

Universidad Nacional de Río Negro

Escuela de Producción, Tecnología y Medio Ambiente

Ingeniería Ambiental



Proyecto final integrador

Noviembre 2019

**Inundaciones En La Cuenca Del
Arroyo Ñireco. Medidas Preventivas
Y Correctivas, Acciones
Estructurales Y No Estructurales.**

Información general:

Tema de investigación: ***Inundaciones en la cuenca del arroyo Ñireco. Medidas preventivas y correctivas, acciones estructurales y no estructurales.***

Alumno: ***Matías Ezequiel Lasso***

Carrera: ***Ingeniería Ambiental***

Legajo: ***UNRN-4638***

Fecha de inicio: ***marzo 2018***

Director: ***Mg. Ing. Martin Nini***

Firma y aclaración

Postulante

Firma y aclaración

Director

Índice general

Información general:	1
1. Resumen	11
2. Introducción	13
2.1. Problemática	14
2.2. San Carlos de Bariloche.....	16
3. Antecedentes.....	20
3.1. Inundaciones en Argentina	21
3.1.1. Aspectos Generales	21
3.1.2. Aspectos físicos de Argentina.....	21
3.1.3. Caracterización de las inundaciones urbanas en Argentina	23
3.1.4. Problemas asociados a las distintas zonas geográficas.....	24
3.2. Inundaciones a nivel mundial	29
3.3. Presentación de la cuenca de estudio	35
4. Medidas preventivas	36
4.1. Acciones estructurales:.....	37
4.1.1. Sistema de drenaje.....	37
4.1.2. Estructuras de protección/atenuación:	40
4.1.3. Cobertura vegetal.....	48
4.2. Acciones no estructurales:.....	50
4.2.1. Pronósticos de alerta temprana.....	50
4.2.2. Generación de mapas de riesgo.....	52
4.2.3. Modelos computacionales para la simulación de inundaciones.	53
4.2.4. Comunicación y participación social	54
5. Medidas correctivas	57
5.1. Acciones estructurales.....	58
5.1.1. Construcción de bordos temporales.....	58
5.1.2. Desencharcamiento y drenaje de zonas inundadas.....	58

5.1.3. Reubicación de la población.....	59
5.1.4. Albergues temporales	59
5.2. Acciones no estructurales.....	60
5.2.1. Fondos de desastres.....	60
6. Nueva concepción sobre la gestión de cursos de agua.....	62
7. Marco legal	70
8. Objetivos e hipótesis	74
8.1. Objetivo general:	75
8.2. Objetivos específicos	75
8.3. Hipótesis	75
9. Metodología	76
9.1. Caracterización física y modelo hidrológico de la cuenca del arroyo Ñireco.....	77
9.1.1. Recopilación y análisis de información básica disponible.....	77
9.1.2. Análisis de información meteorológica y generación de tormentas de diseño. ...	77
9.1.3. Demarcación de los límites de las cuencas y subcuencas.....	77
9.1.4. Determinación de parámetros morfométricos y de forma de cada subcuenca....	78
9.1.5. Descripción de la red de drenaje natural.....	78
9.1.6. Determinación de tiempo de concentración (Tc).	78
9.1.7. Clasificación hidrológica del suelo de las cuencas - estimación del potencial de..	78
9.1.8. Modelación Hidrológica. Determinación de la respuesta de las cuencas en los puntos críticos.....	78
9.1.9. Clasificación hidrológica del suelo de las cuencas - estimación del potencial de escorrentía.....	79
9.1.10. Modelación Hidrológica. Determinación de la respuesta de las cuencas en los puntos críticos.....	79
9.2. Análisis jurisdiccional de los principales actores	79
9.2.1 Análisis de la documentación legal de nivel nacional, provincial y municipal, en relación al manejo de cuencas (GIRH)	79
9.3. Plan de intervención.....	79
10. Resultados	81

10.1	Características físicas y modelo hidrológico de la cuencas	82
10.1.1.	Actividades que se desarrollan dentro de la cuenca:.....	82
10.1.2.	Información pluviométrica:	83
10.1.3.	Análisis de información meteorológica y generación de tormentas de diseño. 86	
10.1.4.	Demarcación de los límites de las cuencas y subcuencas.....	90
10.1.5.	Determinación de parámetros morfométricos y de forma de cada subcuenca 91	
10.1.6.	Descripción de la red de drenaje natural	113
10.1.7.	Determinación de tiempo de concentración	119
10.1.8.	Clasificación hidrológica del suelo de las cuencas – estimación del potencial de escorrentía	121
10.1.9.	Modelación hidrológica. Determinación de la respuesta de las cuencas en los puntos críticos.....	129
10.1.9.1.	Esquema de modelación:	129
10.1.9.2.	Validación del modelo.....	138
10.1.9.3.	Selección de tormenta modelo	143
10.1.9.4.	Planteo de Escenarios futuros:	144
10.1.9.5.	Análisis de resultados:.....	161
10.2.	Análisis jurisdiccional de los principales actores de la cuenca.	163
10.3.	Plan de intervención	170
10.3.1.	Medidas no estructurales.....	170
10.3.1.1.	Plan Maestro de la Cuenca del Arroyo Ñireco.	170
10.3.1.2.	Conservación de la cuenca superior.	170
10.3.1.3.	Comunicación y participación social	171
10.3.1.4.	Pronóstico de alerta temprana.	172
10.3.1.5.	Mapas de riesgo.	172
10.3.2.	Acciones estructurales.....	173
10.3.2.1.	Sistema de drenaje urbano sostenible.....	173
10.3.2.2.	Presas rompe picos	175

10.3.2.3.	Parque lineal.....	175
10.4.	Evaluación del impacto en la cuenca con plan de intervención	176
10.4.1.	Presas rompe-picos.	176
10.4.2.	Revegetación en la cuenca alta	179
10.4.3.	Sistema de drenaje urbano sustentable.....	182
10.5.	Análisis de resultados:.....	184
10.6.	Cronograma de medidas	186
11.	Conclusiones.....	188
12.	Recomendaciones.....	191
13.	Bibliografía.....	193
14.	Anexos	200
14.1	Anexo I	201
14.2.	Anexo II.....	213
14.3.	Anexo III.....	217

Índice de Figuras:

Figura 1.	Relación entre cubierta impermeable y escorrentía superficial. La cobertura impermeable en una cuenca da como resultado una mayor escorrentía superficial. Tan solo un 10%. Fuente: USEPA.....	15
Figura 2.	Evolución de la población de San Carlos de Bariloche 1960-2010. Fuente: modificado de M. Madariaga.	16
Figura 3.	Ejes de crecimiento urbano de la ciudad de San Carlos de Bariloche. Fuente: Matossian, 2008.	17
Figura 4.	Izquierda: estado actual de la llanura de inundación. Derecha: problemas luego de una crecida sobre viviendas ubicadas en cercanías del cauce. Fuente: Pereyra (2007).	18
Figura 5.	Eco-regiones de Argentina. Fuente: Secretaria de ambiente y desarrollo sustentable 1999	22
Figura 6.	Inundación ocurrida en mayo de 2003 en Santa Fe. Fuente: INA.....	26
Figura 7.	Desborde del arroyo Ñireco. Fuente: Barinoticias, 06/07/2016.	29
Figura 8.	Inundaciones en agosto de 2003 en el río Mississippi. Fuente: earthobservatory.nasa.gov.....	32

Figura 9. San Adrià de Besòs, 26 de septiembre de 1962. Fuente: abc.es.....	33
Figura 10. Crecida del río Ebro. 2003. Fuente: EFE	34
Figura 11. Detalle de muros de contención. Fuente: Maza, 2007.	43
Figura 12. Estructura de desvío de caudales. Fuente: Maza, 2007.....	45
Figura 13. Meandros en el río Amazonas. Fuente: Lifeder.com	46
Figura 14. Presas rompe-picos. Fuente: Maza, 1997.	48
Figura 15. Esquema de alerta-prevención. Fuente: Paoli, 2015	51
Figura 16. Generación de mapa de riesgo. Fuente: Renda, 2017	53
Figura 17. Activación de plan de crisis y monitoreo. Fuente: Ministerio de Salud y Desarrollo Social, Argentina.	56
Figura 18. De arriba abajo: año 1957, finales años 90, año 2012 y año 2013 luego de la restauración. Fuente: Proyecto Life.	65
Figura 19. Retranqueo de muros de contención. Fuente: revistaesposible.org.....	67
Figura 20. Laminación de crecida. Fuente: revistaesposible.org	67
Figura 21. Canalización (a) y posterior restauración (b) del río Rombach en Fuldera. Fuente: Pio Pitsch	68
Figura 22. Desarrollo de actividades en las zonas parquizadas. Fuente: (Nini, Lozeco, & Petri, 2017)	69
Figura 23. Sector intervenido por los vecinos. Fuente: (Nini, Lozeco, & Petri, 2017).....	69
Figura 24. Límites de jurisdicciones en la Cuenca del arroyo Ñireco. Fuente: Elaboración propia.....	71
Figura 25. Instalaciones y/o actividades que se encuentran dentro de la cuenca del arroyo Ñireco.	83
Figura 26. Ubicación de las estaciones meteorológicas Pilar y Pioneros km1. Fuente: Elaboración propia.....	84
Figura 27. Caudales mínimos y máximos en la cuenca del Arroyo Ñireco (Series 1999- 2011). Fuente: DPA.....	85
Figura 28. Hietograma relativo para tormentas duración 2 hs. - Estación DPA - Bariloche. Fuente: FICH, 2007	86
Figura 29. Hietograma relativo medio para tormentas duración 6 hs. - Estación DPA - Bariloche. Fuente: FICH, 2007.	87
Figura 30. Curvas de I-D-F diseñadas para el periodo 2000-2014. Fuente: DPA	88
Figura 31. Hietograma para una tormenta de diseño con TR 20 años y duración de 6 Hs..	89
Figura 32. Hietograma para una tormenta de diseño con TR 20 años y duración de 8 Hs..	90
Figura 33. Delimitación de las 17 subcuencas que componen a la cuenca del arroyo Ñireco.	91
Figura 34. Ubicación de la subcuenca Ñireco Inferior 1. Fuente: Elaboración propia.	94

Figura 35. Ubicación de la subcuenca Ñireco Inferior 2. Fuente: Elaboración propia. 95

Figura 36. Ubicación de la subcuenca Esandi. Fuente: Elaboración propia. 96

Figura 37. Ubicación de la subcuenca Ñireco medio 3. Fuente: Elaboración propia..... 97

Figura 38. Ubicación de la subcuenca Basurero. Fuente: Elaboración propia. 99

Figura 39. Ubicación de la subcuenca Ñireco Medio 2. Fuente: Elaboración propia..... 100

Figura 40. Ubicación de la subcuenca Carbón. Fuente: Elaboración propia..... 101

Figura 41. Ubicación de la subcuenca Ñireco Medio 1. Fuente: Elaboración propia..... 103

Figura 42. Ubicación de la subcuenca Ñireco Superior 2. Fuente: Elaboración propia. 104

Figura 43. Ubicación de la subcuenca Ventana 2. Fuente: Elaboración propia. 105

Figura 44. Ubicación de la subcuenca Ventana 1. Fuente: Elaboración propia. 106

Figura 45. Ubicación de la subcuenca Frutillar. Fuente: Elaboración propia. 107

Figura 46. Ubicación de la subcuenca Los Loros. Fuente: Elaboración propia. 108

Figura 47. Ubicación de la subcuenca Challhuaco Inferior. Fuente: Elaboración propia... 109

Figura 48. Ubicación de la subcuenca Challhuaco Superior 1. Fuente: Elaboración propia.
..... 110

Figura 49. Ubicación de la subcuenca Challhuaco Superior 2. Fuente: Elaboración propia.
..... 111

Figura 50. Ubicación de la subcuenca Ñireco Superior 1. Fuente: Elaboración propia. 112

Figura 51. Clasificación de Straheler para los cursos de agua en la cuenca Ñireco. Fuente:
Elaboración propia..... 115

Figura 52. Pendiente media del cauce principal del arroyo Ñireco. Fuente: Elaboración
propia..... 117

Figura 53. Mapa topográfico de la cuenca del Ñireco. Fuente: Elaboración propia..... 118

Figura 54. Mapa de pendientes de la cuenca Ñireco. Fuente: Elaboración propia. 118

Figura 55. Solución de las ecuaciones de escorrentía del SCS. Fuente: SCS, 1972. 122

Figura 56. Mapa de cobertura vegetal en la Cuenca del Ñireco. Fuente: Elaboración propia.
..... 126

Figura 57. Mapa de suelos de San Carlos de Bariloche. Fuente: Lopez & Gaitán, 2005 127

Figura 58. Mapa de clasificación de suelos dentro de la cuenca Ñireco. Fuente: Elaboración
propia..... 128

Figura 59. Esquema topológico de la cuenca del arroyo Ñireco en HEC-HMS. Fuente:
Elaboración propia..... 133

Figura 60. Hidrograma medido en la desembocadura del arroyo Ñireco para la crecida de
julio de 2018. Fuente: DPA 134

Figura 61. Separación de caudales utilizando W.H.A.T. Fuente: Elaboración propia. 136

Figura 62. Modelado en HEC-HMS tormenta julio 2018. Fuente: Elaboración propia. 136

Figura 63. Ajuste de modelo sobre hidrograma real, tormenta julio 2018. Fuente: Elaboración propia..... 137

Figura 64. Hidrograma desembocadura arroyo Ñireco. Fuente: FICH 2007 138

Figura 65. Separación de caudales utilizando W.H.A.T. Fuente: Elaboración propia. 139

Figura 66. Hidrograma modelado en HEC-HMS para la tormenta de julio 2004. Fuente: Elaboración propia..... 140

Figura 67. Modelado en HEC-HMS de la tormenta de Julio de 2004 vs hidrograma real. Fuente: Elaboración propia. 141

Figura 68. Hietograma para una tormenta de diseño con TR 20 años. Fuente: Elaboración propia..... 143

Figura 69. Hidrograma de salida para una tormenta de diseño con TR 20 años. Fuente: Elaboración propia..... 144

Figura 70. Comparativa entre hidrograma TR 20 vs hidrograma Escenario 1. Fuente: Elaboración propia..... 146

Figura 71. Comparativa entre hidrograma TR 20 vs hidrograma Escenario 1, en la zona urbana de la cuenca baja. Fuente: Elaboración propia..... 147

Figura 72. Comparativa entre hidrograma TR 20 vs hidrograma Escenario 2. Fuente: Elaboración propia..... 149

Figura 73. Comparativa entre hidrograma TR 20 vs hidrograma Escenario 2 en la confluencia de los arroyos Ñireco y Challhuaco. Fuente: Elaboración propia..... 150

Figura 74. Comparativa entre hidrograma TR 20 vs hidrograma Escenario 3. Fuente: Elaboración propia..... 152

Figura 75. Comparativa entre hidrograma TR 20 vs hidrograma Escenario 3 en la confluencia de los arroyos Ñireco y Challhuaco. Fuente: Elaboración propia..... 153

Figura 76. Comparativa entre hidrograma TR 20 vs hidrograma escenario 4. Fuente: Elaboración propia..... 155

Figura 77. Comparativa entre hidrogramas TR 20 años y Escenario 4 en la confluencia de los arroyos Ñireco y Challhuaco. Fuente: Elaboración propia 156

Figura 78. Comparativa entre hidrogramas TR 20 años y Escenario 4 en la zona urbana de la cuenca baja. Fuente: Elaboración propia 157

Figura 79. Comparativa entre hidrogramas TR 20 años y Escenario 5. Fuente: Elaboración propia..... 159

Figura 80. Comparativa entre hidrogramas TR 20 años y Escenario 5 en la confluencia de los arroyos Ñireco y Challhuaco. Fuente: Elaboración propia 160

Figura 81. Comparativa entre hidrogramas TR 20 años y Escenario 5 en la zona urbana de la cuenca baja. Fuente: Elaboración propia 161

Figura 82. Comparación de TR 20 años con los Escenarios 1-5. Fuente: Elaboración propia. 162

Figura 83. Demarcación de los límites del PNNH. Fuente: PNNH, 2019. 164

Figura 84. Delimitación del Área Crítica dentro del Parque. Fuente: PNNH, 2004 166

Figura 85. ingreso al área de la comunidad mapuche. 168

Figura 86. Comparación entre hidrogramas TR 20 años vs cuenca con presas 4*Tc, medidos en la desembocadura del arroyo Ñireco. Fuente: Elaboración propia. 177

Figura 87. Comparación entre hidrogramas TR 20 años vs cuenca con presas 8*Tc, medidos en la desembocadura del arroyo Ñireco. Fuente: Elaboración propia. 178

Figura 88. Ubicación de posibles presas rompe-picos en la cuenca alta de los arroyos Ñireco y Challhuaco. 179

Figura 89. Comparación entre hidrogramas TR 20 años vs cuenca reforestación de bosque quemado en 1996 medidos en la desembocadura del arroyo Ñireco. Fuente: Elaboración propia..... 180

Figura 90. Comparación de hidrogramas de salida entre TR 20 años vs cuenca reforestación de parches dispersos de bosque quemado. Fuente: Elaboración propia. .. 181

Figura 91. Comparación de hidrogramas de salida de TR 20 años vs cuenca con reforestación de todas las zonas degradadas por incendios. Fuente: Elaboración propia. 182

Figura 92. Comparación de hidrogramas de salida de TR 20 años vs subcuencas urbanas con SDUS. Fuente: Elaboración propia..... 184

Figura 93. Comparación de TR 20 años vs las acciones estructurales en la cuenca. Fuente: Elaboración propia..... 185

Índice de Tablas:

Tabla 1. Eventos que han generado las mayores inundaciones en el mundo. Fuente: emdat.be The International Disaster Database 30

Tabla 2. Parámetros clave en el diseño de sistemas de drenaje pluvial urbano y sus resultados deseados (DEWS, 2013)..... 39

Tabla 3. Resumen de normativa a nivel Nacional, Provincial y Municipal. Fuente: Elaboración propia..... 73

Tabla 4. Calculo de áreas mediante el método de trapecios. 116

Tabla 5. Parámetros físicos para cada subcuenca..... 120

Tabla 6. Estimación del Tiempo de Concentración para la cuenca Ñireco. 120

Tabla 7. Grupos hidrológicos del suelo (SCS, 1964) 123

Tabla 8. Números de curva de escorrentía para suelos con condiciones de humedad II. Fuente: de Ingeniería de conservación de Suelos y Aguas 1999 en Ibañez 2011. 124

Tabla 9. Valores de CN, S y la para cada subcuena.....	129
Tabla 10. Tiempo de concentración y Tlag de las subcuencas del arroyo Ñireco.....	131
Tabla 11. Parámetros utilizados para el método de Muskingum.	132
Tabla 12. Caudales pico y valores característicos de cada subcuena.....	142
Tabla 13. Resultados de la modelación de una tormenta con TR 20 años.	144
Tabla 14. Calculo de CN para el Escenario 1.....	145
Tabla 15. Comparativa de resultados entre los eventos TR 20 años y Escenario 1.	146
Tabla 16. Cálculo de CN para el escenario 2.	148
Tabla 17. Comparativa de resultados entre los eventos TR 20 años y Escenario 2.	149
Tabla 18. Cálculo de CN para el Escenario 3.....	151
Tabla 19. Comparativa de resultados entre los eventos TR 20 años y Escenario 3.	152
Tabla 20. Cálculo de CN para el escenario 4.	154
Tabla 21. Comparativa de resultados entre los eventos TR 20 años y Escenario 4.	155
Tabla 22. Cálculo de CN e la para Escenario 5.....	158
Tabla 23. Comparativa de resultados entre los eventos TR 20 años y Escenario 5	159
Tabla 24. Comparación porcentual de TR 20 años vs Escenarios planteados.	162
Tabla 25. Comparativa porcentual de TR 20 años vs acciones estructurales.	186
Tabla 26. Cronograma de medidas.....	187

1. Resumen

Bariloche experimentó un gran crecimiento en las últimas décadas, expandiéndose desde el centro de la ciudad hacia el este y sur ocupando sitios con alto riesgo para la población tales como la barda y la planicie de inundación del arroyo Ñireco.

El objetivo general de este trabajo es estudiar las características hidrológicas y su dinámica en la cuenca del arroyo Ñireco, con la finalidad de proponer medidas correctivas para disminuir los riesgos por la inundación y erosión en el curso inferior. Para conseguir esto, se trabajó en entorno SIG en base a la parametrización de la cuenca, modelación de tormentas y posterior análisis de hidrogramas generados en la desembocadura del arroyo, para diferentes escenarios de intervención.

Los resultados demuestran que las acciones y medidas propuestas tienen fortalezas y debilidades, por lo que lo ideal sería ejecutarlas en conjunto, siempre y cuando se haga una evaluación particular correspondiente.

2. Introducción

2.1. Problemática

Las pérdidas asociadas a las inundaciones generan un grave problema para la sociedad a nivel global, esto se debe en gran parte a la ocupación de las llanuras de inundación y bordes de riveras sumado esencialmente a una falta de planificación urbana. Estos lugares son de gran interés tanto para desarrollar actividades recreativas como para el establecimiento de viviendas, aunque no se tiene en cuenta que están permanentemente sujetas a riesgo de inundaciones. Según un informe de índole ambiental realizado por el Banco Mundial, las inundaciones son el mayor desastre natural que amenaza a la Argentina representando el 60% de los desastres naturales y el 95% de los daños económicos (BM, 2016). El costo de las inundaciones ribereñas representa el 49% del costo total anual por desastres naturales, y a su vez las inundaciones urbanas suman el restante 46%. Analizando el gasto anual que producen estos eventos se estima que ocupan un 0,7% del PBI del país.

El avance de la urbanización tiene efectos indirectos tales como la invasión de cauces naturales y llanuras de inundación, impermeabilización de suelo y pérdida de cobertura vegetal de cuencas, como consecuencia de esto se intensifica y acelera el proceso lluvia-escurrimiento (Vázquez, 2012). Si nos referimos a los impactos que genera la urbanización sobre el ciclo hidrológico un autor francés (Chocat, 1997) destaca cinco:

- a. la impermeabilización del suelo,
- b. la aceleración de los escurrimientos,
- c. la construcción de obstáculos al escurrimiento,
- d. la "artificialización" de las acequias, arroyos y ríos en áreas urbanas y,
- e. la contaminación de los medios receptores.

El desarrollo urbano, el asfaltado de las calles y rutas, y la creciente pérdida de espacios verdes por ocupación habitacional generan un aumento notable en los escurrimientos pluviales en las ciudades (Ambrosino s. , y otros, 2004) sumando los incendios forestales o de interface muy comunes en la zona norpatagónica. Aunque se debe destacar que en

zonas urbanas sin calles pavimentadas y terrenos con jardines la infiltración del agua de lluvia es mucho mayor si la comparamos con una zona urbana céntrica con edificios y pavimento en calles, veredas y patios. Según la USEPA (EPA, 2003) debido a las superficies impermeables como el pavimento y los techos, una manzana típica de la ciudad genera cinco veces más escurrimiento que un área forestada del mismo tamaño.

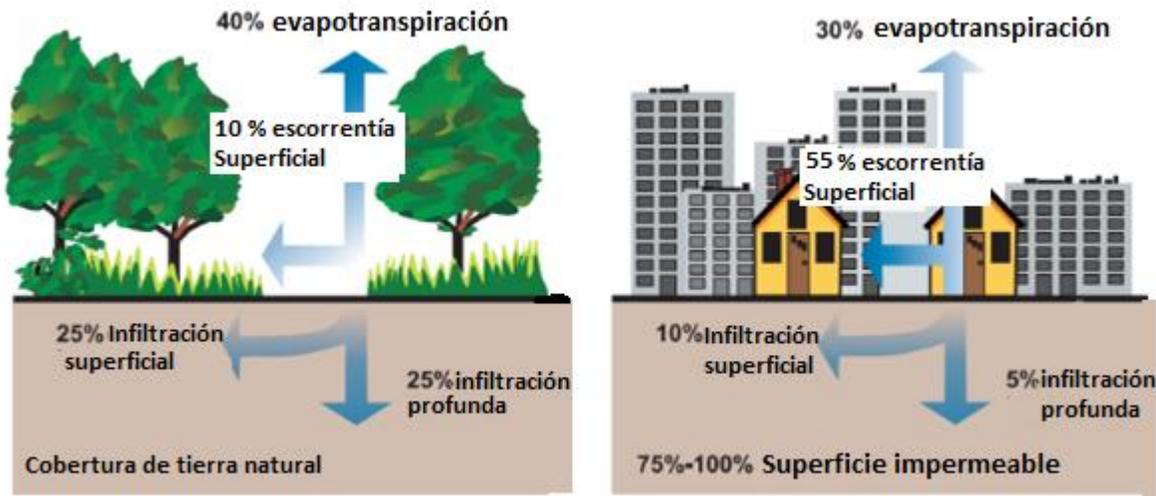


Figura 1. Relación entre cubierta impermeable y escurrimiento superficial. La cobertura impermeable en una cuenca da como resultado una mayor escurrimiento superficial. Tan solo un 10%. Fuente: USEPA.

La urbanización dentro de una cuenca tiende a avanzar sobre zonas bajas en las cuales el agua encontraba almacenamiento, y a su vez a pavimentar el suelo y/o áreas permeables, evitando u obstaculizando la infiltración. Sumado a estos inconvenientes, el sistema pluvial colecta y dirige un gran volumen de agua a cauces de ríos, lagos o humedales incrementando el pico de caudales y disminuyendo su tiempo de acción. (Ambrosino s. , y otros, 2004)

Para dimensionar este problema distintos autores estimaron el impacto de la urbanización sobre una cuenca en números, tal es así que para una cuenca de 260 ha urbanizada totalmente y con un sistema de drenaje adecuado el caudal pico puede llegar a aumentar hasta 6 veces comparado con una situación natural (Leopold, 1968), para la ciudad de Rafaela ubicada en la provincia de Santa Fe se determinó en base a datos hidrológicos y de urbanización que una expansión del 15% en la urbanización implica una reducción del

140% en el tiempo de concentración y un 100% de aumento del caudal de punta específico (Bertoni J. C., 2001).

2.2. San Carlos de Bariloche

La ciudad de San Carlos de Bariloche ha experimentado un gran crecimiento durante la segunda mitad del siglo XX duplicando su población, Figura 2 entre las décadas del '80 y '90 ((Pereyra, 2007) (Madariaga, 2007)

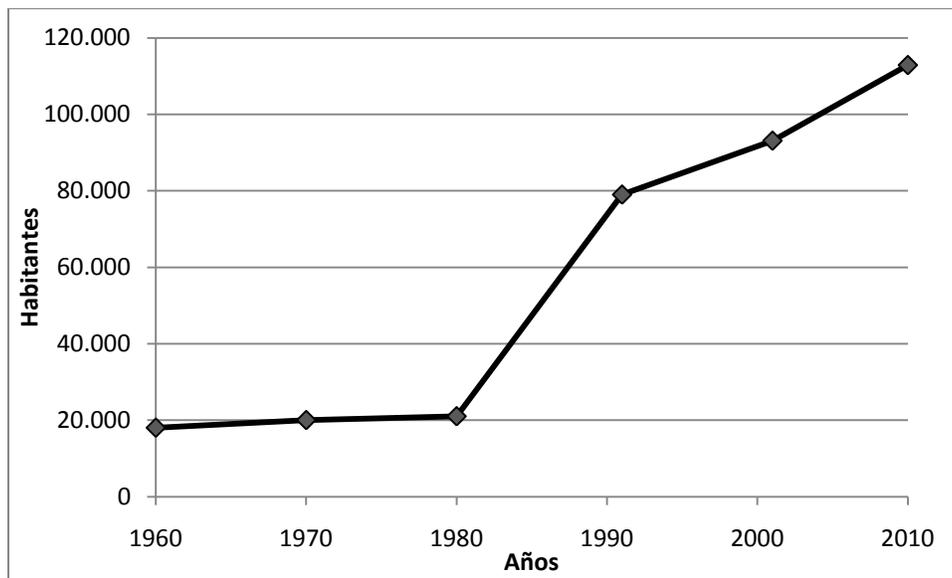


Figura 2. Evolución de la población de San Carlos de Bariloche 1960-2010. Fuente: modificado de M. Madariaga.

Como consecuencia de este incremento poblacional, la ciudad se ha ido extendiendo hacia la pampa de Huenuleo y ocupando las márgenes del arroyo Ñireco, sometiendo a su planicie de inundación a la ocupación permanente en algunos barrios ((Di Rago & Mac Intosh, 1997); (Matossian, 2008)).

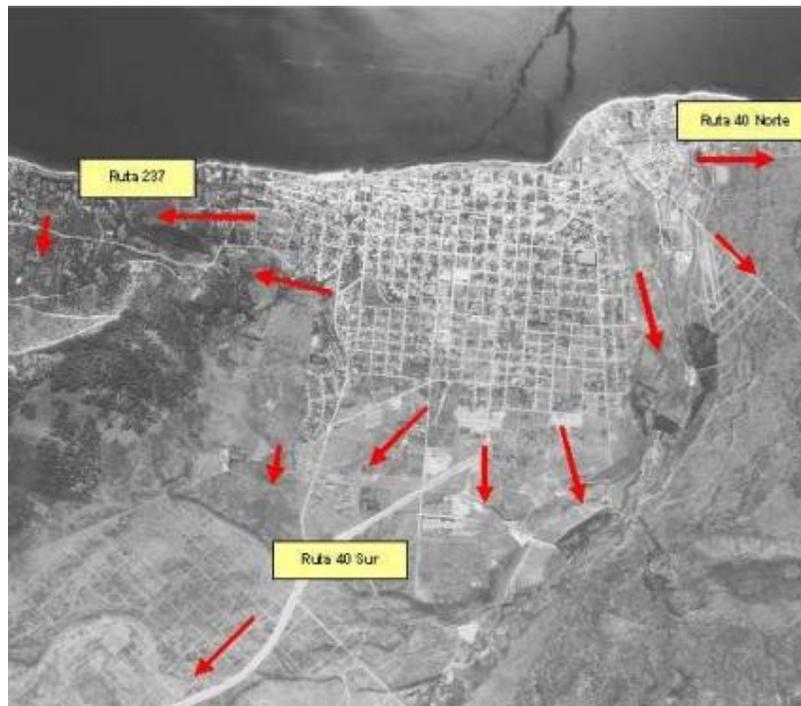


Figura 3. Ejes de crecimiento urbano de la ciudad de San Carlos de Bariloche. Fuente: Matossian, 2008.

En las últimas décadas se han registrado varios eventos de precipitaciones intensas que se manifestaron en cortos períodos de tiempo en la zona de la cabecera de la cuenca del río Limay lo que ocasionó varios problemas en la ciudad de San Carlos de Bariloche. En octubre del año 2002 se registró uno de estos eventos, en el cual el meteorólogo Gilberto Taddeo informó al diario Rio Negro que *“el promedio habitual para el mes de agosto son 44.5 milímetros y este año tuvimos 260 milímetros”* (Diario Rio Negro, 2002), esto trajo consigo erosión de las márgenes del arroyo Ñireco destruyendo viviendas en su totalidad, y además anegamiento por desbordes que dejaron a sectores de barrios bajo agua, la creciente destruyó infraestructura urbana como puentes vehiculares y pasarelas peatonales. Otra situación similar ocurrió en el mes de junio del 2004 donde se registraron lluvias intensas sobre la zona cordillerana originando la fusión de la nieve acumulada en las montañas provocando un aumento considerable en los caudales de los ríos (Heck & Reverter, 2005). En este último evento las precipitaciones llegaron a 503 mm cuando las medias para ese mes oscilan en 168 mm. En estas inundaciones el arroyo Ñireco pasó de un caudal máximo medio de $4 \text{ m}^3/\text{s}$ a valores de 30 a $33 \text{ m}^3/\text{s}$ (Pereyra, 2007).

Para disminuir el riesgo de inundaciones en la cuenca baja del arroyo Ñireco se han llevado a cabo diferentes modificaciones en el cauce del arroyo, tales como encausamiento del mismo utilizando gaviones, y además en algunos tramos críticos se ha definido la línea de ribera delimitándola sobre terraplenes (Bariloche 2000, 2006). En general, los problemas de inundaciones generados por crecidas en los ríos de la zona cordillerana están encasillados a ser resueltos con obras de dragado y corrección de cauces, no se tiene un enfoque holístico de planificación si no que se tiende a generar una respuesta política rápidamente. Este tipo de obra además de ser costosa crea una falsa sensación de seguridad a los pobladores que habitan la ribera de estos ríos (Ambrosino s. , y otros, 2004)

Este problema tiene sus raíces en la falta de planificación en el ordenamiento territorial de la ciudad. Un ejemplo de esto es la construcción de los barrios del IPPV en la planicie aluvial del arroyo Ñireco donde antes existía un mallín (Figura 4).



Figura 4. Izquierda: estado actual de la llanura de inundación. Derecha: problemas luego de una crecida sobre viviendas ubicadas en cercanías del cauce. Fuente: Pereyra (2007).

Existen varios informes en donde se detalla la vulnerabilidad y peligrosidad a la que están expuestos estos barrios, uno de ellos es el informe de Pereyra y Helms de 2006 en donde se listan las problemáticas de esta zona y se da una serie de recomendaciones que se deberían realizar para disminuir la generación de condiciones de estabilidad. (Pereyra & Helms, 2006)

Otra de las problemáticas que se genera durante precipitaciones intensas es la erosión y el transporte de sedimentos, esto se origina principalmente en la cuenca media-alta y se

atribuye a la pérdida de la cobertura vegetal generada por la urbanización y también por incendios forestales comunes en la época de estiaje (DeBano, Ffolliott, & Baker, 1996) . Como referencia se puede nombrar el incendio que se produjo en el valle del Challhuaco en el año 1996 y que afectó 1278 hectáreas de bosque nativo (Delegación Técnica de Parques Nacionales, 1996). En la cuenca baja se le puede atribuir a la impermeabilización del suelo, al no haber infiltración (debido a calles asfaltadas y veredas de concreto) el agua escurre con mayor rapidez aumentando la velocidad de la esorrentía. Un claro ejemplo de esta problemática es el hecho ocurrido el 29/03/2017, como consecuencia de una tormenta en la cuenca alta del Ñireco, la planta de agua potable de ARSA ubicada en esta zona sufrió daños, las piletas de decantación se vieron afectadas debido al ingreso de torrentes con sedimentos provenientes de cotas más altas. (DPA, S. C. de Bariloche Inspección Arroyo Ñireco Superior 19/05/2017, 2017). Como resultado gran parte de la población se vio afectada por la falta de agua potable (Bariloche 2000, 2017).

Sumado a estos problemas, la cuenca del Ñireco se encuentra enmarcada dentro de tres jurisdicciones: Nación, Provincia y Municipio.

3. Antecedentes

3.1. Inundaciones en Argentina

3.1.1. Aspectos Generales

El incremento de la vulnerabilidad física, económica y sociocultural frente a las inundaciones es una de las características de las grandes áreas urbanas y periurbanas de América latina. Desde mediados de los años '90, ciudades con varios millones de habitantes como México DF, San Pablo, Bogotá, Lima, Río de Janeiro y Buenos Aires, vienen llevando a cabo proyectos multimillonarios en materia de infraestructura básica para cambiar las estrategias que generaban la degradación ambiental y hacer frente a la insuficiencia de obras y medidas para mejorar y ampliar el suministro de agua y redes de alcantarillado existente, como también para el tratamiento de las inundaciones. A pesar de esto, el enfoque con cual tradicionalmente se abordan los problemas del drenaje pluvial urbano y la gestión de inundaciones en la región muestra aún gran retraso. (Bertoni J. C., 2012)

La urbanización es creciente a nivel global y particularmente en América del sur. Esta tendencia genera presiones para la ocupación del espacio urbano, por lo que la expansión de los sectores más carenciados se torna difícil debido a todos los aspectos asociados a su crecimiento. Dentro de este contexto la atención a los problemas de drenaje urbano generalmente se realiza solo inmediatamente después de su ocurrencia, resultando en obras cuya vida útil es breve. (Bertoni & Maza, 2004)

3.1.2. Aspectos físicos de Argentina

El territorio argentino posee una superficie total de 3.761.274 km², del cual el 73% corresponde a la porción continental. Dentro del mismo se observa una gran variación del relieve, al oeste existen zonas de alta montaña, mesetas en el sur, sierras en el centro-norte y llanuras que ocupan más de la tercera parte del país. Figura 5. Así también como el relieve, el clima también tiene una variación importante, los que incluyen climas cálidos tropicales al Norte hasta fríos polares en el Sur. (Bertoni J. C., 2004)

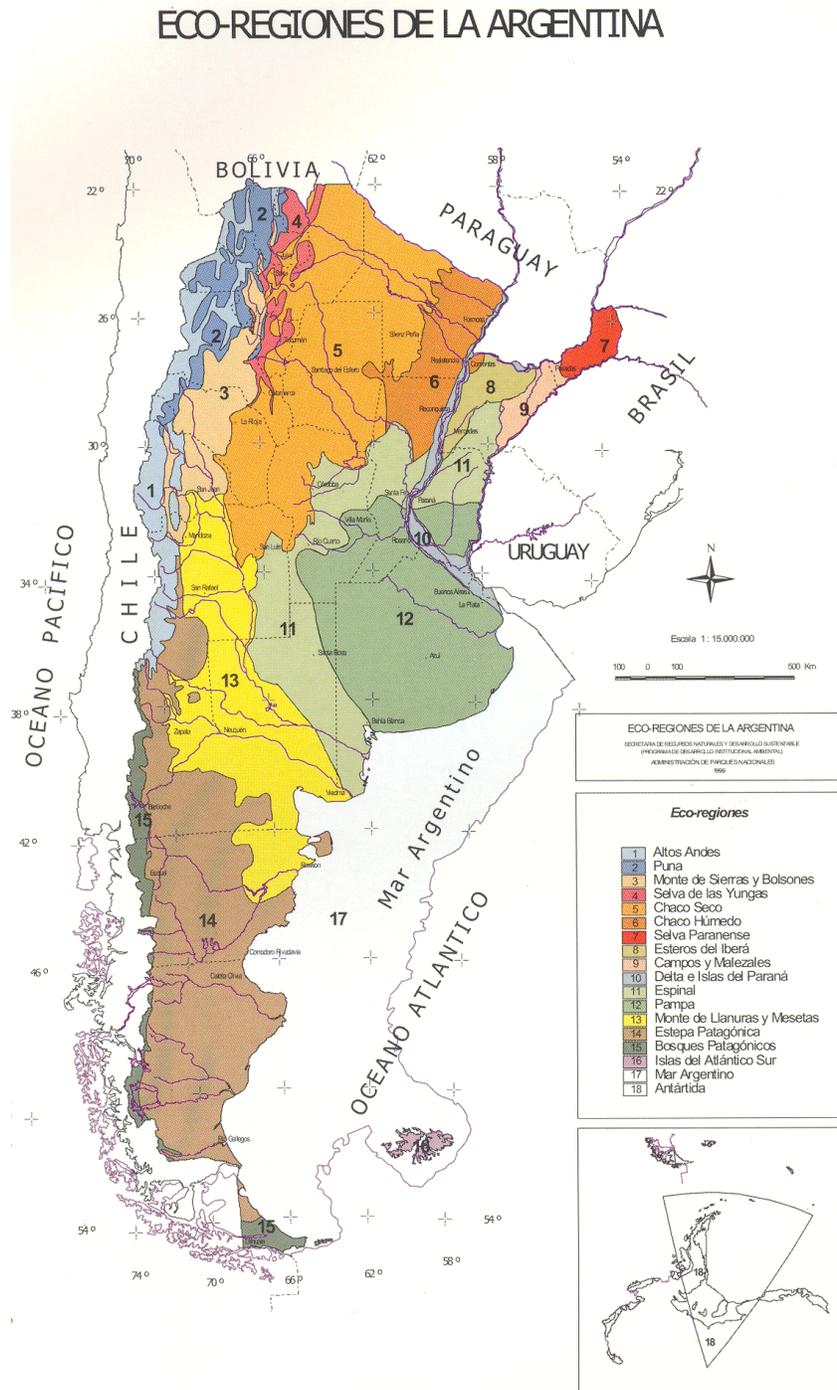


Figura 5. Eco-regiones de Argentina. Fuente: Secretaría de ambiente y desarrollo sustentable 1999

Las características físico-geográficas del país inciden en la gran variabilidad espacial que presentan las precipitaciones anuales. Para este comportamiento se destacan los

siguientes factores (Devoto, 2002, en (Bertoni J. C., Rasgos físicos característicos de Argentina, 2004):

- El gran desarrollo longitudinal del país;
- El emplazamiento del mismo como cuña entre los dos océanos;
- La presencia de la cordillera de los Andes, que impide el proceso eficaz de advección de vapor de agua desde el pacífico en la zona de los vientos del Oeste y;
- La procedencia del Atlántico, y en menor grado de la parte Noreste del continente Sudamericano, del agua precipitada sobre el Centro y Norte de la Argentina.

Las dos terceras partes del territorio sufren acentuados problemas de aridez, ya que solo el 9% de su superficie recibe precipitaciones de 1000 mm, el 52% menos de 500 mm, y el 30% menos de 200 mm, situación que se agrava por el alto nivel de irregularidad de la distribución anual (de Lara 1995, en (Calcagno, Mendiburo, & Novillo, 2000))

3.1.3. Caracterización de las inundaciones urbanas en Argentina

En un contexto global, Argentina en el año 2000, llegó a estar dentro de los 14 países más afectados por inundaciones lo que en ese entonces alcanzaba pérdidas superiores al 1,1 % del PBI nacional (Banco Mundial, 2000).

La frecuencia de afectación ha ido en aumento en las últimas décadas, superando un evento importante cada diez años. Desde 1970 los episodios han incrementado su frecuencia, ocurriendo uno cada cuatro años en promedio, lo que ocasiona importantes pérdidas en infraestructura, producción agropecuaria, bienes privados, y actividades económicas. Las causas se han vinculado a los fenómenos del niño aunque también se reconoce la influencia de los cambios en el uso del suelo en las cuencas de aporte. (Calcagno, Mendiburo, & Novillo, 2000)

El Banco Mundial clasificó en cuatro categorías los principales tipos de inundaciones en el país:

- i. En los Valles de los grandes ríos (por fuertes crecientes)
- ii. En el piedemonte andino (por rápido deshielo de nieves)
- iii. Inundaciones relámpago (“flash floods”) en ciudades y zonas rurales (por fuertes tormentas)
- iv. Inundaciones en llanuras cerradas (por fuertes tormentas, pero muchas veces asociadas a inadecuado drenaje y manejo del suelo, así como a caminos rurales deficientes)

De los cuatro tipos de categorías, el primero es el más sensible ya que en la cuenca del Río de la Plata se encuentran las zonas más desarrolladas en donde se genera más del 76% del PBI y se ubica el 70% de la población del país, además estos eventos tienen permanencias elevadas que varían entre dos semanas hasta más de dos meses (Banco Mundial, 2000)

Además de los fenómenos de inundaciones en los grandes ríos, también ocurren fenómenos aluviales por lluvias torrenciales con movimiento de grandes masas de material sólido (región de la precordillera oriental en el noroeste, bardas en la región del Comahue) por fusión de las nieves en el piedemonte andino, o por fuertes tormentas en zonas urbanas. En la llanura pampeana (noreste de la Provincia de Buenos Aires, sur de Córdoba y Santa Fe) y en la planicie chaqueña (zona este de las provincias de Chaco y Formosa, sur de Chaco y norte de Santa Fe) se dan episodios de precipitaciones de intensidad extraordinaria lo que origina anegamientos de gran extensión por limitaciones del drenaje (Calcagno, Mendiburo, & Novillo, 2000).

3.1.4. Problemas asociados a las distintas zonas geográficas

A continuación, se resumen los problemas típicos de las diversas regiones del país.

Ciudades aledañas al río Paraná:

El río Paraná constituye el mayor curso de agua del territorio argentino. Históricamente las ciudades se fueron asentando en los márgenes del mismo creciendo con el tiempo hasta llegar a ser grandes ciudades hoy en día, tales como Posadas, Resistencia,

Corrientes, Paraná, Santa Fe y Rosario. Las precipitaciones anuales promedio rondan los 1300 mm, con mayor concentración en los meses de octubre a marzo. Durante los últimos 20 años del siglo XX comenzaron a presentarse fenómenos extraordinarios en esta zona, consecuencia de “El Niño-Oscilación del Sur” (ENSO), particularmente en los períodos 1982-1983, 1991-1992 y 1997-1998. El fenómeno ocurrido en el periodo 1982-1983 fue caracterizado como un “Mega Niño” (de CESAM 2004 en (Bello, Ballesteros, Buitrago, González, & Velasco, 2018) y provocó un gran impacto principalmente en las provincias localizadas en la cuenca del Paraná. En tanto los eventos ENSO de 1991-1992 y 1997-1998 se han caracterizado por presentar eventos significativamente más severos durante su segundo año que durante el primer.

En el año 2003 se registró un evento en la cuenca del río Salado caracterizado por precipitaciones extraordinarias con registros superiores a los históricos, lo que provocó el desborde del río Salado y sus afluentes lo que afectó áreas de la provincia de Santa Fe, Figura 6. La cota del río superó los 8,5 m ocasionando la inundación de la capital santafecina, Las obras de contención de la ciudad apresaron el agua dentro de la zona urbana, lo que causó que el nivel dentro de la ciudad llegó a superar la del río, las estaciones de bombeo existentes en la época fueron rebasadas en su capacidad por lo que se dinamitaron los diques de contención a fin de evacuar el agua de regreso al cauce del río (CEPAL, 2003).

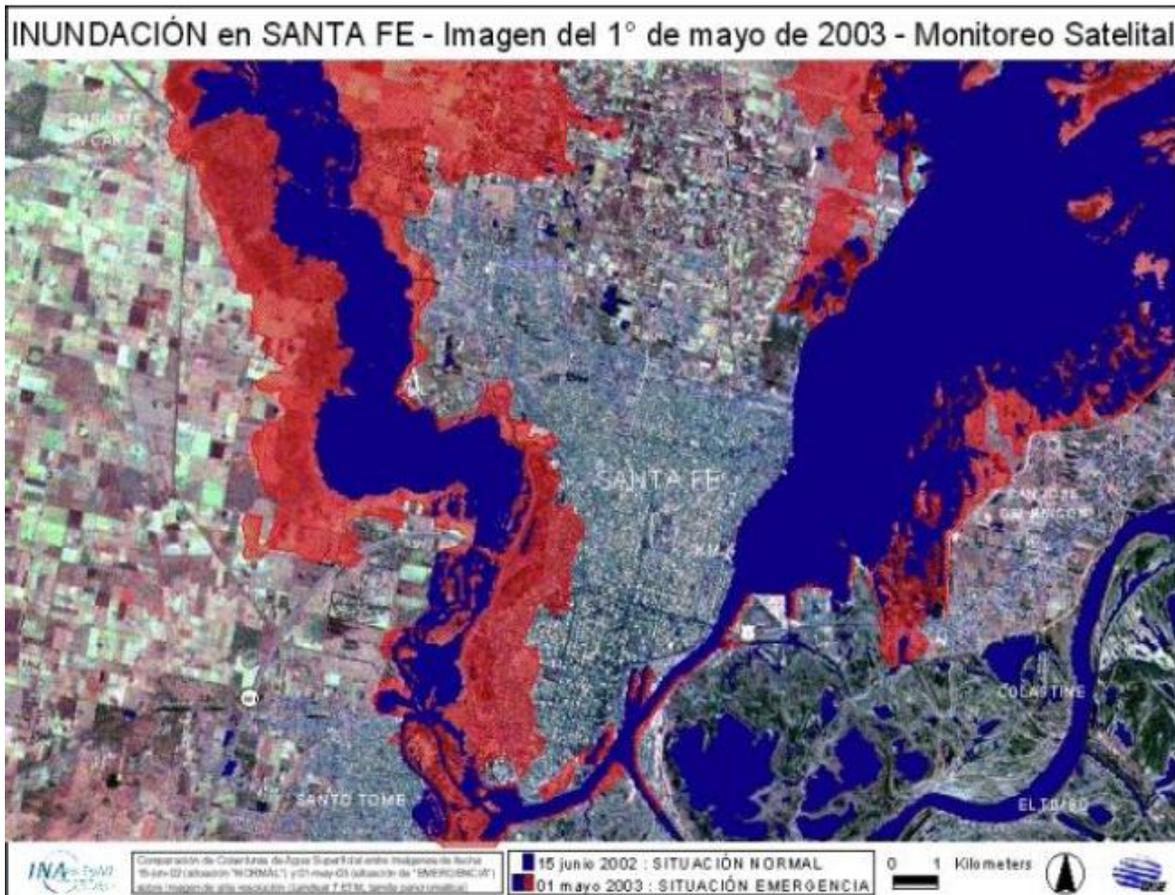


Figura 6. Inundación ocurrida en mayo de 2003 en Santa Fe. Fuente: INA

Buenos Aires y el Conurbano Bonaerense:

El área metropolitana de Buenos Aires, la que incluye la ciudad de Buenos Aires y 24 partidos del conurbano de la misma, albergan una población total de 12,8 millones de habitantes dentro de una superficie de 3.833 km² (INDEC, 2010). El constante y no planificado crecimiento de la ciudad sumado a la falta de inversiones durante más de medio siglo y la alteración del régimen de precipitaciones, convirtieron un sistema de desagüe ejemplar para la época en uno obsoleto para hoy en día. En efecto, durante las últimas décadas la ciudad de Buenos Aires ha sufrido inundaciones frecuentes generando inconvenientes y daños materiales de consideración.

En el año 1985 un evento de precipitaciones intensas provocó lo que en su momento se conoció como la peor tragedia climática de Capital y Gran Buenos Aires. En 36 horas

cayeron 300 milímetros dejando como consecuencia 15 muertos, 120.000 evacuados y miles de casas tapadas de agua (Kreimer, Kullock, & Valdés, 2001).

El 24 de enero de 2001 se marcó otro récord histórico en el cual cayeron 90 mm de agua en poco menos de una hora, al finalizar la segunda hora eran 140 los milímetros de agua caídos sobre la ciudad, cabe destacar que en todo el mes de enero del año 2000 cayeron 159 milímetros. Este evento provocó numerosos anegamientos en distintos barrios, lo que generó un cuadro caótico con servicios de trenes y subterráneos interrumpidos, cortes de luz, avenidas y calles (Kreimer, Kullock, & Valdés, 2001).

El 2 de abril del 2013 se generó otro evento extraordinario de precipitaciones en las ciudades de La Plata, Berisso y Ensenada. Este evento tuvo una magnitud que la ubicó por encima del máximo histórico registrado, los arroyos ocuparon sus planicies de inundación lo que produjo el anegamiento de amplias zonas de la ciudad. En 3 horas se registraron precipitaciones de 300 milímetros de agua, mientras que al finalizar las 24 horas se llegó a 392 mm. Esta inundación ocasionó la muerte de más de medio centenar de personas y cuantiosos daños materiales (UNLP, 2013).

Área central del país:

Con excepción de Córdoba capital (1.400.000 hab.), las ciudades de esta región son de mediano y pequeño porte, aunque se destaca el alto número de las mismas. Las características de las inundaciones en estas zonas se deben mayormente a los aportes hídricos provenientes de áreas rurales aledañas. En la mayoría de los casos estos aportes se incrementan como consecuencia del desmonte y empleo posterior de prácticas agronómicas no adaptadas a la región (Bertoni J. C., 2004)

En el período 2014-2015 en un rango de 14 meses se inundaron 70 ciudades en la provincia de Córdoba en donde hubo más de 5.000 evacuados. Particularmente el 4 de abril de 2014 en 10 horas llovieron entre 200 y 300 mm en distintos sectores del centro y sureste de Córdoba, varios pueblos resultaron anegados y hubo más de 400 evacuados. El

15 de Febrero de 2015 llovieron entre 250 y 300 mm en Sierras Chicas por lo que casi todas las ciudades y pueblos ubicados en la zona norte de esta región fueron severamente afectados, se registraron más de 100 evacuados y 8 muertos. El 15 de febrero de 2016 un temporal (200-400 mm) trajo como consecuencia inundaciones en la llanura donde varios pueblos resultaron anegados, en donde además se produjeron enormes pérdidas en el sector agropecuario por anegamientos generalizados de campos. (Carignano, 2017)

Región árida, semiárida y cordillerana:

En toda la región árida y semiárida del país la mayoría de los asentamientos urbanos están ubicados en áreas expuestas al régimen hidrológico de los pocos cursos de agua que existen. La abrupta conformación del relieve en la zona cordillerana, sumado a las intensas precipitaciones convectivas en la temporada estival vuelven extremadamente peligrosas las crecidas conducidas por los cauces secos, en donde se desarrollan diversas infraestructuras urbanas. (Bertoni J. C., 2004)

Una de las peores catástrofes ocurridas en la provincia de Mendoza fue el 4 de enero de 1970, cuando una fuerte tormenta se precipitó en la cuenca del río Frías provocando la destrucción del dique homónimo originando un aluvión de agua y lodo que inundaron las zonas de influencia del dique. Este hecho provocó más de 24 víctimas fatales y de 1.500 a 2.000 los accidentados. Los daños materiales alcanzaron una suma superior a los 23.000.000 USD (Gobierno de Mendoza, 2006).

La ciudad de San Carlos de Bariloche como se nombró con anterioridad, es atravesada por un curso de agua, arroyo Ñireco, que tiene sus nacientes a unos 17 km aproximadamente del casco de la ciudad. El geólogo Gustavo Villarosa, del grupo de Trabajo de Estudios Ambientales de la Universidad Nacional del Comahue, explicó que el Ñireco es potencialmente muy peligroso debido a que tiene una alta velocidad de desplazamiento y también porque es relativamente corto, de manera que un aumento del caudal en sus nacientes tarda menos de 4 horas en llegar al área urbana (Diario Rio Negro, 2002).

En el 2004, durante el período estival, cayeron 90 mm en menos de 48 horas. Esta precipitación intensa en toda la cuenca del arroyo Ñireco originó la fusión de la nieve acumulada provocando un incremento considerable de las escorrentías de los cursos de agua de la zona. En el año 2002 hubo una crecida en el mes de octubre, durante la cual varias viviendas fueron destruidas en su totalidad al erosionar la margen donde estaban ubicadas, también el anegamiento de los bordes, dejaron varios sectores de barrios bajo agua, hubo destrucción de infraestructura urbana como puentes vehiculares y pasarelas peatonales. (Heck & Reverter, 2005)



Figura 7. Desborde del arroyo Ñireco. Fuente: Barinoticias, 06/07/2016.

3.2. Inundaciones a nivel mundial

En todo el mundo el número de personas afectadas por las inundaciones aumenta permanentemente, según las estadísticas de la Organización Internacional de la Cruz Roja el número medio de personas que han sufrido daños por inundaciones durante el período comprendido entre 1973 hasta 1997 asciende a más de 66 millones de personas. (Vázquez, 2012).

En lo que respecta a pérdidas humanas y económicas en el mundo debidas a inundaciones se cuenta con una interminable cantidad, a continuación, se ejemplifican alguno de los casos más conocidos.

Tabla 1. Eventos que han generado las mayores inundaciones en el mundo. Fuente: emdat.be The International Disaster Database

Año	País	Muertes	Daños (Millones de dólares)
1570	Holanda	20.000	
1624	Alemania, Dinamarca	15.000	
1887	China, Río Yangtzé	2.000.000	
1927	USA	246	0,23
1931	China	3.700.000	1.400,00
1935	China, Río Yangtzé	142.000	
1937	China	500.000	
1943	India	10.000	
1949	Guatemala	40.000	
1954	China, Río Yangtzé	30.000	
1974	Bangladesh	28.700	579,20
1978	China	3.800	165,00
1980	China	6.200	160,00
1897	Bangladesh	2.055	330,00
1996	China	2.775	12.600,00
1998	China	3.656	30.000,00
1999	Venezuela	30.000	3.160,00
1999	México, (Tabasco y Chiapas)	636	451,30
2002	Alemania	27	11.600,00
2007	Bangladesh	1.100	100,00
2007	China	535	4.425,65
2007	México, (Tabasco y Chiapas)	22	3.000,00
2010	China	1.691	18.000,00
2010	Pakistan	1.985	9.500,00

A modo de resumen se detallan los siguientes eventos más significativos en distintas partes del mundo.

Estados Unidos:

Una inundación histórica ocurrida en el año 1993 en el río Mississippi la cual fue considerada la más importante jamás registrada en la cuenca alta, dejó bajo el agua a St. Luis durante 144 días. Hubo 50 víctimas fatales, decenas de miles de personas fueron

evacuadas, muchos de ellos nunca volvieron a sus hogares. Al menos 10.000 casas fueron totalmente destruidas, cientos de poblados fueron impactados y alrededor de 75 fueron inundados completamente. La crecida sobrepasó sistemas de diques y estructuras de control de aguas, se estima que al menos 1.000 de ellas fueron superadas (Larson, 1996) (Earth Observatory, 2005).

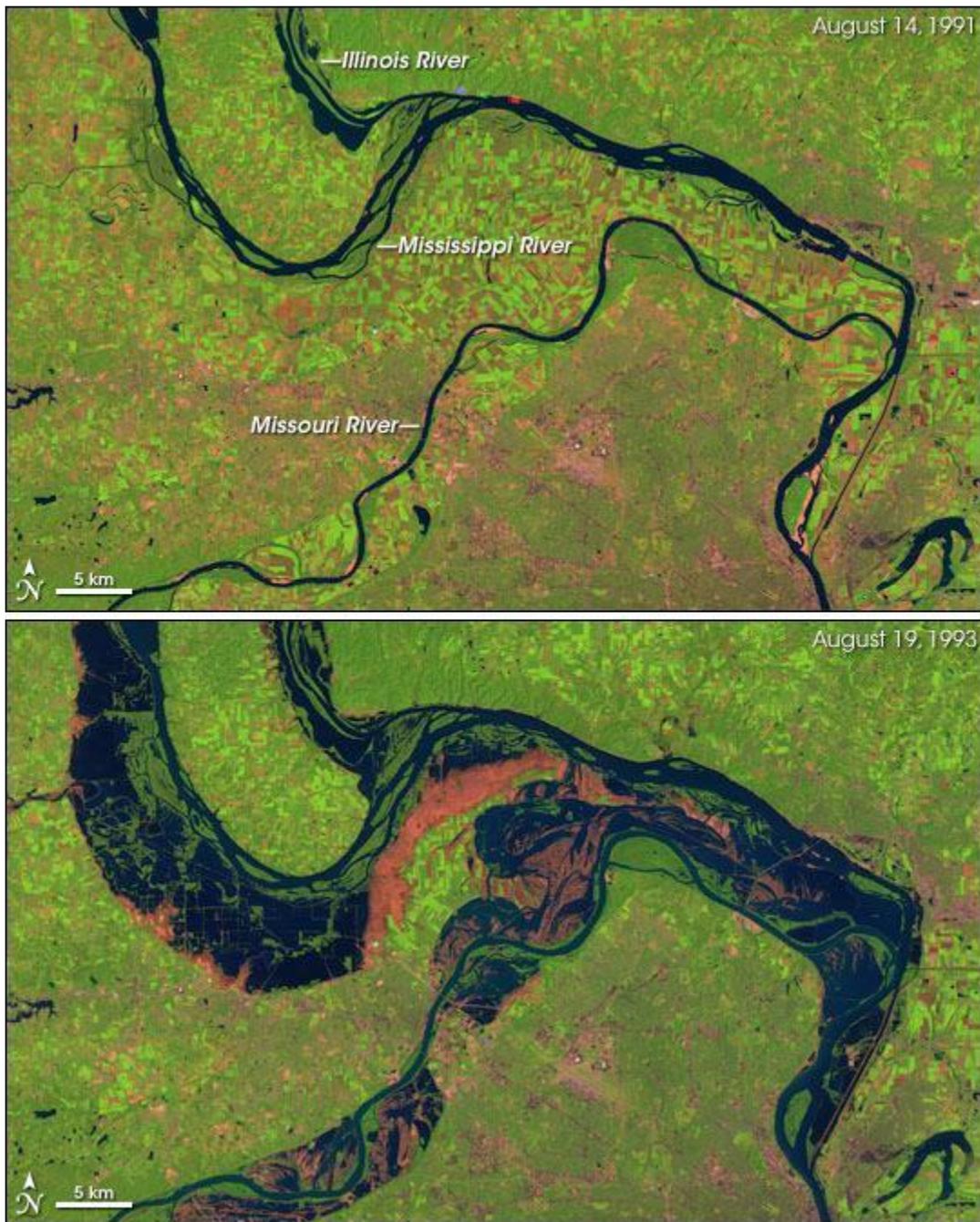


Figura 8. Inundaciones en agosto de 2003 en el río Mississippi. Fuente: earthobservatory.nasa.gov

España:

Según datos generados por Protección Civil, en los últimos 56 años se produjeron 13 grandes inundaciones las que han provocado la muerte de 1.600 personas en toda España

En el año 1962 en la comarca del Vallés Occidental a raíz de intensas lluvias se produjeron una serie de inundaciones dando lugar a la que se conoce como la mayor catástrofe hidrológica de la historia de España. Precipitaciones de más de 250 mm hicieron que los ríos Llobregat y Besós se desborden provocando una avenida torrencial de agua que causó entre 600 y 1.000 víctimas, miles de heridos y varios miles de millones en pérdidas en un transcurso de entre una hora y media y tres horas. (Gavidia, 2018)



Figura 9. San Adrià de Besòs, 26 de septiembre de 1962. Fuente: abc.es

En un río de montaña en agosto de 1996, una intensa tormenta en Biescas (Huesca) en el barranco de Arás produjo una crecida en la que murieron 87 personas y 183 resultaron heridas. En menos de una hora llovieron 160 mm en una hora provocando una avalancha de agua, lodo y troncos sobre un camping ubicado sobre el cono de deyección del torrente de agua (El País, 1996).

El río Ebro, el más caudaloso de España sufrió en el 2003 una crecida catalogada, en ese entonces, como la mayor crecida en los últimos 40 años según la Confederación Hidrográfica del Ebro (CHE). Esta crecida fue producto de la acción combinada de intensas precipitaciones en forma de nieve en la cabecera de la cuenca, y una subsiguiente y rápida

fusión de la misma provocada por vientos cálidos y húmedos, lo que incrementó notablemente el caudal de numerosos afluentes de la cuenca semialta del Ebro. (Losada García, Aranda, Margelí, Vera, & Plaza, 2004). Los daños solo en estructura sumaron alrededor de 12 millones de euros, en Zaragoza hubo que desalojar a 1.500 personas, además la crecida inundó 2.000 de sus 2.500 hectáreas de cultivo (Monserrat, 2003).



Figura 10. Crecida del río Ebro. 2003. Fuente: EFE

3.3. Presentación de la cuenca de estudio

La cuenca del Ñireco se encuentra dentro del departamento de Bariloche, atravesando el ejido del municipio. Esta cuenca tiene importancia para la ciudad ya que del arroyo Ñireco se extrae agua para potabilizar y distribuirla a la población, la importancia radica en que es la segunda fuente de abastecimiento de la ciudad.

El arroyo Ñireco es un río de montaña, tiene sus nacientes al pie del cerro Meta y recibe las aguas del cerro Ventana y el Ñireco. A lo largo de su curso, su principal tributario es el arroyo Challhuaco el cual se une a la altura del ingreso al Parque Nacional Nahuel Huapi. También tiene como tributarios a los arroyos Los Loros y Basurero.

En la cuenca baja del arroyo, la construcción de viviendas avanzó sobre sus márgenes invadiendo las planicies de inundación. Se destacan los barrios Vivero, viviendas del IPPV, Ñireco e Industrial. Finalmente el arroyo desemboca en la playa Centenario del lago Nahuel Huapi.

Su superficie abarca unos 110 km^2 , con la cota máxima de 2225 msnm en la cima del cerro Blanco y la cota mínima es 764 msnm en la desembocadura, tiene una altura media de 1275 m. La cuenca es predominantemente alargada, con una red de drenaje gruesa lo que se traduce en un menor tiempo de respuesta de la cuenca frente a un evento de lluvia.

Los caudales presentan variaciones entre las diferentes estaciones del año, debido a las condiciones climáticas, presenta un caudal medio anual promedio de $2,75 \text{ m}^3/\text{s}$, presentando mínimos de $2,01 \text{ m}^3/\text{s}$ y máximos de $3,75 \text{ m}^3/\text{s}$. En cuanto a los caudales medios diarios, presenta un máximo de $36,25 \text{ m}^3/\text{s}$ y un mínimo de $0,01 \text{ m}^3/\text{s}$. El pico que se da en julio corresponde a las precipitaciones pluviales de invierno, mientras que el pico que se da en octubre corresponde al proceso de fusión del hielo-nieve. (DPA, Informe Hidrométrico del Arroyo Ñireco, 2011).

En el inciso **10** se listan más detalles de la cuenca en general.

4. Medidas preventivas

4.1. Acciones estructurales:

Las acciones/medidas estructurales para la reducción de riesgo de inundación comprenden todas aquellas decisiones que consisten en el diseño y construcción de obras civiles con el objetivo de proteger zonas con potencialidad de ser afectadas por inundaciones. Estas obras deben contemplar la dinámica natural del curso de agua, comprendiendo los cambios estacionales que estos sufren (Ureña & Teixeira, 2004). En general estas medidas se suelen caracterizar en extensivas o intensivas, las primeras son aquellas que actúan en la cuenca con el objetivo de modificar la relación precipitación/caudal. Un ejemplo es la modificación de la cobertura vegetal del suelo, la cual está en directa relación con los picos de crecidas en los ríos además del control de la erosión de la cuenca. Las medidas intensivas son aquellas que afectan directamente cauce del curso de agua y pueden ser de tres tipos; a) aceleran el escurrimiento; obras tales como diques, aumento de la capacidad de descarga de los ríos y corte de meandros; b) retardan el escurrimiento, obras como reservorios y cuencas de amortiguamiento y por ultimo c) desvío del escurrimiento como canales de desvío (Vázquez, 2012).

4.1.1. Sistema de drenaje

Históricamente la hidrología y el drenaje urbano han ido pasando por diferentes etapas, tal es así que desde sus comienzos el proceso de urbanización debió afrontar graves problemas epidemiológicos resultantes de la concentración de la población, aquí es donde se genera la concepción sanitarista inicial de la hidrología urbana (Ambrosino S. , y otros, 2004).

De acuerdo al Comité Nacional del Agua de México (C.N.A) en su manual de drenaje pluvial, el sistema de drenaje tiene como objetivo principal la colecta y conducción de las aguas residuales y pluviales hasta sitios donde no generen daños e inconvenientes a la población de donde provengan o a los asentamientos cercanos. Este manual define al sistema de alcantarillado como aquel que está constituido por una red de conductos e instalaciones que permiten la operación, mantenimiento y reparación del mismo. Su función principal es evacuar las aguas pluviales que escurren por calles y avenidas, con el

fin de evitar la acumulación favoreciendo el drenaje de la zona. Uno de los aspectos más relevantes en el diseño de los sistemas de drenaje pluvial urbano es reducir al mínimo los cambios del régimen de flujo natural de agua dentro de la cuenca y en los cuerpos receptores, si se logra esto se pueden alcanzar beneficios tales como (CNA, 2007):

- Menor arrastre de contaminantes
- Menor riesgo de inundaciones aguas abajo
- Menor riesgo de erosión de los cuerpos receptores
- Menor costo en la operación y mantenimiento de la infraestructura pluvial.

Dentro de la planificación y diseño de sistemas de drenaje pluvial, el *Department of Energy and Water Supply* de Queensland Australia, aconseja tener en cuenta las siguientes consideraciones (Department of Energy and Water Supply, 2013):

- Garantizar que el desalojo de las aguas pluviales no afecte las zonas aguas abajo; viviendas, carreteras, vías de ferrocarril o cualquier otra infraestructura
- Definir los criterios de riesgo admisible ante inundaciones
- Evaluar y disminuir el impacto sobre el tráfico peatonal y vehicular durante el desalojo de aguas pluviales en zonas urbanas.

Dentro de los parámetros claves en el diseño de sistemas de drenaje pluvial urbano se esperan obtener resultados deseados tales como:

Tabla 2. Parámetros clave en el diseño de sistemas de drenaje pluvial urbano y sus resultados deseados (DEWS, 2013)

Parámetro	Resultado deseado
Eficacia del drenaje	Salud pública: El sistema de drenaje debe ser capaz de evitar inundaciones o encharcamientos que puede ser foco de infecciones y atraer insectos o fauna nociva
	El funcionamiento del sistema de drenaje debe garantizar la seguridad de tránsito para peatones y vehículos
	Debe minimizar las afectaciones a la infraestructura urbana y a los habitantes ante la ocurrencia de tormentas
Control de inundaciones	El sistema de drenaje debe proteger las vías de comunicación de la población ante inundaciones
	El funcionamiento del sistema de drenaje debe garantizar la seguridad de tránsito para peatones y vehículos
	El sistema de drenaje debe ser adecuado para desalojar el agua ocasionada por la precipitación de diseño determinada
Volumen de escurrimiento	Control de inundaciones
	Debe ser capaz de captar el volumen de agua generado por la precipitación de diseño
	El sistema debe ser resistente a la erosión provocada por el flujo
	La descarga del agua pluvial no debe causar afectaciones a los ecosistemas o a los cuerpos receptores
Descarga máxima	Control de inundaciones
	El funcionamiento debe evitar disputas legales entre el organismo operador y comunidades aguas abajo
	La descarga debe ser tal, que prevenga la erosión en los cuerpos receptores
Velocidad de flujo	Debe garantizar el control de inundaciones en los cuerpos receptores y/o zonas aguas abajo de la descarga
	El funcionamiento del sistema de drenaje debe garantizar la seguridad de tránsito para peatones y vehículos
	El sistema de drenaje debe ser resistente a la erosión
Profundidad de flujo	Se debe priorizar el control de inundaciones
	El funcionamiento del sistema de drenaje debe garantizar la seguridad de tránsito para peatones y vehículos
	Debe minimizar las afectaciones a la infraestructura urbana y a los habitantes ante la ocurrencia de tormentas
Estética	El sistema de drenaje debe ser acorde al paisaje urbano
	Se debe procurar la protección de los sistemas naturales de drenaje
Infraestructura y costo de mantenimiento	La puesta en marcha de un sistema de drenaje debe generar un costo asequible al organismo operador y la comunidad
	Debe ser tal que los requisitos de operación y mantenimiento permitan la sostenibilidad
	El sistema de drenaje pluvial debe ser estructuralmente resistente ante las inundaciones que superen su capacidad

Un sistema de drenaje pluvial urbano debe contener componentes básicos para garantizar su objetivo, en base a su funcionalidad se integra de la siguiente manera (CNA, 2016):

- a) Estructura de captación: Su función es la de recolectar las aguas a transportar, en particular, un sistema de drenaje pluvial urbano utiliza bocas de tormenta para la colecta del agua, a su vez se dan conexiones domiciliarias donde se colecta el agua de lluvia que cae sobre techos y patios.

- b) Estructuras de conducción: su principal función es transportar las aguas colectadas hacia el sitio de almacenamiento o vertido. Estos pueden ser ductos cerrados o abiertos dependiendo de diversos factores (cercanía a población, volumen a transportar, geografía del lugar, etc) y a su vez se diseñan para que el flujo sea a superficie libre.
- c) Estructuras de vertido: son obras de descarga por las cuales el agua colectada por el sistema es vertida al cuerpo receptor. La misma debe ser diseñada de tal forma que se mantenga libre de obstáculos y para evitar daños al último tramo de la cañería.
- d) Disposición final: este último ítem no necesariamente corresponde a una estructura integrada al sistema de drenaje, sin embargo, representa una parte fundamental dentro de este sistema. Su importancia radica en que debe ser capaz de recibir y manejar el agua pluvial de manera que no afecte a la población cercana.

4.1.2. Estructuras de protección/atenuación:

Las obras de protección y/o atenuación son aquellas que se ejecutan con la finalidad de evitar daños ocasionados por desbordamiento de corrientes naturales a zonas pobladas o zonas productivas.

Las acciones estructurales pueden llegar a contener totalmente una crecida de un río, e igualmente evitar que la zona protegida se inunde por precipitaciones al diseñar un buen drenaje. La principal desventaja de este tipo de acciones es el costo monetario que su construcción implica, suelen ser grandes inversiones que algunas veces no siempre se pueden realizar de manera correcta, aun cuando el beneficio que se logra sobrepase el costo de las obras de protección. (Maza, 1997)

Otro aspecto a tener en cuenta es que con cada nueva crecida importante que se presenta, comienzan a aparecer nuevas debilidades o impactos no previstos sobre estas obras, lo que genera una duda en la efectividad de las mismas. Se genera una falsa

“sensación de seguridad” en áreas circundantes a estas estructuras, por lo que la zona seguirá sufriendo presión constante de ocupación y asentamientos. (Ambrosino S. , y otros, 2004)

Estas acciones consisten en la construcción de obras que interfieren directamente con el agua de lluvia o con la que escurre por los ríos, para impedir su paso, confinarla, encauzarla, almacenarla o modificar su velocidad de desplazamiento y caudales. Estas obras en general se pueden agrupar de la siguiente forma (Maza, 1997):

Bordos:

Un Bordo se puede definir como un terraplén de material (arcilla o arena) construido con la finalidad de proteger áreas susceptibles a ser inundadas. Su diseño se puede ejemplificar como una pequeña cortina de tierra, aunque utilizando procedimientos que se emplean en geotecnia.

En general, la construcción de los bordos se realiza siguiendo la conformación de la zona a proteger dejando un cauce de mayores dimensiones con la finalidad de que no se sobrepase durante un evento de crecidas intensas.

Los bordos se pueden clasificar en distintas categorías, en función del tipo de terreno que protegen, en urbanos o agrícolas, de acuerdo con su propósito en bordos longitudinales, cuando se construyen a lo largo de los cauces y en perimetrales alrededor de poblados o ciudades y por último en base al procedimiento constructivo utilizado, en compactados y semicompactados. (Maza, 1997).

Según el Cuerpo de Ingenieros de la Armada de los Estados Unidos (*US Army Corps of Engineers*) se deben considerar algunos factores, los cuales varían según el proyecto y las condiciones locales del sitio. (Maza, 1997):

- Realizar estudios geológicos

- Efectuar un estudio preliminar de las condiciones del sitio, tanto del material de desplante, como de la posible localización de los bordos y zonas de banco de materiales.
- Realizar una exploración final en el sitio con el objeto de definir el perfil estratigráfico del subsuelo, las condiciones y características de los materiales donde se desplantarán los bordos e información más detallada sobre las áreas de los bancos de materiales.
- Con lo anterior determinar en forma preliminar, las secciones transversales de los terraplenes y las variables que regirán las condiciones de la cimentación de los bordos.
- Dividir la longitud total del bordo en tramos con igual altura de terraplén, condiciones semejantes de desplante e igual material de relleno, y trazar una sección transversal representativa de cada tramo.
- Estudiar para cada sección transversal, las condiciones de flujo subterráneo bajo el desplante y la red de flujo a través del cuerpo del bordo, la estabilidad de sus taludes y los posibles asentamientos que puedan sufrir.
- Identificar las posibles zonas donde haya que dar un tratamiento especial al suelo de cimentación.
- Definir la localización final de las zonas de bancos de materiales, en función de los volúmenes requeridos de materiales térreos.
- Diseñar, de ser necesaria, la protección que requiera el terraplén.

En ríos donde el hidrograma del escurrimiento varíe rápidamente, la sección debe ser diseñada para contener las inestabilidades producidas por este fenómeno. Por ello la altura del bordo debería ser igual al tirante de agua, que corresponde a la avenida de diseño, más la altura del oleaje si existiese, más un bordo libre. También debe tener en cuenta que éstas estructuras tienen un período de asentamiento, en el cual pueden llegar a disminuir su altura. El Bordo libre varía entre 0,5 y 2,0 m según la

importancia de la obra y la seguridad en el dimensionamiento de la estructura en base a las elevaciones del perfil de agua. (Maza, 1997).

Muros:

Los muros consisten en una frontera vertical colocad en lugar de un tramo de bordo, por lo tanto, en su operación y diseño hidráulico son similares a los bordos longitudinales. Estas paredes son eficaces para contener las crecidas ya que protegen a los terrenos lindantes de un escurrimiento lateral. Estos muros limitan el cauce principal y a su vez el de inundación, por lo tanto, dentro de los mismos no se deben permitir el asentamiento de poblaciones. Las secciones transversales típicas de algunos muros se detallan en la Figura 11.

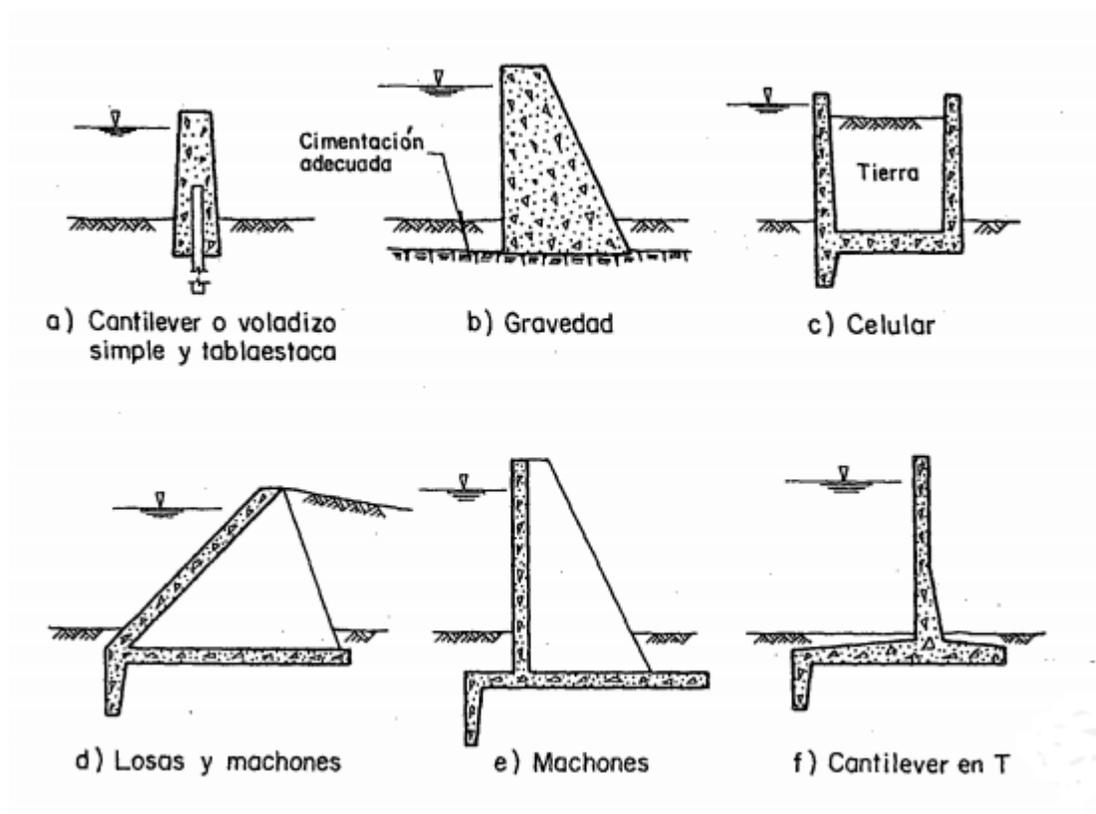


Figura 11. Detalle de muros de contención. Fuente: Maza, 2007.

La decisión de utilizar un muro por sobre un bordo radica en la pendiente necesaria de este último, cuando es muy tendido resulta que el volumen de la obra suele ser demasiado grande, además ocupan mucho lugar, algo contraproducente si se encuentra en una zona urbanizada. Generalmente se utilizan en lugares donde la presión urbanística es alta o bien los terrenos tienen un valor agregado elevado en donde se requiera utilizar el menor espacio posible (Maza, 1997).

Sin embargo, como ya se mencionó con anterioridad, tanto los bordos como los muros suelen dar una sensación de proporcionar mucha seguridad, lo cual puede ser contraproducente si estos llegaran fallar, ya que los daños serían de muy grandes dimensiones.

Desvíos:

Los desvíos pueden ser permanentes o temporarios, estos primeros pueden formarse por cauces de alivio o canales de alivio. El objetivo principal es desviar el agua de un río/arroyo y conducirla hacia un cuerpo receptor, generando una reducción de volumen en el hidrograma del curso de agua en la zona donde se inicia el desvío.

Los cauces de alivio se utilizan en zonas donde la topografía lo permita, y en donde la protección con bordos longitudinales sea muy complicada. El objetivo de la utilización de estas estructuras consiste en reducir los gastos de la crecida de diseño aguas abajo del desvío logrando reducir la altura de los bordos o directamente no sean requeridos, como se detalla en la Figura 12.

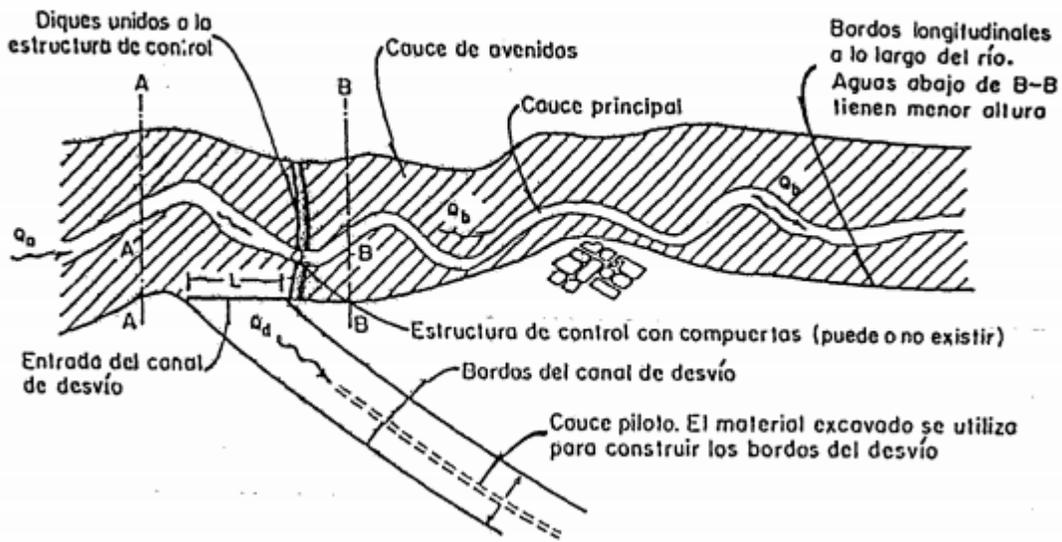


Figura 12. Estructura de desvío de caudales. Fuente: Maza, 2007.

Estos desvíos generalmente se construyen en la planicie limitando sus bordes con bordos longitudinales. El diseño de estos desvíos se basa en la realización de dos bordos laterales con material extraído del cauce piloto, y la altura se relaciona inversamente con la separación de los mismos, por lo tanto, mientras más separados estén menor altura se requerirá.

Los canales de desvío son excavados a la misma profundidad del río donde se inician y con la pendiente necesaria para llegar al cuerpo receptor. En comparación con los cauces de alivio, los canales son de menor longitud lo que conlleva a una capacidad hidráulica menor, esto se debe a que el agua escurre solamente por el canal excavado el cual tiene un área hidráulica menor que los cauces.

En comparativa para una misma avenida, los cauces del alivio delimitados por bordos laterales son más económicos que los canales de alivio excavados. Aunque los primeros necesitan que el río esté controlado con bordos longitudinales y actúan solamente cuando el cauce principal desborda, los canales al ser excavados al mismo nivel del río actúan antes de que esto suceda.

Corte meandros:

Una forma de minimizar los desbordamientos en un tramo limitado de un río consiste en aumentar la capacidad hidráulica del cauce principal, esto se logra rectificando una parte del río. Esta modificación solo da resultados en el tramo rectificado y el tramo inmediato aguas arriba del mismo, el resto del río permanece en las mismas condiciones iniciales, con las mismas probabilidades de desbordamiento.

En un río donde existen meandros, como los de la Figura 13, se puede hacer una rectificación la cual consiste en el corte de uno o varios meandros, esto genera que la capacidad hidráulica sea mayor que la del río original debido al aumento de la pendiente.



Figura 13. Meandros en el río Amazonas. Fuente: Lifeder.com

La problemática de usar este tipo de solución es que se rompe la relación de equilibrio entre el agua y los sedimentos que transporta. El mismo curso de agua tiende, en forma continua, a suavizar la pendiente y lo hace mediante la formación de nuevos meandros,

para evitar esto se deben proteger las márgenes de los ríos con espigones de tal manera que no se desplace lateralmente para evitar la formación de nuevos meandros.

Presas:

Las presas se basan en la construcción de un dique principal que se sitúa en el río para cortar el paso de agua y almacenarla. Estas obras incluyen una zona de aliviadero por donde se deja pasar el agua excedente y otra de toma que se puede utilizar para la generación de energía eléctrica, agua para consumo humano o para usos agrícolas.

El objetivo principal es la de almacenar el agua excedente que se genera en épocas de lluvia y utilizarlas en épocas de sequía garantizando el riego, abastecimiento de agua potable o generación de energía durante todo el año. Aunque también se pueden utilizar exclusivamente para el control de avenidas.

Una presa rompe-picos consiste en una cortina, generalmente de poca altura, una obra de excedencias y una de desagüe. El funcionamiento de este tipo de presa durante una avenida consiste en dejar pasar un volumen mínimo, aunque constante, de agua por la obra de desagüe mientras se almacena agua arriba de la presa. Este tipo de presas se utiliza en lugares donde las avenidas son poco voluminosas, en determinadas situaciones se colocan varias presas en cascada como se detalla en la Figura 14 con ello se logra reducir el paso de la avenida aguas abajo.

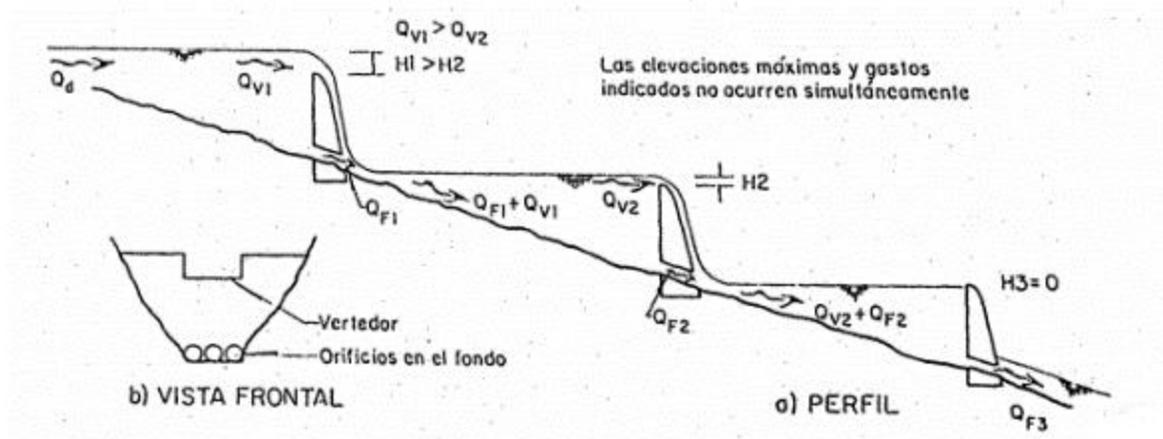


Figura 14. Presas rompe-picos. Fuente: Maza, 1997.

4.1.3. Cobertura vegetal

La vegetación de una cuenca, cuando es abundante, tiene influencia sobre la acción de la lluvia y la magnitud de los futuros escurrimientos superficiales. Sus principales efectos son:

- Reduce o evita el impacto de las gotas contra el suelo. Acción tanto más importante cuanto más suelto este el suelo o menos densa sea la cobertura vegetal
- Retiene parte del agua, tanto al mojar la vegetación propiamente dicha como la hojarasca.
- Disminuye las velocidades de desplazamiento de las láminas de agua superficial y retarda su concentración
- Facilita e incrementa la infiltración con la consecuente recarga de acuíferos y disminución de los volúmenes escurridos superficialmente.
- Evita o reduce la erosión del suelo, por la acción combinada de lo señalado en los puntos a y c, principalmente.

La pérdida o destrucción de la vegetación y cobertura vegetal de una cuenca repercute en los escurrimientos de los arroyos y ríos sumados a los que se detallan a continuación:

- a. Reducen los tiempos de concentración del agua en las corrientes que drenan esa cuenca, por lo que las avenidas ocurren con mayor rapidez, duran menos tiempo, pero sus caudales son mayores.
- b. Disminuyen la infiltración, sobre todo si las pendientes del terreno son altas. Puede incrementar, en forma notable, el volumen de la crecida.
- c. Incrementan considerablemente los volúmenes de sedimentos que llegan a los arroyos y ríos. Si ellos no tienen capacidad para transportarlos se produce un azolvamiento de los cauces y la obstrucción de puentes y alcantarillas, y reducen la vida útil de las presas.

La reforestación es una práctica vegetativa importante para la protección, conservación y restauración de suelos, aunque debe ser acompañada de diferentes prácticas mecánicas que aumenten la supervivencia, mejoren su desarrollo y con ello contribuyan a disminuir la degradación del suelo. (Vázquez, 2012)

La Sociedad Internacional para la Restauración Ecológica (SER) generó en 2004 los principios, lineamientos y marco conceptual para el abordaje de los procesos y técnicas adecuadas para la restauración ecológica. Según esta sociedad un ecosistema se ha recuperado y restaurado cuando contiene suficientes recursos bióticos y antibióticos como para continuar su desarrollo sin ayuda o subsidio adicional. (SER, 2004)

4.2. Acciones no estructurales:

Las medidas no estructurales abarcan políticas, concientización, medidas para el desarrollo del conocimiento, procesos legislativos y de participación pública y recopilación de información que permiten la reducción del riesgo.

Las acciones estructurales no son diseñadas para dar una protección total a la población. De ser así se tendría que realizar obras contra la mayor crecida posible, lo que es físicamente y económicamente inviable en la mayoría de las situaciones. Además, como anteriormente se detalló, estas crean una falsa sensación de seguridad permitiendo la ocupación de las áreas inundables, que en el futuro pueden resultar en daños significativos. Las acciones no estructurales, en conjunto con las estructurales, pueden minimizar significativamente los daños con un costo menor. El costo de protección de un área inundable por acciones estructurales, en general, es superior a aquel correspondiente a las acciones no estructurales. (Tucci, 2007)

4.2.1. Pronósticos de alerta temprana

Los sistemas de alerta temprana tienen como objetivo informar a las comunidades vulnerables a daños por fenómenos hidrometeorológicos, para que, con anticipación a la ocurrencia de sus efectos más severos, la población tome recaudos y se aleje de la zona de peligro. Ver Figura 15.

Esta medida comprende las acciones que van desde la identificación de la primera señal de que se producirá una crecida que provocará inundación, pasando por el aviso de los niveles esperados, evacuación, ubicación y mantenimiento de inundados hasta las acciones de mantenimiento y reparación de obras de emergencia, que se conocen como lucha contra la inundación. En esta medida es esencial el sistema de pronóstico de caudales y niveles esperados. (Paoli, Dondeynaz, & Carmona-Moreno, 2015)



Figura 15. Esquema de alerta-prevención. Fuente: Paoli, 2015

Un ejemplo en Argentina, es el sistema del INA (Instituto Nacional del Agua) en el Centro Regional Andino, el cual opera desde 1983 una red de estaciones hidrometeorológicas en el área pedemontana de la cadena precordillerana al Oeste de la ciudad de Mendoza. Esta red instrumental permite trabajar en “tiempo real”, es decir que la información sobre precipitación o escurrimiento está disponible en una central de recepción y procesamiento simultáneamente con la ocurrencia del fenómeno hidrológico o meteorológico en estudio o evaluación. (Paoli, 2015)

Durante el período estival se organiza una campaña de alerta hidrológica en la que se avisa a distintos organismos provinciales interesados tales como el Departamento General de Irrigación, Dirección Hidráulica, Dirección de Defensa Civil, Servicio Meteorológico Nacional, Dirección de Lucha Antigranizo y Obras Sanitarias Mendoza.

También funciona el Centro de Investigaciones de la Región Semiárida (CIRSA) el cual opera desde 1986 una red telemétrica para pronósticos hidrológicos a tiempo real, con fines de investigación dentro del campo de los recursos hídricos y proveer servicios de alerta hidrológica a la ciudad de Villa Carlos Paz, Córdoba. (Paoli, 2015)

4.2.2. Generación de mapas de riesgo

Los mapas de riesgo son representaciones cartográficas que permiten visualizar la distribución de determinados riesgos de desastre en un territorio específico. Los mapas de riesgo surgen de la combinación de mapas de amenaza y mapas de vulnerabilidad, cada uno de los cuales ya son el resultado de índices e indicadores específicos. Ver Figura 16.

Un mapa de riesgo es una herramienta de análisis esencial que permite identificar zonas de mayor o menor riesgo frente a diversos peligros, factor clave a la hora de determinar las áreas a intervenir con determinada inversión en infraestructura, construcción de caminos, obras hidráulicas, edificios de salud y educación, entre otras instalaciones. Es un recurso fundamental a la hora de prevenir situaciones futuras de riesgo adecuando la gestión del territorio a las condiciones restrictivas para su ocupación. (Renda, 2017)

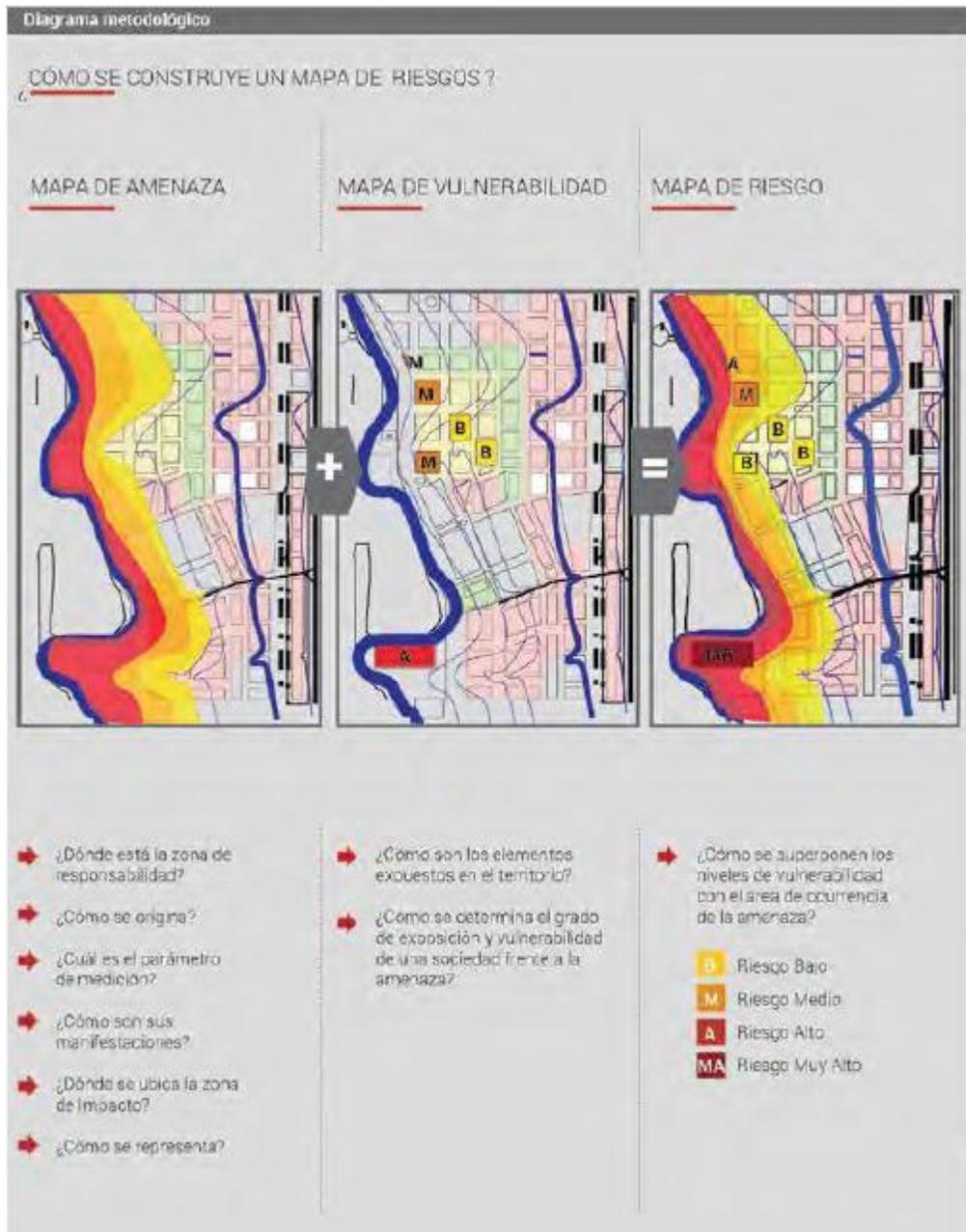


Figura 16. Generación de mapa de riesgo. Fuente: Renda, 2017

4.2.3. Modelos computacionales para la simulación de inundaciones.

La simulación del comportamiento de una cuenca hidráulica en base a un modelo matemático es relevante cuando los resultados obtenidos resultan imprescindibles para lograr un objetivo difícilmente alcanzable por otros medios más costosos. Estos modelos facilitan la manipulación de las variables involucradas en el proceso de conversión lluvia-

escurrimiento, generando datos sobre la distribución espacial del escurrimiento superficial y mejorando la calidad de la cartografía temática sobre zonas inundables y zonas con riesgo de inundación. (Pérez & Rojas, 2004)

En términos generales un modelo se puede definir como un procedimiento organizado para el análisis de un problema, el cual debe reunir características adecuadas con una firme base teórica y representatividad física. (Aradas, 2005)

Estos modelos matemáticos han sido muy utilizados en muchos campos de trabajo relacionados con la hidrología. Dentro de estos cabe destacar la labor desarrollada por el *Hydrologic Engineering Center (HEC)* del *United States Army of Engineers*, un centro que ha diseñado los modelos hidráulicos con mayor reconocimiento y aceptación internacional. En 1995 se desarrolló el HEC-RAS (River Analysis System) un software de dominio público muy utilizado para la modelación hidráulica, mientras que para modelaciones hidrológicas se utiliza el HEC-HMS (Hydrologic Modeling System). Este último software utiliza los MDE (modelos digitales de elevación) para la representación de la cuenca y definir la red hidrológica para obtener las líneas de flujo del territorio drenado, también utiliza un parámetro que se modifica en base a las actividades humanas en la escorrentía, el número de curva, método creado por el *Soil Conservation Service (SCS)*, en cuanto a las lluvias, utiliza series cronológicas. (Pérez & Rojas, 2004)

4.2.4. Comunicación y participación social

Es importante la percepción que la población tenga sobre los riesgos a los que son propensos y a las condiciones de base que lo originan, en este sentido la comunicación y la educación son campos fundamentales en la generación de conciencia mediante el conocimiento y la comprensión de lo que sucede o podría suceder. Si las personas no asumen los riesgos a los que están expuestos o no consideran la posibilidad de ser afectados, de nada sirve tener un buen plan de emergencia. (Vázquez, 2012)

El Ministerio de Salud y Desarrollo Social de Argentina define a la comunicación de riesgo como la estrategia comunicacional integral y planificada que acompaña a la gestión de riesgo frente a determinada amenaza de emergencia o desastre, con el objetivo de (Ministerio de Salud y Desarrollo Social):

- Propiciar la participación de todos los sectores involucrados, dando consistencia y transparencia a la toma de decisiones e instrumentación de medidas de manejo del riesgo.
- Promover el conocimiento y la comprensión de los riesgos conocidos y desconocidos, informando y sensibilizando de forma planificada al público sobre las necesidades de protección de la salud, respondiendo a sus inquietudes y tratando de disminuir la ansiedad.
- Integrar a la población en el proceso de manejo del riesgo y ayudar a establecer confianza pública en las instituciones encargadas de tomar decisiones, aliviando el miedo y la indignación generalizados. Esto permite hacer más eficiente y rápida la intervención o la respuesta de las autoridades.
- Colaborar en el diseño de actividades de educación que desarrollen capacidades en la población para que se prepare, participe de la minimización y prevención del riesgo en los espacios de su vida cotidiana: la familia, la comunidad, el trabajo, etc.

En este marco, los comunicadores son un actor fundamental para facilitar el diálogo de todas las partes involucradas (población, organismos públicos y privados encargados de gestionar el riesgo, equipos de salud, comunidad científica y medios de comunicación), el manejo de conceptos y la apropiación del tema, generando una cultura de prevención y cuidados de la salud frente a los desastres. Ver Figura 17.



Figura 17. Activación de plan de crisis y monitoreo. Fuente: Ministerio de Salud y Desarrollo Social, Argentina.

5. Medidas correctivas

Las medidas correctivas están encaminadas a la pronta atención de una emergencia en caso de la ocurrencia de una inundación. Las obras, infraestructuras o medidas que se tomen tienen como objetivo la restitución en lo posible a las condiciones originales de funcionamiento de la cuenca o bien buscar soluciones que protejan a la población contra las condiciones perjudiciales a la que quede expuesta en las etapas pos-desastre.

5.1. Acciones estructurales

5.1.1. Construcción de bordos temporales

Una solución sencilla y a la vez eficaz para prevenir o reducir los daños por inundación es la utilización de sacos de arena. Con ellos se construyen barreras para desviar el agua durante una crecida, también son utilizados para prevenir el desbordamiento de ríos y canalizar el flujo hacia áreas específicas.

Las obras de emergencia se caracterizan por realizarse en condiciones temporales que impiden la ejecución de obras de carácter permanente o definitivo, la priorización de la salud y vida de los habitantes afectados es el principal objetivo, mientras que la protección de los bienes materiales queda en segundo puesto.

5.1.2. Desencharcamiento y drenaje de zonas inundadas

Otra de las medidas correctivas que se toman durante una inundación es el drenaje del agua, lo que genera una respuesta inmediata a la población afectada por el evento.

Este tipo de trabajos se basa principalmente en la expulsión de agua utilizando equipos de bombeo, o también se pueden construir drenes en forma de canal cuya sección es excavada en el terreno con la finalidad de conducir el agua confinada a zonas donde no afecten a la población, esta última opción es factible solo si existen las condiciones geográficas adecuadas.

5.1.3. Reubicación de la población

La reubicación de la población es una medida estructural que tiene como objetivo mitigar la vulnerabilidad en las zonas de riesgo ya conocidas.

Consiste en desplazar a la población ubicada en terrenos expuestos a riesgos hacia una zona liberada de estos.

Esta opción, a pesar de ser conflictiva para la población, se toma cuando las salidas técnicas o estructurales y no estructurales tienen un costo monetario excesivo o muy por encima de los costos asociados a los bienes protegidos, o bien cuando el riesgo a pérdidas de vidas humanas es muy elevado y no se pueden construir infraestructuras de protección contra inundaciones. (CONAGUA, 2011)

Una reubicación se puede plantear como parte de una estrategia de ordenamiento territorial, en la que se determina que el desarrollo socioeconómico de una población puede afectar la capacidad de autorregulación de los ecosistemas existentes en la zona donde se encuentra asentada. (Wilchez-Chaux, 2008)

Las zonas recuperadas deben tener un propósito, el que debe prever las frecuentes inundaciones, esto con el fin de evitar y/o reducir la posibilidad de una recuperación. Parques naturales y recreativos de uso para toda la sociedad puede ser una buena opción, aunque se debe evitar que la población interprete que la reubicación fue exclusivamente para la contracción de dichos parque, se debe dejar en claro que el objetivo principal es la seguridad de la población reubicada. (Vázquez, 2012)

5.1.4. Albergues temporales

Ante el impacto de un fenómeno perturbador como una inundación una de las medidas de protección civil más frecuentes es la evacuación de los habitantes de las zonas vulneradas con la finalidad de evitar daños a su integridad física. (Vázquez, 2012)

Estos lugares ya deben estar identificados con antelación a una emergencia, por ello la necesidad de elaborar una planificación para la acogida de víctimas es indiscutible. Estos planes deben tener en cuenta varios factores, de los cuales el más importante es que un alojamiento temporal bien diseñado debe proporcionar un ambiente saludable en el cual las personas vivan con dignidad. La primera opción ante la búsqueda de albergue para los damnificados es la de sus familiares, amistades o personas con espíritu de solidaridad.

Los objetivos básicos que se debe cumplir una vez que se pone en funcionamiento el plan de activación del albergue son: (Protección civil)

- Proteger contra el frío, el calor, el viento y la lluvia,
- Dar seguridad emocional y de intimidad personal/familiar
- Dignidad. Espacio individual/colectivo. Espacios comunitarios
- Agua y saneamiento: agua para consumo, agua para higiene personal, depósito y retirada de residuos.
- Seguridad. Pasillos de seguridad, extintores, alumbrado.
- Logística. Áreas de recepción
- Almacenaje y reparto de mercancía
- Proporcionar sitios para el almacenamiento de pertenencias y protección de bienes
- Promover la participación de las personas afectadas.

5.2. Acciones no estructurales

5.2.1. Fondos de desastres

En Argentina, en el año 2017, se creó el Sistema Nacional para la Gestión Integral del Riesgo (SINAGIR), un programa que promueve la respuesta en conjunto de todas las agencias del Estado ante diversas situaciones de crisis y emergencia. La premisa fundamental es prever la respuesta frente a la emergencia, aunque también se prioriza la prevención de riesgos y el proceso de recuperación. (Casa Rosada, 2017)

El Plan Operativo del Sistema Nacional de Gestión Integral del Riesgo, tiene como finalidad (Secretaría de Protección Civil, 2017):

“Adoptar medidas relacionadas con la Protección Civil y la Seguridad Pública en todo el territorio nacional, tendientes a disminuir el impacto de un evento adverso que pongan en situación de riesgo la vida de las personas, sus bienes y todo otro factor de interés nacional.

El Plan, busca generar y coordinar una capacidad de respuesta institucional inmediata, incluyendo e integrando las capacidades municipales, provinciales y federales, incorporando la participación de la sociedad civil y la cooperación internacional.

Estas acciones conformarán un plan cuyo fin último, es proteger la vida y restituir en forma inmediata al máximo posible las condiciones previas a la situación que generó la emergencia”

El Fondo Nacional de Emergencias (FONAE) es el instrumento financiero del SINAGIR diseñado para responder de manera inmediata y oportuna a las necesidades urgentes de la población afectada por un desastre natural financiando suministros de emergencia, asistencia humanitaria y rehabilitación de servicios esenciales para la vida humana.

Mediante la movilización de las fuerzas nacionales y su red de proveedores en todo el país, el SINAGIR proporciona, con financiamiento FONAE, asistencia humanitaria a la población afectada ante la ocurrencia de un desastre y/o emergencia.

Dicha asistencia puede incluir alimentos, insumos médicos, agua potable, artículos de limpieza, refugio temporal, herramientas de búsqueda y rescate, otros insumos de auxilio, restablecer las comunicaciones e infraestructura vital, remover escombros, alquilar equipo y maquinaria pesada, alquilar locales provisionales y otros bienes y/o servicios que ayuden a normalizar la situación en las zonas afectadas. (Secretaría Ejecutiva SINAGIR)

6. Nueva concepción sobre
la gestión de cursos de
agua.

Según el Consorcio de Compensación de Seguros y el Instituto Geológico y Minero de España, en ese país los daños por inundaciones se estiman en total de una media de 800 millones de euros anuales. Como respuesta a estos problemas la Comisión Europea aprobó en noviembre de 2007 la Directiva 2007/60 sobre la evaluación y gestión de las inundaciones a la cual España la adoptó bajo el Real Decreto 903/2010 de evaluación y gestión de riesgos de inundación.

Este decreto en su anexo Parte A I. Componentes de los primeros planes de gestión del riesgo de inundación, inciso h, nombra el contenido mínimo de los programas de medidas, generadas por medidas preventivas y paliativas, estructurales y no estructurales serán:

“1. Medidas de restauración fluvial, conducentes a la recuperación del comportamiento natural de la zona inundable, así como de sus valores ambientales asociados y las medidas para la restauración hidrológico-agroforestal de las cuencas con objeto de reducir la carga sólida arrastrada por la corriente, así como de favorecer la infiltración de la precipitación.

2. Medidas de mejora del drenaje de infraestructuras lineales, que incluirán la descripción de los posibles tramos con un insuficiente drenaje transversal, así como de otras infraestructuras que supongan un grave obstáculo al flujo, y las medidas previstas para su adaptación.

*3. Medidas de predicción de avenidas, que incluirán al menos:
Las medidas adoptadas para el desarrollo o mejora de herramientas para predicción o de ayuda a las decisiones relativas a avenidas, temporales marítimos o erosión costera.
Las normas de gestión de los embalses durante las avenidas.*

*4. Medidas de protección civil, que incluirán al menos:
Las medidas de coordinación con los planes de protección civil, y los protocolos de comunicación de la información y predicciones hidrológicas de los organismos de cuenca a las autoridades de protección civil.
Las medidas planteadas para la elaboración de los planes de protección civil en caso de que éstos no estén redactados.*

5. Medidas de ordenación territorial y urbanismo, que incluirán al menos:

Las limitaciones a los usos del suelo planteadas para la zona inundable en sus diferentes escenarios de peligrosidad, los criterios empleados para considerar el territorio como no urbanizable, y los criterios constructivos exigidos a las edificaciones situadas en zona inundable.

Las medidas previstas para adaptar el planeamiento urbanístico vigente a los criterios planteados en el plan de gestión del riesgo de inundación, incluida la posibilidad de retirar construcciones o instalaciones existentes que supongan un grave riesgo, para lo cual su expropiación tendrá la consideración de utilidad pública.

6. Medidas consideradas para promocionar los seguros frente a inundación sobre personas y bienes y, en especial, los seguros agrarios.

7. Medidas estructurales planteadas y los estudios coste-beneficio que las justifican, así como las posibles medidas de inundación controlada de terrenos.”

En base a estos nuevos lineamientos se han llevado a cabo distintos proyectos de restauración de riberas de ríos y arroyos. En los que el propósito específico es la recuperación de antiguas brazas donde el curso de agua se extendía naturalmente en las crecidas.

Un ejemplo es la restauración de una zona en Caparroso sobre el Río Aragón en la cual se actuó sobre unas 6,32 hectáreas de dominio comunal. En esta zona existía una isla fluvial que fue transformada a tierras de cultivo en los años 60 o 70. Ver Figura 18.



Figura 18. De arriba abajo: año 1957, finales años 90, año 2012 y año 2013 luego de la restauración. Fuente: Proyecto Life.

Como resultado de este proyecto se ha incrementado 6,35 hectáreas la superficie de inundación libre, esto le da movilidad lateral al río y actúa como un buffer para situaciones de crecidas.

Pero el proyecto más importante realizado en España bajo esta nueva perspectiva se realizó en el Río Orbigo. Durante los años 2010 y 2011 se llevó a cabo el proyecto de mejora ecológica de este río en el cual el principal objetivo era recuperar la conectividad transversal y longitudinal del curso de agua a fin de mejorar su capacidad de laminación natural, disminuir el riesgo de posibles daños causados por las inundaciones y regenerar los hábitats fluviales, todo esto con criterios de sostenibilidad económica y ambiental.

Se han reordenado todas las infraestructuras del cauce con lo que se logró mejorar la continuidad lateral aumentando la llanura de inundación, se retiraron y demolieron más de 100 presas y azudes, se han retranqueado decenas de kilómetros de muros de contención recuperando la llanura de inundación y a su vez antiguos cauces. (esposable, 2015). Ver Figuras 19 y 20.



Figura 19. Retranqueo de muros de contención. Fuente: revistaesposable.org



Figura 20. Laminación de crecida. Fuente: revistaesposable.org

Esta nueva premisa sobre el manejo de los cursos de agua trata de erradicar la idea de que un río es un canal de agua en donde se tiene total control sobre su funcionamiento. Por esto la base de los proyectos se centra en el “river widening” que consiste en aumentar la anchura de los ríos, rehabilitando parte de su geomorfología fluvial, recuperando parcialmente ríos trezados en pequeños tramos, donde reaparecen playas de gravas en donde la población podía volver al río. Ver Figura 21.



Figura 21. Canalización (a) y posterior restauración (b) del río Rombach en Fuldera. Fuente: Pio Pitsch

Una experiencia desarrollada en la ciudad de El Bolsón provincia de Río Negro generó una alta aceptación por parte de la sociedad cumpliendo el objetivo de minimizar el riesgo sobre la población. Se trata de la implementación de procesos de gestión integrada de los recursos hídricos en la cuenca del Río Quemquemtreu.

La cuenca media de este río se desarrollaba una manifiesta ocupación de áreas de dominio público hídrico, en donde muchas familias vivían dentro de zonas con alto riesgo hídrico. Como resultado se llevó a cabo la delimitación de la línea de ribera y la de riesgo

hídrico logrando zonificar las zonas con mayor vulnerabilidad. Dentro del cauce se han llevado a cabo diferentes acciones estructurales que han ayudado a controlar las aguas con mayor o menor grado de eficacia, una de ellas tuvo un fuerte impacto social, se trata de un parque lineal de 350 m de longitud por 15 m de ancho sobre la margen izquierda del río. Tal fue su aceptación que los vecinos de la zona se hacen cargo del mantenimiento y conservación. (Nini, Lozeco, & Petri, 2017). Ver Figuras 22 y 23.



Figura 22. Desarrollo de actividades en las zonas parquizadas. Fuente: (Nini, Lozeco, & Petri, 2017)



Figura 23. Sector intervenido por los vecinos. Fuente: (Nini, Lozeco, & Petri, 2017)

7. Marco legal

La cuenca del Ñireco se encuentra enmarcada en tres jurisdicciones. A nivel nacional cuenta con la jurisdicción perteneciente a Administración de Parques Nacionales (APN), representado por el Parque Nacional Nahuel Huapi (PNNH), la cual abarca gran parte de la cuenca alta de dicho arroyo, (Figura 25) y promueve su conservación limitando las actividades que allí se realizan. A nivel provincial se encuentra el Departamento Provincial de Aguas el cual tiene a cargo el manejo y la gestión del recurso hídrico, la Dirección de Bosques y su organismo regional el Servicio Forestal Andino a cargo del recurso forestal, y la Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable, por último, la Municipalidad de S. C. de Bariloche que lleva a cabo la planificación territorial en la cuenca media y baja del arroyo, en las áreas definidas por su ejido municipal.

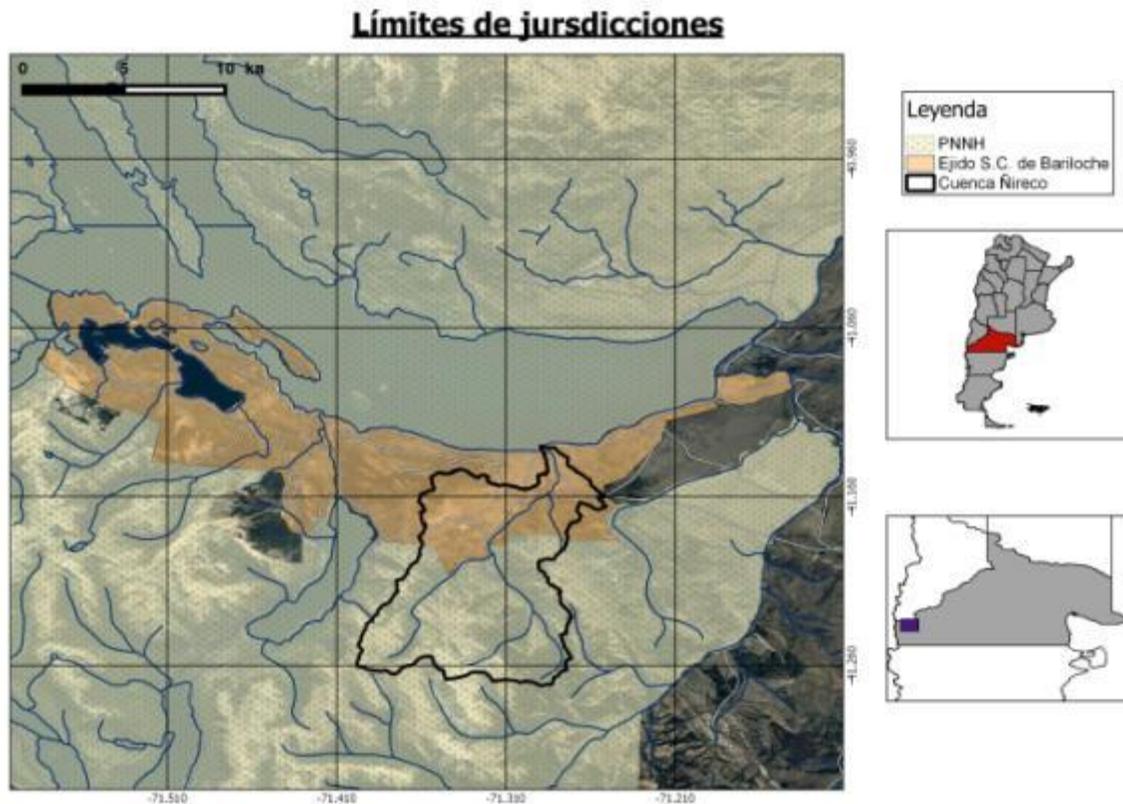


Figura 24. Límites de jurisdicciones en la Cuenca del arroyo Ñireco. Fuente: Elaboración propia.

Comenzando con la recopilación de normativa legal nacional, se puede nombrar a la **Constitución Nacional** con su última actualización en el año 1994, y en especial a su Artículo 41 en la que se habla de la preservación del ambiente. **La ley General del**

Ambiente N° 25.675 que protege el ambiente garantizando su cuidado, la educación y participación del ciudadano, controlando el impacto y el daño ambiental que puede causar el hombre. En lo que respecta a recursos hídricos la **Ley N°25.668 Régimen de Gestión Ambiental de Aguas**, que establece los presupuestos mínimos ambientales para la preservación de las aguas, su aprovechamiento y su uso racional. En relación a bosques y Parques Nacionales, en el año 1934 se crea la Dirección de Parques Nacionales bajo la **Ley N° 12.103**, con la **Ley N° 19.292** de 1971 se establecen los límites de Parques y Reservas, en ella incluido el Parque Nacional Nahuel Huapi, y con 1980 se crea la ley definitiva que nuclea a Parques Nacionales, Reservas Nacionales y Monumentos Nacionales, **ley N° 22.351**. Luego en 2007 se crea la **Ley N° 26.331 de Presupuestos Mínimos de Protección Ambiental de los Bosques Nativos** que regula el uso de los Bosques Nativos.

A nivel provincia la **Constitución Provincial** en su última reforma de 1994, en donde se establece la propiedad de los recursos naturales exclusiva de la provincia, se establece el Régimen de Aguas, el Ordenamiento Territorial y el manejo de los Bosques. De la Constitución se crea la **Ley Q N° 2.952** en 1995 titulada **Código de Aguas** en la se determina la administración de las aguas públicas, su uso y aspectos ambientales de protección y conservación de los recursos hídricos. En el año 1997 se sanciona la **Ley Q N° 3.365** la que garantiza el libre acceso a las riberas de los cuerpos de agua. En lo que respecta a bosques en 1972 se crea la Ley Forestal de la Provincia de Río Negro N° 757 y en el año 2010 se sanciona la **Ley de Presupuestos Mínimos de Protección Ambiental de los Bosques Nativos N° 4552** que se basa en la conservación y aprovechamiento sustentable de los bosques nativos de la provincia.

A nivel municipio se cuenta con la **Carta Orgánica Municipal** en su última modificación de 2007 en la que se declara a la Municipalidad como autoridad con poder de policía en todo el ejido. Se encuentran además variadas ordenanzas sobre ordenamiento territorial, libre acceso a las costas de ríos y lagos, protección de bosques nativos, humedales y forestación urbana.

A continuación, se muestra el resumen de la normativa relacionada con la temática, Tabla 3. En el anexo I se detalla cada una de ellas.

Tabla 3. Resumen de normativa a nivel Nacional, Provincial y Municipal. Fuente: Elaboración propia.

Nacional	Provincial	Municipal
Constitución Nacional. 1994	Constitución Provincial. 1994	Carta Orgánica Municipal. 2007
Ley General del Ambiente N° 25.675. 2002	Código de Aguas, Ley Q 2952. 1995	Ordenanza 169-I-1979 Código de Planeamiento
Régimen de Gestión Ambiental de Aguas Ley N°25.688. 2002	Libre Acceso A Las Riberas De Ríos Y Espejos De Aguas Del Dominio Público Provincial Con Fines Recreativos Ley Q N° 3365. 2007	Ordenanza 211-I-1979 Código de Edificación
Ley de Presupuestos Mínimos de Protección Ambiental de los Bosques Nativos N° 26.331. 2007	Ley Forestal de la Provincia de Río Negro N° 757. 1972	Ordenanza 546-O-1995 Código Urbano
Creación de la Dirección de Parques Nacionales N° 12.103. 1934	Ley de presupuestos Mínimos de Protección Ambiental de los Bosques Nativos N° 4552. 2010	Ordenanza 2692-CM-12 Plan de Ordenamiento Territorial.
Límites de los distintos Parques y Reservas N° 19.292. 1971		Ordenanza 1686-CM-07 Adhiere a LP 3.365
Ley de Parques Nacionales, Reservas Nacionales y Monumentos Nacionales N° 22.351. 1980		Ordenanza 2694-CM-2015 Restricción Administrativa Costas de Ríos y Lagos
		Ordenanza 86-C-87 Defensa Patrimonio Natural Verde Plantaciones Urbanas
		Ordenanza 358-CM-94 Creación de Comisión Municipal Interinstitucional de Forestación Urbana.
		Ordenanza 587-CM-96 Protección Integral de Bosques y Tierras Forestales
		Ordenanza 2020-CM-10 Relevamiento y Protección de Bosques Protectores, Nativos y Permanentes
		Ordenanza 2894-CM-17 Creación de Sistema de Protección de Humedales
		Ordenanza 1640-CM-06 Guía de Peligros Geológicos
		Ordenanza 1645-CM-06 Guía de Drenaje Pluvial Urbano de San Carlos de Bariloche
		Ordenanza 2518-CM-14 Donación de Parcelas al Departamento Provincial de Aguas

8. Objetivos e hipótesis

8.1. Objetivo general:

Realizar una modelación hidrológica de la cuenca del arroyo Ñireco, validarla y analizar los resultados ante posibles escenarios futuros con la finalidad de generar propuestas de gestión para la disminución de los caudales y la atenuación de los procesos erosivos en el cauce inferior.

8.2. Objetivos específicos

- I. Caracterización física y modelo hidrológico de la cuenca del arroyo Ñireco.
- II. Análisis jurisdiccional de los principales actores de la cuenca.
- III. Establecer un esquema de intervención que incluya la evaluación de medidas estructurales y acciones no estructurales en la cuenca medio-alta a fin de minimizar el impacto de las crecidas.

8.3. Hipótesis

La hipótesis general del trabajo sostiene que las modificaciones en la cuenca alta del arroyo Ñireco generan impactos de importancia en las zonas medias y bajas, donde se concentra el desarrollo urbano.

9. Metodología

9.1. Caracterización física y modelo hidrológico de la cuenca del arroyo Ñireco

9.1.1. Recopilación y análisis de información básica disponible

En esta etapa se realizará la recopilación y el análisis de los antecedentes existentes en el área, tales como:

- Relevamientos de instalaciones, caminos, viviendas, interferencias, etc.
- Información pluviométrica, curvas IDF aplicables a la zona correspondiente a organismos nacionales y provinciales.
- Otros Estudios de Riesgo Hídrico de áreas de similares características.
- Imágenes satelitales y mapas temáticos.

9.1.2. Análisis de información meteorológica y generación de tormentas de diseño.

En esta etapa se analizará la información pluviométrica obtenida de la zona de proyecto. Con los datos recolectados se prevén realizar los análisis de precipitaciones máximas, correlación entre estaciones y regionalización, para validar el uso de las curvas IDF disponibles y/o generar datos que permitan confeccionar los hietogramas de diseño para la modelación hidrológica.

9.1.3. Demarcación de los límites de las cuencas y subcuencas

En base a la información topográfica disponible, se trabajará con un Modelo Digital del Terreno (MDT). Para determinar las características físicas de la cuenca se empleará el modelo HEC- geoHMS, integrando a través de un SIG el MDT con la demás información espacial existente. El MDT se usa como entrada para obtener 8 conjuntos de datos que describen los patrones de drenaje de la cuenca y permiten la delimitación de las subcuencas y la red de drenaje. El ajuste y verificación se realizará mediante la ayuda de cartas topográficas del Instituto Geográfico Nacional, relevamientos topográficos antecedentes y otros datos de interés recopilados en la visita de campo.

9.1.4. Determinación de parámetros morfométricos y de forma de cada subcuenca.

En base a los resultados de la demarcación de la cuenca y subcuencas se calcularán los siguientes parámetros: Superficie (S), Perímetro (P), Altura Máxima (H_{máx.}), Altura Mínima (H_{mín.}), Desnivel (ΔH), Pendiente Media (Im), Forma de la cuenca (Rf), etc.

9.1.5. Descripción de la red de drenaje natural.

Se realizará una caracterización general de la red de drenaje natural, de acuerdo a lo observado en campo y en imágenes satelitales del área. Se analizará la cobertura vegetal natural del área y las características generales de los suelos, así como el relieve general y las pendientes existentes.

9.1.6. Determinación de tiempo de concentración (T_c).

Sobre la base de los parámetros morfométrico de la cuenca y los parámetros de la red de drenaje se calculará el tiempo de concentración (T_c) de cada cuenca. A través del mismo se podrá establecer futuros hietogramas para la modelación hidrológica de la cuenca.

9.1.7. Clasificación hidrológica del suelo de las cuencas - estimación del potencial de escorrentía.

Se determinarán los valores de CN (*Método del Servicio de Conservación de Suelos de EEUU*) para cada subcuenca mediante álgebra de mapas de suelos, pendientes y cobertura vegetal, en entorno SIG.

9.1.8. Modelación Hidrológica. Determinación de la respuesta de las cuencas en los puntos críticos.

Para determinar la respuesta hidrológica de la cuenca integrando los diferentes componentes de la misma, se utilizará un Modelo de Simulación Hidrológica de código abierto. El mismo permite estimar los hidrogramas de salida en una cuenca o varias subcuencas a partir de una precipitación dada, aplicando para ello algunos de los métodos disponibles de cálculo de hietogramas de diseño, pérdidas por infiltración, flujo base y conversión en escorrentía directa. Como resultado de la

modelación hidrológica se obtendrán valores de caudal pico, tiempo al pico y volúmenes de escurrimiento para diferentes recurrencias de análisis.

9.1.9. Clasificación hidrológica del suelo de las cuencas - estimación del potencial de escorrentía.

Se determinarán los valores de CN (*Método del Servicio de Conservación de Suelos de EEUU*) para cada subcuenca mediante álgebra de mapas de suelos, pendientes y cobertura vegetal, en entorno SIG.

9.1.10. Modelación Hidrológica. Determinación de la respuesta de las cuencas en los puntos críticos.

Para determinar la respuesta hidrológica de la cuenca integrando los diferentes componentes de la misma, se utilizará un Modelo de Simulación Hidrológica de código abierto. El mismo permite estimar los hidrogramas de salida en una cuenca o varias subcuencas a partir de una precipitación dada, aplicando para ello algunos de los métodos disponibles de cálculo de hietogramas de diseño, pérdidas por infiltración, flujo base y conversión en escorrentía directa. Como resultado de la modelación hidrológica se obtendrán valores de caudal pico, tiempo al pico y volúmenes de escurrimiento para diferentes recurrencias de análisis.

9.2. Análisis jurisdiccional de los principales actores

Para aclarar el grado de intervención de cada uno y lograr dar forma al siguiente objetivo se realizará:

9.2.1 Análisis de la documentación legal de nivel nacional, provincial y municipal, en relación al manejo de cuencas (GIRH)

9.3. Plan de intervención.

Un plan de intervención involucraría la realización de acciones estructurales y no estructurales. Las estructurales son las que requieren de obras de ingeniería dentro de la cuenca con el fin de modificar el régimen fluvial del curso de agua. A su vez pueden ser extensivas (dentro de la cuenca) o intensivas (en el curso de agua). Las medidas no

estructurales son las que atenúan los perjuicios debido a un mejor entendimiento y convivencia de la población con las crecidas. (Tucci, 2007)

a) Diseñar medidas no estructurales y acciones estructurales en el sector de la cuenca media y alta del arroyo Ñireco (cuencas Chalhuaco y Ñireco Superior)

- No Estructurales: restricciones legales, usos del suelo, organismo gestión de la cuenca, etc
- Estructurales: reforestación en áreas de bosque afectadas por incendios y/o tala, desarrollo de un plan de arbolado público, intervenciones en cauces/cañadones con obras transversales, etc.

b) Evaluar el impacto de las medidas y acciones en los caudales del arroyo Ñireco en su tramo inferior a través del modelo hidrológico, a partir de un escenario potencial de implementación de las mismas.

10. Resultados

10.1 Características físicas y modelo hidrológico de la cuencas

10.1.1. Actividades que se desarrollan dentro de la cuenca:

Dentro de la cuenca se desarrollan diversas actividades que pueden estar directamente relacionadas con la libre escorrentía del agua. En la cuenca alta, se destaca la presencia de comunidades de pueblos originarios, tales como la comunidad Roberto Maliqueo, la cual se asentó en el año 2008, reclamando a Parques Nacionales 625 hectáreas en el valle del Challhuaco (ANB, 2008). La problemática principal de esta zona radica en la extracción de leña que se utiliza para calefacción, lo que es una actividad ilegal ya que se encuentra dentro del PNNH. Para responder ante esta problemática, el PNNH declaró que se trabaja en conjunto con la comunidad Roberto Maliqueo, el complejo Valle del Challhuaco y personal del Refugio Neumeyer para minimizar este impacto. En el año 2015 se instaló una barrera nocturna para el acceso al PNNH, estableciendo horarios de apertura y cierre (Bariloche 2000, 2016).

En la cuenca baja se destaca la fuerte presión urbanística sobre el cauce del arroyo Ñireco. A raíz de las crecidas que produjeron daños materiales en los años 2002 y 2004, en el año 2005 el DPA decidió proyectar una obra de corrección fluvial denominada “*Estabilización de Cauce y Recuperación de Riberas - Arroyo Ñireco*” la cual se realizó en el tramo inferior del arroyo Ñireco en una longitud de aproximadamente 3.000 metros. La misma contó con la construcción de obras para la estabilización de márgenes como bordos perimetrales, utilizando gaviones, colchonetas gavionadas y sacos gavionados (Heck & Reverter, 2005).

En la Figura 25 se detallan otras instalaciones y/o actividades que se realizan dentro de la cuenca del arroyo Ñireco.

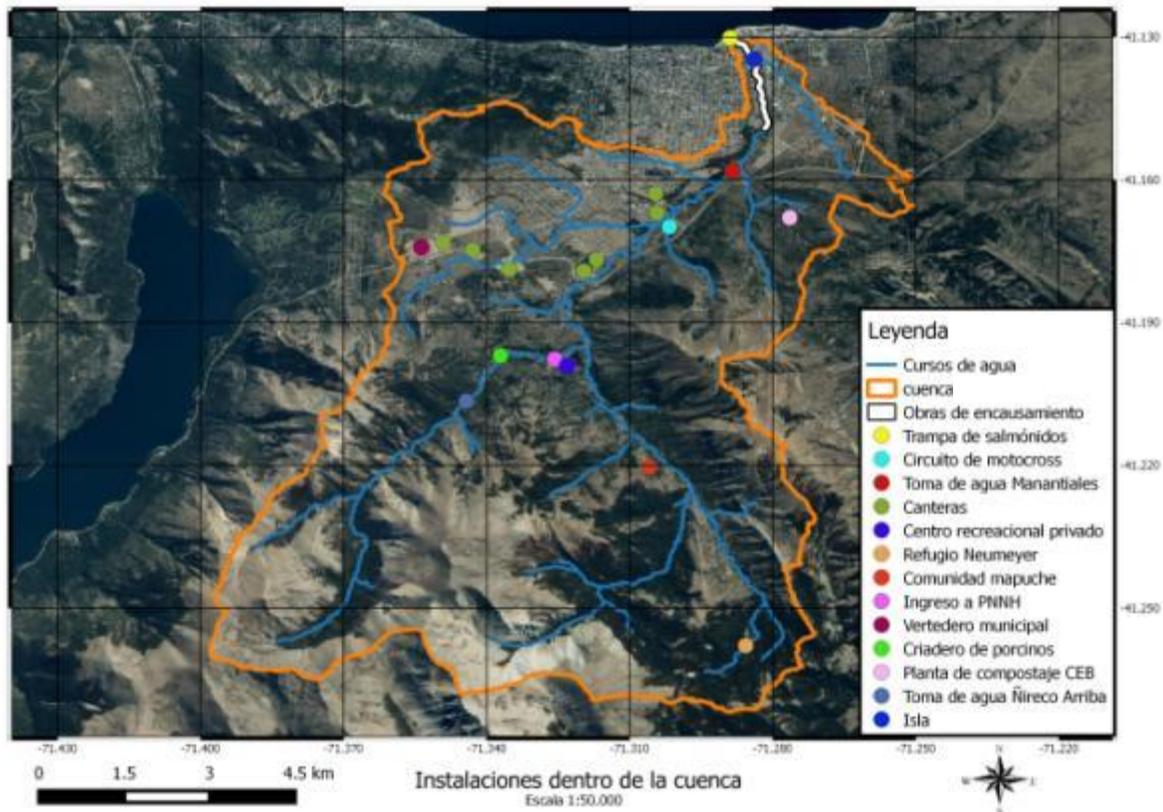


Figura 25. Instalaciones y/o actividades que se encuentran dentro de la cuenca del arroyo Ñireco.

10.1.2. Información pluviométrica:

Se cuenta con datos pluviométricos de dos estaciones meteorológicas pertenecientes al DPA. Su ubicación se detalla en la Figura 26. La estación del Pilar se ubica en el barrio homónimo dentro del predio de la planta potabilizadora Ñireco Arriba, la otra estación se ubica en el kilómetro 1 de la avenida Pioneros, la misma se encuentra dentro del predio de la planta potabilizadora perteneciente a ARSA.

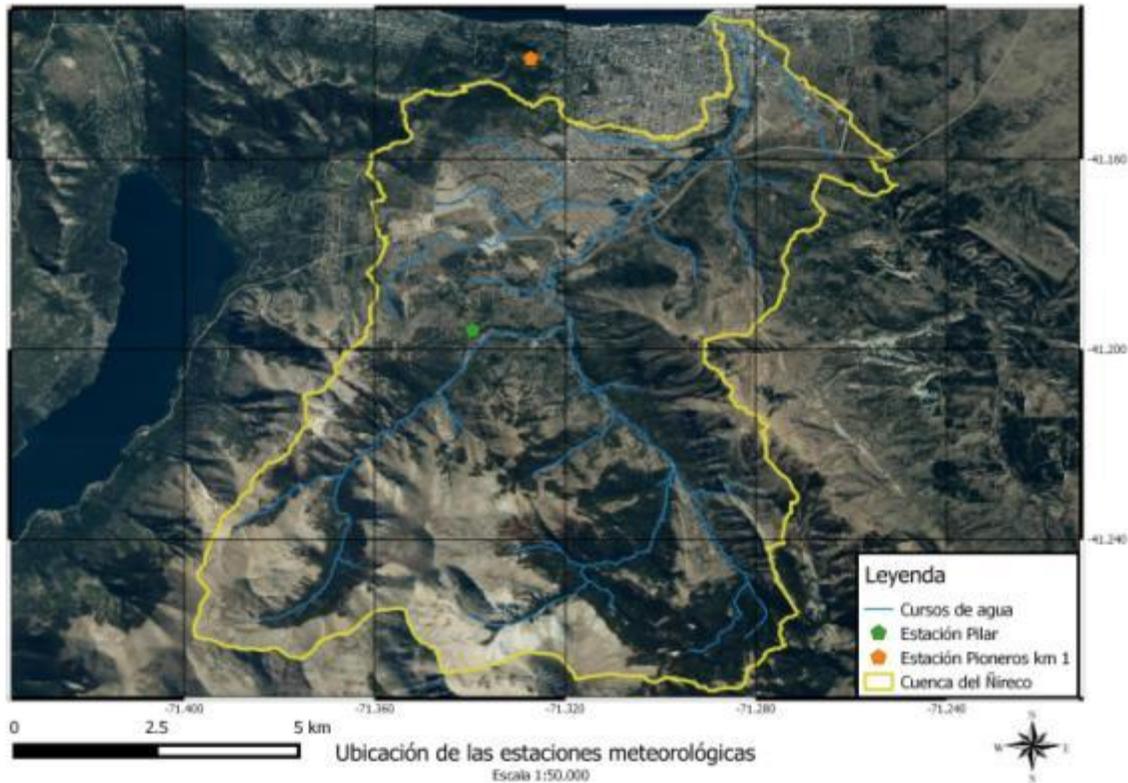


Figura 26. Ubicación de las estaciones meteorológicas Pilar y Pioneros km1. Fuente: Elaboración propia.

El pluviómetro de la estación Pilar mide con un paso de tiempo de 10 min mientras que la estación del km 1 de pioneros lo hace cada 30 min. Para este trabajo se buscó una tormenta cuyos caudales pico sean superiores al promedio diario, ver Figura 27, y además que sean lo más reciente posible para que el modelado final sea representativo de las condiciones actuales en la que se encuentra la cuenca.

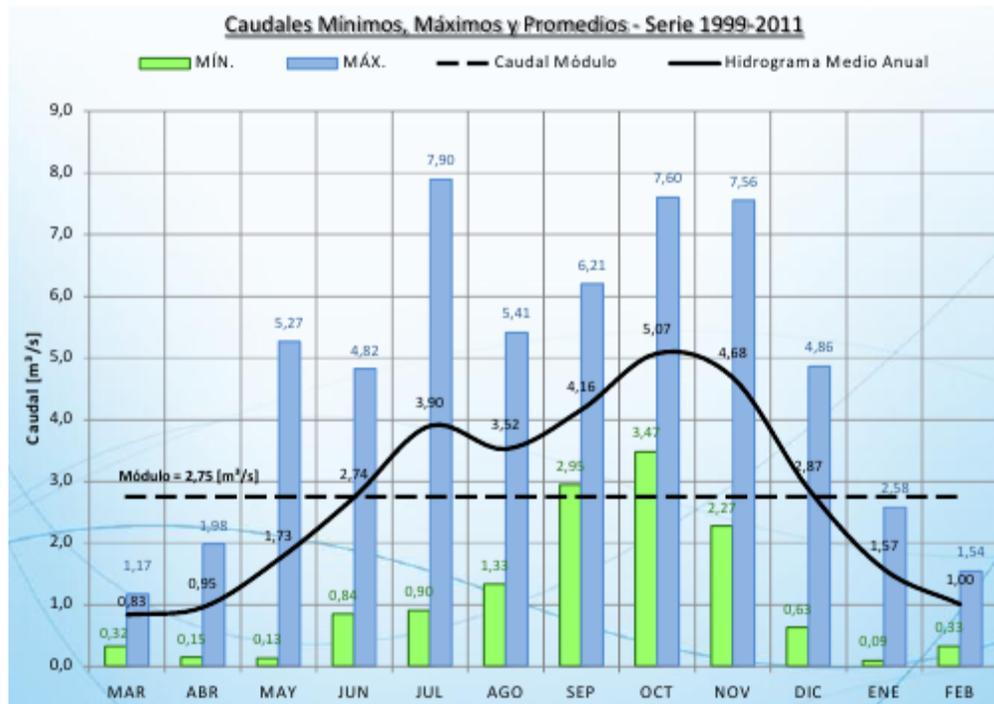


Figura 27. Caudales mínimos y máximos en la cuenca del Arroyo Ñireco (Series 1999-2011). Fuente: DPA.

Estudios similares realizados en la zona:

Se cuenta con los siguientes informes que sirvieron de base para la realización de este trabajo:

- Departamento Provincial de Aguas; Consejo Federal de Inversiones. 2005. “Plan Director de Drenaje Pluvial Urbano de San Carlos de Bariloche”
- Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas (U.N.L); Consejo Federal de Inversiones. 2007. “Actualización de Aspectos Hidrológicos del Plan Director de Drenaje Pluvial Urbano de San Carlos de Bariloche”.

Imágenes satelitales:

Como apoyo para el análisis espacial del área de estudio, se dispone de imágenes de Google Earth. También se dispone de imágenes de modelos digitales de elevación (MDE) de diferentes resoluciones disponibles gratuitamente en la plataforma del Instituto Geográfico Nacional de la República Argentina.

10.1.3. Análisis de información meteorológica y generación de tormentas de diseño.

Como información de base para este apartado se utilizó el informe “Actualización de Aspectos Hidrológicos del Plan Director de Manejo de Aguas Pluviales de la Ciudad de San Carlos de Bariloche”. En su análisis pluviométrico se concluyó que la distribución de las tormentas máximas medidas por distintas estaciones meteorológicas de la región es centrada, esto quiere decir que el hidrograma de estos eventos tiene su máximo en el centro.

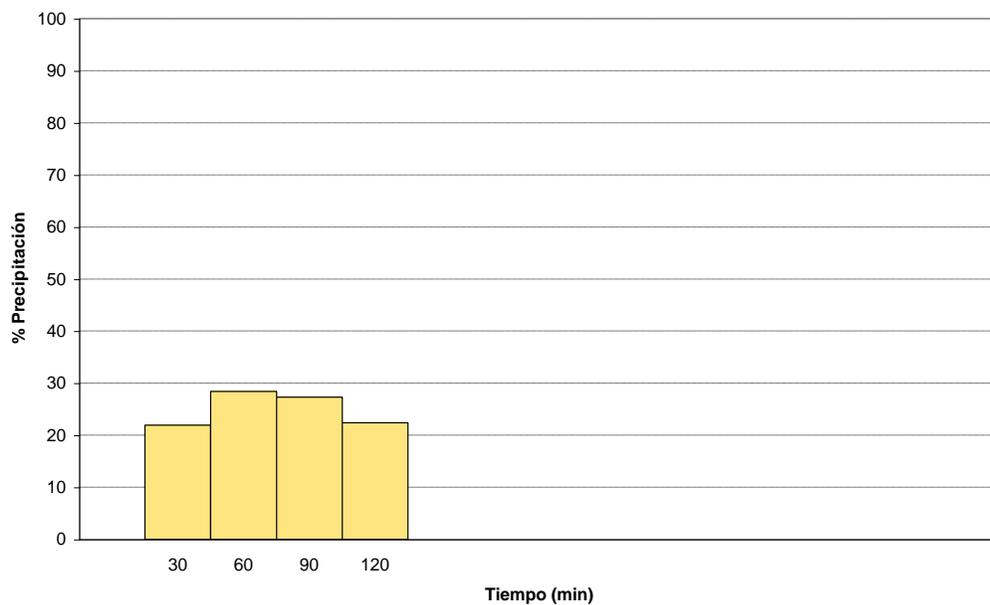


Figura 28. Hietograma relativo para tormentas duración 2 hs. - Estación DPA - Bariloche. Fuente: FICH, 2007

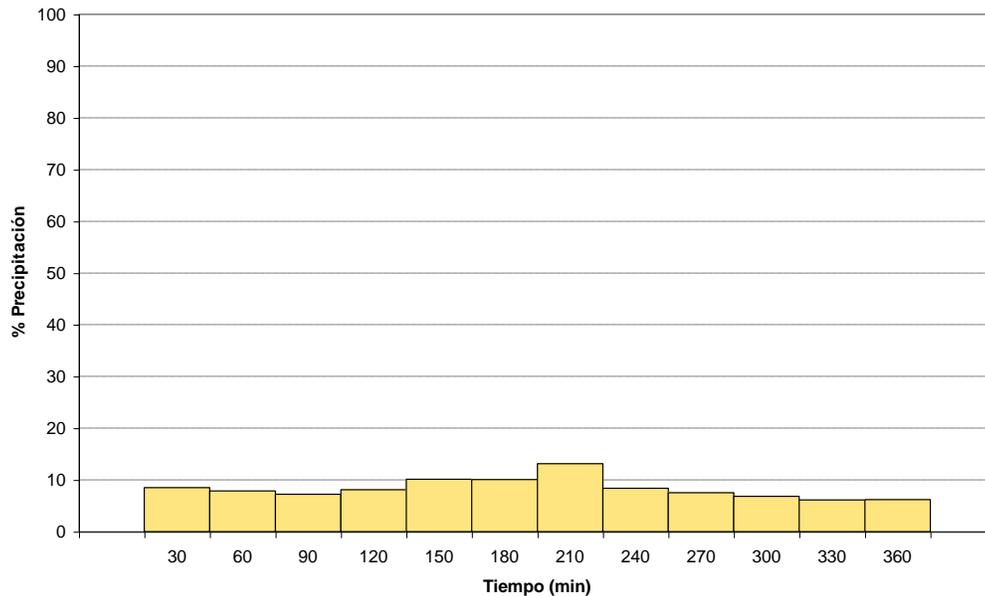


Figura 29. Hietograma relativo medio para tormentas duración 6 hs. - Estación DPA - Bariloche. Fuente: FICH, 2007.

Estos resultados se tuvieron en cuenta para la conformación de las tormentas de diseño.

Las “tormentas de diseño” o también llamadas “tormentas de proyecto” tienen una finalidad netamente ingenieril, su aplicación va desde el uso de valores puntuales de precipitación para determinar los caudales picos en alcantarillados de aguas de lluvias y alcantarillas de rutas, hasta el uso de hietogramas de tormenta como las entradas para el análisis de lluvia-escorrentía en embalses de detención de aguas urbanas o en el diseño de vertederos en proyectos que involucren grandes embalses.

Para generar estas tormentas de diseño se deben tener en cuenta cinco características principales.

Recurrencia de la tormenta de diseño: para este trabajo se van a trabajar con recurrencias limitadas por las curvas I-D-F. Para la elaboración de estas tormentas se cuenta con información de curvas I-D-F generadas por el DPA, para el período 2000-2014, ver Figura 30. En este trabajo y a modo de maximizar los impactos, se utilizará una recurrencia de 20 años.

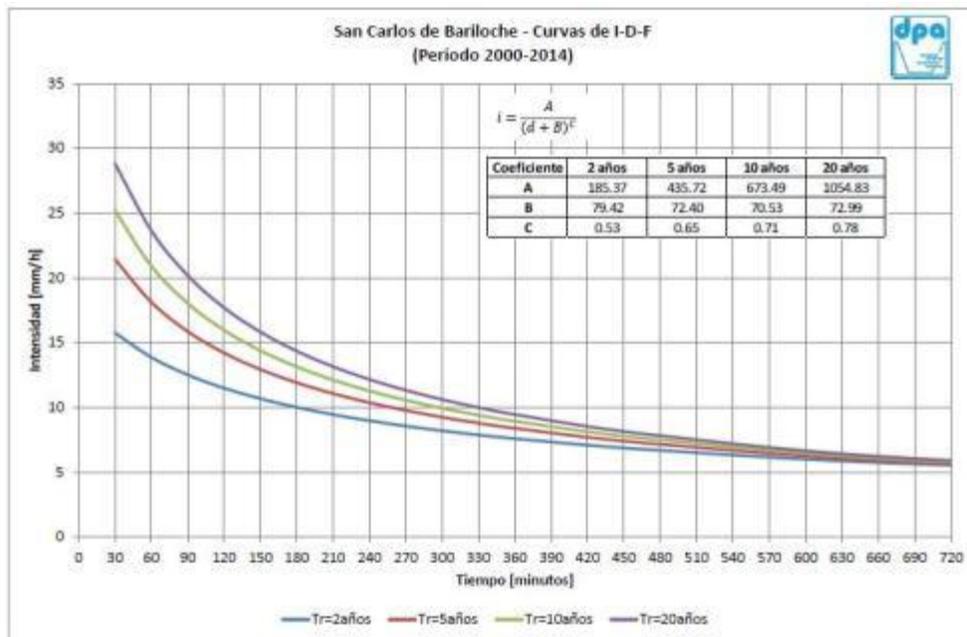


Figura 30. Curvas de I-D-F diseñadas para el periodo 2000-2014. Fuente: DPA

Intervalo o paso de tiempo del hietograma (dt): se procura definir valores de intensidad lo más pequeños posibles para lograr una buena eficiencia en la aplicación de los modelos de transformación de lluvia-caudal. Para este trabajo se ha adoptado un $dt=10$ min.

Duración de la tormenta: la misma se adopta en función del tamaño y tiempo de concentración estimado del área de aporte. Para este trabajo se van a adoptar tormentas con duraciones de $2T_c$ y $3T_c$, debido a que para una duración igual a $1T_c$ se estima que la totalidad de la cuenca está aportando escorrentía, por lo tanto, a partir de este valor se presentarán caudales máximos.

Distribución de intensidades máximas: A partir de los resultados mostrados en las figuras 28 y 29 se adoptará utilizar una distribución centrada.

Distribución areal: Las tormentas reales poseen una variación espacial que resulta notoria cuanto mayor es el área analizada pero que además cambia permanentemente durante la tormenta. Al tener información de corta duración se

decidió efectuar una simplificación para suponer a la tormenta de diseño uniformemente distribuida por toda la cuenca.

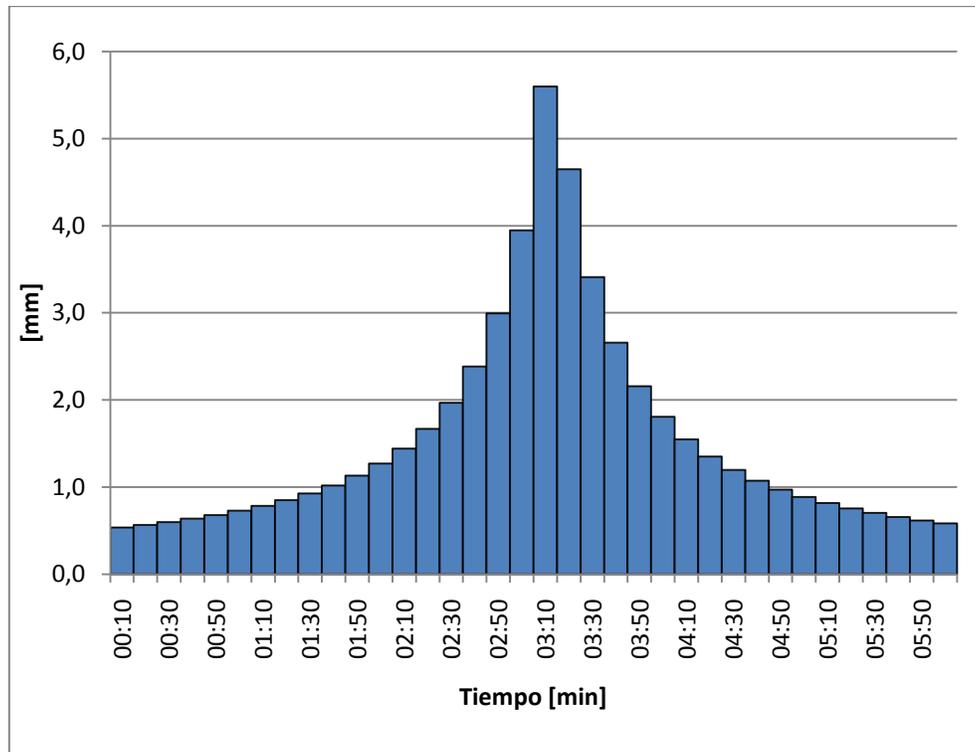


Figura 31. Hietograma para una tormenta de diseño con TR 20 años y duración de 6 Hs.

La suma total de esta precipitación es de 55,5 mm.

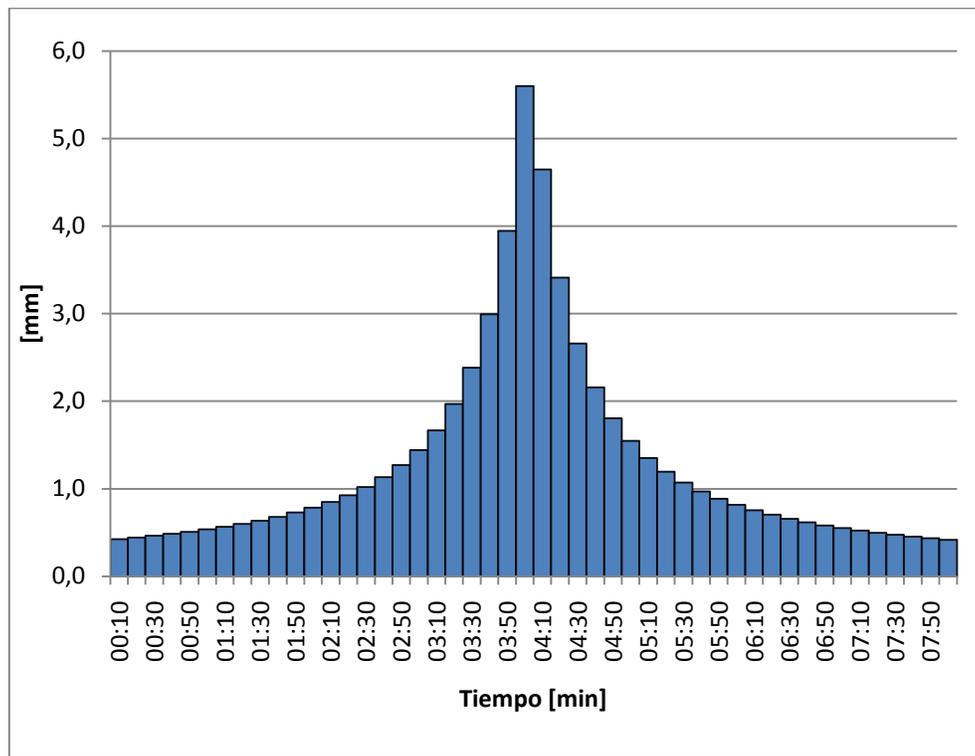


Figura 32. Hietograma para una tormenta de diseño con TR 20 años y duración de 8 Hs.

La suma total de esta precipitación es de 61,2 mm.

10.1.4. Demarcación de los límites de las cuencas y subcuencas

Utilizando un modelo digital de elevación (MDE) de la zona de San Carlos de Bariloche y mediante el procesado utilizando el Software de código libre QGIS se procedió a la delimitación de la cuenca y subcuencas del arroyo Ñireco. La resolución de las imágenes utilizadas es de 5 m en la zona urbana y de 30 m en la zona rural.

La delimitación de las subcuencas se realizó inicialmente con unidades pequeñas las cuales se le fueron sumando unidades vecinas las cuales tenían el mismo uso de suelo, o se enmarcaran dentro de una zona delimitada por características similares, tales como barrios con y sin calles asfaltadas, zona de bosque con y sin actividad antrópica hasta que se llegó a unidades representativas de cada área a la que pertenece.

El resultado final se muestra en la Figura 33 donde se delimitaron un total de 17 subcuencas.

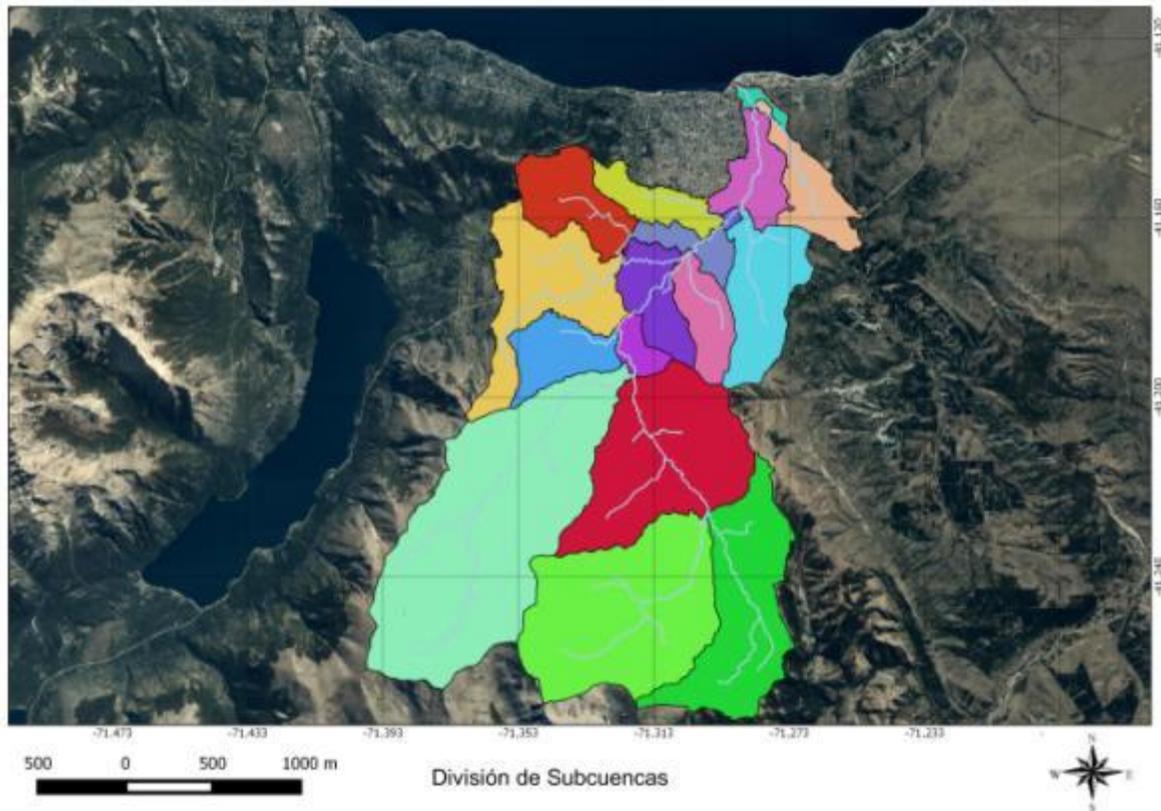


Figura 33. Delimitación de las 17 subcuencas que componen a la cuenca del arroyo Ñireco.

10.1.5. Determinación de parámetros morfométricos y de forma de cada subcuenca

El análisis morfométrico se realiza mediante el estudio de las variables lineales, de superficie, de relieve y drenaje permitiendo conocer las características físicas de una cuenca con lo cual permite realizar comparaciones entre varias cuencas, así como ayuda a la interpretación de la funcionalidad hidrológica y en la definición de las estrategias para la formulación de su manejo (Gasparini, 2012).

Área:

Se define como la proyección horizontal de la superficie de drenaje de un sistema de escorrentía dirigido directa o indirectamente a un mismo cauce natural. Corresponde a la

superficie delimitada por la divisoria de aguas de la zona de estudio. Es quizás el parámetro más importante debido a que influye directamente en la cantidad de agua que la cuenca pueda producir y consecuentemente en la magnitud de los caudales.

Perímetro:

Es la longitud sobre un plano horizontal que recorre la divisoria de aguas, o en otras palabras la longitud del límite exterior de la cuenca.

Altura máxima y altura mínima:

Como su nombre indica, corresponden a la máxima altura dentro de la cuenca y a la mínima.

Desnivel:

Este parámetro indica la diferencia entre la altura máxima y la mínima dentro de la cuenca.

Pendiente Media:

Se define como la pendiente promedio de todas las laderas o como la media ponderada de las pendientes de todas las superficies elementales de la cuenca. Tiene estrecha relación con la infiltración, el escurrimiento superficial, la humedad del suelo y la contribución del agua subterránea al caudal de la corriente. Afecta notablemente a la relación lluvia-escurrimiento pues reduce el tiempo de concentración y acorta el período de infiltración.

$$Im = \frac{D * L}{A_u}$$

Donde:

D: Equidistancia entre curvas de nivel [Km]

L: Longitud de todas las curvas de nivel [Km]

A_u: Área de la cuenca [Km²]

Pendiente (%)	Tipo de relieve
0 - 3	Plano
3 - 7	Suave
7 - 12	Mediano
12 - 35	Accidentado
35 - 50	Fuerte
50 - 75	Muy Fuerte
>75	Escarpado

Clasificación de pendientes medias.
Fuente: Ortiz Vera (2004).

Forma de la cuenca o índice de compacidad:

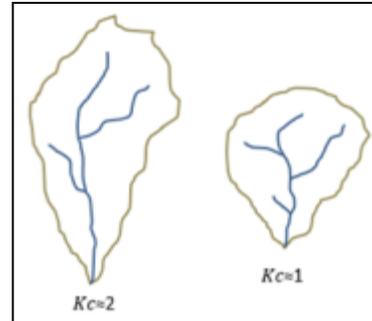
Es la relación entre el perímetro de la cuenca y el perímetro de un círculo de igual área que la cuenca. El grado de aproximación de este índice a la unidad indicará la tendencia a concentrar fuertes volúmenes de aguas de escurrimiento, siendo más acentuado cuanto más cercano a uno sea.

$$K_c = \frac{P}{2 * \sqrt{\pi * A}}$$

Donde:

P: Perímetro de la cuenca

A: Área de la cuenca



Relación de circularidad:

Es el cociente entre el área de la cuenca y la superficie de un círculo que posee igual perímetro que la unidad de estudios. Es un indicador de la tendencia de cuencas pequeñas sobre terrenos de la misma naturaleza, a preservar la similitud geométrica.

$$Rci = \frac{4 * \pi * A}{P^2}$$

Donde:

P: Perímetro de la cuenca

A: Área de la cuenca

De cada subcuenca se realizó un análisis morfométrico en donde se calcularon los siguientes parámetros: Superficie (S), Perímetro (P), Altura Máxima (Hmáx.), Altura Mínima (Hmín.), Desnivel (ΔH), Pendiente Media (Im), Forma de la cuenca (Rf), Relación de Circularidad (Rci).

Subcuenca Ñireco Inferior 1:

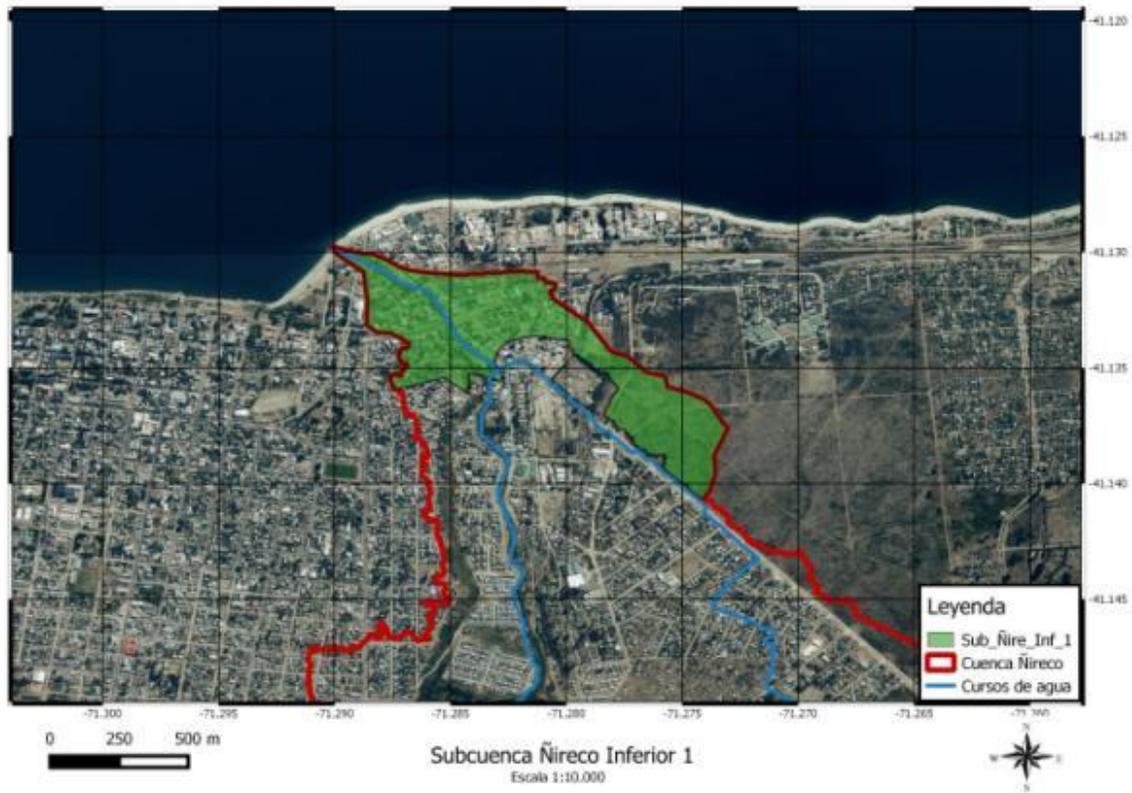


Figura 34. Ubicación de la subcuenca Ñireco Inferior 1. Fuente: Elaboración propia.

Esta subcuenca es la que se encuentra en la parte más baja de la cuenca, la desembocadura. Contiene a los barrios Industrial, Matadero, Lomas de Monteverde y Ñireco Norte.

Las márgenes del arroyo Ñireco quedan delimitadas por paredones de fondo de terrenos, y en muchos casos por las paredes de las mismas viviendas. Cabe destacar que cerca del 100% de las veredas y calles se encuentran pavimentadas.

Parámetros	Ñireco Inferior 1
Superficie [km ²]	0,49
Perímetro [km ²]	5,46
Hmax [m]	813
Hmin [m]	768
ΔH [m]	45
Im [%]	18,11
Rf (Kc)	2,20
Rci	0,21

Al tener un K_c superior a 2 y un R_{ci} inferior a 1, indica que la forma de la cuenca difiere mucho a una forma circular, es más bien alargada como se puede constatar en la Figura 34. Y según la pendiente media corresponde a un relieve accidentado.

Subcuenca Ñireco Inferior 2:

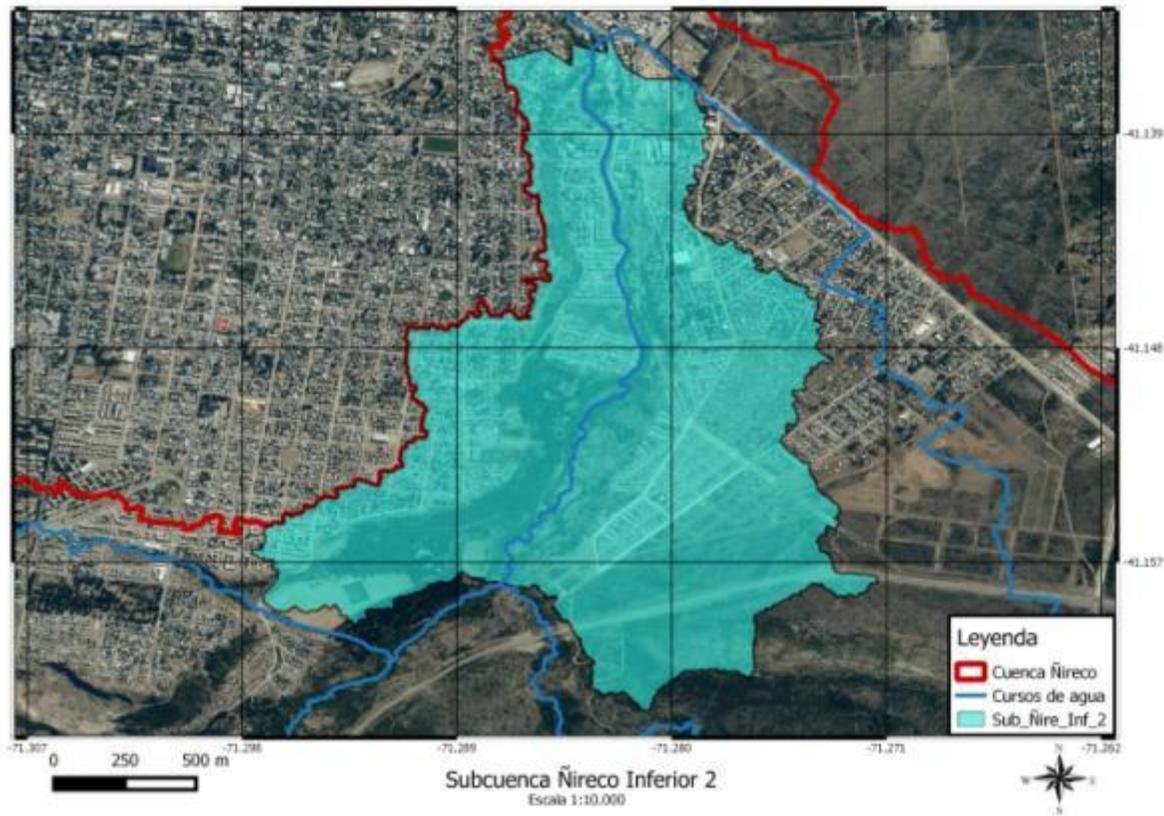


Figura 35. Ubicación de la subcuenca Ñireco Inferior 2. Fuente: Elaboración propia.

Este tramo contiene a los barrios 84, 112, 121, 150, 170 y 270 viviendas, parte de los barrios San Francisco I, II, III y IV, al Barrio Mutisias y San Cayetanito.

El proyecto de encauzamiento del arroyo llega hasta las 150 viviendas, desde este punto hacia aguas arriba los márgenes se mantienen en su estado natural.

Parámetros	Ñireco Inferior 2
Superficie [km ²]	3,18
Perímetro [km ²]	13,54
Hmax [m]	927,55
Hmin [m]	791,31
ΔH [m]	136,24
Im [%]	19,23
Rf (Kc)	2,14
Rci	0,22

Al tener un Kc superior a 2 y un Rci inferior a 1, indica que la forma de la cuenca difiere mucho a una forma circular, es más bien alargada como se puede constatar en la Figura 35. Y según la pendiente media corresponde a un relieve accidentado.

Subcuenca Esandi:

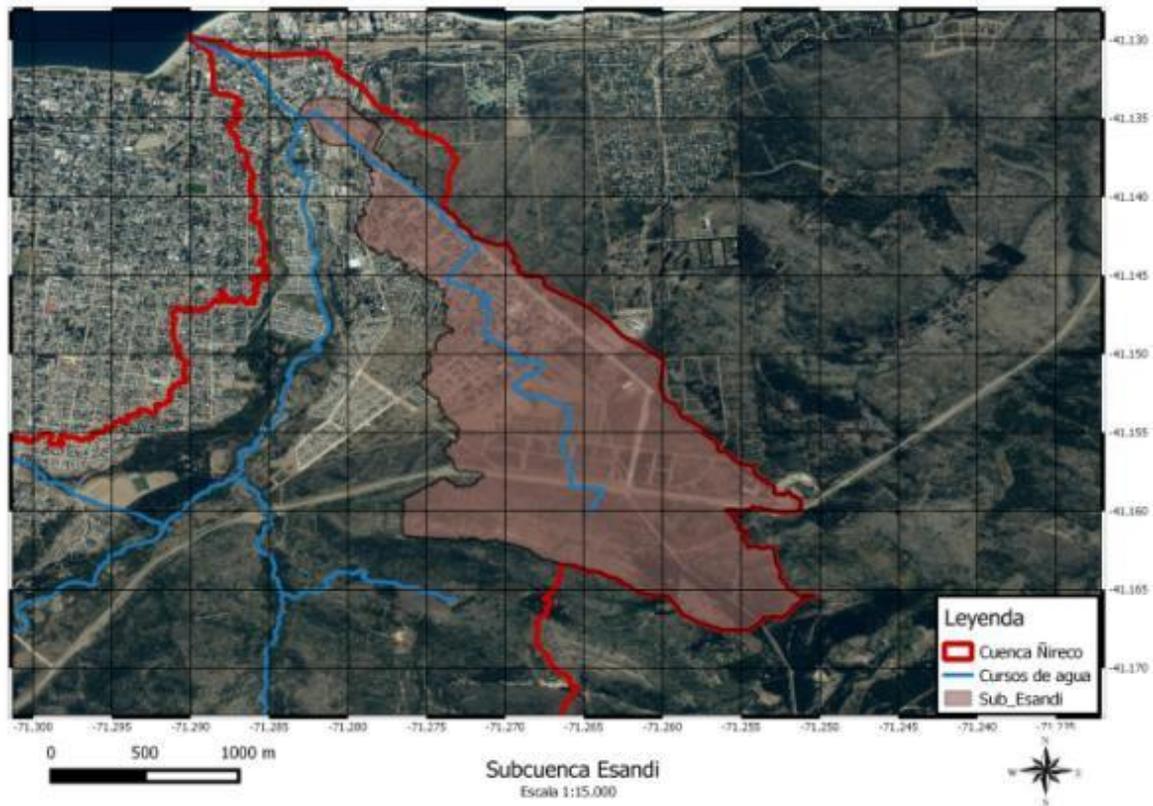


Figura 36. Ubicación de la subcuenca Esandi. Fuente: Elaboración propia.

Esta subcuenca abarca los barrios Lomas de Monteverde, parte de San Francisco II, III y IV y también toma a la zona conocida como La Paloma y el predio de EDERSA.

Cabe destacar que la nueva visión del ordenamiento territorial de la ciudad se orientó al Este de la ciudad, por lo tanto, esta zona está siendo proyectada para el desarrollo de viviendas urbanas.

Parámetros	Esandi
Superficie [km ²]	3,45
Perímetro [km ²]	14,72
Hmax [m]	843,6
Hmin [m]	785,21
ΔH [m]	58,39
Im [%]	13,56
Rf (Kc)	2,24
Rci	0,20

Al tener un Kc superior a 2 y un Rci inferior a 1, indica que la forma de la cuenca difiere mucho a una forma circular, es más bien alargada como se puede constatar en la Figura 36. Y según la pendiente media corresponde a un relieve accidentado.

Subcuenca Ñireco Medio 3:

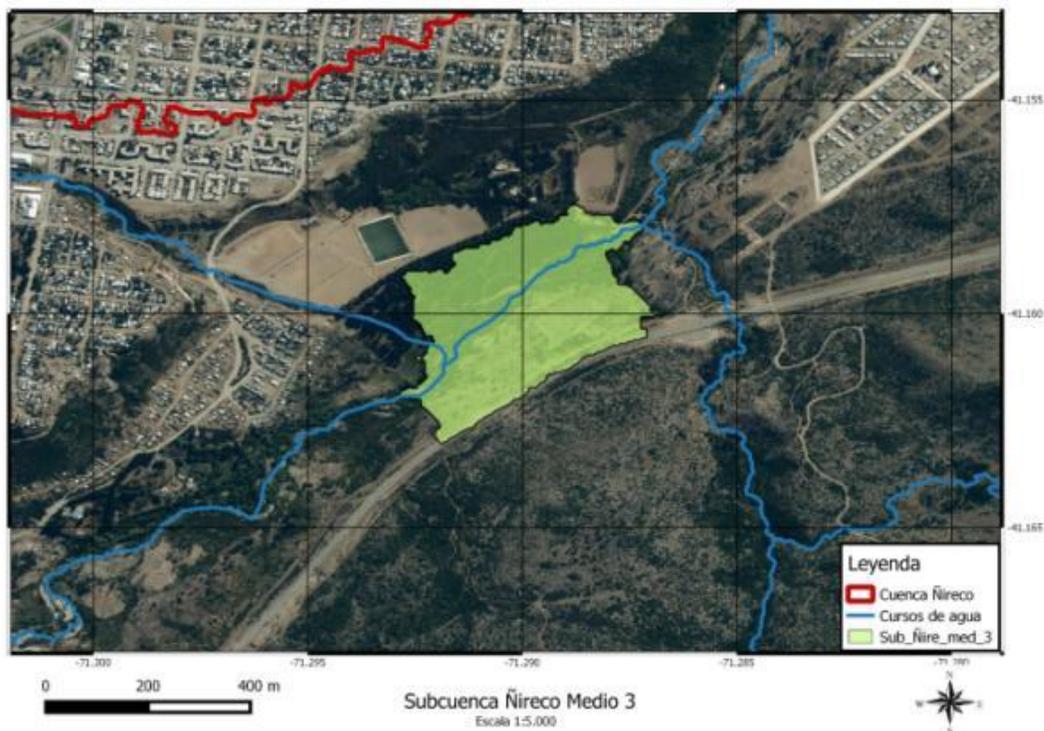


Figura 37. Ubicación de la subcuenca Ñireco medio 3. Fuente: Elaboración propia.

Esta subcuenca es la de menor superficie de todas y tiene la particularidad de estar situada en el predio donde ARSA extrae el agua y la potabiliza para el abastecimiento de parte de la población de la ciudad.

Parámetros	Ñire Med 3
Superficie [km ²]	0,17
Perímetro [km ²]	2,35
Hmax [m]	875,38
Hmin [m]	832,46
ΔH [m]	42,92
Im [%]	33,07
Rf (Kc)	1,61
Rci	0,38

El Kc se encuentra entre 1 y 2, lo que quiere decir que se aproxima a una forma casi circular. El Rci es mayor que las subcuencas anteriores y es debido a que su geometría es más compacta y no tan extensa. Según la pendiente media es un terreno fuertemente accidentado.

Subcuenca Basurero:

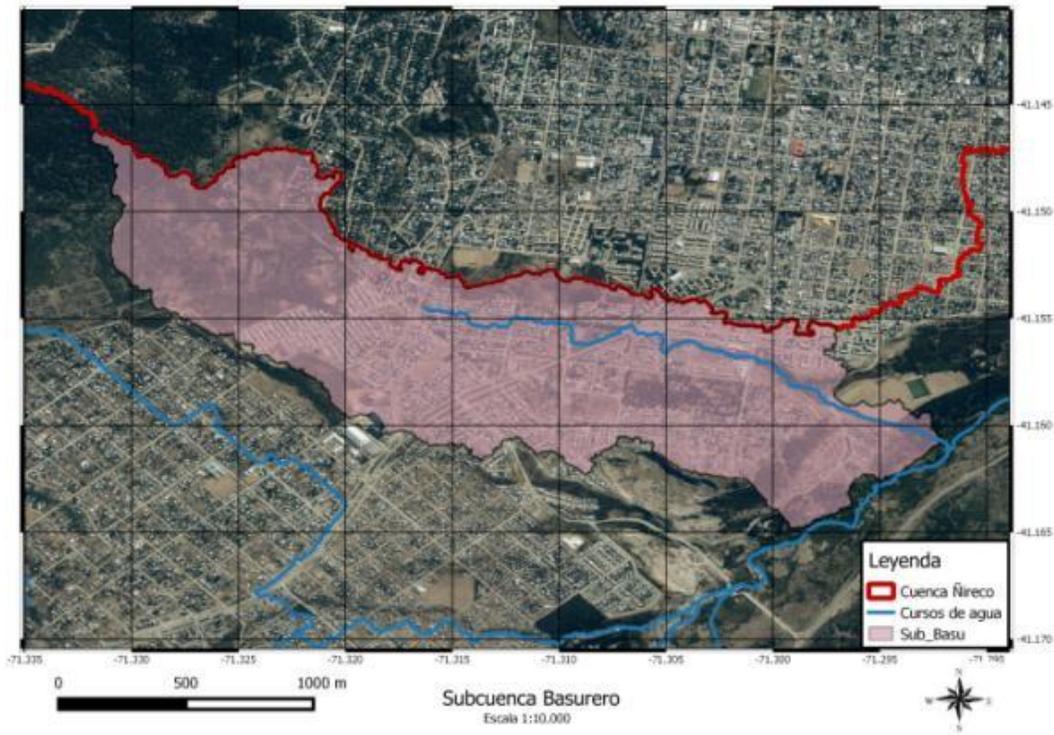


Figura 38. Ubicación de la subcuenca Basurero. Fuente: Elaboración propia.

Esta cuenca debe su nombre al arroyo que nace y desemboca en el arroyo Ñireco a la altura del barrio Vivero.

Abarca a los barrios 181, 153 y 400 viviendas, Nicolás Levalle, El Progreso, 28 de Abril, Eva Perón, Argentino, Omega, Arrayanes y el Vivero.

Parámetros	Basurero
Superficie [km ²]	2,67
Perímetro [km ²]	13,06
Hmax [m]	1031,17
Hmin [m]	842,32
ΔH [m]	188,85
Im [%]	17,89
Rf (Kc)	2,25
Rci	0,20

Al tener un K_c superior a 2 y un R_{ci} inferior a 1, indica que la forma de la cuenca difiere mucho a una forma circular, es más bien alargada como se puede constatar en la Figura 38. Y según la pendiente media corresponde a un relieve accidentado.

Subcuenca Ñireco Medio 2:

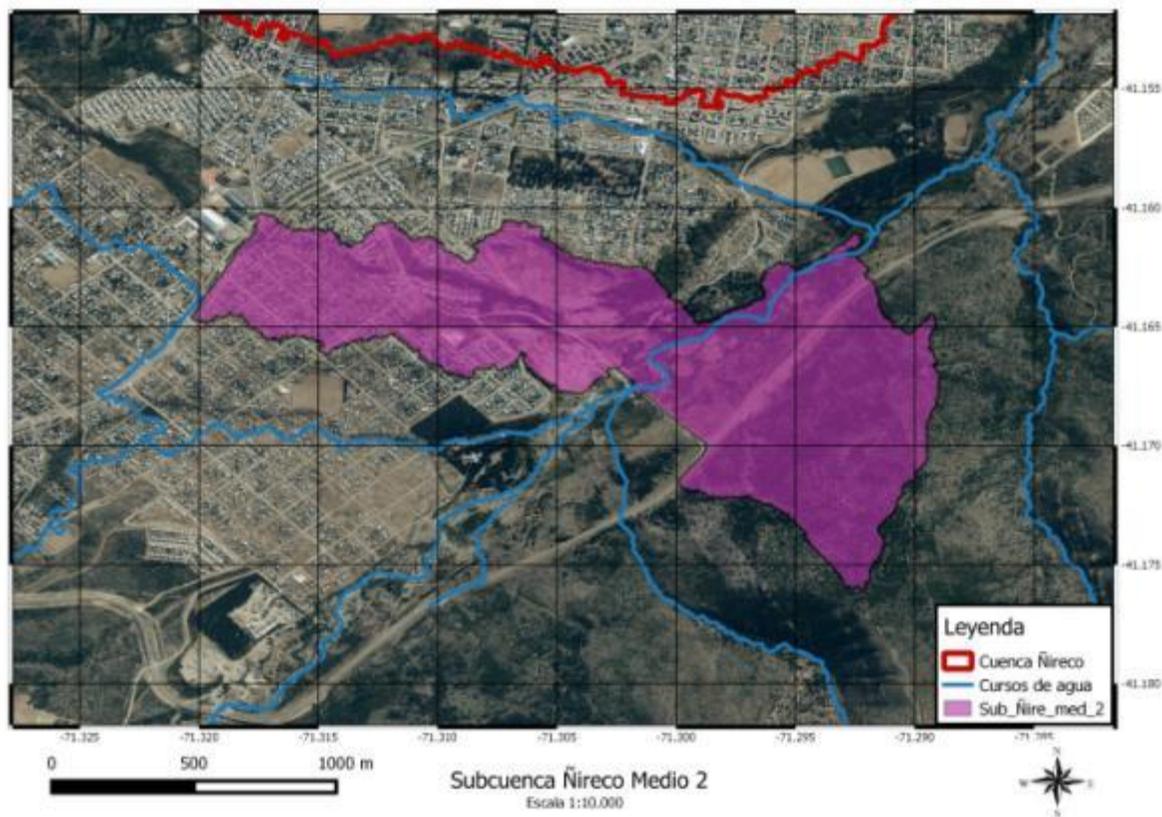


Figura 39. Ubicación de la subcuenca Ñireco Medio 2. Fuente: Elaboración propia.

Esta subcuenca abarca a los barrios Nahuel Hue, Omega y Malvinas.

En la misma se encuentra la cantera municipal que actualmente se utiliza para el acopio y quema de residuos forestales, y a su vez limita con la cantera de extracción de áridos de Canteras Ñire. En las márgenes del arroyo Ñireco se sitúa un humedal el cual se encuentra en un estado deteriorado debido a la acumulación de chatarrería y basura. Además, el acceso que conecta a los barrios con la circunvalación de la ruta 40 lo atraviesa dividiéndolo en dos, lo que impide el flujo natural del agua.

Parámetros	Ñire Med 2
Superficie [km ²]	1,84
Perímetro [km ²]	10,65
Hmax [m]	1030,87
Hmin [m]	848,62
ΔH [m]	182,25
Im [%]	18,34
Rf (Kc)	2,22
Rci	0,20

Al tener un Kc superior a 2 y un Rci inferior a 1, indica que la forma de la cuenca difiere mucho a una forma circular, es más bien alargada como se puede constatar en la Figura 39. Y según la pendiente media corresponde a un relieve accidentado.

Subcuenca Carbón:

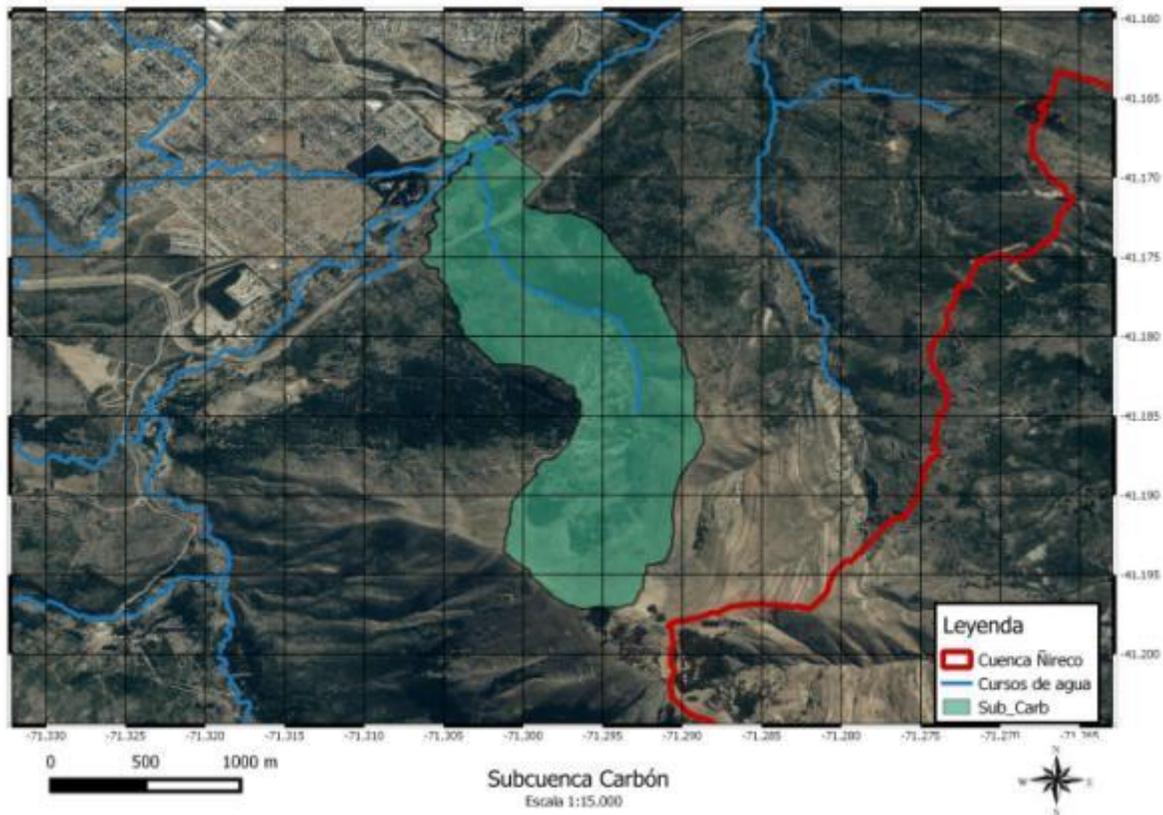


Figura 40. Ubicación de la subcuenca Carbón. Fuente: Elaboración propia.

Esta subcuenca no abarca asentamientos urbanos, está ubicada en la ladera norte del cerro carbón y tiene un curso de agua temporal que desemboca en el arroyo Ñireco. Como particularidad tiene una pista de motocross en la margen derecha del arroyo Ñireco.

Parámetros	Carbón
Superficie [km ²]	3,11
Perímetro [km ²]	9,66
Hmax [m]	1501,6
Hmin [m]	865,45
ΔH [m]	636,15
Im [%]	36,1
Rf (Kc)	1,55
Rci	0,42

Al tener un Kc entre 1 y 2 se indica que es una subcuenca con más forma circular que las demás subcuencas anteriores. En base a la pendiente media se determina que es un relieve muy fuertemente accidentado, esto lo re-afirma la ΔH de 636 m.

Subcuenca Ñireco Medio 1:

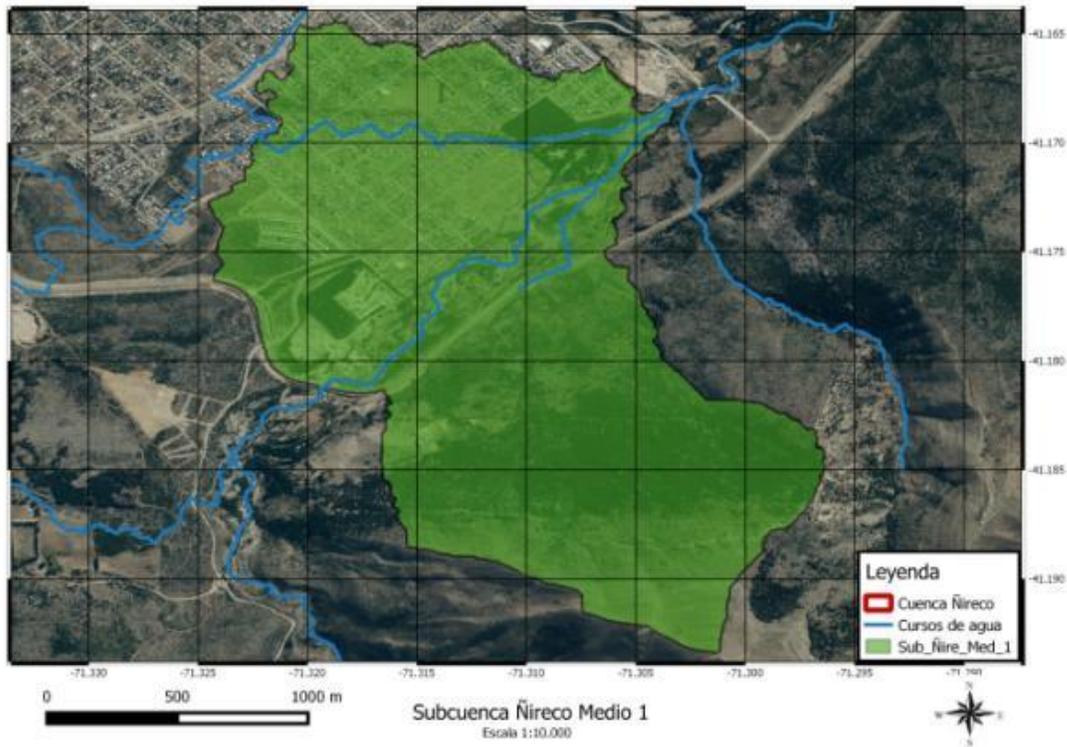


Figura 41. Ubicación de la subcuenca Ñireco Medio 1. Fuente: Elaboración propia.

Esta subcuenca abarca al barrio Nahuel Hué en su totalidad y a la ladera Norte del Cerro Carbón.

Parámetros	Ñire Med 1
Superficie [km ²]	3,64
Perímetro [km ²]	14,44
Hmax [m]	1425,15
Hmin [m]	893,27
ΔH [m]	531,88
Im [%]	21,83
Rf (Kc)	2,14
Rci	0,22

Esta subcuenca presenta una diferencia de altura de casi 900 m lo que indica un relieve bastante marcado, además su Kc mayor a 2 indica una forma irregular de la misma.

Subcuenca Ñireco Superior 2:

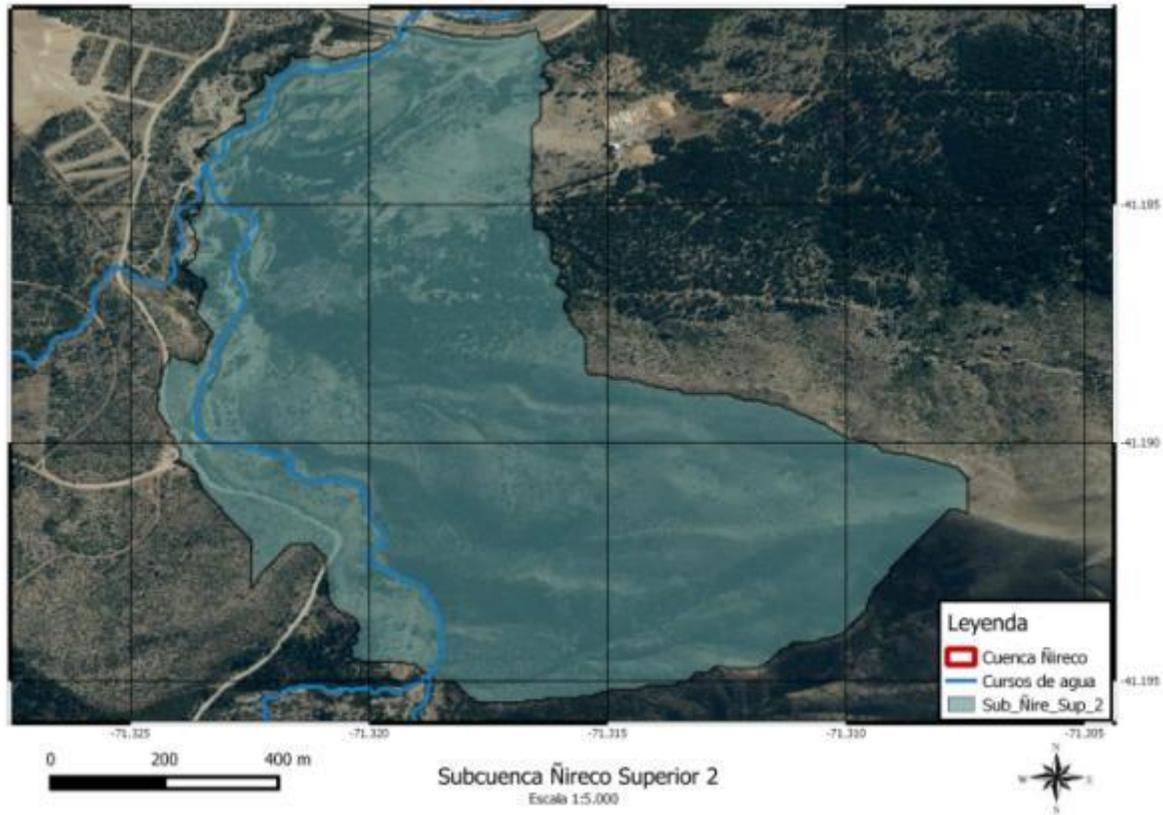


Figura 42. Ubicación de la subcuenca Ñireco Superior 2. Fuente: Elaboración propia.

En esta subcuenca se une el arroyo Challhuaco al arroyo Ñireco. En esta zona existe un aserradero privado ubicado en la margen derecha del arroyo en donde se explota el bosque de pino que se encuentra allí. En la margen izquierda se realizó un loteo inmobiliario. Además, cabe destacar que el curso del arroyo quedó fijado por la construcción del puente de la ruta de circunvalación.

Parámetros	Ñire Sup 2
Superficie [km ²]	1,22
Perímetro [km]	5,85
Hmax [m]	1267,85
Hmin [m]	901,38
ΔH [m]	366,47
Im [%]	30,3
Rf (Kc)	1,49
Rci	0,45

Subcuenca Ventana 2:

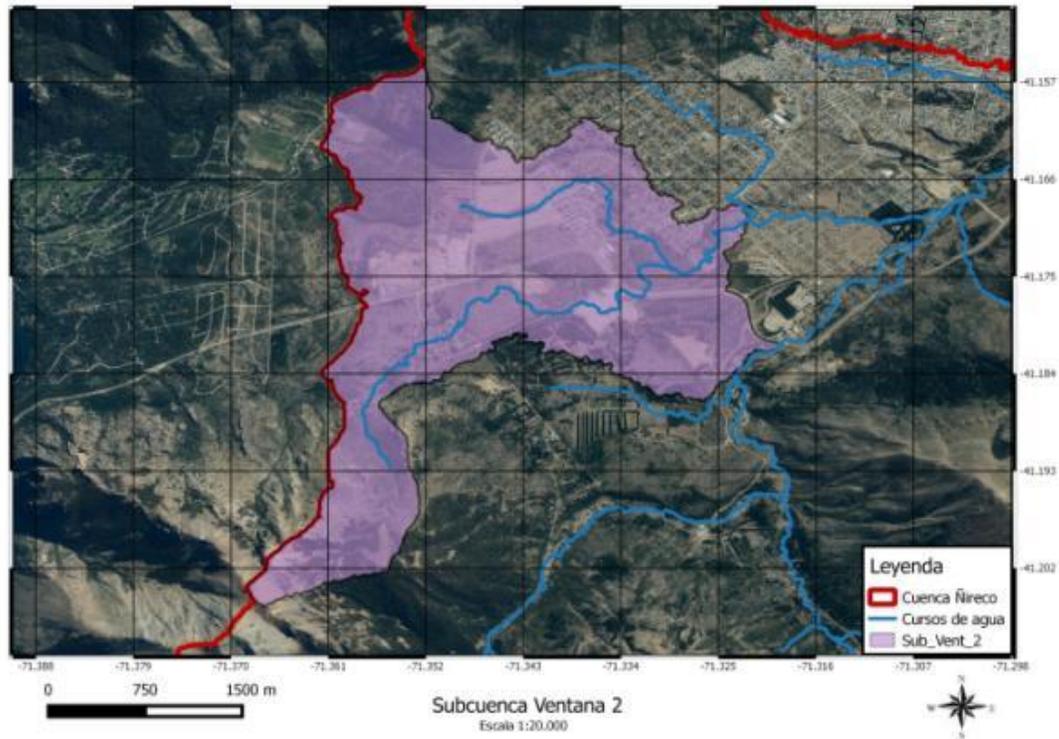


Figura 43. Ubicación de la subcuenca Ventana 2. Fuente: Elaboración propia.

Esta subcuenca se encuentra en la divisoria oeste de la cuenca del Ñireco, dentro de esta área se encuentra emplazado el antiguo basurero municipal y dentro del mismo predio funciona el actual vertedero. También se encuentran en actividad tres canteras utilizadas para la extracción de áridos, recientemente se construyeron y lotearon varios barrios, uno de ellos perteneciente al IPPV (645 viviendas) y se constituyó una toma (29 de septiembre).

Parámetros	Ventana 2
Superficie [km ²]	8,7
Perímetro [km ²]	26,73
Hmax [m]	1653,33
Hmin [m]	906
ΔH [m]	747,33
Im [%]	16,87
Rf (Kc)	2,56
Rci	0,15

Subcuenca Ventana 1:

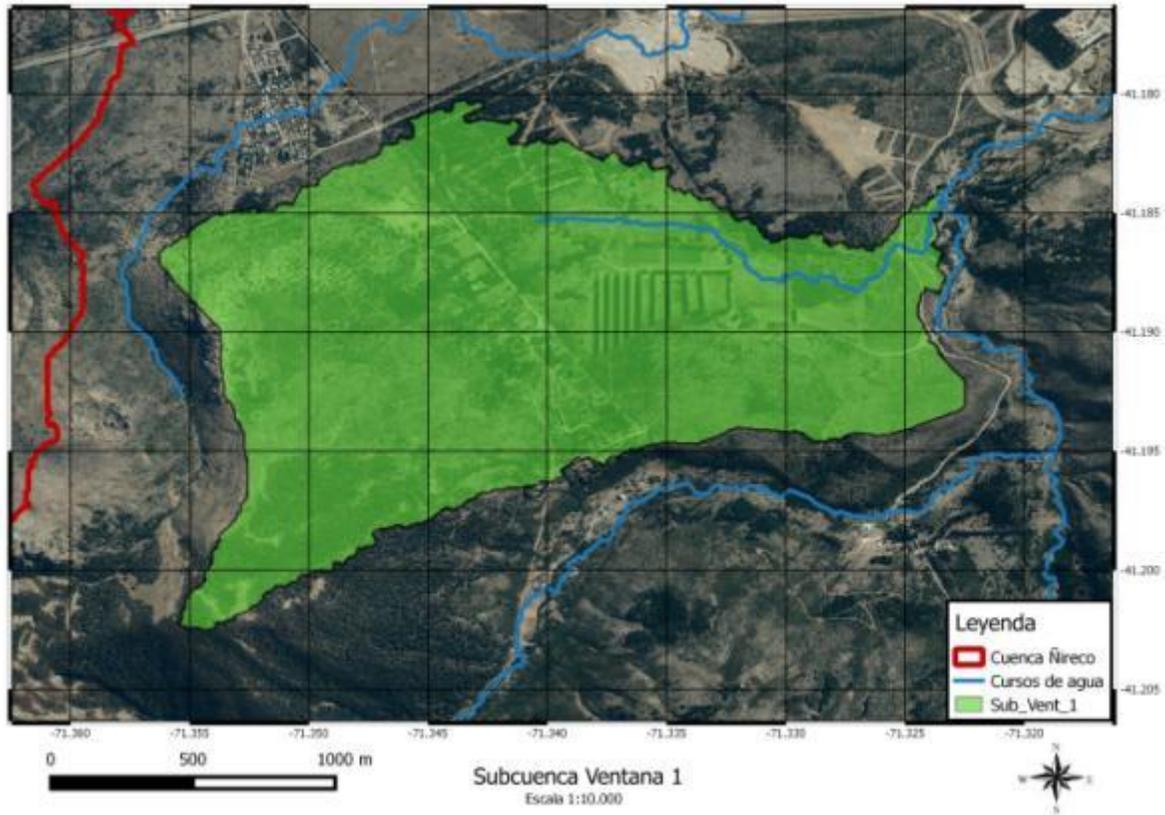


Figura 44. Ubicación de la subcuenca Ventana 1. Fuente: Elaboración propia.

Dentro de esta subcuenca se encuentran emplazados el barrio Pilar II y el club de campo Dos Valles. Este último contempla una superficie de ocupación de unos 2,93 Km².

Parámetros	Ventana 1
Superficie [km ²]	3,68
Perímetro [km ²]	11,7
Hmax [m]	1295,17
Hmin [m]	930,9
ΔH [m]	364,27
Im [%]	20,88
Rf (Kc)	1,72
Rci	0,34

Subcuenca Frutillar:

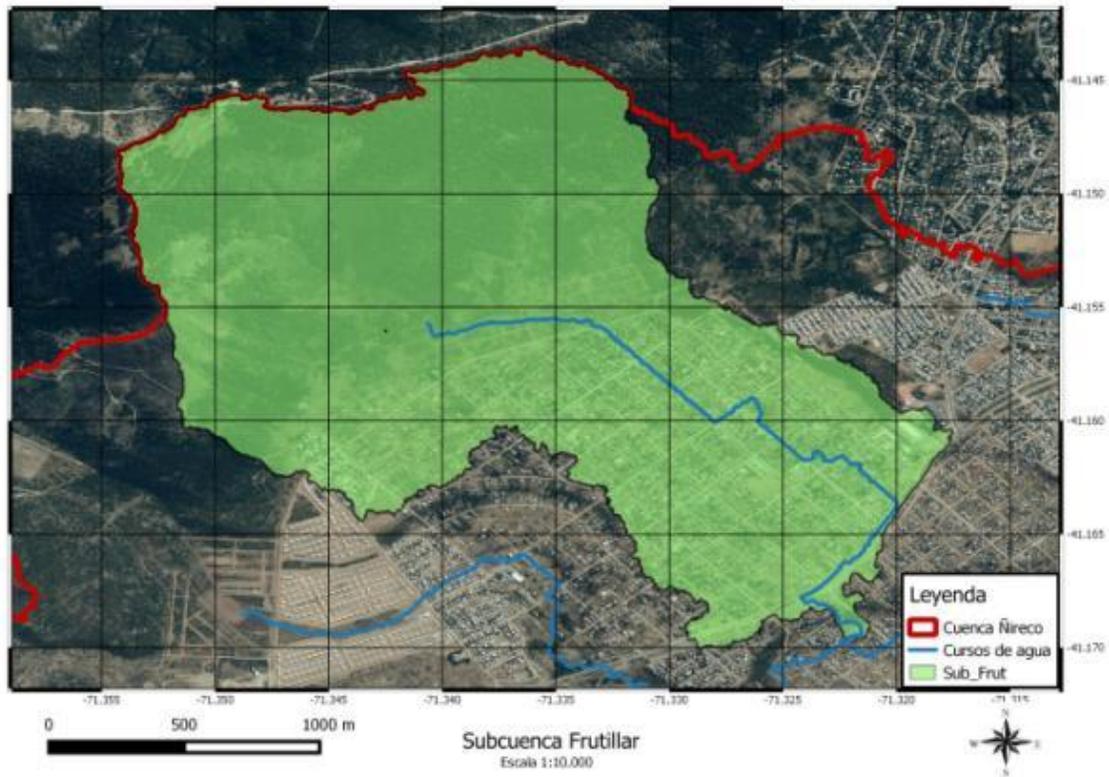


Figura 45. Ubicación de la subcuenca Frutillar. Fuente: Elaboración propia.

Esta subcuenca colecta sus aguas desde la ladera sur del Cerro Otto, afectada recurrentemente por incendios forestales en épocas de verano. La urbanización fue avanzando progresivamente desde la planicie de la ruta 258 hacia la ladera del C° Otto en muchos casos desmontando bajo permiso provincial sin tener en cuenta las recomendaciones del Servicio Forestal Andino.

Parámetros	Frutillar
Superficie [km ²]	4,77
Perímetro [km ²]	14,33
Hmax [m]	1214,23
Hmin [m]	911,54
ΔH [m]	302,69
Im [%]	24,09
Rf (Kc)	1,85
Rci	0,29

Subcuenca Los Loros:

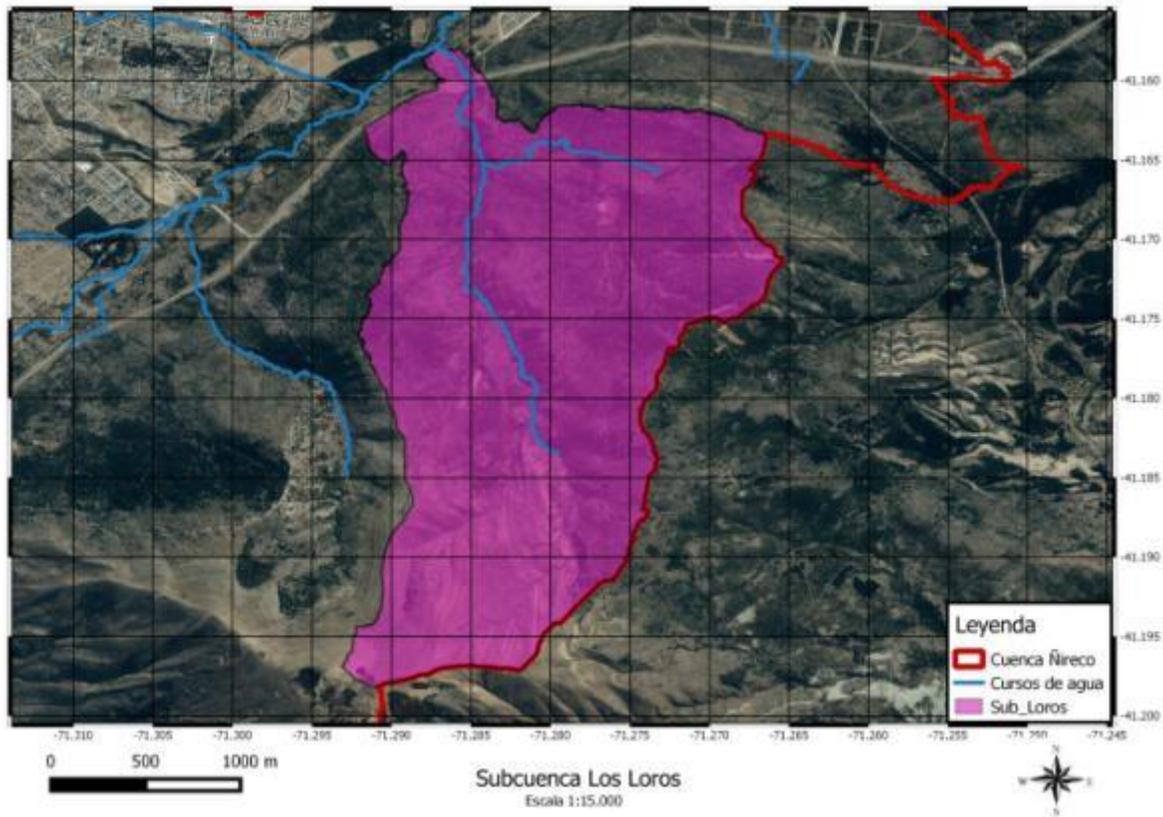


Figura 46. Ubicación de la subcuenca Los Loros. Fuente: Elaboración propia.

Esta subcuenca está ubicada en la ladera norte del cerro Carbón, de esta nace el arroyo Los Loros que se une al arroyo Ñireco a la altura de la toma de agua del DPA. Dentro de esta cuenca se encuentra el predio de la CEB donde se compostan los lodos cloacales extraídos de la planta depuradora.

Parámetros	Los Loros
Superficie [km ²]	6,13
Perímetro [km ²]	14,44
Hmax [m]	1575,33
Hmin [m]	924,77
ΔH [m]	650,56
Im [%]	25,91
Rf (Kc)	1,65
Rci	0,37

Subcuenca Challhuaco Inferior:

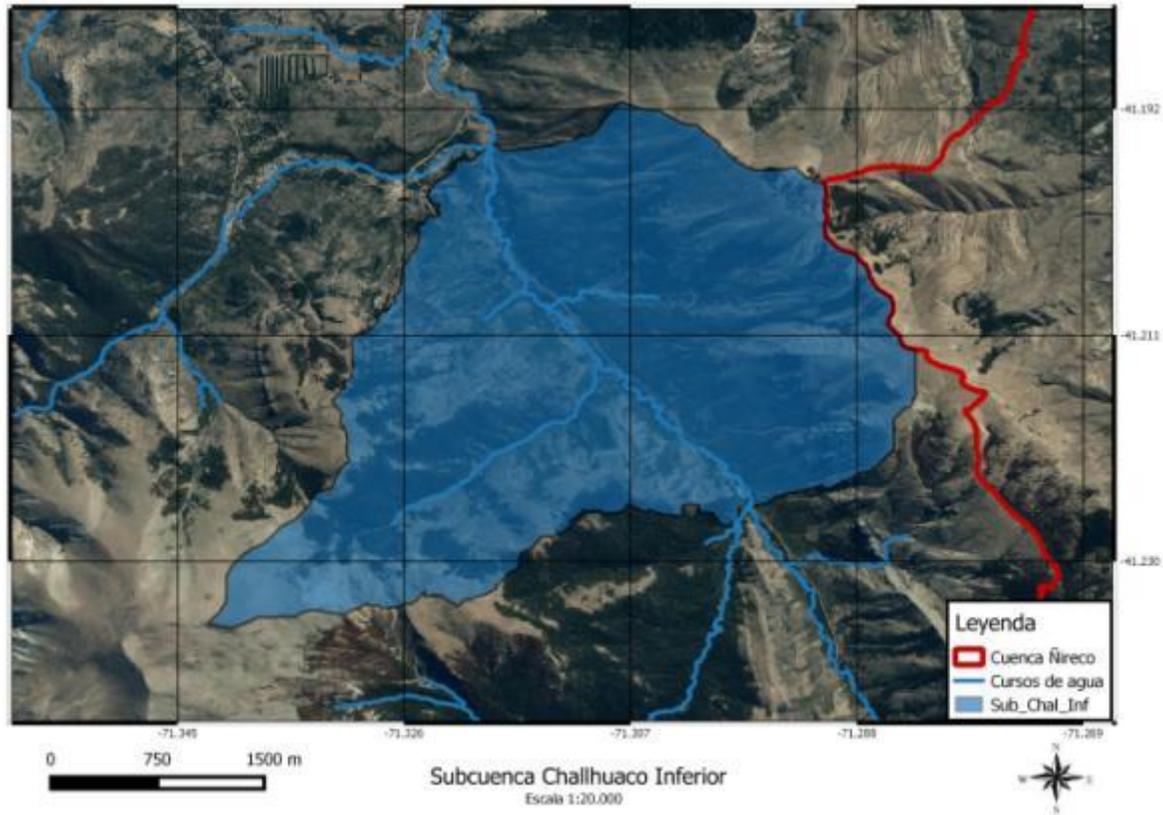


Figura 47. Ubicación de la subcuenca Challhuaco Inferior. Fuente: Elaboración propia.

En esta subcuenca se desarrollan actividades de recreación para grupos de estudiantes además de excursiones 4x4 al cerro carbón por su ladera oeste. Esta zona se caracteriza por haber sido afectada por incendios forestales de grandes dimensiones en la década del '90 generando una gran pérdida de cobertura vegetal.

Parámetros	Chal Inf
Superficie [km ²]	13,52
Perímetro [km ²]	18,86
Hmax [m]	1900,17
Hmin [m]	1003,84
ΔH [m]	896,33
Im [%]	40,64
Rf (Kc)	1,45
Rci	0,48

Subcuenca Challhuaco Superior 1:

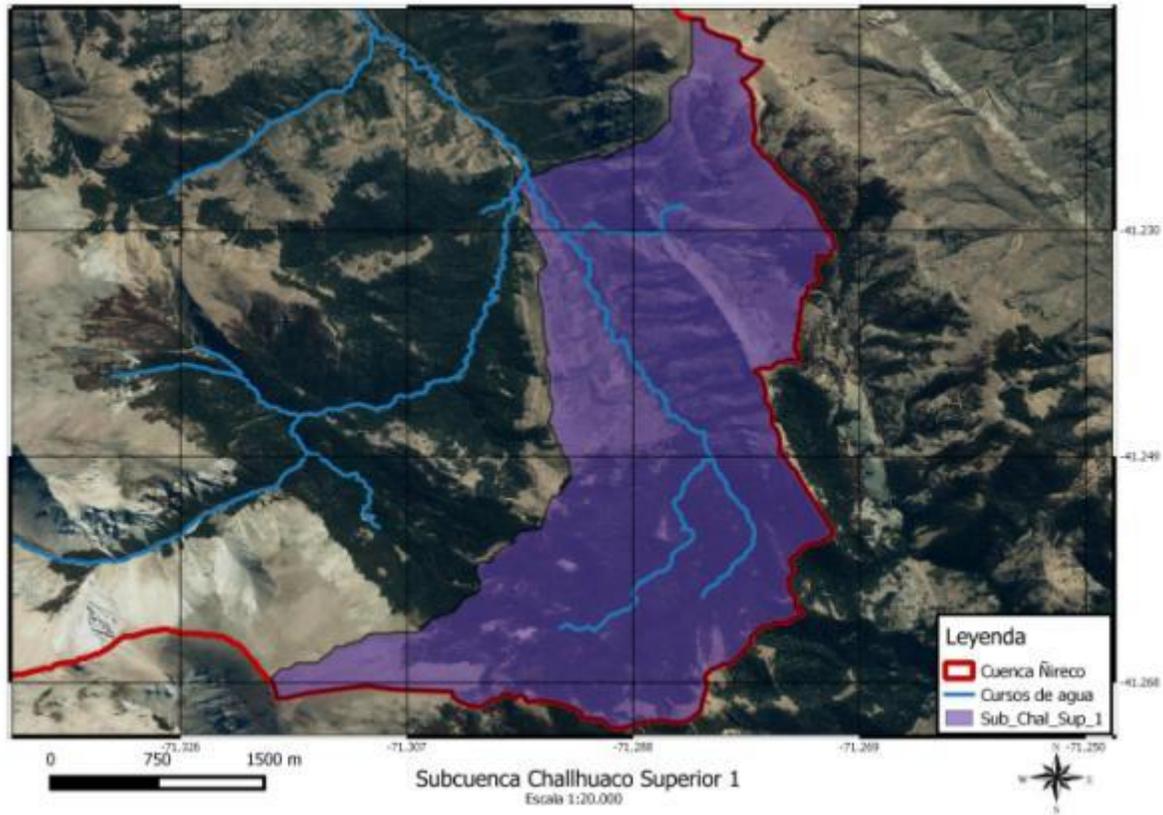


Figura 48. Ubicación de la subcuenca Challhuaco Superior 1. Fuente: Elaboración propia.

Esta subcuenca se ubica en la cabecera del valle Challhuaco, área de particular interés debido a que fue declarado como “área crítica” por Parques Nacionales ya que alberga a tres especies de valor especial a rana del Challhuaco, única en el mundo, el Huemul, que está en peligro de extinción y el microarbusculo Senecio Carbonensis, un microendemismo estricto.

Parámetros	Chal Sup 1
Superficie [km ²]	10,93
Perímetro [km ²]	21,70
Hmax [m]	1573,77
Hmin [m]	1128,65
ΔH [m]	445,12
Im [%]	36,59
Rf (Kc)	1,85
Rci	0,29

Subcuenca Challhuaco Superior 2:

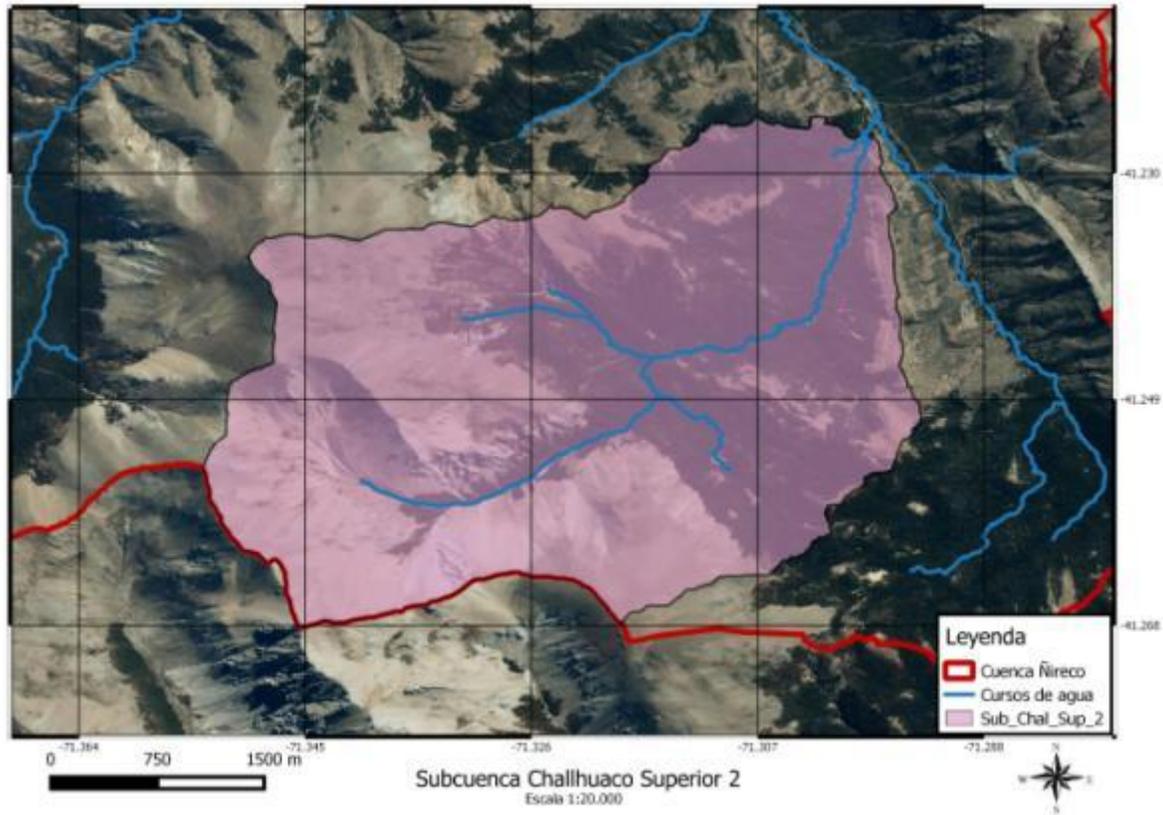


Figura 49. Ubicación de la subcuenca Challhuaco Superior 2. Fuente: Elaboración propia.

Esta subcuenca se ubica en la parte más alta del valle del Challhuaco, y sumada a la anterior en ambas se extrae leña de manera ilegal, cabe destacar que también existe una comunidad mapuche la cual desarrolla sus actividades en conformidad con Parques Nacionales.

Parámetros	Chal Sup 2
Superficie [km ²]	16,86
Perímetro [km ²]	19,68
Hmax [m]	2141,71
Hmin [m]	1077,34
ΔH [m]	1064,37
Im [%]	46,38
Rf (Kc)	1,35
Rci	0,55

Subcuenca Ñireco Superior 1:

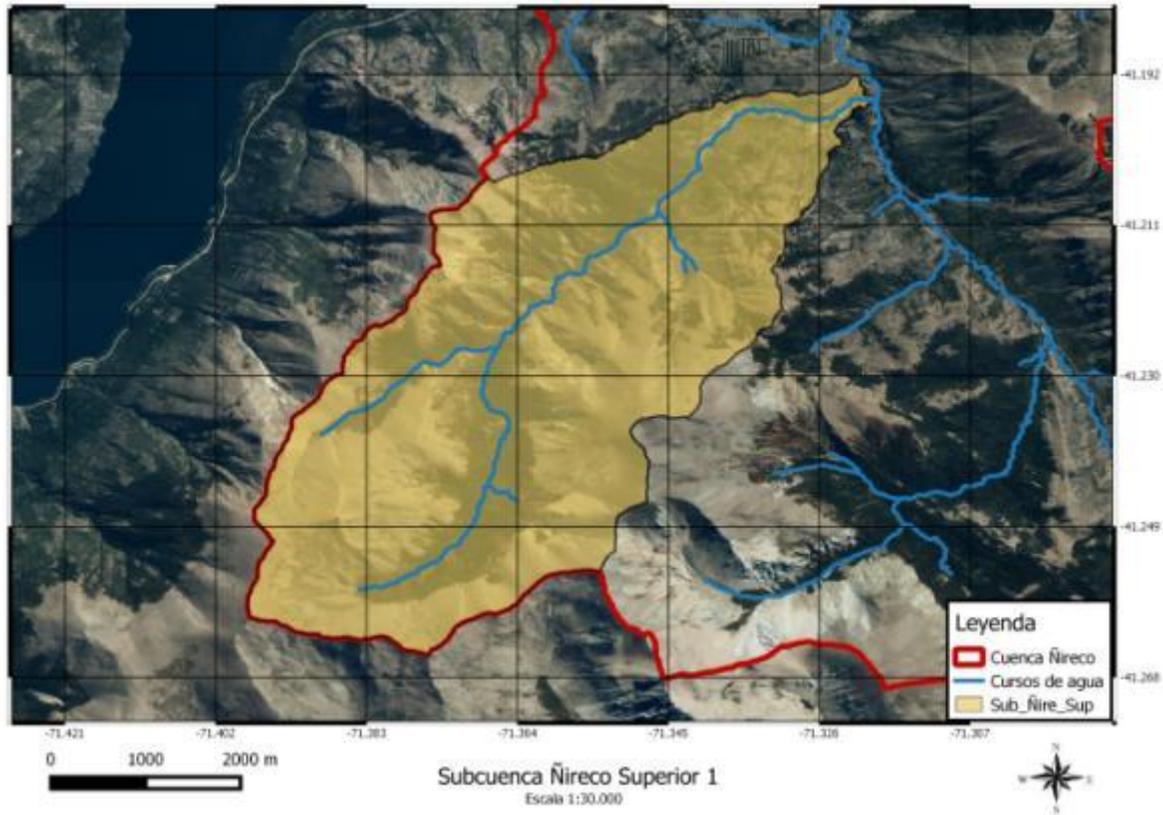


Figura 50. Ubicación de la subcuenca Ñireco Superior 1. Fuente: Elaboración propia.

Esta es la subcuenca de mayor superficie, dentro de ella se encuentra las nacientes del arroyo Ñireco y a su vez es la de mayor desnivel con aproximadamente 1100 m entre la cota más alta y la más baja. Dentro de esta subcuenca se encuentra la toma de agua del DPA, la misma es captada por medio de unas trampas que conducen el caudal hacia una planta potabilizadora ubicada en el barrio El Pilar II.

Parámetros	Ñire Sup 1
Superficie [km ²]	26,35
Perímetro [km ²]	27,25
Hmax [m]	2244
Hmin [m]	1101,33
ΔH [m]	1142,67
Im [%]	45,53
Rf (Kc)	1,50
Rci	0,45

10.1.6. Descripción de la red de drenaje natural

El área de aporte abarca una superficie de 110 km², con una red de drenaje bien definida y jerarquizada. Para evaluar esto se analizan determinados parámetros tales como:

Densidad de la red de los cauces: Se define como el cociente entre el número de segmentos de canal de la cuenca y la superficie de la misma; se expresa en [n°cauces / km²]: donde N es la suma de todos los segmentos de canal que forman la red hidrográfica de la cuenca, entendiendo como tales a todo tramo de canal que no sufre aporte alguno de otro canal.

$$Dr = \frac{N}{A}$$

$$N = 51 \text{ cauces}$$

$$A = 110 \text{ km}^2$$

$$Dr = 0,46 \frac{\text{n}^\circ \text{ cauces}}{\text{km}^2}$$

Densidad de drenaje: es el cociente entre la longitud total de los canales de flujo pertenecientes a su red de drenaje y la superficie de la cuenca, en [km/km²] donde L es la longitud total de los cursos de agua incluyendo perennes e intermitentes, en [km]

$$Dd = \frac{L}{A}$$

$$L = 91,65 \text{ km}$$

$$A = 110 \text{ km}^2$$

$$Dd = 0,83 \frac{\text{km}}{\text{km}^2}$$

Clasificación de Strahler: Las redes de drenaje pueden ser modeladas o representadas como árboles, los cuales están conformados por un conjunto de nodos conectados unos a otros por segmentos de recta de manera que cada nodo tiene solo una ruta hacia la salida.

Los nodos que se conectan a un solo segmento son llamados fuentes y los que conectan a más de uno son llamados uniones. Además, los segmentos que se conectan a una fuente y a una unión se los denominan tramos exteriores o externos y a aquellos que se conectan a dos uniones se les denomina tramos interiores o internos, Se considera que la cuenca tiene una única salida o punto de desagüe. Los puntos en los que se unen dos segmentos de canal son los nudos internos. Los nudos externos son aquellos a partir de los cuales se origina un segmento de canal (es decir, la cabecera de todos los tributarios de la cuenca).

Según Strahler una corriente puede tener uno o más segmentos. Un canal es una unión arbitraria de segmentos. Strahler ordena las corrientes de acuerdo los siguientes criterios:

1. Los segmentos que se originan en un nudo externo son definidos como tramos de primer orden. Los segmentos que están unidos a una fuente (los que no tienen tributarios), son definidos como de primer orden.
2. Cuando dos segmentos del mismo orden, i , se unen en un nudo interior dan lugar a un segmento de orden superior, $i+1$, aguas abajo. Cuando se unen dos corrientes de orden ω crean una corriente de orden $\omega+1$
3. Cuando se unen dos tramos de distinto orden en un nudo interior dan lugar a un tramo que conserva el mayor de los órdenes. Cuando se unen dos tramos de distinto orden el orden del segmento resultante es el máximo orden de los segmentos que la preceden. Cuando a una corriente se le une otra de menor orden, la primera continúa y conserva su número de orden.
4. El orden de la cuenca, ω , es el de la corriente de mayor orden.

El resultado se detalla en la Figura 51.

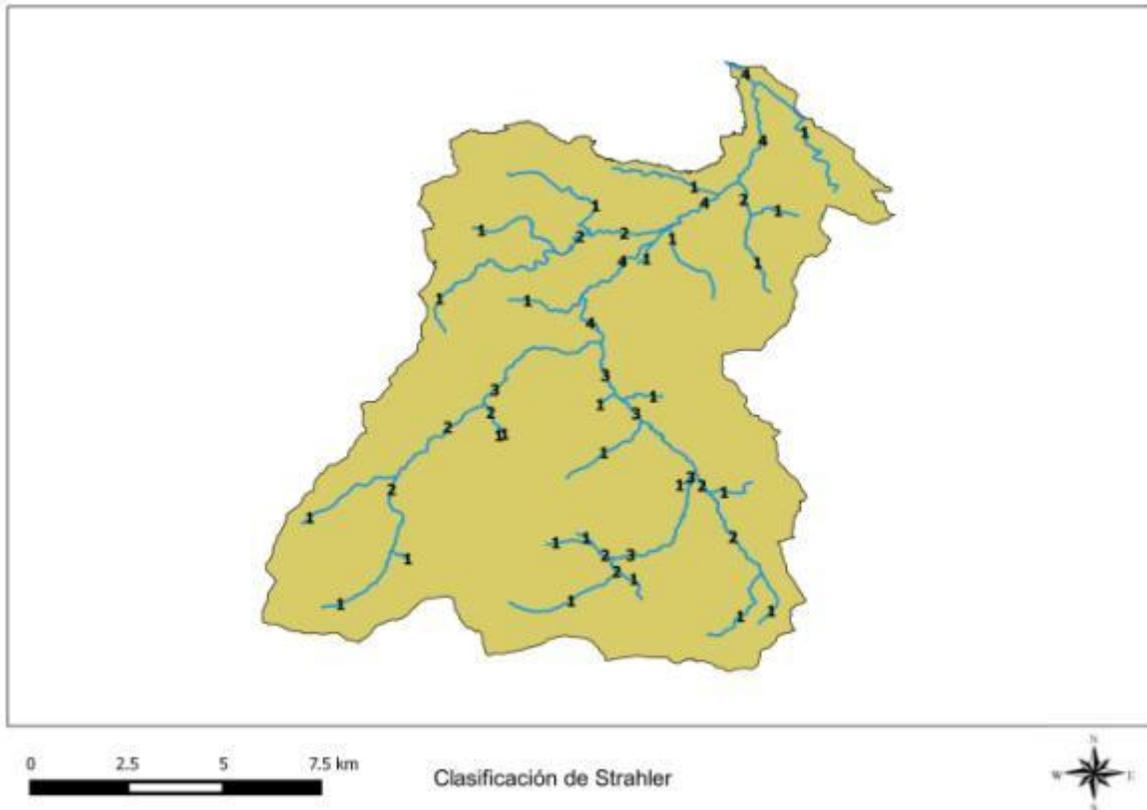


Figura 51. Clasificación de Strahler para los cursos de agua en la cuenca Ñireco. Fuente: Elaboración propia.

Pendiente media ponderada del Cauce Principal: Es un valor más “razonable” para representar la Pendiente Media del Cauce Principal. Para calcularlo se traza una línea, en el perfil longitudinal del cauce, tal que el área comprendida entre esa línea y los ejes coordenados sea igual a la comprendida entre el perfil y dichos ejes.

Para la determinación de la Pendiente Media Ponderada del Cauce Principal, se determina el área debajo de la curva que define el perfil del cauce en la Figura anterior, utilizando el método de los trapecios.

$$At = b * \frac{H_1 + H_2}{2}$$

Tabla 4. Cálculo de áreas mediante el método de trapecios.

Longitud [m]	Cota del Cauce Principal [msnm]	Área Perfil [m ²]
0	770	0,00
1826	800	1.433.410,00
7861	900	5.129.750,00
11678	1000	3.626.150,00
13817	1100	2.245.950,00
14900	1200	1.245.450,00
16267	1300	1.708.750,00
17226	1400	1.294.650,00
18421	1500	1.732.750,00
19682	1600	1.954.550,00
20414	1700	1.207.800,00
20852	1800	766.500,00
21219	1900	678.950,00
21484	2000	516.750,00
21755	2100	555.550,00
21856	2145	214.372,50
	Total	24.311.332,50

De esta manera y despejando de la ecuación anterior se obtiene H_2 :

$$\frac{At * 2}{b} - H_1 = H_2$$

$$H_2 = 1.454 \text{ [msnm]}$$

Se grafica la nueva recta para obtener la pendiente que matemáticamente representa la pendiente ponderada del cauce principal (ver Figura 52).

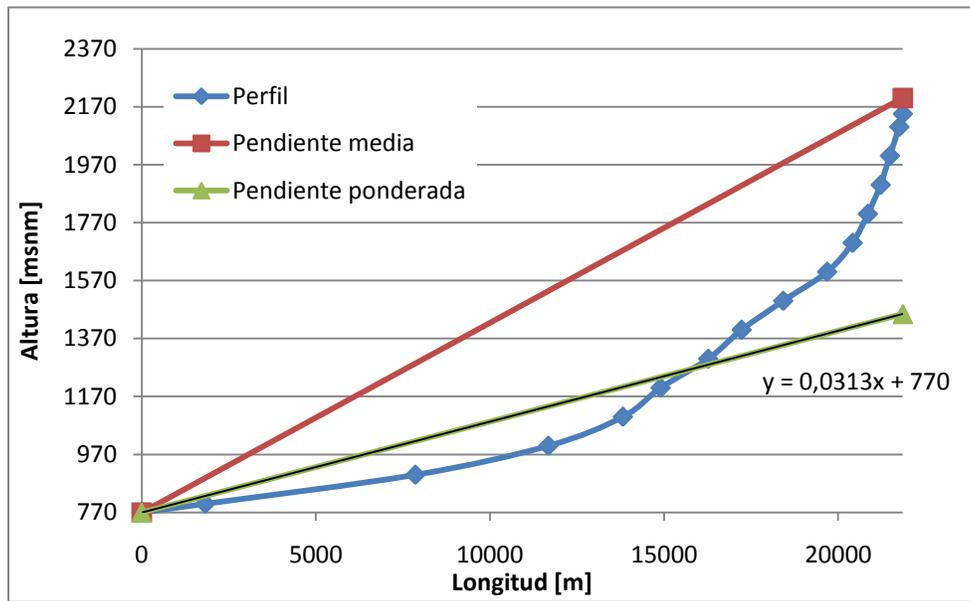


Figura 52. Pendiente media del cauce principal del arroyo Ñireco. Fuente: Elaboración propia

$$S_m = 0,0313 \text{ m/m}$$

A fin de tener una representación más gráfica de las pendientes de la cuenca se realizó un mapa topográfico y uno de pendientes usando como base el mosaico DEM. Ambos mapas se obtuvieron mediante el procesado en QGIS, ver figura 53 y 54.

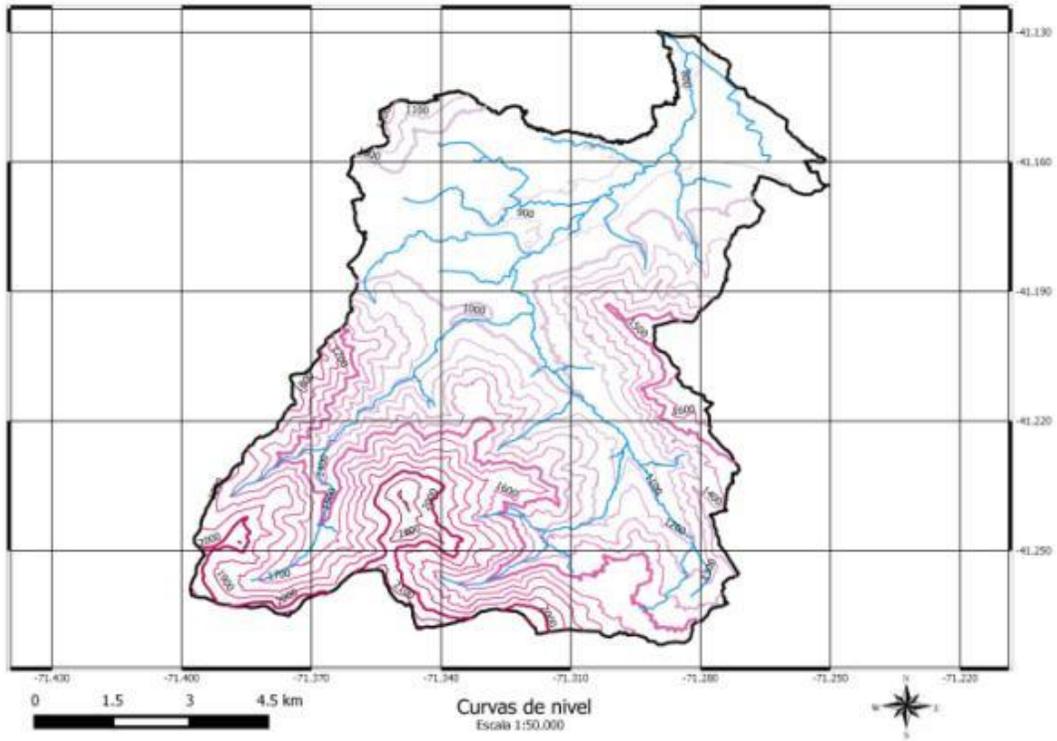


Figura 53. Mapa topográfico de la cuenca del Ñireco. Fuente: Elaboración propia.

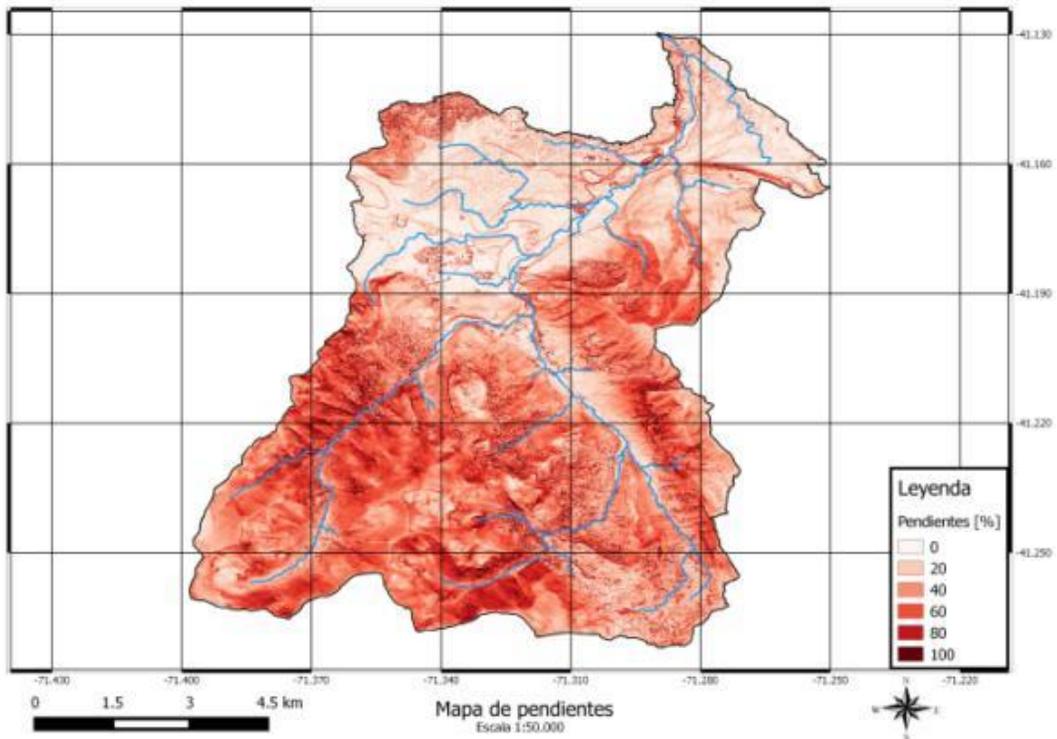


Figura 54. Mapa de pendientes de la cuenca Ñireco. Fuente: Elaboración propia.

En base a estos resultados se concluye que la cuenca del Ñireco posee una red dentrítica, la que presenta un aumento continuo de tributarios desde la desembocadura hacia la cabecera, donde cada curso se divide en dos. En base a la densidad de drenaje, posee una del tipo gruesa por lo tanto presenta una respuesta rápida en el tiempo ante una precipitación sobre la cuenca. Los mapas de pendientes y topográfico marcan que la cuenca alta presenta pendientes superiores al 30% mientras que en la cuenca baja se presentan pendientes del orden del 15%.

10.1.7. Determinación de tiempo de concentración

El tiempo de concentración puede definirse como el tiempo mínimo necesario para que todos los puntos de la superficie de la cuenca contribuyan simultáneamente al caudal recibido en la salida.

El tiempo de concentración de las cuencas es muy importante porque en las modelaciones hidrológicas la duración de la lluvia se asume igual al tiempo de concentración de la cuenca, puesto que para esta duración cuando la totalidad de la cuenca está aportando al proceso de esorrentía, por lo cual se espera que se presenten los caudales máximos. Existen diversas metodologías para determinar el tiempo de concentración de una cuenca a partir de sus parámetros morfométricos, estos fueron determinados a partir de ajustes empíricos de registros hidrológicos.

Para el cálculo del tiempo de concentración se utilizó la ecuación de Kirpich ya que esta fue desarrollada a partir de información del SCS en siete cuencas rurales con canales bien definidos y pendientes empinadas (3 a 10%). Ver Tabla 5.

Tabla 5. Parámetros físicos para cada subcuenca.

Subcuenca	Área	Longitud	Cota cauce principal			Tc
		Cauce principal	AA	aa	Pendiente	Kirpich
	[km ²]	[m]	[m]	[m]	[m/m]	[hs]
Ñire Inf 1	0,49	1537	798,1	775	0,015	0,46
Ñire inf 2	3,18	1941	830	798,1	0,016	0,53
Esandi	3,45	3443	880	798,1	0,024	0,72
Ñire med 3	0,17	865	845,2	830	0,018	0,28
Basurero	2,67	1207	901,24	845,2	0,046	0,25
Ñire med 2	1,84	1551	870	845,2	0,016	0,45
Carbon	3,11	2044	1025	870	0,076	0,31
Ñire med 1	3,64	2244	910,6	875	0,016	0,61
Ñire sup 2	1,22	1325	945,2	910,9	0,026	0,33
Ventana 2	8,7	5240	1086,8	889,9	0,038	0,84
Frutillar	4,77	2848	937,15	889,9	0,017	0,72
Los Loros	6,13	3171	907	830	0,024	0,67
Ventana 1	3,68	1291	940	910	0,023	0,34
Chal inf	13,52	4333	1050	945,2	0,024	0,86
chal sup 2	16,86	5288,00	1449,6	1050	0,076	0,64
Ñire sup 1	26,35	11122	1715,16	945,2	0,069	1,18
Chal sup1	10,93	6519	1672	1050	0,095	0,69

Para el cálculo del tiempo de concentración del total de la cuenca se utilizó el mismo método, pero implementando la pendiente ponderada por el cauce principal calculada en el inciso 7.1.5.

Tabla 6. Estimación del Tiempo de Concentración para la cuenca Ñireco.

Cuenca	Área	Longitud	Pendiente	Tc
		Cauce principal	Cauce principal	Kirpich
	[km ²]	[m]	[m/m]	[hs]
Ñireco	111,60	21856	0,0313	2,7

10.1.8. Clasificación hidrológica del suelo de las cuencas – estimación del potencial de escorrentía

Para obtener el potencial de escorrentía de la cuenca se trabajó con el método del Soil Conservation Service de EEUU (1972) el que desarrolló un método para calcular las abstracciones de la precipitación de una tormenta “Método del Número de Curva (CN).

Este método se basa en que existe una cierta cantidad de precipitación I_a (abstracción inicial antes del encharcamiento) para la cual no ocurrirá escorrentía, luego de eso, la escorrentía potencial es la diferencia entre P e I_a . Esto se apoya en las siguientes ecuaciones:

$$P_e = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S}$$

Donde P_e es el exceso de precipitación o escorrentía directa mientras que S es la retención potencial máxima.

Al estudiar los resultados obtenidos para muchas cuencas experimentales pequeñas, se desarrolló la siguiente relación empírica:

$$I_a = 0,2S \quad (S \text{ puede variar entre } 0,1 \text{ y } 0,3)$$

El número de curva (CN) y el S se relacionan mediante la siguiente expresión en milímetros:

$$S = \frac{25400}{CN} - 254$$

Si se resuelven las dos ecuaciones anteriores se obtiene como resultado el gráfico de la Figura 55.

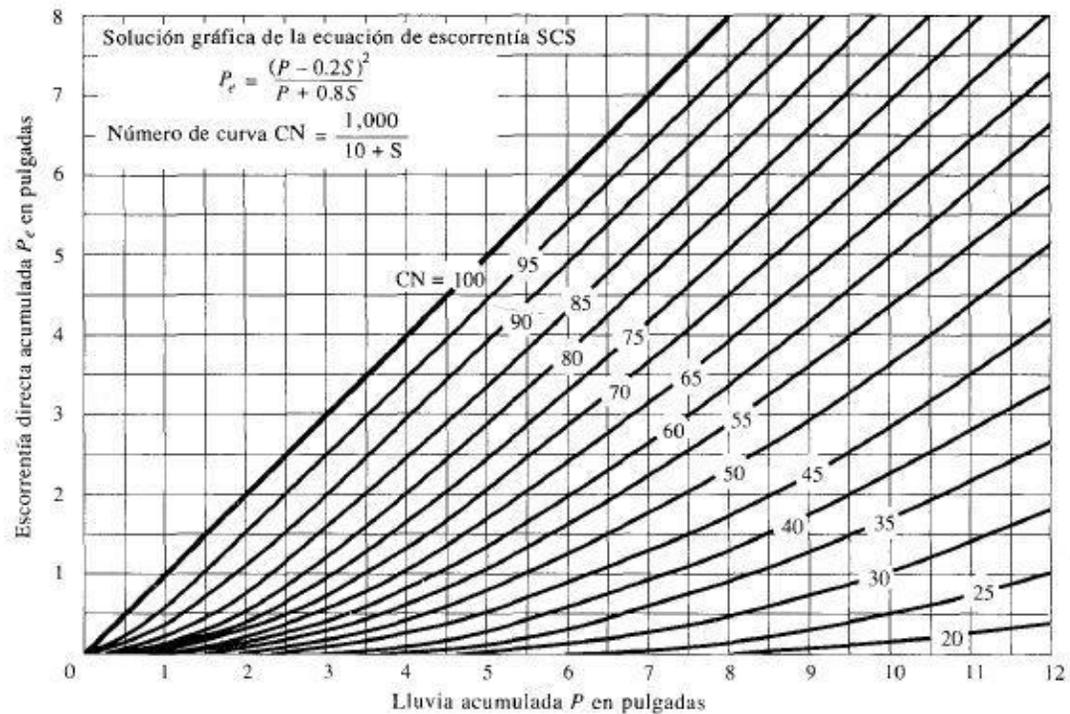


Figura 55. Solución de las ecuaciones de escorrentía del SCS. Fuente: SCS, 1972.

En base al gráfico se obtiene que para un valor máximo CN=100 indica que el terreno es completamente impermeable, todo lo que llueve escurre superficialmente. Este índice CN varía en función de la humedad antecedente del suelo, la cobertura vegetal, el grupo hidrológico de suelo y el uso del mismo.

El grupo hidrológico de suelo se divide en cuatro categorías que van de la A hasta la D, representando el grupo A un potencial de escurrimiento mínimo y el D un potencial de escurrimiento alto. Para realizar la asignación correspondiente para un suelo se debe considerar su composición y textura.

Tabla 7. Grupos hidrológicos del suelo (SCS, 1964)

Grupo hidrológico del suelo	Infiltración cuando están muy húmedos	Características	Textura
A	Rápida	Alta capacidad de Infiltración > 76 mm/h	Arenosa Arenosa-limosa
B	Moderada	Capacidad de infiltración 76-38 mm/h	Franca Franco-arcillosa-arenosa Franco-limosa
C	Lenta	Capacidad de infiltración 36-13 mm/h	Franco-arcillosa Franco-arcillo-limosa Arcillo-arenosa
D	Muy Lenta	Capacidad de infiltración < 13 mm/h	Arcillosa

Una vez clasificados los suelos ya se puede asignar el valor del índice CN mediante el uso de tablas de doble entrada.

Tabla 8. Números de curva de escorrentía para suelos con condiciones de humedad II. Fuente: de Ingeniería de conservación de Suelos y Aguas 1999 en Ibañez 2011.

Cubierta del suelo			Números de curva correspondientes a los grupos hidrológicos del suelo			
Clase	Laboreo	Condiciones hidrológicas para la infiltración	A	B	C	D
Barbecho	-	-	77	86	91	94
Cultivos alineados	R	Pobres	72	81	88	91
	R	Buenas	67	78	85	89
	C	Pobres	70	79	84	88
	C	Buenas	65	75	82	86
	C-T	Pobres	66	74	80	82
	C-T	Buenas	62	71	78	81
Cultivos no alineados o con surcos pequeños o mal definidos	R	Pobres	65	76	84	88
	R	Buenas	63	75	83	87
	C	Pobres	63	74	82	85
	C	Buenas	61	73	81	84
	C-T	Pobres	61	72	79	82
	C-T	Buenas	59	70	78	81
Cultivos densos de leguminosas o prados en alternativa	R	Pobres	66	77	84	88
	R	Buenas	58	72	81	85
	C	Pobres	64	75	83	85
Pastizales (pastos naturales)	C	Buenas	55	69	78	83
	C-T	Pobres	63	73	80	83
	C-T	Buenas	51	67	76	80
	-	Pobres	68	79	86	89
	-	Regulares	49	69	79	84
	-	Buenas	39	61	74	80
	C	Pobres	47	67	81	88
Prados permanentes. Montes con pastos (ganadero-forestal)	C	Regulares	25	59	75	83
	C	Buenas	6	35	70	79
	-	-	30	58	71	78
	-	Pobres	45	66	77	83
Bosques (forestales)	-	Regulares	36	60	73	79
	-	Buenas	25	55	70	77
	-	Muy pobres	56	75	86	91
	-	Pobres	46	68	78	84
	-	Regulares	36	60	70	76
	-	Buenas	26	52	63	69
Caseríos	-	Muy buenas	15	44	54	61
	-	-	59	74	82	86
	-	-	72	82	87	89
Camino de tierra	-	-	74	84	90	92
Camino en firme	-	-	-	-	-	-

El mapa de cobertura vegetal se realizó en base a una imagen satelital óptica de Google y procesada utilizando el Software SoPI (Software de procesamiento de imágenes) diseñado por la CONAE. Se decidió realizar esta clasificación sobre una imagen óptica ya que

presentaba una resolución superior comparada con una imagen de bandas espectrales Landsat, además el objetivo de este mapa era la discretización de zonas con y sin cobertura vegetal para lo que la imagen óptica dio buenos resultados.

Para la clasificación de la imagen se utilizó el método de clasificación no supervisada con el objetivo de obtener 3 clases de cobertura: Bosque, matorral y suelo. El método no supervisado no requiere un conocimiento previo del área de estudio. Este método se basa en la búsqueda automática de grupos de valores homogéneos dentro de la imagen. Se asume que los ND de la imagen forman una serie de agrupaciones o clusters, más o menos nítidos. Estos grupos equivaldrían a píxeles con un comportamiento espectral homogéneo y, por lo tanto, deberían definir clases temáticas de interés. Sin embargo, estos grupos no siempre pueden equipararse a las clases informacionales que el usuario pretende deducir, por lo que resta a este dar sentido e interpretar el significado temático de esas categorías espectrales.

En cuanto al algoritmo de agrupamiento, uno de los más utilizados es el llamado ISODATA. Este algoritmo procede a partir de las siguientes fases:

- Se señalan una serie de centro de clase, de acuerdo al número y forma indicados por el usuario.
- Se asignan todos los píxeles de la imagen al centro de la clase más próximo.
- Se calculan de nuevo los centros de clase, teniendo en cuenta los valores de todos los píxeles que se le hayan incorporado en la fase anterior.
- Se vuelven a asignar todos los píxeles de la imagen al centro más cercano, el cual, debido al desplazamiento registrado en el primer paso, no tiene por qué coincidir con la anterior asignación, vuelven a calcularse los centros de clase, teniendo en cuenta las nuevas incorporaciones.

El proceso se repite iterativamente hasta que el centro de clase no se desplace significativamente, lo que indica un buen ajuste a los grupos presentes en la imagen.

Finalizado el algoritmo, se arreglaron determinadas áreas donde la clasificación presentaba fallos y finalmente se obtuvo una imagen Raster. Esta se vectorizó y se conformó el mapa de cobertura en QGIS, cuyo resultado se observa en la Figura 56.

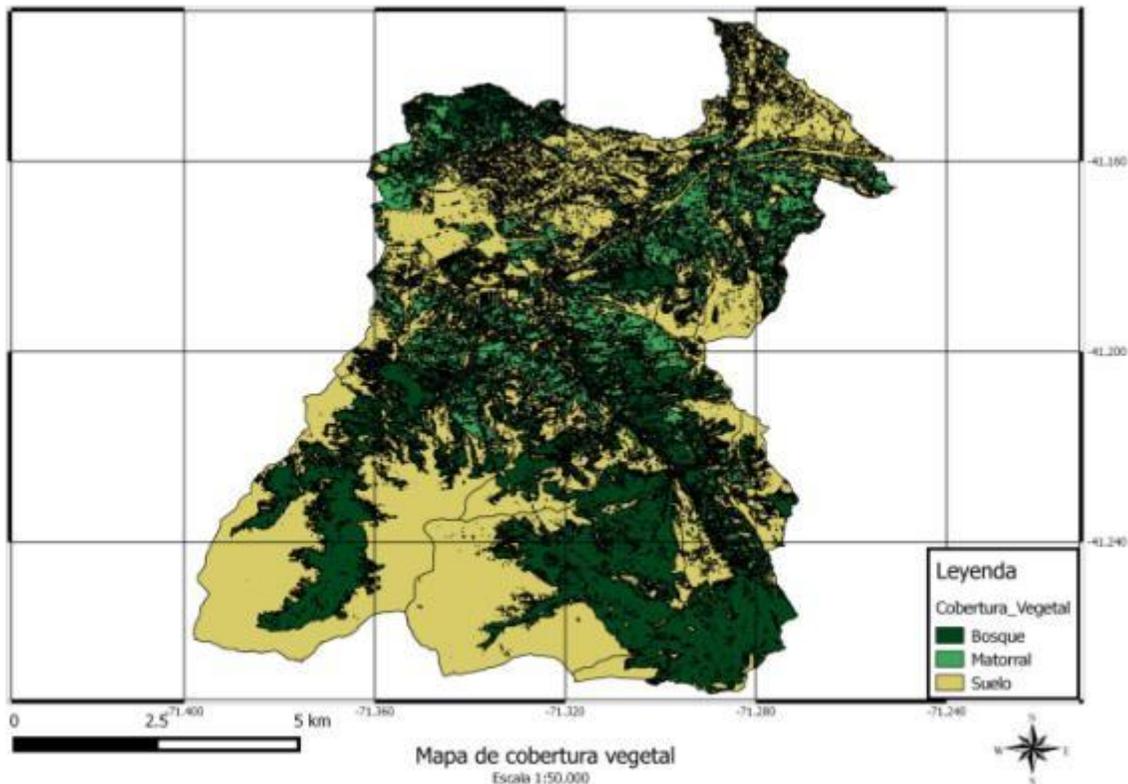
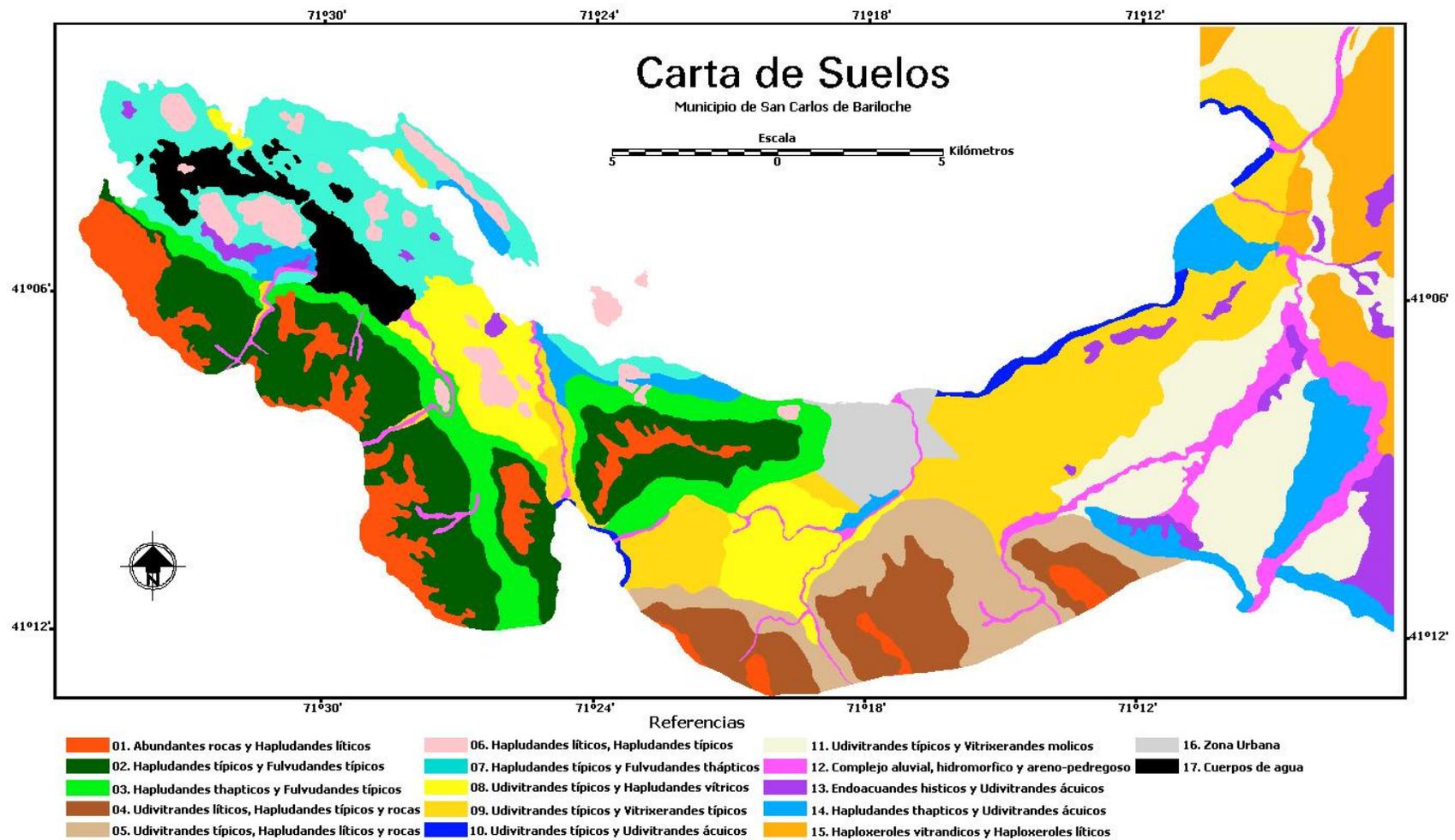


Figura 56. Mapa de cobertura vegetal en la Cuenca del Ñireco. Fuente: Elaboración propia.

Para obtener el mapa de grupos hidrológicos de suelos se utilizó como base un estudio realizado en el 2005 por el INTA a cargo de Carlos R. López y Juan J. Gaitán titulado “Características y Distribución Espacial de los Suelos Área S. C. de Bariloche” (Figura 57). En el mismo se describen las unidades cartográficas reconocidas y las características generales de sus suelos dominantes.

La carta de suelos se vectorizó en QGIS para conformar un mapa de textura de suelo y se complementó con una capa generada por el INTA de clasificación de suelos de la argentina escala 1:500.000.



Laboratorio de Teledetección - SIG
EEA San Carlos de Bariloche - 2004

Figura 57. Mapa de suelos de San Carlos de Bariloche. Fuente: Lopez & Gaitán, 2005

El resultado final del mapa de clasificación hidrológica de suelos quedó conformado como se muestra en la Figura 58

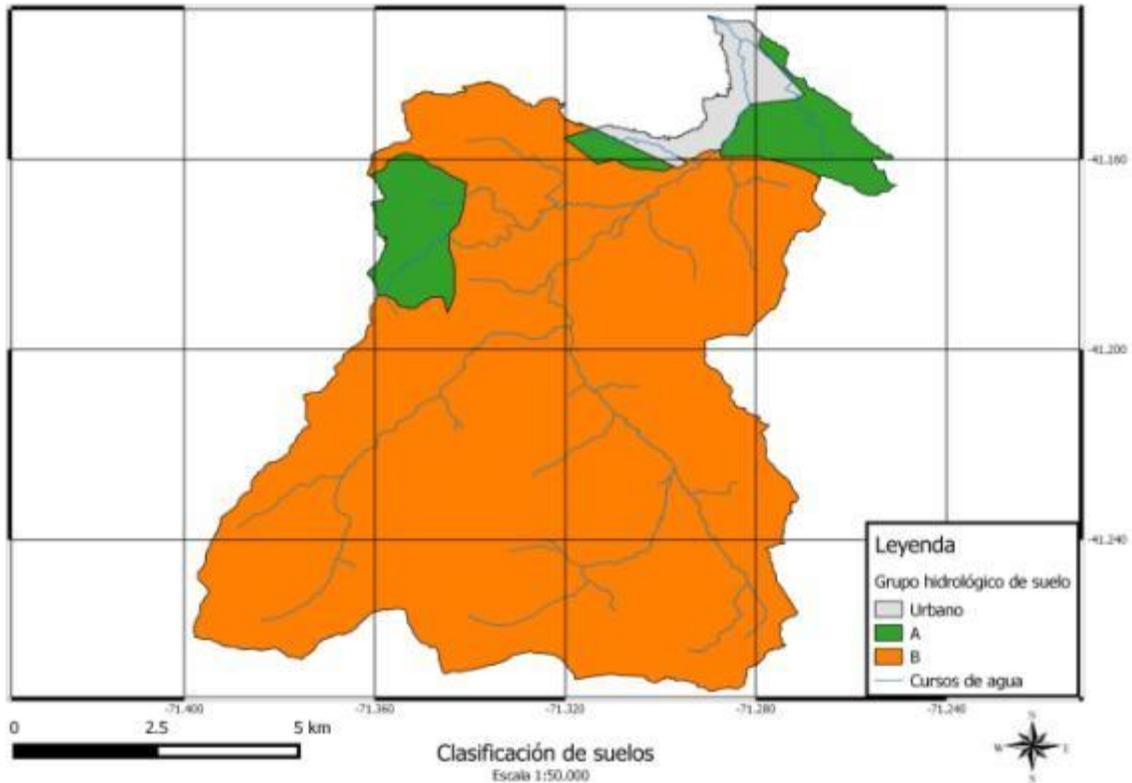


Figura 58. Mapa de clasificación de suelos dentro de la cuenca Ñireco. Fuente: Elaboración propia.

Aplicando algebra de mapas entre el mapa de vegetación y el de grupo hidrológico de suelo se obtuvieron los CN para las 17 subcuencas, detallados en la Tabla 9.

Tabla 9. Valores de CN, S y la para cada subcuenca.

Subcuenca	CN (II)	S [mm]	la [mm]
Basurero	72,3	97,2	29,1
Carbón	70,2	107,6	32,3
Chal inf	67,5	122,2	36,7
Chal sup 1	71,5	101,3	30,4
chal sup 2	71,0	103,9	31,2
Esandi	74,1	88,8	26,7
Frutillar	68,8	115,4	34,6
Los Loros	71,1	103,5	31,0
Ñire Inf 1	77,7	72,9	21,9
Ñire inf 2	80,0	63,4	19,0
Ñire med 1	68,2	118,6	35,6
Ñire med 2	71,4	101,9	30,6
Ñire med 3	70,0	109,0	32,7
Ñire sup 2	69,4	112,2	33,7
Ñire sup 1	65,5	133,8	40,1
Ventana 1	67,9	119,8	35,9
Ventana 2	68,0	119,6	35,9

Se utilizó un la de 0,3 debido a que no se registraron lluvias de importancia en los días anteriores, la tormenta más significativa fue 12 días antes y tuvo una duración de 6 horas.

10.1.9. Modelación hidrológica. Determinación de la respuesta de las cuencas en los puntos críticos

El objetivo de la modelación hidrológica de la cuenca del arroyo Ñireco es simular el hidrograma de crecida de una tormenta registrada e hidrograma observado en una sección próxima a su desembocadura, permitiendo de esta forma calibrar los parámetros hidrológicos para así en una etapa posterior determinar la incidencia que tendrían determinados cambios en uso de suelo en el hidrograma de salida.

10.1.9.1. Esquema de modelación:

Para la simulación hidrológica se utilizó el modelo HEC-HMS Hydrologic Modeling System en su versión 3.3. Este software fue diseñado por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos. El objetivo principal es la simulación del proceso de precipitación-escurrimiento en cuencas. Puede ser aplicado en un amplio rango de regiones geográficas

para solucionar un rango general de problemas. Puede ser utilizado en pequeñas cuencas urbanas, o en grandes cuencas sin intervención, los resultados se pueden aplicar para estudios de disponibilidad de agua, drenaje urbano, observación de flujo, impacto de intervenciones en cuencas, reducción del daño por inundaciones, operación de sistemas, etc.

Se utilizaron los siguientes algoritmos:

- Para la estimación de pérdidas: Método del CN del Servicio de Conservación de Suelos de EE.UU. Se utilizaron los CN calculados anteriormente.
- Para la transformación lluvia-caudal: Método del Hidrograma Unitario de Clark. Este método se basa en la distribución de la superficie de la cuenca entre líneas isócronas para calcular el volumen de agua caído sobre cada una de esas superficies y considerar el retardo producido por el tránsito del agua a lo largo de la cuenca. Este método calcula los volúmenes de agua recibidos y también tiene en cuenta el retardo producido por el necesario desplazamiento de ese volumen de agua desde las partes más alejadas hasta la salida de la cuenca. Dentro del HEC-HMS este algoritmo necesita de los datos del tiempo de concentración de cada subcuenca y su tiempo de retardo, este último se determinó como el 35% del T_c debido a que en modelaciones anteriores de la cuenca este parámetro se fijó en este valor (FICH, 2007).

Tabla 10. Tiempo de concentración y Tlag de las subcuencas del arroyo Ñireco.

Subcuencas	Kirpich [hs]	Tlag (0.35*Tc) [min]
Challhuaco Superior 1	0,7	14,5
Challhuaco Superior 2	0,6	13,5
Challhuaco Inferior	0,9	18,0
Ñireco Superior 1	1,2	24,8
Ñireco Superior 2	0,3	7,0
Ventana 1	0,3	7,2
Ventana 2	0,8	17,6
Frutillar 1	0,7	15,0
Ñireco Medio 1	0,6	12,7
Carbón	0,3	6,5
Basurero	0,2	5,2
Ñireco Medio 2	0,5	9,6
Ñireco Medio 3	0,3	5,9
Los Loros	0,7	14,1
Ñireco Inferior 2	0,5	11,2
Esandi	0,7	15,1
Ñireco Inferior 1	0,5	9,7

- Para el traslado de la onda de crecida en cauce: Método de Muskingam. Este método se basa en el efecto de laminación por el almacenamiento y parte de la siguiente ecuación básica:

$$Q_{in} - Q_{out} = \frac{\Delta Vol}{\Delta t}$$

Siendo:

- Q_{in} : caudal entrante en la sección de cauce para un tiempo t.
- Q_{out} : caudal saliente de la sección de cauce para un tiempo t.
- ΔVol : Incremento de volumen.
- Δt : Intervalo de tiempo.

Por lo tanto, este método establece una relación entre el volumen almacenado con el caudal de entrada y el de salida y además establece que esa relación es una proporción lineal.

$$Vol = K * (Q_{in} * X + Q_{out} * (1 - x))$$

Siendo K y X una serie de factores de laminación que se deben obtener a partir de series de aforos de avenidas anteriores, por lo que para la utilización de este método es necesario la obtención de datos previos de avenidas anteriores.

De forma que:

- Para $X=0$ el volumen sólo sería función del caudal que sale, por lo tanto, el hidrograma sería el de un embalse vertiendo caudal.
- Para $X=0,5$ entra el mismo caudal que sale, es decir, el hidrograma sería igual a la entrada y la salida del embalse.
- Para $X>0,5$ se produciría un aumento o concentración del hidrograma de entrada, lo que no se podría dar en la realidad.

Para este modelado se tomaron los siguientes valores para los 9 tramos de cauce:

Tabla 11. Parámetros utilizados para el método de Muskingum.

Muskingum			
Tramo	T'c Kirpich [hs]	K (0.6*T'c) [hs]	X = 0.4
1	0,86	0,51	
2	0,33	0,20	
3	0,61	0,36	
4	0,20	0,12	
5	0,11	0,07	
6	0,45	0,27	
7	0,28	0,17	
8	0,53	0,32	
9	0,46	0,28	

La discretización de las subcuencas ya se mostró en el Figura 33, y el esquema topológico de HEC-HMS se presenta en la Figura 59.



Figura 59. Esquema topológico de la cuenca del arroyo Ñireco en HEC-HMS. Fuente: Elaboración propia.

El evento analizado corresponde al período 12/07/2018 – 14/07/2018 en el cual se registraron lluvias de 80 mm en un período de 3 días, lo que generó una crecida cuyo caudal pico alcanzó los 47 m³/s. En la Figura 60, se muestra el hidrograma de la crecida registrada en la desembocadura del arroyo Ñireco.

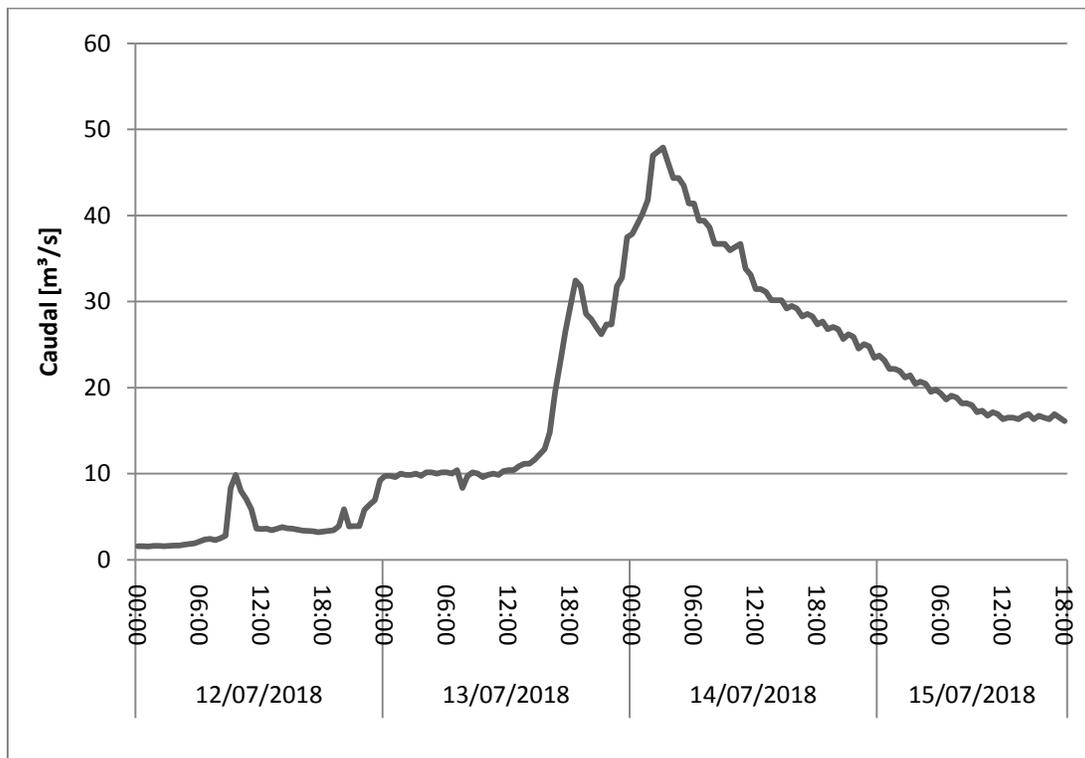


Figura 60. Hidrograma medido en la desembocadura del arroyo Ñireco para la crecida de julio de 2018. Fuente: DPA

Para la modelación hidrológica se utilizaron los datos de precipitaciones de las estaciones Pioneros km 1 y El Pilar. Para este evento en particular se utilizaron los datos de la estación meteorológica El Pilar. A estos datos se los ponderó por un factor de 0,9 debido a que la estación se encuentra en un sector cercano a la cuenca alta del Ñireco, por lo tanto, es de esperar que en la cuenca baja la precipitación disminuya.

Para calcular el agregado del flujo base no se utilizaron los métodos que ofrece el HEC-HMS, para ello se utilizó la plataforma web Web-based Hydrograph Analysis Tool (WHAT) por mayor practicidad. Esta herramienta realiza una separación de los datos de caudales de salida entre “escorrentía directa” y “caudal base”.

El W.H.A.T presenta una interfaz en donde se cargan los datos del hidrograma que se desea separar, luego se da la opción de elegir entre tres métodos de separación de flujo:

- Método del mínimo local
- Filtro digital de un parámetro

- Filtro recursivo digital

Para el segundo método se da la opción de introducir un valor, que por defecto es 0,925. Este valor fue fijado por Nathan y Mc Mahon en 1990 ya que, usando este valor los resultados eran realistas comparados con los resultados generados manualmente.

Para el tercer método se da la opción de ingresar el tipo de acuífero que se está tratando:

- Arroyos perennes con acuíferos porosos
- Arroyos efímeros con acuíferos porosos
- Arroyos perennes con acuíferos de roca dura

También se puede modificar otro parámetro, BFI_{max} : índice de flujo base máximo. Se recomienda adoptar los siguientes valores para cada tipo de acuíferos:

- **0.80** para arroyos perennes con acuíferos porosos
- **0.50** para arroyos efímeros con acuíferos porosos
- **0.25** para arroyos perennes con acuíferos de roca dura

Para este caso se trabajó con el método *filtro recursivo digital*, ya que es el más actualizado y además este tipo de método elimina las inconsistencias que se pueden llegar a dar en los métodos manuales. Para el acuífero se eligió *arroyos perennes con acuíferos porosos* y un BFI_{max} de 0,80.

Al cargar los datos de precipitación en el W.A.T.H se obtiene la separación de los caudales de escorrentía libre, base y total. Ver Figura 61.

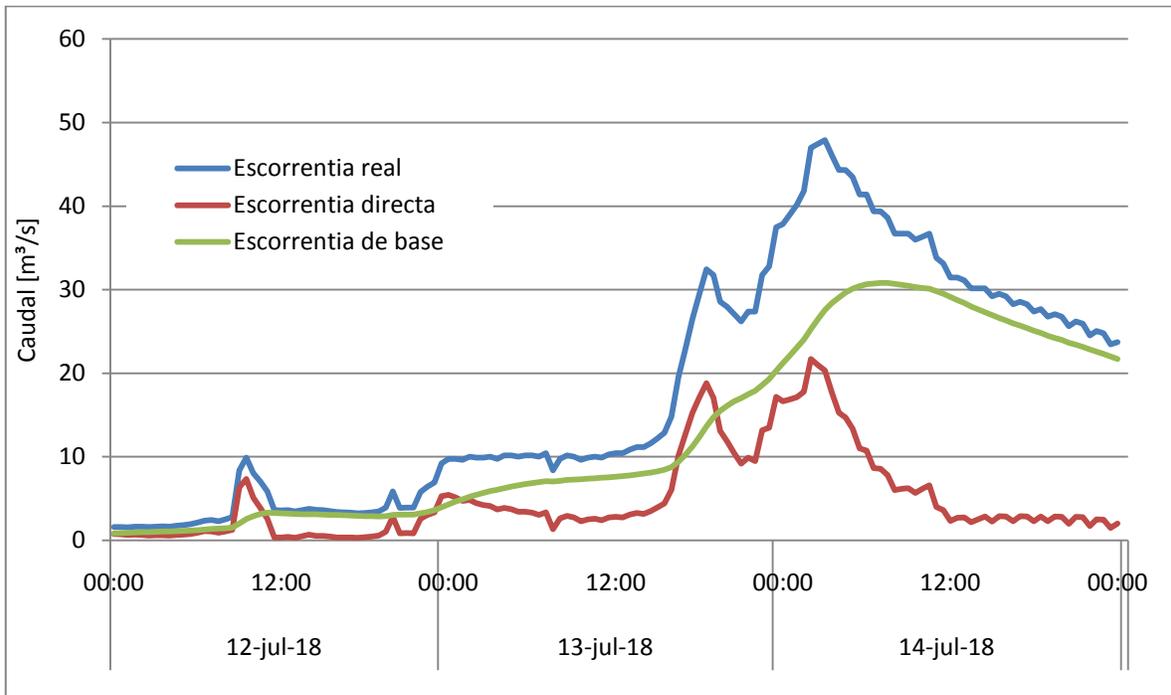


Figura 61. Separación de caudales utilizando W.H.A.T. Fuente: Elaboración propia.

Al correr el modelo con la precipitación registrada se genera el siguiente hidrograma:

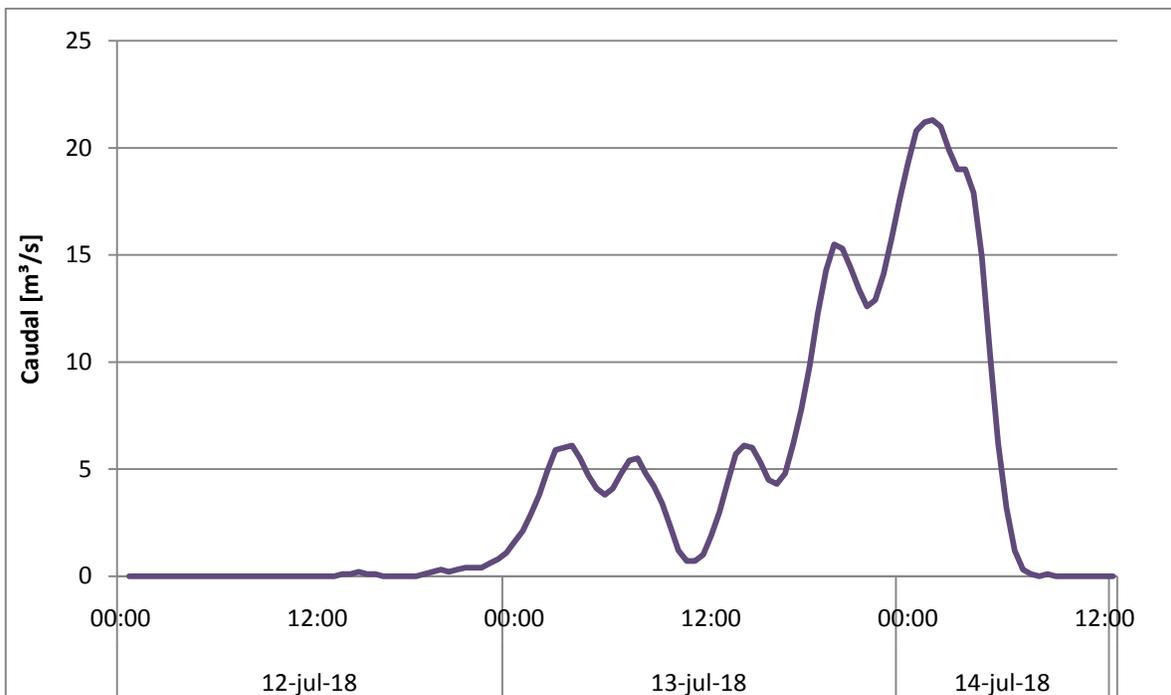


Figura 62. Modelado en HEC-HMS tormenta julio 2018. Fuente: Elaboración propia.

Sumando el flujo de base calculado previamente al hidrograma modelado en HEC-HMS se obtiene el siguiente resultado:

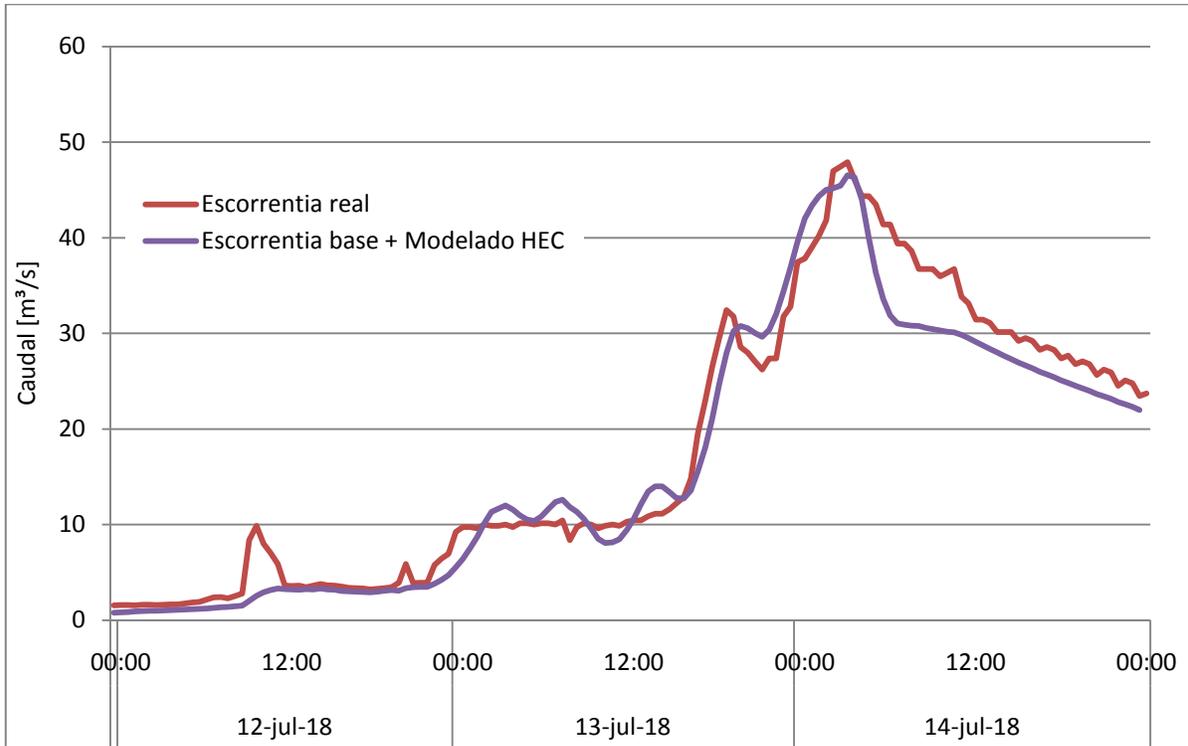


Figura 63. Ajuste de modelo sobre hidrograma real, tormenta julio 2018. Fuente: Elaboración propia.

Para este evento se obtuvo una buena representación de los caudales y volúmenes, los picos de mayor caudal se pudieron representar con adecuada precisión.

Los errores relativos correspondientes a los caudales pico se presentan a continuación:

$$Q_{pico\ real} = 47,89\ m^3/s$$

$$Q_{pico\ modelado} = 46,55\ m^3/s$$

$$Error_{relativo\ porcentual} = 3\%$$

Con respecto a los volúmenes totales:

$$Vol_{real} = 4.657.712,4 m^3$$

$$Vol_{modelado} = 4.320.667,1 m^3$$

$$Error_{relativo\ porcentual} = 8\%$$

10.1.9.2. Validación del modelo

Para verificar el modelo se procedió a correr un evento ocurrido en el año 2004. El hidrograma medido en la desembocadura del arroyo Ñireco para este evento tuvo dos picos, el primero se registró el 28 de junio con un caudal pico de 36,7 m³/s mientras que el segundo el 1 de julio con 35 m³/s. De este evento solo se cuenta con el hietograma que generó el segundo pico, por lo tanto, la modelación en HEC-HMS solo representará a este segundo caudal pico.

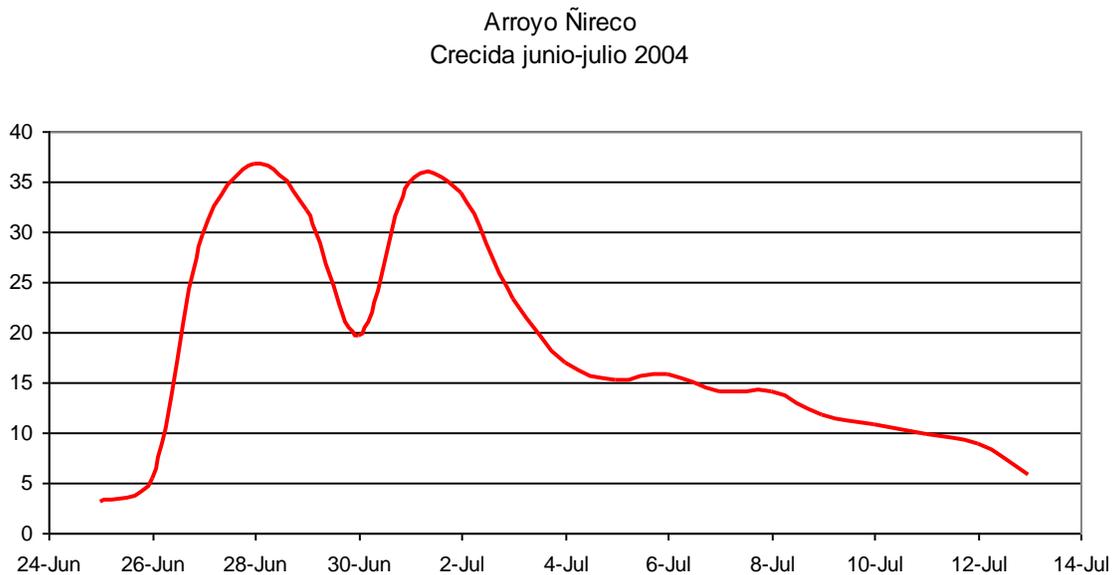


Figura 64. Hidrograma desembocadura arroyo Ñireco. Fuente: FICH 2007

Los datos del hietograma fueron medidos en la estación del DPA ubicada en el Km 1 de la Av. Pioneros, por lo tanto, se corrigieron los valores de precipitación por un factor de 0,7 ya que la cuenca se encuentra en una zona de transición entre la estepa y la zona de mayor precipitación.

Para esta verificación también se realizó la separación de caudales con el W.H.A.T dando como resultado lo detallado en la Figura 65.

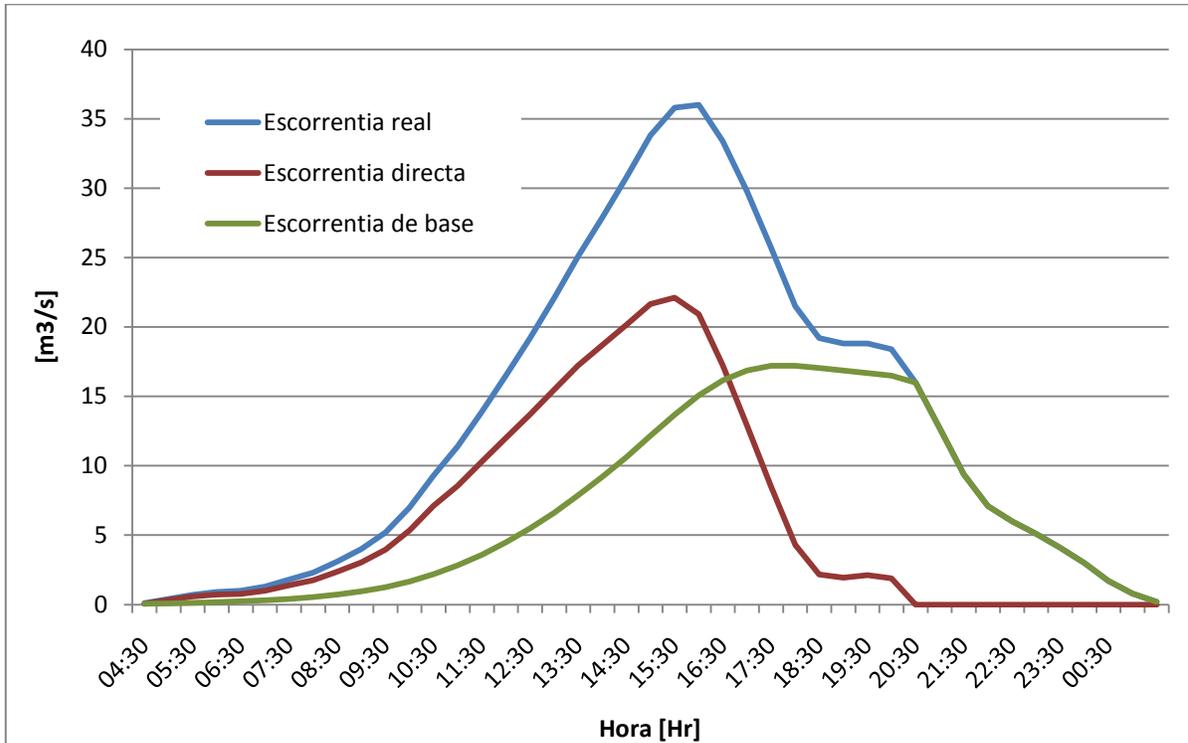


Figura 65. Separación de caudales utilizando W.H.A.T. Fuente: Elaboración propia.

Al correr el modelo con la precipitación registrada se genera el siguiente hidrograma:

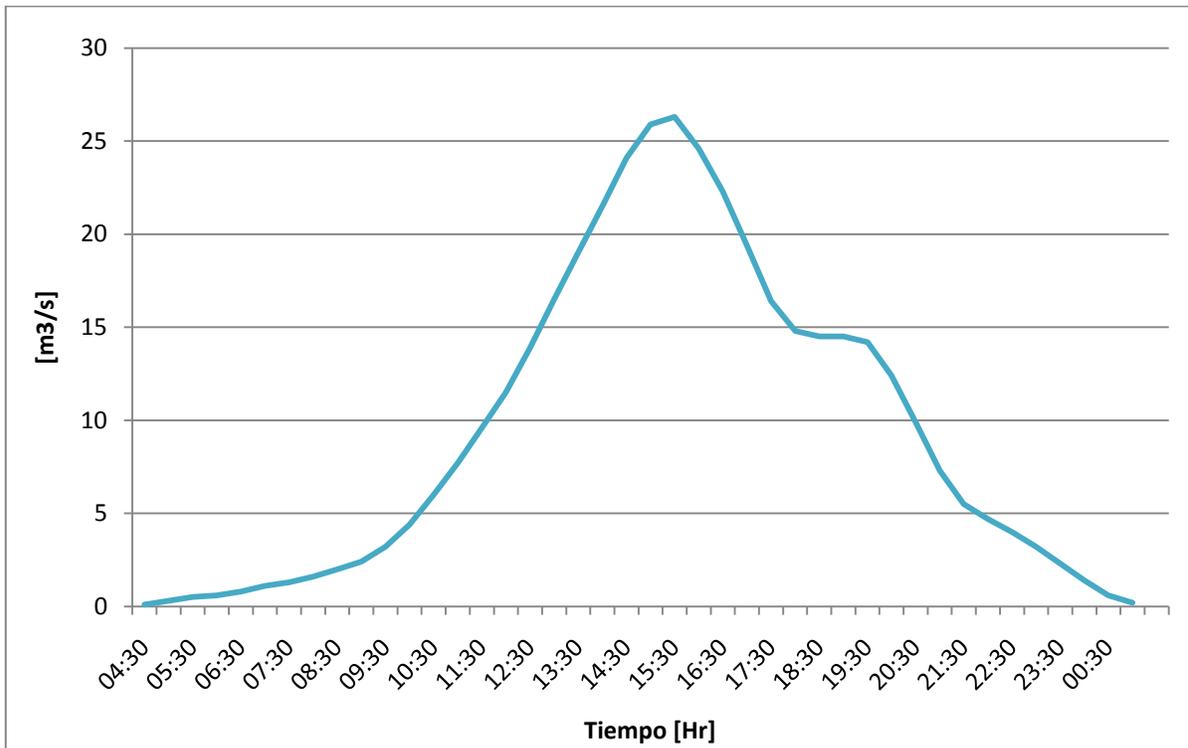


Figura 66. Hidrograma modelado en HEC-HMS para la tormenta de julio 2004. Fuente: Elaboración propia.

Sumando el flujo de base calculado previamente al hidrograma modelado en HEC-HMS se obtiene el hidrograma de la Figura 67.

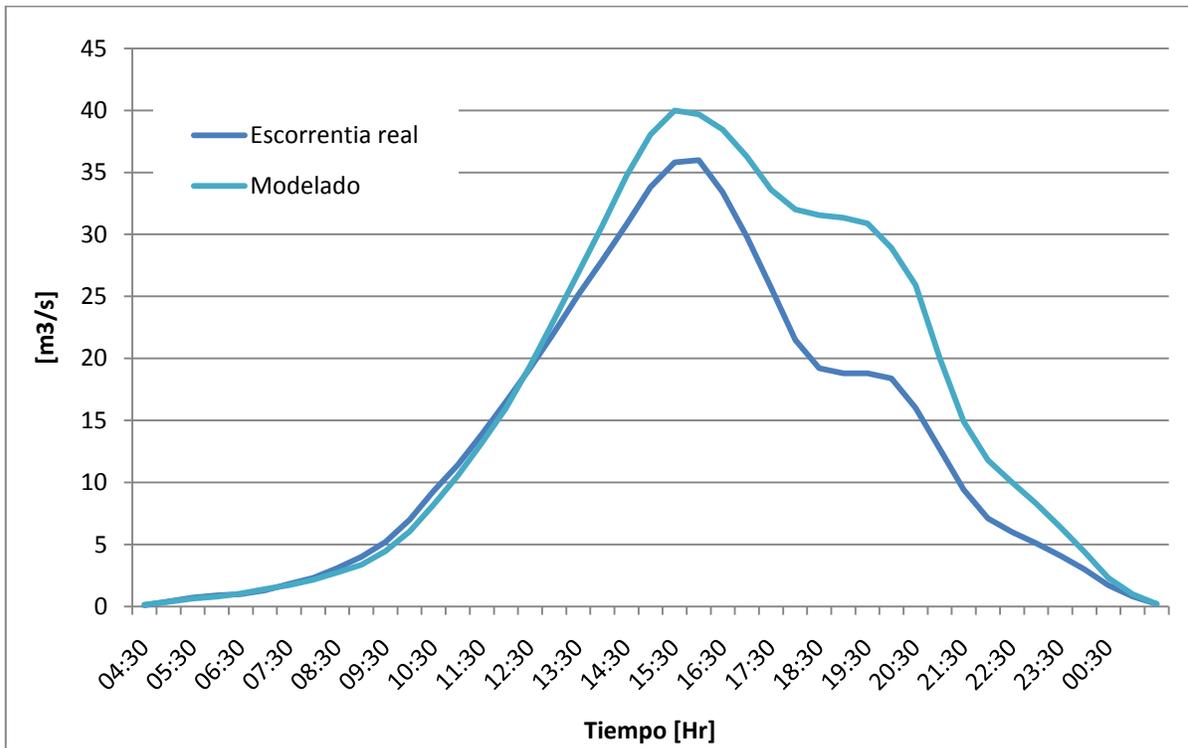


Figura 67. Modelado en HEC-HMS de la tormenta de Julio de 2004 vs hidrograma real. Fuente: Elaboración propia.

Se observa que la calibración del modelo es adecuada, ya que en esta etapa de verificación los caudales pico se corresponden en tiempo y forma, el modelado generó un caudal pico de $39 \text{ m}^3/\text{s}$ mientras que en el hidrograma real el pico marca $36 \text{ m}^3/\text{s}$. Con respecto a los caudales pico, el error relativo es el siguiente:

$$Q_{pico \text{ real}} = 36 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{pico \text{ modelado}} = 39,9 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Error_{relativo \text{ porcentual}} = 10\%$$

Con respecto a los volúmenes totales, el error relativo es el siguiente:

$$Vol_{real} = 1.009.80 \text{ m}^3$$

$$Vol_{modelado} = 1.247.907 \text{ m}^3$$

$$Error_{relativo\ porcentual} = 19\%$$

Resultados:

De la tabla 12 se observa que los principales aportes corresponden a la cuenca alta del Ñireco y Challhuaco, cuyas áreas de aporte alcanzan el 67% lo que ante un evento de precipitación pueden aportar el 54% del volumen total de escorrentía. Caso contrario, las subcuencas urbanas aportan alrededor del 10% del volumen total registrado en la desembocadura.

Tabla 12. Caudales pico y valores característicos de cada subcuenca.

	Subcuenca/nodo	Área	Área acum.	Caudal pico	Volumen	% Q total
		[km ²]	[km ²]	[m ³ /s]	[Hm ³]	
Cuenca alta	Challhuaco_sup_1	10,93		2,8	126,6	
	Challhuaco_sup_2	16,86		4,2	185,4	
	Challhuaco_inf	13,52		2,6	101,2	
	Ñireco_superior	26,35		4,3	152,1	
	Nodo-1		67,66	13,7	565,2	54%
Cuenca media	Ñireco_sup_2	1,22		0,3	11,3	
	Ventana_1	3,68		0,7	29,1	
	Ventana_2	8,7		1,8	69	
	Frutillar	4,77		1	41,5	
	Ñireco_Med_1	3,64		0,8	29,5	
	Ñireco_med_2	1,84		0,5	21,1	
	Nodo-5		91,51	17,6	766,8	74%
Cuenca baja	Basurero	2,67		0,7	33,6	
	Carbon	3,11		0,7	31,7	
	Ñireco_med_3	0,17		0	1,7	
	Los_Loros	6,13		1,6	68,2	
	Ñireco_inf_2	3,18		1,2	74,3	
	Esandi	3,45		1	50,7	
	Ñireco_inf_1	0,49		0,2	9,7	
	Salida		110,71	21,3	1037,4	100%

10.1.9.3. Selección de tormenta modelo

Para evaluar cómo afectarían determinados cambios sobre el uso de suelo o cambio de cobertura se propone la evaluación distintos escenarios en los cuales se modificará el parámetro “Número de Curva (CN)”.

Estos escenarios se proyectaron sobre la modelación calibrada y verificada utilizando una tormenta de diseño con tiempo de recurrencia de 20 años y una duración de 3Tc. Se eligió esta duración ya que se pretende tomar como base la tormenta de julio de 2018 para la modelación de los escenarios futuros. La utilización de una precipitación con 2Tc genera un pico de 38,7 m³/s, mientras que la precipitación con 3Tc genera un caudal pico de 46,3 m³/s, similar a los 47,89 m³/s que da la tormenta de julio/18¹. A continuación, se muestra el hietograma y el hidrograma de salida:

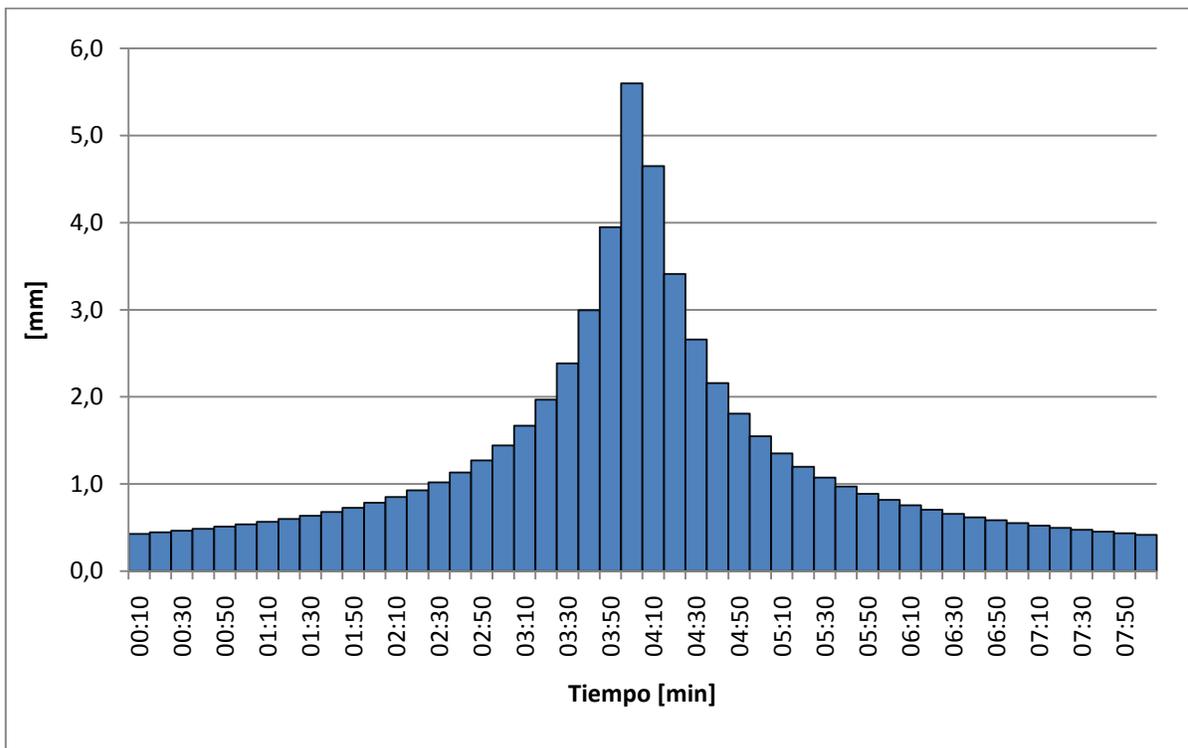


Figura 68. Hietograma para una tormenta de diseño con TR 20 años. Fuente: Elaboración propia.

¹ El cálculo del Tc de la cuenca Ñireco dio como resultado 2,7 hs. La utilización de 2Tc da como resultado 5,38 m³/s que por cuestiones prácticas se redondeo a 6 hs, y la utilización de 3Tc resulta 8,07 hs, que se redondeó a 8 hs.

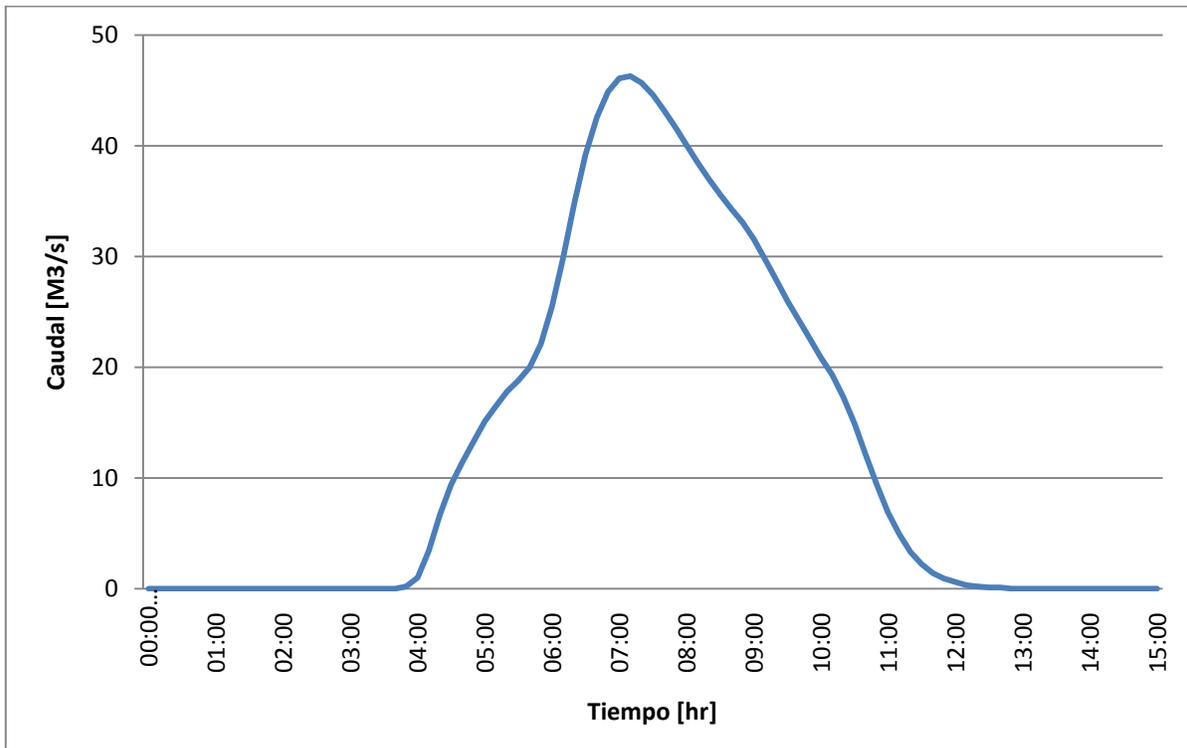


Figura 69. Hidrograma de salida para una tormenta de diseño con TR 20 años. Fuente: Elaboración propia.

De esta modelación se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 13. Resultados de la modelación de una tormenta con TR 20 años.

Caudal pico [m3/s]	Hora de caudal pico	volumen total [Hm3]
46,3	7:10	681,6

10.1.9.4. Planteo de Escenarios futuros:

En este apartado se determinarán los cambios en los CN de las subcuencas y analizarán los resultados obtenidos mediante el modelado en HEC-HMS.

1. Todas las subcuencas urbanas elevan su CN.

En este escenario se plantea la modificación de la cobertura del suelo de las cuencas de los barrios del Este y Sur, consecuencia del asfaltado de calles y veredas, eliminación de

espacios verdes y sumado a un manejo de las aguas pluviales en la que se dirige todo el escurrimiento directamente al cauce del arroyo Ñireco.

Tabla 14. Calculo de CN para el Escenario 1.

Subcuencas	CN (II)	la [mm]
Basurero	80,0	19,1
Carbon	70,2	32,3
Chal inf	67,5	36,7
Chal sup 1	71,5	30,4
chal sup 2	71,0	31,2
Esandi	80,0	19,1
Frutillar	80,0	19,1
Los Loros	71,1	31,0
Ñire Inf 1	80,0	19,1
Ñire inf 2	80,0	19,0
Ñire med 1	80,0	19,1
Ñire med 2	80,0	19,1
Ñire med 3	70,0	32,7
Ñire sup 2	69,4	33,7
Ñire sup 1	65,5	40,1
Ventana 1	67,9	35,9
Ventana 2	68,0	35,9

Con estos nuevos parámetros se procedió a correr el modelo dando como resultado el siguiente hidrograma:

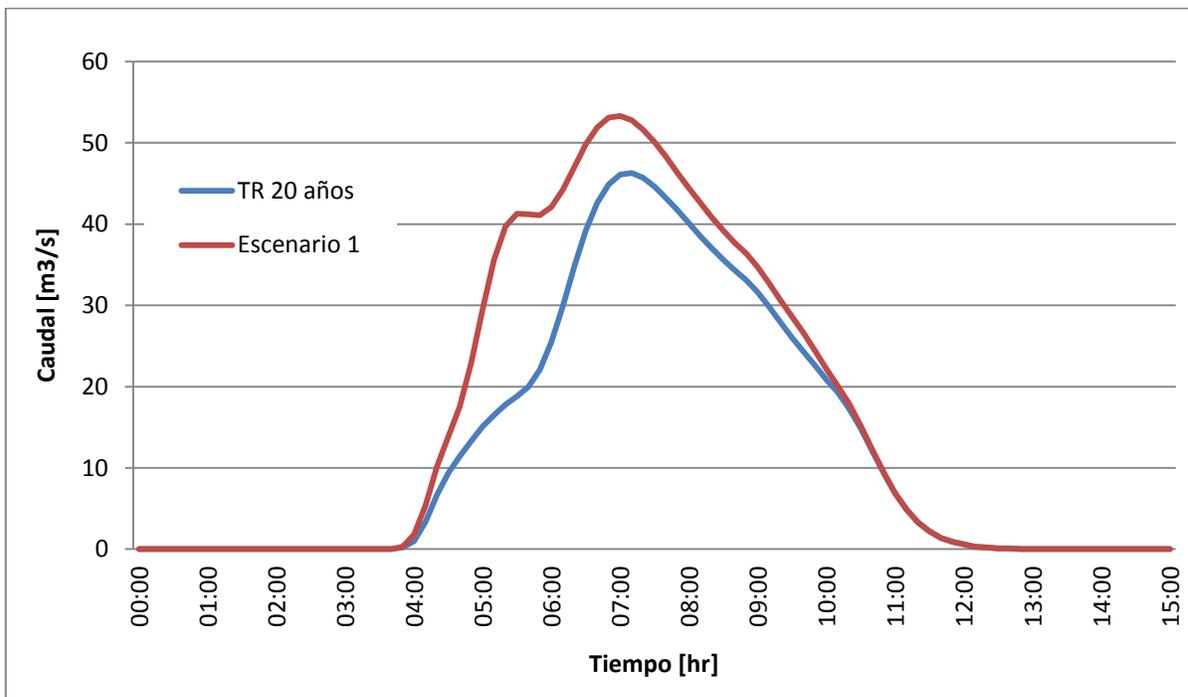


Figura 70. Comparativa entre hidrograma TR 20 vs hidrograma Escenario 1. Fuente: Elaboración propia.

De esta modelación se puede determinar que la respuesta de la cuenca a la precipitación se incrementó, en la desembocadura se observaría un incremento de caudal mucho más rápido en el tiempo. El caudal pico aumentaría alrededor de un 15% mientras que el volumen escurrido sería un 27% más elevado. Con respecto al tiempo del caudal pico tan solo variaría 10 minutos.

Tabla 15. Comparativa de resultados entre los eventos TR 20 años y Escenario 1.

	Caudal pico [m3/s]	Hora de caudal pico	volumen total [Hm3]
TR 20 años	46,3	07:10	616,8
Escenario 1	53,3	07:00	785,2
	15%		27%

Si se evalúa la variación de caudales pico en puntos críticos como lo sería en la zona urbana donde existen asentamientos poblacionales sobre las márgenes del arroyo Ñireco tales como los barrios 112 viviendas, San Cayetanito y San Francisco I, se observa que el caudal pico pasaría de 43,1 m³/s a 49,2 m³/s representando un aumento del 14%.

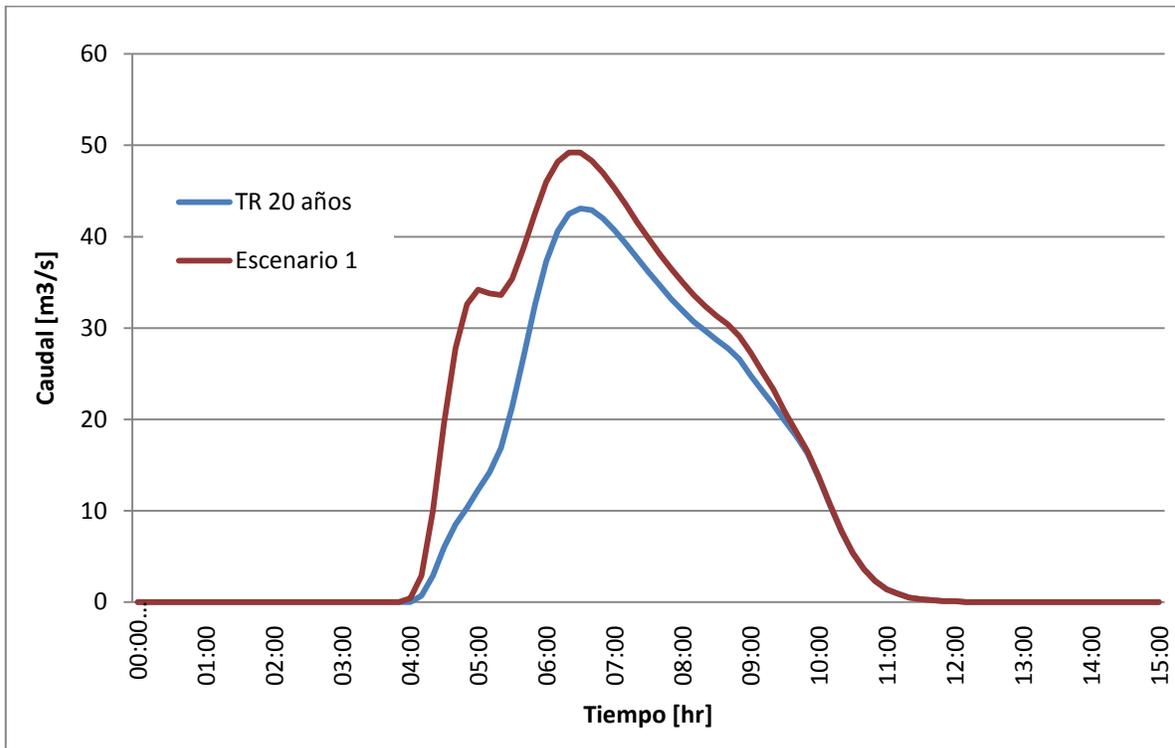


Figura 71. Comparativa entre hidrograma TR 20 vs hidrograma Escenario 1, en la zona urbana de la cuenca baja.
Fuente: Elaboración propia.

2. En la cuenca alta se produce una disminución del 10% en la cobertura de los bosques.

En este escenario se plantea la pérdida o disminución del 10% de los bosques ubicados en la cuenca alta del Ñireco, esto abarca las subcuencas Ñireco Superior, Challhuaco Superior 1, 2 y e inferior.

Tabla 16. Cálculo de CN para el escenario 2.

Subcuencas	CN (II)	la [mm]
Basurero	72,3	29,1
Carbon	70,2	32,3
Chal inf	68,2	35,5
Chal sup 1	71,8	29,9
chal sup 2	71,8	30,0
Esandi	74,1	26,7
Frutillar	68,8	34,6
Los Loros	71,1	31,0
Ñire Inf 1	77,7	21,9
Ñire inf 2	80,0	19,0
Ñire med 1	68,2	35,6
Ñire med 2	71,4	30,6
Ñire med 3	70,0	32,7
Ñire sup 2	69,4	33,7
Ñire sup 1	66,0	39,2
Ventana 1	67,9	35,9
Ventana 2	68,0	35,9

Con estos nuevos parámetros se procedió a correr el modelo dando como resultado el siguiente hidrograma:

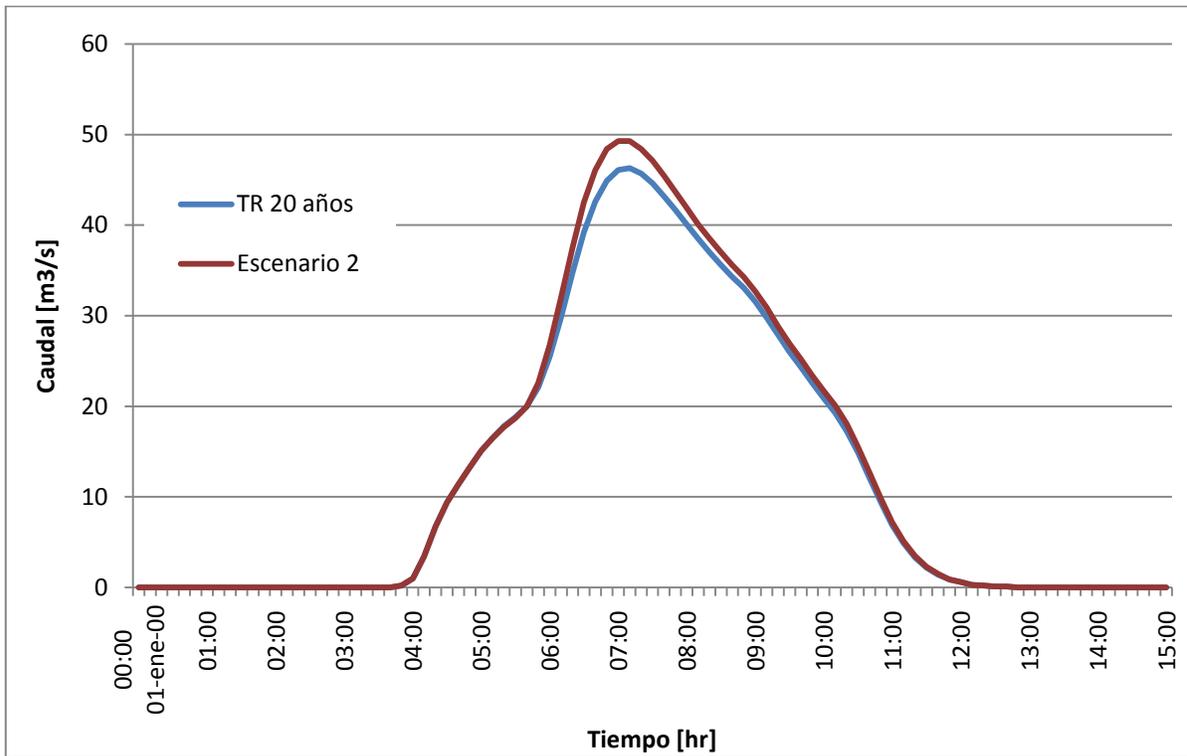


Figura 72. Comparativa entre hidrograma TR 20 vs hidrograma Escenario 2. Fuente: Elaboración propia

De esta modelación se puede determinar que el hidrograma va a respetar el modelado de TR 20 años sin embargo su caudal pico aumentará un 6% mientras que el volumen escurrido lo hará en un 5%.

Tabla 17. Comparativa de resultados entre los eventos TR 20 años y Escenario 2.

	Caudal pico [m3/s]	Hora de caudal pico	volumen total [Hm3]
TR 20 años	46,3	07:10	616,8
Escenario 2	49,3	07:00	646,3
	6%		5%

Si se evalúa estas modificaciones en los puntos críticos como en la confluencia del arroyo Challhuaco con el Ñireco se observa una diferencia de caudal pico que va desde 30 m³/s para el escenario TR 20 años a 33,1 m³/s, lo que representa un aumento del 10%.

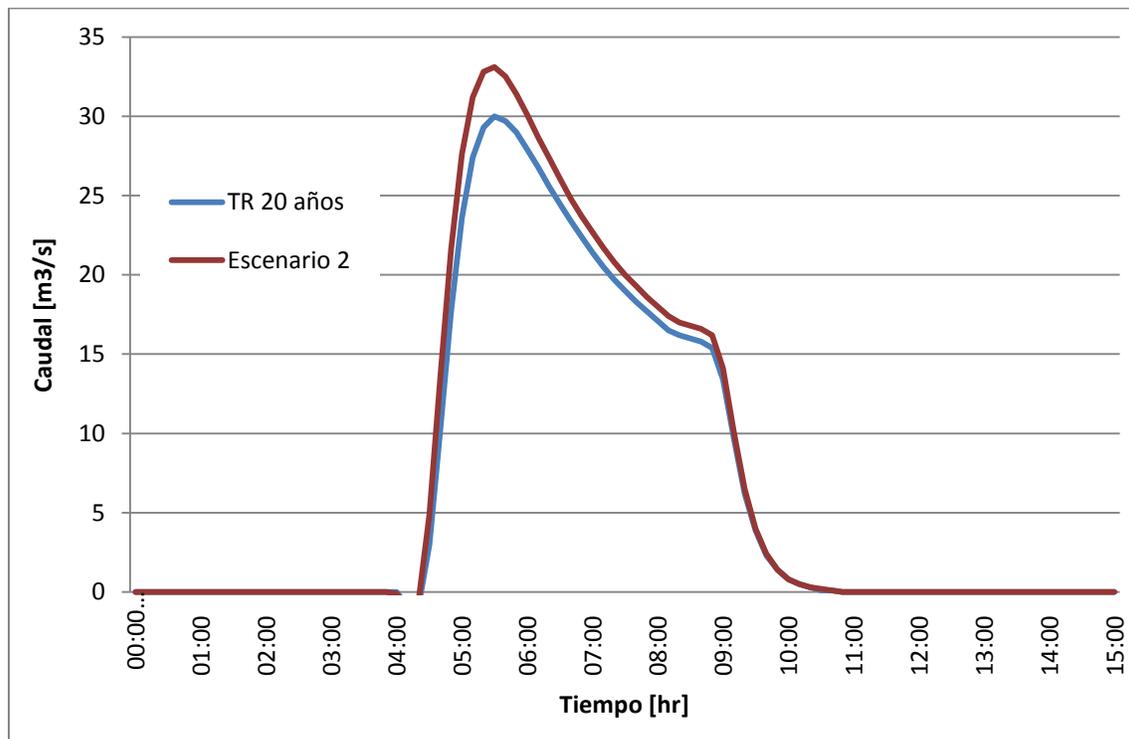


Figura 73. Comparativa entre hidrograma TR 20 vs hidrograma Escenario 2 en la confluencia de los arroyos Ñireco y Challhuaco. Fuente: Elaboración propia

3. En la cuenca alta se produce una disminución del 25% en la cobertura de los bosques.

Mismo planteo que la modelación anterior, sumando a las subcuencas Ventana 1 y 2, la pérdida o disminución de bosques aumenta al 25%, lo que representa unas 1691,5 hectáreas.

Tabla 18. Cálculo de CN para el Escenario 3.

Subcuencas	CN (II)	la [mm]
Basurero	72,3	29,1
Carbon	70,2	32,3
Chal inf	72,3	29,2
Chal sup 1	72,3	29,2
chal sup 2	73,0	28,2
Esandi	74,1	26,7
Frutillar	68,8	34,6
Los Loros	71,1	31,0
Ñire Inf 1	77,7	21,9
Ñire inf 2	80,0	19,1
Ñire med 1	68,2	35,6
Ñire med 2	71,4	30,6
Ñire med 3	70,0	32,7
Ñire sup 2	69,4	33,7
Ñire sup 1	66,9	37,8
Ventana 1	68,3	35,4
Ventana 2	68,3	35,4

Con estos nuevos parámetros se procedió a correr el modelo dando como resultado el siguiente hidrograma:

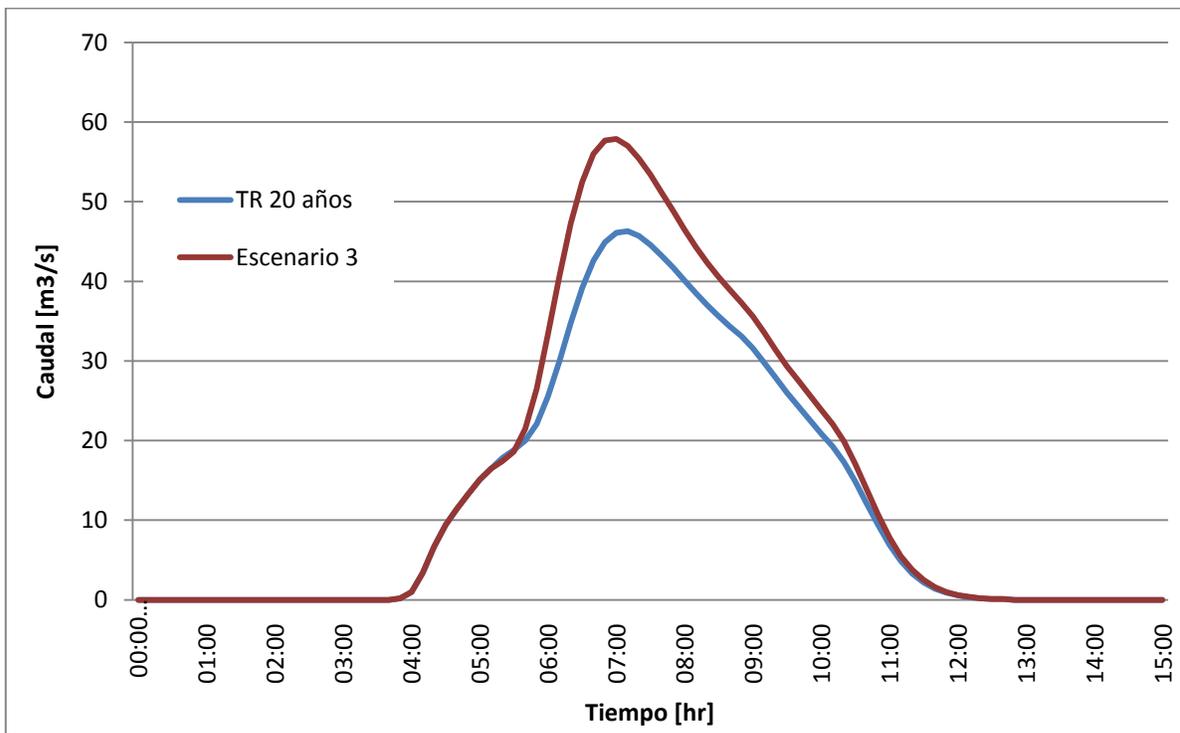


Figura 74. Comparativa entre hidrograma TR 20 vs hidrograma Escenario 3. Fuente: Elaboración propia

De esta modelación se puede determinar que una disminución de los boques en un 25% ocasiona un aumento del 25% en caudal pico en la desembocadura del arroyo Ñireco, y a su vez aumenta un 18% el volumen total de escorrentía.

Tabla 19. Comparativa de resultados entre los eventos TR 20 años y Escenario 3.

	Caudal pico [m3/s]	Hora de caudal pico	volumen total [Hm3]
TR 20 años	46,3	07:10	616,8
Escenario 3	57,9	07:00	730,5
	25%		18%

Si se evalúa estas modificaciones en los puntos críticos como en la confluencia del arroyo Challhuaco con el Ñireco se observa una diferencia de caudal pico que va desde 30 m³/s para el escenario TR 20 años a 41,5 m³/s, lo que representa un aumento del 38%.

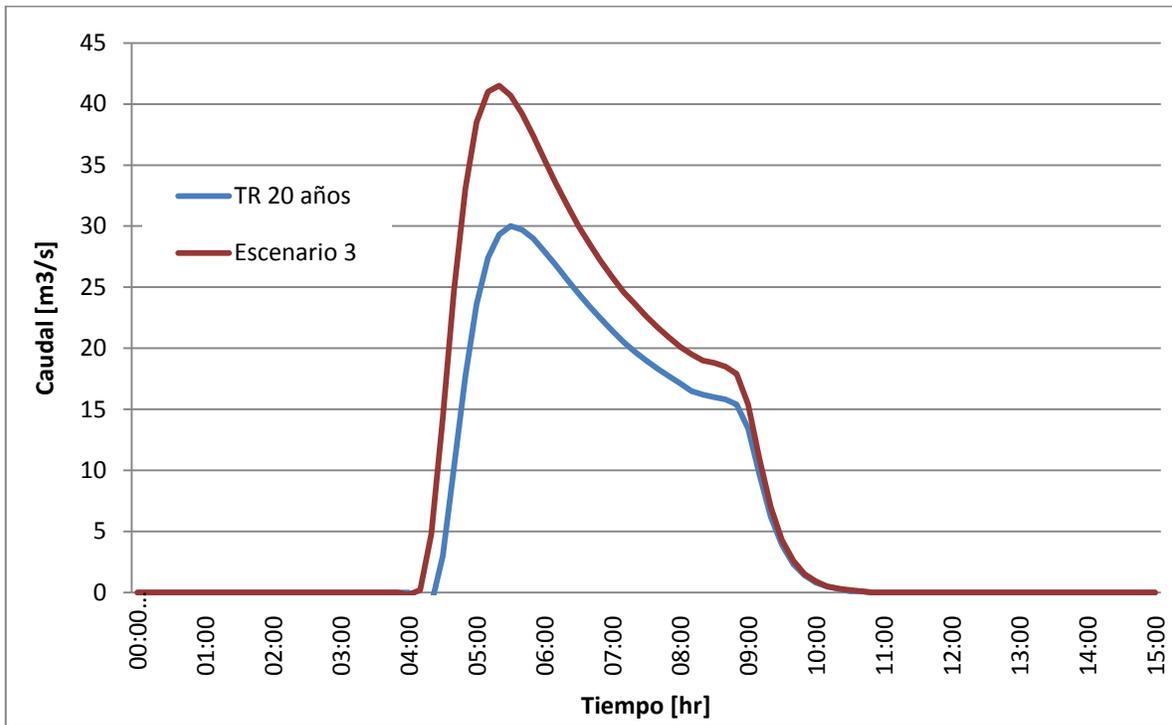


Figura 75. Comparativa entre hidrograma TR 20 vs hidrograma Escenario 3 en la confluencia de los arroyos Ñireco y Challhuaco. Fuente: Elaboración propia

4. Escenario 1 combinado con el Escenario 3.

En este escenario se combinan las condiciones en las que las subcuencas urbanas adquieren un CN elevado típico de áreas completamente urbanizadas y una pérdida del 25% de los bosques en la cuenca alta.

Tabla 20. Cálculo de CN para el escenario 4.

Subcuencas	CN (II)	la [mm]
Basurero	80,0	19,1
Carbon	70,2	32,3
Chal inf	72,3	29,2
Chal sup 1	72,3	29,2
chal sup 2	73,0	28,2
Esandi	80,0	19,1
Frutillar	80,0	19,1
Los Loros	71,1	31,0
Ñire Inf 1	80,0	19,1
Ñire inf 2	80,0	19,0
Ñire med 1	80,0	19,1
Ñire med 2	80,0	19,1
Ñire med 3	70,0	32,7
Ñire sup 2	69,4	33,7
Ñire sup 1	66,9	37,8
Ventana 1	68,3	35,4
Ventana 2	68,3	35,4

Con estos nuevos parámetros se procedió a correr el modelo dando como resultado el siguiente hidrograma:

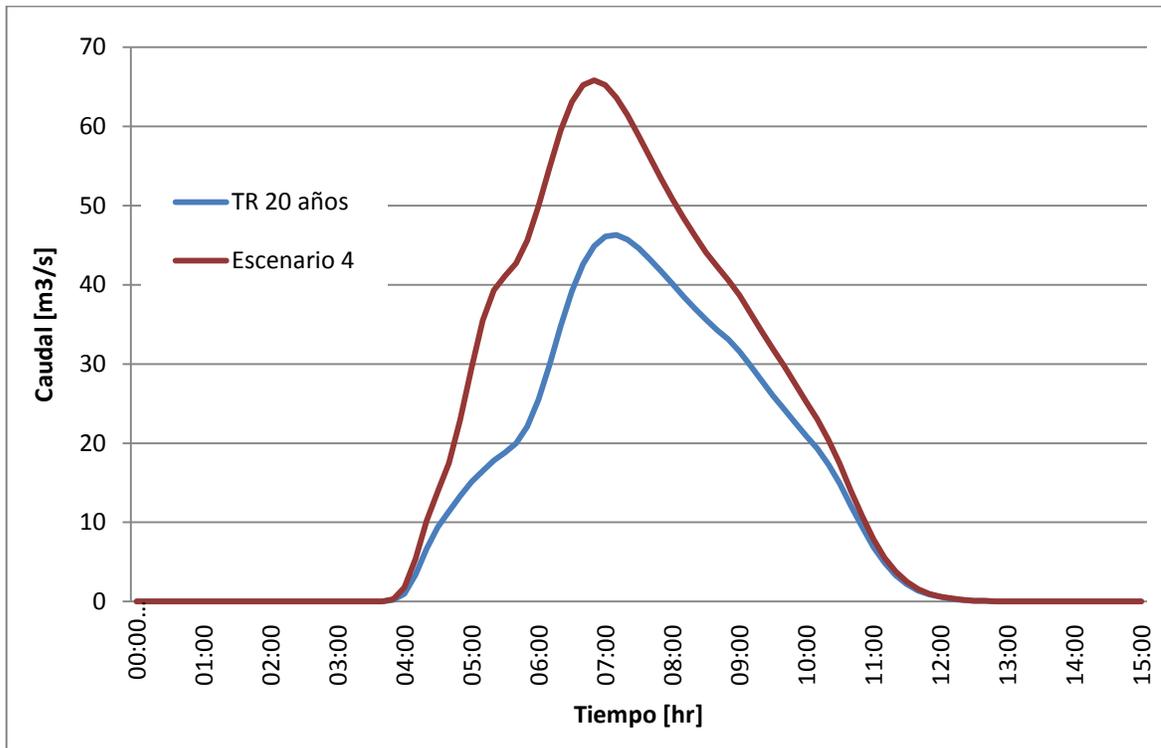


Figura 76. Comparativa entre hidrograma TR 20 vs hidrograma escenario 4. Fuente: Elaboración propia

Para esta modelación se aprecia un aumento significativo tanto en el caudal pico como en el volumen escurrido total, los mismos alcanzan el 42% y 46% respectivamente.

Tabla 21. Comparativa de resultados entre los eventos TR 20 años y Escenario 4.

	Caudal pico [m3/s]	Hora de caudal pico	volumen total [Hm3]
TR 20 años	46,3	07:10	681,6
Escenario 4	65,8	06:50	898,9
	42%		46%

Si se evalúa estas modificaciones en los puntos críticos como en la confluencia del arroyo Challhuaco con el Ñireco se observa una diferencia de caudal pico que va desde 30 m³/s para el escenario TR 20 años a 41,5 m³/s para el escenario 4, lo que representa un aumento del 38%.

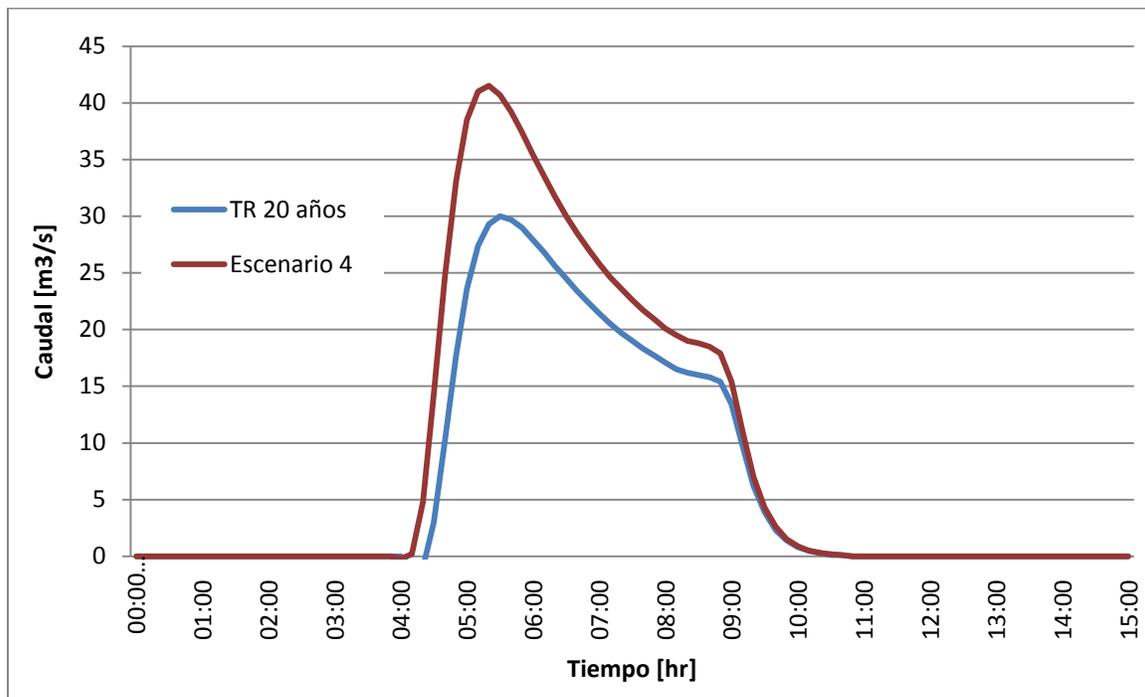


Figura 77. Comparativa entre hidrogramas TR 20 años y Escenario 4 en la confluencia de los arroyos Ñireco y Challhuaco. Fuente: Elaboración propia

El otro punto crítico sería en la zona urbana a la altura de los barrios San Cayetano, 112 viviendas y San Francisco I. allí se observa un aumento de caudal pico que va desde 43 m³/s a para el escenario TR 20 años a 61,8 m³/s, lo que representa un aumento del 44%.

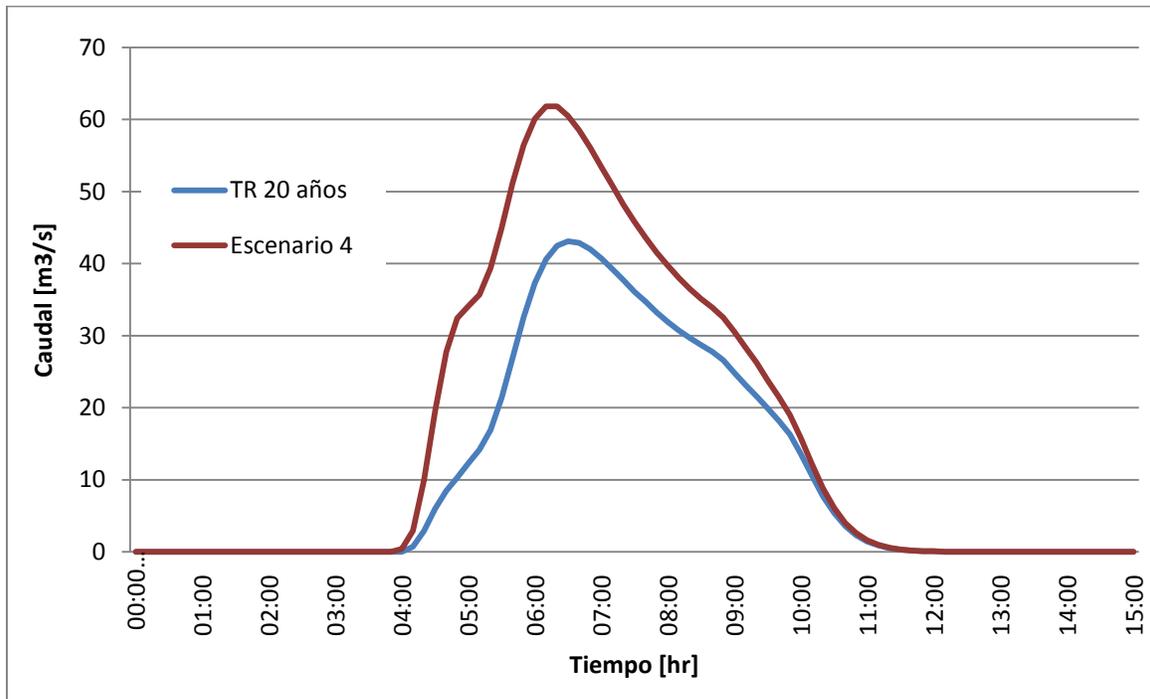


Figura 78. Comparativa entre hidrogramas TR 20 años y Escenario 4 en la zona urbana de la cuenca baja. Fuente: Elaboración propia

5. Pérdida del 100% de cobertura boscosa y/o matorral.

En este escenario extremo se plantea la destrucción total de los bosques en la cuenca alta y la zona de matorrales de la cuenca media y baja. Esto repercute en un aumento de los CN lo que aumenta la impermeabilidad del suelo de toda la cuenca.

Tabla 22. Cálculo de CN e la para Escenario 5.

Subcuencas	CN (II)	la [mm]
Basurero	80,0	19,1
Carbon	80,0	19,1
Chal inf	80,0	19,1
Chal sup 1	80,0	19,1
chal sup 2	80,0	19,1
Esandi	80,0	19,1
Frutillar	80,0	19,1
Los Loros	80,0	19,1
Ñire Inf 1	80,0	19,1
Ñire inf 2	80,0	19,1
Ñire med 1	80,0	19,1
Ñire med 2	80,0	19,1
Ñire med 3	80,0	19,1
Ñire sup 2	80,0	19,1
Ñire sup 1	80,0	19,1
Ventana 1	80,0	19,1
Ventana 2	80,0	19,1

Con estos nuevos parámetros se procedió a correr el modelo dando como resultado el siguiente hidrograma:

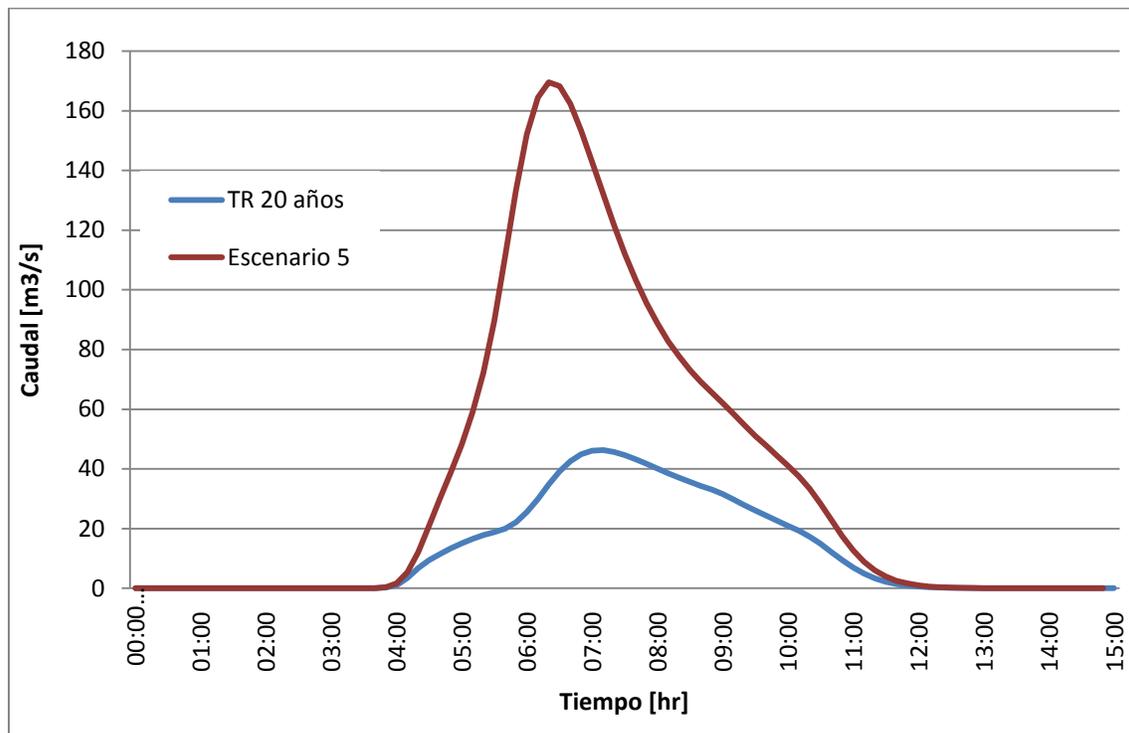


Figura 79. Comparativa entre hidrogramas TR 20 años y Escenario 5. Fuente: Elaboración propia

Bajo este escenario extremo se observa que el caudal pico aumenta en un 266% comparado con el TR 20 años, y con respecto al volumen lo hace en un 202%. A su vez, el tiempo al caudal pico se adelanta 50 minutos.

Tabla 23. Comparativa de resultados entre los eventos TR 20 años y Escenario 5

	Caudal pico [m3/s]	Hora de caudal pico	volumen total [Hm3]
TR 20 años	46,3	07:10	616,8
Escenario 5	169,6	06:20	1860,2
	266%		202%

Analizando los puntos críticos se observa que en la confluencia de los arroyos Ñireco y Challhuaco el caudal pico aumenta hasta 132,4 m³/s, lo que implica un 341% más que el TR 20 años.

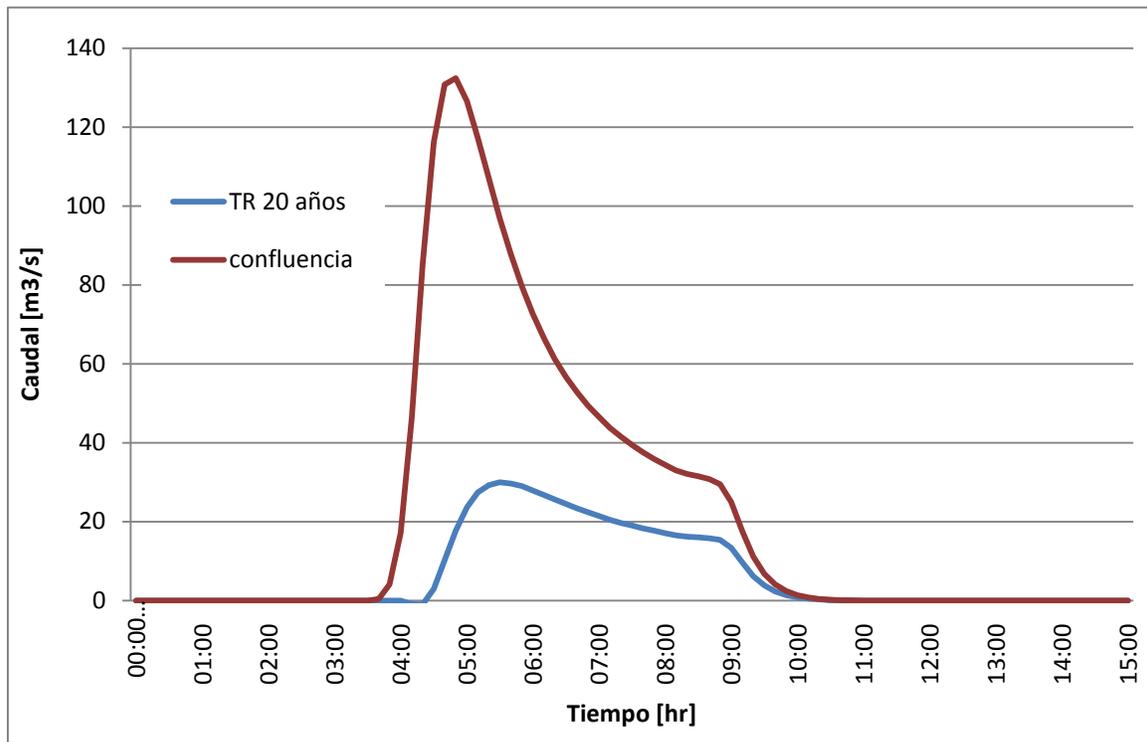


Figura 80. Comparativa entre hidrogramas TR 20 años y Escenario 5 en la confluencia de los arroyos Ñireco y Challhuaco. Fuente: Elaboración propia

Analizando el otro punto crítico ubicado en la zona urbana en la cuenca baja se observa que el caudal pico aumenta hasta $168,7 \text{ m}^3/\text{s}$, lo que implica un 291% más que el TR 20 años.

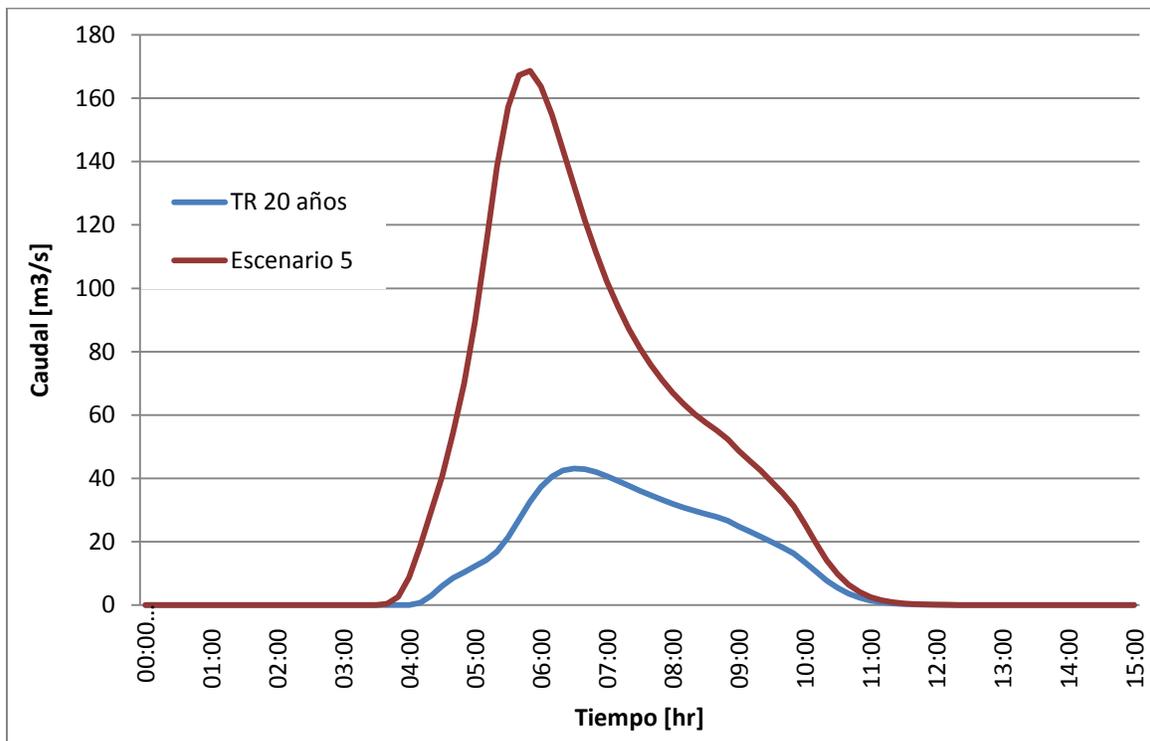


Figura 81. Comparativa entre hidrogramas TR 20 años y Escenario 5 en la zona urbana de la cuenca baja. Fuente: Elaboración propia

10.1.9.5. Análisis de resultados:

De los resultados obtenidos de la modelación de los escenarios futuros para la cuenca del Ñireco se observa que el hipotético escenario 5 sería el que más repercusiones tendría en la cuenca baja. El otro escenario más crítico es el 4, en este se combinan impactos en toda la cuenca, desde deforestación en la cuenca alta a la impermeabilización de la cuenca media-baja en todas las zonas urbanas.

Los escenarios 3 y 1 valen la pena evaluarlos juntos ya que se comparan efectos generados por acciones en la cuenca alta vs acciones en la cuenca media-baja. Ambos generan hidrogramas de salida con formas diferentes, el 1 tiene más área bajo la curva lo que indica que aporta más volumen de agua escurrido al reservorio, aunque el 3 genera un caudal pico más grande, aunque de menor volumen. En términos de afectación a la cuenca baja, en este caso, el parámetro que tiene más peso en la evaluación del riesgo es el caudal pico por sobre el volumen total, por lo tanto, la deforestación de un 25% de los

bosques de la cuenca alta sería más riesgoso para la población de la cuenca baja que la impermeabilización de todos los barrios de la ciudad. El resumen de los modelados se muestra en la Tabla 24 y Figura 82.

Tabla 24. Comparación porcentual de TR 20 años vs Escenarios planteados.

Escenarios	Volumen total [Hm ³]	Caudal pico [m ³ /s]	% incremento	
			Volumen total [Hm ³]	Caudal Pico [m ³ /s]
TR 20 años	616,8	46,3	-	-
Escenario 1	785,2	53,3	27%	15%
Escenario 2	646,2	49,3	5%	6%
Escenario 3	730,5	57,9	18%	25%
Escenario 4	898,9	65,8	46%	42%
Escenario 5	1860,2	169,6	202%	266%

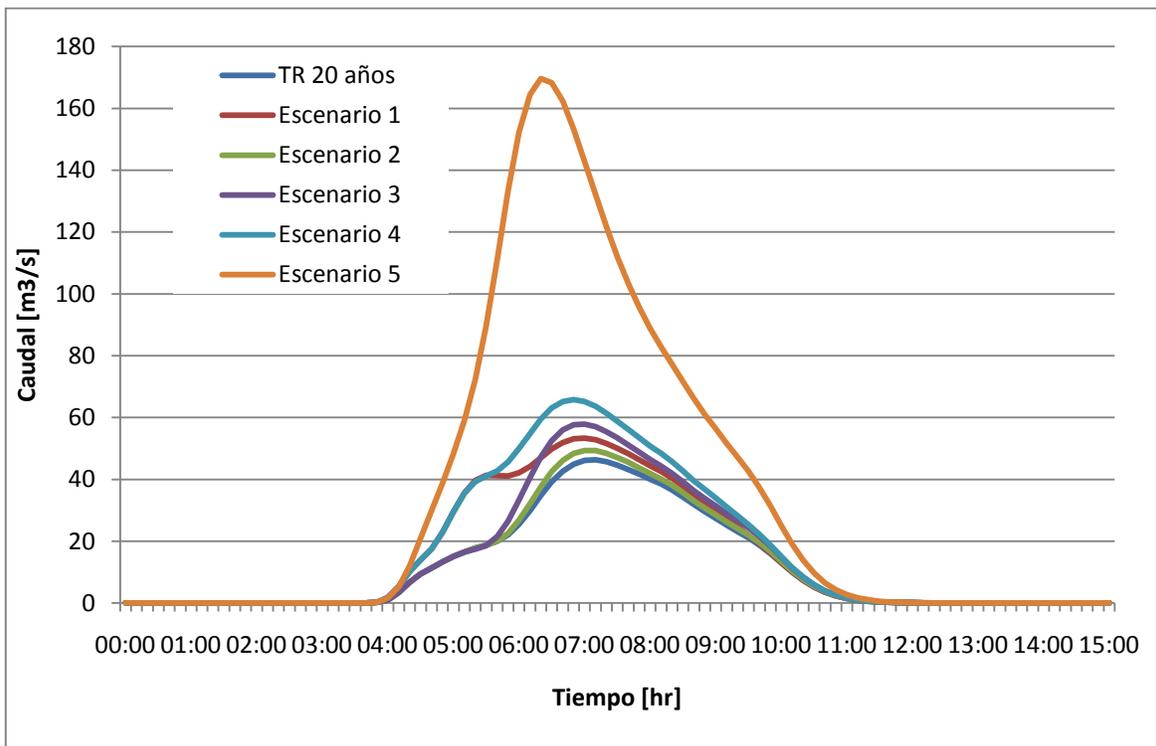


Figura 82. Comparación de TR 20 años con los Escenarios 1-5. Fuente: Elaboración propia.

10.2. Análisis jurisdiccional de los principales actores de la cuenca.

Para contextualizar aún más el estado jurisdiccional de la cuenca del Ñireco, se propone evaluar la cuenca alta y la cuenca media-baja por separado a fin de determinar correctamente los actores involucrados.

Cuenca Alta:

Como ya se dijo esta parte de la cuenca se encuentra regulada por el Parque Nacional Nahuel Huapi, abarcando aproximadamente un 74% del total de la cuenca. El parque cubre 717.261 has, incluyendo dos categorías de conservación, la Reserva Nacional y el Parque Nacional. La Reserva Nacional incluye la mayor parte de las propiedades privadas preexistentes a la creación del área protegida y funciona como un área de amortiguación con las tierras que no están sometidas a regímenes de conservación. Figura 83.

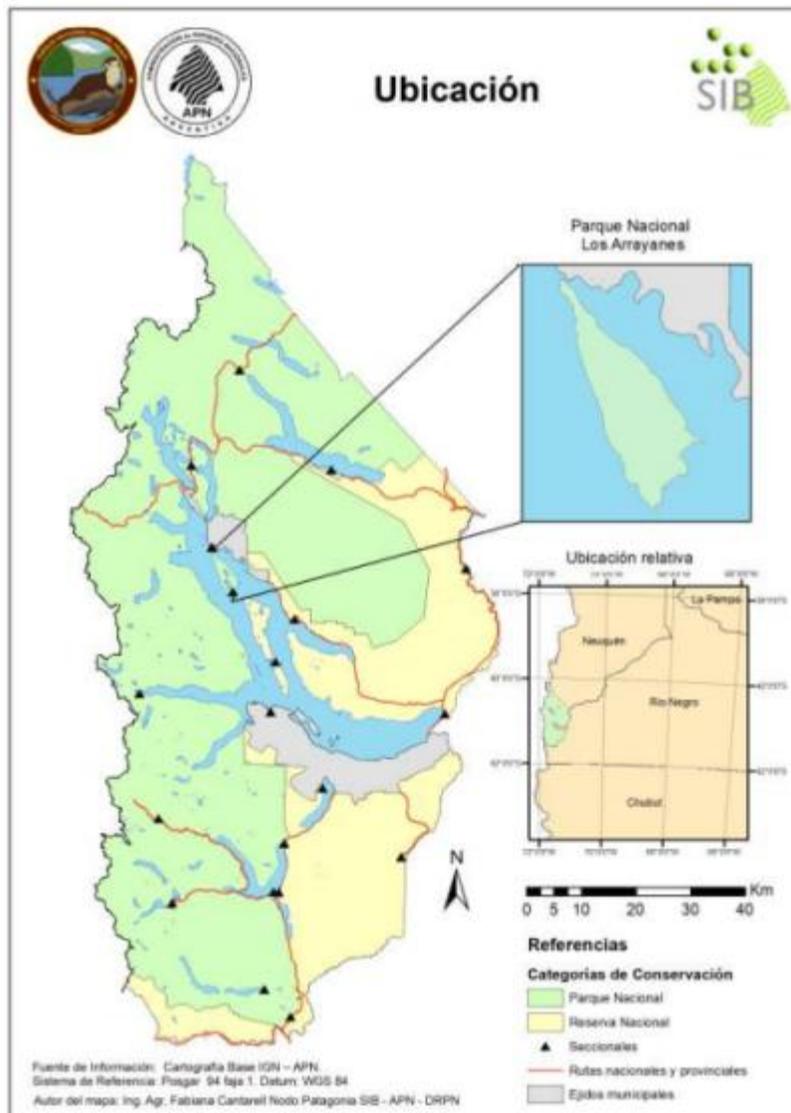


Figura 83. Demarcación de los límites del PNNH. Fuente: PNNH, 2019.

Desde 1986 se cuenta con el Plan de Manejo del PNNH en donde se plantean objetivos y líneas de acción del área protegida. Su última actualización fue en 2019, y la misma tiene una vigencia de diez años. Dentro de los objetivos generales que incumben a este trabajo se destacan los siguientes:

- Garantizar las condiciones físico-químicas naturales y la integridad ecológica de los cuerpos y cursos de agua, asegurando los bienes y servicios ambientales que proveen para la región las diferentes cuencas y sub-cuencas hidrológicas del PN

- Promover el conocimiento, la comprensión y valoración del patrimonio natural y cultural, a través de la educación ambiental, la difusión y el uso público, facilitando vivencias directas en el territorio del área protegida.
- Contribuir al desarrollo local y regional sustentable impulsando la participación social y la articulación con las políticas públicas de las jurisdicciones vinculadas.

Entre los objetivos específicos se destacan los siguientes:

- Resguardar las cabeceras de cuencas, sus glaciares y vegetación para asegurar el mantenimiento de los procesos de regulación hídrica.
- Preservar la integridad paisajística del PN en general y, en particular, de sitios identificados como valores especiales de conservación, tales como Puerto Blest, Isla Victoria, Península Quetrihué, Nahuel Huapi, Cuenca del Manso y Challhuaco.
- Respetar la cultura Mapuche según los lineamientos establecidos por el Instituto Nacional de Asuntos Indígenas (I.N.A.I.) de manera armónica con los objetivos del PNNH, garantizando la valoración de su patrimonio cultural.

Con respecto a este último objetivo existe un conflicto histórico, ya que antes de la creación del PN, familias de pobladores se encontraban en situación de ocupantes de tierras fiscales, se legitimó su permanencia a través de Permisos Precarios de Ocupación y Pastaje (PPOP).

En base a esta problemática se creó una modalidad de trabajo bajo un Comanejo. Esto es un modo de gestión y política institucional conformada por el conjunto de decisiones y acciones que se implementan con el objetivo de conservar los ecosistemas y biodiversidad en términos de desarrollo sustentable en los territorios comunitarios. Esto se encuentra avalado por la Resolución de Parques Nacionales H. D. N° 145/2004.

En el año 2012 se crea por Resolución H. D. N° 79/2012 el Consejo Intercultural de Comanejo (C.I.C.) del Parque Nacional Nahuel Huapi con el objetivo de diagramar y construir propuestas políticas acordes al desarrollo de las comunidades, con ejes

transversales en la conservación de la biodiversidad y la interculturalidad. Dicho Consejo está integrado por representantes del Pueblo Mapuche y funcionarios de la Administración de Parques Nacionales, cuyo objeto es implementar la política de Comanejo.

Sumado a esto, el 20 de enero de 2004 se crea el “Área Crítica cuencas Ñirihuau y Challhuaco” por resolución H. D. 012/04. En la que se establece a las nacientes de los arroyos afluentes del Río Ñirihuau, Challhuaco y Ñireco, el Cordón Ñirihuau y los arroyos que desaguan hacia el río Villegas como área crítica. Figura 84.

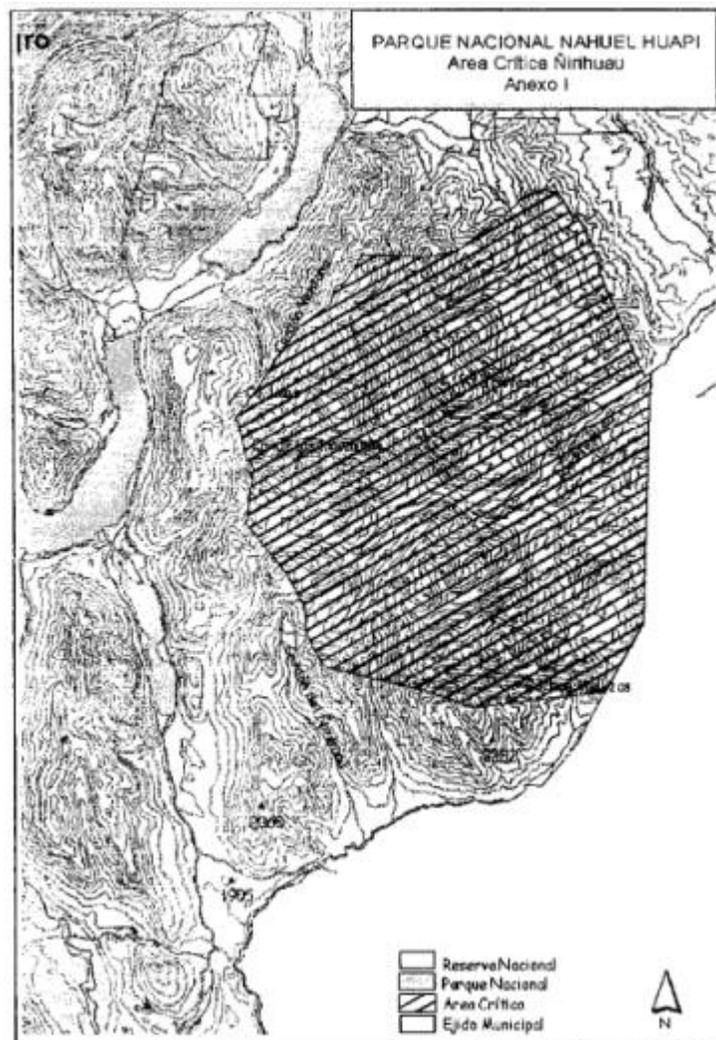


Figura 84. Delimitación del Área Crítica dentro del Parque. Fuente: PNNH, 2004

Dentro de las pautas y objetivos de manejo para el área crítica cabe destacar los siguientes:

- Evitar cualquier modificación que pudiera provocar alteraciones del régimen hídrico de los ambientes acuáticos (lagunas, mallines, arroyos), en particular en el diseño y construcción de sendas, circulación de vehículos y visitantes.
- La extracción de leña que pudiera requerirse para asistencia social (Plan Calor), y su resulta factible de acuerdo a las evaluaciones ambientales correspondientes, se restringirá a la cota de altitud de la Seccional Ñirihuau. En el sector del refugio Challhuaco sólo se admitirá para abastecer el refugio, debiendo zonificarse el área de extracción con el fin de evitar los sitios de presencia habitual de la rana del challhuaco. Tender a la utilización de gas a granel.
- Prohibición, en todo el ámbito del área crítica, de la realización de actividades industriales de canteras, represas y/o embalses, y de la realización de actividades comerciales con instalación de infraestructura fuera de los sectores de “uso público intensivo”.

En resumen, se puede decir que el área de la cuenca alta del arroyo Ñireco y Challhuaco se encuentra actualmente en una situación de “comanejo” en donde existen dos actores involucrados como Parques Nacionales con su estructura y legislación propia, y las comunidades del pueblo mapuche las cuales desarrollan sus actividades según su cosmovisión.



Figura 85. ingreso al área de la comunidad mapuche.

Cuenca media-baja:

En esta zona intervienen muchos más actores, tales como la Municipalidad de San Carlos de Bariloche a través de la Secretaría de Desarrollo Urbano, la Secretaría de Turismo y la Secretaría de Obras y Servicios Públicos, el Consejo de Planeamiento Estratégico (CPE) y la Unidad de Planeamiento Estratégico (UPE), a nivel provincial el Departamento Provincial de Aguas, La Dirección de Bosques de la Provincia de Río Negro y su organismo regional el Servicio Forestal Andino, por último instituciones académicas y de investigación, juntas vecinales y organizaciones locales.

En base al análisis de la legislación presentada en el capítulo 6 y teniendo en cuenta que toda la cuenca media y baja del arroyo Ñireco se encuentran dentro del ejido de la Ciudad de S. C. de Bariloche se desprende que la Municipalidad es la autoridad con poder de policía en todo el ejido municipal reivindicando de Nación y Provincia su facultad de concurrir a la protección y preservación de sus recursos naturales, definir el desarrollo ambiental y decidir la fisonomía productiva de la ciudad. (Carta Orgánica S. C. de Bariloche, 2007)

La municipalidad de S. C. de Bariloche creó en el año 2011 el Plan de Ordenamiento Territorial, una herramienta para el análisis en la toma de decisiones que afecten a la organización del territorio, con el objetivo de mejorar la calidad de vida de la población, mitigar los riesgos y reducir el impacto ambiental. En este plan participaron todos los actores nombrados anteriormente generando lineamientos de trabajo y proponiendo políticas, instrumentos y proyectos para el ordenamiento territorial de Bariloche.

Si nos referimos exclusivamente al arroyo Ñireco se debe tener en cuenta a las líneas de riesgo hídrico para la planificación urbana en el área de influencia del cuerpo de agua. En particular la Línea de Ribera se definió en el Código Civil del año 1871 como el límite entre el dominio público hídrico y el dominio privado. En la provincia de Río Negro el Código de Aguas otorga competencia al Departamento Provincial de Aguas para la determinación de las líneas de Riesgo Hídrico. En el año 2012 el DPA llevó a cabo el “Estudio para la determinación de las Líneas de Riesgo Hídrico” en donde se demarcan las Líneas de Riesgo Hídrico (LRH) en el tramo B° Vivero – Desembocadura. En base a las restricciones de estas zonas, la Línea de Evacuación de Crecidas demarca un área inundable que deberá quedar libre de obstáculos para la evacuación de las crecidas normales, evitando las construcciones, mientras que la Línea de Inundación también es un área inundable, pero se permite construir con ciertas restricciones. Además, en el *Título III De la administración de los recursos hídricos, Artículo 16* declara” El Departamento Provincial de Aguas, como autoridad de aplicación del presente Código, tendrá a su cargo, a los fines de proveer en todo lo relativo a la tutela, gobierno, administración y policía de los recursos hídricos provinciales, así como a la regulación de su uso y goce y la prevención contra sus efectos nocivos...”.

Por lo tanto, en la cuenca media-baja del arroyo Ñireco se pueden dividir las competencias entre el curso mismo del arroyo, jurisdicción del DPA, y las zonas fuera de las LRH con jurisdicción municipal trabajando a través de los instrumentos y herramientas presentadas en este inciso.

10.3. Plan de intervención

10.3.1. Medidas no estructurales

10.3.1.1. Plan Maestro de la Cuenca del Arroyo Ñireco.

Promover la creación de un plan de manejo integro de la totalidad de la cuenca que tenga como referentes a personas pertenecientes a la Municipalidad de Bariloche, al Parque Nacional Nahuel Huapi y al Departamento Provincial de Aguas, incluyendo en la formulación de medidas a organizaciones civiles, instituciones de investigación y/o universidades.

La meta de este plan debería ser la preservación de la seguridad y/o salud de la población de la cuenca media y baja en base a un desarrollo futuro sostenible de toda la cuenca del Ñireco, incluyendo desde las áreas boscosas hasta las zonas urbanas.

El objetivo principal de este plan sería la clasificación y determinación de los usos de suelo en las áreas que influyen directamente en el escurrimiento y/o los cursos de agua, como cabeceras de los arroyos Ñireco y Challhuaco y subcuencas que generen aportes de caudal significativos.

Muchas de las acciones que abarcaría este plan se detallan en este inciso, tales como:

- Conservación de los bosques en la cuenca alta.
- Mapas de riesgo.
- Sistema de drenaje urbano sostenible.
- Restauración y conservación de la cuenca media y baja resumido en un parque lineal.

10.3.1.2. Conservación de la cuenca superior.

Al ser las subcuencas Ñireco Superior 1, Challhuaco Superior 1 y 2 e Inferior las que aportan el mayor porcentaje de caudal, se debe prestar particular atención a la conservación de las mismas. Por jurisdicción se encuentran dentro del Parque Nacional

Nahuel Huapi, por lo tanto, la preservación y conservación corre por cuenta de esta institución. Además, se puede corroborar el loteo de tierras perteneciente a un barrio privado ubicado en la zona de la subcuenca Ventana 1, esta se encuentra al límite del ejido municipal.

Desde el incendio ocurrido en la década del '90 en la cuenca del Challhuaco no se han llevado a cabo planes de restauración y/o remediación de la zona afectada. Al día de hoy la regeneración de la vegetación se dio por sí sola, aunque a pesar de haber pasado más de 20 años las condiciones están lejos de ser las iniciales.

Para acompañar esta restitución natural se debería implementar un control y monitoreo más estricto en el cual se puedan identificar rápidamente los principios de incendios durante las épocas más sensibles (diciembre, enero y febrero), ya que los incendios forestales que se dan en esta zona son, en su mayoría, intencionales.

10.3.1.3. Comunicación y participación social

Es de vital importancia que la población esté informada sobre los riesgos y condiciones desencadenantes que lo originan, en base a esto, la comunicación y la educación son factores fundamentales en la generación de conciencia mediante el conocimiento y comprensión de lo que ocurre actualmente o podría llegar a ocurrir. Por más que se tenga el mejor plan de emergencias y/o contingencias o una adecuada propuesta de ordenamiento territorial, pierden toda su eficacia si los riesgos no están asumidos por la población.

Esto se podría llegar a aplicar mediante programas educativos específicos en relación a la temática del agua y del recurso hídrico en las escuelas tanto primarias como secundarias, en juntas vecinales, charlas abiertas al público, propagandas en medios de comunicación, entre otras.

El objetivo principal de este ítem es ponderar a la comunicación como un componente fundamental para la socialización de la gestión de riesgos con el fin de garantizar que

todos los actores y sectores tengan acceso oportuno a la información necesaria para poder contribuir en las decisiones y acciones.

10.3.1.4. Pronóstico de alerta temprana.

Como se nombró en el capítulo 3 “Medidas estructurales”, sección “acciones estructurales”, inciso “pronósticos de alerta temprana”, contar con un sistema de alerta temprana es de gran importancia para la toma de decisiones inmediatas frente a un evento de gran magnitud.

En el caso de la cuenca Ñireco sería recomendable la instalación de distintas estaciones automáticas para la colecta de datos hidrometeorológicos tanto en la cuenca alta del arroyo Ñireco como en la cuenca del arroyo Challhuaco. Lo aconsejable sería la instalación de estaciones meteorológicas y estaciones de aforo ya que actualmente dentro de la cuenca solo se cuenta con aforos puntuales y no existen mediciones continuas de caudal.

Con estas estaciones se generaría un sistema de medición en tiempo real el cual se utilizaría para modelizar la respuesta hidrológica de la cuenca Ñireco en dos niveles:

- Modelo hidrológico: simula la generación de las escorrentías en cada subcuenca a partir de las precipitaciones observadas o previstas.
- Modelo hidráulico: simula el transporte de las escorrentías calculadas por el modelo hidrológico a través de los principales tributarios que conforman la red hidrográfica del río Ñireco.

10.3.1.5. Mapas de riesgo.

La zonificación se debe realizar en función del riesgo asociado a cada sitio dentro de la cuenca, el mismo estará sujeto a la densidad poblacional y las líneas de riesgo hídrico. Esto se realiza sobre la macha hidráulica que dejaría una crecida en base a un periodo de retorno mediante el empleo de sistemas de información geográfica, o también con el HEC-RAS, que tiene la capacidad de delimitar las zonas inundadas a partir de simulaciones hidráulicas del evento utilizando modelos digitales de terreno.

En base al mapa de riesgo generado se podrá evaluar la afectación de daños potenciales, establecer restricciones de uso y dominio del suelo, y también la realización de planes de protección civil.

El arroyo Ñireco actualmente tiene definidas sus líneas de riesgo hídrico desde la desembocadura hasta el barrio Vivero. Como la zona aguas arriba a este punto es propensa al emplazamiento de viviendas, se sugiere extender las LRH hasta la confluencia de los arroyos Ñireco y Challhuaco.

10.3.2. Acciones estructurales

10.3.2.1. Sistema de drenaje urbano sostenible.

Se denominan de este modo ya que a través de su implementación se intenta recuperar el ciclo del agua en la ciudad. Este nuevo tipo de sistema se basa en actuaciones de prevención, gestión en origen, gestión en el transporte y gestión en el tratamiento previo a la infiltración definitiva, para lo cual se clasifican de la siguiente manera: (Prieto, 2009)

Sistemas de control en origen:

- Evitan la escorrentía superficial y recuperan la capacidad de infiltración original.

Incluyen:

- Superficies permeables: Superficies que permiten el paso directo del agua al terreno.
- Pozos y zanjas de infiltración: perforaciones rellenas de material granular que recogen y almacenan el agua de escorrentía para su infiltración.
- Depósitos de infiltración: depresiones del terreno vegetadas diseñadas para almacenar e infiltrar gradualmente la escorrentía generada en superficies contiguas.
- Cubiertas vegetales: cubiertas de edificaciones con plantaciones y sustrato que retienen el agua.

Sistemas de transporte permeable:

- Transportan lentamente el agua de escorrentía permitiendo la filtración, el almacenamiento, la infiltración e incluso la evaporación y oxigenación.
 - Drenes filtrantes: zanjas recubiertas de material geotextil y rellenas de grava.
 - Cunetas verdes: Canales vegetados con hierba, que conducen el agua de escorrentía desde las superficies de drenaje a un sistema de almacenaje o a una conexión con el alcantarillado existente.

Sistemas de tratamiento pasivo:

- Eliminan y descomponen los contaminantes del agua al final del proceso de tratamiento.
 - Franjas filtrantes: sección de terreno vegetado con leve inclinación diseñado para recibir y filtrar la lámina de escorrentía atrapando sólidos y aceites.
 - Depósitos de detención: depresiones diseñadas para frenar durante unas horas la escorrentía de las tormentas y permitir la sedimentación de los sólidos en suspensión.
 - Estanques de retención: depresiones del terreno con volumen de agua permanente.
 - Humedales artificiales: amplias superficies de agua poco profundas y con vegetación propia de pantanos o humedales naturales.

Medidas preventivas:

- Encaminadas a conseguir buenas prácticas urbanas.
 - Minimizar la escorrentía superficial en la ciudad.
 - Drenar hacia zonas verdes en vez de derivar el agua al alcantarillado.
 - Recoger pluviales para uso posterior: riego, cisternas, lavadoras...
 - Mantener la ciudad limpia de modo periódico.

- Concienciación de fuentes contaminantes: talleres, hospitales...
- Minimizar el uso de herbicidas y fungicidas en parques.
- Educación de los agentes implicados en el diseño y mantenimiento de la Ciudad.

Este tipo de sistema se podría comenzar a utilizar en los barrios que se encuentre dentro de la cuenca y que aún no se haya construido el sistema de drenaje. Tales como los ubicados al Sur y Este de Bariloche.

10.3.2.2. Presas rompe picos

En base a los resultados de la modelación, el mayor aporte de caudal pertenece a las cuencas Ñireco Superior y Challhuaco, por lo tanto, para realizar esta modificación en estas cuencas se tendría que realizar un estudio detallado de los cauces menores perennes e intermitentes para identificar cuáles son los que mayor caudal aportan a la esorrentía.

Para arroyos de montaña estas obras generalmente no deben exceder los 10 metros de altura y su funcionamiento se basa en la regulación de las crecidas a lo largo del cauce sobre la que están emplazadas.

Este tipo de obra generaría como resultado una disminución del caudal pico y también un retraso en el tiempo.

10.3.2.3. Parque lineal.

Otra acción que impidiera los asentamientos urbanos en zonas de alto riesgo, sería el desarrollo de un parque lineal, esto mejoraría la gestión de las zonas dentro del dominio público hídrico definido por las LRH.

El objetivo principal de la creación de parques lineales se basa en crear un espacio verde público como estructurador urbano de uso fundamentalmente recreativo y turístico, mantener el carácter natural del río, potenciando al paisaje como eje vertebrador del

proyecto y también tener en cuenta las características propias del área, las necesidades de la población y la potencialidad turística, sin dejar de lado las cuestiones ambientales. (ACRA, 2016).

Este parque lineal se podría construir desde el barrio 112 viviendas, hasta el cruce con la ruta de circunvalación abarcando una longitud de 5 km aproximadamente. Se elige esta zona debido a que está muy próxima a distintos barrios, y como ya se nombró con anterioridad, es potencial zona de ocupación. Además, al no estar modificado el cauce del arroyo solo se tendría que instalar estructuras tales como senderos, miradores, zonas de descanso y/o recreación.

10.4. Evaluación del impacto en la cuenca con plan de intervención

En este apartado se evalúa el resultado de las acciones que se plantearon para la cuenca media-alta en base al modelo hidrológico utilizado en el objetivo I utilizando la tormenta de 8 horas y una recurrencia de 20 años.

10.4.1. Presas rompe-picos.

Estas estructuras, como se aclaró anteriormente, retardan el caudal durante una tormenta lo que se refleja dentro del modelo como un aumento en el parámetro “tiempo de concentración” pertenecientes a los cauces.

Para modificar los parámetros de los cauces se usó como referencia un ensayo a escala donde se modeló una cuenca de 1,24 km² con distintos usos de suelo y la aplicación de una presa rompeticos en la salida, los resultados indican que el caudal pico se reduce cuatro veces comparado con la cuenca antes de la presa (Hernández & Contreras, 2018).

En las condiciones actuales en que se encuentra la cuenca del Ñireco y suponiendo que se construyan presas que descarguen su volumen cuatro veces más lento que si no estuviese esta obra presente se obtienen los siguientes resultados:

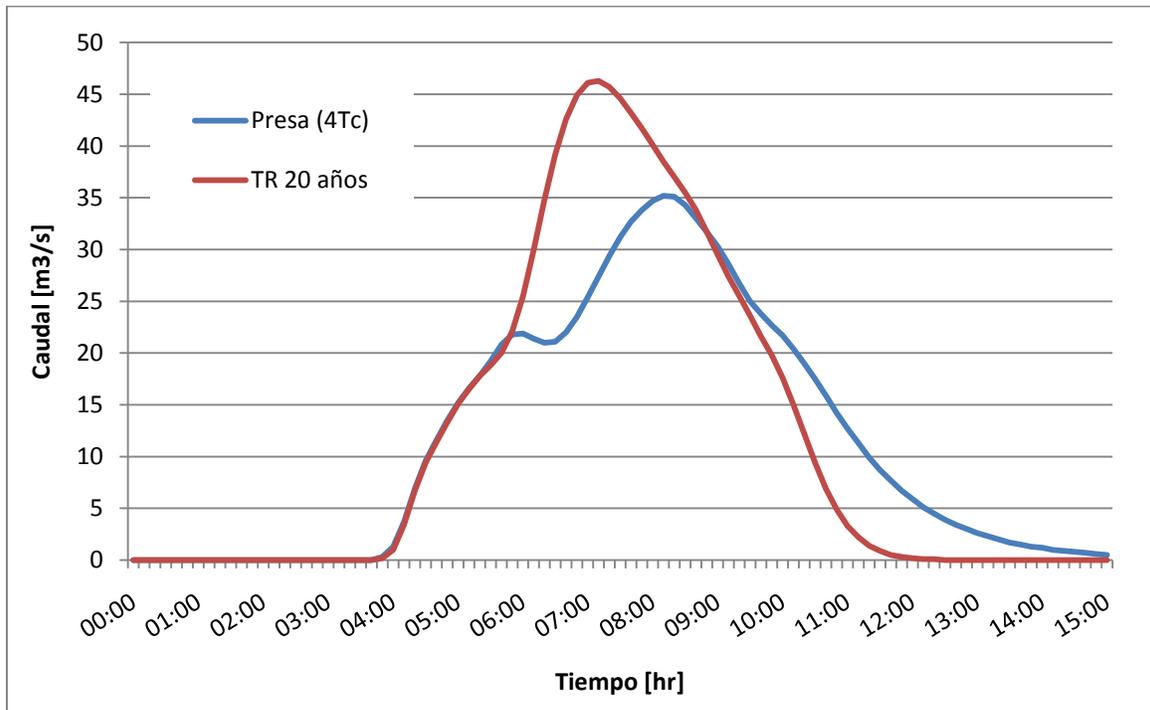


Figura 86. Comparación entre hidrogramas TR 20 años vs cuenca con presas 4*Tc, medidos en la desembocadura del arroyo Ñireco. Fuente: Elaboración propia.

Como se observa en la figura 86, el pico del hidrograma se atenúa de 46 a 35 m³/s, representando una disminución del 24% y a su vez se retrasa 90 minutos con respecto al TR 20 años.

Si se supone que se construyen presas capaces de descargar sus aguas ocho veces más lento se obtiene lo siguiente:

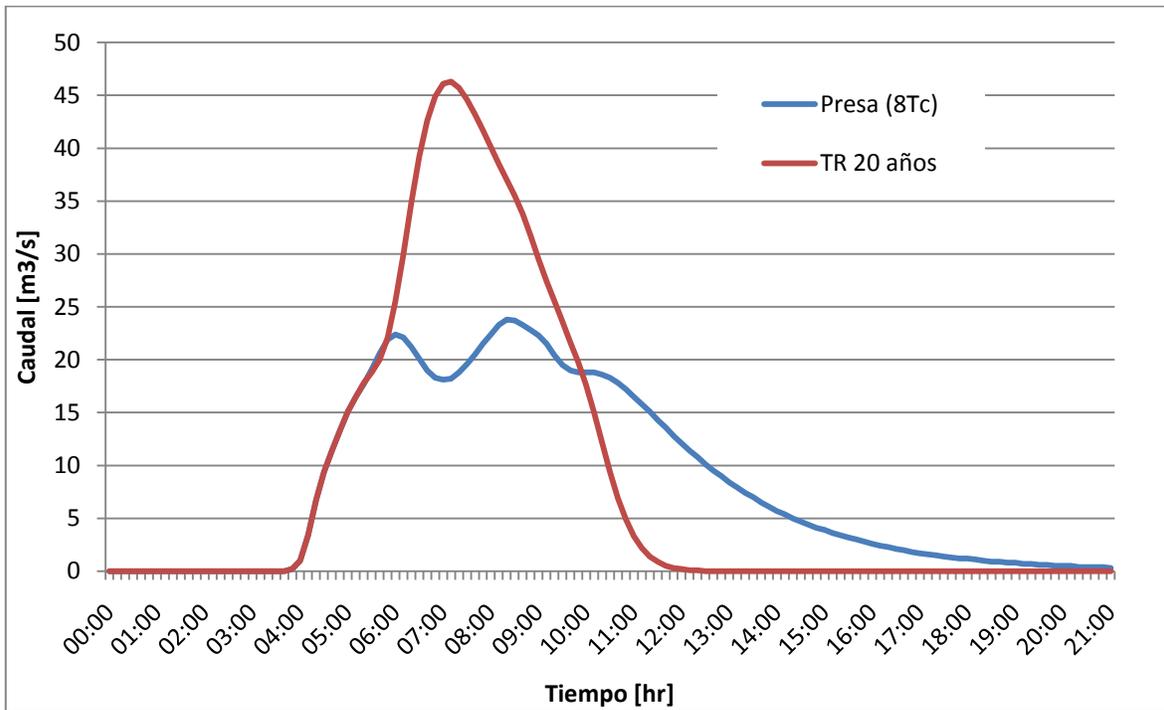


Figura 87. Comparación entre hidrogramas TR 20 años vs cuenca con presas 8*Tc, medidos en la desembocadura del arroyo Ñireco. Fuente: Elaboración propia.

Como se observa en la figura 87, el pico del hidrograma se atenúa de 46,3 a 23,8 m³/s, representando una disminución del 49% y a su vez se retrasa 110 minutos con respecto al TR 20 años.

La ubicación de las posibles presas se presenta en la figura 88.

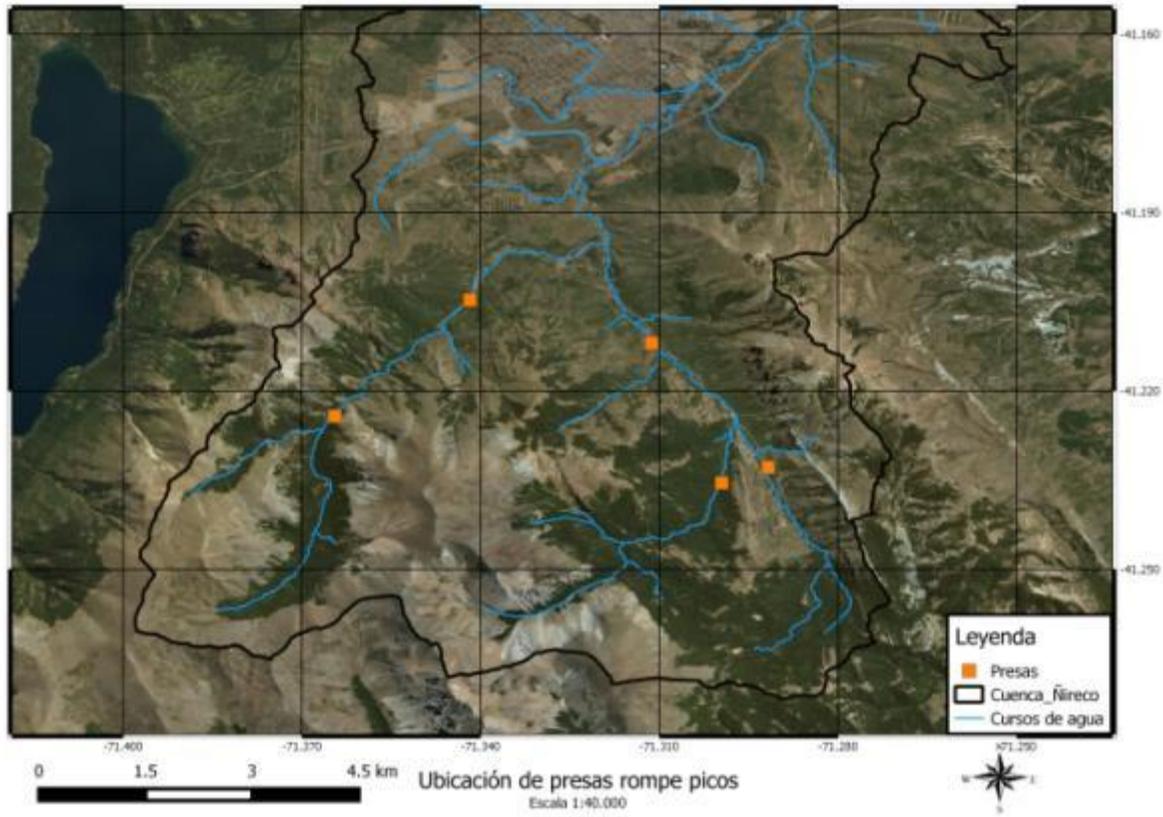


Figura 88. Ubicación de posibles presas rompe-picos en la cuenca alta de los arroyos Ñireco y Challhuaco.

10.4.2. Revegetación en la cuenca alta

Para modelar esta acción se modificaron los valores de CN de las subcuencas afectadas por incendios. Estos fueron determinados mediante una discretización visual de imágenes satelitales de Google Earth y visitas a campo. Las fotografías se adjuntan en el Anexo 14.3.

En este primer caso se modificaron los parámetros pertenecientes a las subcuencas Challhuaco Inferior y Ñireco Superior, ya que se pretendió replicar las condiciones previas al gran incendio del año 1996 en el cual se consumieron 1278 hectáreas de bosque nativo en el valle del Challhuaco.

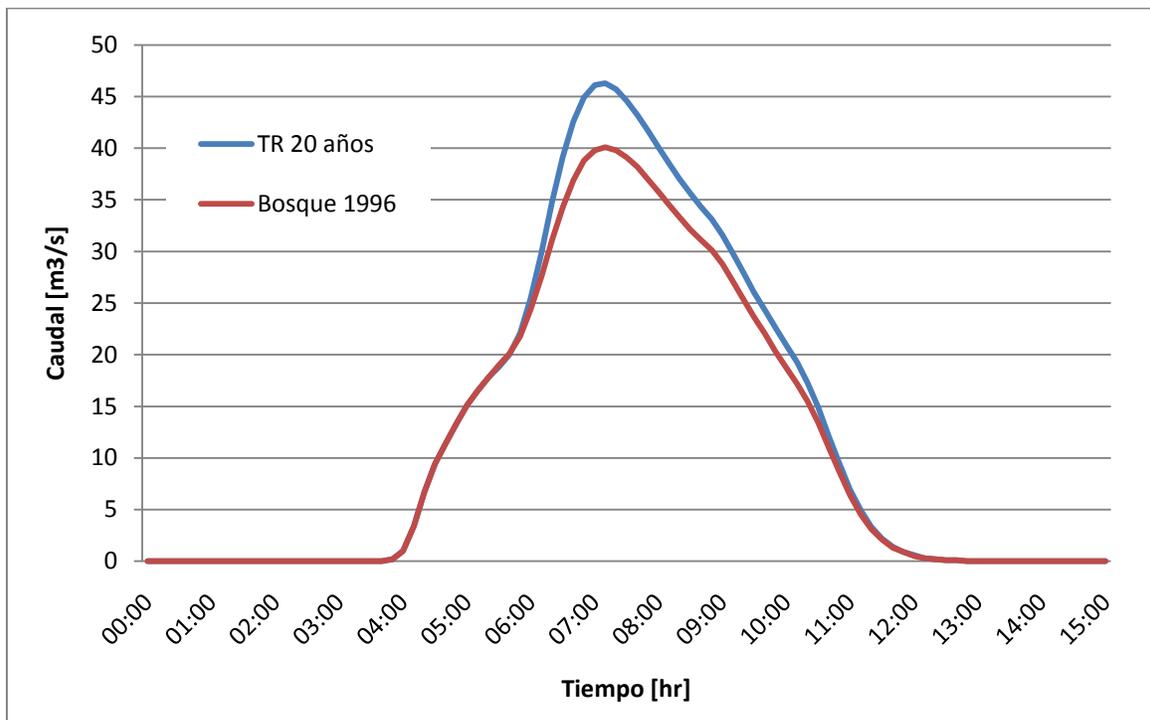


Figura 89. Comparación entre hidrogramas TR 20 años vs cuenca reforestación de bosque quemado en 1996 medidos en la desembocadura del arroyo Ñireco. Fuente: Elaboración propia.

En base a esta modelación se observa la modificación del hidrograma en el caso de que el incendio de 1996 no hubiese ocurrido o en su defecto, se haya llevado a cabo una reforestación total de inmediato. El pico del hidrograma disminuye desde 46,3 a 40,1 m³/s representando un 13% con respecto al TR 20 años.

Reforestando otros parches de incendios posteriores en las subcuencas Challhuaco Superior 1 y Ventana 1 se obtienen los siguientes resultados:

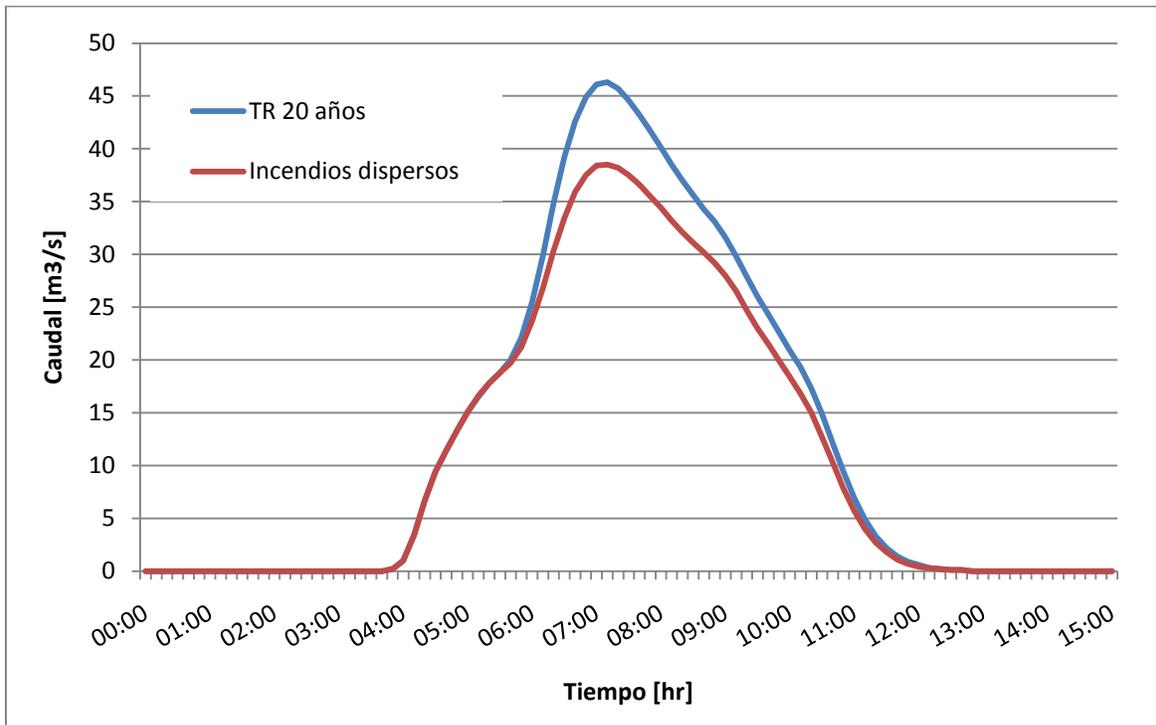


Figura 90. Comparación de hidrogramas de salida entre TR 20 años vs cuenca reforestación de parches dispersos de bosque quemado. Fuente: Elaboración propia.

En base a esta modelación se observa que el pico del hidrograma disminuye de 46,3 a 38,5 m³/s representando un 17% con respecto al TR 20 años. Esta reforestación implica aproximadamente unas 600 hectáreas.

Si se plantea llevar a cabo la reforestación de todas las zonas degradadas por incendios en la cuenca alta, esto implicaría la restitución de aproximadamente 1878 hectáreas, los resultados serían los siguientes:

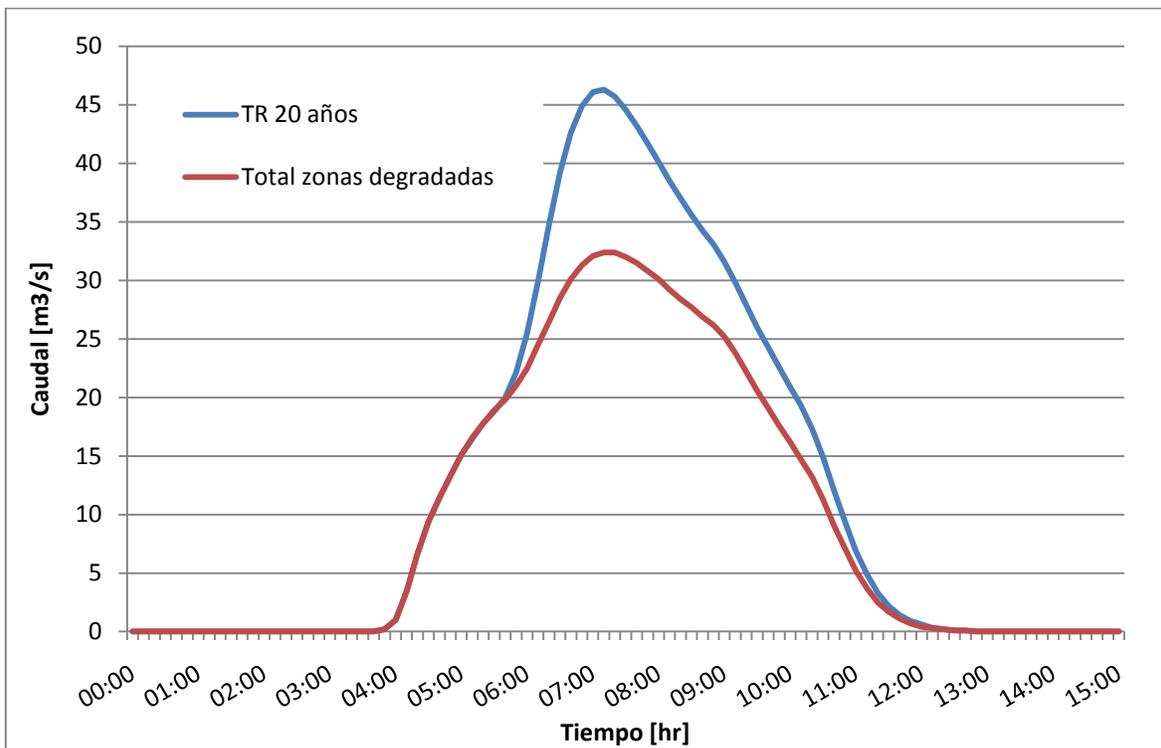


Figura 91. Comparación de hidrogramas de salida de TR 20 años vs cuenca con reforestación de todas las zonas degradadas por incendios. Fuente: Elaboración propia.

En base a este modelado se observa una marcada atenuación del hidrograma de salida, el caudal pico disminuye de 46,3 a 32,4 m³/s, representando un 30% con respecto al TR 20 años.

10.4.3. Sistema de drenaje urbano sustentable.

Para esta modelación se buscó en la bibliografía experiencias donde se haya aplicado este nuevo sistema y su eficiencia con respecto al sistema de drenaje clásico.

En España, Madrid, se desarrollaron experiencias a pequeña escala (hasta 12.400 m²) en donde se trabajó principalmente con drenes filtrantes los cuales dirigen el agua a jardines vegetados o a depósitos enterrados de infiltración, además las zonas de calles y veredas estaban compuestas por pavimento permeable. Las eficiencias se midieron en base a una modelización numérica dando como resultado una reducción del 69% al 92% del volumen

total anual con respecto a la implementación de un sistema de drenaje convencional (Perales, 2016).

Otra proyecto en Alicante en una zona más extensa (3 km² aproximadamente) en donde se combinaron varias estructuras como parques inundables, cunetas vegetadas, depósitos de infiltración, jardines de lluvia, cubiertas vegetadas y pavimentos permeables arrojó como resultado de la modelación numérica una eficiencia de 20 a 50% con respecto a un sistema de drenaje convencional (Jaime & Rodríguez, 2016).

En base a estas experiencias se modificaron los CN de las cuencas urbanas simulando una disminución de escorrentía del 40%. Se eligió este valor ya que la experiencia de Alicante se desarrolló en una zona urbanizada, mientras que los de Madrid se acotaban a zonas verdes o exteriores de edificaciones.

Se determinó, utilizando el HEC-RAS, que para que exista una disminución cercana al 40% del volumen escurrido, los CN de las subcuencas urbanas se tendrían que ponderar por un factor de 0,95.

Aplicando esta corrección se obtiene el siguiente resultado:

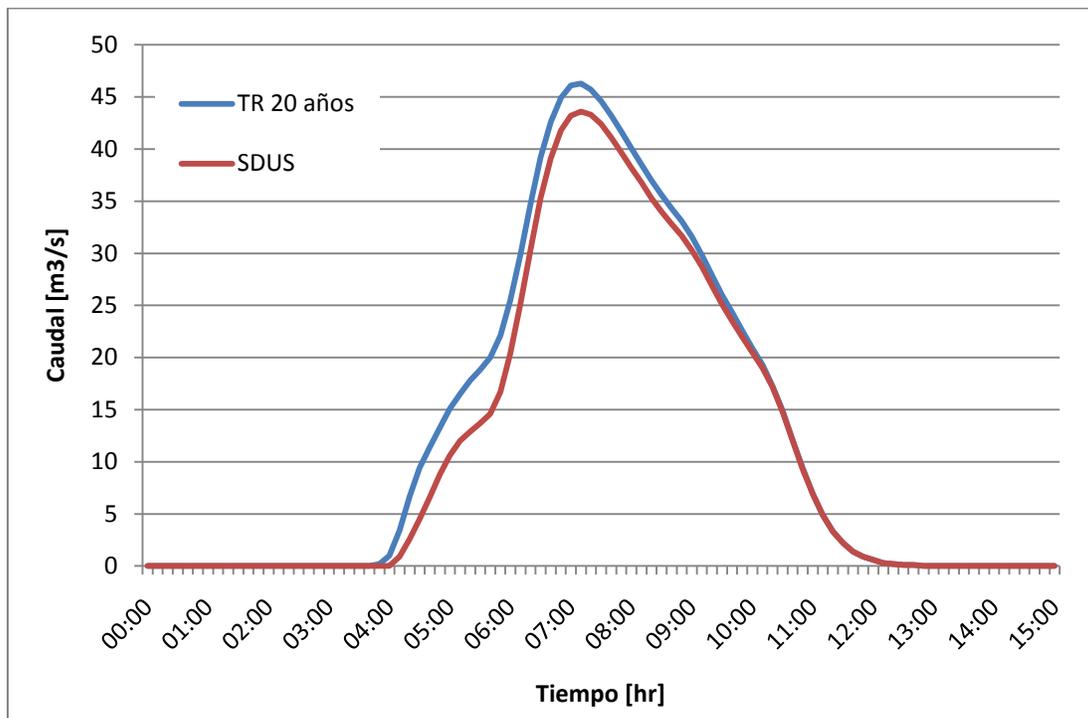


Figura 92. Comparación de hidrogramas de salida de TR 20 años vs subcuencas urbanas con SDUS. Fuente: Elaboración propia.

Del modelado se observa que la diferencia no es muy grande, el caudal pico tan solo disminuye 6% pasando de 46,3 m³/s a 43,6 m³/s.

Esta diferencia mínima responde al análisis de caudales que se muestra en la tabla 10. Las subcuencas urbanas aportan un caudal del orden del 10% con respecto al total de la cuenca.

10.5. Análisis de resultados:

De los resultados arrojados por las 3 acciones que se plantearon, la construcción de presas rompepicos, que logren retrasar los caudales ocho veces más que si no estuviera la obra, presenta una mejor respuesta frente a los otros escenarios. La implementación de un plan de reforestación total de las áreas degradadas por incendios (aproximadamente 1800 hectáreas) queda en segundo lugar, seguida por la construcción de presas rompepicos que retarden cuatro veces los caudales y por último la implementación de sistemas urbanos de drenaje sostenible en las zonas urbanizadas.

Como se observa las acciones en la cuenca alta son las que tienen más repercusión en los hidrogramas de salida, esto afirma, una vez más, que la cuenca alta del Ñireco es la que tiene más peso por sobre la cuenca media-baja a la hora de evaluar un evento de precipitaciones intensas.

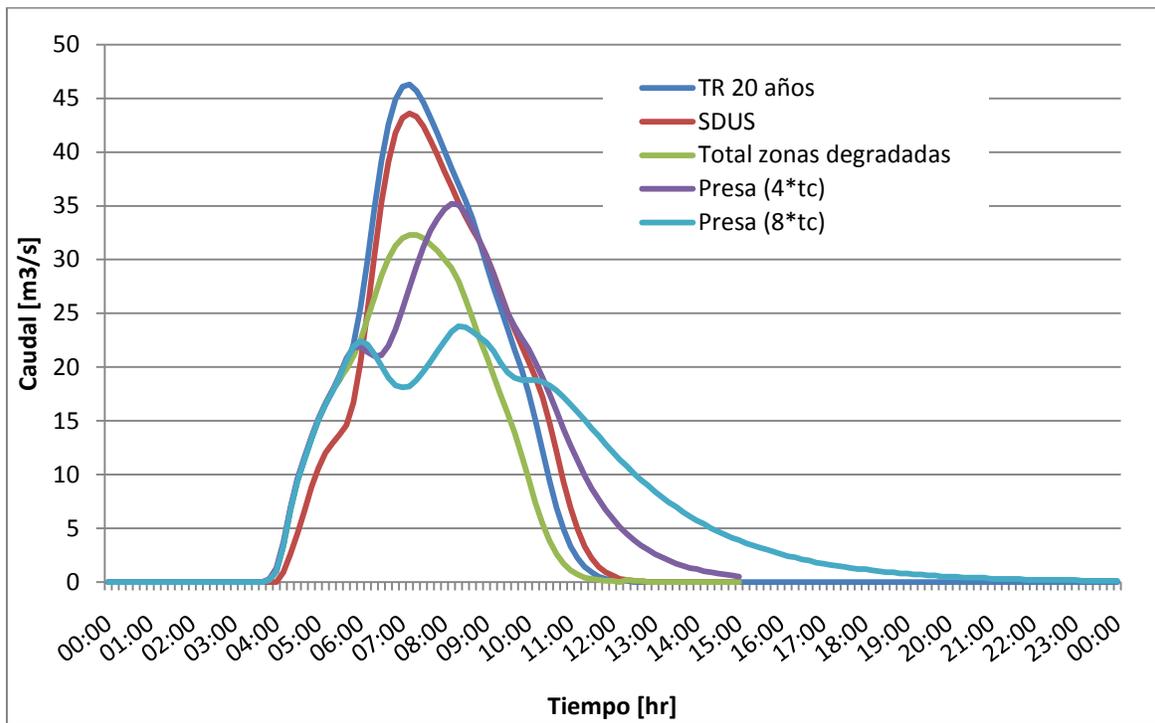


Figura 93. Comparación de TR 20 años vs las acciones estructurales en la cuenca. Fuente: Elaboración propia.

El resumen de la Figura 93 se muestra en la Tabla 25, en donde se observa que las presas, al ser solo obras retardantes de flujo, disminuyen el caudal pico entre 24% para 4Tc y 49% para 8Tc sin embargo el volumen no disminuye. En este caso, el modelado de las presas incrementó el volumen entre un 1% y un 2%, esto se puede deber al algoritmo de la modelación o a otro factor interno del software. La reforestación es la obra estructural que obtiene el mayor porcentaje de reducción en relación a volúmenes totales, alcanzando un 22% con respecto al TR 20 años, seguida del SDUS que reduce en un 10%.

Tabla 25. Comparativa porcentual de TR 20 años vs acciones estructurales.

Obras Estructurales	Volumen total [Hm ³]	Caudal pico [m ³ /s]	% Reducción	
			Volumen total [Hm ³]	Caudal pico [m ³ /s]
Tr 20 años	616,8	46,3	-	-
Presa (4*Tc)	623,8	35,2	-1%	24%
Presa (8*Tc)	629,2	23,8	-2%	49%
Reforestación	481,0	32,3	22%	30%
SDUS	555,4	43,6	10%	6%

10.6. Cronograma de medidas

Las acciones propuestas tienen determinadas prioridades con respecto al tiempo de implementación. A continuación, se presentan las medidas que se deben realizar a corto plazo, seguido de las que se pueden ejecutar a largo plazo.

Medidas a corto plazo:

Estas medidas se caracterizan por no tener grandes complejidades estructurales ni poseer un presupuesto demasiado elevado. Además, la implementación eficaz de estas medidas daría una respuesta rápida frente a situaciones de riesgo.

Medidas a largo plazo:

Este tipo de medidas llevan un tiempo más prolongado en su implementación debido a su naturaleza, ya que se deben coordinar acciones y planes entre diferentes instituciones, cada una con diferentes políticas de manejo. También estructuralmente son más complejas ya que se debe cambiar de paradigma en relación al ciclo hidrológico del agua, lo que se refleja en el diseño e implementación de nuevas obras civiles tanto urbanas como rurales.

Tabla 26. Cronograma de medidas.

		Medidas a corto plazo	Medidas a largo plazo
Medidas No Estructurales	Plan maestro		x
	Conservación cuenca superior	x	x
	Pronóstico de alerta temprana	x	
	Mapas de riesgo	x	
Medidas Estructurales	SDUS		x
	Presas rompe picos		x
	Parque lineal	x	

11. Conclusiones

La modelación de la cuenca se pudo diseñar y ejecutar de manera satisfactoria dando resultados acordes a los reales. Sin embargo, se tiene que tener en cuenta que las actividades y/o uso de suelos dentro de la cuenca se van modificando continuamente, por lo que los resultados generados en este trabajo solo son representativos de la situación actual de la cuenca Ñireco.

En base a los resultados obtenidos de la modelación de los escenarios en donde se realizan modificaciones dentro de la cuenca afectando el escurrimiento superficial, se observó que todas las acciones que afectan la cuenca alta generan más repercusiones en los hidrogramas de salida. Esto se debe a que las subcuencas Ñireco Superior, Challhuaco Superior 1, 2 e Inferior representan más de la mitad de superficie total de la cuenca Ñireco, además, como es natural, las cabeceras de este tipo de cuencas son las que reciben mayor intensidad de precipitación debido a que se encuentran en cotas altas, comparando con las zonas de planicie y/o descarga.

De la modelación de las acciones estructurales se concluye que la construcción de presas rompepicos es la práctica que mejores resultados genera. Sin embargo, se debe tener en cuenta que la presa que se utilizó de la bibliografía la cual disminuía 4 veces la respuesta de un cauce, tenía una dimensión de 5 metros de altura y una zona de captación/almacenamiento de 70 metros de ancho por 90 metros de largo aproximadamente. Si se pretende realizar presas rompepicos que dupliquen este valor, las dimensiones de las obras serían mucho mayores lo que implicaría un alto disturbio en el ecosistema de estos arroyos.

La otra práctica que origina buenos resultados es la forestación de las zonas afectadas por incendios, ya que logrando restituir los servicios ambientales que ofrecen las áreas degradadas por el fuego se logra disminuir el caudal pico en un 30%.

Por último, queda la implementación de los SDUS, que a pesar de su eficacia de reducir hasta el 40% el volumen total escurrido, en este caso, no influye significativamente en el hidrograma de salida. Esto se debe a que las zonas urbanizadas ocupan aproximadamente

el 20% del total de la cuenca. No obstante, este sistema daría una solución concreta a las inundaciones que se dar por encharcamiento en los barrios del sur.

12. Recomendaciones

Para una correcta gestión de caudales se recomienda la utilización de variadas acciones estructurales como las ya mencionadas, ya que todas presentan fortalezas y debilidades.

Con las presas rompepicos se determinó que su utilización es eficiente pero su construcción no es amigable al entorno natural de los arroyos, sin embargo, se pueden diseñar de menores dimensiones o en forma de cascada, lo que causaría mucho menor impacto ambiental.

La reforestación total de los parches de incendios implicaría un esfuerzo enorme ya que se plantea la restauración de aproximadamente 1800 hectáreas. El incendio que se produjo en el valle del Challhuaco inferior se está recuperando lentamente de forma pasiva, aunque a pesar de que hayan pasado más de 20 años de este trágico evento, la vegetación cubrió la mayoría de las zonas quemadas, aunque solo se desarrolla del tipo matorral. Lo recomendable sería la implementación de un estricto plan de manejo y prevención contra incendios y tala desmedida llevada a cabo por la intendencia del PNNH en conjunto con las comunidades de pueblos originarios que se encuentran en la zona. Además, se debe poner en conocimiento la importancia de los bosques de la cuenca alta, esta se ve reflejada en el Escenario 5, en donde se plantea la deforestación total de los bosques dando como resultado un hidrograma con un caudal pico extremo de más de $160 \text{ m}^3/\text{s}$ por lo tanto es prioridad cuidar este recurso natural.

Como se destacó durante el desarrollo de este trabajo, las acciones estructurales generan una falsa sensación de seguridad, sin embargo, acompañadas de un adecuado plan de medidas no estructurales pueden dar respuesta ante eventos simulados en la ejecución de este trabajo.

13. Bibliografía

ACRA. (2016). *Estudio Integral de la Cuenca del Río Azul y Casos de Estudio*.

Ambrosino, s., Barbeito, O., Bertoni, C., Daniele, A., Maza, J., Paoli, C., y otros. (2004). *Inundaciones Urbanas en Argentina*. Córdoba, Argentina.

Ambrosino, S., Barbeito, O., Bertoni, J. C., Daniele, A., Maza, J. A., Paoli, C. U., y otros. (2004). *Inundaciones Urbanas en Argentina*. Córdoba.

ANB. (4 de Diciembre de 2008). *Comunidad Mapuche se instaló en el Valle del Challhuaco para "recuperar" tierras*. Recuperado el 23 de Agosto de 2019, de <https://www.anbariloche.com.ar/noticias/2008/12/04/6509-comunidad-mapuche-se-instalo-en-el-valle-del-challhuaco-para-recuperar-tierras>

Aradas, R. D. (2005). *El Uso de Modelos Matemáticos en la Simulación de Inundaciones Pluviales. Su Aplicación en el Plan Maestro de la Ciudad de Buenos Aires*. Academia Nacional de Ingeniería.

Banco Mundial. (2000). *Argentina, Gestión de los Recursos hídricos. Elementos de política para su desarrollo sustentable en el siglo XXI*. Volumen I - Informe Principal.

Bariloche 2000. (6 de Julio de 2006). Recuperado el 28 de 10 de 2017, de <https://www.bariloche2000.com/noticias/leer/licitan-obras-para-el-nireco/17693>

Bariloche 2000. (10 de octubre de 2016). Recuperado el 23 de agosto de 2019, de <https://www.bariloche2000.com/noticias/leer/denuncian-tala-indiscriminada-en-el-cerro-challhuaco/102527>

Bariloche 2000. (27 de Marzo de 2017). *Un alud provocó turbiedad en el agua*. Recuperado el 14 de Febrero de 2018, de <https://www.bariloche2000.com/noticias/leer/turbiedad-en-el-agua-preocupa-a-los-vecinos/106001>

Bello, O. D., Ballesteros, J., Buitrago, M., González, M., & Velasco, O. (2018). *Análisis retrospectivo de las inundaciones: lecciones y recomendaciones*. Naciones Unidas: CEPAL.

Bertoni, C. J., & Maza, J. A. (2004). Introducción General. En S. Ambrosino, O. Barbeito, J. C. Bertoni, A. Daniele, J. A. Maza, C. U. Paoli, y otros, *Inundaciones Urbanas en Argentina* (págs. 13-19). Cordoba.

Bertoni, J. C. (2001). Etude hydrologique et analyse des incertitudes sur trois bassins versants semi urbanisés de la région centrale d'Argentine. *These de Doctorat* . Université Montpellier II, Montpellier, France.

Bertoni, J. C. (2012). La problemática de las inundaciones urbanas, el caso de la cuenca Matanza-Riachuelo. *Voces en el Fenix* , 52-61.

Bertoni, J. C. (2004). Rasgos físicos característicos de Argentina. En J. C. Bertoni, *Inundaciones Urbanas en Argentina* (págs. 23-43). Córdoba.

Bertoni, J. C. (2004). Urbanización y Drenaje Urbano en Argentina. En J. C. Bertoni, *Inundaciones Urbanas en Argentina* (págs. 43-73). Córdoba.

BM. (2016). *Informe Ambiental de País: Argentina*. Grupo del Banco Mundial.

Calcagno, A., Mendiburo, N., & Novillo, M. G. (2000). *Informe sobre la gestión del agua en la República Argentina*. Agua para el Siglo XXI, de la Visión a la Acción.

Carignano, C. (2017). Inundaciones en Córdoba, ¿son realmente eventos extraordinarios y extremos? *Cicterránea* , 12-17.

Casa Rosada. (10 de Febrero de 2017). <https://www.casarosada.gob.ar>. Recuperado el 19 de Abril de 2019, de <https://www.casarosada.gob.ar/informacion/actividad-oficial/9-noticias/38602-se-presento-el-sistema-nacional-para-la-gestion-integral-del-riesgo>

CEPAL. (2003). *Evaluación del Impacto de las Inundaciones y del Desbordamiento del Río Salado en la provincia de Santa Fe, República Argentina, 2003*. Buenos Aires, Argentina: Comisión Económica para América Latina y El Caribe.

Chocat, B. (1997). Aménagement urbain et hydrologie. *La Houille Blanche* , 12-18.

CNA. (2007). *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento*. México DF.

CNA. (2016). *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento*. México DF.

CONAGUA. (2011). *Manual Para el Control de Inundaciones*. Mexico D.F.

DeBano, L. F., Ffolliott, P. F., & Baker, M. B. (1996). Fire Severity Effects on Water Resources. En *A Symposium Proceedings "Effects of Fire on Madrean Province Ecosystems"* (págs. 77-84). USDA Forest Service, General Technical Report RM-GTR-289.

Department of Energy and Water Supply. (2013). *Queensland Urban Drainage Manual*.

Di Rago, D., & Mac Intosh, C. (1997). *Arroyo Ñireco Estudio Hidráulico*. San Carlos de Bariloche: Autoridad Interjurisdiccional De Las Cuencas De Los Rios Limay, Neuquen y Rio Negro.

Diario Rio Negro. (29 de Octubre de 2002). Recuperado el 29 de Octubre de 2017, de <http://www1.rionegro.com.ar/arch200210/s29j08.html>

Diario Rio Negro. (2 de Noviembre de 2002). *Rio Negro*. Recuperado el 21 de Mayo de 2019, de <http://www1.rionegro.com.ar/arch200211/s03j17.html>

DPA. (2011). *Informe Hidrométrico del Arroyo Ñireco*. S. C. de Bariloche: Área de Planificación y Evaluación de Recursos Hídricos.

DPA. (2017). *S. C. de Bariloche Inspección Arroyo Ñireco Superior 19/05/2017*. San Carlos de Bariloche.

Earth Observatory. (16 de abril de 2005). Recuperado el 23 de Mayo de 2019, de Earth Observatory: <https://earthobservatory.nasa.gov/images/5422/great-flood-of-the-mississippi-river-1993>

El País. (9 de Agosto de 1996). La riada de Biescas se cobra 86 vidas. *El País* , págs. 12-16.

EPA. (2003). *Protecting Water from Urban Runoff*. Washington DC: U.S. Environmental Protection Agency.

esposable. (2015). El ejemplo del Órbigo. *esposable* , 84-85.

Gasparini, F. J. (2012). *Caracterización morfométrica de la cuenca alta del río Sauce Grande, Buenos Aires, Argentina*. La Plata Argentina: Septimo congreso de medio ambiente AUMG.

Gavidia, P. (11 de Octubre de 2018). Las inundaciones más catastróficas de las últimas décadas en España. *Tiempo* .

Gobierno de Mendoza. (2006). *Curso de Educación Ambiental*. Mendoza: Mendoza puroambiente.

Heck, J. P., & Reverter, M. (2005). Estabilización de Márgenes y Recuperación de Riberas – Arroyo Ñireco - San Carlos de Bariloche. *Segundo Simposio Regional sobre Hidráulica de Ríos*. Neuquen.

Hernández, M. A., & Contreras, P. T. (2018). Cuantificación Experimental del Volumen Regulado por la Construcción de una Presa Rompepicos. *NTHE* , 66-71.

INDEC. (2010). Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas 2010.

Jaime, T. A., & Rodríguez, H. F. (2016). *Técnicas de Drenaje Urbano Sostenible*. Alicante.

Kreimer, A., Kullock, D., & Valdés, J. B. (2001). *Inundaciones en el Area Metropolitana de Buenos Aires*. Washington, D.C.: The World Bank, Disaster Management Facility.

Larson, L. W. (1996). *The Great USA Flood of 1993*. California: Destructive Water: Water-Caused Natural Disasters-Their Abatement and Control.

Leopold, L. (1968). *Hydrology for urban land planning*. Washinton, US: Geological Survey circular 554.

Lim, K., Engel, B., Tang, Z., Choi, J., Kim, K., Muthukrishnan, S., y otros. (s.f.). *W.H.A.T: Web-based Hydrograph Analysis tool*. Obtenido de <https://engineering.purdue.edu/mapserve/WHAT/>

Losada García, J., Aranda, M. S., Margelí, O. M., Vera, G., & Plaza, G. R. (2004). Trabajos de Fotointerpretación, teledetección y análisis SIG en el GIS-EBRO. En *Metodos Cuantitativos, SIG y Teledetección* (págs. 207-218). Murcia, España.

Madariaga, M. C. (2007). *Interacción entre el ambiente y población en San Carlos de Bariloche*. EEA Bariloche: INTA .

Matossian, B. (2008). Expansión urbana y conformación de barrios populares en San Carlos de Bariloche: el rol de las redes sociales de migrantes chilenos. *Terceras Jornadas de Historia de la Patagonia - Universidad Nacional del Comahue*. San Carlos de Bariloche.

Maza, J. A. (1997). Obras de Protección Para Control de Inundaciones. En *Manual de Ingeniería de Ríos* (pág. 187). México: División de estudios de posgrado. Facultad de Ingeniería. UNAM.

Ministerio de Salud y Desarrollo Social. (s.f.). *argentina.gob.ar*. Recuperado el 2 de Abril de 2019, de <https://www.argentina.gob.ar/salud/desastres/comunicacionderiesgo>

Monserrat, c. (7 de Febrero de 2003). La crecida del Ebro pone en máxima alerta a Zaragoza y obliga a desalojar tres pueblos. *El País* .

Nini, M., Lozeco, C., & Petri, D. (2017). Lineas de Ribera, Riesgo Hídrico y GIRH. Caso del Río Quemquemtreu en El Bolsón, Prov. de Río Negro, Argentina. *Aqua-LAC* , 134-141.

Paoli, C. U., Dondeynaz, C., & Carmona-Moreno, C. (2015). *GESTIÓN INTEGRADA DE CRECIDAS, Guía y Caso de Estudio*. Luxembourg: Publications Office of the European Union.

Perales, M. (2016). Agua y Ciudad, Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible. *Congreso Nacional del Medio Ambiente 2018*. CONAMA.

Pereyra, F. X. (2007). Geomorfología urbana de San Carlos de Bariloche y su influencia en los peligros naturales, Rio Negro. *62* (2).

Pereyra, F. X., & Helms, F. (2006). *Medidas de Protección Barda Ñireco*. San Carlos de Bariloche: SEGEMAR.

Pérez, T. A., & Rojas, O. S. (2004). Metodología para la modelación distribuida de la escorrentía superficial y la delimitación de zonas inundables en ramblas y ríos-rambla mediterráneos. En *Investigaciones Geográficas* (págs. 67-83). Universidad de Alicante: Instituto Universitario de Geografía.

Prieto, I. L. (2009). *Dina-mar.es*. Recuperado el 28 de agosto de 2019, de <http://www.dina-mar.es/file.axd?file=2009%2F11%2Fjia-comunicacion+completa+Ignacio+Prieto.pdf>

Protección civil. (s.f.). *Albergues Provisoriales*. Recuperado el 17 de Abril de 2019, de <http://www.proteccioncivil.es/documents/20486/156778/Albergues+provisoriales.pdf/283ce8cc-64b7-471a-b87a-b8156d8aceb9>

Renda, E., Garay, R. M., Moscardini, O., & Torchia, N. P. (2017). *Manual para la elaboración de mapas de riesgo*. Buenos Aires: Programa Naciones Unidas para el Desarrollo, Ministerio de Seguridad de la Nación.

Secretaría de Protección Civil. (2017). <http://www.senado.gov.ar>. Recuperado el 19 de abril de 2019, de <http://www.senado.gov.ar/upload/26433.pdf>

Secretaría Ejecutiva SINAGIR. (s.f.). *Fondo Nacional de Emergencias, Manual para requirentes de financiamiento*. Recuperado el 19 de Abril de 2019, de <http://www.senado.gov.ar>: <http://www.senado.gov.ar/upload/26434.pdf>

SER. (2004). *Society for Ecological Restoration (SER) International*. Grupo de trabajo sobre ciencia y políticas. Principios de SER International sobre la restauración ecológica.

Tucci, C. E. (2007). *Urban Flood Management*. World Meteorological Organization and International Network for Capacity Building in Integrated Water Resources Management.

UNLP. (2013). *Estudio sobre la inundación ocurrida los días 2 y 3 de abril de 2013 en las ciudades de La Plata, Berisso y Ensenada*. La Plata: Universidad Nacional de La Plata - Facultad de Ingeniería - Departamento de Hidráulica.

Ureña, J., & Teixeira, L. (2004). Ordenación Fluvial, Usos de Suelo y Construcción de Infraestructuras. *Ingeniería y Territorio* , 32-41.

Vázquez, H. G. (2012). Inundaciones en Zonas Urbanas. Medidas Preventivas y Correctivas, Acciones Estructurales y No Estructurales. México: Universidad Autónoma de México - Facultad de Ingeniería.

Wilchez-Chaux, G. (2008). La gestión del riesgo de desastres hoy, contextos globales, herramientas locales. En *Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres de la ONU* (pág. Capítulo 13: Reubicaciones). EIRD.

14. Anexos

14.1 Anexo I

Resumen de normativa a nivel nacional, provincial y municipal:

Nivel Nacional:

En lo que respecta a la normativa a nivel nacional se puede destacar el **Artículo 41 de la Constitución Nacional** “Todos los habitantes gozan del derecho a un ambiente sano, equilibrado, apto para el desarrollo humano y para que las actividades productivas satisfagan las necesidades presentes sin comprometer las de las generaciones futuras; y tienen el deber de preservarlo. El daño ambiental generará prioritariamente la obligación de recomponer, según lo establezca la ley. Las autoridades proveerán a la protección de este derecho, a la utilización racional de los recursos naturales, a la preservación del patrimonio natural y cultural y de la diversidad biológica, y a la información y educación ambientales. Corresponde a la Nación dictar las normas que contengan los presupuestos mínimos de protección, y a las provincias, las necesarias para complementarlas, sin que aquéllas alteren las jurisdicciones locales”

En base a este artículo se desprenden las siguientes leyes:

En el año 2002 se sanciona la **Ley General del Ambiente N° 25.675** la cual en su Art. 1° establece los presupuestos mínimos para el logro de una gestión sustentable y adecuada del ambiente, la preservación y protección de la diversidad biológica y la implementación del desarrollo sustentable.

Ley nacional **N° 25688** sancionada en noviembre del año 2002 bajo el título **Régimen de Gestión Ambiental de Aguas** la cual establece: presupuestos mínimos ambientales para la preservación de las aguas, su aprovechamiento y uso racional. Utilización de las aguas. cuenca hídrica superficial. comités de cuencas hídricas. En esta ley se define a cuenca hídrica superficial como la “región geográfica delimitada por las divisorias de aguas que discurren hacia el mar a través de una red de cauces secundarios que convergen en un cauce principal único y las endorreicas.” Además, en el

Art. 3° se determina a las cuencas hídricas como unidades de gestión indivisibles. Un ejemplo de aplicación de este artículo, aunque desfasados en el tiempo, es el Comité Interjurisdiccional del Río Colorado (CoIRCO) el cual está integrado por las provincias de Mendoza, Neuquén, Río Negro, La Pampa y Buenos Aires.

En lo que respecta a normativa sobre flora y fauna autóctona, se destaca **la Ley 26.331 de Presupuestos Mínimos De Protección Ambiental De Los Bosques Nativos** sancionada en noviembre de 2007, que en su Art. 1° "establece los presupuestos mínimos de protección ambiental para el enriquecimiento, la restauración, conservación, aprovechamiento y manejo sostenible de los bosques nativos, y de los servicios ambientales que éstos brindan a la sociedad. Asimismo, establece un régimen de fomento y criterios para la distribución de fondos por los servicios ambientales que brindan los bosques nativos."

En lo que corresponde a Parques Nacionales, se puede nombrar a la **Ley N° 12.103** la cual sanciona la creación de la **Dirección de Parques Nacionales** en el año 1934 quedando bajo la dependencia inmediata del Ministerio de Agricultura, y a su vez crease los parques nacionales Nahuel Huapi (de ahora en más PNNH) e Iguazú. En el artículo 21 se declaran los límites del PNNH de la siguiente forma "...Parque Nacional de Nahuel Huapí serán los siguientes: al norte, desde un punto situado en el límite internacional con la República de Chile, a cinco kilómetros aproximadamente al Norte del paso de Cajón Negro, se trazará una línea que dividiendo las aguas que caen a los Lagos Hermoso y Meliquina, de las que son tributarias del lago Villarino, se llevará al esquinero Noroeste de la propiedad de Cortajarena; el límite Este se iniciará en el citado esquinero Noroeste, siguiendo las líneas Sud Oeste y Sud Este de las propiedades de Cortajarena y Traverso, y luego se continuará con las líneas Sud Oeste, Nor Oeste y Sud Oeste del campo de la compañía ganadera "Gente Grande" hasta su intersección con la orilla Este del río Limay; seguirá por dicha orilla hasta su nacimiento en el lago Nahuel Huapí; por el límite Sur de la zona de ribera de este lago hasta la desembocadura del río Ñirihua y por la orilla Este de dicho río hasta enfrentar el esquinero Sud del lote pastoril 133; de allí se trazará una línea que pase por el cerro Colorado y el paso Villegas y llegue hasta el cauce

del río de este nombre; el límite Sud estará constituido por la orilla Sud de este río y la misma del río Manso hasta el límite internacional con la República de Chile. El límite Oeste será por la línea fronteriza con la República de Chile”. Quedando demarcado de esta manera, la ciudad de San Carlos de Bariloche quedó dentro del parque, por ende, esta ley contempla disposiciones generales y transitorias tales como el Art. 25, que establece que “Los municipios situados dentro de los parques nacionales conservarán la autonomía que les confieren las leyes de la Nación.”

En el año 1971 se crea la **Ley 19.292** la cual modifica los límites de ocho parques nacionales. Estableciendo más detalladamente los límites del PNNH.

Actualmente rige la **Ley 22.351** de Parques Nacionales, Reservas Nacionales y Monumentos Nacionales.

Nivel provincial:

En lo que respecta a normativa provincial, se toma como base la *sección 5* de la **Constitución Provincial** “Política de Recursos Naturales”. Con respecto al dominio el Art. 70 dice “La Provincia tiene la propiedad originaria de los recursos naturales existentes en el territorio, su subsuelo, espacio aéreo y mar adyacente a sus costas, y la ejercita con las particularidades que establece para cada uno...” “...La Nación no puede disponer de los recursos naturales de la Provincia, sin previo acuerdo mediante leyes convenio que, contemplen el uso racional del mismo, las necesidades locales y la preservación del recurso y de la ecología.”

Con respecto al *Régimen de Aguas* el Art. 71 dicta “Son de dominio del Estado las aguas públicas ubicadas en su jurisdicción, que tengan o adquieran aptitud para satisfacer usos de interés general...” “El código de aguas regla el gobierno, administración, manejo unificado e integral del recurso, la participación directa de los interesados y el fomento de aquellos emprendimientos y actividades calificados como interés social.” En el Artículo 73 de título *Acceso y Defensa de Riberas* “Se asegura el libre acceso con fines recreativos a las riberas, costas de los ríos, mares y espejos de agua de dominio público.”

El *Ordenamiento Territorial* se trata en el Artículo 74, La Provincia con los municipios ordena el uso del suelo y regula el desarrollo urbano y rural, mediante las siguientes pautas:

1. La utilización del suelo debe ser compatible con las necesidades generales de la comunidad.
2. La ocupación del territorio debe ajustarse a proyectos que respondan a los objetivos, políticas y estrategias de la planificación democrática y participativa de la comunidad, en el marco de la integración regional y patagónica.
3. Las funciones fundamentales que deben cumplir las áreas urbanas para una mejor calidad de vida determinan la intensidad del uso y ocupación del suelo, distribución de la edificación, reglamentación de la subdivisión y determinación de las áreas libres.
4. El cumplimiento de los fines sociales de la actividad urbanística mediante la intervención en el mercado de tierras y la captación del incremento del valor originado por planes u obras del Estado.

En el Artículo 76 de *Bosques* “El Estado promueve el aprovechamiento racional de los bosques, resguardando la supervivencia, conservación, mejoramiento de las especies y reposición de aquellas de mayor interés, a través de la forestación y reforestación. Para alcanzar tales fines, ejerce las facultades inherentes al poder de policía.”

En lo específico a recursos hídricos se destaca la **Ley Q 2952/95 Código de Aguas** la cual resume sus competencias “En el ámbito de la jurisdicción territorial e institucional de la provincia, todo lo concerniente a la tutela, gobierno, administración y policía del agua pública, sus fuentes, lechos, cauces, riberas y playas, su uso y goce por las personas particulares, así como lo relativo a la construcción, administración y mantenimiento de las obras que posibiliten su aprovechamiento y preservación o la protección contra sus efectos nocivos, se regirá por las disposiciones de este Código, su reglamentación y

normativa que se dicten en su consecuencia y por la legislación específica vigente o que se dicten en el futuro, sobre los temas en cuestión.” Además, en el artículo 16 se declara al Departamento Provincial de Aguas como autoridad de aplicación del presente código, tendrá a su cargo, a los fines de proveer en todo lo relativo a la tutela, gobierno, administración y policía de los recursos hídricos provinciales, así como a la regulación de su uso y goce y la prevención contra sus efectos nocivos.

En el año 2007 se sanciona la **Ley Q N° 3.365** la cual garantiza el libre acceso a las riberas de ríos y espejos de agua, en términos del artículo 73 de la constitución provincial. En el cuerpo de la ley se establecen las servidumbres de paso, las sanciones, la autoridad de aplicación, entre otros.

El 18 de agosto de 1972 se sanciona la **Ley Forestal De La Provincia De Rio Negro N° 757**, en la que en su Art. 1° “Declárase de interés provincial la defensa, mejoramiento, ampliación y aprovechamiento de la riqueza forestal.”

En el año 2010 se sanciona la **Ley de Presupuestos Mínimos de Protección Ambiental de los Bosques Nativos N° 4552** la cual “establece las normas complementarias, para la conservación y aprovechamiento sustentable de los bosques nativos existentes en el territorio de la Provincia de Río Negro, en cumplimiento de los umbrales básicos de protección fijados por la Ley Nacional de Presupuestos Mínimos nº 26331”. En el artículo 4° se detallan las categorías con sus criterios de zonificación de la siguiente manera:

Categoría I (rojo): sectores de muy alto valor de conservación que no deben transformarse. Incluye áreas que, por sus ubicaciones relativas a reservas, su valor de conectividad, la presencia de valores biológicos sobresalientes y la protección de cuencas que ejercen, ameritan su persistencia como bosque a perpetuidad, aunque estos sectores puedan ser hábitat de comunidades indígenas y ser objeto de investigación científica.

Criterios de zonificación:

- a) Cabeceras de cuencas definidas por criterios de cota y pendiente, en función de su localización longitudinal.
- b) Bosques de protección de la estabilidad estructural del suelo y de la regulación hidrológica.
- c) Áreas Naturales Protegidas de categoría II o equivalente, según la clasificación de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza -UICN-.
- d) Áreas de alto valor de conservación dentro de Áreas Naturales Protegidas de otras categorías.
- e) Bosques marginales de transición ecotonal con alta integridad.
- f) Bosques que, sin estar incluidos en las definiciones precedentes, cuentan con elementos especiales de flora y fauna con alto valor de conservación.
- g) Pendientes mayores de veinticinco grados (25°), riberas de ríos o arroyos permanentes y suelos hidromórficos, que por su ubicación se encontrarían incluidos en otras categorías (categorías II y III).

Categoría II (amarillo): sectores de mediano valor de conservación que pueden estar degradados, pero, que a juicio de la Autoridad de Aplicación Jurisdiccional con la implementación de actividades de restauración, pueden tener un valor alto de conservación y que podrán ser sometidos a los siguientes usos: aprovechamiento sostenible, turismo de bajo impacto, recolección e investigación científica.

Criterios de zonificación:

- a) Parcelas con sustento jurídico designadas como Reservas Forestales.
- b) Áreas con permisos de aprovechamiento forestal en vigencia, emitidos por autoridad competente con anterioridad a la sanción de la presente ley.
- c) Áreas que, por su estado de conservación, localización o tamaño de parcela, sean susceptibles de futuros planes de manejo sostenible.
- d) Zonas de transición o elementos especiales que por su localización deban ser incluidos en esta categoría.

- e) Áreas de alto valor de conservación asociadas a una población rural y con usos actuales potencialmente impactantes.
- f) Áreas de pastizales con árboles dispersos, en la región noreste de la zonificación aprobada por la presente.

Categoría III (verde): sectores de bajo valor de conservación que pueden transformarse parcialmente o en su totalidad, aunque dentro de los criterios de la presente ley.

Criterios de zonificación:

- a) Áreas periurbanas (urbano – rural) con usos mixtos.
- b) Zonas productivas rurales con cambios significativos de la matriz natural.
- c) Áreas de pastizales con árboles dispersos entre formaciones boscosas de Categoría II

Nivel municipal:

Como principal normativa municipal se puede nombrar a la **Carta Orgánica Municipal** en su modificación de abril de 2007. En la que en su artículo 5 expresa “Los límites del ejido son los fijados por ley provincial...”. En el artículo 11 declara a la Municipalidad la autoridad con poder de policía en todo el ejido municipal y además “...Reivindica de la Nación y de la Provincia su facultad de concurrir a la protección y preservación de sus recursos naturales, definir el desarrollo ambiental y decidir la fisonomía productiva de la ciudad.” En lo que respecta a políticas relacionadas al ambiente se menciona el artículo 182 “La Municipalidad defiende y ejerce acciones educativas respecto del cuidado y protección del agua, reconociéndola como un bien común y garantizando el acceso a la misma como un derecho humano fundamental e inalienable. Establece las medidas apropiadas para evitar la contaminación de nacientes y cabeceras de ríos y arroyos, y de todo cuerpo de agua.”

En la actualidad existen simultáneamente tres códigos que regulan la actuación sobre el territorio, el **Código De Planeamiento** (Ord. 169-I-1979) que establece la planificación

territorial del ejido, el **Código De Edificación** (Ord. 211- I-1979) establece las medidas técnicas permitidas y obligatorias referidas a la obra construida y el **Código Urbano** (Ord. 546 –O- 1995) el cual regula el uso del suelo. Entre los años 2008 a 2011 se dio forma al **Plan de Ordenamiento Territorial** de la ciudad de S. C. de Bariloche, el mismo fue realizado por la Secretaría de Planeamiento y Medio Ambiente para lograr un instrumento técnico y político con el cual se pueda llevar a cabo una planificación continua de tal manera que se garantice una dinámica sostenida. Bajo la ordenanza **N° 2692-CM-15** aprueba como Guía de planeamiento al instrumento denominado Plan de Ordenamiento Territorial para San Carlos de Bariloche 2011 (POT 2011).

En el año 2007 se crea la ordenanza **N° 1686-CM-07** la cual en su artículo 1° dicta “Adherir a los términos de la ley provincial 3365, para lo cual deberá garantizarse en todo el ejido comunal el libre acceso a las riberas de ríos y espejos de agua del dominio público nacional, provincial y municipal.” En particular se establece que la costa debajo de la cota 770,40 msnm es de dominio público.

En el año 2015 se da forma a la ordenanza **N° 2694-CM-2015** en la que se define restricción administrativa costas ríos y lagos. En su Art. 1° define la restricción administrativa como “El dueño de un inmueble colindante con orillas de cauces o riberas de lagos o lagunas, debe permitir el acceso, la circulación, tránsito y permanencia en forma y términos razonables y compatibles con el derecho de propiedad, de conformidad a lo que determine la reglamentación de la presente, en una franja de hasta treinta y cinco metros en toda la extensión del curso, salvo que la restricción sea mayor, en la que no puede hacer ningún acto que menoscabe los usos públicos vinculados a la seguridad y acceso al ambiente lacustre y acuático...”. En su Art.2° se definen a los cursos de agua alcanzados por esta norma:

- Río Ñirihuau.
- Arroyo Ñireco.
- Arroyo Gutiérrez.
- Arroyo Casa de Piedra.

En el año 1987 se da forma a la ordenanza **Nº 86-C-87 Defensa Patrimonio Natural y Verde Plantaciones Urbana**, en la que en su Art. 1º define al objetivo principal el cual “establece la defensa del patrimonio verde urbano, en el sentido más amplio, que comprende tanto las plantaciones realizadas sobre el suelo de propiedad municipal como sobre los terrenos particulares que estén afectados como zona verde en los planes urbanísticos vigentes.”

En el año 1994 se sanciona la ordenanza **Nº 358-Cm-94 Creación de Comisión Municipal Interinstitucional de Forestación Urbana**, en la que en su Art. 7º establece la implementación en el ejido de una campaña sistemática de forestación generando las pautas organizativas y ejecutivas a fin de que su implementación sea efectiva.

Con respecto a bosques, en el año 1996 se crea la ordenanza **587-CM-96 Protección Integral de Bosques y Tierras Forestales**, en la que en su Art. 1º “Declarar de interés público municipal la protección, defensa, regeneración, mejoramiento y recuperación de bosques y tierras forestales ubicadas dentro el ejido municipal de San Carlos de Bariloche.”

En el año 2010 se crea la ordenanza **Nº 2020-CM-10 Relevamiento y Protección de Bosques Protectores, Nativos y Permanentes**. En la que destaca la importancia del paisaje para la ciudad, declarándola como auténtico generador de la actividad económica más importante que desarrolla nuestra comunidad. Por eso esta ordenanza en su Art. 1º “Se encomienda al Departamento Ejecutivo de la Municipalidad de San Carlos de Bariloche a realizar, a través de la Dirección de Medio Ambiente, un relevamiento de los Bosques Protectores, Nativos y Permanentes del ejido municipal, en un plazo no mayor de 18 meses a partir de la publicación de la presente.”. En el Art. 3º se clasifican a los *Bosques Protectores* como aquellos se encuentren en las altas cumbres y aquellos que por su ubicación sirvieran, conjunta o separadamente, para:

- a) proteger el suelo, caminos, riberas fluviales y orillas de lagos, lagunas, islas, canales, acequias y embalses y prevenir la erosión de las planicies y terrenos en

declive;

b) proteger y regularizar el régimen de las aguas (se entiende por esto conservar los márgenes de arroyos y evitar la erosión para estabilidad del territorio evitando aludes y canalizando cuidadosamente el flujo de las aguas);

c) asegurar condiciones de salubridad pública;

d) defensa contra la acción de los elementos, vientos, aludes e inundaciones; (deben preverse además las obras de arte correspondientes a una correcta hidráulica forestal);

f) Conservación de la biodiversidad: albergue y protección de especies de la flora y fauna como refugio de la vida silvestre;

A los *Bosques Nativos* como los ecosistemas forestales naturales compuestos predominantemente por: especies arbóreas nativas maduras, con diversas especies de flora y fauna asociadas, en conjunto con el medio que las rodea -suelo, subsuelo, atmósfera, clima, recursos hídricos-, conformando una trama interdependiente con características propias y múltiples funciones, que en su estado natural le otorgan al sistema una condición de equilibrio dinámico y que brinda diversos servicios ambientales a la sociedad, además de los diversos recursos naturales con posibilidad de utilización económica. Se encuentran comprendidos en la definición tanto los bosques nativos de origen primario, donde no intervino el hombre, como aquellos de origen secundario formados luego de un desmonte, así como aquellos resultantes de una recomposición o restauración voluntarias.

Y por último a los *Bosques Permanentes* a aquellos que, por su destino, constitución de su arboleda y/o formación de su suelo deban mantenerse, tales como:

a) los que formen los parques y reservas municipales;

b) aquellos en que existieran especies cuya conservación se considere necesaria;

c) los que se reserven para parques o bosques de uso público

En el año 2017 se da forma a la Ordenanza N.º 2894-CM-17 **Creación de Sistema de Protección de Humedales**, dentro del ejido de la ciudad. En su Art. 3º define a los objetivos generales:

- a) La conservación y uso sustentable de los humedales, la restauración y manejo sostenible de estos ecosistemas;
- b) la preservación de la biodiversidad y servicios ambientales que brindan los humedales.

En el año 2005 se lleva a cabo un estudio de riesgos geológicos aplicado en la zona denominado “**Estudio Geocientífico Aplicado al Ordenamiento Territorial de San Carlos de Bariloche**”. El mismo fue realizado mancomunadamente entre el Servicio Geológico Minero Argentino (SEGEMAR-IGRM) y el Instituto Federal de Geociencias y Recursos Naturales de Alemania (BGR). En el año 2006 se crea la Ordenanza **1640-CM-06** que en su artículo 1 decreta “Defínase como “Guía de Peligros Geológicos” al Estudio Geocientífico Aplicado al Ordenamiento Territorial de San Carlos de Bariloche (SEGEMAR y BGR)”. Los trabajos realizados en este estudio se basaron en el relevamiento de la contextura geológica del suelo, la evaluación geotécnica y ambiental a fin de determinar los lineamientos técnicos en el futuro aprovechamiento, conservación y recuperación de recursos naturales en sintonía con el desarrollo urbano. Los resultados se plasmaron en mapas y esquemas que permiten detectar los sitios aptos para futuras urbanizaciones y a su vez áreas vulnerables ante potenciales amenazas naturales.

En el año 2009 concluye un trabajo realizado por el Departamento Provincial de Aguas en convenio con el Consejo Federal de Inversiones (CFI) y la Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas (FICH) de la Universidad Nacional del Litoral (UNL) titulado “**SAN CARLOS DE BARILOCHE PLAN DIRECTOR DE DRENAJE PLUVIAL URBANO**”. El mismo se trata de una compilación de diferentes trabajos realizados desde el año 2005:

(1) “Plan Director de Drenaje Pluvial Urbano de San Carlos de Bariloche”, ejecutado en dos etapas, a través del convenio entre el Consejo Federal de Inversiones y el Departamento Provincial de Aguas, por el Ing. Francis J. Adler, presentado en Julio de 2005.

(2) “Actualización de Aspectos Hidrológicos del Plan Director de Drenaje Pluvial Urbano de San Carlos de Bariloche”, de febrero de 2007, ejecutado a través del convenio entre el Consejo Federal de Inversiones, el Departamento Provincial de Aguas y la Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas (U.N.L.).

(3) “Modelación Hidrológica de las Cuencas Urbanas de la Ciudad de San Carlos de Bariloche” presentado en octubre de 2007, fue realizado por la Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas (U.N.L.) en convenio con el Departamento Provincial de Aguas.

En base a este estudio se sanciona la ordenanza N° **1645-CM-06**, en la que se crea la Guía de Drenaje Pluvial Urbano de San Carlos de Bariloche.

En el año 2014 en Concejo Municipal sanciona con carácter de ordenanza a la N° **2518-CM-14** “DONACIÓN CON CARGO PARCELAS 19-2-E-062-01A, Y 19-2-E-062-03, AL DEPARTAMENTO PROVINCIAL DE AGUAS, RÍO NEGRO.” Estas parcelas se encuentran sobre la margen izquierda del arroyo Ñireco en las cercanías del barrio El Vivero, en este predio emergen una serie de vertientes las cuales por su ubicación y rendimiento han sido utilizadas para el abastecimiento de agua de la localidad de S. C. de Bariloche desde la década del '30.

14.2. Anexo II

Datos de los 5 Escenarios propuestos extraídos del modelado en HEC-HMS en la desembocadura.

	TR 20 años	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3	Escenario 4	Escenario 5
00:00	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0
01:00	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0
02:00	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0
03:00	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0
	0,2	0,3	0,2	0,2	0,3	0,3
04:00	1	1,8	1	1	1,8	1,6
	3,4	5,4	3,4	3,4	5,4	5,3
	6,7	10,2	6,7	6,7	10,2	12,1
	9,4	13,9	9,4	9,4	13,9	20,9
	11,4	17,5	11,4	11,4	17,5	30
	13,3	22,9	13,3	13,3	22,9	38,7
05:00	15,1	29,5	15,1	15,1	29,5	48,2
	16,5	35,6	16,5	16,5	35,5	59,1
	17,8	39,7	17,7	17,4	39,3	72,3
	18,8	41,3	18,7	18,6	41,1	89,6
	20	41,2	20	21,5	42,7	111,1
	22,1	41,1	22,6	26,5	45,6	133,3
06:00	25,5	42,1	26,8	33,3	49,9	152,1
	29,9	44,2	32,1	40,6	54,8	164,5
	34,8	47	37,6	47,3	59,5	169,6
	39,2	49,8	42,5	52,5	63,1	168,3
	42,6	51,9	46,1	56	65,2	162,3
	44,9	53,1	48,4	57,7	65,8	153,3
07:00	46,1	53,3	49,3	57,9	65,2	142,9
	46,3	52,8	49,3	57	63,6	132,1
	45,7	51,6	48,4	55,4	61,4	121,7
	44,6	50,1	47,1	53,4	58,8	112
	43,2	48,3	45,5	51,1	56,1	103,3
	41,7	46,3	43,7	48,8	53,4	95,6
08:00	40,1	44,4	41,9	46,5	50,8	88,8
	38,5	42,6	40,1	44,3	48,4	82,8
	37	40,8	38,5	42,3	46,2	77,6
	35,6	39,2	37	40,5	44,1	73,1
	34,3	37,7	35,6	38,9	42,3	69,1

	33,1	36,4	34,3	37,3	40,6	65,6
09:00	31,6	34,7	32,7	35,6	38,7	62,1
	29,8	32,7	30,9	33,6	36,4	58,5
	27,9	30,6	28,8	31,4	34,1	54,7
	26	28,6	26,9	29,3	31,9	51
	24,3	26,6	25,2	27,5	29,8	47,8
	22,6	24,4	23,4	25,7	27,5	44,4
10:00	20,9	22,2	21,7	23,9	25,2	41,1
	19,3	20,1	20,1	22,1	23	37,6
	17,3	17,9	18,1	19,9	20,4	33,4
	14,9	15,2	15,5	17,1	17,4	28,4
	12,1	12,3	12,7	13,9	14	22,8
	9,4	9,5	9,8	10,7	10,8	17,4
11:00	6,9	6,9	7,2	7,8	7,9	12,7
	4,9	4,9	5,1	5,5	5,5	8,9
	3,3	3,3	3,5	3,8	3,8	6
	2,2	2,2	2,3	2,5	2,5	4
	1,4	1,4	1,5	1,6	1,6	2,5
	0,9	0,9	0,9	1	1	1,6
12:00	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	1
	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,6
	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3
	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2
	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
	0	0	0	0	0	0,1
13:00	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0
14:00	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0
15:00	0	0	0	0	0	0

Datos de Medidas Mitigatorias extraídos de HEC-HMS en la desembocadura.

	TR 20 años	SDUS	Total zonas degradadas	Presa (4*tc)	Presa (8*tc)
00:00	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0
01:00	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0
02:00	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0

	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0
03:00	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0
	0,2	0	0,2	0,3	0,2
04:00	1	0	1	1,3	1
	3,4	0,9	3,4	3,7	3,4
	6,7	2,6	6,7	6,9	6,7
	9,4	4,5	9,4	9,6	9,4
	11,4	6,6	11,4	11,6	11,4
	13,3	8,8	13,3	13,5	13,3
05:00	15,1	10,6	15,1	15,2	15,1
	16,5	12	16,6	16,6	16,5
	17,8	12,9	17,8	17,8	17,7
	18,8	13,7	18,9	19,2	19,1
	20	14,6	19,8	20,8	20,6
	22,1	16,7	21	21,8	21,9
06:00	25,5	20,4	22,5	21,9	22,4
	29,9	25,2	24,5	21,4	22,1
	34,8	30,4	26,5	21	21,2
	39,2	35,3	28,5	21,1	20,1
	42,6	39,1	30,1	22	19
	44,9	41,8	31,3	23,5	18,3
07:00	46,1	43,2	32	25,4	18,1
	46,3	43,6	32,3	27,4	18,2
	45,7	43,3	32,3	29,4	18,8
	44,6	42,4	32	31,2	19,6
	43,2	41,1	31,4	32,7	20,5
	41,7	39,7	30,8	33,8	21,5
08:00	40,1	38,2	30	34,7	22,4
	38,5	36,8	29,2	35,2	23,3
	37	35,3	28	35,1	23,8
	35,5	34	26,3	34,3	23,7
	33,8	32,8	24,5	33	23,3
	31,7	31,7	22,6	31,7	22,8
09:00	29,5	30,3	21	30,3	22,3
	27,4	28,7	19,2	28,6	21,5
	25,5	26,9	17,4	26,7	20,4
	23,6	25,1	15,7	25	19,5
	21,6	23,5	13,9	23,8	19
	19,8	22	11,8	22,7	18,8
10:00	17,6	20,5	9,6	21,7	18,8
	15	19	7,3	20,4	18,8
	12,2	17,2	5,4	19	18,6
	9,4	14,8	3,8	17,5	18,3
	6,9	12,1	2,6	15,9	17,8
	4,9	9,3	1,7	14,2	17,2
11:00	3,3	6,9	1,1	12,7	16,5
	2,2	4,9	0,7	11,3	15,8
	1,4	3,3	0,4	9,9	15,1
	0,9	2,2	0,3	8,7	14,3
	0,5	1,4	0,2	7,7	13,6
	0,3	0,9	0,1	6,7	12,8
12:00	0,2	0,6	0,1	5,9	12,1
	0,1	0,3	0	5,1	11,4
	0,1	0,2	0,2	4,5	10,8
	0	0,1	0,1	3,9	10,1
	0	0,1	0,1	3,4	9,5

	0	0	0	3	9
13:00	0	0	0	2,6	8,4
	0	0	0	2,3	7,9
	0	0	0	2	7,4
	0	0	0	1,7	7
	0	0	0	1,5	6,5
	0	0	0	1,3	6,1
14:00	0	0	0	1,2	5,7
	0	0	0	1	5,4
	0	0	0	0,9	5
	0	0	0	0,8	4,7
	0	0	0	0,7	4,4
	0	0	0	0,6	4,1
15:00	0	0	0	0,5	3,9
	0	0	0	0,4	3,6
	0	0	0	0,3	3,4
	0	0	0	0,2	3,2
	0	0	0	0,1	3
	0	0	0	0,1	2,8
16:00	0	0	0	0	2,6
	0	0	0	0	2,4
	0	0	0	0	2,3
	0	0	0	0	2,1
	0	0	0	0	2
	0	0	0	0	1,8
17:00	0	0	0	0	1,7
	0	0	0	0	1,6
	0	0	0	0	1,5
	0	0	0	0	1,4
	0	0	0	0	1,3
	0	0	0	0	1,2
18:00	0	0	0	0	1,2
	0	0	0	0	1,1
	0	0	0	0	1
	0	0	0	0	0,9
	0	0	0	0	0,9
	0	0	0	0	0,8
19:00	0	0	0	0	0,8
	0	0	0	0	0,7
	0	0	0	0	0,7
	0	0	0	0	0,6
	0	0	0	0	0,6
	0	0	0	0	0,5
20:00	0	0	0	0	0,5
	0	0	0	0	0,5
	0	0	0	0	0,4
	0	0	0	0	0,4
	0	0	0	0	0,4
	0	0	0	0	0,4
21:00	0	0	0	0	0,3
	0	0	0	0	0,3
	0	0	0	0	0,3
	0	0	0	0	0,3
	0	0	0	0	0,3
	0	0	0	0	0,2
22:00	0	0	0	0	0,2
	0	0	0	0	0,2
	0	0	0	0	0,2
	0	0	0	0	0,2
	0	0	0	0	0,2
	0	0	0	0	0,2

23:00	0	0	0	0	0,2
	0	0	0	0	0,1
	0	0	0	0	0,1
	0	0	0	0	0,1
	0	0	0	0	0,1
	0	0	0	0	0,1
00:00	0	0	0	0	0,1
	0	0	0	0	0,1
	0	0	0	0	0,1
	0	0	0	0	0,1
	0	0	0	0	0,1
	0	0	0	0	0,1
01:00	0	0	0	0	0,1
	0	0	0	0	0,1
	0	0	0	0	0,1
	0	0	0	0	0,1
	0	0	0	0	0,1
	0	0	0	0	0
02:00	0	0	0	0	0

14.3. Anexo III

Fotografías de las áreas quemadas dentro de la cuenca:







