas implica un costo por el registro de los títulos de propiedad. Al respecto se tienen como referencia los costos de titulación en Bogotá, que a noviembre de 2020 correspondían con USD 241,5 por cada título (Caja de la Vivienda Popular, 2020).

Esto significa, que en tanto que en la Solución 2 se plantea reubicar 6.680 viviendas, el costo total de su titulación sería de USD 1.613.249,47, lo que incluye al personal requerido para la asignación y los equipos necesarios durante el periodo de titulación.

El refulado implica una reconfiguración de la forma del territorio que desplaza de manera importante la fauna y la vegetación existente, extinguiéndola, o rompiendo sus relaciones. De manera irreparable, este costo se puede incrementar frente a la presencia de especies endémicas. A partir de métodos de precios hedónicos, se pueden valorar económicamente los servicios ecosistémicos, a partir del bienestar derivado de las características ambientales. La valoración sería el costo por la pérdida de los ecosistemas existentes. Estudios de valoración de servicios ecosistémicos estiman que la regulación hídrica puede estar por el orden de USD 5.445 por Hha anual, y la función de refugio cerca a USD 1.523 por Hha anual (De Groot, Stuij, Finlayson, & Davidson, 2007). Es por esto por supuesto que se debe contemplar que estos cuerpos de agua requieren acciones de recuperación ambiental que tienen un costo.

Las familias reubicadas rompen las relaciones con sus vecinos cambiando las rutinas cotidianas de intercambio económico y social, así sea de manera temporal. La recuperación de estos tejidos consume un tiempo que tiene un costo para las familias, el cual se puede medir descomponiendo variables mensurables directas e indirectas.

### **Solución 2, beneficios adicionales a ser analizados**

El nuevo suelo de los refulados y la inversión en obras de urbanismo genera la oportunidad de diseñar una nueva estructura urbana para articular esta zona con el resto de la ciudad y mejorar la accesibilidad y conexión con el área urbana. Se pueden generar vías urbanas de conexión con el sistema arterial. El valor del beneficio se puede obtener calculando el valor del tiempo productivo de cada habitante beneficiado por la disminución en tiempos para comunicarse con el resto de la ciudad y el valor de los suelos frente a las nuevas vías urbanas que permiten mayor y mejor uso por su nivel de accesibilidad.

Las inversiones que se adelanten en la zona tendrán impacto en el valor de los predios. Por un lado, se puede identificar como en la Solución 1, que la costanera tendrá un impacto en los suelos localizados en los dos extremos de la infraestructura por mejoramiento de las condiciones de accesibilidad. Por otro lado, tanto las obras de refulado que impacta directamente en la disminución de la amenaza por inundación de la población y las obras de mejoramiento del barrio (vías, parques, equipamientos), tendrán impacto en el valor del suelo del área a ser intervenida. Por esta razón, para esta solución se pueden calcular adicionalmente a los beneficios de accesibilidad generados por la costanera, los beneficios para la ciudad de la formalización de estas propiedades, en términos de impuesto inmobiliario y pago de servicios públicos.

El área del refulado de la fase 1 es aproximadamente 56,5 ha. En esta área se proyectan 1.652 predios para 2.705 viviendas, unas viviendas unifamiliares y otras multifamiliares. Es decir que la cantidad de predios equivale al 61% de la cantidad de viviendas. La cantidad de suelo ocupado por estos predios es de 207.180 m<sup>2</sup> o 20,7 hectáreas conformados por lotes de 90m<sup>2</sup>, 140m<sup>2</sup> y 180m<sup>2</sup> que equivalen al 36,6% del área total del refulado. Este dato se puede usar para obtener una primera aproximación al área útil que se genera con el refulado interior. No obstante, se debe considerar que el área vendible se determina con los diseños de detalle del proyecto. Haciendo el análisis desde el área del refulado interior proyectada en la Solución 2, esta es de aproximadamente 173,5 hectáreas. El 36,6% de esta área correspondería con 63,5 ha.

Por otra parte, y teniendo en cuenta que la cantidad de viviendas a reubicar por el programa es de 6.680, esto en proporción correspondería a 4.075 predios, aproximadamente. Utilizando la relación de la primera fase, y promediando el tamaño de los predios en 140 m<sup>2</sup> resultaría un requerimiento de suelo igual a 570.472 m<sup>2</sup> o 57 hectáreas. Lo que evidencia una relación de menor densidad edificatoria en el refulado interior, pero que permite tener dos datos básicos para la cuantificación del área útil que estaría entre 57 y 63,5 ha. Ahora bien, si se iguala la densidad edificatoria con la que se propone en la primera fase, se cuenta con un potencial edificatorio adicional para incluir otros usos complementarios, sin afectar el promedio del tamaño de los predios para vivienda que se han socializado con la comunidad.

Según Ordenanza 33 de 1995, artículo 8, establece que el menor valor municipal básico<sup>35</sup> por m<sup>2</sup> (zona 10, para predios asfaltados) es de 0.045 salarios mínimos mensuales (ó aproximadamente USD 14,31) y según el Decreto 3180 del 2019, el valor fiscal<sup>36</sup> por m<sup>2</sup> para la zona urbana impositiva del impuesto predial aledaña al área de estudio, correspondiente la zona con menor valor para un predio con vías asfaltadas (Servicio Nacional de Catastro, 2020), es de \$ 203.242 guaraníes (USD14,66).

Así el valor fiscal del área útil (entre 57 y 63,5 ha) total estaría entre USD 8.156.900 y USD 9.309.100 como base para el cálculo del impuesto inmobiliario. Si el impuesto inmobiliario corresponde al 1% anual del valor del inmueble, el recaudo anual estaría entre USD 81.567 y USD 93.091<sup>37</sup>.

Se utiliza el valor catastral más bajo, para garantizar la capacidad de pago de familias con ingresos de salario mínimo mensual, que estaría por el orden del 4% del mínimo mensual al año.

<sup>35</sup> El valor promedio entre el precio del mercado y el valor fiscal

<sup>36</sup> Incluye valor de la tierra y de la construcción

<sup>37</sup> Para una familia con un salario mínimo anual de USD \$3.816 (salario mínimo mensual de USD \$318), el pago del impuesto inmobiliario significaría un 0,53% del salario anual.



### A.3 Identificación de consideraciones adicionales de costo- beneficio – Solución 1 y Solución 2

Por otra parte, la construcción del nuevo barrio implica también la oportunidad de formalizar la prestación de servicios públicos. Tomando como referencia la tarifa (residencial subsidiada) de los servicios de la ESSAP (ESSAP, 2020), cada unidad residencial estaría pagando USD 10,37 mensuales por el servicio de acueducto y alcantarillado. Esto significaría un recaudo mensual de USD 69.276,44 y anual de USD 831.317,16.

Por supuesto esto tiene que acompañarse con una estrategia de fortalecimiento económico de las familias, de tal forma que efectivamente puedan llegar a pagar estas obligaciones, sumado por ejemplo a la gradualidad en la implementación de los cobros y la ampliación del subsidio de acueducto y alcantarillado.

Teniendo en cuenta la que estos suelos se podrán enajenar y una vez otorgados los títulos de propiedad a las familias, el patrimonio privado incrementa al igual que la oportunidad de acceder a créditos. La solución ofrece beneficios en términos de dinámica urbana por los incentivos para que las familias progresen, mejoren y mantengan los lugares que ocupan. Los títulos de propiedad en cabeza de los hogares facilitan las garantías para otorgar créditos y la realización de negocios. La tierra adquiere un precio comercial básico que pasa al patrimonio de las familias con menores recursos. Se puede medir a partir de la capacidad de endeudamiento de una familia respaldada por el valor del inmueble.

De acuerdo con datos generales de InfoCasas e información general encontrada en la página web, una vivienda social en barrios como General Díaz, Asunción, Terminal, Hipódromo o San Pablo, en predios con rango entre 120 y 300 m<sup>2</sup> y áreas construidas entre 103 y 200 m<sup>2</sup> se ofrece en un promedio de USD 47.000. Los créditos con garantía hipotecaria sobre aproximadamente el 70% del valor comercial del inmueble, es decir, cada familia podría acceder a créditos de alrededor de USD 32.900. Ahora bien, los valores de Infocasas se basan en las ofertas, pero la venta real generalmente tiene un descuento.

Un cálculo distinto se puede realizar a partir de costos de construcción directos, precio del suelo catastral y costos indirectos para determinar un escenario mínimo frente a los créditos. Según presupuestos de obra, una vivienda económica tiene un costo directo de USD 171.85 por m<sup>2</sup>. Los costos indirectos en este caso rondan el 35% adicional, es decir, USD 27.06 por m<sup>2</sup>, para un total de USD 198,91 por metro cuadrado. Con un índice de construcción igual a 0,6, para un predio de 140 m<sup>2</sup> el valor de la construcción equivale a USD 16.708,44.

El valor catastral de un predio de 140 m<sup>2</sup> en zona 7 de la ordenanza 33/95 (equivalente a los predios generados con la Solución 2) sería de  $140 \times 58,22 = \text{USD } 8.150,8$ .

La suma del valor catastral del predio y el costo de la obra es igual a USD 24.859,24. Sobre este costo mínimo la posibilidad de acceso a un crédito para cada familia será de USD 17.401,46. Con lo que se puede delimitar un rango para posibles créditos entre dos escenarios razonables.

Los refulados y las obras de urbanización permiten reducir y controlar la ocupación de la huella urbana generando cambios en la estructura urbana y estructura de precios (centralidades, compactación, nuevos frentes de agua). En este sentido, esta zona podrá tener el mismo valor de otra zona similar con condiciones de urbanismo y sin riesgo y el beneficio será igual a la diferencia entre el valor inicial (este valor depende del análisis jurídico sobre la posibilidad de enajenación de los predios por debajo de la cota 61) y el valor final (Identificar el valor de un suelo cercano al río, urbanizado con uso de vivienda para hogares de bajos ingresos).

## Solución 3

Es posible también que se explore la posibilidad de definir otro escenario para la implementación del proyecto, incrementando la densidad para construir mayor cantidad de soluciones de vivienda, y/o ampliando el área del refulado para habilitar un suelo vendible para otros productos inmobiliarios, y de esta forma capturar valor y propiciar la mezcla social y la diversidad en el nuevo barrio.

En este orden de ideas, se presenta una variación a las dos alternativas iniciales para buscar, desde un enfoque urbanístico, mejorar el equilibrio económico del proyecto. El punto de partida que se estableció como fijo, por el adelanto de su contratación, es la construcción de la Costanera sur y el refulado de Tacumbú, primera fase, como se muestra en la siguiente Figura A3, que ya están en curso.

A partir de las dos soluciones propuestas, anteriormente, se plantea una tercera alternativa (Solución 3) para incrementar beneficios que por un lado permitan lograr un equilibrio económico, y por otro lado mejoren la calidad de vida de los habitantes.

La primera fase de la alternativa toma como punto de partida la obra de la Costanera, que es común a las dos soluciones, y se complementa con los tornillos de bombeo para elevar los arroyos logrando una protección inicial a los habitantes del bañado, que es parte de la Solución 1.

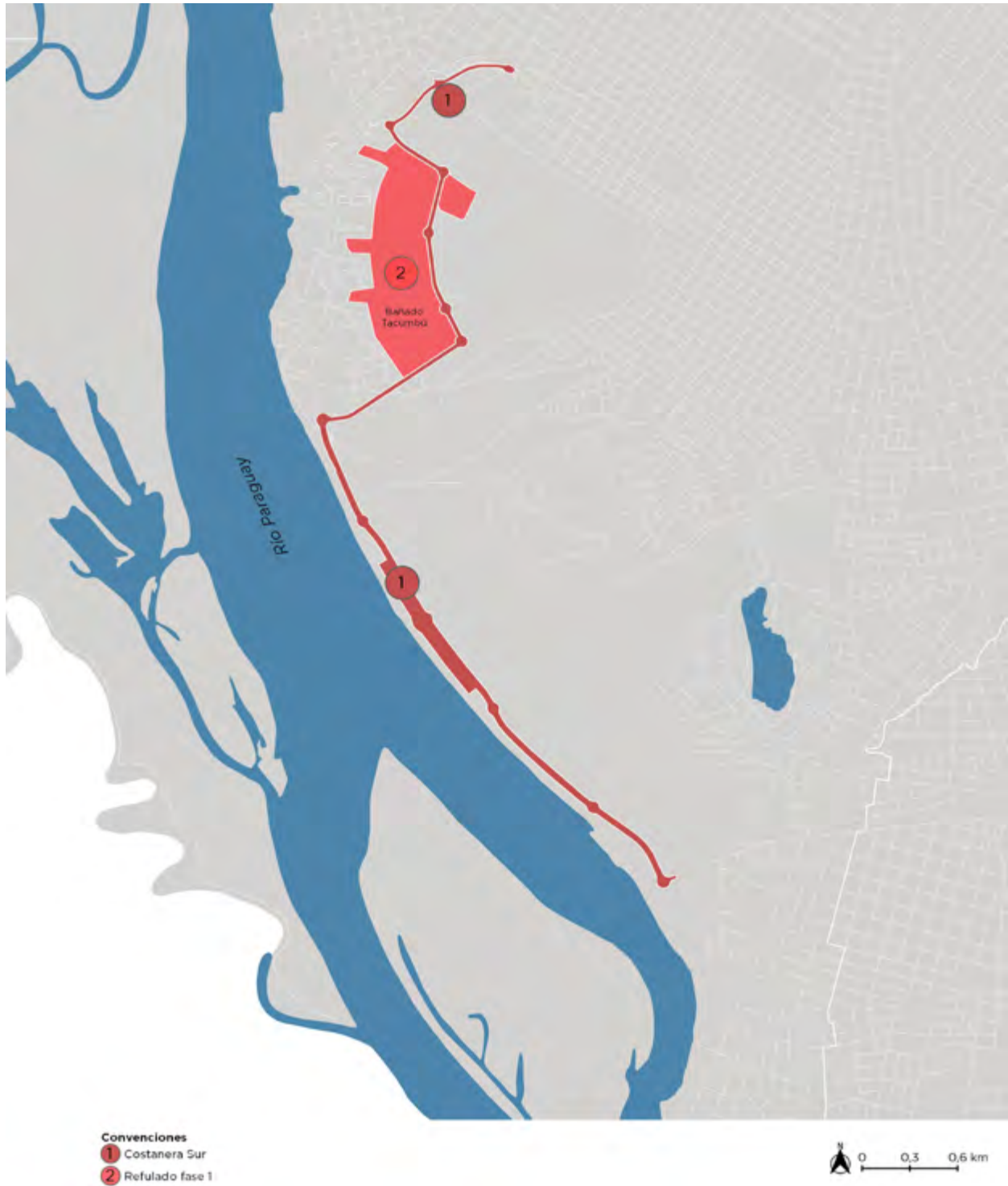
En este punto, se cambia la regularización de terrenos por una obra para realizar refulados en zonas que no están ocupadas y que son aledañas a la costanera para generar un suelo urbanizable, por encima de la cota 62, confinados entre la costanera y una vía local para conformar un anillo vial, y preservando los elementos naturales, como se ve en la siguiente ilustración:

Los nuevos terrenos, que son del Estado, ingresan al mercado inmobiliario destinados a vivienda tipo B, o incluso A, en edificaciones con altura para multifamiliares, y en los primeros pisos equipamientos, servicios y comercios con normas urbanísticas para el desarrollo de una adecuada mezcla de usos. Con esta obra no se está afectando la ocupación de las familias que ya están resguardadas por la Costanera y los tornillos elevadores, y por tal razón no se tiene que esperar la gestión de su traslado.

La localización de los predios en torno a la Costanera Sur aprovecha los valores de accesibilidad que genera la vía y el valor paisajístico de la ribera. La venta de los predios se utiliza para financiar un segundo refulado en un sector que no está ocupado, ubicado al oriente de la nueva vía local.

Este segundo refulado se usará para construir viviendas unifamiliares y multifamiliares, con el objeto de iniciar el proceso de reubicación de las familias que viven en edificaciones precarias tipo D, de acuerdo con los análisis de población y los acuerdos pactados con los habitantes en el marco del programa de rehabilitación del Bañado Sur.

**Figura A3.** Mapa detallado de las intervenciones que ya están siendo implementadas por el gobierno Nacional.

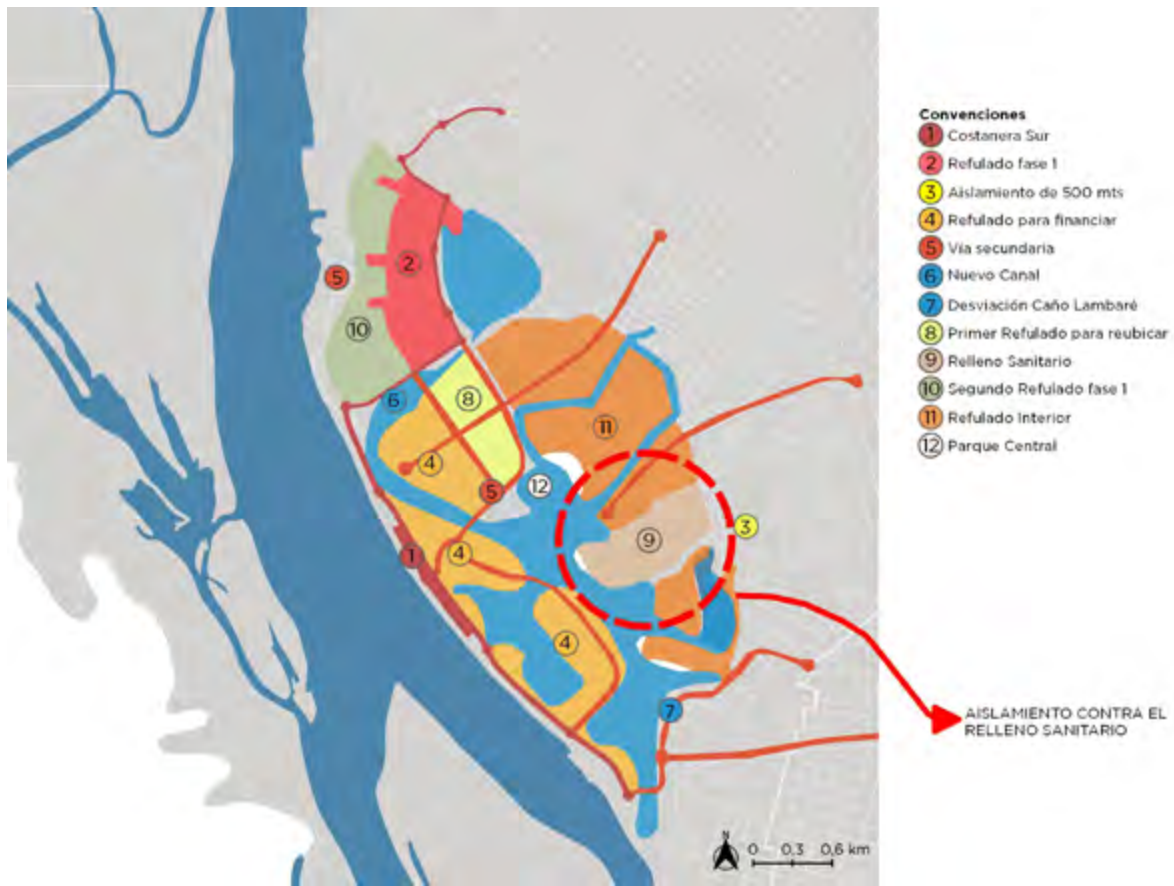


Sería necesario que las familias con viviendas tipo D (edificaciones precarias) seleccionadas para la reubicación en el refulado estén concentradas en predios contiguos que pasarían al dominio del estado para regularizarlos y acondicionarlos para continuar el proceso de reubicación, hasta alcanzar el mejoramiento de la población que hoy se encuentra en condiciones precarias.

Como se observa en la siguiente ilustración que presenta el proyecto general con ajustes que es pertinente considerar, como aislamientos contra el relleno sanitario mediante un parque urbano – ver Figura A4.



Figura A4. Mapa detallado la propuesta de Solución 3.



### Costos Adicionales relacionados a la Solución 3

En este caso, adicional a los costos ya identificados en la Solución 2 propuesta anteriormente, se tendrían otros que se enuncian a continuación.

Un aspecto determinante en esta alternativa es la relación del proyecto con los cuerpos de agua, los cuales requieren de acciones de recuperación ambiental que implican costos adicionales a los que se generan por la construcción de los tornillos, los refulados, la reubicación de las familias, y la construcción de las soluciones de vivienda social.

Para tener una referencia sobre los costos que puede significar esto, se tiene una referencia del Plan de Manejo Ambiental del Humedal Jaboque en Bogotá (Empresa de Acueducto y Alcantarillado EAAB Bogotá, 2013), que incluye programas de educación ambiental, de protección y recuperación ecológica y de ordenamiento ambiental. Teniendo en cuenta que los cuerpos de agua de la zona de estudio en Asunción son más extensos, se estima un sobre costo del 30%, lo que significa que esta recuperación estaría por el orden de los USD 19.000.000 (costos a diciembre de 2019).

Dado que esta propuesta alternativa implica el refulado de un área mayor, a la contemplada en la Solución 2, se estima el costo adicional a partir de un cálculo del volumen del nuevo refulado por el costo:  $1.121.800 \text{ m}^2$  (área del nuevo refulado)  $\times$  3,5 m (altura promedio refulado)  $\times$  US\$ 5 (costo por  $\text{m}^3$ ), para un total de US\$ 19.631.500.

El nuevo suelo para comercializar se podría vender o alquilar, urbanizado o en bruto para que luego sea urbanizado por el desarrollador. De esta inversión dependería el precio final. Para este análisis se estima un costo de urbanismo de USD 31,52 por m<sup>2</sup> sobre un área de 1.121.800 m<sup>2</sup>, para un total USD 35.364.360,68.

Estos costos deberán tener en cuenta que se requiere un administrador de los predios, una oficina inmobiliaria o de ventas para atender procesos de escrituración o arriendos a largo plazo que podría estar alrededor del 15% de las ventas del suelo, es decir USD 27.079.724,75.

### Beneficios adicionales relacionados a la Solución 3

En este caso, adicional a los beneficios ya identificados en la Solución 2 propuesta por IHCantabria, se tendrían otros que se enuncian a continuación:

Esta solución integra los elementos naturales al proyecto urbanístico, el cual se adapta a la presencia de los cuerpos de agua. Esto abre la posibilidad que, a partir de métodos de precios hedónicos, se pueda valorar el impacto de esta oferta recreativa y paisajística en el valor de venta de la vivienda (que terminaría generando un mayor beneficio en el valor de venta del suelo).

Se tiene como referencia valoraciones ambientales de áreas verdes y un humedal, realizadas en la ciudad de Bogotá, en las que se señala, a partir de la aplicación de la metodología de precios hedónicos, que una vivienda que se encuentre en un intervalo entre 10 a 20 minutos caminando a un área verde urbana variará su valor en 10,21% de forma positiva (Zorrilla, 2012), o que los ciudadanos están dispuestos a pagar USD 1.490,29 adicionales por adquirir viviendas en sitios próximos a zonas de recreación y/o parques (incluyendo humedales).

Adicionalmente a los beneficios identificados en la Solución 1 y 2 sobre este tema se identifica en esta solución 3, la posibilidad de incluir zonas al oriente de la zona a intervenir que reciben también el impacto en movilidad por generar acceso a la costanera por los refulados. Para su cuantificación es necesario proponer un derrame del impacto de la obra y el grado de su impacto en el valor del suelo.

El área de los refulados que se comercializan en el mercado inmobiliario puede estar por el orden de 1.121.800 m<sup>2</sup>, es decir 112,18 ha. Aplicando la misma relación de 36.6% del total del refulado para destinarlo a predios de dominio privado, se dispondrá de 410.578,8 m<sup>2</sup> o 41 ha.

Según datos que se analizan en el siguiente subcapítulo y a partir de método comparativo de valor del suelo que se explica más adelante, el valor de venta de este nuevo suelo comercializable puede corresponder con el promedio que se estableció para la ciudad, toda vez que los productos inmobiliarios que se pueden desarrollar serían más rentables y el beneficio de localización serían una ventaja comparativa frente a otras localizaciones en la ciudad. De tal forma que para el análisis se usa el precio equivalente a USD 439,7 por m<sup>2</sup> o 4.397.000 por ha. En total la venta de predios estaría por el orden de USD 180.531.498,36, pero su verdadero beneficio sería la plusvalía derivada del proceso. Es decir, el total de ventas menos los costos (de urbanismo y de administración), USD 118.087.412,93. Es importante mencionar que la información sobre valores de suelo se deriva de búsquedas en internet y que un mejor análisis podría variar los resultados.

Este dato se podría precisar a partir de un análisis que permita establecer el área que puede, tanto normativamente como desde el enfoque de mercado, construirse en el nuevo suelo comercializable, aplicando del método residual de valoración e incorporando análisis en el tiempo de la valorización que produce el desarrollo de los primeros proyectos y mejora de la zona sobre los siguientes suelos a comercializar.

En estas áreas se puede pensar además no sólo habilitar el suelo para vivienda, sino también para usos comerciales y de servicios. Estos usos y la habilitación de este suelo pueden crear varias oportunidades para la ciudad:

- **Desarrollo de una marca ciudad:** volver la vista al río y poner en valor la vista y acceso al río, la relación con los cuerpos de agua (humedales y ríos) y las zonas inundables
- **Cambio en la estructura del valor del suelo:** generar nuevos suelos para usos de centralidad que impactan las dinámicas de crecimiento expansivo de la huella urbana y brinde mejores condiciones a las zonas hoy periféricas.

### Solución 3, consideraciones adicionales

Oportunidad para la recuperación de incrementos en el valor del suelo. Adicionalmente a las soluciones 1 y 2 donde se analiza el impacto que la costanera tendrá impacto en los valores del suelo de las áreas que une, esta 3 solución genera suelos para la comercialización que incrementan la posibilidad de liquidez y apalancamiento de la deuda:

- **Disminución de las presiones de liquidez:** disponibilidad de pago deudor en efectivo para pago de la deuda % (recaudo impuestos contra el monto de la deuda)
- **Disminución de la presión del apalancamiento:** el monto de los ingresos contra deuda %

### Consideraciones para el cálculo del valor del suelo para comercialización en la Solución 3

Para el cálculo del valor del suelo que se podría comercializar como parte de los beneficios adicionales del proyecto, se pueden utilizar dos métodos de valuación:

#### Método residual (estático o dinámico):

El método residual busca establecer el valor comercial del terreno, a partir de estimar el valor total de las ventas de un proyecto de construcción y el valor de las obras requeridas de urbanización, acorde con la reglamentación urbanística y de conformidad con el mercado. Para encontrar el valor total del terreno se debe descontar al monto total de las ventas proyectadas, los costos totales y la utilidad esperada del proyecto constructivo. Se requiere una evaluación de la factibilidad técnica, normativa y comercial del proyecto, es decir la posibilidad real de vender lo proyectado. Este método se desarrolla bajo el principio de mayor y mejor uso, que corresponde a la evaluación de las factibilidades. La característica fundamental de este método residual estático y el dinámico, es que en estático considera tanto sólo valores actuales de venta del producto inmobiliario como los costes, gastos y beneficios a valores actuales. El método dinámico incluye conceptos básicos del análisis de inversiones como la tasa de descuento  $i$ , el valor actual VA de un capital en un determinado momento, el valor actual neto VAN de una inversión y la tasa interna de retorno TIR de la misma.

$$V_{rt} = VVC - (CC + CU)$$

En donde:

$V_{rt}$  = Valor residual del terreno

$VVC$  = Valor de ventas de la Construcción

$CC$  = Costos de Construcción

$CU$  = Costos de urbanización



### A.3 Identificación de consideraciones adicionales de costo- beneficio – Solución 1 y Solución 2

Este método nos lleva a un valor más preciso del suelo, pero para esto se requiere conocer o estimar según norma urbanística y mercado la cantidad de metros cuadrados que pueden ser desarrollados, y su distribución en usos, a esta información se le aplicaría los costos de construcción y el valor de las obras de urbanismo. En el siguiente subcapítulo se presentan algunos datos que pueden servir para aplicar la fórmula, una vez se cuente con una estimación de la venta de m<sup>2</sup> construidos posibles.

#### Método de comparación de mercado:

El método de comparación “(...)”, consiste en estimar el valor del inmueble objeto de evaluación sobre la base de datos de venta de propiedades parecidas.”<sup>38</sup> Este método identifica el valor que está dispuesto a pagar el mercado por inmuebles similares. Para que los datos resultantes del método sean fiables es necesario identificar entornos semejantes, preferentemente en el mismo municipio, en el mismo uso funcional y características análogas, entre las que se encontrarían:

- Ubicación del elemento a valorar
- Oferta de Infraestructuras y servicios
- Superficie/área del predio
- Oferta ambiental y paisajística

En mercados con suficiente cantidad de inmuebles comparables, es muy eficaz la utilización de métodos estadísticos que nos ayuden a estudiar el mercado y obtener el valor. En ellos, es necesario acudir a técnicas de análisis de regresión, seleccionando las variables más significativas en cada caso.

Con base en los datos encontrados para Asunción, el método comparativo permite una estimación general del valor del suelo para comercializar que estaría entre

Con base en estos métodos y con base en los datos que a continuación se presentan, se puede estimar un valor de los terrenos comercializables según el escenario que se plantee, ya sea por el método de comparación del mercado o del método residual.

#### Datos para el cálculo del valor del suelo para comercialización, en la Solución

Sobre los valores comerciales de los predios, se señala en el documento titulado “Aproximación al Estudio del Mercado de Suelo en la Ciudad de Asunción-Análisis Relacional sobre el Precio y Regulación del Suelo Urbano” (Cuevas, 2018) que para el 2017 el valor del suelo urbano (se presume urbanizado) en Asunción correspondía con USD 1.328 por m<sup>2</sup>.

**Tabla A8.** Valor del suelo urbano (m<sup>2</sup>), salario promedio y años de ahorro para la compra de una vivienda.

| ITEM / CIUDAD  | MONTEVIDEO | SANTIAGO DE CHILE | ASUNCIÓN | RÍO DE JANEIRO | BOGOTÁ | LIMA    | BRASILIA      | SANTA CRUZ | BUENOS AIRES |
|--|------------|-------------------|----------|----------------|--------|---------|---------------|------------|--------------|
| Valor m <sup>2</sup> (USD)                           | 2.670      | 3.087             | 1.328    | 2.356          | 1.459  | 1.883   | 2.602         | 1.021      | 2.602        |
| Valor promedio de vivienda de 60m <sup>2</sup> (USD) | 160.200    | 185.220           | 79680    | 141.000        | 87.540 | 112.980 | 156.120       | 61.260     | 156.120      |
| Salario promedio (USD)                               | 639        | 743               | 344      | 626            | 419    | 573     | 871           | 746        | 871          |
| Años de ahorro requerido (30%)                       | 35         | 35                | 32       | 31             | 29     | 27      | 25            | 11         | 27           |
| <b>TOTAL:</b>  |            |                   |          |                |        |         | <b>194.49</b> | <b>0</b>   |              |

Fuente: Cuevas, 2018

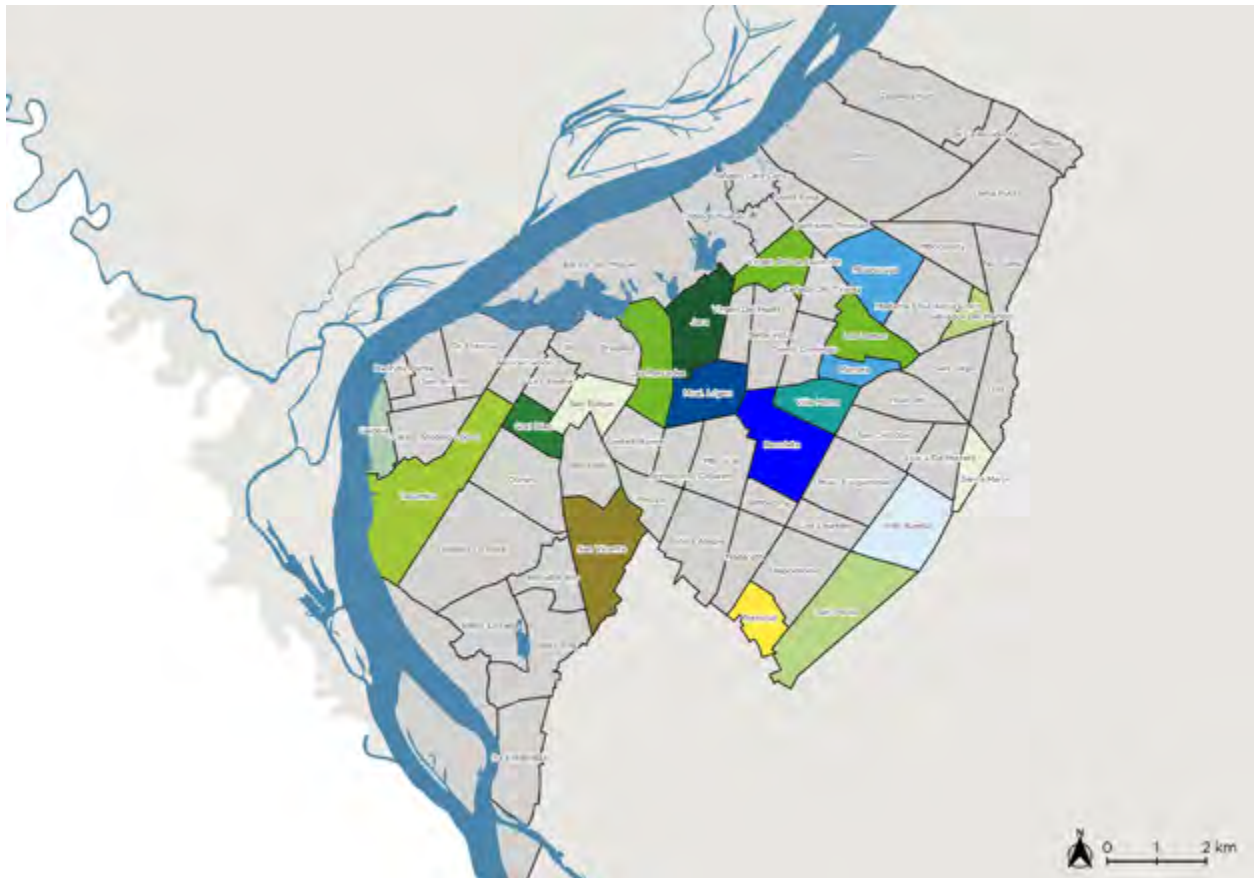
38 Roca, 1989

Las ordenanzas 33 y 34 de 1995, modificada por la Ordenanza 284 de 2013 que cambian la cota de inundación de 62 a 61, la condición de enajenación de los predios por debajo de esta cosa (la última ordenanza establece que si se pueden enajenar una vez se modifique la Ordenanza No 34/96 del “Plan Maestro de la Franja Costera de Asunción”, que plantee un nuevo plan regulador para las zonas de los bañados).

Las dos ordenanzas establecen que “en ningún caso el precio de mercado podrá ser inferior al valor municipal del terreno (...)” (Junta Municipal de Asunción, 1995). Por su parte, el valor municipal básico para la zona 7 es de 0,164 salarios mínimos mensuales. El salario mínimo mensual reportado a la fecha es de USD 331,73, así que el metro cuadrado tiene un valor básico de USD 54,4. De acuerdo con el Decreto 3180 de 2019, valor fiscal del predio m<sup>2</sup> en la capital, zona 7 queda de USD 29.52

Para medir esta diferencia se consultó la oferta<sup>39</sup> de predios (InfoCasas, 2020), con una muestra de 30 predios aleatorios en el municipio, localizados en los barrios que se muestran en la siguiente ilustración y la correspondiente Figura y Tabla.

**Figura A5.** Localización valor de predios urbanos (oferta).



Fuente: Elaboración propia con base en información InfoCasas, 2020.

<sup>39</sup> No hay información sobre transacciones reales, así que se toma el dato de la oferta sabiendo que no necesariamente es el valor de la transacción.

### A.3 Identificación de consideraciones adicionales de costo- beneficio – Solución 1 y Solución 2

**Tabla A9.** Valor de predios urbanos.

| COLOR EN MAPA                     | BARRIO                  | VALOR USD | ÁREA  | USD M <sup>2</sup> | VALOR GS |
|-----------------------------------|-------------------------|-----------|-------|--------------------|----------|
|                                   | Manorá                  | 680.000   | 800   | 850,00             |          |
|                                   | Mburucuyá <sup>40</sup> | 320.000   | 396   | 808,08             |          |
|                                   | Recoleta                | 3'000.000 | 3.789 | 791,77             |          |
|                                   | Manorá                  | 670.000   | 900   | 744,44             |          |
|                                   | Las Carmelitas          | 350.000   | 484   | 723,14             |          |
|                                   | Las Mercedes            | 699.000   | 1.045 | 668,90             |          |
|                                   | Mburucuyá               | 950.000   | 1.460 | 650,68             |          |
|                                   | Mcal. López             | 195.000   | 327   | 596,33             |          |
|                                   | Villa Aurelia           | 800.000   | 1.400 | 571,43             |          |
|                                   | Villa Morra             | 310.000   | 548   | 565,69             |          |
|                                   | Villa Morra             | 310.000   | 548   | 565,69             |          |
|                                   | Mcal. López             | 375.000   | 776   | 483,25             |          |
|                                   | General Díaz            | 400.000   | 852   | 469,48             |          |
|                                   | Mburucuyá               | 205.000   | 461   | 444,69             |          |
|                                   | San Roque               | 375.000   | 961   | 390,22             |          |
|                                   | Villa Aurelia           | 180.000   | 480   | 375,00             |          |
|                                   | Mburucuyá               |           | 360   | 369,44             | 950'000  |
|                                   | Barrio Jara             | 110.000   | 300   | 366,67             |          |
|                                   | Salvador del Mundo      | 125.000   | 431   | 290,02             |          |
|                                   | Sta María               |           | 368   | 285,33             | 750'000  |
|                                   | San Vicente             | 418.000   | 1.495 | 279,60             |          |
|                                   | Barrio Jara             |           | 380   | 268,95             | 730'000  |
|                                   | Sajonia                 |           | 429   | 261,07             | 800'000  |
|                                   | San Vicente             |           | 480   | 233,33             | 800'000  |
|                                   | Salvador del Mundo      |           | 410   | 232,20             | 680'000  |
|                                   | General Díaz            |           | 350   | 232,00             | 580'000  |
|                                   | Tacumbú                 |           | 480   | 227,50             | 780'000  |
|                                   | San Pablo               | 127.980   | 773   | 165,56             |          |
|                                   | Terminal                |           | 390   | 165,13             | 460'000  |
|                                   | Asunción                |           | 522   | 115,33             | 430'000  |
| <b>PROMEDIO M<sup>2</sup> USD</b> |                         |           |       | <b>439,7</b>       |          |

Fuente: InfoCasas, 2020

40 Según información compartida por expertos consultados, este valor podría estar alto y debería estar alrededor de los USD 510/m<sup>2</sup>, lo que significaría una disminución del valor en un 36% que debe ser corroborado y analizar si esta disminución aplica para todos los datos de la fuente.

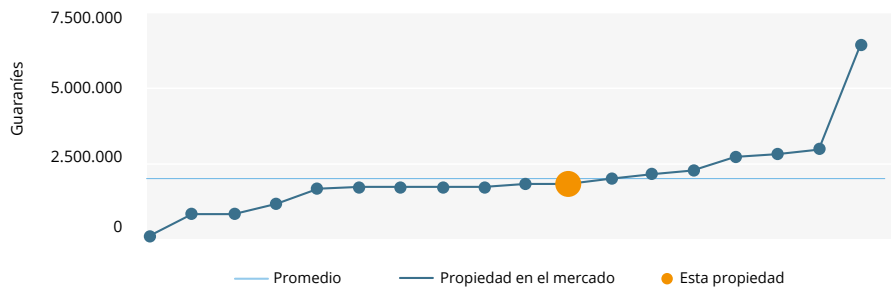


Como se observa, el promedio del valor por m<sup>2</sup> es de USD 439,7 sobre la muestra presentada. No obstante, la muestra incluye los barrios más costosos: Manorá, Mburucuyá y Recoleta, así que un dato más preciso sería tomar el promedio de los barrios cercanos al Bañado y con condiciones similares, que podrían ser: San Vicente, Sajonia, General Díaz y Tacumbú, cuyo promedio es de USD 238,4. Adicionalmente este valor podría corresponder a suelo útil (es decir, ya urbanizado), mientras es posible que la ordenanza se refiera a suelo bruto (sin urbanizar).

La página citada presenta la posición del predio frente a otras ofertas en el mismo barrio que permite determinar promedio del valor por m<sup>2</sup> por cada barrio. Las figuras A6, A7 y A8 muestran algunos de los barrios de la tabla anterior para verificar que el valor tomado es cercano al promedio.

No obstante, la página no muestra estos análisis para los barrios cercanos al Bañado. Un análisis inicial muestra que el valor del m<sup>2</sup> de vivienda nueva (en edificios de apartamentos), en zonas cercanas al área de intervención está alrededor de USD 1.422. La oferta se evaluó en las zonas de la Tabla A10.

**Figura A6.** Precio en Gs. por m<sup>2</sup> en el Barrio San Vicente.

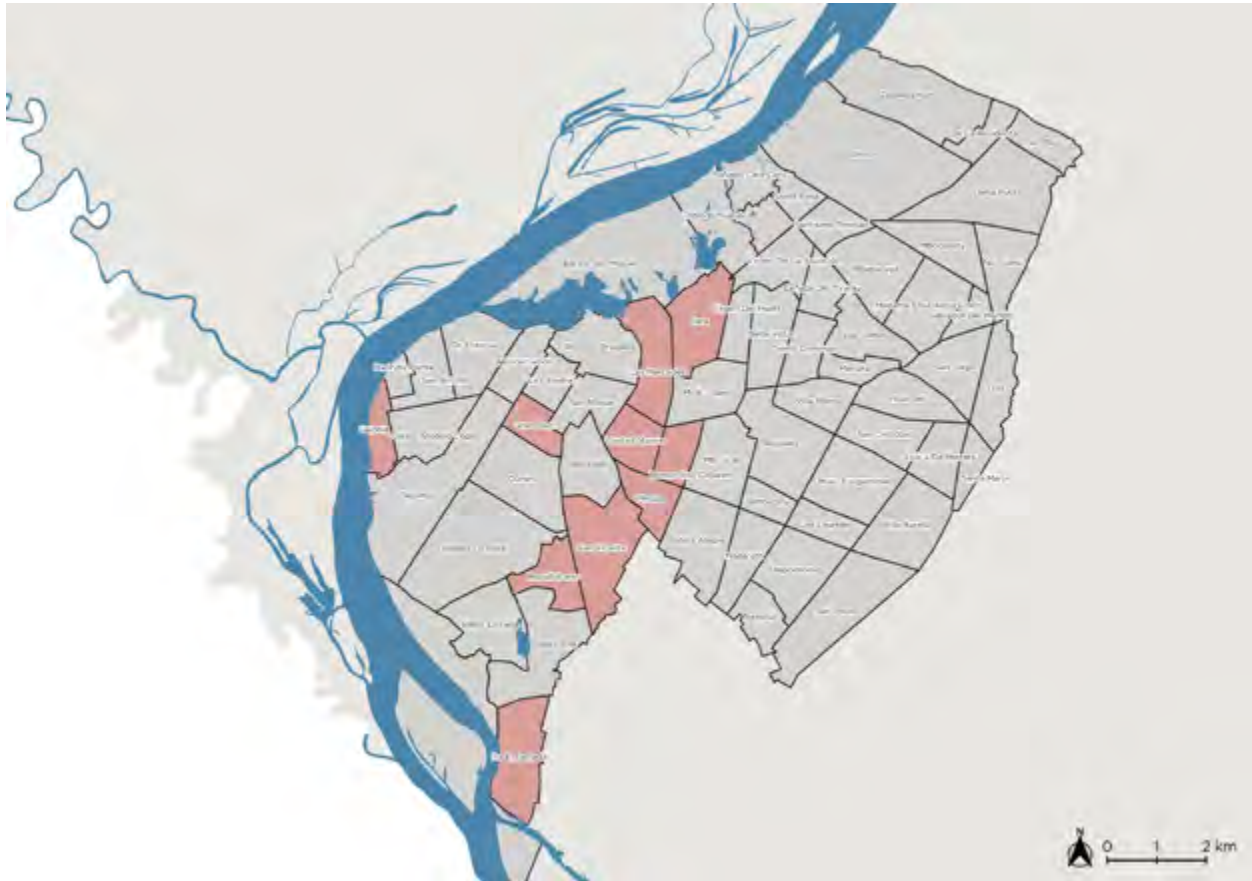


### A.3 Identificación de consideraciones adicionales de costo- beneficio – Solución 1 y Solución 2

**Tabla A10.** Valor de la vivienda nueva (oferta).

| BARRIO               | VALOR UNIDAD DE VIVIENDA | M2  | VALOR/M2       |
|----------------------|--------------------------|-----|----------------|
| San Vicente          | 70.300                   | 40  | 1.757,5        |
|                      | 99.000                   | 75  | 1.320,0        |
|                      | 75.000                   | 71  | 1.056,3        |
|                      | 92.555                   | 70  | 1.322,2        |
|                      | 89.500                   | 76  | 1.177,6        |
| Sajonia              | 55.500                   | 38  | 1.460,5        |
|                      | 92.000                   | 61  | 1.508,2        |
|                      | 145.500                  | 105 | 1.385,7        |
|                      | 102.000                  | 86  | 1.186,0        |
| Pinozá               | 144.549                  | 105 | 1.376,7        |
|                      | 142.995                  | 105 | 1.361,9        |
| Ciudad Nueva         | 117.000                  | 85  | 1.376,5        |
|                      | 53.974                   | 45  | 1.199,4        |
|                      | 78.000                   | 47  | 1.659,6        |
| Las Mercedes         | 122.500                  | 85  | 1.441,2        |
|                      | 104.900                  | 70  | 1.498,6        |
|                      | 220.120                  | 80  | 2.751,5        |
|                      | 165.000                  | 142 | 1.162,0        |
| Jara                 | 118.900                  | 58  | 2.050,0        |
|                      | 130.200                  | 125 | 1.041,6        |
|                      | 130.000                  | 82  | 1.585,4        |
|                      | 123.800                  | 82  | 1.509,8        |
|                      | 78.000                   | 53  | 1.471,7        |
| Bernardino Caballero | 98.280                   | 96  | 1.023,8        |
|                      | 149.000                  | 96  | 1.552,1        |
|                      | 125.000                  | 99  | 1.262,6        |
| <b>PROMEDIO</b>      |                          |     | <b>1.442,2</b> |

Fuente: elaboración propia con base en (InfoCasas, 2020).

**Figura A9.** Mapa con el valor de la vivienda nueva.

Fuente: elaboración propia con base en (InfoCasas, 2020).

En cuanto a la oferta de locales comerciales nuevos, se analizó toda la oferta, la cual oscila entre USD 590 USD m<sup>2</sup> en la Catedral y USD 4.080 m<sup>2</sup> en Las Mercedes.

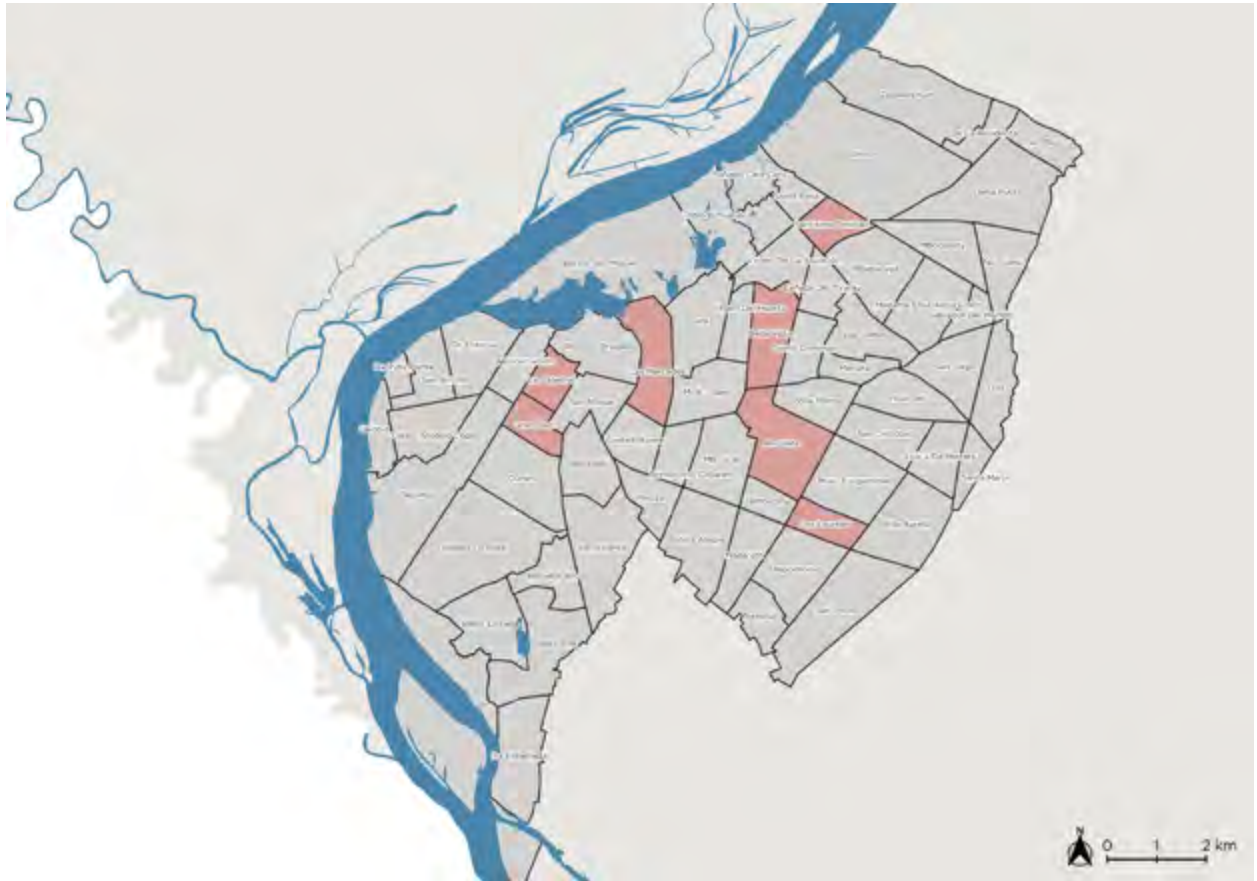
**Tabla A11.** Valor de locales comerciales nuevos (oferta).

| BARRIO       | VALOR UNIDAD COMERCIAL USD | M <sup>2</sup> | VALOR USD/M2 |
|--------------|----------------------------|----------------|--------------|
| Catedral     | 180.000                    | 307            | 586,32       |
| General Díaz | 81.000                     | 45             | 1.800,00     |
| Las Mercedes | 550.000                    | 135            | 4.074,07     |
| Bella vista  | 1.500.000                  | 650            | 2.307,69     |
|              | 800.000                    | 450            | 1.777,78     |
| Recoleta     | 500.000                    | 360            | 1.388,89     |
| Trinidad     | 720.000                    | 780            | 923,08       |
| Los Laureles | 1.550.000                  | 1.133          | 1.368,05     |

Fuente: Elaboración propia con base en (InfoCasas, 2020).



**Figura A10.** Mapa con localización de la oferta nueva de locales comerciales.



Fuente: elaboración propia con base en (InfoCasas, 2020).

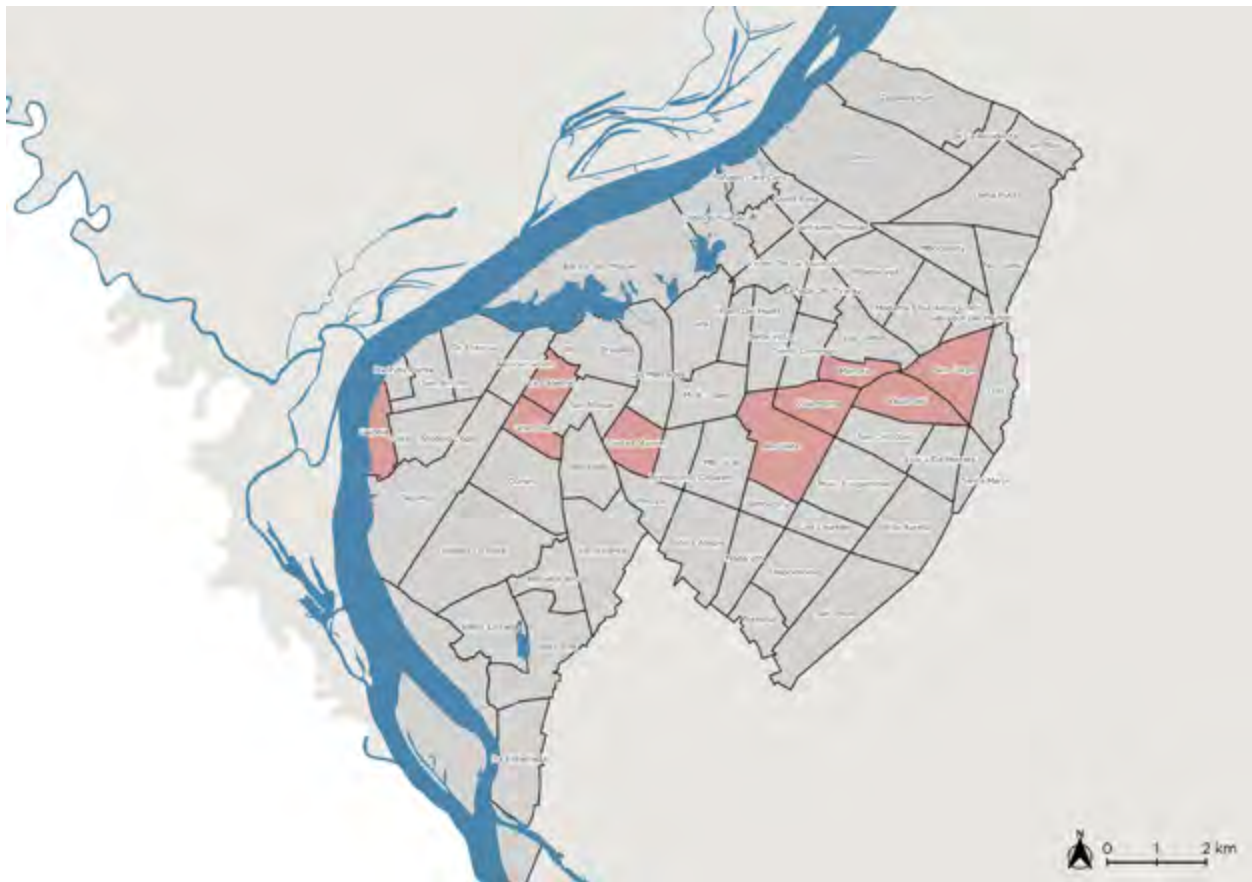
Por su parte, la oferta de oficinas oscila entre USD 780 en el barrio General Díaz (más cercano al área de intervención) y USD 3.000 por m<sup>2</sup> en Recoleta.

Tabla A12. Valor de oficinas (oferta).

| BARRIO       | VALOR UNIDAD COMERCIAL USD | M <sup>2</sup> | VALOR USD/M <sup>2</sup> |
|--------------|----------------------------|----------------|--------------------------|
| Sajonia      | 58.500                     | 30             | 1.950,00                 |
| La Catedral  | 77.187                     | 63             | 1.225,00                 |
| General Díaz | 81.050                     | 83             | 976,51                   |
| Ciudad Nueva | 220.000                    | 281            | 782,92                   |
| Villa Morra  | 500.000                    | 167            | 2.994,01                 |
|              | 335.000                    | 159            | 2.106,92                 |
|              | 224.000                    | 117            | 1.914,53                 |
| Ycuá Satí    | 100.000                    | 53             | 1.886,79                 |
| San Jorge    | 925.000                    | 394            | 2.347,72                 |
| Manorá       | 73.920                     | 41             | 1.802,93                 |
|              | 91.000                     | 54             | 1.685,19                 |
|              | 60.600                     | 32             | 1.893,75                 |
| Recoleta     | 240.000                    | 80             | 3.000,00                 |
|              | 266.500                    | 80             | 3.331,25                 |

Fuente: Elaboración propia con base en (InfoCasas, 2020).

Figura A11. Mapa con localización de la oferta de oficinas.



Fuente: Elaboración propia con base en (InfoCasas, 2020).

# Referencias del Anexo

- Agencia de Información Paraguaya. (24 de Octubre de 2017). MOPC destaca beneficios de la Costanera Sur. Obtenido de <https://www.ip.gov.py/ip/mopc-destaca-beneficios-que-traera-la-costanera-sur/>
- Caja de la Vivienda Popular. (1 de enero de 2020). Informes de gestión, evaluación y auditoría. Obtenido de <https://www.cajaviviendapopular.gov.co/?q=71-informes-de-gesti%C3%B3n-evaluaci%C3%B3n-y-auditor%C3%ADas>
- Cuevas, M. (2018). Aproximación al Estudio del Mercado de Suelo en la ciudad de Asunción. Análisis relacional sobre el precio y regulación del suelo urbano. Córdoba, Argentina.
- De Groot, Stuij, Finlayson, & Davidson. (2007). Valoración de humedales. Lineamiento para valorar los beneficios derivados de los servicios ecosistémicos de humedales .
- Empresa de Acueducto y Alcantarillado EAAB Bogotá. (2013). Plan de Manejo Ambiental Humedal Jaboque. Plan de Acción. Bogotá.
- ESSAP. (2 de enero de 2020). Tarifa de los servicios. Obtenido de <http://www.essap.com.py/consultas/tarifa-de-los-servicios/>
- InfoCasas. (18 de diciembre de 2020). Venta de Terrenos en Asunción. Obtenido de <https://www.infocasas.com.py/venta/terrenos/asuncion>
- Junta Municipal de Asunción. (1995). Ordenanza 33.
- Metrovivienda . (2003). Estimación del efecto de Metrovivienda sobre el bienestar de la población de Bogotá. Bogotá.
- Ortiz, L., Goetz, K., & Gache, C. (2020). Mutaciones espaciales y cambios socioeconómicos en el espacio urbano de Asunción y su área metropolitana. *Biblio 3W*, 1-27.
- Roca, Josep, (1989). Manual de valoraciones inmobiliarias
- Servicio Nacional de Catastro. (2 de enero de 2020). Liquidación de impuestos municipales . Obtenido de [https://www.catastro.gov.py/liquidacion\\_impuestos](https://www.catastro.gov.py/liquidacion_impuestos)
- Zorrilla, A. (2012). Aplicación de la metodología de precios hedónicos para la valoración ambiental de las áreas verdes urbanas en la ciudad de Bogotá. Bogotá.





