



UNIVERSIDAD NACIONAL DE ROSARIO
FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS
INGENIERÍA Y AGRIMENSURA



DOCTORADO EN INGENIERÍA

**INCORPORACIÓN DE LA INCERTEZA DEL CAMBIO CLIMÁTICO
EN LA GESTIÓN DEL DRENAJE URBANO**

María Eugenia Garat

Director:

Dr. Ing. Adolfo Villanueva
INA-CRL

Co-Director:

Dr. Ing. Gerardo Riccardi
FCEIA-UNR

Tribunal evaluador:

Dr. Ing. Jorge V. Pilar (UNNE)

Dr. Ing. José L. Macor (UNL)

Dr. Ing. Hernán Stenta (UNR)

Rosario, Marzo de 2017

RESUMEN

La gestión de los recursos hídricos debe trabajar sobre los problemas para la situación actual y desarrollar herramientas de planeamiento para escenarios de cambio climático, que incorporen el aumento de incerteza que este genera. Este trabajo constituye un análisis exploratorio de algunas de las diversas formas posibles, en drenaje urbano, de manejar un futuro con incerteza desconocida (deep uncertainty).

Como posibles formas de lidiar con los potenciales impactos del cambio climático se plantean cuatro estrategias de planeamiento de los sistemas de drenaje urbano: proyecto para un clima estacionario, o sea ignorar el impacto futuro (E1), proyecto basado en los máximos incrementos previstos al final del horizonte de planeamiento (E2), proyecto con adaptación por etapas (E3), y alternativa mixta, E1 con incorporación de medidas de control en la fuente a lo largo del tiempo (E4). Se trabajó con tres horizontes temporales, 2043, 2073 y 2103.

Se simuló el funcionamiento hidráulico de las redes en tres escenarios hipotéticos de impacto del cambio climático, lo que genera un amplio rango de posibles escenarios futuros, en función de las combinaciones entre impactos previstos en el proyecto e impactos realmente acontecidos en el futuro.

Fueron cuantificados los costos de implementación de cada estrategia y los daños directos atribuibles a pérdidas por inundación. A partir de eso se estimaron los resultados económicos de cada estrategia y se realizó un análisis comparativo de las ventajas y desventajas de adoptar cada una de ellas.

La estrategia E2 tiene mayores costos de construcción, pero genera la máxima reducción de daños, lo que hace que su ecuación económica sea muy favorable, especialmente a largo plazo.

La implementación de E3 genera beneficios en todos los horizontes temporales, de menor magnitud que los de E2; por otro lado, E3 tiene el menor costo de implementación y permitiría diferir decisiones de inversión al futuro, cuando es posible que el panorama de impactos sea más claro.

La estrategia E4 presenta beneficios del mismo orden de magnitud que E3, pero implica mayores costos de implementación. Es altamente dependiente de los dispositivos de control adoptados y de su distribución espacial, por lo que otras configuraciones que las adoptadas en este trabajo podrían generar resultados diferentes.

El proceso de toma de decisiones para la selección de estrategias involucra una serie de aspectos que van más allá del análisis económico. Los criterios de selección dependerán también de la aversión al riesgo del tomador de decisiones, de la disposición a invertir en protección climática y perder la oportunidad de utilizar los fondos para otros fines, y de la factibilidad de desarrollar programas de renovación periódica de las redes, por ejemplo.

Un aspecto interesante del trabajo es que los resultados también son, al menos parcialmente, aplicables a las incertezas generales relacionadas a la lluvia, que van más allá de las originadas por el cambio climático, y ya se encuentran en condiciones de afectar los proyectos. Por ejemplo la utilización de series de lluvias muy cortas y poco representativas, o la variabilidad climática.

ABSTRACT

Water resources management must work on current problems and develop planning tools for future climate change scenarios, incorporating the uncertainty increase that it generates. This work constitutes an exploratory analysis of some of the possible forms, in urban drainage, of managing a future with deep uncertainty.

Possible ways of dealing with the potential impacts of climate change are four strategies for planning urban drainage systems: project for a steady climate, i.e. ignoring the future impact (E1), project based on the maximum expected increases at the end of the planning horizon (E2), project with piecemeal adaptation (E3), and a mixed alternative, beginning with E1 and later on adopting source control measures depending on impacts (E4). Three time horizons were adopted, 2043, 2073 and 2103.

The hydraulic operation of the storm-water network was simulated for three hypothetical scenarios of climate change impact, which generates a wide range of possible future situations, depending on the combinations between expected impacts in the project and actual impacts in the future.

The costs of implementing each strategy and the direct flood losses were quantified. From that, the economic outcome of each strategy was estimated and a comparative analysis was made of the advantages and disadvantages of adopting each one.

The E2 strategy has higher construction costs, but generates the maximum reduction of damages, which makes its economic equation very favorable, especially in the long term.

The implementation of E3 generates benefits in all time horizons, of smaller magnitude than those of E2; on the other hand, E3 has the lowest implementation cost and would allow deferring investment decisions to the future, when it is possible that the impact picture will be clearer.

Strategy E4 presents benefits of the same order of magnitude as E3, but implies higher implementation costs. It is highly dependent on the adopted control devices and their spatial distribution, so that other configurations than those adopted in this work could generate different results.

The decision-making process for strategy selection involves a number of aspects that go beyond economic analysis. The selection criteria will also depend on the risk aversion of the decision-maker, the willingness to invest in climate protection and lose the opportunity to use the funds for other purposes, and the feasibility of developing programs for the periodic renewal of the networks, for example.

An interesting aspect of this work is that the results are also, at least partially, applicable to the general uncertainties related to extreme rainfall, which go beyond those caused by climate change, and are already cause of project uncertainty. For example, the use of very short and/or poorly representative rainfall series, or climatic variability effects.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue desarrollado en el marco del Programa de Becas: “Formación de Doctores en Áreas Tecnológicas Prioritarias” de la Universidad Tecnológica Nacional, corresponde a la finalización de la carrera de postgrado de Doctorado en Ingeniería de la Universidad Nacional de Rosario, realizado con la orientación del Dr. Adolfo Villanueva.

Para su realización se contó con la valiosa información suministrada por las siguientes instituciones: Comisión Administradora para el Fondo Especial de Salto Grande (CAFESG), Unidad Ejecutora Provincial de Entre Ríos (UEP), Municipio de Concordia y Comisión Técnica Mixta de Salto Grande (CTM). Se utilizó el modelo hidrológico e hidrodinámico PCSWMM, cuya licencia fue facilitada por la empresa canadiense Computational Hydraulics International (CHI).

Agradezco especialmente a mi familia: José, Tomás y Matías, por todo su apoyo. Y a Adolfo Villanueva, por su orientación, estímulo y disponibilidad constantes.

A la Universidad Tecnológica Nacional, por la posibilidad de realizar esta carrera de postgrado.

A los docentes investigadores del Grupo de investigación en Hidrología e Hidráulica Aplicada (GIHHA) de la Regional Concordia.

A los profesores de la Universidad Nacional de Rosario y de la Universidad Nacional del Litoral, en especial al profesor Gerardo Riccardi.

A los becarios de investigación de la Facultad Regional Concordia de la Universidad Tecnológica Nacional, por su gran colaboración en las etapas iniciales de procesamiento de la información.

INDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	18
1.1. Marco de Referencia.....	18
1.2. Justificación	19
1.3. Objetivos	20
1.4. Definiciones	20
1.5. Estructura de la tesis	21
2. ANTECEDENTES	23
2.1. Cambio climático y sus impactos	23
2.1.1. Introducción	23
2.1.2. Potenciales problemas a escala urbana.....	27
2.2. Incerteza del cambio climático	28
2.2.1. Caracterización de la incerteza	28
2.2.2. Cambio climático e incerteza severa	30
2.2.3. Metodologías para la gestión en escenarios de incerteza	31
2.2.4. Incorporación al proceso de planeamiento	32
2.2.4.1. El principio de precaución y toma de decisiones robustas	32
2.2.4.2. Gestión adaptativa.....	34
2.2.5. Estrategias de adaptación.....	36
2.3. Herramientas para el análisis económico del cambio climático	40
2.3.1. Teoría de la utilidad esperada	42
2.3.2. Análisis de decisiones	42
2.3.3. Análisis Costo - Beneficio	43
2.3.4. Análisis Costo - Efectividad	44
3. METODOLOGÍA.....	46
3.1. Pasos metodológicos adoptados	47
3.2. Principales simplificaciones adoptadas.....	49
3.3. Paso 1: Simulación de los escenarios	50
3.3.1. Escenario estacionario.....	50
3.3.2. Simulación de los escenarios de cambio climático	51
3.4. Paso 2: Caracterización del impacto potencial	55
3.4.1. Anegamiento de calles	56
3.4.2. Tiempo de anegamiento de calles activas	57
3.4.3. Incremento de caudal de los tramos de macrodrenaje.....	57

3.5. Paso 3: Definición de las Estrategias de Planeamiento	58
3.5.1. Estrategia E1: estrategia de no acción.....	58
3.5.2. Estrategia E2: precipitación máxima futura.....	59
3.5.3. Estrategia E3: reemplazo parcial de las obras	59
3.5.4. Estrategia E4: alternativa mixta	61
3.5.4.1. Modelación de las unidades de almacenamiento	63
3.5.4.2. Diseño de los dispositivos RB.....	63
3.6. Paso 4: Evaluación económica del impacto del cambio climático	68
3.6.1. Metodología adoptada.....	68
3.6.2. Costos de construcción	68
3.6.3. Daños por inundación.....	69
3.6.3.1. Metodología adoptada.....	69
3.6.3.2. Cuantificación de áreas susceptibles a daños por anegamiento.....	70
3.6.3.3. Valor esperado de los daños	72
3.6.4. Evaluación económica de las estrategias.....	75
3.6.4.1. Actualización de los costos de construcción.....	75
3.6.4.2. Actualización de los daños futuros.....	75
3.6.4.3. Indicadores seleccionados	76
3.6.4.4. Tasa de descuento adoptada.....	77
3.6.5. Combinatoria de impactos previstos diferentes de impactos reales.....	78
3.7. Relación entre los escenarios hipotéticos y las tendencias regionales	79
4. CUENCA DEL ARROYO MANZORES	84
4.1. Descripción general.....	84
4.2. Discretización de la Cuenca	87
4.3. Uso y cobertura del suelo	89
4.3.1. Tipos de Suelo	89
4.3.2. Usos del Suelo	89
4.4. Diseño de la Red de Microdrenaje	90
4.5. Diseño del Sistema de calles	91
4.6. Diseño de los reservorios.....	94
4.7. Diseño de los tramos del macrodrenaje	96
5. DESARROLLO	99
5.1. Incremento de la severidad y frecuencia de los eventos extremos	100
5.1.1. Severidad de los eventos extremos	100

5.1.2. Frecuencia de los eventos extremos.....	101
5.2. Impactos previstos en el escenario 1,20PE.....	104
5.2.1. Recurrencia de Proyecto del Microdrenaje (Tr: 5 años).....	104
5.2.1.1. Anegamiento de calles.....	104
5.2.1.2. Incremento de caudales en tramos del macrodrenaje.....	106
5.2.2. Recurrencia de Proyecto del Macrodrenaje (Tr: 25 años).....	109
5.2.2.1. Anegamiento de calles.....	109
5.2.2.2. Incremento de caudales en tramos del macrodrenaje.....	110
5.2.3. Recurrencia de Verificación del Macrodrenaje (Tr: 50 años).....	113
5.2.3.1. Anegamiento de calles.....	113
5.2.3.2. Incremento de caudales en tramos del macrodrenaje.....	115
5.3. Resumen de resultados del Escenario 1,20PE.....	118
5.3.1. Escenario de proyecto del microdrenaje (1,20PE5).....	118
5.3.2. Escenario de proyecto del macrodrenaje (1,20PE25).....	119
5.3.3. Escenario de verificación del macrodrenaje (1,20PE50).....	120
5.4. Comparación de resultados para los escenarios de cambio climático.....	120
5.4.1. Escenario de proyecto del microdrenaje (Tr: 5 años).....	121
5.4.1.1. Anegamiento de calles.....	121
5.4.1.2. Tiempo de anegamiento.....	122
5.4.1.3. Incremento de caudales en tramos del macrodrenaje.....	122
5.4.2. Escenario de proyecto del macrodrenaje (Tr: 25 años).....	123
5.4.2.1. Anegamiento de calles.....	123
5.4.2.2. Tiempo de anegamiento.....	124
5.4.2.3. Incremento de caudales en tramos del macrodrenaje.....	125
5.4.3. Escenario de verificación del macrodrenaje (Tr: 50 años).....	126
5.4.3.1. Anegamiento de calles.....	126
5.4.3.2. Tiempo de anegamiento.....	127
5.4.3.3. Incremento de caudales en tramos del macrodrenaje.....	128
5.5. Evaluación económica del impacto del cambio climático.....	131
5.5.1. Objetivos generales de la evaluación económica.....	131
5.5.2. Caracterización de las estrategias.....	132
5.5.2.1. Línea de base estacionaria.....	132
5.5.2.2. Estrategia E1.....	134
5.5.2.3. Estrategia E2.....	141

5.5.2.4. Estrategia E3	146
5.5.2.5. Estrategia E4	149
5.5.3. Resultados de la evaluación económica	160
5.5.3.1. Valor presente de los daños de las estrategias	161
5.5.3.2. Beneficios económicos de las estrategias	164
5.5.3.3. Costos de implementación de las estrategias	167
5.5.3.4. Relación costo-beneficio de las estrategias	169
5.5.3.5. Valor presente neto (VPN) de las estrategias	171
5.6. Combinatoria de impactos previstos e impactos reales.....	174
5.6.1. Identificación de los escenarios	174
5.6.2. Relación costo beneficio	176
5.6.3. Valor Presente Neto.....	186
5.7. Comparación del desempeño de las estrategias	191
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	194
6.1. Conclusiones	194
6.2. Recomendaciones	196
7. BIBLIOGRAFÍA	197
A1. ANEXO 1: Propiedades de las microcuencas y conductos	207
A2. ANEXO 2: Costos de construcción de las estrategias.....	214
A3. ANEXO 3: Variación del Índice del costo de la construcción	240

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1.- Incrementos proyectados de los valores medios de la temperatura y nivel del mar con respecto al período 1986-2005- (IPCC, 2014b, p.60)	27
Tabla 2-2.- Medidas de adaptación al cambio climático (EEA, 2004)	41
Tabla 3-1.- Secuencia temporal de los escenarios hipotéticos de precipitación	53
Tabla 3-2.- Tendencias históricas de la precipitación máxima	55
Tabla 3-3.- Comparación de caudales máximos en escenario climático estacionario	67
Tabla 3-4.- Modelo de microescala FLEMOps	71
Tabla 3-5.- Efectos de la contaminación y medidas de precaución FLEMOSps (+), 2008	71
Tabla 3-6.- Simulaciones consideradas en la determinación del valor esperado de los daños	74
Tabla 3-7.- Combinatoria de impactos previstos e impactos reales	79
Tabla 3-8.- Proyección futura de los incrementos de la precipitación máxima diaria	82
Tabla 4-1.- Superficies de aporte de los sistemas de microdrenaje	86
Tabla 4-2.- Impermeabilidad actual y futura de las subcuencas	90
Tabla 4-3.- Inundación admisible de la calle para la lluvia de diseño	92
Tabla 4-4.- Inundación admisible de la calle para el escurrimiento de la lluvia máxima.....	93
Tabla 4-5.- Dimensiones de las obras de descarga.....	96
Tabla 5-1.- Coeficientes de reducción del período de retorno	102
Tabla 5-2.- Períodos de retorno de las tormentas de proyecto	103
Tabla 5-3.- Volumen de los desbordes en reservorios Vi/VR (en %)	130
Tabla 5-4.- VPD (\$) discriminado por áreas de daño (AD) de la cuenca Manzores.....	134
Tabla 5-5.- Determinación del valor esperado de los daños.	138
Tabla 5-6.- Valor Presente de los daños (VPD en \$) de la Estrategia E1.....	140
Tabla 5-7.- Valor Presente de los Daños de la Estrategia E2	144
Tabla 5-8.- Costos de construcción de la estrategia E3 (\$).....	146
Tabla 5-9.- Valor Presente de los Daños de la Estrategia E3	148
Tabla 5-10.- Costos de construcción de la estrategia E4 (\$).....	158
Tabla 5-11.- Valor Presente de los Daños de la Estrategia E4	159
Tabla 5-12.- Comparación del Valor Presente de los daños de las estrategias.....	164
Tabla 5-13.- Beneficios estimados de las estrategias.....	165
Tabla 5-14.- Costos de implementación de las estrategias.	167

Tabla 5-15.- Relación costo - beneficio (B/C) de las estrategias.....	169
Tabla 5-16.- Valor Presente Neto (VPN en \$) de las estrategias	171
Tabla 5-17.- Designación de los escenarios.....	175
Tabla 5-18.- Costos y beneficios de las estrategias.....	178
Tabla 5-19.- Relación costo - beneficio de las estrategias.....	184
Tabla 5-20.- Valor presente neto de las estrategias.....	186
Tabla 5-21.- Variación VPN (%) con respecto al escenario de no acción-Estrategia E2	188
Tabla 5-22.- Variación VPN (%) con respecto al escenario de no acción-Estrategia E3	189
Tabla 5-23.- Variación VPN (%) con respecto al escenario de no acción-Estrategia E4	190

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2-1.- Escenarios de Emisión IPCC (SRES).....	25
Figura 2-2.- Trayectorias de concentración representativas (RCP) - Forzamiento radiativo total (natural más antropogénico) en W/m^2	26
Figura 2-3.- Procesos de interfase - Interrelación entre áreas involucradas.	34
Figura 2-4.- Modelo de Gestión Adaptativa para la toma de decisiones.	35
Figura 2-5.- Estrategias de Adaptación No Regret	38
Figura 2-6.- Estrategia para manejar la escorrentía urbana y las inundaciones.....	39
Figura 3-1.- Sistema de drenaje de la cuenca del Arroyo Manzores.....	46
Figura 3-2.- Metodología adoptada.	48
Figura 3-3.- Hietogramas de la precipitación estacionaria PE	52
Figura 3-4.- Escenarios de cambio climático.....	54
Figura 3-5.- Estrategia E1 - Proyecto de la red para la precipitación estacionaria.	58
Figura 3-6.- Estrategia E2-2 - Proyecto de la red para precipitaciones futuras.....	59
Figura 3-7.- Estrategia E3-2 - Reemplazo parcial de las obras	60
Figura 3-8.- Estrategia E4 - Alternativa mixta.	61
Figura 3-9.- Sistema de regulación con dispositivos domiciliarios.....	62
Figura 3-10.- Estimación del coeficiente de drenaje de una microcuenca tipo.....	64
Figura 3-11.- Aportes máximos a tanques de almacenamiento domiciliario.	66
Figura 3-12.- Comparación de caudales máximos en escenario PE (E4 vs E1).....	67
Figura 3-13.- Modelo de microescala FLEMOps.....	70
Figura 3-14.- Identificación de propiedades susceptibles al daño por inundación.	71
Figura 3-15.- Relación Daños por inundación - Probabilidad de ocurrencia	73
Figura 3-16.- Valor esperado de los daños EAD (\$/año) - Estrategia E1.....	74
Figura 3-17.- Actualización de una serie de anualidades	76
Figura 3-18.- Variación del VPN (\$) de una estrategia con la tasa de descuento.....	77
Figura 3-19.- Promedio regional de la precipitación diaria máxima del año.	80
Figura 3-20.- Cambios en la precipitación diaria máxima del año (mm) con respecto al período 1981-2005. Fuente: (CIMA, 2015).....	81
Figura 3-21.- Horizontes hipotéticos de crecimiento de la precipitación máxima diaria	82
Figura 4-1.- Cuenca del Arroyo Manzores.	85
Figura 4-2.- Modelo digital de elevaciones y límites de la cuenca.	85

Figura 4-3.- Sistema de drenaje de la cuenca del Arroyo Manzores.....	86
Figura 4-4.- Discretización de las subcuencas de aporte.	87
Figura 4-5.- Discretización de las microcuencas de aporte.	88
Figura 4-6.- Sección transversal tipo del sistema mayor	92
Figura 4-7.- Criterios para prevenir riesgo de arrastre (Nanía, 1999).....	94
Figura 4-8.- Obras de descarga de un reservorio tipo R3.	95
Figura 4-9.- Sección trapezoidal equivalente de los tramos del macrodrenaje.	97
Figura 5-1.- Incremento de la severidad del evento en escenarios de cambio climático	101
Figura 5-2.- Incremento de la frecuencia del evento en escenarios de cambio climático. ..	103
Figura 5-3.- Tirantes máximos y tiempos de anegamiento - 1,20PE5.	105
Figura 5-4.- Tirantes máximos en calles anegadas - 1,20PE5.	105
Figura 5-5.- Tiempo de anegamiento - 1,20PE5.....	106
Figura 5-6.- Incrementos del caudal máximo - 1,20PE5.....	107
Figura 5-7.- Incremento de caudales y niveles máximos en reservorios - 1,20PE5.....	108
Figura 5-8.- Incrementos de caudales máximos - 1,20PE5.....	108
Figura 5-9.- Tirantes máximos en calles - 1,20PE25.....	109
Figura 5-10.- Tirantes máximos en calles anegadas - 1,20PE25.	110
Figura 5-11.- Incremento del tiempo de anegamiento en calles - 1,20PE5.....	111
Figura 5-12.- Incrementos del caudal máximo - 1,20PE25.....	112
Figura 5-13.- Incremento de caudales y niveles máximos en los reservorios - 1,20PE25....	112
Figura 5-14.- Incrementos de caudales máximos - 1,20PE25.....	113
Figura 5-15.- Tirantes máximos en calles - Escenario de verificación del macrodrenaje....	114
Figura 5-16.- Tirantes máximos en calles anegadas - 1,20PE50	115
Figura 5-17.- Tiempo de anegamiento - 1,20PE50.....	116
Figura 5-18.- Incrementos del caudal máximo - 1,20PE50.....	117
Figura 5-19.- Incremento de caudales y niveles máximos en los reservorios - 1,20PE50....	117
Figura 5-20.- Incrementos de caudales máximos - 1,20PE50.....	118
Figura 5-21.- Volumen de inundación por desborde de reservorios - 1,20PE50.....	119
Figura 5-22.- Tirantes máximos en calles - (TR5).....	121
Figura 5-23.- Incremento del tiempo de anegamiento - (TR5).....	122
Figura 5-24.- Incrementos ΔQ (%) en tramos del macrodrenaje - Tr: 5 años.	122
Figura 5-25.- Incrementos ΔQ (%) en las progresivas del macrodrenaje - Tr: 5 años	123

Figura 5-26.- Tirantes máximos en calles - Proyecto del macrodrenaje (TR25).....	124
Figura 5-27.- Incremento del tiempo de anegamiento - (TR25)	125
Figura 5-28.- Incrementos ΔQ (%) en tramos del macrodrenaje - (TR25).....	125
Figura 5-29.- Incrementos ΔQ (%) en las progresivas del macrodrenaje - (TR25)	126
Figura 5-30.- Tirantes máximos en calles - Verificación del macrodrenaje (TR50).....	127
Figura 5-31.- Incremento del tiempo de anegamiento - (TR50)	128
Figura 5-32.- Incrementos ΔQ (%) en las progresivas del macrodrenaje - (TR50)	129
Figura 5-33.- Incrementos ΔQ (%) en tramos del macrodrenaje - (TR50).....	129
Figura 5-34.- Volumen de los desbordes en reservorios - (TR50).....	130
Figura 5-35.- Estimación del valor esperado de los daños EAD (LB-PE).....	133
Figura 5-36.- Actualización del valor esperado de los daños al año base 2013.....	133
Figura 5-37.- Incidencia porcentual en el VPD de las áreas de daños AD	135
Figura 5-38.- Composición de la línea de base estacionaria - (LB-PE).....	135
Figura 5-39.- Estrategia E1: tormenta de proyecto de la red.	137
Figura 5-40.- Estimación del valor esperado de los daños EAD (estrategia E1-2).....	139
Figura 5-41.- Actualización del valor esperado de los daños al año base 2013.....	139
Figura 5-42.- VPD (en \$) de la estrategia E1	141
Figura 5-43.- Incremento porcentual de VPD E1 con respecto a (LB-PE)	141
Figura 5-44.- Estrategia E2: tormentas de proyecto de la red.	142
Figura 5-45.- VPD (en \$) de la estrategia E2	145
Figura 5-46.- Reducción porcentual de VPD E2 con respecto a (LB-PE).....	145
Figura 5-47.- Estrategia E3: tormentas de proyecto de la red.	147
Figura 5-48.- VPD (en \$) de la estrategia E3.	149
Figura 5-49.- Variación porcentual de VPD E3 con respecto a (LB-PE)	149
Figura 5-50.- Estrategia E4: tormentas de proyecto de la red.	151
Figura 5-51.- Cobertura de RB: incremento caudal máximo macrodrenaje (%).....	153
Figura 5-52.- Cobertura de RB: tirantes máximos en calles (cm).....	154
Figura 5-53.- Nivel de agua en los tanques de almacenamiento	156
Figura 5-54.- Reducción del caudal máximo de las microcuencas - Estrategia E4	157
Figura 5-55.- VPD (en \$) de la estrategia E4.	160
Figura 5-56.- Variación porcentual de VPD E4 con respecto a (LB-PE).	160

Figura 5-57.- Comparación del valor presente de los daños (VPD en \$) de las estrategias.....	162
Figura 5-58.- Beneficios económicos de las estrategias de planeamiento.	166
Figura 5-59.- Costos de implementación de las estrategias.....	168
Figura 5-60.- Variación temporal de la relación costo - beneficio.	170
Figura 5-61.- Variación de la relación B/C con el escenario de cambio climático.	172
Figura 5-62.- Valor presente neto de las estrategias.....	173
Figura 5-63.- Combinatoria de impactos - Variación del VPD de las estrategias.	177
Figura 5-64.- Costos y beneficios de las estrategias.....	179
Figura 5-65.- Combinatoria de impactos de la estrategia E2.....	180
Figura 5-66.- Combinatoria de impactos de la estrategia E3.....	181
Figura 5-67.- Combinatoria de impactos de la estrategia E4.....	183
Figura 5-68.- Comparación de las relaciones B/C de las estrategias.....	185
Figura 5-69.- Valor presente neto de las estrategias.....	187
Figura 5-70.- Variación del VPN (%) de la estrategia E2.	188
Figura 5-71.- Variación del VPN (%) de la estrategia E3.	189
Figura 5-72.- Variación del VPN (%) de la estrategia E4.	190
Figura 5-73.- Relación costo beneficio de las estrategias.....	192
Figura 5-74.- Variación del VPN de las estrategias (%).....	193

LISTA DE SIGLAS

ACB	Análisis costo - beneficio
CAFESG	Comisión Administradora para el Fondo Especial de Salto Grande
CAC	Cámara Argentina de la Construcción
CHI	Computational Hydraulics International
CMIP	Coupled Model Intercomparison Project
CMNUCC	Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático
EEA	European Environment Agency
FEMA	Federal Emergency Management Agency
GCM	General Circulation Models
GEI	Gases de efecto invernadero
IIED	International Institute for Environment and Development
INA	Instituto Nacional del Agua
ICC	Índice del Costo de la Construcción
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
LID	Low Impact Development
LTPA	Long-Term Policy Analysis
MDE	Modelo Digital de Elevaciones
NRC	National Research Council
OMM	Organización Meteorológica Mundial
PNUMA	Programa Ambiental de las Naciones Unidas
RB	Rain Barrel
RCP	Representative Concentration Pathways
RDM	Robust decision making
SRES	Special Report on Emission Scenarios
SADS	Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación
TCN	Tercera Comunicación Nacional sobre Cambio Climático de la República Argentina
UDFCD	Urban Drainage and Flood Control District
UEP	Unidad Ejecutora Provincial de Entre Ríos
UKCIP	United Kingdom Climate Impacts Programme
UNFCCC	United Nations Framework Convention on Climate Change
USAID	United States Agency for International Development
USEPA	US Environmental Protection Agency

LISTA DE SÍMBOLOS

α	Coeficiente de reducción del período de retorno
A_i	Área de inundación por desbordes de reservorios (m ²)
B	Beneficios (\$)
B/C	Relación costo beneficio
C_i	Costo de Construcción de la etapa i
d	Duración de la tormenta (min)
D_i	Daño anual esperado equivalente de la etapa i (\$)
EAD	Valor esperado de los daños (\$/año)
E_i	Estrategia de planeamiento i
$E(x)$	Esperanza matemática
FAS	Factor de actualización de una serie uniforme de anualidades
Fr	Número de Froude
FSA	Factor simple de actualización
h	Tirante (m)
h_i	Tirante de inundación por desbordes de reservorios (m)
$h_{m\acute{a}x}$	Tirante máximo (m)
$h_{l\acute{i}m}$	Tirante límite (m)
h_{ll}	Tirante a sección llena (m)
i	Intensidad de precipitación (mm/h)
N	Nº de eventos considerados para la cuantificación del valor esperado de los daños
n	Coeficiente de Manning
na	Período de actualización (años)
P	Lámina precipitada (mm)
PE	Precipitación estacionaria (mm)
PF	Probabilidad de Falla
r	Tasa de descuento (%)
S	Pendiente longitudinal (m/m)
St	Pendiente transversal (m/m)
Tr	Período de retorno (años)
V	Velocidad (m/s)
V_i	Volumen de inundación de los reservorios (m ³)
VPC	Valor Presente del Costo de Construcción (\$)
VPD	Valor Presente de los Daños (\$)
VPN	Valor Presente Neto (\$)

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Marco de Referencia

En todo el proceso de dimensionamiento de una red de drenaje existen diversas fuentes de incerteza, que deben ser evaluadas para la definición de límites de aplicabilidad de las metodologías de cálculo de sistemas proyectados, así como para la adopción de estrategias de adaptación de sistemas existentes.

La incerteza relacionada con las características actuales y futuras (urbanización futura) de la cuenca, con las tormentas observadas y de proyecto y demás factores inherentes a la ingeniería del macrodrenaje se traduce en sobrecostos.

Si el sistema falla con mayor frecuencia que la prevista en el proyecto, se producen perjuicios directos e indirectos, como la destrucción acelerada de los pavimentos y la pérdida de valor inmobiliario de las propiedades.

Las estructuras hidráulicas urbanas son dimensionadas en base al caudal o al hidrograma de diseño, pero en nuestra región la mayoría de los métodos estadísticos de cuantificación directa de caudales de proyecto resulta de difícil aplicación, debido a la inexistencia de datos o la deficiente calidad de los mismos, por lo cual resulta necesario el empleo de modelos de transformación lluvia-caudal.

En la implementación de estos métodos, usualmente se asumen lluvias de diseño estacionarias. Sin embargo, en escenarios de cambio climático las características de las precipitaciones futuras son diferentes de las del pasado, y la hipótesis de estacionariedad no es válida.

Según IPCC, en escenarios de cambio climático, las emisiones acumuladas de CO₂ determinan en gran medida el calentamiento medio global. El mismo es definido como el aumento gradual de la temperatura superficial global, como una de las consecuencias del forzamiento radiativo causado por las emisiones antropogénicas (IPCC, 2014b, p.124). Las proyecciones de las emisiones de gases de efecto invernadero varían en un amplio rango, dependiendo del desarrollo socioeconómico y de la política climática (IPCC, 2014b, p.56).

De acuerdo a los datos reportados por IPCC, en base a las observaciones y proyecciones de los modelos climáticos, las estimaciones actuales prevén un incremento de las precipitaciones extremas con el calentamiento global. El último informe del IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) establece que las proyecciones del CMIP5 (Coupled Model Intercomparison Project) confirman una clara tendencia de aumento del número de episodios de precipitación intensa a corto y largo plazo, previendo incrementos de la intensidad y frecuencia de las precipitaciones en la mayoría de las masas continentales de latitudes medias en un mundo más cálido.

Las simulaciones del CMIP3 y CMIP5 proyectan un aumento en el promedio global de los valores de la precipitación máxima anual de 24 horas de duración y 20 años de período de retorno (P_{max20}), comprendido entre 6 y 7% por cada °C de calentamiento medio global, con estimaciones comprendidas en el rango de 4 a 10% cada °C en la mayoría de los modelos de simulación, (Kharin & Zwiers, 2007, p.1439), (Kharin et al., 2013, p.354), (IPCC, 2013b, p.912)

Los cambios observados en las tendencias climáticas en nuestro país reflejan un aumento de la precipitación media anual en la mayor parte del territorio argentino y el incremento de la frecuencia de precipitaciones extremas en las zonas centro y este del país. (Barros et al., 2014). Sin embargo la magnitud de estos cambios y su impacto sobre las obras de infraestructura son inciertos, por lo cual no es posible asignar probabilidades cuantitativas a impactos específicos. Es decir que no existe seguridad sobre la magnitud del cambio, o el momento en que el mismo será alcanzado. Esto caracteriza la situación denominada “incerteza profunda” o “incerteza severa” (deep uncertainty), que será definida en el ítem 2.2.2.

Pero la incerteza sobre el clima futuro no puede constituir un pretexto para posponer las acciones. Las estrategias de adaptación deben tanto abordar los problemas existentes relacionados con el clima como desarrollar herramientas para planificar y gestionar la adaptación climática bajo incertezas crecientes (Wilk & Wittgren, 2009). O sea, las estrategias de gestión de los recursos hídricos deben solucionar los problemas actuales asociados a la incerteza inherente a los procesos involucrados y desarrollar a su vez herramientas de planeamiento y adaptación en un contexto climático no estacionario, que incorporen el aumento de incerteza que este genera. A medida que se incrementa la vida útil prevista de las obras, será más importante incorporar consideraciones sobre la incerteza del cambio climático en las etapas de planeamiento y toma de decisiones, que permitirán mejorar la eficiencia de las inversiones en programas, proyectos e infraestructura.

En ese sentido, esta tesis constituye un análisis exploratorio de algunas de las diversas formas posibles de afrontar un futuro en condiciones de incerteza: se la considera una fase inicial y tentativa de una serie de estudios actualmente poco abordados para mejorar la capacidad de respuesta frente al cambio climático. Esta tesis no se orienta a proponer una metodología de diseño determinista con resultados garantizados (lo cual no es posible en condiciones de incerteza), sino a acotar este futuro de consecuencias desconocidas a un rango limitado de opciones técnico económicas que orienten el proceso de toma de decisiones.

1.2. Justificación

A nivel nacional, las acciones específicas que incorporan la incidencia del cambio climático en la gestión de los recursos hídricos están enmarcadas en distintos ejes de acción prioritarios, recomendados por la Estrategia Nacional del Cambio Climático (ENCC) de la República Argentina. Sin embargo, hasta el momento no se han identificado estudios específicos a nivel local o nacional que incorporen valorizaciones económicas del impacto del cambio climático en la gestión del drenaje urbano, ni proyectos de actualización de planes maestros de drenaje urbano que contemplen el fenómeno. (Ludeña et al., 2012).

Se propone una contribución al estado actual de los conocimientos sobre el tema, tratándose del primer análisis de estas características implementado en la región. Si bien existen antecedentes en otros puntos del planeta, se considera que este trabajo constituye un aporte original porque sintetiza la (escasa) información disponible hasta el momento acerca del incremento de las precipitaciones máximas en nuestra región, reinterpretándola de una manera diferente, a través de su aplicación al problema concreto de la evaluación económica para la gestión del drenaje urbano en escenarios de cambio climático.

1.3. Objetivos

El objetivo general de la tesis es analizar el impacto potencial de la incerteza proveniente del cambio climático (CC) sobre un sistema de drenaje urbano, y examinar los efectos de algunas estrategias para disminuir ese impacto.

Para ello se han planteado los siguientes objetivos particulares:

- Estimar los potenciales efectos que el impacto del cambio climático sobre las lluvias intensas tiene en términos de planificación y diseño de un sistema de drenaje urbano.
- Caracterizar la incerteza generada por el cambio climático en el gerenciamiento de sistemas de drenaje existentes, que fueron proyectados asumiendo estacionalidad de las series hidrológicas, en términos de incrementos de los daños por inundación en distintos escenarios de cambio climático.
- Delimitar el rango de posibles consecuencias de adoptar diferentes estrategias de planeamiento para control del impacto del CC sobre la urbanización, y aportar criterios de orientación al tomador de decisiones, para su incorporación en el desarrollo de nuevos proyectos .

1.4. Definiciones

Adaptación: Ajuste en los sistemas naturales o humanos, en respuesta a estímulos climáticos reales o esperados y sus efectos, que modera el daño o explota las oportunidades beneficiosas. En los sistemas humanos, la adaptación tiene por objeto moderar o evitar el daño, o explotar las oportunidades beneficiosas. En algunos sistemas naturales, la intervención humana puede facilitar el ajuste al clima esperado y sus efectos. (IPCC, 2014a, p.1251)

Impacto previsto: modificación causada por el cambio climático en las lluvias extremas, prevista en las estrategias de adaptación del proyecto del sistema de drenaje.

Impacto real: modificación causada por el cambio climático en las lluvias extremas que realmente ocurre en el futuro; puede ser mayor, igual o menor que el impacto previsto.

Microcuenca: área de aporte a cada conducto individual de una red de colectores.

Mitigación: La definición oficial, de acuerdo a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, presentada por IPCC para su aplicación en el contexto del cambio climático denomina mitigación a "la intervención humana destinada a reducir las fuentes o mejorar los sumideros de gases de efecto invernadero". De acuerdo al último informe del IPCC, se incluye también como mitigación del cambio climático a cualquier "intervención humana para reducir las fuentes de otras sustancias que pueden contribuir directa o indirectamente a la limitación del cambio climático, incluyendo, por ejemplo, la reducción de las emisiones de material particulado que pueden alterar directamente el balance de radiación, o las medidas para controlar las emisiones de monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno (NOx), compuestos orgánicos volátiles (VOCs) y otros contaminantes que pueden alterar la concentración de ozono troposférico (O₃) el cual tiene un efecto indirecto en el clima". (IPCC, 2014a, p.1266)

Vulnerabilidad: "se define genéricamente como la predisposición (característica interna) de un elemento a ser adversamente afectado... esto incluye las características de una persona o grupo y su situación, que influyen en su capacidad para anticiparse, enfrentarse, resistir y recuperarse de los efectos adversos de los eventos físicos... La

vulnerabilidad es el resultado de diversas condiciones y procesos históricos, sociales, económicos, políticos, culturales, institucionales, de recursos naturales y ambientales” (IPCC, 2012, p.32).

Sistema de drenaje: sistema integrado por la totalidad de áreas de aporte y redes de drenaje subterráneas y superficiales de la cuenca urbana.

Subsistema de drenaje: subdivisión del sistema de drenaje en áreas de aporte a cada reservorio. Los subsistemas, designados como S_1 a S_{10} , (de acuerdo al reservorio al que aportan) agrupan redes de colectores con descarga común en el cauce principal.

Subcuenca: agregación de las áreas de aporte a cada red de colectores de microdrenaje de los subsistemas S_1 a S_{10} .

1.5. Estructura de la tesis

El contenido de la tesis se ha organizado en seis capítulos que abarcan los siguientes contenidos:

El capítulo 2 presenta la revisión bibliográfica sobre los principales impactos del cambio climático a escala urbana, las metodologías para la gestión en escenarios de incerteza y su incorporación al proceso de planeamiento, identificando las principales estrategias de adaptación al cambio climático. Se presentan también las principales herramientas para el análisis económico del cambio climático.

El capítulo 3 indica los pasos metodológicos adoptados, que incluyen la simulación de los escenarios de precipitación, la caracterización del impacto potencial del cambio climático, la definición de estrategias de planeamiento y evaluación económica del impacto del cambio climático.

A continuación, el capítulo 4 resume las principales características del área de estudio, correspondiente a una cuenca urbana (cuenca del arroyo Manzores) ubicada en la ciudad de Concordia, provincia de Entre Ríos, Argentina. Se presentan las principales etapas de la modelación hidrológica e hidrodinámica de la cuenca en escenarios de precipitación estacionaria, incluyendo la discretización espacial y temporal, usos y cobertura del suelo, así como los criterios de diseño de la red de microdrenaje, sistema de calles, diseño de tramos de macrodrenaje y reservorios de detención.

En el capítulo 5 se presenta el desarrollo de la metodología propuesta, que incluye consideraciones acerca del incremento de la severidad y frecuencia de los eventos extremos en escenarios de cambio climático, la cuantificación de impactos físicos en tres escenarios hipotéticos incremento de las precipitaciones intensas para una red diseñada asumiendo estacionalidad de las series hidrológicas y la definición y evaluación económica de las estrategias de planeamiento para la incorporación de la incerteza a la gestión del drenaje urbano.

El capítulo 6 resume las conclusiones y recomendaciones de este trabajo.

En el Anexo 1 se incluyen las propiedades de las microcuencas simuladas. En el Anexo 2 se indican los costos de construcción de las redes proyectadas de acuerdo a las cuatro estrategias propuestas. El Anexo 3 presenta la evolución del Índice de Costos de la Construcción de la Cámara Argentina de la Construcción (ICC-CAC) durante el período 2013-2015

CAPÍTULO 2

ANTECEDENTES

2. ANTECEDENTES

2.1. Cambio climático y sus impactos

2.1.1. Introducción

Este contexto se caracteriza por la existencia de tendencias temporales de las variables climáticas. La utilización de la información climática en general, y en particular la información pluviométrica utilizada para el diseño de sistemas de drenaje urbano se basa actualmente en la hipótesis de clima estacionario, asumiendo que las condiciones futuras resultan iguales a las del pasado inmediato. De este modo, las series de variables climáticas son analizadas estadísticamente como series estacionarias.

Según (Barros et al, 2006) actualmente “la hipótesis de que las series climáticas o sus derivados hidrológicos son estacionarias aparece como poco apropiada. Cada vez hay menos dudas que el planeta ha entrado en un rápido cambio climático inducido por las actividades del ser humano. En consecuencia la hipótesis casi siempre implícita de que las estadísticas del clima pasado pueden representar las del clima futuro ya no es válida.

Todo el arsenal metodológico que se basaba en esta simple presunción para el cálculo de parámetros de diseño de infraestructuras, la planificación del uso de los recursos hídricos, del territorio, de la actividad forestal o de la agricultura a mediano plazo debe ser revisado... A pesar de esta necesidad, no hay aún una metodología totalmente desarrollada y segura para estimar el clima futuro. En rigor, el gran desafío para la climatología mundial durante los próximos años será desarrollar los métodos que permitan anticipar el clima de las próximas décadas en el contexto del intenso cambio climático en curso.” (Barros et al, 2006, p. 11)

El IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) o Panel Intergubernamental de Cambio Climático es el principal organismo internacional para la evaluación del fenómeno. Fue establecido por el Programa Ambiental de las Naciones Unidas (PNUMA) y la Organización Meteorológica Mundial (OMM) en 1988. Desde entonces es el organismo responsable de la evaluación, actualización e interpretación de la información científica, técnica y socioeconómica asociada al fenómeno de cambio climático.

Desde su creación, el IPCC ha reportado 5 informes, (divididos en tres áreas de trabajo que actualizan la información sobre las “Bases físicas del cambio climático”, “Impactos, adaptaciones y vulnerabilidad”, y “Mitigación del cambio climático”, respectivamente):

- IPCC First Assessment Report: Climate Change 1992 (FAR).
- IPCC Second Assessment Report: Climate Change 1995 (SAR).
- IPCC Third Assessment Report: Climate Change 2001 (TAR).
- IPCC Fourth Assessment Report: Climate Change 2007 (AR4).
- IPCC Fifth Assessment Report (2013-2014) (AR5).

En las últimas décadas la principal herramienta para la investigación de cambio climático han sido los Modelos de Circulación General (General Circulation Models - GCM).

Los mismos están basados en leyes físicas representadas por ecuaciones matemáticas que son resueltas utilizando un reticulado tridimensional sobre el planeta (usualmente para resoluciones comprendidas entre los 250 y 600 km). A través de la simulación matemática se representan los componentes principales del sistema climático: atmósfera, hidrósfera, criósfera, biósfera y superficie continental, incorporando las interacciones existentes entre submodelos.

Su implementación permite evaluar la respuesta del sistema ante variaciones de condiciones actuales, (cobertura y uso del suelo, concentración de gases, etc.), y su incidencia sobre las variables que caracterizan el sistema (temperaturas, precipitación, humedad, etc.). En la actualidad los modelos de circulación general no permiten representar la totalidad de los procesos involucrados, sin embargo su capacidad para la representación climática se encuentra en permanente progreso.

Los resultados de las simulaciones de los GCM, basados en datos de entrada comunes compartidos por distintos grupos de modelación alrededor del mundo, son coordinados y almacenados a través del Proyecto de Intercomparación de Modelos Acoplados (Coupled Model Intercomparison Project CMIP). En particular, la información más actualizada de los resultados de las simulaciones a nivel mundial se almacena en las fases tres CMIP3 y cinco CMIP5 de este proyecto de intercomparación.

En el cuarto informe del IPCC fue utilizado el set de modelos CMIP3, mientras que el conjunto de modelos CMIP5 se utilizó en el último informe.

A su vez, los resultados de los GCM se asocian a potenciales estados futuros del planeta, caracterizados a través de escenarios. El cuarto informe del IPCC formula 4 Escenarios SRES (Special Report on Emission Scenarios) de emisión de gases de efecto invernadero.

Los escenarios se agrupan en cuatro familias: A1, A2, B1 y B2 que analizan vías alternativas de desarrollo de similares características demográficas, sociales, económicas y de cambios y penetración de tecnologías, caracterizados a través de una descripción narrativa que incorpora las características principales del escenario, las relaciones entre los agentes determinantes y la dinámica de su evolución.

Los supuestos básicos sobre la evolución socioeconómica, demográfica y tecnológica se utilizan como punto de partida de las investigaciones sobre evaluación de la evolución futura de impactos y vulnerabilidad de sistemas ante el cambio climático.

Escenario A1: caracterizado por un crecimiento económico mundial muy rápido, con un máximo de la población mundial hacia mediados de siglo que posteriormente decrece, y una rápida introducción de tecnologías nuevas y más eficientes. Como resultado de un aumento de la interacción cultural tienden a desaparecer los patrones regionales específicos. La brecha existente entre regiones en relación con los ingresos per cápita se reduce sustancialmente. Considera tres alternativas de aprovisionamiento de energía: intensiva en combustibles fósiles (A1FI), energías de origen no fósil (A1T), y equilibrio entre las distintas fuentes (A1B).

Escenario A2: presenta mayor heterogeneidad debido a la preservación de las identidades locales. Se considera un incremento poblacional constante, y un desarrollo económico regional. El crecimiento económico per cápita y el cambio tecnológico están más fragmentados que en A1.

Escenario B1: describe un planeta convergente y sostenible, que incluye una mejora de la equidad, con la misma población mundial que A1, pero con una evolución hacia una economía de servicios y de información. Caracteriza reducciones en el consumo e introducción de tecnologías limpias y eficientes.

Escenario B2: representa un mundo caracterizado por soluciones locales orientadas a la sostenibilidad social, económica y ambiental. Asume una población creciente pero a tasas más lentas que en los otros escenarios, con niveles de desarrollo económico intermedios, y un cambio tecnológico lento pero variado.

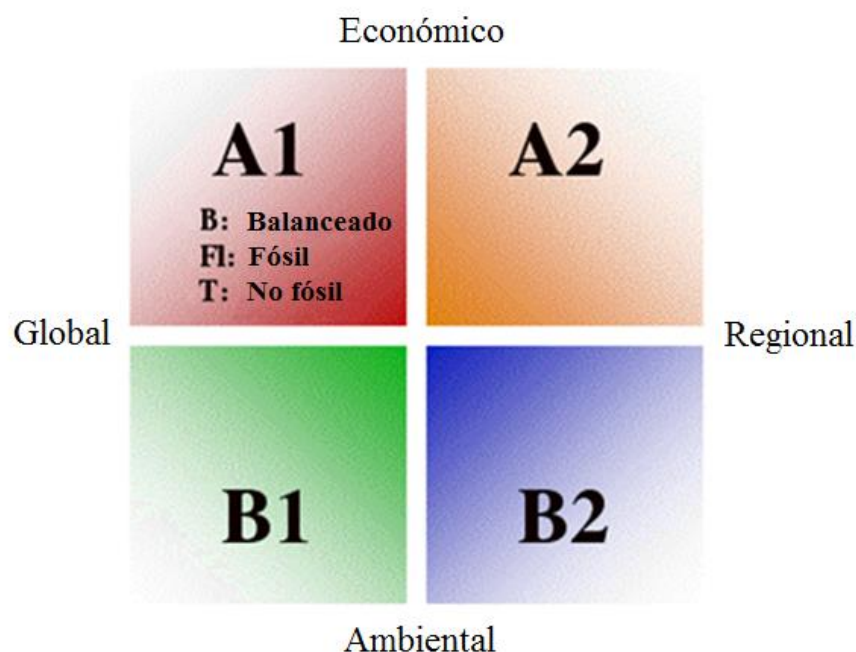


Figura 2-1.- Escenarios de Emisión IPCC (SRES)

Adaptado de: (IPCC, 2001)

De acuerdo a IPCC, las emisiones acumuladas de CO₂ determinan en gran medida el calentamiento global a finales del siglo XXI. Por lo cual actualmente, el IPCC utiliza las RCP (Representative Concentration Pathways) o Vías de Concentración Representativas definidas en base a una amplia gama de escenarios de emisiones reportados por la bibliografía especializada, según evaluación del Grupo de Trabajo III del IPCC (WGIII5). Las mismas son definidas a partir de la medida acumulada de las emisiones antropogénicas de gases de efecto invernadero (Watt/m²) acumuladas hasta el año 2100.

Las proyecciones de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) varían en un amplio rango, y son predominantemente determinadas por el tamaño de la población, la actividad económica, el estilo de vida, el uso de energía, los patrones de uso del suelo, la tecnología y la política climática. (IPCC, 2014b, p.8)

Las RCP utilizadas para realizar proyecciones basadas en estos factores describen cuatro caminos diferentes de las emisiones de GEI y de las concentraciones atmosféricas, emisiones de contaminantes del aire y usos del suelo durante el transcurso del siglo XXI.

Las RCP incluyen un escenario de mitigación riguroso (RCP2.6), representativa de un escenario que tiene como objetivo mantener el calentamiento global probablemente por debajo de 2°C por encima de las temperaturas preindustriales, dos escenarios intermedios (RCP4.5 y RCP6.0) y un escenario con emisiones de GEI muy altas (RCP8.5). Los escenarios de referencia (“baseline scenarios”) sin medidas específicas para limitar las emisiones conducen a las vías comprendidas entre RCP6.0 y RCP8.5 (Figura 2-2).

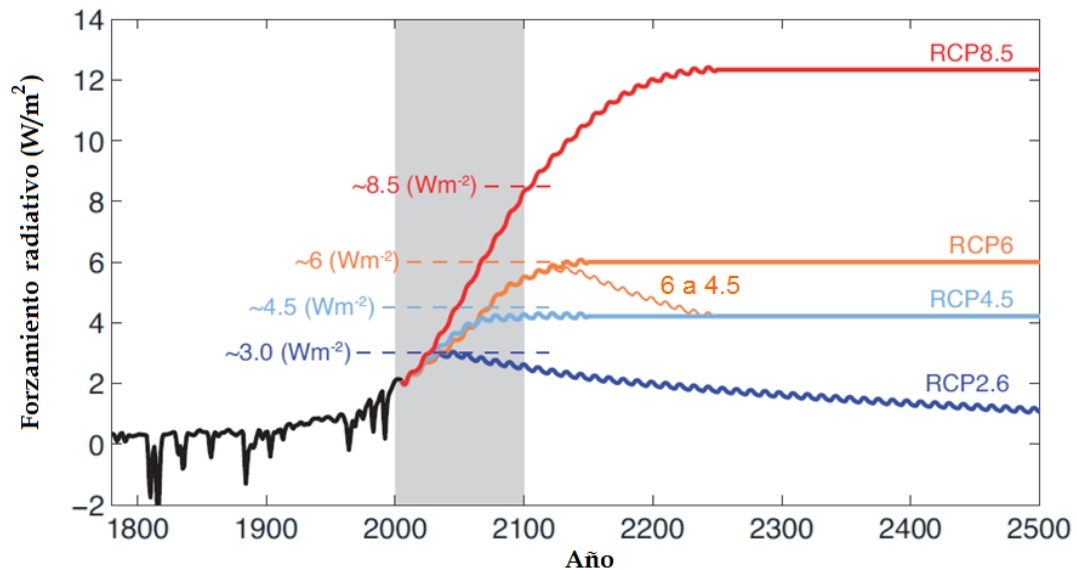


Figura 2-2.- Trayectorias de concentración representativas (RCP) - Forzamiento radiativo total (natural más antropogénico) en W/m^2
Adaptada de (IPCC, 2013a, p.147)

Esta representación desarrolla un conjunto de futuros escenarios posibles basados en la extrapolación de las tendencias actuales, e implica modelar la respuesta de la Tierra ante los cambios en las concentraciones de gases de efecto invernadero procedentes de fuentes naturales y antropogénicas. Utilizando horizontes de tiempo suficientemente largos, el análisis de escenarios tiene en cuenta el efecto de cambios estructurales en el sistema.

De acuerdo a IPCC, debido a que las RCPs abarcan el rango de posibles resultados, pueden ser vistos como apoyo al análisis formal de la incerteza. Sin embargo, están condicionados a los supuestos específicos asumidos en la generación de los escenarios.

En la Tabla 2-1 se señalan los rangos y valores medios correspondientes a cada trayectoria de concentración, donde el número asignado a cada RCP hace referencia al forzamiento radiativo producido por los GEI en el año 2100.

Mientras RCP 2.6 constituye un escenario que alcanza un pico cercano a $3W/m^2$ (aproximadamente 521 ppm de CO_2 equivalente) en el año 2100, con aumentos medios de la temperatura de $1,6^\circ C$, la trayectoria extrema RCP 8.5 es un escenario en que la concentración GEI se incrementa significativamente a lo largo del tiempo, llegando a $8.5 W/m^2$ (aproximadamente 936 ppm de CO_2 equivalente), con tendencia a continuar aumentando luego de ese período. Este es un escenario de elevada emisión de GEI que no considera la aplicación de ninguna medida de mitigación.

Tabla 2-1.- Incrementos proyectados de los valores medios de la temperatura y nivel del mar con respecto al período 1986-2005- (IPCC, 2014b, p.60)

Escenario	Concentraciones atmosféricas de dióxido de carbono en 2100	Incremento de temperatura 2081-2100		Incremento del nivel medio del mar 2081-2100	
		Promedio	Rango	Promedio	Rango
RCP2.6	421 ppm	1,0°C	0,3 - 1,7°C	0,40m	0,26-0,55m
RCP4.5	538 ppm	1,8°C	1,1 - 2,6°C	0,47m	0,32-0,63m
RCP6.0	670 ppm	2,2°C	1,4 - 3,1°C	0,48m	0,33-0,63m
RCP8.5	936 ppm	3,7°C	2,6 - 4,8°C	0,63m	0,45-0,82m

2.1.2. Potenciales problemas a escala urbana

Según datos reportados por SREX (Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change) existe evidencia de que ciertos cambios antropogénicos han contribuido a intensificar las precipitaciones extremas a escala global (con un nivel de confianza medio). (IPCC, 2012, p.112). (Para mayor información sobre las definiciones y clasificación de los niveles de confianza y probabilidad en condiciones de incerteza utilizados por IPCC, consultar (Stocker et al., 2013) y (Mastrandrea et al., 2010)).

De acuerdo al último informe del IPCC se establece que las proyecciones del CMIP5 confirman una clara tendencia de aumento del número de episodios de precipitación intensa a corto y largo plazo, previendo incrementos de la intensidad y frecuencia de las precipitaciones. En la mayoría de las masas continentales de latitudes medias y sobre las regiones tropicales húmedas, las precipitaciones extremas serán, muy probablemente más intensas y más frecuentes en un mundo más cálido. (IPCC, 2013c, p.112). La evidencia sugiere que la mayoría de los modelos subestiman la sensibilidad de la precipitación extrema ante tendencias de aumento de la temperatura, especialmente en los trópicos, lo que implica que los modelos pueden subestimar el aumento previsto de las precipitaciones extremas en el futuro.

De acuerdo a los datos reportados por IPCC, en base a las observaciones y proyecciones de los modelos climáticos, las estimaciones actuales prevén un incremento de las precipitaciones extremas con el calentamiento global. Las simulaciones del CMIP3 y CMIP5 proyectan un aumento de la media mundial de los períodos de retorno de 20 años, para la precipitación máxima anual de 24 horas, comprendido entre 6 y 7% por cada °C de calentamiento medio global, con estimaciones comprendidas en el rango de 4 a 10% cada °C en la mayoría de los modelos de simulación (Kharin et al, 2007), (Kharin et al, 2013), (IPCC, 2013b, p.912).

Los problemas potenciales derivados del cambio climático a escala urbana están principalmente vinculados a las siguientes variables climáticas: distribución espacial y temporal y volúmenes de precipitación, patrón de los vientos y temperatura.

Los sistemas de drenaje urbano son particularmente sensibles al patrón de distribución espacial y temporal como al volumen total de las precipitaciones, que presentan efectos significativos en la sobrecarga de los conductos e inundaciones urbanas.

La modificación de los patrones temporales de precipitación resulta de especial interés, debido a que la ocurrencia de tormentas intensas posteriores a períodos prolongados de lluvias leves incrementa el almacenamiento superficial y subsuperficial, resultando en suelos próximos a la saturación al inicio de lluvias intensas. Como

consecuencia, es previsible un incremento de los volúmenes y tasas máximas de escorrentía. (Nie, 2012, p.12)

A su vez, la temperatura condiciona el tipo de precipitación (lluvia o nieve) por lo cual resulta determinante en áreas con temperaturas medias ligeramente inferiores a cero y con fuertes nevadas durante el invierno. El incremento de temperatura puede provocar la precipitación en forma de lluvia en lugar de nieve, aumentando sustancialmente la escorrentía durante el invierno. A su vez, la acumulación de nieve se traduce en aumentos del escurrimiento por deshielo en invierno y primavera.

El aumento de la temperatura media puede incrementar las tasas de evapotranspiración en zonas húmedas. Sin embargo, en cuencas urbanas con grandes áreas impermeables, la evapotranspiración es de menor importancia que en cuencas naturales.

Las modificaciones en el patrón de los vientos y su incidencia sobre las tormentas (velocidad y dirección con respecto a la red de drenaje) pueden alterar el patrón de la escorrentía superficial y los mecanismos de deposición de contaminantes en áreas urbanas.

En contextos de cambio climático han sido identificados los siguientes problemas, que afectan directamente la eficiencia de los sistemas de drenaje urbano (Nie, 2012, p.17): se prevé un aumento de la frecuencia y severidad de los problemas de anegamiento en áreas urbanas, debido al crecimiento de zonas pavimentadas y a la insuficiencia de la capacidad de los sistemas de traslado y almacenamiento del escurrimiento pluvial. El mismo se asocia a importantes daños económicos, que afectan a las actividades sociales y comerciales, y genera un aumento del riesgo de enfermedades de origen hídrico.

A su vez, los cambios eventuales en los patrones de precipitación y viento podrían modificar la dinámica de la deposición y arrastre (wash-off) de los contaminantes de las superficies urbanas, originando un cambio en las concentraciones y masa transportada por los sistemas de drenaje.

2.2. Incerteza del cambio climático

2.2.1. Caracterización de la incerteza

El término incerteza constituye la representación de un estado de duda acerca de la creencia en la veracidad de un determinado conocimiento. Es usualmente definido como la carencia de certeza, y su significado presenta límites amplios que tienen origen en su interpretación subjetiva.

La incerteza puede ser entendida como la falta de certeza o seguridad acerca de algo (o alguien) (Kundzewicz, 1995), que va desde la falta total de conocimiento (sobre hechos, mecanismos, procesos, resultados) hasta pequeñas dudas (Allasia, 2002).

Zimmermann define a la incerteza como “un fenómeno, una característica de los sistemas del mundo real, un estado mental o rótulo para una situación” en que el ser humano pretende realizar afirmaciones (describir, predecir determinar, etc.) acerca de los fenómenos (realidad, modelos, teorías) que representan un sistema o su comportamiento.

La incerteza implica que el individuo carece de la información apropiada (cuantitativa y cualitativamente) para describir, prescribir o predecir de forma

determinista y numéricamente un sistema, su comportamiento u otros fenómenos. (Zimmermann, 1998)

En el campo de la gestión de los recursos hídricos, si bien el término incerteza tiene un significado específico en el contexto de la modelización hidrológica, parece no existir un consenso generalizado acerca de su interpretación, concibiéndose con diferentes grados de generalidad.

Las variables más relevantes incluyen la incerteza sobre la estructura futura del mundo, sobre los cambios futuros del medio ambiente y sobre la adecuada valoración de las consecuencias. (Kundzewicz, 1995)

En el contexto de sistemas y procesos hidrológicos, dada su complejidad y variabilidad natural, el fenómeno adquiere implicancias más profundas: la incerteza afecta también a los mecanismos dominantes y a la comprensión de los procesos involucrados.

Según (Schneider & Kuntz-Duriseti, 2002) tanto la falta de información como el desacuerdo sobre lo que se conoce constituyen fuentes de incerteza. Los autores señalan que la misma surge de factores tales como la imprecisión lingüística (ambigüedad en la definición de conceptos y terminología), la variación estadística, el error de medición, la variabilidad, la aproximación, el juicio subjetivo, y el desacuerdo.

Algunas categorías pueden cuantificarse, pero otras no se pueden expresar fácilmente en términos de probabilidades, indicándose algunos ejemplos de fuentes de incerteza típicas: (Schneider & Kuntz-Duriseti, 2002, p.56), (Moss & Schneider, 2000, p.38).

Incerteza en los datos:

- Datos faltantes o errores en los datos.
- "Ruido" en los datos asociados con observaciones parciales o incompletas.
- Errores y sesgos (no representatividad) de la muestra.

Incerteza en los Modelos

- Procesos conocidos, pero no las relaciones funcionales de y entre los procesos, o errores en la estructura del modelo.
- Desconocimiento o errores de los parámetros relevantes.
- Variación temporal de los parámetros o de la estructura del modelo.
- Previsibilidad del sistema o posibles efectos (ej: comportamiento caótico o estocástico).
- Técnicas de aproximación utilizadas para resolver el conjunto de ecuaciones que caracterizan el modelo.

Otras fuentes de incerteza

- Ambigüedad en la definición de conceptos y terminología.

- Escalas espaciales o temporales inapropiadas (debido a su escala global, períodos muy prolongados entre la generación y la respuesta, baja frecuencia con períodos mayores que la longitud de la mayoría de los registros instrumentales, y/o imposibilidad de controles posteriores a la generación de los fenómenos).
- Hipótesis inadecuadas o falta de confianza en las hipótesis.
- Proyecciones del comportamiento humano (ej: patrones de consumo o cambios tecnológicos futuros)
- Evolución del comportamiento de agentes "naturales" (ej: sensibilidad climática)

Estos problemas se ven agravados por la escala global del cambio climático, y su estrecha vinculación con la implementación de políticas públicas, que incluyen la interrelación de aspectos científicos y sociales complejos. Por este motivo, aun contando con información confiable y metodologías de análisis adecuadas, las mismas pueden resultar insuficientes para resolver algunas incertezas asociadas a los diferentes niveles de evidencia y grados de aversión al riesgo o aceptación que los involucrados en este debate pueden tener.

2.2.2. Cambio climático e incerteza severa

De acuerdo a (Groves et al., 2008) el campo de la gestión de los recursos hídricos ha orientado tradicionalmente sus esfuerzos a satisfacer los objetivos de confiabilidad del sistema y protección ambiental, frente a la gran cantidad de fuentes de incerteza inherentes a los fenómenos involucrados que incluyen las proyecciones demográficas y económicas, la variabilidad intrínseca del clima, y el cambio climático a corto plazo.

Sin embargo actualmente se enfrenta a una nueva fuente de incerteza: el cambio climático potencial a largo plazo, que en los próximos años puede afectar significativamente la disponibilidad de oferta y patrones de demanda de agua.

(Davis, 1943) introduce una distinción entre la incerteza normal y la incerteza profunda. En el primer caso, se comprende un fenómeno y se cuenta con modelos conceptuales apropiados para valorar los resultados. Por lo que en esta situación es posible hacer frente a la incerteza a través de las versiones estándar de análisis probabilístico o análisis de sensibilidad. La condición de incerteza profunda, en cambio, es aquella en la que se desconoce o no puede alcanzarse un acuerdo acerca de alguno o varios de los siguientes factores: (Davis, 1943, p.1), (Lempert et al 2003).

- Los modelos conceptuales apropiados para describir las relaciones entre las principales fuerzas motoras que darán forma al futuro a largo plazo.
- Las distribuciones de probabilidad usadas para representar la incerteza acerca de variables y parámetros significativos en las representaciones matemáticas de estos modelos conceptuales.
- La metodología a emplear para valorar la conveniencia de resultados alternativos.

En el contexto del cambio climático, si bien la actualización de los CGM es continua, persisten muchas fuentes de incerteza inherentes a las proyecciones de las variables climáticas que incluyen, entre otras (IPCC 2007):

- **Escenarios de emisiones:** los escenarios propuestos por IPCC constituyen la representación del rango posible de escenarios futuros, abarcando los casos más desfavorables y más optimistas. Sin embargo, actualmente existe un grado considerable de incerteza asociada a las futuras emisiones globales de GEI.
- **Limitaciones de los datos:** el conjunto de datos históricos disponibles para la calibración de los MCG es espacialmente sesgada hacia los países desarrollados. Además, las dificultades asociadas al monitoreo de los eventos extremos dificultan las comparaciones.
- **Conocimiento Científico:** los modelos representan la interpretación actual de la respuesta física de la Tierra ante aumentos de las emisiones de GEI. Sin embargo en la actualidad aún persisten vacíos de conocimiento sobre la respuesta del planeta al calentamiento global, y sobre la importancia de los circuitos de retroalimentación global.

A su vez, de acuerdo a las conclusiones elaboradas en AR5, las principales fuentes de incerteza que afectan específicamente al desempeño de los modelos climáticos están asociadas a los siguientes factores:

- **Representación de los procesos:** se debe a la complejidad de representación matemática (parametrización) de algunos procesos simulados por los modelos climáticos.
- **Errores de propagación:** se generan cuando el desvío de un modelo produce perturbaciones en otros modelos, originando una cadena causal o un conjunto de sesgos interrelacionados.
- **Sensibilidad a la resolución:** ocasionada por diferencias en la sensibilidad de los procesos simulados a la resolución horizontal y/o vertical del modelo.
- **Calidad/cantidad de datos observados:** constituye un problema frecuente en la evaluación de tendencias climáticas, originado por una longitud o calidad insuficiente de los datos observados, que afectan la confiabilidad de las estimaciones.
- **Otros factores:** el desempeño de los modelos puede ser afectado por otro tipo de factores como la incerteza asociada a los gases de efecto invernadero, la emisión de aerosoles, los cambios de uso del suelo, etc. Estos factores influyen en los resultados del modelo y confiabilidad de sus estimaciones.

Existe un consenso internacional acerca de que la información sobre los efectos futuros del cambio climático es profundamente incierta, y probablemente continuará siéndolo en el futuro cercano.

Es por este motivo que la comunidad científica plantea el debate sobre la manera más útil de caracterizar esta información aún incierta y transferirla a los tomadores de decisión. (Groves et al., 2008, p.xi)

2.2.3. Metodologías para la gestión en escenarios de incerteza

El abordaje de la incerteza por parte de los tomadores de decisión se ha basado tradicionalmente en el análisis probabilístico de datos históricos, para la representación del comportamiento futuro de factores variables e inciertos (Groves et al., 2008).

En condiciones de incerteza profunda o severa, las probabilidades de ocurrencia de escenarios futuros son imprecisas y/o la estructura de los modelos que relacionan los eventos y sus consecuencias futuras son indeterminadas.

Las teorías y modelos actuales pueden perder validez y capacidad de predicción en el tiempo (Oppenheimer et al., 2008) citado por (IPCC, 2012, p.48), como consecuencia de alteraciones del sistema físico inducidas por el cambio climático.

Al respecto, IPCC señala que el sistema climático es inherentemente no lineal y caótico, lo cual sumado al conocimiento imperfecto de los estados actual y pasados del sistema, hace que la capacidad de predicción sea también inherentemente limitada. “Incluso aunque se utilicen modelos y observaciones arbitrariamente precisos, existen limitaciones a la predictibilidad de un sistema no lineal como el clima” (IPCC 2013c, p. 1447).

De acuerdo a IPCC, este tipo de incerteza puede afectar no sólo la comprensión de los fenómenos climáticos futuros, sino también a los patrones de la vulnerabilidad humana (definida en el Ítem 1.4) y la capacidad de responder a este tipo de eventos.

La literatura reciente ha explorado una gran variedad de metodologías de soporte a las decisiones cuando resulta difícil o imposible estimar con precisión probabilidades de eventos y sus consecuencias adversas (McGray et al 2007), (IIED, 2009), (Schipper, 2009). Según (IPCC, 2012), los enfoques para la caracterización de la incerteza incluyen métodos de escenarios cualitativos (Parson et al., 2007), conjuntos difusos (Chongfu, 1996), (El-Baroudy & Simonovic, 2004), (Karimi & Hüllermeier, 2007), y el uso de rangos de valores o conjuntos de distribuciones en reemplazo de valores individuales (Mastrandrea et al., 2010).

Varios autores han sugerido gestionar la incerteza profunda a través de políticas robustas, que se desempeñan bien en una amplia gama de futuros escenarios posibles (Dessai & Hulme, 2006), (Groves & Lempert, 2007), (Means et al., 2010), (Wilby & Dessai, 2010), (Dessai & Wilby, 2011), (Reeder & Ranger, 2011). Mediante esta metodología se examina sistemáticamente el desempeño de un plan sobre más de miles de posibles escenarios biofísicos y socioeconómicos, y luego determina los conjuntos de escenarios para los cuales el comportamiento es más sensible (Kirshen et al., 2014)

2.2.4. Incorporación al proceso de planeamiento

Los principios generales de flexibilidad y robustez son clave para la planificación en contextos de cambio climático. Actualmente existen diversos marcos para la toma de decisiones, que incorporan variaciones de estrategias robustas y flexibles, incluida la Gestión del riesgo (NAS, 2011), Decision Scaling (Brown, 2010), y Escenarios tradicionales de la planificación (Means et al., 2010). Todos los marcos se basan en la participación y compromiso de las partes involucradas y están limitados por la incerteza (USEPA, 2011, p.7_9).

2.2.4.1. El principio de precaución y toma de decisiones robustas

El principio de precaución implica que si se sospecha del riesgo de daño al público o al medio ambiente, las medidas necesarias deben ser adoptadas, incluso si no han sido establecidas las relaciones de causa y efecto.

Comenzó a ser formalmente utilizado como perspectiva de gestión para abordar la incerteza en el medio ambiente natural y para la salud pública entre los años 1970 y 1980 (Vlek, 2010, p.518).

El principio 15 de la Declaración de Río sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo (ONU, 1992) establece que: "Cuando haya peligro de daño grave o irreversible, la falta de certeza científica absoluta no deberá utilizarse como razón para postergar la adopción de medidas costo-efectivas para prevenir la degradación del medio ambiente".

De acuerdo a la Conferencia de Wingspread sobre el Principio de precaución (1998): "El principio de precaución permite formular políticas para prohibir productos o sustancias en situaciones en las que existe la posibilidad de que causen daños y/o donde no se cuenta con un amplio conocimiento científico sobre sus riesgos. Estas acciones podrán suavizarse sólo si surgen otros hallazgos científicos que proporcionen pruebas sólidas de que no causarán ningún daño".

Según (IPCC, 2014a, p.172) la toma de decisiones robusta RDM (Robust decision making) es un conjunto de métodos desarrollados en la última década para abordar el principio de precaución de manera sistemática. RDM captura el espíritu del principio de precaución de una manera que ilumina sobre los riesgos y beneficios de las diferentes políticas.

(Lempert et al., 2006) y (Hall et al., 2012) analizan la aplicación de estrategias robustas para la toma de decisiones con respecto a la mitigación o adaptación al cambio climático. Según Lempert la implementación de Análisis de Políticas a Largo Plazo (LTPA: Long-Term Policy Analysis), tiene como objetivo orientar las decisiones de los responsables políticos, cuyas acciones pueden tener implicancias significativas en escenarios futuros (Lempert et al, 2003).

El propósito del Análisis LTPA consiste en la identificación, evaluación y selección de acciones a corto plazo que determinarán las opciones disponibles para las futuras generaciones.

Los autores sugieren el análisis RDM, que consiste en un método cuantitativo de análisis para la toma de decisiones, cuyo objetivo se centra en la identificación del conjunto de estrategias que funcionan razonablemente bien sobre un amplio rango de probables escenarios futuros (Lempert et al, 2003), las cuales se adoptan como escenarios relevantes para la ejecución de políticas a largo plazo.

Para ello RDM ejecuta series de simulaciones en modelos computacionales con el objeto de estimar el desempeño de una estrategia ante múltiples combinaciones de parámetros de entrada, y emplea algoritmos estadísticos para caracterizar, de la manera más simple posible, los valores de los parámetros de entrada que generan un mal desempeño de la estrategia (Groves et al., 2008).

Estos valores de los parámetros delimitan una región de los datos de entrada al modelo que se convierte en un escenario de mal desempeño de la estrategia. En otros términos, RDM evalúa un amplio rango de posibles resultados para caracterizar el escaso número de escenarios que representan vulnerabilidades potenciales de las políticas de acción a largo plazo, para mejorar la comprensión de las condiciones que originan resultados desfavorables.

2.2.4.2. Gestión adaptativa

Según el informe especial SREX (IPCC, 2012, p.378) la gestión adaptativa representa el conjunto de procesos estructurados para mejorar la toma de decisiones y las políticas públicas a través del tiempo, mediante la incorporación de lecciones aprendidas. Este enfoque incorpora mecanismos para reducir la incerteza en el tiempo (Holling, 1978; Walters y Hilborn, 1978) citados por (IPCC, 2014a, p.173).

La gestión adaptativa, del mismo modo que el caso convencional de control de gestión, contempla el monitoreo, análisis y evaluación de decisiones. Sin embargo, los casos típicos de control de gestión usualmente implican la evaluación de objetivos específicos y bien determinados, mientras que la gestión adaptativa se orienta a una serie de elecciones con consecuencias indeterminadas, sujetas a un aprendizaje continuo en la medida en que se incorporan nuevos escenarios, o se modifica la información sobre sus impactos.

La importancia de los aspectos científicos y sociales sugiere la necesidad de que el público, los expertos técnicos y los tomadores de decisión participen de un proceso de aprendizaje mutuo e integrado. En este sentido, el mayor desafío es la comunicación de la información científica sobre los riesgos y las incertezas de los posibles escenarios de cambio climático.

La interacción entre expertos técnicos, miembros del público y tomadores de decisión que integran el sistema (de gestión de la incerteza profunda) es considerada como un "proceso de interfase" (Figura 2-3). El uso de este tipo de procesos es cada vez mayor en los entornos de decisión relacionados con la información científica compleja y de múltiples valores y objetivos sociales. Los procesos de interfase adecuadamente diseñados proporcionan beneficios sustanciales en el flujo de información entre las diferentes áreas, mejorando la integración de perspectivas usualmente en competencia: la disponibilidad de información científica, su capacidad de utilización y la percepción sobre la utilidad y aplicabilidad de esta información. (Moss et al., 2014, p.623)

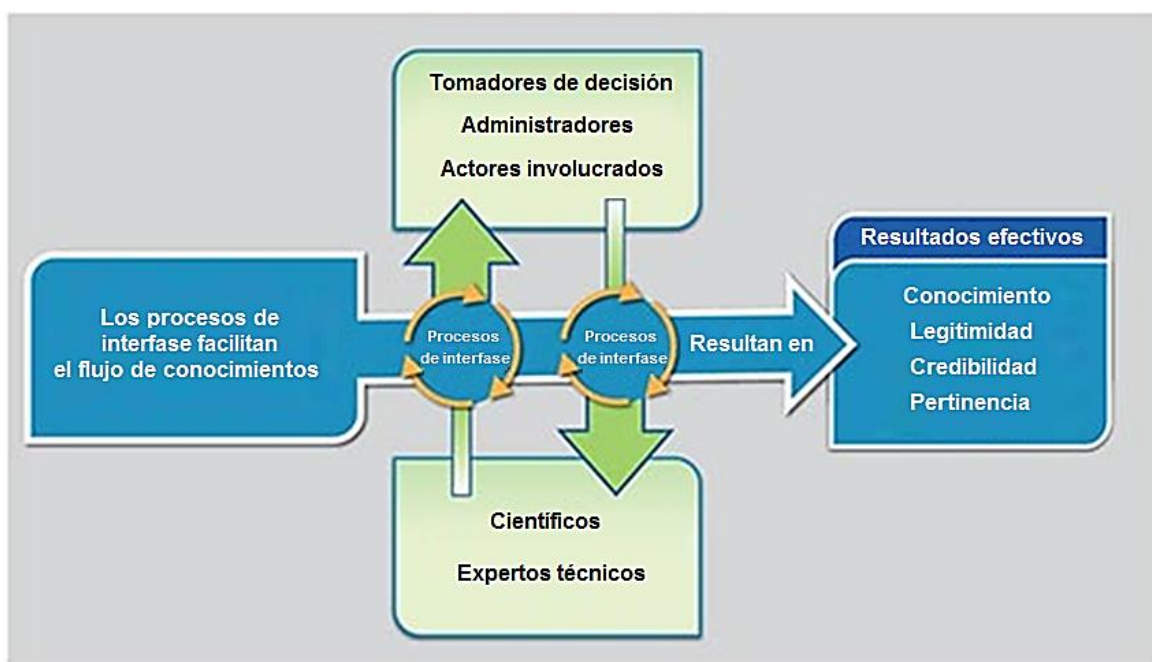


Figura 2-3.- Procesos de interfase - Interrelación entre áreas involucradas.
(Fuente: Moss et al, "Climate Change Impacts in the United States", Capítulo 26, 2014)

El modelo incluye las siguientes fases o etapas resumidas en la Figura 2-4 (UKCIP, 2003, p.7):

Fase 1: Identificación del problema y objetivos: en esta etapa se definen la naturaleza del problema y los objetivos generales del tomador de decisiones y el contexto más amplio de la decisión

Fase 2: Determinación de criterios de decisión: es de gran importancia, especialmente en escenarios de mayor incerteza, para evitar la selección de decisiones inadecuadas, por lo cual el modelo de gestión adaptativa resalta la necesidad de revisión de estas etapas, con énfasis en la evaluación de los riesgos asociados al cambio climático.

Fase 3: Evaluación del riesgo: en esta etapa se caracteriza la naturaleza del riesgo, se proveen sus estimaciones cualitativas y cuantitativas, se evalúan las consecuencias de la incerteza en las opciones de decisión, y se comparan las fuentes de incerteza, incluyendo las climáticas.

Fase 4: Identificación y evaluación de opciones: en condiciones de incerteza y probabilidades desconocidas se recomiendan las opciones robustas, que funcionan razonablemente bien en una amplia gama de escenarios futuros.

Fase 5: Toma de Decisiones: la valoración de las opciones establecidas en la Fase 4 permite establecer la opción más conveniente. La toma de decisiones puede también involucrar una combinación de opciones o estrategias, para alcanzar el menor costo social, económico y medio ambiental.

Fase 6: Implementación: constituye la ejecución de la decisión, usualmente acompañada por políticas de gestión de riesgos.

Fase 7: Monitoreo: en esta fase se supervisa el desempeño de la decisión, siendo necesario desarrollar indicadores de control de performance de la opción adoptada.

Fase 8: Análisis y reevaluación de la decisión: revisión del riesgo asociado al cambio climático, en base a la actualización de los escenarios o de la información sobre sus impactos.

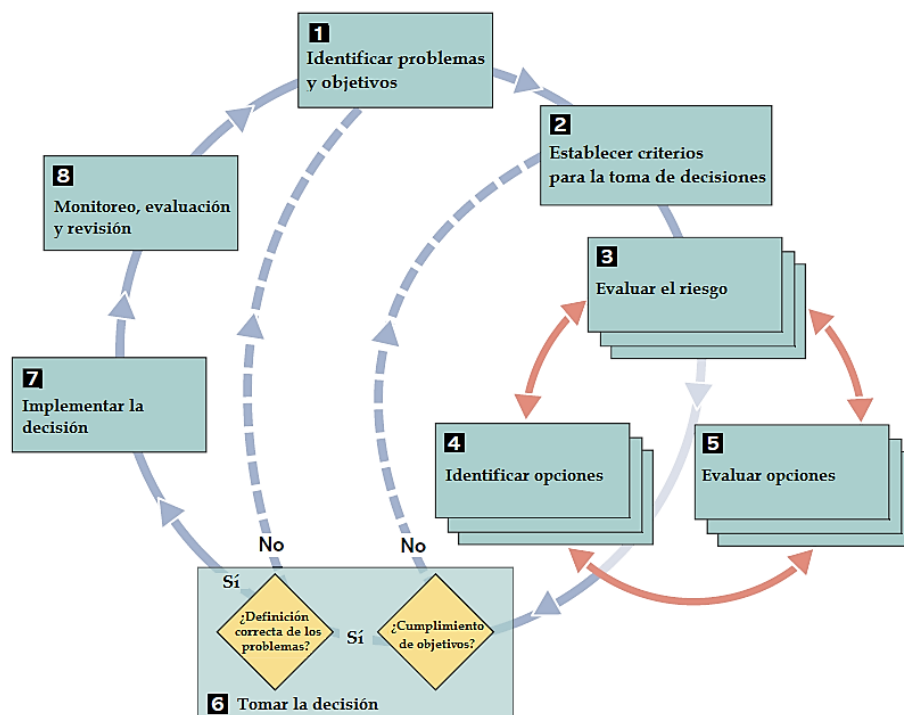


Figura 2-4.- Modelo de Gestión Adaptativa para la toma de decisiones.
(Fuente: UK Climate Impacts Programme 2003, pág. 7)

2.2.5. Estrategias de adaptación

El grado de incerteza actual de los resultados de los modelos climáticos impide contar con información precisa en el futuro inmediato, por este motivo los tomadores de decisión deben recurrir al empleo de nuevas estrategias de adaptación a la incerteza profunda asociada al cambio climático.

Debido a que la variabilidad climática se desarrolla en un amplio rango de escalas de tiempo, para la gestión y adaptación a riesgos climáticos a menudo se dispone de un registro histórico de las acciones previas, que de acuerdo a las recomendaciones del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC, 2012) constituyen una base para el aprendizaje, a través de la evaluación de respuestas, intervenciones, y recuperación de los impactos anteriores.

El aprendizaje es más eficaz cuando orienta a la evaluación de las estrategias de gestión del riesgo, en particular a la asignación de recursos, riesgo compartido, respuesta a desastres y acciones de recuperación, y cuando se relaciona con una amplia gama de grupos de interés, particularmente con las comunidades afectadas.

En presencia de incerteza profunda, la gestión del riesgo y la adaptación al cambio climático permiten afrontar adecuadamente la situación actual, y anticiparse a una amplia gama de posibles escenarios climáticos futuros mediante la aplicación de un conjunto de estrategias, que de acuerdo a su desempeño pueden clasificarse como:

- Óptimas: estrategias de mejor desempeño, según criterios predeterminados.
- Robustas: medidas de desempeño razonable en un amplio rango de escenarios futuros.
- Precautorias: el principio de precaución implica que si se sospecha el peligro de daño grave o irreversible, deben tomarse medidas precautorias incluso si no han sido establecidas las relaciones causa efecto del fenómeno.

De acuerdo a (Kirshen et al., 2014) el desarrollo de una estrategia puede variar desde aproximaciones por ensayo y error, basadas en la comparación del rendimiento de varias estrategias para un conjunto reducido de escenarios y criterios (Kirshen et al., 2012), hasta métodos sofisticados, como Decision Scaling (Brown et al., 2011) y la toma de decisiones robusta (Hall et al., 2012).

La aproximación Decision Scaling determina los conjuntos de condiciones de cambio climático para los que un plan de adaptación es más sensible, centrándose en determinar la probabilidad de que estas condiciones de cambio climático ocurran. Una vez conocida la misma, esta información adicional sobre los escenarios climáticos futuros puede ser utilizada para evaluar los planes en general.

Las estrategias de adaptación también pueden ser generadas a partir de las salidas de modelos de optimización complejos, como el desarrollado por (Ray et al 2012) mediante la optimización robusta, o el uso de opciones reales como se discute en (Gersonius et al., 2013) y (Wang & De Neufville, 2006)

Según (Kirshen et al., 2014, p.2) la ventaja de utilizar modelos de optimización para generar alternativas radica en que a partir de ellos es teóricamente posible examinar la totalidad del horizonte de planificación y los vínculos entre los componentes de una estrategia, permitiendo seleccionar, a partir de un conjunto de posibles alternativas, un grupo mucho más acotado y razonable de estrategias de adaptación.

Debido a que los modelos climáticos carecen actualmente de la precisión suficiente para establecer marcos de referencia para la toma de decisiones, la única solución consiste en modificar esos marcos, para que sean capaces de considerar la incerteza. Para esto, las estructuras deberán diseñarse reconociendo que su funcionamiento se realizará frente a un mayor rango de condiciones climáticas, y que este rango es y seguirá siendo muy incierto. (Hallegatte, 2009, p.242)

El Programa de impactos climáticos del Reino Unido (UKCIP) define a las estrategias de adaptación al cambio climático como una combinación de medidas y opciones, que se seleccionan para satisfacer criterios determinados de gestión. Una parte integral de una estrategia de adaptación es la actitud del tomador de decisiones frente a los riesgos climáticos y no climáticos, sus prioridades de gestión de riesgos, así como el nivel de riesgo tolerable (UKCIP, 2003, p.66).

Como respuestas a los impactos del cambio climático se han propuesto una amplia variedad de estrategias de adaptación, que si bien pueden implementarse individualmente han demostrado un mejor desempeño cuando se enmarcan en un conjunto planificado de medidas. Muchas de ellas representan una mejora de la gestión de recursos en el contexto actual, y otras tienen beneficios en el manejo de riesgos futuros. Entre ellas, pueden mencionarse las siguientes estrategias identificadas a nivel internacional (Hallegatte, 2009):

1.- Estrategias No-Regret: implican la toma de decisiones relevantes en las políticas de adaptación al cambio climático, que tienen justificación en sí mismas desde el punto de vista del desarrollo, aunque la amenaza climática específica no llegara a manifestarse en el futuro. Como ejemplo se incluyen las políticas de uso del suelo, destinadas a limitar la urbanización y el desarrollo en áreas inundables. Esta estrategia se asocia a una reducción de las pérdidas previstas en el clima actual, y el contexto de cambio climático potencial sólo las hace más convenientes.

2.- Estrategias Reversibles: se trata de opciones que proveen beneficios bajo una amplia variedad de condiciones climáticas. Las políticas de adaptación deben favorecer las estrategias de tipo reversible y flexible sobre las opciones irreversibles. El objetivo es minimizar el costo de los errores de predicción sobre el futuro cambio climático. Como ejemplos se mencionan la implementación de defensas contra inundaciones de bajo costo, que permiten su fácil adaptación en caso de que resulten insuficientes ante la evolución climática, y la implementación de sistemas de alerta temprana, que se ajustan anualmente en función de la llegada de nueva información.

3.- Estrategias que incorporan márgenes de seguridad: el sobredimensionamiento de la infraestructura basado en criterios de diseño conservadores reduce su vulnerabilidad, a costos nulos o muy bajos. Como ejemplo, según datos reportados por (Hallegatte, 2009), el dimensionamiento de la red de drenaje pluvial de Copenhague utiliza actualmente valores de escorrentía superficial que equivale a un valor 70% superior al nivel actual. Una fracción de este incremento se asigna al incremento de impermeabilidad asociado al crecimiento poblacional, y el resto es adoptado para afrontar el cambio climático. La precisión en la calibración de este incremento no resulta posible como consecuencia de la incerteza asociada al cambio climático, sin embargo el mismo resulta lo suficientemente elevado como para afrontar los efectos previstos del cambio climático en este siglo, en base a la información proporcionada por los modelos climáticos.

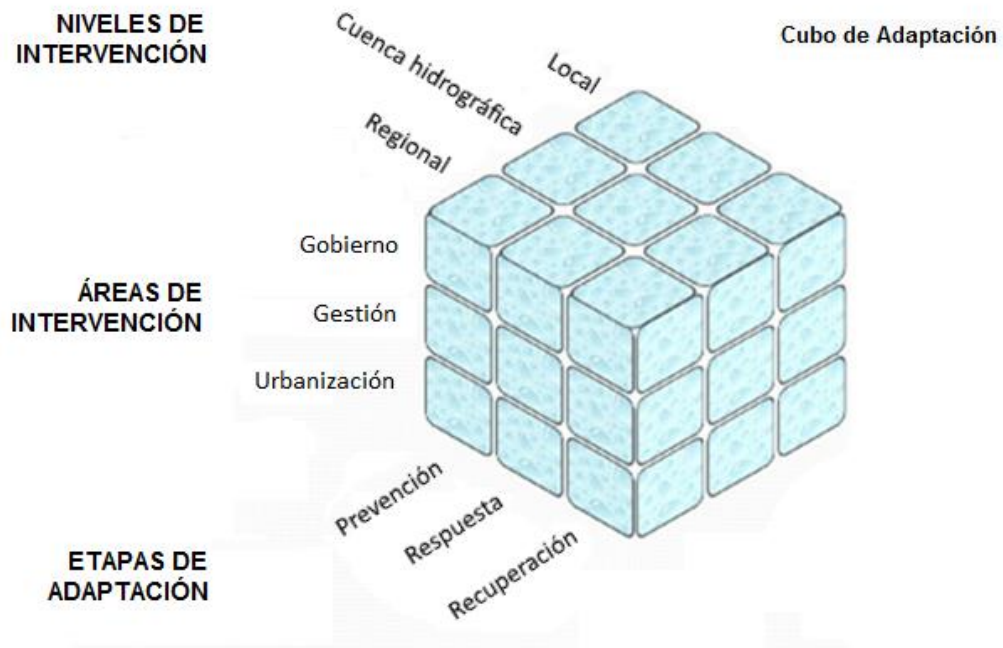


Figura 2-5.- Estrategias de Adaptación No Regret
Fuente: (SADC, 2011)

4.- Estrategias Blandas: implican un aumento de la eficiencia de la adaptación al cambio climático a partir de la implementación de herramientas institucionales o financieras. Como ejemplo se menciona la “institucionalización” de horizontes de planificación a largo plazo, que permiten anticipar problemas e implementar soluciones adecuadas. Este tipo de estrategia contempla también la implementación de sistemas de alerta, de evacuación y sistemas de seguros de los eventuales damnificados, cuya aplicación puede resultar económicamente más conveniente que la ejecución de medidas estructurales. Las estrategias blandas son a su vez estrategias de tipo reversible.

5.- Estrategias que reducen los horizontes de toma de decisiones: una opción para limitar los costos asociados a la incerteza del cambio climático es la reducción de la vida útil de la infraestructura. Como ejemplo, si las políticas de acción prevén la urbanización en áreas susceptibles a la inundación en escenarios de cambio climático, una alternativa puede consistir en la implementación de planes de construcción de viviendas de bajo costo, con una vida útil más corta, en lugar de la construcción de viviendas de calidad alta y elevada vida útil.

Entre los antecedentes internacionales de implementación de estrategias de adaptación al cambio climático en áreas urbanas, se menciona la iniciativa desarrollada por los municipios canadienses: “Canadian Communities Guidebook for Adaptation to Climate Change” (Bizikova et al 2008), que contempla un proceso continuo de planificación para orientar a los tomadores de decisión en la incorporación del cambio climático a la gestión del drenaje urbano.

Entre otras, la guía sugiere las siguientes soluciones para minimizar los impactos potenciales del cambio climático:

- Utilización de infraestructura verde en áreas urbanas para atenuar los caudales máximos y limitar inundaciones repentinas: como espacios abiertos, bosques, árboles en las calles, campos, parques, instalaciones deportivas al aire libre, jardines comunitarios, pueblos verdes, jardines privados, techos y paredes verdes.

- Incorporación de pavimentos fríos o porosos.
- Preservación de los usos del suelo requeridos para la gestión actual y futura de riesgos de inundación.
- Compensación financiera a agricultores que prestan "servicios azules", al permitir que sus tierras agrícolas puedan ser inundadas.
- Recreación de llanuras de inundación funcionales.
- Introducción de evaluación de riesgos participativa como parte del planeamiento a largo plazo del desarrollo local y regional.
- Planificación considerando una mayor frecuencia de eventos extremos para promover la resiliencia de la comunidad a largo plazo.

De acuerdo a datos reportados por (Nie et al., 2011, p.28) correspondientes a Noruega, la directriz de agua "Norwegian Water Guideline 2008" fue revisada para incluir medidas de adaptación al cambio climático en la gestión de las aguas pluviales superficiales (Lindholm et al., 2008), cuyos principios están centrados en la aplicación de sistemas de drenaje urbano sostenibles (SUDSs).

Para reducir los efectos adversos del fenómeno, la directriz recomienda a los municipios evaluar nuevas medidas y diseñar sus sistemas de drenaje de acuerdo con las estrategias de tres etapas ilustradas en la Figura 2-6. Recomienda a los municipios considerar la gestión de las aguas pluviales en el plan de desarrollo del municipio para el desarrollo, tales como:

- El escurrimiento pluvial no puede ser drenado por el sistema cloacal subterráneo.
- Aplicación de sistemas de drenaje urbano sostenible (SUDS), como incrementos de la capacidad de infiltración y de detención, que deben incorporarse en todos los niveles en la planificación de áreas de los municipios.
- El escurrimiento pluvial no puede ser manejado mediante medidas que trasladen los excesos al sistema de macrodrenaje sin causar daños significativos. El período de retorno de las lluvias para el macrodrenaje debe ser de 100 años.
- La escorrentía contaminada debe ser tratada antes de su descarga al curso receptor.

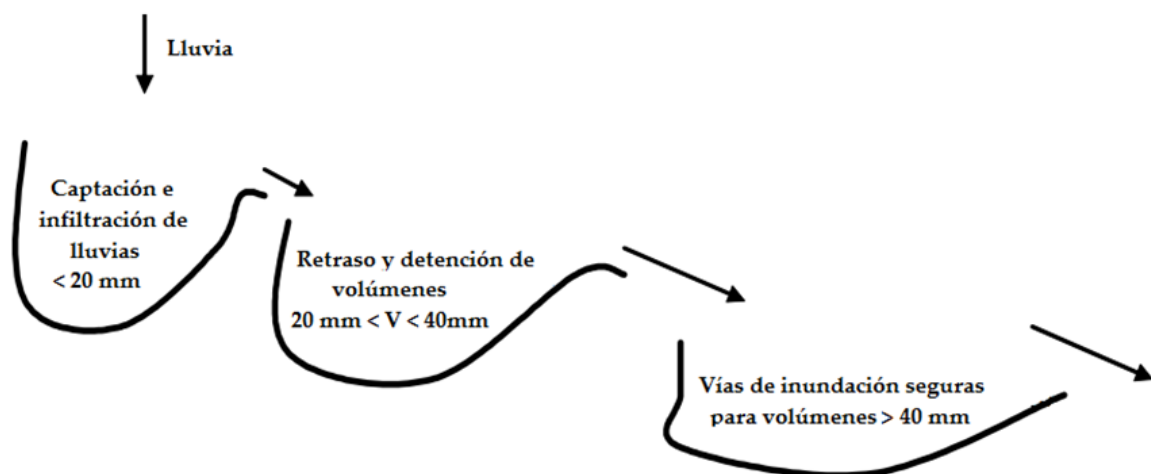


Figura 2-6.- Estrategia para manejar la escorrentía urbana y las inundaciones (Adaptada de Lindholm et al., 2008)

La Tabla 2-2 adaptada de (Nie et al., 2011, p.89) resume el conjunto de posibles estrategias (previstas y/o en ejecución) para reducir el riesgo de inundaciones ante la presencia incrementos de la frecuencia e intensidad de precipitaciones máximas en escenarios de cambio climático en la ciudad de Barcelona, España.

Las mismas pueden ser clasificadas de acuerdo a tres criterios:

- etapa de implementación de la medida con respecto al evento de inundación (preparación, prevención, protección, respuesta ante la emergencia, recuperación)
- uso de la infraestructura para implementar la medida (estructural, no estructural)
- efecto sobre el peligro o vulnerabilidad

Las medidas resumidas en la Tabla 2-2 están basadas en un documento de la Comisión Europea (EEA, 2004) y en las experiencias de los proyectos Alliance (“Medium & long term strategies to manage flooding events in urban and peri-urban areas”) e IMPRINTS (“IMproving Preparedness and Risk maNagementT for flash floods and debris flow events”)

2.3. Herramientas para el análisis económico del cambio climático

El análisis económico y social del cambio climático está sujeto a considerables niveles de incerteza, debido a que las causas y magnitud de sus efectos no se conocen con la precisión necesaria. El fenómeno tiene a su vez características específicas que condicionan los resultados del análisis económico, entre las que se destacan: (Galindo & Samaniego, 2010, p.70)

El cambio climático se desarrolla en períodos prolongados de tiempo con elevados niveles de incerteza, que limitan la capacidad de realizar pronósticos. De acuerdo a la teoría econométrica disponible (Clements & Hendry, 1999) la realización de pronósticos óptimos se obtiene solo con un modelo correctamente especificado, a partir de series estacionarias y sin cambios estructurales, supuestos que difícilmente se cumplen en el análisis económico del cambio climático.

Por ello, la construcción de escenarios de cambio climático a muy largo plazo deben basarse en la mejor información actual disponible, pero los mismos no pueden ser considerados como pronósticos. (Galindo & Samaniego, 2010)

Desde una perspectiva económica el cambio climático requiere instrumentar una administración de riesgos apropiada ante eventos climáticos extremos con baja probabilidad de ocurrencia.

La incerteza inherente al fenómeno a largo plazo afecta a la ponderación de costos y beneficios económicos potenciales entre distintos grupos de la sociedad, entre generaciones, e incluso entre ecosistemas ante la aplicación de diversas políticas públicas.

Para analizar las causas y consecuencias económicas y sociales del cambio climático han sido propuestas diversas metodologías de análisis, con ventajas y desventajas propias y sujetas a niveles de incerteza variables: (IPCC, 2014a), (Stern, 2007), (Feenstra et al., 1998), (Fankhauser, 1995), (Harris & Roach, 2007)

Tabla 2-2.- Medidas de adaptación al cambio climático (EEA, 2004)

ETAPA	TIPO	EFEECTO	MEDIDAS DE ADAPTACIÓN
Preparación	No estructural	Vulnerabilidad	Proveer información a la población
			Definir organizaciones responsables a cargo de la información a la población.
Prevención	No estructural	Vulnerabilidad	Desarrollar políticas de planeamiento acordes a los riesgos de inundación actual y futuro. Evitar la construcción en áreas inundables actuales y futuras. Promover prácticas apropiadas de uso del suelo, agricultura y forestación.
			Amenaza
	Estructural	Vulnerabilidad	Adaptar desarrollos futuros a riesgo de inundación actual y futuro.
		Amenaza	Implementación de BMPs Colocación de válvulas antiretorno en sótanos Mantenimiento de la red de drenaje existente: conductos, canales, cursos de macrodrenaje, etc.
Protección	Estructural	Amenaza	Actualizar red de drenaje, conductos, canales, etc.
			Medidas estructurales integrales (estaciones de bombeo + tanques de almacenamiento + Válvulas etc) y medidas de operación (sistema de control en tiempo real de la red, pruebas regulares)
Respuesta a la emergencia	No estructural	Vulnerabilidad	Planes de emergencia elaborados por comites de emergencia (compañías de drenaje, autoridades locales, protección civil, bomberos, policía). Las personas involucradas en la aplicación del plan deben recibir entrenamiento específico.
			Entidad de drenaje urbano para controlar la red 24hs y señal de alerta (Prealerta, alerta, emergencia). En particular sistemas de alerta temprana.
			Sistemas de alerta para secciones de ríos.
	Estructural	Amenaza	Adquisición e instalación de equipos de emergencia
Recuperación y aprendizaje	No estructural	Vulnerabilidad	Luego de cada evento de magnitud considerable, coordinar reuniones para revisión y optimización del sistema.
			Lecciones aprendidas: foco en puntos críticos estudiados en el plan de drenaje
	Amenaza	Mapas de áreas inundadas históricas.	
		Lecciones aprendidas: Control en tiempo real instalado en los puntos críticos	
Estructural	Amenaza	Lecciones aprendidas: instalación de estaciones de bombeo adicionales controladas en tiempo real	
		Lecciones aprendidas: instalación de tanques de almacenamiento adicionales	

Para orientar el diseño de políticas climáticas una de las metodologías de análisis más utilizadas es la evaluación económica, que cuenta con herramientas ampliamente difundidas como el análisis costo-beneficio, el análisis costo-efectividad, el análisis multicriterio y la teoría de la utilidad esperada (IPCC, 2014a, p.168)

2.3.1. Teoría de la utilidad esperada

De acuerdo a (IPCC, 2014a, p.168) la teoría de la utilidad esperada (Ramsey, 1926), (Von Neumann & Morgenstern, 1944), (Savage, 1954) continúa siendo la metodología estándar con la cual se comparan otras teorías, para proporcionar guías normativas que orienten la toma de decisiones bajo riesgo e incerteza.

En el marco clásico de la teoría de utilidad esperada, un problema de decisión en escenarios de incerteza involucra los siguientes pasos:

- Definición de un conjunto de posibles alternativas de decisión.
- Cuantificación estadística de la incerteza sobre los posibles estados del mundo.
- Valoración de los posibles resultados de las alternativas de decisión como utilidades.
- Elección de la alternativa con la utilidad esperada más alta.

Sin embargo, la aplicación de este modelo se encuentra limitada por características propias del fenómeno de cambio climático, como la incerteza sobre los estados futuros del mundo y el hecho de que no existe un acuerdo general sobre la distribución de probabilidad objetiva de las posibles consecuencias del cambio climático (Heal & Millner, 2013, p.11).

2.3.2. Análisis de decisiones

El análisis de decisiones constituye una aplicación de la teoría de las decisiones en problemas de decisión reales. Es un enfoque formal para seleccionar alternativas en condiciones de riesgo e incerteza, cuyos fundamentos son proporcionados por los axiomas de la teoría de la utilidad esperada.

La metodología para la selección de alternativas consta de las siguientes etapas (Keeney & Raiffa, 1993) citado por (IPCC, 2014a, p.169).

- Generación de alternativas y especificación de objetivos que orientan la toma de decisiones.
- Evaluación de los posibles impactos de las distintas alternativas, mediante la determinación del conjunto de consecuencias posibles y la probabilidad de ocurrencia de cada una.
- Determinación de las preferencias del tomador de decisiones mediante el desarrollo de una función objetivo que tiene en cuenta su actitud frente al riesgo y considera los objetivos ponderados.
- Evaluación y comparación de alternativas mediante el cálculo de la utilidad esperada asociada a cada alternativa.
- Selección de la alternativa con la utilidad esperada más alta.

2.3.3. Análisis Costo - Beneficio

Es una de las herramientas principales para la evaluación de políticas públicas en el contexto del análisis económico del cambio climático, que compara los costos y beneficios de diferentes alternativas con el objetivo de facilitar una asignación más eficiente de los recursos de la sociedad. Se desarrolló con la finalidad de evaluar las implicaciones de diferentes políticas públicas a partir de la comparación de las ganancias y las pérdidas potenciales de alternativas específicas valuadas en términos económicos. En el caso en que los beneficios exceden los costos, entonces la alternativa es factible, siendo posible extender este enfoque hacia la elección de políticas públicas específicas que maximicen los beneficios netos (o minimicen los costos) (Pearson, 2011) citado por (Samaniego et al., 2013).

Permite la comparación agregada de costos y beneficios económicos ocasionados por los cambios climáticos en distintos momentos en el tiempo, donde los beneficios son los costos netos evitados. La comparación considera los costos y beneficios sociales, en lugar de privados, incluyendo aquellos que afectan a las generaciones futuras (Brent, 2006).

A partir de este análisis puede individualizarse la alternativa que tiene el valor actual neto social más alto. Se utiliza una tasa de descuento usualmente constante en el tiempo, que convierte los futuros beneficios y costos a sus valores actuales (Boardman et al., 2010)

El análisis costo beneficio incluye las siguientes etapas (Boardman et al., 2010), (Mishan & Quah, 2007), (Brent, 2006), (Campbell & Brown, 2003), (Nas, 1996), (Hanley & Spash, 1995), (Layard & Glaister, 1994):

- Identificación y cuantificación de los costos y beneficios que genera cada alternativa particular de la política pública.
- Aplicación de una tasa de descuento para actualizar en el tiempo los costos y beneficios.
- Determinación del valor presente neto.
- Aplicación o rechazo de la política pública a través de reglas de decisión.

El fenómeno del cambio climático tiene algunas características que generan al menos tres problemas inmediatos para la implementación del análisis del costo-beneficio (Samaniego et al., 2013):

- La cuantificación de factores como la vida humana y la biodiversidad, que se encuentran fuera del mercado y no están valuados en términos económicos, presenta retos éticos y económicos difíciles de contemplar en el análisis costo-beneficio.
- Usualmente no se considera el riesgo asociado a eventos catastróficos de baja probabilidad, tales como los eventos climáticos extremos, caracterizados por un grado importante de incerteza (Weitzman, 2009). El riesgo de pérdidas considerables en períodos prolongados de tiempo debe ponderarse con extrema precaución, contemplando la irreversibilidad de ciertos procesos y la complejidad de las respuestas no lineales de los sistemas sociales y naturales ante el fenómeno de cambio climático.
- La elección de la tasa de descuento (Fankhauser, 1995), (Nordhaus, 2008), (Stern, 2007).

El análisis costo beneficio se basa en la estimación del valor presente o valor actual de los costos y de los beneficios de una alternativa.

Debido a los prolongados períodos involucrados, el análisis de costo-beneficio es particularmente sensible a la elección de la tasa de descuento (Aldred, 2009), (Campbell & Brown, 2003).

Esta tasa constituye una descripción de la forma en que actualmente responden los agentes económicos, y de sus formas de considerar la importancia que se le otorga a las futuras generaciones y a la preservación del entorno actual para el futuro (Samaniego et al., 2013).

Por lo tanto, la selección de la tasa de descuento no es exclusivamente un problema técnico, sino que incluye consideraciones éticas y de equidad relevantes (Mishan & Quah, 2007), (Hanley & Spash, 1995), (Layard & Glaister, 1994)

En el análisis económico del cambio climático es usual aplicar una tasa social que es distinta y normalmente menor a la tasa de mercado, basada en una función social de bienestar intergeneracional que debe maximizarse en el tiempo (Hanley y Spash, 1995), (Sen, 1997).

2.3.4. Análisis Costo - Efectividad

El análisis costo-efectividad no evalúa beneficios en términos económicos, sino que se orienta a determinar la alternativa de menor costo para lograr un objetivo deseado.

De acuerdo a (IPCC, 2014a, p.171) “el análisis costo-efectividad es una herramienta basada en la optimización restringida para la comparación de políticas diseñadas para cumplir con un objetivo previamente especificado”. Puede interpretarse como un caso especial del análisis costo-beneficio, en que el criterio de elección basada en costos y beneficios esperados se reemplaza por el objetivo de seleccionar la opción que minimiza el costo de cumplir un objetivo determinado.

Según (Harris & Roach, 2007), mientras que el análisis costo-beneficio intenta determinar una base para decidir si una política debe o no ser implementada, el análisis costo-efectividad adopta un objetivo, y utiliza técnicas económicas para evaluar la forma más eficiente de alcanzarlo.

El objetivo podría definirse a partir de un análisis costo-beneficio, de la aplicación de guías específicas como el principio de precaución o de estándares ambientales. También podría basarse en principios éticos, como minimizar los impactos más desfavorables, como resultado de procesos políticos y sociales de negociación, etc.

Según (UNFCCC 2005, p.3-23) la utilización del análisis costo-efectividad es recomendada cuando, bajo diferentes escenarios de cambio climático, se especifica el nivel mínimo de un determinado objetivo y se desea identificar la opción de alcanzar este objetivo al menor costo. También es particularmente aplicable cuando no es posible expresar en términos monetarios el impacto de las políticas públicas.

Según (Pindyck, 2013), para abordar el problema climático el análisis costo-efectividad tiene una ventaja sobre el análisis costo-beneficio, ya que no requiere el conocimiento formalizado sobre las funciones de impacto del calentamiento global.

El foco del análisis costo-efectividad está centrado en elementos más tangibles, como las energías alternativas, donde se ha establecido una mayor comprensión científica (Stern, 2007).

CAPÍTULO 3

METODOLOGÍA

3. METODOLOGÍA

En situaciones de planeamiento bajo incerteza profunda (planning under deep uncertainty) no es posible estimar en qué momento ocurrirán los cambios futuros, ni predecir con claridad su magnitud. Por lo tanto, el planeamiento de los sistemas y de las estrategias debe contemplar un amplio espectro de posibles escenarios futuros y de medidas de adaptación.

La metodología utilizada en este trabajo para el análisis de diferentes estrategias de adaptación al impacto del cambio climático sobre el drenaje urbano consistió en simular el desempeño hidráulico de un área urbanizada (cuenca del arroyo Manzores, Concordia, Entre Ríos, presentada en la Figura 3-1), para condiciones de lluvias extremas superiores a los actuales valores de proyecto.

Las lluvias extremas afectadas por cambio climático fueron definidas en función de los impactos previsibles según el estado actual del conocimiento (CIMA, 2015). En la Figura 3-1 se esquematizan los sistemas de micro y macrodrenaje de la cuenca, que se describirán con mayor detalle en el Capítulo 4. El sistema de microdrenaje está integrado por los colectores de desagües pluviales, y el sistema de macrodrenaje incluye al cauce principal, nueve reservorios de detención "on line" y el sistema de traslado superficial constituido por las calles.

Sobre los resultados de las simulaciones se utilizó un análisis económico (relaciones costo beneficio B/C y Valor Presente Neto VPN) considerando diferentes estrategias de adaptación y diferentes combinaciones de impactos de cambio climático previsto y realmente ocurrido.

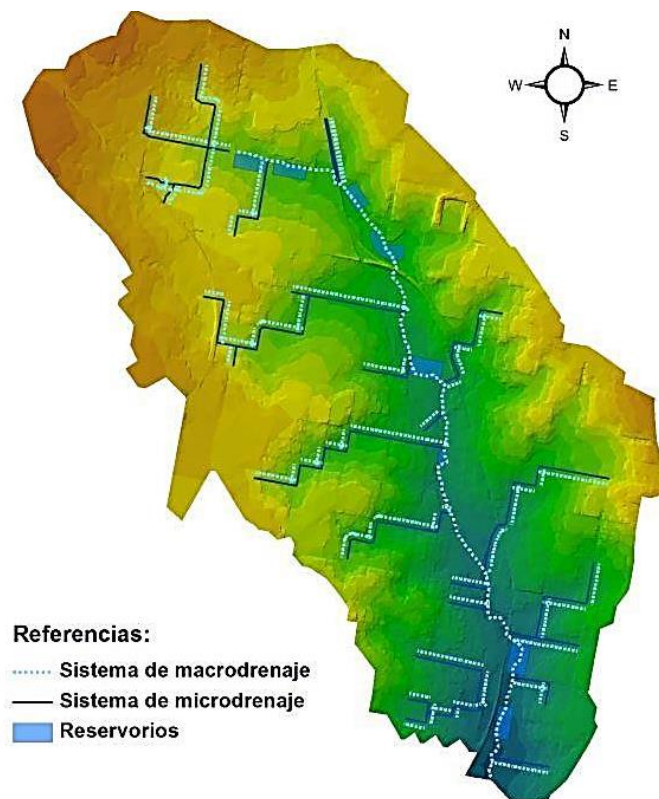


Figura 3-1.- Sistema de drenaje de la cuenca del Arroyo Manzores.

3.1. Pasos metodológicos adoptados

Para contemplar la incorporación de la incerteza del cambio climático en la gestión del drenaje urbano se implementaron los pasos metodológicos que se esquematizan en la Figura 3-2.

Los sistemas de micro y macrodrenaje fueron proyectados para la tormenta de proyecto estacionaria, considerando la incidencia del crecimiento demográfico y condiciones futuras de impermeabilidad de la cuenca sobre la respuesta de la red de drenaje, para las recurrencias de diseño y verificación del sistema.

Posteriormente se evaluó el desempeño hidráulico de la red en escenarios hipotéticos de cambio climático, los cuales abarcan un amplio rango de posibles escenarios futuros de las precipitaciones máximas en la región.

Se adoptaron tres escenarios hipotéticos de crecimiento de la precipitación máxima, designados como escenarios de cambio climático 1, 2 y 3, asumiendo que los mismos alcanzan el máximo incremento (1,10PE, 1,20PE y 1,30PE) al final de un período de análisis de 90 años.

Se efectuó un análisis cuantitativo de los principales impactos del cambio climático sobre la red de drenaje urbano, adoptando indicadores estandarizados sugeridos por la Comisión Europea (Nie, 2012, p.21). Para efectuar el análisis se adoptaron los siguientes indicadores: crecimiento de los tirantes de agua y aumento del tiempo de anegamiento en las calles, incremento de caudales de los tramos del cauce principal y desborde de los reservorios.

Se identificaron y seleccionaron cuatro estrategias de planeamiento de los sistemas de drenaje urbano para el manejo del incremento potencial de las precipitaciones:

- E1: Proyecto de la red para la tormenta estacionaria.
- E2: Proyecto de la red para los máximos incrementos previstos en el fin del período de análisis.
- E3: Adecuación o reemplazo parcial/total de las obras.
- E4: Implementación de tecnologías LID.

Se cuantificaron los daños directos correspondientes a la implementación de cada estrategia, atribuibles a pérdidas por inundación de los inmuebles en las áreas afectadas, aplicando la metodología FLEMOps(+) (Thieken, 2008), cuyos fundamentos se indican en el ítem 3.6.3.1.

Mediante la evaluación económica de las estrategias de planeamiento, se cuantificó el valor presente neto VPN (en \$) y la relación costo-beneficio B/C, correspondientes a tres horizontes temporales del período de análisis 2013-2103.

En base a estos indicadores económicos, se efectuó un análisis exploratorio del desempeño de las estrategias de planeamiento en los escenarios hipotéticos considerados.

Se cuantificaron los beneficios económicos, como la diferencia de costos entre las estrategias de planeamiento propuestas y la estrategia que representa las condiciones actuales de diseño (estrategia E1).

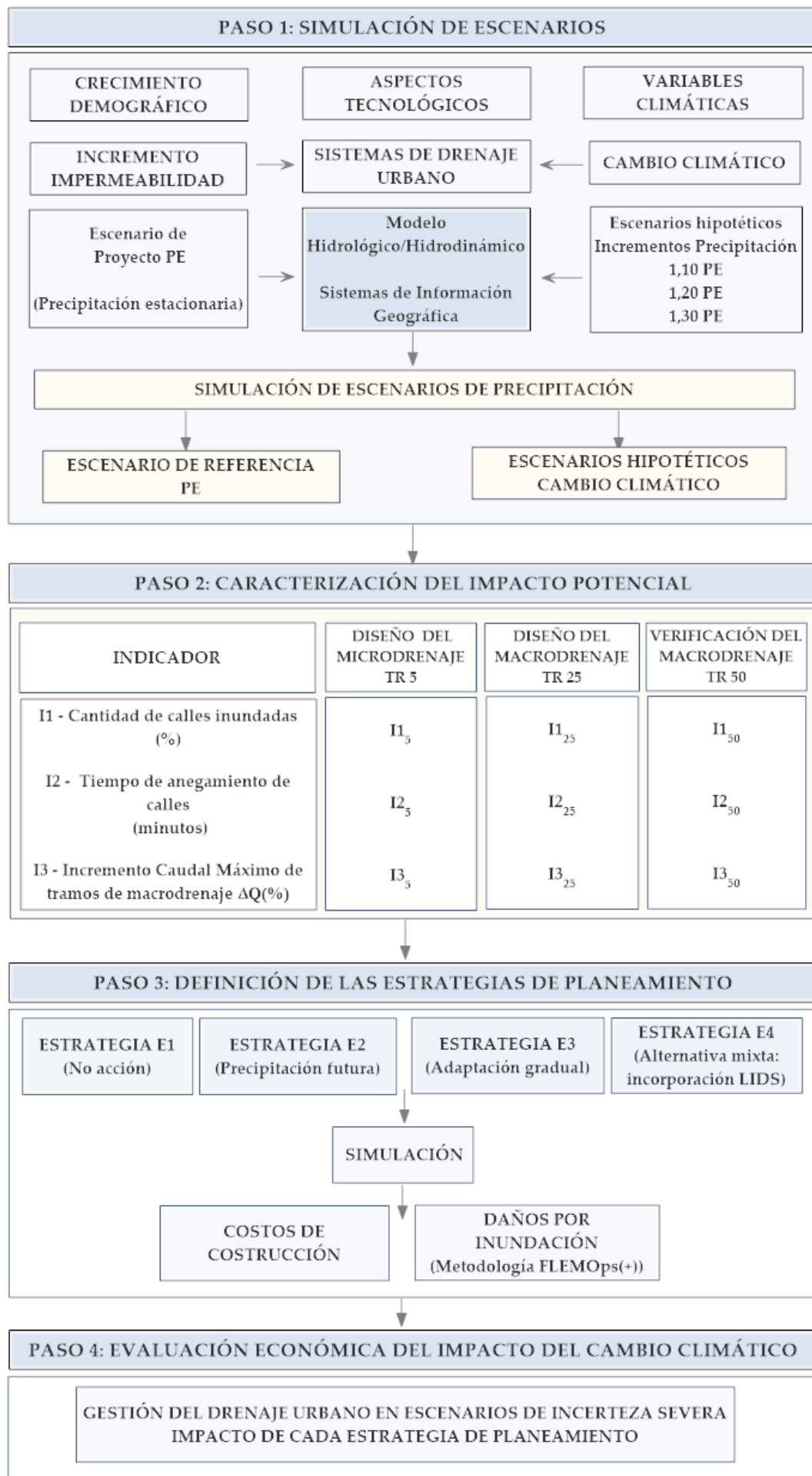


Figura 3-2.- Metodología adoptada.

3.2. Principales simplificaciones adoptadas

En la modelación del sistema de drenaje se adoptó una serie de simplificaciones, de manera de alcanzar una representación realista, que incluyera los factores de interés del problema, sin llegar a constituir una representación del sistema real. La misma hubiera impuesto restricciones que limitarían el espectro de opciones a analizar y hubiera incrementado el volumen de trabajo.

Como ejemplo, la geometría del canal de macrodrenaje fue simplificada, considerando una sección media equivalente de cada tramo representativo del cauce principal. Los reservorios fueron representados por superficies de sección rectangular, para simplificar las áreas de almacenamiento que son irregulares en el sistema real. El sistema de calles que conducen los caudales superiores al evento de diseño fue simplificado, adoptando una calle tipo equivalente representativa de calles de ancho y geometría variables.

Además, debido a que el trabajo se centra en la comparación entre escenarios, alternativas, etc., los factores comunes a todos los casos fueron eliminados o muy simplificados, en la medida de lo posible. Las principales simplificaciones adoptadas fueron:

- El impacto del cambio climático afecta solo a la magnitud de las precipitaciones extremas, no a su distribución estadística.
- La lluvia es larga (24 h) y genera su propia humedad antecedente (suelo saturado). Esta condición es consistente con evidencias observadas en Brasil y en la provincia de Buenos Aires (Villanueva, 2015) y en la provincia de Santa Fe (Zimmermann et al., 2009).
- Se consideraron los daños directos correspondientes a pérdidas en las propiedades. Los daños a infraestructura, los intangibles y otros no fueron incluidos en el análisis. Eso está en línea con la práctica internacional corriente. (Jongman et al. 2012). Por ejemplo, en esa publicación se indica que los costos directos de recuperación de infraestructura son aproximadamente 5.6 % de las pérdidas en propiedades en áreas urbanas.
- Los costos de operación y mantenimiento son considerados básicamente iguales para todas las estrategias/alternativas estudiadas, en particular debido a que en todos los casos los reservorios mantienen su geometría constante. Estos costos son asimilados a "costos fijos" transversales a las estrategias, y dado que la tesis se centra en las diferencias entre estrategias, son relevantes los costos variables entre estrategias.
- Los daños se concentran en las calles "paralelas" a los colectores de desagües pluviales, ya que estas se corresponden con el drenaje topográfico y concentran el escurrimiento, por lo tanto es donde los tirantes de agua son significativos.
- El arroyo Manzores es significativamente afectado por las crecidas del río Uruguay, pero a los efectos de este trabajo fue considerada una sola condición del Uruguay, aguas medias, ya que la cuenca del Manzores no es el objetivo del estudio, solo el soporte físico del mismo.
- No fue considerado el entubamiento del Manzores, en todos los casos fue tratado como un canal abierto sin recubrimiento. El costo de entubar el Manzores podría afectar los resultados de los análisis económicos, y sería interesante incluirlo en estudios futuros.

3.3. Paso 1: Simulación de los escenarios

Esta etapa comprende la simulación del funcionamiento hidráulico de las redes de micro y macrodrenaje en el escenario de proyecto de las simulaciones (contexto climático estacionario) y el planteo de escenarios hipotéticos de cambio climático.

Entre los principales problemas causados por el cambio climático en medios urbanos está el incremento potencial de las precipitaciones, que genera el aumento de los volúmenes de escurrimiento y posibles anegamientos por falla de la red de drenaje.

Para la simulación de la escorrentía urbana del flujo de tuberías, calles y canales se utilizó el modelo EPA-SWMM5, en la versión comercial PCSWMM, desarrollada por Computational Hydraulics International (CHI, Guelph, Ontario, Canadá).

El PCSWMM consiste en un software de soporte gráfico, basado en tecnologías GIS, que utiliza el EPA SWMM5 como motor de cálculo de sistemas de drenaje pluvial, sanitario y combinados. El modelo permite la importación directa, edición e intercambio de datos entre capas vectoriales GIS y objetos visuales SWMM5 (subcuencas, uniones, nodos de vertido, divisores de flujo, dispositivos de almacenamiento, conductos, bombas, orificios, etc.).

3.3.1. Escenario estacionario

Las variables climáticas y el crecimiento demográfico y de la urbanización se identificaron como factores externos generadores de cambios en esta fase.

La metodología se estableció sobre las bases de los valores actuales y proyecciones futuras de la urbanización. La información vinculada a los factores actuales de ocupación del suelo fue suministrada por la Dirección de Catastro en formato GIS, mientras que los valores futuros corresponden a los porcentajes máximos contemplados en el Código de edificación del Municipio.

Se dimensionaron los elementos del sistema de drenaje urbano (conductos subterráneos, calles, tramos de macrodrenaje y obras de control y regulación) para el escenario de clima actual. Los criterios de diseño adoptados para el dimensionamiento de la red se especifican en el Capítulo 4.

El sistema está integrado por 10 subsistemas principales discretizados en 134 microcuencas de aporte. La red de drenaje incluye 118 tramos correspondientes al sistema menor (conductos/canales), 109 secciones del sistema de calles, y 29 secciones transversales representativas del cauce principal y llanura de inundación del cauce principal de macrodrenaje.

Para representar la respuesta del sistema en el escenario estacionario, caracterizado con el identificador "PE" (Precipitación Estacionaria), se adoptaron tormentas de diseño de 24 horas de duración, obtenidas mediante el Método de bloques alternos. En este escenario se asumió que las condiciones climáticas son iguales a las del pasado inmediato.

Se consideraron las siguientes recurrencias, cuyos hietogramas se presentan en la Figura 3-3.

- Recurrencia de proyecto del microdrenaje (PE5): recurrencia de las tormentas menor o igual a 5 años. En esta condición, debe verificarse el funcionamiento a superficie libre de la totalidad de los conductos de microdrenaje.
- Recurrencia de proyecto del macrodrenaje (PE25): recurrencia de las tormentas de 25 años. En esta condición, los conductos de microdrenaje funcionan a presión. De acuerdo a las recomendaciones de UDFCD (UDFCD, 2008, pp.DP-22) (Vol I - Tabla DP-2) sus dimensiones deben ser suficientes para asegurar un tirante de agua menor o igual a 0,45 m sobre el nivel de cuneta en las calles hidráulicamente activas de la red.
- Recurrencia de verificación del macrodrenaje (PE50): recurrencia de las tormentas igual a 50 años. En esta condición, se verifica el funcionamiento de las obras de la red de macrodrenaje, identificando situaciones críticas o que impliquen peligros de seguridad de vida o daños importantes en bienes públicos e infraestructura.

Las intensidades de precipitación se obtuvieron a partir de la información contenida en el Manual "Tormentas de Diseño de la Provincia de Entre Ríos" (Zamanillo et al., 2008).

La relación intensidad-duración-recurrencia de tipo Sherman determinada para la localidad de Concordia responde a la Ecuación (3-1):

$$i = \frac{652,4 Tr^{0,26}}{(d + 5)^{0,71}} \quad (3-1)$$

Siendo:

i = intensidad de lluvia en mm/h.

Tr = período de retorno en años.

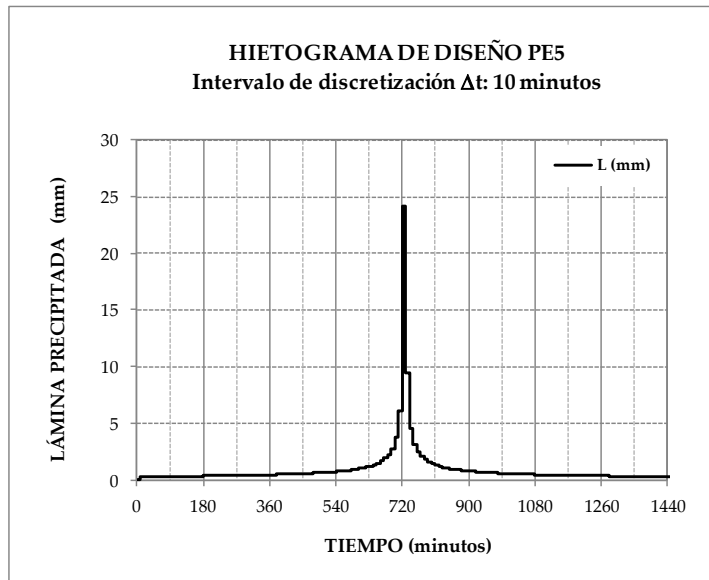
d = duración de la tormenta en minutos.

3.3.2.Simulación de los escenarios de cambio climático

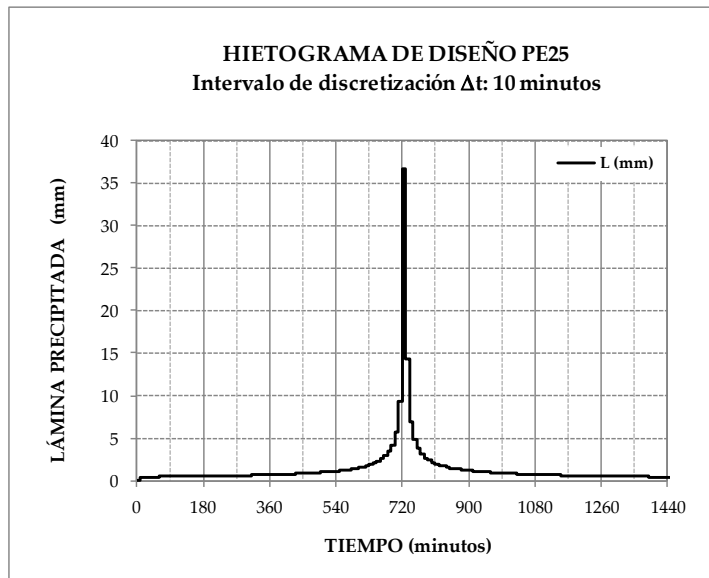
Para la evaluación de los impactos del cambio climático sobre el sistema de drenaje del arroyo Manzores, se consideraron incrementos hipotéticos de la tormenta de proyecto estacionaria. Esta aproximación es similar a la utilizada por (Waters et al, 2003).

Según se indica en el Ítem 1.1, las simulaciones de CMIP3 y CMIP5 proyectan un incremento en el promedio global de los valores de la precipitación máxima anual de 24 horas de duración y 20 años de período de retorno (P_{max20}), que varía entre 6% y 7% por cada grado Celsius de calentamiento medio global, con estimaciones comprendidas entre 4 y 10% cada °C en la mayoría de los modelos de simulación, (Kharin & Zwiers, 2007, p.1439), (Kharin et al., 2013, p.354), (IPCC, 2013a, p.912).

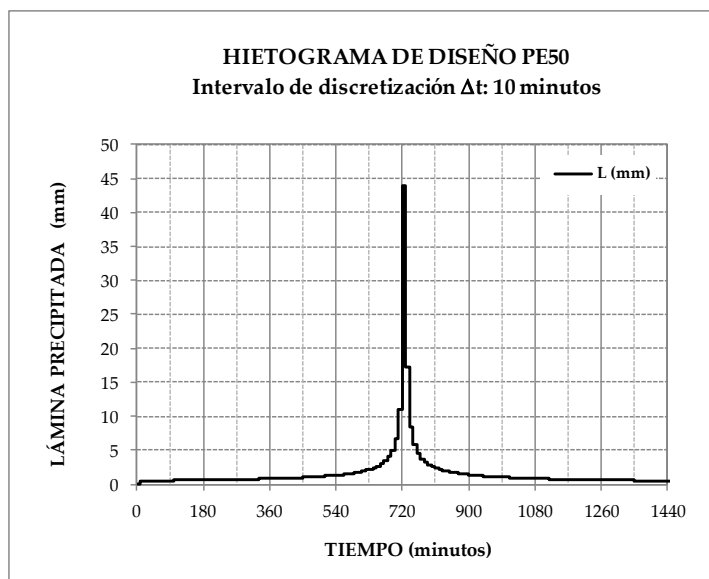
A su vez, el incremento de temperatura previsto en la cuenca del Plata para el año 2050 se ubica en el rango +1,5 °C a 2,5 °C. (Cabré et al., 2010, p.460). Combinando estos valores se obtiene un rango comprendido entre 6% y 25% de aumento de P_{max20} en la zona de estudio.



a.- Proyecto del microdrenaje: Período de retorno $Tr=5$ años



b.- Proyecto del macrodrenaje: Período de retorno $Tr=25$ años



c.- Verificación del macrodrenaje: Período de retorno $Tr=50$ años

Figura 3-3.- Hietogramas de la precipitación estacionaria PE

A partir de estos valores se adoptaron incrementos de la precipitación de 10%, 20% y 30%, para cubrir todo el rango. Por lo tanto, los escenarios de cambio climático fueron caracterizados afectando a la lámina total precipitada por coeficientes hipotéticos variables entre 1,10 y 1,30, asumiendo la distribución intensidad-duración-recurrencia estacionaria de acuerdo a Ecuación (3-1).

Para caracterizar la evolución temporal de estos incrementos se definieron tres escenarios hipotéticos de crecimiento de la precipitación máxima, designados como escenarios de cambio climático 1, 2 y 3, asumiendo que los mismos alcanzan el máximo incremento (1,10PE, 1,20PE y 1,30PE) al final de un horizonte de planeamiento de 90 años (2013-2103).

Para analizar el impacto del cambio climático a corto, mediano y largo plazo, se consideraron horizontes temporales de 30 años, correspondientes a los años 2043, 2073 y 2103.

El crecimiento de la precipitación durante el período de análisis 2013-2103 se aproximó mediante tres incrementos de magnitud constante, uniformemente distribuidos durante los períodos analizados.

La evolución temporal de cada escenario hipotético de cambio climático se indica en la Figura 3-4.

Por lo tanto, se asumió que la red de drenaje se encontrará solicitada por las secuencias temporales de precipitación indicadas en la Tabla 3-1, variables en función del escenario de cambio climático analizado.

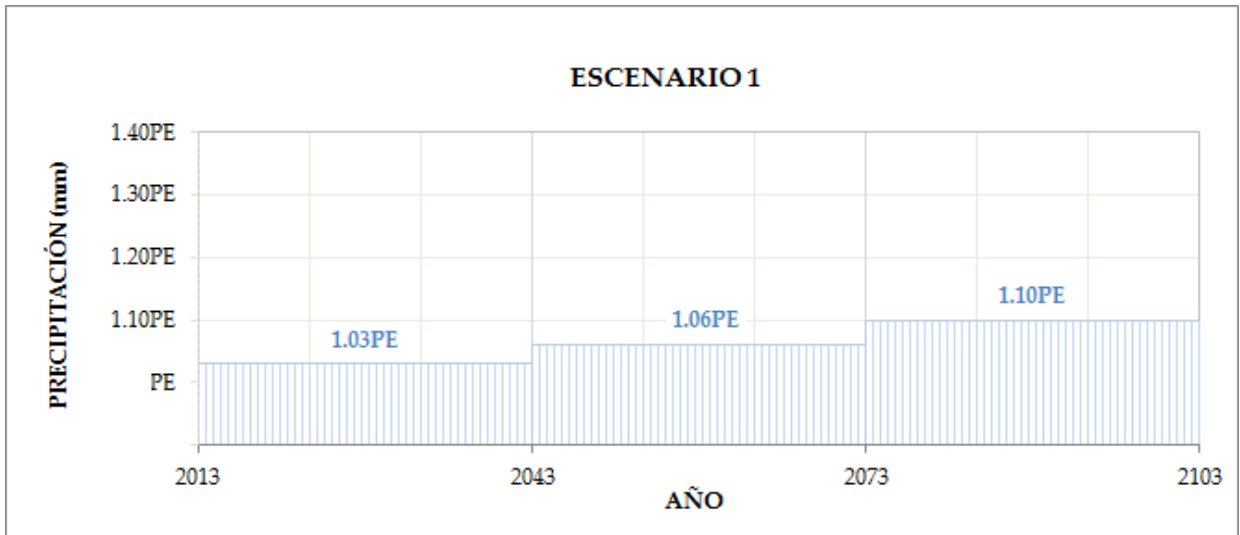
Tabla 3-1.- Secuencia temporal de los escenarios hipotéticos de precipitación

Escenario de cambio climático	Incremento máximo	Período de análisis		
		(2013-2043)	(2043-2073)	(2073-2103)
1	1,10PE	1,03PE	1,06PE	1,10PE
2	1,20PE	1,06PE	1,13PE	1,20PE
3	1,30PE	1,10PE	1,20PE	1,30PE

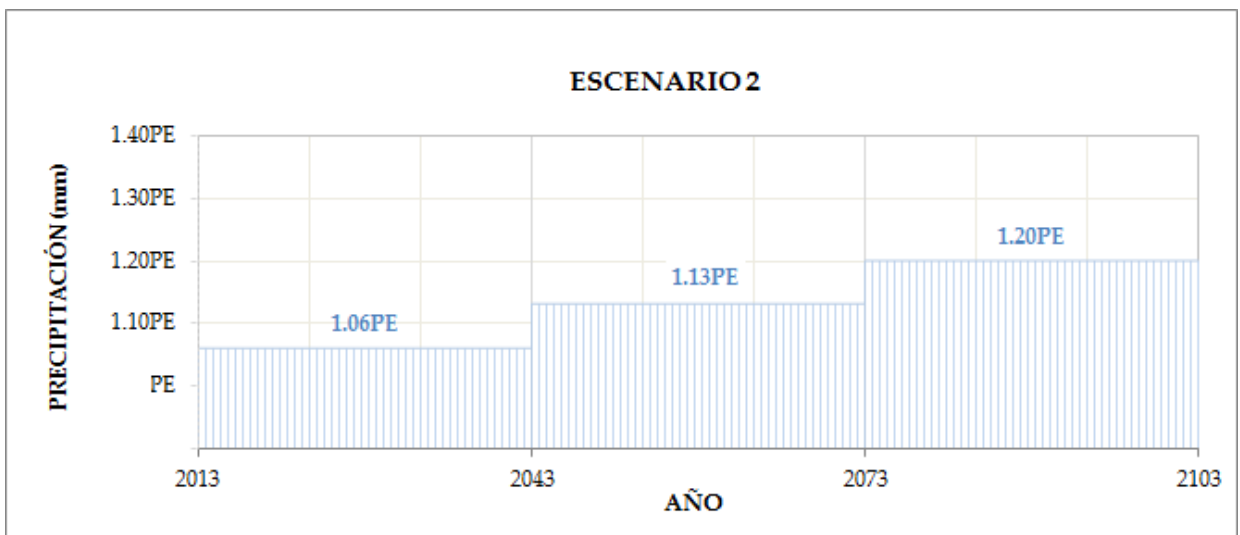
Como ejemplo, para el escenario de cambio climático 2 la red de drenaje estará solicitada por la siguiente secuencia temporal de precipitaciones:

- En el primer período (2013-2043) el incremento de precipitación equivale a 1,06PE.
- En el segundo período (2043-2073) está solicitada por una precipitación de 1,13PE.
- En el último período (2073-2103) se alcanza el valor máximo 1,20PE.

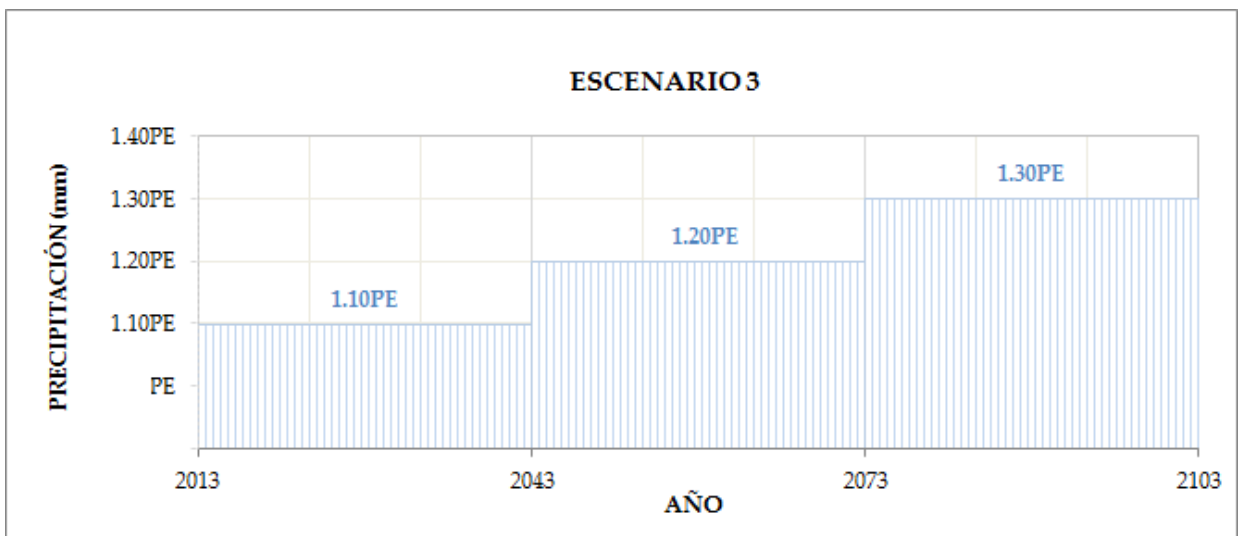
Puede observarse que en el año base del período de análisis se ha asumido que la precipitación presenta un incremento con respecto a la tormenta de proyecto estacionaria. Esto implica aceptar que en el futuro inmediato existe un cierto impacto del calentamiento global.



a.- Escenario de cambio climático 1.- Incremento máximo 1,10PE



b.- Escenario de cambio climático 2.- Incremento máximo 1,20PE



c.- Escenario de cambio climático 2.- Incremento máximo 1,30PE

Figura 3-4.- Escenarios de cambio climático.

Este incremento es atribuible a cambios de tendencia de los registros históricos, reportados por diversos estudios, que señalan un aumento de las precipitaciones extremas en la segunda mitad del siglo XX, potencialmente generados por el cambio climático.

De acuerdo a los reportes del IPCC (WGII AR4), durante las últimas décadas del siglo XX la ocurrencia de inusuales eventos extremos ha afectado gravemente a la región de América Latina. Además, se ha observado un incremento de las precipitaciones en la región sudeste de Sudamérica, noroeste de Perú y en el Ecuador (IPCC, 2014c, p.1504).

Estudios observacionales y proyecciones de modelos globales y regionales más recientes sugieren cambios en los valores extremos. En la Cuenca del Plata, varios estudios han documentado un incremento de las precipitaciones intensas, según se indica en la Tabla 3-2, cuyos datos fueron extraídos de la Tabla 27-1 de (IPCC, 2014c, p.1506).

Tabla 3-2.- Tendencias históricas de la precipitación máxima

Fuente: Tabla 27-1 (IPCC, 2014c, p.1506)

Variable	Referencia	Período	Cambios observados
Precipitación intensa (R95)	Donat et al. (2013)	1951 - 2010	+1% por década y - 4 días por década
Precipitación intensa (R95)	Dufek et al. (2008)	1961 - 1990	+45 a +135 mm sobre 31 años
Duración eventos precipitación en exceso desde 1950	Krepper y Zucarelli (2010)	1901 - 2003	+21 meses sobre 53 años
Frecuencia de precipitaciones intensas en Argentina, sur de Brasil y Uruguay	Re y Barros (2009)	1959 - 2002	+50 a +150 mm sobre 43 años

3.4. Paso 2: Caracterización del impacto potencial

El análisis de la vulnerabilidad de la red ante alteraciones inducidas por escenarios hipotéticos de cambio climático se evaluó a través de dos indicadores principales, que caracterizan la respuesta hidráulica frente a incrementos de las lluvias intensas:

La inundación o anegamiento de calles en tramos críticos de la red, donde el nivel de agua supera las cotas de terreno en el escenario de proyecto, o niveles límites compatibles con la seguridad de la infraestructura en el escenario de verificación, cuyas consecuencias se caracterizaron para cada escenario de cambio climático a través de los siguientes aspectos:

- Magnitud: incremento de los tirantes máximos (en metros).
- Frecuencia: longitud de calles anegadas para cada escenario (en % de la longitud total).
- Duración: incremento del tiempo de anegamiento (en minutos), que representa el intervalo de tiempo durante el cual el nivel de agua supera el nivel de superficie o el nivel crítico, debido a que la posibilidad de daños a la infraestructura se incrementa con el tiempo de exposición a la inundación.

La inundación del curso principal de macrodrenaje, donde los incrementos potenciales en la magnitud, frecuencia y duración de las precipitaciones originan el aumento de los caudales máximos en el curso principal, afectando edificaciones en sectores específicos de la red de macrodrenaje. A su vez, se incrementa el riesgo de

desbordes de las obras de infraestructura existentes, como reservorios de almacenamiento. Para la evaluación del impacto potencial se cuantificó el incremento porcentual de los caudales máximos, identificando sectores críticos de la cuenca comprometidos en los tres escenarios de cambio climático analizados.

3.4.1. Anegamiento de calles

La condición para la cual el agua escapa (o no consigue entrar) del sistema subterráneo, como consecuencia del incremento de precipitaciones inducido por el cambio climático, ha sido designada como “Inundación de calles” en el escenario de proyecto. Se excluye de esta condición a las fallas derivadas del subdimensionamiento o falta de mantenimiento (limpieza) de los colectores. Esta condición comprende el rango crítico de conductos en condiciones de sobrecarga que transfieren parcialmente sus aportes al sistema de traslado superficial (calles), generando desbordes y anegamientos superficiales que afectan la circulación de vehículos y peatones, y/o generan el ingreso de agua a las edificaciones.

La sobrecarga hidráulica de los colectores incrementa las presiones de funcionamiento y el riesgo de pérdidas de estanqueidad en los conductos, pudiendo causar erosión de los materiales de relleno y daños consecuentes a la infraestructura. Por lo tanto, las reglamentaciones limitan la frecuencia de condiciones de sobrecarga a niveles aceptables, adoptando usualmente la condición de escurrimiento a superficie libre en los conductos subterráneos para los eventos de proyecto de la red.

Como fue mencionado en el Ítem 3.3.1, se adoptó una recurrencia de 5 años para el diseño del microdrenaje en el escenario de precipitación estacionaria. En estas condiciones el agua escurre a superficie libre en todos los conductos. Para recurrencias mayores se acepta el funcionamiento a presión, adoptando una recurrencia de 25 años para el proyecto del macrodrenaje, en el cual se acepta escurrimiento de agua por las calles.

Para la cuantificación de potenciales impactos originados por el incremento de las precipitaciones se analizó el comportamiento de la variable capacidad de los conductos $h_{m\acute{a}x}/h_{ll}$ (adim) del sistema de calles equivalentes en los tres escenarios de cambio climático.

Por motivos de practicidad y conveniencia de interpretación, se asumió que la sección de la calle equivalente tipo tiene una profundidad a sección llena $h_{ll}=1$ metro, y de ese modo la variable representada es el tirante máximo $h_{m\acute{a}x}$ (metros) alcanzado en cada tramo de la red de traslado superficial.

En cada escenario de cambio climático se determinó el porcentaje de calles hidráulicamente activas, con tirantes (h) superiores a valores límites ($h_{l\acute{i}m}$) que dependen del evento analizado.

En el escenario de proyecto del microdrenaje, este porcentaje representa la cantidad de calles con niveles de agua mayor o igual a la cota de calzada, dado que se adoptó $h_{l\acute{i}m}=0$.

En el escenario de proyecto del macrodrenaje se cuantificó el porcentaje de tramos cuyo tirante supera el cordón de vereda: $h_{l\acute{i}m}=0,20$ m, mientras que en el escenario de verificación del macrodrenaje se consideró el valor límite recomendado por (UDFCD, 2008) $h_{l\acute{i}m}=0,50$ m.

3.4.2. Tiempo de anegamiento de calles activas

Uno de los factores determinantes en el nivel de daño ocasionado por el anegamiento sobre las edificaciones y la estructura del pavimento es tiempo en el que el agua permanece en contacto con la infraestructura.

Si bien la profundidad constituye el principal factor de impacto sobre el daño físico a las edificaciones, una duración mayor incrementa directamente los costos de reparación de estructuras e instalaciones de las propiedades afectadas, los cuales condicionan las relaciones profundidad de anegamiento/daño.

Al respecto, se mencionan los estudios realizados por Flood Hazard Research Centre, Middlesex University, en el Reino Unido, (Penning, 2013) donde esta variable se incorpora a las relaciones profundidad-daño de inundaciones de corta duración (menores a 12 horas), larga duración (mayores a 12 horas) y extra larga (tres a siete días).

Los principales mecanismos de daños estructurales de pavimentos están asociados al debilitamiento de la subrasante y de las capas granulares del pavimento expuestas a la inundación. La vulnerabilidad de los pavimentos se amplifica a medida que el tiempo de anegamiento se incrementa, por lo cual las normas internacionales contemplan la capacidad de drenaje en las metodologías de dimensionamiento de las capas estructurales de pavimentos rígidos y flexibles.

Por ello se seleccionó como indicador de vulnerabilidad del sistema ante escenarios de cambio climático el incremento del tiempo de anegamiento (en minutos) de las calles hidráulicamente activas de la red.

3.4.3. Incremento de caudal de los tramos de macrodrenaje

El análisis del impacto de escenarios hipotéticos de cambio climático se orientó a la evaluación del incremento relativo del caudal máximo de los tramos ΔQ (%).

El conjunto se desempeña como un sistema de reservorios online (presentado con mayor grado de detalle en el Capítulo 4) por lo tanto la totalidad del escurrimiento conducido por los tramos del macrodrenaje es forzado a atravesar los dispositivos de control. El caudal liberado por cada reservorio varía en función de las características topográficas propias del dispositivo y del nivel máximo aguas abajo, que condiciona las descargas de las estructuras de evacuación.

Como consecuencia, la magnitud de los incrementos del caudal máximo en los tramos del macrodrenaje ΔQ (%) ante escenarios de cambio climático está condicionada por la respuesta hidráulica de los reservorios, variable con la topografía (relación H-V: nivel de agua- volumen almacenado) y con la configuración de las obras de descarga (relación H-Qs: nivel de agua-caudal de salida).

Se cuantificaron los desbordes de los reservorios de detención originados por los incrementos hipotéticos de la precipitación en el escenario de verificación del macrodrenaje. Los mismos se almacenan en áreas de inundación (A_i en m^2) de gran extensión superficial y bajo tirante (h_i en metros).

Para evaluar el impacto de potenciales desbordes en escenarios de cambio climático se determinaron los volúmenes de inundación V_i (m^3) de cada reservorio.

3.5. Paso 3: Definición de las Estrategias de Planeamiento

Para cada escenario de cambio climático hipotético se evaluó el desempeño de las siguientes estrategias de planeamiento para el diseño de la infraestructura de drenaje urbano (Arisz & Burrel, 2006).

3.5.1. Estrategia E1: estrategia de no acción

La primera estrategia de planeamiento (E1) consiste en ignorar los problemas potenciales, por lo cual no se realizan ajustes al caudal de diseño que contemplen los efectos del cambio climático.

Es decir, constituye un escenario en el cual se opta por no realizar ninguna acción ante los potenciales impactos que podría generar el cambio climático.

Esta aproximación, usualmente denominada estrategia "Ostrich", se basa en ignorar los problemas potenciales, bajo el supuesto de que son extremadamente inusuales, y se utiliza cuando resulta aceptable la ocurrencia de daños menores provocados por las inundaciones.

Se simula el funcionamiento de la red de drenaje para las dimensiones determinadas en el escenario estacionario, aceptando una disminución gradual del nivel de servicio ante incrementos hipotéticos generados por el cambio climático.

Por lo tanto, la tormenta de proyecto de la estrategia E1 para el dimensionamiento de los componentes de los sistemas de micro y macrodrenaje corresponde a la precipitación estacionaria PE, según se indica esquemáticamente en la Figura 3-5 para el escenario de cambio climático 2. En esta estrategia el diseño de las obras permanece invariable en los tres escenarios de cambio climático.

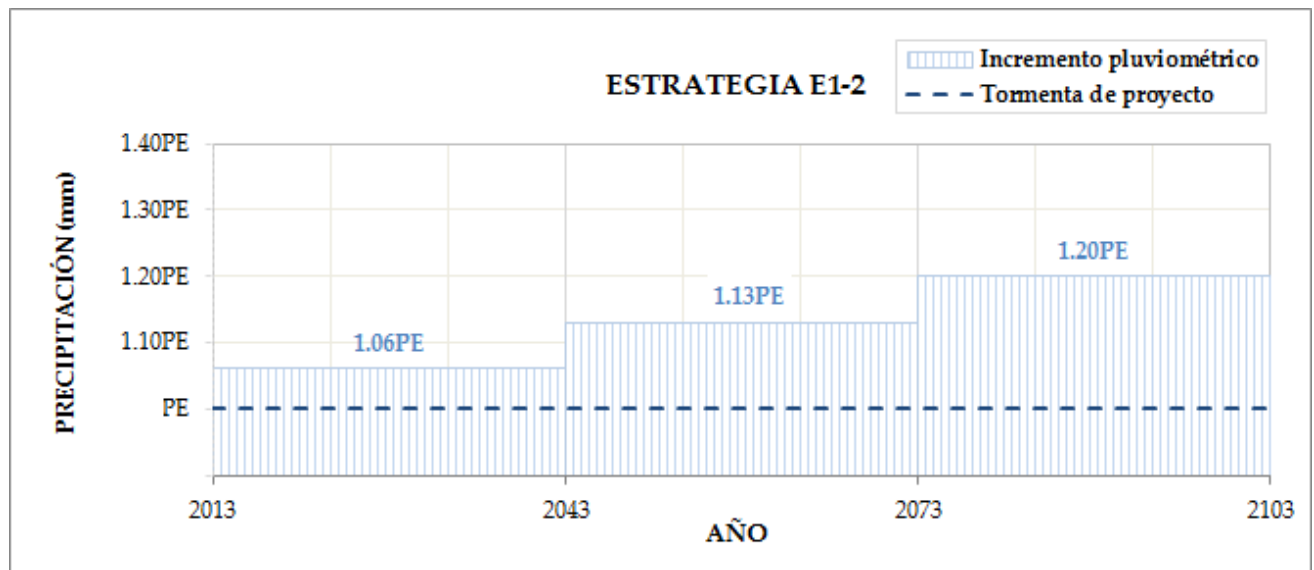


Figura 3-5.- Estrategia E1 - Proyecto de la red para la precipitación estacionaria.

3.5.2. Estrategia E2: precipitación máxima futura

La segunda estrategia de planeamiento consiste en diseñar la red de drenaje para las precipitaciones futuras, ajustando los caudales históricos ante escenarios de cambio climático. En este escenario las dimensiones de la red se proyectan a partir de las precipitaciones máximas previstas para el fin de su vida útil, con una carga financiera asumida en el presente.

La evaluación del desempeño de la estrategia E2 implica redimensionar la red para los tres escenarios de cambio climático. El redimensionamiento incluye a los colectores de microdrenaje, cauce principal y obras de descarga de los reservorios.

Por lo tanto se asignó a cada diseño de la estrategia E2 la siguiente designación:

E2-1 (Estrategia E2-Escenario de cambio climático 1): la red de drenaje se proyecta para conducir un caudal máximo correspondiente al incremento de precipitación 1,10PE al final del período de análisis.

E2-2 (Estrategia E2-Escenario de cambio climático 2): la red de drenaje se proyecta para conducir un caudal máximo correspondiente al incremento de precipitación 1,20PE.

E2-3 (Estrategia E2-Escenario de cambio climático 3): la red de drenaje se proyecta para conducir un caudal máximo correspondiente al incremento de precipitación 1,30PE.

Como ejemplo, en la Figura 3-6 se presenta la tormenta de proyecto de la estrategia E2-2 (escenario de cambio climático 2) adoptada para el redimensionamiento de la red, el cual corresponde a un incremento máximo de 1,20PE al final del período de análisis.

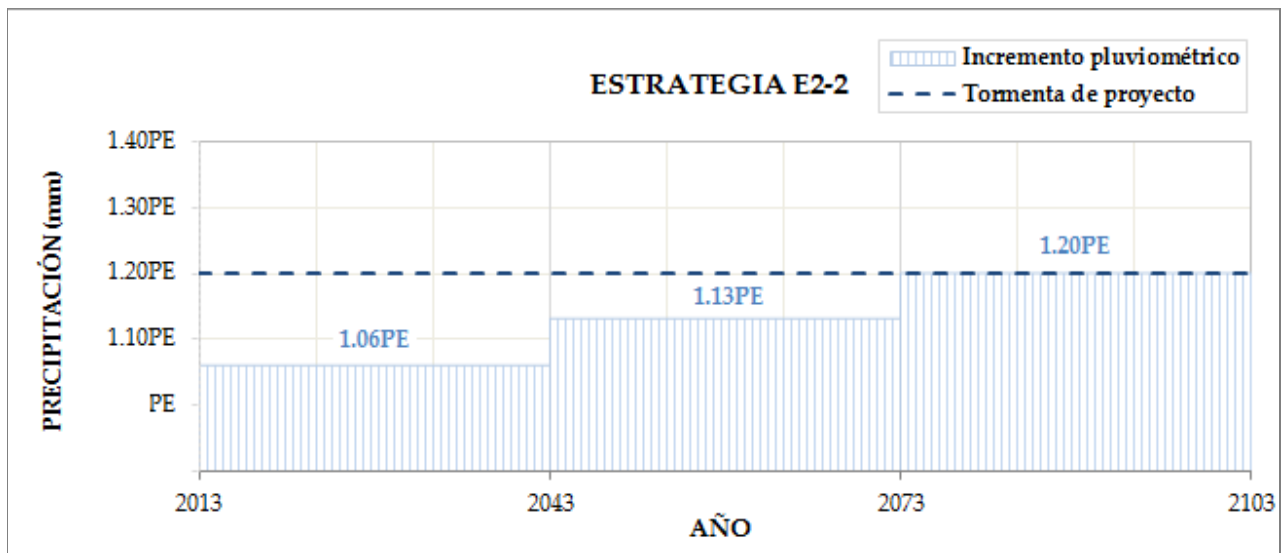


Figura 3-6.- Estrategia E2-2 - Proyecto de la red para precipitaciones futuras.

3.5.3. Estrategia E3: reemplazo parcial de las obras

Esta estrategia se basa en proyectar y construir los sistemas de drenaje para caudales correspondientes al corto plazo, y contemplar la adecuación o reemplazo parcial/total de la infraestructura cuando los incrementos generados por el cambio climático lo requieren. Funciona razonablemente bien para la infraestructura del

macrodrenaje, debido a que generalmente puede ser aislada para su ampliación o sustitución al final de su vida útil.

El sistema de microdrenaje coexiste con un gran número de servicios (suministro de agua, sistema de desagües cloacales, líneas de gas, líneas eléctricas subterráneas, sistemas de comunicación y transporte, etc.) en áreas urbanizadas que generalmente con el tiempo se vuelven más valiosas y densamente desarrolladas. En esta aproximación se reduce la vida útil de las obras para limitar la incerteza asociada a la determinación del caudal de diseño correspondiente a períodos más largos. La evaluación de su desempeño implica redimensionar la red para cada corte temporal de los tres escenarios de cambio climático. El redimensionamiento incluye a los colectores de microdrenaje, cauce principal y obras de descarga de los reservorios.

Se asignó a cada diseño de la estrategia E3 la siguiente denominación:

E3-1 (estrategia E3 - escenario de cambio climático 1): la red de drenaje se proyecta para conducir un caudal máximo correspondiente al incremento de precipitación 1,03PE correspondiente al corto plazo (primer período de análisis 2013-2043). A mediano plazo (2043-2073) se incrementan las dimensiones de las obras en los tramos de la red que no verifican los criterios de diseño para una precipitación de 1,06PE. Del mismo modo, la estrategia E3-1 contempla el incremento de dimensiones a largo plazo (período 2073-2103) correspondientes a incrementos de la precipitación 1,10PE.

E3-2 (estrategia E3 - escenario de cambio climático 2): análogamente, la estrategia de planeamiento contempla incrementos de las dimensiones de la red de drenaje para incrementos progresivos de la precipitación del escenario de cambio climático 2, caracterizado por la secuencia temporal 1,06PE, 1,13PE y 1,20PE a corto, mediano y largo plazo respectivamente.

E3-3 (estrategia E3 - escenario de cambio climático 3): las dimensiones de la red de drenaje se ajustan a partir de la secuencia temporal del escenario de cambio climático 3: 1,10PE, 1,20PE y 1,30 PE a corto, mediano y largo plazo respectivamente.

Como ejemplo, en la Figura 3-7 se presenta las precipitaciones de proyecto de la estrategia E3-2 (escenario de cambio climático 2) adoptadas para las tres etapas de redimensionamiento de la red.

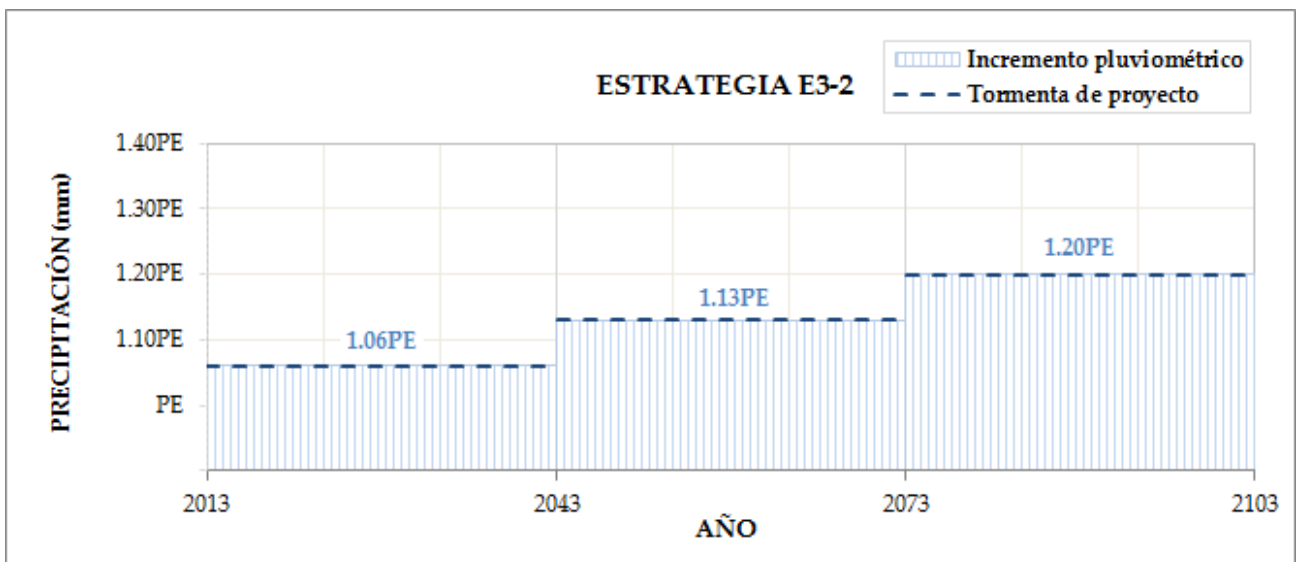


Figura 3-7.- Estrategia E3-2 - Reemplazo parcial de las obras

3.5.4. Estrategia E4: alternativa mixta

Esta estrategia consiste en proyectar los conductos de microdrenaje para la tormenta de proyecto estacionaria PE (criterio de proyecto de la estrategia E1), e incrementar su eficiencia mediante la reglamentación de medidas de control en la fuente.

A su vez, contempla el redimensionamiento de los tramos de macrodrenaje para los incrementos previstos en los tres horizontes temporales de cada escenario de cambio climático.

Para la implementación de las medidas de control en la fuente se consideró la utilización de dispositivos de almacenamiento domiciliarios desarrollados en la Regional Litoral del Instituto Nacional del Agua (INA), esquematizados en la Figura 3-9a.

Los mismos fueron simulados mediante la incorporación de controles LID (Low Impact Development) de tipo Rain Barrel (tanque o cisterna, en adelante RB) al modelo de cuenca PCSWMM (Figura 3-9b). Para su reglamentación, se consideró el control parcial de los incrementos previstos en los tres escenarios de cambio climático.

En síntesis, la estrategia de planeamiento E4 constituye una alternativa mixta, que combina los siguientes criterios:

- Sistema de microdrenaje: estrategia E1
- Sistema de macrodrenaje: estrategia E3
- Control en la fuente del escurrimiento superficial mediante tanques de almacenamiento.

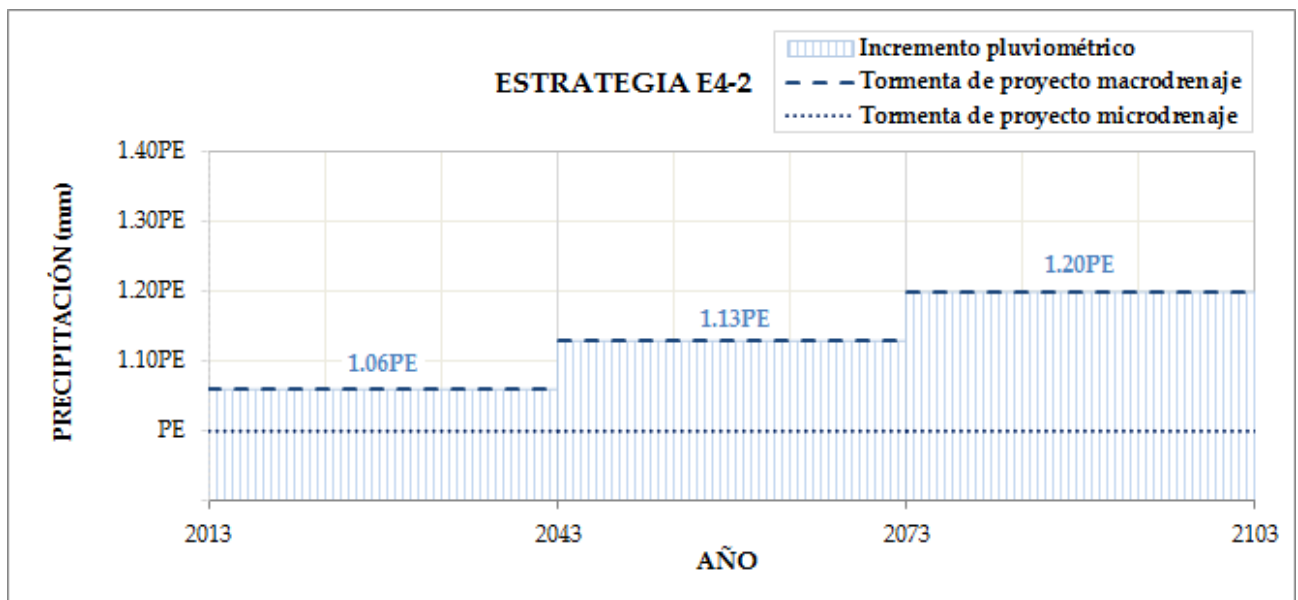
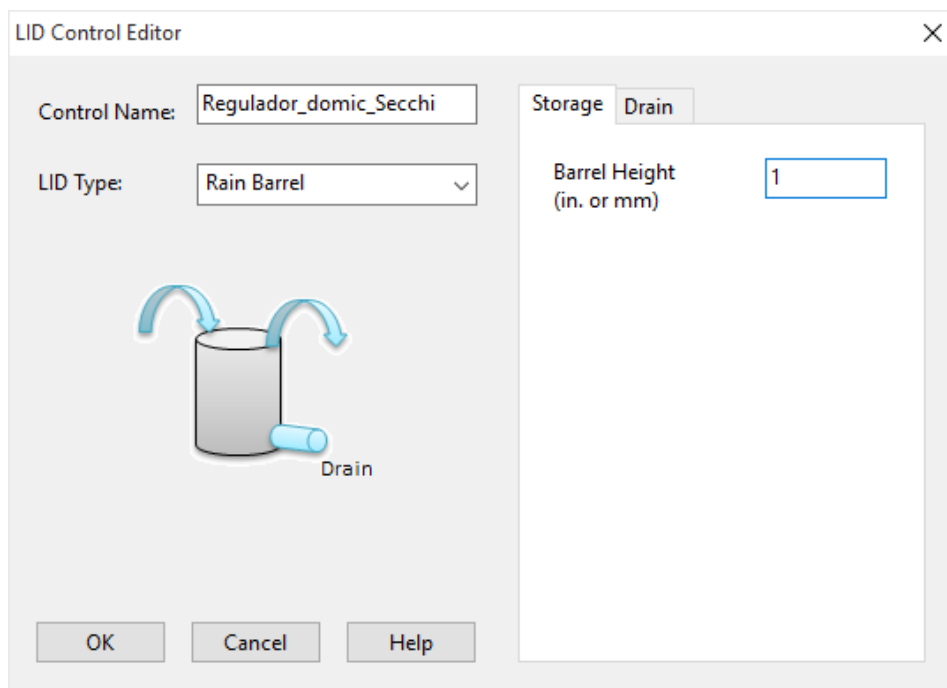


Figura 3-8.- Estrategia E4 - Alternativa mixta.



a.- Etapas esquemáticas de funcionamiento del dispositivo domiciliario.



b.- Control LID Rain Barrel (RB)

Figura 3-9.- Sistema de regulación con dispositivos domiciliarios.

3.5.4.1. Modelación de las unidades de almacenamiento

Como ha sido mencionado, para representar las unidades de almacenamiento domiciliarias se utilizó el control SWMM-LID Rain Barrel (RB). Este control utiliza los siguientes componentes (Rossman, 2009, p.173):

- Almacenamiento (Storage Layer): caracterizado a través de la altura del tanque de almacenamiento.
- Drenaje (Underdrain): representa la válvula de drenaje en la parte inferior del RB, que permite la descarga del tanque de almacenamiento. La modelación de esta capa considera los parámetros:
- C: coeficiente de drenaje (Drain Coefficient en mm/h).
- n: exponente de drenaje (Drain exponent). Un valor típico, $n=0,50$, representa la descarga a través de un orificio.
- hd: (Offset height): altura del dren sobre el fondo del dispositivo (en mm)
- T: tiempo de retardo (Drain delay en horas): número de horas que deben transcurrir antes de que se abra la línea de drenaje del RB.

La modelación del sistema de drenaje de los RB se basa en criterios de funcionamiento de la unidad más que en criterios de diseño. Para ello el usuario especifica la altura sobre el fondo de la capa de almacenamiento, así como su tasa de flujo volumétrico (por unidad de área).

Las leyes de descarga de los dispositivos de almacenamiento son simplificadas mediante una ley potencial empírica, que puede ser utilizada para modelar el caudal de salida de la capa de almacenamiento.

El coeficiente C y el exponente n determinan la tasa de flujo a través del dren, como una función de la altura almacenada, según Ecuación (3-2):

$$q_u = C(h - hd)^n \quad (3-2)$$

Siendo:

q_u : caudal por unidad de área del dispositivo de almacenamiento (mm/h)

C: coeficiente de drenaje (mm/h)

h: altura de agua almacenada en el dispositivo (mm)

hd: altura del dren (mm)

n: exponente de drenaje

3.5.4.2. Diseño de los dispositivos RB

a- Funcionamiento

El objetivo de los tanques domiciliarios es almacenar el incremento de escurrimiento proveniente de los techos en escenarios potenciales de cambio climático. Por lo tanto, las características geométricas e hidráulicas de los tanques deben permitir que el volumen requerido se encuentre disponible para almacenar los excesos. Físicamente, esta condición se materializa mediante la incorporación de un dispositivo regulador, que

controla la fracción que descarga directamente a la red pluvial y la fracción retenida en el tanque de almacenamiento (Figura 3-9 a).

Debido a que no es posible la representación directa de este bypass mediante el modelo SWMM, su efecto se simuló asignando a las unidades de almacenamiento (RB) una capacidad de descarga equivalente al caudal aportado por los techos en el escenario de precipitación estacionaria.

La misma está representada a través del Coeficiente de drenaje (en mm/h) de las unidades LID RB, el cual determina el máximo caudal de salida de los tanques domiciliarios (q_u en mm/h).

Si el drenaje permite la descarga de cualquier caudal que ingresa a la capa de almacenamiento hasta cierto límite específico, se debe establecer un coeficiente de drenaje C igual al valor límite y un exponente de drenaje $n=0$. (Drain Advisor SWMM5).

Por lo tanto, adoptando un coeficiente de drenaje C igual al caudal máximo aportado por la cubierta de techo en el escenario de precipitación estacionaria (I_u), se simulan las condiciones impuestas por el regulador domiciliario:

Para un caudal de entrada (aporte de los techos por unidad de área I_u) igual al caudal de salida (q_u), de acuerdo a la ecuación de continuidad (3-3) el tanque domiciliario permanece vacío en todos los intervalos de tiempo de la simulación del escenario de precipitación estacionaria, y el volumen del tanque se encuentra disponible para almacenar los excesos en escenarios de cambio climático.

$$I_u - q_u = \frac{\partial V}{\partial t} \quad (3-3)$$

b- Ejemplo de cálculo del coeficiente de drenaje C

Para ejemplificar la determinación del coeficiente de drenaje de los RB de las microcuencas de estudio, se consideró la microcuenca tipo S11-01 (Figura 3-10), cuyas propiedades son:

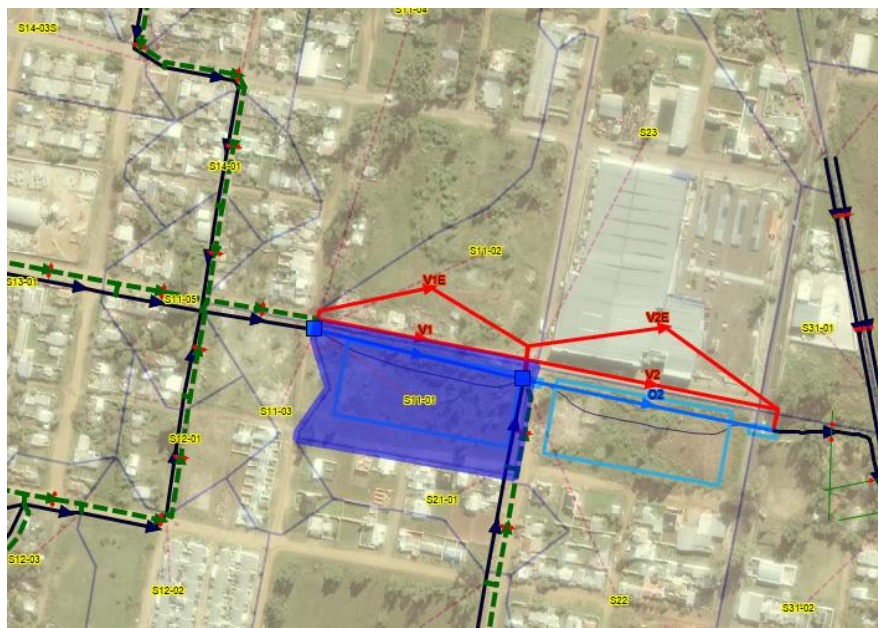


Figura 3-10.- Estimación del coeficiente de drenaje de una microcuenca tipo

Área microcuenca A: 1,77 Ha = 17.700 m²

Ancho W: 127,56 m

Pendiente S: 1,44%

Superficie Impermeable: 100%

Coefficiente de rugosidad de la fracción impermeable: N impermeable: 0,10.

Se consideró el siguiente número de viviendas:

Densidad de edificación: 40 viviendas/Ha

Nº de viviendas: 40 (1,77) = 70 viviendas

Se asumió que el porcentaje de cobertura de RB es del 100%, es decir que en este caso tipo, la microcuenca S11-01 cuenta con 70 RB.

La superficie total de los techos que aportan a los tanques de almacenamiento es igual al 50% de la superficie impermeable total. Este porcentaje equivale a:

$$A_t = \text{Área total techos} = \text{Área tratada} = 0,50 (17.700 \text{ m}^2) = 8850 \text{ m}^2.$$

El 50% restante corresponde a calles, veredas y superficies impermeables directamente conectadas a la red de drenaje.

La superficie impermeable tratada por cada RB, corresponde a la superficie del techo de cada vivienda:

$$A_t = 8850 \text{ m}^2 / 70 = 126,43 \text{ m}^2.$$

A partir de los resultados de la simulación para la recurrencia de 5 años en el escenario de precipitación estacionaria, el caudal máximo de la microcuenca es:

$$Q_{\text{máx}} = 0,407 \text{ m}^3/\text{s}$$

En este caso particular, la microcuenca 100% impermeable, por lo cual el caudal máximo de la microcuenca coincide con el caudal pico de la fracción impermeable

$$Q_{\text{imp máx}} = 0,407 \text{ m}^3/\text{s}$$

El caudal unitario se calculó dividiendo el caudal máximo de la fracción impermeable por la correspondiente superficie en m².

$$q_{\text{imp}} = 0,407 / 17700 = 2,3 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s (cada m}^2)$$

Expresando este caudal en mm/h:

$$q_{\text{imp}} = 2,3 \times 10^{-5} \text{ (m/s)} \cdot 3600 \text{ (s/h)} \cdot 1000 \text{ (mm/m)} = 82,7 \text{ mm/h (cada m}^2)$$

Asumiendo que el área en planta de las unidades de almacenamiento domiciliario es de 1m², el caudal aportado a cada unidad RB se obtiene multiplicando el aporte de la superficie de cada techo

$$q_{\text{techo}} = 82,7 \text{ mm/h m}^2 (126,43 \text{ m}^2) = 10454,16 \text{ mm/h}$$

El modelo SWMM5 calcula el caudal unitario qu (mm/h) como la suma del aporte de la superficie impermeable de los techos y la precipitación directa sobre el dispositivo,

que en este caso particular alcanza los 56,76 mm en el instante de máximo caudal de la superficie impermeable. Por lo tanto, el caudal unitario equivale a:

$$q_u = 10454,16 + 56,76 \text{ mm/h} = 10510,92 \text{ mm/h}$$

Comparando este valor con el máximo caudal de entrada obtenido del reporte detallado de la unidad LID (máx inflow = 10574,4 mm/h) se obtiene una diferencia porcentual igual a 0,6%

Aplicando la misma metodología se determinaron los caudales unitarios q_u para distintos escenarios de cambio climático, cuyos resultados se resumen en la Figura 3-11, donde las líneas representan los máximos aportes a los dispositivos RB obtenidos a partir de los reportes LID detallados, y donde los marcadores indican los valores calculados de acuerdo a la metodología anteriormente presentada.

Para la definición de parámetros de las unidades de almacenamiento, se adoptaron como coeficientes de drenaje los valores máximos de los aportes de las superficies impermeables de influencia de cada RB.

Para ello se extrajeron los valores máximos de los reportes LID detallados. Se adoptó un exponente de drenaje $n=0$ y tiempo de retardo $T=0$. En estas condiciones, el caudal teórico de salida del dispositivo es igual al caudal de entrada generado en el techo que aporta al RB, por lo cual el tanque domiciliario permanece vacío en el escenario de precipitación estacionaria para la recurrencia de diseño del microdrenaje (T_r : 5 años).

La altura asignada a los RB es $h=1$ metro en todos los casos, asumiéndose que el caudal de salida de los drenes se descarga a la fracción permeable de cada microcuenca antes de ingresar a la red de drenaje.

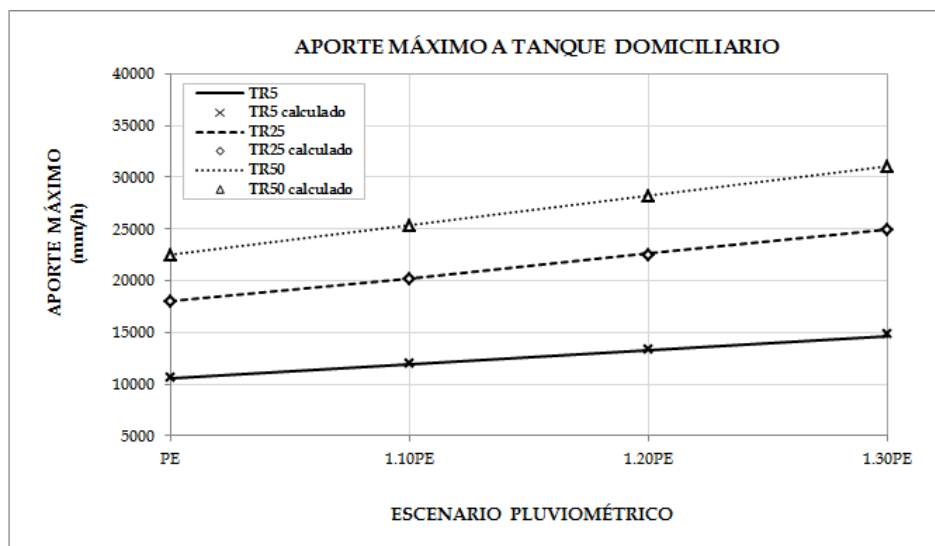


Figura 3-11.- Aportes máximos a tanques de almacenamiento domiciliario.

c- Funcionamiento de los tanques de almacenamiento en régimen estacionario

En este escenario la capacidad de descarga de los RB (representada por el coeficiente de drenaje C) debe permitir la evacuación total de los caudales de entrada, y controlar los incrementos pluviométricos en escenarios de cambio climático. A su vez, el volumen de las unidades RB debe reservarse para almacenar los excesos en escenarios de cambio climático, siendo nulo el almacenamiento en el escenario de precipitación estacionaria.

Para verificar el funcionamiento de los tanques de almacenamiento se realizaron simulaciones de la cuenca intervenida (estrategia E4) en el escenario PE5. Se consideró una cobertura de RB del 100%, asumiendo que el área tratada por las unidades corresponde al 50% de la superficie impermeable total. Para ello se adoptaron RB de 1m² de superficie, y 1 metro de altura, simulándose dos condiciones de descarga:

- Descarga directa a la red
- Descarga a las fracciones permeables de las microcuencas.

Los resultados de las simulaciones de la estrategia E4 se compararon con los correspondientes a la cuenca no intervenida (estrategia E1). En la Tabla 3-3 y Figura 3-12 se presenta la comparación de caudales máximos Q_p (en m³/s) de las microcuencas. En base al análisis de las diferencias porcentuales de los resultados de las simulaciones puede concluirse que:

- Descarga directa a red pluvial: la capacidad de descarga asignada a las unidades RB (determinada por el coeficiente de drenaje) no genera atenuación del caudal pico en el escenario PE estacionario. El funcionamiento del sistema intervenido con RB es equivalente al de la cuenca no intervenida en el escenario de lluvia estacionaria, permitiendo representar las condiciones generales de funcionamiento del bypass (regulador de caudales Secchi).
- Descarga a las fracciones permeables: como resultado del incremento de la rugosidad superficial (N=0,10), el traslado del escurrimiento a través de las áreas permeables de las microcuencas genera reducciones del caudal pico, variables entre 0% y 30% con una mediana del 15%. (Los valores nulos corresponden a las microcuencas en áreas ubicadas sobre el cauce principal, que no cuentan con unidades de almacenamiento).

Tabla 3-3.- Comparación de caudales máximos en escenario climático estacionario (E4 vs E1) - Diferencias porcentuales

Diferencia porcentual E4-E1	E4 (Descarga red pluvial)	E4 (Descarga sup permeable)
Mínima	0	-30
Máxima	4	0
Mediana	2	-15

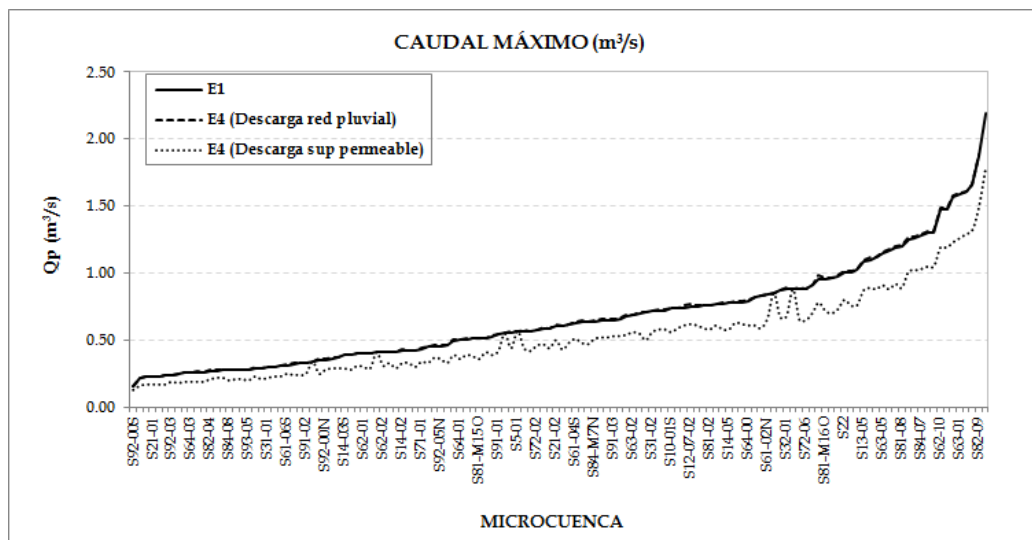


Figura 3-12.- Comparación de caudales máximos en escenario PE (E4 vs E1)

3.6. Paso 4: Evaluación económica del impacto del cambio climático

3.6.1. Metodología adoptada

La elaboración de políticas activas en escenarios de cambio climático implica contar con un marco analítico mínimo que oriente al proceso de toma de decisiones con respecto a las medidas a adoptar para manejar la incerteza profunda, el costo de estas medidas, así como su ubicación y horizontes de implementación. (CEPAL, 2014, p.56).

La cuantificación de los impactos económicos previstos en un amplio rango de escenarios de cambio climático, aplicando diferentes estrategias de planeamiento de los sistemas de drenaje urbano, permite evaluar la conveniencia de la asignación de recursos a una estrategia particular (o combinación de las mismas).

Para la evaluación económica de estos impactos se seleccionaron los siguientes indicadores: relación costo-beneficio B/C y Valor Presente Neto de las estrategias de planeamiento. Para ello se consideraron el costo de construcción de las obras de drenaje (inicial o actualizado al año base) y las pérdidas generadas por los daños por inundación durante el período de análisis. No se consideraron los costos variables asociados a la operación y mantenimiento del sistema de drenaje.

3.6.2. Costos de construcción

Los costos de construcción de las obras de drenaje correspondientes a cada estrategia se estimaron a partir del cómputo métrico de los elementos de las redes de micro y macrodrenaje.

Se utilizaron los análisis de precios unitarios suministrados por la Comisión Administradora para el fondo Especial de Salto Grande (CAFESG), y por la Unidad Ejecutora Provincial de Entre Ríos (UEP).

Los ítems involucrados para el sistema de microdrenaje incluyen:

- Obrador, movilización y desmovilización de equipos y equipamiento.
- Rotura y reparación de calles.
- Movimiento de suelos.
- Provisión y colocación de conductos de H° A°.
- Ejecución de cámaras de registro y bocas de tormenta.

Los ítems involucrados en los costos de construcción del sistema de macrodrenaje contemplan la limpieza y perfilado del cauce principal y el costo de ejecución de los reservorios, cuyos volúmenes de excavación se obtuvieron a partir del procesamiento con el software Autocad Civil 3D, por superposición del modelo digital del terreno natural y el volumen de excavación de los reservorios. Por lo tanto el costo de construcción del macrodrenaje está integrado por:

- Movimiento de suelo (limpieza de terreno, excavación, perfilado con compactación, regularización del terreno).
- Estructuras de descarga (suministro y colocación de acero y hormigón elaborado en vertederos, ejecución de las obras de entrada y salida)
- Limpieza y perfilado del cauce principal.

La composición de los ítems mencionados y los precios unitarios adoptados para la cuantificación de los costos de construcción de los sistemas de micro y macrodrenaje se detallan en el Anexo 2.

Los precios unitarios corresponden al mes de enero de 2013, y están afectados por un coeficiente resumen del 65%, que incluye gastos generales, beneficios, e impuestos y tasas varias. En el Anexo 3 se presenta la evolución del Índice del Costo de Construcción (ICC) de la Cámara Argentina de la Construcción (CAC) durante el período 2013-2015.

3.6.3. Daños por inundación

3.6.3.1. Metodología adoptada

Para estimar las pérdidas directas por anegamiento de viviendas en escenarios de cambio climático se utilizó la metodología FLEMOps (“Flood Loss Estimation MOdel for the private sector”) (Thieken, 2008, pp.117-24).

Este modelo se basa en datos empíricos de 1697 hogares en estados alemanes afectados por una inundación severa en agosto de 2002. A raíz de las inundaciones en agosto de 2002, agosto de 2005 y abril de 2006 se recopilaron grandes conjuntos de datos sobre pérdidas por inundaciones y los factores involucrados mediante entrevistas telefónicas a hogares y empresas. Cada encuesta incluía alrededor de 180 preguntas sobre los siguientes aspectos: impacto de inundaciones, contaminación del agua de la inundación, medidas de emergencia, evacuación, limpieza, características y daño a los contenidos e infraestructura, recuperación, medidas de precaución, experiencia previa ante inundaciones y variables socioeconómicas. (Thieken et al., 2007)

Junto con los datos de encuestas, que evaluaron los daños a la infraestructura, se utilizaron las experiencias y datos de inundaciones recientes para obtener y evaluar nuevos modelos de pérdida para los distintos sectores.

El modelo FLEMOps considera cinco factores para las estimaciones de pérdidas, que se estiman de acuerdo al nivel del agua, tipo de construcción y calidad de la edificación. Contempla cinco clases de nivel de agua, tres clases de edificación y dos tipos de calidad de la edificación. En todas las categorías las relaciones de pérdidas medias se obtuvieron a partir de los datos empíricos. Las relaciones de daño relativo vinculan el tirante máximo generado por el anegamiento de las calles y el daño a las edificaciones, expresado como porcentaje del valor del inmueble, según se indica en la Figura 3-13 y Tabla 3-4.

En la segunda etapa del modelo FLEMOps(+), se consideran los efectos de medidas de precaución privadas y de la contaminación del agua de inundación, mediante factores de escala que se resumen en la Tabla 3-5. Un grado de precaución elevado puede reducir las pérdidas en las edificaciones al 41%, mientras que un grado de contaminación elevado puede incrementarlas en un 58%.

El modelo FLEMOps es aplicable a escala micro, es decir a edificios individuales. También puede aplicarse a unidades de uso del suelo de la mesoescala, para lo cual se desarrolló un procedimiento de escalamiento basado en los datos de los censos y técnicas de mapeo específicas, descriptos por Thieken et al. (2008).

3.6.3.2. Cuantificación de áreas susceptibles a daños por anegamiento

a- Sistema de microdrenaje

Ante incrementos hipotéticos de la intensidad de precipitación (mm/h) y de la lámina total precipitada (mm), el sistema es solicitado por caudales de mayor magnitud que los asumidos para el proyecto de la red en el escenario PE.

La sobrecarga del sistema origina el incremento de los tirantes en las calles, ocasionando daños a las propiedades incluso para las recurrencias de proyecto de la red de microdrenaje. Estos daños se cuantificaron utilizando el Método FLEMOps+ (Thieken, 2008) desarrollado en la Universidad de Postdam (Alemania), presentado en el ítem 3.6.3.

Para cuantificar los daños en el sistema de microdrenaje se determinó la superficie edificada de los inmuebles potencialmente susceptibles a la inundación. Las propiedades fueron discriminadas por tramos correspondientes a cada colector de microdrenaje (Figura 3-14), para lo cual se procesó la información suministrada por la Dirección de Catastro del Municipio de Concordia.

En el primer horizonte (H1) de 30 años (corto plazo 2013-2043) del período de análisis se utilizó la superficie edificada actual, obtenida a través del procesamiento con un sistema de información geográfica.

Se asumió que en el último horizonte (H3) del período de análisis (largo plazo 2073-2103) las condiciones de urbanización corresponden al máximo factor de uso del suelo reglamentado por el Código de edificación, determinándose la superficie edificada futura.

En el intervalo medio (H2) del período de análisis (mediano plazo 2043-2073) se asumió la superficie edificada promedio entre ambas condiciones extremas.

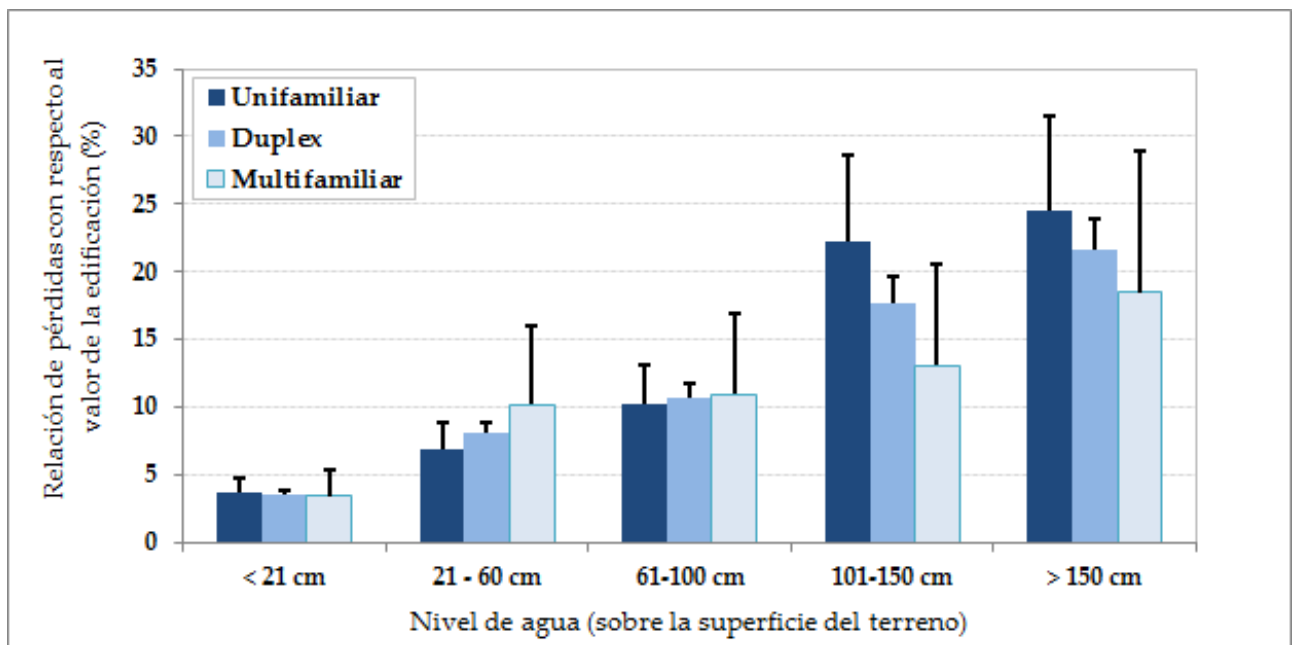


Figura 3-13.- Modelo de microescala FLEMOps

Para computar el valor de los inmuebles ubicados sobre el curso de macrodrenaje se consideró una densidad de edificación media de 3 viviendas cada 100 metros de cauce, asumiendo una superficie edificada de 150 m² por vivienda. Se asignó a las propiedades un valor medio de 6000\$/m², de acuerdo a datos suministrados por la Secretaría de Obras Privadas del Municipio de Concordia y consulta a inmobiliarias locales.

b.2.- Desborde de los reservorios: de acuerdo a los resultados de las simulaciones presentados en 5.4.3.3, este tipo de falla se produce en el escenario de verificación del macrodrenaje (Tr: 50 años) y representa una condición crítica del sistema, que afecta a un número significativo de propiedades en las áreas de influencia (Ai) de los reservorios.

Las propiedades potencialmente vulnerables al daño por desborde se estimaron en base a las características topográficas de las zonas de implantación de los reservorios. El área Ai correspondiente al volumen de inundación Vi (definido en 5.4.3.3) se delimitó a partir de las curvas cota-volumen del modelo digital del terreno natural.

El número de inmuebles afectados se determinó estimando una densidad de edificación igual a 10 viviendas/manzana en las áreas afectadas. Se asumió que cada vivienda tipo tiene una superficie edificada de 150m².

Para la aplicación del modelo FLEMOps (+), se consideró un tirante efectivo (que genera daño a las propiedades) de acuerdo a Ecuación (3-4).

$$h_i = \frac{V_i}{A_i} \quad (3-4)$$

Se asignó a las propiedades el valor medio indicado en b.1.

3.6.3.3. Valor esperado de los daños

A partir de los resultados de las simulaciones se obtuvieron los tirantes en las calles del sistema de microdrenaje y en el curso principal del macrodrenaje para cada escenario de cambio climático. En base a los mismos, se cuantificaron los daños por inundación de las redes de micro y macrodrenaje aplicando el Modelo FLEMOps(+) en los tres escenarios de cambio climático.

Para cada estrategia, los costos asignados a daños por inundación se estimaron cuantificando el valor esperado de los daños (Expected Annual Damage EAD). Estadísticamente el mismo representa la esperanza matemática del daño, o sea, el daño que podría esperarse que ocurra anualmente como consecuencia de la falla de la red de drenaje.

El valor medio de una variable aleatoria continua x como el daño anual por inundación, cuya función densidad de probabilidad es f(x) corresponde a la esperanza matemática E(x), indicada en la Ecuación (3-5).

$$E(x) = \int x f(x) dx \quad (3-5)$$

Por lo tanto, el daño por inundación en un año cualquiera del período analizado puede ser interpretado como la integral de la función densidad de probabilidad sobre todo el rango de probabilidades.

Para la solución de la Ecuación (3-5) han sido propuestos diversos métodos, entre ellos: simulación de series temporales, integración numérica de los períodos de retorno y soluciones analíticas (Olsen, 2014). De las diversas metodologías empleadas para desarrollar la integración numérica se adoptó el método trapezoidal indicado en Ecuación (3-6), donde el número de eventos (N) se selecciona de manera tal de cubrir el rango completo de eventos posibles, desde los frecuentes de baja magnitud hasta eventos extraordinarios que generan daños considerables al sistema.

$$EAD = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N \left(\frac{1}{Tr_i} - \frac{1}{Tr_{i+1}} \right) (D_i + D_{i+1}) \quad (3-6)$$

Siendo:

EAD: valor esperado de los daños (\$/año)

N: número de eventos

Tr_i y Tr_{i+1}: períodos de retorno de los eventos analizados (año).

D_i y D_{i+1}: daños provocados por la inundación en los eventos analizados (\$).

El valor esperado de los daños de cada estrategia se obtuvo mediante la integración numérica de las relaciones daño-probabilidad de ocurrencia a partir de tres eventos (N=3), que corresponden a las recurrencias de los eventos de proyecto y verificación del micro y macrodrenaje (5, 25 y 50 años), según se indica en la Figura 3-15.

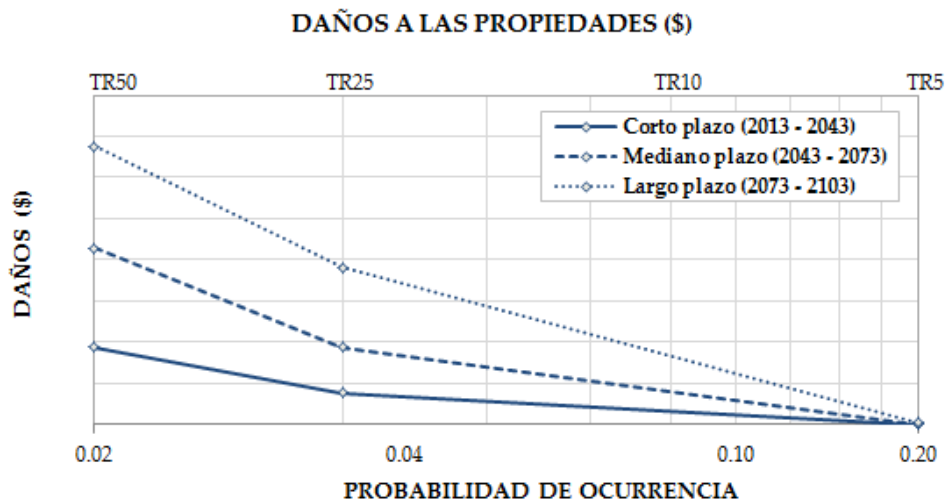


Figura 3-15.- Relación Daños por inundación - Probabilidad de ocurrencia

Debido a que el incremento continuo de las precipitaciones fue representado mediante una secuencia temporal simplificada, compuesta por tres escalones de precipitación, se asumió una serie escalonada de valor esperado de los daños, representada esquemáticamente en la Figura 3-16.

Como se ha mencionado, cada escenario de cambio climático caracteriza un incremento de precipitación específico con respecto al escenario PE. Por lo tanto, el incremento de los tirantes en cada escenario de cambio climático determina una serie de EAD propia. La designación adoptada para identificar los tres escalones de las series de valor esperado de los daños es la siguiente:

Corto plazo (2013-2043): EADa

Mediano plazo (2043-2073): EADb

Largo plazo (2073-2103): EADc

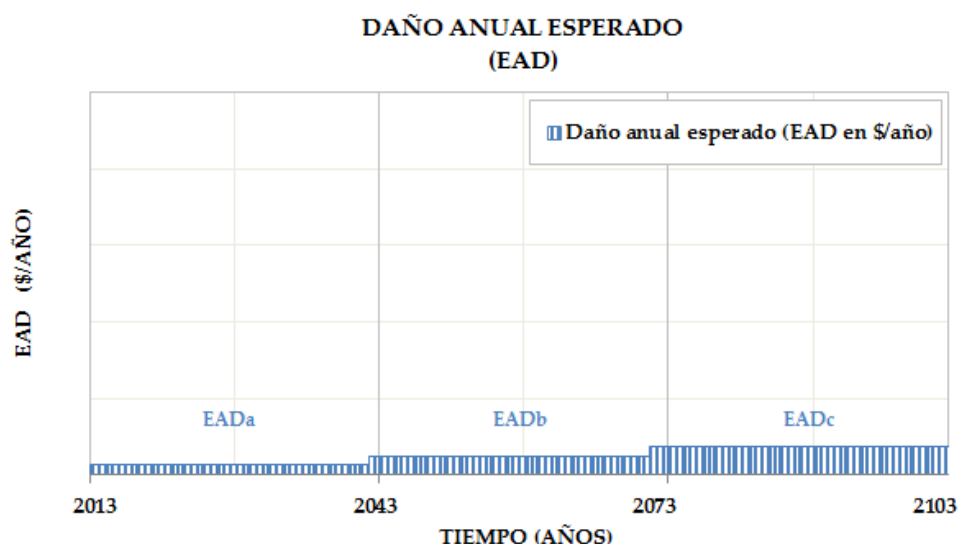


Figura 3-16.- Valor esperado de los daños EAD (\$/año) - Estrategia E1.

La Tabla 3-6 sintetiza las simulaciones involucradas en la determinación del EAD de cada estrategia de planeamiento para cada uno de los tres escenarios de cambio climático. Puede observarse que la cuantificación del EAD implica la ejecución de 27 simulaciones para cada estrategia: cada escenario de cambio climático está integrado por tres escalones de precipitación máxima correspondientes a las secuencias (2013-2043), (2043-2073) y (2073-2103), y tres eventos de funcionamiento de la red (proyecto del microdrenaje (Tr: 5 años), proyecto del macrodrenaje (Tr: 25 años) y verificación del macrodrenaje (Tr: 50 años)).

Como ejemplo, para cuantificar los daños correspondientes a una estrategia en el escenario de cambio climático 2 (celdas sombreadas de la Tabla 3-6), el valor esperado de los daños se cuantificó considerando las siguientes simulaciones:

- Primer período (2013-2043): para cuantificar el valor esperado de los daños EAD1-2 se consideraron los tirantes obtenidos de las simulaciones 1,06PE5, 1,06PE25, 1,06PE50.
- Segundo período (2043-2073): para cuantificar EAD2-2 se consideraron los tirantes obtenidos de las simulaciones 1,13PE5, 1,13PE25, 1,13PE50.
- Tercer período (2073-2103): EAD3-2 se obtuvo a partir de las simulaciones 1,20PE5, 1,20PE25, 1,20PE50.

Tabla 3-6.- Simulaciones consideradas en la determinación del valor esperado de los daños

Escenario	1			2			3		
	2013-2043	2043-2073	2073-2103	2013-2043	2043-2073	2073-2103	2013-2043	2043-2073	2073-2103
Proyecto Microdrenaje	1,03PE5	1,06PE5	1,10PE5	1,06PE5	1,13PE5	1,20PE5	1,10PE5	1,20PE5	1,30PE5
Proyecto Macrodrenaje	1,03PE25	1,06PE25	1,10PE25	1,06PE25	1,13PE25	1,20PE25	1,10PE25	1,20PE25	1,30PE25
Verificación Macrodrenaje	1,03PE50	1,06PE50	1,10PE50	1,06PE50	1,13PE50	1,20PE50	1,10PE50	1,20PE50	1,30PE50
EAD (\$/Año)	EADa-1	EADb-1	EADc-1	EADa-2	EADb-2	EADc-2	EADa-3	EADb-3	EADc-3

3.6.4. Evaluación económica de las estrategias

3.6.4.1. Actualización de los costos de construcción

En el caso de las estrategias E1 y E2, los costos de construcción para la ejecución de las redes correspondientes a los ítems señalados en 3.6.2 se ubican en el año inicial del período de análisis (año base: 2013).

Para la implementación de las estrategias E3 y E4, la inversión necesaria para la ampliación progresiva de la red y/o para la implementación de dispositivos de regulación domiciliarios está integrada por un monto inicial correspondiente al año base, y por inversiones parciales asignadas a los horizontes temporales intermedios (años 2043 y 2073). Estos costos parciales fueron designados como C_i : Costo de Construcción de la etapa i (en \$)

Para realizar la evaluación económica de las estrategias, los mismos fueron actualizados al año base 2013 mediante el Factor Simple de Actualización (FSA), determinando el Valor Presente del Costo de construcción (VPC en \$) según Ecuación (3-7).

$$VPC = \sum_{i=1}^{i=n} C_i \left[\frac{1}{(1+r)^{na}} \right] \quad (3-7)$$

Siendo

VPC: valor presente del costo de construcción (\$)

C_i : costo de construcción de la etapa i (\$)

r : tasa de descuento

na : período de actualización (años)

3.6.4.2. Actualización de los daños futuros

A los efectos de la evaluación económica, EAD corresponde a una serie uniforme de pérdidas anuales que se producirían, anualmente, durante el período de análisis (MDU-CP-FF, 2003, p.153).

Para actualizar las tres series escalonadas de daños anuales (EADa, EADb y EADc) se utilizaron las fórmulas del valor presente de anualidades diferidas, que comprende dos etapas de actualización:

La primera etapa consiste en la actualización de cada serie uniforme a su inicio relativo. En la Figura 3-17 se representa un escalón de pérdidas uniformes anuales EAD que se desarrolla sobre un período de análisis de 30 años. Esta serie se actualiza al año de inicio del período, determinando el daño anual esperado equivalente de la etapa i (D_i en \$). Para realizar esta actualización, se aplica el Factor de Actualización de una Serie uniforme (FAS), a una tasa de descuento r según Ecuación (3-8), siendo $na=30$ años el período de actualización de cada serie uniforme EADa, EADb y EADc.

$$D_i = EAD \left[\frac{(1+r)^{na} - 1}{i(1+r)^{na}} \right] \quad (3-8)$$

Los daños D_i obtenidos con la Ecuación (3-8) constituyen pérdidas concentradas en los años 2013, 2043 y 2073 del flujo de fondos, de magnitud equivalente a las series distribuidas en los tres períodos de 30 años considerados.

La segunda etapa de la actualización de la serie de anualidades diferidas implica actualizar los daños equivalentes D_i de cada etapa al año base 2013, a través del Factor de actualización simple (FSA) de acuerdo a Ecuación (3-9). Esta fase de la actualización permite obtener el Valor Presente de los Daños (VPD en \$) atribuibles a las pérdidas por inundación de cada estrategia.

$$VPD = \sum_{i=1}^{i=n} D_i \left[\frac{1}{(1+r)^{na}} \right] \quad (3-9)$$

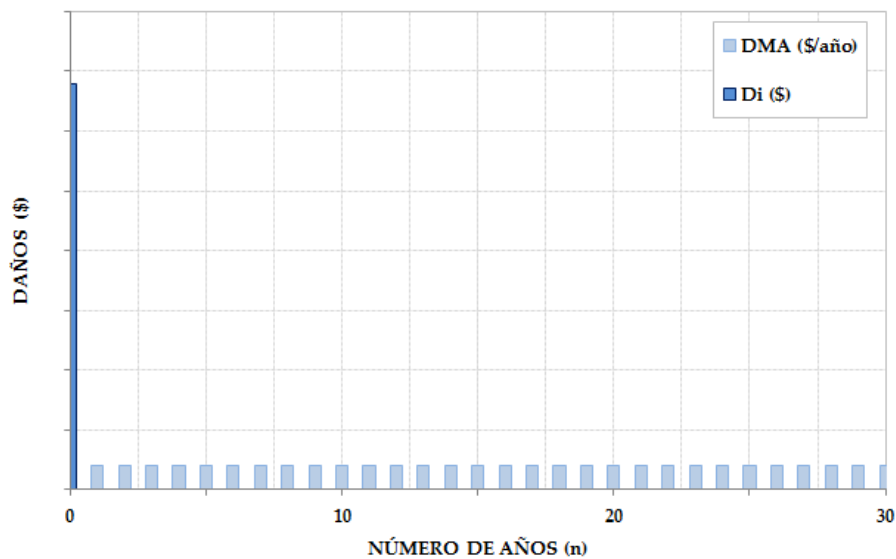


Figura 3-17.- Actualización de una serie de anualidades

3.6.4.3. Indicadores seleccionados

Para evaluar el desempeño económico de las estrategias en cada escenario de cambio climático se seleccionaron los siguientes indicadores: relación costo-beneficio B/C y Valor Presente Neto.

En cada horizonte temporal se determinaron las relaciones costo - beneficio B/C de las estrategias, definidas como el cociente entre el valor presente de los beneficios (B en \$) y el valor presente de los costos de implementación de las estrategias (C en \$).

Los beneficios económicos de las estrategias de planeamiento E2, E3 y E4 son los costos netos evitados por implementación de cada estrategia con respecto a la situación de no acción (E1). Se cuantificaron para cada horizonte temporal de los tres escenarios de cambio climático como la diferencia entre el valor presente de los daños acumulados (VPD en \$) de la estrategia E1 y el VPD de cada estrategia.

Los costos de implementación de cada estrategia se calcularon como la diferencia entre los valores actualizados de sus costos de construcción (VPC en \$), y el correspondiente a la estrategia E1.

El valor presente neto (VPN en \$) de cada estrategia de planeamiento, a partir de la sumatoria de los costos actualizados al año base 2013.

Esta sumatoria involucra el valor presente de los costos de construcción de las obras de drenaje de cada estrategia (VPC en \$) y el valor presente de los daños (VPD en \$) correspondientes al año 2013, de acuerdo a Ecuación (3-10).

Se analizó la variación del VPN en función del horizonte de análisis, para el corto plazo (H1: 2013-2043), mediano plazo (H2: 2013-2073) y largo plazo (H3: 2013-2103).

$$VPN = VPC + VPD$$

$$VPN = \sum_{i=1}^{i=n} Ci \left[\frac{1}{(1+r)^{na}} \right] + \sum_{i=1}^{i=n} Di \left[\frac{1}{(1+r)^{na}} \right] \quad (3-10)$$

3.6.4.4. Tasa de descuento adoptada

La sensibilidad del valor presente neto de una estrategia de planeamiento a variaciones de la tasa de descuento (r en %) en los tres escenarios de cambio climático se presenta en la Figura 3-18.

En esta figura, VPN1, VPN2 y VPN3 representan el valor actual neto de una estrategia de planeamiento en los escenarios de cambio climático 1 (incremento máximo 1,10PE), 2 (incremento máximo 1,20PE) y 3 (1,30PE) respectivamente.

En esta figura pueden apreciarse las importantes diferencias del valor presente neto en el rango de tasas de descuento analizado, comprendido entre 1% y 8%, y. Como ejemplo, para una tasa de descuento mínima del 1%, el valor actualizado del costo de implementación de esta estrategia se incrementa entre 1,30 y 3 veces el valor correspondiente a la tasa de descuento máxima del 8%.

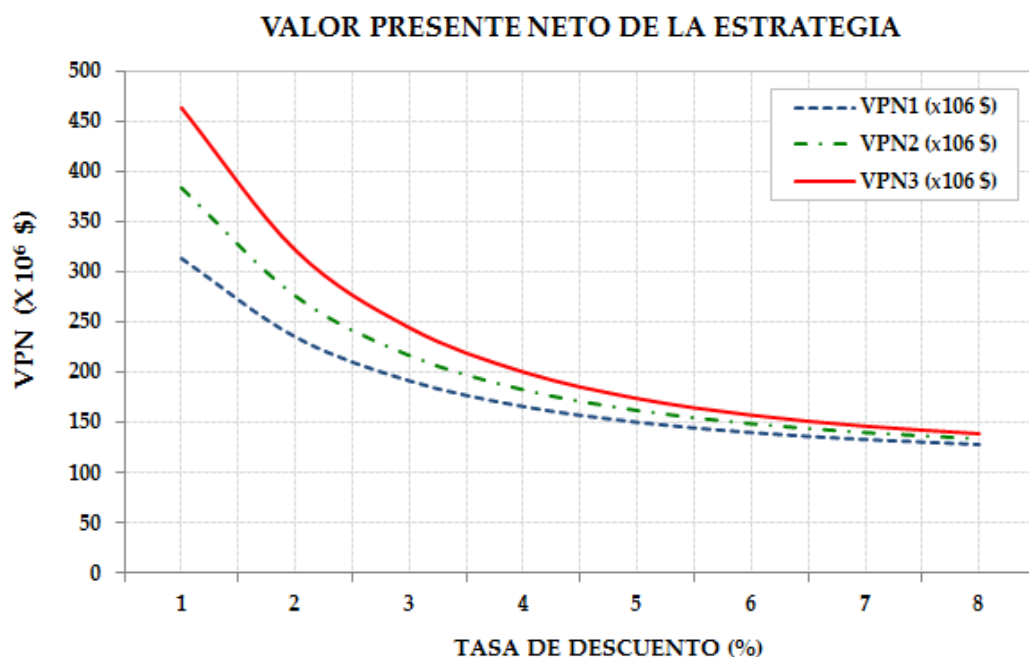


Figura 3-18.- Variación del VPN (\$) de una estrategia con la tasa de descuento

Como ha sido mencionado en el Capítulo 1, la selección de la tasa de descuento es motivo de extensos análisis en la literatura especializada, ya que constituye una descripción de la respuesta de los agentes económicos, y de su forma de contemplar el bienestar de las futuras generaciones (Stern, 2007, p.48). De este modo, la adopción de esta tasa constituye una estimación tanto técnica como socio económica, eventualmente diferente a los valores de mercado.

La tasa de descuento seleccionada para el análisis económico de las estrategias de planeamiento es $r=4\%$, ubicada en el rango acordado en las reuniones de coordinación de la CEPAL, validadas por los integrantes de equipos nacionales y paneles de asesores sobre cambio climático en reuniones celebradas en Santiago de Chile durante 2009 (CEPAL, 2014, p.60)

3.6.5. Combinatoria de impactos previstos diferentes de impactos reales

Los indicadores presentados en 3.6.4.3 caracterizan las consecuencias económicas del desempeño hidráulico de las estrategias en escenarios de cambio climático predefinidos.

Los mismos permiten estimar el rango de variación de los valores actualizados de los costos de construcción y de los daños por inundación correspondientes a los incrementos de la precipitación máxima para los cuales fueron proyectadas las redes de drenaje (impacto previsto).

No es posible estimar la magnitud y evolución temporal de la precipitación máxima futura, por lo cual el funcionamiento hidráulico de las redes proyectadas se encuentra sujeto a potenciales alteraciones (impacto real) que modifican los resultados de la evaluación económica de cada estrategia.

Considerando que una estrategia en particular ha sido adoptada por el tomador de decisión, la evolución futura de las precipitaciones máximas puede generar incrementos o reducciones de los beneficios de cada estrategia, con respecto a los valores de referencia indicados en 3.6.4.3.

La caracterización de la incerteza severa del cambio climático debe incluir también un análisis exploratorio del rango de variación del desempeño económico de cada estrategia ante variaciones del escenario de incremento de las precipitaciones.

En la Tabla 3-7 se presenta el resumen de escenarios analizados para evaluar la variación del desempeño económico de las estrategias en escenarios de incerteza severa. Las diagonales sombreadas de cada estrategia representan los escenarios de cambio climático para los cuales fueron proyectadas las redes respectivas (impacto previsto=impacto real).

Se determinaron las variaciones del desempeño de cada estrategia en escenarios de menores incrementos de la precipitación máxima que los asumidos en el proyecto de la red (celdas ubicadas sobre la diagonal principal): en estas condiciones las redes se encuentran sobredimensionadas e implican una reducción de los daños por inundación a expensas de un costo de construcción mayor.

Del mismo modo, se cuantificó la variación del desempeño económico en escenarios de incrementos de la precipitación máxima superiores a los asumidos en el

proyecto de la red (celdas ubicadas bajo la diagonal principal). En estas condiciones: las redes están subdimensionadas (menor costo de construcción) y se encuentran solicitadas por precipitaciones mayores que implican incrementos del valor presente de los daños.

Tabla 3-7.- Combinatoria de impactos previstos e impactos reales

Escenario de cambio climático	ESTRATEGIA DE PLANEAMIENTO											
	E1-1	E1-2	E1-3	E2-1	E2-2	E2-3	E3-1	E3-2	E3-3	E4-1	E4-2	E4-3
1	E1-1	E1-2-1	E1-3-1	E2-1	E2-2-1	E2-3-1	E3-1	E3-2-1	E3-3-1	E4-1	E4-2-1	E4-3-1
2	E1-1-2	E1-2	E1-3-2	E2-1-2	E2-2	E2-3-2	E3-1-2	E3-2	E3-3-2	E4-1-2	E4-2	E4-3-2
3	E1-1-3	E1-2-3	E1-3	E2-1-3	E2-2-3	E2-3	E3-1-3	E3-2-3	E3-3	E4-1-3	E4-2-3	E4-3

3.7. Relación entre los escenarios hipotéticos y las tendencias regionales

Los escenarios de cambio climático seleccionados para la cuantificación del impacto potencial y la evaluación económica de las estrategias determinan un rango representativo del posible incremento de las precipitaciones durante este siglo. El rango adoptado incluye a los escenarios hipotéticos de incremento leve (1,10PE), moderado (1,20PE) y elevado (1,30PE) de las precipitaciones intensas.

Estos escenarios fueron contrastados con las tendencias regionales presentadas en la Tercera comunicación Nacional (TCN) de la República Argentina a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), cuyos resultados finales fueron presentados en 2015 (CIMA, 2015) Centro de Investigaciones del Mar y la Atmósfera, Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación).

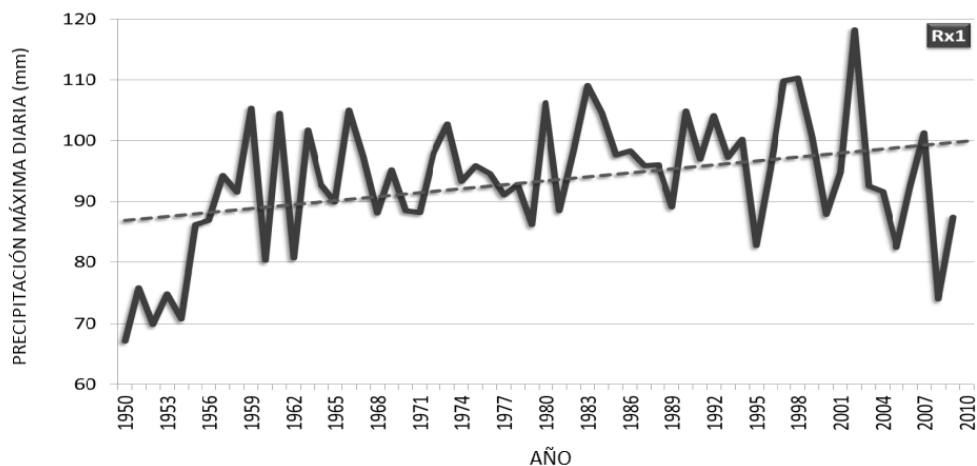
Para la región húmeda de la República Argentina, que incluye a las provincias de Misiones, Corrientes, Santa Fe, Entre Ríos y Buenos Aires, los índices vinculados a las precipitaciones extremas reflejan un cambio hacia precipitaciones más frecuentes (confianza alta) y más intensas (confianza media) entre 1950 y 2010.

La precipitación máxima diaria anual evidenció una tendencia positiva hasta la década del 2000 (Figura 3-19). De acuerdo a (CIMA, 2015, p.104) esta tendencia positiva fue reportada por (Re & Barros, 2009) y (Penalba & Robledo, 2010).

Para la generación de las proyecciones climáticas de la República Argentina durante el siglo XXI, se elaboraron tres escenarios climáticos futuros, dos de base CMIP5 (RCP4.5 y RCP8.5), y uno de base CMIP3 (A1B).

RCP4.5 asume una evolución de emisiones globales moderadas durante el siglo XXI, y RCP8.5 un fuerte crecimiento de estas emisiones con niveles similares a los actuales. Ambos escenarios corresponden a las trayectorias de concentración IPCC, cuyos rangos y valores medios fueron indicados en el capítulo 2 (Tabla 2-1).

A1B representa un escenario de emisiones intermedio entre los dos anteriores, y de acuerdo a TCN fue utilizado para la elaboración de escenarios regionales geográficamente más detallados a partir de modelos climáticos regionales (CIMA, 2015, p.3).



	Buenos Aires	Sta Fe – Entre Ríos	Corrientes -Misiones	Región Húmeda
Cambio 1950-2010	3,5	18,2	-3,3	13,1

Figura 3-19.- Promedio regional de la precipitación diaria máxima del año.
Adaptada de: (CIMA, 2015)

El análisis de los resultados de 26 modelos globales y regionales permitió seleccionar aquellos que representan mejor el clima observado en cada región del país. En el caso de la región húmeda, para las proyecciones de la precipitación máxima diaria futura, se consideró el promedio de resultados de los siguientes modelos:

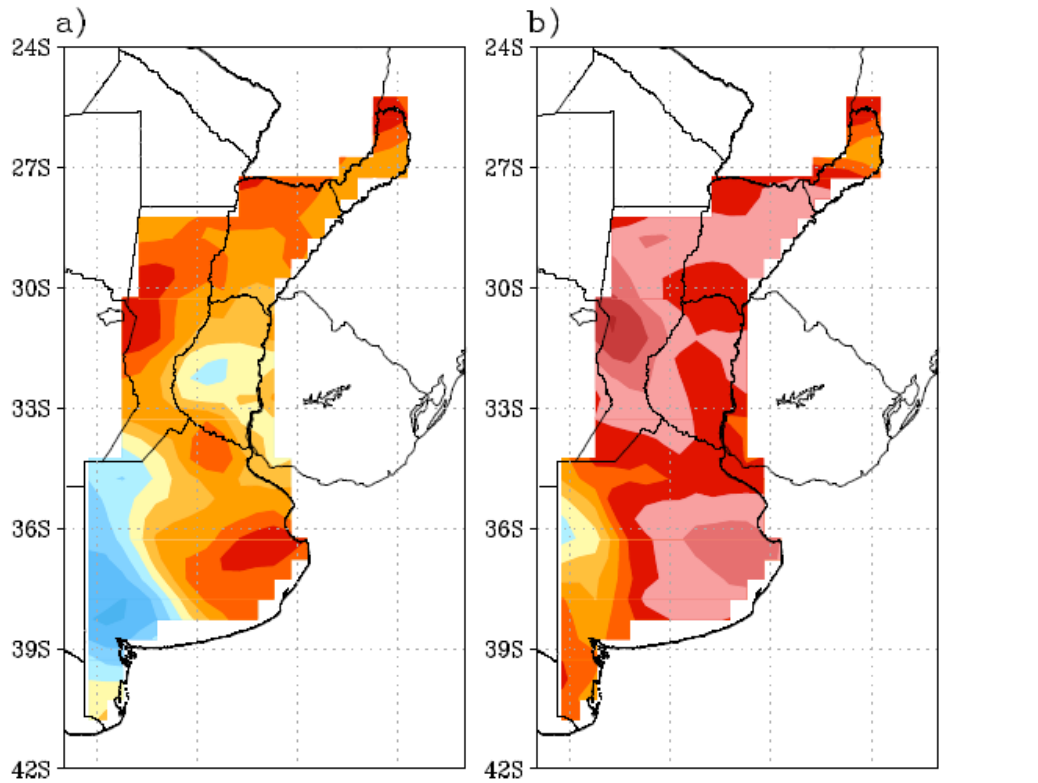
- **CCSM (2010):** Community Climate System Model - NCAR National Center for Atmospheric Research. USA.
- **CMCC-CM (2009):** Centro Euro-Mediterraneo per I Cambiamenti Climatici, Italia.
- **NorESMI-M (2011):** Norwegian Climate Centre, Noruega.

Las proyecciones climáticas para el siglo XXI presentadas en TCN fueron calculadas para dos horizontes temporales: clima futuro cercano (2015-2039), de interés para las políticas de adaptación, y clima futuro lejano (2075-2099), de carácter informativo sobre el largo plazo (CIMA, 2015, p.9).

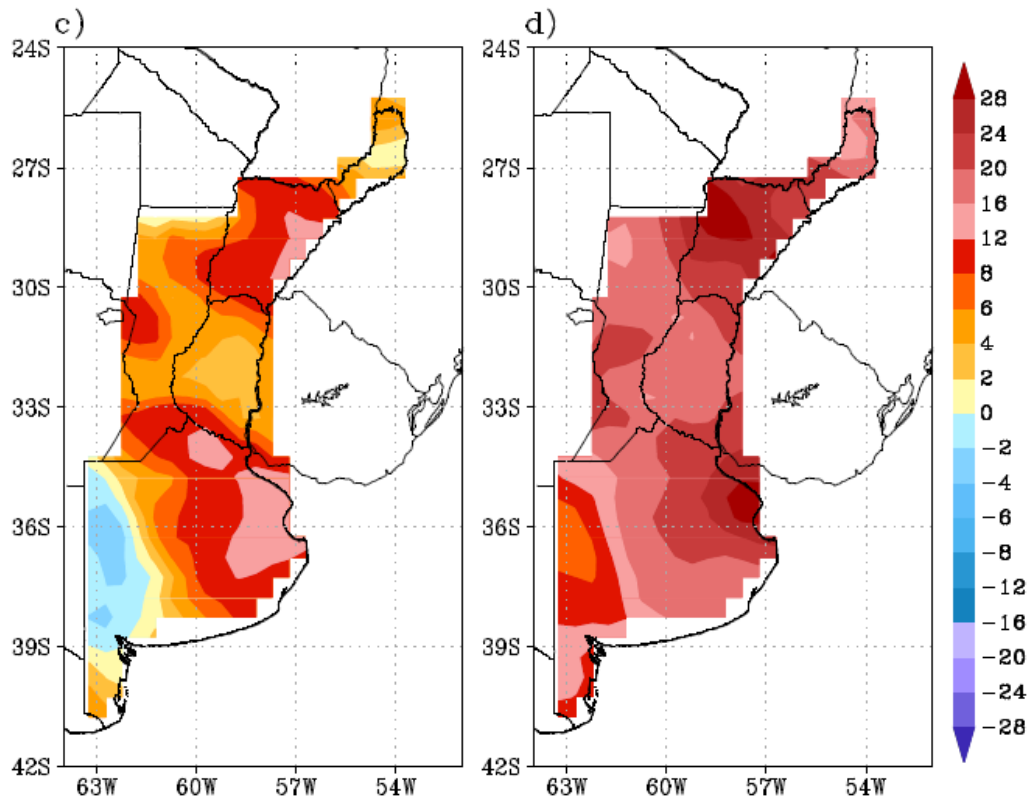
Los resultados indican que en casi toda la región húmeda las precipitaciones extremas tienden a aumentar en horizontes temporales de escenarios futuros. Los incrementos (en mm) de la precipitación máxima diaria anual (P_{máx} diaria), con respecto a los valores medios del índice respectivo en el período 1981-2005 se representan en la Figura 3-20.

Puede observarse que de acuerdo a las proyecciones de los modelos, el incremento de la precipitación máxima diaria alcanzaría en las celdas correspondientes a la zona de estudio (noreste de la provincia de Entre Ríos) los valores máximos (en mm) que se resumen en la Tabla 3-8.

Estos incrementos pueden expresarse como porcentaje del valor medio de la precipitación máxima diaria P_{máx} diaria = 117,5 mm estimada para la localidad de Concordia, cuyo valor se obtuvo a partir de la regionalización de precipitaciones máximas para la provincia de Entre Ríos (Zamanillo et al., 2008).



a) escenario RCP 4.5, futuro cercano, b) escenarioRCP4.5, futuro lejano.



c) escenario RCP8.5, futuro cercano, d) escenario 8.5, futuro lejano.

Figura 3-20.- Cambios en la precipitación diaria máxima del año (mm) con respecto al período 1981-2005. Fuente: (CIMA, 2015)

Tabla 3-8.- Proyección futura de los incrementos de la precipitación máxima diaria

Escenario	RCP 4.5 Futuro cercano	RCP4.5 Futuro lejano	RCP8.5 Futuro cercano	RCP8.5 Futuro lejano
Incremento (mm)	4	16	6	24
Incremento (%)	3	14	5	20

De acuerdo a las proyecciones de los modelos:

- En el escenario RCP 4.5, la precipitación máxima diaria se incrementaría entre un 3% en el futuro cercano (2015-2039) a un 14% en el futuro lejano (2075-2099).
- En el escenario RCP8.5 el incremento de P_{máx} diaria está comprendido entre un 5% en el futuro cercano, y un 20% en el futuro lejano.

Estos incrementos se representan en la Figura 3-21 en relación a los escenarios hipotéticos de cambio climático, donde puede observarse que los escenarios extremos de incremento leve de las precipitaciones (1,10PE) y elevado (1,30PE) cubren el rango de variación de las precipitaciones máximas previsto por los modelos climáticos para este sector de la zona húmeda de la República Argentina.

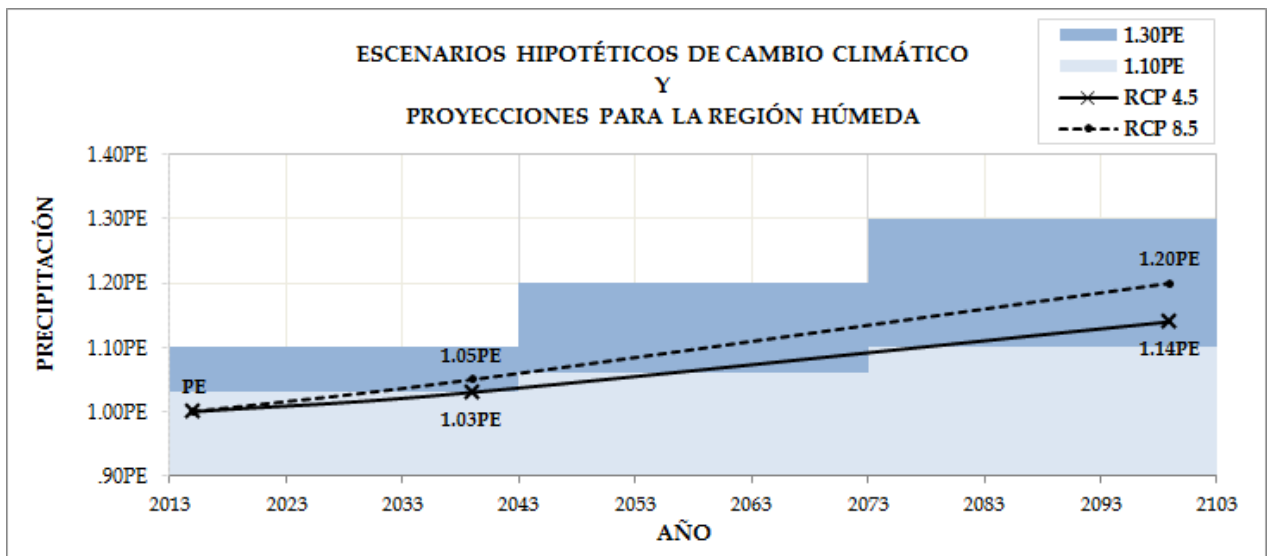


Figura 3-21.- Horizontes hipotéticos de crecimiento de la precipitación máxima diaria

CAPÍTULO 4

CUENCA DEL ARROYO MANZORES

4. CUENCA DEL ARROYO MANZORES

4.1. Descripción general

La cuenca del arroyo Manzores tiene una superficie total de 727 Ha y se encuentra ubicada en la planta urbana de la ciudad de Concordia, en la Provincia de Entre Ríos, Argentina.

Según se ilustra en la Figura 4-1, el arroyo escurre en el sector oriental de la ciudad, con dirección de desagüe noroeste-sudeste. La zona de estudio seleccionada para desarrollar el análisis de impacto de la incerteza corresponde al área de aportes del cauce principal del arroyo, la cual abarca una superficie de 577,38 Ha.

El cauce principal comprende una longitud de 3921 m hasta su desembocadura en el Río Uruguay, sitio donde se emplaza el Puerto local.

Próximo a la desembocadura recibe por margen derecha al único afluente, denominado Brazo del Manzores, actualmente entubado. El mismo se ubica en uno de los sectores más densamente urbanizados, y sigue una traza de aproximadamente 2300 m drenando una superficie de 149,41 Ha.

La Figura 4-2 presenta la delimitación de la cuenca analizada y el Modelo Digital de Elevaciones (MDE), el cual fue generado en base a la información topográfica oficial del Consejo Federal de Inversiones CFI (Curvas de nivel cada 5 metros), y a la proveniente de campañas de nivelación efectuadas con estación total en el área del cauce principal y llanura inundable del arroyo.

El modelo de cuenca fue discretizado en 134 sub áreas de aporte, cuyas propiedades geométricas se definieron en base a la información topográfica existente y a campañas de nivelación.

Los factores actuales y futuros de ocupación de suelo se obtuvieron a partir del procesamiento de los archivos catastrales en formato vectorial y de los factores máximos de ocupación previstos por el Código de Edificación del Municipio respectivamente, utilizando el software ARCGIS10.

El Sistema de Macrodrenaje incluye al cauce principal, y nueve reservorios de detención de tipo "on line" proyectados para contribuir al control de las inundaciones, cuya ubicación se indica en la Figura 4-3, materializados mediante excavaciones realizadas sobre el terreno natural, y confinados lateralmente por terraplenes. Este sistema incluye 109 secciones del sistema de calles, y 29 secciones transversales representativas del cauce principal y llanura de inundación del arroyo.

El Sistema de Microdrenaje está integrado por 10 subsistemas principales designados como S₁ a S₁₀, discretizados en 118 tramos correspondientes al sistema menor (conductos/canales), cuyos límites se indican en la Figura 4-3.

Los subsistemas fueron delimitados agrupando las redes de descarga común en el cauce principal, identificando las áreas de aporte directo a cada reservorio, cuyas superficies se indican en la Tabla 4-1.

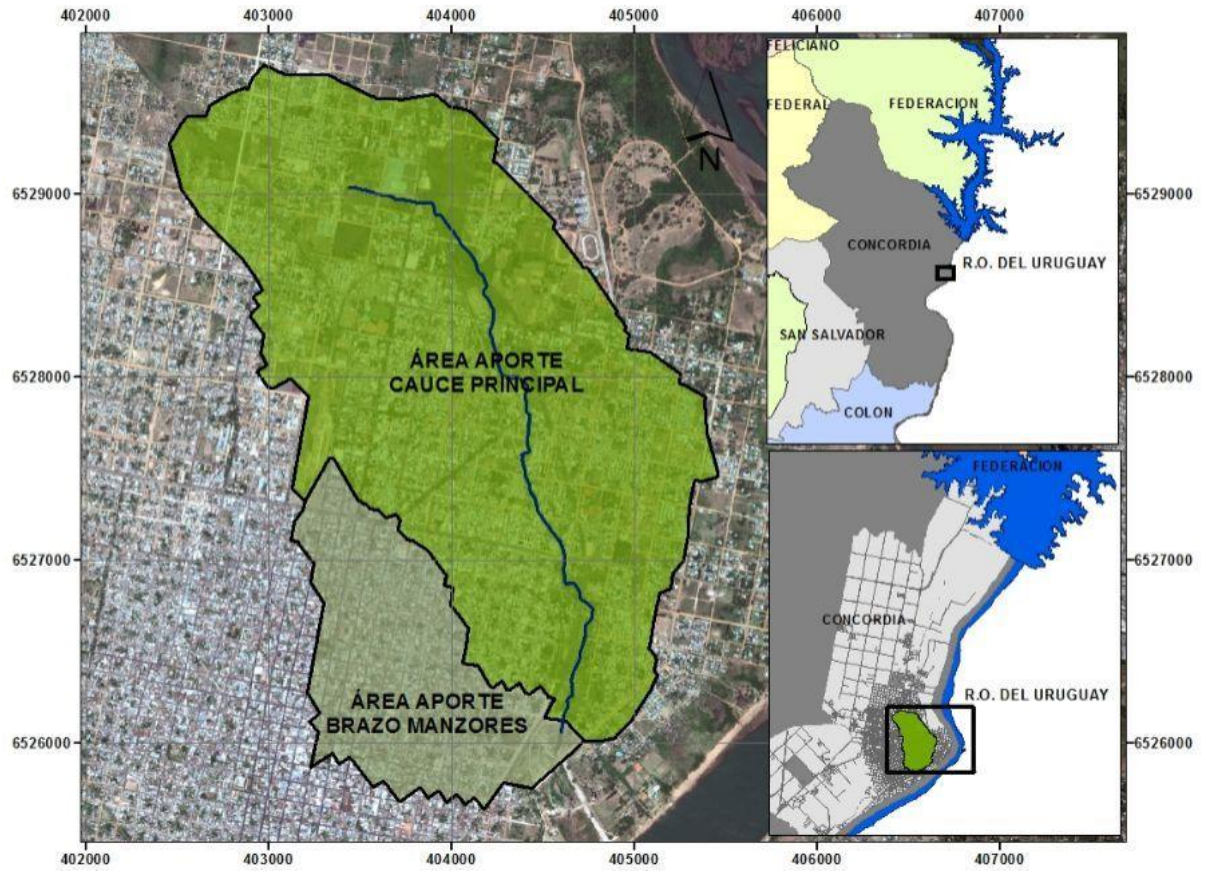


Figura 4-1.- Cuenca del Arroyo Manzores.

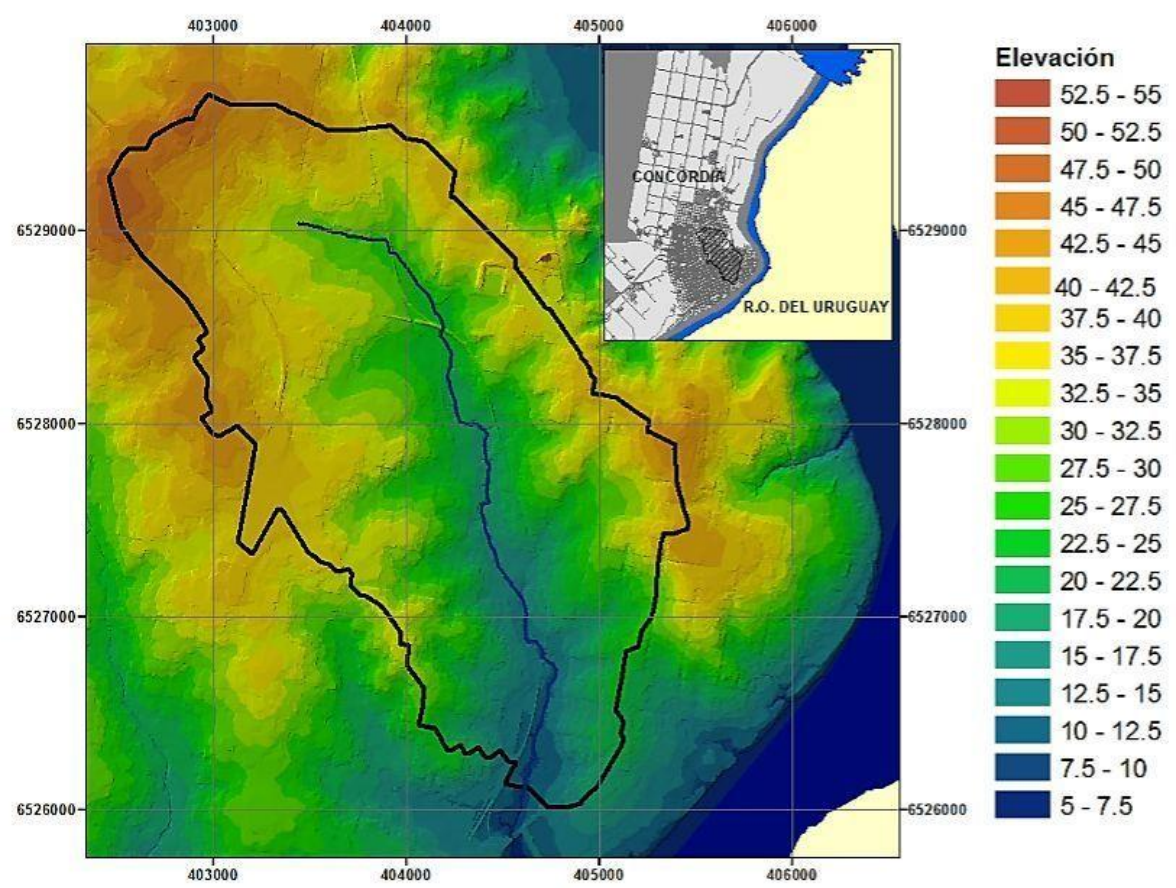


Figura 4-2.- Modelo digital de elevaciones y límites de la cuenca.

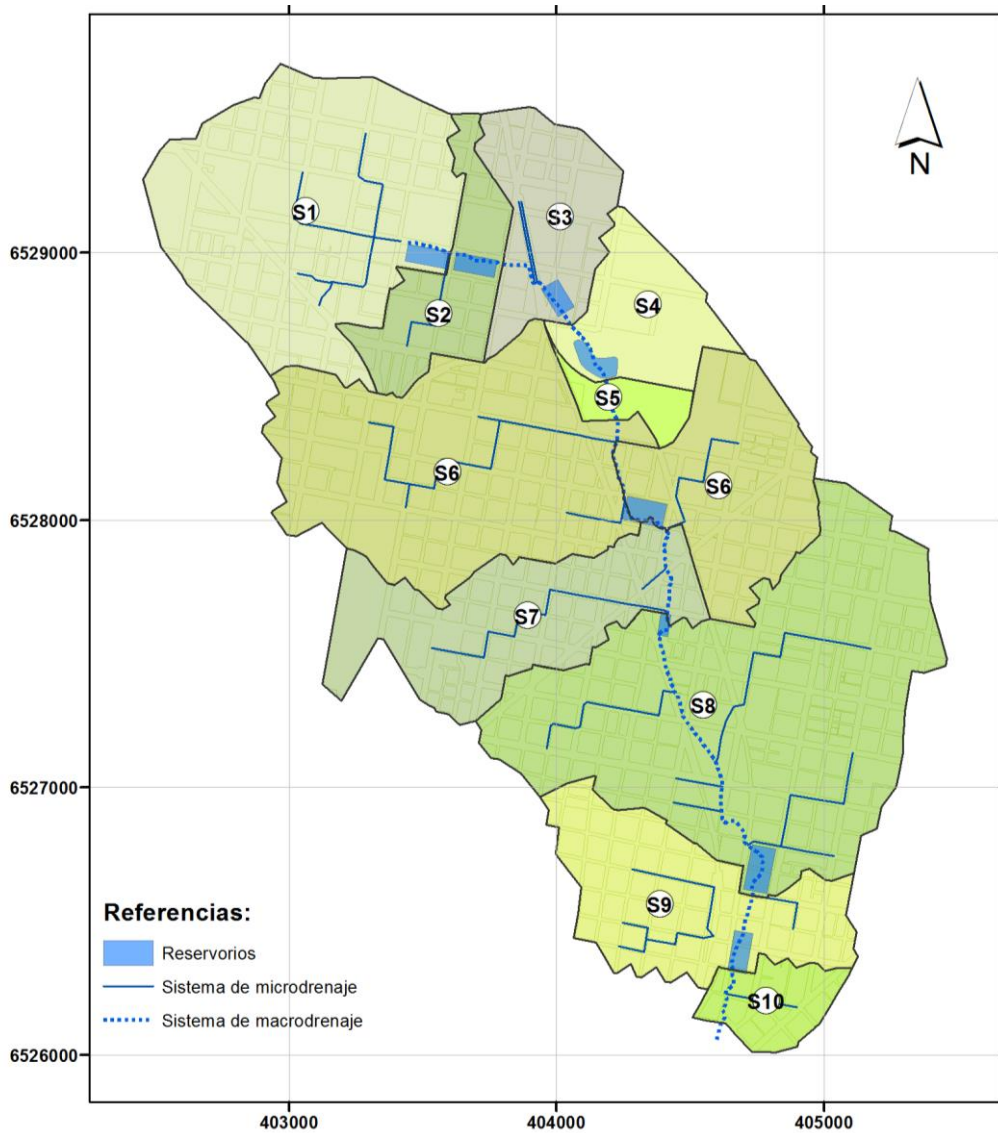


Figura 4-3.- Sistema de drenaje de la cuenca del Arroyo Manzores.

Tabla 4-1.- Superficies de aporte de los sistemas de microdrenaje

Sistema	Superficie	
	(Ha)	(%)
S1	94,2	16
S2	25,8	4
S3	31,7	5
S4	25,7	4
S5	7,5	1
S6	137,4	24
S7	54,1	9
S8	138,9	24
S9	46,9	8
S10	15,4	3
Total	577,8	100

4.2. Discretización de la Cuenca

La información de base para la discretización involucró la información topográfica del Consejo Federal de Inversiones, la proveniente de campañas de nivelación con estación total, la verificación in situ de líneas de escurrimiento y emplazamiento de bocas de tormenta, badenes y cámaras de inspección existentes.

Subcuencas: se delimitaron las divisorias de aguas de las redes de colectores de microdrenaje de los subsistemas S₁ a S₁₀, identificando 26 subcuencas de aporte que se esquematizan en la Figura 4-4.

Microcuencas: para caracterizar el funcionamiento hidráulico de los conductos del sistema de microdrenaje, estas subcuencas fueron discretizadas en 134 microcuencas de aporte de menores dimensiones esquematizadas en la Figura 4-5.

Se determinaron los parámetros de entrada al modelo de cada microcuenca: área A (Ha), ancho W (en m), longitud del cauce principal (en m), pendiente (en %) e impermeabilidad (%), los cuales se indican en el Anexo 1.

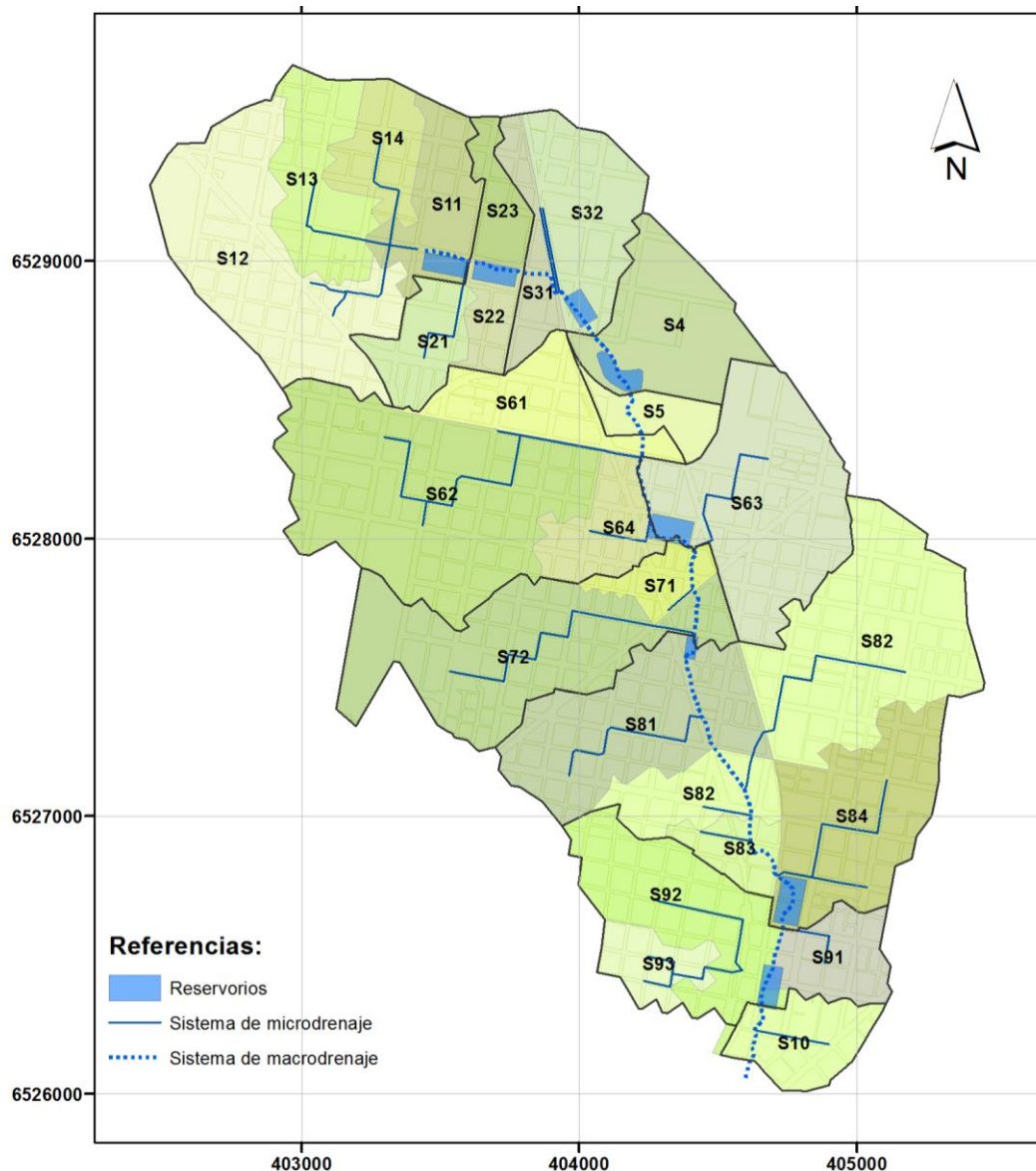


Figura 4-4.- Discretización de las subcuencas de aporte.

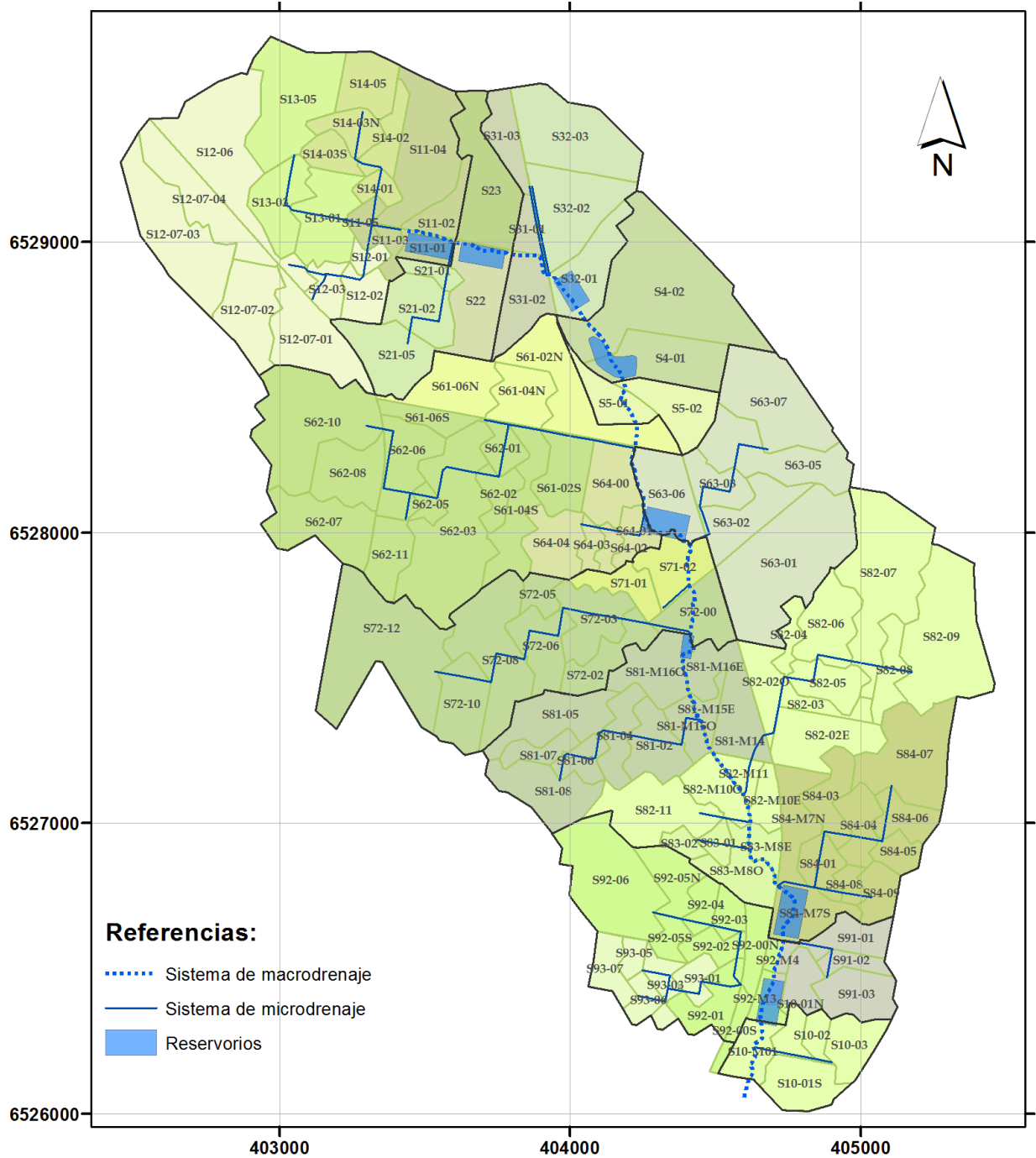


Figura 4-5.- Discretización de las microcuencas de aporte.

4.3. Uso y cobertura del suelo

4.3.1. Tipos de Suelo

De acuerdo a la Carta de Suelos del Departamento de Concordia, la Cuenca del Arroyo Manzores está comprendida en una asociación de mayor jerarquía correspondiente al Arroyo Yuquerí Grande, en la cual se encuentran suelos de orden Entisol. Los suelos pertenecientes a este orden se caracterizan por no presentar desarrollo edafogenético, por lo que carecen de horizontes de diagnóstico. Localmente son denominados suelos pardos o rojizos, y poseen características propias, dependientes de la mayor o menor influencia del aporte sedimentario del Río Uruguay.

Las capas superiores del perfil poseen elevada permeabilidad, textura arenosa a areno-franca, sin distinción de horizontes y de color rojizo. Su contenido de arcilla es muy bajo, variando entre el 5% y 12%. El segundo manto del perfil estratigráfico está constituido por sedimentos franco-arcillosos-arenosos, de color amarillo rojizo a rojo intenso, muchas veces incluyendo en su matriz canto rodado. Posee permeabilidad muy baja con elevada retención de agua. La profundidad a la que se encuentra esta capa varía entre 70 a más de 250 cm.

De acuerdo a la Carta de Suelos de La República Argentina (Cobertura SIG - Escala 1:500.000 - INTA - Aeroterra, 1990), los suelos se clasifican como Udifluventes Típicos, pertenecientes al Orden Entisol, con un manto superficial de textura superficial arenosa y bien drenada.

De acuerdo a las consideraciones anteriores se asumió que los suelos de la zona se encuentran comprendidos en la categoría B de la Clasificación Hidrológica del Servicio de Conservación de Suelos, para la cual el parámetro Número de Curva se ubica en torno al valor $CN=64$ para espacios abiertos con cobertura de pasto superiores al 75%.

4.3.2. Usos del Suelo

Los porcentajes de impermeabilidad fueron determinados mediante el procesamiento con Sistemas de Información Geográfica (ARCGIS10), considerando los datos de relevamientos actuales y los valores máximos establecidos por la reglamentación municipal vigente.

Los valores de impermeabilidad actual se obtuvieron en base al procesamiento de los Factores de Ocupación del Suelo suministrados en formato vectorial por la Dirección de Catastro del Municipio de Concordia, e incorporando las superficies pavimentadas al año 2012. Los porcentajes de impermeabilidad futura se obtuvieron del procesamiento de los Factores de Ocupación del Suelo reglamentados por el Código de Edificación de la Ciudad de Concordia.

La Tabla 4-2 resume las fracciones impermeables actuales y futuras adoptadas para las 26 subcuencas de aporte al sistema de macrodrenaje. Los porcentajes correspondientes a cada microcuenca se incluyen en el Anexo 1.

Tabla 4-2.- Impermeabilidad actual y futura de las subcuencas

Nº	Sistema	Subcuenca	Área (ha)	IMP Actual (%)	IMP Futura (%)
1	S1	S11	15,87	24	62
2		S12	46,12	24	62
3		S13	20,18	24	62
4		S14	12,07	24	62
5	S2	S21	11,39	24	62
6		S22	6,67	24	62
7		S23	7,77	24	62
8	S3	S31	9,01	30	57
9		S32	22,72	7	58
10	S4	S4	25,71	24	62
11	S5	S5	7,51	12	52
12	S6	S61N	17,25	31	58
13		S61S	11,32	38	63
14		S62	51,28	38	63
15		S63	44,93	27	62
16		S64	12,66	27	65
17	S7	S71	6,76	44	62
18		S72	47,34	44	62
19	S8	S81	36,93	44	63
20		S82	61,27	25	62
21		S83	7,40	18	63
22		S84	33,32	18	63
23	S9	S91	8,56	30	70
24		S92	29,97	39	59
25		S93	8,36	39	59
26	S10	S10	15,39	13	59

4.4. Diseño de la Red de Microdrenaje

Los Sistemas principales S₁ a S₁₀ fueron discretizados en 20 redes individuales de desagües pluviales, integradas por un total de 118 colectores subterráneos de geometría y características variables.

Se consideraron conductos de hormigón armado, asumiendo un coeficiente de rugosidad de Manning del material constitutivo de la tubería $n=0,014 \text{ s/m}^{1/3}$.

Este coeficiente fue ajustado para contemplar el efecto de pérdidas de carga singulares desarrolladas en cámaras de inspección, curvas, obstrucciones, etc. De acuerdo a las recomendaciones propuestas por (UDFCD, 2008, pp.RO-30), se incrementó el coeficiente típico de Manning de los tramos en un 25%, adoptando para la simulación hidrodinámica un coeficiente de rugosidad equivalente $n=0,018 \text{ s/m}^{1/3}$.

La configuración geométrica de los conductos fue ajustada para permitir el funcionamiento a superficie libre y en régimen subcrítico en el escenario de proyecto (Período de retorno Tr: 5 años).

Para ello, se ajustaron las pendientes y dimensiones de los colectores hasta asegurar el funcionamiento en régimen subcrítico, asumiendo los siguientes límites de

velocidad recomendados en el Manual de Drenaje Urbano de San Pablo para conductos de Hormigón Armado: Velocidad máxima admisible: 5m/s y Velocidad mínima admisible: 0,60 m/s. (Prefeitura de São Paulo, 2012, p.36)

Las propiedades geométricas de los 118 conductos se detallan en el anexo A1, donde se especifican: cotas de intrauno e intrados, distancia al fondo, longitud, pendiente, y las dimensiones respectivas de la sección transversal.

4.5. Diseño del Sistema de calles

El sistema de calles conduce el escurrimiento de las tormentas superiores a las de diseño, que exceden la capacidad del sistema de conductos subterráneos.

De acuerdo a UDFCD, un diseño adecuado debe garantizar el cumplimiento de la función primaria de las calles, que consiste en proveer seguridad al movimiento vehicular para un determinado nivel de servicio.

Para ello, se establecen criterios de verificación del escurrimiento en las calles, las cuales son clasificadas para propósitos de drenaje en base a su volumen de tráfico, prácticas de estacionamiento, diseño y construcción, relación con calles transversales, entre otros criterios.

La clasificación propuesta por UDFCD considera cuatro tipos de calles: (UDFCD, 2008, pp.PL-17)

Local (o Secundaria): tránsito menor dentro de áreas residenciales (o acceso a áreas industriales) a bajas velocidades.

Colectora (o Principal): colecta y distribuye el tránsito entre calles locales y arteriales a velocidades bajas/moderadas.

Avenida (o Arterial): facilita el tránsito rápido y con escasos impedimentos a la circulación, constituyendo en general vías de comunicación entre las áreas urbanas y los accesos a autopistas, a velocidades moderadas/elevadas.

Autopistas: alta velocidad, generalmente a través de largas distancias.

El sistema de calles hidráulicamente activas de la cuenca del Arroyo Manzores está integrado 109 secciones, predominantemente de tipo local conforme a clasificación UDFCD, para las cuales se establece que, a menos que estén preparados, tanto viviendas residenciales, edificios públicos, comerciales e industriales no deben presentar inundación en correspondencia con la línea de edificación.

Los excesos fueron canalizados a través de una calle tipo equivalente, de 8m de ancho y veredas de 3 m, con cordones de 0,20 m de altura, que se esquematiza en la Figura 4-6.

Para contemplar la presencia de obstrucciones, vehículos estacionados, basura, etc, se asumió un coeficiente de rugosidad equivalente de las calles $n=0,030$ y $0,040$ para las veredas.

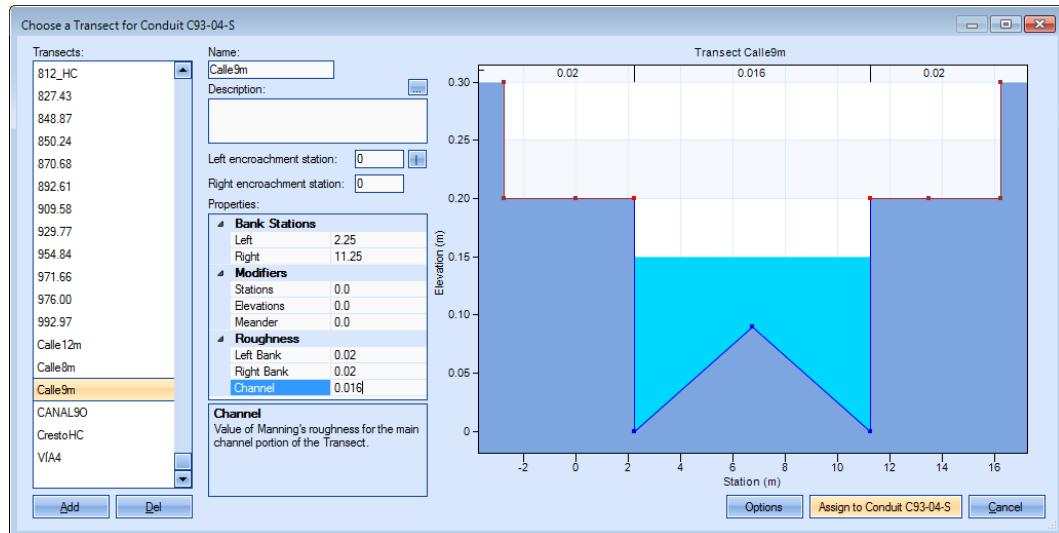


Figura 4-6.- Sección transversal tipo del sistema mayor

Para representar el comportamiento hidráulico del sistema ante eventos de mayor recurrencia, que exceden la capacidad de los conductos subterráneos, se caracterizaron los siguientes escenarios:

Escenario de proyecto del macrodrenaje: Período de retorno: 25 años

Escenario de verificación del macrodrenaje: Período de retorno: 50 años.

Para la calle equivalente tipo, se consideraron tirantes máximos admisibles sobre el fondo de la cuneta de 0,20 m (Tabla 4-3) para el evento de proyecto, y de 0,45 m (Tabla 4-4) para el evento de verificación. Las tablas mencionadas fueron adaptadas de (UDFCD, 2008, pp.ST-6)

Tabla 4-3.- Inundación admisible de la calle para la lluvia de diseño.
Adaptada de Tabla "ST-2: Pavement Encroachment Standards for the Minor Storm"

Clasificación de la calle	Evento de proyecto
Local o Secundaria	No se permite sobrepaso de cordón. El flujo puede ocupar el coronamiento de la calle.
Colectora o Principal	No se permite sobrepaso de cordón. El ancho anegado debe proporcionar al menos un carril de tránsito libre.
Arterial o Avenida	No se permite sobrepaso de cordón. El ancho anegado debe proporcionar al menos un carril de tránsito libre en cada dirección.
Autopista	No se admite ninguna ocupación por parte del flujo en ninguna mano de tránsito.

**Tabla 4-4.- Inundación admisible de la calle para el escurrimiento de la lluvia máxima
Adaptada de Tabla “ST-3 UDFCD: Street Inundation Standards for the Major Storm”**

Clasificación de la calle	Evento de Verificación
Local y Colectora	Viviendas residenciales, edificios públicos, comerciales e industriales deben ubicarse a no menos de 12 pulgadas (30,48 cm) por encima del nivel máximo del evento de verificación. La profundidad del agua a lo largo de la línea de cuneta no debe exceder las 18 pulgadas (45,72 cm).
Arterial/Autopista	Viviendas residenciales, edificios públicos, comerciales e industriales deben ubicarse a no menos de 12 pulgadas (30,48 cm) por encima del nivel máximo del evento de verificación. La profundidad del agua a lo largo de la línea de cuneta no debe exceder las 12 pulgadas (30,48 cm).

En el escenario de proyecto del macrodrenaje, las velocidades de escurrimiento en el sistema de calles deben mantenerse dentro de límites aceptables de seguridad:

“En calles con pendiente longitudinal elevada, la capacidad de conducción admisible de las cunetas debe limitarse cuando la combinación de tirante de agua y velocidad del flujo supera valores aceptables y el flujo se torna peligroso para la seguridad de peatones y vehículos”.

Considerando el empuje que el flujo ejerce sobre las piernas de un peatón, (Nanía, 1999) propuso el siguiente criterio para prevenir el arrastre de peatones”.

$$yV^2 < 1,23 \frac{m^3}{s^2} \quad (4-1)$$

Siendo y: tirante de agua, V: velocidad del flujo.

La Figura 4-7 indica la variación de la velocidad límite para prevenir el riesgo de arrastre.

Para el escenario de proyecto del macrodrenaje (Tr: 25 años), las velocidades de escurrimiento en las calles del sistema de Macro drenaje se ubican por debajo de la curva de velocidades límites recomendadas.

Los tirantes de agua sobre las cunetas resultan inferiores al tirante límite establecido por UDFCD, con excepción de 4 tramos que aportan a puntos bajos de la red de Macro drenaje (Tramos C62-01-S, C62-02-S, C72-06-S y C72-07-S).

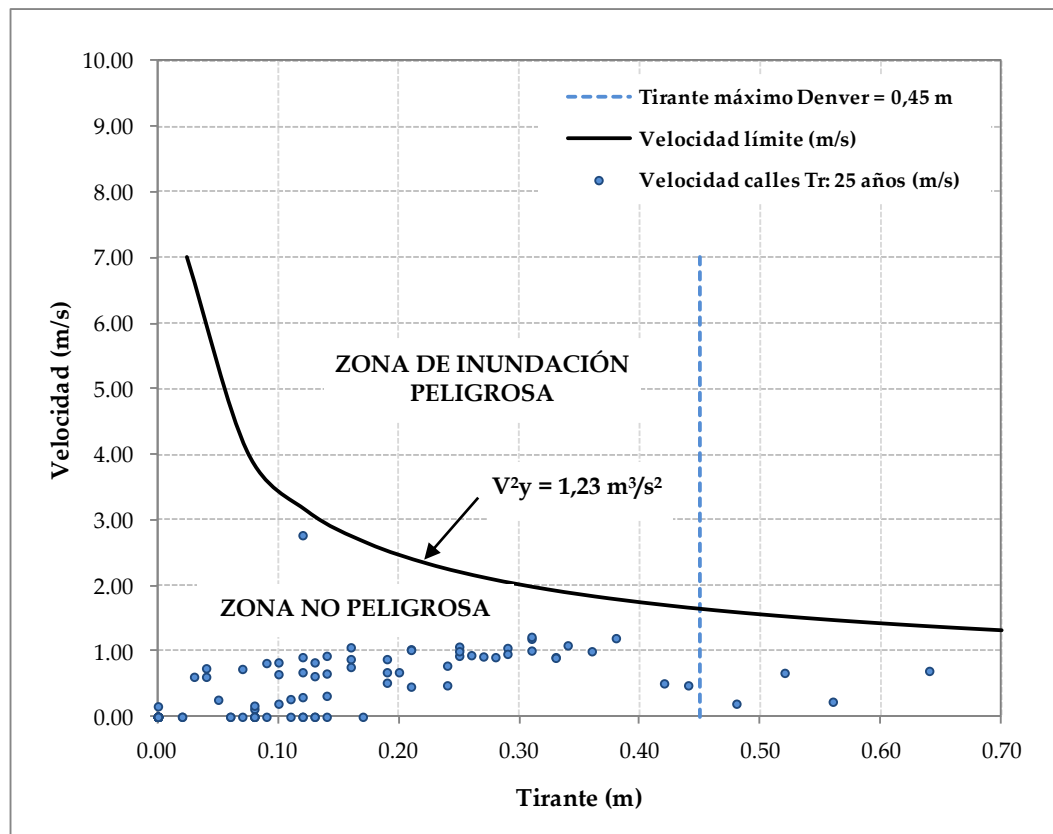


Figura 4-7.- Criterios para prevenir riesgo de arrastre (Nanía, 1999).

4.6. Diseño de los reservorios

En cuanto a su disposición en relación al curso de agua, el conjunto se desempeña como un sistema de reservorios en serie (“on line ponds”), configuración en la cual los reservorios se ubican sobre el curso, forzando a la totalidad del escurrimiento a atravesar el dispositivo.

La capacidad de regulación de cada estructura individual se encuentra determinada:

- Por condiciones aguas arriba (caudal liberado por el reservorio ubicado aguas arriba).
- Por condiciones topográficas propias (relación nivel de agua - volumen almacenado del reservorio).
- Por condiciones aguas abajo (nivel máximo aguas abajo TW (“tailwater elevation”) que condiciona el caudal de salida de las estructuras de evacuación).

El funcionamiento hidráulico de las estructuras de descarga de cada reservorio se encuentra afectado por efectos de remanso desde aguas abajo. Si la condición de descarga sumergida no es considerada puede sobreestimarse la capacidad de las obras de evacuación, originando dimensiones reducidas que pueden requerir costosas modificaciones para mejorar el desempeño de las estructuras.

El volumen de almacenamiento de los reservorios se adoptó de manera tal de mantener un caudal de corte igual al máximo caudal del escenario de impermeabilidad actual, en las progresivas de implantación de cada reservorio. Para la modelación se adoptaron volúmenes simplificados de planta rectangular y paredes verticales, con

excepción del Reservoirio 6, cuya forma irregular se adapta al área natural de almacenamiento disponible.

El área en planta de los reservorios fue sujeta a ajustes sucesivos hasta alcanzar la regulación requerida para los escenarios de proyecto y verificación, a partir de la simulación del funcionamiento hidráulico de la red de macrodrenaje.

Las obras de descarga previstas en el escenario PE consisten en orificios (escenario de proyecto del microdrenaje), vertederos de operación (escenario de proyecto del macrodrenaje) y vertederos de emergencia (escenario de verificación del macrodrenaje), diseñados para funcionar en rangos de profundidad determinados para cada escenario de precipitación estacionaria.

Estas obras se dimensionaron para reducir los caudales máximos de postdesarrollo a valores compatibles con el grado de impermeabilidad actual de la cuenca.

Para ello, se efectuó un proceso de ajustes sucesivos, mediante simulación del funcionamiento hidráulico de los dispositivos de regulación para las recurrencias de diseño y verificación, considerando las siguientes condiciones:

- Los orificios ubicados en el nivel inferior de los reservorios se dimensionaron para regular los caudales de salida a tasas compatibles con las condiciones de urbanización actual para una recurrencia de 5 años.
- Se ajustó la geometría de los vertederos de operación V1, V2 ... V9 para regular los caudales a tasas compatibles con las condiciones de urbanización actual en la recurrencia de proyecto del macrodrenaje (Tr: 25 años). Se adoptaron vertederos rectangulares, de longitud variable entre 12 y 15 metros, asumiendo un coeficiente de descarga de 1,70.
- Los vertederos de emergencia V1E, V2E ... V9E, ubicados en el nivel superior de los dispositivos de almacenamiento, se dimensionaron para descargar con seguridad los excesos sobre los caudales de diseño del macrodrenaje, evitando así eventuales daños estructurales originados por el desborde sobre los terraplenes de cierre de los reservorios. Su geometría se ajustó para el período de retorno de verificación del macrodrenaje (Tr: 50 años), adoptando vertederos rectangulares de longitud comprendida entre 10 y 15 m., para los cuales se asumió un coeficiente de descarga de 1,70.

Las dimensiones adoptadas de las obras de descarga se resumen en la Tabla 4-5. La representación esquemática de las obras de un reservorio tipo se representan en la Figura 4-8.

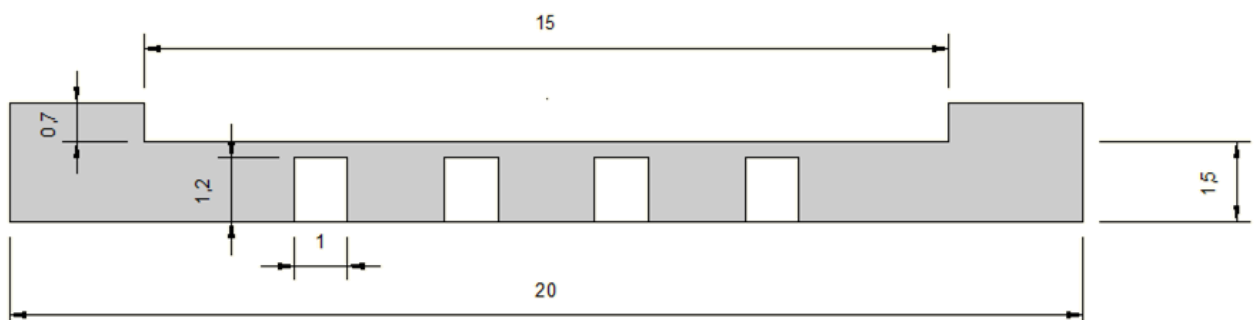


Figura 4-8.- Obras de descarga de un reservorio tipo R3.

Tabla 4-5.- Dimensiones de las obras de descarga

Reservorio	ORIFICIOS				VERTEDEROS OPERACIÓN (V)			VERTEDEROS EMERGENCIA (VE)		
	Nº	Ancho unidad (m)	Ancho total (m)	Altura (m)	Long. (m)	Cota umbral (m IGN)	Distancia al fondo (m)	Long. (m)	Cota umbral (m IGN)	Distancia al fondo (m)
R1	4	1,00	4,00	1,00	12	30,50	1,70	10	31,00	2,20
R2	5	1,00	5,00	1,00	14	28,40	1,70	10	28,65	1,95
R3	4	1,00	4,00	1,20	15	26,28	1,50	10	26,68	1,90
R4	4	1,00	4,00	1,10	15	24,55	2,05	15	25,00	2,50
R6	10	1,60	16,00	1,20	15	19,00	1,50	15	19,60	2,10
R7	7	1,00	7,00	1,60	15	17,45	2,15	15	18,20	2,90
R8	10	1,50	15,00	2,00	15	11,65	1,95	15	12,50	2,80
R9	10	2,00	20,00	2,00	15	10,30	2,10	15	10,85	2,65

4.7. Diseño de los tramos del macrodrenaje

Para el diseño de los tramos del macrodrenaje, se utilizaron los siguientes valores de referencia propuestos por UDFCD. (UDFCD, 2008, pp.MD-27) (Vol II-Tabla MD-2), correspondientes a revestimiento resistente a la erosión:

Velocidad máxima $V_{m\acute{a}x}$: 7 pies/seg = 2,14 m/s

Nº de Froude máximo $Fr_{m\acute{a}x}$: 0,80

Pendiente longitudinal máxima: $S_{m\acute{a}x}$ = 0,60%

Pendiente transversal máxima: $St_{m\acute{a}x}$ = 4H:1V

Rugosidad máxima para verificación de la capacidad: $n_{m\acute{a}x}$ = 0,035

La geometría del cauce principal obtenida a partir del modelo digital de elevaciones y campañas de nivelación fue simplificada asumiendo para cada tramo una sección compuesta equivalente compuestas por tres niveles, cuyas dimensiones se definieron para conducir el caudal pico del escenario de proyecto de las simulaciones (PE).

Las profundidades y los anchos de las planicies de inundación asignados a cada sección representan las características topográficas del tramo, sintetizando las propiedades geométricas del cauce principal.

Se adoptó para el cauce principal una sección transversal trapecial, de taludes laterales variables entre 2H:1V y 4H:1V funcionando a sección llena para $Tr=5$ años.

Para las recurrencias de diseño del Macrodrenaje (Tr: 25 años) y de verificación del Macrodrenaje (Tr: 50 años) se consideraron dos niveles horizontales de ancho equivalente a la llanura de inundación.

Una sección equivalente típica se presenta en la Figura 4-9, donde ha sido incorporada a todos los tramos una revancha de 2 metros para cuantificar el incremento de niveles asociado a los escenarios de cambio climático.

Considerando los valores de referencia recomendados por USGS (Arcement & Schneider, 1989) se adoptaron los coeficientes de rugosidad $n=0,035$ para el cauce principal y $n=0,050$ para la llanura de inundación.

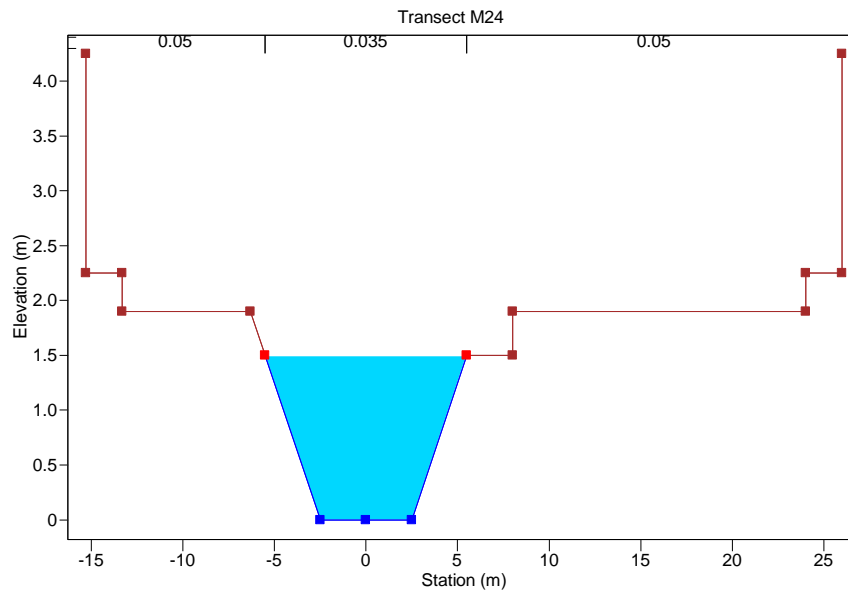


Figura 4-9.- Sección trapezoidal equivalente de los tramos del macrodrenaje.

CAPÍTULO 5

DESARROLLO

5. DESARROLLO

En este capítulo se presentan los resultados de las etapas metodológicas presentadas en el capítulo 3, para la cuantificación del impacto del cambio climático sobre la red de drenaje del arroyo Manzores.

La simulación de la respuesta de la red incluyó el escenario de tormenta de proyecto estacionaria (PE) y tres escenarios de cambio climático hipotéticos, que abarcan un rango representativo del crecimiento de las precipitaciones durante el próximo siglo.

En la primera parte se cuantifica el impacto del incremento de las precipitaciones sobre dos indicadores principales que determinan la respuesta hidráulica de la red de drenaje: la inundación o anegamiento de calles en tramos críticos de la red (caracterizada a través del incremento de los tirantes máximos y de los tiempos de anegamiento), y el aumento de los caudales del curso principal del macrodrenaje. En ambos casos, se identificaron sectores críticos de la cuenca, que representan las áreas más comprometidas en los tres escenarios de cambio climático.

El análisis de resultados se describe para el escenario de cambio climático 2, que constituye un escenario intermedio de crecimiento moderado de las precipitaciones (incremento máximo de la tormenta de proyecto de 1,20PE al final del horizonte de planeamiento). Posteriormente, se comparan estos resultados con los correspondientes a los escenarios de incremento leve de las precipitaciones (escenario de cambio climático 1: incremento máximo 1,10PE al final del período analizado), y el escenario de incremento elevado de las precipitaciones: (escenario de cambio climático 3: incremento máximo 1,30PE al final del período analizado).

Una vez identificados los principales impactos del cambio climático sobre la red de drenaje, se establecen cuatro estrategias de planeamiento para la adaptación al potencial incremento de las precipitaciones:

- E1: estrategia de no acción.
- E2: proyecto de la red para los máximos incrementos previstos en el fin del período de análisis.
- E3: adecuación o reemplazo parcial/total de las obras.
- E4: disminución del exceso de caudal de aporte a la red mediante medidas de control en la fuente y adecuación gradual del macrodrenaje.

Posteriormente, se cuantifica el impacto económico de cada estrategia de planeamiento en un rango representativo de escenarios de cambio climático, mediante la determinación de los costos y beneficios de cada alternativa.

Este análisis exploratorio del impacto económico tiene como objetivo establecer líneas guía para considerar la incerteza del cambio climático en el gerenciamiento de sistemas de drenaje existentes, que fueron proyectados asumiendo estacionalidad de las series hidrológicas, así como identificar un panorama global de los efectos de adoptar diferentes criterios de planeamiento y/o diferentes enfoques para control del impacto del CC sobre la urbanización, y aportar elementos para incorporar esos elementos en el desarrollo de nuevos proyectos.

5.1. Incremento de la severidad y frecuencia de los eventos extremos

De acuerdo a datos reportados en la Segunda Comunicación para el Cambio Climático de la República Argentina, los resultados de los modelos indican que en casi toda la región húmeda, que incluye a las provincias de Misiones, Corrientes, Santa Fe, Entre Ríos y Buenos Aires las precipitaciones extremas tienden a aumentar en horizontes temporales de escenarios futuros.

Este incremento de la magnitud y frecuencia de las precipitaciones en escenarios de cambio climático causan un aumento de la severidad y la cantidad de fallas de los sistemas de drenaje urbano durante la vida útil de las obras.

5.1.1. Severidad de los eventos extremos

De acuerdo a los resultados presentados en 5.4, el aumento de las precipitaciones para una recurrencia fija en escenarios de cambio climático incrementa la gravedad de las fallas, forzando a los componentes del sistema de drenaje a trabajar bajo solicitaciones superiores a las asumidas en el proyecto de la red.

Para la tormenta de proyecto simulada, de 24 horas de duración, la lámina total precipitada (mm) está definida por la Ecuación (5-1). La intensidad de precipitación i_E en el escenario de precipitación estacionaria (mm/hora) corresponde al análisis estadístico del registro histórico de la localidad de Concordia durante el período 1954-2005:

$$P_E = i_E d = \frac{K Tr^m}{(d + c)^n} d \quad (5-1)$$

Siendo:

P_E : lámina precipitada (mm)

i_E : intensidad de precipitación estacionaria (mm/h)

K, m, c y n : parámetros de la ecuación Sherman

d : duración de la tormenta en minutos

Tr_E : período de retorno de la precipitación estacionaria (años)

Asumiendo incrementos α de la intensidad de precipitación variables entre 1,10 y 1,30, la lámina P (mm) correspondiente al período de retorno $Tr = Tr_E$ en escenarios de cambio climático está indicada en la Ecuación (5-2):

$$P = \alpha P_E = \alpha i_E d = \alpha \frac{K Tr_E^m}{(d + c)^n} d \quad (5-2)$$

Es decir que manteniendo fijo el período de retorno, el aumento de las láminas P incrementa la gravedad de las fallas del sistema de drenaje, según se indica en la Figura 5-1.

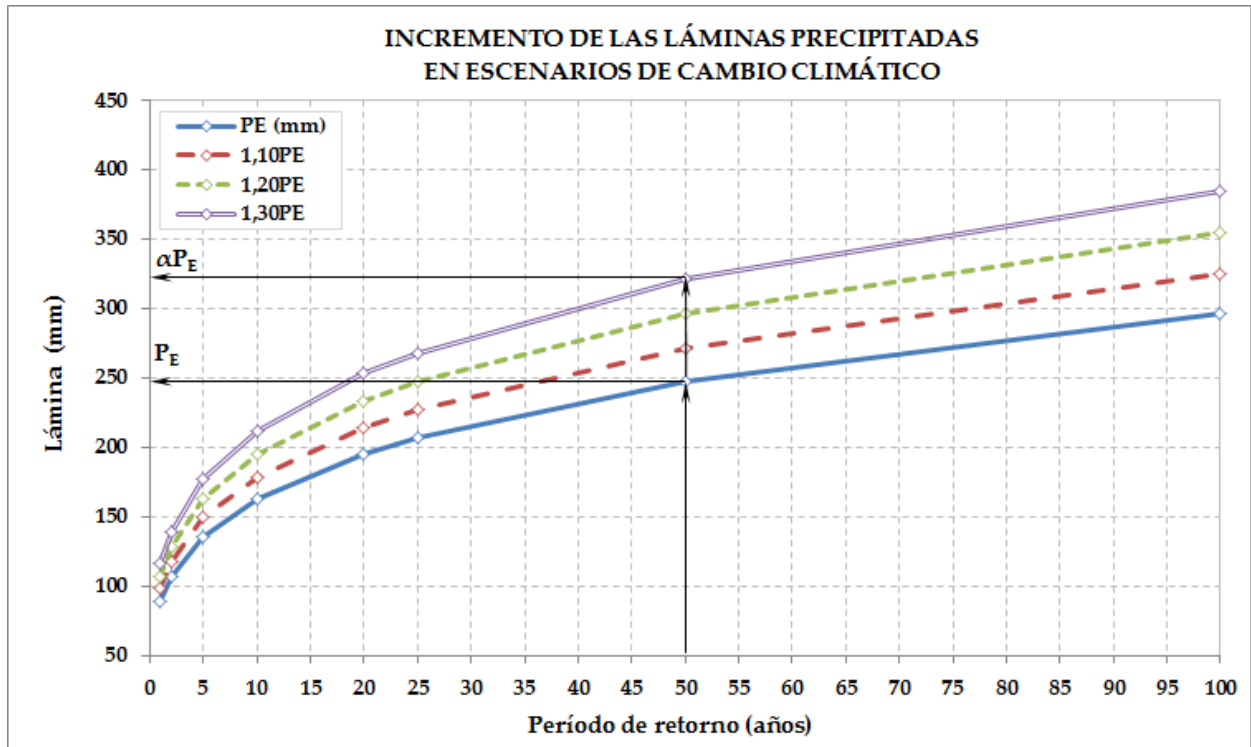


Figura 5-1.- Incremento de la severidad del evento en escenarios de cambio climático

5.1.2. Frecuencia de los eventos extremos

Manteniendo fija la magnitud de la falla producida por un evento pluviométrico, su frecuencia de ocurrencia se incrementa.

Asumiendo que en escenarios de cambio climático son válidos los parámetros de la ecuación Sherman (k , m , n y c), y manteniendo constante la magnitud de la lluvia de proyecto de la red de drenaje ($P=P_E$ en mm), la misma puede expresarse según Ecuación (5-3).

$$P = P_E = \alpha \frac{K Tr^m}{(d+c)^n} d \quad (5-3)$$

Bajo estos supuestos puede asumirse que para un escenario de cambio climático que causa un incremento α de la intensidad de lluvia, el período de retorno Tr de la tormenta de proyecto alcanzaría el valor indicado en la Ecuación (5-4).

$$Tr = \left[\frac{1}{\alpha} \frac{P_E (d+c)^n}{d K} \right]^{1/m} \quad (5-4)$$

Siendo:

Tr : período de retorno de la lámina P_E en el escenario de cambio climático (años)

Tr_E : período de retorno de la precipitación estacionaria (años)

α : incremento hipotético de la intensidad de precipitación (variable entre 1,10 y 1,30)

De acuerdo a la Ecuación (5-4) las recurrencias del evento de magnitud P_E se reducen con respecto al escenario PE en una magnitud $\alpha^{1/m}$, cuyos valores se resumen en la Tabla 5-1, en función del incremento α .

$$Tr = \frac{Tr_E}{\alpha^{1/m}} \quad (5-5)$$

Tabla 5-1.- Coeficientes de reducción del período de retorno

α	1	1,10	1,20	1,30
$\alpha^{1/m}$	1	1,44	2,02	2,74
$1/(\alpha^{1/m})$	1	0,69	0,50	0,36

Para incrementos $\alpha=1,10$, el período de retorno Tr se reduce a un 69% del correspondiente al escenario PE. Si α asume el valor 1,20, Tr equivale al 50%, mientras que para $\alpha=1,30$, la máxima reducción de Tr es del 36%.

La comparación gráfica del período de retorno correspondiente a un evento hipotético se presenta en la Figura 5-2, donde puede observarse la reducción de la recurrencia del evento de magnitud P_E .

En la Tabla 5-2 se resumen las recurrencias y probabilidades de falla correspondientes a cada incremento α , obtenidas a partir de la Ecuación (5-5).

En las celdas sombreadas se resaltan las reducciones del período de retorno (y los correspondientes incrementos de la probabilidad de falla) para las recurrencias de diseño y verificación de los sistemas de micro y macrodrenaje.

Puede observarse la reducción del período de retorno del sistema de microdrenaje, proyectadas para una recurrencia de 5 años en el escenario PE: en escenarios hipotéticos de cambio climático el número de sucesos (y el costo asociado a los mismos) durante la vida útil de la obra incrementaría su frecuencia, debido que la recurrencia se reduce desde 5 años a valores comprendidos entre 1,8 y 3,5 años, en función de la severidad del cambio.

El sistema de microdrenaje, proyectado para una probabilidad de falla PF de 20% en el escenario de precipitación estacionaria incrementaría su probabilidad de falla a valores comprendidos entre 29% y 55%.

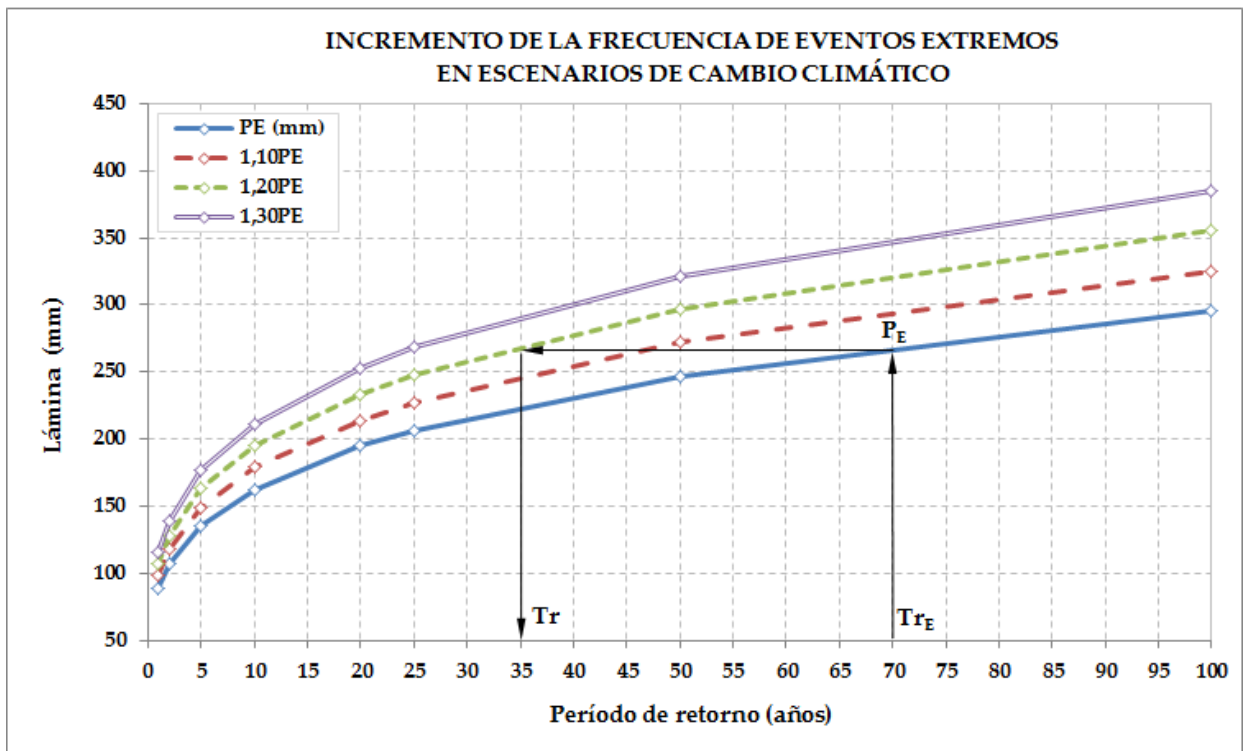


Figura 5-2.- Incremento de la frecuencia del evento en escenarios de cambio climático.

Tabla 5-2.- Períodos de retorno de las tormentas de proyecto

Período de retorno Tr (años)					Probabilidad de falla PF (%)			
Tr_E	$\alpha = 1,00$	$\alpha = 1,10$	$\alpha = 1,20$	$\alpha = 1,30$	$\alpha = 1,00$	$\alpha = 1,10$	$\alpha = 1,20$	$\alpha = 1,30$
2	2	1,4	1,0	0,7	50	72	-	-
5	5	3,5	2,5	1,8	20	29	40	55
10	10	6,9	5,0	3,6	10	14	20	27
20	20	13,9	9,9	7,3	5	7	10	14
25	25	17,3	12,4	9,1	4	6	8	11
50	50	34,7	24,8	18,2	2	3	4	5
100	100	69,3	49,6	36,5	1	1	2	3

Del mismo modo, asumiendo que la recurrencia de las fallas para el proyecto del macrodrenaje es de 25 años en el escenario PE, esa recurrencia bajaría a un valor de entre 17 a 9 años, dependiendo de la severidad del cambio climático. La probabilidad de ocurrencia se incrementaría desde el 4% en el escenario PE a valores comprendidos entre el 6% y el 11%.

El evento de mayor magnitud adoptado para la verificación del macrodrenaje, (50 años) bajaría su recurrencia a un valor comprendido entre 18 y 35 años, a las cuales corresponde una probabilidad de falla PF comprendida entre 3% y 5%.

5.2. Impactos previstos en el escenario 1,20PE

Se presentan las conclusiones del análisis de los resultados de las simulaciones para el escenario central de cambio climático 2, que representa un incremento máximo de las precipitaciones de 1,20PE al final del período de análisis (2013-2103).

Se evaluó el impacto de este escenario hipotético de cambio climático sobre dos indicadores principales que caracterizan la respuesta hidráulica de la red de drenaje: la inundación o anegamiento de calles en tramos críticos de la red (caracterizada a través del incremento de los tirantes máximos y de los tiempos de anegamiento), y el incremento de los caudales del curso principal de macrodrenaje.

En ambos casos, se identificaron sectores críticos de la cuenca, que representan las áreas más comprometidas en este escenario de cambio climático.

5.2.1. Recurrencia de Proyecto del Microdrenaje (Tr: 5 años)

5.2.1.1. Anegamiento de calles

Mientras que en el escenario de proyecto (PE5) no existen calles hidráulicamente activas por transferencias del sistema subterráneo, los resultados de las simulaciones indican que en el escenario 1,20PE5 la entrada en carga de los conductos causa inundaciones superficiales, que afectan al 17% de la longitud total del sistema de calles.

La ubicación de los tramos críticos se indica en los mapas presentados en la Figura 5-3. En esta figura los tramos han sido representados de acuerdo a la magnitud del tirante (en centímetros) y del tiempo de anegamiento (en minutos), y permite individualizar las calles afectadas en el escenario 1,20PE5.

La distribución de tirantes máximos en el escenario 1,20PE5 se indica en la Figura 5-4, para intervalos de clase de 10 centímetros.

La mayor proporción de calles activas presenta tirantes inferiores a 10cm (11% del total de calles), mientras que en un 4% los tirantes varían entre 10 y 20 cm.

Los tramos más solicitados del sistema en el escenario 1,20PE5 tienen tirantes superiores a la altura del cordón de vereda (20 cm) representan el 2% del total de calles y están ubicados en la red S6.

Debido a que su magnitud, la longitud afectada de la red S6 por tirantes entre 40-50 cm constituye un sector crítico de la cuenca, dado que podría comprometer a las edificaciones en la recurrencia de diseño del microdrenaje.

De acuerdo a la distribución de porcentuales del tiempo de anegamiento de calles activas presentada en la Figura 5-5, el mismo varía entre 10 y 40 minutos.

Se identifica un sector de la cuenca que presenta mayor vulnerabilidad ante incrementos de las precipitaciones, ubicado en la red S6, el cual ha sido indicado como área crítica en la Figura 5-3.

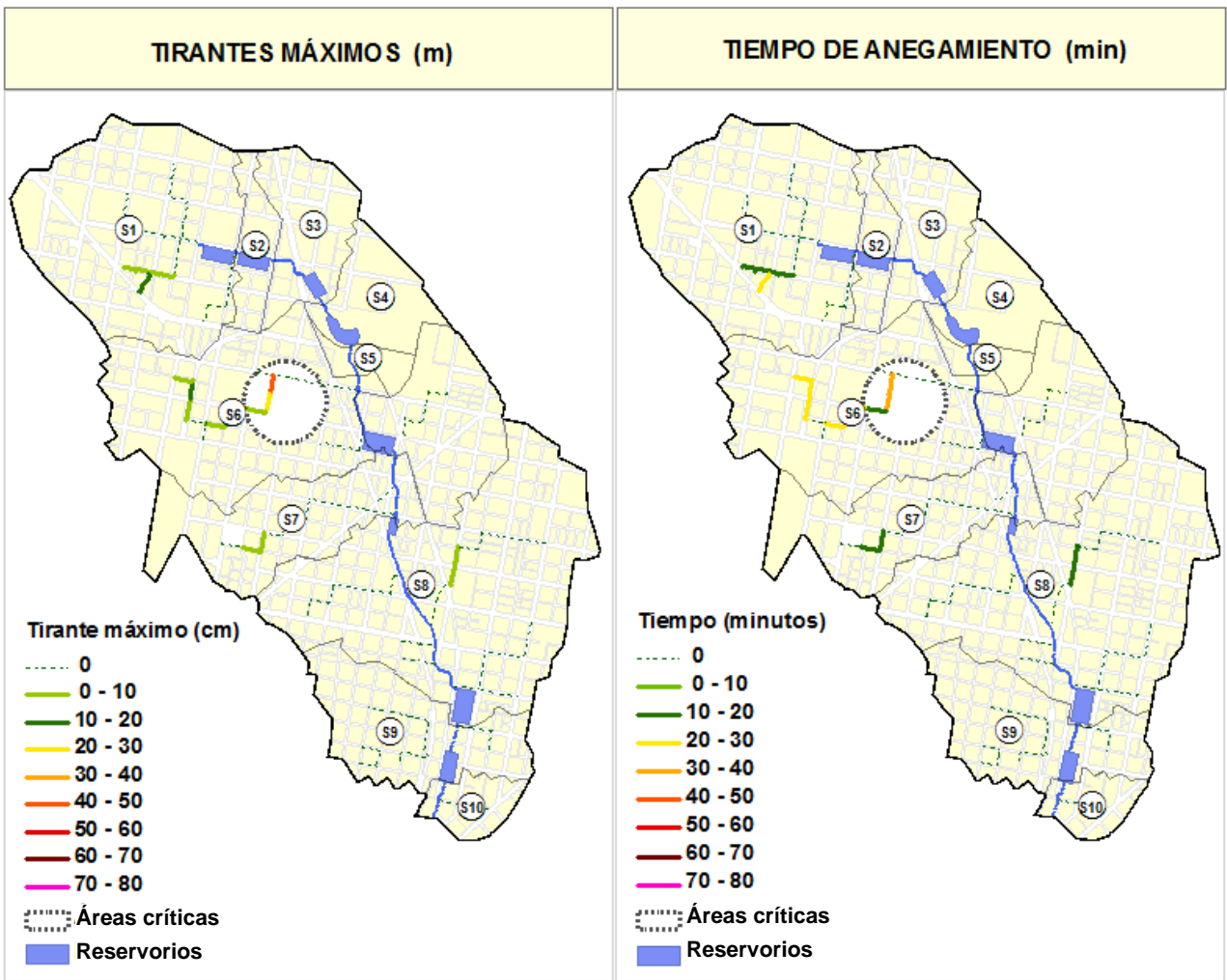


Figura 5-3.-Tirantes máximos y tiempos de anegamiento - 1,20PE5.

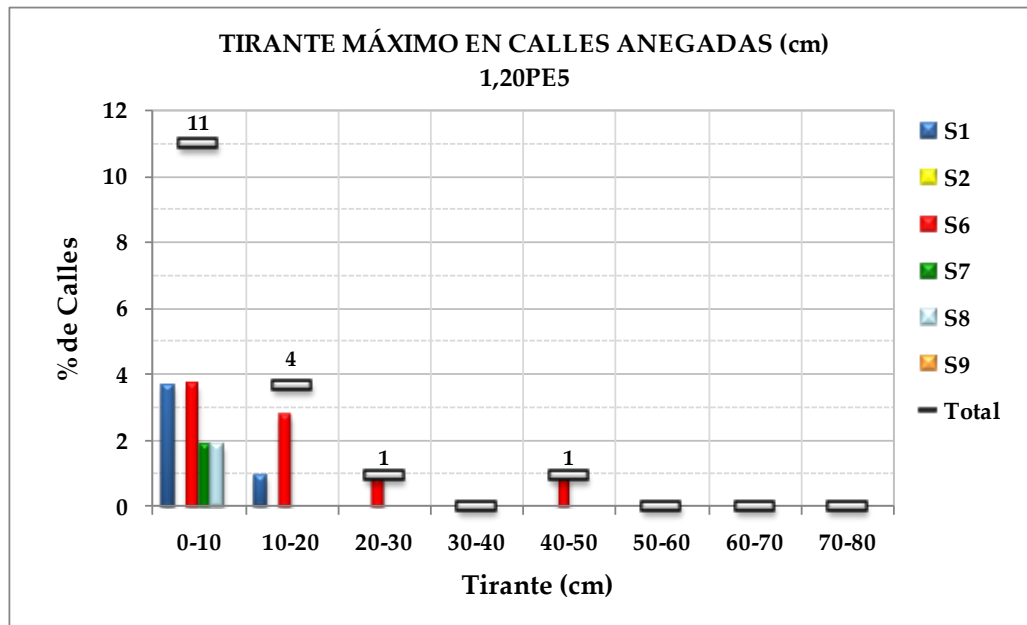


Figura 5-4.- Tirantes máximos en calles anegadas - 1,20PE5.

En este sector, que abarca la zona de influencia de las Calles C62-01-S y C62-02-S, los tirantes superan el cordón de vereda con tiempos de anegamiento de 35 minutos (valor central del intervalo 30 - 40 minutos) y tirantes de 20 a 50 cm.

Si bien en los tramos restantes de la red el desborde de los colectores subterráneos hacia el sistema superficial es de menor magnitud, los mismos incrementan la vulnerabilidad potencial de las Redes S1, S7 y S8 en escenarios de mayor recurrencia.

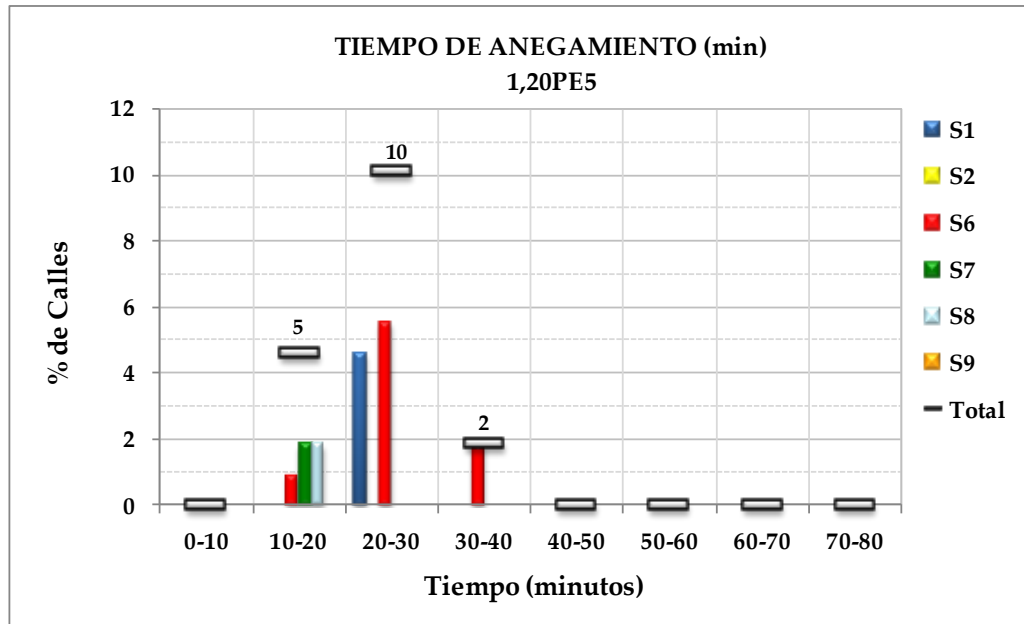


Figura 5-5.- Tiempo de anegamiento - 1,20PE5.

5.2.1.2. Incremento de caudales en tramos del macrodrenaje

En la Figura 5-6 se han representado las progresivas de cada tramo del cauce principal desde aguas arriba hacia aguas abajo, indicando la ubicación de los reservorios R1 a R9 y los colectores de microdrenaje que descargan en el cauce principal.

Los aportes puntuales de los colectores de microdrenaje al cauce principal aumentan entre 9 y 32% (mediana: 28%). Estos incrementos se indican en el diagrama de barras de la Figura 5-6.

La línea superior presenta el incremento del caudal máximo (ΔQ en %) de los tramos de macrodrenaje, que en este escenario de cambio climático varía entre 20 y 36% (mediana: 32%).

Mientras en el escenario de proyecto todos los tramos conducen el caudal de diseño sin generar desbordes a la planicie de inundación, en base al análisis de resultados puede predecirse que en este escenario hipotético los desbordes en la sección media equivalente alcanzarían tirantes del orden de 0,30 m.

La longitud afectada por la inundación es del 76% de la longitud total de los tramos del macrodrenaje. La velocidad media permanece dentro los límites recomendados por UDFCD (2008), con incrementos máximos del 14% en relación a la condición de proyecto.

En cada tramo, la diferencia de caudales con respecto al escenario de proyecto depende de los aportes de cada colector indicados en la Figura 5-6, (variables con las características de la red de microdrenaje, topografía y grado de ocupación de la cuenca) y del caudal de salida de los reservorios en serie.

El incremento de los caudales y niveles máximos en los reservorios se resume en la Figura 5-7. Los caudales máximos de entrada se incrementan entre 20 y 37% (mediana: 27%), y los caudales de salida entre 20 y 36% (mediana 28%).

Debido a que en este escenario los reservorios ubicados en la cabecera de la cuenca proporcionan mayor grado de control del caudal de salida (los vertederos de operación de los reservorios 1 y 2 no se encuentran activos), la cuenca alta experimenta un menor incremento del caudal máximo.

El incremento de niveles máximos en los reservorios genera la entrada en funcionamiento de los vertederos de operación V3 a V9, previstos para operar recién en la recurrencia de proyecto del macrodrenaje (PE25).

En este escenario los máximos incrementos corresponden a los reservorios R6 y R7, que reciben el aporte lateral de la red S6, cuya superficie equivale al 24% del total de la cuenca.

Como consecuencia del bajo volumen de almacenamiento del reservorio R7, los tramos más solicitados de la red en este escenario se ubican aguas abajo del reservorio R7, los cuales se identifican como áreas de máxima sollicitación en la Figura 5-8 (tramos M14 a M09), con incrementos ΔQ comprendidos entre 30 y 38%.

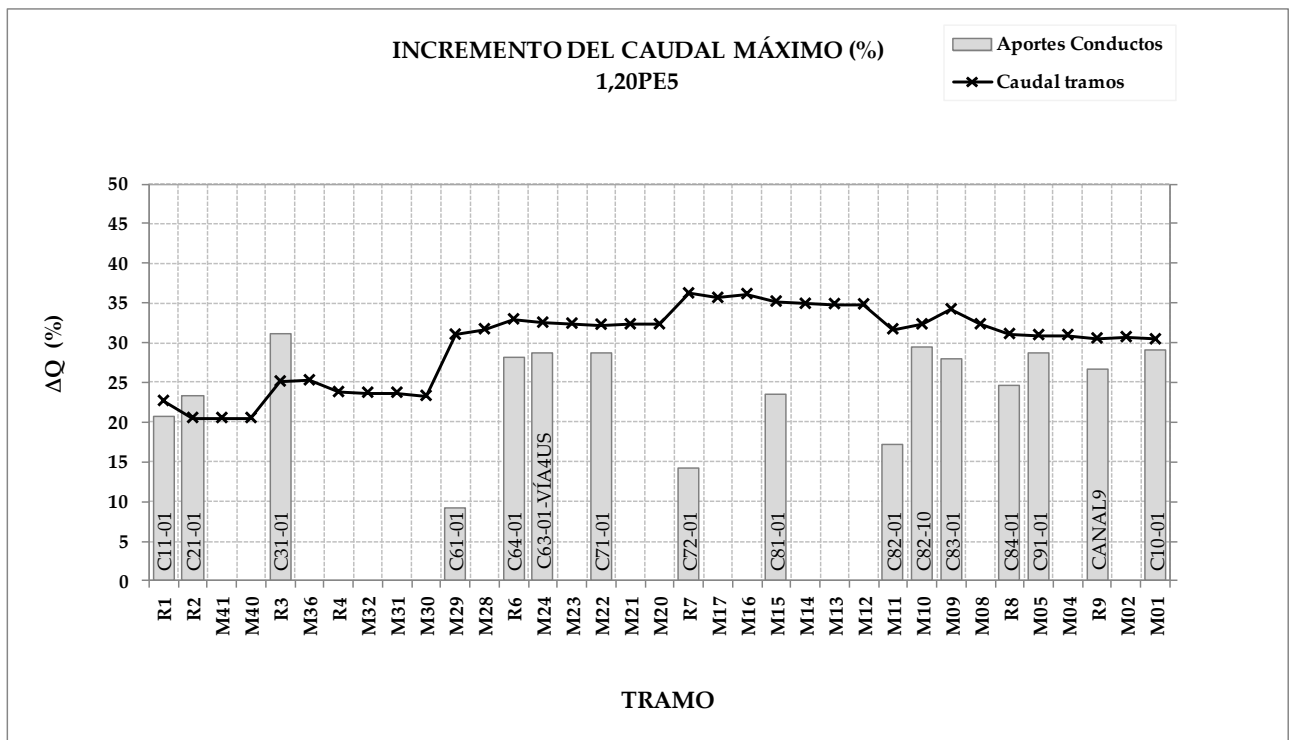


Figura 5-6.- Incrementos del caudal máximo - 1,20PE5.

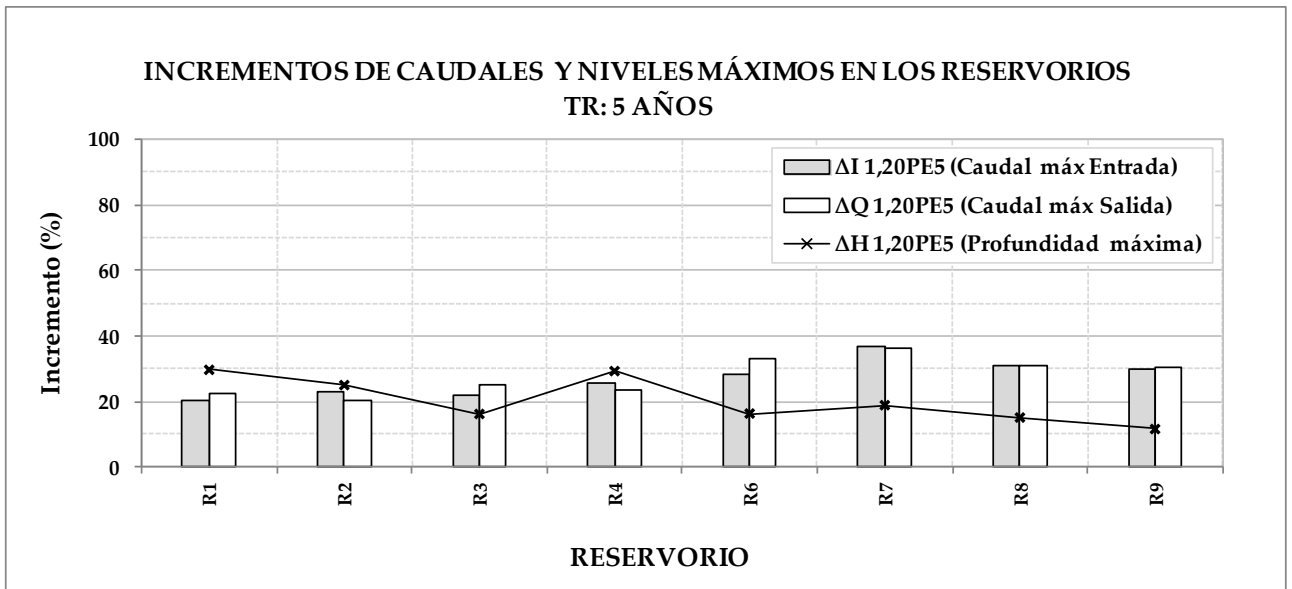


Figura 5-7.- Incremento de caudales y niveles máximos en reservorios - 1,20PE5.

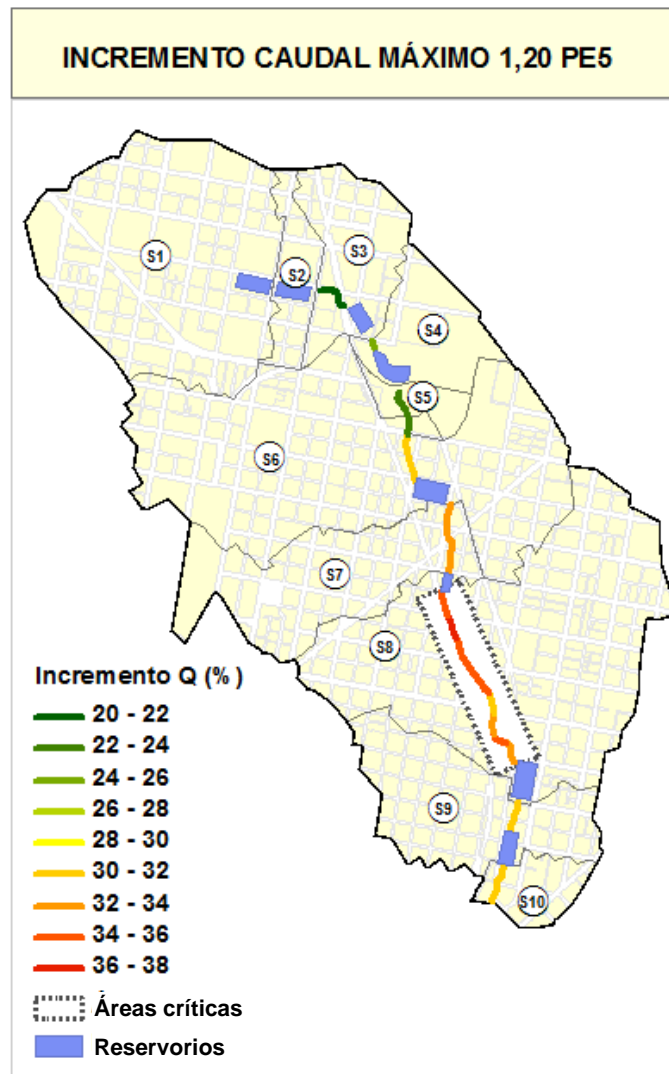


Figura 5-8.- Incrementos de caudales máximos - 1,20PE5.

5.2.2. Recurrencia de Proyecto del Macrodrenaje (Tr: 25 años)

5.2.2.1. Anegamiento de calles

Para evaluar el impacto del cambio climático en el escenario de proyecto del macrodrenaje se analizó el incremento del porcentaje de calles anegadas con tirantes superiores al cordón de vereda.

De acuerdo a los resultados de las simulaciones, en el escenario PE25 el anegamiento de calles es del 23%, mientras que en 1,20PE25 se incrementaría a un 48% (Figura 5-9). La composición de tirantes en calles anegadas se resume en la Figura 5-10, donde se indican los porcentuales correspondientes a cada intervalo de clase de 0,10 m para cada red de microdrenaje.

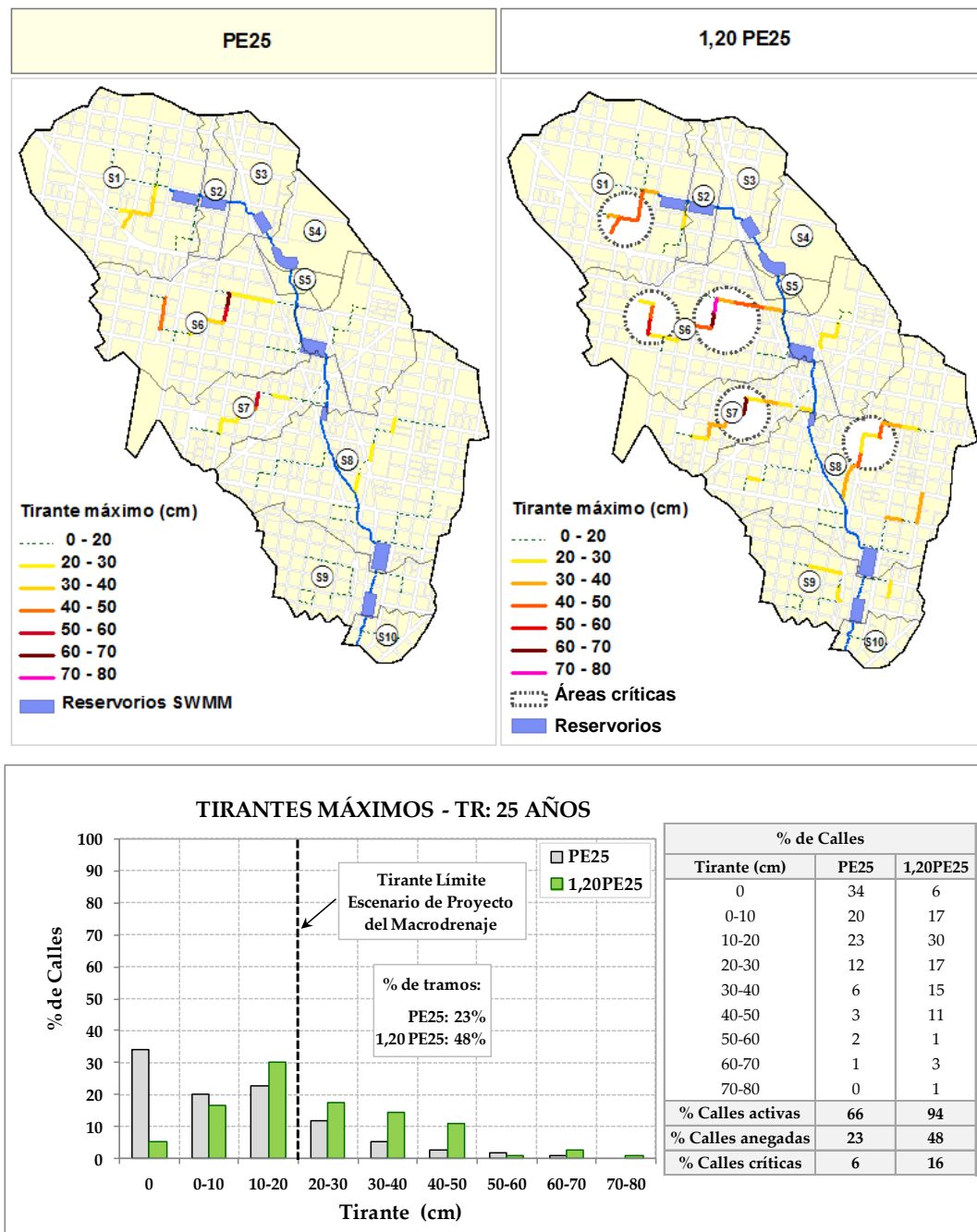


Figura 5-9.- Tirantes máximos en calles - 1,20PE25

Las zonas de anegamiento críticas, señaladas como áreas críticas en la Figura 5-9 presentan tirantes superiores a 0,40 m, y se ubican en las redes S1, S6, S7 y S8, cuya longitud equivale al 16% del total de calles.

Los mayores tirantes corresponden a las redes S6 y S7, con niveles entre 0,50 y 0,80 metros sobre la cuneta, mientras que en las redes S1 y S8 se alcanzan tirantes superiores a 0,40 metros.

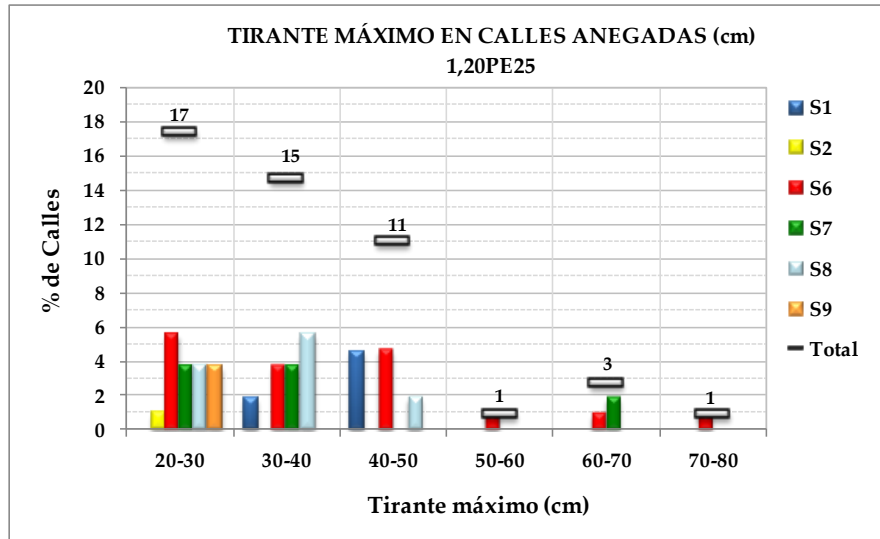


Figura 5-10.- Tirantes máximos en calles anegadas - 1,20PE25.

Los resultados de las simulaciones se procesaron para determinar la variación espacial del tiempo de anegamiento en las calles anegadas del sistema ($h > 20$ cm), cuyos resultados se resumen en Figura 5-11.

El escenario de cambio climático 1,20PE25 presenta tiempos de anegamiento variables entre 10 y 70 minutos, con una mediana de 25 minutos.

Los mayores valores corresponden a la red S6, con tiempos de anegamiento comprendidos entre 60 y 70 min. Las redes S1 y S7 presentan tiempos de anegamiento máximos del orden de 40 minutos.

El 32% de los tramos tiene incrementos del tiempo de anegamiento de 15 minutos con respecto a PE25, en un 8% de los casos el tiempo aumenta en 5 minutos, y un 6% incrementos de 25 minutos. Solo un 1% de las calles presenta incrementos de 35 minutos con respecto al escenario de proyecto, que corresponden al colector de descarga de la red S6.

5.2.2.2. Incremento de caudales en tramos del macrodrenaje

Los incrementos del caudal máximo (ΔQ en %) en el escenario 1,20PE25 varían entre 27 y 49% (mediana: 40%). Los mismos se presentan en la Figura 5-12, donde se observa que los mayores incrementos se generan en la cuenca alta, decreciendo hacia la desembocadura.

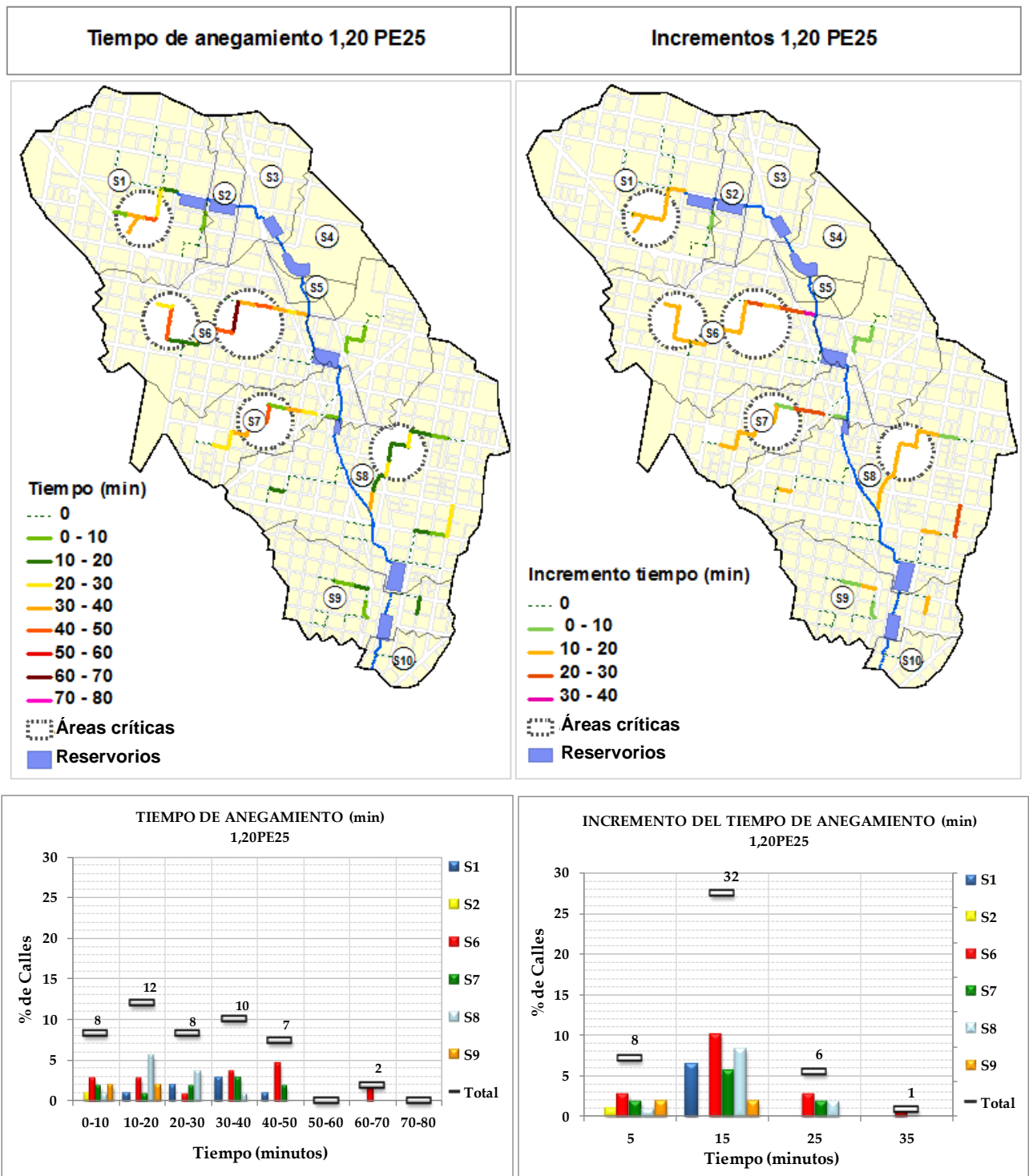


Figura 5-11.- Incremento del tiempo de anegamiento en calles - 1,20PE5.

En este escenario todos los vertederos de emergencia previstos para funcionar en el evento de verificación del macrodrenaje (Tr: 50 años) se encuentran en funcionamiento, liberando el caudal a tasas mayores que las correspondientes al evento de proyecto del macrodrenaje (Tr: 25 años). El incremento de los caudales de salida de los reservorios se presenta en la Figura 5-13.

Los reservorios R1 y R2 reciben los aportes de las subcuencas de cabecera, de superficie equivalente al 20% del área total de la cuenca (Tabla 4-1). Estos aportes aumentan entre 35% y 40% en el escenario 1,20 PE5, según se indica en la Figura 5-12.

El funcionamiento de los vertederos de emergencia genera el aumento de las tasas de descarga en este sector de la cuenca alta, alcanzando el máximo incremento de caudales de salida en el Reservorio R4.

A medida que progresa la laminación en el sistema de reservorios online se reducen los incrementos con respecto al escenario de proyecto.

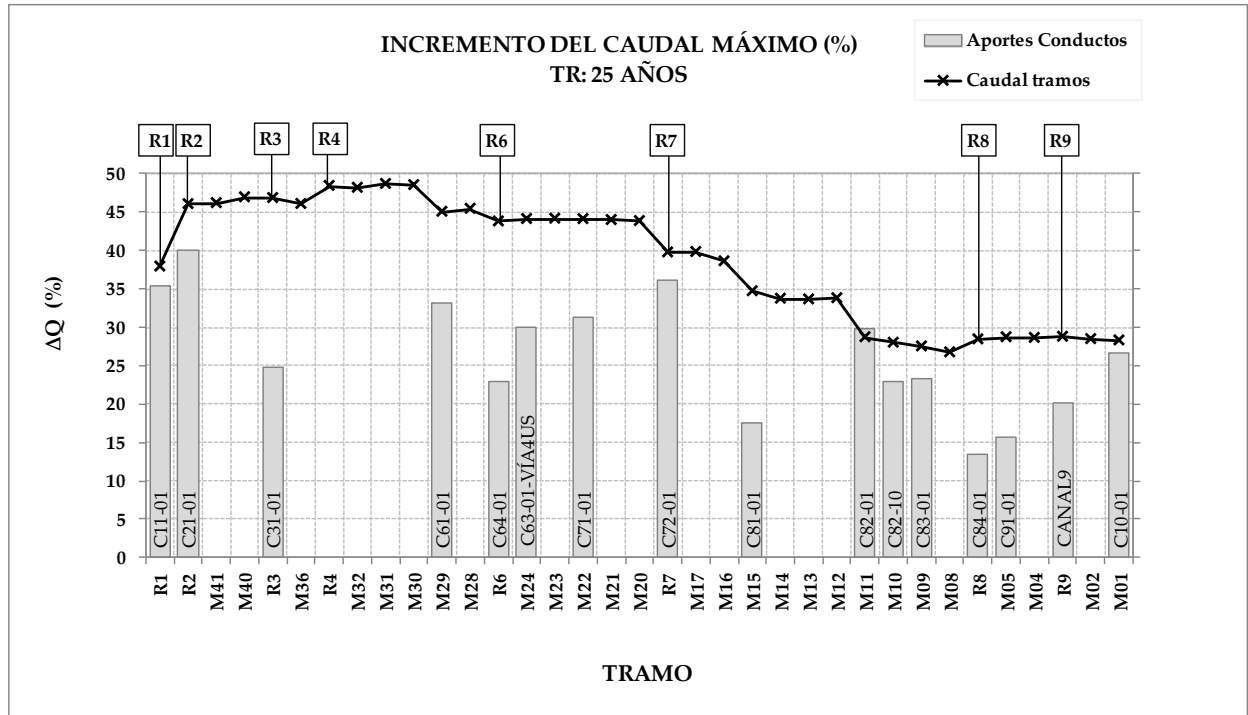


Figura 5-12.- Incrementos del caudal máximo - 1,20PE25.

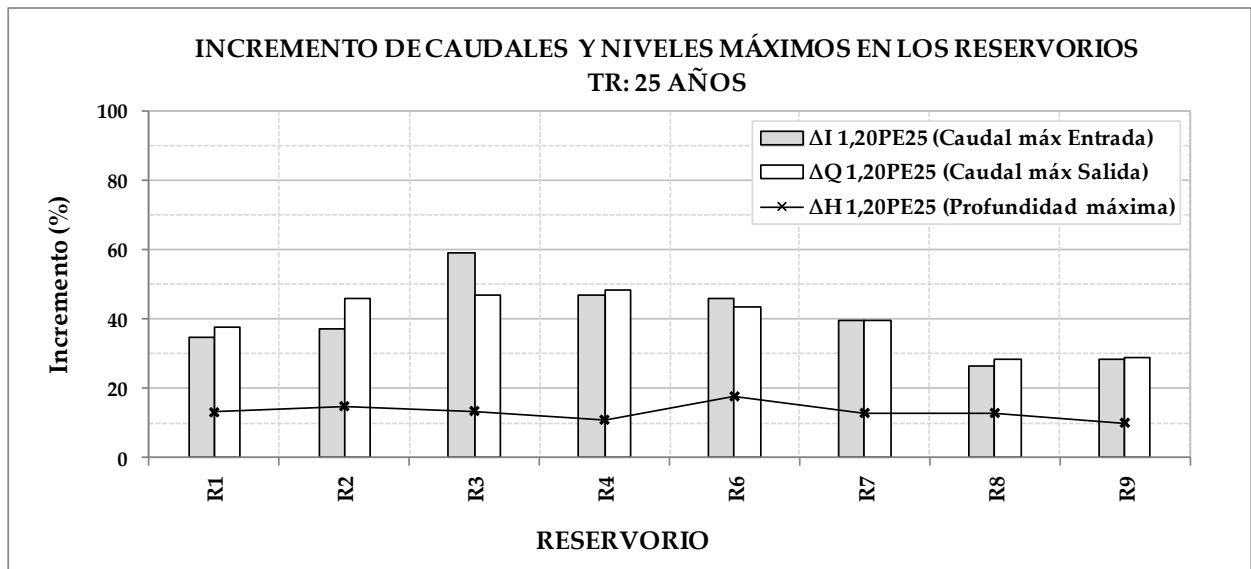


Figura 5-13.- Incremento de caudales y niveles máximos en los reservorios - 1,20PE25.

Los resultados de la simulación indican que la longitud total de los tramos del macrodrenaje presenta desbordes, con tirantes que alcanzarían valores máximos del orden de 0,40 m sobre el segundo nivel de la planicie inundable. La velocidad media permanece dentro los límites recomendados por UDFCD (2008), con incrementos máximos del 13% en relación a la condición de proyecto.

Los tramos que presentan incrementos superiores a la mediana ($\Delta Q > 40\%$) se ubican en la cuenca alta, entre los reservorios R1 y R6, los cuales han sido identificados como áreas críticas en el escenario de proyecto del macrodrenaje (Figura 5-14).

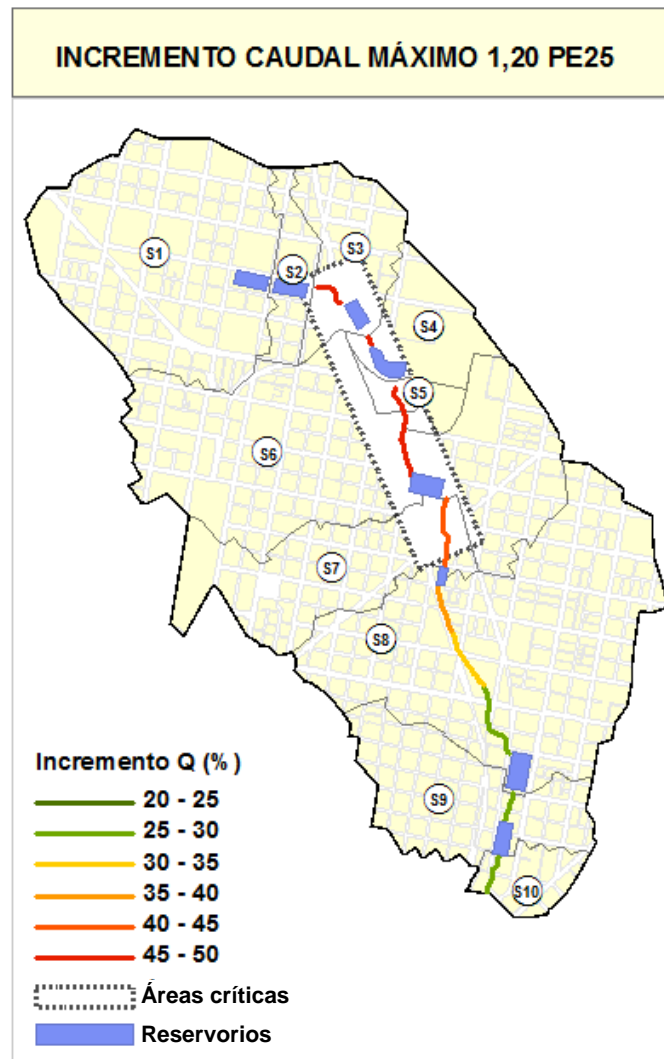


Figura 5-14.- Incrementos de caudales máximos - 1,20PE25.

5.2.3. Recurrencia de Verificación del Macrodrenaje (Tr: 50 años)

5.2.3.1. Anegamiento de calles

En la Figura 5-15 pueden visualizarse los tirantes máximos (en metros) de los tramos anegados para la recurrencia de 50 años, correspondientes al escenario de proyecto (PE50) y al escenario hipotético de cambio climático 1,20PE50.

La distribución de porcentuales de los tirantes máximos presentada en la Figura permite comparar la fracción de las calles ubicada en cada intervalo de clase de 10 cm para ambos escenarios.

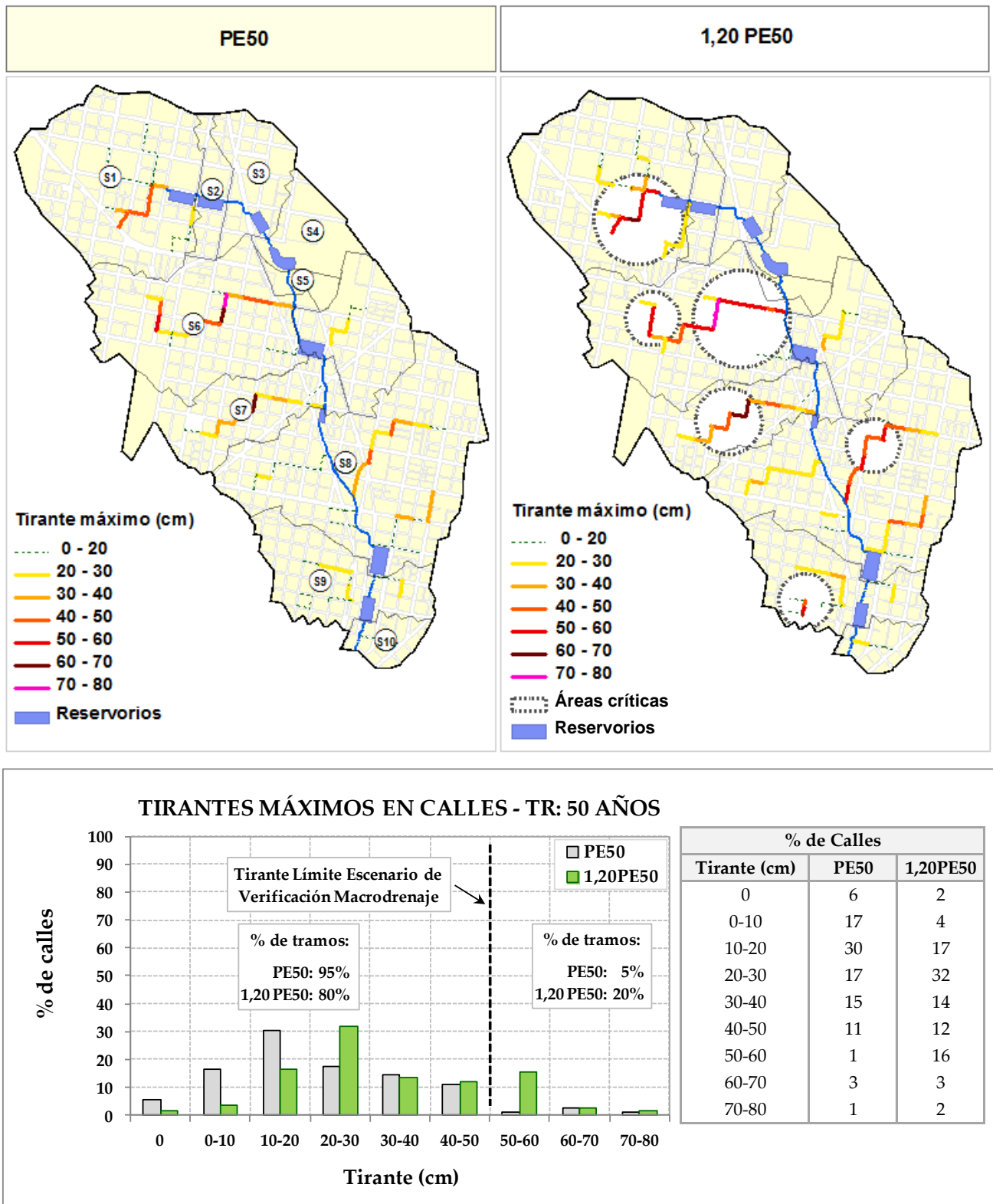


Figura 5-15.- Tirantes máximos en calles - Escenario de verificación del macrodrenaje 1,20PE50

El 78% de los tramos en el escenario 1,20PE50 presentan tirantes superiores al cordón de vereda, incrementando el riesgo de anegamiento de viviendas construidas con escasa/moderada diferencia de nivel con respecto al cordón, cuya vulnerabilidad depende de la magnitud del desborde en relación al nivel de las viviendas.

Sobre el conjunto de tramos anegados (78% con $H > 0,20$ metros), el 20% presenta tirantes superiores al valor límite $h_{lim} = 0,50m$ (UDFCD, 2008), los cuales se encuentran individualizados como áreas críticas en la Figura 5-15.

Para esta recurrencia, prevalecen las áreas críticas previamente señaladas (tramos de las redes S1, S6, S7 y S8), incrementándose la superficie afectada de las redes S1 y S6. En este escenario se incluyen tramos adicionales de la red S9 al conjunto de áreas críticas de la cuenca. El sector más comprometido es la red S6, que alcanza tirantes entre 0,70 y 0,80 metros.

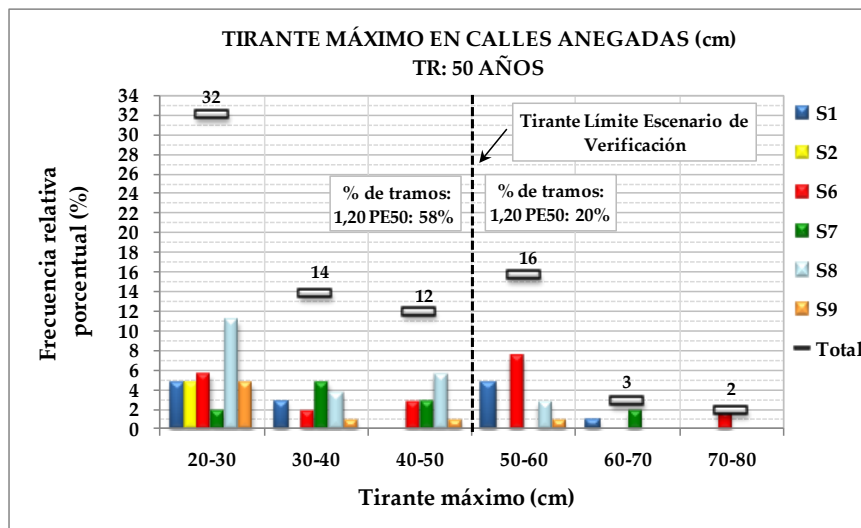


Figura 5-16.- Tirantes máximos en calles anegadas - 1,20PE50

El tiempo de anegamiento en las calles críticas para Tr50 se indica en la Figura 5-17: mientras en el escenario de proyecto el 6% de las calles permanece anegada durante 5 a 35 minutos, los tiempos de anegamiento crecen en todas las áreas afectadas, a períodos comprendidos entre 5 y 55 minutos en el escenario 1,20PE50 abarcando el 20% de tramos de la red.

En el 11% de los tramos predomina un incremento de 15 minutos con respecto al Escenario de Proyecto, mientras que en el 8% de las calles el mismo es de 5 minutos. Sólo en 1% de los casos (tramo ubicado en red S6) el incremento es de 25 minutos.

5.2.3.2. Incremento de caudales en tramos del macrodrenaje

Los incrementos del caudal máximo (ΔQ en %) en el escenario 1,20PE50 se presentan en la Figura 5-18. El diagrama de barras presenta el incremento del caudal máximo aportado por los colectores de microdrenaje, que aumenta entre 19 y 37% (mediana 30%).

Una vez superada la profundidad máxima de los reservorios se producen desbordes que afectan áreas de gran extensión superficial y bajo tirante. Como consecuencia, el caudal pico transferido a los tramos del macrodrenaje se incrementa a menor velocidad, y el incremento ΔQ (%) experimenta reducciones en los reservorios, que pueden identificarse en la Figura 5-18.

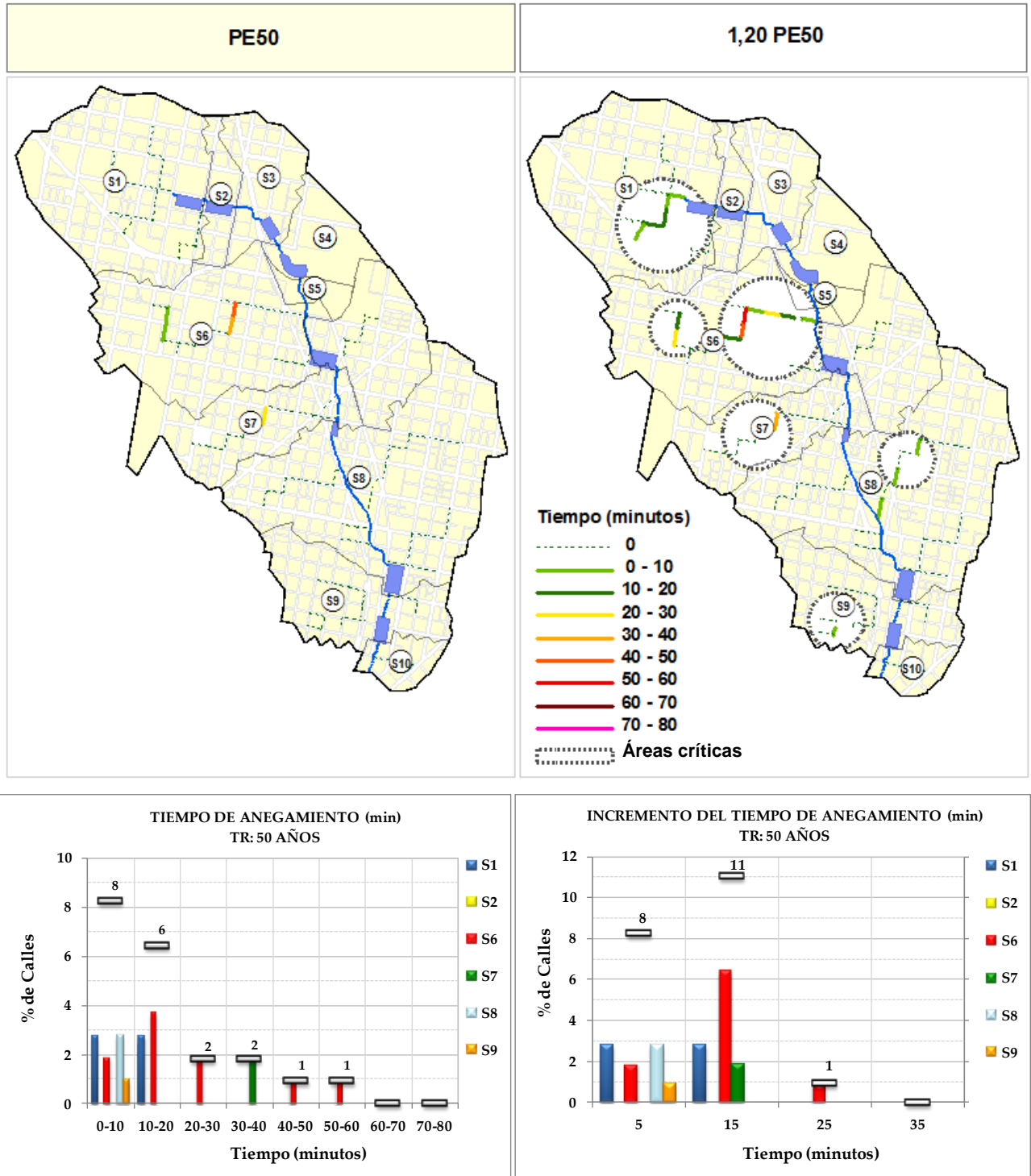


Figura 5-17.- Tiempo de anegamiento - 1,20PE50

En la Figura 5-19 se indican las variaciones del caudal máximo de entrada a los reservorios de detención. Puede observarse que si bien el caudal de ingreso a R1 se incrementa un 33% con respecto al escenario de proyecto (descarga del colector C11-01), debido al desborde de este reservorio el incremento ΔQ transferido a los tramos aguas abajo es del orden de 10%.

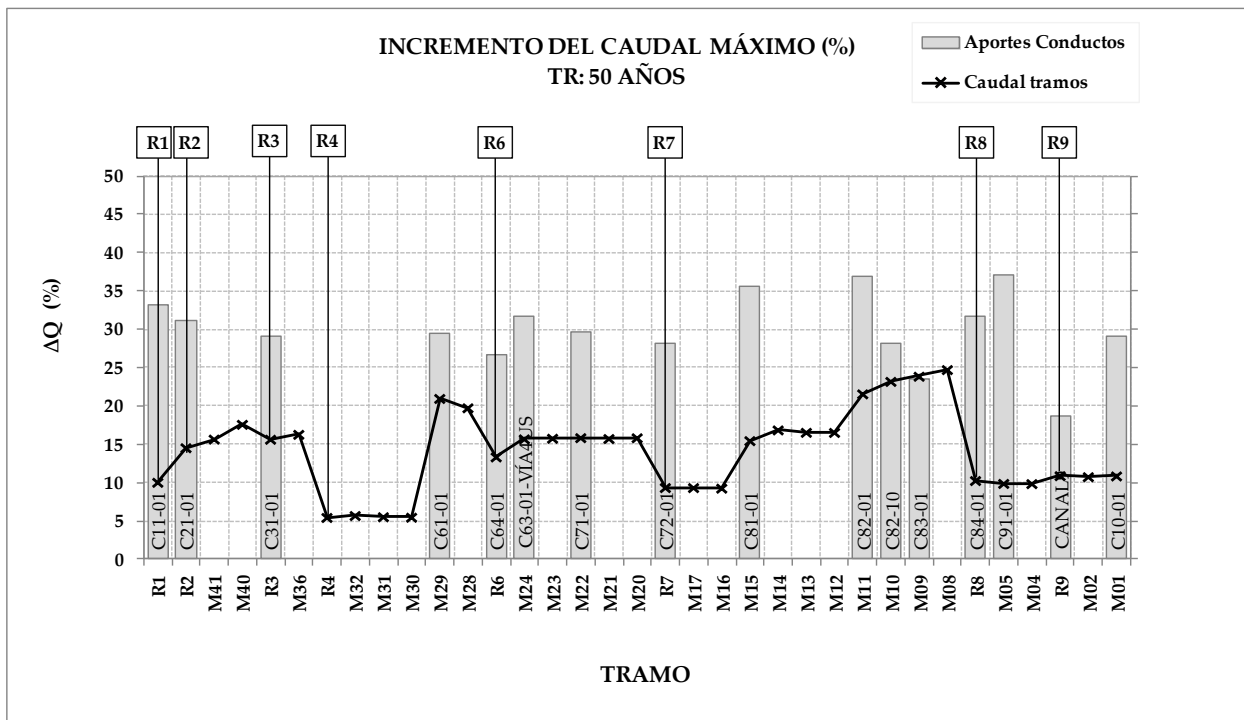


Figura 5-18.- Incrementos del caudal máximo - 1,20PE50

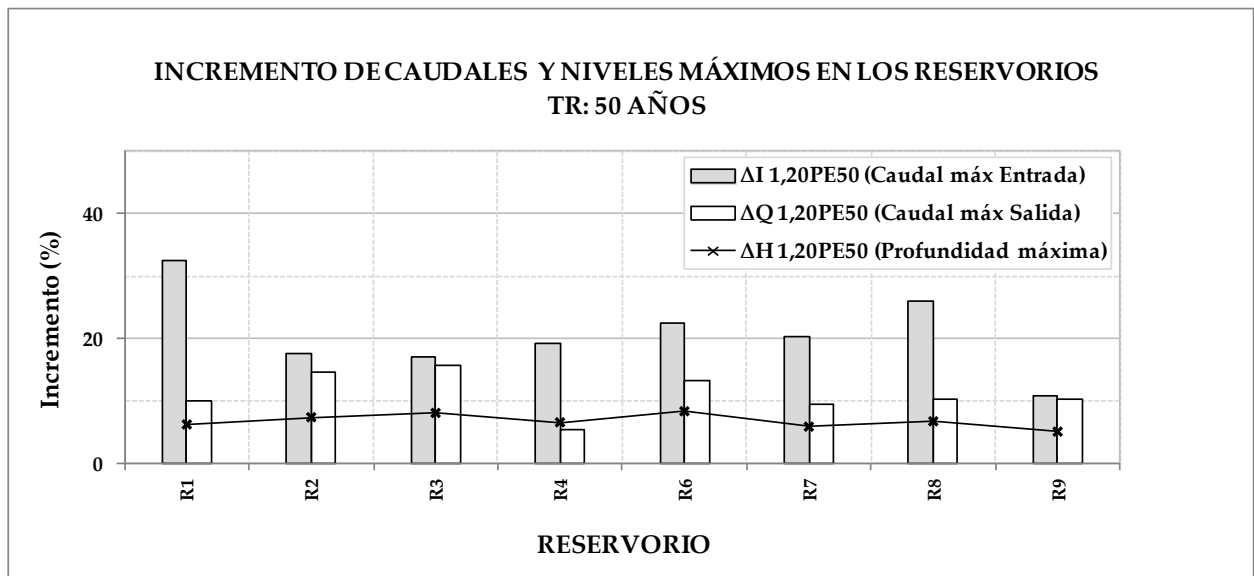


Figura 5-19.- Incremento de caudales y niveles máximos en los reservorios - 1,20PE50.

Como consecuencia, la mediana de los incrementos ΔQ (%) en el cauce principal es de 16% (Rango: 5 a 25%), un 50% del incremento de caudales aportados por los colectores de microdrenaje.

Los resultados de la simulación indican que el 92% de la longitud total de los tramos del macrodrenaje presenta desbordes, con tirantes que alcanzarían valores máximos del orden de 0,15 m sobre el segundo nivel de la planicie de inundación. La velocidad media permanece dentro los límites recomendados por UDFCD (2008), con incrementos máximos del 5% en relación al escenario PE.

Los tramos críticos, que presentan incrementos del caudal máximo (ΔQ (%)) superiores a la mediana, se identifican como áreas críticas en la Figura 5-20.

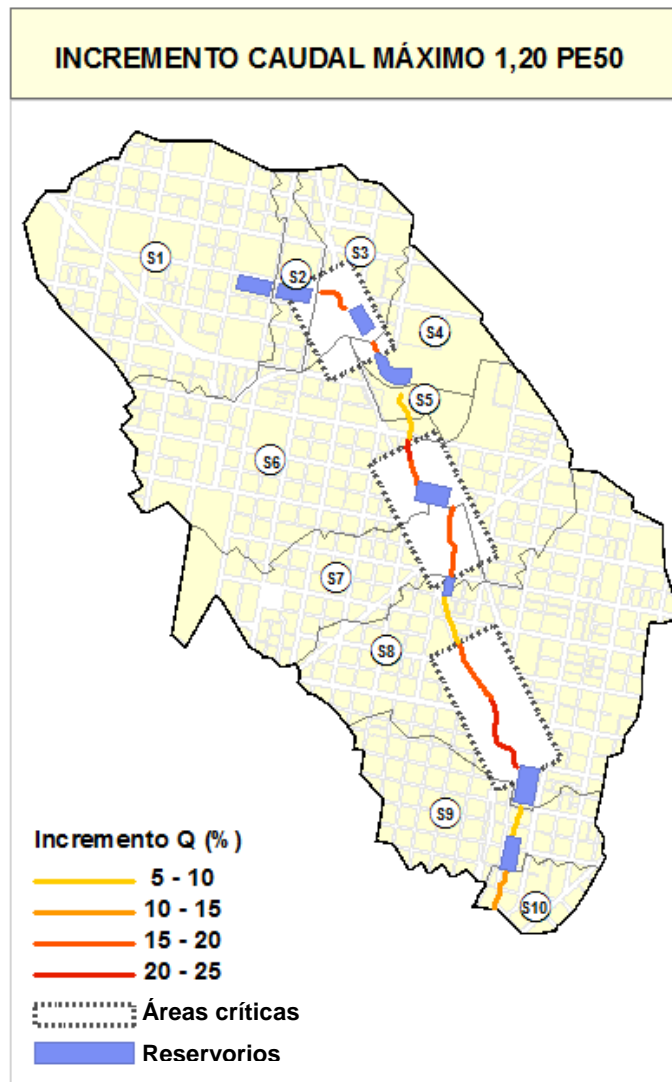


Figura 5-20.- Incrementos de caudales máximos - 1,20PE50

La peligrosidad potencial de este escenario se asocia a la probabilidad de colapso de los reservorios por desbordes, que genera consecuencias adversas sobre las personas, infraestructura, bienes y servicios en las áreas afectadas.

Para evaluar el impacto de potenciales desbordes se determinaron los volúmenes de inundación V_i (m^3), cuya magnitud se resume en la Figura 5-21, donde puede observarse que las áreas adyacentes a los reservorios R7 y R8, que se encontrarían anegadas por volúmenes del orden de 12000 y 9000 m^3 respectivamente, constituyen puntos críticos de la red.

5.3. Resumen de resultados del Escenario 1,20PE

5.3.1. Escenario de proyecto del microdrenaje (1,20PE5)

El funcionamiento en carga del sistema de drenaje subterráneo causa inundaciones superficiales que afectan al 17% del sistema de calles, con tiempos de anegamiento variables entre 10 y 40 minutos. La longitud afectada de la red S6 constituye un sector crítico de la cuenca.

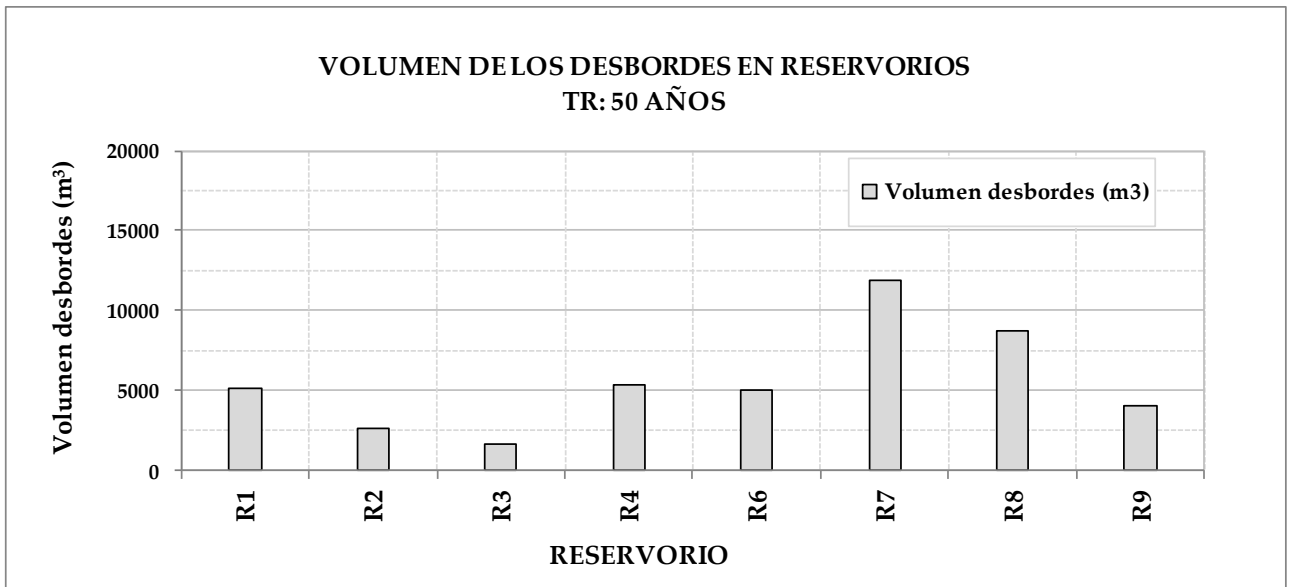


Figura 5-21.- Volumen de inundación por desborde de reservorios - 1,20PE50

En el escenario 1,20PE5 el incremento de los caudales máximos de los tramos del macrodrenaje tiene una mediana de 32% (Rango: 20 a 36%). Los reservorios de la cuenca alta proporcionan mayor capacidad de regulación, por lo cual la cuenca media experimenta los máximos incrementos de caudal. Como consecuencia del bajo volumen de almacenamiento del reservorio R7, los tramos ubicados aguas abajo constituyen los más solicitados de la red, con incrementos máximos de 36% con respecto al escenario de proyecto PE5.

La longitud de los tramos de macrodrenaje afectada por la inundación es del 76% con desbordes máximos del orden de 0,30 m sobre el primer nivel de la planicie inundable.

5.3.2. Escenario de proyecto del macrodrenaje (1,20PE25)

En este escenario, la cantidad de calles anegadas con tirantes superiores al cordón de vereda se incrementa en un 25% con respecto al escenario de proyecto del macrodrenaje. Las zonas de anegamiento críticas corresponden a las redes S1, S6, S7 y S8, cuya longitud equivale al 16% de las calles.

Los tramos anegados ($h > 20\text{cm}$) presentan tiempos de anegamiento variables entre 2 y 60,5 minutos (mediana 40%). Los mayores valores corresponden a la red S6, con tiempos de anegamiento comprendidos entre 60 y 70 min. Las redes S1 y S7 presentan tiempos de anegamiento máximos del orden de 40 minutos.

El 32% de los tramos tiene incrementos del tiempo de anegamiento de 15 minutos con respecto a PE25, en un 8% de los casos el tiempo aumenta en 5 minutos, y un 6% incrementos de 25 minutos. Solo un 1% de las calles presenta incrementos de 35 minutos con respecto al escenario de proyecto, que corresponden al colector de descarga de la red S6.

Debido al incremento de la sollicitación todos los vertederos de emergencia previstos para funcionar en el evento de verificación del macrodrenaje se encuentran activos, liberando el caudal a tasas mayores. Los máximos incrementos del caudal corresponden a la cuenca alta y decrecen hacia la desembocadura, variando en un rango comprendido entre 27 y 49% (mediana: 40%).

Las áreas vulnerables, con incrementos del caudal máximo superiores a la mediana se ubican entre los reservorios R1 y R6. La totalidad de los tramos presenta desbordes sobre el segundo nivel de la planicie inundable, con tirantes que alcanzarían valores máximos del orden de 0,40 m.

5.3.3. Escenario de verificación del macrodrenaje (1,20PE50)

El 78% de los tramos en el escenario 1,20PE50 presentan tirantes superiores al cordón de vereda, incrementando el riesgo de anegamiento de viviendas construidas con escasa/moderada diferencia de nivel con respecto al cordón, cuya vulnerabilidad depende de la magnitud del desborde en relación al nivel de las viviendas.

Sobre el conjunto de tramos anegados, el 20% presenta tirantes superiores al valor límite $h_{lim}=0,50m$ e incrementos del tiempo de anegamiento predominantes de 15 minutos, los cuales constituyen áreas vulnerables en el escenario de verificación integradas por las redes S1, S6, S7 y S8 y S9. El sector más comprometido es la red S6, que alcanza tirantes entre 0,70 y 0,80 metros.

La peligrosidad potencial de este escenario se asocia a la probabilidad de colapso de los reservorios por desbordes, que genera consecuencias adversas sobre las personas, infraestructura, bienes y servicios en las áreas afectadas.

Los resultados de la simulación indican el desborde de todos los reservorios por incrementos de precipitaciones correspondientes a 1,20PE50. En base a la comparación de los volúmenes de inundación V_i (m^3) se concluye que las áreas adyacentes a los reservorios R7 y R8 constituyen puntos críticos de la red, expuestos a la mayor amenaza en este escenario de cambio climático

Los desbordes afectan áreas de gran extensión superficial y bajo tirante. Como consecuencia, el caudal pico transferido a los tramos del macrodrenaje se incrementa a menor velocidad, y el incremento ΔQ (%) experimenta reducciones en los reservorios. Por lo cual en este escenario los incrementos del caudal máximo varían entre 5 y 25% (mediana 16%).

5.4. Comparación de resultados para los escenarios de cambio climático.

En este ítem se presentan los resultados resumidos del análisis de los escenarios 1,10PE y 1,30PE, y una comparación de las tres situaciones de cambio climático y del escenario de precipitación estacionaria. Las Figuras incluidas en 5.4.1 a 5.4.3 resumen los principales resultados de cada escenario.

El diagrama de cajas (box & whiskers) presentado en estas figuras permite visualizar la distribución de las variables analizadas. La caja central de las figuras incluye el 50% de las estimaciones centrales, abarca el rango intercuartil IQR, (valores comprendidos entre el primer cuartil ($Q1=25\%$) y el tercer cuartil ($Q3=75\%$), identificando la posición de la mediana en cada escenario de cambio climático. Las líneas indican la magnitud de los valores extremos (máximo y mínimo) de las variables.

5.4.1. Escenario de proyecto del microdrenaje (Tr: 5 años)

5.4.1.1. Anegamiento de calles

En el escenario de proyecto del microdrenaje (PE5) los conductos funcionan a gravedad y no transfieren caudales al sistema superficial. La cantidad de calles hidráulicamente activas se incrementa a 2, 17 y 35% para los escenarios 1,10PE5, 1,20PE5 y 1,30PE5 respectivamente, según se indica en el diagrama de barras de la Figura 5-22. Puede observarse que en los Escenarios 1,20PE5 y 1,30PE5 se generan tirantes superiores al cordón de vereda, que afectan al 2 y 6% del total de calles, condición que ha sido designada como anegamiento de calles.

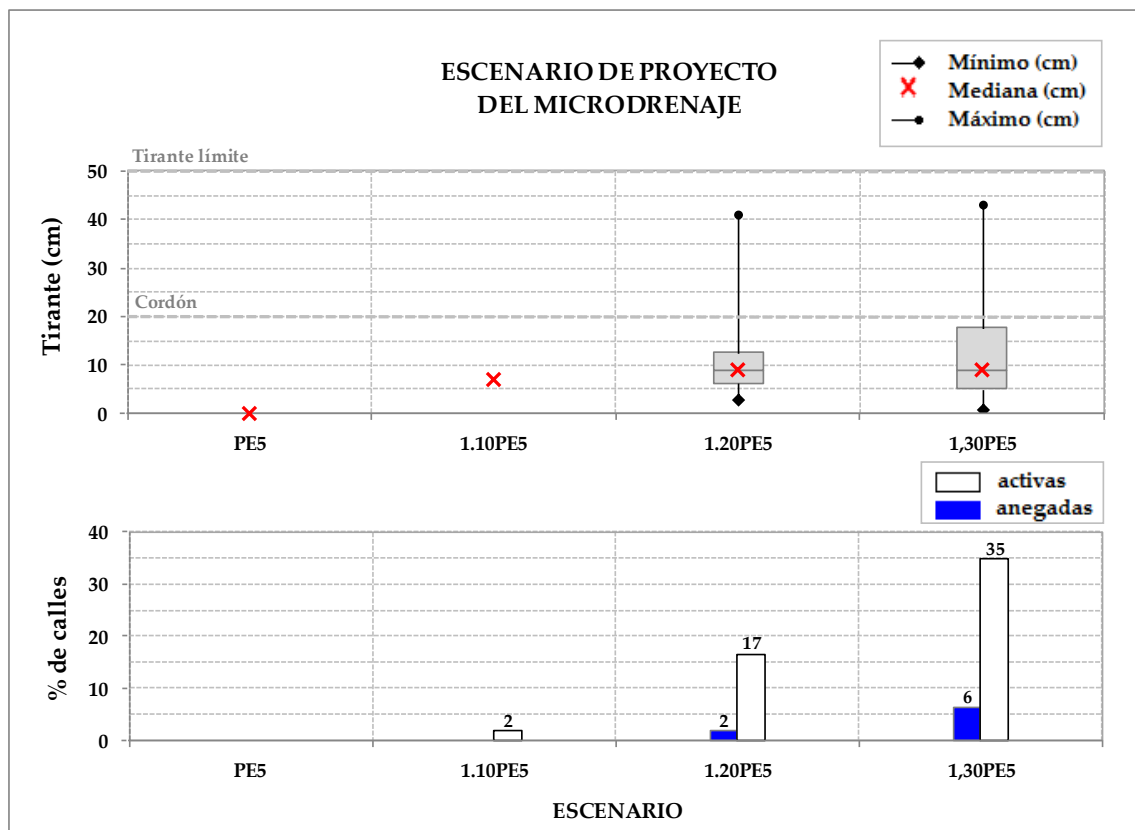


Figura 5-22.- Tirantes máximos en calles - (TR5)

En el escenario 1,10PE5, sólo el 2% de las calles se encuentran activas sin generar anegamientos. La mediana de los tirantes es de 7cm.

En el escenario 1,20PE5, los tirantes en las calles activas tienen una mediana de 9cm (Rango: 3 a 41 cm). El cuartil superior genera anegamiento en las calles, que afectan a un 2% del total de tramos del sistema superficial.

En el escenario 1,30PE5, la mediana de los tirantes en las calles activas es de 9cm (Rango: 1 a 43 cm). El anegamiento de calles afecta a un 6% de tramos de la red.

5.4.1.2. Tiempo de anegamiento

En los escenarios hipotéticos de cambio climático el tiempo de anegamiento se incrementa, alcanzando valores máximos de 40 y 45 minutos en los tramos más afectados para los escenarios 1,20PE5 y 1,30PE5 (Figura 5-23).

La mediana del tiempo de anegamiento en las calles activas crece desde 15 minutos para 1,10PE5, hasta 25 minutos en los escenarios 1,20PE5 y 1,30PE5. El rango intercuartil (Q3 - Q1) en el cual se ubica la mediana varía entre 21 y 28 minutos (IQR=7 minutos) en el escenario 1,20PE5, mientras que en el escenario 1,30PE5 esta fracción central de los tirantes máximos está comprendida entre 19 y 34 minutos (IQR=14 minutos).

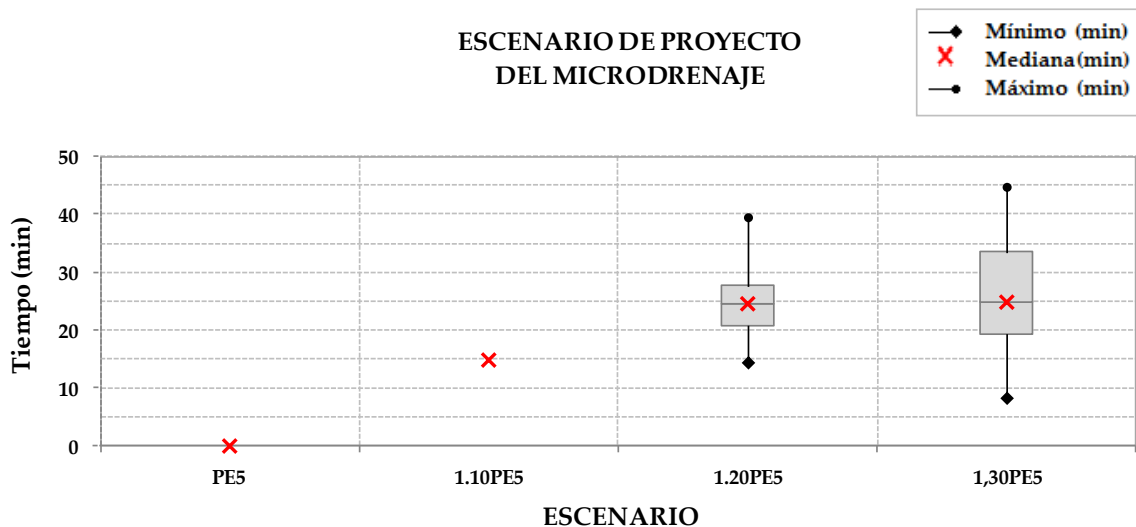


Figura 5-23.- Incremento del tiempo de anegamiento - (TR5)

5.4.1.3. Incremento de caudales en tramos del macrodrenaje

En el rango analizado de escenarios la mediana de los incrementos de caudal $\Delta Q(\%)$ en los tramos del macrodrenaje presenta un crecimiento lineal. Para el escenario 1,10PE5 la mediana de los incrementos es de 18%. Su valor aumenta a 32 y 48% para los escenarios 1,20PE5 y 1,30PE5 respectivamente, según se indica en la Figura 5-24.

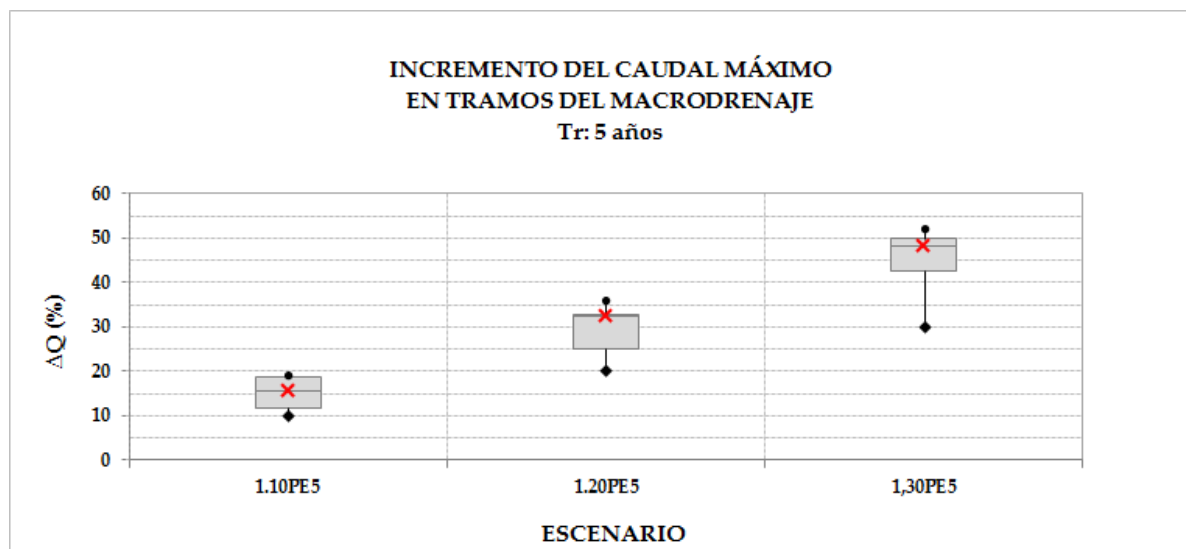


Figura 5-24.- Incrementos $\Delta Q(\%)$ en tramos del macrodrenaje - Tr: 5 años.

En todos los escenarios de cambio climático el incremento de niveles en los reservorios genera la entrada en funcionamiento de los vertederos de operación V3 a V9, previstos para operar recién en la recurrencia de proyecto del macrodrenaje (PE25).

Debido a que el nivel de operación de los vertederos V1 y V2 no es alcanzado, estos reservorios proporcionan mayor grado de atenuación del caudal de salida, por lo cual los tramos ubicados en la cabecera de la cuenca presentan menores incrementos $\Delta Q(\%)$ que los tramos aguas abajo (Figura 5-25).

Los incrementos máximos en este escenario son generados por los aportes laterales de la red S6, cuya superficie equivale al 24% del total de la cuenca. En este sector se ubican las zonas de máximo incremento de caudales (áreas sombreadas) señaladas en la Figura 5-25.

En el escenario de proyecto PE5 todos los tramos conducen el caudal de diseño sin generar desbordes al primer nivel de la planicie de inundación. En base a los resultados de las simulaciones los desbordes en la sección media equivalente alcanzarían tirantes comprendidos entre 0,20 y 0,36 m para los escenarios hipotéticos analizados, afectando una longitud variable entre el 70% y 86% de la longitud total de los tramos del macrodrenaje.

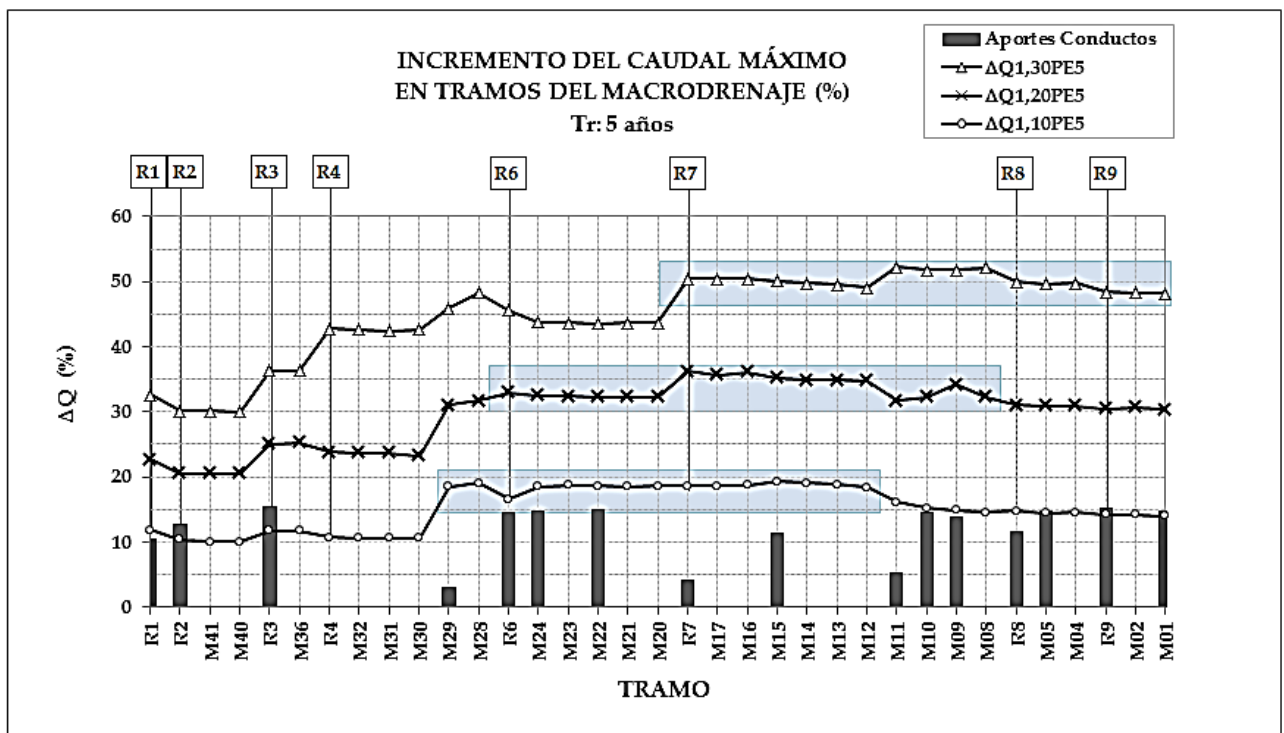


Figura 5-25.- Incrementos ΔQ (%) en las progresivas del macrodrenaje - Tr: 5 años

5.4.2. Escenario de proyecto del macrodrenaje (Tr: 25 años)

5.4.2.1. Anegamiento de calles

De acuerdo a los resultados de las simulaciones, en el escenario PE25 la longitud de calles anegadas (tramos con tirantes superiores a 20 cm) es del 23%, con una mediana de 30 cm. Este valor se incrementa a 37%, 48% y 62% para los escenarios 1,10PE25,

1,20PE25 y 1,30PE25 respectivamente, según se indica en el diagrama de barras de la Figura 5-26.

A su vez, para los escenarios de cambio climático analizados el porcentaje de calles críticas (tramos con tirantes superiores a 50 cm) tiene un incremento comprendido entre 5% y 7% con respecto al escenario de precipitación estacionaria.

De acuerdo a estos resultados, y como puede observarse en la Figura 5-26, el aumento de precipitación de los escenarios de cambio climático no genera aumentos significativos de los tirantes máximos. El principal impacto es el crecimiento del número de tramos afectados.

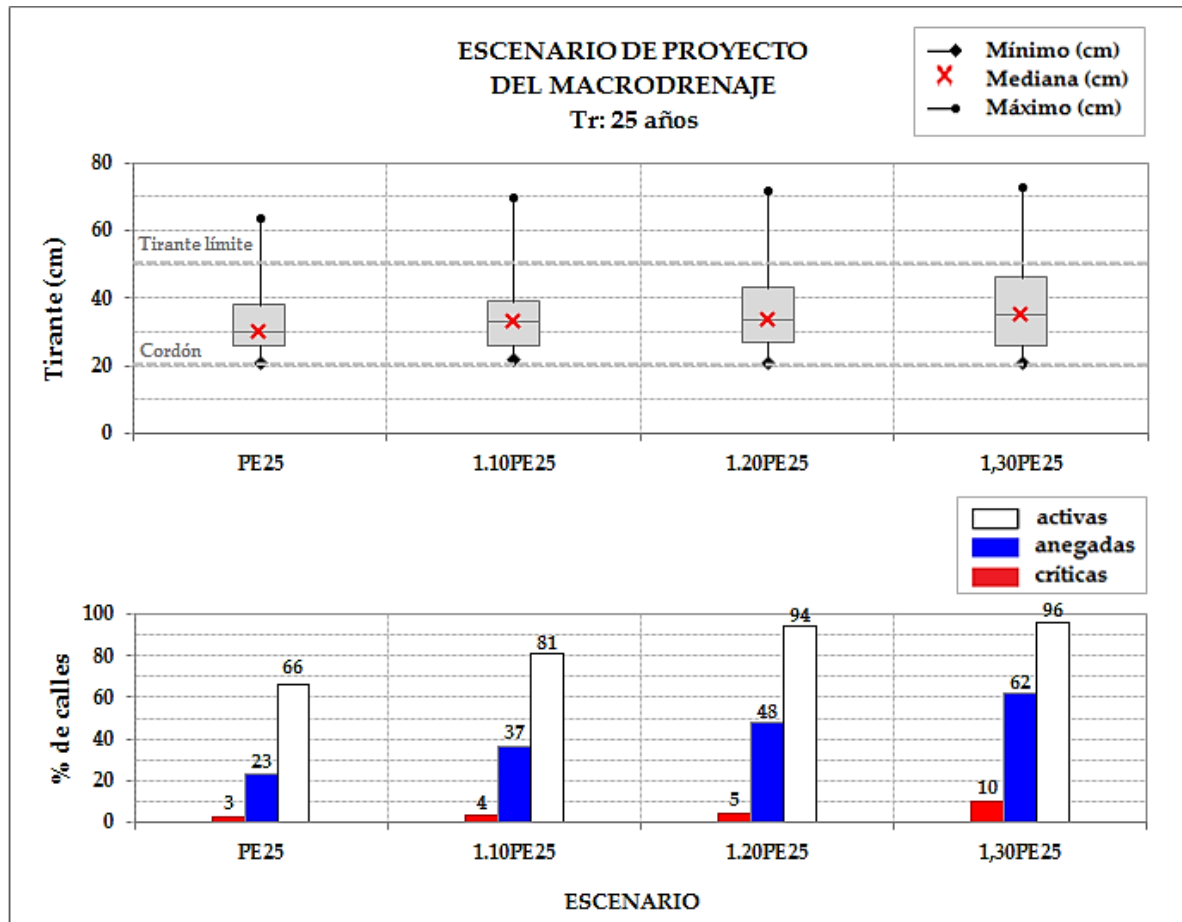


Figura 5-26.- Tirantes máximos en calles - Proyecto del macrodrenaje (TR25)

5.4.2.2. Tiempo de anegamiento

El tiempo durante el cual persisten las condiciones de anegamiento de las calles (tirantes superiores a 20 cm) mantiene una mediana de 25 minutos en el rango analizado, y no presenta diferencias apreciable con respecto al escenario PE PE25 (Figura 5-27).

Los cambios del régimen pluviométrico no generan un crecimiento sustancial del tiempo de anegamiento. El principal impacto está determinado por la extensión de estas condiciones a un número mayor de tramos.

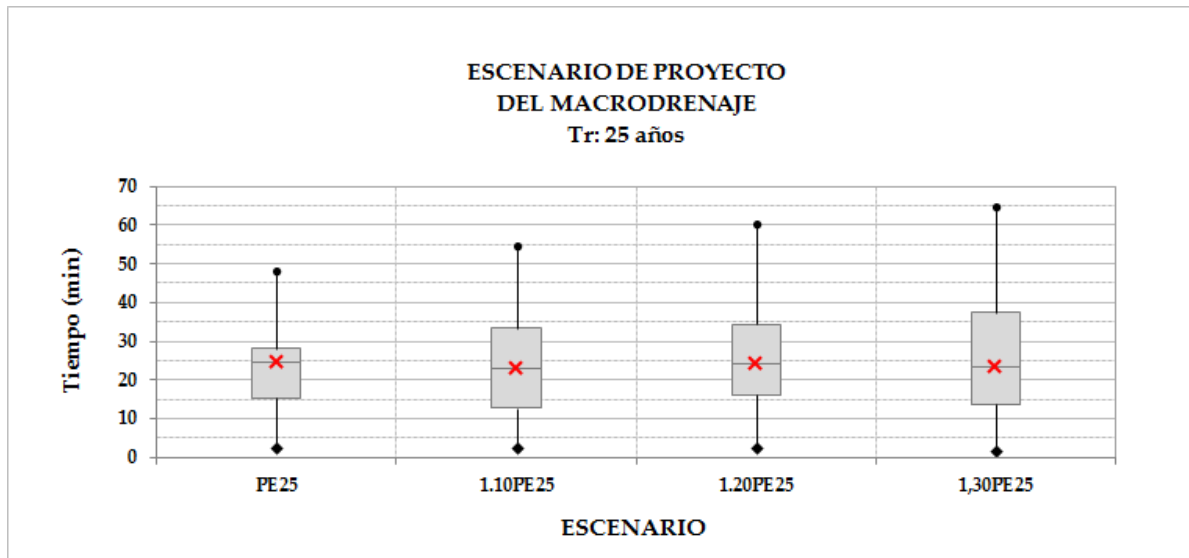


Figura 5-27.- Incremento del tiempo de anegamiento - (TR25)

5.4.2.3. Incremento de caudales en tramos del macrodrenaje

La mediana de los incrementos de caudal $\Delta Q(\%)$ en los tramos del macrodrenaje presenta un crecimiento comprendido entre un 18% para el escenario 1,10PE25, 40% para el escenario 1,20PE25 y 48% para 1,30PE25, según se indica en la Figura 5-28.

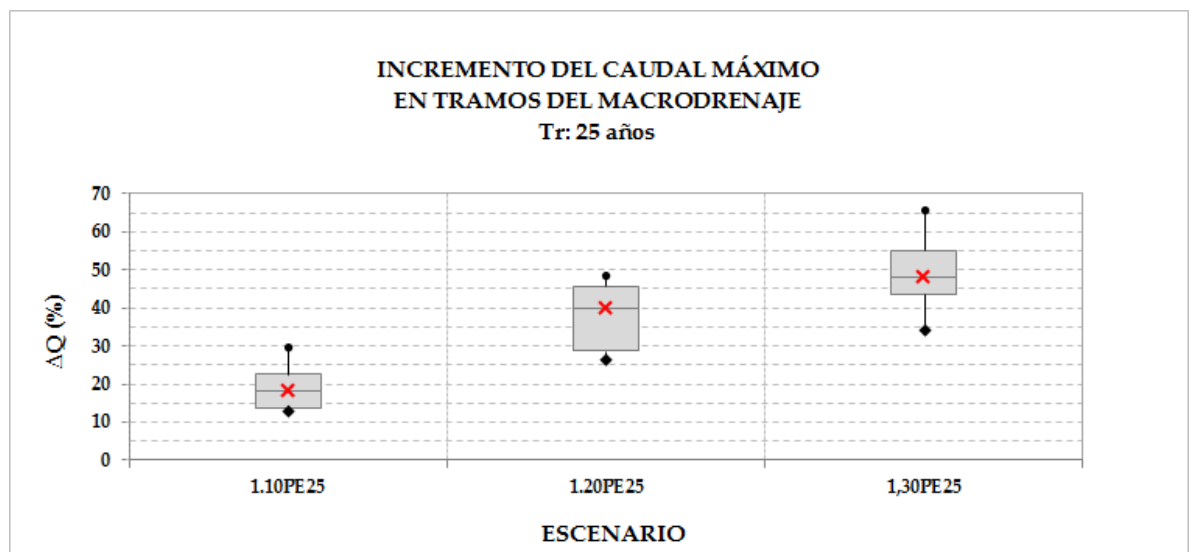


Figura 5-28.- Incrementos $\Delta Q(\%)$ en tramos del macrodrenaje - (TR25)

El incremento de los caudales en escenarios de cambio climático causa la entrada en funcionamiento de los vertederos de emergencia previstos para funcionar recién en el evento de verificación del macrodrenaje (Tr 50 años).

Por eso, los máximos incrementos del caudal corresponden a la cuenca alta, entre los reservorios R1 y R7 (sector sombreado de la Figura 5-29).

A medida que progresa la atenuación del caudal máximo en el sistema de reservorios online se reducen los incrementos con respecto al escenario de proyecto.

En base a los resultados de las simulaciones, en los escenarios hipotéticos analizados los desbordes en la sección media equivalente alcanzarían tirantes comprendidos entre 0,18m y 0,44m sobre el segundo nivel de la planicie inundable, afectando longitudes variables entre el 96% y la totalidad de la longitud de los tramos del macrodrenaje.

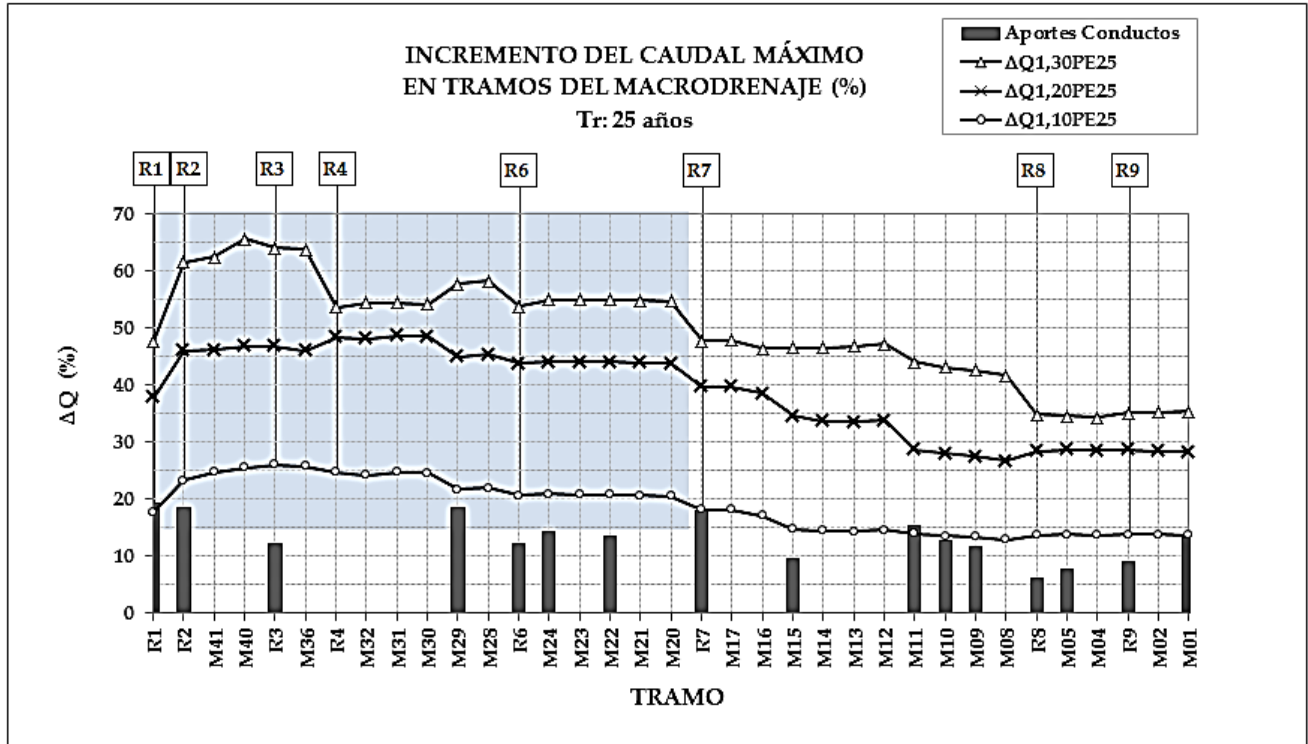


Figura 5-29.- Incrementos ΔQ (%) en las progresivas del macrodrenaje - (TR25)

5.4.3. Escenario de verificación del macrodrenaje (Tr: 50 años)

5.4.3.1. Anegamiento de calles

Según indica el diagrama de barras de la Figura 5-30, en el escenario PE50 el porcentaje de calles críticas (tramos con tirantes superiores a 50 cm) equivale al 5%. Esta cantidad se incrementa a 11%, 20% y 27% en los escenarios de cambio climático.

Los tirantes varían en un rango comprendido entre 52 cm y 72 cm, con una mediana de 66 cm.

En el escenario 1,10PE50 la mediana de los tirantes es de 55 cm (Rango: 51 cm a 74 cm). El número de calles críticas equivale al 11% de la longitud total de la red.

En el escenario 1,20PE50, el número de calles críticas es del 20%, con una mediana de 57cm (Rango: 51 cm a 76 cm).

Para 1,30PE50, la mediana es de 62 cm (Rango: 51 cm a 78 cm), y el número de calles críticas es del 27%.

De acuerdo a estos resultados, los tirantes máximos no presentan incrementos sustanciales, y el principal impacto es el aumento del número de tramos afectados.

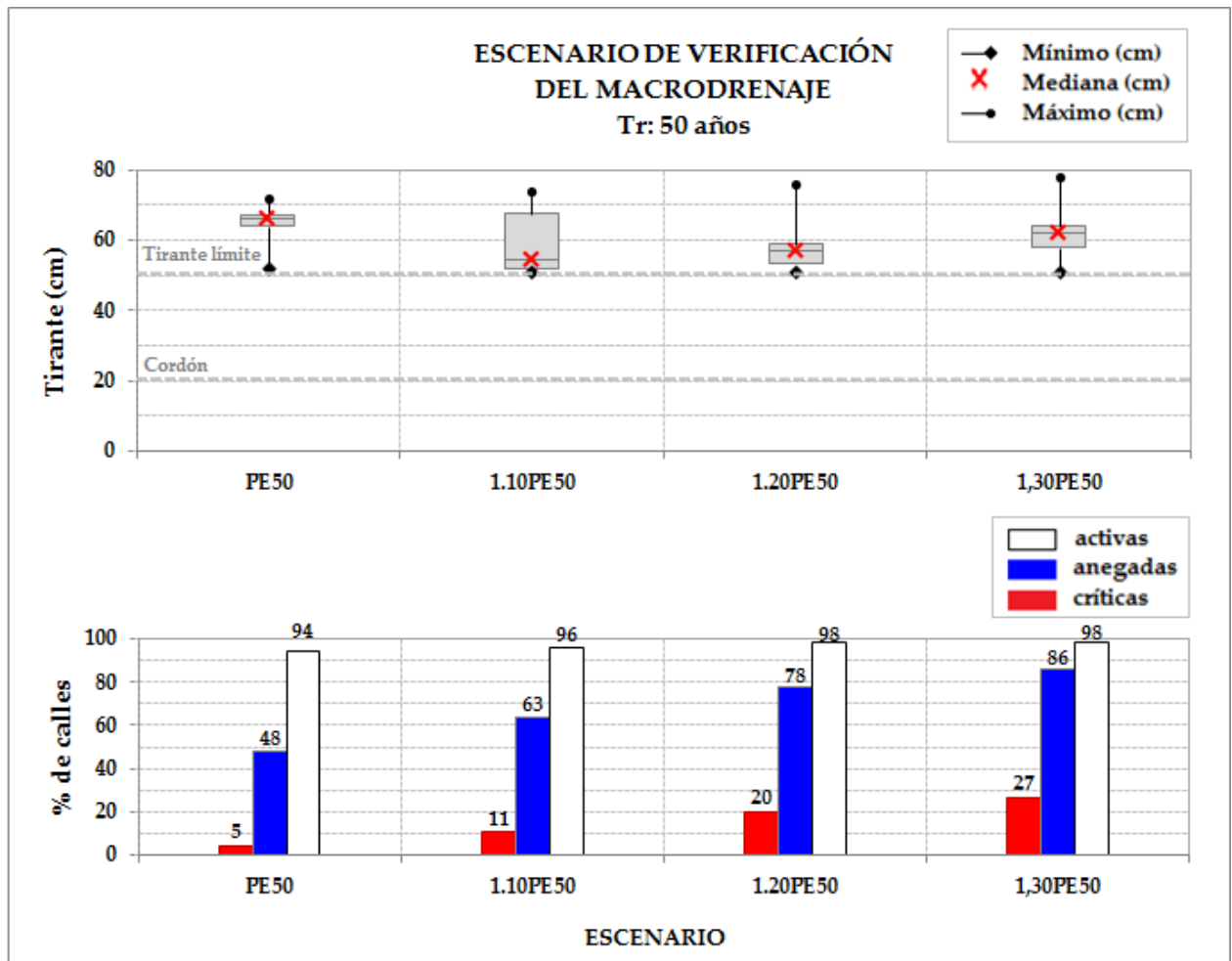


Figura 5-30.- Tirantes máximos en calles - Verificación del macrodrenaje (TR50)

5.4.3.2. Tiempo de anegamiento

Las condiciones críticas de anegamiento (tirantes superiores a 50 cm) en los escenarios de cambio climático persisten durante intervalos de tiempo comprendidos entre 40 y 60 minutos, y no presentan diferencias apreciables con respecto al escenario de verificación del macrodrenaje PE50 (Figura 5-31).

Los tiempos de anegamientos máximos crecen a razón de 5 minutos por cada 10% de incremento en el escenario de cambio climático por lo cual, como ha sido mencionado, los cambios del régimen pluviométrico no generan un crecimiento sustancial de la magnitud del tiempo de anegamiento.

El principal impacto está determinado por la extensión de estas condiciones a un número mayor de tramos.

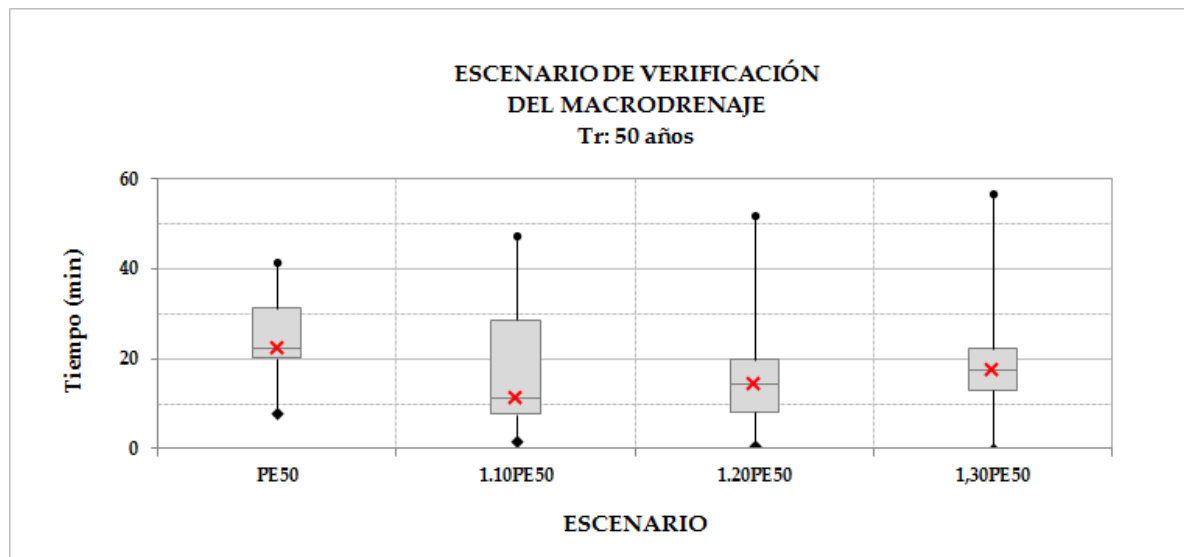


Figura 5-31.- Incremento del tiempo de anegamiento - (TR50)

5.4.3.3. Incremento de caudales en tramos del macrodrenaje

En el escenario de verificación del macrodrenaje la mediana de los incrementos de los caudales máximos aportados por los colectores de microdrenaje es de 14, 30 y 46% para los escenarios 1,10PE50, 1,20PE50, 1,30PE50 respectivamente.

La peligrosidad potencial de este escenario se asocia a la probabilidad de colapso de los reservorios por desbordes.

De acuerdo a los resultados de las simulaciones es posible predecir el desborde de todos los reservorios en los tres escenarios de cambio climático, que afectarían áreas de gran extensión superficial y bajo tirante.

Como consecuencia, las áreas críticas en el escenario de verificación del macrodrenaje corresponden a las progresivas de implantación de cada reservorio, donde el impacto potencial fue caracterizado a través del volumen de inundación.

El incremento de los caudales máximos ΔQ (%) presenta reducciones en las progresivas de cada reservorio (Figura 5-32), y los caudales transferidos aguas abajo se incrementan a menores tasas que las que corresponderían a escenarios sin desbordes.

Por lo tanto, en el escenario de verificación del macrodrenaje la mediana de los incrementos del caudal máximo varía entre 9% para 1,10PE50, 16% para 1,20PE50 y 17% para 1,30PE50, según se indica en la Figura 5-33.

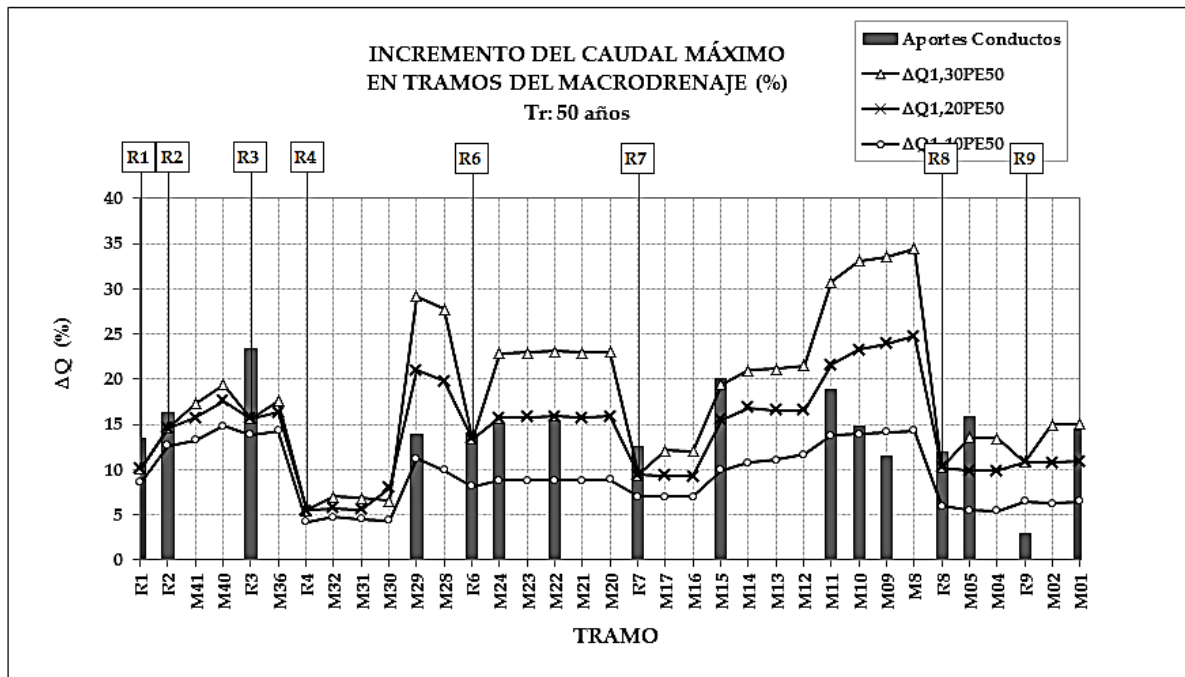


Figura 5-32.- Incrementos ΔQ (%) en las progresivas del macrodrenaje - (TR50)

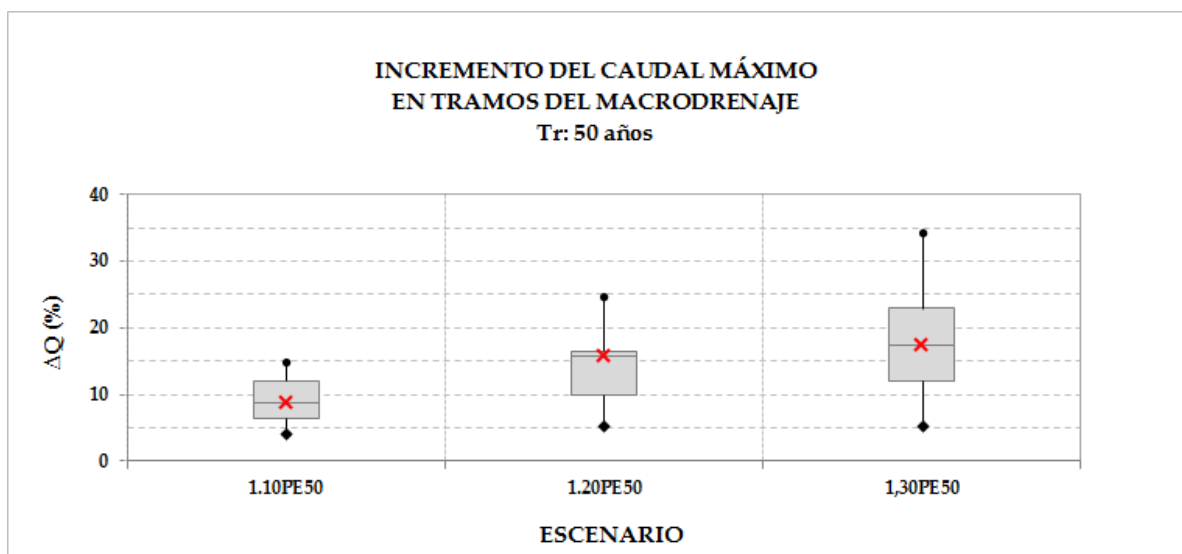


Figura 5-33.- Incrementos ΔQ (%) en tramos del macrodrenaje - (TR50).

Para cada escenario hipotético de cambio climático se calcularon los volúmenes de inundación V_i (m^3) generados por los desbordes. Estos volúmenes se expresaron en términos relativos, como porcentaje del volumen de cada reservorio V_r .

En la Figura 5-34 se comparan los incrementos $V_i/V_r(\%)$, donde puede observarse que, debido a su escasa capacidad de almacenamiento, el reservorio R7 constituye un punto crítico de la red, exponiendo a las áreas adyacentes a la mayor amenaza en todos los escenarios de cambio climático. Dependiendo de la magnitud del incremento de las precipitaciones, el volumen de los desbordes varía entre el 35% y 243% del volumen del reservorio R7.

Incorporación de la Incerteza del Cambio Climático en la Gestión del Drenaje Urbano

En la Figura 5-34, se presentan los desbordes previstos en los restantes reservorios, ordenados de acuerdo a la magnitud prevista del impacto.

Para el escenario 1,10PE50, de acuerdo a los resultados de las simulaciones, es posible estimar volúmenes de desbordes variables entre 4% y 17% del volumen total.

Para el escenario 1,20PE50, estos volúmenes se incrementan a valores comprendidos entre el 9 y 39% del volumen total.

La mayor sollicitación, correspondiente al escenario 1,30PE50 produciría desbordes en los reservorios comprendidos entre 16 y 59% del volumen total.

Además de las áreas adyacentes al reservorio 7, se consideraron como áreas críticas en el escenario de verificación del macrodrenaje a las áreas de mayor densidad de población afectadas por los reservorios R1, R2 y R6.

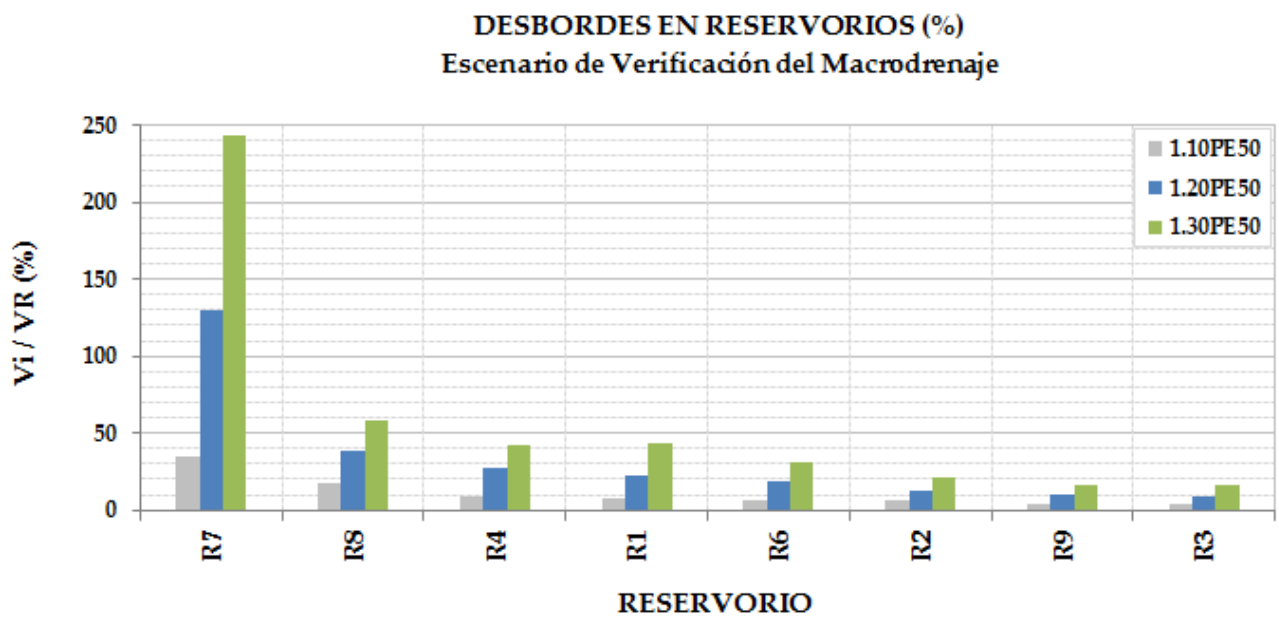


Figura 5-34.- Volumen de los desbordes en reservorios - (TR50).

Tabla 5-3.- Volumen de los desbordes en reservorios Vi/VR (en %)

Reservorio	R7	R8	R4	R1	R6	R2	R9	R3
1.10PE50	35	17	9	8	7	6	4	4
1.20PE50	130	39	27	23	18	13	10	9
1.30PE50	243	59	42	43	31	21	16	16

5.5. Evaluación económica del impacto del cambio climático

5.5.1. Objetivos generales de la evaluación económica

Una vez identificados los principales impactos del cambio climático sobre la red de drenaje, se establecieron cuatro estrategias de planeamiento para la adaptación al potencial incremento de las precipitaciones:

- E1: proyecto de la red para la tormenta estacionaria.
- E2: proyecto de la red para los máximos incrementos previstos en el fin del período de análisis.
- E3: adecuación o reemplazo parcial/total de las obras.
- E4: disminución del exceso de caudal de aporte a la red mediante medidas de control en la fuente y adecuación gradual del macrodrenaje.

La cuantificación de los impactos económicos previstos en un rango representativo de escenarios de cambio climático permite comparar los costos y beneficios de cada estrategia de planeamiento para orientar al tomador de decisiones acerca de la conveniencia de la asignación de recursos a una estrategia particular (o combinación de las mismas).

Para la evaluación económica de estos impactos se utilizó una metodología basada en el análisis costo-beneficio de las estrategias de planeamiento. Para ello se consideraron los costos construcción de las obras de drenaje correspondientes a cada estrategia y las pérdidas generadas por los daños por inundación durante el período de análisis. No se consideraron los costos variables asociados a la operación y mantenimiento del sistema de drenaje.

A través del análisis costo-beneficio se compararon los costos y beneficios económicos generados por distintos escenarios de cambio climático en horizontes temporales futuros, donde los beneficios son los costos netos evitados por implementación de cada estrategia con respecto a la situación de no acción.

Para cuantificar la diferencia neta de daños entre los escenarios climáticos actual y futuros se debe considerar en el análisis un determinado horizonte de planeamiento, que usualmente se extiende desde el inicio de la construcción hasta el final de la vida útil de las obras. La magnitud de la pérdida total en el escenario climático actual y su incremento gradual como consecuencia del cambio climático se calculó para diferentes periodos de tiempo entre el momento presente y el horizonte de planeamiento.

Los horizontes de tiempo adoptados adquieren mayor importancia en escenarios del cambio climático, debido a que sus efectos serán más importantes a medida que crece el intervalo de tiempo analizado.

Se adoptó un horizonte de planeamiento de 90 años, desde el año base 2013 hasta el año final 2103. Para la determinación de costos y beneficios de las estrategias se adoptaron horizontes temporales de 30 años, que se consideraron para cuantificar los costos y beneficios en el corto plazo (2013-2043), mediano plazo (2043-2073) y largo plazo (2073-2103). Los costos y los beneficios se descontaron a valor neto actualizado al año base utilizando una tasa de descuento constante del 4%, según fue señalado en el ítem 3.6.4.4.

5.5.2. Caracterización de las estrategias

5.5.2.1. Línea de base estacionaria

Para cuantificar del impacto económico del incremento de las precipitaciones de proyecto es necesario caracterizar las pérdidas correspondientes al escenario climático actual en un período de tiempo determinado.

Para ello se determinó una línea de base de las pérdidas económicas previstas en el horizonte de planeamiento analizado. Estas pérdidas son generadas por la tormenta de proyecto en el escenario climático estacionario.

Es decir que la línea de base estacionaria representa los daños generados por la tormenta de proyecto de magnitud PE, que aún en las condiciones actuales genera daños directos a las edificaciones.

Posteriormente, se consideraron las pérdidas generadas en escenarios de impacto leve (1,10PE), moderado (1,20PE) y extremo (1,30PE) de cambio climático, para cuantificar la diferencia de daños con respecto a la condición actual durante el período de tiempo analizado.

Para la definición de la línea de base (LB-PE) se asumió que la tormenta de proyecto de magnitud PE es constante durante todo el horizonte de planeamiento. Como consecuencia, los tirantes de agua en las edificaciones, áreas urbanizadas del cauce principal y áreas ubicadas en las zonas de influencia de los reservorios expuestas al riesgo de inundación no se modifican con el transcurso del tiempo.

Estos daños se originan durante eventos de moderada y elevada magnitud (25 y 50 años de período de retorno) y fueron calculados a partir de la metodología FLEMOps(+) presentada en el ítem 3.6.3.1.

Debido a que los tirantes no varían durante el horizonte de planeamiento, también permanecen constantes las relaciones adimensionales FLEMOps(+), que expresan el daño a las edificaciones como porcentaje del valor total de los inmuebles.

En la determinación de la línea de base se consideró el crecimiento de la urbanización, que origina un aumento del valor total de los inmuebles expuestos a daños por inundación. Por lo tanto, durante el horizonte de planeamiento 2013-2103 se incrementa el valor de los daños totales a las edificaciones.

Se asumió que durante los primeros treinta años (corto plazo 2013-2043) el valor total de los inmuebles corresponde al grado de urbanización actual. A largo plazo (2073-2103) se consideró el factor máximo de ocupación del suelo previsto por el Código de edificación. A mediano plazo (2043-2073) se adoptó un valor total de inmuebles correspondiente a un grado de urbanización intermedio.

La Figura 5-35 representa los daños a las propiedades estimados en los tres horizontes de la línea de base estacionaria, en función de la probabilidad de ocurrencia de los eventos.

A partir de los daños calculados en cada horizonte temporal para las probabilidades de ocurrencia consideradas, se calculó el incremento del valor esperado de

los daños de cada período EADa (2013-2043), EADb (2043-2073) y EADc (2073-2103) en \$/año, como la integral de las pérdidas estimadas para períodos de retorno de 25 y 50 años.

El valor esperado de los daños de la línea de base es:

EADa: 1.358.008 \$/año (período 2013-2043)

EADb: 2.541.063 \$/año (período 2043-2073)

EADc: 3.724.118 \$/año (período 2073-2103)

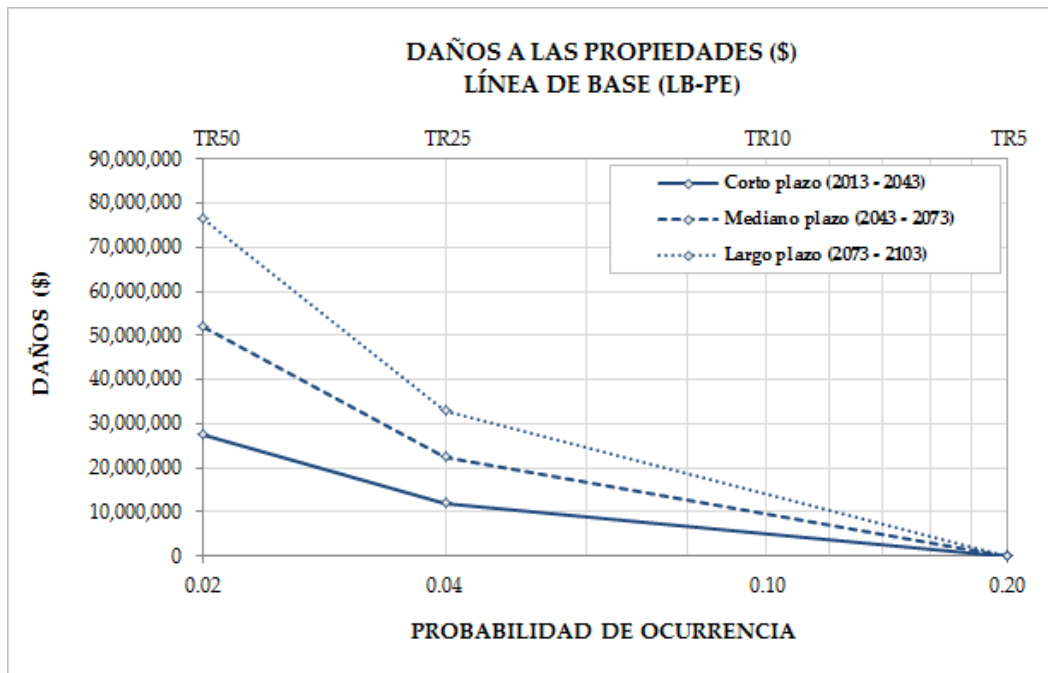


Figura 5-35.- Estimación del valor esperado de los daños EAD (LB-PE).

El valor presente de los daños totales acumulados (VPD en \$) en cada horizonte de tiempo se obtuvo actualizando al año base 2013 las series uniformes de EAD que se presentan en la Figura 5-36.

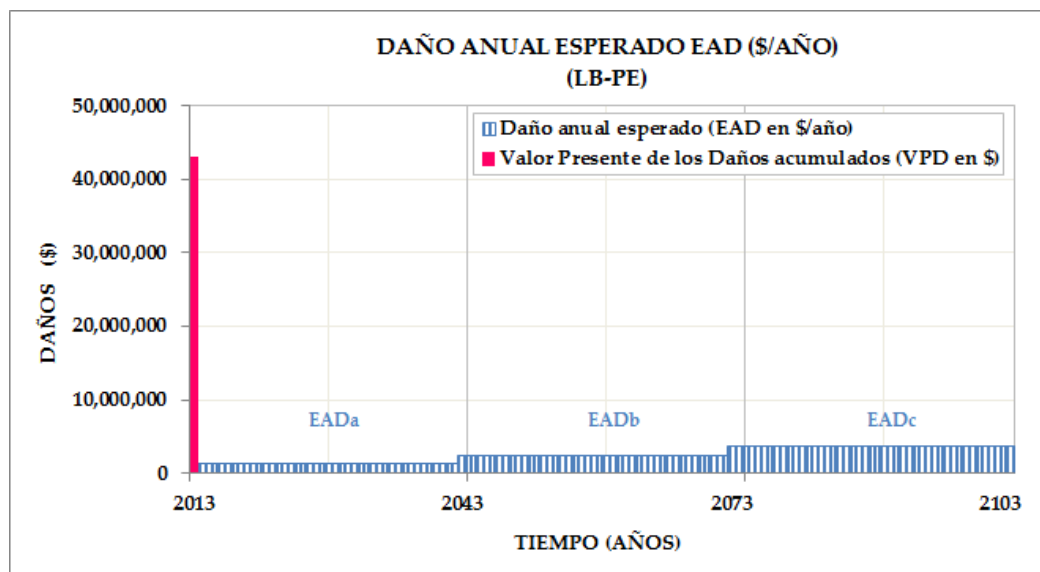


Figura 5-36.- Actualización del valor esperado de los daños al año base 2013.

El VPD de los daños totales de la línea base de la cuenca del arroyo Manzores es:

VPD (2013-2043): \$23.482.724

VPD (2013-2073): \$37.030.291

VPD (2013-2043): \$43.151.950

El valor presente total de los daños VPD fue desagregado en cinco Áreas de Daño (AD) que se indican en la Figura 5-37 para evaluar la distribución espacial de las pérdidas.

Los resultados de la Tabla 5-4 resumen el valor presente de las pérdidas de cada área de daño (VPD parcial en \$), cuya incidencia media porcentual en el valor presente de los daños se indica en la Figura 5-37.

El mayor impacto económico está previsto en las áreas de daño AD2 y AD3, que en promedio representan un 45% y 35% del daño total. Estas áreas se ubican en las zonas de máxima solicitud, identificadas como áreas críticas de la red en el ítem 5.2.2.1.

Las áreas AD1 y AD4 representan en promedio un 10% de las pérdidas totales, mientras que el área AD5 solo constituye un 1% del valor total de los daños.

Estos resultados han sido graficados en la Figura 5-38, donde se indica el aporte individual de cada área de daños AD a la línea de base total.

Tabla 5-4.- VPD (\$) discriminado por áreas de daño (AD) de la cuenca Manzores.

Área de daños	2013-2043	2013-2073	2013-2103
AD1	1.919.647	4.337.276	5.645.594
AD2	10.869.893	16.793.718	19.413.274
AD3	8.495.453	11.599.028	12.705.226
AD4	2.003.486	3.993.141	5.029.584
AD5	194.244	307.128	358.272
Suma (\$)	23.482.724	37.030.291	43.151.950

5.5.2.2. Estrategia E1

La estrategia de planeamiento E1 consiste en proyectar la red de drenaje para las condiciones pluviométricas actuales, ignorando los potenciales efectos del cambio climático. Por lo tanto, la tormenta de proyecto para el dimensionamiento de los componentes de los sistemas de micro y macrodrenaje corresponde a la precipitación PE del contexto climático estacionario.

La Figura 5-39 presenta los incrementos de la precipitación máxima en cada escenario de cambio climático (1,10PE, 120PE y 1,30PE), y la magnitud de la tormenta de proyecto adoptada para el dimensionamiento de los componentes del sistema de drenaje, que en esta estrategia permanece invariable en los tres escenarios de cambio climático.

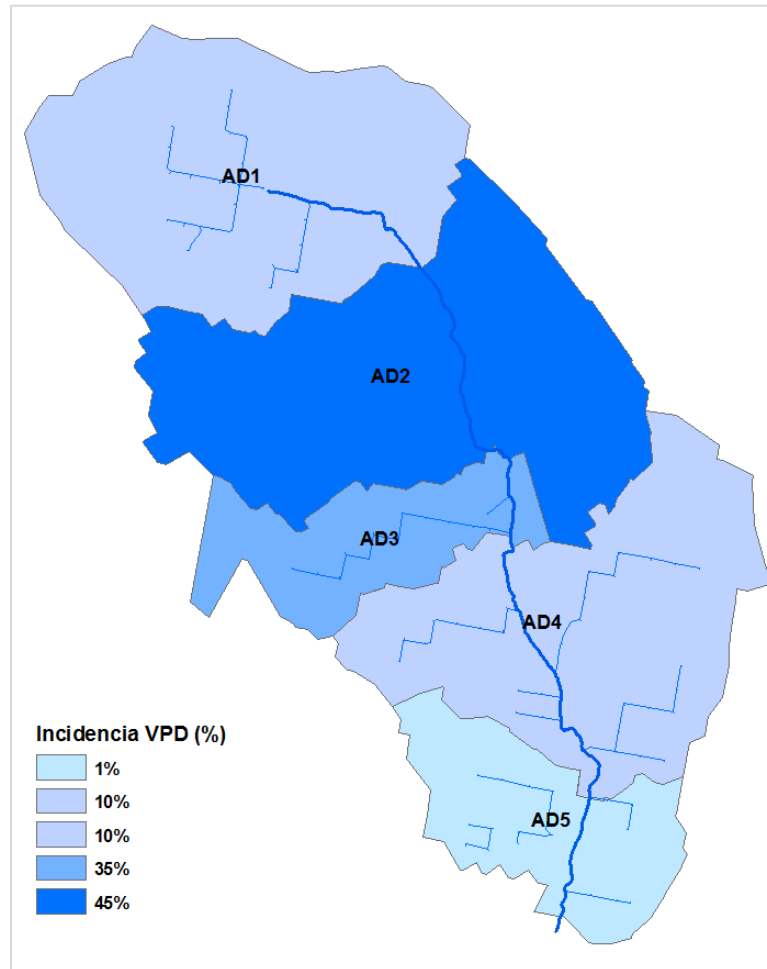


Figura 5-37.- Incidencia porcentual en el VPD de las áreas de daños AD

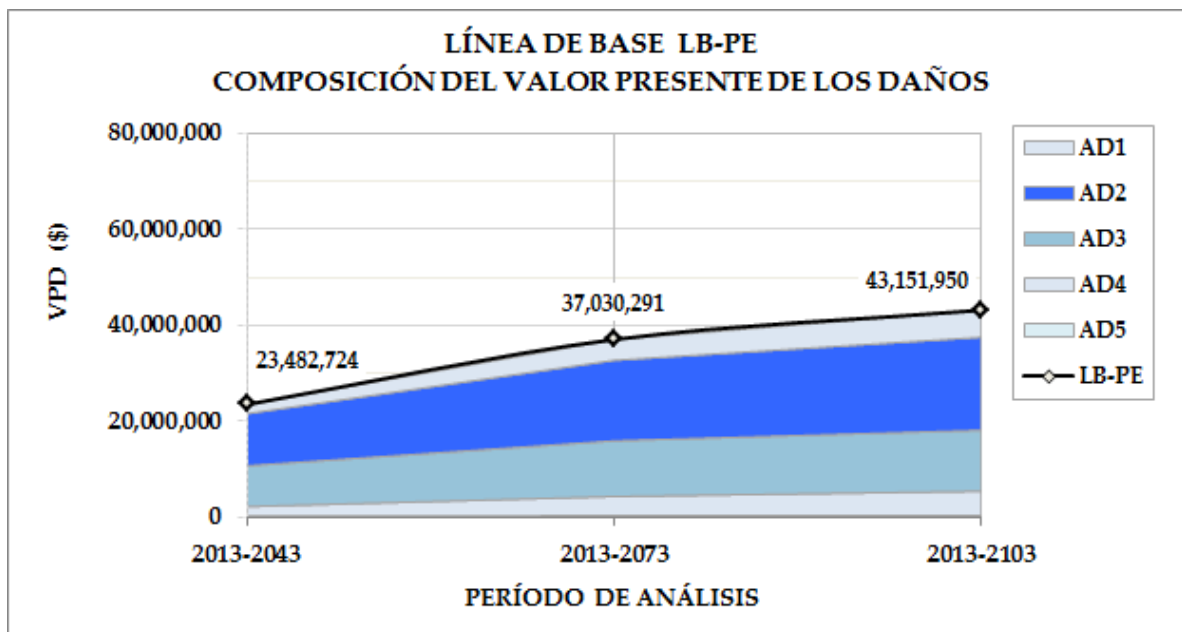


Figura 5-38.- Composición de la línea de base estacionaria - (LB-PE)

a- Costos de construcción de la red

Las dimensiones de las obras proyectadas de acuerdo a la estrategia E1 corresponden a la tormenta estacionaria PE, por lo tanto el costo de construcción calculado se aplica también a la línea de base estacionaria.

Para el cómputo y presupuesto de las obras de micro y macrodrenaje correspondientes a los tres escenarios de cambio climático se consideraron los ítems indicados en 3.6.2.

Se utilizaron los análisis de precios (valores correspondientes al año 2013) suministrados por la Comisión Administradora para el Fondo Especial de Salto Grande y por la Unidad Ejecutora Provincial de Entre Ríos. El detalle del cómputo y presupuesto de los costos de construcción se resume en el Anexo 2.

El costo de construcción de las obras de microdrenaje, que asciende a \$75.829.670 incluye la rotura y reparación de calles, movimiento de suelos, construcción de cámaras y ejecución de 6778m de conductos de sección circular, y de 3764m de sección rectangular. La longitud total de los colectores de microdrenaje es de 10542 metros, por lo cual el costo medio por cuadra sistematizada es del orden de 689 \$/cuadra.

El costo de construcción del sistema de macrodrenaje, que asciende a \$20.941.776, incluye el movimiento de suelos para la ejecución de los reservorios, construcción de las respectivas obras de descarga y limpieza y perfilado de los tramos del cauce principal.

El costo de construcción total de la Estrategia E1, (suma de los costos de micro y macrodrenaje) es igual a \$96.771.446.

b- Cuantificación de los daños

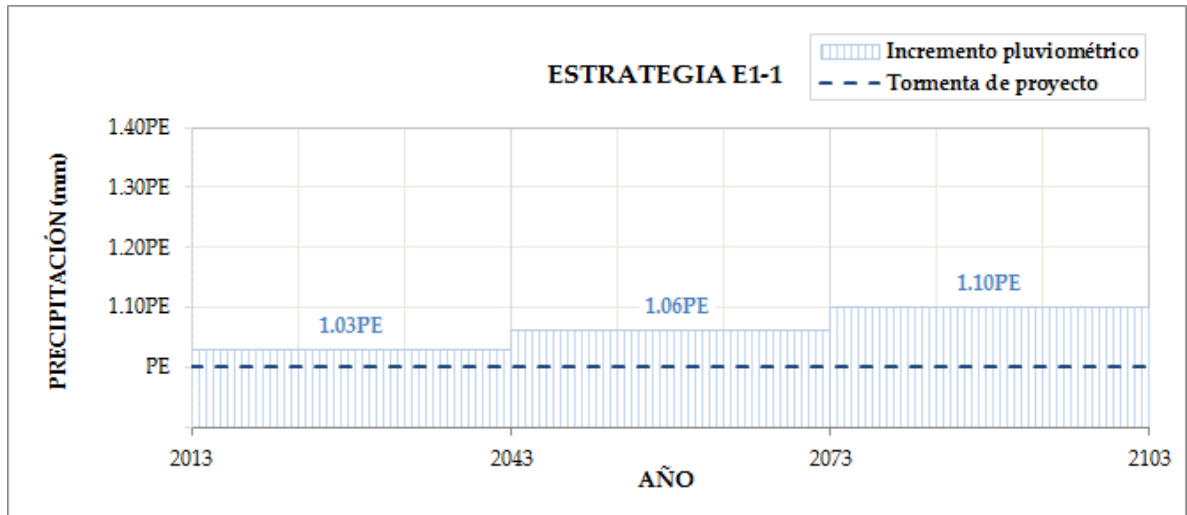
Se consideraron las secuencias temporales de precipitación correspondientes a cada escenario de cambio climático presentadas en la Figura 5-39. Las mismas se detallan en la Tabla 5-5 y están constituidas por tres horizontes de 30 años que integran el período de análisis: (2013-2043), (2043-2073) y (2073-2103).

En el escenario de cambio climático 1 (Estrategia E1-1), el incremento de precipitación es de 1,03PE durante el primer horizonte de 30 años (corto plazo 2013-2043), de 1,06PE en el segundo horizonte temporal (mediano plazo 2043-2073) y de 1,10PE en el último horizonte temporal analizado (largo plazo 2073-2103).

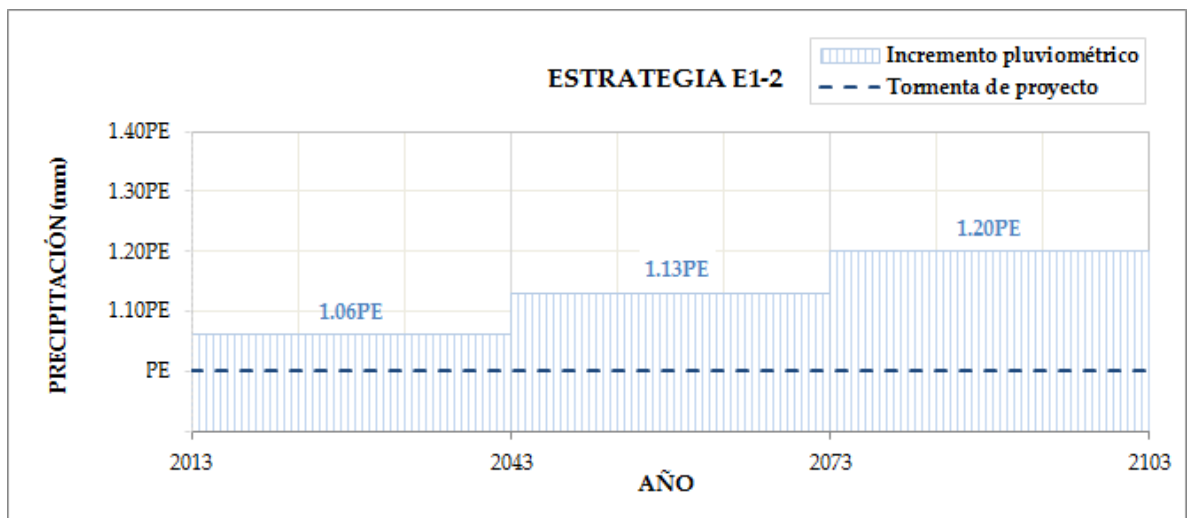
En el escenario de cambio climático 2 (Estrategia E1-2), el incremento de precipitación es de 1,06PE en el corto plazo, de 1,13PE en el mediano plazo y de 1,20PE en el largo plazo.

En el escenario de cambio climático 3 (Estrategia E1-3), el incremento de precipitación es de 1,10PE en el corto plazo, de 1,20PE en el mediano plazo y de 1,30PE en el largo plazo.

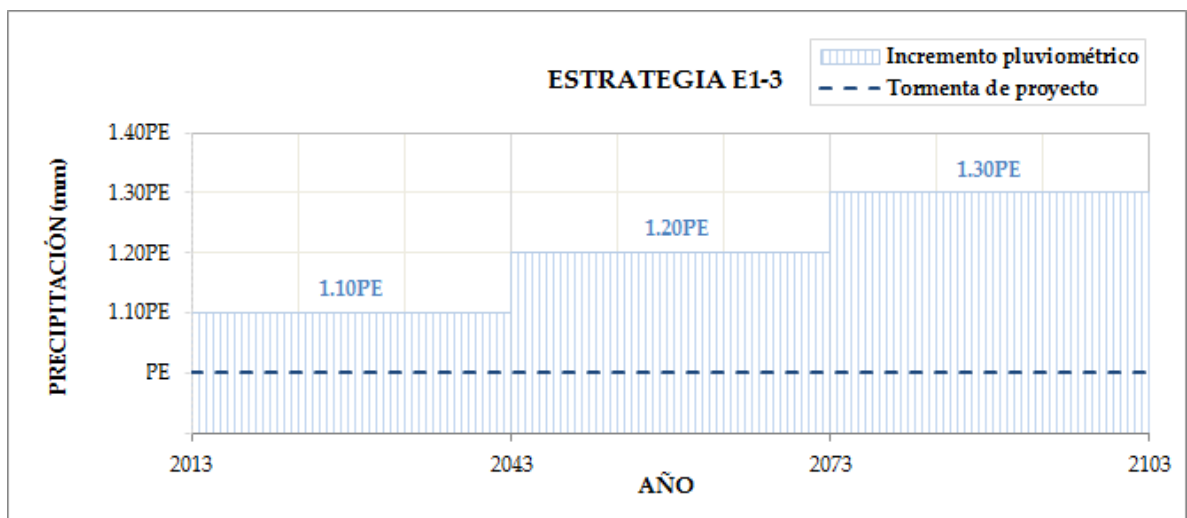
Se simuló la respuesta de la red a los incrementos de precipitación asumidos en cada horizonte temporal de los escenarios de cambio climático, determinando los tirantes de agua en las calles, tramos urbanizados del cauce principal, y propiedades afectadas por el desborde de reservorios, para períodos de retorno de 5, 25 y 50 años que se indican en la Tabla 5-5.



a.- Escenario de cambio climático 1



b.- Escenario de cambio climático 2



c.- Escenario de cambio climático 3

Figura 5-39.- Estrategia E1: tormenta de proyecto de la red.

A partir de los tirantes obtenidos mediante la simulación hidráulica de la red en cada escenario de cambio climático, se utilizó el Modelo FLEMOps(+) (Thieken, 2008). para cuantificar los daños relativos a las propiedades (en % del valor total de los inmuebles). Para su implementación se asumieron los siguientes parámetros: vivienda multifamiliar, calidad de las construcciones media, condiciones de contaminación medias por conexión a desagües cloacales a la red pluvial, y grado de precaución nulo. El monto total atribuible a pérdidas directas por inundación se obtuvo multiplicando el valor total de los inmuebles afectados por las relaciones adimensionales estimadas en cada tramo de la red.

Tabla 5-5.- Determinación del valor esperado de los daños.

Estrategia	E1-1			E1-2			E1-3		
	2013-2043	2043-2073	2073-2103	2013-2043	2043-2073	2073-2103	2013-2043	2043-2073	2073-2103
Tr: 5 años	1,03PE5	1,06PE5	1,10PE5	1,06PE5	1,13PE5	1,20PE5	1,10PE5	1,20PE5	1,30PE5
Tr: 25 años	1,03PE25	1,06PE25	1,10PE25	1,06PE25	1,13PE25	1,20PE25	1,10PE25	1,20PE25	1,30PE25
Tr: 50 años	1,03PE50	1,06PE50	1,10PE50	1,06PE50	1,13PE50	1,20PE50	1,10PE50	1,20PE50	1,30PE50
EAD (\$/Año)	EADa 1-1	EADb 1-1	EADc 1-1	EADa 1-2	EADb 1-2	EADc 1-2	EADa 1-3	EADb 1-3	EADc 1-3

De acuerdo a las consideraciones indicadas en el ítem 3.6.3, el valor esperado de los daños de cada período (EADa, EADb y EADc) se determinó como la integral de la relación daños-probabilidad de ocurrencia, que contempla el rango de eventos comprendidos entre 5 y 50 años de período de retorno.

La Figura 5-40 representa los daños atribuibles a pérdidas por inundación de la estrategia E1 para los tres horizontes del escenario de cambio climático 2. Para el rango de eventos del corto plazo (2013-2043) los daños fueron calculados para tres eventos de magnitud 1,06PE5, 1,06PE25 y 1,06PE50. Para el mediano plazo (2043-2073), los eventos fueron 1,13PE5, 1,13PE25 y 1,13PE50. Finalmente, para el largo plazo (2073-2103), los eventos fueron 1,20PE5, 1,20PE25 y 1,20PE50.

En base a los daños calculados en cada horizonte temporal para las probabilidades de ocurrencia consideradas, se calculó el incremento del valor esperado de los daños de cada período EADa 1-2 (2013-2043), EADb 1-2 (2043-2073) y EADc 1-2 (2073-2103) en \$/año, como la integral de las pérdidas estimadas para períodos de retorno de 25 y 50 años. El valor esperado de los daños alcanza los siguientes valores en este escenario de cambio climático.

EADa 1-2: 1.762.099 \$/año (período 2013-2043)

EADb 1-2: 4.226.588 \$/año (período 2043-2073)

EADc 1-2: 8.322.042 \$/año (período 2073-2103)

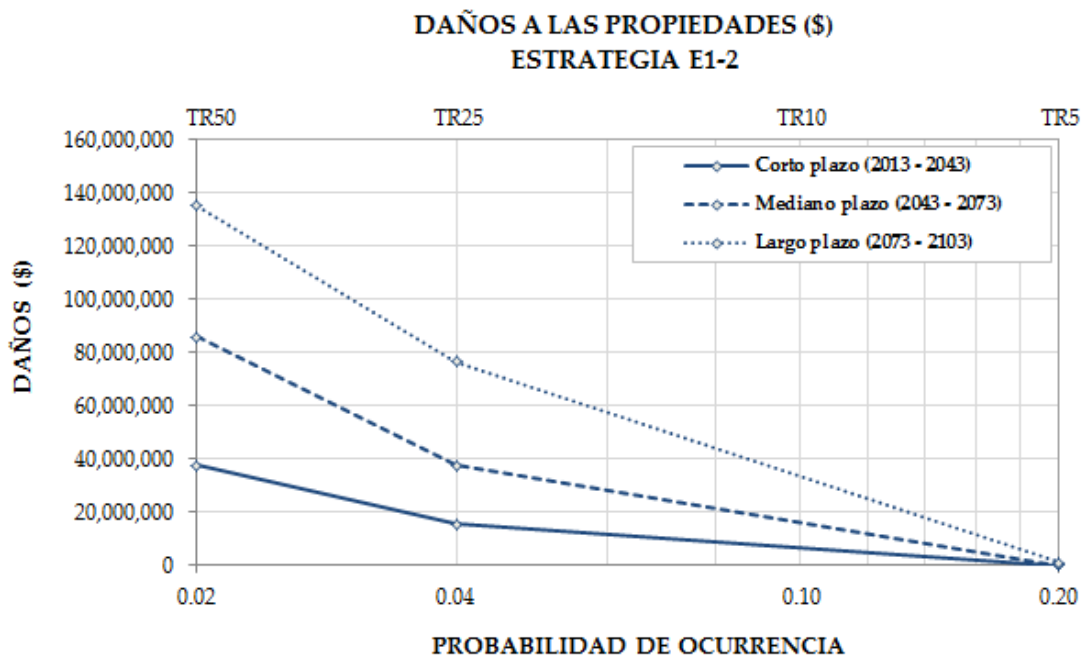


Figura 5-40.- Estimación del valor esperado de los daños EAD (estrategia E1-2).

La sucesión de las series de EAD distribuidas sobre horizontes de 30 años del período de análisis 2013-2103 se presenta en la Figura 5-41.

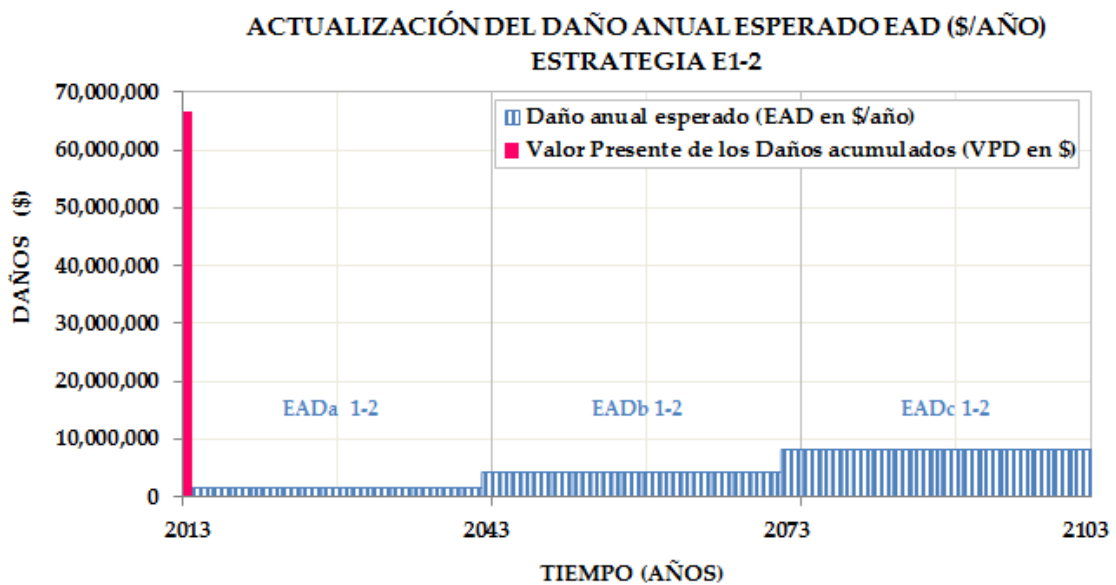


Figura 5-41.- Actualización del valor esperado de los daños al año base 2013.

Para actualizar las tres series distribuidas al año base 2013 se utilizó el factor de actualización de una serie uniforme de anualidades diferidas, de acuerdo a Ecuación (3-9). Asumiendo una tasa de descuento $r=4\%$ se obtuvo el valor presente de los daños actualizado a 2013 correspondiente a cada horizonte temporal (en \$): VPD_a (2013-2043), VPD_b (2043-2073), VPD_c (2043-2073), que se indican en las ecuaciones (5-6), (5-7) y (5-8) respectivamente.

$$VPD_a = 30.470.272 \quad (5-6)$$

$$VPD_b = 22.533.870 \quad (5-7)$$

$$VPD_c = 13.649.670 \quad (5-8)$$

Incorporación de la Incerteza del Cambio Climático en la Gestión del Drenaje Urbano

El valor total de los daños VPD (en \$) del horizonte de planeamiento, actualizados al año 2013, corresponde a la suma de los tres valores anteriores. Por lo tanto, en el escenario de cambio climático 2, el daño total acumulado atribuible a pérdidas por inundación de la estrategia E1 que se indica en la Figura 5-41 es:

$$\text{VPD} = \$ 66.683.813$$

Debido a que, en teoría, las dimensiones de la red permanecen constantes durante todo el período de análisis, esta estrategia no tiene flexibilidad para adaptarse a incrementos variables de las precipitaciones.

Por lo tanto la magnitud de los daños varía en relación directa con el aumento de las precipitaciones en cada escenario de cambio climático, incrementándose los problemas de anegamiento y daños asociados a medida que aumenta la precipitación.

El valor presente de los daños VPD (en \$) de la estrategia E1 para cada horizonte temporal en los tres escenarios de cambio climático se resume en la Tabla 5-6, donde puede apreciarse el incremento de las pérdidas con respecto a la línea de base estacionaria.

El incremento del valor total de los daños acumulados en los tres escenarios de cambio climático se representan en la Figura 5-42, donde los mismos se comparan con las correspondientes a la línea de base en cada horizonte temporal.

Tabla 5-6.- Valor Presente de los daños (VPD en \$) de la Estrategia E1

PERÍODO	LINEA DE BASE LB-PE	ESTRATEGIA		
		E1-1	E1-2	E1-3
2013-2043	23.482.724	25.106.058	30.470.272	34.400.399
2013-2073	37.030.291	42.563.685	53.004.143	64.999.153
2013-2103	43.151.950	51.546.523	66.683.813	83.715.318

A partir de la comparación del valor presente de los daños en los tres escenarios, se estimaron los siguientes incrementos porcentuales de las pérdidas en cada horizonte, las cuales se representan en la Figura 5-43.

- En el corto plazo, se preve un incremento de los daños a las edificaciones de un 7% para el escenario de cambio climático 1 (E1-1), del 30% para el escenario de cambio climático 2 (E1-2) y del 46% para el escenario de cambio climático 3 (E1-3).
- Las pérdidas acumuladas a mediano plazo (2013-2073) experimentarían un incremento del 15% para el escenario de cambio climático 1 (E1-1), del 43% para el escenario de cambio climático 2 (E1-2) y del 76% para el escenario de cambio climático 3 (E1-3).
- A largo plazo (2013-2103) el incremento de los daños se estima en un 19% para (E1-1), 55% para (E1-2) y 94% para (E1-3) con respecto a la línea de base estacionaria.

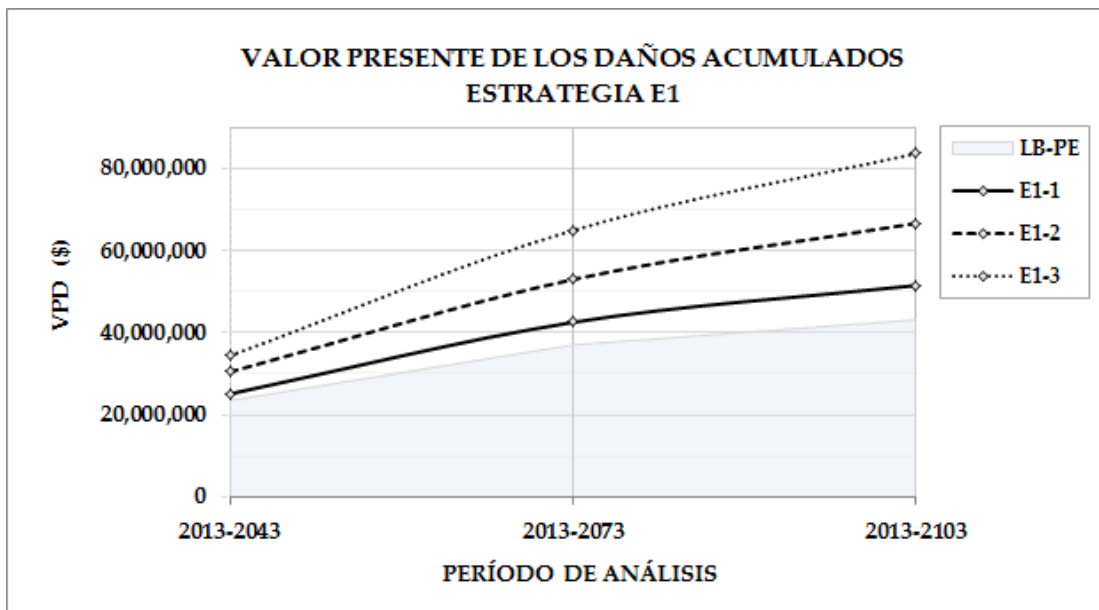


Figura 5-42.- VPD (en \$) de la estrategia E1

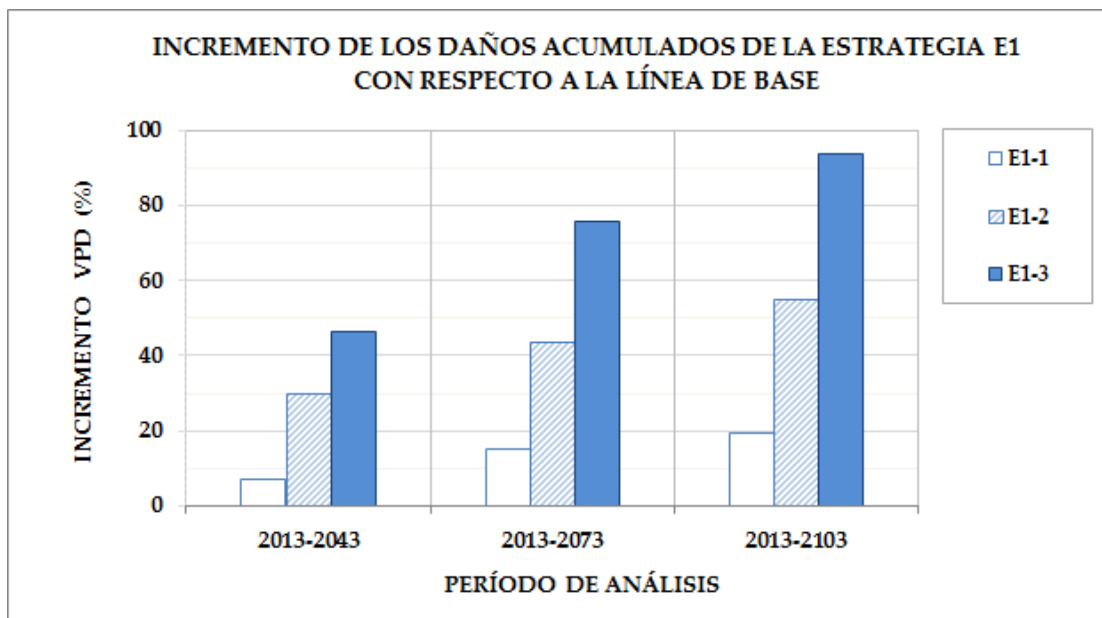


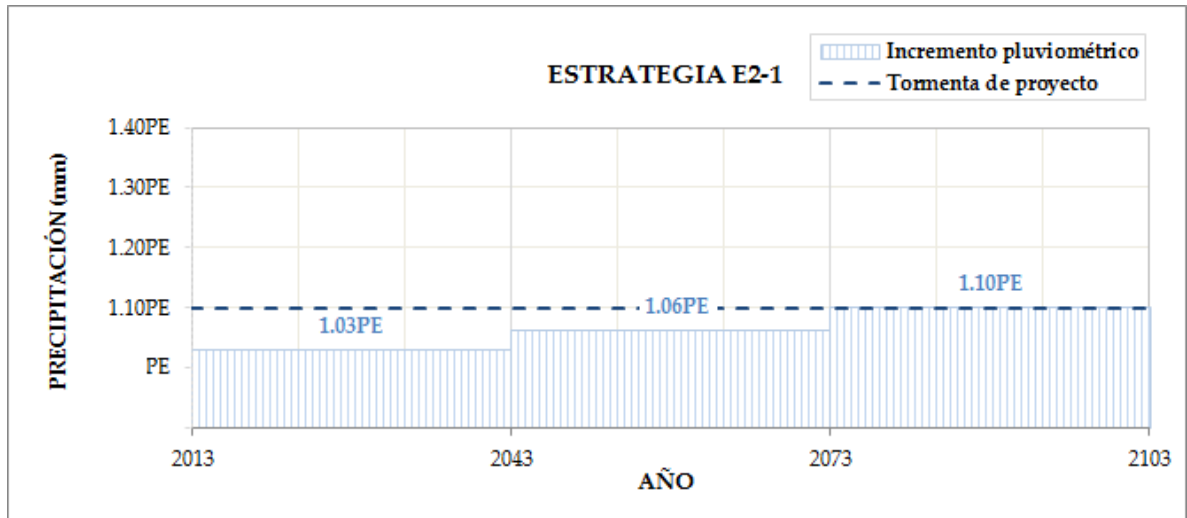
Figura 5-43.- Incremento porcentual de VPD E1 con respecto a (LB-PE)

5.5.2.3. Estrategia E2

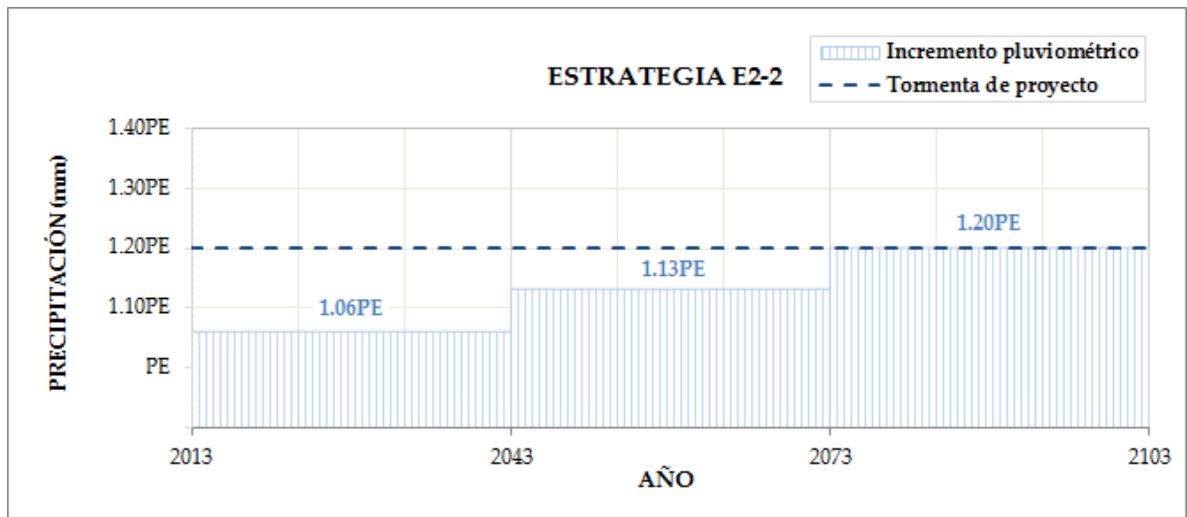
La estrategia de planeamiento E2 representa un diseño conservador, donde la red se dimensiona para la máxima precipitación futura prevista al final del período de análisis.

La carga financiera asumida en el presente (año base del período de análisis), tiene como objetivo la reducción de los daños directos, atribuibles a pérdidas por inundación en los tres escenarios de cambio climático analizados.

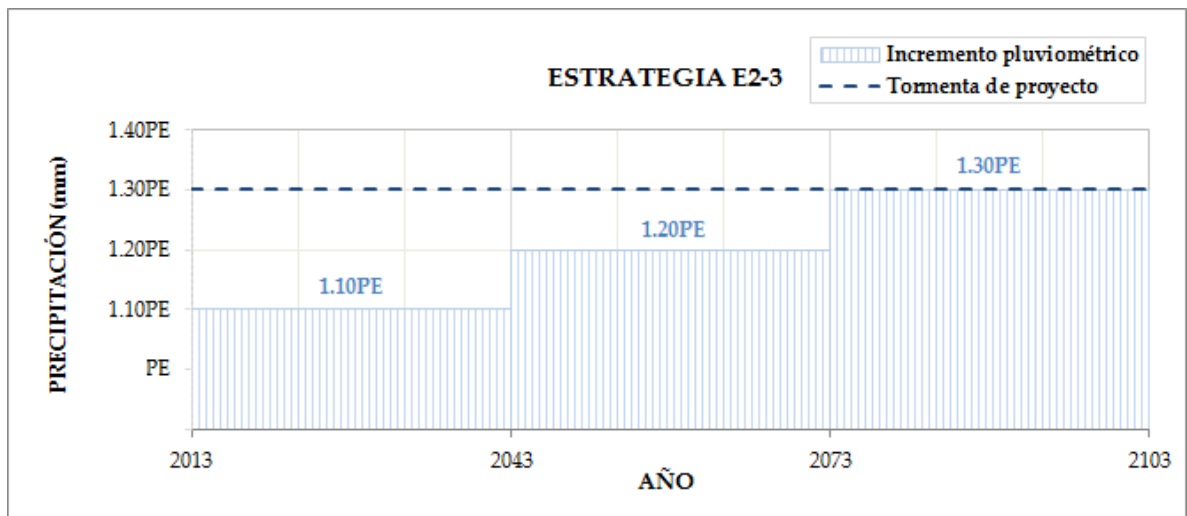
En la Figura 5-44 se indica la magnitud de la tormenta de proyecto adoptada para dimensionar la red de drenaje en cada escenario de cambio climático. Puede observarse que durante todo el período de análisis (2013-2103) el diseño permanece invariable, y que el mismo está determinado por la precipitación máxima estimada para el último horizonte temporal (2073-2103).



a.- Escenario de cambio climático 1



b.- Escenario de cambio climático 2



c.- Escenario de cambio climático 3

Figura 5-44.- Estrategia E2: tormentas de proyecto de la red.

a- Costos de construcción de la red

Los conductos del sistema de microdrenaje fueron redimensionados para verificar el funcionamiento a gravedad de los colectores ante los máximos caudales generados en cada escenario de cambio climático:

- Escenario de cambio climático 1 (incremento máximo 1,10PE): esta condición afectó a 27 colectores del sistema de microdrenaje, de 4607 m de longitud, que equivalen al 44% de la longitud total de la red de microdrenaje.
- Escenario de cambio climático 2 (incremento máximo 1,20PE): el redimensionamiento afectó a 40 colectores de 6720 m, equivalentes al 64% de la longitud de la red.
- Escenario de cambio climático 3 (incremento máximo 1,30PE): se redimensionaron 64 colectores, cuya longitud es de 9130 m, afectando al 87% de la longitud de la red.

Las obras del sistema de macrodrenaje involucraron el aumento de las dimensiones del canal trapezoidal del cauce principal, para canalizar los caudales en escenarios de cambio climático y evitar desbordes frecuentes. Estas tareas afectaron las siguientes longitudes del curso de macrodrenaje:

- Escenario de cambio climático 1: se redimensionó una longitud del curso equivalente al 77% de la longitud total, implicando un incremento del volumen de excavación del 11% con respecto a la estrategia E1.
- Escenario de cambio climático 2 (incremento máximo 1,20PE): la longitud de tramos redimensionados para evitar desbordes frecuentes equivale al 91% del cauce principal, incrementando el volumen de excavación en un 36% con respecto a E1.
- Escenario de cambio climático 3: se incrementó la sección de la totalidad de tramos del cauce principal, alcanzando un incremento del volumen de excavación de 53% con respecto a E1.

Debido a que las limitaciones de espacio físico impiden aumentar las dimensiones de los reservorios, se incrementaron las dimensiones de sus estructuras de descarga, (orificios, vertederos de operación y vertederos de emergencia), de acuerdo a los siguientes criterios:

Las dimensiones de los orificios se incrementaron para que los vertederos de operación funcionen exclusivamente en la recurrencia de proyecto del macrodrenaje.

Las longitudes mínimas de los vertederos de operación se incrementaron para que los vertederos de emergencia funcionen exclusivamente en la recurrencia de verificación del macrodrenaje.

Así mismo se aumentó la longitud de los vertederos de emergencia para impedir el desborde de los reservorios en los escenarios de verificación del macrodrenaje.

Para el cómputo y presupuesto de las obras de micro y macrodrenaje correspondientes a los tres escenarios de cambio climático se consideraron los ítems indicados en 3.6.2.

Los resultados de la cubicación, precios unitarios y el presupuesto de las obras de microdrenaje se resumen en el Anexo 2. Considerando los incrementos de las dimensiones de todas las estructuras de la red de drenaje, el costo de construcción de las obras de microdrenaje asciende a los siguientes valores:

- \$100.821.674 para el escenario de cambio climático 1
- \$104.773.872 para el escenario de cambio climático 2
- \$110.202.215 para el escenario de cambio climático 3

Por lo tanto, la implementación de la estrategia de planeamiento E2 en la red de drenaje analizada implicaría incrementos del costo de construcción total (con respecto a la Estrategia E1) en los siguientes porcentajes:

- 4% para el escenario de cambio climático 1
- 8% para el escenario de cambio climático 2
- 14% para el escenario de cambio climático 3

b- Cuantificación de los daños

Si bien las viviendas ubicadas en las zonas bajas de la red de microdrenaje y en las planicies de inundación del sistema de macrodrenaje continúan expuestas al riesgo de inundación, la implementación de esta estrategia reduce el impacto negativo de los escenarios hipotéticos de cambio climático. A su vez, el incremento de las obras de descarga de los reservorios evita el desborde para las recurrencias de verificación del macrodrenaje.

Los tirantes en las calles de la red y tramos del cauce principal se determinaron a partir de los resultados de la simulación. En base a los mismos, se aplicó la metodología FLEMOps (+) para cuantificar los daños correspondientes a cada escalón de incremento de la precipitación.

La Tabla 5-7 resume el Valor Presente de los daños correspondientes a la implementación de la estrategia E2 en los tres escenarios de cambio climático, cuyo incremento temporal a corto, mediano y largo plazo se representa en Figura 5-45, donde puede observarse que los daños estimados se ubican por debajo de la línea de base estacionaria (LE-PE) en todos los horizontes temporales de cada escenario climático.

En base a estos valores se estimaron las siguientes reducciones porcentuales de los daños acumulados de cada horizonte, las cuales se representan en la Figura 5-46.

Tabla 5-7.- Valor Presente de los Daños de la Estrategia E2

PERÍODO	LINEA DE BASE LB-PE	ESTRATEGIA		
		E2-1	E2-2	E2-3
2013-2043	23.482.724	19.554.121	10.414.557	7.204.446
2013-2073	37.030.291	31.266.894	23.477.078	15.441.092
2013-2103	43.151.950	37.070.597	30.483.839	22.006.324

- En el corto plazo, la implementación de la estrategia E2 implicaría una reducción de los daños a las edificaciones con respecto a la línea de base estacionaria de un 17% para el escenario de cambio climático 1 (E2-1), 56% para el escenario de cambio climático 2 (E2-2) y 69% para el escenario de cambio climático 3 (E1-3).
- Las pérdidas acumuladas a mediano plazo (2013-2073) experimentarían una reducción del 16% para el escenario de cambio climático 1 (E2-1), del 37% para el escenario de cambio climático 2 (E2-2) y del 58% para el escenario de cambio climático 3 (E2-3).

Incorporación de la Incerteza del Cambio Climático en la Gestión del Drenaje Urbano

- La reducción de daños a largo plazo (2013-2103) con respecto a la línea de base estacionaria se estima en un 14% para (E2-1), 29% para (E2-2) y 49% para (E2-3).

Por lo tanto, la implementación de la estrategia E2 reduce el valor presente de los daños en todos los escenarios de cambio climático. Esta reducción adquiere mayor magnitud a medida que se incrementan las dimensiones de las obras, a expensas de un mayor costo de construcción, que debe invertirse en el año inicial del horizonte de planeamiento.

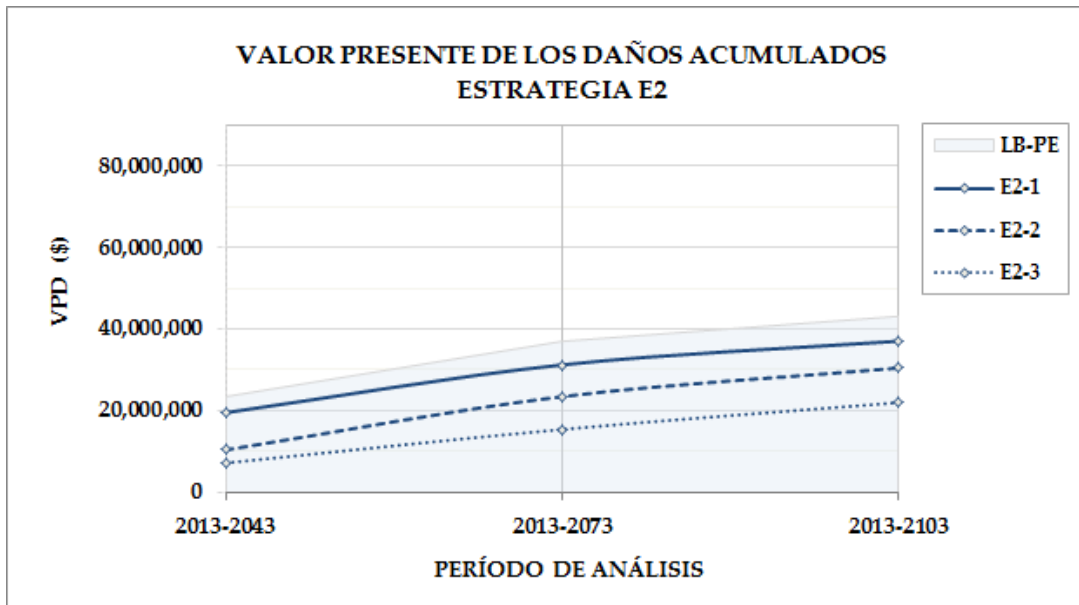


Figura 5-45.- VPD (en \$) de la estrategia E2

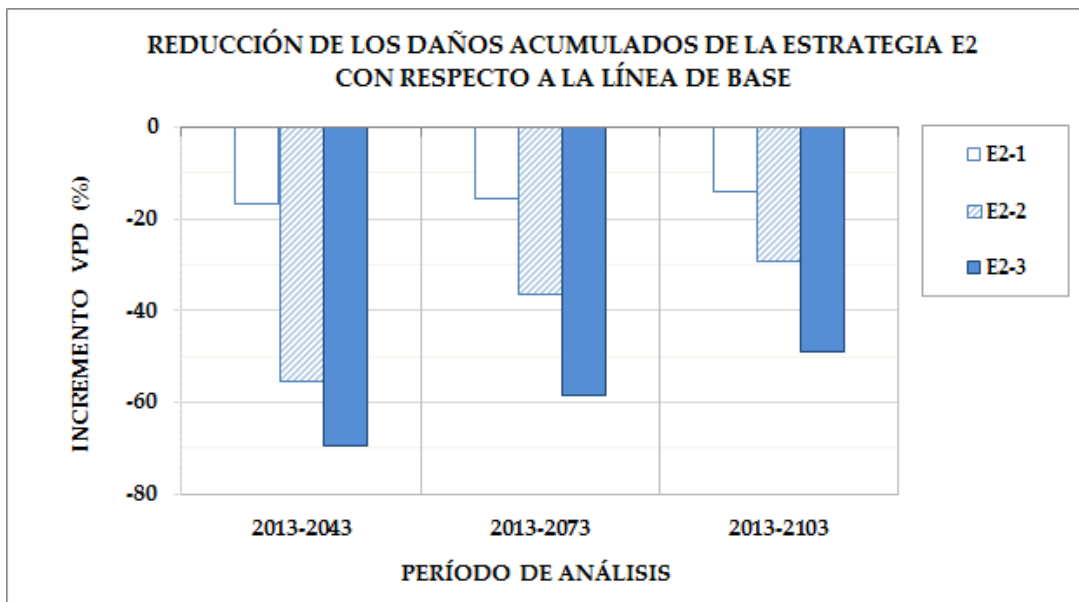


Figura 5-46.- Reducción porcentual de VPD E2 con respecto a (LB-PE)

5.5.2.4. Estrategia E3

La estrategia de planeamiento E3 consiste proyectar la red de drenaje en base a los incrementos de precipitación previstos en el corto plazo para limitar la incerteza asociada períodos más largos, y contemplar la adecuación o reemplazo parcial o total de la infraestructura cuando los incrementos generados por el cambio climático lo requieren.

En la Figura 5-47 se indica la magnitud de la tormenta de proyecto de la red, donde puede observarse que en cada escenario de cambio climático la misma se adapta a los incrementos hipotéticos de la precipitación previstos en cada horizonte temporal del período de análisis (2013-2103).

Por lo tanto la caracterización de la estrategia E3 implicó el redimensionamiento de todos los elementos de las redes de micro y macrodrenaje para los tres escenarios hipotéticos de cambio climático. Estos diseños fueron designados como E3-1, E3-2 y E3-3.

a- Costos de construcción de la red

Los conductos del sistema de microdrenaje fueron redimensionados para verificar el funcionamiento a gravedad de los colectores ante los caudales máximos generados por el incremento de precipitación previsto en el primer período de análisis de cada escenario de cambio climático.

Es decir, en la estrategia E3-1 se redimensionaron los colectores para conducir a gravedad los caudales resultantes de un incremento 1,03PE durante los primeros 30 años de funcionamiento (2013-2043). En la estrategia E3-2, las obras de microdrenaje se dimensionaron para 1,06PE y en la estrategia E3-3, se consideró un incremento de 1,10PE durante los primeros 30 años de funcionamiento de las obras.

Para el segundo período de análisis (2043-2073) y el período final (2073-2103), estas obras fueron ampliadas en aquellas secciones donde no se verificaban las condiciones de escurrimiento a gravedad.

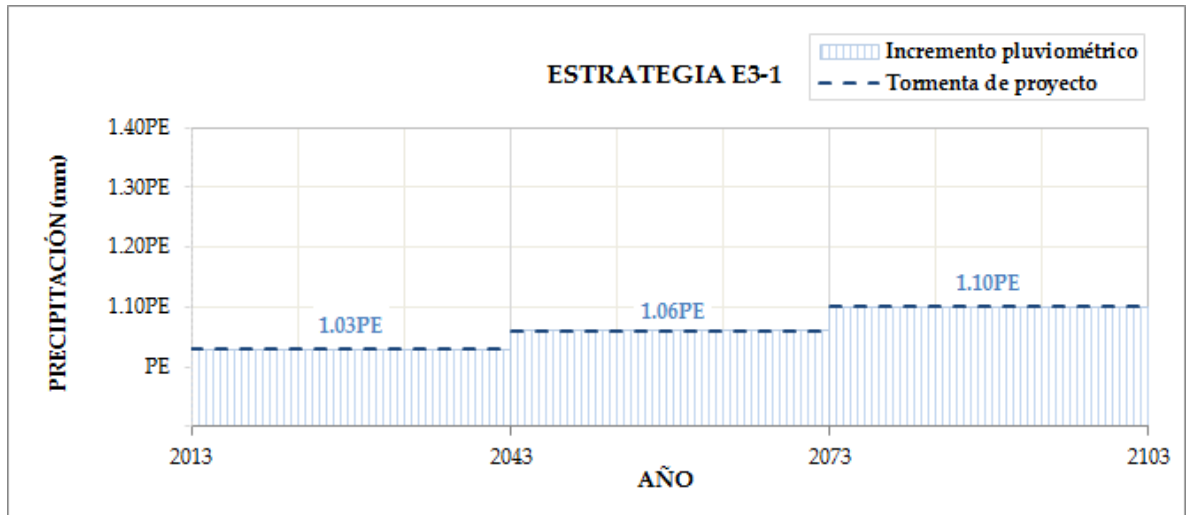
Se consideró el mismo criterio para las obras del sistema de macrodrenaje, que involucraron el aumento de las dimensiones del canal trapezoidal del cauce principal, y de las dimensiones de sus estructuras de descarga.

Para el cómputo y presupuesto de las obras de micro y macrodrenaje correspondientes a los tres escenarios de cambio climático se consideraron los ítems indicados en 3.6.2. Los resultados de la cubicación, precios unitarios y el presupuesto de las obras de microdrenaje se resumen en el Anexo 2.

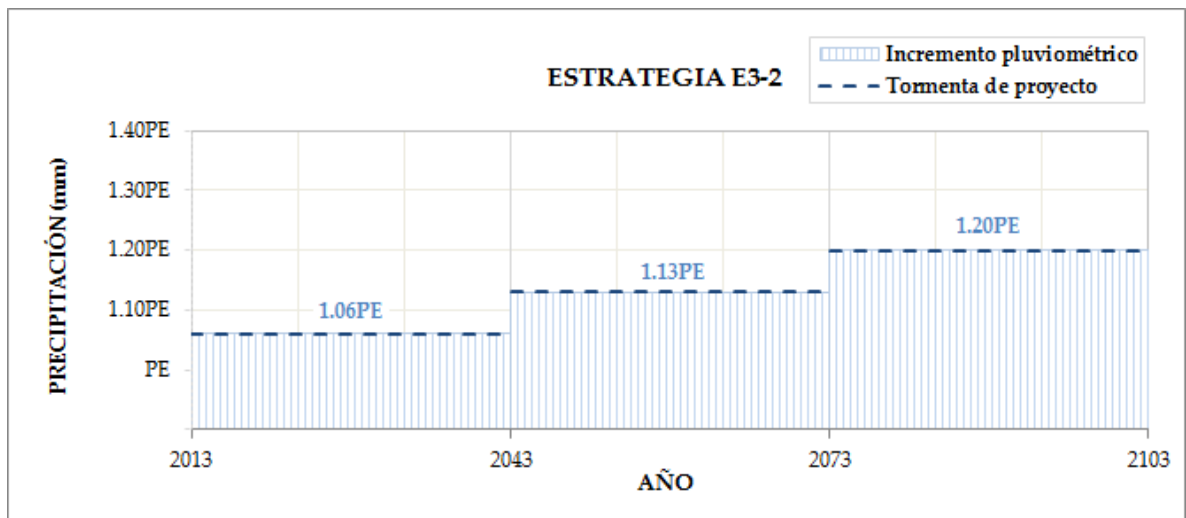
Considerando los incrementos de las dimensiones de todas las estructuras de la red de drenaje, el costo de construcción de las obras en las tres etapas de implementación de la estrategia E3 alcanza los valores indicados en la Tabla 5-8.

Tabla 5-8.- Costos de construcción de la estrategia E3 (\$)

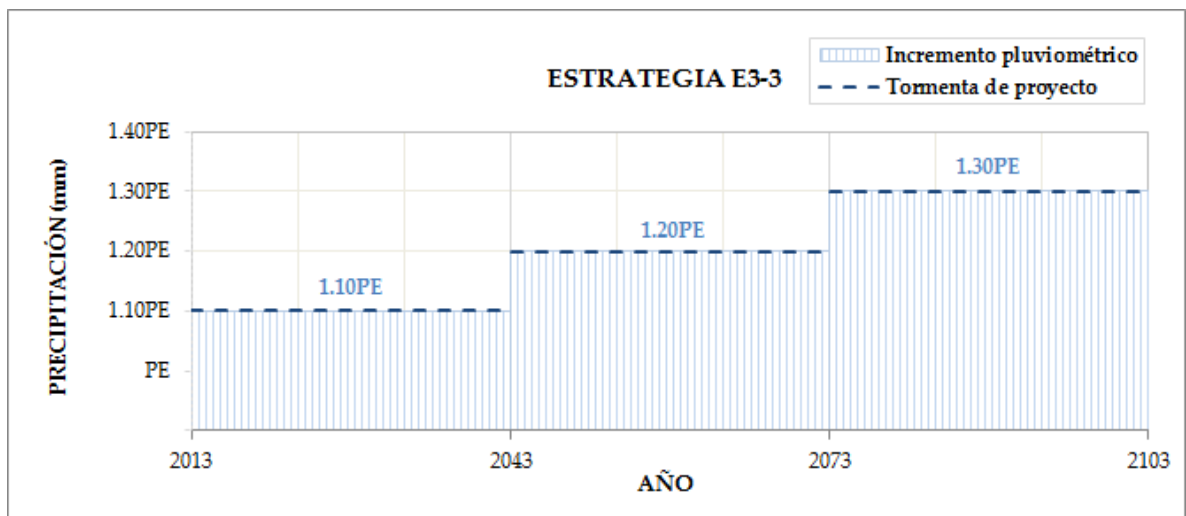
PERÍODO DE ANÁLISIS	ESCENARIO DE CAMBIO CLIMÁTICO		
	1	2	3
(2013-2043)	98.144.955	99.613.044	100.821.674
(2013-2073)	1.464.933	3.430.205	5.016.321
(2013-2103)	843.398	655.762	1.707.264



a.- Escenario de cambio climático 1



b.- Escenario de cambio climático 2



c.- Escenario de cambio climático 3

Figura 5-47.- Estrategia E3: tormentas de proyecto de la red.

b- Cuantificación de los daños

A diferencia de las estrategias E1 y E2, cuyo diseño permanece constante durante todo el horizonte de planeamiento, en el caso de la estrategia E3 cada etapa de renovación parcial de la red implica el redimensionamiento de los colectores, para asegurar el funcionamiento a gravedad en cada escalón de incremento de las precipitaciones.

En este caso, la utilización de diámetros comerciales de los colectores determina una variación no uniforme de la capacidad de la red de drenaje, y de los daños resultantes en cada corte temporal del período de análisis.

La Tabla 5-9 resume el Valor Presente de los daños correspondientes a la implementación de la estrategia E3 en los tres escenarios de cambio climático, cuyos resultados se representan en la Figura 5-48.

En esta figura puede observarse que en el escenario de cambio climático 1 (estrategia E3-1), como consecuencia del incremento de las dimensiones de las obras, el exceso de capacidad de la red genera daños menores a los de la línea de base LE-PE.

Sin embargo, en los escenarios de cambio climático 2 y 3 la implementación de la estrategia E3 genera daños por inundación del mismo orden de magnitud, los cuales se ubican por encima de la línea de base estacionaria.

Tabla 5-9.- Valor Presente de los Daños de la Estrategia E3

PERÍODO	LINEA DE BASE LB-PE	ESTRATEGIA		
		E3-1	E3-2	E3-3
2013-2043	23.482.724	21.203.628	25.748.824	25.165.883
2013-2073	37.030.291	35.680.046	40.225.939	40.795.013
2013-2103	43.151.950	41.483.749	47.232.701	47.360.246

En la Figura 5.49 se presenta la variación de los daños acumulados con respecto a la línea de base:

- En el corto plazo, la implementación de la estrategia E3 implicaría una reducción de los daños de un 17% para el escenario de cambio climático 1 (E3-1), e incrementos del 10% para el escenario de cambio climático 2 (E3-2) y 7% para el escenario de cambio climático 3 (E3-3).
- A mediano plazo (2013-2073) los daños experimentarían una reducción del 4% para (E3-1), e incrementos del 9% para (E3-2) y del 10% para (E3-3).
- La variación de los daños a largo plazo (2013-2103) con respecto a la línea de base se estima en un 4% para (E3-1), 10% para (E3-2) y 10% para (E3-3).

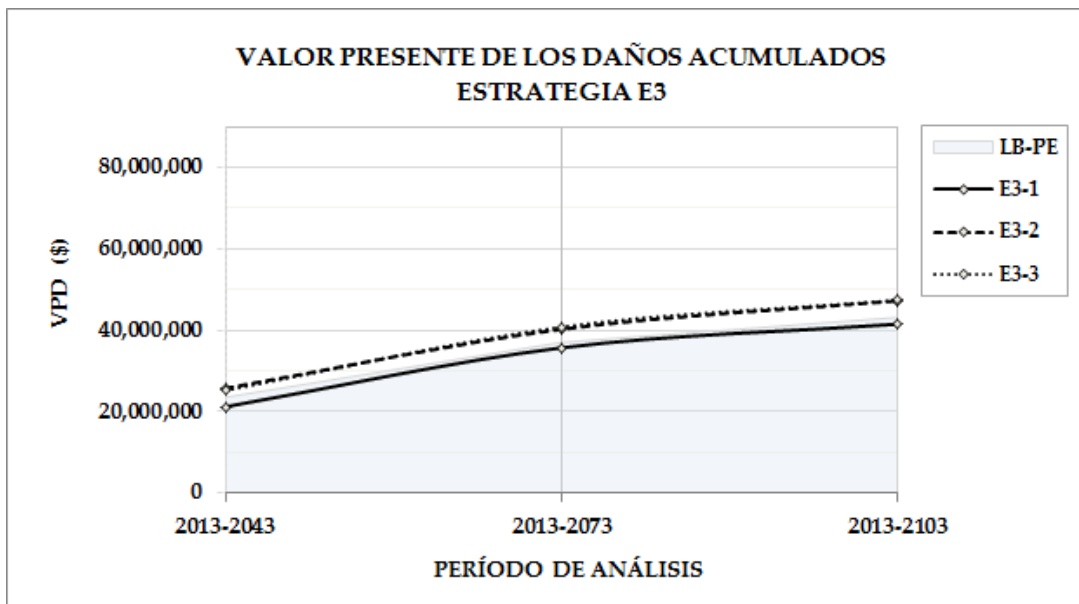


Figura 5-48.- VPD (en \$) de la estrategia E3.

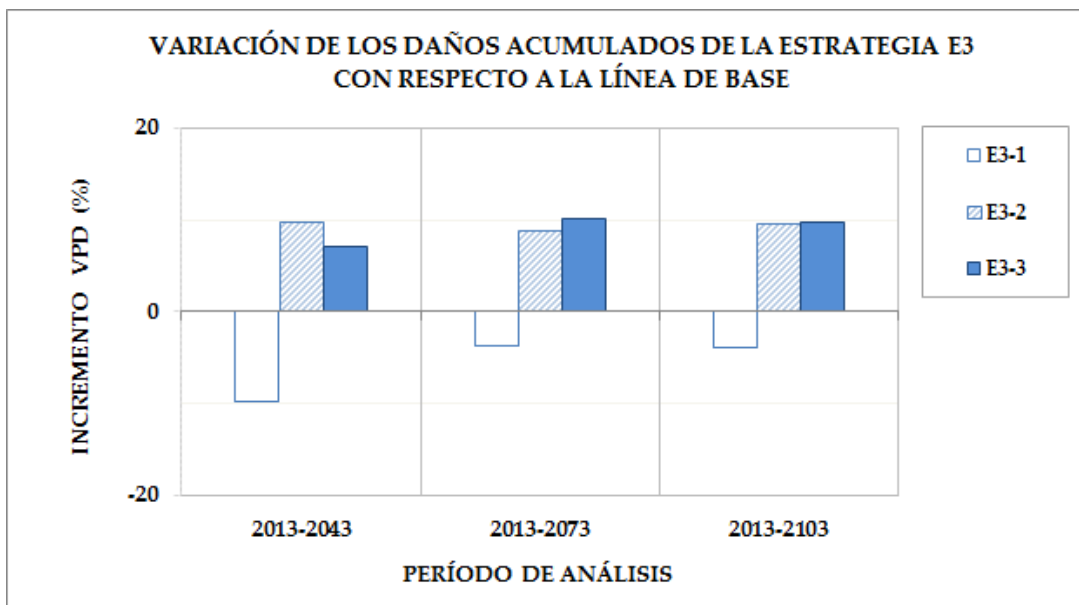


Figura 5-49.- Variación porcentual de VPD E3 con respecto a (LB-PE)

5.5.2.5. Estrategia E4

La estrategia E4 consiste en una alternativa de planeamiento mixta, que combina los siguientes criterios:

- Proyecto de los conductos de microdrenaje para la precipitación PE correspondiente al contexto climático estacionario (criterio de proyecto de la estrategia E1)
- Control del escurrimiento de las superficies impermeables mediante tanques de almacenamiento domiciliarios.
- Redimensionamiento del sistema de macrodrenaje para los incrementos previstos en los tres horizontes temporales de cada escenario de cambio climático (criterio de proyecto de la estrategia E3).

Para regular los incrementos de cada escenario de cambio climático se asumieron tres grados diferentes de control (cobertura espacial de los tanques de almacenamiento).

Esta regulación se obtuvo asumiendo coberturas del 25%, 50% y 75% de viviendas abastecidas con tanques para los escenarios 1,10PE, 1,20PE y 1,30PE respectivamente.

La magnitud de la precipitación adoptada para dimensionar la red de drenaje en cada escenario de cambio climático se indica en la Figura 5-50. Puede observarse que la precipitación de proyecto del sistema de microdrenaje corresponde al escenario de precipitación estacionaria, mientras que el proyecto de las obras de macrodrenaje se adapta a los incrementos hipotéticos previstos en cada corte temporal del período de análisis (2013-2103). Por lo tanto la caracterización de la estrategia E4 implicó el redimensionamiento de los elementos de las redes de macrodrenaje para los tres escenarios hipotéticos de cambio climático. Estos diseños fueron designados como E4-1, E4-2 y E4-3.

a- Grados de cobertura

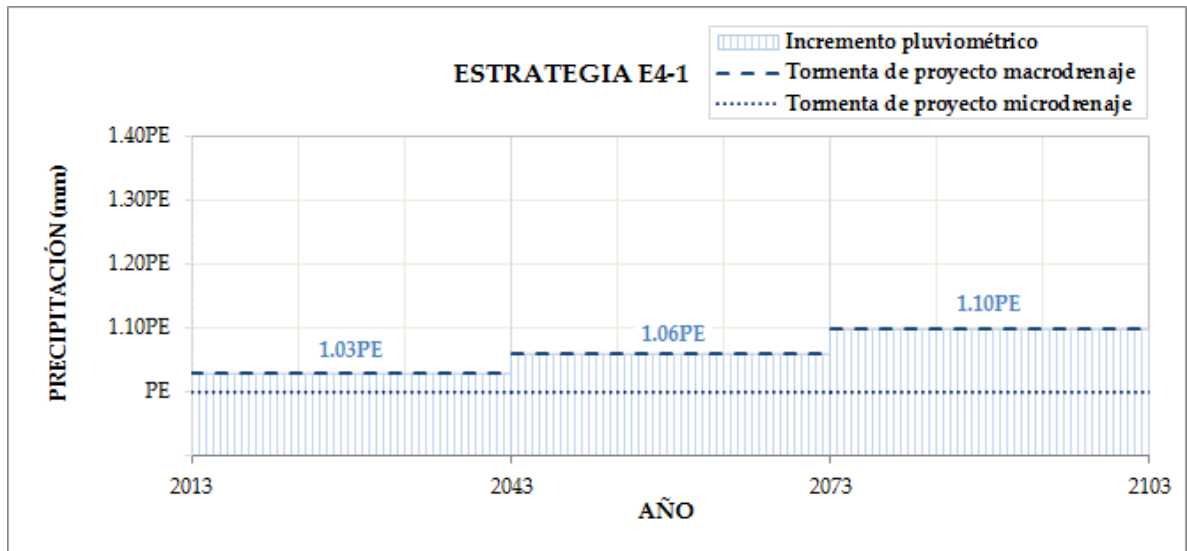
Se asumió que el 50% de las superficies impermeables corresponden a cubiertas de techo, cuyo escurrimiento puede ser regulado mediante tanques de almacenamiento RB. El 50% restante corresponde a calles, veredas, patios impermeables etc. El porcentaje impermeable máximo (50%) equivale a un grado de cobertura del 100% de viviendas tratadas por unidades de almacenamiento domiciliario.

Para definir los grados de cobertura adoptados en cada escenario hipotético de cambio climático, se asumieron los siguientes porcentajes de viviendas provistas con unidades de almacenamiento: 25%, 50% y 75%. Para el evento de diseño del microdrenaje (Tr: 5 años) se analizó la reducción de los tirantes máximos en las calles (Figura 5-52) y el caudal máximo de los tramos del macrodrenaje (Figura 5-51) con respecto a la estrategia E1, que no contempla medidas de control en la fuente.

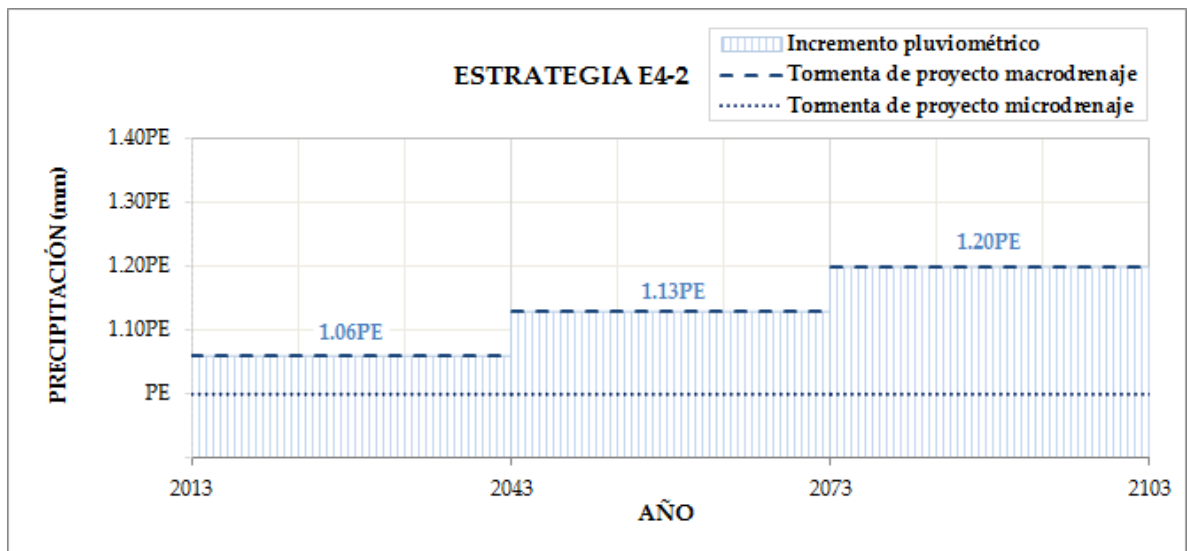
La magnitud de estas variables se representó en función del porcentaje de viviendas abastecidas por tanques para cada escenario de cambio climático. Los valores correspondientes a una cobertura de tanques de 0% representan los máximos incrementos previstos en cada escenario de cambio climático, (identificados como impactos potenciales del cambio climático en 5.4.1.1 y 5.4.1.3 asociados a la implementación de la estrategia E1).

En la Figura 5-51 se presentan los incrementos del caudal máximo del sistema de macrodrenaje (en%):

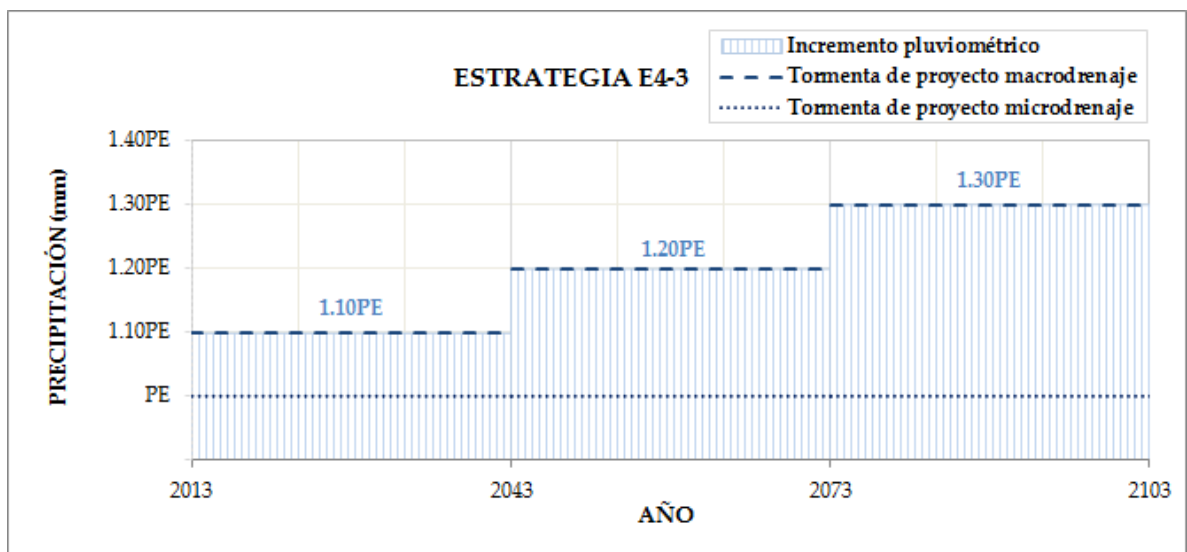
- En el escenario 1,10PE5, para una cobertura de 0% la mediana de los incrementos de caudal es de 16% con respecto al escenario de precipitación estacionaria. Este incremento máximo se reduce a 15%, 13% y 12% para las coberturas 25%, 50% y 75% respectivamente (Figura 5-51 a).
- En el escenario 1,20PE5, la mediana de los incrementos con respecto al escenario estacionario es de 32%, que se reduce a 30%, 28% y 27% para las coberturas 25%, 50% y 75% (Figura 5-51 b).
- En el escenario 1,30PE5, la mediana de los incrementos de caudal es de 48%. Para las coberturas 25%, 50% y 75% esta se reduce a 46%, 43% y 40% respectivamente (Figura 5-51 c).



a.- Escenario de cambio climático 1



b.- Escenario de cambio climático 2



c.- Escenario de cambio climático 3

Figura 5-50.- Estrategia E4: tormentas de proyecto de la red.

Puede observarse que los tanques de almacenamiento domiciliarios no generan reducciones sustanciales del caudal máximo del macrodrenaje, por lo cual su implementación no es determinante en la reducción de daños de las viviendas emplazadas sobre el cauce principal. Como consecuencia, el efecto principal de los tanques es la reducción de daños en las viviendas afectadas del sistema de microdrenaje.

El criterio adoptado para la selección de la cobertura de tanques de cada escenario de cambio climático consiste en evitar el escurrimiento de agua en las calles en el evento de diseño del microdrenaje (Tr: 5 años). Para ello se analizó la reducción del tercer cuartil de la distribución de tirantes (75% de los tirantes en cada escenario de cambio climático):

- En el escenario 1,10PE5, la adopción de una cobertura de tanques del 25% reduce a cero el número de calles activas de la red de microdrenaje (Figura 5-52 a).
- En el escenario 1,20PE5, para una cobertura de tanques del 50%, solo el 25% de las calles permanecen activas (Figura 5-52 b).
- En el escenario 1,30PE5, para una cobertura de tanques del 75%, el 25% de las calles permanecen activas, con tirantes comprendidos entre 3 y 38 cm. (Figura 5-52 c).

Por lo tanto, para la implementación de la estrategia E4 se adoptaron las siguientes coberturas:

- Estrategia E4-1 (1,10PE): 25% que equivale a 5666 unidades de almacenamiento (9,8 m³/Ha) uniformemente distribuidas en toda la cuenca.
- Estrategia E4-2 (1,20PE): 50% que equivale 11261 viviendas (19,5 m³/Ha).
- Estrategia E4-3 (1,30PE): 75%, equivalente a 16899 viviendas (29,2 m³/Ha).

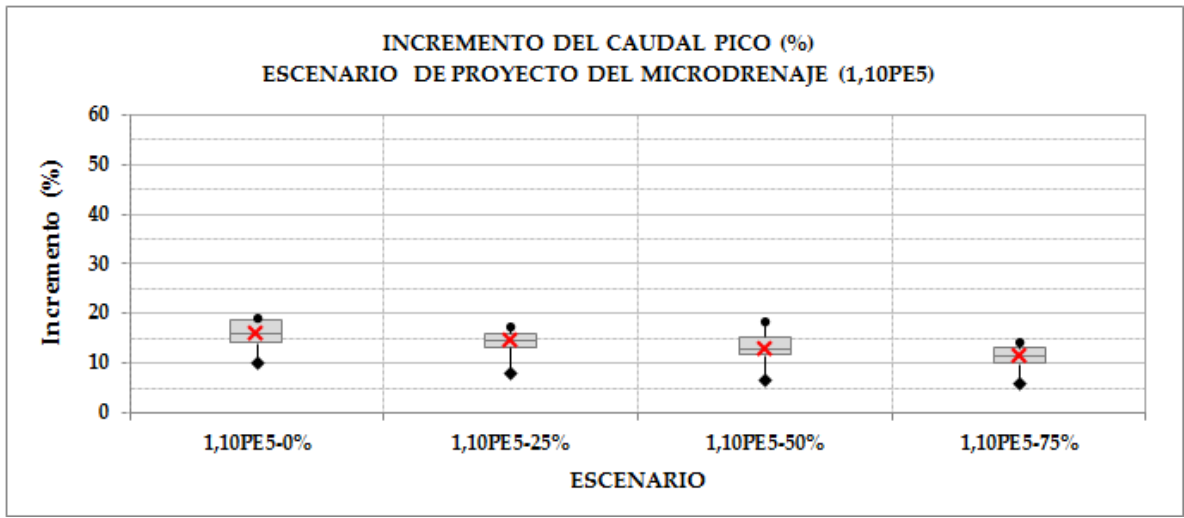
b- Control en la fuente de la escorrentía de las microcuencas

La implementación de tanques de almacenamiento domiciliarios reduce el escurrimiento superficial de las microcuencas que aportan a la red de drenaje a través de dos procesos básicos: control del caudal de salida de los tanques y atenuación por tránsito a través de la fracción permeable de las microcuencas.

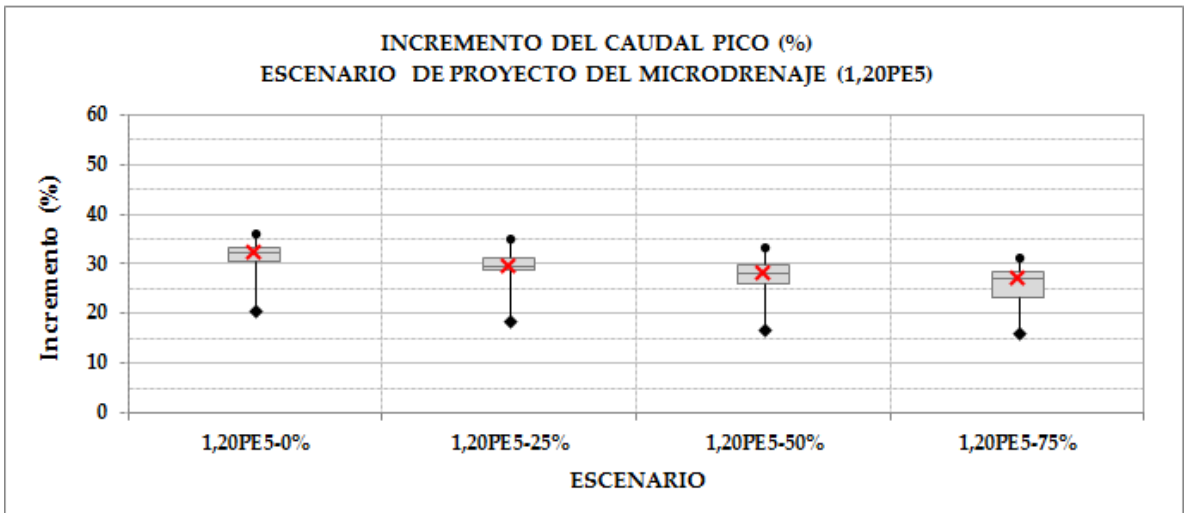
En la Figura 5-53 se indica el nivel de agua alcanzado en los tanques de almacenamiento para el evento de diseño del microdrenaje (Tr: 5 años) en cada uno de los escalones de los tres escenarios de cambio climático:

Cuando el nivel de agua en los tanques alcanza el nivel máximo $h=1m$, la capacidad de almacenamiento es superada, transfiriendo los excesos a la fracción permeable de las microcuencas. La cantidad de microcuencas que funcionan a máxima capacidad se definió como porcentaje del total de microcuencas intervenidas, de acuerdo a Ecuación (5-9).

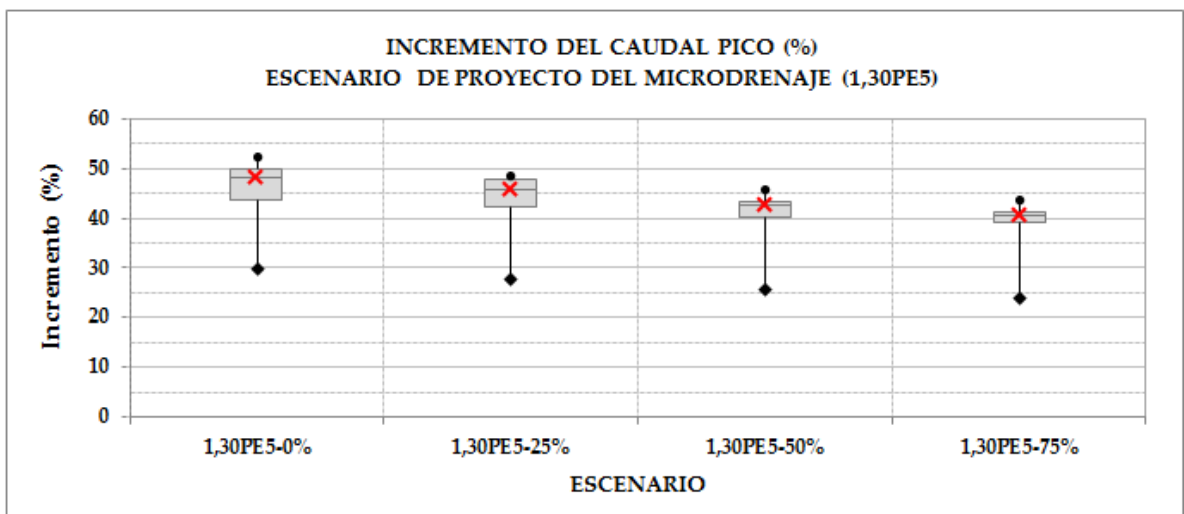
$$N(\%) = 100 \frac{RB \text{ máx}}{RB t} \quad (5-9)$$



a.- 1,10PE5

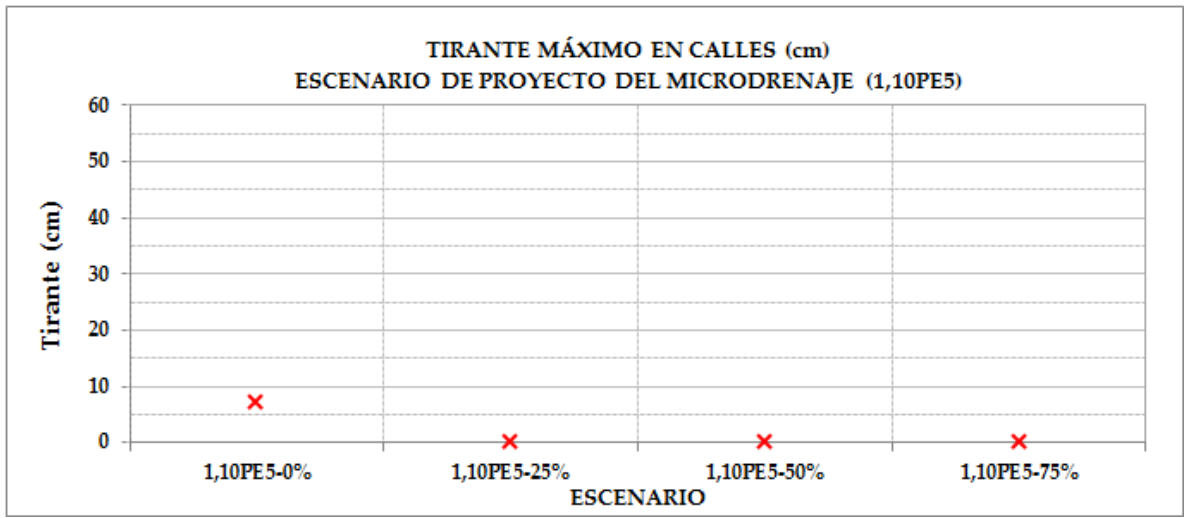


b.- 1,20PE5

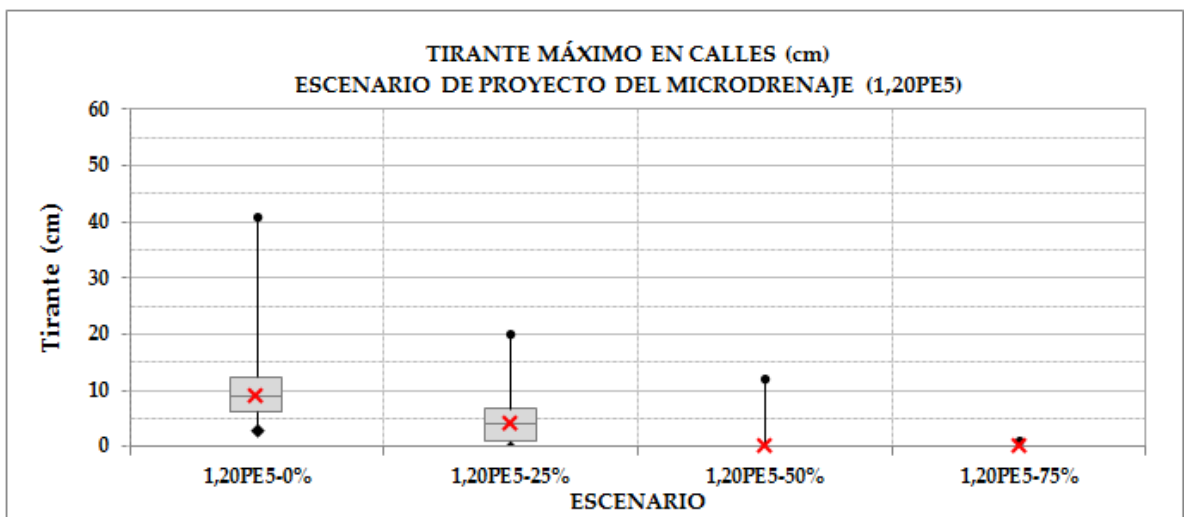


c.- 1,30PE5

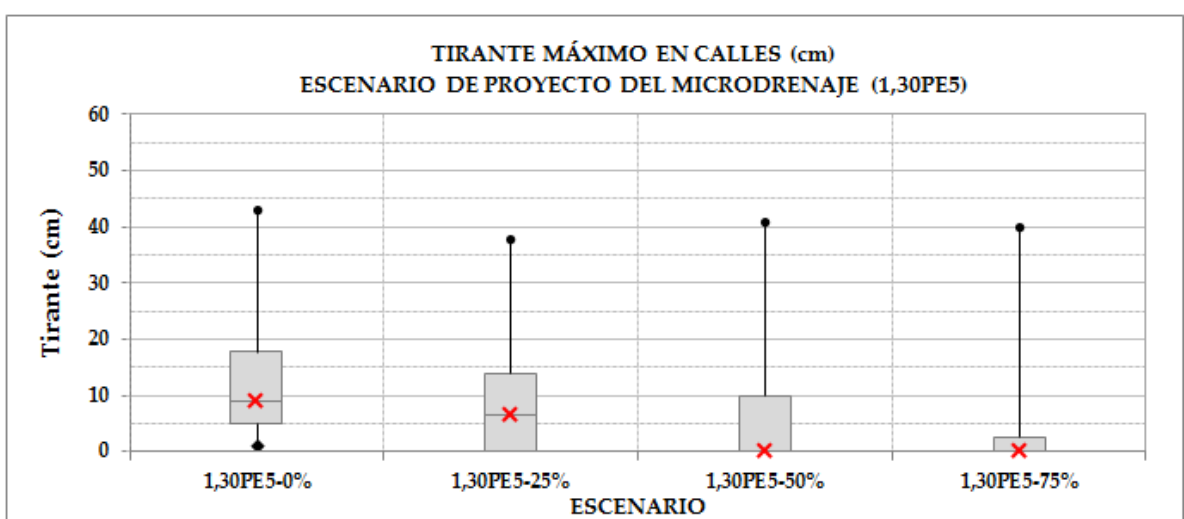
Figura 5-51.- Cobertura de RB: incremento caudal máximo macrodrenaje (%)



a.- 1,10PE5



b.- 1,20PE5



c.- 1,30PE5

Figura 5-52- Cobertura de RB: tirantes máximos en calles (cm)

Siendo:

N(%): porcentaje de microcuencas con tanques a máxima capacidad.

RBmáx: número de microcuencas con tanques a máxima capacidad.

RBt: total de microcuencas intervenidas (RBt=128).

En el caso de la estrategia E4-1 (incremento máximo de 1,10PE al final del período de análisis 2013-2103), con una cobertura de tanques del 25% el nivel de agua en los tanques permanece por debajo de la capacidad máxima en todos los cortes temporales (Figura 5-53 a).

Para la estrategia E4-2 (incremento máximo de 1,20PE al final del período de análisis) con una cobertura de tanques del 50%, la capacidad de almacenamiento es superada en el 1% de las microcuencas para el primer escalón de precipitación (1,06PE5), 2% para 1,13PE5 y 9% para 1,20PE5 (Figura 5-53 b).

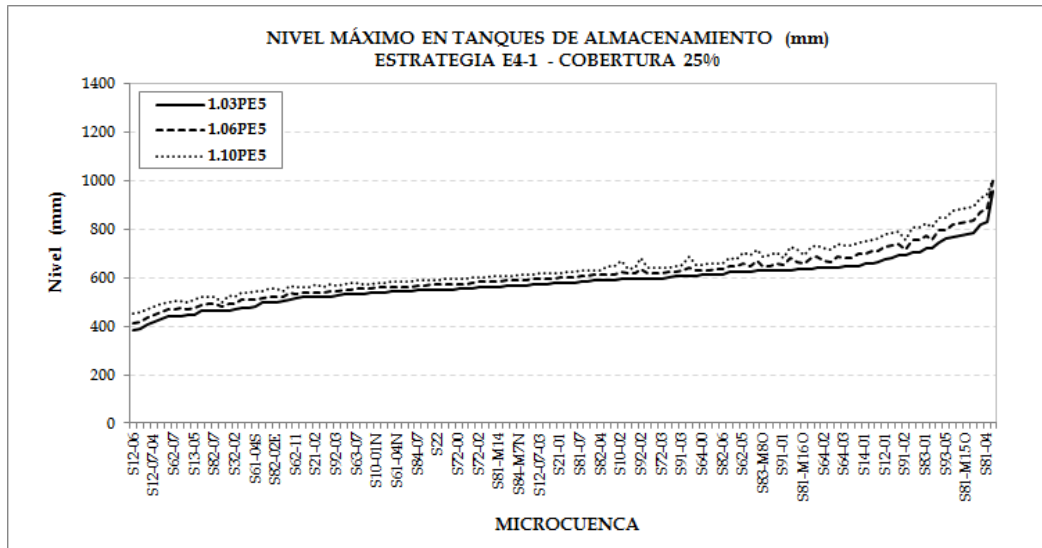
Para la estrategia E4-3 (cobertura de tanques del 75%), la capacidad máxima de los RB es superada en el 1% de las microcuencas para 1,10PE5, 11% para 1,20PE5 y 53% para 1,30PE5 (Figura 5-53 c).

El traslado de estos excesos a través de las áreas permeables, de mayor rugosidad superficial, reduce la magnitud del caudal pico a la salida de todas las microcuencas del sistema. Esta atenuación es variable en función de la cobertura espacial de tanques adoptada en cada escenario de cambio climático.

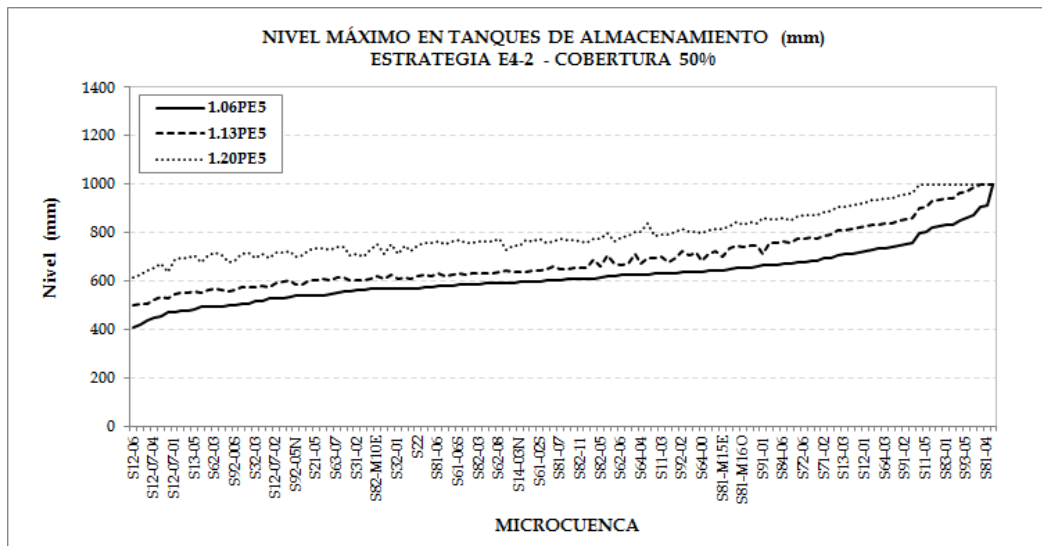
Las reducciones del caudal pico a la salida de las microcuencas, con respecto a los diseños que no cuentan con medidas de control en la fuente (estrategias E1, E2 y E3) se resumen en la Figura 5-54 para cada corte temporal de los tres escenarios hipotéticos.

Puede observarse que para el escenario de cambio climático 1 (E4-1), el caudal pico de las microcuencas intervenidas disminuye entre 0 y 9% en relación al caudal de salida de la misma microcuenca no intervenida (estrategias E1, E2 y E3). Para el escenario de cambio climático 2 (E4-2), el caudal pico a la salida de las microcuencas se reduce entre 6% y 17%, mientras que para el escenario de cambio climático 3 (E4-3) esta reducción varía entre 10% y 23%.

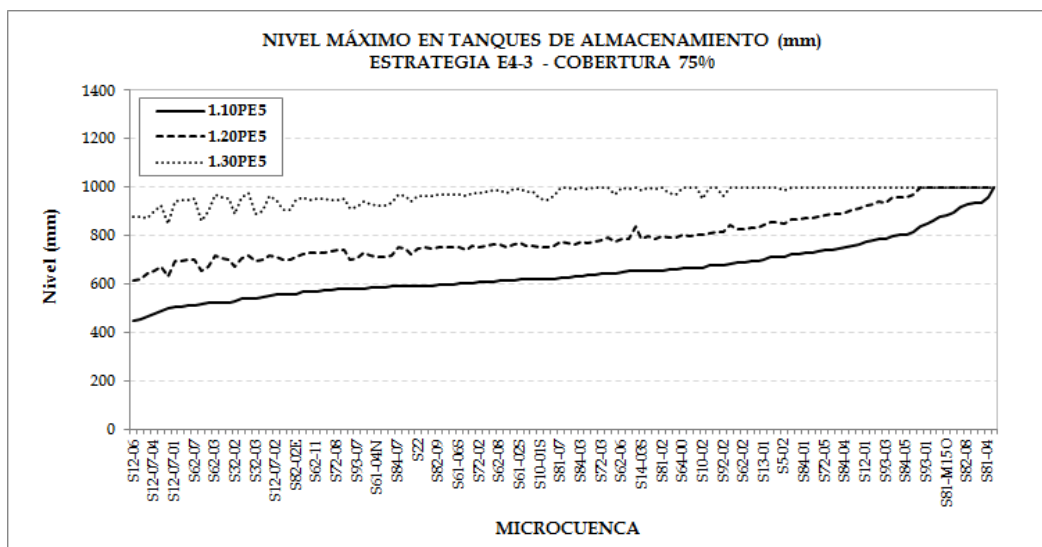
Como consecuencia, disminuyen los niveles de agua en los conductos en el evento de diseño del microdrenaje y los tirantes de agua en las calles para los eventos de diseño y verificación del macrodrenaje, reduciendo la magnitud de los daños a las edificaciones sin alterar las dimensiones de la red de drenaje.



a.- Estrategia E4-1: escenario de cambio climático 1,10PE

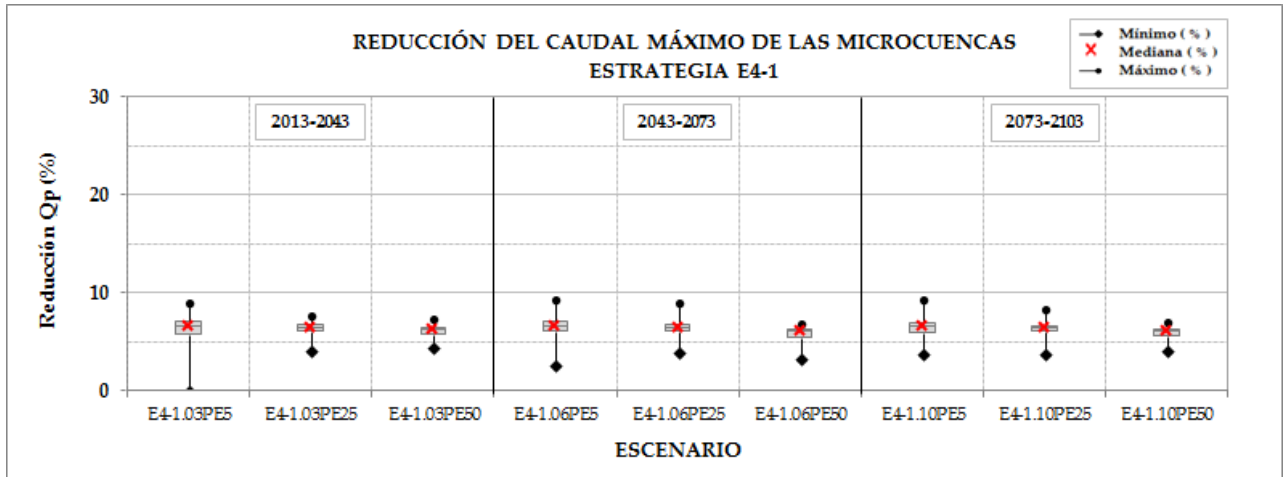


b.- Estrategia E4-2: escenario de cambio climático 1,20PE

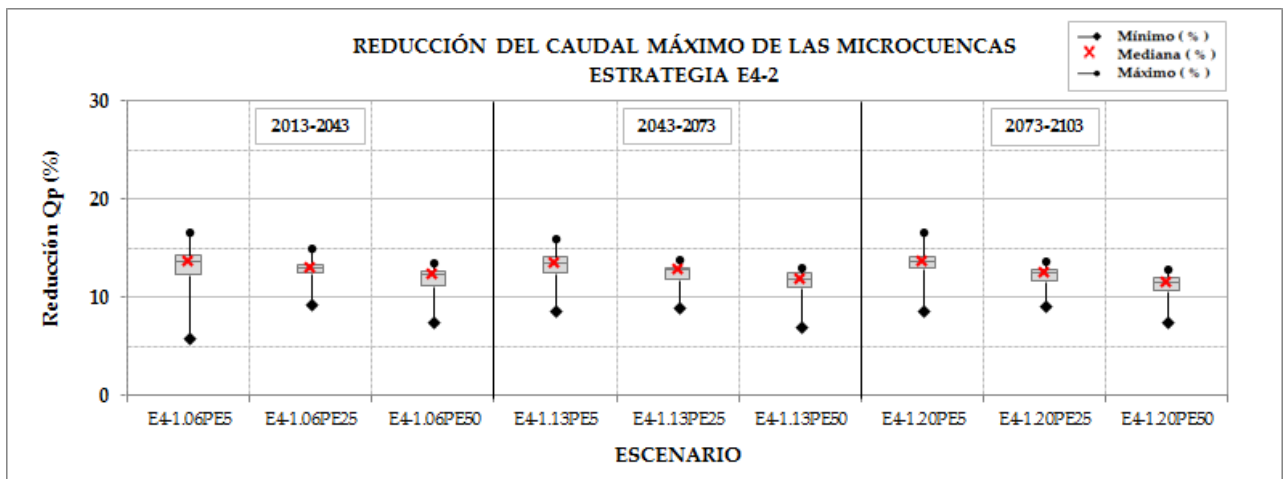


c.- Estrategia E4-3: escenario de cambio climático 1,30PE

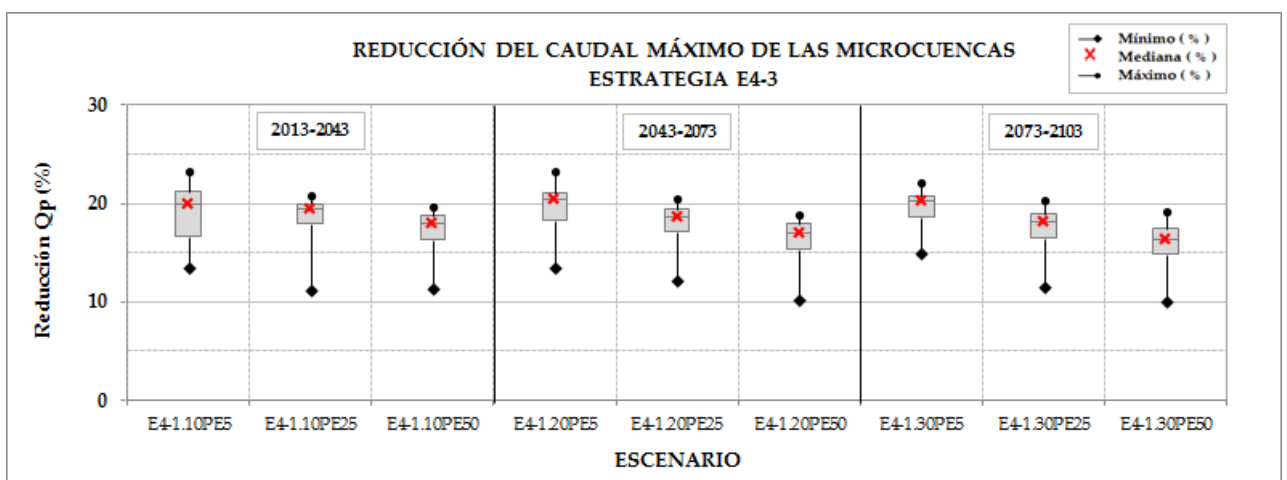
Figura 5-53.- Nivel de agua en los tanques de almacenamiento



a.- E4-1: incremento máximo 1,10PE



b.- E4-2: incremento máximo 1,20PE



c.- E4-3: incremento máximo 1,30PE

Figura 5-54.- Reducción del caudal máximo de las microcuencas - Estrategia E4

c- Costos de construcción de la red

El costo de construcción de la red de microdrenaje asciende a \$75.829.670, de acuerdo al presupuesto de la estrategia E1 indicado en 5.5.2.2. Los resultados de la cubicación, los precios unitarios y el presupuesto de las obras de microdrenaje se resumen en el Anexo 2.

Los costos de implementación de los tanques domiciliarios en cada escenario de cambio climático se adoptaron a partir del costo unitario total de instalación de los dispositivos de almacenamiento, que de acuerdo a datos reportados por el Centro Regional Litoral, INA-CRL, (Secchi, 2015), asciende a \$2000 por unidad (valores correspondientes al año 2013).

Incluyendo el monto total de instalación de los tanques domiciliarios, el costo del sistema de microdrenaje asciende a los siguientes valores:

Estrategia E4-1: \$87.161.670

Estrategia E4-2: \$98.351.670

Estrategia E4-3: \$109.627.670

Para el dimensionamiento de las obras del sistema de macrodrenaje se consideró el aumento de las dimensiones del canal trapezoidal del curso principal, para evitar desbordes frecuentes (Tr: 5 años) en los tres escenarios de cambio climático.

Debido a que las limitaciones de espacio físico impiden aumentar las dimensiones de los reservorios, se incrementaron las dimensiones de sus estructuras de descarga, (orificios, vertederos de operación y vertederos de emergencia), de acuerdo a los criterios indicados en 5.5.2.3 a.

En la estrategia E4-1 se redimensionaron el cauce principal y obras de descarga para los caudales resultantes de un incremento 1,03PE durante los primeros 30 años de funcionamiento (2013-2043). En la estrategia E4-2, las obras de macrodrenaje se dimensionaron para 1,06PE y en la estrategia E4-3, se consideró un incremento de 1,10PE durante los primeros 30 años de funcionamiento.

De acuerdo al mismo criterio, se incrementaron las dimensiones de las secciones donde se producían desbordes para el segundo período de análisis (2043-2073) y el período final (2073-2103).

Los resultados de la cubicación, precios unitarios y el presupuesto de las obras de microdrenaje se resumen en el Anexo 2.

Considerando los incrementos de las dimensiones de todas las estructuras de la red de drenaje, el valor del costo de construcción de las obras en las tres etapas de implementación de la estrategia E4 alcanza los valores indicados en la Tabla 5-10.

Tabla 5-10.- Costos de construcción de la estrategia E4 (\$)

Escenario de cambio climático	Horizonte	Incremento Precipitación	Microdrenaje (\$)	Macro drenaje (\$)	Total actualizado 2013 (\$)
E4-1	(2013-2043)	1,03PE	\$87.161.670	\$20.992.665	\$108.154.335
	(2043-2073)	1,06PE		\$794.358	\$244.915
	(2073-2103)	1,10PE		\$853.617	\$81.145
E4-2	(2013-2043)	1,06PE	\$98.351.670	\$21.109.306	\$119.460.976
	(2043-2073)	1,13PE		\$1.219.876	\$376.111
	(2073-2103)	1,20PE		\$1.307.019	\$124.246
E4-3	(2013-2043)	1,10PE	\$109.627.670	\$21.132.239	\$130.759.909
	(2043-2073)	1,20PE		\$1.573.298	\$485.077
	(2073-2103)	1,30PE		\$1.402.951	\$133.365

d- Cuantificación de los daños

Como ha sido mencionado, la implementación de E4 se asocia a reducciones del caudal pico a la salida de las microcuencas, con respecto a los diseños que no cuentan con medidas de control en la fuente (estrategias E1, E2 y E3) para cada corte temporal de los tres escenarios de cambio climático. Esta reducción se debe fundamentalmente a atenuación del caudal pico por traslado sobre las fracciones permeables.

El Valor Presente de los daños correspondientes a la implementación de la estrategia E4 en los tres escenarios de cambio climático se resume en la Tabla 5-11, cuyos resultados se representan en la Figura 5-55, donde puede observarse que los daños se ubican por encima de la línea de base estacionaria en los tres escenarios de cambio climático.

La variación porcentual de los daños acumulados con respecto a la línea de base se representa en la Figura 5-56:

- En el corto plazo, el incremento de los daños es del orden del 2% con respecto a la línea de base en los tres escenarios de cambio climático.
- A mediano plazo (2013-2073) los daños se incrementarían entre un 4% para (E4-1), 9% para (E4-2) y 16% para (E4-3).
- La variación de los daños a largo plazo (2013-2103) con respecto a la línea de base se estima en un 7% para (E4-1), 17% para (E4-2) y 29% para (E4-3).

Tabla 5-11.- Valor Presente de los Daños de la Estrategia E4

PERÍODO	LINEA DE BASE LB-PE	ESTRATEGIA		
		E4-1	E4-2	E4-3
2013-2043	23.482.724	23.845.801	23.810.665	23.966.431
2013-2073	37.030.291	38.499.247	40.304.035	42.892.046
2013-2103	43.151.950	46.151.451	50.434.943	55.573.778

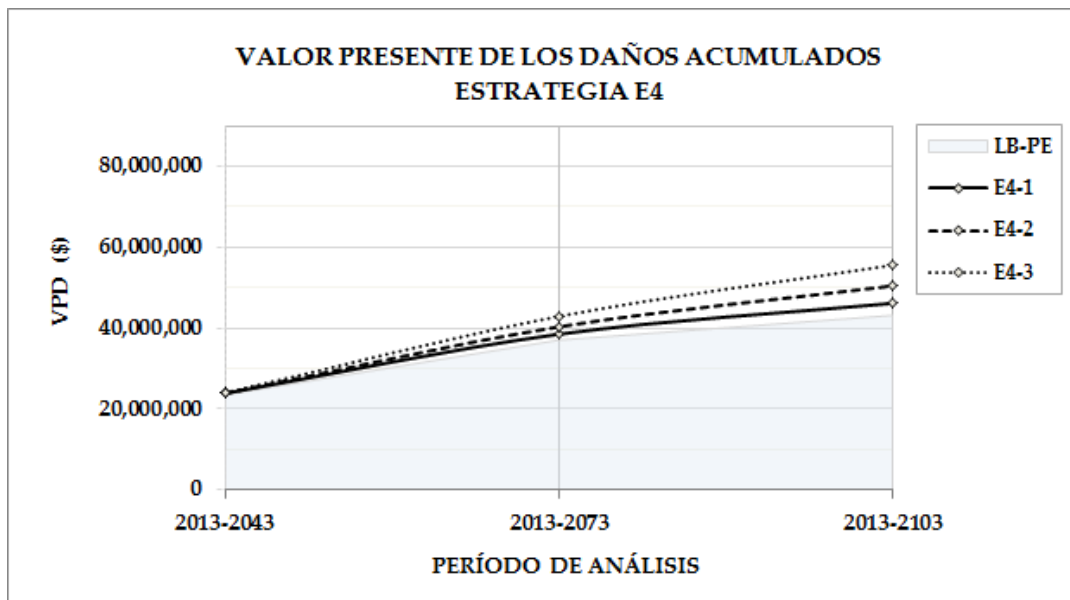


Figura 5-55.- VPD (en \$) de la estrategia E4.

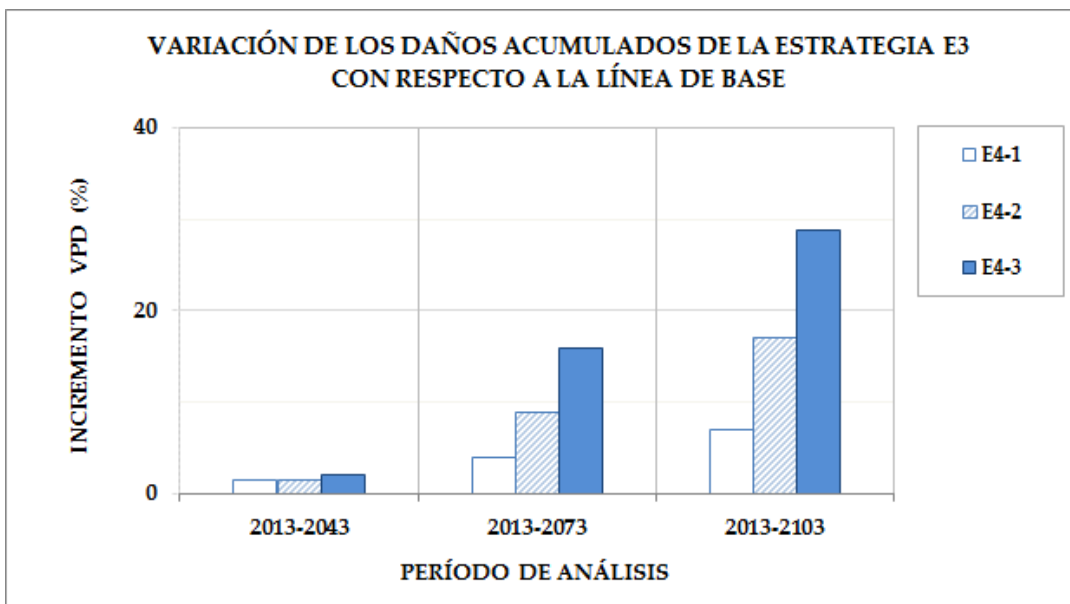


Figura 5-56.- Variación porcentual de VPD E4 con respecto a (LB-PE).

5.5.3. Resultados de la evaluación económica

Los costos de construcción y las estimaciones de los daños directos atribuibles a pérdidas por inundación presentados en el ítem 5.5.2 se utilizaron para cuantificar el impacto económico de las estrategias de planeamiento. Para ello, se adoptaron dos indicadores: la relación costo-beneficio B/C y el valor presente neto (VPN en \$).

La relación costo beneficio B/C se definió como un indicador del impacto económico de cada estrategia con respecto a la estrategia de no acción E1. Es decir, representa los costos y beneficios relativos de E2, E3 y E4 con respecto a E1.

Los beneficios se cuantificaron como los daños evitados por implementación de cada estrategia, y en cada caso su valor se cuantificó a través de la diferencia entre el valor

presente de los daños de cada estrategia (VPD) y el correspondiente a la estrategia de no acción.

Del mismo modo, los costos de implementación se calcularon a partir de la diferencia entre el costo de construcción de cada estrategia y el de la alternativa de no acción E1.

5.5.3.1. Valor presente de los daños de las estrategias

En la Figura 5-57 se compara el valor presente de los daños de las estrategias en los tres escenarios de cambio climático:

La Figura 5-57a corresponde al escenario de cambio climático 1 y compara los daños generados por la implementación de cada estrategia: E1-1, E2-1, E3-1 y E4-1.

La Figura 5-57b representa los daños generados por E1-2, E2-2, E3-2 y E4-2 en el escenario de cambio climático 2.

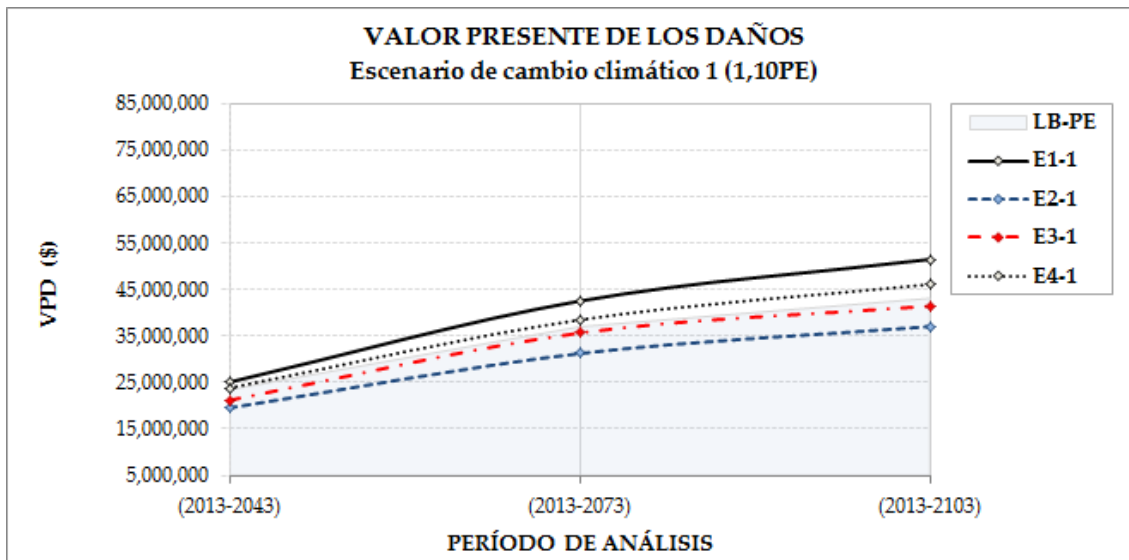
Los daños correspondientes al escenario de cambio climático 3 (estrategias E1-3, E2-3, E3-3 y E4-3) se representan en la Figura 5-57c.

En esta figura puede apreciarse que el máximo incremento de los daños generados por el cambio climático corresponde a la estrategia de no acción E1. Las dimensiones de la red, proyectadas para la tormenta de proyecto estacionaria, permanecen constantes durante todo el horizonte de planeamiento. Debido a que en teoría esta estrategia no tiene flexibilidad para adaptarse a incrementos de las precipitaciones, la magnitud del daño se incrementa en relación directa con el aumento de las precipitaciones en cada escenario de cambio climático.

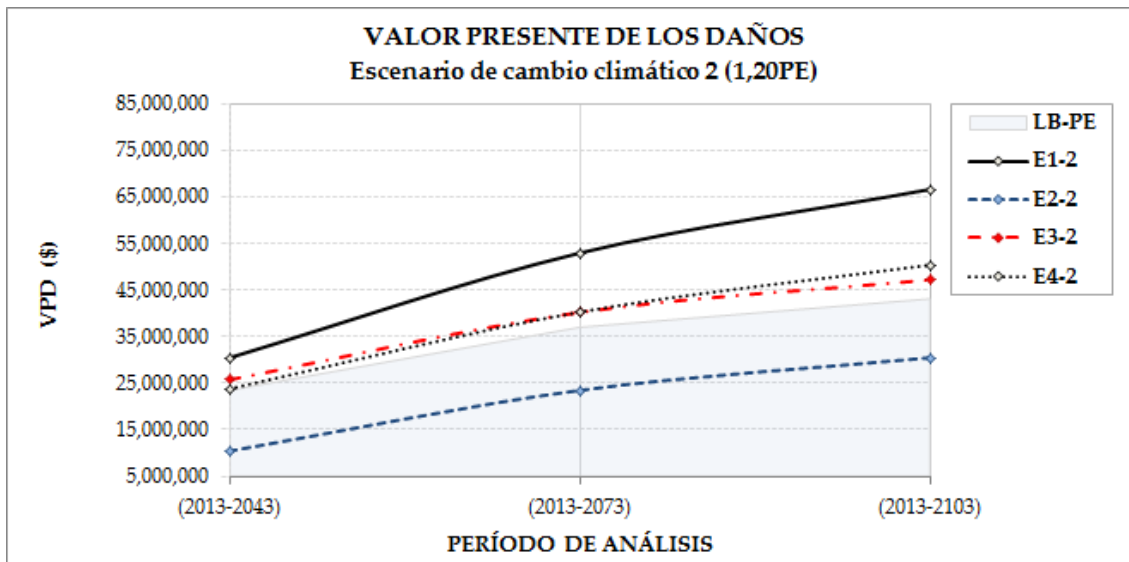
Puede observarse que la implementación de las restantes estrategias reduce el impacto del cambio climático con respecto a la estrategia de no acción E1:

La máxima reducción de daños corresponde a la estrategia E2, para la cual las pérdidas estimadas son inferiores en todos los escenarios a las correspondientes a la línea de base estacionaria. Las dimensiones de las obras de drenaje correspondientes a la estrategia E2 se proyectan para el fin del período de análisis en cada escenario de cambio climático, por lo cual se reducen los tirantes en el sistema de traslado superficial y curso de macrodrenaje. Como consecuencia, el valor esperado de los daños disminuye en cada período de análisis con respecto a la estrategia E1.

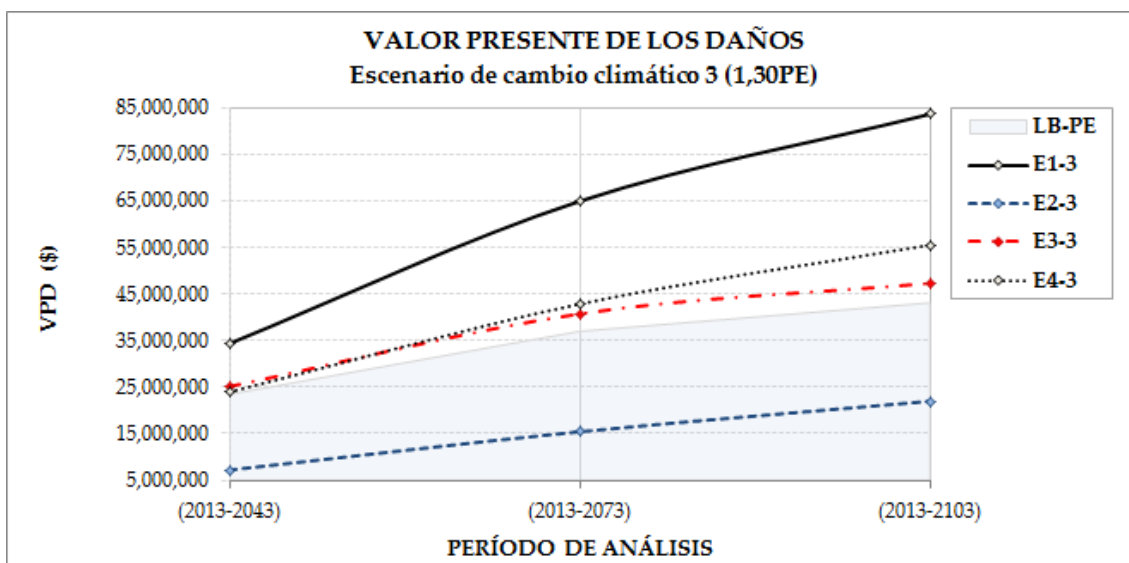
La implementación de la estrategia E3 también determina una reducción de los daños en todos los horizontes temporales con respecto a la estrategia E1. Esta reducción es de menor magnitud que la correspondiente a la estrategia E2.



a.- Escenario de cambio climático 1



b.- Escenario de cambio climático 2



c.- Escenario de cambio climático 3

Figura 5-57.- Comparación del valor presente de los daños (VPD en \$) de las estrategias

En el caso de la estrategia E3, los diámetros comerciales de los conductos circulares y las dimensiones de los conductos rectangulares se redimensionaron en cada horizonte temporal para asegurar el escurrimiento a superficie libre en la recurrencia de proyecto del microdrenaje. Del mismo modo, el canal principal se redimensionó en cada período para evitar desbordes frecuentes para la misma recurrencia.

El incremento de las dimensiones de las obras de descarga en los tres escenarios de cambio climático se proyectó para evitar el desborde de los reservorios, y para asegurar el funcionamiento de cada estructura en la recurrencia de operación prevista.

Como consecuencia, la respuesta del sistema (magnitud del tirante y daño asociado) no varía linealmente con el incremento del escenario de cambio climático. La reducción de los daños se encuentra influenciada por la capacidad ociosa de los conductos, y por las propiedades geométricas e hidráulicas de la calle tipo, secciones del cauce principal y almacenamiento de los reservorios.

La adaptación gradual de la red (Estrategia E3) presenta una mayor reducción de daños que E4 en escenarios de cambio climático leve (1,10PE).

Para escenarios de cambio climático moderado (1,20PE) y alto (1,30PE), la estrategia E3 genera una mayor reducción de daños a mediano y largo plazo (2013-2043 y 2013-2103), mientras que en el corto plazo la implementación de tanques domiciliarios (Estrategia E4) presenta un mejor desempeño que E3.

En la Tabla 5-12 se resumen los daños correspondientes a las estrategias para cada horizonte temporal de los tres escenarios de cambio climático, donde pueden identificarse las siguientes diferencias porcentuales con respecto a la línea de base de las pérdidas acumuladas en el horizonte de planeamiento 2013-2103:

Escenario de cambio climático 1 (Tabla 5-12 a): los daños por inundación de la estrategia E1 se incrementan un 19% con respecto a la línea de base al final del horizonte de planeamiento. Para la estrategia E2, la reducción de los daños acumulados es del 14%, y del 4% para E3. La implementación de E4 determina un incremento de las pérdidas acumuladas del 7%.

Escenario de cambio climático 2 (Tabla 5-12 b): los daños acumulados de la estrategia E1 durante 2013-2103 se incrementan un 55% con respecto a la línea de base. La estrategia E2 reduce los daños acumulados un 29%, y E3 un 9%. Para la estrategia E4 las pérdidas acumuladas se incrementan en un 17%.

Escenario de cambio climático 3 (Tabla 5-12 c): la estrategia de no acción E1 incrementa un 94% las pérdidas acumuladas en el horizonte de planeamiento con respecto a la línea de base. La reducción de los daños acumulados de la estrategia E2 es del 49%, y del 10% para E3. La estrategia E4 genera un incremento de daños acumulados del 29%.

Tabla 5-12.- Comparación del Valor Presente de los daños de las estrategias

a.- Escenario de cambio climático 1

HORIZONTE	LÍNEA DE BASE	VPD (\$)			
	LB-PE	E1-1	E2-1	E3-1	E4-1
(2013-2043)	23,482,724	25.106.058	19.554.121	21.203.628	23.845.801
(2013-2073)	37,030,291	42.563.685	31.266.894	35.680.046	38.499.247
(2013-2103)	43,151,950	51.546.523	37.070.597	41.483.749	46.151.451

b.- Escenario de cambio climático 2

HORIZONTE	LÍNEA DE BASE	VPD (\$)			
	LB-PE	E1-2	E2-2	E3-2	E4-2
(2013-2043)	23,482,724	30.470.272	10.414.557	25.748.824	23.810.665
(2013-2073)	37,030,291	53.004.143	23.477.078	40.225.939	40.304.035
(2013-2103)	43,151,950	66.683.813	30.483.839	47.232.701	50.434.943

c.- Escenario de cambio climático 3

HORIZONTE	LÍNEA DE BASE	VPD (\$)			
	LB-PE	E1-3	E2-3	E3-3	E4-3
(2013-2043)	23,482,724	34.400.399	7.204.446	25.165.883	23.966.431
(2013-2073)	37,030,291	64.999.153	15.441.092	40.795.013	42.892.046
(2013-2103)	43,151,950	83.715.318	22.006.324	47.360.246	55.573.778

5.5.3.2. Beneficios económicos de las estrategias

Los beneficios económicos de las estrategias de planeamiento E2, E3 y E4 se cuantificaron para cada horizonte temporal de los tres escenarios de cambio climático como la diferencia entre el valor presente de los daños acumulados (VPD en \$) de la estrategia E1 y el VPD de cada estrategia.

El resumen de los beneficios económicos de la implementación de las estrategias se indica en la Tabla 5-13, cuyos valores se representan en la Figura 5-58.

En las mismas puede observarse que los mayores beneficios económicos corresponden a la implementación de la estrategia de planeamiento E2.

Para escenarios de cambio climático leve (1,10PE) la estrategia E3 genera mayores beneficios que la estrategia E4.

La implementación de E3 y E4 presenta beneficios del mismo orden de magnitud en el caso de escenarios de cambio climático moderado (1,20PE) y elevado (1,30PE) tanto a corto como a mediano plazo. Sin embargo a largo plazo la estrategia E3 presenta mayores beneficios económicos que E4.

Tabla 5-13.- Beneficios estimados de las estrategias.

a.- Escenario de cambio climático 1

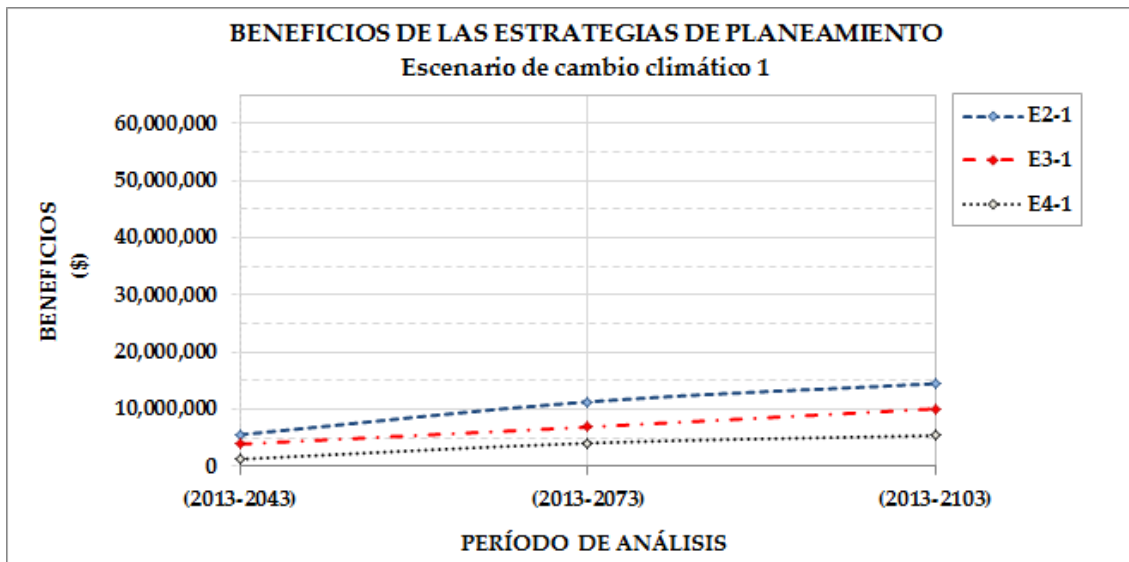
HORIZONTE	VPD (\$)				BENEFICIOS (\$)		
	E1-1	E2-1	E3-1	E4-1	E2-1	E3-1	E4-1
(2013-2043)	25.106.058	19.554.121	21.203,628	23.845.801	5.551.936	3.902.430	1.260.257
(2013-2073)	42.563.685	31.266.894	35.680.046	38.499.247	11.296.791	6.883.639	4.064.438
(2013-2103)	51.546.523	37.070.597	41.483.749	46.151.451	14.475.926	10.062.774	5.395.072

b.- Escenario de cambio climático 2

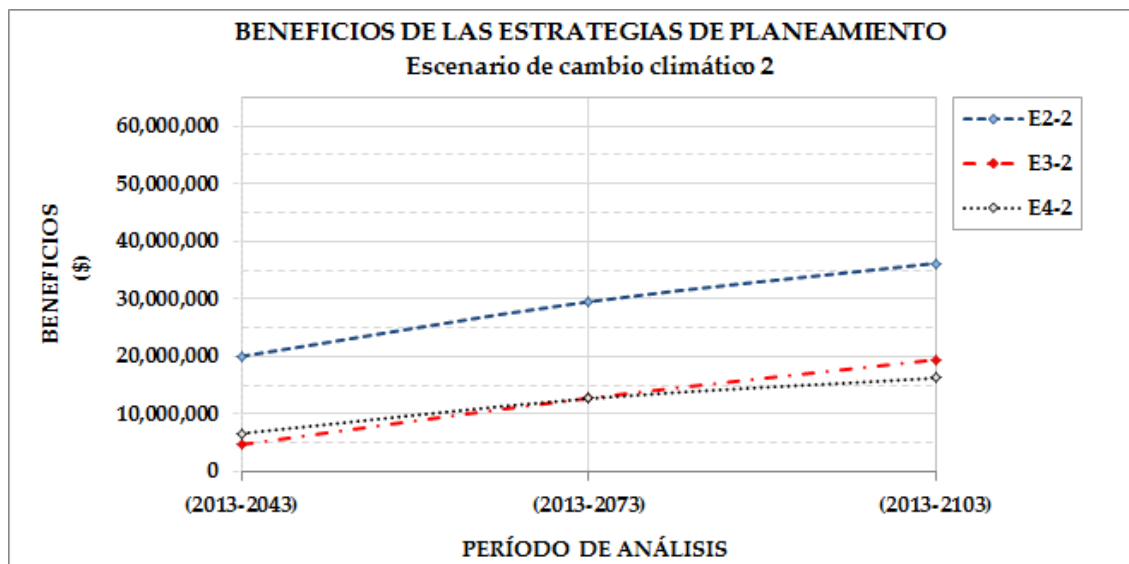
HORIZONTE	VPD (\$)				BENEFICIOS (\$)		
	E1-2	E2-2	E3-2	E4-2	E2-2	E3-2	E4-2
(2013-2043)	30,470,272	10,414,557	25,748,824	23,810,665	20,055,716	4,721,448	6,659,608
(2013-2073)	53,004,143	23,477,078	40,225,939	40,304,035	29,527,065	12,778,204	12,700,108
(2013-2103)	66,683,813	30,483,839	47,232,701	50,434,943	36,199,974	19,451,112	16,248,869

c.- Escenario de cambio climático 3

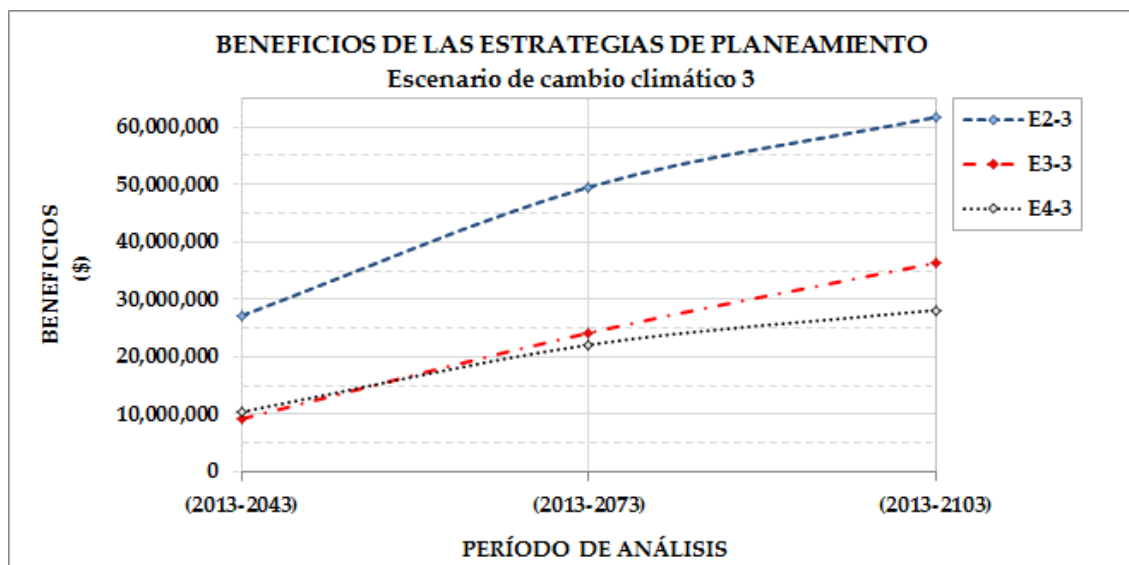
HORIZONTE	VPD (\$)				BENEFICIOS (\$)		
	E1-3	E2-3	E3-3	E4-3	E2-3	E3-3	E4-3
(2013-2043)	34,400,399	7,204,446	25,165,883	23,966,431	27,195,953	9,234,516	10,433,968
(2013-2073)	64,999,153	15,441,092	40,795,013	42,892,046	49,558,061	24,204,140	22,107,107
(2013-2103)	83,715,318	22,006,324	47,360,246	55,573,778	61,708,994	36,355,072	28,141,540



a.- Escenario de cambio climático 1



b.- Escenario de cambio climático 2



c.- Escenario de cambio climático 3

Figura 5-58.- Beneficios económicos de las estrategias de planeamiento.

5.5.3.3. Costos de implementación de las estrategias

La Tabla 5-14 resume la variación del costo de implementación de cada estrategia (C en \$), que se calculó como la diferencia entre el valor presente del costo de construcción (VPC en \$), y el correspondiente a estrategia E1, cuyo valor asciende a \$96.771.446.

La Figura 5-59 representa la variación de los costos de implementación (C en \$), donde puede observarse su crecimiento en función del escenario de cambio climático.

La estrategia E4 implica los mayores costos de implementación, determinado principalmente por el costo de provisión y colocación de tanques de almacenamiento. En función del escenario de cambio climático, la estrategia E4 incrementa el valor presente del costo de construcción de E1 entre 12% y 36%.

La estrategia E2 implica un costo de implementación intermedio, cuyo valor total es superior al costo de construcción de E1 entre 4% y 14%, en función del escenario de cambio climático.

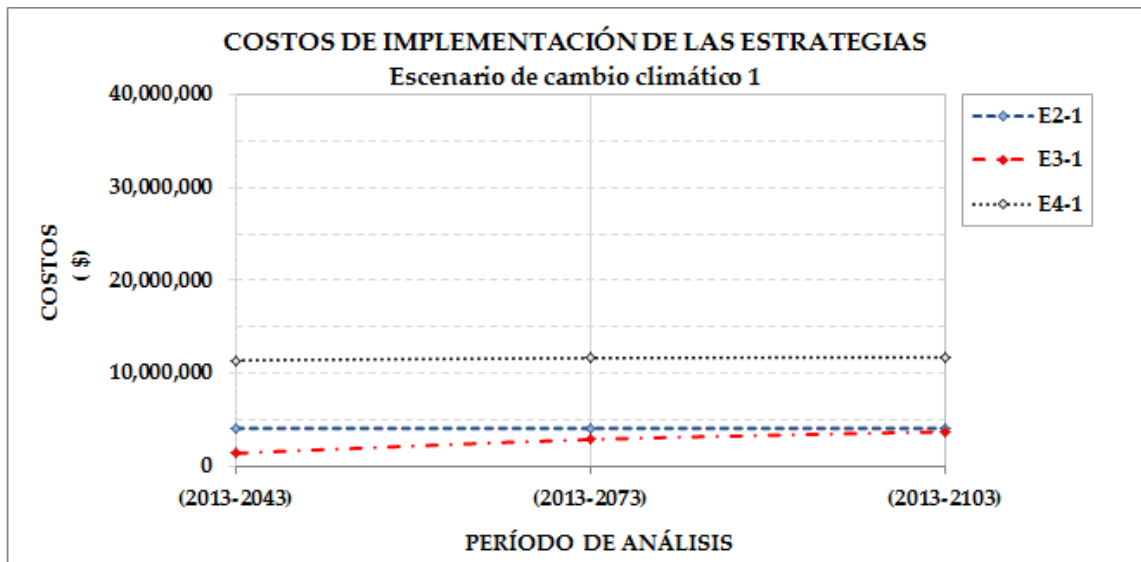
El menor costo de implementación corresponde a la estrategia E3, que se incrementa entre 1% y 11% con respecto al costo de E1. Si bien en el último horizonte temporal del horizonte de planeamiento (2073-2103) las dimensiones de la red corresponden a las de la estrategia E2, las mismas se alcanzan a través de la adaptación y recambio parcial de las obras, en los cortes temporales 2043 y 2073. El descuento de los costos de renovación parcial al año base 2013 reduce el valor presente del costo de construcción de la estrategia E3.

Tabla 5-14.- Costos de implementación de las estrategias.

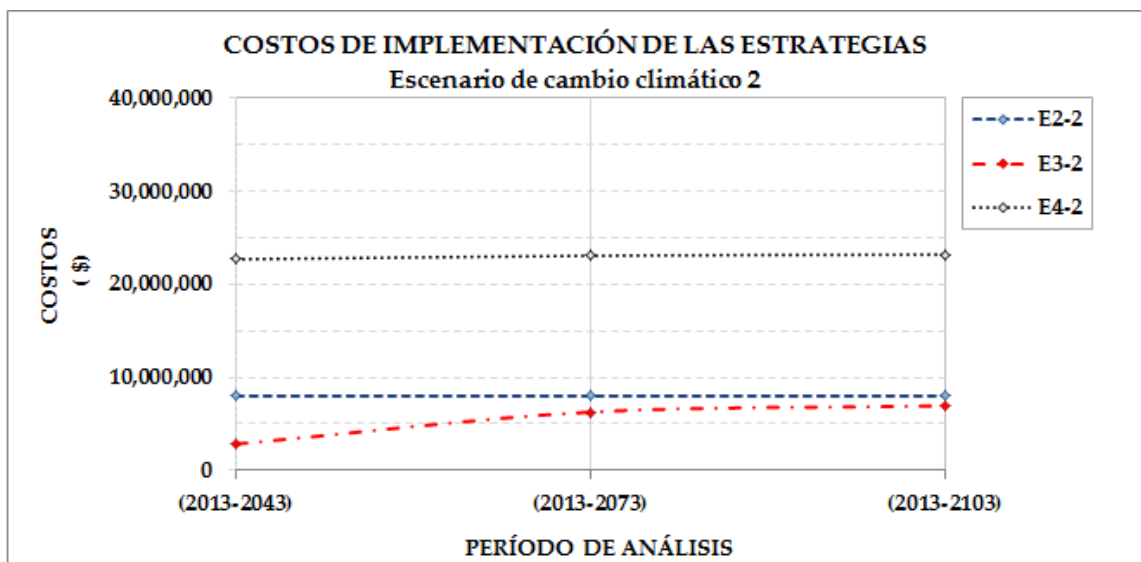
a.- Escenario de cambio climático 1							
HORIZONTE	VPC (\$)				COSTOS (\$)		
	E1-1	E2-1	E3-1	E4-1	E2-1	E3-1	E4-1
(2013-2043)	96.771.446	100.821.674	98.144.955	108.154.335	4.050.228	1.373.509	11.382.889
(2013-2073)	96.771.446	100.821.674	99.609.888	108.399.250	4.050.228	2.838.442	11.627.804
(2013-2103)	96.771.446	100.821.674	100.453.286	108.480.395	4.050.228	3.681.840	11.708.949

b.- Escenario de cambio climático 2							
HORIZONTE	VPC (\$)				COSTOS (\$)		
	E1-2	E2-2	E3-2	E4-2	E2-2	E3-2	E4-2
(2013-2043)	96.771.446	104.773.872	99.613.044	119.460.976	8.002.426	2.841.598	22.689.530
(2013-2073)	96.771.446	104.773.872	103.043.249	119.837.087	8.002.426	6.271.803	23.065.641
(2013-2103)	96.771.446	104.773.872	103.699.011	119.961.333	8.002.426	6.927.565	23.189.886

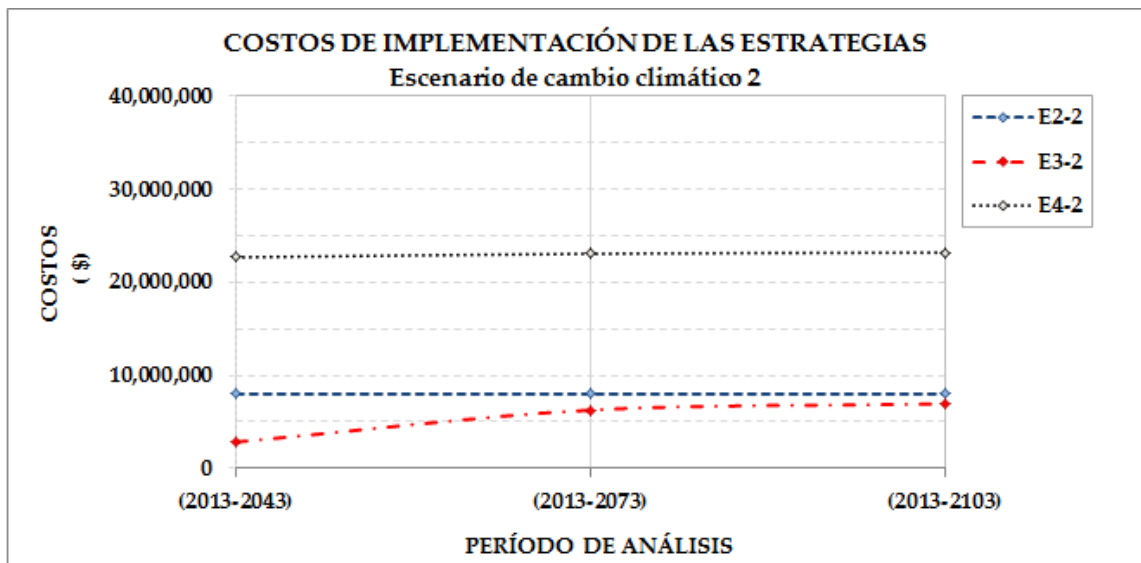
c.- Escenario de cambio climático 3							
HORIZONTE	VPC (\$)				COSTOS (\$)		
	E1-3	E2-3	E3-3	E4-3	E2-3	E3-3	E4-3
(2013-2043)	96.771.446	110.202.215	100.821.674	130.759.909	13.430.769	4.050.228	33.988.463
(2013-2073)	96.771.446	110.202.215	105.837.995	131.244.986	13.430.769	9.066.549	34.473.540
(2013-2103)	96.771.446	110.202.215	107.545.259	131.378.351	13.430.769	10.773.813	34.606.905



a.- Escenario de cambio climático 1



b.- Escenario de cambio climático 2



c.- Escenario de cambio climático 3

Figura 5-59.- Costos de implementación de las estrategias.

5.5.3.4. Relación costo-beneficio de las estrategias

Se utilizó la metodología de análisis costo-beneficio para comparar la relación existente entre los costos y beneficios económicos de implementación de cada estrategia en horizontes temporales futuros de los tres escenarios de cambio climático. Para ello se calcularon los cocientes entre los beneficios (costos netos evitados por implementación de cada estrategia con respecto a la situación de no acción, de acuerdo a ítem 5.5.3.2), y los respectivos costos de implementación (diferencias de valor presente del costo de construcción con respecto a la situación de no acción, de acuerdo a ítem 5.5.3.3).

La Tabla 5-15 resume las relaciones costo beneficio (B/C) de las estrategias en cada período del horizonte de planeamiento, las cuales se grafican en la Figura 5-60. A partir de la comparación de resultados de este indicador económico es posible presentar una primera estimación del impacto económico de las tres estrategias de planeamiento en contextos climáticos variables:

La estrategia E4 presenta relaciones B/C inferiores a 1 en todos los escenarios de cambio climático, variables en el rango 0,10-0,80, debido principalmente a que esta estrategia implica los mayores costos de implementación.

A mediano y largo plazo, la estrategia E2 presenta mejores relaciones costo beneficio que la estrategia E3. Mientras las relaciones B/C de E2 varían en el rango 2,8-4,6, las correspondientes a E3 se ubican en el rango 2,4-3,4.

Tabla 5-15.- Relación costo - beneficio (B/C) de las estrategias.

a.- Escenario de cambio climático 1

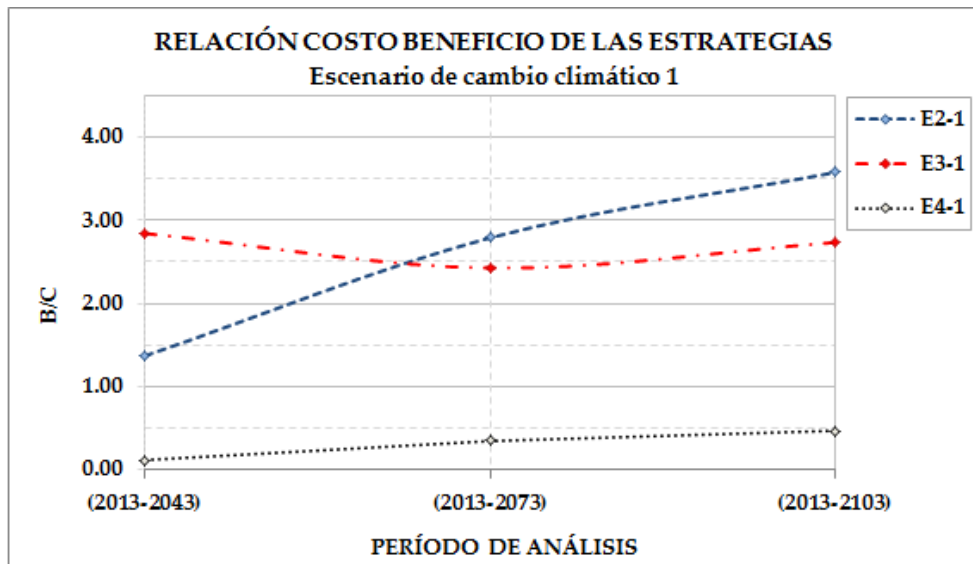
HORIZONTE	COSTOS (\$)			BENEFICIOS (\$)			B/C		
	E2-1	E3-1	E4-1	E2-1	E3-1	E4-1	E2-1	E3-1	E4-1
(2013-2043)	4.050.228	1.373.509	11.382.889	5.551.936	3.902.430	1.260.257	1,4	2,8	0,1
(2013-2073)	4.050.228	2.838.442	11.627.804	11.296.791	6.883.639	4.064.438	2,8	2,4	0,3
(2013-2103)	4.050.228	3.681.840	11.708.949	14.475.926	10.062.774	5.395.072	3,6	2,7	0,5

b.- Escenario de cambio climático 2

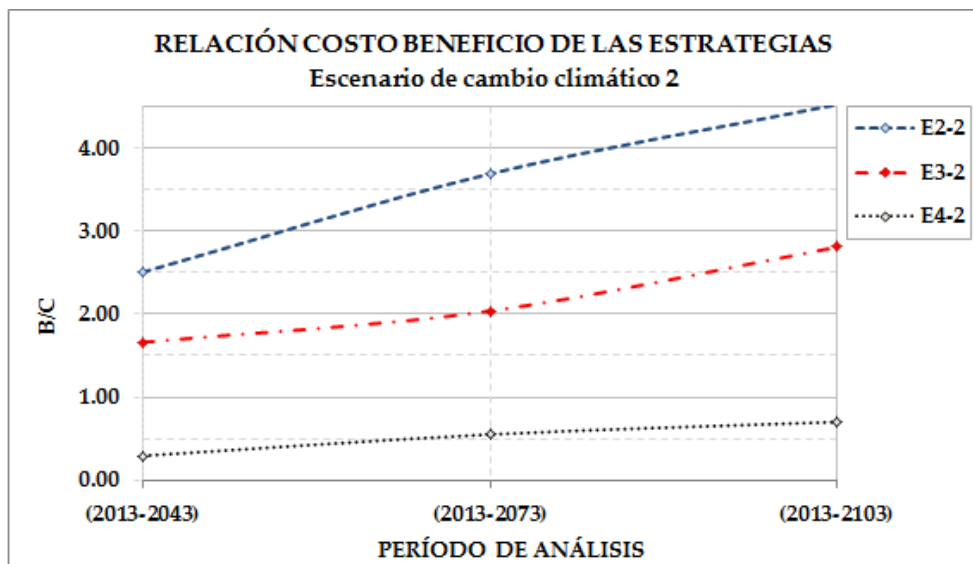
HORIZONTE	COSTOS (\$)			BENEFICIOS (\$)			B/C		
	E2-2	E3-2	E4-2	E2-2	E3-2	E4-2	E2-2	E3-2	E4-2
(2013-2043)	8.002.426	2.841.598	22.689.530	20.055.716	4.721.448	6.659.608	2,5	1,7	0,3
(2013-2073)	8.002.426	6.271.803	23.065.641	29.527.065	12.778.204	12.700.108	3,7	2,0	0,6
(2013-2103)	8.002.426	6.927.565	23.189.886	36.199.974	19.451.112	16.248.869	4,5	2,8	0,7

c.- Escenario de cambio climático 3

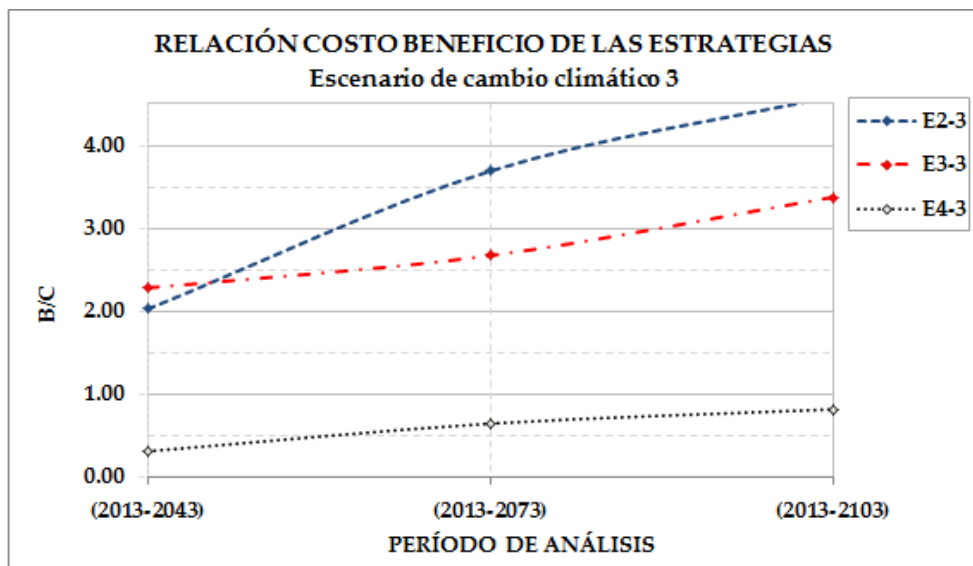
HORIZONTE	COSTOS (\$)			BENEFICIOS (\$)			B/C		
	E2-3	E3-3	E4-3	E2-3	E3-3	E4-3	E2-3	E3-3	E4-3
(2013-2043)	13.430.769	4.050.228	33.988.463	27.195.953	9.234.516	10.433.968	2,0	2,3	0,3
(2013-2073)	13.430.769	9.066.549	34.473.540	49.558.061	24.204.140	22.107.107	3,7	2,7	0,6
(2013-2103)	13.430.769	10.773.813	34.606.905	61.708.994	36.355.072	28.141.540	4,6	3,4	0,8



a.- Escenario de cambio climático 1



b.- Escenario de cambio climático 2



c.- Escenario de cambio climático 3

Figura 5-60.- Variación temporal de la relación costo - beneficio.

A corto plazo la estrategia E3 presenta mayores relaciones costo beneficio que E2, excepto en el escenario de cambio climático 2. La reducción general de la relación B/C de E2 en el corto plazo se debe a que la estrategia E3 tiene un costo de implementación más bajo como consecuencia de sus menores dimensiones, las cuales se adaptan gradualmente al crecimiento de la precipitación. Sin embargo, en el escenario de cambio climático 2, el desempeño de las estrategias se invierte, y E2 presenta una mejor relación B/C, como consecuencia de que el sobredimensionamiento de las obras reduce en gran medida los daños por inundación, incrementando los beneficios de E2.

Es decir que en este horizonte temporal las relaciones B/C se ven afectadas por la falta de uniformidad en la respuesta hidráulica de la red de drenaje, determinada principalmente por la capacidad ociosa de los conductos que genera la selección de diámetros comerciales. Esta diferencia se aprecia en la Figura 5-61, donde las relaciones B/C se han representado para cada horizonte temporal, en función del escenario de cambio climático.

5.5.3.5. Valor presente neto (VPN) de las estrategias

Las relaciones costo beneficio constituyen un indicador del impacto económico de cada estrategia con respecto a la estrategia de no acción E1. Es decir, representan costos y beneficios relativos.

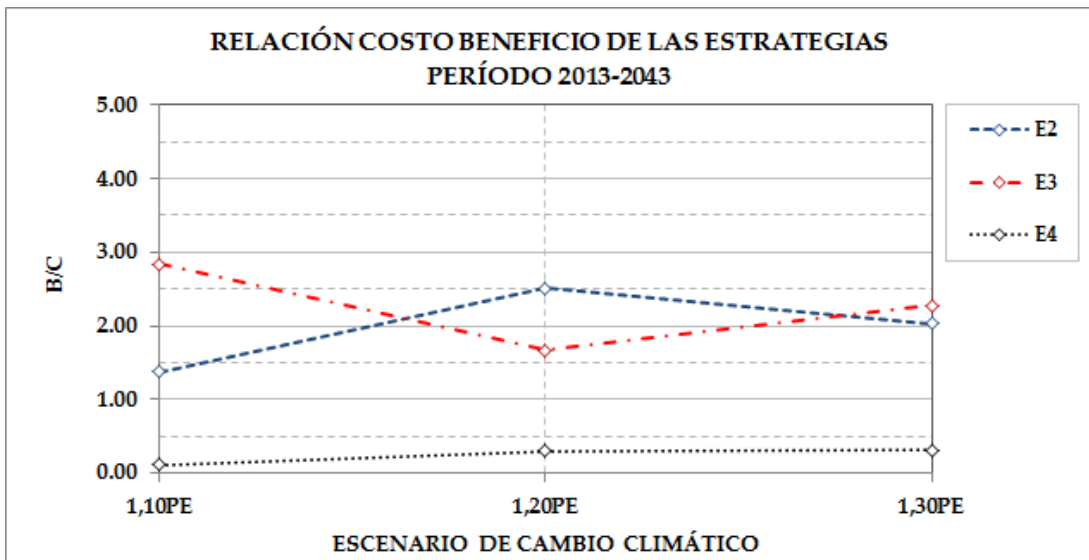
Para analizar la variación de los costos totales se cuantificó la variación del valor presente neto de las cuatro estrategias (VPN en \$), cuyos valores se resumen en la Tabla 5-16 y Figura 5-62.

Tabla 5-16.- Valor Presente Neto (VPN en \$) de las estrategias

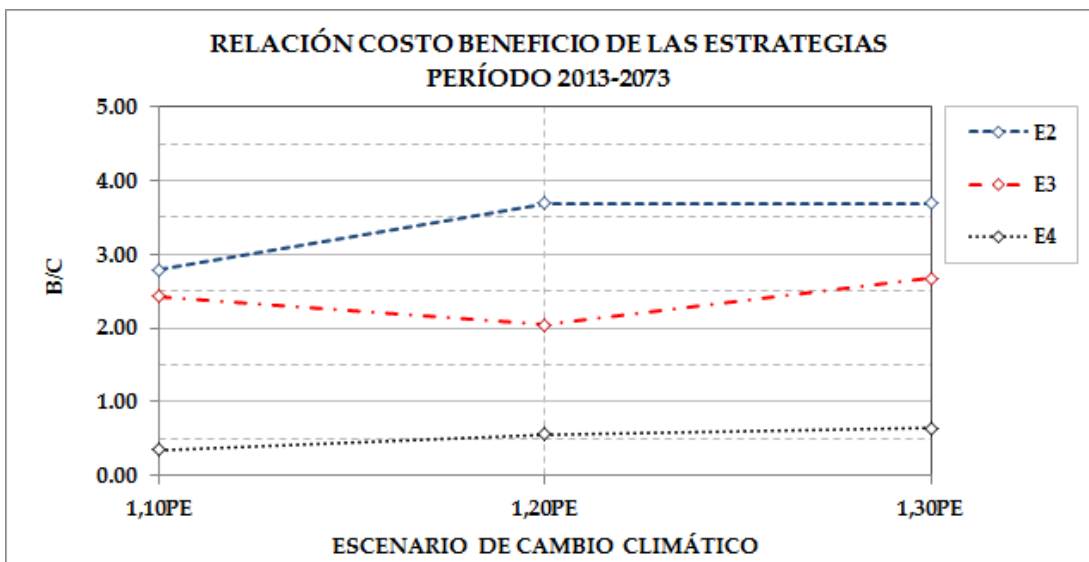
a.- Escenario de cambio climático 1					
HORIZONTE	VPN (\$)				
	LB-PE	E1-1	E2-1	E3-1	E4-1
(2013-2043)	120.254.170	121.877.504	120.375.795	119.348.583	132.000.135
(2013-2073)	133.801.738	139.335.131	132.088.568	135.289.934	146.898.497
(2013-2103)	139.923.396	148.317.969	137.892.271	141.937.035	154.631.847

b.- Escenario de cambio climático 2					
HORIZONTE	VPN (\$)				
	LB-PE	E1-2	E2-2	E3-2	E4-2
(2013-2043)	120.254.170	127.241.719	115.188.429	125.361.868	143.271.641
(2013-2073)	133.801.738	149.775.589	128.250.950	143.269.188	160.141.122
(2013-2103)	139.923.396	163.455.259	135.257.711	150.931.712	170.396.276

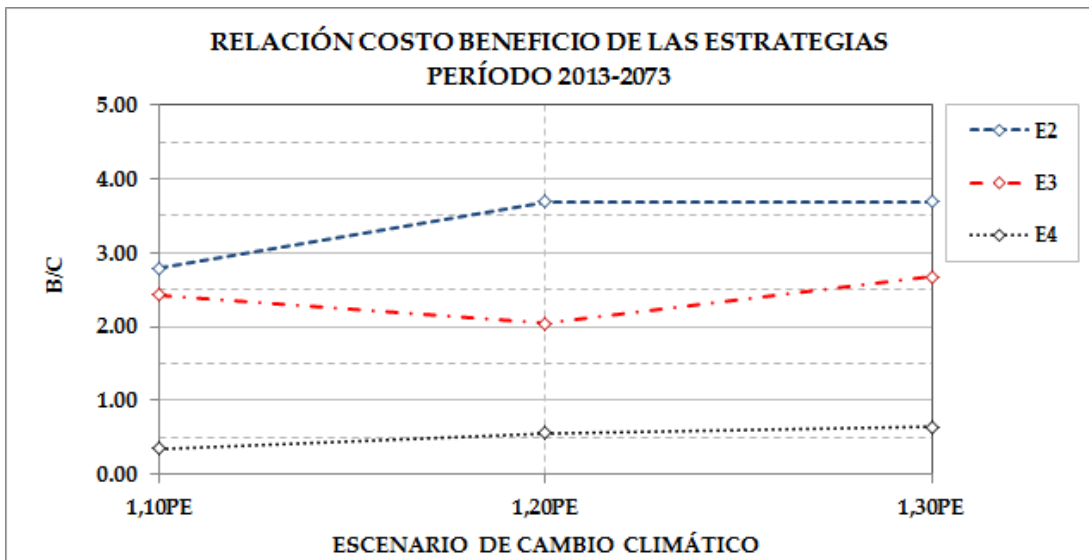
c.- Escenario de cambio climático 3					
HORIZONTE	VPN (\$)				
	LB-PE	E1-3	E2-3	E3-3	E4-3
(2013-2043)	120.254.170	131.171.845	117.406.661	125.987.557	154.726.340
(2013-2073)	133.801.738	161.770.599	125.643.307	146.633.008	174.137.032
(2013-2103)	139.923.396	180.486.764	132.208.540	154.905.505	186.952.129



a.- Corto plazo 2013-2043

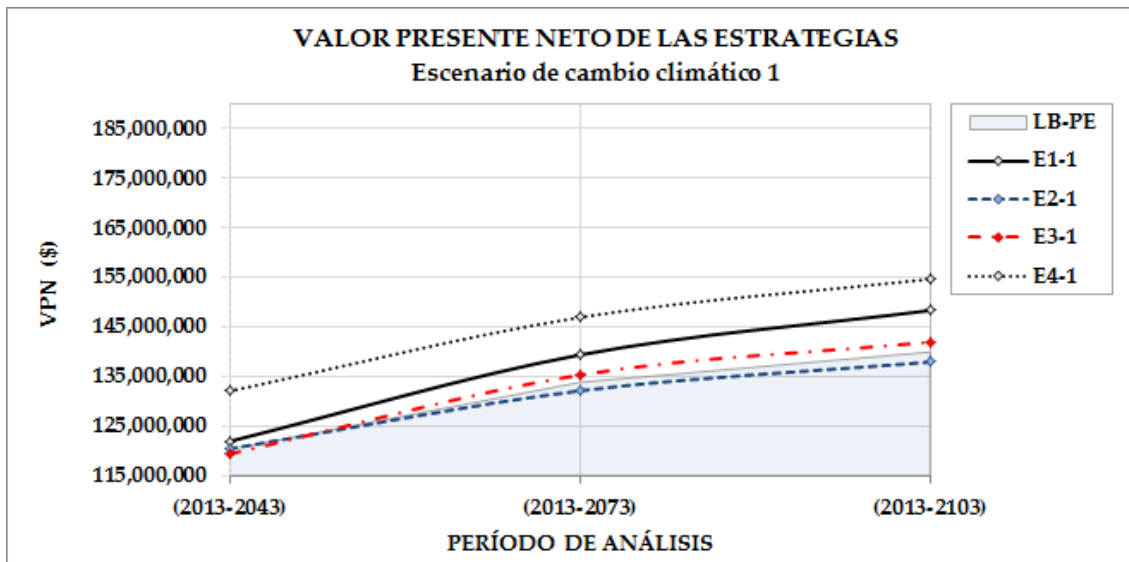


b.- Mediano plazo 2013-2073

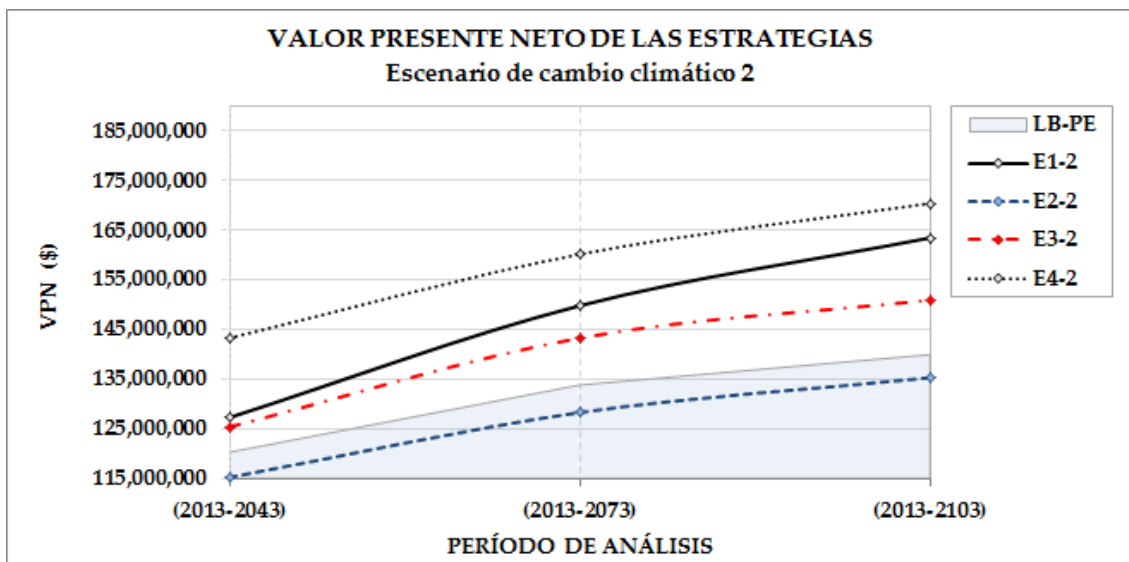


c.- Mediano plazo 2013-2103

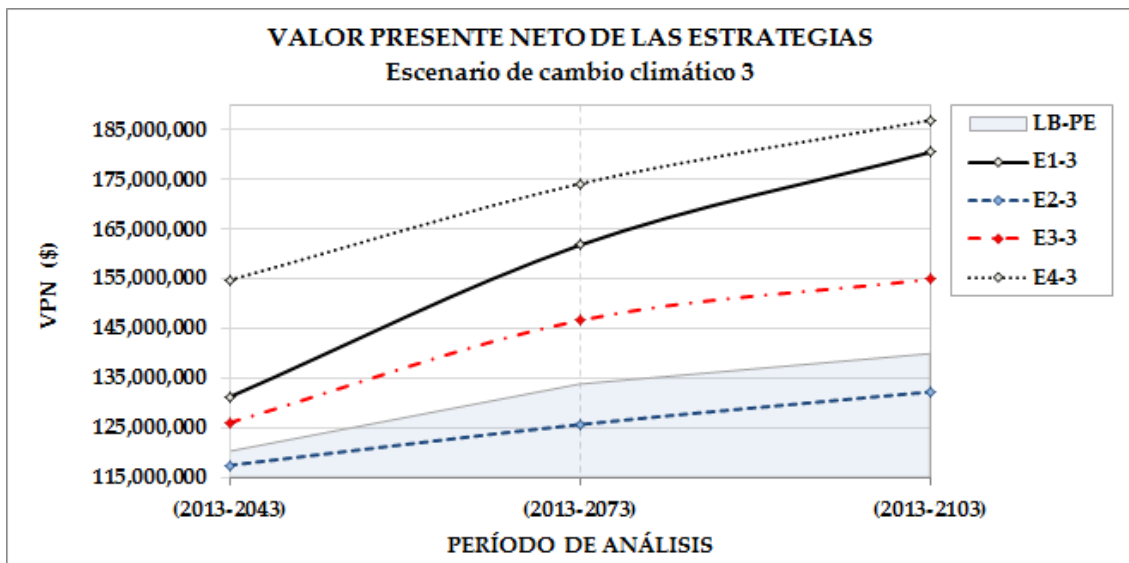
Figura 5-61.- Variación de la relación B/C con el escenario de cambio climático.



a.- Escenario de cambio climático 1



b.- Escenario de cambio climático 2



c.- Escenario de cambio climático 3

Figura 5-62.- Valor presente neto de las estrategias

Este indicador representa el monto total que el tomador de decisiones estará dispuesto a asumir en caso de adoptar una estrategia en particular: tanto en concepto de inversión en la construcción de la red como en gastos por reparación de los daños. Por lo tanto, las estrategias que presentan un mejor desempeño minimizan el valor presente neto absoluto (VPN en \$).

Puede observarse que el mayor VPN corresponde a la estrategia E4, como resultado del costo asociado a la provisión y colocación de tanques de almacenamiento. Su VPN absoluto supera el costo total de la estrategia de no acción, es decir que en caso de adoptar esta estrategia el estado debería gastar un monto total superior en construir la red y reparar los daños por inundación.

La implementación de E2 y E3 reduce el valor presente neto total, por debajo de la estrategia de no acción E1. En el caso de E2, el monto total que el estado debe gastar en inversión en infraestructura y costos de reparación de daños es incluso inferior a los correspondientes a la línea de base estacionaria en los escenarios analizados.

5.6. Combinatoria de impactos previstos e impactos reales

La evolución futura de las precipitaciones máximas puede generar impactos reales de mayor o menor magnitud que los previstos, modificando el valor presente de los daños acumulados y los resultados de la evaluación económica de cada estrategia. En este ítem se cuantifican las consecuencias económicas de cambios en el impacto previsto con respecto a las condiciones de proyecto de las redes.

5.6.1. Identificación de los escenarios

Si el dimensionamiento de la red se realiza para un impacto previsto específico, y la evolución futura de las precipitaciones resulta en un impacto real de menor magnitud, la consecuencia es un “desperdicio” de dinero por sobredimensionamiento de la red. Sin embargo las obras de mayores dimensiones generan también un “ahorro” de dinero por reducción de los daños.

Si el régimen de precipitaciones intensas evoluciona hacia un impacto real mayor que el adoptado para el dimensionamiento de la red, el costo de los daños se incrementa, sin embargo la inversión en infraestructura es de menor magnitud.

Por ello, para evaluar las consecuencias económicas de la variación de las precipitaciones futuras sobre las estrategias de diseño, se plantearon las posibles combinaciones entre impactos previstos (en el proyecto de la red) e impactos reales (como consecuencia de la evolución futura de las precipitaciones).

Se simuló el desempeño de cada diseño frente a escenarios futuros diferentes a los asumidos en el proyecto de la red, analizándose la variación de los indicadores económicos (costos, beneficios, B/C, VPN).

Para identificar las posibles combinaciones entre impacto previsto e impacto real de cada estrategia se adoptó la nomenclatura indicada en la Ecuación (5-10)

$$Ex - y - z - w \quad (5-10)$$

Siendo:

x: identificador de la estrategia (x=1, 2, 3, 4)

y: impacto previsto o precipitación de proyecto (y=1=1,10PE, y=2=1,20PE, y=3=1,30PE)

z: impacto real (z=1=1,10PE, z=2=1,20PE, z=3=1,30PE)

w: horizonte de planeamiento: H1: corto plazo, H2: mediano plazo, H3: largo plazo.

Como ejemplo, la estrategia 2 (x=2) proyectada para el escenario de cambio climático 2 (y=2) que funciona en el escenario de cambio climático 1 (z=1) en el corto plazo (w=H1) fue designada como E2-2-1-H1.

En el caso de que el impacto previsto sea igual al impacto real, el valor de z permanece en blanco. Para el ejemplo anterior, la estrategia E2, proyectada para el escenario de cambio climático 2 que funciona en el escenario de cambio climático 2 fue designada como E2-2-H1.

La Tabla 5-17 presenta el resumen de combinaciones involucradas en el análisis de variación del desempeño económico de las estrategias. Cada estrategia está caracterizada por una matriz de 3x3, es decir existen 9 posibles combinaciones de diseños de la red y escenarios futuros.

Las diagonales principales de cada estrategia representan los escenarios de cambio climático para los cuales fueron proyectadas las redes respectivas, cuyos resultados fueron presentados en 5.5.3.

Los cuadrantes ubicados sobre la diagonal principal caracterizan a las redes que funcionan en escenarios de menor impacto que los asumidos como condiciones de proyecto. El cuadrante superior (celda sombreada) representa el caso extremo de sobredimensionamiento: las redes proyectadas para el escenario de cambio climático 3 (E2-3, E3-3, E4-3) funcionan en el escenario de cambio climático 1. Estos escenarios son: E2-3-1, E3-3-1, E4-3-1.

Los cuadrantes ubicados debajo de la diagonal principal representan a las redes que funcionan en escenarios de cambio climático de mayor impacto que los previstos. El cuadrante inferior (celda sombreada) caracteriza el caso extremo de subdimensionamiento: las redes proyectadas para el escenario de cambio climático 1 (E2-1, E3-1, E4-1) funcionan en el escenario de cambio climático 3, estos escenarios son: E2-1-3, E3-1-3, E4-1-3.

Tabla 5-17.- Designación de los escenarios.

Escenario de cambio climático	Estrategia E2			Estrategia E3			Estrategia E4		
	E2-1	E2-2	E2-3	E3-1	E3-2	E3-3	E4-1	E4-2	E4-3
1	E2-1	E2-2-1	E2-3-1	E3-1	E3-2-1	E3-3-1	E4-1	E4-2-1	E4-3-1
2	E2-1-2	E2-2	E2-3-2	E3-1-2	E3-2	E3-3-2	E4-1-2	E4-2	E4-3-2
3	E2-1-3	E2-2-3	E2-3	E3-1-3	E3-2-3	E3-3	E4-1-3	E4-2-3	E4-3

5.6.2. Relación costo beneficio

En la Figura 5-63 se representa la variación del valor presente de los daños de las estrategias en función del escenario de cambio climático. Puede observarse que la magnitud de los daños de todas las estrategias se incrementa a medida que crece el escenario de cambio climático.

El VPD de la estrategia E1, que se utiliza como parámetro de referencia para cuantificar los beneficios, crece a tasas mayores que los daños correspondientes a las restantes estrategias.

Como consecuencia, los beneficios de cada estrategia se incrementan a medida que aumenta el escenario de cambio climático, aún en el caso de redes subdimensionadas. Es decir que los casos de impacto previsto mayor al impacto real generan beneficios superiores a las condiciones de proyecto.

A la inversa, en el caso de que el impacto real sea menor al previsto (redes sobredimensionadas) se genera una reducción de los beneficios, determinada principalmente por la menor magnitud de los daños de la estrategia de no acción.

La Tabla 5-18 presenta los costos y beneficios de las estrategias, para cada una de las combinaciones posibles entre impacto previsto e impacto real, correspondientes a los tres horizontes de planeamiento (H1: corto plazo 2013-2043, H2: mediano plazo 2013-2073, H3: largo plazo 2013-2103).

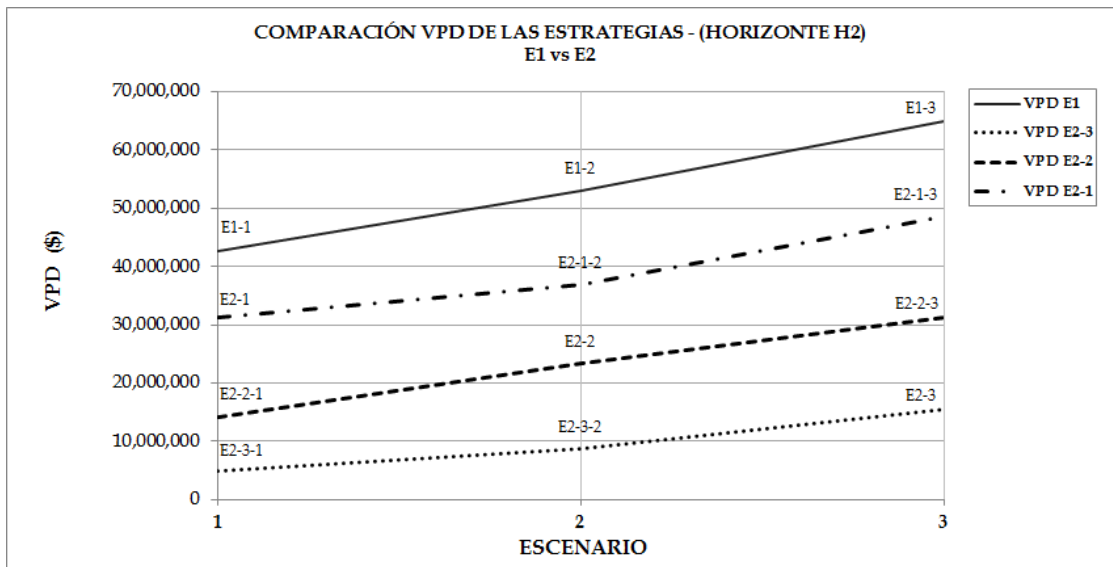
Estos resultados se representan gráficamente en la Figura 5-64, donde los casos de impacto previsto igual al impacto real se designan como H1, H2 y H3, mientras que las combinaciones de impactos reales diferentes a los previstos se identifican como H1-c, H2-c y H3-c.

Los resultados de cada estrategia se detallan en las Figuras 5-66 a 5-68, donde $IP=IR$ representa la condición de impacto previsto (IP) igual al impacto real (IR). Las combinaciones designadas como IR1 (impacto real 1), IR2 (impacto real 2) e IR3 (impacto real 3) representan el desempeño económico de las estrategias en los escenarios de cambio climático 1, 2 y 3 respectivamente.

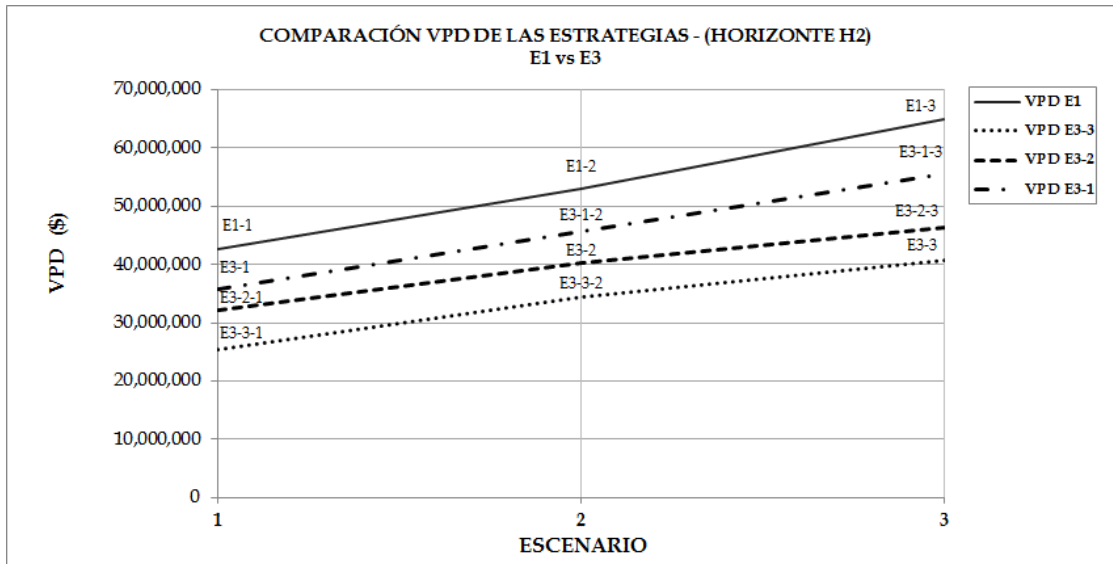
Considerando que el supuesto de rigidez de las estrategias a lo largo del horizonte de planeamiento 2013-2103 no parece demasiado realista, debido a que siempre existe la posibilidad de modificar la estrategia adoptada, los análisis se focalizaron en los horizontes H1 y H2.

En la Figura 5-65 se detallan los resultados de la combinatoria de impactos de la estrategia E2 para los horizontes H1 (Figura 5-65a) y H2 (Figura 5-65b). IR1 incluye las combinaciones E2-1, E2-2-1 y E2-3-1, IR2 representa el desempeño de las estrategias E2-1-2, E2-2 y E2-3-2, mientras que IR3 corresponde a los casos E3-1-3, E3-2-3 y E3-3.

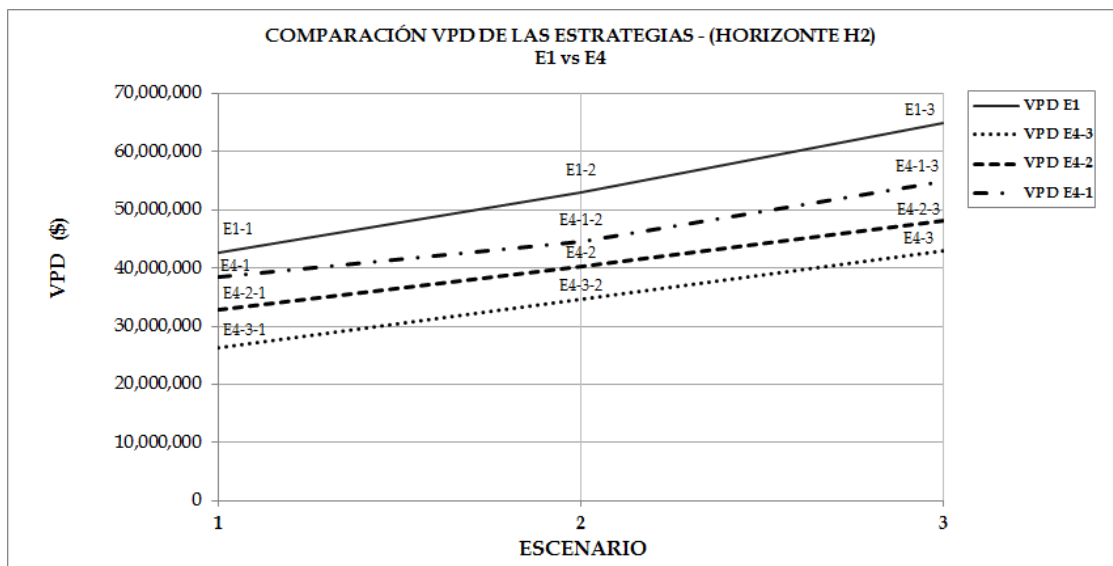
El costo de implementación de la estrategia E2 se indica en la Tabla 5-18, para los tres escenarios de cambio climático. Como ha sido mencionado, el mismo equivale a incrementos del costo de construcción de E1 comprendidos entre 4% y 14%, en función del escenario de cambio climático.



a.- Estrategia E2



b.- Estrategia E3



c.- Estrategia E4

Figura 5-63.- Combinatoria de impactos - Variación del VPD de las estrategias.

Tabla 5-18.- Costos y beneficios de las estrategias

Combinación	H1			H2			H3		
	Costo (\$)	Beneficio (\$)	Combinación	Costo (\$)	Beneficio (\$)	Combinación	Costo (\$)	Beneficio (\$)	Combinación
E2-1 H1	4.050.228	5.551.936	E2-1 H2	4.050.228	11.296.791	E2-1 H3	4.050.228	14.475.926	
E2-1-2 H1	4.050.228	9.243.089	E2-1-2 H2	4.050.228	16.103.131	E2-1-2 H3	4.050.228	19.446.797	
E2-1-3 H1	4.050.228	9.234.516	E2-1-3 H2	4.050.228	16.516.054	E2-1-3 H3	4.050.228	20.381.329	
E2-2-1 H1	8.002.426	16.817.909	E2-2-1 H2	8.002.426	28.473.892	E2-2-1 H3	8.002.426	33.979.095	
E2-2 H1	8.002.426	20.055.716	E2-2 H2	8.002.426	29.527.065	E2-2 H3	8.002.426	36.199.974	
E2-2-3 H1	8.002.426	18.829.503	E2-2-3 H2	8.002.426	33.799.127	E2-2-3 H3	8.002.426	41.626.467	
E2-3-1 H1	13.430.769	22.696.574	E2-3-1 H2	13.430.769	37.648.417	E2-3-1 H3	13.430.769	44.725.335	
E2-3-2 H1	13.430.769	26.801.927	E2-3-2 H2	13.430.769	44.338.793	E2-3-2 H3	13.430.769	54.180.087	
E2-3 H1	13.430.769	27.195.953	E2-3 H2	13.430.769	49.558.061	E2-3 H3	13.430.769	61.708.994	
E3-1 H1	1.373.509	3.902.430	E3-1 H2	2.838.442	6.883.639	E3-1 H3	3.681.840	10.062.774	
E3-1-2 H1	1.373.509	2.174.151	E3-1-2 H2	2.838.442	7.365.168	E3-1-2 H3	3.681.840	10.708.833	
E3-1-3 H1	1.373.509	3.821.004	E3-1-3 H2	2.838.442	9.420.801	E3-1-3 H3	3.681.840	13.286.076	
E3-2-1 H1	2.841.598	4.292.226	E3-2-1 H2	6.271.803	10.397.495	E3-2-1 H3	6.927.565	15.902.699	
E3-2 H1	2.841.598	4.721.448	E3-2 H2	6.271.803	12.778.204	E3-2 H3	6.927.565	19.451.112	
E3-2-3 H1	2.841.598	7.867.499	E3-2-3 H2	6.271.803	18.681.772	E3-2-3 H3	6.927.565	26.509.113	
E3-3-1 H1	4.050.228	5.551.936	E3-3-1 H2	9.066.549	17.207.920	E3-3-1 H3	10.773.813	24.284.837	
E3-3-2 H1	4.050.228	9.243.089	E3-3-2 H2	9.066.549	18.714.438	E3-3-2 H3	10.773.813	28.555.732	
E3-3 H1	4.050.228	9.234.516	E3-3 H2	9.066.549	24.204.140	E3-3 H3	10.773.813	36.355.072	
E4-1 H1	11.382.889	1.260.257	E4-1 H2	11.627.804	4.064.438	E4-1 H3	11.708.949	5.395.072	
E4-1-2 H1	11.382.889	5.173.332	E4-1-2 H2	11.627.804	8.440.798	E4-1-2 H3	11.708.949	11.082.054	
E4-1-3 H1	11.382.889	4.275.437	E4-1-3 H2	11.627.804	10.007.523	E4-1-3 H3	11.708.949	12.156.465	
E4-2-1 H1	22.689.530	5.579.829	E4-2-1 H2	23.065.641	9.760.024	E4-2-1 H3	23.189.886	12.126.105	
E4-2 H1	22.689.530	6.659.608	E4-2 H2	23.065.641	12.700.108	E4-2 H3	23.189.886	16.248.869	
E4-2-3 H1	22.689.530	9.123.818	E4-2-3 H2	23.065.641	16.880.823	E4-2-3 H3	23.189.886	21.413.241	
E4-3-1 H1	33.988.463	8.960.485	E4-3-1 H2	34.473.540	16.259.498	E4-3-1 H3	34.606.905	19.306.390	
E4-3-2 H1	33.988.463	10.810.694	E4-3-2 H2	34.473.540	18.319.172	E4-3-2 H3	34.606.905	23.449.266	
E4-3 H1	33.988.463	10.433.968	E4-3 H2	34.473.540	22.107.107	E4-3 H3	34.606.905	28.141.540	

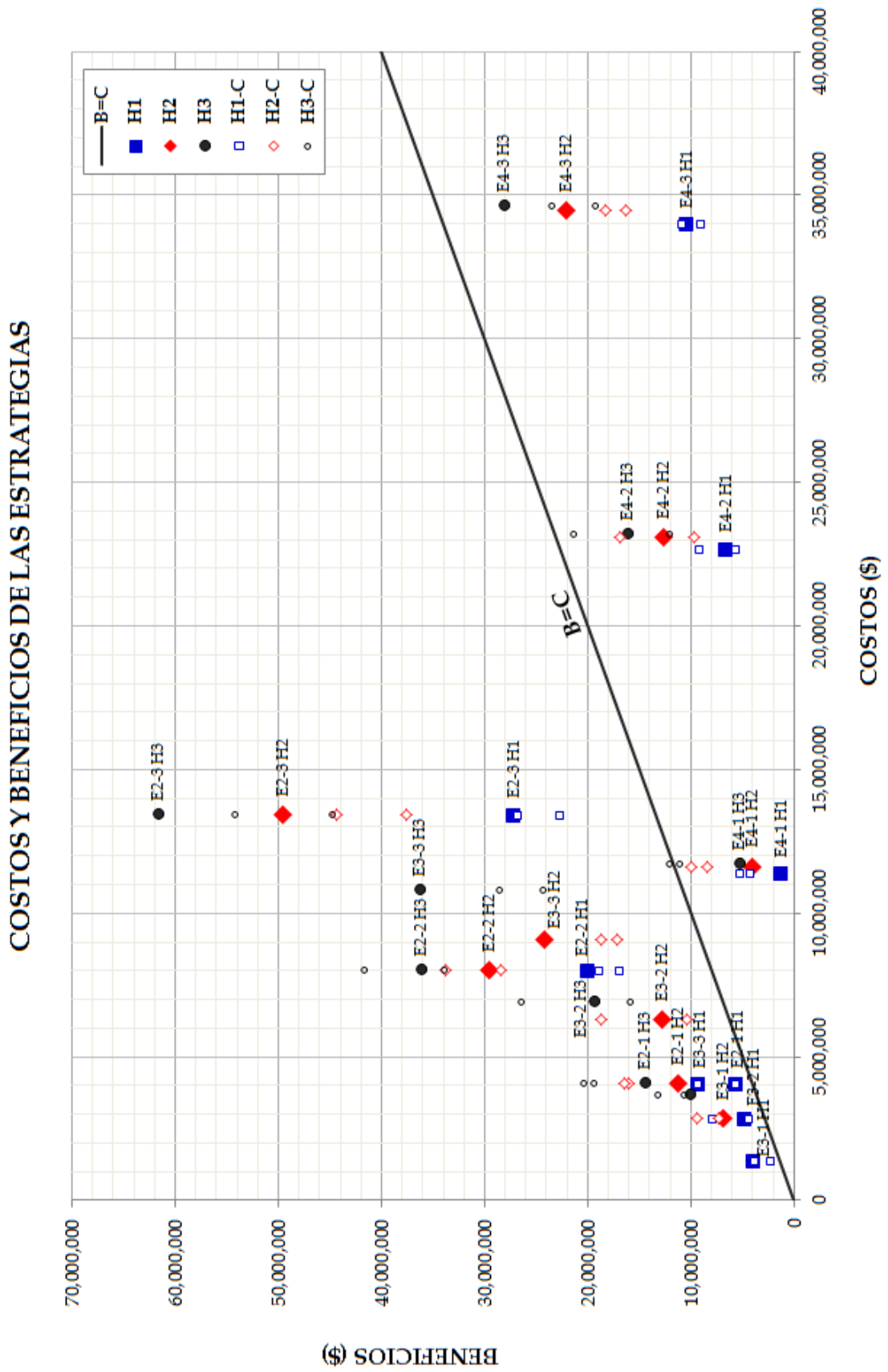
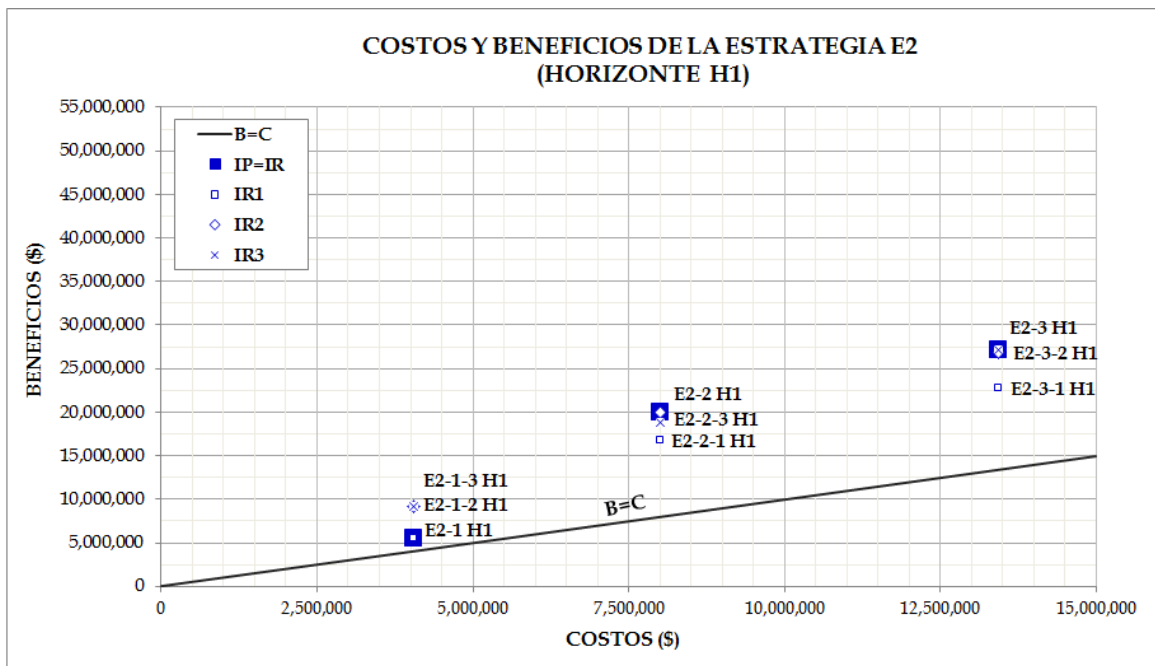


Figura 5-64.- Costos y beneficios de las estrategias.

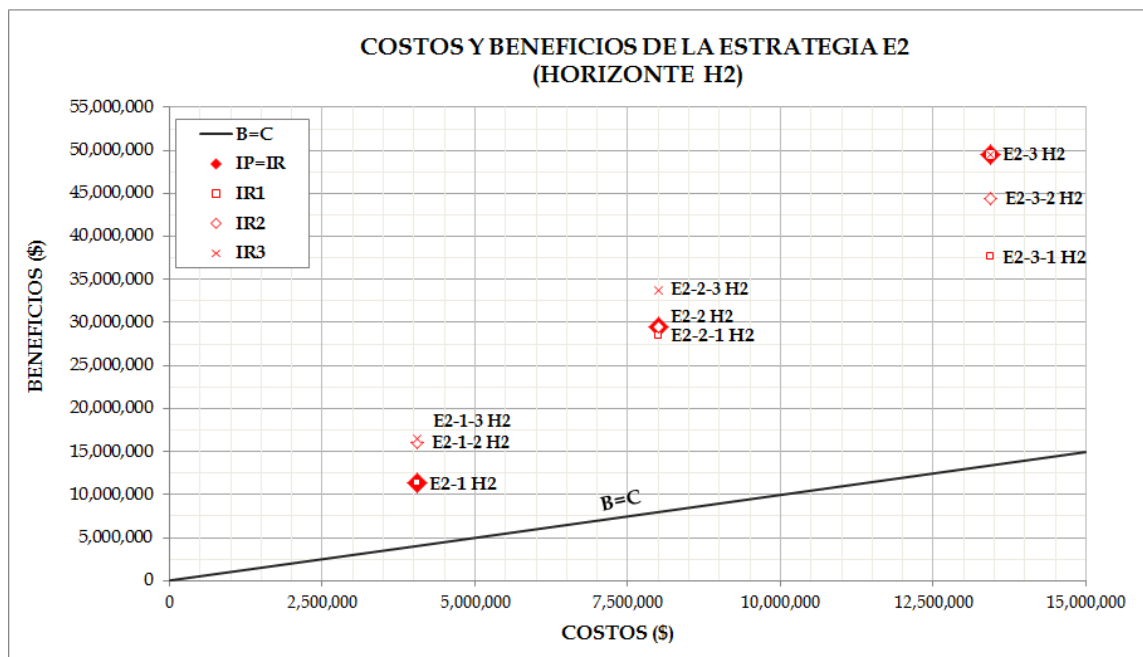
Tanto a corto como a mediano plazo, los beneficios de la estrategia E2 son superiores a sus costos de implementación. Ya en el corto plazo el incremento en el costo de construcción es compensado con la disminución de los daños (beneficios) con respecto a la estrategia de no acción. Los resultados de todas las combinaciones se ubican por encima de la recta teórica de igualdad entre costos y beneficios (B=C), con relaciones promedio B/C= 2,10 para el corto plazo y 3,60 para el mediano plazo.

En estas figuras puede observarse la disminución de los beneficios de las redes sobredimensionadas y el incremento de beneficios de las redes subdimensionadas:

- Impacto previsto 1,10PE: los beneficios se incrementarían en promedio un 43% en el escenario de cambio climático 2 y un 46% en el escenario de cambio climático 3.



a.- Corto plazo H1

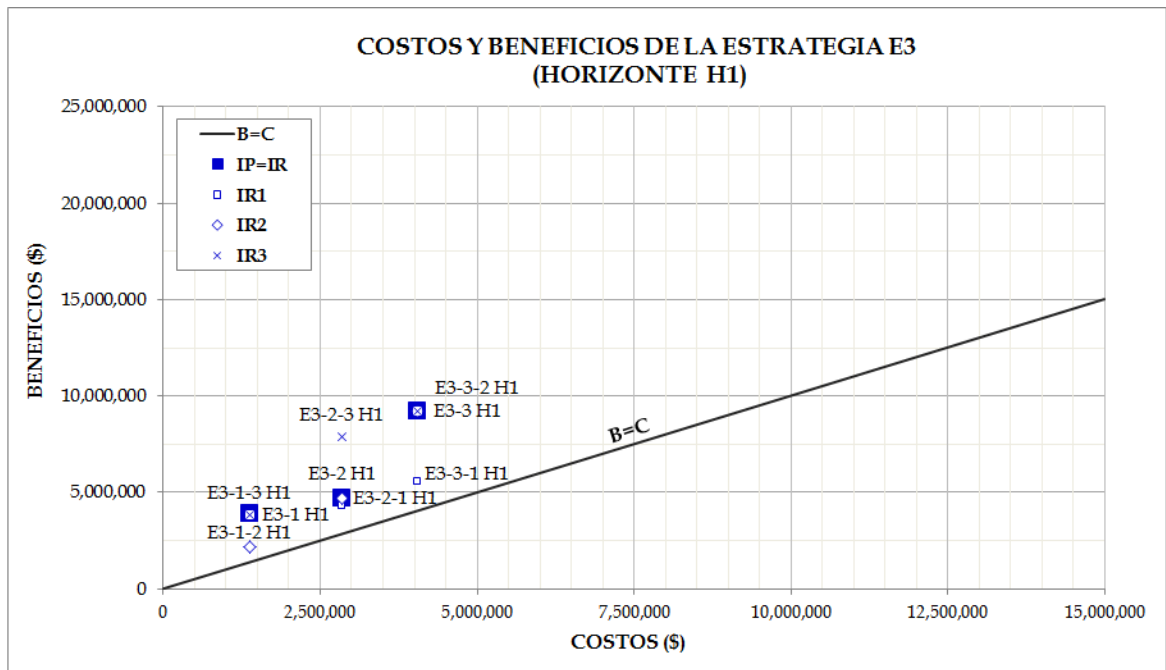


b.- Mediano plazo H2

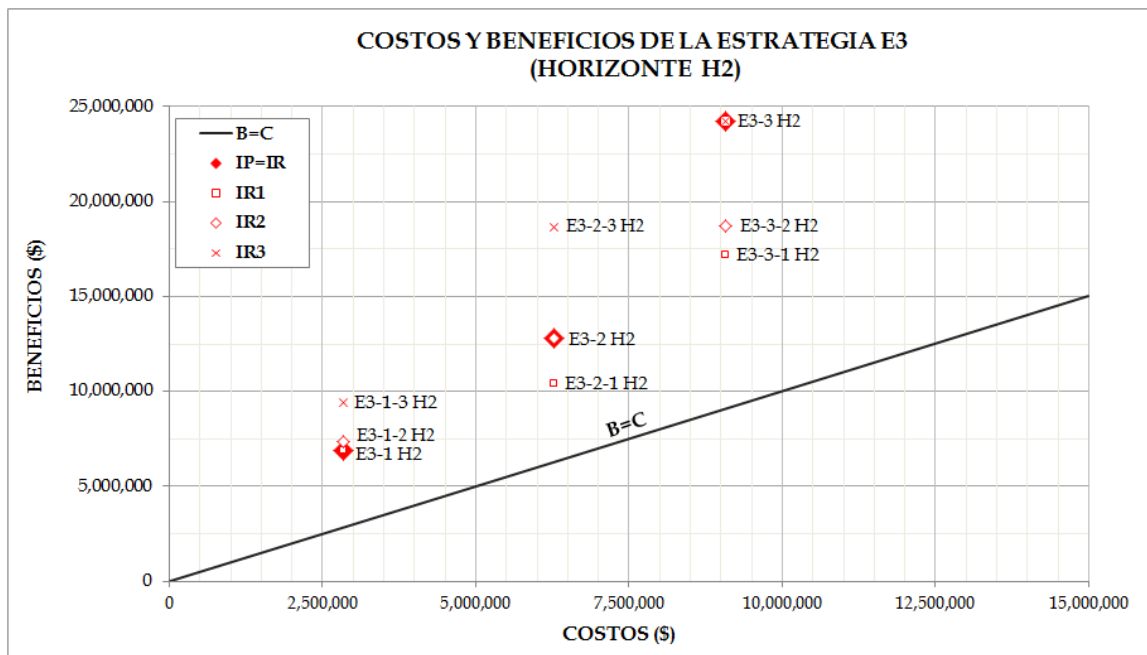
Figura 5-65.- Combinatoria de impactos de la estrategia E2.

- Impacto previsto 1,20PE: se estiman reducciones máximas del 16% de los beneficios en el escenario de cambio climático 1, e incrementos máximos del 14% en el escenario de cambio climático 3.
- Impacto previsto 1,30PE: se estiman reducciones máximas de los beneficios del orden del 11% en el escenario de cambio climático 1, y del 24% en el escenario de cambio climático 2.

En la Figura 5-66 se resumen los resultados de la combinatoria de impactos de la estrategia E3 para los horizontes H1 (Figura 5-66a) y H2 (Figura 5-66b).



a.- Corto plazo H1



b.- Mediano plazo H2

Figura 5-66.- Combinatoria de impactos de la estrategia E3.

En esta figura puede observarse el aumento de los costos de implementación de la estrategia en función del horizonte de tiempo analizado: de acuerdo a los resultados presentados en la Tabla 5-18, los mismos equivalen a un 33% del costo de implementación de la estrategia E2 en el corto plazo y a un 72% en el mediano plazo.

Los beneficios de la estrategia E3 son inferiores a los de la estrategia E2: los mismos equivalen al 40% y 50% de los beneficios de la estrategia E2, a corto y mediano plazo respectivamente. Todas las combinaciones entre impacto previsto e impacto real determinan beneficios superiores a sus costos de implementación, con relaciones B/C promedio equivalentes a 2,10 en el corto plazo y 2,40 en el mediano plazo.

La combinatoria entre impactos previstos e impactos reales de la estrategia E3 implica las siguientes variaciones con respecto a las condiciones de proyecto.

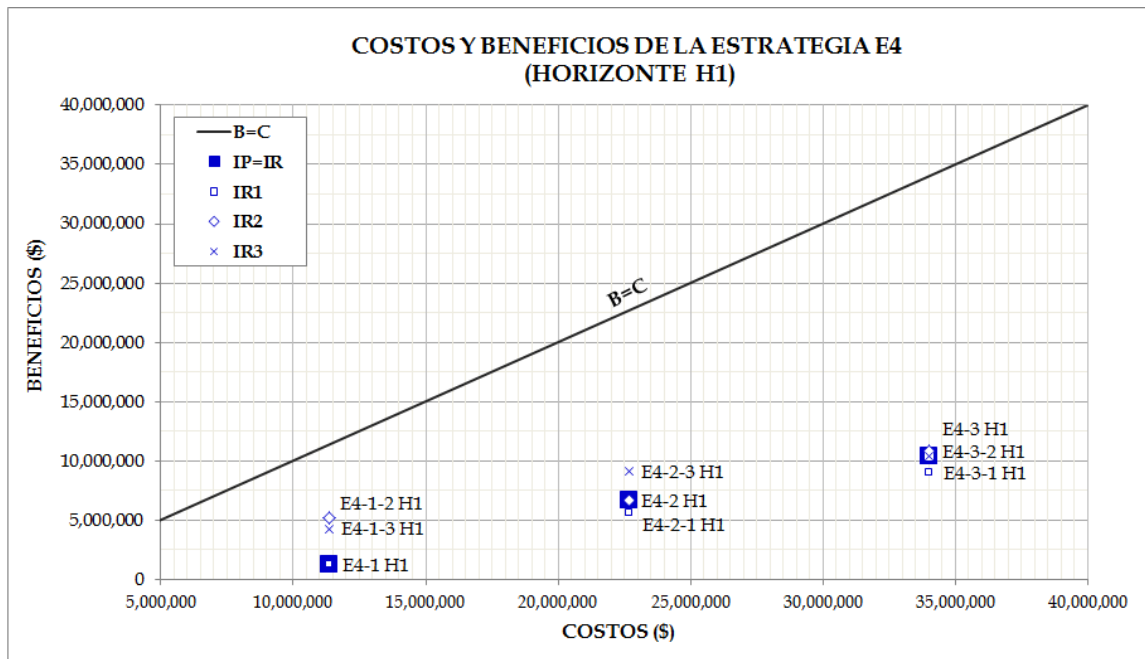
- Impacto previsto 1,10PE: los beneficios se incrementarían en promedio un 7% en el escenario de cambio climático 2 y un 37% en el escenario de cambio climático 3.
- Impacto previsto 1,20PE: se estiman reducciones máximas del 19% de los beneficios en el escenario de cambio climático 1, e incrementos máximos del 46% en el escenario de cambio climático 3.
- Impacto previsto 1,30PE: se estiman reducciones máximas de los beneficios del orden del 29% en el escenario de cambio climático 1, y del 23% en el escenario de cambio climático 2.

Los resultados de la estrategia E4 para el corto y mediano plazo se presentan en la Figura 5-67.

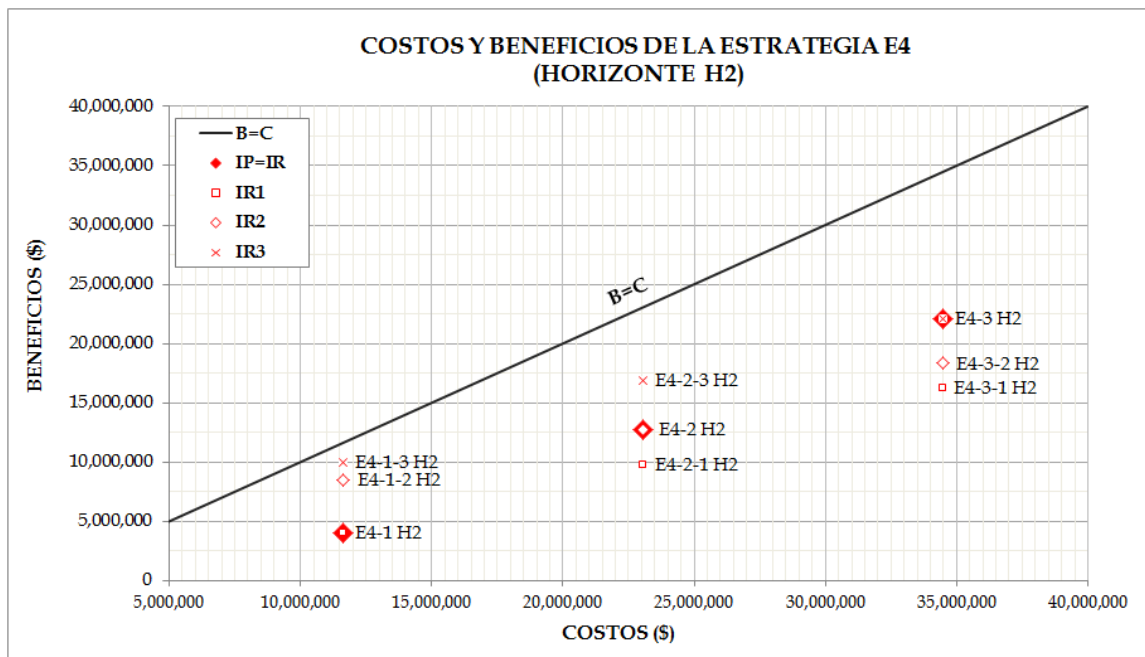
La estrategia E4 implica los mayores costos de implementación, que en promedio equivalen al 270% del costo de la estrategia E2. De acuerdo a los resultados presentados en la Tabla 5-18, los costos no se modifican sustancialmente a mediano plazo y largo plazo, debido a que la mayor proporción (costo de los tanques de almacenamiento) se invierte a corto plazo.

Los beneficios de las estrategias E4 y E3 tienen el mismo orden de magnitud, los cuales equivalen en promedio al 40% y 50% de los beneficios de la estrategia E2 en el corto y mediano plazo respectivamente. Los beneficios son menores a los costos en todos los horizontes temporales, ubicándose debajo de la recta $B=C$. El costo comparativamente mayor de la estrategia E4 (determinada por los costos de los tanques de almacenamiento domiciliarios), reduce la relación B/C a valores menores a 1 en todos los horizontes temporales.

- Impacto previsto 1,10PE: los beneficios se incrementarían en promedio un 108% en el escenario de cambio climático 2 y un 146% en el escenario de cambio climático 3.
- Impacto previsto 1,20PE: se estiman reducciones máximas del 23% de los beneficios en el escenario de cambio climático 1, e incrementos máximos del 33% en el escenario de cambio climático 3.
- Impacto previsto 1,30PE: se estiman reducciones máximas del 26% de los beneficios en el escenario de cambio climático 1, y del 17% en el escenario de cambio climático 2.



a.- Corto plazo H1



b.- Mediano plazo H2

Figura 5-67.- Combinatoria de impactos de la estrategia E4.

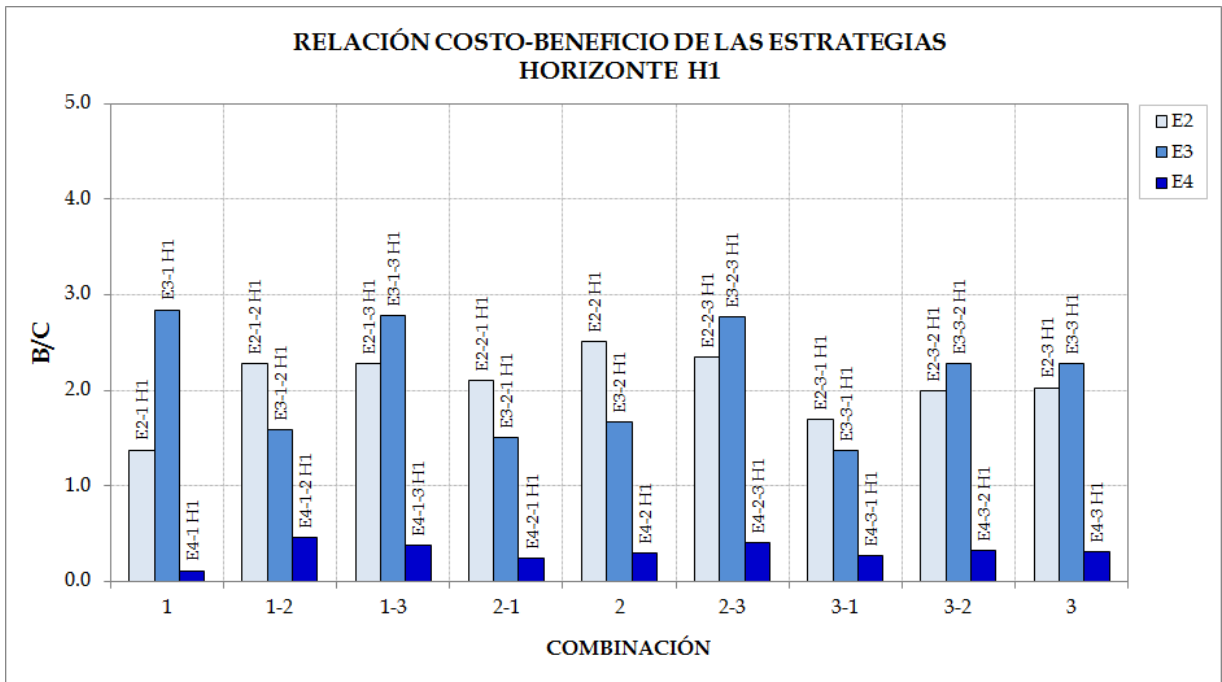
La variación de la relación B/C de las estrategias se resume en la Figura 5-68, que incluye las posibles combinaciones entre impacto previsto e impacto real.

En el corto plazo (H1) este indicador varía entre 1,4 y 2,5 para la estrategia E2 y entre 1,4 y 2,8 para la estrategia E3, mientras que la estrategia E4 presenta relaciones comprendidas entre 0,10 y 0,50.

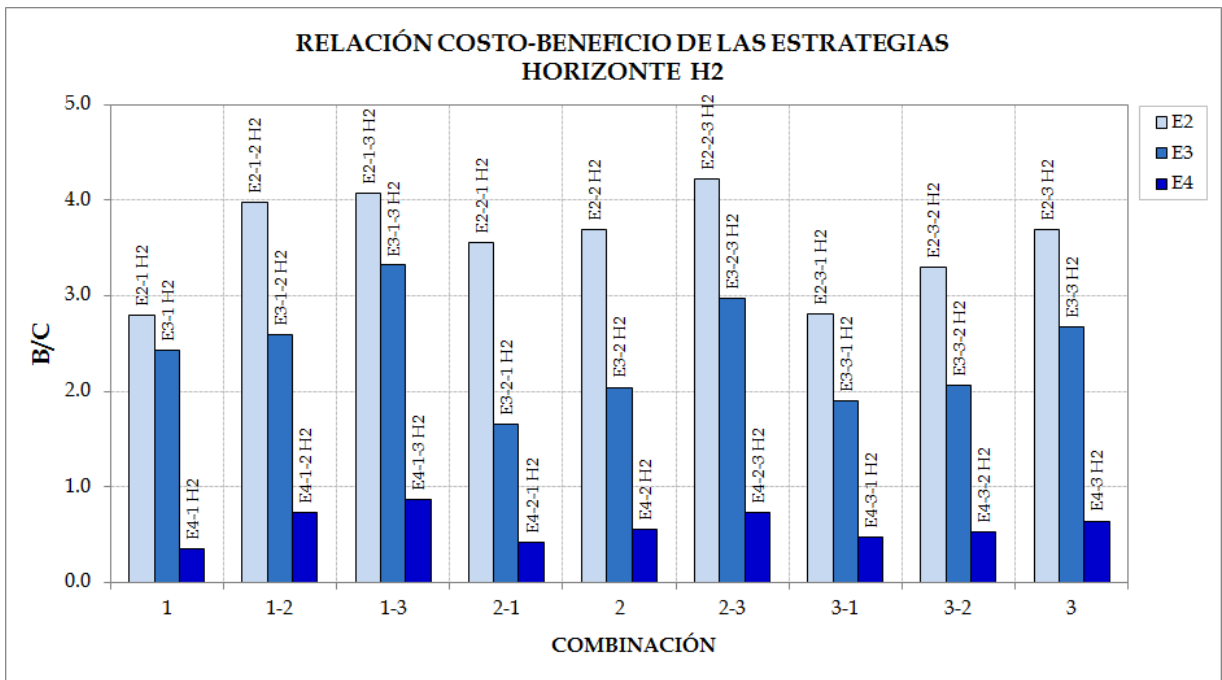
A mediano plazo (H2) la relación B/C de la estrategia E2 se incrementa a valores comprendidos entre 2,8 y 4,2 para la estrategia E2, entre 1,7 y 3,3 para la estrategia E3 y entre 0,30 y 0,90 en el caso de la estrategia E4.

Tabla 5-19.- Relación costo - beneficio de las estrategias

H1		H2		H3	
Combinación	B/C	Combinación	B/C	Combinación	B/C
E2-1 H1	1.4	E2-1 H2	2.8	E2-1 H3	3.6
E2-1-2 H1	2.3	E2-1-2 H2	4.0	E2-1-2 H3	4.8
E2-1-3 H1	2.3	E2-1-3 H2	4.1	E2-1-3 H3	5.0
E2-2-1 H1	2.1	E2-2-1 H2	3.6	E2-2-1 H3	4.2
E2-2 H1	2.5	E2-2 H2	3.7	E2-2 H3	4.5
E2-2-3 H1	2.4	E2-2-3 H2	4.2	E2-2-3 H3	5.2
E2-3-1 H1	1.7	E2-3-1 H2	2.8	E2-3-1 H3	3.3
E2-3-2 H1	2.0	E2-3-2 H2	3.3	E2-3-2 H3	4.0
E2-3 H1	2.0	E2-3 H2	3.7	E2-3 H3	4.6
E3-1 H1	2.8	E3-1 H2	2.4	E3-1 H3	2.7
E3-1-2 H1	1.6	E3-1-2 H2	2.6	E3-1-2 H3	2.9
E3-1-3 H1	2.8	E3-1-3 H2	3.3	E3-1-3 H3	3.6
E3-2-1 H1	1.5	E3-2-1 H2	1.7	E3-2-1 H3	2.3
E3-2 H1	1.7	E3-2 H2	2.0	E3-2 H3	2.8
E3-2-3 H1	2.8	E3-2-3 H2	3.0	E3-2-3 H3	3.8
E3-3-1 H1	1.4	E3-3-1 H2	1.9	E3-3-1 H3	2.3
E3-3-2 H1	2.3	E3-3-2 H2	2.1	E3-3-2 H3	2.7
E3-3 H1	2.3	E3-3 H2	2.7	E3-3 H3	3.4
E4-1 H1	0.1	E4-1 H2	0.3	E4-1 H3	0.5
E4-1-2 H1	0.5	E4-1-2 H2	0.7	E4-1-2 H3	0.9
E4-1-3 H1	0.4	E4-1-3 H2	0.9	E4-1-3 H3	1.0
E4-2-1 H1	0.2	E4-2-1 H2	0.4	E4-2-1 H3	0.5
E4-2 H1	0.3	E4-2 H2	0.6	E4-2 H3	0.7
E4-2-3 H1	0.4	E4-2-3 H2	0.7	E4-2-3 H3	0.9
E4-3-1 H1	0.3	E4-3-1 H2	0.5	E4-3-1 H3	0.6
E4-3-2 H1	0.3	E4-3-2 H2	0.5	E4-3-2 H3	0.7
E4-3 H1	0.3	E4-3 H2	0.6	E4-3 H3	0.8



a.- Corto plazo H1



b.- Mediano plazo H2

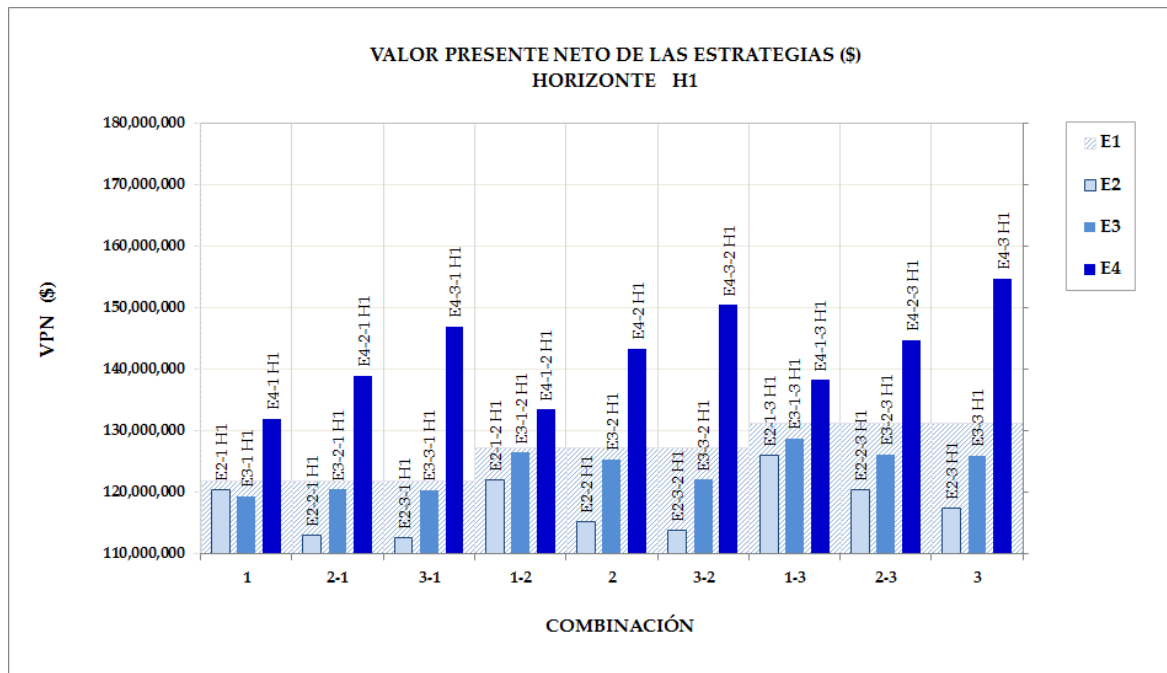
Figura 5-68.- Comparación de las relaciones B/C de las estrategias.

5.6.3. Valor Presente Neto

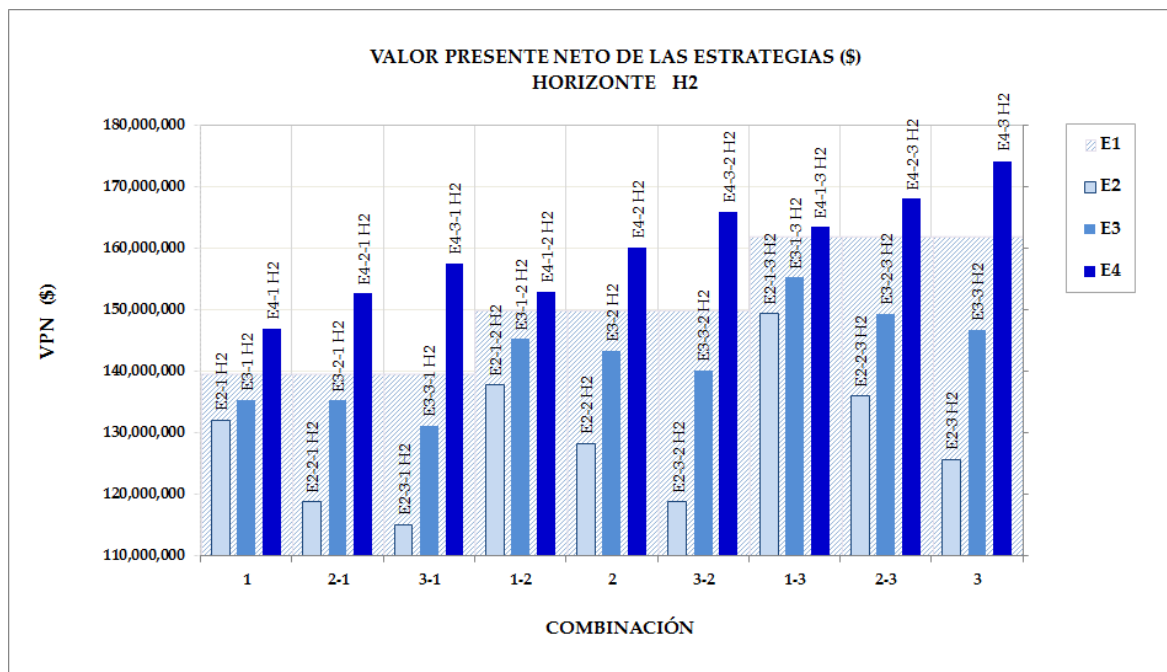
En la Tabla 5-20 se indica el Valor Presente Neto de las estrategias de las posibles combinaciones entre impacto previsto e impacto real en el corto, mediano y largo plazo. Los resultados correspondientes al corto y mediano plazo se representan en la Figura 5-69 a, y Figura 5-69 b respectivamente.

Tabla 5-20.- Valor presente neto de las estrategias

Estrategia	H1		H2		H3	
	Combinación	VPN (\$)	Combinación	VPN (\$)	Combinación	VPN (\$)
E1	E1-1 H1	121.877.504	E1-1 H2	139.335.131	E1-1 H3	148.317.969
	E1-2-1 H1	121.877.504	E1-2-1 H2	139.335.131	E1-2-1 H3	148.317.969
	E1-3-1 H1	121.877.504	E1-3-1 H2	139.335.131	E1-3-1 H3	148.317.969
	E1-1-2 H1	127.241.719	E1-1-2 H2	149.775.589	E1-1-2 H3	163.455.259
	E1-2 H1	127.241.719	E1-2 H2	149.775.589	E1-2 H3	163.455.259
	E1-3-2 H1	127.241.719	E1-3-2 H2	149.775.589	E1-3-2 H3	163.455.259
	E1-1-3 H1	131.171.845	E1-1-3 H2	161.770.599	E1-1-3 H3	180.486.764
	E1-2-3 H1	131.171.845	E1-2-3 H2	161.770.599	E1-2-3 H3	180.486.764
	E1-3 H1	131.171.845	E1-3 H2	161.770.599	E1-3 H3	180.486.764
E2	E2-1 H1	120.375.795	E2-1 H2	132.088.568	E2-1 H3	137.892.271
	E2-2-1 H1	113.062.021	E2-2-1 H2	118.863.665	E2-2-1 H3	122.341.299
	E2-3-1 H1	112.611.699	E2-3-1 H2	115.117.483	E2-3-1 H3	117.023.404
	E2-1-2 H1	122.048.858	E2-1-2 H2	137.722.686	E2-1-2 H3	148.058.690
	E2-2 H1	115.188.429	E2-2 H2	128.250.950	E2-2 H3	135.257.711
	E2-3-2 H1	113.870.561	E2-3-2 H2	118.867.565	E2-3-2 H3	122.705.941
	E2-1-3 H1	125.987.557	E2-1-3 H2	149.304.773	E2-1-3 H3	164.155.663
	E2-2-3 H1	120.344.768	E2-2-3 H2	135.973.898	E2-2-3 H3	146.862.723
	E2-3 H1	117.406.661	E2-3 H2	125.643.307	E2-3 H3	132.208.540
E3	E3-1 H1	119.348.583	E3-1 H2	135.289.934	E3-1 H3	141.937.035
	E3-2-1 H1	120.426.876	E3-2-1 H2	135.209.439	E3-2-1 H3	139.342.836
	E3-3-1 H1	120.375.795	E3-3-1 H2	131.193.760	E3-3-1 H3	134.806.945
	E3-1-2 H1	126.441.077	E3-1-2 H2	145.248.863	E3-1-2 H3	156.428.266
	E3-2 H1	125.361.868	E3-2 H2	143.269.188	E3-2 H3	150.931.712
	E3-3-2 H1	122.048.858	E3-3-2 H2	140.127.699	E3-3-2 H3	145.673.340
	E3-1-3 H1	128.724.350	E3-1-3 H2	155.188.240	E3-1-3 H3	170.882.528
	E3-2-3 H1	126.145.943	E3-2-3 H2	149.360.629	E3-2-3 H3	160.905.216
	E3-3 H1	125.987.557	E3-3 H2	146.633.008	E3-3 H3	154.905.505
E4	E4-1 H1	132.000.135	E4-1 H2	146.898.497	E4-1 H3	154.631.847
	E4-2-1 H1	138.987.204	E4-2-1 H2	152.640.748	E4-2-1 H3	159.381.750
	E4-3-1 H1	146.905.481	E4-3-1 H2	157.549.173	E4-3-1 H3	163.618.484
	E4-1-2 H1	133.451.275	E4-1-2 H2	152.962.595	E4-1-2 H3	164.082.154
	E4-2 H1	143.271.641	E4-2 H2	160.141.122	E4-2 H3	170.396.276
	E4-3-2 H1	150.419.488	E4-3-2 H2	165.929.957	E4-3-2 H3	174.612.898
	E4-1-3 H1	138.279.296	E4-1-3 H2	163.390.880	E4-1-3 H3	180.039.248
	E4-2-3 H1	144.737.557	E4-2-3 H2	167.955.417	E4-2-3 H3	182.263.409
	E4-3 H1	154.726.340	E4-3 H2	174.137.032	E4-3 H3	186.952.129



a.- Corto plazo H1



b.- Mediano plazo H2

Figura 5-69.- Valor presente neto de las estrategias

Como ha sido mencionado, el VPN representa el costo total que el tomador de decisión asume en caso de adoptar una estrategia en particular, el cual incluye la inversión en la construcción de la red y los gastos en concepto de reparación de daños. Como consecuencia, las estrategias que tienen el mejor desempeño económico son aquellas que presentan menores valores del VPN.

A partir de los resultados indicados en la Figura 5-69, puede observarse que todas las combinaciones entre impacto previsto e impacto real de las estrategias E2 y E3 generan una reducción del VPN con respecto a la estrategia de no acción E1. Como consecuencia del elevado costo de provisión y colocación de tanques de almacenamiento, el mayor VPN corresponde a la estrategia E4, que supera el costo total de la estrategia E1.

Para cuantificar la magnitud de la variación del costo total de cada combinación se expresaron las diferencias porcentuales del VPN de cada estrategia con respecto a la estrategia de no acción.

Como fue mencionado, las redes subdimensionadas experimentan un incremento de los beneficios. En escenarios de cambio climático de mayor magnitud que el asumido en el proyecto de la red, esta condición implica un aumento de la diferencia del VPN con respecto al escenario de no acción, mientras que en el caso de sobredimensionamiento de la red esta diferencia se reduce.

La Figura 5-70 representa la variación porcentual del VPN de la estrategia E2 a corto y mediano plazo, cuyos resultados se resumen en la Tabla 5-21, donde se observan los siguientes rangos de reducción del VPN (costo total de la estrategia) para las posibles combinaciones entre impacto previsto e impacto real:

- Escenario de cambio climático 1: 1% a 8%
- Escenario de cambio climático 2: 7% a 16%
- Escenario de cambio climático 3: 7% a 22%

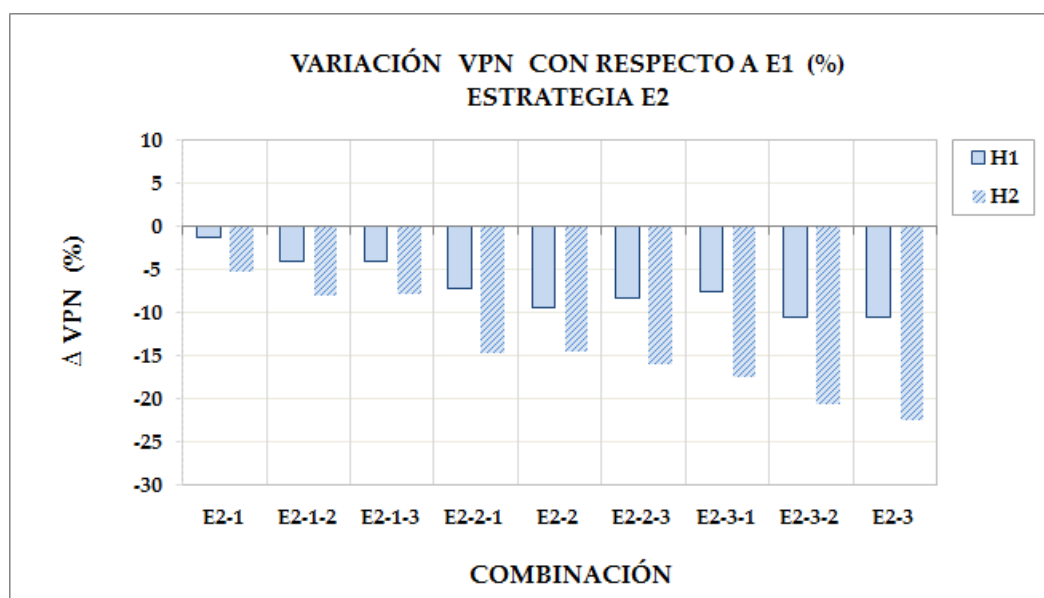


Figura 5-70.- Variación del VPN (%) de la estrategia E2.

Tabla 5-21.- Variación VPN (%) con respecto al escenario de no acción-Estrategia E2

H1		H2		H3	
Combinación	Δ VPN (%)	Combinación	Δ VPN (%)	Combinación	Δ VPN (%)
E2-1 H1	-1.2	E2-1 H2	-5.2	E2-1 H3	-7.0
E2-1-2 H1	-4.1	E2-1-2 H2	-8.0	E2-1-2 H3	-9.4
E2-1-3 H1	-4.0	E2-1-3 H2	-7.7	E2-1-3 H3	-9.0
E2-2-1 H1	-7.2	E2-2-1 H2	-14.7	E2-2-1 H3	-17.5
E2-2 H1	-9.5	E2-2 H2	-14.4	E2-2 H3	-17.3
E2-2-3 H1	-8.3	E2-2-3 H2	-15.9	E2-2-3 H3	-18.6
E2-3-1 H1	-7.6	E2-3-1 H2	-17.4	E2-3-1 H3	-21.1
E2-3-2 H1	-10.5	E2-3-2 H2	-20.6	E2-3-2 H3	-24.9
E2-3 H1	-10.5	E2-3 H2	-22.3	E2-3 H3	-26.7

La variación porcentual del VPN de la estrategia E3 con respecto a la estrategia de no acción, a corto y mediano plazo se representa en la Figura 5-71. A partir de estos resultados, que se resumen en la Tabla 5-22, se observan los siguientes rangos de reducción del VPN (costo total de la estrategia) para las posibles combinaciones entre impacto previsto e impacto real:

- Escenario de cambio climático 1: 2% a 6%
- Escenario de cambio climático 2: 1% a 6%
- Escenario de cambio climático 3: 2% a 9%

Comparando los resultados de las estrategias E2 y E3, se observa que como consecuencia de la mayor reducción de los daños por inundación E2 presenta VPN menores que E3, aún en los casos de redes sobre y subdimensionadas.

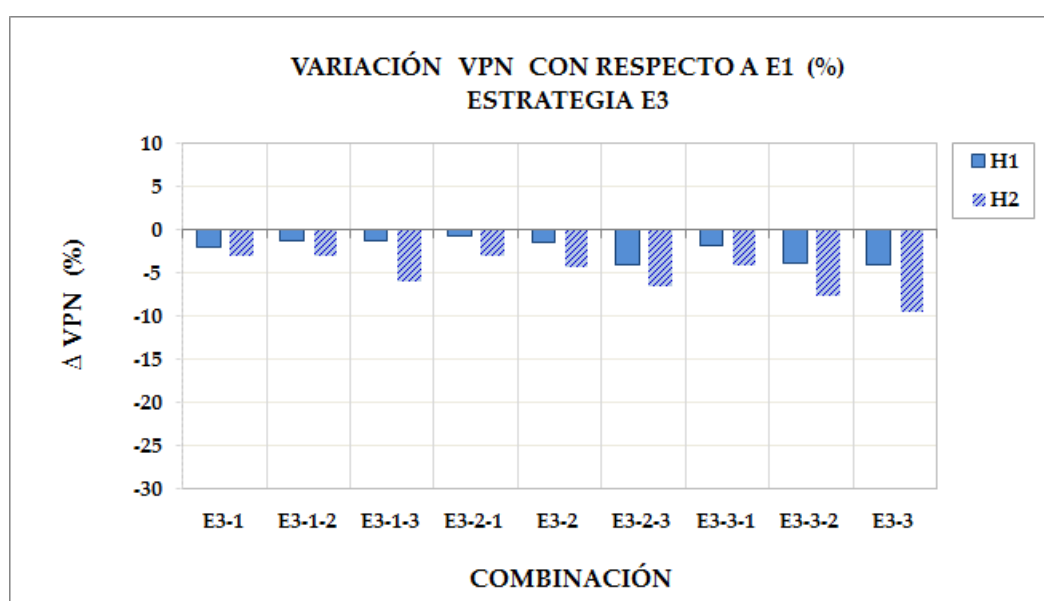


Figura 5-71.- Variación del VPN (%) de la estrategia E3.

Tabla 5-22.- Variación VPN (%) con respecto al escenario de no acción-Estrategia E3

H1		H2		H3	
Combinación	Δ VPN (%)	Combinación	Δ VPN (%)	Combinación	Δ VPN (%)
E3-1 H1	-2.1	E3-1 H2	-2.9	E3-1 H3	-4.3
E3-2-1 H1	-1.2	E3-2-1 H2	-3.0	E3-2-1 H3	-6.1
E3-3-1 H1	-1.2	E3-3-1 H2	-5.8	E3-3-1 H3	-9.1
E3-1-2 H1	-0.6	E3-1-2 H2	-3.0	E3-1-2 H3	-4.3
E3-2 H1	-1.5	E3-2 H2	-4.3	E3-2 H3	-7.7
E3-3-2 H1	-4.1	E3-3-2 H2	-6.4	E3-3-2 H3	-10.9
E3-1-3 H1	-1.9	E3-1-3 H2	-4.1	E3-1-3 H3	-5.3
E3-2-3 H1	-3.8	E3-2-3 H2	-7.7	E3-2-3 H3	-10.8
E3-3 H1	-4.0	E3-3 H2	-9.4	E3-3 H3	-14.2

Los resultados de la estrategia E4 se resumen en la Figura 5-72 y Tabla 5-23. Puede observarse que la implementación de la estrategia E4 determinaría incrementos del valor presente neto con respecto a la estrategia de no acción para todas las combinaciones entre impacto previsto e impacto real. Este incremento, originado por el elevado costo de colocación de los tanques domiciliarios está comprendido en el siguiente rango:

- Escenario de cambio climático 1: 5% a 21%
- Escenario de cambio climático 2: 2% a 18%
- Escenario de cambio climático 3: 1% a 18%

De acuerdo a estos resultados, la estrategia E4 requeriría análisis más detallados de la distribución espacial de los dispositivos de control en la fuente. Resulta necesario concentrar estos dispositivos en las áreas de mayor incidencia en el daño total, dado que su aplicación a escala de cuenca incrementa el costo de construcción sin una reducción significativa de los daños.

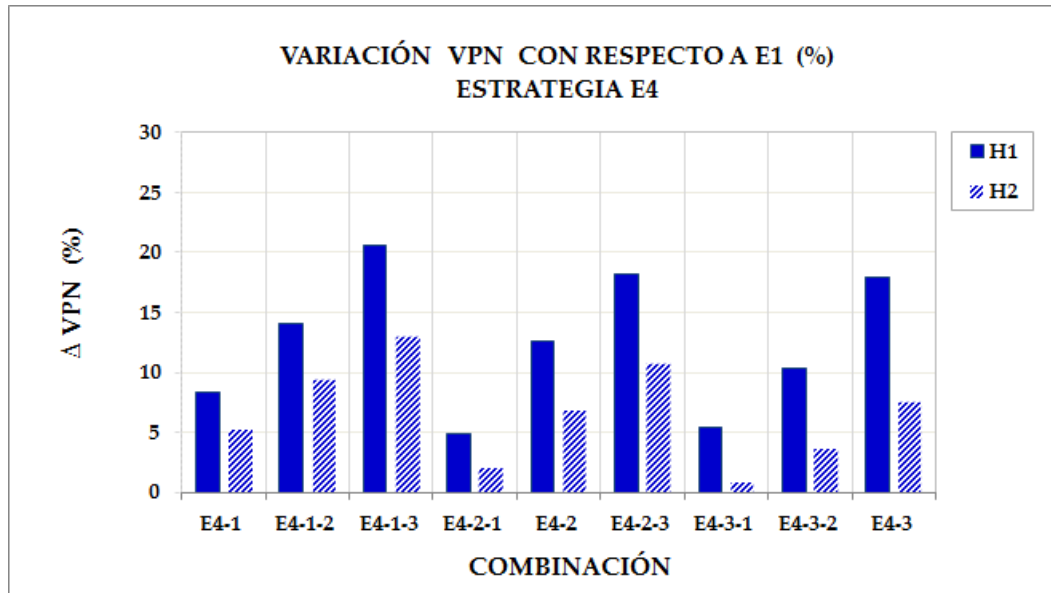


Figura 5-72.- Variación del VPN (%) de la estrategia E4.

Tabla 5-23.- Variación VPN (%) con respecto al escenario de no acción-Estrategia E4

H1		H2		H3	
Combinación	Δ VPN (%)	Combinación	Δ VPN (%)	Combinación	Δ VPN (%)
E4-1 H1	8.3	E4-1 H2	5.4	E4-1 H3	4.3
E4-2-1 H1	14.0	E4-2-1 H2	9.5	E4-2-1 H3	7.5
E4-3-1 H1	20.5	E4-3-1 H2	13.1	E4-3-1 H3	10.3
E4-1-2 H1	4.9	E4-1-2 H2	2.1	E4-1-2 H3	0.4
E4-2 H1	12.6	E4-2 H2	6.9	E4-2 H3	4.2
E4-3-2 H1	18.2	E4-3-2 H2	10.8	E4-3-2 H3	6.8
E4-1-3 H1	5.4	E4-1-3 H2	1.0	E4-1-3 H3	-0.2
E4-2-3 H1	10.3	E4-2-3 H2	3.8	E4-2-3 H3	1.0
E4-3 H1	18.0	E4-3 H2	7.6	E4-3 H3	3.6

5.7. Comparación del desempeño de las estrategias

Los beneficios de cada estrategia se incrementan a medida que aumenta el escenario de cambio climático. Es decir que los casos de impacto previsto mayor al impacto real (redes subdimensionadas) generan beneficios superiores a los correspondientes a las condiciones de proyecto. A la inversa, en el caso de que el impacto real sea menor al previsto (redes sobredimensionadas) se genera una reducción de los beneficios, determinada principalmente por la menor magnitud de los daños de la estrategia de no acción.

El rango de variación de la relación costo beneficio y los correspondientes incrementos porcentuales del VPD con respecto a la estrategia de no acción se resumen en la Figura 5-73 y Figura 5-74 respectivamente.

Tanto a corto como a mediano plazo, los beneficios de las estrategias E2 y E3 son superiores a sus costos de implementación. Es decir que el incremento en el costo de construcción de la red es compensado con los beneficios, incluso en el corto plazo. Como consecuencia, todas las combinaciones de ambas estrategias arrojan relaciones B/C mayores a 1.

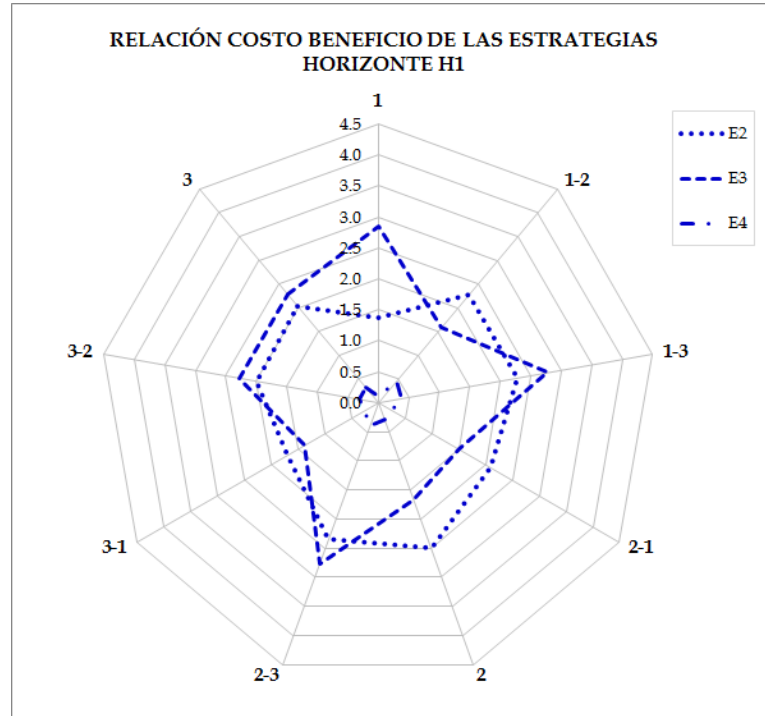
A su vez, en el caso de las estrategias E2 y E3, todas las combinaciones entre impacto previsto e impacto real presentan una reducción del VPN con respecto a la estrategia de no acción E1. Es decir que si bien se incrementa la inversión necesaria para la construcción de las redes, la reducción de los gastos en reparación de daños determina un costo total menor.

Comparando los resultados de las estrategias E2 y E3, se observa que:

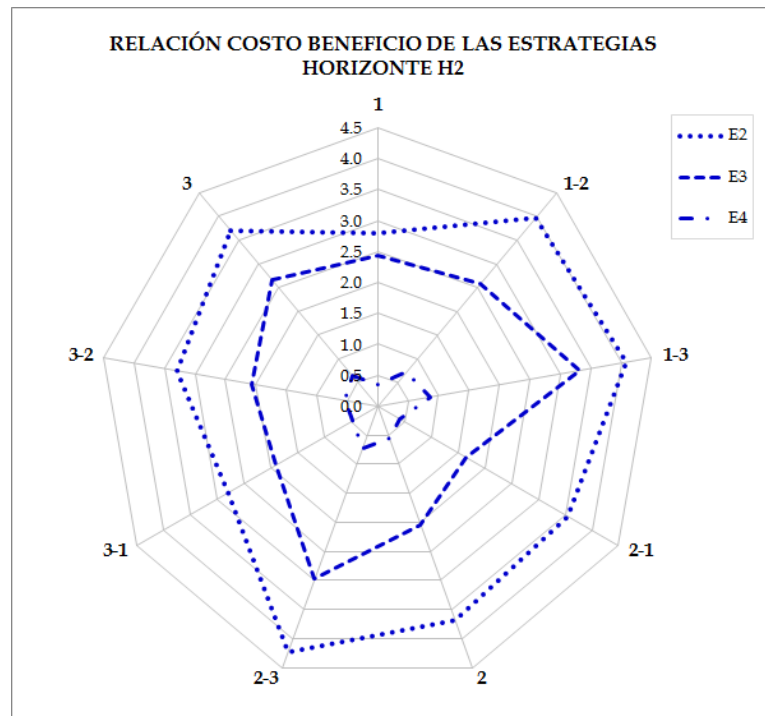
- Los beneficios de la estrategia E3 son inferiores a los de la estrategia E2: los mismos equivalen al 40% y 50% de los beneficios de la estrategia E2, a corto y mediano plazo respectivamente.
- Los costos de implementación de la estrategia E3 son inferiores a los de la estrategia E2: en promedio equivalen a un 33% del costo de implementación de la estrategia E2 en el corto plazo y a un 72% en el mediano plazo.
- E2 presenta mejores relaciones B/C y menores VPN que la estrategia E3, como consecuencia de la mayor reducción de los daños por inundación.
- Si bien para E3 los beneficios son menores, esta estrategia tiene el mínimo costo de implementación y cubre los requisitos de flexibilidad, que permite controlar el incremento de precipitaciones a corto plazo, y puede ser ampliada en el futuro en función de la evolución del cambio climático. Es decir, que aunque los indicadores económicos reflejan un desempeño más bajo, esta estrategia permitiría al tomador de decisiones posponer algunas decisiones de inversión hasta el futuro, cuando es posible que el panorama de impactos sea más claro.

Debido al elevado costo de provisión y colocación de tanques de almacenamiento, los beneficios de la estrategia E4 no son suficientes para compensar sus costos de implementación. Como consecuencia, tanto a corto como mediano plazo, esta estrategia presenta relaciones costo beneficio menores a 1.

El Valor Presente Neto de todas las combinaciones de la estrategia E4 se incrementa con respecto a la estrategia E1. Es decir que implementar esta estrategia generaría un aumento del costo total con respecto al escenario de no acción, variable entre 5 y 20% en el corto plazo, y entre 1% y 13% en el mediano plazo.

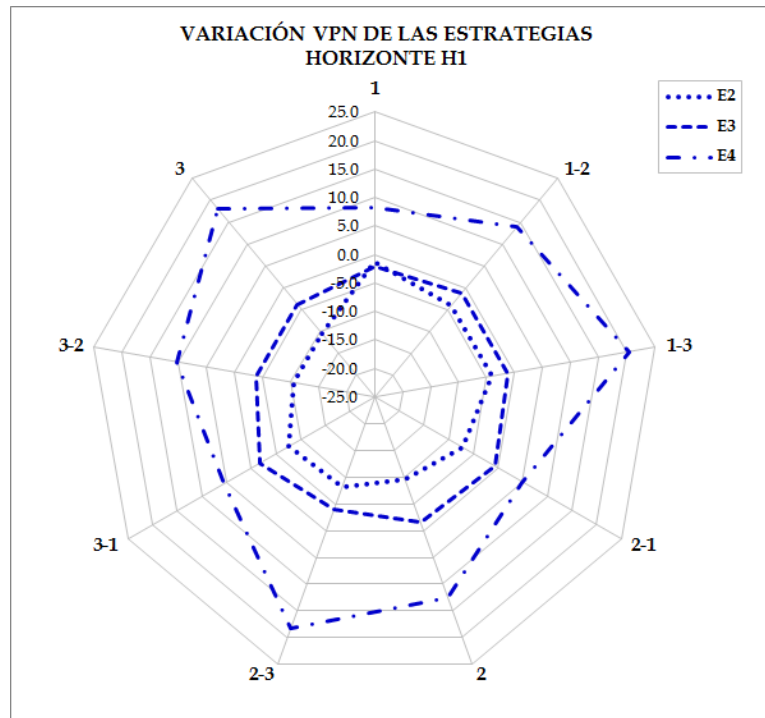


a.- Corto plazo H1

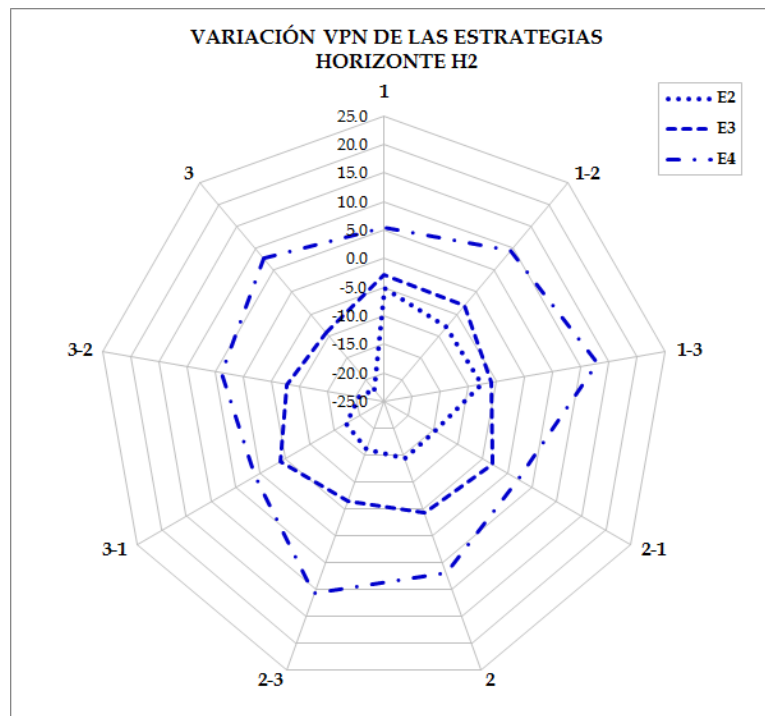


b.- Mediano plazo H2

Figura 5-73.- Relación costo beneficio de las estrategias



a.- Corto plazo H1



b.- Mediano plazo H2

Figura 5-74.- Variación del VPN de las estrategias (%)

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El presente trabajo es un aporte al proceso de toma de decisiones para incorporar la incerteza del cambio climático en la gestión del drenaje urbano, como medida de adaptación a los impactos del cambio climático. El desarrollo del trabajo se ha basado en estimar el impacto potencial de escenarios hipotéticos de incremento de las precipitaciones máximas sobre redes de drenaje, existentes o proyectadas de una cuenca en la ciudad de Concordia, E.R. De acuerdo a los últimos datos reportados por la Tercera Comunicación para el Cambio Climático en la República Argentina (CIMA, 2015), los escenarios utilizados cubren el rango de precipitaciones máximas estimado por los modelos climáticos para este sector de la zona húmeda del país.

Fue analizado un conjunto de estrategias de planeamiento, básicamente de tipo estructural, para incorporar la incerteza del cambio climático a la gestión del drenaje de cuencas urbanas; el impacto económico fue cuantificado mediante análisis costo-beneficio del resultado de las diversas estrategias de planeamiento.

El incremento de la magnitud y frecuencia de las precipitaciones en escenarios de cambio climático causan un aumento de la severidad y la cantidad de fallas de los sistemas de drenaje urbano durante la vida útil de las obras, forzando los componentes del sistema de drenaje a trabajar bajo solicitaciones superiores a las asumidas en el proyecto de la red. A partir de los resultados de las simulaciones fueron identificados los principales impactos generados por el incremento de las precipitaciones sobre una red de drenaje proyectada asumiendo estacionariedad de las series hidrológicas. En función de la estimación de los impactos físicos generados por el incremento de las precipitaciones, el trabajo se orientó a la definición de un conjunto de estrategias de planeamiento y al análisis económico de las mismas, para explorar diferentes formas de incorporar la incerteza del cambio climático a la gestión del drenaje de cuencas urbanas.

6.1. Conclusiones

En este trabajo se consideraron estrategias de tipo estructural, proponiendo cuatro alternativas específicas de adaptación al cambio climático: estrategia de no acción (E1), estrategia de dimensionamiento para incrementos máximos al final del horizonte de planeamiento (E2), adaptación gradual de la red (E3), y alternativa mixta con incorporación de medidas de control en la fuente (E4).

La estrategia de no acción E1 representa un caso extremo, donde el cambio climático es ignorado. Debido a que, en teoría, las dimensiones de la red permanecen constantes durante todo el período de análisis, esta estrategia no tiene flexibilidad para adaptarse a incrementos variables de las precipitaciones. Por lo tanto la magnitud de los daños varía en relación directa con el aumento de las precipitaciones en cada escenario de cambio climático, incrementándose los problemas de anegamiento y daños asociados a medida que aumenta la precipitación.

En el caso de la estrategia E2, como las dimensiones de las obras de drenaje se proyectan para el máximo incremento de precipitación previsto en cada escenario de cambio climático, esta estrategia tiene mayores costos de construcción de la red de drenaje, pero genera la máxima reducción de daños, lo que resulta en una ecuación económica muy favorable.

La implementación de la estrategia E3 implica la adaptación gradual de la red a los incrementos estimados en cada escenario. Esta estrategia también determina una reducción de los daños en todos los horizontes temporales, aunque de menor magnitud que la correspondiente a la estrategia E2. La respuesta del sistema (magnitud del tirante y daño asociado) no varía linealmente con el incremento del escenario de cambio climático. La reducción de los daños se encuentra influenciada por la capacidad ociosa de los conductos, y por las propiedades geométricas e hidráulicas de la calle tipo, secciones del cauce principal y almacenamiento de los reservorios. La ecuación económica es favorable, pero inferior a E2.

La implementación de la estrategia E4 en cierta manera combina los criterios de diseño de las estrategias E1 y E3, dado que la red de microdrenaje se proyecta para la precipitación estacionaria y el macrodrenaje se adapta gradualmente al incremento de las precipitaciones. A su vez incorpora medidas de control en la fuente a escala de cuenca, (tanques de almacenamiento domiciliarios). Esta estrategia presenta beneficios del mismo orden de magnitud que E3 en el caso de escenarios de cambio climático moderado y elevado tanto a corto como a mediano plazo. Sin embargo, la estrategia E4 implica los mayores costos de implementación. Cabe destacar que esta estrategia es altamente dependiente de los dispositivos de control adoptados y de la distribución de los mismos, por lo que otras versiones de esta estrategia podrían generar resultados diferentes.

Con respecto al funcionamiento de las redes en escenarios de impacto real diferente al impacto previsto en el proyecto, el desempeño de las estrategias E2 y E3 es similar: en el caso de las redes sobredimensionadas (impacto real menor al previsto) se genera una reducción de los beneficios, determinada principalmente por la menor magnitud de los daños de la estrategia de no acción. En el caso de redes subdimensionadas, que funcionan en escenarios de cambio climático de mayor magnitud a los asumidos en el proyecto de la red (impacto real menor al impacto previsto), se generan beneficios superiores a los correspondientes a las condiciones de proyecto.

En los casos de sobre y subdimensionamiento no se modifica la tendencia general de las estrategias. Comparando los resultados de las estrategias E2 y E3, se observa que aún en los casos de redes sobre y subdimensionadas, E2 presenta menores VPN y mejores relaciones B/C que la estrategia E3, como consecuencia de la mayor reducción de los daños por inundación.

De acuerdo a los resultados de la evaluación económica, la implementación de la estrategia E4 requeriría concentrar los tanques de almacenamiento en las áreas de mayor incidencia en el daño total, dado que su aplicación a escala de cuenca incrementa el costo de construcción sin una reducción significativa de los daños, lo cual reduce el desempeño económico de la estrategia, en particular en los casos de sobredimensionamiento de la red.

En los análisis de largo plazo (H3, 2013-2103), el valor de daños evitados aumenta “vegetativamente” generando cierta distorsión de los resultados. Este aumento a su vez toma como base la rigidez de las estrategias. En este sentido, la estrategia E2 (en particular la E2-3) es la de mayor rigidez, debido a que en el año inicial contempla la construcción de una red para el escenario más desfavorable.

El supuesto de rigidez de las estrategias a lo largo del horizonte de planeamiento 2013-2103 no parece muy realista, dado que siempre es posible modificar la estrategia adoptada; por este motivo, parece más interesante focalizar los análisis en los horizontes

H1 y H2. Por otro lado, no es raro en Argentina que la infraestructura exceda ampliamente su vida útil por falta de renovación; actualmente existen diversos sistemas de desagües, agua potable y cloacas con alrededor de 100 años, claramente obsoletos. Eso da validez al uso del horizonte H3.

Si bien para E3 los beneficios son menores, esta estrategia tiene el mínimo costo de implementación. Además por tratarse de una estrategia flexible, permite controlar el incremento de precipitaciones a corto plazo, a niveles similares y con un costo menor que E2, pero puede ser ampliada en el futuro en función de la evolución del cambio climático. Es decir, que aunque los indicadores económicos reflejan un desempeño más bajo, esta estrategia permitiría al tomador de decisiones posponer algunas decisiones de inversión hasta el futuro, cuando es posible que el panorama de impactos sea más claro.

A su vez, los costos de implementación de ambas estrategias en los escenarios de cambio climático analizados no superan el 15 % del costo de construcción de la red para la precipitación estacionaria. Ya en el corto plazo ese incremento en el costo es compensado con la disminución de los daños (beneficios) para ambas estrategias (E2 y E3).

Por lo tanto la selección de estrategias en el proceso de toma de decisiones involucrará una serie de aspectos que trascienden el objetivo del análisis costo beneficio clásico. Los criterios de selección dependerán de la aversión al riesgo del tomador de decisiones, tanto en sobreinvertir en protección climática y perder la oportunidad de utilizar los fondos para otros fines, como en la factibilidad de desarrollar los programas de renovación periódica de las redes.

Un aspecto interesante a destacar es que los resultados de este trabajo también son, al menos parcialmente, aplicables a las incertezas generales relacionadas a la lluvia, que van más allá de las originadas por el cambio climático, y ya se encuentran en condiciones de afectar los proyectos. Por ejemplo la utilización de series de lluvias muy cortas y poco representativas, o la variabilidad climática.

6.2. Recomendaciones

En este trabajo se utilizaron las relaciones adimensionales tirante-daño FLEMOps(+) (Thieken, 2008), que cuantifica el valor de los daños como un porcentaje del valor de las edificaciones. Para la aplicación de esta metodología se consideró una distribución uniforme del valor de las propiedades en el área de la cuenca. Análisis futuros más profundos deberían incorporar la variación espacial del costo de las propiedades y desarrollar una mejor adaptación de las curvas tirante-daño a las condiciones locales.

En la metodología propuesta se han considerado solo algunas estrategias de tipo estructural. Las líneas futuras de investigación deberían incorporar las estrategias de planeamiento no estructurales, en particular en lo referente al manejo de las planicies de inundación del macrodrenaje.

Otra de las cuestiones que se desprenden del trabajo es la necesidad de preparar adecuadamente las calles como vías de escurrimiento, en particular para tormentas más críticas que la de proyecto. Ese escurrimiento ya ocurre en las circunstancias actuales, y la incerteza adicional introducida por el cambio climático acentúa la necesidad de que esté adecuadamente previsto

Por otro lado, un análisis robusto, que maximizara no solo las alternativas incluidas en este estudio sino que abarcara todo (o casi) el espectro de alternativas y estrategias sería muy interesante. Eso permitiría tener una visión amplia y extensa del panorama general. Por el volumen de trabajo que eso implica, estaba fuera del alcance de este trabajo. Para un análisis de ese tipo tal vez sería necesario un mayor grado de simplificación en el tratamiento del problema.

Sería conveniente un análisis más detallado de las métricas y criterios utilizados para evaluar y comparar estrategias, la justificativa y consecuencias de cada una. Por ejemplo, por qué B/C o VPN, y no costo mínimo y flexibilidad? Por otro lado, tanto el mayor costo que implican algunas de las estrategias como el aumento o disminución de los daños hace aparecer la cuestión de asignación de recursos. Eso no ha sido tratado en este trabajo, pero debería ser contemplado en análisis futuros.

Por cuestiones prácticas, este trabajo solamente ha analizado estrategias de adaptación de tipo estructural. Cabe destacar que eso no significa una opción por ese tipo de medidas. Un adecuado planeamiento del uso de la tierra, evitando la excesiva impermeabilización, y la preservación de los cursos de agua en condiciones cuasi naturales deben ser medidas prioritarias siempre que posible.

7. BIBLIOGRAFÍA

AASHTO, 1993. "*Guide for Design of Pavement Structures*". Washington, D.C. USA: American Association of State Highway and Transportation Officials.

Aldred, J., 2009. "*Ethics and climate change cost-benefit analysis: Stern and after*" *New Political Economy*, Vol. 14, No. 4. Cambridge: University of Cambridge, Department of Land Economics.

Allasia, D., 2002. "*Impacto das Incertezas no Custo de uma Rede de Macrodrenagem*". Porto Alegre, Brasil: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Pesquisas Hidráulicas.

Arcement, G.J. & Schneider, V.R., 1989. "*Guide for Selecting Manning's Roughness Coefficients for Natural Channels and Flood Plains*". U.S. GEOLOGICAL SURVEY WATER-SUPPLY, PAPER 2339.

Argüelles, L. & Velasco, M., 2012. "*Prepared Enabling Change Project - Appendix B: Discussion on the applicability of top-down and bottom-up approaches*". European Commission.

Arisz, H. & Burrel, I.B., 2006. "*Urban Drainage Infrastructure Planning and Design considering Climate Change*". Ottawa, ON., Canadá: EIC Climate Change Technology.

ARMY, U.S., 2005. "*Sustainable Stormwater Storage Alternatives for Army*". Public Works Technical Bulletin 200-1-36.

ASCE, 1985. "*Stormwater Detention Outlet Control*". New York, USA: American Society of Civil Engineers-Task Comitee on the Design of Outlet Structures.

ASCE, 1994 a. "*Design and Construction of Sanitary and Storm Sewers*". New York, USA: American Society Of Civil Engineers-Task Comitee on the Design of Outlet Structures.

ASCE, 1994 b. *"Design and Construction of Urban Stormwater"*. New York, USA: Urban Water Resources Research Council.

Australian Government, 2013. *"Representative Concentration Pathways (RCPs)-Fact Sheet"*. Canberra, Australia: Department of the Environment.

Baptista, M., Nascimento, N. & Barraud, S., 2011. *"Técnicas Compensatórias em Drenagem Urbana"*. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH).

Barros, V.R. et al., 2014. *"Climate change in Argentina: trends, projections, impacts and adaptation"*. WIREs Clim Change 2014. doi: 10.1002/wcc.316. John Wiley & Sons, Ltd.

Barros, V., Clarke, R. & Silva Días, P., 2006. *"El Cambio Climático en la Cuenca del Plata"*. Buenos Aires, Argentina: Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas - CONICET.

Bizikova, L., Neale, T. & Burton, I., 2008. *"Canadian Communities Guidebook for Adaptation to Climate Change"*. Vancouver, Canadá: Environment Canada and University of British Columbia. First Edition.

Boardman, A. ., Greenberg, D. ., Vining, A. . & Weimer, D. ., 2010. *"Cost Benefit Analysis: Concepts and Practice"*. Prentice Hall.

Boardman, A. ., Greenberg, D. ., Vining, A. . & Weimer, D. ., 2010. *"Cost Benefit Analysis: Concepts and Practice"*. Prentice Hall.

Brent, R. ., 2006. *"Applied Cost-Benefit Analysis"*. Massachusetts, USA: Edward Elgar Publishing.

Brown, C., 2010. *"Decision-scaling for Robust Planning and Policy under Climate Uncertainty"*. World Resources Report. http://www.wri.org/sites/default/files/uploads/wrr_brown_uncertainty.pdf.

Brown, C., Werick, W., Leger, W. & Fay, D., 2011. *"A decision-analytic approach to managing climate risks: Application to the upper great lakes"*. Journal of the American Water Resources Association-Vol. 47, No. 3.

Cabré, M.F., Solman, S.A. & Nuñez, M.N., 2010. *"Creating regional climate change scenarios over southern South America for the 2020's and 2050's using the pattern scaling technique: validity and limitations"* In: *Climatic Change* (2010) 98:449–469. DOI 10.1007/s10584-009-9737-5. : Springer Science+Business Media.

Campbell, H. & Brown, R., 2003. *"Benefit-Cost Analysis: Financial and Economic Appraisal using Spreadsheets"*. Cambridge, MA, USA: Cambridge University Press.

CEPAL, N.U., 2014. *"La economía del cambio climático en la Argentina. Primera aproximación"*. Santiago de Chile: Naciones Unidas.

Chongfu, H., 1996. *"Fuzzy risk assessment of urban natural hazards"* *Fuzzy Sets and Systems Vol 83* Pág 271-282. Elsevier Science B.V.

CIMA, 2015. *"Cambio climático en Argentina; tendencias y proyecciones"* Tercera Comunicación Nacional Sobre Cambio Climático. Buenos Aires, Argentina.: Centro de

Investigaciones del Mar y la Atmósfera, Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación.

CIRIA, 2007. *"The SUDS Manual"*. Londres, UK: Construction Industry Research and Information Association.

Clements, M.P. & Hendry, D.F., 1999. *"Forecasting Non-stationary Economic Time Series"*. Cambridge, Massachusetts USA: The MIT Press.

Davis, P.K., 1943. *"Lessons from RAND'S work on planning under uncertainty for national security"*. Santa Monica, Arlington, Pittsburgh, USA: National Defense Research Institute.

Dessai, S. & Hulme, M., 2006. *"Assessing the robustness of adaptation decisions to climate change uncertainties: A case study on water resources management in the East of England"* In: *Global Environmental Change* 17 (59–72). Elsevier Ltd.

Dessai, S. & Wilby, R., 2011. *"How Can Developing Country Decision Makers Incorporate Uncertainty about Climate Risks into Existing Planning and Policymaking Processes?"* World Resources Report.

DWR, 2010. *California Department of Water Resources "Economic Analysis Guidelines Flood Risk Management"*. California, USA: The natural Resources Agency - State of California.

DWR, 2014. *California Department of Water Resources "Handbook for Assessing Value of State Flood Management Investments"*. California, USA: Department of Water Resources.

EEA, 2004. *"Impacts of Europe's changing climate. An indicator-based assessment"*. Copenhagen K, Denmark.: European Environment Agency.

El-Baroudy, I. & Simonovic, S., 2004. *"Fuzzy criteria for the evaluation of water resource systems performance"*. WATER RESOURCES RESEARCH, VOL. 40.

EPA, 2015. *"Storm Water Management Model User's Manual Version 5.1"*. Cincinnati, OH. USA.: United States Environmental Protection Agency - Office of Research and Development Water Supply and Water Resources Division.

Fankhauser, S., 1995. *"Valuing Climate Change: The Economics of the Greenhouse"*. London, UK: Earthscan.

Feenstra, J.F., Burton, I., Smith, J. & Tol, R., 1998. *"Handbook on Methods for Climate Change Impact Assessment and Adaptation Strategies"*. : United Nations Environment Programme (UNEP), Vrije Universiteit (Amsterdam), Institute for Environmental Studies.

FEMA, 2008. *Federal Emergency Management Agency "Flood-Resistant Materials Requirements for Buildings Located in Special Flood Hazard Areas"*. Washington, D.C. USA.

Galindo, L.M. & Samaniego, J.L., 2010. *"La economía del cambio climático en América Latina y el Caribe, algunos hechos estilizados"*.

Gersonius, B., Ashley, R., Pathirana, A. & Zevenbergen, C., 2013. *"Climate change uncertainty: building flexibility into water and flood risk infrastructure"*. *Climatic Change* 116:411–423.

Groves, D.G. et al., 2008. *RAND Technical Report: "Presenting Uncertainty about Climate Change to water-resource managers"*. Pittsburgh, PA: RAND Corporation.

Groves, D.G. & Lempert, R.J., 2007. "A new analytic method for finding policy-relevant scenarios" *Global Environmental Change* 17 73–85. Elsevier Ltd.

Hallegatte, S., 2009. "Strategies to adapt to an uncertain climate change". *Global Environmental Change* 19.

Hall, J. . et al., 2012. "Robust Climate Policies Under Uncertainty: A Comparison of Robust Decision Making and Info-Gap Methods". *Risk Analysis* 32, 1657 – 72.

Hanley, N. & Spash, C., 1995. "Cost-Benefit Analysis and the Environment". London, U.K., Massachusetts, USA: Edward Elgar Publishing.

Harris, J. & Roach, B., 2007. "The Economics of Global Climate Change". Medford, MA. USA: Global Development And Environment Institute, Tufts University.

Heal, G. & Millner, A., 2013. "Uncertainty and Decision Making in Climate Change Economics". Cambridge, MA, USA: National Bureau of Economic Research.

IIED, 2009. "Climate Change and the Urban Poor: Risk and Resilience in 15 of the World's Most Vulnerable Cities". International Institute for Environment and Development (IIED).

IPCC, 2001. *Climate Change 2001: Synthesis Report. A Contribution of Working Groups I, II, and III to the Third Assessment Report of the*. : Cambridge University Press.

IPCC, 2012. *Special Report of the intergovernmental Panel on Climate Change (SREX) "Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation"*. Cambridge, New York, Melbourne, Madrid, Cape Town, Singapore, São Paulo, Delhi, Tokyo, Mexico City: Cambridge University Press.

IPCC, 2013a. "Detection and Attribution of Climate Change: from Global to Regional". Cap. 10 en "The Physical Science Basis" Working Group I. United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press.

IPCC, 2013a. "Introduction. Cap.1 en: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change". Cambridge (UK), New York (USA): Cambridge University Press.

IPCC, 2013b. "Detection and Attribution of Climate Change: from Global to Regional. Cap. 10 en: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change". Cambridge (UK), New York (USA): Cambridge University Press.

IPCC, 2013c. *Technical Summary In: Climate Change "The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change"*. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press.

IPCC, 2013d. "Annex III: Glossary [Planton, S. (ed.)]". In: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the*

Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge (UK) and New York (USA): Cambridge University Press.

IPCC, 2014a. "*Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*". Cambridge, U.K; New York, NY, USA.: Cambridge University Press.

IPCC, 2014b. *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Geneva, Switzer.: Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (Eds.).

IPCC, 2014c. "*Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part B: Regional Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*". Cambridge (UK) and New York (USA): Cambridge University Press.

IPCC, 2014d. "*Resumen para responsables de políticas*" En: *Cambio climático 2014: Mitigación del cambio climático. Contribución del Grupo de trabajo III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*. Cambridge, U.K. y Nueva York, NY, USA: Cambridge University Press.

Jongman, H. et al., 2012. "*Comparative flood damage model assessment: towards a European approach*". *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 12, 3733–3752.

Karimi, I. & Hüllermeier, E., 2007. "*Risk assessment system of natural hazards: A new approach based on fuzzy probability*" *Fuzzy Sets and Systems Vol 158* Págs. 987 – 999. Elsevier B.V.

Keeney, R. . & Raiffa, H., 1993. "*Decisions with Multiple Objectives: Preferences and Value Trade-Offs*". Cambridge & New York, USA: Cambridge University Press.

Kharin, V. & Zwiers, F., 2007. "*Changes in Temperature and Precipitation Extremes in the IPCC Ensemble of Global Coupled Model Simulations*" In: *Journal of Climate Vol 20*. Pág. 1419–1444. American Meteorological Society.

Kharin, V., Zwiers, F., Zhang, X. & Wehner, M., 2013. "*Changes in temperature and precipitation extremes in the CMIP5 ensemble*" In *Climatic Change (2013) 119*: Pág. 345–357. Springer.

Kirshen, P. et al., 2014. "*Adapting Urban Infrastructure to Climate Change: A Drainage Case Study*". American Society of Civil Engineers.

Kirshen, P., Merrill, S., Slovinsky, P. & Richardson, N., 2012. "*Simplified method for scenario-based risk assessment adaptation planning in the coastal zone*" In *Climatic Change (2012) 113*: Pág. 919–931. Springer Science+Business Media.

Kundzewicz, Z.W., 1995. "*New Uncertainty Concepts in Hydrology And Water Resources*". New York: Cambridge University Press, International Hydrology Series.

Layard, R. & Glaister, S., 1994. "*Cost-Benefit Analysis*". Cambridge, MA, USA: Cambridge University Press.

Lempert, R. ., Groves, D. ., Popper, S. . & Bankes, S. ., 2006. "A General, Analytic Method for Generating Robust Strategies and Narrative Scenarios". Management Science Vol. 52, No. 4, 514-528.

Lempert, R.J., Popper, S.W. & Bankes, S.C., 2003. "New Methods for Quantitative, Long-Term Policy Analysis". Pittsburgh: RAND Corporation.

Lindholm, O. et al., 2008. "Guideline for climate adaptation for handling surface stormwater. Report 2008". : Norwegian Water Association.

Ludeña, C., Wilk, D. & Quiroga, R., 2012. "ARGENTINA: Mitigación y Adaptación al Cambio Climático - Marco de la preparación de la Estrategia 2012-2016 del BID en Argentina". : Banco Interamericano de Desarrollo.

Mastrandrea, M.D. et al., 2010. "Guidance Note for Lead Authors of the IPCC Fifth Assessment Report on Consistent Treatment of Uncertainties". Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC).

Mc Cuen, R.H., 1998. "Hydrologic Analysis and Design". New Jersey, USA: Prentice - Hall, Inc.

McGray, H., Hammill, A. & Bradley, R., 2007. "Weathering the Storm: Options for Adaptation and Development". Washington, DC. USA: World Resources Institute.

MDU-CP-FF, 2003. "Manual para el Diseño de Planes Maestros para la mejora de la Infraestructura y la Gestión del Drenaje Urbano". Buenos Aires, Argentina: Presidencia de la Nación Argentina, Secretaría de Obras Públicas, Unidad Coordinadora de Programas con Financiación Externa, Donación del Gobierno de Japón.

Means, E. et al., 2010. "Decision Support Planning Methods: Incorporating Climate Change Uncertainties into Water Planning". San Francisco, CA. USA.: Water Utility Climate Alliance.

Mishan, E.J. & Quah, E., 2007. "Cost Benefit Analysis". London, UK: Routledge, Taylor & Francis Group.

Moss, R. et al., 2014. "Climate Change Impacts in the United States: The Third National Climate Assessment. Ch. 26: Decision Support: Connecting Science, Risk Perception, and Decisions". USA: M. Melillo, Terese (T.C.) Richmond, and G. W. Yohe, Eds., U.S. Global Change Research Program.

Moss, R.H. & Schneider, S.H., 2000. "Uncertainties in the IPCC TAR: recommendation to lead authors for more consistent assessment and reporting" in R. Pachauri, T. Taniguchi, and K. Tanaka (eds.), Third Assessment Report: Cross Cutting Issues Guidance Papers (. Geneva: World Meteorological Organisation.

Nanía, E., 1999. "Metodología numérico-experimental para el análisis del riesgo asociado a la escorrentía pluvial en una red de calles". Tesis Doctoral. Barcelona, España: Universitat Politècnica de Catalunya.

Nas, T.F., 1996. "Cost-Benefit Analysis: Theory and Application". California, London, New Delhi: Sage Publications, Inc.- International Educational and Professional Publisher.

NAS, 2011. *National Academy of Sciences "America's Climate Choices"*. Washington, D.C. USA.: National Academies Press. <http://www.nap.edu/read/12781/chapter/1>.

Nie, L., 2012. *"Prepared Enabling Change Project - Appendix C: Modelling climate change impacts on urban stormwater and consequence assessment in Oslo, Norway"*. European Commission.

Nie, L., Velasco, M., Argüelles, L. & Fleming, P., 2011. *"Prepared Enabling Change Project - Appendix A: Overview of climate change effects on urban stormwater in Norway, Barcelona and Seattle"*. European Commission.

Nie, L., 2011. *"Prepared Enabling Change Project - Appendix A: Overview of climate change effects on urban stormwater in Norway, Barcelona and Seattle"*. European Commission.

Nordhaus, W.D., 2008. *"A Question of Balance: Weighing the Options on Global Warming Policies"*. New Haven & London: Yale University Press.

Olsen, A.S., 2014. *"Comparing Methods of Calculating Expected Annual Damage"*. Technical University of Denmark.

ONU, 1992. *"Informe de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo"*. Río de Janeiro, Brasil: Publicación de las Naciones Unidas.

Parson, E. et al., 2007. *"Global-Change Scenarios: Their Development and Use"*. US Department of Energy Publications.

Pearson, C.S., 2011. *"Economics and the Challenge of Global Warming"*. Cambridge, MA, USA: Cambridge University Press.

Penalba, O.C. & Robledo, F., 2010. *"Spatial and temporal variability of the frequency of extreme daily rainfall regime in the La Plata Basin during the 20th century"*. : *Climatic Change*, 98, 531-550.

Penning, R.E., 2013. *"Flood and Coastal Erosion Risk Management: A Manual for Economic Appraisal"*. London, New York.: Routledge, Taylor & Francis Group.

Pindyck, R., 2013. *"Climate Change Policy: What Do the Models Tell Us?"* Cambridge, MA, USA: National Bureau of Economic Research.

Prefeitura de São Paulo, D.u., 2012. *"Manual de drenagem e manejo de águas pluviais: aspectos tecnológicos; diretrizes para projetos"*. San Pablo, Brasil: Secretaria Municipal de Desenvolvimento Urbano.

Ramsey, F.P., 1926. *"Truth and probability"* In: *The Foundations of Mathematics and Other Logical Essays*. London, UK: Kegan, Paul, Trench, Trubner & Co.

Ray, P., Kirshen, P. & Watkins, D., 2012. *"Staged Climate Change Adaptation Planning for Water Supply in Amman, Jordan"*. *Journal of Water Resources Planning and Management*, Vol. 138, No. 5.

Re, M. & Barros, V., 2009. *"Extreme rainfalls in SE South America"*. *Climatic Change*, 96, 119-136.

Reeder, T. & Ranger, N., 2011. "How do you adapt in an uncertain world?" World Resources Report.

Rossmann, L.A., 2009. "Modeling Low Impact Development Alternatives with SWMM". In *Dynamic Modeling of Urban Water Systems, Monograph 18*. Guelph, ON, Canadá.: W. James, ed., CHI.

SADC, 2011. "Climate Change Adaptation in SADC. A Strategy for the Water Sector". Southern African Development Community. Botswana, África.

Samaniego, J.L., Galindo, L.M., Alatorre, J.E. & Ferrer, J.A., 2013. "Reflexiones metodológicas sobre el análisis económico y social del cambio climático: una revisión desde América Latina". Santiago de Chile: Naciones Unidas, Cepal. Euroclima. Comisión Europea.

Savage, L. ., 1954. "The Foundations of Statistics". New York, USA: John Wiley & Sons, Inc.

Schipper, L., 2009. "Meeting at the crossroads? Exploring the linkages between climate change adaptation and disaster risk reduction" *Climate and Development, 1:1*, 16-30. Taylor & Francis.

Schneider, S.H. & Kuntz-Duriseti, K., 2002. "Uncertainty and Climate Change Policy". Washington, USA: Schneider, S. H A. Rosencranz and J.O. Niles (eds).

Secchi, 2015. *comunicación personal*. Santa Fe, Argentina: Instituto Nacional del Agua (INA) - Centro Regional Litoral (CRL).

Sen, A., 1997. "Choice, Welfare and Measurement". Cambridge, MA, USA: Harvard University Press.

Simonovic, S.P., 2010. "Systems Approach to Management of Disasters: Methods and Applications". New York, USA. 348 pp.: John Wiley and Sons.

Stern, N., 2007. "The Economics of Climate Change: The Stern Review". Cambridge and New York: Cambridge University Press.

Stocker, T.F. et al., 2013. "Resumen técnico" En: *Cambio climático 2013. Bases físicas. Contribución del Grupo de trabajo I al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*. Cambridge (UK), Nueva York (USA): Cambridge University Press..

Tassi, R., 2002. "Efeito dos microrreservatórios de lote sobre a macrodrenagem urbana" *Dissertação de Mestrado*. Porto Alegre, Brasil: UFRGS.

Thielen, A.H., 2008. "Floods, flood losses and flood risk management in Germany". Potsdam, Alemania: University of Potsdam.

Thielen, A.H., Ackermann, V., Elmer, F. & Kreibich, H., 2008. "Methods for the evaluation of direct and indirect flood losses". Toronto, Ontario, Canadá: 4th International Symposium on Flood Defence: Managing Flood Risk, Reliability and Vulnerability.

Thielen, A.H. et al., 2007. "Flood losses in private households: analysis of influencing factors and implications for flood loss modelling". Bochum, Germany: International Association of Hydrological Sciences IAHS, Publ. 317.

Toth, F.L., 2000. "Decision analysis frameworks in TAR: a guidance paper for IPCC". In: *Guidance Papers on the Cross Cutting Issues of the Third Assessment Report of the IPCC*. Geneva, Switzerland.

UDFCD, 2008. *URBAN DRAINAGE AND FLOOD CONTROL DISTRICT "Urban Storm Drainage. Criteria Manual"*. Denver Colorado, USA.

UKCIP, 2003. *UK CLIMATE IMPACTS PROGRAMME, Technical Report. "Climate adaptation: Risk, uncertainty and decision-making"*. Oxford, UK.: Willows, R.I. and Connell, R.K. (Eds.).

UNFCCC, 2005. "Compendium on methods and tools to evaluate impacts of, and vulnerability and adaptation to climate change". UNFCCC Secretariat - Stratus Consulting Inc..

UNISDR, 2011. "Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction 2011 (GAR2011)". Devon, UK: Green Ink.

USEPA, 2011. "Climate Change Handbook for Regional Water Planning". California, USA.: US Environmental Protection Agency Office of Research and Development, US Army Corps of Engineers South Pacific Division, California Department of Water Resources.

Velasco, M., Cabello, A. & Russo, B., 2015. "Flood damage assessment in urban areas. Application to the Raval district of Barcelona using synthetic depth damage curves". Barcelona, Spain: CETaqua Water Technology Centre (Barcelona), Aqualogy Urban Drainage Direction (Barcelona), Technical College of La Almunia, EUPLA, University of Zaragoza.

Villanueva, A., 2015. *comunicación personal*. Santa Fe, Argentina.

Vlek, C., 2010. "Judicious management of uncertain risks: I. Developments and criticisms of risk analysis and precautionary reasoning". *Journal of Risk Research* 13, 517 – 543. Available at: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/13669871003629887>. Routledge, Taylor & Francis Group.

Von Neumann, J. & Morgenstern, O., 1944. "Theory of Games and Economic Behavior". Princeton, New Jersey, USA: Princeton University Press.

Wang, T. & De Neufville, R., 2006. "Identification of Real Options "in" Projects "- 16th Annual International Symposium of the International Council on Systems Engineering. San Diego, CA, USA: International Council on Systems Engineering (INCOSE).

Waters, D., Watt, W., Marsalek, J, Anderson, B., 2003. "Adaptation of a Storm Drainage System to Accommodate Increased Rainfall Resulting from Climate Change". New York, USA: *Journal of Environmental Planning and Management* 46 (5): 755–770. Routledge, Taylor & Francis Group LLC.

Weitzman, M.L., 2009. "On Modeling and Interpreting the Economics of Catastrophic Climate Change" *Review of Economics and Statistics*. Vol. 91, No. 1. MA, USA: Harvard College and the Massachusetts Institute of Technology.

White, D.J., 2013. "Geo-Infrastructure Damage Assessment, Repair and Mitigation Strategies". Iowa State University Tech Transfer Summaries. Paper 30.

Wilby, R.L. & Dessai, S., 2010. "Robust adaptation to climate change" In: *Weather*, Vol. 65, No. 7. Royal Meteorological Society.

Wilk, J. & Wittgren, H.B., 2009. "Adapting Water Management to Climate Change". Swedish Water House Policy Briefs Nr. 7 SIWI.

WUCA, 2010. "Decision Support Planning Methods: Incorporating Climate Change Uncertainties into Water Planning".

Zamanillo, E., Larenze, G., Tito, M.J. & Perez, M., 2008. "Tormentas de diseño para la Provincia de Entre Ríos". Concordia, Argentina: Universidad Tecnológica Nacional.

Zimmermann, H.J., 1998. "Uncertainty Analysis in Engineering and Sciences: Fuzzy Logic, Statistics, and Neural Network Approach". Germany: European Laboratory for Intelligent Techniques Engineering Aachen.

Zimmermann, E., Riccardi, G., Basile, P. & López, C., 2009. "Propuesta de tormenta de diseño para el área del gran Rosario". Villa Carlos Paz, Córdoba.: II Taller sobre Regionalización de Precipitaciones Máximas.

A1. ANEXO 1: Propiedades de las microcuencas y conductos

Tabla A1 - 1.- Propiedades de las microcuencas

Nº	Subcuenca	Nombre	Nodo Salida	Área (Ha)	Ancho (m)	Longitud (m)	Pendiente (%)	Imp (%)
1	SUB1	S11-01	R1-M45-I3794.21	1.77	127.56	138.76	1.44	100
2		S11-02	R1-M45-I3794.21	2.41	81.13	297.07	2.18	62
3		S11-03	R1-M45-I3794.21	1.17	59.04	198.17	2.05	62
4		S11-04	R1-M45-I3794.21	9.08	174.65	519.89	1.82	62
5		S11-05	11-01	1.44	146.89	98.03	1.67	62
6		S12-01	12-01	1.06	120.06	88.29	1.01	62
7		S12-02	12-02	2.59	179.98	143.90	1.05	62
8		S12-03	12-03	1.99	147.88	134.57	1.9	62
9		S12-06	12-06	11.77	151.66	776.08	1.34	62
10		S12-07-01	12-07	6.91	138.76	497.98	1.09	62
11		S12-07-02	12-07	5.85	151.94	385.03	1.34	62
12		S12-07-03	12-07	9.69	328.49	294.99	1.92	62
13		S12-07-04	12-07	6.26	96.17	650.90	1.4	62
14		S13-01	13-01	5.79	293.87	197.02	2.31	62
15		S13-03	13-03	4.66	337.54	138.06	1.76	62
16		S13-05	13-05	9.73	197.08	493.70	1.12	62
17		S14-01	14-01	1.32	154.71	85.32	1	62
18		S14-02	14-02	2.41	79.06	304.84	2.91	62
19		S14-03N	14-03	2.51	84.43	297.29	2.19	62
20		S14-03S	14-03	2.03	102.51	198.04	1.85	62
21		S14-05	14-05	3.8	195.98	193.90	2.38	62
22	SUB2	S21-01	21-01	1.22	89.46	136.37	0.79	62
23		S21-02	21-02	4.48	131.40	340.94	1.33	62
24		S21-05	21-05	5.69	198.24	287.03	0.94	62
25		S22	R2-M43-I3627.02- CRESTO-US	6.67	184.02	362.46	2.17	62
26	S23	R2-M43-I3627.02- CRESTO-US	7.77	108.41	716.72	1.25	62	
27	SUB3	S31-01	31-01	1.4	74.35	188.29	3.31	57
28		S31-02	R3-M39- I3233.72_VÍA1_DS	4.55	165.13	275.54	1.72	57
29		S31-03	31-03	3.06	69.89	437.81	1.31	57
30		S32-01	R3-M39- I3233.72_VÍA1_DS	5.47	169.16	323.37	2.5	58
31		S32-02	32-02	7.75	146.09	530.50	2.39	58
32	S32-03	32-03	9.5	259.50	366.09	1.49	58	
33	SUB4	S4-01	R4-M35-I2975.66	6.81	171.76	396.48	2.27	62
34		S4-02	R4-M35-I2975.66	18.9	298.46	633.26	2.16	62
35	SUB5	S5-01	R5-M32-I2744.50-VÍA2-DS	3.05	175.98	173.32	1.68	52
36		S5-02	R5-M32-I2744.50-VÍA2-DS	4.46	233.56	190.96	4.45	52

ANEXO 1

Tabla A1 - 1 (Cont.)- Propiedades de las microcuencas

Nº	Subcuenca	Nombre	Nodo Salida	Área (Ha)	Ancho (m)	Longitud (m)	Pendiente (%)	Imperm (%)	
37	SUB 6	S61-02N	61-02	8.2	127.75	641.88	1.4	58	
38		S61-02S	61-02	4.25	144.87	293.36	1.81	63	
39		S61-04N	61-04	3.84	132.77	289.22	1.98	58	
40		S61-04S	61-04	5.02	103.09	486.97	1.77	63	
41		S61-06N	61-06	5.21	135.87	383.45	1.98	58	
42		S61-06S	61-06	2.05	58.18	352.37	2.16	63	
43		S62-01	62-01	1.96	106.96	183.24	2	63	
44		S62-02	62-02	2.05	103.83	197.44	2.17	63	
45		S62-03	62-03	13.94	257.32	541.74	1.48	63	
46		S62-05	62-05	1.05	53.13	197.64	3.34	63	
47		S62-06	62-06	5.11	217.70	234.73	1.76	63	
48		S62-07	62-07	6.61	110.76	596.79	1.55	63	
49		S62-08	62-08	4.93	153.16	321.88	2.08	63	
50		S62-10	62-10	12.29	250.11	491.38	1.48	63	
51		S62-11	62-11	3.34	113.77	293.59	0.93	63	
52		S63-01	63-01-VÍA4US	14.98	194.61	769.76	2.1	62	
53		S63-02	63-02	4.91	115.49	425.15	2.26	62	
54		S63-03	63-03	3.01	153.36	196.28	1.99	62	
55		S63-05	63-05	7.46	186.26	400.51	2.93	62	
56		S63-06	R6-M27--I2304.66	5.39	192.54	279.94	3.2	62	
57		S63-07	63-07	9.18	282.46	325.00	1.38	62	
58		S64-00	R6-M27--I2304.66	4.41	175.88	250.74	2.02	65	
59		S64-01	64-01	1.97	201.42	97.81	1.84	65	
60		S64-02	64-02	1.01	63.55	158.94	2.93	65	
61		S64-03	64-03	1.12	69.15	161.97	2.93	65	
62		S64-04	64-04	4.15	140.59	295.19	2.14	65	
63		SUB7	S71-01	71-01	2.63	71.99	365.31	3.21	62
64			S71-02	M23-I2010.53	4.13	226.64	182.23	2.61	62
65			S72-00	M20-I1830.73	4.25	159.83	265.92	1.29	62
66			S72-02	72-02	3.65	97.37	374.85	2.84	62
67			S72-03	72-03	4.85	163.81	296.08	2.98	62
68			S72-05	72-05	1.51	75.17	200.88	3.39	62
69			S72-06	72-06	4.2	226.95	185.06	2.39	62
70			S72-08	72-08	9.14	231.38	395.02	2.08	62
71	S72-10		72-10	4.82	134.22	359.12	2.11	62	
72	S72-12		72-12	14.92	383.56	388.98	0.66	62	
73	SUB8	S81-02	81-02	4.11	207.42	198.15	1.48	63	
74		S81-04	81-04	3.05	310.91	98.10	3.25	63	
75		S81-05	81-05	5.67	131.12	432.44	1.84	63	
76		S81-06	81-06	1.95	67.92	287.11	1.33	63	
77		S81-07	81-07	1.79	63.59	281.51	1.89	63	
78		S81-08	81-08	5.45	307.55	177.21	2.79	63	
79		S81-M14	M14-I1368.29-N.R.GARAT-US	4.27	149.63	285.38	1.49	63	
80		S81-M15E	M15-I1459.77	1.15	45.69	251.72	2.63	63	
81		S81-M15O	M15-I1459.77	1.96	170.03	115.27	3.04	63	
82		S81-M16E	M16-I1569.55	2.73	87.54	311.87	1.57	63	
83		S81-M16O	M16-I1569.55	4.8	172.49	278.28	4.08	63	

ANEXO 1

Tabla A1 - 1 (Cont.)- Propiedades de las microcuencas

Nº	Subcuenca	Nombre	Nodo Salida	Área (Ha)	Ancho (m)	Longitud (m)	Pendiente (%)	Imperm (%)	
84	SUB8	S82-02E	82-02	5.75	112.36	511.73	2.45	62	
85		S82-02O	82-02	2.99	94.47	316.50	2.63	62	
86		S82-03	82-03	1.75	46.19	378.85	2.88	62	
87		S82-04	82-04	1.42	50.82	279.40	3.77	62	
88		S82-05	82-05	3.3	149.36	220.95	1.44	62	
89		S82-06	82-06	5.04	178.82	281.84	3.76	62	
90		S82-07	82-07	12.63	213.73	590.92	1.93	62	
91		S82-08	82-08	2.7	272.71	99.01	2.69	62	
92		S82-09	82-09	12.33	312.63	394.40	2.64	62	
93		S82-11	82-11	6.97	196.74	354.28	3.5	62	
94		S82-M10E	M10-I1056.33-S.LORENZO-DS		1.84	92.56	198.80	0.62	62
95		S82-M10O	M10-I1056.33-S.LORENZO-DS		3.09	92.58	333.78	2.34	62
96		S82-M11	M11-I1152.09		1.46	114.66	127.34	1.57	62
97		S83-01	83-01		1.15	84.80	135.62	3.55	63
98		S83-02	83-02		1.02	74.47	136.98	4.44	63
99		S83-M8E	M08-I892.61		1.4	188.62	74.23	4.04	63
100		S83-M8O	M08-I892.61		3.83	147.11	260.35	3.89	63
101		S84-01	84-01		2.5	128.30	194.86	2.6	63
102		S84-03	84-03		3.32	111.47	297.84	2.31	63
103		S84-04	84-04		2.94	151.44	194.14	3.16	63
104	S84-05	84-05		1.76	126.19	139.47	2.65	63	
105	S84-06	84-06		2.72	140.22	193.98	2.54	63	
106	S84-07	84-07		8.66	188.89	458.46	3.14	63	
107	S84-08	84-08		1.05	105.10	99.91	3.23	63	
108	S84-09	84-09		2.31	235.18	98.22	2.49	63	
109	S84-M7N	R8-M07-I788.32-VÍA3-DS		4.06	130.68	310.69	1.9	63	
110	S84-M7S	R8-M07-I788.32-VÍA3-DS		4	167.70	238.52	3.45	63	
111	SUB 9	S91-01	91-01	3.03	102.84	294.63	2.37	70	
112		S91-02	91-02	1.45	78.63	184.40	2.74	70	
113		S91-03	91-03	4.08	141.72	287.89	1.47	70	
114		S92-00N	92-00	2.22	76.31	290.93	1.88	59	
115		S92-00S	92-00	1.23	44.16	278.55	0.72	59	
116		S92-01	92-01	3.57	102.50	348.28	1.76	59	
117		S92-02	92-02	1.96	90.89	215.64	3.08	59	
118		S92-03	92-03	1.52	68.98	220.37	1.07	59	
119		S92-04	92-04	1.6	78.92	202.75	1.41	59	
120		S92-05N	92-05	3.17	79.49	398.81	2.31	59	
121		S92-05S	92-05	1.49	101.96	146.13	0.99	59	
122		S92-06	92-06	10.43	181.12	575.88	2.32	59	
123		S92-M3	R9-M03-I337.34		1.77	394.79	44.83	4.46	59
124		S92-M4	M04-I451.46		1.01	260.69	38.74	5.16	70
125	S93-01	93-01		1.58	143.05	110.45	2.54	59	
126	S93-03	93-03		1.99	134.11	148.39	2.86	59	
127	S93-05	93-05		1.01	113.25	89.18	3.59	59	
128	S93-06	93-06		1.42	78.30	181.36	1.24	59	
129	S93-07	93-07		2.36	66.98	352.35	2.55	59	
130	SUB10	S10-01N	10-01	3.84	126.08	304.57	1.86	59	
131		S10-01S	10-01	4.13	169.35	243.88	2.2	59	
132		S10-02	10-02	1.27	78.10	162.61	1.69	59	
133		S10-03	10-03	3.34	154.46	216.24	2.45	59	
134		S10-M01	M01-I177.81		2.81	523.68	53.66	3.73	59

ANEXO 1

Tabla A1 - 2.- Propiedades de los conductos (Tormenta de proyecto estacionaria PE)

Colector	Conducto	Cota Intradados		Cota Intrauno		Offset		L (m)	S (m/m)	B -	D o H (m)	z (m/m)	SECCIÓN
		US	DS	US	DS	US	DS						
1	C12-06	35.50	35.10	34.50	34.10	0.0	0.0	74.10	0.00540	-	1.0		Circular
	C12-05	35.10	34.79	34.10	33.79	0.0	0.0	65.48	0.00473	-	1.0		Circular
	C12-04	34.79	34.53	33.59	33.33	0.0	0.0	50.52	0.00515	1.6	1.2		Rectangular cerrado
	C12-03	34.53	33.97	33.33	32.77	0.0	0.2	80.70	0.00694	1.6	1.2		Rectangular cerrado
	C12-02	33.97	33.26	32.57	31.86	0.0	0.0	103.56	0.00686	1.6	1.4		Rectangular cerrado
	C12-01	33.26	32.81	31.86	31.41	0.0	1.3	75.19	0.00598	1.8	1.4		Rectangular cerrado
	C11-01	31.69	31.12	30.09	29.52	0.0	0.72	100.68	0.00566	2.2	1.6		Rectangular cerrado
	C12-07	35.20	34.79	34.00	33.59	0.0	0.0	92.62	0.0044	1.6	1.2		Rectangular cerrado
	C12-04	34.79	34.53	33.59	33.33	0.0	0.0	50.52	0.0051	1.6	1.2		Rectangular cerrado
	2	C13-05	39.72	39.23	38.72	38.23	0.0	0.0	82.00	0.0060	-	1.0	
C13-04		39.23	38.22	38.23	37.22	0.0	0.5	123.23	0.0082	-	1.0		Circular
C13-03		37.72	36.92	36.72	35.92	0.0	3.5	85.59	0.0093	-	1.0		Circular
C13-02		33.62	33.30	32.42	32.10	0.0	0.2	120.01	0.0027	-	1.2		Circular
C13-01		33.30	32.81	31.90	31.41	0.0	0.2	75.33	0.0065	1.6	1.4		Rectangular cerrado
C11-01		31.69	31.12	30.09	29.52	0.00	0.72	100.68	0.01	2.2	1.60		Rectangular cerrado
3	C14-05	38.91	38.40	38.11	37.60	0.0	1.5	68.00	0.00750	-	0.8		Circular
	C14-04	36.90	35.80	36.10	35.00	0.0	0.2	125.95	0.00873	-	0.8		Circular
	C14-03	35.80	35.42	34.80	34.42	0.0	1.8	69.69	0.00545	-	1.0		Circular
	C14-02	33.82	33.46	32.62	32.26	0.0	0.2	103.50	0.00348	-	1.2		Circular
	C14-01	33.46	32.81	32.06	31.41	0.0	0.2	92.64	0.00702	1.4	1.4		Rectangular cerrado
	C11-01	31.69	31.12	30.09	29.52	0.00	0.72	100.68	0.00566	2.2	1.60		Rectangular cerrado
4	C21-05	33.30	32.38	32.50	31.58	0.0	0.0	91.89	0.01001	-	0.8		Circular
	C21-04	32.38	31.91	31.58	31.11	0.0	0.0	92.08	0.00510	-	0.8		Circular
	C21-03	31.91	30.93	31.11	30.13	0.0	0.2	98.01	0.01000	-	0.8		Circular
	C21-02	30.93	30.12	29.93	29.12	0.0	0.0	96.50	0.00839	-	1.0		Circular
	C21-01	30.12	29.50	29.12	28.50	0.0	1.8	83.06	0.00746	-	1.0		Circular
5	C62-10	35.95	35.34	34.95	34.34	0.0	0.0	93.79	0.00650	-	1.0		Circular
	C62-09	35.34	34.65	34.34	33.65	0.0	0.2	91.84	0.00751	-	1.0		Circular
	C62-08	34.65	33.90	33.45	32.70	0.0	0.0	107.66	0.00697	-	1.2		Circular
	C62-07	33.90	33.06	32.70	31.86	0.0	0.9	94.23	0.00891	-	1.2		Circular
	C62-06	32.36	31.64	30.96	30.24	0.0	0.0	93.54	0.00770	1.4	1.4		Rectangular cerrado
	C62-05	31.64	30.99	30.24	29.59	0.0	0.0	98.09	0.00663	1.4	1.4		Rectangular cerrado
	C62-04	30.99	30.28	29.59	28.88	0.0	0.0	97.13	0.00731	1.4	1.4		Rectangular cerrado
	C62-03	30.28	29.67	28.88	28.27	0.0	1.5	103.72	0.00588	1.6	1.4		Rectangular cerrado
	C62-02	28.17	27.44	26.77	26.04	0.0	0.0	89.58	0.00815	1.8	1.4		Rectangular cerrado
	C62-01	27.44	26.85	26.04	25.45	0.0	0.0	93.71	0.00630	1.8	1.4		Rectangular cerrado
	C61-06	28.68	27.85	27.88	27.05	0.0	1.6	82.58	0.01005	-	0.8		Circular
	C61-05	26.85	26.26	25.45	24.86	0.0	0.0	103.66	0.00569	2.1	1.4		Rectangular cerrado
	C61-04	26.26	25.57	24.86	24.17	0.0	0.0	102.00	0.00676	2.1	1.4		Rectangular cerrado
	C61-03	25.57	25.04	24.17	23.64	0.0	1.4	94.93	0.00558	2.1	1.4		Rectangular cerrado
C61-02	23.84	23.51	22.24	21.91	0.0	0.0	54.20	0.00609	2.1	1.6		Rectangular cerrado	
C61-01	23.51	22.94	21.91	21.34	0.0	1.1	91.88	0.00620	2.1	1.6		Rectangular cerrado	

ANEXO 1

Tabla A1 - 2 (Cont).-Propiedades de los conductos (tormenta de proyecto estacionaria PE)

Colector	Conducto	Cota Intrados		Cota Intrauno		Offset		L (m)	S (m/m)	B -	D o H (m)	z (m/m)	SECCIÓN
		US	DS	US	DS	US	DS						
6	C63-07	29.93	28.99	28.93	27.99	0.0	1.6	101.21	0.0093	-	1.0		Circular
	C63-06	27.39	26.66	26.39	25.66	0.0	2.4	82.88	0.0088	-	1.0		Circular
	C63-05	24.46	24.09	23.26	22.89	0.0	0.0	82.44	0.0045	-	1.2		Circular
	C63-04	24.09	23.30	22.89	22.10	0.0	0.4	91.98	0.0086	-	1.2		Circular
	C63-03	22.90	22.00	21.70	20.80	0.0	1.0	98.42	0.0091	-	1.2		Circular
	C63-02	20.90	20.30	19.80	19.20	0.0	0.4	70.92	0.0085	1.1	1.1	2.0	Trapezoidal abierto
	C63-01	20.30	20.00	18.80	18.50	0.0	1.1	65.91	0.0046	1.5	1.5	2.0	Trapezoidal abierto
7	C64-04	27.02	26.50	26.22	25.70	0.0	1.5	59.70	0.0087	-	0.8		Circular
	C64-03	25.00	24.40	24.20	23.60	0.0	1.2	61.72	0.0097	-	0.8		Circular
	C64-02	23.40	22.77	22.40	21.77	0.0	1.7	65.09	0.0097	-	1.0		Circular
	C64-01	21.07	20.20	20.07	19.20	0.0	1.7	110.83	0.0078	-	1.0		Circular
8	C71-01	20.67	19.33	20.07	18.73	0.0	1.93	118.72	0.01129	-	0.6		Circular
9	C72-12	33.17	32.19	32.17	31.19	0.0	0.8	103.21	0.0095	-	1.0		Circular
	C72-11	31.39	30.56	30.39	29.56	0.0	0.6	93.35	0.0089	-	1.0		Circular
	C72-10	30.16	29.52	28.96	28.32	0.0	0.0	98.94	0.0065	-	1.2		Circular
	C72-09	29.52	28.85	28.32	27.65	0.0	0.2	98.66	0.0068	-	1.2		Circular
	C72-08	28.85	28.45	27.45	27.05	0.0	1.7	99.40	0.0040	-	1.4		Circular
	C72-07	26.75	26.12	25.35	24.72	0.0	0.0	99.35	0.0063	1.4	1.4		Rectangular cerrado
	C72-06	26.12	25.52	24.72	24.12	0.0	0.0	97.07	0.0062	1.4	1.4		Rectangular cerrado
	C72-05	25.52	24.93	24.12	23.53	0.0	0.0	100.29	0.0059	1.4	1.4		Rectangular cerrado
	C72-04	24.93	24.27	23.53	22.87	0.0	0.0	96.46	0.0068	1.4	1.4		Rectangular cerrado
	C72-03	24.27	23.57	22.87	22.17	0.0	2.7	99.89	0.0070	1.4	1.4		Rectangular cerrado
	C72-02	20.87	20.46	19.47	19.06	0.0	0.0	67.31	0.0061	1.6	1.4		Rectangular cerrado
C72-01	20.46	19.87	19.06	18.47	0.0	3.2	84.22	0.0070	1.6	1.4		Rectangular cerrado	
10	C81-08	28.08	27.25	27.08	26.25	0.0	0.0	98.12	0.00846	-	1.0		Circular
	C81-07	27.25	26.45	26.25	25.45	0.0	0.0	85.39	0.00937	-	1.0		Circular
	C81-06	26.45	25.65	25.45	24.65	0.0	2.6	101.98	0.00784	-	1.0		Circular
	C81-05	23.25	22.46	22.05	21.26	0.0	1.1	103.84	0.00761	-	1.2		Circular
	C81-04	21.36	20.73	20.16	19.53	0.0	0.0	94.50	0.00667	1.4	1.2		Rectangular cerrado
	C81-03	20.73	20.13	19.53	18.93	0.0	2.2	91.59	0.00655	1.4	1.2		Rectangular cerrado
	C81-02	17.93	17.26	16.73	16.06	0.0	0.0	95.04	0.00705	1.4	1.2		Rectangular cerrado
	C81-01	17.26	17.00	16.06	15.80	0.0	1.44	43.81	0.00593	1.4	1.2		Rectangular cerrado

ANEXO 1

Tabla A1 - 2 (Cont).-Propiedades de los conductos (tormenta de proyecto estacionaria PE)

Colector	Conducto	Cota Intrados		Cota Intrauno		Offset		L (m)	S (m/m)	B -	D o H (m)	z (m/m)	SECCIÓN
		US	DS	US	DS	US	DS						
11	C82-09	29.30	28.44	28.30	27.44	0.0	1.0	96.64	0.00890	-	1.0		Circular
	C82-08	27.64	26.78	26.44	25.58	0.0	1.7	100.44	0.00856	-	1.2		Circular
	C82-07	25.28	24.09	23.88	22.69	0.0	0.0	130.38	0.00913	1.4	1.4		Rectangular cerrado
	C82-06	24.09	23.54	22.69	22.14	0.0	0.0	92.87	0.00592	1.4	1.4		Rectangular cerrado
	C82-05	23.54	22.82	22.14	21.42	0.0	2.7	102.41	0.00703	1.4	1.4		Rectangular cerrado
	C82-04	20.12	19.50	18.72	18.10	0.0	0.0	102.88	0.00603	1.6	1.4		Rectangular cerrado
	C82-03	19.50	18.87	18.10	17.47	0.0	2.6	94.91	0.00664	1.6	1.4		Rectangular cerrado
	C82-02	16.27	15.44	14.87	14.04	0.0	0.0	130.40	0.00637	2.0	1.4		Rectangular cerrado
	C82-01	15.44	14.80	14.04	13.40	0.0	0.54	128.35	0.00499	2.0	1.4		Rectangular cerrado
12	C82-11	17.01	16.31	16.01	15.31	0.0	0.00	95	0.00737	-	1.0		Circular
	C82-10	16.31	15.78	15.31	14.78	0.0	2.49	81.6	0.00650	-	1.0		Circular
13	C83-02	17.80	16.60	17.20	16.00	0.0	2.5	107.5	0.01116	-	0.6		Circular
	C83-01	14.30	13.60	13.50	12.80	0.0	1.05	77.01	0.00909	-	0.8		Circular
14	C84-07	23.12	22.18	22.12	21.18	0.00	0.00	98.53	0.00954	-	1.0		Circular
	C84-06	22.18	21.39	21.18	20.39	0.00	1.50	94.59	0.00835	-	1.0		Circular
	C84-05	20.09	19.29	18.89	18.09	0.00	0.00	103.41	0.00774	-	1.2		Circular
	C84-04	19.29	18.51	18.09	17.31	0.00	1.40	98.27	0.00794	-	1.2		Circular
	C84-03	17.31	16.41	15.91	15.01	0.00	0.80	111.37	0.00808	-	1.4		Circular
	C84-02	15.61	14.89	14.21	13.49	0.00	0.60	84.24	0.00855	-	1.4		Circular
	C84-01	14.29	13.40	12.89	12.00	0.00	2.30	130.92	0.00680	1.4	1.4		Rectangular cerrado
15	C84-09	18.48	17.45	17.68	16.65	0.0	1.6	100.42	0.01026	-	0.8		Circular
	C84-08	15.85	14.89	15.05	14.09	0.0	1.2	98.59	0.00974	-	0.8		Circular
	C84-01	14.29	13.40	12.89	12.00	0.00	2.30	130.92	0.00680	1.40	1.4		Rectangular cerrado
16	C91-03	17.56	17.25	16.76	16.45	0.0	1.9	100.36	0.00309	-	0.8		Circular
	C91-02	15.35	14.31	14.55	13.51	0.0	0.2	98.96	0.01051	-	0.8		Circular
	C91-01	14.31	13.70	13.31	12.70	0.0	3.00	71.43	0.00854	-	1.0		Circular

ANEXO 1

Tabla A1 - 2.- (Cont).-Propiedades de los conductos (tormenta de proyecto estacionaria PE)

Colector	Conducto	Cota Intradados		Cota Intrauno		Offset		L (m)	S (m/m)	B -	D o H (m)	z (m/m)	SECCIÓN
		US	DS	US	DS	US	DS						
17	C92-06	19.98	19.07	18.98	18.07	0.0	1.4	99.45	0.00915	-	1.0		Circular
	C92-05	17.87	17.13	16.67	15.93	0.0	0.0	110.82	0.00668	-	1.2		Circular
	C92-04	17.13	16.34	15.93	15.14	0.0	2.2	101.67	0.00777	-	1.2		Circular
	C92-03	14.14	13.60	12.94	12.40	0.0	0.0	90.33	0.00598	-	1.2		Circular
	C92-02	13.60	12.70	12.40	11.50	0.0	0.5	101.87	0.00883	-	1.2		Circular
18	C93-05	19.51	18.87	18.91	18.27	0.0	0.0	96.82	0.00661	-	0.6		Circular
	C93-04	18.87	18.34	18.27	17.74	0.0	1.5	45.49	0.01165	-	0.6		Circular
	C93-03	17.24	16.50	16.24	15.50	0.0	0.0	111.12	0.00666	-	1.0		Circular
	C93-02	16.50	16.16	15.50	15.16	0.0	2.1	43.30	0.00785	-	1.0		Circular
	C93-01	14.06	12.70	13.06	11.70	0.0	0.7	138.14	0.00985	-	1.0		Circular
19	C93-07	19.57	18.76	18.97	18.16	0.0	0.2	96.05	0.00843	-	0.6		Circular
	C93-06	18.76	18.34	17.96	17.54	0.0	1.3	96.05	0.00437	-	0.8		Circular
	C93-03	17.24	16.50	16.24	15.50	0.0	0.0	111.12	0.00666	-	1.0		Circular
	C93-02	16.50	16.16	15.50	15.16	0.0	2.1	43.30	0.00785	-	1.0		Circular
	C93-01	14.06	12.70	13.06	11.70	0.0	0.7	138.14	0.00985	-	1.0		Circular
20	C10-03	14.86	14.38	14.06	13.58	0.0	1.9	53.23	0.00902	-	0.8		Circular
	C10-02	12.48	11.47	11.68	10.67	0.0	0.90	111.55	0.00905	-	0.8		Circular
	C10-01	10.97	10.13	9.77	8.93	0.0	0.93	104.09	0.00807	-	1.2		Circular

ANEXO 2

En la Tabla A2- 2 se resumen los costos de construcción de las cuatro estrategias de planeamiento analizadas. Los precios unitarios corresponden al mes de enero de 2013, y están afectados por un coeficiente resumen del 65%, que incluye gastos generales, beneficios, e impuestos y tasas varias. Los ítems intervinientes, y los resultados del cómputo métrico y presupuesto de cada caso particular se detallan en Tabla A2- 3 a Tabla A2- 24.

Tabla A2- 2.- Resumen de los costos de construcción de las estrategias de planeamiento

Estrategia	Escenario de cambio climático	Horizonte	Incremento Precipitación	Microdrenaje (\$)	Macro drenaje (\$)	Total actualizado 2013 (\$)
E1	E1-1	(2013-2043)	1,03PE	\$75.829.670	\$20.941.776	\$96.771.446
		(2043-2073)	1,06PE			
		(2073-2103)	1,10PE			
E1	E1-2	(2013-2043)	1,06PE	\$75.829.670	\$20.941.776	\$96.771.446
		(2043-2073)	1,13PE			
		(2073-2103)	1,20PE			
E1	E1-3	(2013-2043)	1,10PE	\$75.829.670	\$20.941.776	\$96.771.446
		(2043-2073)	1,20PE			
		(2073-2103)	1,30PE			
E2	E2-1	(2013-2043)	1,03PE	\$79.608.259	\$21.213.415	\$100.821.674
		(2043-2073)	1,06PE			
		(2073-2103)	1,10PE			
E2	E2-2	(2013-2043)	1,06PE	\$83.168.474	\$21.605.398	\$104.773.872
		(2043-2073)	1,13PE			
		(2073-2103)	1,20PE			
E2	E2-3	(2013-2043)	1,10PE	\$88.465.357	\$21.736.858	\$110.202.215
		(2043-2073)	1,20PE			
		(2073-2103)	1,30PE			
E3	E3-1	(2013-2043)	1,03PE	\$77.152.290	\$20.992.665	\$98.144.955
		(2043-2073)	1,06PE	\$3.957.001	\$794.358	
		(2073-2103)	1,10PE	\$8.018.616	\$853.617	
E3	E3-2	(2013-2043)	1,06PE	\$78.503.738	\$21.109.306	\$99.613.044
		(2043-2073)	1,13PE	\$9.905.641	\$1.219.876	
		(2073-2103)	1,20PE	\$5.591.357	\$1.307.019	
E3	E3-3	(2013-2043)	1,10PE	\$79.608.259	\$21.213.415	\$100.821.674
		(2043-2073)	1,20PE	\$14.696.623	\$1.573.298	
		(2073-2103)	1,30PE	\$16.556.832	\$1.402.951	
E4	E4-1	(2013-2043)	1,03PE	\$87.161.670	\$20.992.665	\$108.154.335
		(2043-2073)	1,06PE	\$0	\$794.358	
		(2073-2103)	1,10PE	\$0	\$853.617	
E4	E4-2	(2013-2043)	1,06PE	\$98.351.670	\$21.109.306	\$119.460.976
		(2043-2073)	1,13PE	\$0	\$1.219.876	
		(2073-2103)	1,20PE	\$0	\$1.307.019	
E4	E4-3	(2013-2043)	1,10PE	\$109.627.670	\$21.132.239	\$130.759.909
		(2043-2073)	1,20PE	\$0	\$1.573.298	
		(2073-2103)	1,30PE	\$0	\$1.402.951	

Costo de construcción de la estrategia E1

Las obras de drenaje correspondientes a la estrategia E1 fueron dimensionadas para la precipitación PE correspondiente al contexto climático estacionario. Por lo tanto el proyecto de las obras permanece invariable en los tres escenarios de cambio climático, cuyo presupuesto se resume en la Tabla A2- 3.

El monto total de las obras de esta estrategia asciende a \$96.771.446, e incluye la construcción de 118 colectores de 10542 m de longitud total, 27 secciones características del sistema de macrodrenaje que cubren una longitud de 2237m y la ejecución de 8 reservorios sobre cauce principal y sus respectivas estructuras de descarga.

Costo de construcción de la estrategia E2

El proyecto de la red de drenaje correspondiente a la estrategia de planeamiento E2 se determinó en base a la máxima precipitación futura prevista para el fin del período de análisis (período 2073-2103). Se redimensionaron los conductos del sistema de microdrenaje para verificar el funcionamiento a gravedad de los colectores ante los máximos caudales generados en cada escenario de cambio climático. Las obras del sistema de macrodrenaje involucraron el aumento de las dimensiones del canal trapezoidal del curso principal, para canalizar los caudales en escenarios de cambio climático y evitar desbordes frecuentes. Debido a que las limitaciones de espacio físico impiden aumentar las dimensiones de los reservorios, se incrementaron las dimensiones de sus estructuras de descarga, (orificios, vertederos de operación y vertederos de emergencia). El monto total de las obras de la estrategia E2 depende del escenario considerado, alcanzando los siguientes valores:

- Estrategia (E2-1): \$100.821.674 (Tabla A2- 4)
- Estrategia (E2-2): \$104.773.872 (Tabla A2- 5)
- Estrategia (E2-3): \$110.202.215 (Tabla A2- 6)

Costo de construcción de la estrategia E3

Los conductos del sistema de microdrenaje se dimensionaron para verificar el funcionamiento a gravedad ante los caudales máximos generados por el incremento de precipitación previsto en el primer período de análisis (2043-2073). Para el segundo período de análisis (2043-2073) y el período final (2073-2103), estas obras fueron ampliadas en aquellas secciones donde no se verificaban las condiciones de escurrimiento a gravedad. Se consideró el mismo criterio para las obras del sistema de macrodrenaje, que involucraron el aumento de las dimensiones del canal trapezoidal del curso principal, y de las dimensiones de sus estructuras de descarga. A continuación se indican los costos de construcción correspondientes al año inicial de cada etapa. La actualización de estos costos al año base 2013 determina los costos resumidos en la Tabla A2- 2.

Para la estrategia E3-1 (incremento máximo 1,10PE al final del período de análisis), la renovación parcial de las obras en cada horizonte implica los siguientes valores de los costos de construcción:

- Estrategia (E3-1)-1,03PE: \$98.144.955 (Tabla A2- 7)
- Estrategia (E3-1)-1,06PE: \$4.751.359 (Tabla A2- 8)
- Estrategia (E3-1)-1,10PE: \$8.,872.233 (Tabla A2- 9)

El monto total de las obras de la estrategia E3-2 (incremento máximo 1,20PE al final del período de análisis) alcanza los siguientes valores:

- Estrategia (E3-2)-1,06PE: \$99.613.044 (Tabla A2- 10)
- Estrategia (E3-2)-1,13PE: \$11.125.517 (Tabla A2- 11)
- Estrategia (E3-2)-1,20PE: \$6.898.376 (Tabla A2- 12)

En el caso de la estrategia E3-3 (incremento máximo 1,30PE al final del período de análisis) el monto total de las obras de la alcanza los siguientes valores:

- Estrategia (E3-3)-1,10PE: \$100.821.674 (Tabla A2- 13)
- Estrategia (E3-3)-1,20PE: \$16.269.921 (Tabla A2- 14)
- Estrategia (E3-3)-1,30PE: \$17.959.783 (Tabla A2- 15)

Costo de construcción de la estrategia E4

La estrategia E4 consiste en una alternativa de planeamiento mixta, que combina los siguientes criterios:

Las obras del sistema de microdrenaje fueron dimensionadas para la precipitación PE correspondiente al contexto climático estacionario (criterio de proyecto de la estrategia E1), por lo cual la red de microdrenaje permanece invariable en los tres escenarios de cambio climático. Esta estrategia contempla el control los incrementos del escurrimiento de las superficies impermeables en cada escenario de cambio climático mediante tanques de almacenamiento domiciliarios, asumiendo tres grados diferentes de control (cobertura espacial de los tanques de almacenamiento). Incluye el incremento de las dimensiones del canal trapezoidal del curso principal, y de las dimensiones de sus estructuras de descarga para los incrementos previstos en los tres horizontes temporales de cada escenario de cambio climático (criterio de proyecto de la estrategia E3).

Para la estrategia E4-1 (incremento máximo 1,10PE al final del período de análisis), se asumió una cobertura del 25% de viviendas abastecidas con tanques de almacenamiento domiciliarios. A continuación se indican los costos de construcción correspondientes al año inicial de cada etapa. La actualización de estos costos al año base 2013 determina los costos resumidos en la Tabla A2- 2.

- Estrategia (E4-1)-1,03PE: \$108.154.335 (Tabla A2- 16)
- Estrategia (E4-1)-1,06PE: \$794.358 (Tabla A2- 17)
- Estrategia (E4-1)-1,10PE: \$853.617 (Tabla A2- 18)

El monto total de las obras de la estrategia E4-2 (incremento máximo 1,20PE al final del período de análisis), que contempla una cobertura del 50% de viviendas abastecidas con tanques de almacenamiento alcanza los siguientes valores:

- Estrategia (E4-2)-1,06PE: \$119.460.976 (Tabla A2- 19)
- Estrategia (E4-2)-1,13PE: \$1.219.876 (Tabla A2- 20)
- Estrategia (E4-2)-1,20PE: \$1.307.019 (Tabla A2- 21)

En el caso de la estrategia E4-3 (incremento máximo 1,30PE al final del período de análisis), para la cual se asumió una cobertura de tanques del 75%, el costo de construcción total alcanza los siguientes valores:

- Estrategia (E4-3)-1,10PE: \$109.627.670 (Tabla A2- 22)
- Estrategia (E4-3)-1,20PE: \$1.573.298 (Tabla A2- 23)
- Estrategia (E4-3)-1,30PE: \$1.402.951 (Tabla A2- 24)

ANEXO 2

Tabla A2- 3.- Costos de Construcción de la estrategia E1 (Enero de 2013)

ÍTEM N°	DESIGNACIÓN DEL ÍTEM	UNIDAD	PRECIO UNITARIO (\$)	CANTIDAD	PRECIO TOTAL SUB ÍTEM (\$)	PRECIO TOTAL ÍTEM (\$)	INCIDENCIA %
1	OBRADOR, MOVILIZACIÓN y DESMOVILIZACIÓN DE EQUIPOS Y EQUIPAMIENTO	gl.	56,896	1.00	56,896	56,896	0.06
2	ROTURA Y REPARACIÓN DE CALLES (rotura, relleno y compactación con material seleccionado, reposición de calzada original)						
2.1	Rotura Pavimento	m ³	999.35	5,661.11	5,657,431		
2.2	Reposición base suelo mejorado	m ³	514.84	2,830.56	1,457,283		
2.3	Reposición Pavimento Hormigón H21	m ³	1,906.35	2,830.56	5,396,029	12,510,744	12.9
3	MOVIMIENTO DE SUELOS						
3.1	Excavación Común para Cañerías y Cámaras	m ³	130.41	64,588.08	8,422,931		
3.2	Relleno y Compactación para desagües pluviales	m ³	203.03	45,605.50	9,259,285	17,682,216	18.3
4	PROVISIÓN Y COLOCACION CONDUCTOS DE H° A°						
4.1	Caño de H° A° Ø 600 - IRAM 11503 - Clase III	ml	1,422.38	465	660,809		
4.2	Caño de H° A° Ø800 - IRAM 11503 - Clase III	ml	2,095.72	1,416	2,967,742		
4.3	Caño de H° A° Ø1000 - IRAM 11503 - Clase III	ml	2,769.05	2,792	7,729,969		
4.4	Caño de H° A° Ø1200 - IRAM 11503 - Clase III	ml	2,960.58	1,811	5,360,372		
4.5	Caño de H° A° Ø1400 - IRAM 11503 - Clase III	ml	3,260.58	295	961,905		
4.6	Conducto rectangular cerrado	m ³	4,267.14	5,044	21,523,699	39,204,497	40.5
5	EJECUCIÓN DE CÁMARAS						
5.1	Cámaras de Registro	Un.	16,652.69	115	1,915,059		
5.2	Cámaras de Captación	Un.	19,639.80	230	4,517,154	6,432,213	6.6
6	TANQUES DE ALMACENAMIENTO DOMICILIARIOS						
6.1	Provisión y colocación de tanques de almacenamiento	Un.	2,000.00	0	0	0	0.0
7	MOVIMIENTO DE SUELO RESERVORIOS						
7.1	Limpieza del terreno	m ²	21.31	159,580	3,400,647		
7.2	Excavación	m ³	52.83	228,285	12,060,298		
7.3	Perfilado con relleno y compactación	m ³	40.00	76,000	3,040,000		
7.4	Remoción de suelo hasta una distancia media de 16 km	m ³	2.37	223,979	530,110		
7.5	Regularización terreno	m ²	7.50	83,580	627,184	19,658,239	20.3
8	ESTRUCTURAS DE DESCARGA RESERVORIOS						
8.1	Suministro y colocación de acero en vertederos	Ton	8,086.07	13	106,365		
8.2	Suministro y colocación de hormigón elaborado en vertederos	m ³	2,795.65	120	334,312		
8.3	Obras entrada y salida (20%)				88,135	528,812	0.5
9	LIMPIEZA Y PERFILADO CANAL PRINCIPAL						
9.1	Limpieza y perfilado tramo cauce	m ³	79.81	8,744	697,830	697,830	0.7
COSTO TOTAL SISTEMA DE MICRODRENAJE						\$75,829,670	
COSTO TOTAL SISTEMA DE MACRODRENAJE						\$20,941,776	
COSTO DE CONSTRUCCIÓN TOTAL ESTRATEGIA						\$96,771,446	

ANEXO 2

Tabla A2- 4.- Costos de Construcción de la estrategia E2-1 (Enero de 2013)

ÍTEM N°	DESIGNACIÓN DEL ÍTEM	UNIDAD	PRECIO UNITARIO (\$)	CANTIDAD	PRECIO TOTAL SUB ÍTEM (\$)	PRECIO TOTAL ÍTEM (\$)	INCIDENCIA %
1	OBRADOR, MOVILIZACIÓN y DESMOVILIZACIÓN DE EQUIPOS Y EQUIPAMIENTO	gl.	56,896	1.00	56,896	56,896	0.06
2	ROTURA Y REPARACIÓN DE CALLES (rotura, relleno y compactación con material seleccionado, reposición de calzada original)						
2.1	Rotura Pavimento	m ³	999.35	6,006.36	6,002,460		
2.2	Reposición base suelo mejorado	m ³	514.84	3,003.18	1,546,158		
2.3	Reposición Pavimento Hormigón H21	m ³	1,906.35	3,003.18	5,725,116	13,273,734	13.2
3	MOVIMIENTO DE SUELOS						
3.1	Excavación Común para Cañerías y Cámaras	m ³	130.41	69,390.60	9,049,228		
3.2	Relleno y Compactación para desagües pluviales	m ³	203.03	48,592.37	9,865,709	18,914,937	18.8
4	PROVISIÓN Y COLOCACION CONDUCTOS DE H° A°						
4.1	Caño de H° A° Ø 600 - IRAM 11503 - Clase III	ml	1,422.38	465	660,809		
4.2	Caño de H° A° Ø800 - IRAM 11503 - Clase III	ml	2,095.72	1,052	2,203,728		
4.3	Caño de H° A° Ø1000 - IRAM 11503 - Clase III	ml	2,769.05	2,132	5,902,369		
4.4	Caño de H° A° Ø1200 - IRAM 11503 - Clase III	ml	2,960.58	1,971	5,836,168		
4.5	Caño de H° A° Ø1400 - IRAM 11503 - Clase III	ml	3,260.58	1,059	3,454,490		
4.6	Conducto rectangular cerrado	m ³	4,267.14	5,374	22,929,812	40,987,376	40.7
5	EJECUCIÓN DE CÁMARAS						
5.1	Cámaras de Registro	Un.	16,652.69	115	1,915,059		
5.2	Cámaras de Captación	Un.	19,639.80	230	4,517,154	6,432,213	6.4
6	TANQUES DE ALMACENAMIENTO DOMICILIARIOS						
6.1	Provisión y colocación de tanques de almacenamiento	Un.	2,000.00	0	0	0	0.0
7	MOVIMIENTO DE SUELO RESERVORIOS						
7.1	Limpieza del terreno	m ²	21.31	159,580	3,400,647		
7.2	Excavación	m ³	52.83	228,285	12,060,298		
7.3	Perfilado con relleno y compactación	m ³	40.00	76,000	3,040,000		
7.4	Remoción de suelo hasta una distancia media de 16 km	m ³	2.37	223,979	530,110		
7.5	Regularización terreno	m ²	7.50	83,580	627,184	19,658,239	19.5
8	ESTRUCTURAS DE DESCARGA RESERVORIOS						
8.1	Suministro y colocación de acero en vertederos	Ton	8,086.07	18	144,876		
8.2	Suministro y colocación de hormigón elaborado en vertederos	m ³	2,795.65	163	455,355		
8.3	Obras entrada y salida (20%)				120,046	720,278	0.7
9	LIMPIEZA Y PERFILADO CANAL PRINCIPAL						
9.1	Limpieza y perfilado tramo cauce	m ³	79.81	9,748	778,002	778,002	0.8
COSTO TOTAL SISTEMA DE MICRODRENAJE						\$79,608,259	
COSTO TOTAL SISTEMA DE MACRODRENAJE						\$21,213,415	
COSTO DE CONSTRUCCIÓN TOTAL ESTRATEGIA						\$100,821,674	

ANEXO 2

Tabla A2- 5.- Costos de Construcción de la estrategia E2-2 (Enero de 2013)

ÍTEM N°	DESIGNACIÓN DEL ÍTEM	UNIDAD	PRECIO UNITARIO (\$)	CANTIDAD	PRECIO TOTAL SUB ITEM (\$)	PRECIO TOTAL ITEM (\$)	INCIDENCIA %
1	OBRADOR, MOVILIZACIÓN y DESMOVILIZACIÓN DE EQUIPOS Y EQUIPAMIENTO	gl.	56,896	1.00	56,896	56,896	0.05
2	ROTURA Y REPARACIÓN DE CALLES (rotura, relleno y compactación con material seleccionado, reposición de calzada original)						
2.1	Rotura Pavimento	m ³	999.35	6,327.24	6,323,123		
2.2	Reposición base suelo mejorado	m ³	514.84	3,163.62	1,628,757		
2.3	Reposición Pavimento Hormigón H21	m ³	1,906.35	3,163.62	6,030,963	13,982,842	13.3
3	MOVIMIENTO DE SUELOS						
3.1	Excavación Común para Cañerías y Cámaras	m ³	130.41	73,410.11	9,573,412		
3.2	Relleno y Compactación para desagües pluviales	m ³	203.03	51,206.07	10,396,368	19,969,780	19.1
4	PROVISIÓN Y COLOCACION CONDUCTOS DE H° A°						
4.1	Caño de H° A° Ø 600 - IRAM 11503 - Clase III	ml	1,422.38	250	355,325		
4.2	Caño de H° A° Ø800 - IRAM 11503 - Clase III	ml	2,095.72	894	1,872,982		
4.3	Caño de H° A° Ø1000 - IRAM 11503 - Clase III	ml	2,769.05	2,301	6,370,255		
4.4	Caño de H° A° Ø1200 - IRAM 11503 - Clase III	ml	2,960.58	1,647	4,875,932		
4.5	Caño de H° A° Ø1400 - IRAM 11503 - Clase III	ml	3,260.58	1,484	4,837,368		
4.6	Conducto rectangular cerrado	m ³	4,267.14	5,735	24,471,776	42,783,638	40.8
5	EJECUCIÓN DE CÁMARAS						
5.1	Cámaras de Registro	Un.	16,652.69	115	1,915,059		
5.2	Cámaras de Captación	Un.	19,639.80	230	4,517,154	6,432,213	6.1
6	TANQUES DE ALMACENAMIENTO DOMICILIARIOS						
6.1	Provisión y colocación de tanques de almacenamiento	Un.	2,000.00	0	0	0	0.0
7	MOVIMIENTO DE SUELO RESERVORIOS						
7.1	Limpieza del terreno	m ²	21.31	159,580	3,400,647		
7.2	Excavación	m ³	52.83	228,285	12,060,298		
7.3	Perfilado con relleno y compactación	m ³	40.00	76,000	3,040,000		
7.4	Remoción de suelo hasta una distancia media de 16 km	m ³	2.37	223,979	530,110		
7.5	Regularización terreno	m ²	7.50	83,580	627,184	19,658,239	18.8
8	ESTRUCTURAS DE DESCARGA RESERVORIOS						
8.1	Suministro y colocación de acero en vertederos	Ton	8,086.07	23	188,882		
8.2	Suministro y colocación de hormigón elaborado en vertederos	m ³	2,795.65	212	593,667		
8.3	Obras entrada y salida (20%)				156,510	939,059	0.9
9	LIMPIEZA Y PERFILADO CANAL PRINCIPAL						
9.1	Limpieza y perfilado tramo cauce	m ³	79.81	11,918	951,205	951,205	0.9
COSTO TOTAL SISTEMA DE MICRODRENAJE						\$83,168,474	
COSTO TOTAL SISTEMA DE MACRODRENAJE						\$21,605,398	
COSTO DE CONSTRUCCIÓN TOTAL ESTRATEGIA						\$104,773,872	

ANEXO 2

Tabla A2- 6.- Costos de Construcción de la estrategia E2-3 (Enero de 2013)

ÍTEM N°	DESIGNACIÓN DEL ÍTEM	UNIDAD	PRECIO UNITARIO (\$)	CANTIDAD	PRECIO TOTAL SUB ÍTEM (\$)	PRECIO TOTAL ÍTEM (\$)	INCIDENCIA %
1	OBRADOR, MOVILIZACIÓN y DESMOVILIZACIÓN DE EQUIPOS Y EQUIPAMIENTO	gl.	56,896	1.00	56,896	56,896	0.05
2	ROTURA Y REPARACIÓN DE CALLES (rotura, relleno y compactación con material seleccionado, reposición de calzada original)						
2.1	Rotura Pavimento	m ³	999.35	6,765.42	6,761,027		
2.2	Reposición base suelo mejorado	m ³	514.84	3,382.71	1,741,556		
2.3	Reposición Pavimento Hormigón H21	m ³	1,906.35	3,382.71	6,448,634	14,951,217	13.6
3	MOVIMIENTO DE SUELOS						
3.1	Excavación Común para Cañerías y Cámaras	m ³	130.41	79,733.43	10,398,036		
3.2	Relleno y Compactación para desagües pluviales	m ³	203.03	55,326.82	11,233,004	21,631,040	19.6
4	PROVISIÓN Y COLOCACION CONDUCTOS DE H° A°						
4.1	Caño de H° A° Ø 600 - IRAM 11503 - Clase III	ml	1,422.38	250	355,325		
4.2	Caño de H° A° Ø800 - IRAM 11503 - Clase III	ml	2,095.72	505	1,058,609		
4.3	Caño de H° A° Ø1000 - IRAM 11503 - Clase III	ml	2,769.05	1,593	4,411,650		
4.4	Caño de H° A° Ø1200 - IRAM 11503 - Clase III	ml	2,960.58	2,259	6,686,832		
4.5	Caño de H° A° Ø1400 - IRAM 11503 - Clase III	ml	3,260.58	1,674	5,456,781		
4.6	Conducto rectangular cerrado	m ³	4,267.14	6,440	27,481,690	45,450,887	41.2
5	EJECUCIÓN DE CÁMARAS						
5.1	Cámaras de Registro	Un.	16,652.69	115	1,915,059		
5.2	Cámaras de Captación	Un.	19,639.80	230	4,517,154	6,432,213	5.8
6	TANQUES DE ALMACENAMIENTO DOMICILIARIOS						
6.1	Provisión y colocación de tanques de almacenamiento	Un.	2,000.00	0	0	0	0.0
7	MOVIMIENTO DE SUELO RESERVORIOS						
7.1	Limpieza del terreno	m ²	21.31	159,580	3,400,647		
7.2	Excavación	m ³	52.83	228,285	12,060,298		
7.3	Perfilado con relleno y compactación	m ³	40.00	76,000	3,040,000		
7.4	Remoción de suelo hasta una distancia media de 16 km	m ³	2.37	223,979	530,110		
7.5	Regularización terreno	m ²	7.50	83,580	627,184	19,658,239	17.8
8	ESTRUCTURAS DE DESCARGA RESERVORIOS						
8.1	Suministro y colocación de acero en vertederos	Ton	8,086.07	24	191,572		
8.2	Suministro y colocación de hormigón elaborado en vertederos	m ³	2,795.65	215	602,121		
8.3	Obras entrada y salida (20%)				158,739	952,431	0.9
9	LIMPIEZA Y PERFILADO CANAL PRINCIPAL						
9.1	Limpieza y perfilado tramo cauce	m ³	79.81	13,398	1,069,292	1,069,292	1.0
COSTO TOTAL SISTEMA DE MICRODRENAJE						\$88,465,357	
COSTO TOTAL SISTEMA DE MACRODRENAJE						\$21,736,858	
COSTO DE CONSTRUCCIÓN TOTAL ESTRATEGIA						\$110,202,215	

ANEXO 2

Tabla A2- 7.- Costos de Construcción de la estrategia (E3-1)-1.03PE (Enero de 2013)

ÍTEM N°	DESIGNACIÓN DEL ÍTEM	UNIDAD	PRECIO UNITARIO (\$)	CANTIDAD	PRECIO TOTAL SUB ÍTEM (\$)	PRECIO TOTAL ÍTEM (\$)	INCIDENCIA %
1	OBRADOR, MOVILIZACIÓN y DESMOVILIZACIÓN DE EQUIPOS Y EQUIPAMIENTO	gl.	56,896	1.00	56,896	56,896	0.06
2	ROTURA Y REPARACIÓN DE CALLES (rotura, relleno y compactación con material seleccionado, reposición de calzada original)						
2.1	Rotura Pavimento	m ³	999.35	5,788.78	5,785,022		
2.2	Reposición base suelo mejorado	m ³	514.84	2,894.39	1,490,149		
2.3	Reposición Pavimento Hormigón H21	m ³	1,906.35	2,894.39	5,517,724	12,792,895	13.0
3	MOVIMIENTO DE SUELOS						
3.1	Excavación Común para Cañerías y Cámaras	m ³	130.41	66,459.89	8,667,034		
3.2	Relleno y Compactación para desagües pluviales	m ³	203.03	46,827.64	9,507,415	18,174,449	18.5
4	PROVISIÓN Y COLOCACION CONDUCTOS DE H° A°						
4.1	Caño de H° A° Ø 600 - IRAM 11503 - Clase III	ml	1,422.38	465	660,809		
4.2	Caño de H° A° Ø800 - IRAM 11503 - Clase III	ml	2,095.72	1,334	2,794,678		
4.3	Caño de H° A° Ø1000 - IRAM 11503 - Clase III	ml	2,769.05	2,597	7,192,109		
4.4	Caño de H° A° Ø1200 - IRAM 11503 - Clase III	ml	2,960.58	1,673	4,951,960		
4.5	Caño de H° A° Ø1400 - IRAM 11503 - Clase III	ml	3,260.58	710	2,314,297		
4.6	Conducto rectangular cerrado	m ³	4,267.14	5,118	21,838,880	39,752,733	40.5
5	EJECUCIÓN DE CÁMARAS						
5.1	Cámaras de Registro	Un.	16,652.69	115	1,915,059		
5.2	Cámaras de Captación	Un.	19,639.80	230	4,517,154	6,432,213	6.6
6	TANQUES DE ALMACENAMIENTO DOMICILIARIOS						
6.1	Provisión y colocación de tanques de almacenamiento	Un.	2,000.00	0	0	0	0.0
7	MOVIMIENTO DE SUELO RESERVORIOS						
7.1	Limpieza del terreno	m ²	21.31	159,580	3,400,647		
7.2	Excavación	m ³	52.83	228,285	12,060,298		
7.3	Perfilado con relleno y compactación	m ³	40.00	76,000	3,040,000		
7.4	Remoción de suelo hasta una distancia media de 16 km	m ³	2.37	223,979	530,110		
7.5	Regularización terreno	m ²	7.50	83,580	627,184	19,658,239	20.0
8	ESTRUCTURAS DE DESCARGA RESERVORIOS						
8.1	Suministro y colocación de acero en vertederos	Ton	8,086.07	14	111,023		
8.2	Suministro y colocación de hormigón elaborado en vertederos	m ³	2,795.65	125	348,951		
8.3	Obras entrada y salida (20%)				91,995	551,969	0.6
9	LIMPIEZA Y PERFILADO CANAL PRINCIPAL						
9.1	Limpieza y perfilado tramo cauce	m ³	79.81	9,091	725,561	725,561	0.7
COSTO TOTAL SISTEMA DE MICRODRENAJE						\$77,152,290	
COSTO TOTAL SISTEMA DE MACRODRENAJE						\$20,992,665	
COSTO DE CONSTRUCCIÓN TOTAL ESTRATEGIA						\$98,144,955	

ANEXO 2

Tabla A2- 8.- Costos de Construcción de la estrategia (E3-1)-1.06PE (Enero de 2013)

ÍTEM N°	DESIGNACIÓN DEL ÍTEM	UNIDAD	PRECIO UNITARIO (\$)	CANTIDAD	PRECIO TOTAL SUB ÍTEM (\$)	PRECIO TOTAL ÍTEM (\$)	INCIDENCIA %
1	OBRADOR, MOVILIZACIÓN y DESMOVILIZACIÓN DE EQUIPOS Y EQUIPAMIENTO	gl.	56,896	1.00	56,896	56,896	1.20
2	ROTURA Y REPARACIÓN DE CALLES (rotura, relleno y compactación con material seleccionado, reposición de calzada original)						
2.1	Rotura Pavimento	m ³	999.35	351.51	351,279		
2.2	Reposición base suelo mejorado	m ³	514.84	175.75	90,485		
2.3	Reposición Pavimento Hormigón H21	m ³	1,906.35	175.75	335,048	776,812	16.3
3	MOVIMIENTO DE SUELOS						
3.1	Excavación Común para Cañerías y Cámaras	m ³	130.41	3,697.82	482,233		
3.2	Relleno y Compactación para desagües pluviales	m ³	203.03	2,644.48	536,909	1,019,141	21.4
4	PROVISIÓN Y COLOCACION CONDUCTOS DE H° A°						
4.1	Caño de H° A° Ø 600 - IRAM 11503 - Clase III	ml	1,422.38	0	0		
4.2	Caño de H° A° Ø800 - IRAM 11503 - Clase III	ml	2,095.72	0	0		
4.3	Caño de H° A° Ø1000 - IRAM 11503 - Clase III	ml	2,769.05	190	526,369		
4.4	Caño de H° A° Ø1200 - IRAM 11503 - Clase III	ml	2,960.58	102	301,920		
4.5	Caño de H° A° Ø1400 - IRAM 11503 - Clase III	ml	3,260.58	289	941,232		
4.6	Conducto rectangular cerrado	m ³	4,267.14	0	0	1,769,521	37.2
5	EJECUCIÓN DE CÁMARAS						
5.1	Cámaras de Registro	Un.	16,652.69	7	116,569		
5.2	Cámaras de Captación	Un.	19,639.80	14	274,957	391,526	8.2
6	TANQUES DE ALMACENAMIENTO DOMICILIARIOS						
6.1	Provisión y colocación de tanques de almacenamiento	Un.	2,000.00	0	0	0	0.0
7	MOVIMIENTO DE SUELO RESERVORIOS						
7.1	Limpieza del terreno	m ²	21.31	0	0		
7.2	Excavación	m ³	52.83	0	0		
7.3	Perfilado con relleno y compactación	m ³	40.00	0	0		
7.4	Remoción de suelo hasta una distancia media de 16 km	m ³	2.37	0	0		
7.5	Regularización terreno	m ²	7.50	0	0	0	0.0
8	ESTRUCTURAS DE DESCARGA RESERVORIOS						
8.1	Suministro y colocación de acero en vertederos	Ton	8,086.07	16	128,549		
8.2	Suministro y colocación de hormigón elaborado en vertederos	m ³	2,795.65	145	404,037		
8.3	Obras entrada y salida (20%)				106,517	639,103	13.5
9	LIMPIEZA Y PERFILADO CANAL PRINCIPAL						
9.1	Limpieza y perfilado tramo cauce	m ³	79.81	1,232	98,359	98,359	2.1
COSTO TOTAL SISTEMA DE MICRODRENAJE						\$3,957,001	
COSTO TOTAL SISTEMA DE MACRODRENAJE						\$794,358	
COSTO DE CONSTRUCCIÓN TOTAL ESTRATEGIA						\$4,751,359	

ANEXO 2

Tabla A2- 9.- Costos de Construcción de la estrategia (E3-1)-1.10PE (Enero de 2013)

ÍTEM N°	DESIGNACIÓN DEL ÍTEM	UNIDAD	PRECIO UNITARIO (\$)	CANTIDAD	PRECIO TOTAL SUB ITEM (\$)	PRECIO TOTAL ITEM (\$)	INCIDENCIA %
1	OBRADOR, MOVILIZACIÓN y DESMOVILIZACIÓN DE EQUIPOS Y EQUIPAMIENTO	gl.	56,896	1.00	56,896	56,896	0.64
2	ROTURA Y REPARACIÓN DE CALLES (rotura, relleno y compactación con material seleccionado, reposición de calzada original)						
2.1	Rotura Pavimento	m ³	999.35	651.51	651,091		
2.2	Reposición base suelo mejorado	m ³	514.84	325.76	167,713		
2.3	Reposición Pavimento Hormigón H21	m ³	1,906.35	325.76	621,007	1,439,812	16.2
3	MOVIMIENTO DE SUELOS						
3.1	Excavación Común para Cañerías y Cámaras	m ³	130.41	7,264.75	947,396		
3.2	Relleno y Compactación para desagües pluviales	m ³	203.03	5,116.94	1,038,892	1,986,288	22.4
4	PROVISIÓN Y COLOCACION CONDUCTOS DE H° A°						
4.1	Caño de H° A° Ø 600 - IRAM 11503 - Clase III	ml	1,422.38	0	0		
4.2	Caño de H° A° Ø800 - IRAM 11503 - Clase III	ml	2,095.72	0	0		
4.3	Caño de H° A° Ø1000 - IRAM 11503 - Clase III	ml	2,769.05	92	254,448		
4.4	Caño de H° A° Ø1200 - IRAM 11503 - Clase III	ml	2,960.58	766	2,267,155		
4.5	Caño de H° A° Ø1400 - IRAM 11503 - Clase III	ml	3,260.58	198	645,563		
4.6	Conducto rectangular cerrado	m ³	4,267.14	137	586,366	3,753,533	42.3
5	EJECUCIÓN DE CÁMARAS						
5.1	Cámaras de Registro	Un.	16,652.69	15	249,790		
5.2	Cámaras de Captación	Un.	19,639.80	30	589,194	838,984	9.5
6	TANQUES DE ALMACENAMIENTO DOMICILIARIOS						
6.1	Provisión y colocación de tanques de almacenamiento	Un.	2,000.00	0	0	0	0.0
7	MOVIMIENTO DE SUELO RESERVORIOS						
7.1	Limpieza del terreno	m ²	21.31	0	0		
7.2	Excavación	m ³	52.83	0	0		
7.3	Perfilado con relleno y compactación	m ³	40.00	0	0		
7.4	Remoción de suelo hasta una distancia media de 16 km	m ³	2.37	0	0		
7.5	Regularización terreno	m ²	7.50	0	0	0	0.0
8	ESTRUCTURAS DE DESCARGA RESERVORIOS						
8.1	Suministro y colocación de acero en vertederos	Ton	8,086.07	18	144,876		
8.2	Suministro y colocación de hormigón elaborado en vertederos	m ³	2,795.65	163	455,355		
8.3	Obras entrada y salida (20%)				120,046	720,278	8.1
9	LIMPIEZA Y PERFILADO CANAL PRINCIPAL						
9.1	Limpieza y perfilado tramo cauce	m ³	79.81	958	76,443	76,443	0.9
COSTO TOTAL SISTEMA DE MICRODRENAJE						\$8,018,616	
COSTO TOTAL SISTEMA DE MACRODRENAJE						\$853,617	
COSTO DE CONSTRUCCIÓN TOTAL ESTRATEGIA						\$8,872,233	

ANEXO 2

Tabla A2- 10.- Costos de Construcción de la estrategia (E3-2)-1.06PE (Enero de 2013)

ÍTEM N°	DESIGNACIÓN DEL ÍTEM	UNIDAD	PRECIO UNITARIO (\$)	CANTIDAD	PRECIO TOTAL SUB ÍTEM (\$)	PRECIO TOTAL ÍTEM (\$)	INCIDENCIA %
1	OBRADOR, MOVILIZACIÓN y DESMOVILIZACIÓN DE EQUIPOS Y EQUIPAMIENTO	gl.	56,896	1.00	56,896	56,896	0.06
2	ROTURA Y REPARACIÓN DE CALLES (rotura, relleno y compactación con material seleccionado, reposición de calzada original)						
2.1	Rotura Pavimento	m ³	999.35	5,894.46	5,890,634		
2.2	Reposición base suelo mejorado	m ³	514.84	2,947.23	1,517,353		
2.3	Reposición Pavimento Hormigón H21	m ³	1,906.35	2,947.23	5,618,457	13,026,443	13.1
3	MOVIMIENTO DE SUELOS						
3.1	Excavación Común para Cañerías y Cámaras	m ³	130.41	67,893.17	8,853,948		
3.2	Relleno y Compactación para desagües pluviales	m ³	203.03	47,718.22	9,688,230	18,542,178	18.6
4	PROVISIÓN Y COLOCACION CONDUCTOS DE H° A°						
4.1	Caño de H° A° Ø 600 - IRAM 11503 - Clase III	ml	1,422.38	465	660,809		
4.2	Caño de H° A° Ø800 - IRAM 11503 - Clase III	ml	2,095.72	1,143	2,396,303		
4.3	Caño de H° A° Ø1000 - IRAM 11503 - Clase III	ml	2,769.05	2,685	7,436,090		
4.4	Caño de H° A° Ø1200 - IRAM 11503 - Clase III	ml	2,960.58	1,404	4,155,178		
4.5	Caño de H° A° Ø1400 - IRAM 11503 - Clase III	ml	3,260.58	981	3,200,230		
4.6	Conducto rectangular cerrado	m ³	4,267.14	5,309	22,654,293	40,502,904	40.7
5	EJECUCIÓN DE CÁMARAS						
5.1	Cámaras de Registro	Un.	16,652.69	115	1,915,059		
5.2	Cámaras de Captación	Un.	19,639.80	230	4,517,154	6,432,213	6.5
6	TANQUES DE ALMACENAMIENTO DOMICILIARIOS						
6.1	Provisión y colocación de tanques de almacenamiento	Un.	2,000.00	0	0	0	0.0
7	MOVIMIENTO DE SUELO RESERVORIOS						
7.1	Limpieza del terreno	m ²	21.31	159,580	3,400,647		
7.2	Excavación	m ³	52.83	228,285	12,060,298		
7.3	Perfilado con relleno y compactación	m ³	40.00	76,000	3,040,000		
7.4	Remoción de suelo hasta una distancia media de 16 km	m ³	2.37	223,979	530,110		
7.5	Regularización terreno	m ²	7.50	83,580	627,184	19,658,239	19.7
8	ESTRUCTURAS DE DESCARGA RESERVORIOS						
8.1	Suministro y colocación de acero en vertederos	Ton	8,086.07	16	128,549		
8.2	Suministro y colocación de hormigón elaborado en vertederos	m ³	2,795.65	145	404,037		
8.3	Obras entrada y salida (20%)				106,517	639,103	0.6
9	LIMPIEZA Y PERFILADO CANAL PRINCIPAL						
9.1	Limpieza y perfilado tramo cauce	m ³	79.81	9,461	755,069	755,069	0.8
COSTO TOTAL SISTEMA DE MICRODRENAJE						\$78,503,738	
COSTO TOTAL SISTEMA DE MACRODRENAJE						\$21,109,306	
COSTO DE CONSTRUCCIÓN TOTAL ESTRATEGIA						\$99,613,044	

ANEXO 2

Tabla A2- 11.- Costos de Construcción de la estrategia (E3-2)-1.13PE (Enero de 2013)

ÍTEM N°	DESIGNACIÓN DEL ÍTEM	UNIDAD	PRECIO UNITARIO (\$)	CANTIDAD	PRECIO TOTAL SUB ÍTEM (\$)	PRECIO TOTAL ÍTEM (\$)	INCIDENCIA %
1	OBRADOR, MOVILIZACIÓN y DESMOVILIZACIÓN DE EQUIPOS Y EQUIPAMIENTO	gl.	56,896	1.00	56,896	56,896	0.51
2	ROTURA Y REPARACIÓN DE CALLES (rotura, relleno y compactación con material seleccionado, reposición de calzada original)						
2.1	Rotura Pavimento	m ³	999.35	816.14	815,608		
2.2	Reposición base suelo mejorado	m ³	514.84	408.07	210,090		
2.3	Reposición Pavimento Hormigón H21	m ³	1,906.35	408.07	777,923	1,803,621	16.2
3	MOVIMIENTO DE SUELOS						
3.1	Excavación Común para Cañerías y Cámaras	m ³	130.41	8,636.32	1,126,262		
3.2	Relleno y Compactación para desagües pluviales	m ³	203.03	5,982.59	1,214,644	2,340,906	21.0
4	PROVISIÓN Y COLOCACION CONDUCTOS DE H° A°						
4.1	Caño de H° A° Ø 600 - IRAM 11503 - Clase III	ml	1,422.38	0	0		
4.2	Caño de H° A° Ø800 - IRAM 11503 - Clase III	ml	2,095.72	0	0		
4.3	Caño de H° A° Ø1000 - IRAM 11503 - Clase III	ml	2,769.05	291	806,375		
4.4	Caño de H° A° Ø1200 - IRAM 11503 - Clase III	ml	2,960.58	646	1,911,856		
4.5	Caño de H° A° Ø1400 - IRAM 11503 - Clase III	ml	3,260.58	297	968,165		
4.6	Conducto rectangular cerrado	m ³	4,267.14	263	1,123,869	4,810,265	43.2
5	EJECUCIÓN DE CÁMARAS						
5.1	Cámaras de Registro	Un.	16,652.69	17	283,096		
5.2	Cámaras de Captación	Un.	19,639.80	34	667,753	950,849	8.5
6	TANQUES DE ALMACENAMIENTO DOMICILIARIOS						
6.1	Provisión y colocación de tanques de almacenamiento	Un.	2,000.00	0	0	0	0.0
7	MOVIMIENTO DE SUELO RESERVORIOS						
7.1	Limpieza del terreno	m ²	21.31	0	0		
7.2	Excavación	m ³	52.83	0	0		
7.3	Perfilado con relleno y compactación	m ³	40.00	0	0		
7.4	Remoción de suelo hasta una distancia media de 16 km	m ³	2.37	0	0		
7.5	Regularización terreno	m ²	7.50	0	0	0	0.0
8	ESTRUCTURAS DE DESCARGA RESERVORIOS						
8.1	Suministro y colocación de acero en vertederos	Ton	8,086.07	20	164,986		
8.2	Suministro y colocación de hormigón elaborado en vertederos	m ³	2,795.65	185	518,562		
8.3	Obras entrada y salida (20%)				136,710	820,258	7.4
9	LIMPIEZA Y PERFILADO CANAL PRINCIPAL						
9.1	Limpieza y perfilado tramo cauce	m ³	79.81	4,294	342,722	342,722	3.1
COSTO TOTAL SISTEMA DE MICRODRENAJE						\$9,905,641	
COSTO TOTAL SISTEMA DE MACRODRENAJE						\$1,219,876	
COSTO DE CONSTRUCCIÓN TOTAL ESTRATEGIA						\$11,125,517	

ANEXO 2

Tabla A2- 12.- Costos de Construcción de la estrategia (E3-2)-1.20PE (Enero de 2013)

ÍTEM N°	DESIGNACIÓN DEL ÍTEM	UNIDAD	PRECIO UNITARIO (\$)	CANTIDAD	PRECIO TOTAL SUB ÍTEM (\$)	PRECIO TOTAL ÍTEM (\$)	INCIDENCIA %
1	OBRADOR, MOVILIZACIÓN y DESMOVILIZACIÓN DE EQUIPOS Y EQUIPAMIENTO	gl.	56,896	1.00	56,896	56,896	0.82
2	ROTURA Y REPARACIÓN DE CALLES (rotura, relleno y compactación con material seleccionado, reposición de calzada original)						
2.1	Rotura Pavimento	m ³	999.35	360.51	360,277		
2.2	Reposición base suelo mejorado	m ³	514.84	180.26	92,803		
2.3	Reposición Pavimento Hormigón H21	m ³	1,906.35	180.26	343,631	796,711	11.5
3	MOVIMIENTO DE SUELOS						
3.1	Excavación Común para Cañerías y Cámaras	m ³	130.41	5,345.55	697,113		
3.2	Relleno y Compactación para desagües pluviales	m ³	203.03	3,891.94	790,181	1,487,294	21.6
4	PROVISIÓN Y COLOCACION CONDUCTOS DE H° A°						
4.1	Caño de H° A° Ø 600 - IRAM 11503 - Clase III	ml	1,422.38	0	0		
4.2	Caño de H° A° Ø800 - IRAM 11503 - Clase III	ml	2,095.72	215	450,097		
4.3	Caño de H° A° Ø1000 - IRAM 11503 - Clase III	ml	2,769.05	173	479,793		
4.4	Caño de H° A° Ø1200 - IRAM 11503 - Clase III	ml	2,960.58	204	602,834		
4.5	Caño de H° A° Ø1400 - IRAM 11503 - Clase III	ml	3,260.58	304	991,576		
4.6	Conducto rectangular cerrado	m ³	4,267.14	0	0	2,524,300	36.6
5	EJECUCIÓN DE CÁMARAS						
5.1	Cámaras de Registro	Un.	16,652.69	14	233,138		
5.2	Cámaras de Captación	Un.	19,639.80	28	549,914	783,052	11.4
6	TANQUES DE ALMACENAMIENTO DOMICILIARIOS						
6.1	Provisión y colocación de tanques de almacenamiento	Un.	2,000.00	0	0	0	0.0
7	MOVIMIENTO DE SUELO RESERVORIOS						
7.1	Limpieza del terreno	m ²	21.31	0	0		
7.2	Excavación	m ³	52.83	0	0		
7.3	Perfilado con relleno y compactación	m ³	40.00	0	0		
7.4	Remoción de suelo hasta una distancia media de 16 km	m ³	2.37	0	0		
7.5	Regularización terreno	m ²	7.50	0	0	0	0.0
8	ESTRUCTURAS DE DESCARGA RESERVORIOS						
8.1	Suministro y colocación de acero en vertederos	Ton	8,086.07	23	188,882		
8.2	Suministro y colocación de hormigón elaborado en vertederos	m ³	2,795.65	212	593,667		
8.3	Obras entrada y salida (20%)				156,510	939,059	13.6
9	LIMPIEZA Y PERFILADO CANAL PRINCIPAL						
9.1	Limpieza y perfilado tramo cauce	m ³	79.81	3,898	311,064	311,064	4.5
COSTO TOTAL SISTEMA DE MICRODRENAJE						\$5,591,357	
COSTO TOTAL SISTEMA DE MACRODRENAJE						\$1,307,019	
COSTO DE CONSTRUCCIÓN TOTAL ESTRATEGIA						\$6,898,376	

ANEXO 2

Tabla A2- 13.- Costos de Construcción de la estrategia (E3-3)-1.10PE (Enero de 2013)

ÍTEM N°	DESIGNACIÓN DEL ÍTEM	UNIDAD	PRECIO UNITARIO (\$)	CANTIDAD	PRECIO TOTAL SUB ÍTEM (\$)	PRECIO TOTAL ÍTEM (\$)	INCIDENCIA %
1	OBRADOR, MOVILIZACIÓN y DESMOVILIZACIÓN DE EQUIPOS Y EQUIPAMIENTO	gl.	56,896	1.00	56,896	56,896	0.06
2	ROTURA Y REPARACIÓN DE CALLES (rotura, relleno y compactación con material seleccionado, reposición de calzada original)						
2.1	Rotura Pavimento	m ³	999.35	6,006.36	6,002,460		
2.2	Reposición base suelo mejorado	m ³	514.84	3,003.18	1,546,158		
2.3	Reposición Pavimento Hormigón H21	m ³	1,906.35	3,003.18	5,725,116	13,273,734	13.2
3	MOVIMIENTO DE SUELOS						
3.1	Excavación Común para Cañerías y Cámaras	m ³	130.41	69,390.60	9,049,228		
3.2	Relleno y Compactación para desagües pluviales	m ³	203.03	48,592.37	9,865,709	18,914,937	18.8
4	PROVISIÓN Y COLOCACION CONDUCTOS DE H° A°						
4.1	Caño de H° A° Ø 600 - IRAM 11503 - Clase III	ml	1,422.38	465	660,809		
4.2	Caño de H° A° Ø800 - IRAM 11503 - Clase III	ml	2,095.72	1,052	2,203,728		
4.3	Caño de H° A° Ø1000 - IRAM 11503 - Clase III	ml	2,769.05	2,132	5,902,369		
4.4	Caño de H° A° Ø1200 - IRAM 11503 - Clase III	ml	2,960.58	1,971	5,836,168		
4.5	Caño de H° A° Ø1400 - IRAM 11503 - Clase III	ml	3,260.58	1,059	3,454,490		
4.6	Conducto rectangular cerrado	m ³	4,267.14	5,374	22,929,812	40,987,376	40.7
5	EJECUCIÓN DE CÁMARAS						
5.1	Cámaras de Registro	Un.	16,652.69	115	1,915,059		
5.2	Cámaras de Captación	Un.	19,639.80	230	4,517,154	6,432,213	6.4
6	TANQUES DE ALMACENAMIENTO DOMICILIARIOS						
6.1	Provisión y colocación de tanques de almacenamiento	Un.	2,000.00	0	0	0	0.0
7	MOVIMIENTO DE SUELO RESERVORIOS						
7.1	Limpieza del terreno	m ²	21.31	159,580	3,400,647		
7.2	Excavación	m ³	52.83	228,285	12,060,298		
7.3	Perfilado con relleno y compactación	m ³	40.00	76,000	3,040,000		
7.4	Remoción de suelo hasta una distancia media de 16 km	m ³	2.37	223,979	530,110		
7.5	Regularización terreno	m ²	7.50	83,580	627,184	19,658,239	19.5
8	ESTRUCTURAS DE DESCARGA RESERVORIOS						
8.1	Suministro y colocación de acero en vertederos	Ton	8,086.07	18	144,876		
8.2	Suministro y colocación de hormigón elaborado en vertederos	m ³	2,795.65	163	455,355		
8.3	Obras entrada y salida (20%)				120,046	720,278	0.7
9	LIMPIEZA Y PERFILADO CANAL PRINCIPAL						
9.1	Limpieza y perfilado tramo cauce	m ³	79.81	9,748	778,002	778,002	0.8
COSTO TOTAL SISTEMA DE MICRODRENAJE						\$79,608,259	
COSTO TOTAL SISTEMA DE MACRODRENAJE						\$21,213,415	
COSTO DE CONSTRUCCIÓN TOTAL ESTRATEGIA						\$100,821,674	

ANEXO 2

Tabla A2- 14.-Costos de Construcción de la estrategia (E3-3)-1.20PE (Enero de 2013)

ÍTEM N°	DESIGNACIÓN DEL ÍTEM	UNIDAD	PRECIO UNITARIO (\$)	CANTIDAD	PRECIO TOTAL SUB ÍTEM (\$)	PRECIO TOTAL ÍTEM (\$)	INCIDENCIA %
1	OBRADOR, MOVILIZACIÓN y DESMOVILIZACIÓN DE EQUIPOS Y EQUIPAMIENTO	gl.	56,896	1.00	56,896	56,896	0.35
2	ROTURA Y REPARACIÓN DE CALLES (rotura, relleno y compactación con material seleccionado, reposición de calzada original)						
2.1	Rotura Pavimento	m ³	999.35	1,109.55	1,108,832		
2.2	Reposición base suelo mejorado	m ³	514.84	554.78	285,621		
2.3	Reposición Pavimento Hormigón H21	m ³	1,906.35	554.78	1,057,598	2,452,052	15.1
3	MOVIMIENTO DE SUELOS						
3.1	Excavación Común para Cañerías y Cámaras	m ³	130.41	13,580.56	1,771,041		
3.2	Relleno y Compactación para desagües pluviales	m ³	203.03	9,706.47	1,970,704	3,741,745	23.0
4	PROVISIÓN Y COLOCACION CONDUCTOS DE H° A°						
4.1	Caño de H° A° Ø 600 - IRAM 11503 - Clase III	ml	1,422.38	0	0		
4.2	Caño de H° A° Ø800 - IRAM 11503 - Clase III	ml	2,095.72	215	450,097		
4.3	Caño de H° A° Ø1000 - IRAM 11503 - Clase III	ml	2,769.05	464	1,286,168		
4.4	Caño de H° A° Ø1200 - IRAM 11503 - Clase III	ml	2,960.58	849	2,514,690		
4.5	Caño de H° A° Ø1400 - IRAM 11503 - Clase III	ml	3,260.58	486	1,583,339		
4.6	Conducto rectangular cerrado	m ³	4,267.14	271	1,158,361	6,992,655	43.0
5	EJECUCIÓN DE CÁMARAS						
5.1	Cámaras de Registro	Un.	16,652.69	27	449,623		
5.2	Cámaras de Captación	Un.	19,639.80	54	1,060,549	1,510,172	9.3
6	TANQUES DE ALMACENAMIENTO DOMICILIARIOS						
6.1	Provisión y colocación de tanques de almacenamiento	Un.	2,000.00	0	0	0	0.0
7	MOVIMIENTO DE SUELO RESERVORIOS						
7.1	Limpieza del terreno	m ²	21.31	0	0		
7.2	Excavación	m ³	52.83	0	0		
7.3	Perfilado con relleno y compactación	m ³	40.00	0	0		
7.4	Remoción de suelo hasta una distancia media de 16 km	m ³	2.37	0	0		
7.5	Regularización terreno	m ²	7.50	0	0	0	0.0
8	ESTRUCTURAS DE DESCARGA RESERVORIOS						
8.1	Suministro y colocación de acero en vertederos	Ton	8,086.07	23	188,882		
8.2	Suministro y colocación de hormigón elaborado en vertederos	m ³	2,795.65	212	593,667		
8.3	Obras entrada y salida (20%)				156,510	939,059	5.8
9	LIMPIEZA Y PERFILADO CANAL PRINCIPAL						
9.1	Limpieza y perfilado tramo cauce	m ³	79.81	7,234	577,343	577,343	3.5
COSTO TOTAL SISTEMA DE MICRODRENAJE						\$14,696,623	
COSTO TOTAL SISTEMA DE MACRODRENAJE						\$1,573,298	
COSTO DE CONSTRUCCIÓN TOTAL ESTRATEGIA						\$16,269,921	

ANEXO 2

Tabla A2- 15.-Costos de Construcción de la estrategia (E3-3)-1.30PE (Enero de 2013)

ÍTEM N°	DESIGNACIÓN DEL ÍTEM	UNIDAD	PRECIO UNITARIO (\$)	CANTIDAD	PRECIO TOTAL SUB ÍTEM (\$)	PRECIO TOTAL ÍTEM (\$)	INCIDENCIA %
1	OBRADOR, MOVILIZACIÓN y DESMOVILIZACIÓN DE EQUIPOS Y EQUIPAMIENTO	gl.	56,896	1.00	56,896	56,896	0.32
2	ROTURA Y REPARACIÓN DE CALLES (rotura, relleno y compactación con material seleccionado, reposición de calzada original)						
2.1	Rotura Pavimento	m ³	999.35	1,431.46	1,430,528		
2.2	Reposición base suelo mejorado	m ³	514.84	715.73	368,486		
2.3	Reposición Pavimento Hormigón H21	m ³	1,906.35	715.73	1,364,431	3,163,445	17.6
3	MOVIMIENTO DE SUELOS						
3.1	Excavación Común para Cañerías y Cámaras	m ³	130.41	15,003.98	1,956,669		
3.2	Relleno y Compactación para desagües pluviales	m ³	203.03	10,397.16	2,110,935	4,067,604	22.6
4	PROVISIÓN Y COLOCACION CONDUCTOS DE H° A°						
4.1	Caño de H° A° Ø 600 - IRAM 11503 - Clase III	ml	1,422.38	0	0		
4.2	Caño de H° A° Ø800 - IRAM 11503 - Clase III	ml	2,095.72	0	0		
4.3	Caño de H° A° Ø1000 - IRAM 11503 - Clase III	ml	2,769.05	389	1,076,025		
4.4	Caño de H° A° Ø1200 - IRAM 11503 - Clase III	ml	2,960.58	818	2,422,053		
4.5	Caño de H° A° Ø1400 - IRAM 11503 - Clase III	ml	3,260.58	583	1,901,507		
4.6	Conducto rectangular cerrado	m ³	4,267.14	553	2,360,094	7,759,679	43.2
5	EJECUCIÓN DE CÁMARAS						
5.1	Cámaras de Registro	Un.	16,652.69	28	466,275		
5.2	Cámaras de Captación	Un.	19,639.80	56	1,099,829	1,566,104	8.7
6	TANQUES DE ALMACENAMIENTO DOMICILIARIOS						
6.1	Provisión y colocación de tanques de almacenamiento	Un.	2,000.00	0	0	0	0.0
7	MOVIMIENTO DE SUELO RESERVORIOS						
7.1	Limpieza del terreno	m ²	21.31	0	0		
7.2	Excavación	m ³	52.83	0	0		
7.3	Perfilado con relleno y compactación	m ³	40.00	0	0		
7.4	Remoción de suelo hasta una distancia media de 16 km	m ³	2.37	0	0		
7.5	Regularización terreno	m ²	7.50	0	0	0	0.0
8	ESTRUCTURAS DE DESCARGA RESERVORIOS						
8.1	Suministro y colocación de acero en vertederos	Ton	8,086.07	24	191,572		
8.2	Suministro y colocación de hormigón elaborado en vertederos	m ³	2,795.65	215	602,121		
8.3	Obras entrada y salida (20%)				158,739	952,431	5.3
9	LIMPIEZA Y PERFILADO CANAL PRINCIPAL						
9.1	Limpieza y perfilado tramo cauce	m ³	79.81	4,932	393,624	393,624	2.2
COSTO TOTAL SISTEMA DE MICRODRENAJE						\$16,556,832	
COSTO TOTAL SISTEMA DE MACRODRENAJE						\$1,402,951	
COSTO DE CONSTRUCCIÓN TOTAL ESTRATEGIA						\$17,959,783	

ANEXO 2

Tabla A2- 16.- Costos de Construcción de la estrategia (E4-1)-1.03PE (Enero de 2013)

ÍTEM N°	DESIGNACIÓN DEL ÍTEM	UNIDAD	PRECIO UNITARIO (\$)	CANTIDAD	PRECIO TOTAL SUB ÍTEM (\$)	PRECIO TOTAL ÍTEM (\$)	INCIDENCIA %
1	OBRADOR, MOVILIZACIÓN y DESMOVILIZACIÓN DE EQUIPOS Y EQUIPAMIENTO	gl.	56,896	1.00	56,896	56,896	0.05
2	ROTURA Y REPARACIÓN DE CALLES (rotura, relleno y compactación con material seleccionado, reposición de calzada original)						
2.1	Rotura Pavimento	m ³	999.35	5,661.11	5,657,431		
2.2	Reposición base suelo mejorado	m ³	514.84	2,830.56	1,457,283		
2.3	Reposición Pavimento Hormigón H21	m ³	1,906.35	2,830.56	5,396,029	12,510,744	11.6
3	MOVIMIENTO DE SUELOS						
3.1	Excavación Común para Cañerías y Cámaras	m ³	130.41	64,588.08	8,422,931		
3.2	Relleno y Compactación para desagües pluviales	m ³	203.03	45,605.50	9,259,285	17,682,216	16.3
4	PROVISIÓN Y COLOCACION CONDUCTOS DE H° A°						
4.1	Caño de H° A° Ø 600 - IRAM 11503 - Clase III	ml	1,422.38	465	660,809		
4.2	Caño de H° A° Ø800 - IRAM 11503 - Clase III	ml	2,095.72	1,416	2,967,742		
4.3	Caño de H° A° Ø1000 - IRAM 11503 - Clase III	ml	2,769.05	2,792	7,729,969		
4.4	Caño de H° A° Ø1200 - IRAM 11503 - Clase III	ml	2,960.58	1,811	5,360,372		
4.5	Caño de H° A° Ø1400 - IRAM 11503 - Clase III	ml	3,260.58	295	961,905		
4.6	Conducto rectangular cerrado	m ³	4,267.14	5,044	21,523,699	39,204,497	36.2
5	EJECUCIÓN DE CÁMARAS						
5.1	Cámaras de Registro	Un.	16,652.69	115	1,915,059		
5.2	Cámaras de Captación	Un.	19,639.80	230	4,517,154	6,432,213	5.9
6	TANQUES DE ALMACENAMIENTO DOMICILIARIOS						
6.1	Provisión y colocación de tanques de almacenamiento	Un.	2,000.00	5,666	11,332,000	11,332,000	10.5
7	MOVIMIENTO DE SUELO RESERVORIOS						
7.1	Limpieza del terreno	m ²	21.31	159,580	3,400,647		
7.2	Excavación	m ³	52.83	228,285	12,060,298		
7.3	Perfilado con relleno y compactación	m ³	40.00	76,000	3,040,000		
7.4	Remoción de suelo hasta una distancia media de 16 km	m ³	2.37	223,979	530,110		
7.5	Regularización terreno	m ²	7.50	83,580	627,184	19,658,239	18.2
8	ESTRUCTURAS DE DESCARGA RESERVORIOS						
8.1	Suministro y colocación de acero en vertederos	Ton	8,086.07	14	111,023		
8.2	Suministro y colocación de hormigón elaborado en vertederos	m ³	2,795.65	125	348,951		
8.3	Obras entrada y salida (20%)				91,995	551,969	0.5
9	LIMPIEZA Y PERFILADO CANAL PRINCIPAL						
9.1	Limpieza y perfilado tramo cauce	m ³	79.81	9,091	725,561	725,561	0.7
COSTO TOTAL SISTEMA DE MICRODRENAJE						\$87,161,670	
COSTO TOTAL SISTEMA DE MACRODRENAJE						\$20,992,665	
COSTO DE CONSTRUCCIÓN TOTAL ESTRATEGIA						\$108,154,335	

ANEXO 2

Tabla A2- 17.-Costos de Construcción de la estrategia (E4-1)-1.06PE (Enero de 2013)

ÍTEM N°	DESIGNACIÓN DEL ÍTEM	UNIDAD	PRECIO UNITARIO (\$)	CANTIDAD	PRECIO TOTAL SUB ÍTEM (\$)	PRECIO TOTAL ÍTEM (\$)	INCIDENCIA %
1	OBRADOR, MOVILIZACIÓN y DESMOVILIZACIÓN DE EQUIPOS Y EQUIPAMIENTO	gl.	56,896	1.00	56,896	56,896	7.16
2	ROTURA Y REPARACIÓN DE CALLES (rotura, relleno y compactación con material seleccionado, reposición de calzada original)						
2.1	Rotura Pavimento	m ³	999.35	0.00	0		
2.2	Reposición base suelo mejorado	m ³	514.84	0.00	0		
2.3	Reposición Pavimento Hormigón H21	m ³	1,906.35	0.00	0	0	0.0
3	MOVIMIENTO DE SUELOS						
3.1	Excavación Común para Cañerías y Cámaras	m ³	130.41	0.00	0		
3.2	Relleno y Compactación para desagües pluviales	m ³	203.03	0.00	0	0	0.0
4	PROVISIÓN Y COLOCACION CONDUCTOS DE H° A°						
4.1	Caño de H° A° Ø 600 - IRAM 11503 - Clase III	ml	1,422.38	0	0		
4.2	Caño de H° A° Ø800 - IRAM 11503 - Clase III	ml	2,095.72	0	0		
4.3	Caño de H° A° Ø1000 - IRAM 11503 - Clase III	ml	2,769.05	0	0		
4.4	Caño de H° A° Ø1200 - IRAM 11503 - Clase III	ml	2,960.58	0	0		
4.5	Caño de H° A° Ø1400 - IRAM 11503 - Clase III	ml	3,260.58	0	0		
4.6	Conducto rectangular cerrado	m ³	4,267.14	0	0	0	0.0
5	EJECUCIÓN DE CÁMARAS						
5.1	Cámaras de Registro	Un.	16,652.69	0	0		
5.2	Cámaras de Captación	Un.	19,639.80	0	0	0	0.0
6	TANQUES DE ALMACENAMIENTO DOMICILIARIOS						
6.1	Provisión y colocación de tanques de almacenamiento	Un.	2,000.00	0	0	0	0.0
7	MOVIMIENTO DE SUELO RESERVORIOS						
7.1	Limpieza del terreno	m ²	21.31	0	0		
7.2	Excavación	m ³	52.83	0	0		
7.3	Perfilado con relleno y compactación	m ³	40.00	0	0		
7.4	Remoción de suelo hasta una distancia media de 16 km	m ³	2.37	0	0		
7.5	Regularización terreno	m ²	7.50	0	0	0	0.0
8	ESTRUCTURAS DE DESCARGA RESERVORIOS						
8.1	Suministro y colocación de acero en vertederos	Ton	8,086.07	16	128,549		
8.2	Suministro y colocación de hormigón elaborado en vertederos	m ³	2,795.65	145	404,037		
8.3	Obras entrada y salida (20%)				106,517	639,103	80.5
9	LIMPIEZA Y PERFILADO CANAL PRINCIPAL						
9.1	Limpieza y perfilado tramo cauce	m ³	79.81	1,232	98,359	98,359	12.4
COSTO TOTAL SISTEMA DE MICRODRENAJE						\$0	
COSTO TOTAL SISTEMA DE MACRODRENAJE						\$794,358	
COSTO DE CONSTRUCCIÓN TOTAL ESTRATEGIA						\$794,358	

ANEXO 2

Tabla A2- 18.-Costos de Construcción de la estrategia (E4-1)-1.10PE (Enero de 2013)

ÍTEM N°	DESIGNACIÓN DEL ÍTEM	UNIDAD	PRECIO UNITARIO (\$)	CANTIDAD	PRECIO TOTAL SUB ÍTEM (\$)	PRECIO TOTAL ÍTEM (\$)	INCIDENCIA %
1	OBRADOR, MOVILIZACIÓN y DESMOVILIZACIÓN DE EQUIPOS Y EQUIPAMIENTO	gl.	56,896	1.00	56,896	56,896	6.67
2	ROTURA Y REPARACIÓN DE CALLES (rotura, relleno y compactación con material seleccionado, reposición de calzada original)						
2.1	Rotura Pavimento	m ³	999.35	0.00	0		
2.2	Reposición base suelo mejorado	m ³	514.84	0.00	0		
2.3	Reposición Pavimento Hormigón H21	m ³	1,906.35	0.00	0	0	0.0
3	MOVIMIENTO DE SUELOS						
3.1	Excavación Común para Cañerías y Cámaras	m ³	130.41	0.00	0		
3.2	Relleno y Compactación para desagües pluviales	m ³	203.03	0.00	0	0	0.0
4	PROVISIÓN Y COLOCACION CONDUCTOS DE H° A°						
4.1	Caño de H° A° Ø 600 - IRAM 11503 - Clase III	ml	1,422.38	0	0		
4.2	Caño de H° A° Ø800 - IRAM 11503 - Clase III	ml	2,095.72	0	0		
4.3	Caño de H° A° Ø1000 - IRAM 11503 - Clase III	ml	2,769.05	0	0		
4.4	Caño de H° A° Ø1200 - IRAM 11503 - Clase III	ml	2,960.58	0	0		
4.5	Caño de H° A° Ø1400 - IRAM 11503 - Clase III	ml	3,260.58	0	0		
4.6	Conducto rectangular cerrado	m ³	4,267.14	0	0	0	0.0
5	EJECUCIÓN DE CÁMARAS						
5.1	Cámaras de Registro	Un.	16,652.69	0	0		
5.2	Cámaras de Captación	Un.	19,639.80	0	0	0	0.0
6	TANQUES DE ALMACENAMIENTO DOMICILIARIOS						
6.1	Provisión y colocación de tanques de almacenamiento	Un.	2,000.00	0	0	0	0.0
7	MOVIMIENTO DE SUELO RESERVORIOS						
7.1	Limpieza del terreno	m ²	21.31	0	0		
7.2	Excavación	m ³	52.83	0	0		
7.3	Perfilado con relleno y compactación	m ³	40.00	0	0		
7.4	Remoción de suelo hasta una distancia media de 16 km	m ³	2.37	0	0		
7.5	Regularización terreno	m ²	7.50	0	0	0	0.0
8	ESTRUCTURAS DE DESCARGA RESERVORIOS						
8.1	Suministro y colocación de acero en vertederos	Ton	8,086.07	18	144,876		
8.2	Suministro y colocación de hormigón elaborado en vertederos	m ³	2,795.65	163	455,355		
8.3	Obras entrada y salida (20%)				120,046	720,278	84.4
9	LIMPIEZA Y PERFILADO CANAL PRINCIPAL						
9.1	Limpieza y perfilado tramo cauce	m ³	79.81	958	76,443	76,443	9.0
COSTO TOTAL SISTEMA DE MICRODRENAJE						\$0	
COSTO TOTAL SISTEMA DE MACRODRENAJE						\$853,617	
COSTO DE CONSTRUCCIÓN TOTAL ESTRATEGIA						\$853,617	

ANEXO 2

Tabla A2- 19.-Costos de Construcción de la estrategia (E4-2)-1.06PE (Enero de 2013)

ÍTEM N°	DESIGNACIÓN DEL ÍTEM	UNIDAD	PRECIO UNITARIO (\$)	CANTIDAD	PRECIO TOTAL SUB ÍTEM (\$)	PRECIO TOTAL ÍTEM (\$)	INCIDENCIA %
1	OBRADOR, MOVILIZACIÓN y DESMOVILIZACIÓN DE EQUIPOS Y EQUIPAMIENTO	gl.	56,896	1.00	56,896	56,896	0.05
2	ROTURA Y REPARACIÓN DE CALLES (rotura, relleno y compactación con material seleccionado, reposición de calzada original)						
2.1	Rotura Pavimento	m ³	999.35	5,661.11	5,657,431		
2.2	Reposición base suelo mejorado	m ³	514.84	2,830.56	1,457,283		
2.3	Reposición Pavimento Hormigón H21	m ³	1,906.35	2,830.56	5,396,029	12,510,744	10.5
3	MOVIMIENTO DE SUELOS						
3.1	Excavación Común para Cañerías y Cámaras	m ³	130.41	64,588.08	8,422,931		
3.2	Relleno y Compactación para desagües pluviales	m ³	203.03	45,605.50	9,259,285	17,682,216	14.8
4	PROVISIÓN Y COLOCACION CONDUCTOS DE H° A°						
4.1	Caño de H° A° Ø 600 - IRAM 11503 - Clase III	ml	1,422.38	465	660,809		
4.2	Caño de H° A° Ø800 - IRAM 11503 - Clase III	ml	2,095.72	1,416	2,967,742		
4.3	Caño de H° A° Ø1000 - IRAM 11503 - Clase III	ml	2,769.05	2,792	7,729,969		
4.4	Caño de H° A° Ø1200 - IRAM 11503 - Clase III	ml	2,960.58	1,811	5,360,372		
4.5	Caño de H° A° Ø1400 - IRAM 11503 - Clase III	ml	3,260.58	295	961,905		
4.6	Conducto rectangular cerrado	m ³	4,267.14	5,044	21,523,699	39,204,497	32.8
5	EJECUCIÓN DE CÁMARAS						
5.1	Cámaras de Registro	Un.	16,652.69	115	1,915,059		
5.2	Cámaras de Captación	Un.	19,639.80	230	4,517,154	6,432,213	5.4
6	TANQUES DE ALMACENAMIENTO DOMICILIARIOS						
6.1	Provisión y colocación de tanques de almacenamiento	Un.	2,000.00	11,261	22,522,000	22,522,000	18.9
7	MOVIMIENTO DE SUELO RESERVORIOS						
7.1	Limpieza del terreno	m ²	21.31	159,580	3,400,647		
7.2	Excavación	m ³	52.83	228,285	12,060,298		
7.3	Perfilado con relleno y compactación	m ³	40.00	76,000	3,040,000		
7.4	Remoción de suelo hasta una distancia media de 16 km	m ³	2.37	223,979	530,110		
7.5	Regularización terreno	m ²	7.50	83,580	627,184	19,658,239	16.5
8	ESTRUCTURAS DE DESCARGA RESERVORIOS						
8.1	Suministro y colocación de acero en vertederos	Ton	8,086.07	16	128,549		
8.2	Suministro y colocación de hormigón elaborado en vertederos	m ³	2,795.65	145	404,037		
8.3	Obras entrada y salida (20%)				106,517	639,103	0.5
9	LIMPIEZA Y PERFILADO CANAL PRINCIPAL						
9.1	Limpieza y perfilado tramo cauce	m ³	79.81	9,461	755,069	755,069	0.6
COSTO TOTAL SISTEMA DE MICRODRENAJE						\$98,351,670	
COSTO TOTAL SISTEMA DE MACRODRENAJE						\$21,109,306	
COSTO DE CONSTRUCCIÓN TOTAL ESTRATEGIA						\$119,460,976	

ANEXO 2

Tabla A2- 20.- Costos de Construcción de la estrategia (E4-2)-1.13PE (Enero de 2013)

ÍTEM N°	DESIGNACIÓN DEL ÍTEM	UNIDAD	PRECIO UNITARIO (\$)	CANTIDAD	PRECIO TOTAL SUB ÍTEM (\$)	PRECIO TOTAL ÍTEM (\$)	INCIDENCIA %
1	OBRADOR, MOVILIZACIÓN y DESMOVILIZACIÓN DE EQUIPOS Y EQUIPAMIENTO	gl.	56,896	1.00	56,896	56,896	4.66
2	ROTURA Y REPARACIÓN DE CALLES (rotura, relleno y compactación con material seleccionado, reposición de calzada original)						
2.1	Rotura Pavimento	m ³	999.35	0.00	0		
2.2	Reposición base suelo mejorado	m ³	514.84	0.00	0		
2.3	Reposición Pavimento Hormigón H21	m ³	1,906.35	0.00	0	0	0.0
3	MOVIMIENTO DE SUELOS						
3.1	Excavación Común para Cañerías y Cámaras	m ³	130.41	0.00	0		
3.2	Relleno y Compactación para desagües pluviales	m ³	203.03	0.00	0	0	0.0
4	PROVISIÓN Y COLOCACION CONDUCTOS DE H° A°						
4.1	Caño de H° A° Ø 600 - IRAM 11503 - Clase III	ml	1,422.38	0	0		
4.2	Caño de H° A° Ø800 - IRAM 11503 - Clase III	ml	2,095.72	0	0		
4.3	Caño de H° A° Ø1000 - IRAM 11503 - Clase III	ml	2,769.05	0	0		
4.4	Caño de H° A° Ø1200 - IRAM 11503 - Clase III	ml	2,960.58	0	0		
4.5	Caño de H° A° Ø1400 - IRAM 11503 - Clase III	ml	3,260.58	0	0		
4.6	Conducto rectangular cerrado	m ³	4,267.14	0	0	0	0.0
5	EJECUCIÓN DE CÁMARAS						
5.1	Cámaras de Registro	Un.	16,652.69	0	0		
5.2	Cámaras de Captación	Un.	19,639.80	0	0	0	0.0
6	TANQUES DE ALMACENAMIENTO DOMICILIARIOS						
6.1	Provisión y colocación de tanques de almacenamiento	Un.	2,000.00	0	0	0	0.0
7	MOVIMIENTO DE SUELO RESERVORIOS						
7.1	Limpieza del terreno	m ²	21.31	0	0		
7.2	Excavación	m ³	52.83	0	0		
7.3	Perfilado con relleno y compactación	m ³	40.00	0	0		
7.4	Remoción de suelo hasta una distancia media de 16 km	m ³	2.37	0	0		
7.5	Regularización terreno	m ²	7.50	0	0	0	0.0
8	ESTRUCTURAS DE DESCARGA RESERVORIOS						
8.1	Suministro y colocación de acero en vertederos	Ton	8,086.07	20	164,986		
8.2	Suministro y colocación de hormigón elaborado en vertederos	m ³	2,795.65	185	518,562		
8.3	Obras entrada y salida (20%)				136,710	820,258	67.2
9	LIMPIEZA Y PERFILADO CANAL PRINCIPAL						
9.1	Limpieza y perfilado tramo cauce	m ³	79.81	4,294	342,722	342,722	28.1
COSTO TOTAL SISTEMA DE MICRODRENAJE						\$0	
COSTO TOTAL SISTEMA DE MACRODRENAJE						\$1,219,876	
COSTO DE CONSTRUCCIÓN TOTAL ESTRATEGIA						\$1,219,876	

ANEXO 2

Tabla A2- 21.-Costos de Construcción de la estrategia (E4-2)-1.20PE (Enero de 2013)

ÍTEM N°	DESIGNACIÓN DEL ÍTEM	UNIDAD	PRECIO UNITARIO (\$)	CANTIDAD	PRECIO TOTAL SUB ÍTEM (\$)	PRECIO TOTAL ÍTEM (\$)	INCIDENCIA %
1	OBRADOR, MOVILIZACIÓN y DESMOVILIZACIÓN DE EQUIPOS Y EQUIPAMIENTO	gl.	56,896	1.00	56,896	56,896	4.35
2	ROTURA Y REPARACIÓN DE CALLES (rotura, relleno y compactación con material seleccionado, reposición de calzada original)						
2.1	Rotura Pavimento	m ³	999.35	0.00	0		
2.2	Reposición base suelo mejorado	m ³	514.84	0.00	0		
2.3	Reposición Pavimento Hormigón H21	m ³	1,906.35	0.00	0	0	0.0
3	MOVIMIENTO DE SUELOS						
3.1	Excavación Común para Cañerías y Cámaras	m ³	130.41	0.00	0		
3.2	Relleno y Compactación para desagües pluviales	m ³	203.03	0.00	0	0	0.0
4	PROVISIÓN Y COLOCACION CONDUCTOS DE H° A°						
4.1	Caño de H° A° Ø 600 - IRAM 11503 - Clase III	ml	1,422.38	0	0		
4.2	Caño de H° A° Ø800 - IRAM 11503 - Clase III	ml	2,095.72	0	0		
4.3	Caño de H° A° Ø1000 - IRAM 11503 - Clase III	ml	2,769.05	0	0		
4.4	Caño de H° A° Ø1200 - IRAM 11503 - Clase III	ml	2,960.58	0	0		
4.5	Caño de H° A° Ø1400 - IRAM 11503 - Clase III	ml	3,260.58	0	0		
4.6	Conducto rectangular cerrado	m ³	4,267.14	0	0	0	0.0
5	EJECUCIÓN DE CÁMARAS						
5.1	Cámaras de Registro	Un.	16,652.69	0	0		
5.2	Cámaras de Captación	Un.	19,639.80	0	0	0	0.0
6	TANQUES DE ALMACENAMIENTO DOMICILIARIOS						
6.1	Provisión y colocación de tanques de almacenamiento	Un.	2,000.00	0	0	0	0.0
7	MOVIMIENTO DE SUELO RESERVORIOS						
7.1	Limpieza del terreno	m ²	21.31	0	0		
7.2	Excavación	m ³	52.83	0	0		
7.3	Perfilado con relleno y compactación	m ³	40.00	0	0		
7.4	Remoción de suelo hasta una distancia media de 16 km	m ³	2.37	0	0		
7.5	Regularización terreno	m ²	7.50	0	0	0	0.0
8	ESTRUCTURAS DE DESCARGA RESERVORIOS						
8.1	Suministro y colocación de acero en vertederos	Ton	8,086.07	23	188,882		
8.2	Suministro y colocación de hormigón elaborado en vertederos	m ³	2,795.65	212	593,667		
8.3	Obras entrada y salida (20%)				156,510	939,059	71.8
9	LIMPIEZA Y PERFILADO CANAL PRINCIPAL						
9.1	Limpieza y perfilado tramo cauce	m ³	79.81	3,898	311,064	311,064	23.8
COSTO TOTAL SISTEMA DE MICRODRENAJE						\$0	
COSTO TOTAL SISTEMA DE MACRODRENAJE						\$1,307,019	
COSTO DE CONSTRUCCIÓN TOTAL ESTRATEGIA						\$1,307,019	

ANEXO 2

Tabla A2- 22.- Costos de Construcción de la estrategia (E4-3)-1.10PE (Enero de 2013)

ÍTEM N°	DESIGNACIÓN DEL ÍTEM	UNIDAD	PRECIO UNITARIO (\$)	CANTIDAD	PRECIO TOTAL SUB ÍTEM (\$)	PRECIO TOTAL ÍTEM (\$)	INCIDENCIA %
1	OBRADOR, MOVILIZACIÓN y DESMOVILIZACIÓN DE EQUIPOS Y EQUIPAMIENTO	gl.	56,896	1.00	56,896	56,896	0.04
2	ROTURA Y REPARACIÓN DE CALLES (rotura, relleno y compactación con material seleccionado, reposición de calzada original)						
2.1	Rotura Pavimento	m ³	999.35	5,661.11	5,657,431		
2.2	Reposición base suelo mejorado	m ³	514.84	2,830.56	1,457,283		
2.3	Reposición Pavimento Hormigón H21	m ³	1,906.35	2,830.56	5,396,029	12,510,744	9.6
3	MOVIMIENTO DE SUELOS						
3.1	Excavación Común para Cañerías y Cámaras	m ³	130.41	64,588.08	8,422,931		
3.2	Relleno y Compactación para desagües pluviales	m ³	203.03	45,605.50	9,259,285	17,682,216	13.5
4	PROVISIÓN Y COLOCACION CONDUCTOS DE H° A°						
4.1	Caño de H° A° Ø 600 - IRAM 11503 - Clase III	ml	1,422.38	465	660,809		
4.2	Caño de H° A° Ø800 - IRAM 11503 - Clase III	ml	2,095.72	1,416	2,967,742		
4.3	Caño de H° A° Ø1000 - IRAM 11503 - Clase III	ml	2,769.05	2,792	7,729,969		
4.4	Caño de H° A° Ø1200 - IRAM 11503 - Clase III	ml	2,960.58	1,811	5,360,372		
4.5	Caño de H° A° Ø1400 - IRAM 11503 - Clase III	ml	3,260.58	295	961,905		
4.6	Conducto rectangular cerrado	m ³	4,267.14	5,044	21,523,699	39,204,497	30.0
5	EJECUCIÓN DE CÁMARAS						
5.1	Cámaras de Registro	Un.	16,652.69	115	1,915,059		
5.2	Cámaras de Captación	Un.	19,639.80	230	4,517,154	6,432,213	4.9
6	TANQUES DE ALMACENAMIENTO DOMICILIARIOS						
6.1	Provisión y colocación de tanques de almacenamiento	Un.	2,000.00	16,899	33,798,000	33,798,000	25.8
7	MOVIMIENTO DE SUELO RESERVORIOS						
7.1	Limpieza del terreno	m ²	21.31	159,580	3,400,647		
7.2	Excavación	m ³	52.83	228,285	12,060,298		
7.3	Perfilado con relleno y compactación	m ³	40.00	76,000	3,040,000		
7.4	Remoción de suelo hasta una distancia media de 16 km	m ³	2.37	223,979	530,110		
7.5	Regularización terreno	m ²	7.50	83,580	627,184	19,658,239	15.0
8	ESTRUCTURAS DE DESCARGA RESERVORIOS						
8.1	Suministro y colocación de acero en vertederos	Ton	8,086.07	16	128,549		
8.2	Suministro y colocación de hormigón elaborado en vertederos	m ³	2,795.65	145	404,037		
8.3	Obras entrada y salida (20%)				106,517	639,103	0.5
9	LIMPIEZA Y PERFILADO CANAL PRINCIPAL						
9.1	Limpieza y perfilado tramo cauce	m ³	79.81	9,748	778,002	778,002	0.6
COSTO TOTAL SISTEMA DE MICRODRENAJE						\$109,627,670	
COSTO TOTAL SISTEMA DE MACRODRENAJE						\$21,132,239	
COSTO DE CONSTRUCCIÓN TOTAL ESTRATEGIA						\$130,759,909	

ANEXO 2

Tabla A2- 23.- Costos de Construcción de la estrategia (E4-3)-1.20PE (Enero de 2013)

ÍTEM N°	DESIGNACIÓN DEL ÍTEM	UNIDAD	PRECIO UNITARIO (\$)	CANTIDAD	PRECIO TOTAL SUB ÍTEM (\$)	PRECIO TOTAL ÍTEM (\$)	INCIDENCIA %
1	OBRADOR, MOVILIZACIÓN y DESMOVILIZACIÓN DE EQUIPOS Y EQUIPAMIENTO	gl.	56,896	1.00	56,896	56,896	3.62
2	ROTURA Y REPARACIÓN DE CALLES (rotura, relleno y compactación con material seleccionado, reposición de calzada original)						
2.1	Rotura Pavimento	m ³	999.35	0.00	0		
2.2	Reposición base suelo mejorado	m ³	514.84	0.00	0		
2.3	Reposición Pavimento Hormigón H21	m ³	1,906.35	0.00	0	0	0.0
3	MOVIMIENTO DE SUELOS						
3.1	Excavación Común para Cañerías y Cámaras	m ³	130.41	0.00	0		
3.2	Relleno y Compactación para desagües pluviales	m ³	203.03	0.00	0	0	0.0
4	PROVISIÓN Y COLOCACION CONDUCTOS DE H° A°						
4.1	Caño de H° A° Ø 600 - IRAM 11503 - Clase III	ml	1,422.38	0	0		
4.2	Caño de H° A° Ø800 - IRAM 11503 - Clase III	ml	2,095.72	0	0		
4.3	Caño de H° A° Ø1000 - IRAM 11503 - Clase III	ml	2,769.05	0	0		
4.4	Caño de H° A° Ø1200 - IRAM 11503 - Clase III	ml	2,960.58	0	0		
4.5	Caño de H° A° Ø1400 - IRAM 11503 - Clase III	ml	3,260.58	0	0		
4.6	Conducto rectangular cerrado	m ³	4,267.14	0	0	0	0.0
5	EJECUCIÓN DE CÁMARAS						
5.1	Cámaras de Registro	Un.	16,652.69	0	0		
5.2	Cámaras de Captación	Un.	19,639.80	0	0	0	0.0
6	TANQUES DE ALMACENAMIENTO DOMICILIARIOS						
6.1	Provisión y colocación de tanques de almacenamiento	Un.	2,000.00	0	0	0	0.0
7	MOVIMIENTO DE SUELO RESERVORIOS						
7.1	Limpieza del terreno	m ²	21.31	0	0		
7.2	Excavación	m ³	52.83	0	0		
7.3	Perfilado con relleno y compactación	m ³	40.00	0	0		
7.4	Remoción de suelo hasta una distancia media de 16 km	m ³	2.37	0	0		
7.5	Regularización terreno	m ²	7.50	0	0	0	0.0
8	ESTRUCTURAS DE DESCARGA RESERVORIOS						
8.1	Suministro y colocación de acero en vertederos	Ton	8,086.07	23	188,882		
8.2	Suministro y colocación de hormigón elaborado en vertederos	m ³	2,795.65	212	593,667		
8.3	Obras entrada y salida (20%)				156,510	939,059	59.7
9	LIMPIEZA Y PERFILADO CANAL PRINCIPAL						
9.1	Limpieza y perfilado tramo cauce	m ³	79.81	7,234	577,343	577,343	36.7
COSTO TOTAL SISTEMA DE MICRODRENAJE						\$0	
COSTO TOTAL SISTEMA DE MACRODRENAJE						\$1,573,298	
COSTO DE CONSTRUCCIÓN TOTAL ESTRATEGIA						\$1,573,298	

ANEXO 2

Tabla A2- 24.- Costos de Construcción de la estrategia (E4-3)-1.30PE (Enero de 2013)

ÍTEM N°	DESIGNACIÓN DEL ÍTEM	UNIDAD	PRECIO UNITARIO (\$)	CANTIDAD	PRECIO TOTAL SUB ÍTEM (\$)	PRECIO TOTAL ÍTEM (\$)	INCIDENCIA %
1	OBRADOR, MOVILIZACIÓN y DESMOVILIZACIÓN DE EQUIPOS Y EQUIPAMIENTO	gl.	56,896	1.00	56,896	56,896	4.06
2	ROTURA Y REPARACIÓN DE CALLES (rotura, relleno y compactación con material seleccionado, reposición de calzada original)						
2.1	Rotura Pavimento	m ³	999.35	0.00	0		
2.2	Reposición base suelo mejorado	m ³	514.84	0.00	0		
2.3	Reposición Pavimento Hormigón H21	m ³	1,906.35	0.00	0	0	0.0
3	MOVIMIENTO DE SUELOS						
3.1	Excavación Común para Cañerías y Cámaras	m ³	130.41	0.00	0		
3.2	Relleno y Compactación para desagües pluviales	m ³	203.03	0.00	0	0	0.0
4	PROVISIÓN Y COLOCACION CONDUCTOS DE H° A°						
4.1	Caño de H° A° Ø 600 - IRAM 11503 - Clase III	ml	1,422.38	0	0		
4.2	Caño de H° A° Ø800 - IRAM 11503 - Clase III	ml	2,095.72	0	0		
4.3	Caño de H° A° Ø1000 - IRAM 11503 - Clase III	ml	2,769.05	0	0		
4.4	Caño de H° A° Ø1200 - IRAM 11503 - Clase III	ml	2,960.58	0	0		
4.5	Caño de H° A° Ø1400 - IRAM 11503 - Clase III	ml	3,260.58	0	0		
4.6	Conducto rectangular cerrado	m ³	4,267.14	0	0	0	0.0
5	EJECUCIÓN DE CÁMARAS						
5.1	Cámaras de Registro	Un.	16,652.69	0	0		
5.2	Cámaras de Captación	Un.	19,639.80	0	0	0	0.0
6	TANQUES DE ALMACENAMIENTO DOMICILIARIOS						
6.1	Provisión y colocación de tanques de almacenamiento	Un.	2,000.00	0	0	0	0.0
7	MOVIMIENTO DE SUELO RESERVORIOS						
7.1	Limpieza del terreno	m ²	21.31	0	0		
7.2	Excavación	m ³	52.83	0	0		
7.3	Perfilado con relleno y compactación	m ³	40.00	0	0		
7.4	Remoción de suelo hasta una distancia media de 16 km	m ³	2.37	0	0		
7.5	Regularización terreno	m ²	7.50	0	0	0	0.0
8	ESTRUCTURAS DE DESCARGA RESERVORIOS						
8.1	Suministro y colocación de acero en vertederos	Ton	8,086.07	24	191,572		
8.2	Suministro y colocación de hormigón elaborado en vertederos	m ³	2,795.65	215	602,121		
8.3	Obras entrada y salida (20%)				158,739	952,431	67.9
9	LIMPIEZA Y PERFILADO CANAL PRINCIPAL						
9.1	Limpieza y perfilado tramo cauce	m ³	79.81	4,932	393,624	393,624	28.1
COSTO TOTAL SISTEMA DE MICRODRENAJE						\$0	
COSTO TOTAL SISTEMA DE MACRODRENAJE						\$1,402,951	
COSTO DE CONSTRUCCIÓN TOTAL ESTRATEGIA						\$1,402,951	

A3. ANEXO 3: Variación del Índice del costo de la construcción

Tabla A3- 1.- Índice del Costo de la Construcción (ICC)
Desde Enero de 2013 en adelante (Índice base Diciembre 2014=100)

Período	Nivel General	Materiales	Mano de obra
Ene-13	58,2	54,0	62,3
Feb-13	58,3	54,6	62,0
Mar-13	60,1	55,6	64,6
Abr-13	61,0	56,8	65,1
May-13	61,2	58,0	64,4
Jun-13	67,1	58,9	75,0
Jul-13	68,1	59,9	76,2
Ago-13	68,7	61,1	76,2
Sept-13	69,1	62,2	76,0
Oct-13	69,9	63,8	76,0
Nov-13	71,1	66,2	76,0
Dic-13	73,8	69,2	78,3
Ene-14	77,1	74,9	79,2
Feb-14	79,1	79,1	79,2
Mar-14	79,8	81,3	78,4
Abr-14	87,4	84,2	90,5
May-14	88,3	86,4	90,1
Jun-14	88,9	87,7	90,1
Jul-14	94,6	89,5	99,5
Ago-14	96,0	92,3	99,7
Sept-14	97,0	94,4	99,7
Oct-14	98,3	96,7	100,0
Nov-14	99,5	98,9	100,0
Dic-14	100,0	100,0	100,0
Ene-15	102,1	101,6	102,7
Feb-15	104,1	103,7	104,6
Mar-15	105,1	105,4	104,6
Abr-15	105,1	107,2	101,9
May-15	112,8	109,2	118,0
Jun-15	120,2	110,7	134,3
Jul-15	114,6	112,2	118,2
Ago-15	120,1	114,4	128,5
Sept-15	121,1	116,1	128,5
Oct-15	122,3	117,9	128,7
Nov-15	124,8	122,1	128,7
Dic-15	131,2	132,3	129,6

Fuente: CAC (Cámara Argentina de la Construcción)