

**“ORDENAMIENTO DE LOS ESCURRIMIENTOS HÍDRICOS DE LAS CUENCAS DE
LOS RÍOS CARNERO, GUANUSACATE, PINTO, LOS MISTOLES Y OTROS
ARROYOS MENORES”**

REQUERIDO POR:

SECRETARÍA DE AGRICULTURA DE LA PROVINCIA DE CÓRDOBA

INFORME FINAL

Ríos Carnero, Guanusacate, Pinto, Los
Mistoles y Mula Muerta



SOCIEDAD RURAL
DE JESÚS MARÍA



Ministerio de
**AGRICULTURA
Y GANADERÍA**

Sociedad Rural de Jesús María

Informe Final: Río Carnero, Guanusacate, Pinto, Los Mistoles y Mula Muerta

ÍNDICE

ÍNDICE.....	2
ÍNDICE DE FIGURAS	5
ÍNDICE DE TABLAS	9
1 INTRODUCCION	12
2 OBJETIVOS	12
3 CARACTERIZACIÓN HIDROGEOMORFOLÓGICA REGIONAL.....	13
3.1 ÁREA DE ESTUDIO	13
3.2 METODOLOGIA.....	14
3.3 SISTEMAS HIDROGRAFICOS.....	14
3.3.1 RIO CARNERO	15
3.3.2 SISTEMA HIDROGRAFICO DE LOS RIOS GUANUSACATE (JESÚS MARÍA), MULA MUERTA Y PINTO	16
3.3.3 SISTEMA HIDROGRÁFICO RIO LOS MISTOLES	20
3.4 CONDICIONES GEOMORFOLOGIAS, GEOLOGICAS Y PROCESOS RIESGOS ASOCIADOS A NIVEL REGIONAL.....	21
3.4.1 REGION SIERRAS PAMPEANAS DE CORDOBA	0
3.4.2 LLANURA CHACO PAMPEANA	10
4 CATEGORIZACIÓN DE AMENAZA POR CUENCAS SEGÚN PROCESO.....	13
4.1 CUENCA DEL RIO LOS MISTOLES	13
4.1.1 Ambiente de Montaña	13
4.1.2 Ambiente de Piedemonte	15
4.1.3 Pampa Loéssica Alta	19
4.2 CUENCA DEL RIO PINTO	20
4.2.1 Ambiente de Montaña	20
4.2.2 Ambiente de Piedemonte	21
4.2.3 Pampa Loéssica Alta	24
4.3 CUENCA Aº MULA MUERTA	26
4.3.1 Ambiente de Montaña	26
4.3.2 Ambiente de Piedemonte	27
4.3.3 Pampa Loéssica Alta	28
4.4 CUENCA DEL RIO GUANUSACATE.....	29

4.4.1	Ambiente de Montaña	29
4.4.2	Ambiente de Piedemonte	30
4.4.3	Pampa Loéssica Alta	32
4.5	CUENCA DEL RIO CARNERO.....	33
4.5.1	Ambiente de Montaña	33
4.5.2	Ambiente de Piedemonte	34
4.5.3	Pampa Loéssica Alta	36
5	Capacidad de Uso e Índice de Productividad en los Diferentes Ambientes Geomorfológicos. 39	
5.1	Pampa Loéssica Alta	39
5.2	Piedemonte	40
5.3	Sierras Chicas.....	42
6	Características de las Precipitaciones en la Zona.....	44
6.1	Cálculo de las curvas IDT	44
6.2	Atenuación espacial de la lámina de lluvia	48
6.3	Distribución temporal de la lámina de lluvia	48
7	Estudio Hidrológico	50
7.1	Metodología	50
7.2	Programa de Cálculo: HEC - HMS	67
7.3	Parámetros Morfométricos.....	69
7.3.1	Delimitación de Subcuencas	69
7.3.2	Tipo de Suelo	69
7.4	Parámetros Hidrológicos.....	72
7.4.1	Cuenca del Río Carnero	73
7.4.2	Cuenca del Río Guanusacate	83
7.4.3	Cuenca del Río Mula Muerta.....	93
7.4.4	Cuenca del Río Pinto.....	101
7.4.5	Cuenca del Río Los Mistoles	107
7.5	Lluvia de Diseño	119
7.6	Resultados hidrológicos	124
7.6.1	Cuenca del Río Carnero	124
7.6.2	Cuenca del Río Guanusacate	125
7.6.3	Cuenca del Mula Muerta.....	126

7.6.4	Cuenca del Río Pinto.....	128
7.6.5	Cuenca del Río Los Mistoles	129
8	Conclusiones.....	131
9	Recomendaciones y propuestas de medidas correctivas	132
	Crecidas Repentinas	132
10	ANEXO	134
10.1	Practicas agronómicas de conservación	134
10.2	Control de Cárcavas.....	153
10.3	PLANOS.....	156

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Cuencas comprendidas en el área de Estudio.....	13
Figura 2. Escurrimiento Natural Índice Topográfico de Humedad. (Carta 1 Anexo).....	15
Figura 3. Cuenca Río Carnero, cursos fluviales principales y altitud.....	15
Figura 4. Sistema Hidrográfico Ríos Guanusacate, Mula Muerta y Pinto	17
Figura 5. Cuenca Río Guanusacate, cursos fluviales principales y altitud.....	18
Figura 6. Cuenca Arroyo Mula Muerta, cursos fluviales principales y altitud.....	18
Figura 7. Cuenca Río Pinto cursos fluviales principales y altitud	19
Figura 8. Cuenca Río Mistol, cursos fluviales principales y altitud.....	20
Figura 9. Valle estructural de Avellaneda. Cuenca R. Los Mistoles. Falla implicada en el levantamiento de la Sa. de Macha (rojo). Aguas arriba del trazo cursos de agua temporarios y aguas abajo, curso de agua permanente.	21
Figura 10. Carta geológica Geomorfológica área de estudio. (Anexo Carta 2)	22
Figura 11. .Arriba: Block diagrama esquemático indicativo de relación relieve/procesos erosivos Abajo: Factores condicionantes de la erosión hídrica normal y acelerada.....	24
Figura 12. . Pérdida de cobertura vegetal pisos bosque serrano y arbustal periodo 1972-2017.....	0
Figura 13. Clasificación del relieve según las pendientes (%).	0
Figura 14. Relieve fuerte en quebradas y accidentado en interfluvios. Naciente cuenca R. Pinto. ...	1
Figura 15. Relieve suave en valles estructurales secundarios con relleno coluvio-aluvial. (a) Cuenca R. Guanusacate y (b) Cuenca R. Mula muerta.	1
Figura 16. Relleno aluvional aterrazado (T). Río Carnero.	2
Figura 17. Zona urbana bajo amenaza severa por inundaciones repentinas. Nivel de terraza inundable ante crecidas ordinarias y extremas. La Granja.	3
Figura 18. Erosión hídrica concentrada en cárcavas en valles estructurales plano-cóncavos secundarios. Cuenca R. Guanusacate.	4
Figura 19. Depresión Periférica. Cuenca R. Carnero. Der. (A) paleo improntas fluviales y (B) faja fluvial. Izq. Colinas y lomas aisladas.....	5
Figura 20. Depresión Periférica. Cuenca R. Guanusacate. Der. (A) paleo improntas fluviales y (B) faja fluvial. Izq. Lomas aisladas.	5
Figura 21. Depresión Periférica. Cuenca R. Pinto. Faja fluvial y lomas aisladas.....	6
Figura 22. Depresión Periférica. Cuenca R. Los Mistoles. (A) paleo improntas fluviales y (B) Faja fluvial.	6
Figura 23. Manchones por efecto de erosión laminar. Cuenca R. Carnero.	7
Figura 24. Áreas pedemontanas. Erosión hídrica acelerada en forma laminar, en surcos y cárcavas. De arriba abajo: cuencas de los ríos Guanusacate, Mula Muerta, Pinto y Los Mistoles.	8
Figura 25. Ciudad de Jesús María ampliación de lecho ordinario (canal) por erosión de márgenes 2013 a 2015. Infraestructura urbana afectada (Bº Agua Mansa) y puente RN 9.	9
Figura 26. Ambiente Pampa Loéssica Plana. Block diagrama esquemático demostrativo de los nuevos procesos fluviales. Explayamientos y sobrepaso y activación de paleoformas.	11
Figura 27. Situación incipiente y avanzada de erosión concentrada en camino rural. Cuenca R. Pinto.	11

Figura 28. Formación de cauce fluvial a partir de camino rural secundario. Aº Mula Muerta con afectación de escuela Capitán Díaz Vélez.	12
Figura 29. Colmatación de áreas productivas. Izq. Cuenca Aº Mula Muerta. Der. Cuenca R. Pinto.	12
Figura 30. Arriba: afectación de la población de Tinoco por inundaciones. Abajo: Bº Santa Elena Jesús María. Ampliación del lecho ordinario por erosión de márgenes. Inundación Año 2015.....	13
Figura 31. Izq: Faja fluvial en cuenca alta. Der. Bajos de fondo plano cóncavo con relleno coluvio aluvial.	14
Figura 32. Valle de Avellaneda Río las Talas encajamiento por erosión.	16
Figura 33. Río El Manzano Ruta nacional 60.	16
Figura 34. Áreas rurales, zona urbana (va. Gutiérrez) e infraestructura vial afectadas por inundaciones ligadas a explayamientos y bajos plano-cóncavos.	17
Figura 35. Corte de ruta N60 en inmediaciones de Va. Gutiérrez.	17
Figura 36. Río Los Mistoles Villa del Totoral.	18
Figura 37. Avance de explayamientos río Los Mistoles.	19
Figura 38. Izq. Erosión de márgenes en curvas externas y ampliación de canal .Der. Control por basamento.....	20
Figura 39. Erosión hídrica concentrada en cárcavas en nacientes del Aº La Barrosa.	21
Figura 40. Arriba: Brazo de crecida Abajo: Ampliación de lecho ordinario por erosión de márgenes y arrasamiento de nivel inferior de terraza. (2010-2016).....	22
Figura 41. Camino secundario y puente de ferrocarril bajo amenaza potencial.	23
Figura 42. Puente ruta N9 bajo riesgo potencial significativo por erosión de márgenes (margen derecha) por migración de curva meándrica.	23
Figura 43. Paleoabánico del R. Pinto (paleoimprontas fluviales) y erosión hídrica acelerada concentrada en cárcavas.....	24
Figura 44. Explayamientos actuales del río Pinto por efecto de avulsión.	25
Figura 45. Izq. Captación de derrames por trazo de camino secundario e intensa erosión hídrica concentrada. Der. Colmatación de áreas productivas.	25
Figura 46. Erosión hídrica acelerada laminar (manchones claros), en regueros y cárcavas.....	26
Figura 47. Erosión hídrica acelerada concentrada en cárcavas sobre los ejes de avenamiento de valles plano-cóncavos.	27
Figura 48. Procesos fluviales incipientes por acción de erosión hídrica acelerada concentrada, en partes concentrada en caminos (paraje Barranca Yaco).	27
Figura 49. Cruce de cárcava activa del trazo de la ruta N9 . Proceso fluvial incipiente.....	28
Figura 50. Arriba: Cauce fluvial en trazo de camino rural secundario paraje Mula Muerta. Abajo: sinuosidad incipiente con potencial de ampliación de cauce por erosión de márgenes.	28
Figura 51. Cuenca de recepción de alta montaña. Material geológico poco permeable (tipo granito), energía de relieve y cubierta de pastizales discontinua alternante con roca desnuda.	29
Figura 52. Colonia Hogar. Camping Municipal emplazado en el nivel inferior de terraza activo en forma total en crecidas extremas.	30
Figura 53. Ambiente de piedemonte. (a) y (b) bajos plano-cóncavos inundables con tendencia a la integración a la red de drenaje por encajamiento producto de la erosión hídrica concentrada. ...	31

Figura 54. Ampliación del lecho ordinario por erosión de márgenes condicionada por el efecto de avulsión. Bº Santa Helena.	32
Figura 55. Block diagrama indicativo de los niveles de terraza en la faja fluvial.	34
Figura 56. Arriba imagen Bing (2010) Abajo Imagen Google (2016). Ampliación de Cauce Río Carnero luego de la creciente del año 2015. RN9.....	35
Figura 57. Tendencia evolutiva de los puntos de avulsión y explayamientos , Río Carnero 1970-2015.....	37
Figura 58. Tendencia evolutiva de la avulsión y explayamientos en la localidad de Tinoco.	37
Figura 59. Desbordes laterales Río Carnero, colmatación de predios rurales.	38
Figura 60. Se presenta la zona en estudio y en verde la parte que pertenece a la pampa loésica alta.....	39
Figura 61. Se presenta la zona en estudio y en marrón la parte que pertenece al piedemonte.....	41
Figura 62. Se presenta la zona en estudio y en rosa la parte que pertenece a las Sierras Chicas. ...	42
Figura 63. Curva IDT asociada a T=25 años en la localidad de Ascochinga para duraciones de entre 5 y 120 minutos (gráfico superior) y para duraciones mayores a 120 minutos (gráfico inferior) aplicando diferentes estaciones pluviográficas base (Córdoba Observatorio=C.O. – La Suela=L.S.).	46
Figura 64. Contraste entre curvas IDT asociadas a T=25 años en la localidad de Ascochinga aplicando diferentes estaciones pluviográficas base (Córdoba Observatorio=C.O. – La Suela=L.S.) y el dato pluviométrico asociado a la duración diaria de precipitación.	46
Figura 65. Curva IDT en la localidad de Ascochinga para duraciones de entre 5 y 120 minutos (gráfico superior) y para duraciones mayores a 120 minutos (gráfico inferior).	47
Figura 66. Hietogramas tipo sintetizados en La Suela.	49
Figura 67. Solución de las ecuaciones de escorrentía del SCS (Chow, Maidment, & Mays, Hidrología Aplicada, 1994).	52
Figura 68. Clases de texturas SCS.....	55
Figura 69. Método de abstracciones de precipitación del SCS (Chow, Maidment, & Mays, Hidrología Aplicada, 1994).	57
Figura 70. Tiempo de retardo.....	62
Figura 71. Almacenamiento de método de Muskingum, (Chow, Maidment, & Mays, Hidrología Aplicada, 1994).....	63
Figura 72. Cuenca del Río Carnero y cauces principales.	69
Figura 73. Ambientes geomorfológicos (INTA, 2006).	70
Figura 74. Cuenca y subcuencas del Río Carnero.....	73
Figura 75. Esquema del modelo HEC-HMS de la cuenca del Río Carnero.....	75
Figura 76. Tipo de suelo en el área de estudio, Cuenca Río Carnero.....	78
Figura 77. Uso de suelo en el área de estudio, Cuenca Río Carnero.	80
Figura 78. Caudales pico obtenidos para diferentes duraciones de lluvia en el punto de cierre de la cuenca analizada (C_Pto01).	82
Figura 79. Caudales pico obtenidos para diferentes duraciones de lluvia en el punto de confluencia de los cauces La Granja y Agua de Oro (Conf.AO_LG).	82
Figura 80. Cuenca y subcuencas del Río Guanusacate.....	83

Figura 81. Esquema del modelo HEC-HMS de la cuenca del Río Guanusacate.	85
Figura 82. Tipo de suelo en el área de estudio, Cuenca Río Guanusacate.....	89
Figura 83. Uso de suelo en el área de estudio, Cuenca Río Carnero.	90
Figura 84. Caudales pico obtenidos para diferentes duraciones de lluvia en el punto de cierre de la cuenca analizada (JM_Pto01).....	92
Figura 85. Caudales pico obtenidos para diferentes duraciones de lluvia en el punto de confluencia de los cauces La Granja y Agua de Oro (Conf. Asc_StaCAT).....	93
Figura 86. Cuenca y subcuencas del Río Mula Muerta.	94
Figura 87. Esquema del modelo HEC-HMS de la cuenca del Río Mula Muerta.	95
Figura 88. Tipo de suelo en el área de estudio, Cuenca Mula Muerta.	98
Figura 89. Uso de suelo en el área de estudio, Cuenca Mula Muerta.	99
Figura 90. Caudales pico obtenidos para diferentes duraciones de lluvia en el punto de cierre de la cuenca analizada (MM_Pto01).	100
Figura 91. Cuenca y subcuencas del Río Pinto.	101
Figura 92. Esquema del modelo HEC-HMS de la cuenca del Río Pinto.	102
Figura 93. Tipo de suelo en el área de estudio, Cuenca Río Pinto.	104
Figura 94. Uso de suelo en el área de estudio, Cuenca Río Pinto.	105
Figura 95. Caudales pico obtenidos para diferentes duraciones de lluvia en el punto de cierre de la cuenca analizada (P Conf. 01).	107
Figura 96. Cuenca y subcuencas del Río Los Mistoles.....	108
Figura 97. Esquema del modelo HEC-HMS de la cuenca del Río Los Mistoles.....	110
Figura 98. Tipo de suelo en el área de estudio, Cuenca Los Mistoles.....	113
Figura 99. Uso de suelo en el área de estudio, Cuenca Los Mistoles.....	115
Figura 100. Caudales pico obtenidos para diferentes duraciones de lluvia en el punto de cierre de la cuenca Los Mistoles (LM_Pto01).....	117
Figura 101. Caudales pico obtenidos para diferentes duraciones de lluvia en la localidad de Villa Totoral (LM Conf. 03).	118
Figura 102. Curva IDT en la localidad de Ascochinga para duraciones de 5 a 120 min (gráfico superior) y para duraciones mayores a 120 min (gráfico inferior).	120
Figura 103. Lluvia de diseño en la cuenca del Río Ascochinga para Tr: 25, 50 y 100 años.	121
Figura 104. Lluvia de diseño en la cuenca del Río Guanusacate para Tr: 25, 50 y 100 años.	121
Figura 105. Lluvia de diseño en la cuenca del Arroyo Mula Muerta para Tr: 25, 50 y 100 años. ...	122
Figura 106. Lluvia de diseño en la cuenca del Río Pinto para Tr: 25, 50 y 100 años.	122
Figura 107. Lluvia de diseño en la cuenca del Río Los Mistoles para Tr: 25, 50 y 100 años.	123
Figura 108. Ubicación de “Puntos de Interés” en la cuenca del Río Carnero.	124
Figura 109. Ubicación de “Puntos de Interés” en la cuenca del Río Guanusacate.	125
Figura 110. Ubicación de “Puntos de Interés” en la cuenca del Arroyo Mula Muerta.	127
Figura 111. Ubicación de “Puntos de Interés” en la cuenca del Río Pinto.....	128
Figura 112. Ubicación de “Puntos de Interés” en la cuenca del Río Los Mistoles.	129
Figura 113. Evolución histórica de la superficie sembrada con soja y maíz.....	135

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Capacidad de uso e índice de productividad (clasificación INTA) de los suelos del área de estudio que pertenece al ambiente de Pampa loésica alta.	40
Tabla 2. Capacidad de uso e índice de productividad de los suelos del área de estudio que pertenece al ambiente de Piedemonte.	41
Tabla 3. Capacidad de uso e índice de productividad de los suelos del área de estudio que pertenece al ambiente de las Sierras.	43
Tabla 4. Características de Tormenta Intensas y de IMA en La Suela.	49
Tabla 5. Límites para cada condición de humedad antecedente, para el método de las abstracciones de lluvia del SCS.	53
Tabla 6. Clases texturas y grupos hidrológicos de suelos según la clasificación del SCS.	54
Tabla 7. Valores de CN en función de las diferentes cubiertas vegetales, litologías y pendientes. .	56
Tabla 8. Parámetros principales de cada una de las subcuencas de La Granja.	73
Tabla 9. Parámetros principales de cada una de las subcuencas de Agua de Oro.	74
Tabla 10. Parámetros principales de cada una de las subcuencas de Cuenca Baja.	74
Tabla 11. Tiempos de concentración de cada una de las subcuencas de la Cuenca La Granja aplicando diferentes formulaciones empíricas.	75
Tabla 12. Tiempos de concentración de cada una de las subcuencas de la Cuenca Agua de Oro aplicando diferentes formulaciones empíricas.	76
Tabla 13. Tiempos de concentración de cada una de las subcuencas de la Cuenca Baja aplicando diferentes formulaciones empíricas.	76
Tabla 14. Parámetros del modelo de tránsito de Muskingum de cada uno de los tramos de la Cuenca La Granja.	77
Tabla 15. Parámetros del modelo de tránsito de Muskingum de cada uno de los tramos de la Cuenca Agua de Oro.	77
Tabla 16. Parámetros del modelo de tránsito de Muskingum de cada uno de los tramos de la Cuenca Baja.	77
Tabla 17. Coeficiente de permeabilidad.	77
Tabla 18. Capacidad de infiltración [m^3/s] de los tramos del río en el piedemonte.	78
Tabla 19. Parámetros del modelo de pérdidas del SCS – CN de la Cuenca de La Granja.	80
Tabla 20. Parámetros CN del modelo de pérdidas del SCS – de la Cuenca de Agua de Oro.	81
Tabla 21. Parámetros CN del modelo de pérdidas del SCS – de la Cuenca Baja.	81
Tabla 22. Parámetros principales de cada una de las subcuencas del Río Ascochinga.	83
Tabla 23. Parámetros principales de cada una de las subcuencas del Río Santa Catalina.	84
Tabla 24. Parámetros principales de cada una de las subcuencas de Cuenca Media.	84
Tabla 25. Parámetros principales de cada una de las subcuencas de Cuenca Baja.	84
Tabla 26. Tiempos de concentración de cada una de las subcuencas de la Cuenca Ascochinga aplicando diferentes formulaciones empíricas.	85
Tabla 27. Tiempos de concentración de cada una de las subcuencas de la Cuenca Santa Catalina aplicando diferentes formulaciones empíricas.	86
Tabla 28. Tiempos de concentración de cada una de las subcuencas de la Cuenca Media aplicando diferentes formulaciones empíricas.	86

Tabla 29. Tiempos de concentración de cada una de las subcuencas de la Cuenca Baja aplicando diferentes formulaciones empíricas.....	87
Tabla 30. Parámetros del modelo de tránsito de Muskingum de cada uno de los tramos de la Cuenca Ascochinga.....	87
Tabla 31. Parámetros del modelo de tránsito de Muskingum de cada uno de los tramos de la Cuenca Santa Catalina.....	87
Tabla 32. Parámetros del modelo de tránsito de Muskingum de cada uno de los tramos de la Cuenca Media.....	87
Tabla 33. Parámetros del modelo de tránsito de Muskingum de cada uno de los tramos de la Cuenca Baja.....	88
Tabla 34. Coeficiente de permeabilidad.....	88
Tabla 35. Capacidad de infiltración [m^3/s] de los tramos del río en el piedemonte.....	88
Tabla 36. Parámetros del modelo de pérdidas del SCS – CN de la Cuenca Ascochinga.....	91
Tabla 37. Parámetros CN del modelo de pérdidas del SCS – de la Cuenca Santa Catalina.....	91
Tabla 38. Parámetros CN del modelo de pérdidas del SCS – de la Cuenca Media.....	91
Tabla 39. Parámetros CN del modelo de pérdidas del SCS – de la Cuenca Baja.....	91
Tabla 40. Parámetros principales de cada una de las subcuencas de la cuenca del Río Mula Muerta.....	94
Tabla 41. Tiempos de concentración de cada una de las subcuencas de la cuenca del Río Mula Muerta aplicando diferentes formulaciones empíricas.....	96
Tabla 42. Parámetros del modelo de tránsito de Muskingum de cada uno de los tramos de la cuenca del Río Mula Muerta.....	97
Tabla 43. Coeficiente de permeabilidad.....	97
Tabla 44. Capacidad de infiltración [m^3/s] de los tramos del Río Mula Muerta en el piedemonte..	97
Tabla 45. Parámetros del modelo de pérdidas del SCS – CN de las subcuenca del Río Mula Muerta.....	99
Tabla 46. Parámetros principales de cada una de las subcuencas de la cuenca del Río Pinto.....	101
Tabla 47. Tiempos de concentración de cada una de las subcuencas de la cuenca del Río Pinto aplicando diferentes formulaciones empíricas.....	103
Tabla 48. Parámetros del modelo de tránsito de Muskingum de cada uno de los tramos de la cuenca del Río Pinto.....	103
Tabla 49. Coeficiente de permeabilidad.....	104
Tabla 50. Capacidad de infiltración [m^3/s] de los tramos del Río Pinto en el piedemonte.....	104
Tabla 51. Parámetros del modelo de pérdidas del SCS – CN de las subcuenca del Río Pinto.....	106
Tabla 52. Parámetros principales de cada una de las subcuencas de la Cuenca alta del Río Los Mistoles.....	108
Tabla 53. Parámetros principales de cada una de las subcuencas de la Cuenca media del Río Los Mistoles.....	109
Tabla 54. Parámetros principales de cada una de las subcuencas de la Cuenca baja del Río Los Mistoles.....	109
Tabla 55. Tiempos de concentración de cada una de las subcuencas de la Cuenca Alta del Río Los Mistoles aplicando diferentes formulaciones empíricas.....	110

Tabla 56. Tiempos de concentración de cada una de las subcuencas de la Cuenca Media del Río Los Mistoles aplicando diferentes formulaciones empíricas.	111
Tabla 57. Tiempos de concentración de cada una de las subcuencas de la Cuenca Baja del Río Los Mistoles aplicando diferentes formulaciones empíricas.	111
Tabla 58. Parámetros del modelo de Muskingum de cada uno de los tramos de los cauces de la Cuenca Los Mistoles.	112
Tabla 59. Coeficiente de permeabilidad.	112
Tabla 60. Capacidad de infiltración [m^3/s] de los tramos del río en el piedemonte.....	113
Tabla 61. Parámetros CN del modelo de pérdidas del SCS – de la Cuenca Alta.	115
Tabla 62. Parámetros CN del modelo de pérdidas del SCS – de la Cuenca Media.	116
Tabla 63. Parámetros CN del modelo de pérdidas del SCS – de la Cuenca Baja.....	116
Tabla 64. Caudales picos en los “Puntos de Interés” de la cuenca del Río Carnero para Tr: 5, 10, 25, 50 y 100 años.	124
Tabla 65. Caudales picos en los “Puntos de Interés” de la cuenca del Río Guanusacate para Tr: 5, 10, 25, 50 y 100 años.....	126
Tabla 66. Caudales picos en los “Puntos de Interés” de la cuenca del Arroyo Mula Muerta para Tr: 5, 10, 25, 50 y 100 años.....	127
Tabla 67. Caudales picos en los “Puntos de Interés” de la cuenca del Río Pinto para Tr: 5, 10, 25, 50 y 100 años.	128
Tabla 68. Caudales picos en los “Puntos de Interés” de la cuenca del Río Los Mistoles para Tr: 5, 10, 25, 50 y 100 años.	129
Tabla 69. Perfil agro físico del suelo (Taboada, 2004).	138
Tabla 70. Algunas características de los sistemas de terrazas (FAO).	150
Tabla 71. Tipo de Control en función a la pendiente y precipitación.	152

ORDENAMIENTO DE LOS ESCURRIMIENTOS HÍDRICOS DE LA CUENCA DE LOS RÍOS CARNERO, GUANUSACATE, PINTO, LOS MISTOLES Y OTROS ARROYOS MENORES

1 INTRODUCCION

Las cuencas hidrográficas del norte de la Provincia de Córdoba con desarrollo en la vertiente oriental de las Sierras Chica y Norte, se explayaban e insumían en su ingreso a la planicie oriental tras un corto recorrido, la dinámica fluvial que a partir de la década del 70 evidencia cambios de consideración a partir del avance de los procesos de derrame y colmatación hacia el este en dirección a la depresión estructural de la Laguna de La Mar Chiquita.

Como consecuencia, tienen lugar situaciones de significativa inestabilidad con fuerte potencial de agravamiento, entre las que se destacan procesos de erosión hídrica acelerada en interfluvios en todas sus formas, crecientes repentinas que generan inundaciones por desbordes, erosión de márgenes y colmatación de zonas productivas.

Estos procesos en conjunto, han causado un fuerte deterioro de la infraestructura por anegamiento, cortes y profundización, tanto en poblados como en campos, caminos principales y secundarios. Situación que, aunque se encuentra en un estado incipiente, de no adoptarse medidas de control y prevención a corto plazo, podría derivar finalmente en consecuencias críticas irreversibles.

2 OBJETIVOS

Realizar estudios geológicos y geomorfológicos orientados a evaluar la naturaleza del terreno, las geoformas que lo componen, procesos dinámicos y su tendencia evolutiva con énfasis en el aspecto hidrodinámico, a los efectos de contar con la base de información requerida para la aplicación de acciones de control, prevención y mitigación.

Determinar mediante un análisis estadístico las series históricas de precipitaciones, las Tormentas de Diseño y realizar un estudio hidrológico de las cuencas analizadas para cuantificar los escurrimientos superficiales, para diferentes recurrencias, en puntos de particular interés como cruces con infraestructura vial o en cascos urbanos.

3 CARACTERIZACIÓN HIDROGEOMORFOLÓGICA REGIONAL

3.1 ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio comprende de sur a norte, los sistemas hidrográficos de los ríos Carnero, Guanusacate o Jesús María, el Arroyo Mula Muerta y el río Los Mistoles. De oeste a este, abarca la parte cumbre del cordón oriental de la Sierras de Córdoba conformado por la Sa. Chica y su prolongación norte Sa. de Ischilin., hasta la curva de nivel 300 (Figura 1).

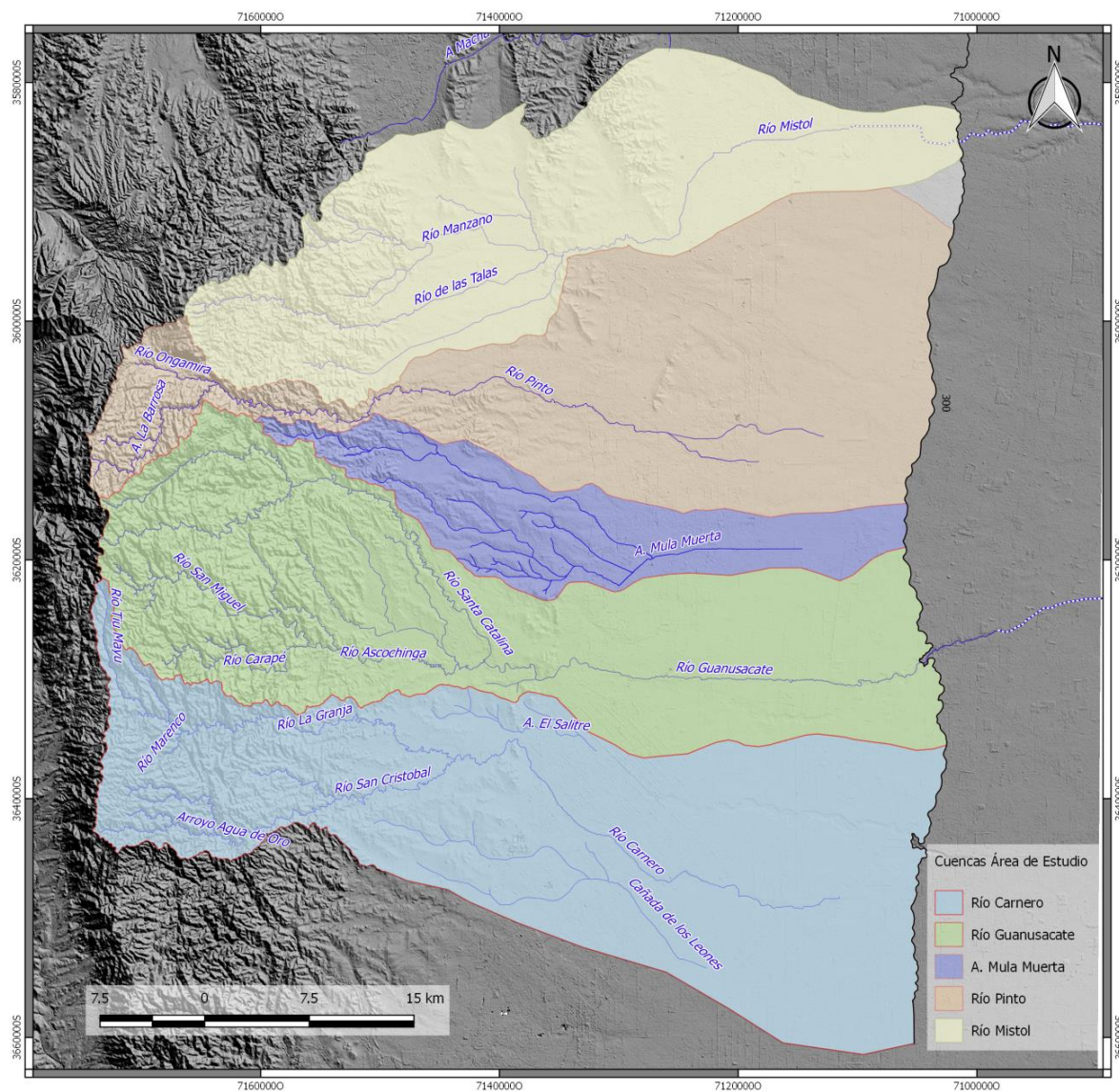


Figura 1. Cuencas comprendidas en el área de Estudio

3.2 METODOLOGIA

Se empleo el criterio geológico y geomorfológico, mediante la aplicación de las técnicas de la fotointerpretación y teledetección, utilizando fotografías aéreas a escala aproximada 1:20.000 y 1:50.000 (años 1970 y 1988) e imágenes satelitales landsat 2-8 , Sentinel 2 y Google Earth Quid Bird, que en conjunto abarcan el periodo (1972-2017).

Mediante fotoanálisis estereoscópico con apoyo de imágenes satelitales, se diferenciaron unidades de terreno referidas a aspectos geológicos, geomorfológicos con énfasis en la dimensión hidrodinámica y en los procesos erosivos asociados.

El análisis y cartografía temática, se realizó mediante un sistema de información geográfica. Para ello, se trabajó con los programas de código abierto QGIS 2.14.0 y SAGA GIS. La delimitación de las cuencas, sistemas de drenaje y parámetros morfométricos se efectuaron a partir del procesamiento de Modelos digitales de Elevaciones (MDE) provistos por el Instituto Geográfico Nacional (IGN), de una resolución de 30 metros por píxel, pre procesados mediante relleno de vacíos, inclusión de datos de lagos, filtrado espacial y enmascarado de límites, correspondientes a la misión SRTM (Shuttle Radar Topography Mission-NASA, año 2000)

La cartografía realizada se proyectó o reproyectó al Marco de referencia: WGS 84, sistema de proyección UTM 20S.

3.3 SISTEMAS HIDROGRAFICOS

En la Figura 2 - (Carta 1 Anexo) se observa el Índice topográfico de humedad (ITH), este parámetro adimensional determina las direcciones preferenciales del escurrimiento superficial. Para ello combina la contribución al escurrimiento de un área local drenada y su pendiente, cuantificando el control topográfico de los procesos hidrológicos. Valores altos de ITH indican zonas de concentración del escurrimiento (Alcántara-Ayala, 2000).

A nivel regional los sistemas hidrográficos comprendidos en el área de estudio presentan una dirección de escurrimiento preferencial de dirección O - E /NE con nivel de base local constituido por la laguna Mar Chiquita.

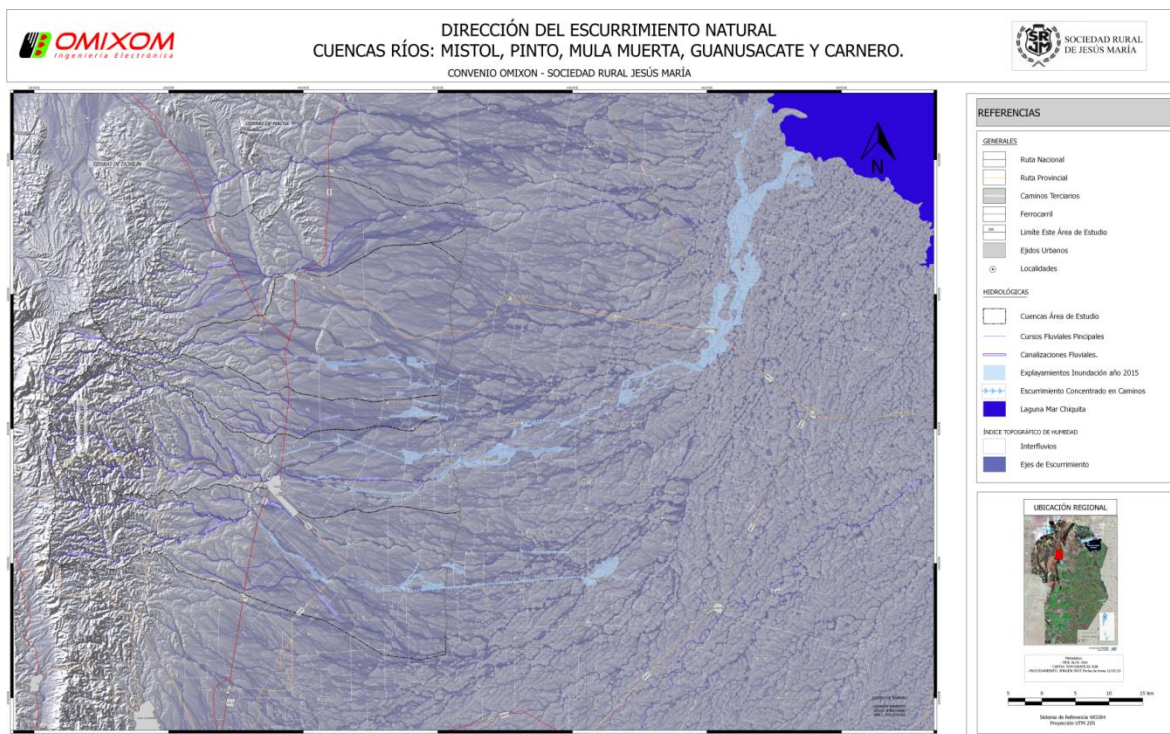


Figura 2. Esguerrimiento Natural Índice Topográfico de Humedad. (Carta 1 Anexo)

3.3.1 RÍO CARNERO

En la vertiente oriental de la Sa. Chica dos subcuencas principales constituyen el área de recepción en la zona de montaña: la subcuenca del río San Cristóbal al Sur y la subcuenca del río La Granja al Norte. La primera con nacientes a los 1605 m.s.n.m. y la segunda 1719 m.s.n.m., ambas de carácter permanente. (Figura 3).

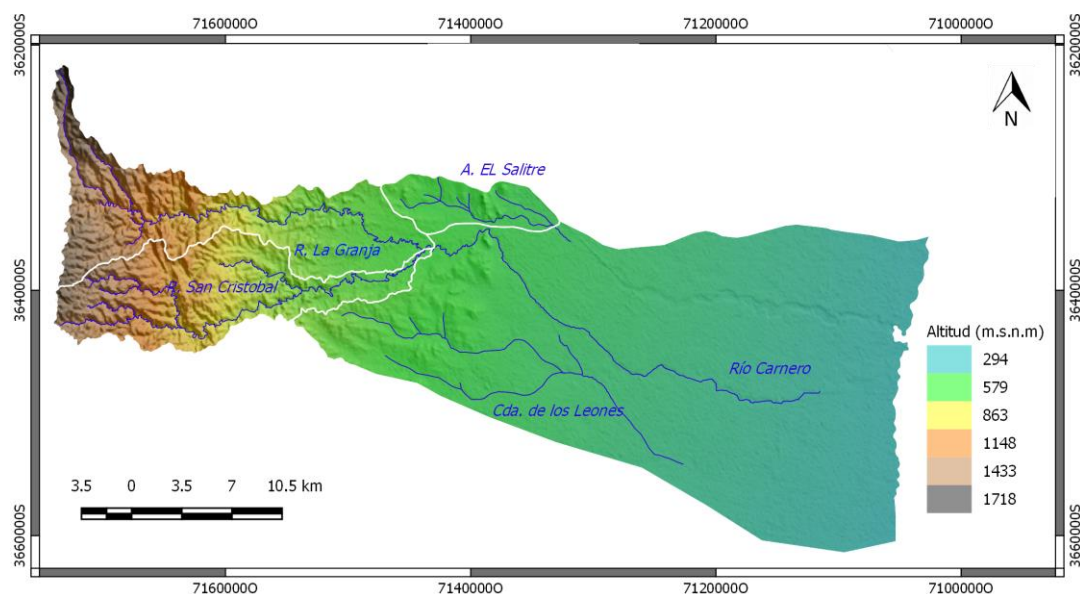


Figura 3. Cuenca Río Carnero, cursos fluviales principales y altitud.

A la salida del ambiente serrano los colectores principales luego de un recorrido del orden de los 19 km. confluyen para dar origen al río Carnero colector principal del sistema.

Éste recibe el aporte de subcuencas laterales por ambas márgenes definidas por bajos plano-cóncavos sin álveo definido con bajo grado de jerarquización y régimen de escurrimiento temporario, hasta las cercanías de la Ruta Nacional N° 9.

En la situación evolutiva actual, dicho colector por encajamiento tiene clara definición geomorfológica en un recorrido de 30 Km. hasta la altura de la localidad de Tinoco, para luego por explayamientos, tomar como principal eje el camino que se dirige a la localidad de Rangel.

En estiaje el curso tiene carácter permanente hasta sobrepasar el trazo de la ruta Nac. N° 9, para luego insumirse y ante la ocurrencia de precipitaciones importantes, los excedentes se conducen en parte por el trazo de dicho camino y en forma de explayamientos en la zona rural.

Completan el sistema al sur del río una subcuenca de carácter temporario conformada por bajos plano-cóncavos sin álveo definido con una superficie aproximada de 30 km², con entero desarrollo en la zona de piedemonte (Cañada de Los Leones), que luego de atravesar la ruta Nac. N° 9, pasa a integrarse a los explayamientos del colector principal. Por su parte al norte, se integra un paleocauce de clara definición geomorfológica de diseño meandriforme con una profundidad del orden de los 3 a 4 mts. y una amplitud cercana a los 100 mts., que se extiende desde la localidad de Colonia Caroya pasando al sur de la localidad de Esquina, una longitud de 24 km. para luego perder definición paulatinamente (Cañada de San Antonio).

Este paleocauce no tiene conexión hidrológica con el cauce actual del R. Carnero, pero capta y conduce los aportes pluviales del entorno próximo de Colonia Caroya.

La magnitud de esta paleoforma indica la conducción de caudales más significativos que los actuales y la probabilidad de que esté asociada a un colector principal derivado de la confluencia de los ríos Carnero y Guanusacate en un pasado geológico reciente.

3.3.2 SISTEMA HIDROGRAFICO DE LOS RIOS GUANUSACATE (JESÚS MARÍA), MULA MUERTA Y PINTO

La consideración en conjunto de las tres cuencas obedece a que si bien en la condición evolutiva actual forman parte de un sistema hidrográfico aún no integrado, la tendencia de los procesos fluviales indican con claridad esta posibilidad (Figura 4).

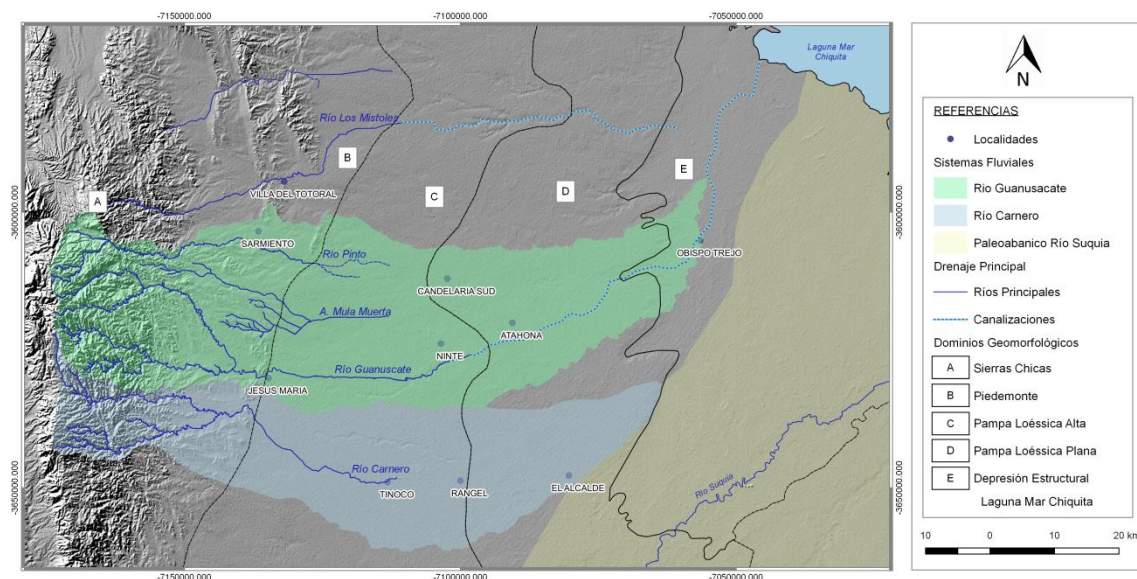


Figura 4. Sistema Hidrográfico Ríos Guanusacate, Mula Muerta y Pinto .

3.3.2.1 Río Guanusacate

Dos subcuencas principales constituyen el área de recepción del sistema en la vertiente oriental de la Sa. Chica: al norte la Sub cuenca del río Santa Catalina y al sur la subcuenca del río Ascochinga. Esta última, en el ámbito de piedemonte recibe por margen izquierda los aportes de una subcuenca que no presenta toponimia.

Los colectores principales luego de abandonar el ambiente serrano, confluyen con caudales permanentes en el piedemonte a una distancia de 10 km. para dar lugar al río Guanusacate o Jesús María.

Desde la confluencia luego de un recorrido de 2.5 km, el río atraviesa la zona sub-urbana y urbana de la Ciudad de Jesús María. El conjunto del sistema hasta la ruta Nac. Nº 9, recibe el aporte de sub cuencas laterales esporádicas que drenan bajos plano-cóncavos (Figura 5).

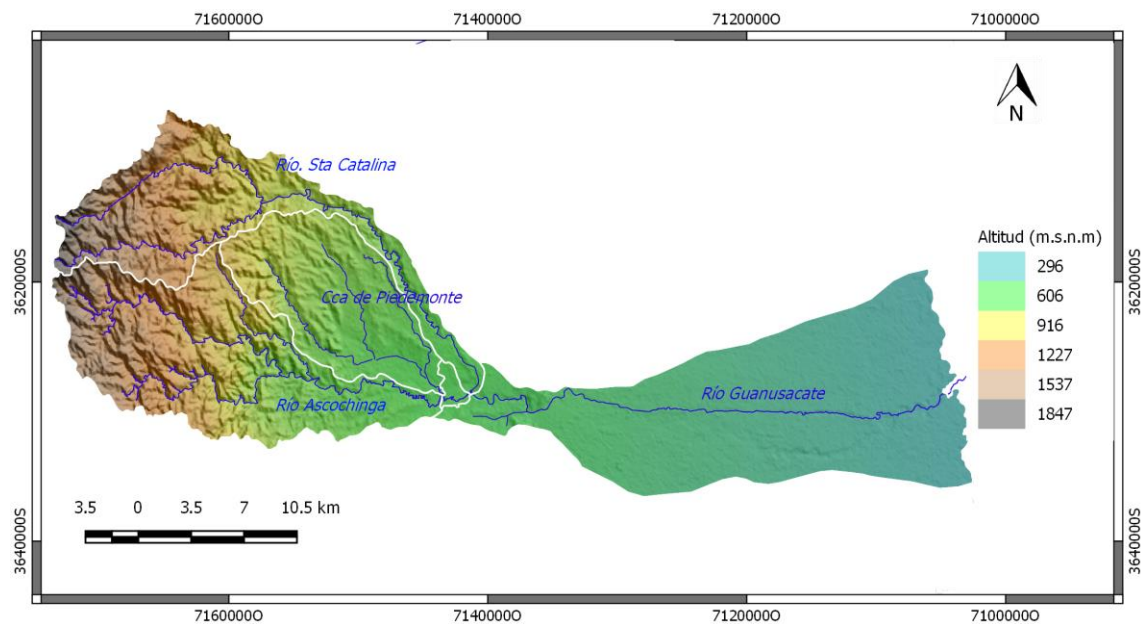


Figura 5. Cuenca Río Guanusacate, cursos fluviales principales y altitud.

Aguas abajo de la ruta Nac. N° 9 en la situación evolutiva actual, el cauce del río por canalización desagua en la laguna Mar Chiquita, atravesando a su paso la localidad de Obispo Trejo.

3.3.2.2 Sistema Mula Muerta

Al norte limitando con la cuenca del río Guanusacate tiene desarrollo el sistema de Mula Muerta de carácter temporal.

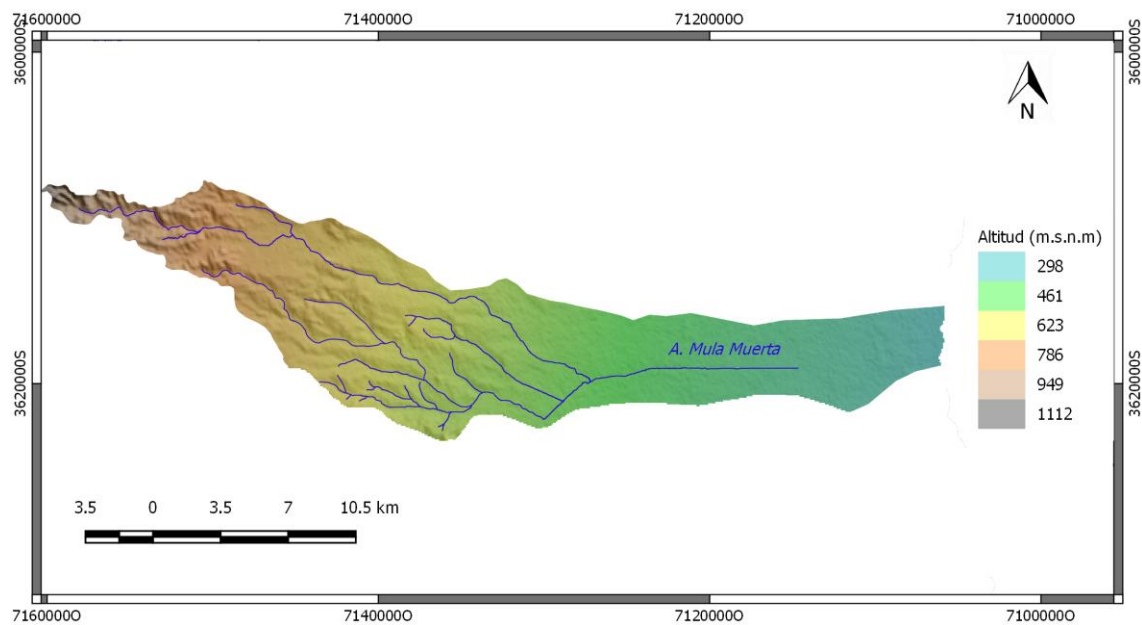


Figura 6. Cuenca Arroyo Mula Muerta, cursos fluviales principales y altitud

Su área de recepción se desarrolla en el ambiente del piedemonte de la vertiente oriental de la Sa. Chica entre los 1112. Presenta un sistema de drenaje en vías de consolidación, configurado por bajos pandos plano-cóncavos sin o con álveo definido, por acción de erosión hídrica concentrada acelerada, abarcando una superficie de 180 km².

Aguas abajo de la ruta Nac N° 9 el sistema en la situación evolutiva actual, se encauza en un camino terciario donde se generó un nuevo cauce por encajamiento, en un recorrido de 24 km. en dirección este, para perder encajamiento en forma paulatina y derramar en forma de explayamientos (Figura 6).

3.3.2.3 Río Pinto

El área de recepción serrana en la vertiente oriental de la Sa. Chica, se conforma por dos subcuencas principales; el Río Ongamira al norte y el Arroyo la Barrosa al Sur, el primero con nacientes a 1.400 m.s.n.m y el segundo, a 1.700 m.s.n.m.

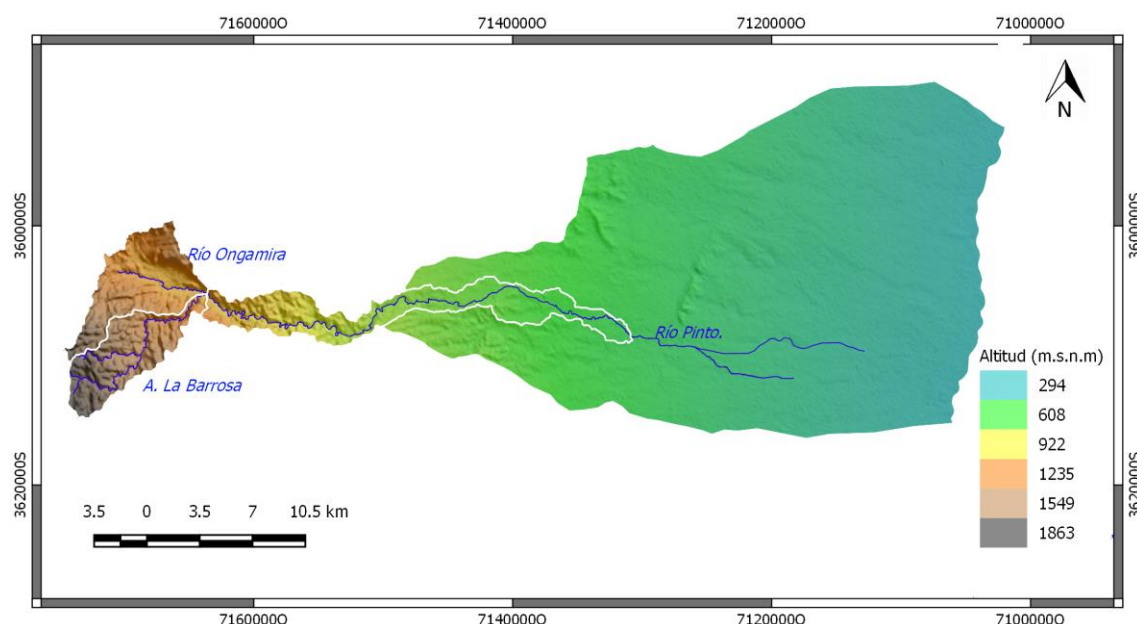


Figura 7. Cuenca Río Pinto cursos fluviales principales y altitud

Los colectores principales de ambas subcuencas, confluyen en la parte media de la cuenca a una altitud de 1074 m.s.n.m. para dar lugar al río Pinto, que luego de un recorrido en línea recta de 13 km. ingresa a la zona pedemontana. En época de estiaje mantiene caudal permanente hasta la salida de la sierra y en piedemonte recibe cuencas laterales esporádicas que drenan bajos pandos plano-cóncavos, con mayor significación por margen izquierda (Figura 7).

En dirección este luego de 17 km. ingresa a la planicie en donde en un recorrido del orden de los 10 km. a partir de la ruta Nac. N° 9, pierde encajamiento y explaya ante crecidas importantes.

3.3.3 SISTEMA HIDROGRÁFICO RIO LOS MISTOLES

El río los Mistoles organiza sus nacientes en la vertiente oriental de la Sierra de Ischilín, según dos subcuencas principales: la del río de Las Talas, al sur y la del río El manzano al norte.

El arroyo de Las Talas nace a 1450 m.s.n.m. y luego de un recorrido en línea recta de 14km. ingresa al ámbito del Piedemonte en este ambiente corre encajado en una distancia de 7 km. para luego perder definición y explayarse e insumirse (Figura 8).

Por su parte, el río El Manzano, presenta sus nacientes a 960 m.s.n.m. y luego de recorrer 7.5 km se insume inmediatamente al salir de la sierra.

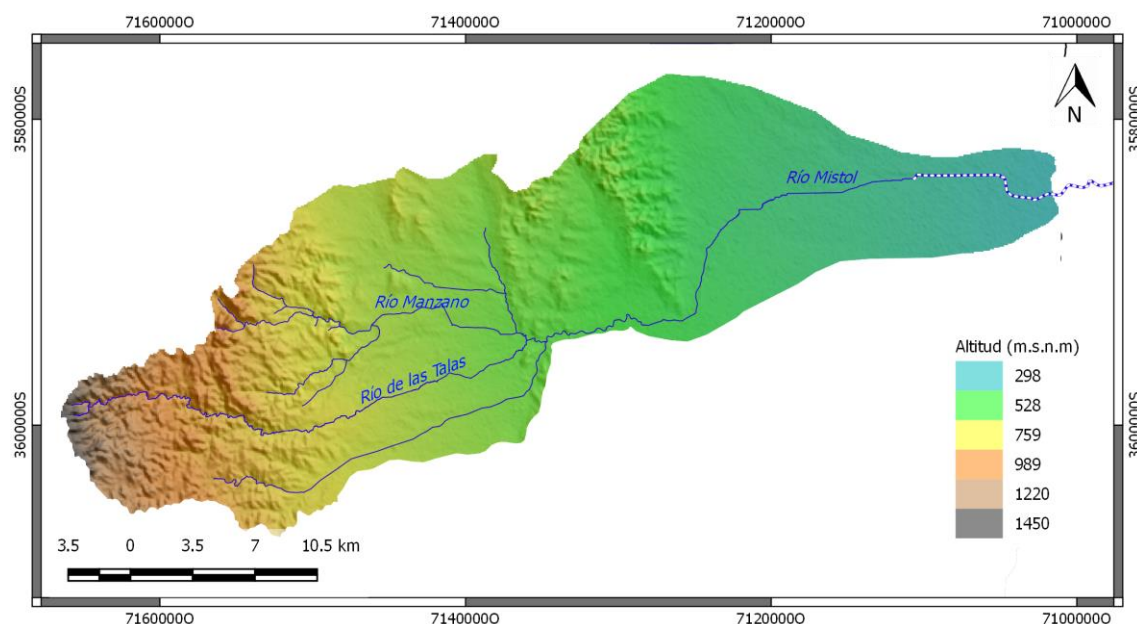


Figura 8. Cuenca Río Mistol, cursos fluviales principales y altitud

Ambos en el ambiente de sierra tienen caudal permanente en estiaje y carácter temporal en el piedemonte, pero ante la ocurrencia de crecidas los derrames confluyen unos 4 km. al este de la Ruta Nac. N° 60 al pie de la Sa. de Macha para dar lugar al río Los Mistoles.

En este sitio por efecto de la falla ligada al levantamiento de la sierra, se genera una situación geohidrológica particular que determina que en época de estiaje, el curso desde dicho sitio, mantenga caudal permanente muy probablemente por efecto de entrampamiento en profundidad, hasta la cercanía de la ruta Nac. N° 9. (Figura 9).

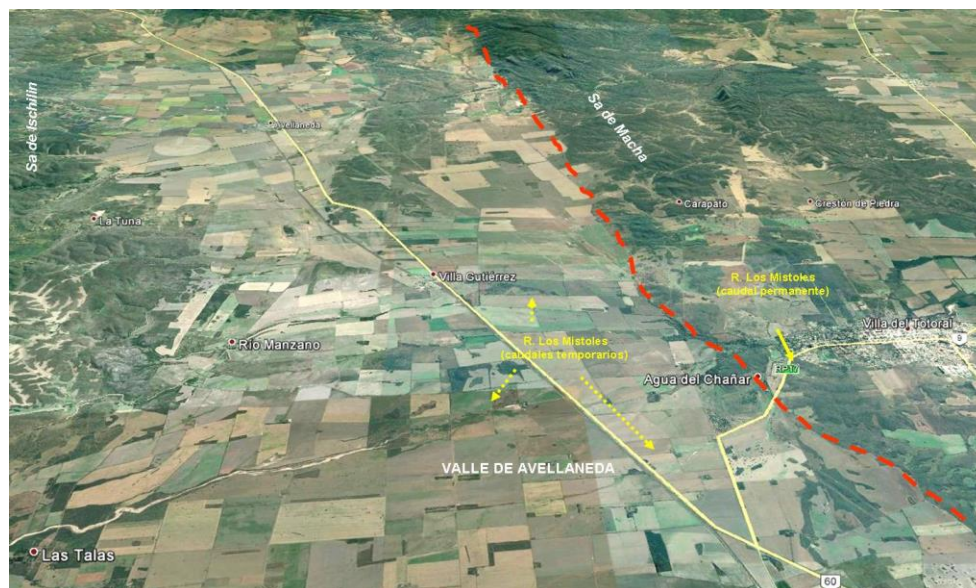


Figura 9. Valle estructural de Avellaneda. Cuenca R. Los Mistoles. Falla implicada en el levantamiento de la Sa. de Macha (rojo). Aguas arriba del trazo cursos de agua temporarios y aguas abajo, curso de agua permanente.

3.4 CONDICIONES GEOMORFOLOGIAS, GEOLOGICAS Y PROCESOS RIESGOS ASOCIADOS A NIVEL REGIONAL.

Desde el punto de vista geomorfológico las cuencas hidrográficas comprendidas en el estudio tienen desarrollo en dos regiones geomorfológicas: Las Sierras Pampeanas de Córdoba y la Llanura Chaco Pampeana.

En la Región de las Sierras Pampeanas de Córdoba a nivel de ambientes, se distinguen las vertientes tendidas que buzan en dirección este del cordón Oriental, configurado de sur a norte por las sierras: Sa. Chica, Sa. De Ischilin y Sa. Macha. Completan el cuadro las zonas pedemontanas asociadas y por último en la Región de la Llanura Chaco Pampeana, a nivel de ambiente la Pampa Loéssica Alta (Figura 10- Anexo Carta 2).

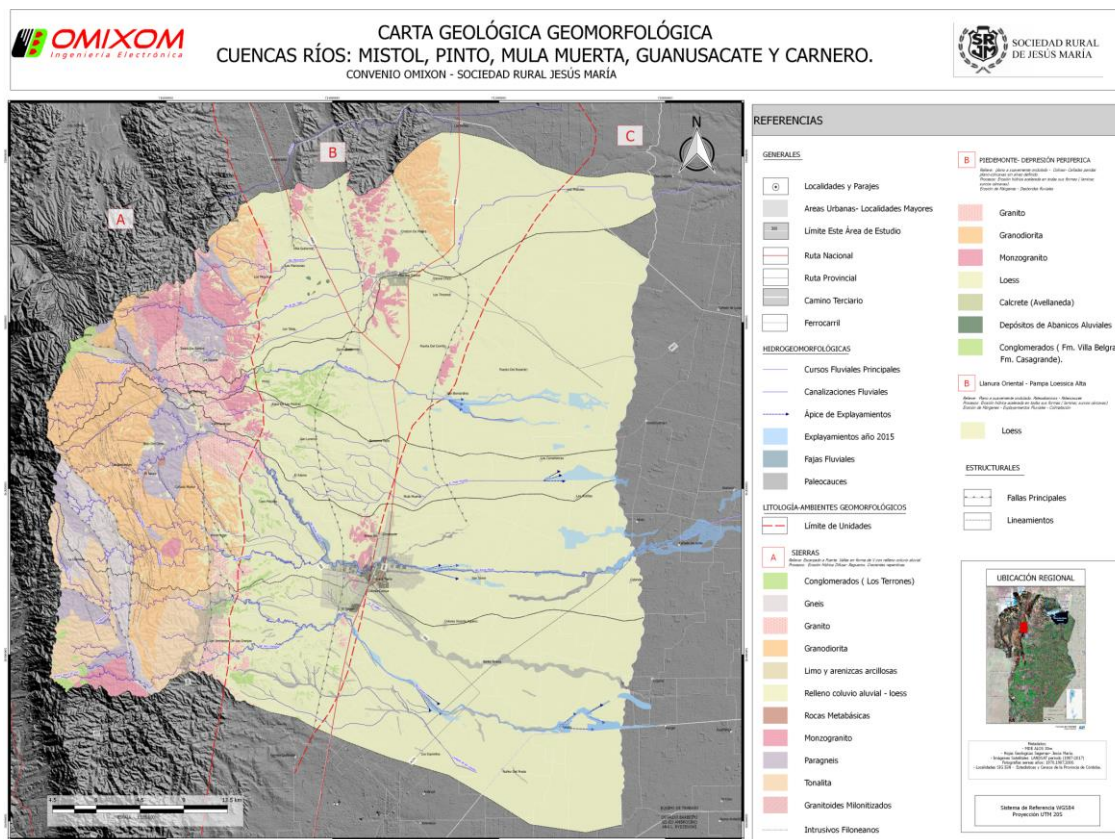


Figura 10. Carta geológica Geomorfológica área de estudio. (Anexo Carta 2)

En cada uno de estos ambientes tienen acción procesos dinámicos generadores de riesgo que se describen en cada caso particular, distinguiendo procesos fluviales y procesos en los interfluvios.

El proceso fluvial de mayor severidad está constituido por las crecientes repentinas. Se encuentra condicionado por una conjunción de factores permanentes y transitorios, que caracterizan el área de recepción de las cuencas, ya que en este ámbito, se genera la captación y conducción del agua precipitada.

Los factores permanentes, corresponden a la litología, el relieve, suelos y al tipo de vegetación natural; que determinan la relación infiltración-escorrentía. El factor transitorio y desencadenante está constituido por el clima de acuerdo a las características de las precipitaciones (tipo, intensidad, duración y distribución.)

Las cuencas bajo estudio, se caracterizan por el dominio de rocas plutónicas y metamórficas que alternan con suelos residuales, someros en cubiertas discontinuas de rápida saturación. El relieve es escarpado lo que determina un escurrimiento excesivo ante la baja permeabilidad del material geológico dominante y las fuertes pendientes.

Respecto de la vegetación natural, pertenece a la región fitogeográfica de Chaco Serrano y se distribuye en pisos altitudinales: el Piso del Bosque Serrano, el Piso del Arbustal o Romerillal y el

Piso del Pastizal en los máximos niveles por encima de los 1100 m.s.n.m. Esta característica determina que el área de recepción presenta una escasa intercepción de las precipitaciones por cubierta vegetal ya que se compone de pastizales en altura supeditada a la existencia de suelos, con alternancia de roca desnuda.

Respecto del régimen climático, presenta una concentración de las precipitaciones en periodo estival. Caracterizado por la presencia ocasional de tormentas convectivas causadas por efecto orográfico, que se manifiestan con elevada intensidad y concentradas en periodos cortos de tiempo.

Los factores mencionados, determinan una alta tendencia a la generación de crecientes repentinas, generando condiciones de inestabilidad por desbordes fluviales y por la acción generalizada de procesos de erosión de márgenes, de mayor severidad en las curvas externas de los cauces. En los sectores afectados por desbordes y explayamientos se observa colmatación de suelos productivos, por depósitos aluvionales.

En lo concerniente al ámbito de los interfluvios el proceso dinámico más relevante y más extendido, se corresponde con la erosión hídrica acelerada en todas sus formas: salpicadura, laminar, en regueros y cárcavas.

La erosión por Salpicadura se origina por el impacto directo de las gotas de lluvia sobre el suelo desnudo, que genera la dispersión de las partículas que lo componen. En forma laminar está asociada al escurrimiento mantiforme en relieves relativamente planos. Por último, en áreas con aumento de pendiente se produce erosión en regueros y en cárcavas en los bajos que actúan como ejes principales de captación del escurrimiento.

Los factores condicionantes se corresponden con la naturaleza de los suelos, el valor de las pendientes, el tipo y estado de la cubierta de vegetación y el clima, según la distribución, cantidad e intensidad de las precipitaciones.

Es importante diferenciar la erosión geológica normal que se rige de acuerdo a las condiciones de los factores antecedentes, de la erosión hídrica acelerada que deviene de la participación del factor antrópico por alteración de la vegetación natural para el uso agrícola, a lo que se le suma la ausencia de prácticas de conservación.

Para evaluar la incidencia de la pérdida de cobertura vegetal se realizó una clasificación supervisada de vegetación de los pisos bosque serrano y arbustal en años 1972 -2017. Para ello, se utilizaron mosaicos de Imágenes Landsat 1 (resolución espacial 80m) y Sentinel 2 (resolución espacial 20m.) respectivamente. Los resultados obtenidos indican que se deforestaron aproximadamente 98.100 ha. Los sectores más afectados corresponden a los ambientes de piedemonte y llanura, el primero de ellos constituye el ámbito más propicio para el desarrollo de erosión hídrica en todas sus formas, mientras que en el segundo, la pérdida de vegetación favorece el avance hacia el Este de los explayamientos de los cursos fluviales principales de las cuencas bajo estudio (Figura 12).

Es ante esta situación, que la importancia de la erosión no solo está dada por la intensidad y alcance de los procesos, si no que a la vez por el valor del recurso afectado, que en este caso es alto por la productividad de los suelos, hecho que justifica plenamente la implementación de prácticas de conservación (Figura 11).

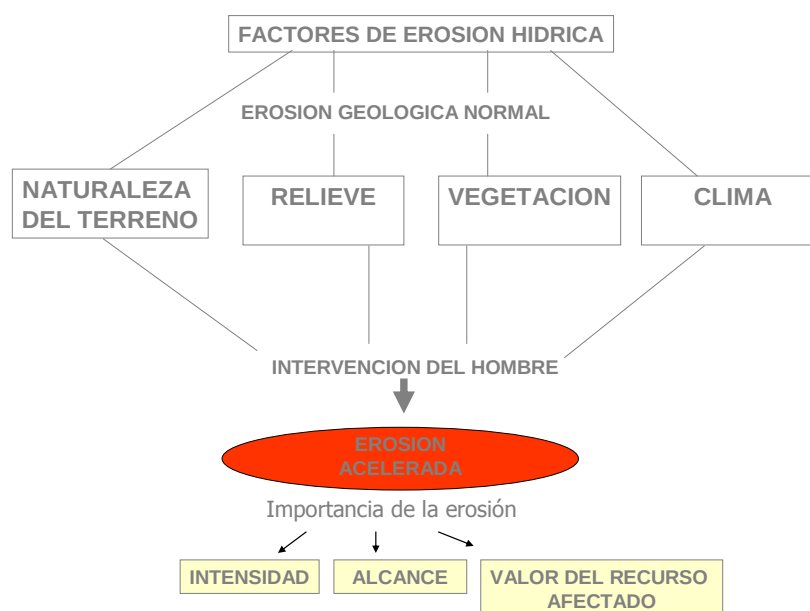
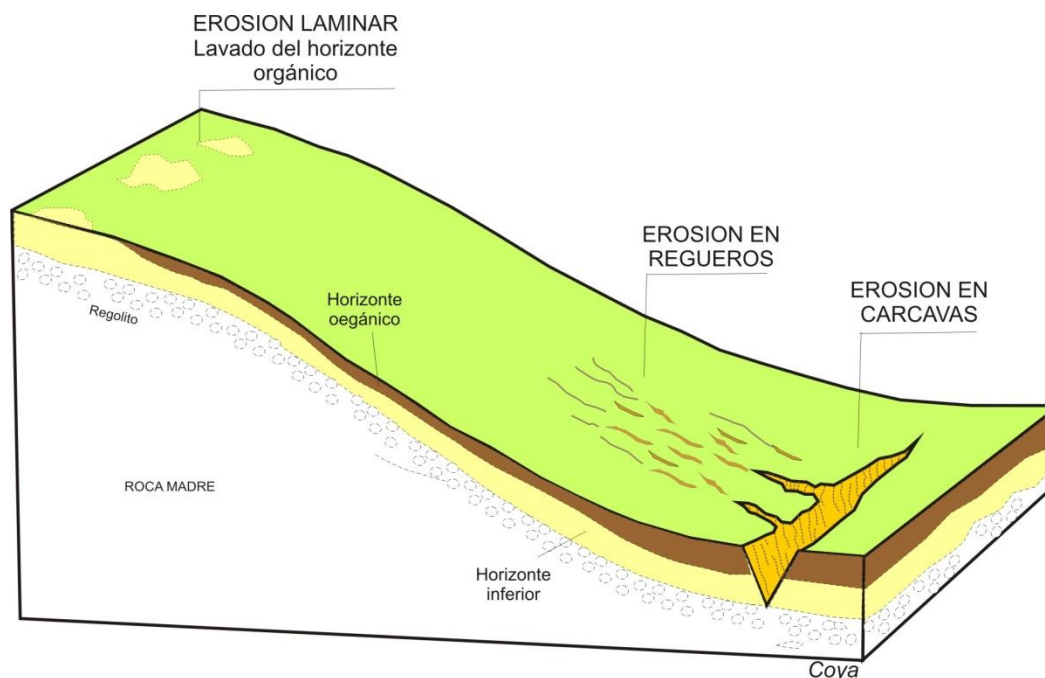


Figura 11. .Arriba: Block diagrama esquemático indicativo de relación relieve/procesos erosivos Abajo: Factores condicionantes de la erosión hídrica normal y acelerada.

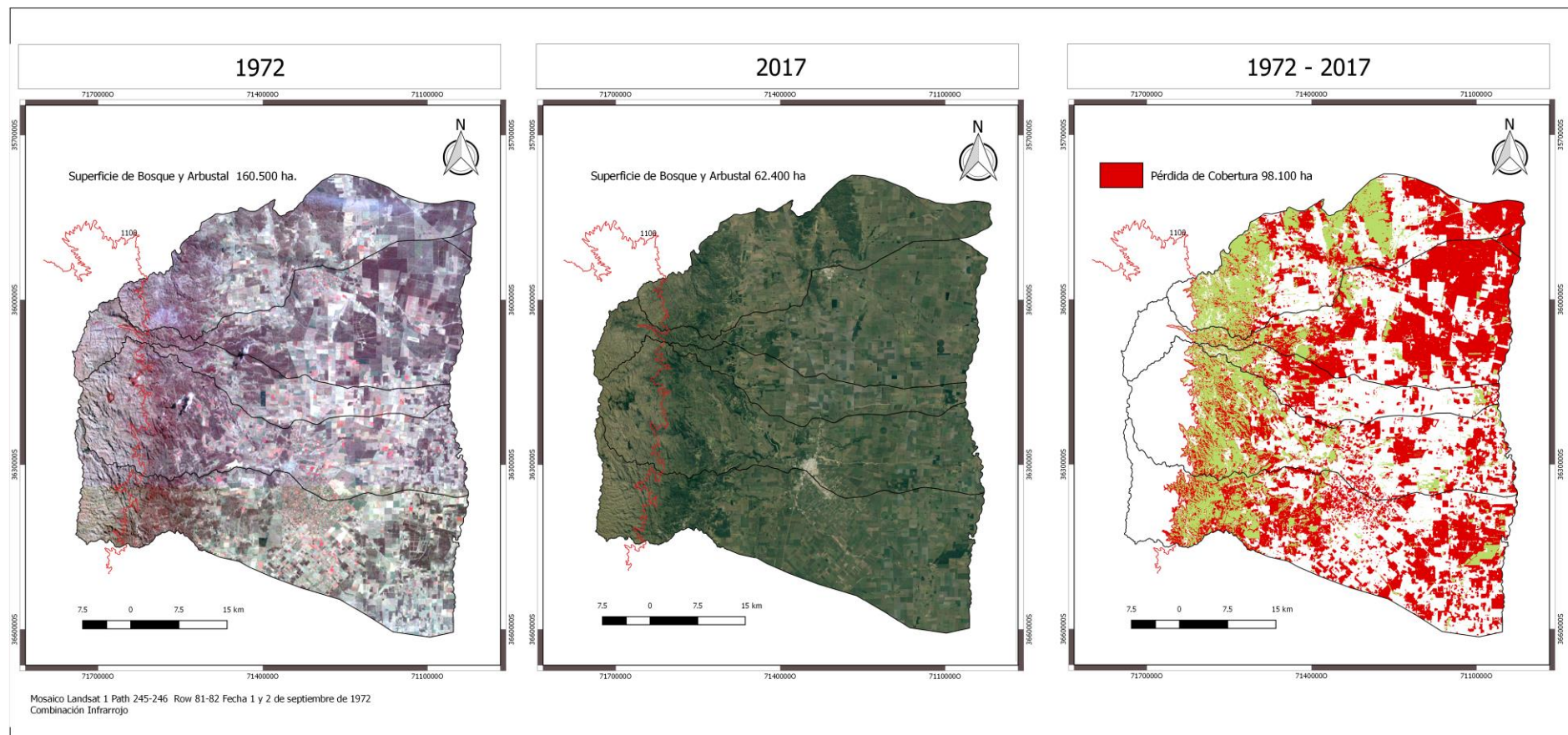


Figura 12. . Pérdida de cobertura vegetal pisos bosque serrano y arbustal periodo 1972-2017.

3.4.1 REGION SIERRAS PAMPEANAS DE CORDOBA

3.4.1.1 *Vertientes Orientales Tendidas de las Sierras Chica, Ischilin y Macha.*

Las sierras Chica, De Ischilin y Macha, forman parte del lineamiento orográfico oriental de las Sierras de Córdoba, que se ajusta al estilo tectónico de las Sierras Pampeanas conformadas por bloques meridionales elevados por fallas de magnitud regional, en forma fuerte hacia el oeste y basculados en forma más tendida en dirección este.

Las nacientes de las cuencas hidrográficas bajo estudio se desarrollan en este ámbito, a altitudes variables entre 1.800 m.s.n.m. y los 600 m.s.n.m. de sur a norte. El relieve medio varía entre fuerte (20-35%), accidentado (12-20%), mediano (7-12%) y suave (3-7%).

La variabilidad del relieve se corresponde a la alternancia de valles en “V” profundos por efecto de la incisión de la red de drenaje, interfluvios de laderas empinadas, escarpes asociados a fallas secundarias, antiguas geoformas de aplanamiento y valles secundarios elongados plano-cóncavos de carácter estructural (Figura 13 y Figura 14).

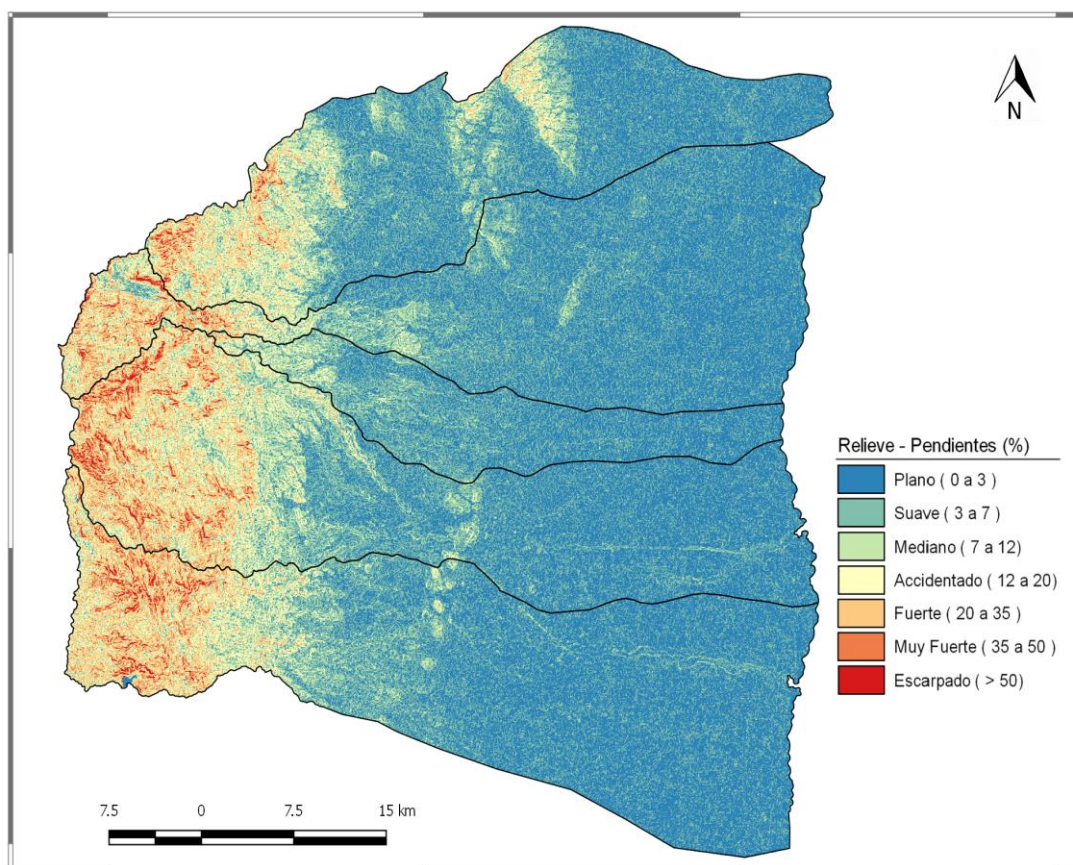


Figura 13. Clasificación del relieve según las pendientes (%).



Figura 14. Relieve fuerte en quebradas y accidentado en interfluvios. Naciente cuenca R. Pinto.

El material geológico se representa con el basamento cristalino antiguo de carácter metamórfico-plutónico de edad precámbrica-eopaleozoica, en donde alternan rocas ígneas (granitos, granodioritas y tonalitas), un complejo metamórfico compuesto por gneises, calizas cristalinas y rocas filoneanas (aplitas y pegmatitas).

Sobre el basamento en las partes cumbrales por sectores en forma de relíctos, se presentan en discordancia erosiva depósitos conglomerádicos y areniscas limosas más recientes, de edad cretácica con morfología de lomadas.

Completan el panorama geológico materiales que coluvio-aluviales modernos que rellenan los valles secundarios estructurales y depresiones (Figura 15) y los materiales aluvionales (bloques, gravas, arenas y limos) que rellenan las fajas fluviales de los principales colectores de la red de drenaje, aterrizados en la baja pendiente de la sierra (Figura 16).



Figura 15. Relieve suave en valles estructurales secundarios con relleno coluvio-aluvial. (a) Cuenca R. Guanusacate y (b) Cuenca R. Mula muerta.



Figura 16. Relleno aluvional aterrazado (T). Río Carnero.

Sobre el sustrato geológico han evolucionado por efecto de la meteorización, suelos residuales que alternan con porcentajes de roca desnuda variables según el tipo litológico. En basamento ígneo de tipo granítico, el porcentaje de roca desnuda es del orden del 20% a 30% y en el caso de las rocas metamórficas, del orden del 10% a 15%.

Son suelos someros con profundidades del orden de los 50 cm, texturas medias a gruesas excesivamente drenados y alta susceptibilidad a la erosión hídrica y más profundos y texturas medias franco limosas en los rellenos coluvio-aluviales de los valles secundarios.

Procesos dinámicos – Situaciones de amenazas/riesgos

Como procesos dinámicos generadores de situaciones de amenaza y riesgo de mayor significación, se destacan las crecidas repentinas en los colectores de mayor orden de la red de drenaje. Condicionadas por la baja permeabilidad del sustrato geológico, la energía del relieve, la cubierta de vegetación de escasa protección hidrológica y disparadas por lluvias intensas favorecidas por el efecto orográfico.

Frente a esta amenaza sectores urbanizados que ocupan las terrazas fluviales inundables enfrentan situaciones significativas de riesgo como es el caso de Ascochinga, Colonia Hogar y La Granja (Figura 17).



Figura 17. Zona urbana bajo amenaza severa por inundaciones repentinas. Nivel de terraza inundable ante crecidas ordinarias y extremas. La Granja.

La acción del escurrimiento superficial en lluvias intensas es excesivo y rápido, favorecido por la baja permeabilidad del material geológico y la rápida saturación de los suelos someros, lo que genera procesos de erosión hídrica en forma difusa (regueros) en laderas, con una intensidad y alcance dependiente del estado de la vegetación natural que actúa como reguladora.

En los valles estructurales de fondo plano cóncavo la concentración de esorrentía por sectores genera procesos de erosión hídrica concentrada en cárcavas (Figura 18).



Figura 18. Erosión hídrica concentrada en cárcavas en valles estructurales plano-cóncavos secundarios. Cuenca R. Guanusacate.

Los procesos de remoción en masa en forma de caídas, deslizamientos y flujos, se restringen a reptación en mantos localizada en laderas, caídas y deslizamientos de roca puntuales asociados a quebradas, escarpes de falla secundarios y filones.

3.4.1.2 Áreas pedemontanas

El piedemonte como transición entre la montaña y la llanura, tiene desarrollo en el ambiente de la Depresión Periférica que constituye una depresión longitudinal N-S de origen tectónico, desarrollada desde el pie de la Sa. Chica al oeste, hasta los cerros aislados inmediatamente al oeste del trazo de la ruta Nac. Nº 9. con una amplitud del orden de los 12 km a 18 km. El ambiente a la altura de la población de Villa Totoral, pasa a integrarse gradualmente al oeste al valle estructural de Avellaneda definido por la Sa. de Ischilin al oeste y por la Sa. de Macha, al este.

La geoforma dominante es de una planicie aluvial antigua conformada por la coalescencia de conos aluviales de relieve plano a suavemente ondulado, que incluye improntas de paleoformas fluviales, cañadas pandas plano-cóncavas sin alveo definido, fajas fluviales de los ríos principales y por ultimo colinas aisladas de relieve plano-convexo (Figura 19, Figura 20, Figura 21 Y Figura 22).

Los materiales geológicos se corresponden con depósitos aluviales con cubierta eólica en el caso de la planicie aluvial antigua; arenas, limos y arcillas, en las improntas fluviales; gravas, arenas y

limos en las fajas fluviales y en el caso de las lomas aisladas, alternancia de granitos y conglomerados.

El relieve medio es suavemente ondulado con pendientes entre el 0.1% a 1% en la parte central de la depresión y entre 2% y 6% en los bordes.



Figura 19. Depresión Periférica. Cuenca R. Carnero. Der. (A) paleo improntas fluviales y (B) faja fluvial. Izq. Colinas y lomas aisladas.

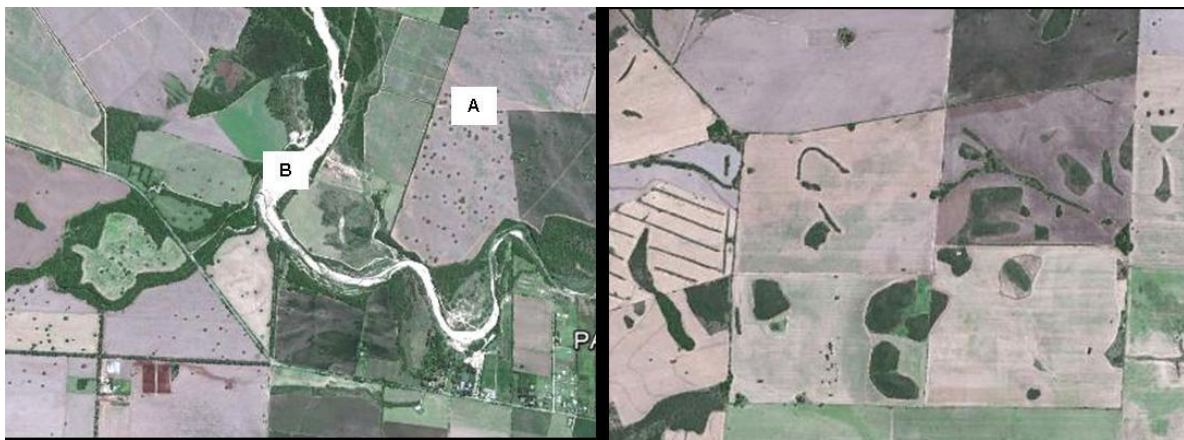


Figura 20. Depresión Periférica. Cuenca R. Guanusacate. Der. (A) paleo improntas fluviales y (B) faja fluvial. Izq. Lomas aisladas.



Figura 21. Depresión Periférica. Cuenca R. Pinto. Faja fluvial y lomas aisladas.



Figura 22. Depresión Periférica. Cuenca R. Los Mistoles. (A) paleo improntas fluviales y (B) Faja fluvial.

Procesos dinámicos – Situaciones de amenazas/riesgos

Los procesos dinámicos de mayor peso en el ambiente, están representados por la erosión hídrica acelerada en los interfluvios y los procesos fluviales de los cauces principales.

El concepto de erosión acelerada deviene del fuerte incremento de la erosión geológica normal, por la eliminación en gran parte de la cubierta de vegetación arbórea nativa que actuaba como reguladora de la relación infiltración-escorrentía.

La erosión hídrica se manifiesta en todas sus formas. Por salpicadura, a partir del impacto directo de las gotas de lluvia en el terreno desprovisto de vegetación y por acción del escurrimiento superficial que genera procesos de erosión hídrica acelerada en forma laminar, surcos y/o regueros y concentrada en cárcavas.

Los factores condicionantes de estos procesos son la naturaleza de los suelos de acuerdo al contenido orgánico, textura, estructura, etc., la pendiente, la vegetación y el clima de acuerdo a la cantidad e intensidad de las precipitaciones.

La erosión laminar ligada al escurrimiento no-concentrado mantiforme es evidente en análisis de fotos aéreas y/o imágenes satelitales por manchones claros por pérdida del horizonte orgánico (húmico) de color más oscuro difícil de percibir en campaña (Figura 23).



Figura 23. Manchones por efecto de erosión laminar. Cuenca R. Carnero.

El proceso se manifiesta en la parte cumbral del relieve de lomas y grada a erosión en regueros o surcos con el aumento de la pendiente y a erosión en cárcavas, cuando la escorrentía comienza a concentrarse en los bajos plano-cóncavos que actúan como ejes de avenamiento.

Con frecuencia la captación del escurrimiento mantiforme por efecto de la infraestructura vial, es causa de intensa erosión concentrada

En toda la región pedemontana en la que tienen desarrollo las cuencas en estudio, la erosión hídrica en todas sus formas es intensa y generalizada con alta tendencia a la intensificación (Figura 24).



Figura 24. Áreas pedemontanas. Erosión hídrica acelerada en forma laminar, en surcos y cárcavas. De arriba abajo: cuencas de los ríos Guanusacate, Mula Muerta, Pinto y Los Mistoles.

En este ambiente los procesos de orden fluvial en los colectores principales de las cuencas, se representan por inundaciones y erosión de márgenes.

Las inundaciones tienen una dinámica y alcance condicionado por las condiciones hidrogeomorfológicas de las fajas fluviales (amplitud, niveles de terrazas, etc.) y la erosión de márgenes, en función a la naturaleza geológica de estas y el diseño de los cauces. En cauces con marcada sinuosidad el proceso tiene acción en la parte externa de las curvas y deposición en las internas, pudiendo a la vez las curvas meándricas migrar en la dirección del flujo y/o acortarse o estrangularse.

Estos procesos fluviales afectan a sectores rurales por ampliación de cauces y severamente a sectores poblados y a infraestructura vial, destacándose el caso de la parte central y oeste de la Ciudad de Jesús María a ambas márgenes del río Guanusacate (Figura 25) y en menor medida la población de Villa Gutiérrez, incluida en zona de aportes laterales del R. Los Mistoles.



Figura 25. Ciudad de Jesús María ampliación de lecho ordinario (canal) por erosión de márgenes 2013 a 2015.
Infraestructura urbana afectada (Bº Agua Mansa) y puente RN 9.

La funcionalidad de los bajos plano-cóncavos que actúan como ejes de avenamiento sin conexión hidrológica con el ambiente de sierra, por aporte pluvial local, generan situaciones de inundación y anegamientos en predios rurales e infraestructura vial.

3.4.2 LLANURA CHACO PAMPEANA

3.4.2.1 *Pampa Loéssica Alta*

Este ambiente desde el punto de vista estructural, se corresponde a un bloque de basamento cristalino profundo algo elevado hacia el oeste y basculado suavemente en dirección este.

De sur a norte se presenta en forma continua desde del ambiente pedemontano al oeste, hasta el límite este del área de estudio.

El relieve es plano ondulado con pendiente regional suavemente inclinada en dirección este, que varía de 2% en el sector occidental, a 0.5% en el sector oriental.

En este ambiente, la disminución de la pendiente longitudinal de todos los colectores principales de las cuencas en estudio, han generado por efecto de pérdida de capacidad de carga y competencia procesos de avulsión históricos que dieron lugar a tendidos paloabanicos.

En estos paleoabanicos se da la alternancia de geoformas manifiestas en los canales activos de cada caso particular e improntas de palocanales e interfluvios plano-convexos.

El material geológico se trata de una cubierta limo-loéssica potente con espesores mayores a los 30 m. (loess franco-limoso), a partir del cual evolucionaron suelos profundos de texturas medias (molisoles Capacidad de uso Clase III).

Procesos dinámicos – Situaciones de amenazas/riesgos

En la situación evolutiva actual, es en este ambiente y en el piedemonte, donde tienen lugar los procesos de inestabilidad más significativos.

La eliminación casi completa de la cubierta de vegetación nativa arbórea y arbustiva para el uso agrícola, sumado al paulatino incremento de las precipitaciones, ha dado lugar en los últimos años a nuevos procesos fluviales y generalizados procesos erosivos y de colmatación de áreas productivas.

En un estado evolutivo antecedente los cursos a la salida de los ambientes de Montaña y Piedemonte tras un corto recorrido perdían encajamiento, se explayaban por avulsión e insumían, hidrodinámica que en el presente manifiesta cambios significativos.

Las zonas de explayamiento por aumento de caudales, fueron progresivamente sobrepasadas por encajamiento del cauce y trasladando los procesos de avulsión-explayamientos aguas abajo, situación que ocurre en la actualidad (Figura 26).

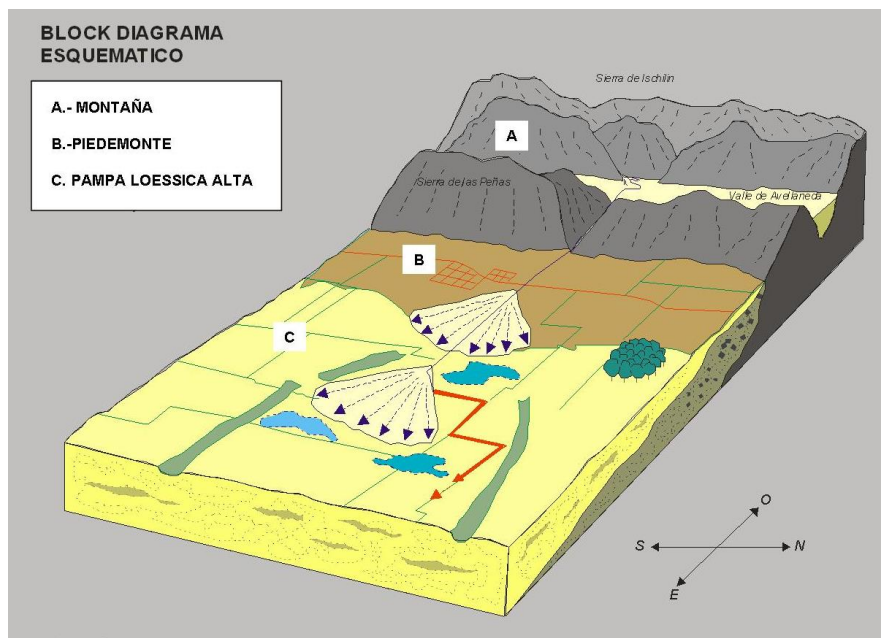


Figura 26. Ambiente Pampa Loéssica Plana. Block diagrama esquemático demostrativo de los nuevos procesos fluviales. Explayamientos y sobrepaso y activación de paleoformas.

Con frecuencia los explayamientos son captados por el trazo de caminos rurales dando lugar a una intensa erosión concentrada y/o formación de nuevos cauces fluviales, destacándose el caso de las cuencas R. Pinto y Aº Mula Muerta (Figura 27 y Figura 28).

La pérdida por erosión aguas abajo significa colmatación de áreas productivas en las áreas de derrame (Figura 29).



Figura 27. Situación incipiente y avanzada de erosión concentrada en camino rural. Cuenca R. Pinto.



Figura 28. Formación de cauce fluvial a partir de camino rural secundario. Aº Mula Muerta con afectación de escuela Capitán Díaz Vélez.



Figura 29. Colmatación de áreas productivas. Izq. Cuenca Aº Mula Muerta. Der. Cuenca R. Pinto.

El avance del encajamiento de los cauces es significativo y variable según obras de canalización.

Ante esta situación áreas urbanas y rurales e infraestructura vial, enfrentan situaciones de inestabilidad en forma de inundaciones, erosión y colmatación de zonas productivas con fuerte potencial de agravamiento.

Como zonas urbanas afectadas se encuentran las poblaciones de Tinoco y Rangel en la cuenca del río Carnero y la parte este de la ciudad de Jesús María en la cuenca del río Guanusacate (Figura 30).



Figura 30. Arriba: afectación de la población de Tinoco por inundaciones. Abajo: Bº Santa Elena Jesús María. Ampliación del lecho ordinario por erosión de márgenes. Inundación Año 2015.

4 CATEGORIZACIÓN DE AMENAZA POR CUENCAS SEGÚN PROCESO.

A continuación, se describen los procesos activos de génesis fluvial y en interfluvios generadores de amenaza, para cada cuenca bajo estudio según el ambiente geomorfológico, destacándose sitios particulares por la severidad de los procesos.

4.1 CUENCA DEL RIO LOS MISTOLES

4.1.1 Ambiente de Montaña

4.1.1.1 Procesos fluviales

Las crecientes repentinas en los principales colectores de la red de drenaje constituyen la amenaza más significativa.

El sistema de drenaje en el conjunto presenta un fuerte control estructural por efecto del trazo de fallas y/o fracturas, lo que define un diseño contorneado, en donde la erosión de márgenes en gran parte está limitada por la resistencia de la roca de base (rocas cristalinas).

De las dos subcuencas principales que conforman el sistema hidrográfico. La subcuenca del R. de Las Talas es la de mayor potencial hidrológico.

Su faja fluvial incluye escaso material aluvial que se presenta en forma discontinua, alternando con tramos en donde aflora la roca de base en el fondo del cauce. Tiene un limitado desarrollo lateral con un único nivel de terraza, lo que denota un predominio del arrastre sobre la deposición en la mayor parte del recorrido de la montaña (Figura 31).

Por su parte el R. El Manzano de menor potencial hidrológico que el anterior. En la alta cuenca mantiene las mismas características de faja fluvial, pero en la baja cuenca los tributarios de la red de drenaje tienen desarrollo en gran parte en un sistema de bajos de fondo plano-cóncavo rellenos por material coluvio-aluvial (Figura 31).



Figura 31. Izq: Faja fluvial en cuenca alta. Der. Bajos de fondo plano cóncavo con relleno coluvio aluvial.

La cubierta de vegetación natural en el conjunto del sistema hidrográfico, acusa el mayor grado de alteración en los valles de fondo plano cóncavo en donde ha sido eliminada por completo para el uso agrícola, no así en el resto, donde la cubierta mantiene aún sus características naturales con moderado grado de alteración.

El predominio de rocas graníticas aflorantes en la mayor parte del sistema, determinan un importante porcentaje de roca desnuda con alternancia de suelos discontinuos y someros de rápida saturación, definiendo una situación de escurrimiento excesivo, que influye en la tendencia a la ocurrencia de crecientes repentinas.

Áreas urbanizadas expuestas

No se incluyen áreas urbanizadas expuestas a la amenaza.

4.1.1.2 Procesos en interfluvios

Los procesos en los interfluvios se representan por la acción del escurrimiento elemental y los procesos de remoción en masa.

El escurrimiento superficial por efecto del aporte pluvial, condiciona la erosión difusa o en regueros que afecta a la cubierta de suelos residuales superficiales y es dependiente del estado de la cubierta de vegetación que actúa como reguladora.

El proceso adquiere mayor peso, en particular en forma concentrada incipiente en los ejes de avenamiento de los valles plano-cóncavos, en el caso de la baja cuenca del R. Manzano. En las laderas el alcance e intensidad de la erosión es de grado moderado, pero con tendencia a la intensificación, en las áreas bajo usos rurales y/o afectadas por incendios.

En lo que respecta a los procesos de remoción en masa existen indicios de flujos lentos en forma de reptación en manto, caídas, deslizamientos de detritos y rocas, todos en forma puntual, en particular en el trazo de rutas y caminos secundarios en donde se alteró el equilibrio estable de laderas.

4.1.2 Ambiente de Piedemonte

4.1.2.1 Procesos fluviales

En el ambiente de Piedemonte, en lo que se corresponde con la depresión estructural del Valle de Avellaneda, los procesos de orden fluvial son significativos y con fuerte potencial de intensificación.

La fuerte alteración de la relación infiltración-escorrentía por efecto de la eliminación de la cubierta de vegetación natural para el uso agrícola y el paulatino incremento de las precipitaciones, ha generado un cambio evidente en el encajamiento de los cauces y progresión de los explayamientos en el sentido del flujo.

El R. Las Talas al ingreso del piedemonte por encajamiento ha progresado una distancia de 9 km., a partir de donde explaya y los excedentes se rigen por un bajo plano-cóncavo, que luego de atravesar la RN60 luego de un recorrido de 1.2 km. , se encaja en una cárcava de franco avance por retroceso de cabecera, hasta el punto donde comienza el río Los Mistoles (Figura 32).

Conjuntamente con el avance del encajamiento evidencia amplitud del canal por erosión de márgenes del orden de los 85mts.



Figura 32. Valle de Avellaneda Río las Talas encajamiento por erosión.

En lo que respecta al río El Manzano en la situación evolutiva actual explota inmediatamente al oeste del trazo de la RN60, a partir desde donde se altera el sentido de escurrimiento de O-E a N-S por canalización en un recorrido paralelo de 1.17 km. para luego por cárcava activa, retomar el sentido O-E en un recorrido de 4.5 km y confluir con la cárcava asociada al aporte del R.Las Talas dando lugar al R. Los Mistoles (Figura 33.).



Figura 33. Río El Manzano Ruta nacional 60.

Los explayamientos que se generan por ambos ríos, se ajustan a trazos de bajos plano-cóncavos dando lugar a severas situaciones de inundación que afectan a zonas rurales y al trazo de la RN60, ya que no tiene obras de desagüe ajustadas a la situación actual.

Completan el marco de inestabilidad por inundaciones, los aportes pluviales conducidos por los bajos plano-cóncavos sin conexión hidrológica con los cauces. Destacándose dos casos particulares; el primero corresponde a un sistema de bajos al sur del R. Las Talas que luego de atravesar el trazo de la RN60, por erosión acelerada en cárcavas, se integra al R. Los Mistoles. El segundo, se ubica al norte del R. Las Manzanos, y sus aportes afectan severamente a la población de Va. Gutiérrez (Figura 34 y Figura 35).

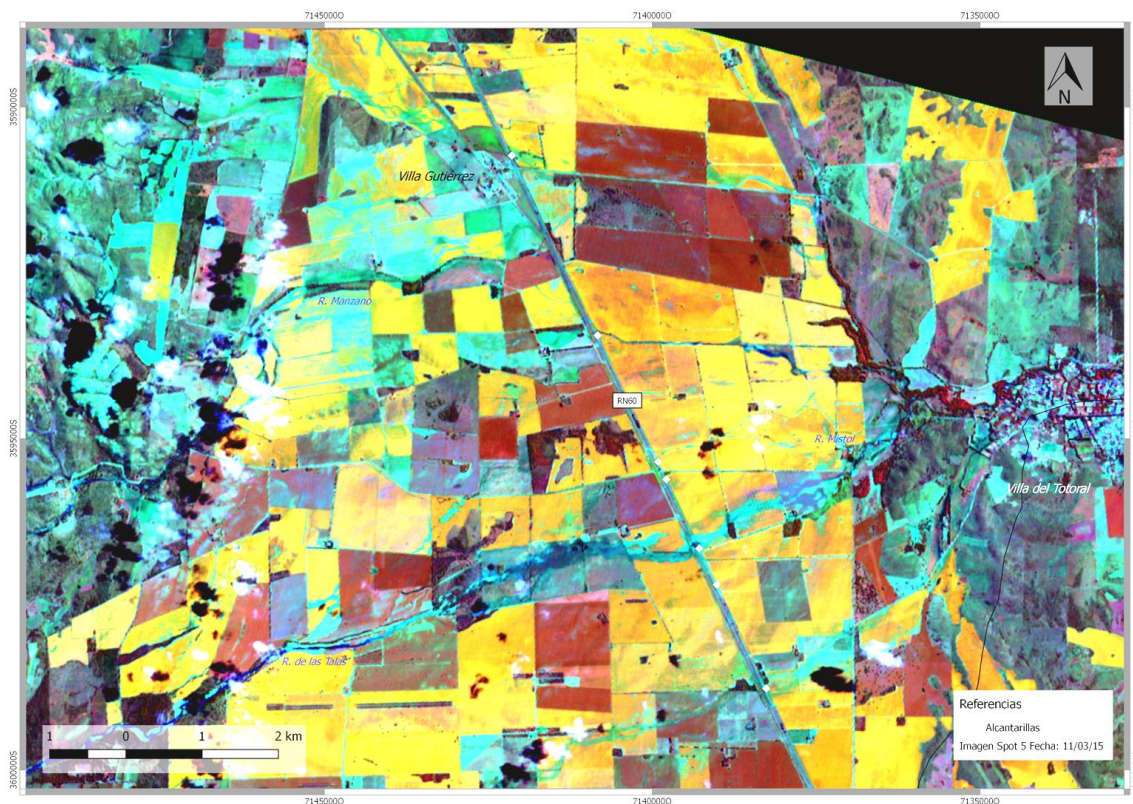


Figura 34. Áreas rurales, zona urbana (va. Gutiérrez) e infraestructura vial afectadas por inundaciones ligadas a explayamientos y bajos plano-cóncavos.



Figura 35. Corte de ruta N60 en inmediaciones de Va. Gutiérrez.

A la salida del valle estructural de Avellaneda dentro del ámbito del Piedemonte, en lo que se corresponde con la Depresión Periférica, el R. Los Mistoles a partir del pie de la S. de Macha, comienza a tener régimen de escurrimiento permanente, y atraviesa la zona urbana de Villa Totoral.

El lecho ordinario en buena parte del recorrido corre sobre el basamento granítico y el conjunto de la faja fluvial, se presenta aterrazada en tres niveles: un nivel antiguo, un nivel medio y un nivel inferior reciente. Los niveles superior y medio no son afectados por inundaciones, pero si por erosión de márgenes y el nivel inferior, es afectado parcialmente en inundaciones ordinarias y en forma total en extremas.

Frente a esta situación la zona del balneario Municipal, los barrios Lourdes, Amadeo Sabatini y la zona del cementerio, enfrentan amenaza ante la ocurrencia de crecidas extremas.

Aguas abajo por extracción de áridos se ha generado un cambio significativo en la dinámica fluvial con cambio en la dirección de flujo, formación de lagunas, efecto retardo y sobre el trazo de la ruta Nac. N°9, el puente con insuficiente abertura, fue arrasado en la crecida de 2015 (Figura 36).

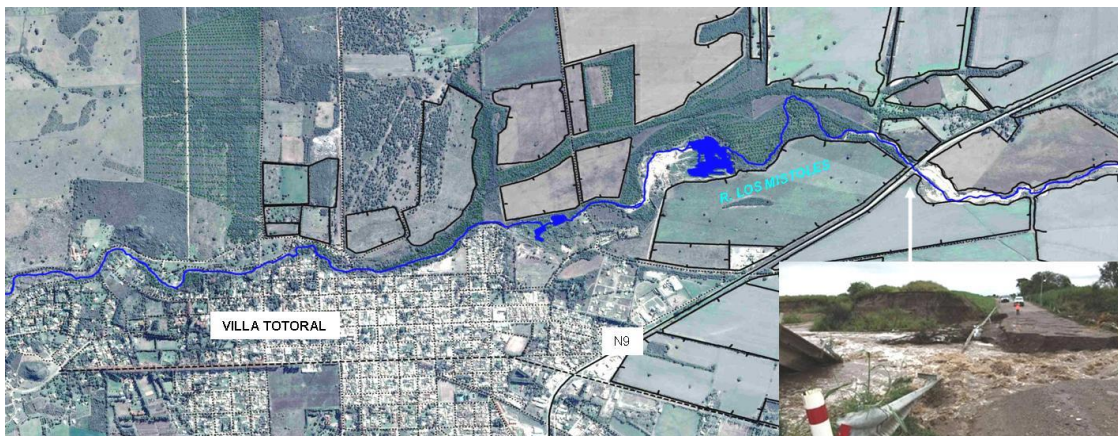


Figura 36. Río Los Mistoles Villa del Totoral.

Sitios expuestos (Ver carta 3 anexo)

4.1.2.2 Procesos en interfluvios

En el valle estructural de Avellaneda sumado a los procesos de orden fluvial e inundaciones por aportes de bajos, la erosión hídrica en todas sus formas (salpicadura, laminar, en regueros y cárcavas) adquiere el mayor peso de toda la región considerada.

Los procesos detectados evidencian una fuerte tendencia a la intensificación y generalización, hecho agravado por la falta de prácticas de conservación.

En la Cartografía específica se indica la erosión hídrica concentrada en cárcavas en base a análisis de teledetección (2017), a la vez que en función a las geoformas que actúan como ejes de avenamiento (bajos plano-cóncavos), se indica la potencialidad del proceso.

4.1.3 Pampa Loéssica Alta

4.1.3.1 Procesos fluviales

El río Los Mistoles en su ingreso al ambiente de la Pampa Loéssica Alta, se ajusta a la hidrodinámica de explayamientos, posterior encajamiento y progresión de los mismos en dirección del flujo, al igual que todos los sistemas en estudio.

De acuerdo a estudios antecedentes (O. Barbeito 2007), en el período 1970 – 1987 los explayamientos tenían lugar a unos 10 km. del frente de sierra, antes de la localidad de Los Mistoles y en el período 1987-2002, se evidencian los cambios más sustanciales ocurridos a partir de la inundación histórica que tuvo lugar en enero de 1992. En tal situación los aportes fluviales a la salida de la sierra sobrepasaron los últimos derrames y fueron captados por los sistemas de bajos de génesis fluvial, para luego, cuando estos pierden definición en su desarrollo hacia el este. Los excedentes se rigieron en gran parte por el trazo de la infraestructura vial y/o variaciones locales mediante trasvasos por efecto de bordos y canalización (Figura 37).

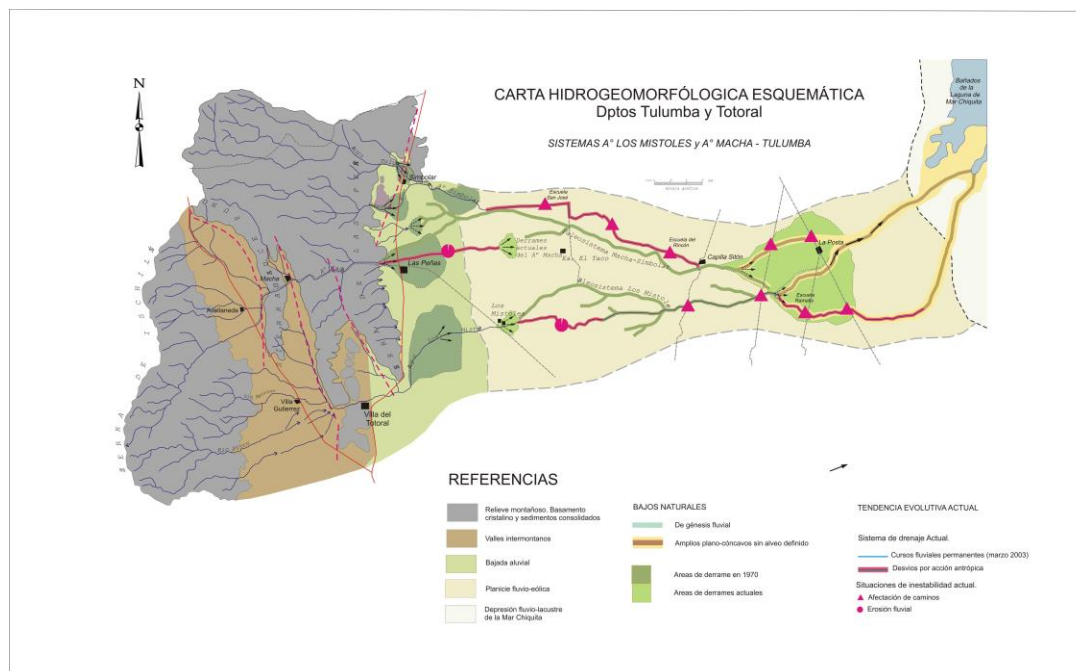


Figura 37. Avance de explayamientos río Los Mistoles.

4.1.3.2 Procesos en interfluvios

En los interfluvios la acción del escurrimiento elemental derivado del aporte pluvial, genera inundaciones de corta duración regidas por el trazo de bajos plano-cóncavos y paleocauces.

La erosión hídrica acelerada en todas sus formas se manifiesta con menor intensidad que en el Ambiente de Piedemonte, en respuesta a una disminución de las pendientes medias.

4.2 CUENCA DEL RIO PINTO

4.2.1 Ambiente de Montaña

4.2.1.1 Procesos fluviales

Las crecientes repentinas fuertemente condicionadas por las características naturales, siguen siendo la principal amenaza en los cursos fluviales principales de la red de drenaje.

El colector principal en la zona de nacientes presenta un diseño de drenaje de cierta sinuosidad, corre por el valle estructural de Ongamira, sobre materiales de relleno aluviales y coluvio-aluviales.

La faja fluvial se presenta aterrizada en dos niveles: uno superior antiguo y uno inferior reciente. El primero no activo por inundaciones pero si afectado por erosión de márgenes y el segundo, afectado en forma parcial en crecidas ordinarias y total en extremas.

La erosión de márgenes es activa en las partes externas del curso, en la crecida de enero de 2015 tuvo una importante ampliación del lecho ordinario (canal) (Figura 38)



Figura 38. Izq. Erosión de márgenes en curvas externas y ampliación de canal .Der. Control por basamento.

Aguas abajo del valle, al ingreso del ambiente de montaña el relieve es accidentado a fuerte y el curso adquiere un diseño contorneado fuertemente controlado por efecto de fallas y/o fracturas. En su mayor parte corre sobre la roca de base sin acumulación de material aluvional con un neto predominio del arrastre sobre la deposición, sin erosión lateral ya que está controlada por la resistencia de las márgenes (rocas cristalinas) (Figura 38. Der.).

En todo el recorrido del sistema en el ambiente de montaña, la amenaza por inundaciones repentinas, no compromete infraestructura urbana, pero si el puente de la localidad de San Peregrino.

4.2.1.2 Procesos en interfluvios

La acción del escurrimiento superficial genera erosión hídrica difusa o en regueros que afecta a la cubierta de suelos residuales superficiales en laderas en un grado moderado, dependiente del estado de la cubierta de vegetación que actúa como reguladora.

La acción del escurrimiento concentrado con generación de cárcavas, se limita a la zona de nacientes de Aº La Barrosa en valles plano-cóncavos con relleno coluvio-aluvial, que actúan como los colectores de menor orden del sistema de drenaje, allí el proceso se presenta intenso y generalizado (Figura 39).



Figura 39. Erosión hídrica concentrada en cárcavas en nacientes del Aº La Barrosa.

Los procesos en remoción en masa en forma de desplomes acompañan en forma puntual a la erosión concentrada en cárcavas, deslizamientos y caídas se evidencian en zonas localizadas, en mayor medida se desarrolla en las areniscas ubicadas en la zona de nacientes del R. Ongamira.

4.2.2 Ambiente de Piedemonte

4.2.2.1 Procesos fluviales

En el ambiente de Piedemonte en la depresión estructural del Valle de Avellaneda, los procesos de orden fluvial son significativos y con fuerte potencial de intensificación.

El lecho ordinario a partir de las crecidas del año 2015, acusó una significativa amplitud por efecto de la erosión de márgenes, incluyendo por sectores el arrasamiento del nivel de terraza fluvial inferior reciente (Figura 40).

A la vez en sectores por efecto de avulsión el curso acusa desbordes laterales y activación de brazos de crecida (Figura 40).

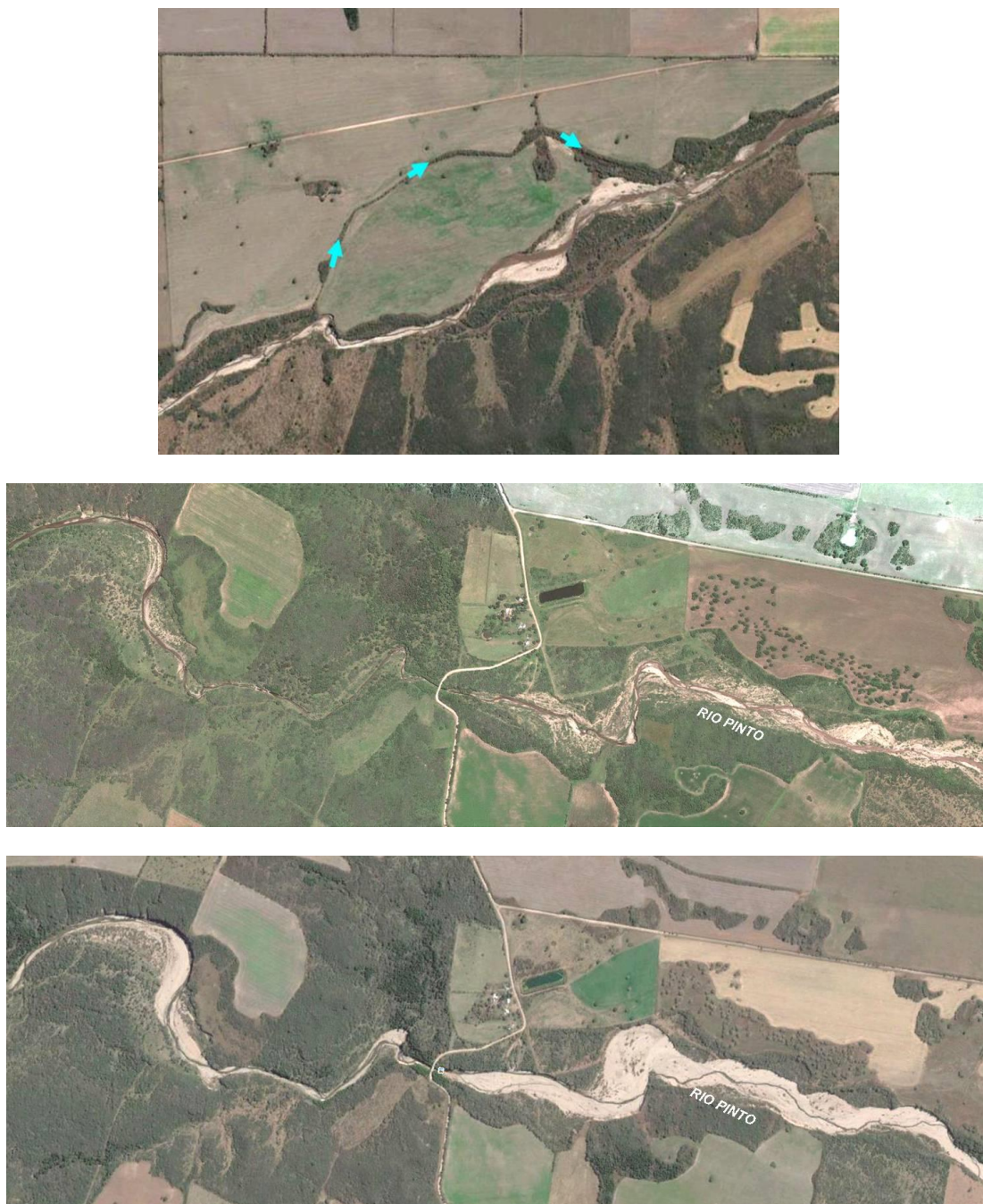


Figura 40. Arriba: Brazo de crecida Abajo: Ampliación de lecho ordinario por erosión de márgenes y arrasamiento de nivel inferior de terraza. (2010-2016).

Los procesos fluviales, por la tendencia de la erosión de márgenes, involucran un riesgo potencial significativo en el caso de puente en camino secundario y puente de ferrocarril (Figura 41) y el puente de la ruta N9 (Figura 42).



Figura 41. Camino secundario y puente de ferrocarril bajo amenaza potencial.



Figura 42. Puente ruta N9 bajo riesgo potencial significativo por erosión de márgenes (margen derecha) por migración de curva meándrica.

4.2.2.2 Procesos en interfluvios

Sumado a los procesos de orden fluvial en los interfluvios se destacan inundaciones por aportes de paleo improntas fluviales (paleocauces) y bajos plano-concavos y la erosión hídrica acelerada en forma de salpicadura, laminar, regueros y cárcavas.

Ante situación de inundaciones por aporte de paleoimprontas fluviales, se destaca el entorno de la localidad de Sarmiento que se localiza en un paloabanico que describía el R. Pinto y la erosión hídrica acelerada concentrada en cárcavas regida por el trazo de bajos plano-cóncavos.

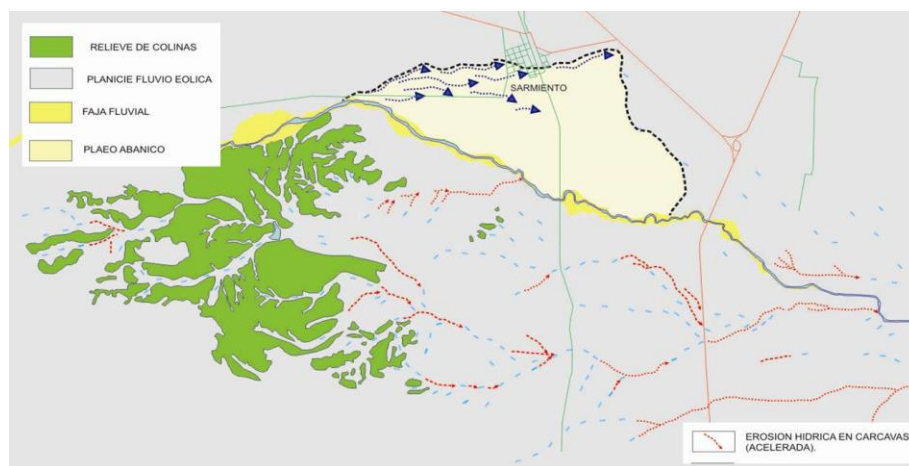


Figura 43. Paleoabanico del R. Pinto (paleoimprontas fluviales) y erosión hídrica acelerada concentrada en cárcavas.

En la Cartografía específica (carta 4) se indica la erosión hídrica concentrada en cárcavas en base a análisis de teledetección (2017), a la vez que en función a las geoformas que actúan como ejes de avenamiento (bajos plano-cóncavos), se indica la potencialidad del proceso (Figura 43).

4.2.3 Pampa Loéssica Alta

4.2.3.1 Procesos fluviales

El río Pinto en su ingreso al ambiente de la Pampa Loéssica Alta, se ajusta a la hidrodinámica característica de explayamientos, encajamiento y progresión de los mismos en dirección del flujo.

En la situación evolutiva actual por efecto de avulsión los desbordes por explayamiento se generan a unos 5.5 km. al este del trazo de la ruta N9 (fig.44), afectando severamente a establecimientos rurales y a caminos secundarios que captan y conducen los derrames, lo que genera intensa erosión hídrica concentrada (Figura 44).

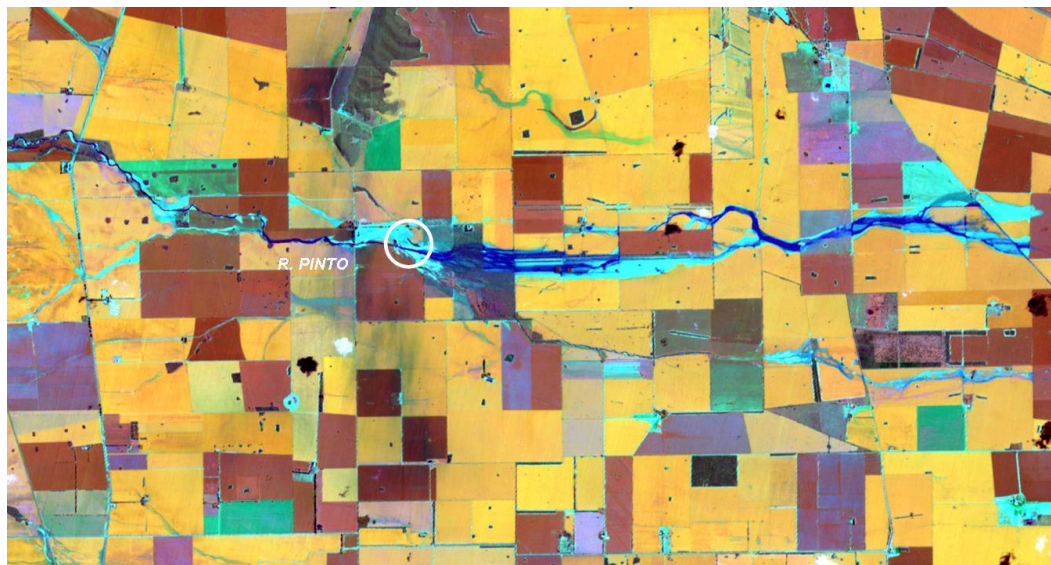


Figura 44. Explayamientos actuales del río Pinto por efecto de avulsión.

La intensa erosión hídrica concentrada en los caminos significa aguas abajo la colmatación de áreas productivas por acumulación del material arrastrado (Figura 45).

El proceso, presenta una tendencia a la expansión hacia al este del área de estudio, de continuar las dinámicas actuales se integraría al sistema del río Guanusacate.

La erosión hídrica acelerada en todas sus formas se evidencia por sectores generalizada y con fuerte tendencia a la intensificación (Figura 46).



Figura 45. Izq. Captación de derrames por trazo de camino secundario e intensa erosión hídrica concentrada. Der. Colmatación de áreas productivas.



Figura 46. Erosión hídrica acelerada laminar (manchones claros), en regueros y cárcavas.

4.3 CUENCA Aº MULA MUERTA

4.3.1 Ambiente de Montaña

4.3.1.1 Procesos fluviales

El sistema Aº Mula Muerta tiene escaso desarrollo en el ambiente de Montaña y en su mayor parte en el Ambiente de Piedemonte.

Esto define un bajo potencial hidrológico de la red de drenaje en lo que se corresponde con la zona de nacientes, lo que define un grado menor en la tendencia a la generación de crecidas repentinas en relación a los restantes sistemas en estudio.

4.3.1.2 Procesos en interfluvios

La erosión hídrica en laderas en forma de regueros se manifiesta en forma moderada en respuesta al bajo grado de alteración de la vegetación nativa (bosque).

En valles de fondo plano cóncavo donde la cubierta ha sido eliminada por completo para el uso agrícola, se evidencia erosión hídrica acelerada concentrada en cárcavas en los ejes de avenamiento, con alta tendencia a la intensificación y generalización (Figura 47).



Figura 47. Erosión hídrica acelerada concentrada en cárcavas sobre los ejes de avenamiento de valles plano-cóncavos.

4.3.2 Ambiente de Piedemonte

4.3.2.1 Procesos fluviales

La mayor parte del desarrollo del sistema del Aº Mula Muerta tiene lugar en el ámbito del piedemonte según sistemas de bajos plano-cóncavos organizados.

La fuerte alteración o eliminación completa de la cubierta de vegetación natural para el uso agrícola, sumado al paulatino incremento de las precipitaciones y a la ausencia de prácticas de conservación, condicionan la acción de la erosión hídrica acelerada en todas sus formas destacándose la erosión concentrada en cárcavas en el eje de los bajos.

El proceso significa un paulatino encajamiento de la red de drenaje y su progresiva integración, lo que da lugar a procesos fluviales incipientes en franca expansión. La captación de esorrentía por efecto de la red vial favorece el proceso (Figura 48).



Figura 48. Procesos fluviales incipientes por acción de erosión hídrica acelerada concentrada, en partes concentrada en caminos (paraje Barranca Yaco).

4.3.2.2 Procesos en interfluvios

Los procesos en interfluvios se corresponden enteramente a la erosión hídrica acelerada en todas sus formas que tiene relación directa con los procesos fluviales incipientes (Figura 49).



Figura 49. Cruce de cárcava activa del trazo de la ruta N9 . Proceso fluvial incipiente.

4.3.3 Pampa Loéssica Alta

4.3.3.1 Procesos fluviales

El sistema Aº Mula Muerta a la salida del ambiente del Piedemonte e ingreso al ambiente de la Pampa Loéssica Plana, responde a la hidrodinámica del piedemonte, en donde la erosión hídrica concentrada está generando procesos fluviales incipientes, en expansión.

Por captación de escorrentía proveniente de las alcantarillas situadas en la RN9, a partir del año 1970 se generó un nuevo cauce fluvial por erosión hídrica concentrada sobre un camino terciario rural.

En la actualidad, presenta un encajamiento superior a los 5 m. y una amplitud del orden de los 80 m. Presenta una sinuosidad incipiente con tendencia a la ampliación del cauce por efecto de erosión de márgenes, favorecida por el carácter friable del material que la compones (loess).

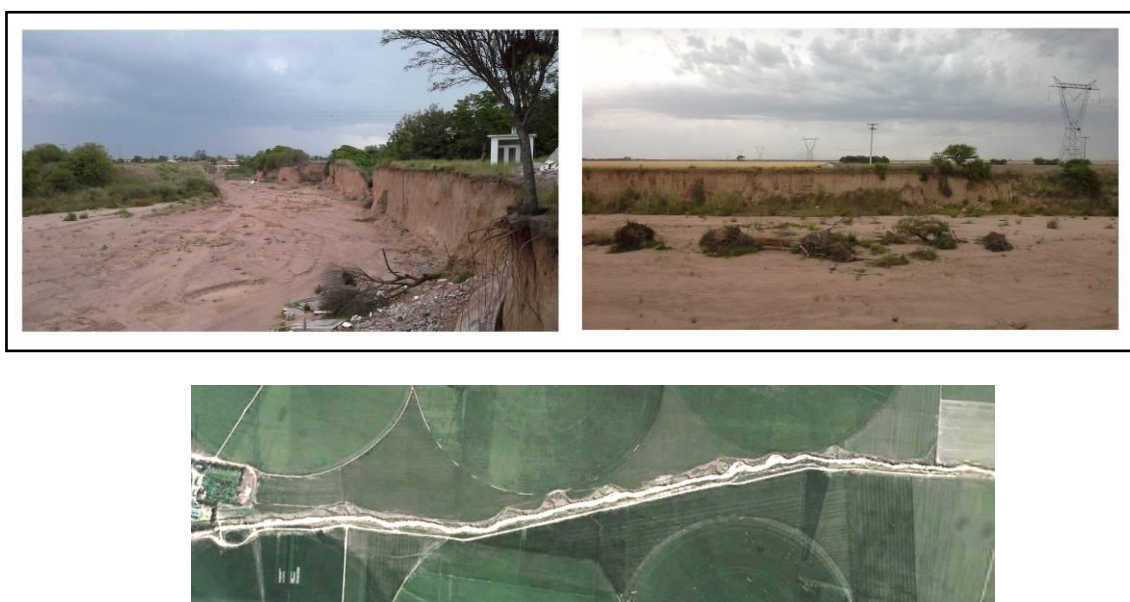


Figura 50. Arriba: Cauce fluvial en trazo de camino rural secundario paraje Mula Muerta. Abajo: sinuosidad incipiente con potencial de ampliación de cauce por erosión de márgenes.

4.4 CUENCA DEL RIO GUANUSACATE

4.4.1 Ambiente de Montaña

4.4.1.1 Procesos fluviales

El proceso fluvial por excelencia lo constituyen las crecientes repentinas condicionadas por la baja permeabilidad del material geológico, suelos, la energía del relieve, el bajo grado de protección hidrológica de la cubierta de vegetación en la cuenca de recepción de alta montaña (patizales discontinuos) y la ocurrencia de precipitaciones intensas por efecto orográfico (Figura 51).

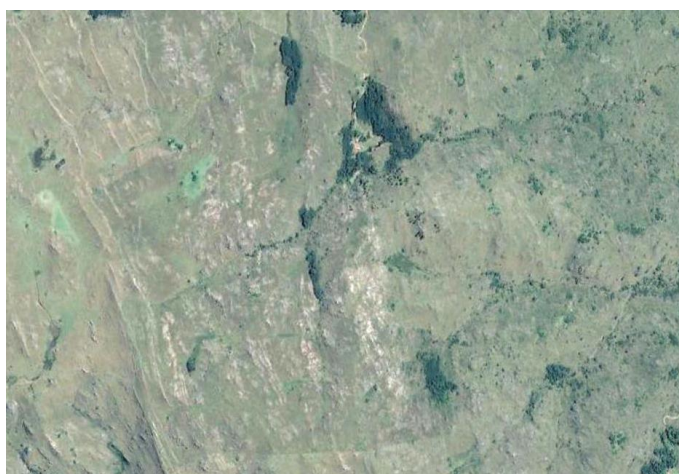


Figura 51. Cuenca de recepción de alta montaña. Material geológico poco permeable (tipo granito), energía de relieve y cubierta de pastizales discontinua alternante con roca desnuda.

El sistema de drenaje presenta un fuerte control estructural por efecto del trazo de fallas y/o fracturas, lo que define un diseño contorneado, en donde la erosión de márgenes en gran parte está limitada por la resistencia de la roca de base (rocas cristalinas).

Los colectores principales de la subcuencas de los ríos Ascochinga y Santa Catalina, presentan fajas fluviales aterrazadas en dos niveles principales: un nivel superior antiguo y un nivel inferior reciente inundable en forma total ante crecientes extremas.

Frente a esta situación como área urbanizada comprometida, se encuentra en bajo grado de amenaza la población de Colonia Hogar sobre el río Santa Catalina, en donde solo el camping municipal se incluye enteramente en el nivel inferior de terraza. Este sitio fue severamente afectado en la crecida del año 2015 (Figura 52).



Figura 52. Colonia Hogar. Camping Municipal emplazado en el nivel inferior de terraza activo en forma total en crecidas extremas.

4.4.1.2 Procesos en interfluvios

Los procesos en los interfluvios del ambiente de montaña se corresponden con la acción del escurrimiento elemental y los procesos de remoción en masa.

La acción del escurrimiento superficial elemental por efecto del aporte pluvial en laderas, condiciona la erosión difusa o en regueros que afecta a la cubierta de suelos residuales superficiales, en la situación actual, en grado moderado dependiente del estado de la cubierta de vegetación y por su parte los procesos de remoción en masa, se evidencian en flujos lentos en forma de reptación en manto y caídas y deslizamientos de detritos y rocas, en forma puntual.

4.4.2 Ambiente de Piedemonte

4.4.2.1 Procesos fluviales

En el ambiente de Piedemonte los procesos fluviales adquieren la mayor relevancia. Comprenden inundaciones y en mayor medida erosión de márgenes.

Las fajas fluviales de los ríos Ascochinga y Santa Catalina se presentan aterrazadas en tres niveles: superior antiguo, medio e inferior reciente. El nivel superior por encajamiento de los cursos no es afectado por inundaciones, pero si por erosión de márgenes, cuando colinda con el lecho ordinario; el nivel medio, lo es en forma parcial en crecidas extremas y total el inferior.

En la crecida del verano del año 2015 el nivel inferior reciente por sectores fue literalmente arrasado y/o severamente afectado por la erosión de márgenes.

Por efecto de esta hidrodinámica establecimientos rurales y el área urbanizada de la Ciudad de Jesús María enfrentan situaciones comprometidas en forma severa (Carta 6 y Fig. 25).

Se suma a la inestabilidad por inundaciones, los caudales aportados por bajos plano-cóncavos que por efecto de erosión concentrada tienden a integrar la red de drenaje por efecto del encajamiento (Figura 53.).

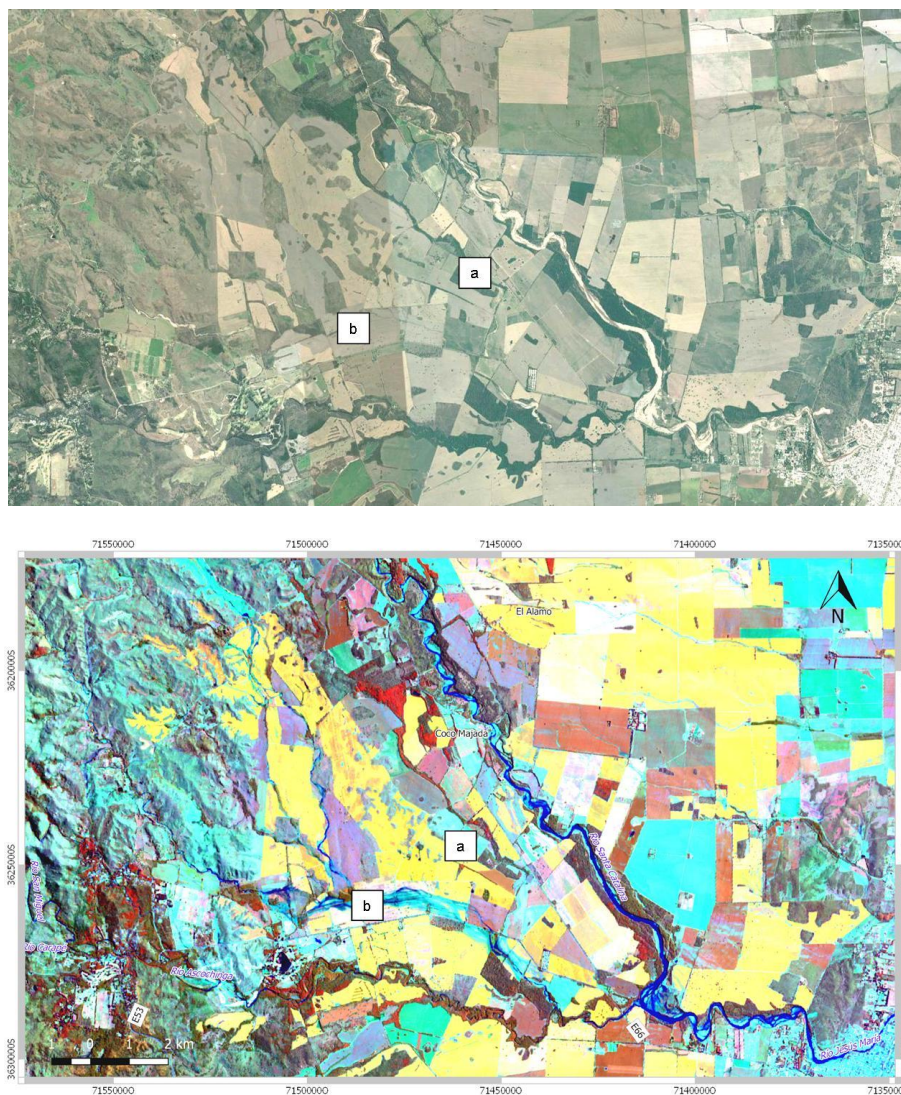


Figura 53. Ambiente de piedemonte. (a) y (b) bajos plano-cóncavos inundables con tendencia a la integración a la red de drenaje por encajamiento producto de la erosión hídrica concentrada.

4.4.2.2 Procesos en interfluvios

El proceso de inestabilidad de mayor peso lo representa la erosión hídrica acelerada en todas sus formas (salpicadura, laminar, en regueros y cárcavas), con alta tendencia a la intensificación y generalización. Considerando el conjunto de la cuenca es el proceso que impacta en mayor medida a la productividad de los suelos.

Entre los factores condicionantes se destacan la fuerte alteración de la cubierta vegetal nativa y/o completa eliminación para el uso agrícola, el incremento de las precipitaciones y la marcada ausencia de prácticas de conservación. Los procesos evidencian alta tendencia a la intensificación y generalización.

Por sectores, el avance de la erosión hídrica concentrada está progresivamente generando una paulatino encajamiento e integración de bajos a la red de drenaje, adoptando las típicas características de una red fluvial en desarrollo.

En la Cartografía específica (Carta 6) se indica la erosión hídrica concentrada en cárcavas en base a análisis de teledetección (2017), a la vez que en función a las geoformas que actúan como ejes de avenamiento (bajos plano-cóncavos), se indica la potencialidad del proceso.

4.4.3 Pampa Loéssica Alta

4.4.3.1 Procesos fluviales

La disminución de la pendiente longitudinal del Guanusacate a la salida del Ambiente del Piedemonte e ingreso a la Pampa Loéssica Alta, genera un cambio de los procesos fluviales.

En un estado evolutivo antecedente el R. Guanusacate a la salida del Ambiente de Montaña y Piedemonte tras un corto recorrido, perdía encajamiento, se explayaba y por efecto de avulsión dio lugar a un tendido paleoabanico. En la actualidad el curso del río Guanusacate corre por su parte media.

Los procesos fluviales destacados en este ambiente se representan por el efecto de la avulsión y la erosión de márgenes. La avulsión implica el levantamiento del fondo del lecho por acumulación aluvional, lo que disminuye la sección transversal del canal y favorece la erosión a ambas márgenes con el aporte de caudales importantes.

El proceso en la inundación del año 2015 generó una significativa ampliación del lecho ordinario, afectando predios rurales e infraestructura urbana (sectores de barrio B° Santa Elena y La Cotita) (Figura 54).



Figura 54. Ampliación del lecho ordinario por erosión de márgenes condicionada por el efecto de avulsión. B° Santa Helena.

4.4.3.2 Procesos en interfluvios

La erosión hídrica acelerada en todas sus formas se manifiesta con menor intensidad que en el Ambiente de Piedemonte, en respuesta a una disminución de las pendientes.

4.5 CUENCA DEL RIO CARNERO

4.5.1 Ambiente de Montaña

4.5.1.1 Procesos fluviales

Como proceso fluvial destacado se presentan las crecientes repentinas fuertemente condicionadas por las características naturales. Si bien en la baja pendiente de la sierra la vegetación natural en buena parte ha sido alterada o remplazada por especies alóctonas, en la cuenca de recepción de alta montaña donde es mayor el desarrollo y densidad de la red de drenaje, la cubierta herbácea natural brinda un bajo grado de protección hidrológica, en función a significativos porcentajes de roca desnuda.

Esto deja en evidencia que si bien la alteración de la cubierta de vegetación arbórea de la baja cuenca, tiene incidencia en el cambio de la relación infiltración/escorrentía, el condicionamiento natural sigue siendo el de mayor peso en la ocurrencia del fenómeno.

El sistema de drenaje en el conjunto del ambiente, acusa un fuerte control estructural por efecto del trazo de fallas y/o fracturas, lo que define un diseño contorneado, en donde la erosión de márgenes en gran parte está limitada por la resistencia de la roca de base (rocas cristalinas).

En los colectores principales de la subcuencas de los ríos La Granja y Agua de Oro que conforman el sistema, las fajas fluviales se presentan aterrazadas en dos nivel principales: un nivel superior antiguo y un nivel inferior reciente (Figura 55). El primero inundable en forma parcial ante la ocurrencia de crecidas extremas y total el segundo, a la vez este último, es afectado en forma parcial en crecidas ordinarias.

Frente a esta situación zonas urbanizadas se encuentran expuestas a crecientes ya que ocupan los lechos periódicos e históricos de los principales cursos, unidades definidas tanto por el tipo de material que las componen, como por la morfología, lo que determina grados de amenaza variables según los casos, en particular ante la ocurrencia de crecidas repentinas extremas. Esto a la vez se corrobora plenamente con información histórica y por la dinámica y alcance de la creciente del año 2015.

Áreas urbanizadas expuestas en orden de severidad:

- LA GRANJA
- Cº AZUL
- AGUA DE ORO

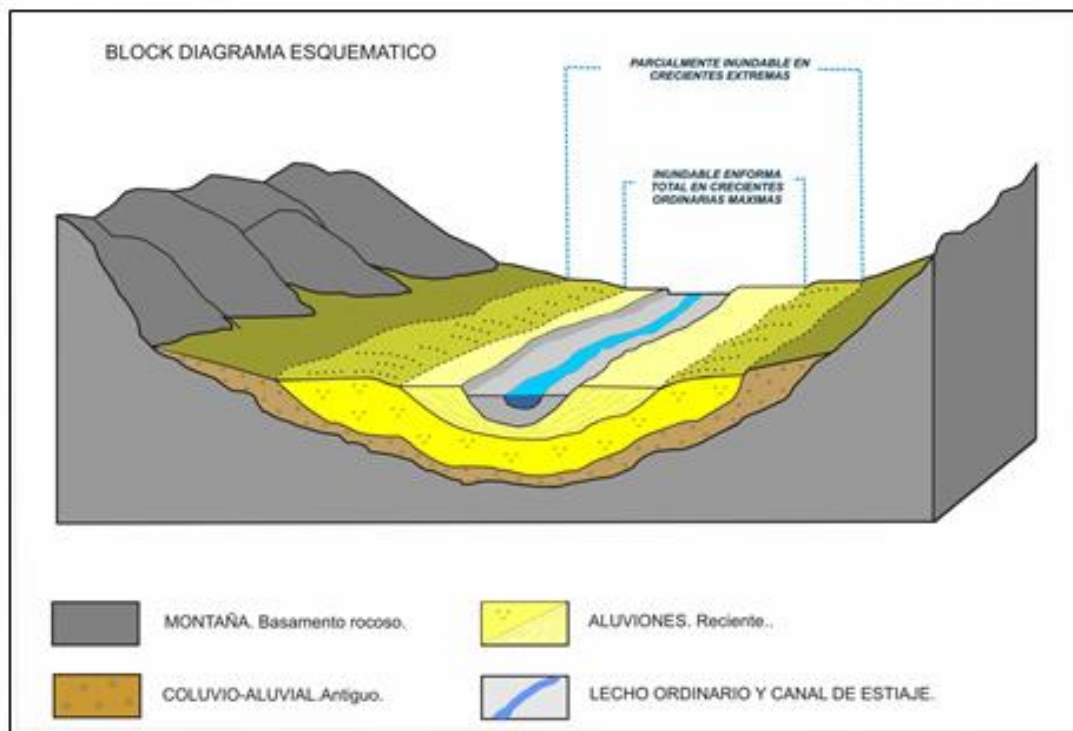


Figura 55. Block diagrama indicativo de los niveles de terraza en la faja fluvial.

4.5.1.2 Procesos en interfluvios

Los procesos en los interfluvios del ambiente de montaña se corresponden con la acción del escurrimiento elemental y los procesos de remoción en masa.

La acción del escurrimiento superficial elemental por efecto del aporte pluvial, condiciona la erosión difusa o en regueros que afecta a la cubierta de suelos residuales superficiales en laderas.

En la actualidad el alcance e intensidad de la erosión es de grado moderado, pero con tendencia a la intensificación, situación que depende enteramente del estado de la cubierta de vegetación, siendo los incendios el principal disparador.

En lo que respecta a los procesos de remoción en masa existen indicios de flujos lentos en forma de reptación en manto, caídas, deslizamientos de detritos y rocas, todos en forma puntual, en particular en el trazo de rutas y caminos secundarios en donde se varío alteró el equilibrio estable de laderas.

4.5.2 Ambiente de Piedemonte

4.5.2.1 Procesos fluviales

En el ambiente de Piedemonte los procesos fluviales se manifiestan en inundaciones y erosión de márgenes.

Las condiciones geomorfológicas de las fajas fluviales de los ríos La Granja y Agua de Oro y El río Carnero, originado por la confluencia de ambos, mantienen los dos niveles de terraza del ambiente de Montaña, con idéntica hidrodinámico en crecientes ordinarias y extremas.

En la crecida extrema del año 2015, los lechos ordinarios sufrieron por sectores una franca ampliación por arrasamiento del nivel de terraza inferior y por erosión de márgenes (Figura 56).



Figura 56. Arriba imagen Bing (2010) Abajo Imagen Google (2016). Ampliación de Cauce Río Carnero luego de la creciente del año 2015. RN9

A diferencia del Ambiente de Montaña los colectores principales (ríos La Granja, Agua de Oro y Carnero), corren encajados en barrancas con franco diseño meandriforme, lo que implica severos procesos de erosión de márgenes.

El proceso es favorecido por el carácter friable del material geológico (depósitos aluviales recientes y loess) y se caracteriza por erosión en las partes externas de las curvas meandriformes y

deposición en la internas, a la vez por progresivo avance de estas en dirección del flujo y/o acortamientos de las mismas

Sitios expuestos (Ver carta 7 anexo)

4.5.2.2 Procesos en interfluvios

En el ambiente de Piedemonte el proceso de inestabilidad por excelencia, es la erosión hídrica acelerada en todas sus formas (salpicadura, laminar, en regueros y cárcavas), con alta tendencia a la intensificación y generalización. Considerando el conjunto de la cuenca es el proceso que impacta en mayor medida a la productividad de los suelos.

Entre los factores condicionantes se destacan el incremento sostenido de las precipitaciones, la fuerte alteración de la cubierta vegetal nativa y/o completa eliminación para el uso agrícola y la falta de prácticas de conservación. Los procesos detectados denotan alta tendencia a la intensificación y generalización.

En la Cartografía específica se indica la erosión hídrica concentrada en cárcavas en base a análisis de teledetección (2017), a la vez que en función a las geoformas que actúan como ejes de avenamiento (bajos plano-cóncavos), se indica la potencialidad del proceso.

4.5.3 Pampa Loéssica Alta

4.5.3.1 Procesos fluviales

La disminución de la pendiente longitudinal del río Carnero a la salida del Ambiente del Piedemonte e ingreso a la Pampa Loéssica Alta, genera un cambio de los procesos fluviales.

En un estado evolutivo antecedente el R. Carnero a la salida del Ambiente de Montaña y Piedemonte tras un corto recorrido, perdía encajamiento, se explayaba por avulsión e insumía, hidrodinámica que en el presente manifiesta cambios significativos.

Mediante análisis temporal empleando fotografías aéreas del año 1970, 1987 e imágenes satelitales actuales, puede observarse la tendencia evolutiva de los ápices en donde por avulsión se generaban explayamientos, los cuales fueron progresivamente sobrepasados, para explayar mas al este (Figura 57).

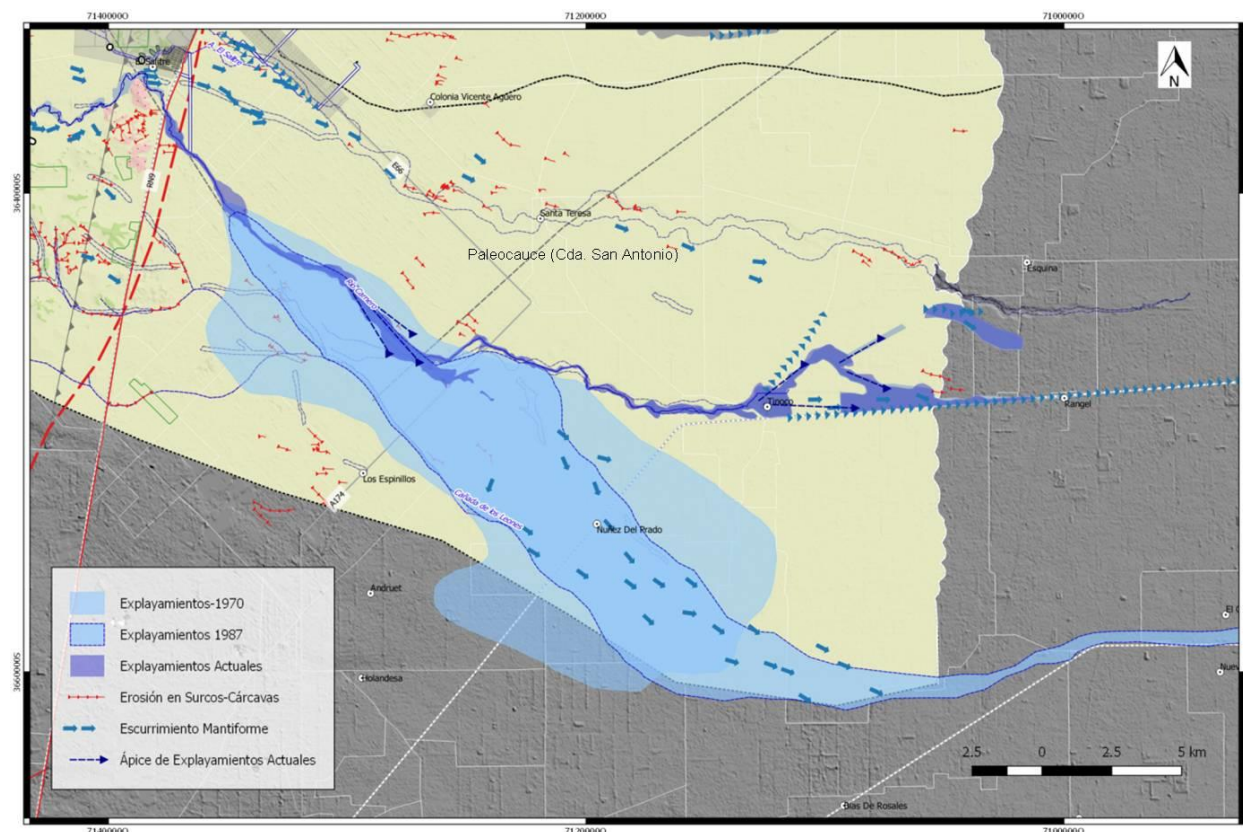


Figura 57. Tendencia evolutiva de los puntos de avulsión y explayamientos , Río Carnero 1970-2015.

En el estadio evolutivo actual, los explayamientos se localizan al ingreso de la localidad de Tinoco, en forma de flujo mantiforme, ingresan en el remanente de vegetación autóctona que se encuentra al Noreste de dicha localidad, para luego encauzarse y discurrir por el camino rural que lo vincula con la localidad del Alcalde (Figura 58).



Figura 58. Tendencia evolutiva de la avulsión y explayamientos en la localidad de Tinoco.

Al norte del cauce principal, se observa un paleocauce bien definido denominado Cañada de San Antonio (Figura 17). Presenta una continuidad longitudinal de 24km en dirección este, álveos

claros, y un ancho, que por sectores alcanza 1km, con una profundidad que supera los 4m. Incluye improntas de espiras de meandros abandonados, lo que indicaría su actividad en el pasado geológico reciente (Holoceno) bajo un régimen de caudales mayores que el actual. Esta cañada no presenta conexión hidrológica con el sector serrano, al igual que el resto de los paleocauces y bajos de menor magnitud, que solo se activan por aporte pluvial local. (Carta 3 anexo)

Completan el marco de inestabilidad desbordes del cauce del río carnero ante la ocurrencia de crecidas extremas (Figura 59).



Figura 59. Desbordes laterales Río Carnero, colmatación de predios rurales.

Sitios expuestos (Ver carta 7 anexo)

4.5.3.2 Procesos en interfluvios

En los interfluvios la acción del escurrimiento elemental derivado del aporte pluvial, genera inundaciones de corta duración regidas por el trazo de bajos plano-cóncavos y paleocauces.

La erosión hídrica acelerada en todas sus formas se manifiesta con menor intensidad que en el Ambiente de Piedemonte, en respuesta a una disminución de las pendientes medias.

5 Capacidad de Uso e Índice de Productividad en los Diferentes Ambientes Geomorfológicos

5.1 Pampa Loéssica Alta

Prácticamente toda la vegetación natural ha sido eliminada, siendo reemplazada, en su gran mayoría por agricultura, (Gorgas, 2003). Esta zona está descripta como agrícola- ganadera, por lo que la ganadería es de gran importancia pero cabe destacar el cambio en los sistemas productivos. La intensificación ganadera, hizo que los suelos destinados a pastura o pastoreo, pasaran a agricultura, reduciendo la superficie ganadera y manteniendo o mejorando la cantidad de cabezas producidas. Esta situación se evidencia en toda la provincia, por lo que se observa un incremento en los últimos años de establecimientos con engorde a corral. También se encuentra presente en esta zona la producción de cultivos frutihortícolas, con riego por surco o manto y también goteo. Si bien son pocas Has. las destinadas a estos cultivos, su importancia radica en la incidencia directa con los centros poblados por la cercanía a estos. La agricultura es de secano en su mayoría, aunque se presentan campos con riego con distintos tipos de sistemas. En zonas donde la napa está más cerca de la superficie se evidencia la presencia de producción de pasturas para corte y conservación, alfalfa principalmente.



Figura 60. Se presenta la zona en estudio y en verde la parte que pertenece a la pampa loéssica alta.

Tabla 1. Capacidad de uso e índice de productividad (clasificación INTA) de los suelos del área de estudio que pertenece al ambiente de Pampa loésica alta.

Unidad Cartográfica	Índice de Productividad	Aptitud de uso
MNen- 29	54	IV
MNen- 57	64	III
MNtc-7	71	III
MNtc-21	42	VI
MNtc-25	57	III
MKtc-16	51	III

Los suelos clase III tienen limitantes por lo que requieren de prácticas de manejo y conservación más complejas de implementar. No obstante son adecuados para cultivos, pasturas y otros usos de la tierra.

Suelos clase IV, tienen limitaciones más severas y requieren de prácticas de manejo y conservación más difíciles y complejas. Se utilizan para pasturas y una estrecha gama de cultivos como así también otros usos de la tierra.

Suelos clase VI, con graves limitaciones para el uso, no puede ser cultivado. Apropiado para campos naturales de pastoreo, bosque y fauna.

5.2 Piedemonte

Al igual que en la llanura, esta zona se encuentra destinada a la producción de cereales y oleaginosas. La producción ganadera está presente siendo una zona fuertemente productora de carne vacuna. El pastoreo se realiza y se complementa con suplementos dietarios. La intensificación ganadera permitió destinar lotes ganaderos a agricultura. Se incorpora el garbanzo como cultivo invernal, y se observa en la campaña 2017 un incremento en la superficie sembrada que responde al 18% más que el año pasado (Bolsa de Cereales de la Provincia de Córdoba). Por las altas tasas de desmonte, la zona carece de presencia de los estratos arbóreos y arbustivos, como así también de las pasturas perennes.



Figura 61. Se presenta la zona en estudio y en marrón la parte que pertenece al piedemonte.

Tabla 2. Capacidad de uso e índice de productividad de los suelos del área de estudio que pertenece al ambiente de Piedemonte.

Unidad Cartográfica	Índice de Productividad	Aptitud de uso
MNtc- 29	43	IV
MNtc-21	42	VI

Estos suelos requieren de prácticas conservacionistas complejas. Productivamente se recomienda utilizarlo con pasturas y árboles. La superficie de monte que queda debe conservarse, ya que como se detalló en este informe la superficie con monte natural es escasa en toda la región.

5.3 Sierras Chicas

Bosque serrano, romerillal y pastizales en altura, es la vegetación predominante de la zona. Hay cambios en el uso del suelo con aumento de superficie urbanizada. El desmonte, incendios y sobrepastoreo, minería, son actividades que están afectando al rol ecosistémico del suelo en ésta área de las cuencas, (Barchuk, 2014).

En el cuadro siguiente se detallan los tipos de suelos contenidos en esta zona, sus capacidades de uso e índices de productividad.

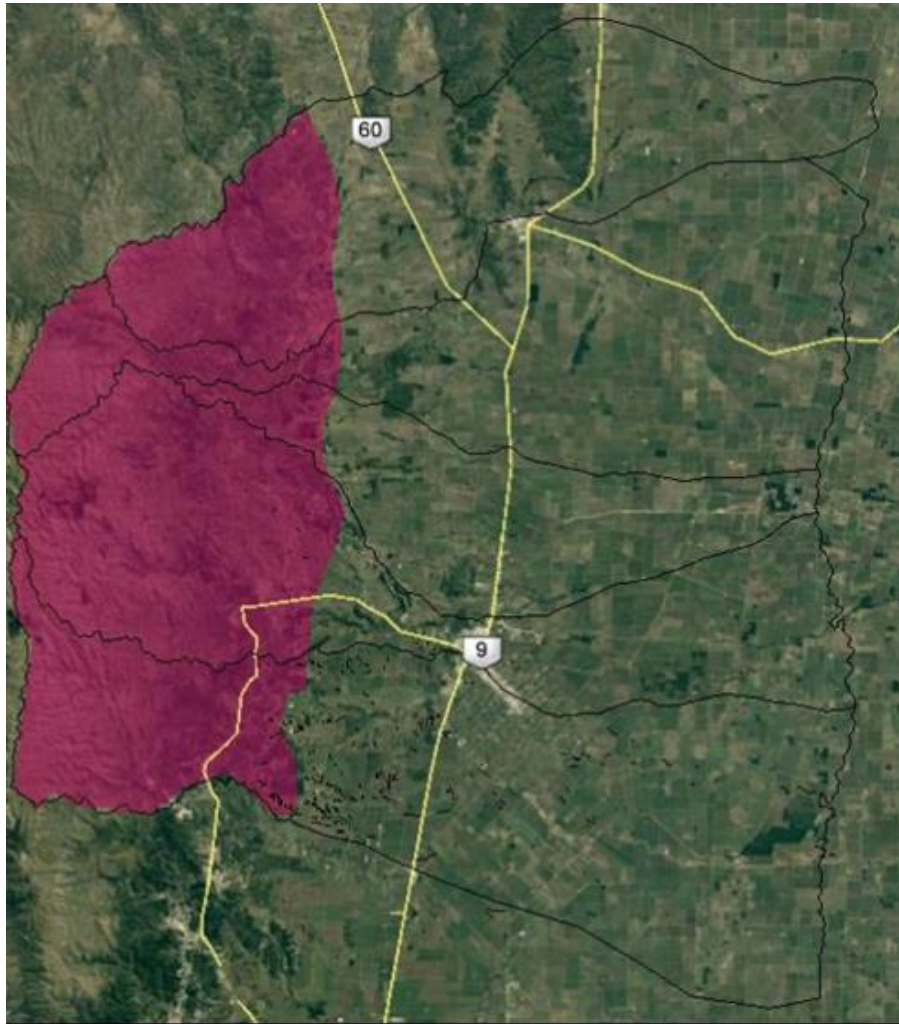


Figura 62. Se presenta la zona en estudio y en rosa la parte que pertenece a las Sierras Chicas.

Tabla 3. Capacidad de uso e índice de productividad de los suelos del área de estudio que pertenece al ambiente de las Sierras.

Unidad Cartográfica	Índice de Productividad	Aptitud de uso
Epli-5	14	VII
Epli-7	4	VII
Epli-9	1	VII
Epli-17	5	VII

Como se puede ver todos los suelos están clasificados por su capacidad de uso en VI: Suelos con graves limitaciones para el uso, resultando ineptos para los cultivos. Su uso queda reducido exclusivamente para pasturas cultivadas, campos naturales de pastoreo o para bosques y refugio de la fauna.

Como se observa, en relación a lo recomendado en cartas de suelo y otras publicaciones oficiales, el uso actual del suelo es diferente, lo cual tiene consecuencias directas sobre la degradación de los suelos.

En el Anexo 10.1 se presentan las prácticas agronómicas de conservación recomendadas.

6 Características de las Precipitaciones en la Zona

6.1 Cálculo de las curvas IDT

La probabilidad de ocurrencia de una lluvia depende de su persistencia o duración por lo que hace falta establecer la relación entre tres variables: la intensidad (i), la duración (d), y el período de retorno (T, inversamente relacionado a la probabilidad de ocurrencia) las cuales requieren para su construcción de registros continuos (pluviografía), escasos en Argentina (al igual que en muchos lugares del mundo), tanto por su cobertura espacial como por la extensión temporal de sus series. Estas curvas o relaciones están disponibles en la estación La Suela, representativa de la zona Sierras en la provincia de Córdoba (Caamaño et al. 2003). Esta información será transpuesta a localidades más cercanas a la zona de estudio (donde se encuentren disponibles registros pluviométricos históricos) regionalizando la información pluviográfica de la estación La Suela con técnicas apropiadas asumiendo que esta estación pluviográfica y la estación pluviométrica se encuentran en una zona meteorológicamente homogénea de acuerdo a lo propuesto por Caamaño et al., 2003. Para ello se utilizará el algoritmo denominado DIT (Caamaño y García, 1999) que parametriza el rol de la lluvia diaria en el vínculo i-d-T y permite transponerlo como una superficie tridimensional continua. El modelo DIT plantea al logaritmo de la intensidad como una función lineal del factor de frecuencia φ_y (Chow, 1951) y de un factor de persistencia δ_y (Caamaño Nelli y García, 1998), vinculados mediante dos parámetros locales, propios de la estación de medición, A y C, y uno zonal, B:

$$\ln i_{d,T} = A \cdot \varphi_y - B \cdot \delta_y + C \quad [1]$$

Siendo:

$$\varphi_y = 2,584458 \cdot (\ln T)^{3/8} - 2,252573 \quad [2]$$

$$\delta_y = (\ln d)^{5/3} \quad [3]$$

Los parámetros de este algoritmo, llamado DIT de aquí en adelante, son A, B, C y el exponente q de la ecuación (3). La estimación de este último, en las estaciones de ensayo del modelo arrojó valores próximos a 5/3 (Caamaño et al., 2011) lo que será adoptado aquí como constante. Lógicamente, la bondad de ajuste decae por perder flexibilidad, pero como sigue siendo muy buena, la mejora en la parsimonia del modelo, justifica suprimir un parámetro.

Más allá de su carácter conceptual y su buen desempeño numérico, la gran ventaja del DIT es la forma explícita en que los parámetros locales C y A se transforman en C' y A', al transponer la función i-d-T de un pluviógrafo (Por ejemplo La Suela, en este caso) a un pluviómetro (estación pluviométrica cercana a la cuenca analizada), dentro de una zona meteorológicamente homogénea, donde B y q son constantes (Caamaño Nelli, García y Dasso, 1998). Basta con sustituir la media, μ , y el desvío estándar, σ , de los logaritmos de la serie

pluviográfica diaria, por los homólogos de la pluviométrica, μ' y σ' , según las ecuaciones (4) y (5):

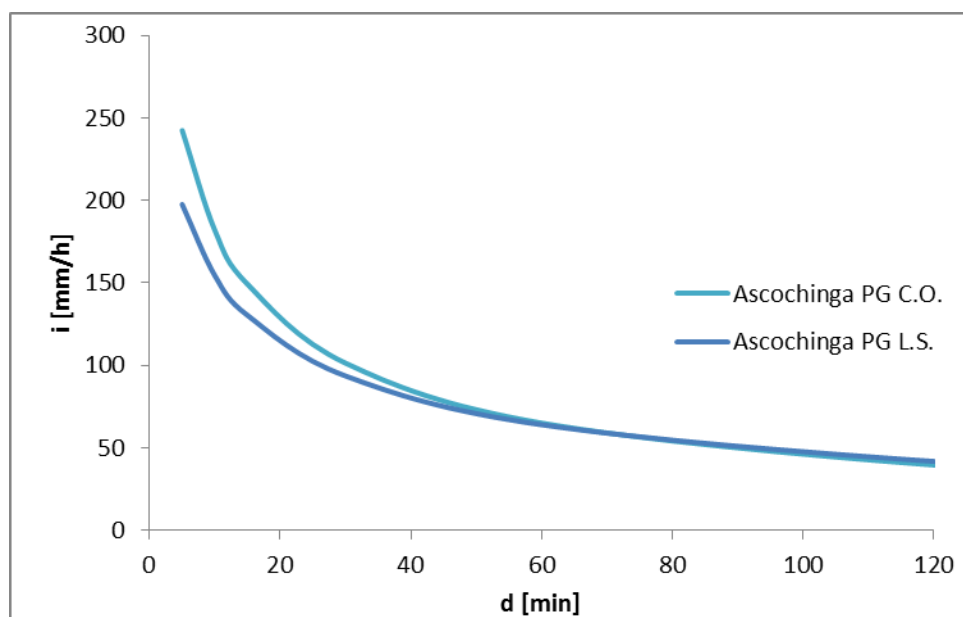
$$A' = A - \sigma + \sigma' \quad [4]$$

$$C' = C - \mu + \mu' \quad [5]$$

Para la aplicación del modelo DIT en el caso de estudio se utilizaron como estaciones base pluviográficas las existentes en la localidad de Córdoba Observatorio y La Suela, Provincia de Córdoba. Para transponer la curva IDT a la zona de estudio se utilizaron datos de la estación pluviométrica de Ascochinga.

El análisis previo que es importante realizar para estimar la IDT, es elegir adecuadamente la estación pluviográfica base para a posteriori usarla en la transposición aplicando el modelo DIT. Para ello, se calculó en la estación pluviométrica Ascochinga, la IDT tomando como base a ambas estaciones pluviográficas para posteriormente compararlas.

Al realizar la comparación, se observó para todas las recurrencias un comportamiento similar. Para demostrar lo ocurrido, a continuación a modo de ejemplo se muestra la IDT resultante para T=25 años aplicando las dos estaciones pluviográficas base:



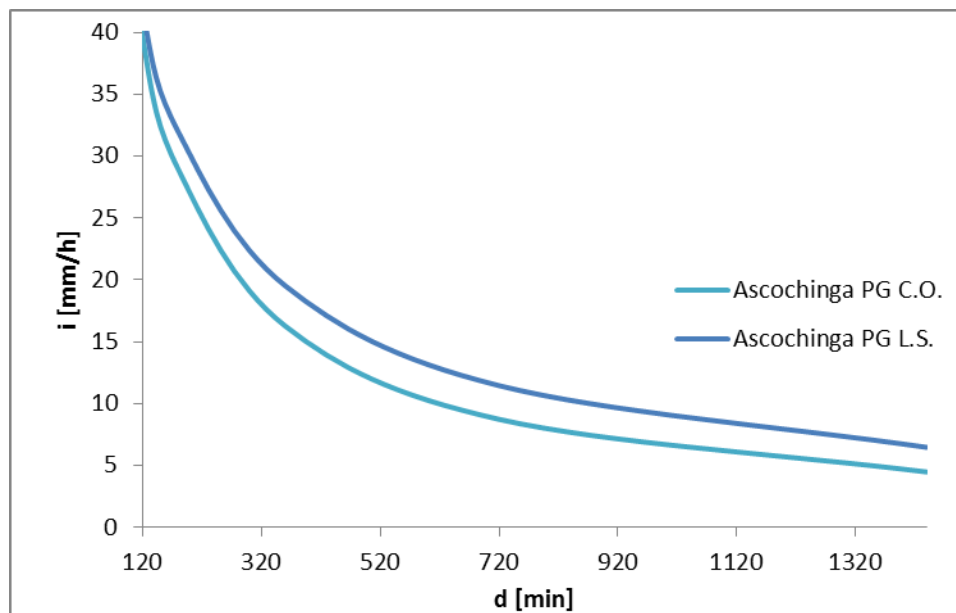


Figura 63. Curva IDT asociada a T=25 años en la localidad de Ascochinga para duraciones de entre 5 y 120 minutos (gráfico superior) y para duraciones mayores a 120 minutos (gráfico inferior) aplicando diferentes estaciones pluviográficas base (Córdoba Observatorio=C.O. – La Suela=L.S.).

Lo que de este análisis se observa es que para las duraciones menores al estimar la IDT aplicando el método DIT se alcanzan las máximas intensidades usando la estación pluviográfica de Córdoba Observatorio; mientras que para las mayores duraciones ocurre lo opuesto, es decir, si se aplica como estación base la existente en La Suela, se estiman mayores intensidades de precipitación.

Para poder elegir una de las dos familias de curvas IDT, es que se recurre a la única duración con la cual se cuenta con datos en las localidades a transponer. Como en Ascochinga existen solo datos pluviométricos, es que la única duración con la cual se pueden contrastar las curvas IDT previamente desarrolladas es 1440 minutos. A continuación se contrasta el dato pluviométrico con las IDT previamente estimadas:

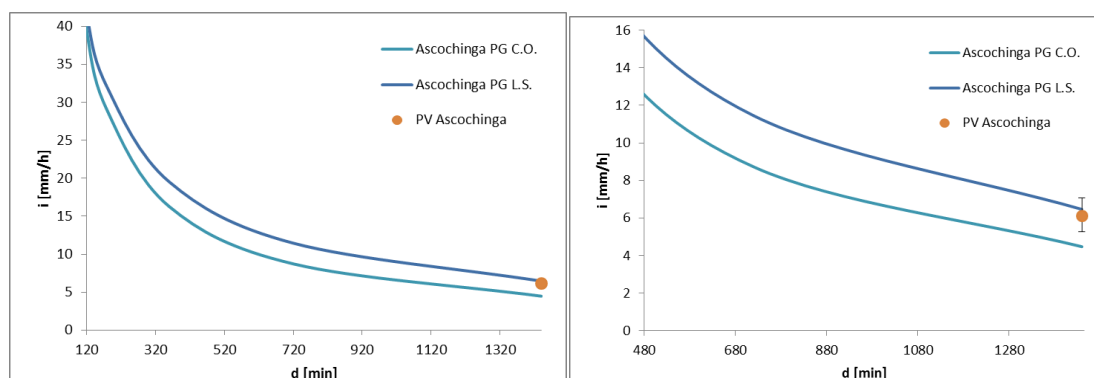


Figura 64. Contraste entre curvas IDT asociadas a T=25 años en la localidad de Ascochinga aplicando diferentes estaciones pluviográficas base (Córdoba Observatorio=C.O. – La Suela=L.S.) y el dato pluviométrico asociado a la duración diaria de precipitación.

De esta última figura se observa que el dato pluviométrico se encuentra mucho más cercano al valor estimado partiendo de la estación de La Suela. Exactamente lo mismo que lo aquí desarrollado ocurrió para las demás recurrencias. De este análisis puede concluirse que **la estación de La Suela es más adecuada para utilizarla como estación base pluviográfica en el modelo DIT.**

Si se aplicara como estación base pluviográfica la existente en Córdoba Observatorio se estimarían valores de láminas de lluvia del orden de un 20% menores a los realmente medidos en la duración diaria; mientras que al utilizar la estación La Suela, la diferencia entre el valor diario y el estimado con el DIT al aplicar la transposición se reduce a un 5%.

En resumen, partiendo de la estación pluviográfica base de La Suela, se estimó la relación IDT en la localidad de Ascochinga, para ser aplicada al caso de estudio.

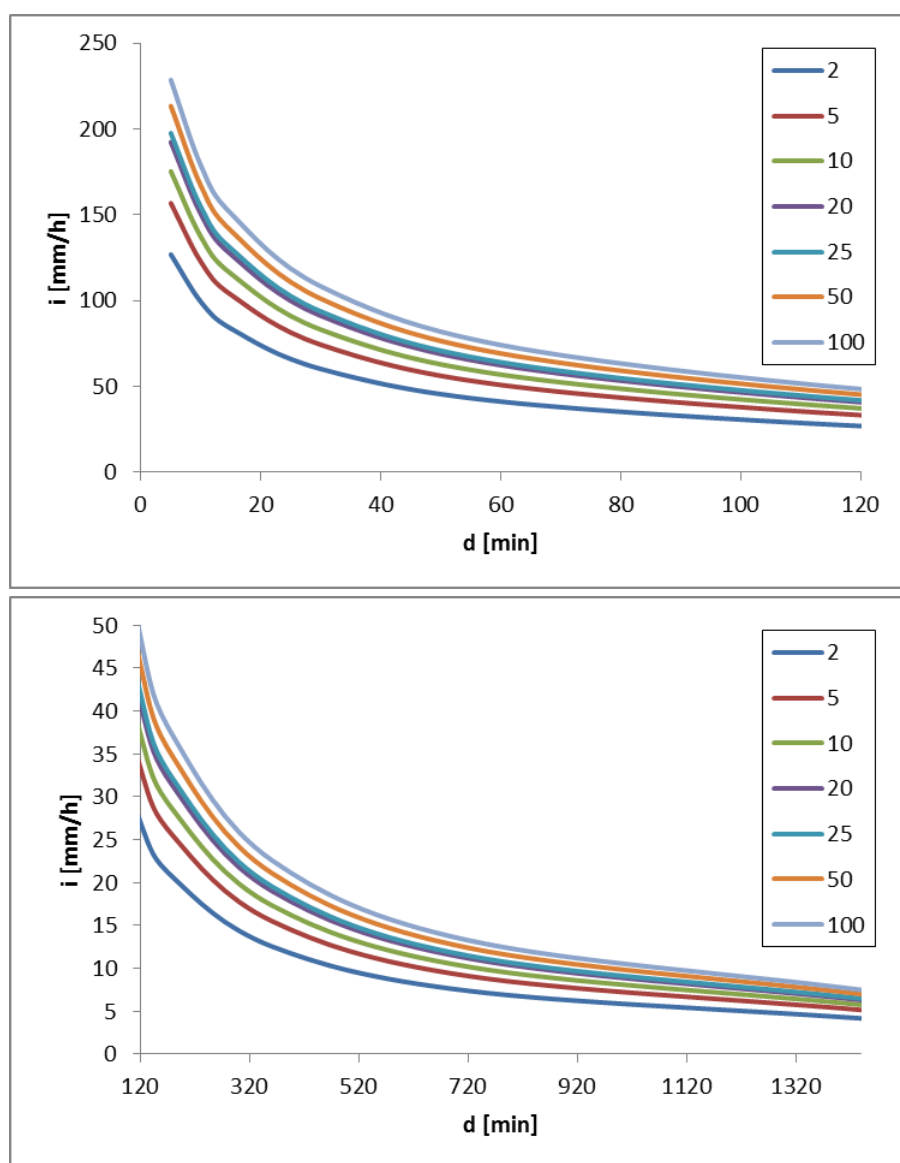


Figura 65. Curva IDT en la localidad de Ascochinga para duraciones de entre 5 y 120 minutos (gráfico superior) y para duraciones mayores a 120 minutos (gráfico inferior).

6.2 Atenuación espacial de la lámina de lluvia

Se tiene en cuenta debido a que el área de la cuenca es mayor a 25 km². Se aplicó el método CODA (Catalini, 2001). El mismo establece que:

$$h_{areal} = CDA \cdot h$$

Dónde:

h_{areal} : Lámina de lluvia media areal sobre la cuenca.

h : Lámina de lluvia puntual cuya localización coincide con la ubicación de la IDT previamente calculada.

CDA: Coeficiente de atenuación para calcular la precipitación media areal en una cuenca a partir de datos de precipitación puntuales. Depende de la duración de la tormenta (d) y del área de la cuenca (A); y se calcula como (Catalini, 2001):

$$CDA = 25^{-k} A^k$$

$$k = -2.1438d^{-0.4774}$$

6.3 Distribución temporal de la lámina de lluvia

Se aplicarán los hietogramas tipo del trabajo “Distribución Sintética De Lluvias Intensas en el área serrana de la provincia de Córdoba, Argentina” de Dasso y Caamaño Nelli, 2011.

La siguiente figura muestra los hietogramas tipo para duraciones entre 30 y 1440 minutos sintetizados en La Suela, con el método de la mediana de la distribución empírica (técnica de Huff) y por el método del ordenamiento de intervalos (técnica de Pilgrim), expresados en sextiles. Cada bloque de las ocho series dura 1/6 de la duración, es decir, 5 a 240 minutos desde el IMA de 30 al de 1440 minutos respectivamente.

En la Tabla 4 se presentan las características de las tormentas intensas en la estación pluviográfica La Suela. En la misma se puede observar que las lluvias más frecuentes tienen una duración de entre 3 y 6 hs (31.3%) y que el 83.4% de las tormentas tienen duraciones menores a 6 hs. Por otro lado la lámina máxima precipitada para duraciones mayores a 6 hs no presenta incrementos significativos respecto a precipitaciones de 6 hs.

Por lo expuesto se tomará como máxima duración de lluvia para definir eventos de diseño una duración de 6hs.

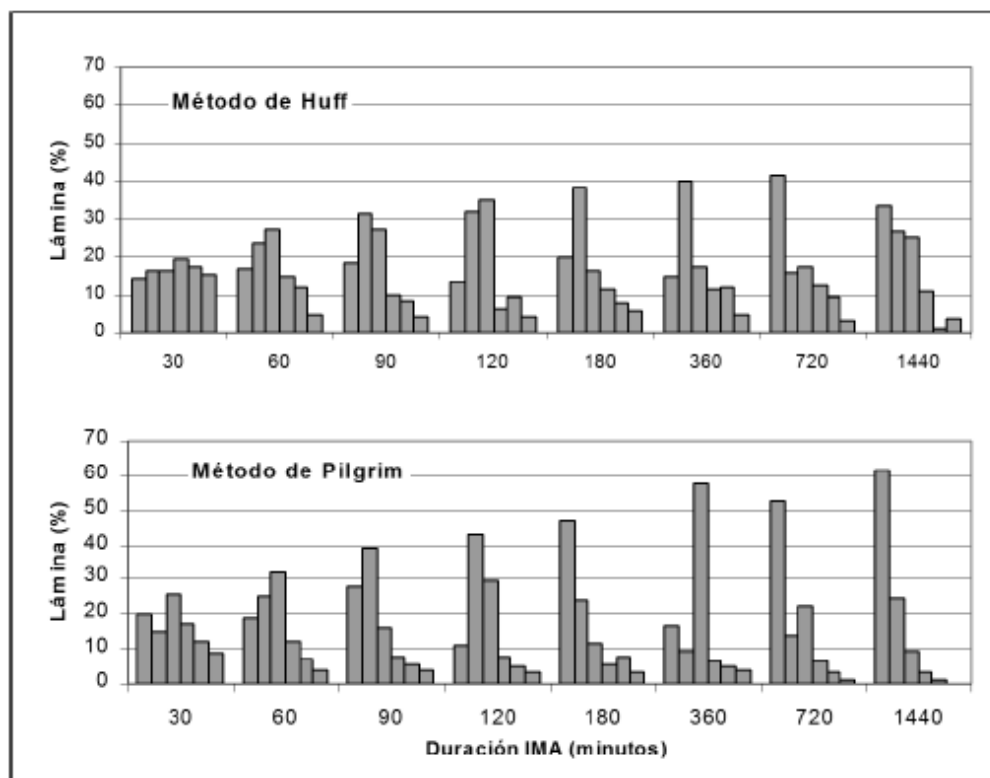


Figura 66. Hietogramas tipo sintetizados en La Suela.

Tabla 4. Características de Tormenta Intensas y de IMA en La Suela.

Lluvias máximas anuales para distintas duraciones en La Suela											
Duración (min)	5	10	15	30	60	90	120	180	360	720	1440
P máx (mm)	14,3	24,1	31,2	49,5	75,1	103,2	131,3	159,5	197,8	198,6	198,6
P med (mm)	8,5	14,6	19,9	30,8	40,8	46,1	50,6	59,3	77,3	101,5	135,2
P mín (mm)	4,5	8,0	9,7	13,2	14,9	20,0	22,3	23,6	23,6	33,2	11,7
Tormentas Intensas en La Suela											
categorías	d ≤ 1h		1h <d ≤ 2 h		2h <d ≤ 3 h		3h <d ≤ 6 h		d > 6 h		Total
Cantidad	21		20		21		37		19		118
(%)	17,8		16,9		17,8		31,3		16,1		100
	Tormenta de mayor lámina						Tormenta de mayor duración				
Fecha:	9 de enero de 1984						30 de marzo de 1980				
Precipitación:	198 mm						107,4 mm				
Duración:	340 min						1105 min				
Intensidad media:	35 mm/h						6 mm/h				

7 Estudio Hidrológico

En este capítulo se presentan el estudio hidrológico realizado en este estudio correspondiente al proyecto: “ORDENAMIENTO DE LOS ESCURRIMIENTOS HÍDRICOS DE LA CUENCA DE LOS RÍOS CARNERO, GUANUSACATE, PINTO, LOS MISTOLES Y OTROS ARROYOS MENORES”.

A continuación se presenta la metodología utilizada para realizar el estudio hidrológico, los parámetros hidrológicos del sistema de escurrimiento superficial, el programa de cálculo utilizado, las lluvias de diseño asociadas a Tr: 5, 10, 25, 50 y 100 años y los resultados obtenidos para cada una de las cuencas hidrográficas del estudio.

7.1 Metodología

A continuación se presenta la metodología empleada en este estudio para caracterizar el funcionamiento hidrológico del sistema.

- I. **Delimitación de cuencas:** a través de modelos digitales de terreno (DEM) y de herramientas informáticas se determinaron las cuencas y subcuencas.
- II. **Determinación de parámetros morfométricos:** se definieron los siguientes parámetros para cada subcuenca: áreas, pendientes medias de las cuencas; longitudes y pendientes de cauces principales; tipo de suelo y vegetación.
- III. **Determinación de parámetros hidrológicos:** se determinaron mediante fórmulas empíricas las abstracciones iniciales (Ia), el valor del número de curva (CN), los tiempos de concentración y tiempos de retardo de cada subcuenca y los parámetros del método de Muskingum (X y K) para cada uno de los tránsitos como así también la capacidad de infiltración de cada uno de los cauces en el piedemonte.
- IV. **Determinación de la duración de la tormenta crítica sobre la cuenca:** se modelan lluvias de diferentes duraciones para encontrar cual es la que genera el caudal pico máximo.
- V. **Definición de eventos de diseño:** se definieron las lluvias de diseño para la duración de la tormenta crítica correspondiente a cada una de las cuencas. Para lo cual se definió tanto la magnitud de la lámina de lluvia como su distribución temporal y espacial.
- VI. **Simulación de eventos de diseño:** finalmente se modelaron los “Eventos de diseño” en los modelos hidrológicos y se obtuvieron los hidrogramas y caudales asociados a su probabilidad de ocurrencia.

Para la modelación hidrológica de las cuencas, se aplicaron los siguientes métodos:

- para cuantificar las pérdidas se aplicó el método de las abstracciones del Servicio de Conservación de Suelos (SCS), el cual permite diferenciar la porción de lluvia que se pierde de la que se convierte en escorrentía directa.
- para la transformación de lluvias efectiva en caudales, se utilizó el método del Hidrograma Unitario (HU) adimensional del SCS, cuya implementación requiere determinar el tiempo de retardo (tr) y el porcentaje del volumen que escurre antes de alcanzar el pico (PRF, por sus siglas en inglés).

- para el tránsito de caudales entre nodos del modelo se empleó el método de Muskingum.

Todos estos métodos se encuentran implementados en el programa computacional HEC-HMS desarrollado por el cuerpo de ingenieros de los Estados Unidos.

Por otro lado, para estimar las pérdidas por infiltración en los cauces se aplicó la Ley de Darcy y se estimó el coeficiente de permeabilidad mediante fórmulas empíricas.

A continuación se presentan los métodos utilizados para simular los diferentes procesos hidrológicos y para determinar los parámetros de los mismos.

Método de Abstracciones del SCS

Al producirse un evento de precipitación (P) parte de la misma no genera escurrimiento, desde el punto de vista del análisis de escorrentía superficial se denomina como “pérdidas” a la fracción de P que no genera escurrimiento y llamamos precipitación efectiva (Pe) a la fracción de que produce escurrimiento superficial. Por lo tanto Pe siempre será menor o igual a la altura de la lámina de precipitación total (P); de manera similar siendo S la retención potencial máxima de la cuenca, la capacidad instantánea de retener agua en la cuenca (Fa) es menor o igual a S.

Por otro lado, existe una cierta cantidad de precipitación, definida como abstracción inicial (Ia) antes del encharcamiento, para la cual no ocurrirá escorrentía. Vale aclarar que en este estudio, el termino precipitación hace referencia únicamente a lluvia, es decir a la precipitación de agua en estado líquido.

La hipótesis del método de las abstracciones del SCS consiste en que las relaciones de las dos cantidades reales y las dos potenciales son iguales, es decir:

$$\frac{Fa}{S} = \frac{Pe}{P-Ia}$$

Por el principio de continuidad:

$$P = Pe + Ia + Fa$$

Combinando ambas se obtiene la ecuación básica para el cálculo de la profundidad de exceso de precipitación del método SCS:

$$Pe = \frac{(P-Ia)^2}{P-Ia+S}$$

Así, para determinar la lámina de precipitación efectiva (Pe) se requiere conocer:

Precipitación media (P): sobre cada una de las cuencas o subcuencas

Numero de Curva (CN): es un parámetro que se utiliza para calcular:

Pérdidas iniciales (Ia), y

Retención potencial máxima (S).

Determinación del Número de Curva (CN):

Al representar en un gráfico la Precipitación Total y la Precipitación Escurrida para muchas cuencas, el SCS encontró que se relacionan mediante curvas como las que se muestran en la Figura 67.

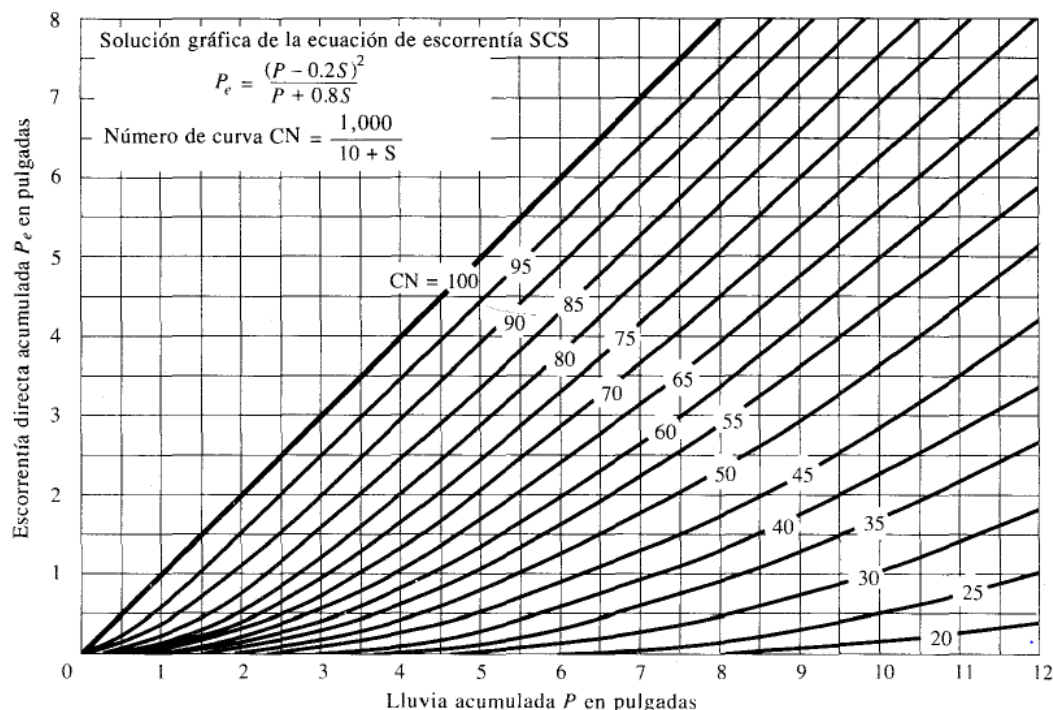


Figura 67. Solución de las ecuaciones de escorrentía del SCS (Chow, Maidment, & Mays, Hidrología Aplicada, 1994).

Las curvas varían entre un parámetro que es igual a 0 (la lluvia no genera escurrimiento) y 100 (el total de la lluvia escurre), y para estandarizarlas se definió un número adimensional de curva CN. Este número adimensional toma en cuenta las condiciones de humedad antecedente del suelo (AMC, por sus siglas en inglés) determinada a partir de la precipitación total en los cinco días previos (AMC I seco, AMC II normal y AMC III húmedo). El valor de CN se encuentra tabulado en base al tipo de suelo, el uso de la tierra y a las pendientes medias de la cuenca, ya que todos estos factores afectan a la capacidad de infiltración de la cuenca (Chow, Maidment, & Mays, 1994)

Entonces, el valor de CN contempla los principales factores que intervienen en el porcentaje de lluvia que escurre superficialmente:

- Humedad del suelo al momento de la lluvia de diseño (condición de humedad antecedente).
- Tipo de suelo.
- Cubierta vegetal.
- Pendientes.

En el presente estudio se realizó una primera estimación del valor del parámetro CN, para cada una de las cuencas, utilizando los valores propuestos por el SCS en la Tabla 7. Para lo cual se determinó:

- **Condiciones de humedad antecedente**

La precipitación efectiva está afectada por la humedad que tenga el suelo al momento de recibir la precipitación. El método de la SCS para determinar las abstracciones, tiene en cuenta este factor al establecer condiciones antecedentes de humedad (AMC) basado en la precipitación total en los 5 días anteriores. El método considera tres tipologías de condición de humedad antecedente, que se muestran en la Tabla 5 y los clasifica según la estación y período del año en la que se esté realizando el estudio hidrológico.

Tabla 5. Límites para cada condición de humedad antecedente, para el método de las abstracciones de lluvia del SCS.

Lluvia antecedente total de 5 días [mm]		
Grupo AMC	Estación inactiva	Estación de crecimiento
I	<12.7	<35.6
II	[12.7 - 27.9]	[35.6 - 53.3]
III	>27.9	>53.3

Los valores de CN publicados generalmente, que relacionan la cubierta vegetal y el tipo de suelo (Tabla 5.5.2, pag. 154 (Chow, Maidment, & Mays, 1994)), está definida para condiciones de humedad normal II. La modelación hidrológica requiere analizar si resulta necesario cambiar las condiciones de humedad, ya que se comprobó a partir de un análisis de sensibilidad, que existen diferencias de hasta un 38% en los valores de los caudales picos de una cuenca modelada con un CN AMC II y un CN AMC III. Por lo tanto resulta necesario realizar un análisis para definir esta variable.

Una vez obtenida la lámina de lluvia de los 5 días anteriores, el SCS fija los límites en los que se considera una u otra condición de humedad antecedente, como se observa en la Tabla 5.

En este estudio se considera la condición de humedad antecedente normal II en todas las subcuencas.

- **Tipo de suelo**

El método propuesto por el SCS establece una clasificación del suelo en función de su mayor o menor capacidad de infiltración o permeabilidad, y por lo tanto de su potencial de generación de escorrentía, Tabla 6.

Se establece una clasificación de los suelos en 4 diferentes tipologías:

Grupo A: Se trata de los suelos con mayor permeabilidad y menor escorrentía. Se trata de suelos profundos y de texturas gruesas (arenoso o arenoso - limosos), muy permeables, incluso saturados, con un tanto por ciento elevado de arenas y gravas y cono poco o nada de arcillas y limos. Su potencial de escurrimiento es mínimo por su gran permeabilidad. Elevada capacidad de infiltración.

Grupo B: Incluye los suelos de moderada permeabilidad cuando están saturados, comprendiendo los terrenos arenosos menos profundos que los del grupo A, terrenos de textura franco - arenosa de mediana profundidad y suelos francos profundos. Presentan una moderada permeabilidad cuando se encuentran saturados.

Grupo C: Comprende suelos con poca permeabilidad cuando ya están saturados, franco – arcillosos e incluso arcillosos con escasa capacidad de infiltración una vez saturados, o que presentan algún estrato impermeable que dificulta la infiltración de la lluvia. Los suelos de este grupo poseen un bajo contenido en materia orgánica.

Grupo D: Es el que ofrece mayor escorrentía. Se trata de suelos con gran impermeabilidad, arcillosos, profundos con alto grado de tumefacción; también se incluyen aquí los terrenos que presentan una capa de arcilla somera y muy impermeable así como suelos jóvenes de escaso espesor sobre una roca madre impermeable, ciertos suelos salinos y terrenos con el nivel freático muy alto.

Tabla 6. Clases texturas y grupos hidrológicos de suelos según la clasificación del SCS.

CLASES TEXTURALES Y GRUPOS HIDROLÓGICOS DEL USDA			
GRUPO A	Arenosa	GRUPO B	Franco – limosa
	Arenosa- franca		Franca
	Franco – arenosa		Limosa
GRUPO C	Franco – arcillo – arenosa	GRUPO D	Arcillo – arenosa
	Franco – arcillo - limosa		Arcillo – limosa
	Franco – arcillosa		Limosa

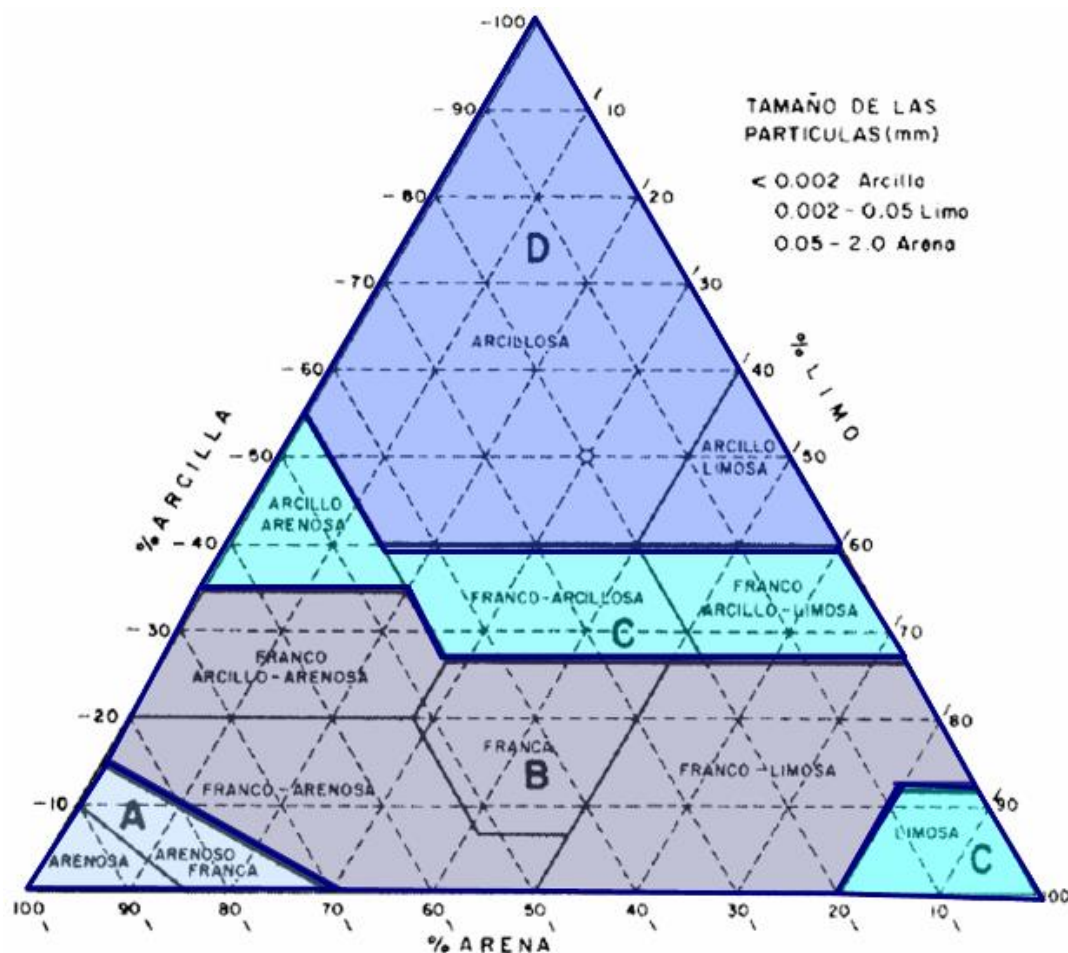


Figura 68. Clases de texturas SCS.

- Cubierta vegetal

En el presente trabajo se determina la cubierta vegetal de característica de diferentes sectores para cada una de las subcuencas a través de análisis de imágenes satelitales, estudios antecedentes y observaciones de campo. Las mismas se clasificaron en la zona de estudio según los tipos de coberturas que propone el SCS (Tabla 7) obtenida de Hidrología Aplicada (Ven Te Chow).

- Pendientes

Los valores de las pendientes se calcularon en base a la información del DEM de cada una de las subcuencas.

Tabla 7. Valores de CN en función de las diferentes cubiertas vegetales, litologías y pendientes.

NÚMEROS DE CURVA DEL SCS USDA					
USOS Y APROVECHAMIENTOS DEL SUELO	PDTE (%)	NÚMERO DE CURVA EN FUNCIÓN DEL GRUPO HIDROLÓGICO DE SUELO			
		A	B	C	D
Barbecho R	≥ 3	77	78	89	93
Barbecho N	≥ 3	74	82	86	89
Barbecho R	< 3	71	78	82	86
Barbecho N	< 3	71	78	82	86
Cultivos en hilera R	≥ 3	69	79	86	89
Cultivos en hilera N	≥ 3	67	76	82	86
Cultivos en hilera R	< 3	64	73	78	82
Cultivos en hilera N	< 3	64	73	78	82
Cereales de Invierno R	≥ 3	63	75	83	86
Cereales de Invierno N	≥ 3	61	73	81	83
Cereales de Invierno N	< 3	59	70	78	81
Cereales de Invierno N	< 3	59	70	78	61
Rotación de cultivos Pobres R	≥ 3	86	77	85	89
Rotación de cultivos Pobres N	≥ 3	64	75	82	86
Rotación de cultivos Pobres R	< 3	63	73	79	83
Rotación de cultivos Pobres N	< 3	63	73	79	83
Rotación de cultivos Densos R	≥ 3	58	71	81	85
Rotación de cultivos Densos N	≥ 3	54	89	78	82
Rotación de cultivos Densos R	< 3	52	67	76	79
Rotación de cultivos Densos N	< 3	52	67	76	79
Pradera pobre	≥ 3	68	78	88	89
Pradera media	≥ 3	49	69	78	85
Pradera buena	< 3	42	60	74	79
Pradera muy buena	< 3	39	55	67	77
Pradera pobre	≥ 3	46	67	81	88
Pradera media	≥ 3	39	59	75	83
Pradera buena	< 3	29	48	69	78
Pradera muy buena	< 3	17	33	87	76
Plantaciones regulares de a rev. Forestal pobre	≥ 3	45	66	77	63
Plantaciones regulares de a rev. Forestal media	≥ 3	39	80	73	78
Plantaciones regulares de a rev. Forestal buena	≥ 3	33	54	69	77
Plantaciones regulares de a rev. Forestal pobre	< 3	40	60	73	78
Plantaciones regulares de a rev. Forestal media	< 3	35	54	69	77
Plantaciones regulares de a rev. Forestal buena	< 3	25	50	67	76
Masa forestal (bosques, monte bajo) muy clara		56	75	86	91
Masa forestal (bosques, monte bajo) clara		46	68	78	83
Masa forestal (bosques, monte bajo) media		40	60	69	76
Masa forestal (bosques, monte bajo) espesa		36	52	62	68
Masa forestal (bosques, monte bajo) muy espesa		29	44	54	60
Rocas permeables	≥ 3	94	94	94	94
Rocas permeables	< 3	91	91	91	81
Rocas impermeables	≥ 3	96	96	96	96
Rocas impermeables	< 3	93	93	93	93

Pérdidas iniciales (I_a)

Al producirse un evento de precipitación existe una cierta cantidad de la misma que al inicio del evento no genera escurrimiento, ya que esta será infiltrada, quedará retenida en la vegetación o en depresiones superficiales de la cuenca. Llamamos a esta fracción de la precipitación como “pérdidas iniciales” (I_a)

En la Figura 69 se presentan esquemáticamente el método propuesto por el SCS para determinar las pérdidas. Se observan las pérdidas iniciales (I_a) al comienzo del evento, la precipitación efectiva se representa con el área sombreada y las pérdidas por infiltración por el área bajo la curva (F_a).

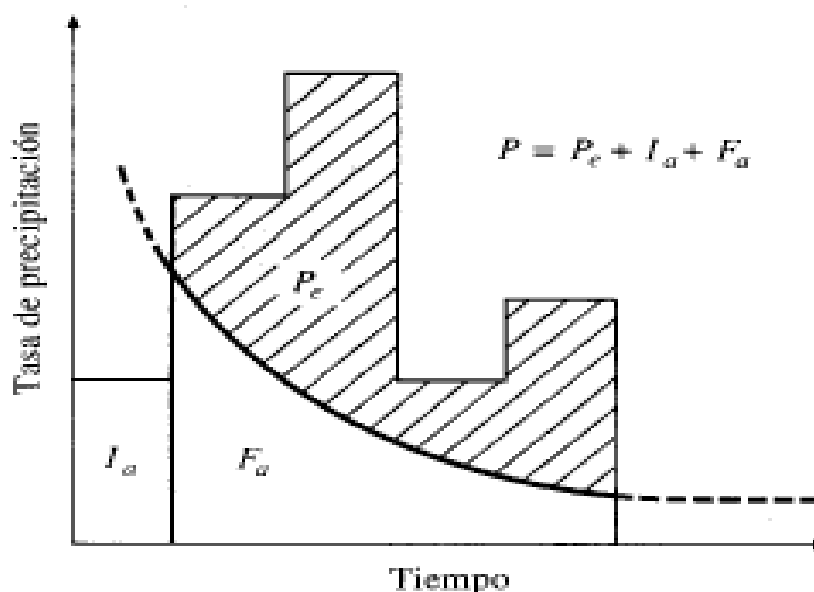


Figura 69. Método de abstracciones de precipitación del SCS (Chow, Maidment, & Mays, Hidrología Aplicada, 1994).

El valor de las pérdidas iniciales (I_a) es una de las variables del método de abstracciones del SCS, para determinar su valor se desarrolló la siguiente relación empírica:

$$I_a = 0.2 S$$

Donde S se relaciona con el número de curva CN de la siguiente manera:

$$S = \frac{1000}{CN} - 10 \quad \text{Donde S está en pulgadas}$$

Método de Transformación Lluvia - Caudal

Para transformar la lluvia efectiva en caudales se aplica el método del Hidrograma Unitario adimensional el cual permite transformar la precipitación efectiva de una cuenca en un hidrograma a la salida de la misma.

El Hidrograma Unitario es el resultante de una precipitación efectiva uniforme de 1mm, 1cm o 1 pulgada, distribuida uniformemente en la cuenca, con intensidad constante y duración unitaria.

En este trabajo se utilizó el hidrograma unitario adimensional del SCS, el cual se define por la siguiente relación:

$$q_p = PRF \times A \times Q/t_p$$

Dónde:

q_p : Caudal pico del hidrograma unitario en ft³/s.

A : Área de la cuenca en mi².

Q : Volumen escurrido en pulgadas.

t_p : Tiempo al pico del hidrograma unitario en horas.

El porcentaje del volumen que escurre antes de alcanzar el caudal pico (PRF por sus siglas en inglés) no es uniforme en todas las cuencas debido a que depende de la longitud del cauce principal, cobertura del suelo y otras propiedades de la cuenca. Haciendo variar este factor, se pueden obtener diferentes hidrogramas unitarios adimensionales del SCS. Se ha encontrado que las cuencas de llanura poseen factores PRF más bajos (del orden de 100 a 300); mientras que cuencas con mayores pendientes poseen PRF más altos (del orden de 400 a más de 600).

Para poder definir el factor PRF de los hidrogramas unitarios adimensionales, Sheridan et. al (2002) desarrolló una relación entre dicho factor y dos características de las cuencas: el área de drenaje (A , en km²) y la pendiente del cauce principal (S , en %):

$$PRF = 490.196 \times S^{0.882} \times A^{0.264}$$

Si bien el hidrograma unitario adimensional del SCS por defecto posee un PRF=484, en este estudio se aplica esta última ecuación para definir el factor PRF de los hidrogramas unitarios adimensionales del SCS de cada una de las subcuencas.

Para poder aplicar este hidrograma unitario, es necesario además calcular el tiempo de retardo (t_{lag}) de la cuenca. Este parámetro se calcula como el 60% del tiempo de concentración de la cuenca, es decir:

$$t_{lag} = 0.6TC$$

Tiempo de Concentración

El tiempo de concentración (t_c) de una cuenca se define como el tiempo mínimo necesario para que todos los puntos de la misma estén aportando escurrimiento al punto de cierre. Está determinado por el tiempo que tarda en llegar a la salida de la cuenca el agua que procede del punto hidrológicamente más alejado.

Se tuvieron en cuenta diversos métodos de cálculo para obtener el tiempo de concentración. Ninguno de estos métodos proporcionará el valor exacto del t_c , ya que cada uno fue calibrado bajo condiciones particulares de una determinada cuenca, que difiere de una u otra manera de las de interés para este estudio.

Para calcular este parámetro de las cuencas de estudio, se aplicaron una serie de fórmulas empíricas:

- **Kirpich (1940):** Se desarrolló a partir de la información del SCS en siete cuencas rurales.

$$t_c = 0.0078 L^{0.77} S_f^{-0.385}$$

t_c = tiempo de concentración [min]

L =Longitud de cauce principal [ft]

S_f =Pendiente media [ft/ft]

- **SCS**

$$t_c = 0.01947(K)^{0.77}$$

$$K = 3.3 L \sqrt{S}$$

t_c = tiempo de concentración [min]

L =Longitud de cauce principal [m]

S =Pendiente media m/m

K = [Km]

- **Kerby - Kirpich**

$$t_c = t_o + t_{ch}$$

Dónde:

$$t_o = K_o(L_o \cdot N)^{0.467} S_o^{-0.235} \text{ (tiempo de concentración de flujo mantiforme)}$$

$$t_{ch} = K_c L_c^{0.77} S_c^{-0.385} \text{ (tiempo de concentración de flujo en canal)}$$

t_c = tiempo de concentración [min]

K_o = coeficiente de conversión de unidades. Es igual a 1.44 para unidades del sistema internacional (SI)

K_c = coeficiente de conversión de unidades. Es igual a 0.0195 para unidades del sistema internacional (SI)

L_o = longitud del flujo superficial (o flujo en láminas).

L_c = longitud del flujo en canal

S_o = pendiente de la cuenca adimensional en la zona de flujo mantiforme

S_c = pendiente de la cuenca adimensional en la zona de flujo en canal

N = coeficiente de retardo del flujo. Su valor se obtiene de tablas.

➤ **Ventura-Heras**

$$t_c = \alpha \frac{A^{0.5}}{S}$$

$$\alpha = L/\sqrt{A} \quad 0.05 \leq \alpha \leq 0.5$$

t_c = tiempo de concentración [horas]

A=área de la cuenca [Km^2]

L=Longitud de cauce principal [Km]

S=Pendiente media [%]

➤ **Passini**

$$t_c = \alpha \frac{(AL)^{1/3}}{S^{0.5}}$$

$$\alpha = L/\sqrt{A}$$

t_c = tiempo de concentración [horas]

A=área de la cuenca [Km^2]

L=Longitud de cauce principal [Km]

S=Pendiente media [%]

➤ **Giandotti**

$$t_c = \frac{4\sqrt{A} + 1.5L}{0.8\sqrt{H}} \quad \text{siempre que } L/3600 \geq t_c \geq (L/3600 + 1.5)$$

t_c = tiempo de concentración [horas]

A=área de la cuenca [Km^2]

L=Longitud de cauce principal [Km]

H= cota máxima del cauce principal [m]

➤ **California Culverts Practice**

$$t_c = 60 \left[\frac{11.9 \left[\frac{L}{1.61} \right]^3}{3.28 H} \right]^{0.385}$$

t_c = tiempo de concentración [horas]

L=Longitud de cauce principal [Km]

H= Diferencia entre divisorio de agua y salida de la cuenca [m]

➤ **TR-55**

$$t_c = t_{sh} + t_{sc} + t_{ch}$$

Dónde:

$$t_{sh} = \frac{0.007}{60} (L_{sh} \cdot n_{ol})^{0.8} S_{sh}^{-0.4} P_2^{-0.5} \text{ (tiempo de concentración de flujo mantiforme)}$$

$$t_{sc} = \frac{L_{sc}}{21600K} S_{sc}^{-0.5} \text{ (tiempo de concentración de flujo encauzado de bajo tirante)}$$

$$t_{ch} = \frac{L_{ch}}{21600 \frac{1.49}{n} R^{2/3} S_{ch}^{0.5}} \text{ (tiempo de concentración de flujo en canal)}$$

t_c = tiempo de concentración [min]

n_{01} = coeficiente de rugosidad del flujo mantiforme. Su valor se obtiene de tablas.

L_{sh} = longitud del flujo mantiforme (o flujo en láminas), en ft.

S_{sh} = pendiente de la cuenca en la zona de flujo mantiforme, en m/m.

P_2 = lámina de lluvia de duración 24 horas y recurrencia 2 años, en pulgadas.

L_{sc} = longitud del flujo encauzado de bajo tirante, en ft.

K = coeficiente de retardo del flujo de bajo tirante. Su valor se obtiene de tablas.

S_{sc} = pendiente de la cuenca en la zona de encauzado de bajo tirante, en m/m.

L_{ch} = longitud del flujo en canal, en ft.

n = coeficiente de rugosidad de manning del flujo en canal. Su valor se obtiene de tablas.

S_{ch} = pendiente de la cuenca en la zona de flujo en canal.

R = radio hidráulico del canal, en ft.

Los valores de t_c generados por estos métodos fueron muy distintos en algunos casos. Por este motivo, resulta necesario determinar cuál de todos estos métodos es representativo para los casos de estudio. Para ello, en primer lugar se observa en qué condiciones han sido obtenidas las formulaciones de cada autor, y se las compara con las condiciones del área de estudio. En segundo lugar, se consideró que en los ríos de pendiente media durante las crecientes se alcanzan velocidades máximas del flujo del orden de 1 o 2 m/s.

Utilizando este orden de magnitud es que se evaluaron los tiempos de concentración, considerando además, que la precipitación escurre inicialmente de forma mantiforme, luego en flujo de pequeño tirante; y finalmente un flujo en canales. Para cada subcuenca, conociendo la longitud del cauce principal y los tiempos de concentración arrojados por las diferentes formulaciones, se puede estimar una velocidad media del flujo, la cual debería estar en el orden de magnitud del valor anteriormente mencionado.

Se observó que de adoptar la fórmula del SCS, Ventura-Heras, Passini o Giandotti, estas arrojan tiempos de concentración muy bajos (y por lo tanto velocidades medias del flujo demasiado altas). Por el contrario, la fórmula de California Culverts Practice arroja tiempos de concentración mayores; mientras que las fórmulas de Kirpich, Kerby – Kirpich y TR – 55 arrojan valores intermedios y más razonables (con velocidades del orden del metro por segundo).

Para el cálculo de los tiempos de concentración (T_c) de las subcuencas; Roussel et al. 2005 concluye que generalmente la ecuación de Kirpich, y en particular la ecuación de Kerby-Kirpich para estimar el tiempo de la concentración de una cuenca es adecuada. Esta ecuación produce estimaciones de tiempo de concentración consistentes con valores obtenidos en cuencas que

fueron calculados a partir de tormentas reales e hidrogramas de escorrentía. **Es por esta razón que se decidió adoptar, como una primera aproximación, los tiempos de concentración obtenidos con la ecuación de Kerby Kirpich.**

Tiempo de Retardo

Este parámetro hidrológico resultará necesario para la aplicación del método del hidrograma unitario adimensional explicado anteriormente y se define como el tiempo transcurrido desde el centro de gravedad del hietograma de precipitación neta hasta que se da el caudal máximo en el hidrograma (Ver Figura 70).

El tiempo de retardo fue calculado según la fórmula del SCS (Ven Te Chow et al, 1994):

$$tr = 0.6 tc$$

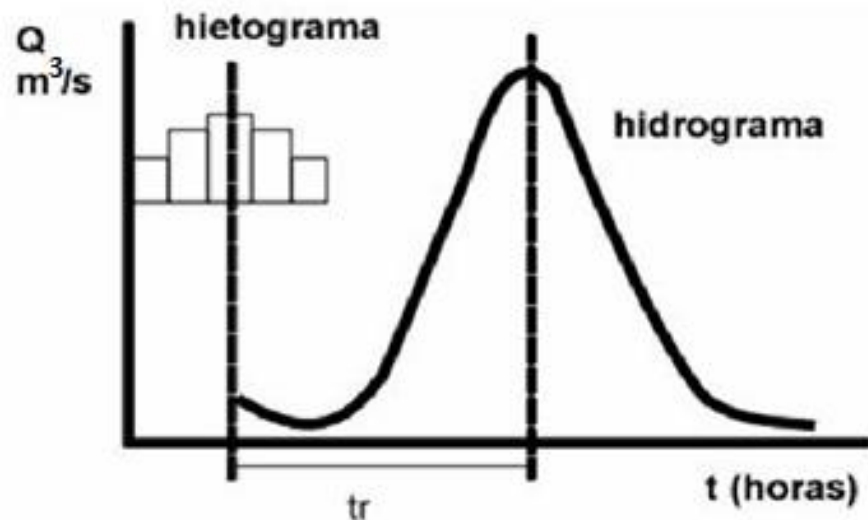


Figura 70. Tiempo de retardo.

Método de Tránsito de Hidrogramas

Son diversos los modelos para representar el tránsito del caudal a través de un sistema hidrológico, dada una entrada, es decir, hidrogramas conocidos.

Estos modelos pueden responder a sistemas agregados, donde el flujo se calcula como una función del tiempo únicamente en un punto particular, o a sistemas distribuidos, donde el flujo se obtiene como una función del tiempo y el espacio a través del sistema.

En sistemas agregados los caudales de entrada I, de salida Q y el almacenamiento S varían en el tiempo. Estas magnitudes se relacionan mediante la ecuación de continuidad (conservación de masa), mientras que en los distribuidos se relacionan mediante las ecuaciones diferenciales

parciales de Saint-Venant para flujo unidimensional, basadas en la ecuación de continuidad y momentum o cantidad de movimiento (conservación de masa y momentum).

Existen diferentes métodos que realizan la modelización del tránsito de caudales. Para el presente trabajo se aplicó el método de Muskingum, el cual corresponde a sistemas agregados y modela el almacenamiento volumétrico de creciente en un canal de un río mediante la combinación del almacenamiento de cuña y prisma. Durante el avance de la onda creciente, el caudal de entrada es mayor que el caudal de salida, siendo un almacenamiento de cuña. Durante la recesión, el caudal de salida es mayor que el de entrada resultando en una cuña negativa. Adicionalmente, existe un almacenamiento por prisma que está formado por un volumen de sección transversal constante a lo largo de la longitud del canal prismático.

Para determinar cuál de todos utilizar, se modeló con cada uno de ellos, y se observaron los hidrogramas de entrada y de salida. Los métodos de Muskingum-Cunge y onda cinemática no producen almacenamientos, es decir que el tránsito no lamina el hidrograma de entrada, provocando velocidades elevadas en los cursos. El método de tiempo de retardo, no genera almacenamiento, aunque las velocidades pueden alcanzar valores razonables. Finalmente en el método de Muskingum no se presenta ninguno de estos problemas; las velocidades resultaron lógicas (del orden de los 2-3m/s) y se producía laminación del caudal pico.

El método de Muskingum, responde a sistemas agregados y modela el almacenamiento volumétrico de creciente en un canal de un río mediante la combinación del almacenamiento de cuña y prisma. Durante el avance de la onda creciente, el caudal de entrada es mayor que el caudal de salida, siendo un almacenamiento de cuña. Durante la recesión, el caudal de salida es mayor que el de entrada resultando en una cuña negativa. Adicionalmente, existe un almacenamiento por prisma que está formado por un volumen de sección transversal constante a lo largo de la longitud del canal prismático. Esto se representa gráficamente en la Figura 71.

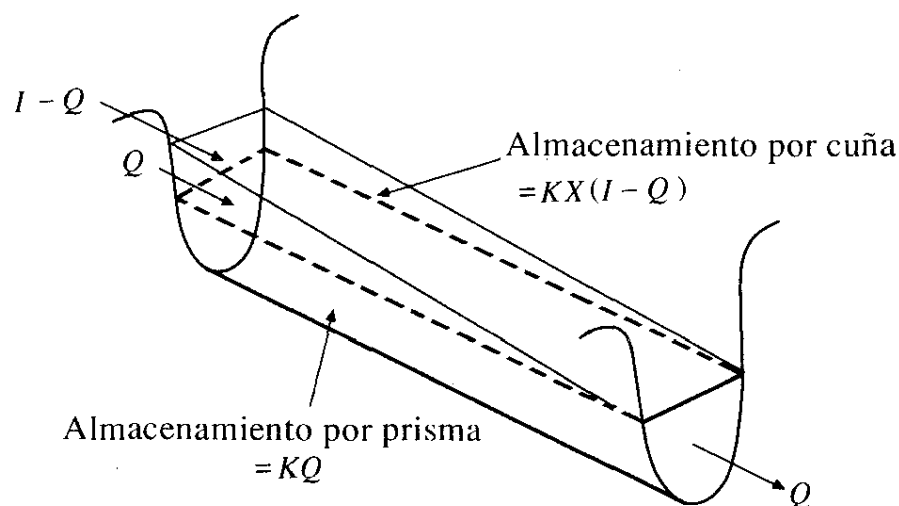


Figura 71. Almacenamiento de método de Muskingum, (Chow, Maidment, & Mays, Hidrología Aplicada, 1994).

El método requiere de la estimación de un coeficiente de proporcionalidad K , el cual es el tiempo de tránsito de una onda de creciente a través del tramo de canal, y un factor de ponderación X que varía entre 0 y 0.5 (cuando $X=0$ no existe cuña), y depende de la forma de almacenamiento por cuña modelado. Siendo A el almacenamiento, I el hidrograma de entrada y Q el de salida, tenemos:

$$A = K[XI + (1 - X)Q]$$

El cambio en el almacenamiento (ΔA) entre dos tiempos cualesquiera ($j, j+1$), se deduce tras operar convenientemente con las ecuaciones de almacenamiento para A_j y A_{j+1} , obteniendo así la ecuación de tránsito para el método Muskingum:

$$Q_{j+1} = C_1 I_{j+1} + C_2 I_j + C_3 Q_j$$

Donde C_1 , C_2 y C_3 están en función de Δt , K y X .

El método requiere la determinación de los valores de los parámetros K y X para cada tramo analizado. Para la obtención de los valores de K de cada tránsito, se estimó en función de las velocidades de flujo en los cursos y las distancias de los mismos. Para el X se recomienda un valor de 0.3 para ríos de montaña, donde el almacenamiento es menor que en los de llanura, que presentan valores menores (del orden de 0.2).

En las visitas a campo y en el análisis de la geología realizado se pudo constatar que los ríos, en la zona del piedemonte infiltran parte de las aguas hacia el sistema de aguas subterráneas.

Para la determinación del balance hídrico se utilizó una metodología consistente en discretizar los cauces en diferentes tramos y resolver la ecuación de balance hídrico, considerando las pérdidas por infiltración. Las pérdidas por infiltración pueden modelarse mediante la aplicación de la Ley de Darcy al caso de un cauce que recarga un acuífero (Anderson y Woessner, 1991) bajo el supuesto de que las pérdidas por infiltración a través del lecho del cauce son dependientes de la permeabilidad de éste y de la carga hidráulica sobre el lecho, la cual a su vez puede aproximarse o considerarse equivalente a la pendiente del cauce.

Aplicando estas metodologías se puede plantear la siguiente ecuación de balance hídrico:

$$Q_{entrada} - P_{inf} = Q_{salida}$$

Donde:

$Q_{entrada}$: caudal que ingresa al tramo de río.
 P_{inf} : pérdidas por infiltración en el tramo
 Q_{salida} : caudal que sale del tramo.

Ley de Darcy:

El flujo de agua a través de medios porosos está gobernado por una ley descubierta experimentalmente por Darcy en 1856, quien investigó las características del flujo de agua a través de filtros de material térreo. Utilizando determinados dispositivos de diseño, Darcy encontró que para velocidades suficientemente pequeñas el caudal infiltrado es:

$$P_{inf} = Q = \frac{\partial V}{\partial t} = K \cdot i \cdot A$$

Donde:

- Q: caudal (cm³/seg)
∂V: variación del volumen en un diferencial de tiempo
∂t: diferencial de tiempo
K: coeficiente de permeabilidad (cm/seg)
i: gradiente hidráulico
A: Sección transversal del filtro (cm²)

Si se considera la ecuación de continuidad

$$Q = v \cdot A$$

Donde:

- v: velocidad (cm/seg)

Es posible relacionarlos de forma tal que

$$v = K \cdot i$$

Expresión conocida como Ley de Darcy

Determinación del coeficiente de permeabilidad:

Para la determinación con coeficiente de permeabilidad existen diferentes métodos, los ensayos de laboratorio, los efectuados en el lugar y los métodos empíricos, donde el valor de K es obtenido indirectamente a través de relaciones empíricas con otras propiedades de los suelos.

En el presente estudio el valor de K se obtuvo aplicando métodos empíricos:

En una masa de suelo, los canales a través de los cuales circula el agua tienen una sección transversal muy variable e irregular. Por ello, la velocidad real de circulación es extremadamente variable. Sin embargo, la velocidad media obedece a las mismas leyes que determinan el escurrimiento del agua en los tubos capilares rectos de sección constante. Si la sección transversal del tubo es circular, la velocidad aumenta, de acuerdo con la Ley de Poiseuille, con el cuadrado del diámetro del tubo. Como el diámetro medio de los vacíos de un suelo, con una porosidad dada,

aumentan prácticamente en relación directa con el tamaño D de las partículas, es posible expresar K en función de D, tomando como base la Ley de Poiseuille:

$$K = C \cdot D^2$$

A continuación se presentan algunas fórmulas empíricas para determinar C:

- Fórmula de Allen-Hazen

Para el caso de arenas sueltas muy uniformes para filtros (coeficiente de uniformidad < 2), Allen-Hazen obtuvo la siguiente ecuación empírica para calcular el coeficiente de permeabilidad:

$$K = C \cdot D_{10}^2 \text{ (cm/seg)}$$

Donde:

$$100 < C < 150$$

D_{10} : tamaño efectivo en cm.

Corrección por temperatura:

$$K = C (0.7 + 0.03 \cdot t) D_{10}^2 ; \text{ (cm/seg)}$$

- Fórmula de Schlichter

Introduce a la fórmula de Allen Hazen una corrección por compacidad, en función de la porosidad η (Tabla).

$$K = 771 \cdot \frac{D_{10}^2}{C} (0.7 + 0.03 \cdot t) ; \text{ (cm/seg)}$$

η	0.26	0.38	0.46
C	83.4	24.1	12.8

- Fórmula de Terzagui

Terzaghi en su fórmula para el cálculo del coeficiente de permeabilidad introduce una constante que tiene en cuenta la porosidad y el tipo de suelo, como se muestra en la siguiente ecuación.

$$K = C_1 \cdot D_{10}^2 (0.7 + 0.03 \cdot t) ; \text{ (cm/seg)}$$

Donde:

$$C_1 = C_0 \left(\frac{n-0.13}{\sqrt[3]{1-n}} \right)^2$$

n: porosidad

C_0 : coeficiente que depende del suelo

Suelo	C ₀
Arena grano redondeado	800
Arena grano anguloso	460
Arena con limos	<400

En este estudio se utilizó la fórmula de Terzaghi para el cálculo del coeficiente de permeabilidad.

7.2 Programa de Cálculo: HEC - HMS

Generalidades

HEC HMS (Hydrologic Engineering Center's Hydrologic Modeling System) es un programa de simulación hidrológica tipo evento, lineal y semidistribuido, desarrollado para estimar las hidrógrafas de salida en una cuenca o varias subcuencas (caudales máximos y tiempos al pico) a partir de condiciones extremas de lluvias, aplicando para ello algunos de los métodos de cálculo de hietogramas de diseño, pérdidas por infiltración, flujo base y conversión en escorrentía directa que han alcanzado cierta popularidad en los Estados Unidos y por extensión en nuestro país.

HEC-HMS está diseñado para simular el proceso de precipitación - escurrimiento en cuencas. Está diseñado para 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. La versión es amigable para el usuario porque permite visualizar los resultados de las simulaciones en forma gráfica, tabulada y más expeditiva para el usuario.

Funcionamiento del modelo

El programa incluye una interfaz gráfica para el usuario (GUI) que le permite introducir la información necesaria para una simulación, manejar los componentes de análisis hidrológico a través de módulos integrados, y obtener respuestas gráficas o tabuladas de fácil comprensión e impresión. El documento de ayuda incorporado en el programa aclara la utilización de las opciones del programa.

Los archivos de extensión DSS (Data Storage System) se utilizan para almacenar y trabajar con series de tiempo, funciones emparejadas y datos de grilla en una forma muy transparente para el usuario.

Para definir la estructura de las cuencas, el programa considera los siguientes elementos:

1. Subcuencas (subbasins)
2. Tramos de tránsito (routing reach)
3. Uniones (junctions)
4. Embalses (reservoirs)
5. Fuentes (sources)
6. Sumideros (sinks)
7. Derivaciones (diversions)

Con estos siete componentes, el usuario puede elaborar una cuenca tan compleja como requiera el problema que está tratando y como permita la información de campo disponible. Si se cuenta con información digital de campo, el HMS incluye la opción de trabajar la cuenca con subdivisiones en grillas o celdas, cada una de las cuales almacena información pertinente respecto a la precipitación, área, pendientes y condición de humedad del suelo.

Los elementos anteriores se disponen en forma de redes dendríticas con un orden o secuencia lógica para realizar los cálculos desde las subcuencas que conforman las cabeceras aguas arriba hasta el punto de salida de todo el caudal aguas abajo. El usuario debe prestar atención a este criterio, ya que los cálculos siguen rigurosamente esta secuencia (por ejemplo si tienen en cuenta una derivación no pueden entregar las aguas derivadas en un punto aguas arriba, aunque técnicamente esto sea factible). Por tal motivo, el primer paso en la preparación de la información consiste en definir correctamente la estructura de la cuenca que se pretende simular.

Módulos del modelo

El programa trabaja con tres módulos básicos que definen en su conjunto el proyecto de simulación de la cuenca:

1. **Módulo de precipitación:** permite seleccionar uno de seis patrones de precipitación (tipos de hietogramas) del evento de tormenta que más se ajuste a las posibles condiciones de la cuenca, incluyendo la introducción manual de los datos de la lluvia de diseño.
2. **Módulo de la cuenca:** permite la representación del sistema físico con los elementos antes citados, y la inclusión de las características morfométricas y de condición del suelo para cada uno de ellos.
3. **Módulo de control:** incluye las fechas de inicio y culminación de los datos de lluvia y caudal para la simulación (u optimización) y los intervalos de tiempo para realizar los cálculos.

Estos tres módulos deben definirse completamente antes de iniciar la corrida de la simulación.

7.3 Parámetros Morfométricos

7.3.1 Delimitación de Subcuencas

Las áreas tributarias que conforman las cuencas de estudio, se definieron a partir de la información topográfica satelital provista por el módulo SRTM (Shuttle Radar Topography Mission de la NASA) y se complementó el análisis mediante la visualización de la zona de estudio con imágenes satelitales de alta resolución.

En la Figura 72 se presentan las cuencas del Río Carnero (la cual incluye a las cuencas de La Granja y Agua de Oro) con sus respectivos cauces principales.

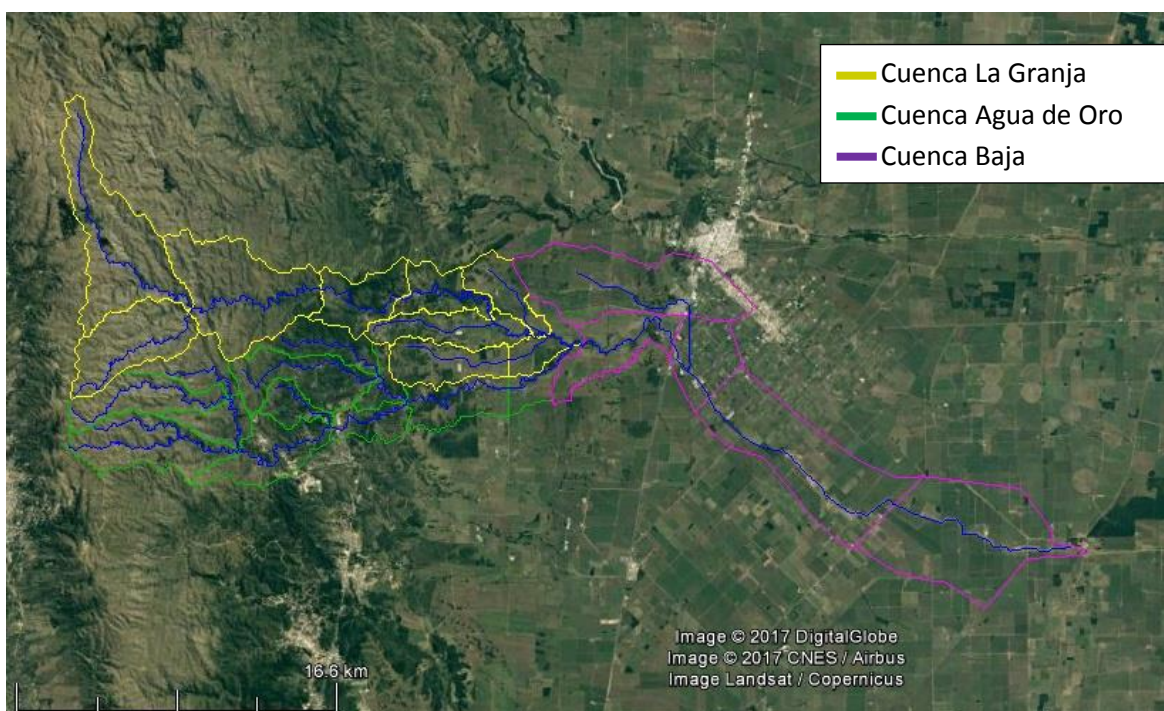


Figura 72. Cuenca del Río Carnero y cauces principales.

7.3.2 Tipo de Suelo

En este apartado se presentan las características fisiográficas y taxonómicas de los suelos en la zona de estudio. Esta información de suelos se extrajo del estudio “Recursos Naturales de la Provincia de Córdoba – LOS SUELOS” desarrollado conjuntamente por la Agencia Córdoba Ambiente y el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) en el año 2006.

Características fisiográficas

La provincia de Córdoba se divide básicamente en 22 ambientes que definen aspectos geomorfológicos, estructurales y de vegetación bien marcados. En la Figura 73 se muestra el mapa con la distribución de estos ambientes.

La caracterización de la vegetación en la zona en estudio se extrajo de Lutti (1979) y las regiones climáticas fueron identificadas según se presenta en Capitanelli (1979).

La zona de estudio corresponde a las regiones R, G y F.

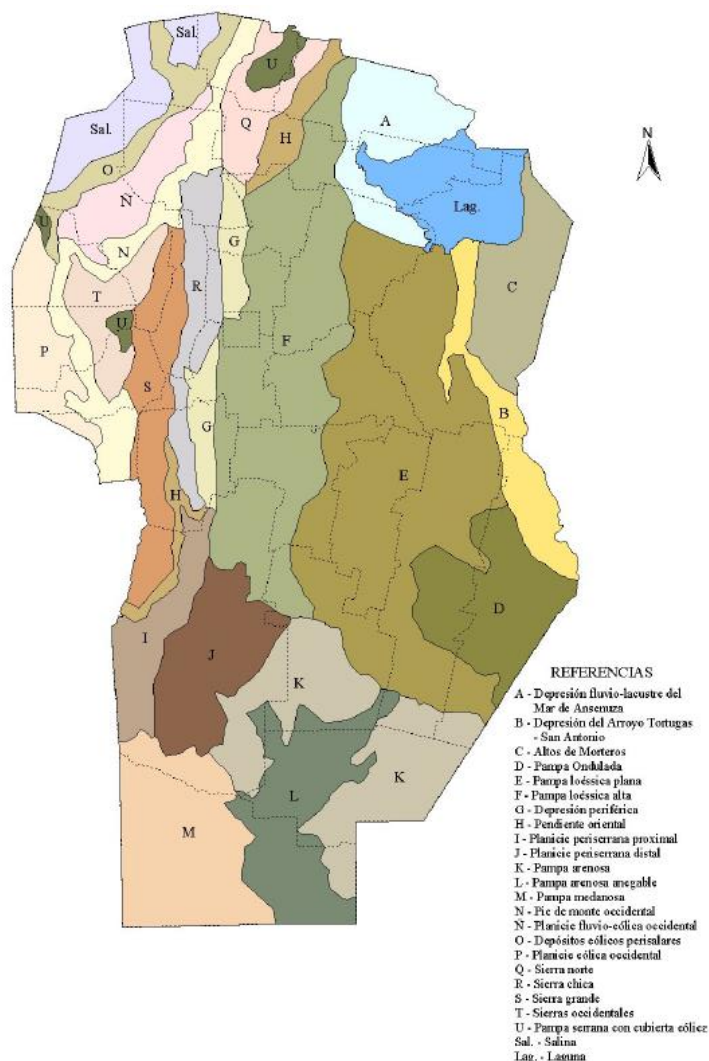


Figura 73. Ambientes geomorfológicos (INTA, 2006).

Los Suelos. Taxonomía

Clasificar taxonómicamente los suelos, lleva implícita una comprensión de su génesis y de los factores ambientales que controlaron su evolución. La clasificación señala en forma explícita los caracteres más destacados de la morfología de los suelos, y proporciona un esquema idóneo para predecir y evaluar el tipo e intensidad de las limitaciones que determinan su capacidad productiva.

La mayoría de las unidades cartográficas que proporciona el relevamiento de los suelos a nivel de reconocimiento son mezclas geográficas (asociaciones y complejos) de subgrupos y familias del Sistema Americano Soil Taxonomy (USDA, 1999) y, con frecuencia, presentan características contrastantes entre sí, lo que dificulta y limita la predicción de la performance para esas áreas geográficas. Sin embargo, el relevamiento define todos los componentes taxonómicos de cada

unidad cartográficas (aun los que deberían ser considerados inclusiones) con una estimación porcentual del grado de participación de cada uno dentro del conjunto de la unidad.

En la taxonomía americana las categorías son: ordenes, subórdenes, grandes grupos, subgrupos, familias y series. La clasificación se basa en propiedades que pueden ser observadas en el campo, o bien inferidas a partir de estas observaciones, o a partir de datos físicos y químicos obtenidos por análisis de laboratorio. Las categorías son:

Orden: Se reconocen 12 Órdenes; las diferencias entre los mismos reflejan los procesos dominantes de formación y la intensidad con que los mismos actuaron. Cada Orden se identifica con una sílaba. Por ejemplo si termina en *ol* es *Molisol*.

Suborden: Cada uno de los Órdenes se divide en Subórdenes principales sobre la base de propiedades que influyen la génesis y son importantes para el crecimiento de las plantas o de propiedades que reflejan las variables más importantes dentro de los Órdenes. La última sílaba en el nombre de un suborden indica el Orden y la primera señala la propiedad diferenciadora del Suborden. Por ejemplo *Udol*, en el *Ud* significa húmedo y *ol* proviene de *Molisol*.

Gran Grupo: Cada Suborden se divide en Grandes Grupos sobre la base de similitudes en el tipo, disposición y grado de desarrollo de los horizontes genéticos; de los regímenes de temperatura y humedad y del nivel de saturación con bases. Cada Gran Grupo se identifica con el nombre de un Suborden al que se le agrega un prefijo que indica la propiedad diferenciadora del suelo. Por ejemplo: *Argiudol*; en el cuál *Argi* significa desarrollo diferencial de horizontes y *udol* es el nombre del Suborden de los *Molisoles* de climas húmedos.

Subgrupo: Cada Gran Grupo tiene un subgrupo típico más otro que representan integrados o extragrados. El Subgrupo típico corresponde el concepto central del Gran Grupo y no es necesariamente el más difundido. Los integrados señalan transiciones hacia otros órdenes, subórdenes o grandes grupos; los extragrados presentan alguna propiedad que no corresponde al Gran Grupo pero tampoco indica transiciones hacia ningún otro tipo conocido de suelo. Cada subgrupo se identifica por uno o más adjetivos que califican el nombre del gran grupo. El adjetivo típico identifica al subgrupo que tipifican al gran grupo. Por ejemplo: *Argiudol típico*.

Familia: Se establecen dentro de los subgrupos sobre la base de características o propiedades fisicoquímicas que afectan el manejo. En general son propiedades de horizontes que aparecen por debajo de la profundidad de arada, donde hay intensa actividad biológica. Entre las características y propiedades tenidas en cuenta están las clases por tamaño de partícula, la composición mineral, el régimen de temperatura, la profundidad de la zona de enraizamiento, la consistencia, la humedad equivalente, la pendiente y el agrietamiento. El nombre de la Familia se forme con el nombre del subgrupo al cual pertenece seguido de los términos que indican las propiedades. Por ejemplo: *Argiudol típico, franco fina, mixta, termina*.

Serie: Las Series, como concepto taxonómico, consisten en suelos que tienen perfiles similares en cuanto a la sucesión de horizontes, los cuales son semejantes en color, estructura, reacción,

consistencia y composición mineral y química. La textura de la capa superficial o del sustrato puede diferir dentro de las series. Los nombres que se asignan a las series son nombres locales que identifican el lugar donde los suelos están más difundidos o fueron estudiados por primera vez.

A continuación se describen los suelos que se encuentran en la zona de estudio, señalando sus rasgos y caracteres distintivos. Estas descripciones sintéticas son, por naturaleza, de carácter general dada la relativa heterogeneidad en los suelos que pueden pertenecer a un mismo subgrupo.

Del libro “Los Suelos – Recursos Naturales de la Provincia de Córdoba” del INTA y la Agencia Córdoba Ambiente del año 2006, se extrajo los tipos y características del suelo en la zona de estudio y teniendo en cuenta la **clasificación de tipo de suelo del método del SCS – CN**, se concluye que los suelos en la zona de estudio son predominantemente **suelos del Grupo B con algunas zonas que corresponden al Grupo C**.

Determinación de Cobertura Vegetal:

Para el *uso del suelo* se realizó un análisis de imágenes satelitales del terreno. Se observa que en general en la zona de estudio, existen 4 zonas bien diferenciadas:

- 1. Zonas donde predomina la cobertura rocosa del suelo y pastizales pobres,**
- 2. Zonas donde se observan coberturas boscosas y de pastizales tupidos,**
- 3. Zonas urbanizadas,**
- 4. Zonas rurales.**

7.4 Parámetros Hidrológicos

A continuación se presentan los parámetros hidrológicos de las cuencas en estudio.

Para cada una de las subcuencas se determinó:

- Principales parámetros: Área, longitud del cauce principal, desnivel del cauce principal (ΔH) y pendiente del cauce principal,
- Parámetros hidrológicos: Tiempos de concentración, parámetros de los tránsitos, CN del SCS,

Por otro lado se obtuvo para cada una de las cuencas la duración crítica de la lluvia.

En la Figura 74 se presentan el punto de cierre de la cuenca del Río Carnero con sus cauces principales en una imagen satelital de la zona. En dicha figura se presenta la división en subcuencas con sus respectivas nomenclaturas.

Tabla 8. Parámetros principales de cada una de las subcuencas de La Granja.

		Cauce principal		
Subcuenca	Área [km ²]	L [m]	ΔH [m]	S [m/m]
LG_A	31.3	16800	435	0.0259
LG_B	18.0	10590	455	0.0430
LG_C	30.2	15279	370	0.0242
LG_D	11.5	5103	110	0.0216
LG_E	9.1	8680	60	0.0069
LG_F	12.4	12033	165	0.0137
LG_G	8.6	4488	45	0.0100
LG_H	11.8	5967	105	0.0176
LG_I	7.4	2567	30	0.0117

Tabla 9. Parámetros principales de cada una de las subcuencas de Agua de Oro.

Subcuenca	Área [km ²]	Cauce principal		
		L [m]	ΔH [m]	S [m/m]
AO_A	12.8	13141	545	0.0415
AO_B	20.0	13336	540	0.0405
AO_C	8.4	5937	280	0.0472
AO_D	6.3	4812	210	0.0436
AO_E	5.1	4378	225	0.0514
AO_F	11.6	7038	125	0.0178
AO_G	6.4	5999	100	0.0167
AO_H	9.6	7555	245	0.0324
AO_I	15.3	10593	320	0.0302
AO_J	4.1	3932	90	0.0229
AO_K	11.2	7320	40	0.0055
AO_L	5.1	5582	35	0.0063

Tabla 10. Parámetros principales de cada una de las subcuencas de Cuenca Baja.

Subcuenca	Área [km ²]	Cauce principal		
		L [m]	ΔH [m]	S [m/m]
Baja_A	15.0	8109	40	0.0049
Baja_B	34.6	7579	45	0.0059
Baja_C	12.2	2827	20	0.0071
Baja_D	39.4	12030	85	0.0071
Baja_E	43.8	9930	65	0.0065

Dónde:

A: área de las subcuencas.

L: longitud del cauce principal de las subcuencas.

ΔH : desnivel máximo del cauce principal de las subcuencas.

S: pendiente del cauce principal de las subcuencas.

En la Figura 75 se presenta el esquema de la cuenca en el modelo numérico realizado en el programa HEC-HMS. En la Tabla 11, Tabla 12 y Tabla 13 se presentan los valores del tiempo de concentración arrojados por las diferentes fórmulas presentadas anteriormente para cada una de las subcuencas y en la Tabla 14, Tabla 15 y Tabla 16 los parámetros X y K del método de Muskingum de los diferentes tránsitos. En la Tabla 17 los valores del coeficiente de permeabilidad

[illegible]

Tabla 11. Tiempos de concentración de cada una de las subcuencas de la Cuenca La Granja aplicando diferentes formulaciones empíricas.

OMIXOM – Ingeniería Electrónica –

Tabla 12. Tiempos de concentración de cada una de las subcuencas de la Cuenca Agua de Oro aplicando diferentes formulaciones empíricas.

Subcuenca	t_c [min]							
	SCS	Kirpich	Kerby - Kirpich	Ventura-Heras	Passini	Giandotti	California Culverts Practice	PROMEDIO
AO_A	21	101	126	26	21	15	233	78
AO_B	21	103	117	33	25	19	237	79
AO_C	12	52	121	18	13	12	125	51
AO_D	10	46	108	17	12	11	108	44
AO_E	10	40	68	13	10	10	97	35
AO_F	9	87	129	58	25	15	171	70
AO_G	8	78	102	46	20	11	153	60
AO_H	13	73	89	29	18	13	161	56
AO_I	16	97	124	39	24	17	210	75
AO_J	7	50	68	27	13	9	104	40
AO_K	6	141	175	184	46	16	220	112
AO_L	5	108	173	108	30	11	174	87

Tabla 13. Tiempos de concentración de cada una de las subcuencas de la Cuenca Baja aplicando diferentes formulaciones empíricas.

Subcuenca	t_c [min]							
	SCS	Kirpich	Kerby - Kirpich	Ventura-Heras	Passini	Giandotti	California Culverts Practice	PROMEDIO
Baja_A	154	158	268	236	55	18	242	162
Baja_B	136	140	239	297	65	26	222	161
Baja_C	60	61	180	148	30	15	102	85
Baja_D	182	187	336	267	72	28	305	197
Baja_E	162	166	309	303	73	29	268	187

Tabla 14. Parámetros del modelo de tránsito de Muskingum de cada uno de los tramos de la Cuenca La Granja.

Tramos	X	K [hs]
LG_T1	0.3	0.45
LG_T2	0.3	0.27
LG_T3	0.3	0.71
LG_T4	0.3	0.31
LG_T5	0.3	0.21
LG_T6	0.3	0.22

Tabla 15. Parámetros del modelo de tránsito de Muskingum de cada uno de los tramos de la Cuenca Agua de Oro.

Tramos	X	K [hs]
AO_T1	0.3	0.22
AO_T2	0.3	0.38
AO_T3	0.3	0.30
AO_T4	0.3	0.21
AO_T5	0.3	0.57
AO_T6	0.3	0.42

Tabla 16. Parámetros del modelo de tránsito de Muskingum de cada uno de los tramos de la Cuenca Baja.

Tramos	X	K [hs]
Carn._T1	0.3	0.66
Carn._T2	0.3	0.09
Carn._T3	0.3	0.33
Carn._T4	0.3	0.09
Carn._T5	0.3	0.73
Carn._T6	0.3	0.63

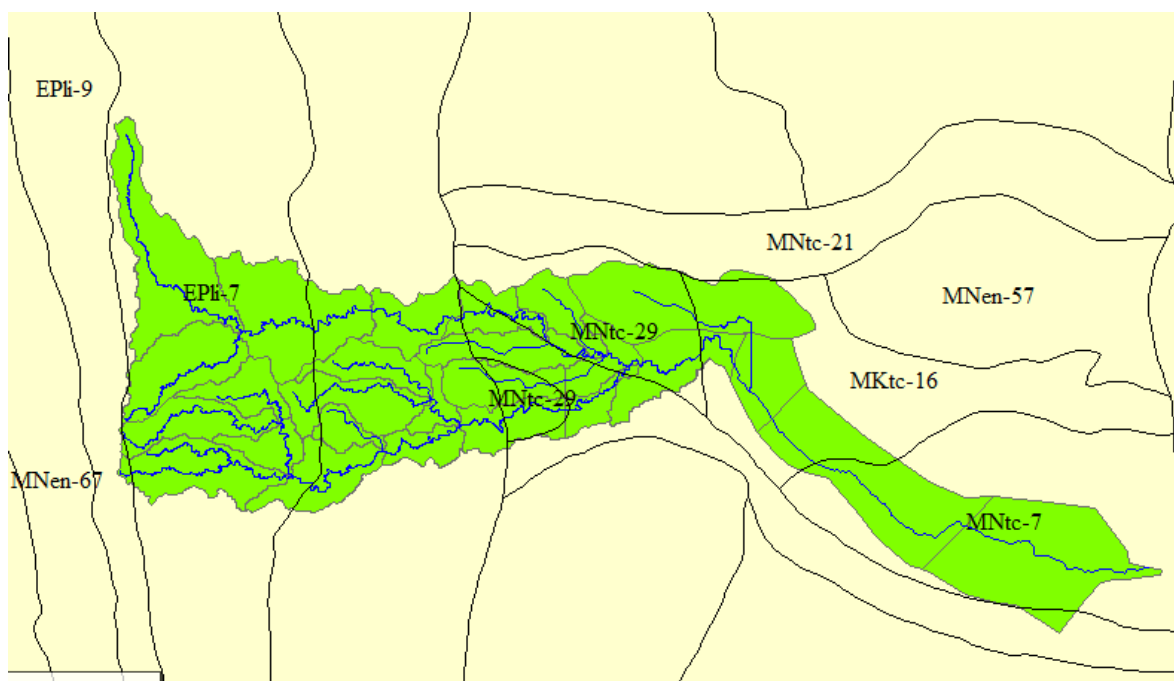
Tabla 17. Coeficiente de permeabilidad.

k (cm/s)		
Allen Hazen	Schlichter	Terzaghi
11.25	5.4	11.5

Tabla 18. Capacidad de infiltración [m^3/s] de los tramos del río en el piedemonte.

Tramos	Capacidad de infiltración [m^3/s]		
	Allen Hazen	Schlichter	Terzaghi
Carn._T1	75	36	77
Carn._T2	26	12	26
Carn._T3	6	3	7
Carn._T4	27	13	28
Carn._T5	167	81	171
Carn._T6	138	66	141

Para definir los valores de curva número (CN) de las subcuencas se necesitan datos de uso y tipo de suelo. Para determinar el *tipo de suelo*, se extrajo el SIG de la carta de suelos de la base de datos “Suelos de la República Argentina - Escala 1-500.000” del INTA (Figura 76).

**Figura 76.** Tipo de suelo en el área de estudio, Cuenca Río Carnero.

Al analizar la última figura se observa que en la cuenca existen seis tipos de suelos:

- ✓ EPl-7: a) suelo excesivamente drenado 50%, somero (<50 cm), areno franco, pobremente provisto de materia orgánica, muy inclinado; b) suelo excesivamente drenado 30%, somero (<50 cm), franco arenoso, pobremente provisto de materia orgánica, muy inclinado; c) suelo excesivamente drenado 10%, profundo (>100 cm), franco arcilloso limoso, bien provisto de materia orgánica, muy moderadamente inclinado.

Este es un suelo de tipo B - C según la clasificación de SCS-CN

- ✓ EPLi-17: a) suelo excesivamente drenado 40%, somero (<50 cm), areno franco, moderadamente pobre en materia orgánica, muy inclinado; b) suelo excesivamente drenado 30%, muy somero (<25 cm), areno franco, pobremente provisto de materia orgánica, muy inclinado; c) suelo algo excesivamente drenado 10%, profundo (>100 cm), franco, bien provisto de materia orgánica, moderadamente inclinado; d) suelo rocoso 20%.

Este es un suelo de tipo B según la clasificación de SCS-CN

- ✓ MNtc-29: a) suelo algo excesivamente drenado 50%, profundo (>100 cm), franco, moderadamente provisto de materia orgánica, moderadamente inclinado; b) suelo algo excesivamente drenado 30%; profundo (>100 cm), franco, moderadamente bien provisto de materia orgánica, fuertemente ondulado; c) suelo algo excesivamente drenado 20%, muy somero (<25 cm), familia franco arenosa, pobremente provisto de materia orgánica, fuertemente ondulado.

Este es un suelo de tipo B según la clasificación de SCS-CN

- ✓ MNen-57: a) suelo bueno a algo excesivamente drenado 50%, profundo (>100 cm), familia franco limoso, moderadamente provisto de materia orgánica; b) suelo bien drenado 50%; profundo (>100 cm), familia franco limoso, moderadamente bien provisto de materia orgánica.

Este es un suelo de tipo B según la clasificación de SCS-CN

- ✓ MKtc-16: .a) suelos de derrames suavemente deprimidos 40%, bien drenado, profundo (>100 cm), franco arcillo limoso en superficie, francoarcillo limoso en el subsuelo moderadamente bien provisto de materia orgánica, moderada capacidad de intercambio. b) suelos de derrames suavemente deprimidos 40%, algo excesivamente drenado, profundo (>100 cm), arenoso franco en superficie, franco arenoso en el subsuelo, moderadamente bien provisto de materia orgánica. c) suelos de sectores suavemente ondulado 20%, bueno a algo excesivamente drenado, profundo (>100 cm) franco en superficie, franco en el subsuelo, moderadamente bien provisto de materia orgánica, moderada capacidad de intercambio, ligeramente inclinado (1-0.5%).

Este es un suelo de tipo B según la clasificación de SCS-CN

- ✓ MNtc-7: a) suelos de pendiente y concavidades 60%, bien drenado, profundo (>100 cm), franco en superficie, franco en el subsuelo, moderadamente bien provisto de materia orgánica, moderada capacidad de intercambio, ligeramente inclinado (1-0.5%). b) suelos de lomas y medias lomas 40%. Algo excesivamente drenado, profundo (>100 cm), franco arenoso en superficie, franco arenoso en el subsuelo, moderadamente bien provisto de materia orgánica, moderada capacidad de intercambio, ligeramente inclinado (1-0.5%), ligera erosión eólica, moderada susceptibilidad a la erosión eólica.

Este es un suelo de tipo B según la clasificación de SCS-CN

Para el *uso del suelo* se realizó un análisis de imágenes satelitales del terreno. Se observa que en general en la zona de estudio, en la zona oeste coexisten zonas montañosas con pastizales y roca desnuda; mientras que en el centro y el este la vegetación está formada principalmente por zonas cultivables. En la Figura 77 se observan superpuestas las subcuencas en una imagen satelital del terreno.

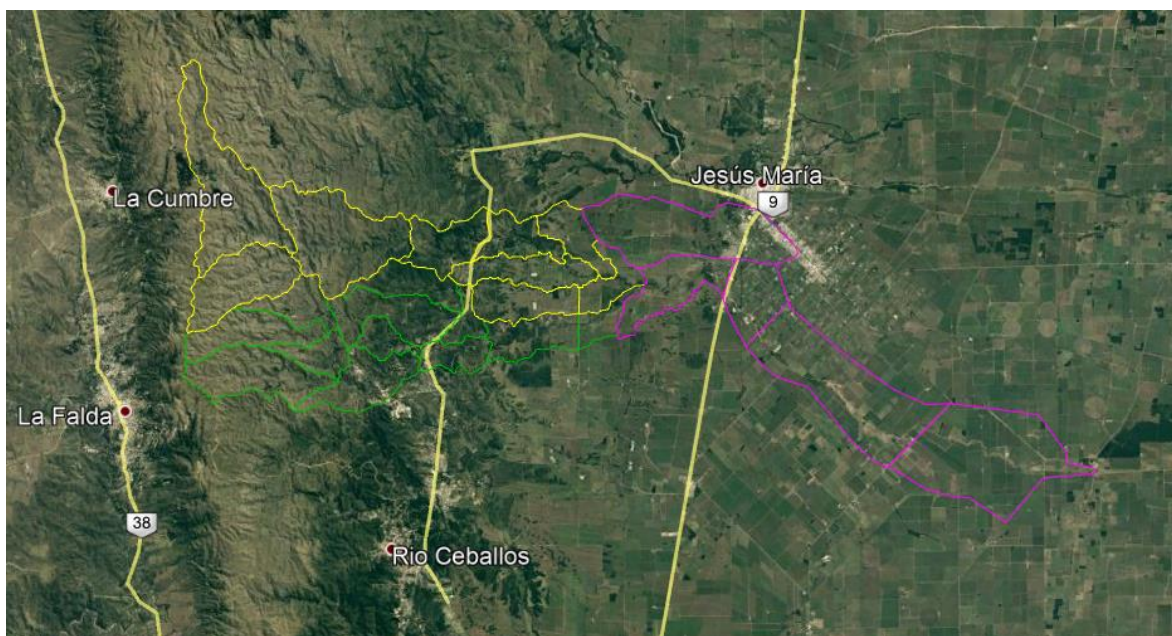


Figura 77. Uso de suelo en el área de estudio, Cuenca Río Carnero.

En la Tabla 19, Tabla 20 y Tabla 21 se presentan los valores de CN de cada una de las subcuencas estimados a partir de una ponderación areal de los valores de CN propuestos por el SCS (Tabla 7) considerando la pendiente, el uso y tipo de suelo y considerando una humedad antecedente tipo II.

Tabla 19. Parámetros del modelo de pérdidas del SCS – CN de la Cuenca de La Granja.

Subcuenca	CN	Ia [mm]
LG_A	79	14
LG_B	79	14
LG_C	79	14
LG_D	70	22
LG_E	67	25
LG_F	65	27
LG_G	65	27
LG_H	70	22
LG_I	65	27

Tabla 20. Parámetros CN del modelo de pérdidas del SCS – de la Cuenca de Agua de Oro.

Subcuenca	CN	la [mm]
AO_A	79	14
AO_B	79	14
AO_C	79	14
AO_D	79	14
AO_E	69	23
AO_F	69	23
AO_G	65	27
AO_H	69	23
AO_I	69	23
AO_J	65	27
AO_K	60	34
AO_L	60	34

Tabla 21. Parámetros CN del modelo de pérdidas del SCS – de la Cuenca Baja.

Subcuenca	CN	la [mm]
Baja_A	79	14
Baja_B	79	14
Baja_C	65	27
Baja_D	65	27
Baja_E	65	27

Duración Crítica: En la Figura 78 y Figura 79 se grafican los caudales picos obtenidos en el punto de cierre de la cuenca del Río Carnero y en el punto de confluencia de los cauces La Granja y Agua de Oro para diferentes duraciones de lluvia. Se puede observar que en ambos puntos a partir de una duración de tormenta de 360 minutos (6 horas) los caudales no muestran incrementos significativos con el aumento de la duración de la lluvia. Por lo que la tormenta de duración igual a 6 horas se considera como la duración crítica sobre la cuenca. Entonces, para determinar la lluvia de diseño se adoptó una duración de 360 min.

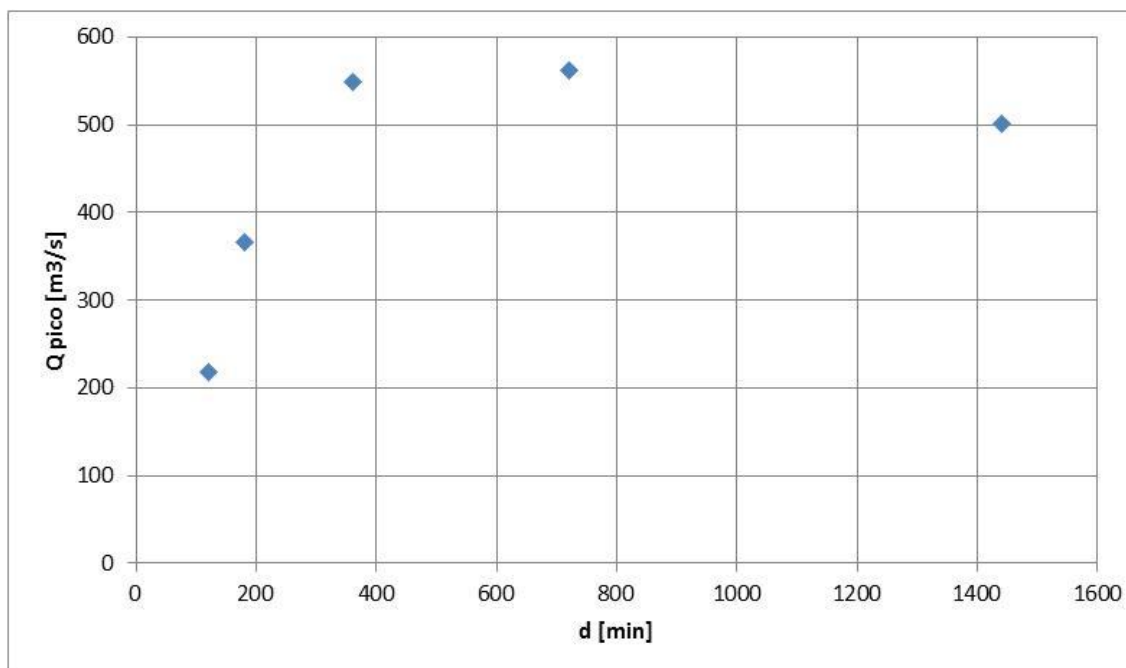


Figura 78. Caudales pico obtenidos para diferentes duraciones de lluvia en el punto de cierre de la cuenca analizada (C_Pto01).

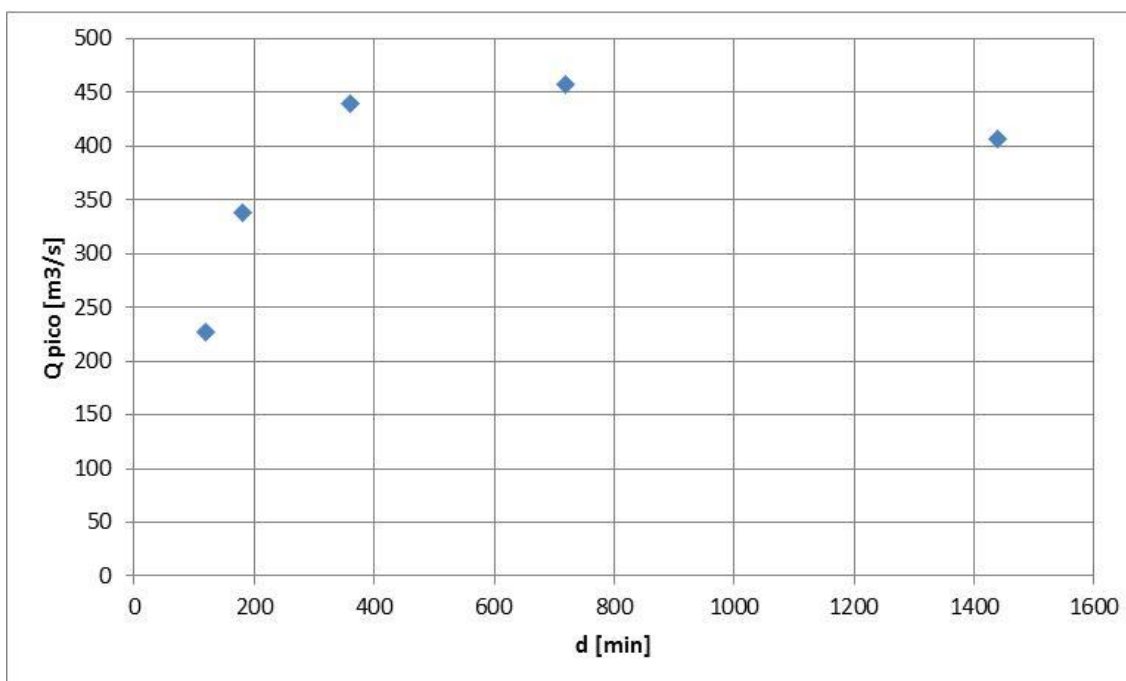


Figura 79. Caudales pico obtenidos para diferentes duraciones de lluvia en el punto de confluencia de los cauces La Granja y Agua de Oro (Conf.AO_LG).

7.4.2 Cuenca del Río Guanusacate

En la Figura 81 se presentan el punto de cierre de la cuenca del Río Guanusacate con sus cauces principales en una imagen satelital de la zona. En dicha figura se presenta la división en subcuencas con sus respectivas nomenclaturas.

En la Tabla 22, Tabla 23, Tabla 24 y Tabla 25 se presentan los principales parámetros de cada una de las subcuencas.

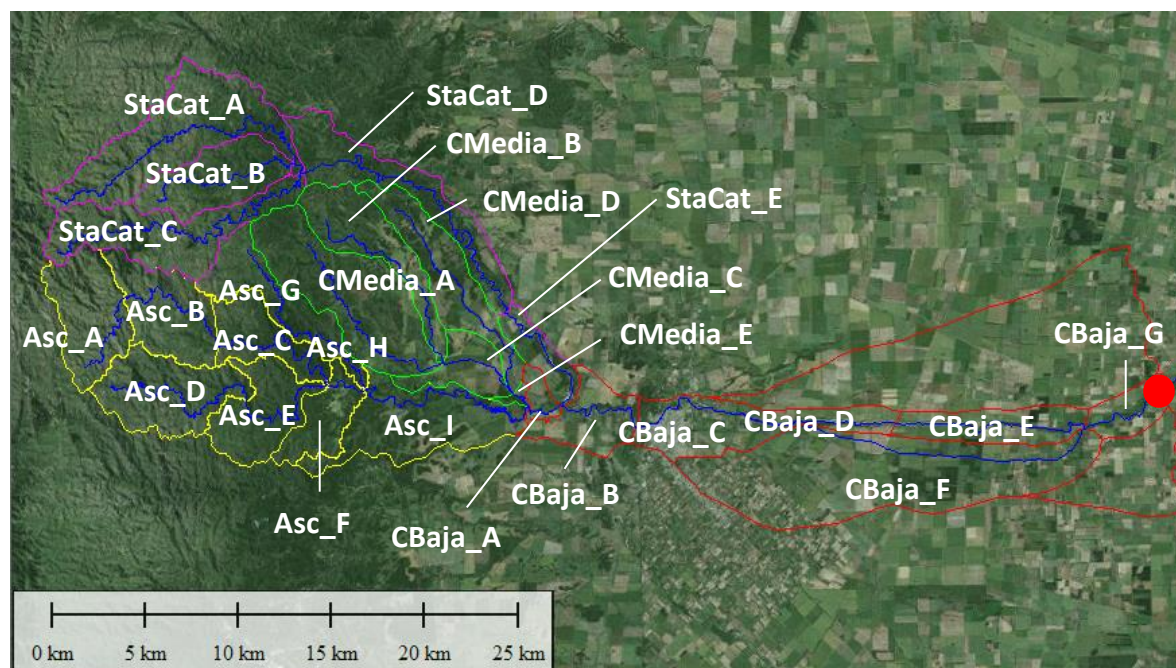


Figura 80. Cuenca y subcuencas del Río Guanusacate.

Tabla 22. Parámetros principales de cada una de las subcuencas del Río Ascochinga.

Subcuenca	Área [km ²]	Cauce principal		
		L [m]	ΔH [m]	S [m/m]
Asc_A	23.2	6650	217	0.0326
Asc_B	22.6	8600	245	0.0285
Asc_C	15.9	11600	290	0.0250
Asc_D	26.5	14400	560	0.0389
Asc_E	20.5	7800	191	0.0245
Asc_F	12.7	7000	180	0.0257
Asc_G	18.7	11400	328	0.0288
Asc_H	1.5	2800	50	0.0179
Asc_I	32.5	19500	212	0.0109

Tabla 23. Parámetros principales de cada una de las subcuencas del Río Santa Catalina.

Subcuenca	Área [km ²]	Cauce principal		
		L [m]	ΔH [m]	S [m/m]
StaCat_A	42.0	21062	890	0.0423
StaCat_B	21.6	11140	460	0.0413
StaCat_C	32.0	25522	880	0.0345
StaCat_D	28.4	20400	200	0.0098
StaCat_E	9.2	7700	60	0.0078

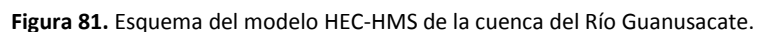
Tabla 24. Parámetros principales de cada una de las subcuencas de Cuenca Media.

Subcuenca	Área [km ²]	Cauce principal		
		L [m]	ΔH [m]	S [m/m]
CMedia_A	42.0	13480	200	0.0148
CMedia_B	21.9	13000	240	0.0185
CMedia_C	11.4	6300	30	0.0048
CMedia_D	24.0	13536	200	0.0148
CMedia_E	1.2	1050	10	0.0095

Tabla 25. Parámetros principales de cada una de las subcuencas de Cuenca Baja.

Subcuenca	Área [km ²]	Cauce principal		
		L [m]	ΔH [m]	S [m/m]
CBaja_A	3.8	3010	11	0.0037
CBaja_B	15.2	6000	40	0.0067
CBaja_C	6.3	3600	17	0.0047
CBaja_D	21.8	12000	100	0.0083
CBaja_E	17.4	12000	90	0.0075
CBaja_F	78.9	16300	130	0.0080
CBaja_G	8.7	5000	22	0.0044

En la Figura 81 se presenta el esquema de la cuenca en el modelo numérico realizado en el programa HEC-HMS. En la Tabla 26, Tabla 27, Tabla 28 y Tabla 29 se presentan los valores del tiempo de concentración arrojados por las diferentes fórmulas presentadas anteriormente para cada una de las subcuencas y en la Tabla 30, Tabla 31, Tabla 32 y Tabla 33 los parámetros X y K del método de Muskingum de los diferentes tránsitos. En la Tabla 34 los valores del coeficiente de permeabilidad calculado con las fórmulas de Allen-Hazen, de Schlichter y de Terzaghi y en la Tabla 35 la capacidad de infiltración de los tramos del río en el piedemonte de la cuenca.



formulaciones empíricas.

Subcuenca	SCS	Kirpich	Kerby - Kirpich	Ventura-Heras	Passini	Giandotti	California Culverts Practice	PROMEDIO
Asc_A	11	66	118	44	23	20	146	61
Asc_B	13	84	149	50	27	20	182	75
Asc_C	16	112	173	48	28	17	234	90
Asc_D	22	111	153	40	29	22	253	90
Asc_E	12	83	143	55	27	19	174	73
Asc_F	11	75	117	42	22	15	158	63
Asc_G	17	104	158	45	27	18	225	85
Asc_H	5	42	79	21	9	6	85	35
Asc_I	17	229	275	157	64	25	406	168

Tabla 27. Tiempos de concentración de cada una de las subcuencas de la Cuenca Santa Catalina aplicando diferentes formulaciones empíricas.

Subcuenca	t_c [min]							
	SCS	Kirpich	Kerby - Kirpich	Ventura-Heras	Passini	Giandotti	California Culverts Practice	PROMEDIO
SCatA	31	144	177	46	36	27	333	113
SCatB	19	89	118	34	24	20	206	73
SCatC	33	181	214	49	39	24	400	134
SCatD	17	247	339	163	66	24	429	184
SCatE	7	127	166	117	37	14	214	97

Tabla 28. Tiempos de concentración de cada una de las subcuencas de la Cuenca Media aplicando diferentes formulaciones empíricas.

Subcuenca	t_c [min]							
	SCS	Kirpich	Kerby - Kirpich	Ventura-Heras	Passini	Giandotti	California Culverts Practice	PROMEDIO
CMediaA	15	153	223	131	53	28	289	127
CMediaB	15	137	194	76	38	20	270	107
CMediaC	5	132	232	211	47	16	201	121
CMediaD	15	154	241	99	44	21	290	123
CMediaE	2	25	84	35	9	5	45	29

Tabla 29. Tiempos de concentración de cada una de las subcuencas de la Cuenca Baja aplicando diferentes formulaciones empíricas.

Subcuenca	t_c [min]							PROMEDIO
	SCS	Kirpich	Kerby - Kirpich	Ventura-Heras	Passini	Giandotti	California Culverts Practice	
CBajaA	3	82	180	158	29	9	121	83
CBajaB	6	111	171	175	43	17	182	101
CBajaC	3	86	193	160	32	12	132	88
CBajaD	11	175	344	169	55	21	296	153
CBajaE	10	182	253	167	53	19	301	141
CBajaF	13	225	391	333	95	38	376	210
CBajaG	4	114	198	201	41	14	171	106

Tabla 30. Parámetros del modelo de tránsito de Muskingum de cada uno de los tramos de la Cuenca Ascochinga.

Tramos	X	K [hs]
Asc_T1	0.3	0.37
Asc_T2	0.3	0.41
Asc_T3	0.3	0.37
Asc_T4	0.3	0.12
Asc_T5	0.3	0.15
Asc_T6	0.3	1.11

Tabla 31. Parámetros del modelo de tránsito de Muskingum de cada uno de los tramos de la Cuenca Santa Catalina.

Tramos	X	K [hs]
StaCat T1	0.3	1.19
StaCat T2	0.3	0.47

Tabla 32. Parámetros del modelo de tránsito de Muskingum de cada uno de los tramos de la Cuenca Media.

Tramos	X	K [hs]
CMedia T1	0.3	0.51
CMedia T2	0.3	0.06

Tabla 33. Parámetros del modelo de tránsito de Muskingum de cada uno de los tramos de la Cuenca Baja.

Tramos	X	K [hs]
CBaja T1	0.3	0.42
CBaja T2	0.3	0.50
CBaja T3	0.3	0.35
CBaja T4	0.3	0.80
CBaja T5	0.3	0.81
CBaja T6	0.3	0.40

Tabla 34. Coeficiente de permeabilidad.

k (cm/s)		
Allen Hazen	Schlichter	Terzaghi
11.25	5.4	11.5

Tabla 35. Capacidad de infiltración [m^3/s] de los tramos del río en el piedemonte.

Tramos	Caudal infiltrado [m^3/s]		
	Allen Hazen	Schlichter	Terzaghi
CBaja T1	15	7	15
CBaja T2	68	33	69
CBaja T3	23	11	23
CBaja T4	191	92	196
CBaja T5	172	83	176
CBaja T6	30	14	30

Para definir los valores de curva número (CN) de las subcuencas se necesitan datos de uso y tipo de suelo. Para determinar el *tipo de suelo*, se extrajo el SIG de la carta de suelos de la base de datos “Suelos de la República Argentina - Escala 1-500.000” del INTA (Figura 82).

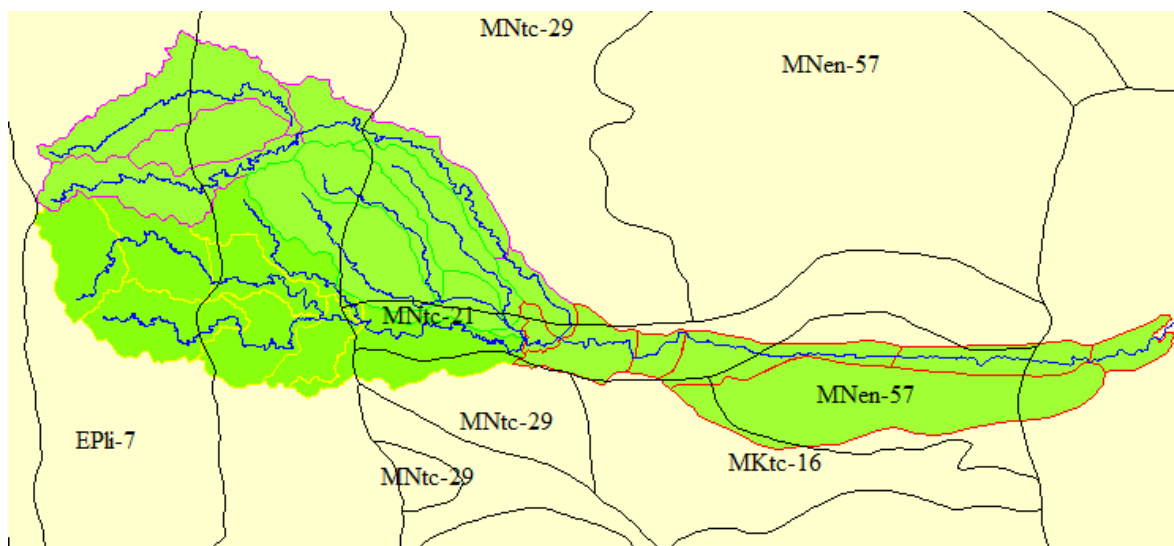


Figura 82. Tipo de suelo en el área de estudio, Cuenca Río Guanusacate.

Al analizar la última figura se observa que en la cuenca existen cinco tipos de suelos:

- ✓ EPli-7: a) suelo excesivamente drenado 50%, somero (<50 cm), areno franco, pobremente provisto de materia organica, muy inclinado; b) suelo excesivamente drenado 30%, somero (<50 cm), franco arenoso, pobremente provisto de materia organica, muy inclinado; c) suelo excesivamente drenado 10%, profundo (>100 cm), franco arcilloso limoso, bien provisto de materia organica, muy moderadamente inclinado.

Este es un suelo de tipo B - C según la clasificación de SCS-CN

- ✓ EPli-17: a) suelo excesivamente drenado 40%, somero (<50 cm), areno franco, moderadamente pobre en materia organica, muy inclinado; b) suelo excesivamente drenado 30%, muy somero (<25 cm), areno franco, pobremente provisto de materia organica, muy inclinado; c) suelo algo excesivamente drenado 10%, profundo (>100 cm), franco, bien provisto de materia organica, moderadamente inclinado; d) suelo rocoso 20%.

Este es un suelo de tipo B según la clasificación de SCS-CN

- ✓ MNtc-21: a) suelo moderadamente bien drenado 40%, profundo (>100 cm), franco limoso, moderadamente provisto de materia organica, ligeramente inclinado; b) suelo moderadamente bien drenado 30%; profundo (>100 cm), franco arenoso, moderadamente pobre de materia organica; c) suelo moderadamente bien drenado 30%, profundo (>100 cm), familia franco arenosa, moderadamente pobre de materia organica.

Este es un suelo de tipo B según la clasificación de SCS-CN

- ✓ MNtc-29: a) suelo algo excesivamente drenado 50%, profundo (>100 cm), franco, moderadamente provisto de materia organica, moderadamente inclinado; b)

suelo algo excesivamente drenado 30%; profundo (>100 cm), franco , moderadamente bien provisto de materia organica, fuertemente ondulado; c) suelo algo excesivamente drenado 20%, muy somero (<25 cm), familia franco arenosa, pobremente provisto de materia organica, fuertemente ondulado.

Este es un suelo de tipo B según la clasificación de SCS-CN

- ✓ MNen-57: a) suelo bueno a algo excesivamente drenado 50%, profundo (>100 cm), familia franco limoso, moderadamente provisto de materia organica; b) suelo bien drenado 50%; profundo (>100 cm), familia franco limoso, moderadamente bien provisto de materia organica.

Este es un suelo de tipo B según la clasificación de SCS-CN

Para el *uso del suelo* se realizó un análisis de imágenes satelitales del terreno. Se observa que en general en la zona de estudio, en la zona oeste coexisten zonas montañosas con pastizales y roca desnuda; mientras que en el centro y el este la vegetación está formada principalmente por zonas cultivables. En la Figura 83 se observan superpuestas las subcuencas en una imagen satelital del terreno.

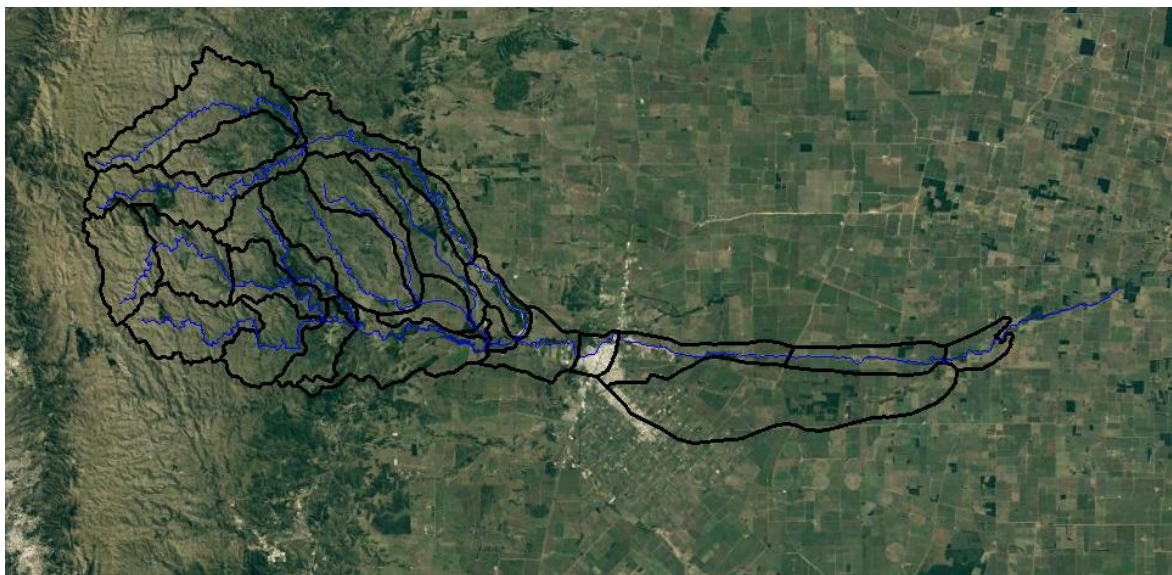


Figura 83. Uso de suelo en el área de estudio, Cuenca Río Carnero.

En la Tabla 36, Tabla 37, Tabla 38 y Tabla 39 se presentan los valores de CN de cada una de las subcuencas estimados a partir de una ponderación areal de los valores de CN propuestos por el SCS (Tabla 7) considerando la pendiente, el uso y tipo de suelo y considerando una humedad antecedente tipo II.

Tabla 36. Parámetros del modelo de pérdidas del SCS – CN de la Cuenca Ascochinga.

Subcuenca	CN	la [mm]
Asc_A	79	14
Asc_B	79	14
Asc_C	70	22
Asc_D	79	14
Asc_E	70	22
Asc_F	65	27
Asc_G	70	22
Asc_H	65	27
Asc_I	65	27

Tabla 37. Parámetros CN del modelo de pérdidas del SCS – de la Cuenca Santa Catalina.

Subcuenca	CN	la [mm]
StaCat_A	79	14
StaCat_B	79	14
StaCat_C	79	14
StaCat_D	70	22
StaCat_E	65	27

Tabla 38. Parámetros CN del modelo de pérdidas del SCS – de la Cuenca Media.

Subcuenca	CN	la [mm]
CMedia_A	70	22
CMedia_B	70	22
CMedia_C	70	22
CMedia_D	65	27
CMedia_E	65	27

Tabla 39. Parámetros CN del modelo de pérdidas del SCS – de la Cuenca Baja.

Subcuenca	CN	la [mm]
CBaja_A	65	27
CBaja_B	65	27
CBaja_C	85	9
CBaja_D	75	17
CBaja_E	65	27
CBaja_F	65	27
CBaja_G	65	27

Duración Crítica: En la Figura 84 y Figura 85 se grafican los caudales picos obtenidos en el punto de cierre de la cuenca del Río Guanusacate y en el punto de confluencia de los cauces Ascochinga y Santa Catalina para diferentes duraciones de lluvia. Se puede observar que en ambos puntos a partir de una duración de tormenta de 360 a 720 minutos (6 a 12 horas) los caudales no muestran incrementos significativos con el aumento de la duración de la lluvia. Por otro lado considerando lo expuesto en el apartado 6 se adoptó como lluvia crítica una duración de 6 hs. Entonces, para determinar la lluvia de diseño se adoptó una duración de 360 min.

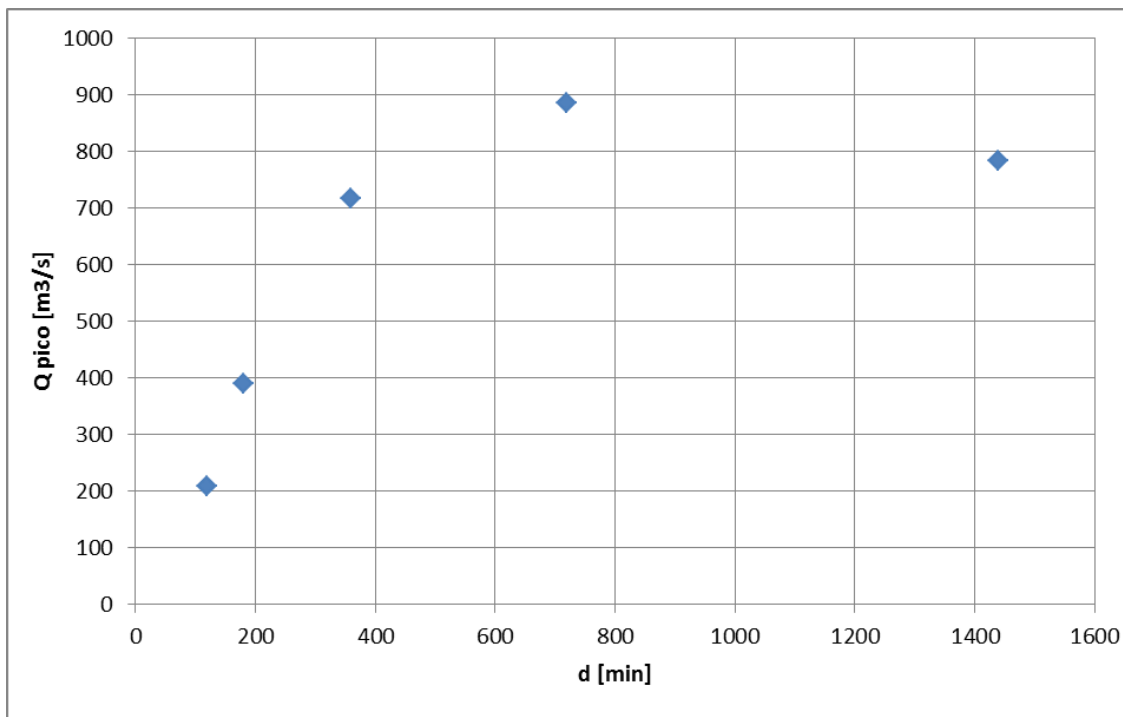


Figura 84. Caudales pico obtenidos para diferentes duraciones de lluvia en el punto de cierre de la cuenca analizada (JM_Pto01).

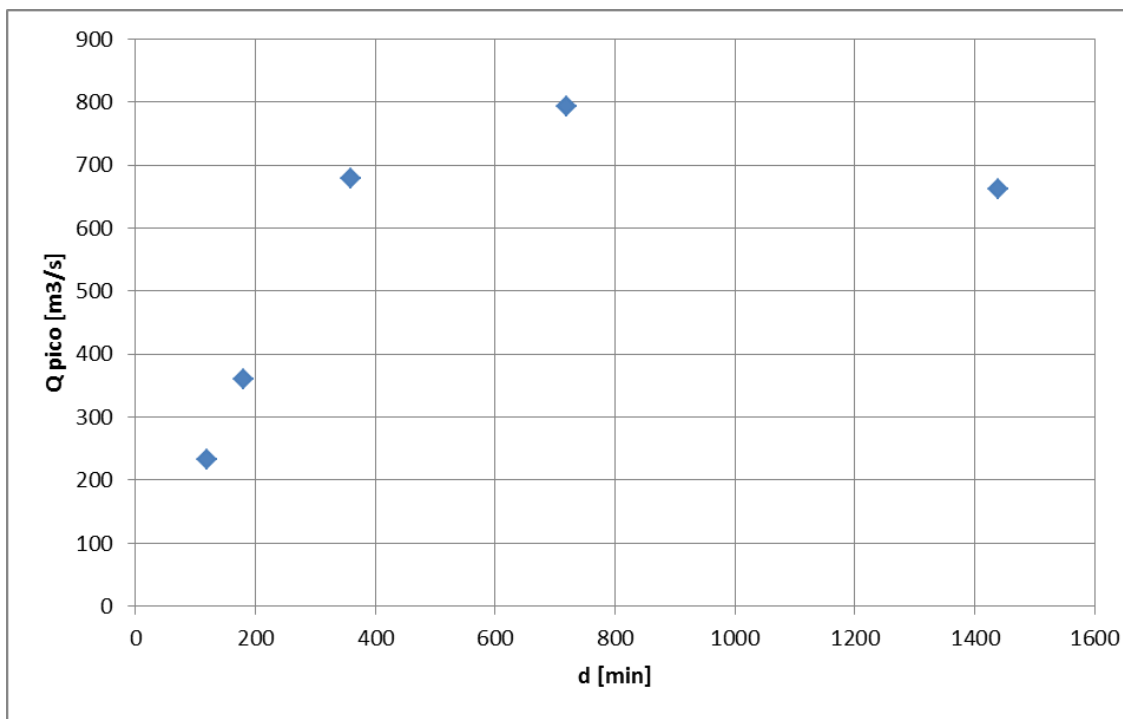


Figura 85. Caudales pico obtenidos para diferentes duraciones de lluvia en el punto de confluencia de los cauces La Granja y Agua de Oro (Conf. Asc_StaCAT).

7.4.3 Cuenca del Río Mula Muerta

En la Figura 86 se presentan el punto de cierre de la cuenca Mula Muerta con sus cauces principales en una imagen satelital de la zona de estudio. En dicha figura se presenta la división en subcuencas con sus respectivas nomenclaturas.

En la Tabla 40 se presentan los principales parámetros de cada una de las subcuencas.

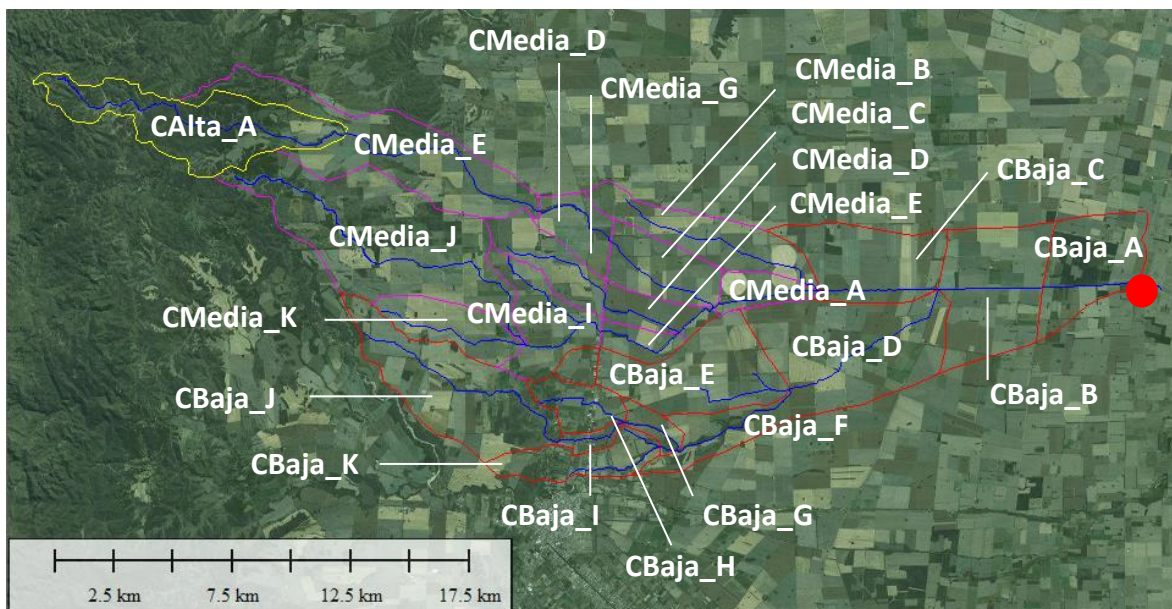


Figura 86. Cuenca y subcuencas del Río Mula Muerta.

Tabla 40. Parámetros principales de cada una de las subcuencas de la cuenca del Río Mula Muerta.

Subcuenca	Área [km ²]	Cauce principal		
		L [m]	ΔH [m]	S [m/m]
CAlta_A	25.3	14800	309	0.0209
CMedia_A	4.9	4800	52	0.0108
CMedia_B	15.1	9600	125	0.0130
CMedia_C	11.2	5480	79	0.0144
CMedia_D	7.1	3930	45	0.0115
CMedia_E	28.5	10000	112	0.0112
CMedia_F	6.2	3480	48	0.0138
CMedia_G	9.4	4900	75	0.0153
CMedia_H	4.2	3980	42	0.0106
CMedia_I	12.7	5570	80	0.0144
CMedia_J	43.4	17200	228	0.0133
CMedia_K	10.1	6700	98	0.0146
CBaja_A	16.2	4280	37	0.0086
CBaja_B	22.8	4420	36	0.0081
CBaja_C	18.0	5000	53	0.0106
CBaja_D	30.9	8140	63	0.0077
CBaja_E	23.3	6650	84	0.0126
CBaja_F	9.5	6000	56	0.0093
CBaja_G	2.9	2770	24	0.0087

Subcuenca	Área [km ²]	Cauce principal		
		L [m]	ΔH [m]	S [m/m]
CBaja_H	6.4	4000	62	0.0155
CBaja_I	2.0	1300	13	0.0100
CBaja_J	27.0	10900	131	0.0120
CBaja_K	9.0	5100	38	0.0075

En la Figura 87 se presenta el esquema de la cuenca en el modelo numérico realizado en el programa HEC-HMS. En la Tabla 41 se presentan los valores del tiempo de concentración arrojados por las diferentes fórmulas presentadas anteriormente para cada una de las subcuencas y en la Tabla 42 los parámetros X y K del método de Muskingum de los diferentes tránsitos. En la Tabla 43 los valores del coeficiente de permeabilidad calculado con las fórmulas de Allen-Hazen, de Schlichter y de Terzaghi y en la Tabla 44 la capacidad de infiltración de los tramos del río en el piedemonte de la cuenca.

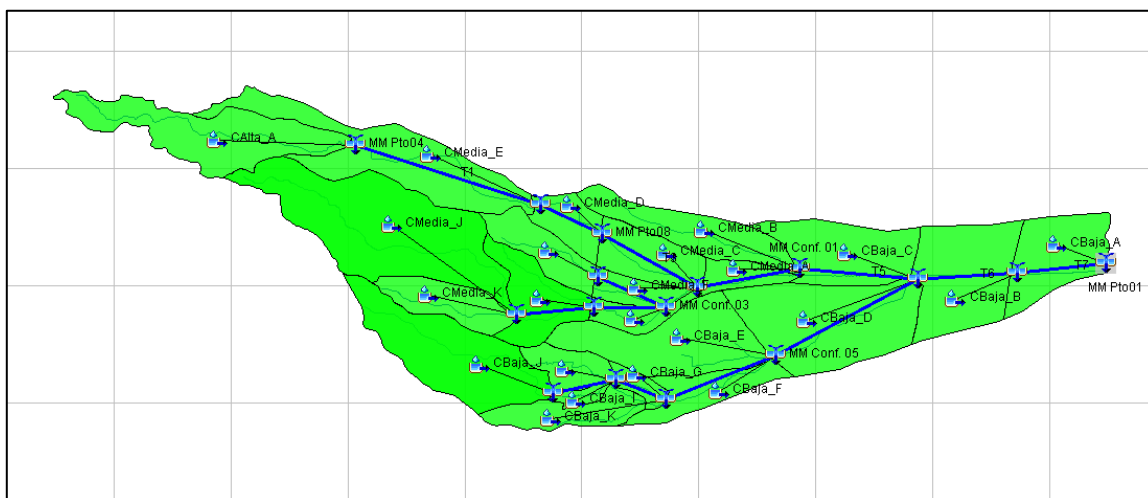


Figura 87. Esquema del modelo HEC-HMS de la cuenca del Río Mula Muerta.

Tabla 41. Tiempos de concentración de cada una de las subcuencas de la cuenca del Río Mula Muerta aplicando diferentes formulaciones empíricas.

Subcuenca	t_c [min]							
	SCS	Kirpich	Kerby - Kirpich	Ventura-Heras	Passini	Giandotti	California Culverts Practice	PROMEDIO
Alta_A	18	144	184	72	39	22	291	110
Media_A	6	78	139	61	22	10	140	65
Media_B	11	124	201	90	36	17	229	101
Media_C	7	77	205	70	26	15	147	78
Media_D	5	65	121	70	22	12	119	59
Media_E	10	136	263	143	48	23	243	124
Media_F	5	55	124	54	18	11	105	53
Media_G	7	69	153	60	23	13	133	66
Media_H	5	68	131	58	19	9	122	59
Media_I	7	78	137	74	27	15	149	70
Media_J	17	193	237	149	61	28	355	149
Media_K	8	90	133	65	26	14	171	72
Baja_A	5	78	221	140	35	17	134	90
Baja_B	5	82	220	177	40	20	139	98
Baja_C	6	81	203	120	34	18	145	87
Baja_D	8	134	270	217	56	24	223	133
Baja_E	8	95	204	115	37	21	174	93
Baja_F	7	98	196	99	31	14	171	88
Baja_G	4	56	162	59	17	8	96	57
Baja_H	6	59	124	49	18	11	114	55
Baja_I	2	29	89	42	11	6	53	33
Baja_J	11	141	220	130	47	23	256	118
Baja_K	5	94	218	120	32	14	157	92

Tabla 42. Parámetros del modelo de tránsito de Muskingum de cada uno de los tramos de la cuenca del Río Mula Muerta.

Tramos	X	K [hs]
T1	0.3	0.57
T2	0.3	0.22
T3	0.3	0.26
T4	0.3	0.26
T5	0.3	0.27
T6	0.3	0.23
T7	0.3	0.22
T8	0.3	0.27
T9	0.3	0.21
T10	0.3	0.22
T11	0.3	0.08
T12	0.3	0.19
T13	0.3	0.37
T14	0.3	0.51

Tabla 43. Coeficiente de permeabilidad.

k (cm/s)		
Allen Hazen	Schlichter	Terzaghi
11.25	5.4	11.5

Tabla 44. Capacidad de infiltración [m^3/s] de los tramos del Río Mula Muerta en el piedemonte.

Tramos	Caudal infiltrado [m^3/s]		
	Allen Hazen	Schlichter	Terzaghi
T4	49	24	50
T5	55	27	56
T6	68	33	70
T7	72	35	73

Para definir los valores de curva número (CN) de las subcuencas se necesitan datos de uso y tipo de suelo. Para determinar el *tipo de suelo*, se extrajo el SIG de la carta de suelos de la base de datos “Suelos de la República Argentina - Escala 1-500.000” del INTA (Figura 88).

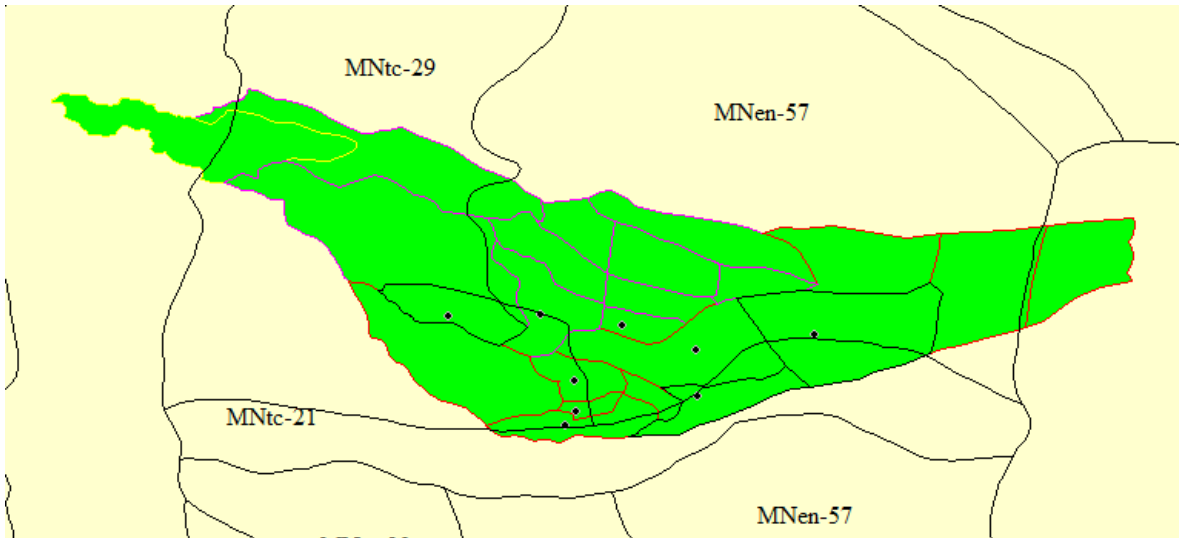


Figura 88. Tipo de suelo en el área de estudio, Cuenca Mula Muerta.

Al analizar la última figura se observa que en la cuenca existen tres tipos de suelos:

- ✓ EPLi-17: a) suelo excesivamente drenado 40%, somero (<50 cm), areno franco, moderadamente pobre en materia organica, muy inclinado; b) suelo excesivamente drenado 30%, muy somero (<25 cm), areno franco, pobremente provisto de materia organica, muy inclinado; c) suelo algo excesivamente drenado 10%, profundo (>100 cm), franco, bien provisto de materia organica, moderadamente inclinado; d) suelo rocoso 20%.

Este es un suelo de tipo B según la clasificación de SCS-CN

- ✓ MNtc-29: a) suelo algo excesivamente drenado 50%, profundo (>100 cm), franco, moderadamente provisto de materia organica, moderadamente inclinado; b) suelo algo excesivamente drenado 30%; profundo (>100 cm), franco, moderadamente bien provisto de materia organica, fuertemente ondulado; c) suelo algo excesivamente drenado 20%, muy somero (<25 cm), familia franco arenosa, pobremente provisto de materia organica, fuertemente ondulado.

Este es un suelo de tipo B según la clasificación de SCS-CN

- ✓ MNen-57: a) suelo bueno a algo excesivamente drenado 50%, profundo (>100 cm), familia franco limoso, moderadamente provisto de materia organica; b) suelo bien drenado 50%; profundo (>100 cm), familia franco limoso, moderadamente bien provisto de materia organica.

Este es un suelo de tipo B según la clasificación de SCS-CN

Para el *uso del suelo* se realizó un análisis de imágenes satelitales del terreno. Se observa que en general en la zona de estudio, en la zona oeste coexisten zonas montañosas con pastizales y roca desnuda; mientras que en el centro y el este la vegetación está formada principalmente por zonas cultivables. En la Figura 89 se observan superpuestas las subcuencas en una imagen satelital del terreno.

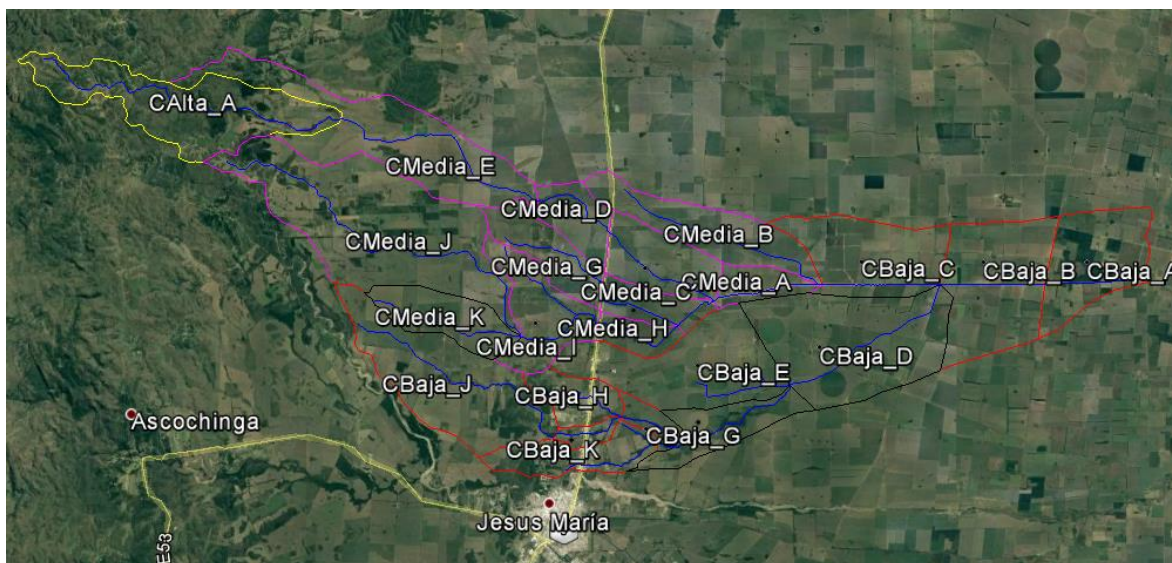


Figura 89. Uso de suelo en el área de estudio, Cuenca Mula Muerta.

En la Tabla 45 se presentan los valores de CN de cada una de las subcuencas estimados a partir de una ponderación areal de los valores de CN propuestos por el SCS (Tabla 7) considerando la pendiente, el uso y tipo de suelo y considerando una humedad antecedente tipo II.

Tabla 45. Parámetros del modelo de pérdidas del SCS – CN de las subcuencas del Río Mula Muerta.

Subcuenca	CN	Ia [mm]
CAlta_A	79	14
CMedia_A	65	27
CMedia_B	65	27
CMedia_C	65	27
CMedia_D	65	27
CMedia_E	65	27
CMedia_F	65	27
CMedia_G	65	27
CMedia_H	65	27
CMedia_I	65	27
CMedia_J	65	27
CMedia_K	65	27
CBaja_A	65	27
CBaja_B	65	27
CBaja_C	65	27
CBaja_D	65	27
CBaja_E	65	27

Subcuenca	CN	Ia [mm]
CBaja_F	65	27
CBaja_G	65	27
CBaja_H	65	27
CBaja_I	65	27
CBaja_J	65	27
CBaja_K	65	27

Duración Crítica: En la Figura 90 se grafican los caudales picos obtenidos en el punto de cierre de la cuenca Mula Muerta. Se puede observar que a partir de una duración de tormenta de 720 minutos (12 horas) los caudales no muestran incrementos significativos con el aumento de la duración de la lluvia. Por otro lado considerando lo expuesto en el apartado 6 se adoptó como lluvia crítica una duración de 6 hs. Entonces, para determinar la lluvia de diseño se adoptó una duración de 360 min.

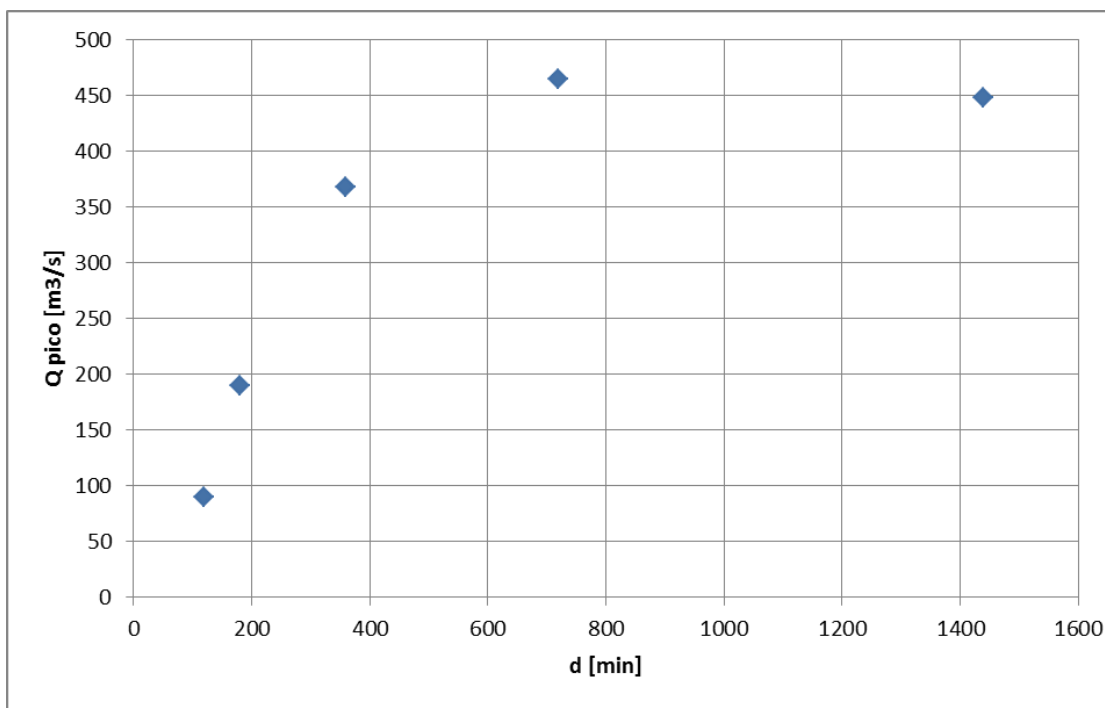


Figura 90. Caudales pico obtenidos para diferentes duraciones de lluvia en el punto de cierre de la cuenca analizada (MM_Pto01).

7.4.4 Cuenca del Río Pinto

En la Figura 91 se presentan el punto de cierre de la cuenca del Río Pinto con sus cauces principales en una imagen satelital de la zona. En dicha figura se presenta la división en subcuencas con sus respectivas nomenclaturas.

En la Tabla 46 se presentan los principales parámetros de cada una de las subcuencas.

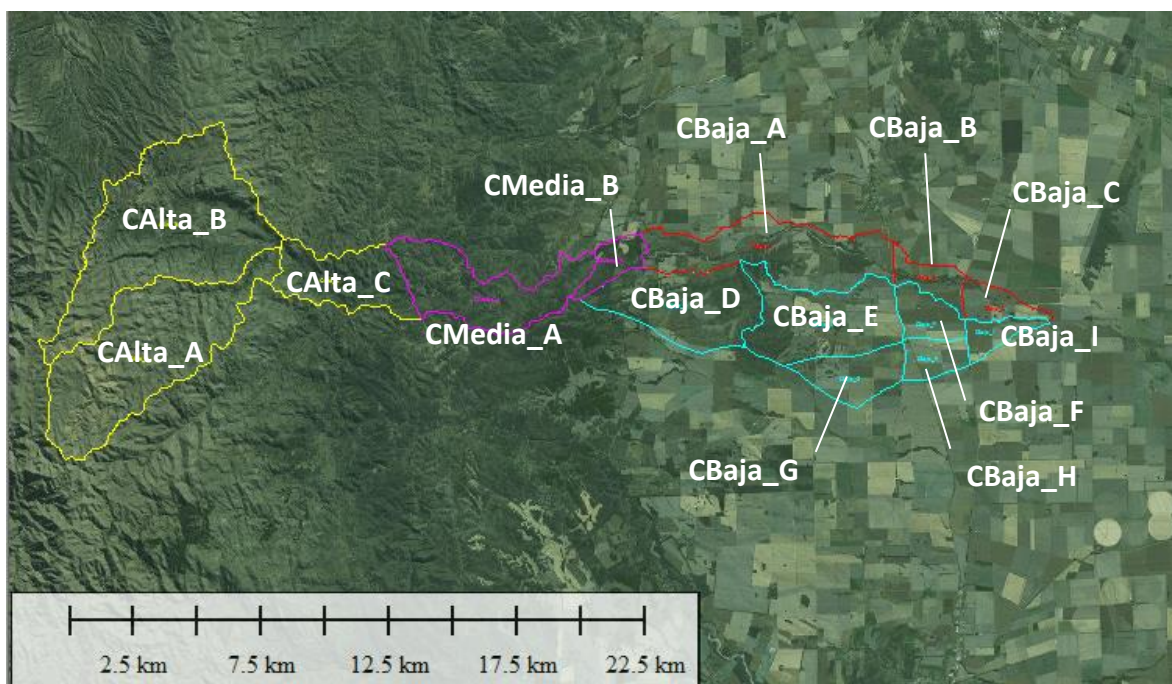


Figura 91. Cuenca y subcuencas del Río Pinto.

Tabla 46. Parámetros principales de cada una de las subcuencas de la cuenca del Río Pinto.

Subcuenca	Área [km ²]	Cauce principal		
		L [m]	ΔH [m]	S [m/m]
CAIta_A	31.3	17540	610	0.0348
CAIta_B	36.9	13490	660	0.0489
CAIta_C	10.9	8900	155	0.0174
Cmedia_A	15.5	11700	160	0.0137
Cmedia_B	3.3	2700	24	0.0089
CBaja_A	18.3	11900	140	0.0118
CBaja_B	3.4	3600	40	0.0111
CBaja_C	3.3	4200	92	0.0219
CBaja_D	15.7	5520	90	0.0163

Subcuenca	Área [km ²]	Cauce principal		
		L [m]	ΔH [m]	S [m/m]
CBaja_E	16.2	6700	105	0.0157
CBaja_F	4.3	3350	50	0.0149
CBaja_G	6.5	2980	55	0.0185
CBaja_H	3.6	2940	35	0.0119
CBaja_I	2.8	3660	38	0.0104

En la Figura 92 se presenta el esquema de la cuenca en el modelo numérico realizado en el programa HEC-HMS. En la Tabla 47 se presentan los valores del tiempo de concentración arrojados por las diferentes fórmulas presentadas anteriormente para cada una de las subcuencas y en la Tabla 48 los parámetros X y K del método de Muskingum de los diferentes tránsitos. En la Tabla 49 los valores del coeficiente de permeabilidad calculado con las fórmulas de Allen-Hazen, de Schlichter y de Terzaghi y en la Tabla 50 la capacidad de infiltración de los tramos del río en el piedemonte de la cuenca.

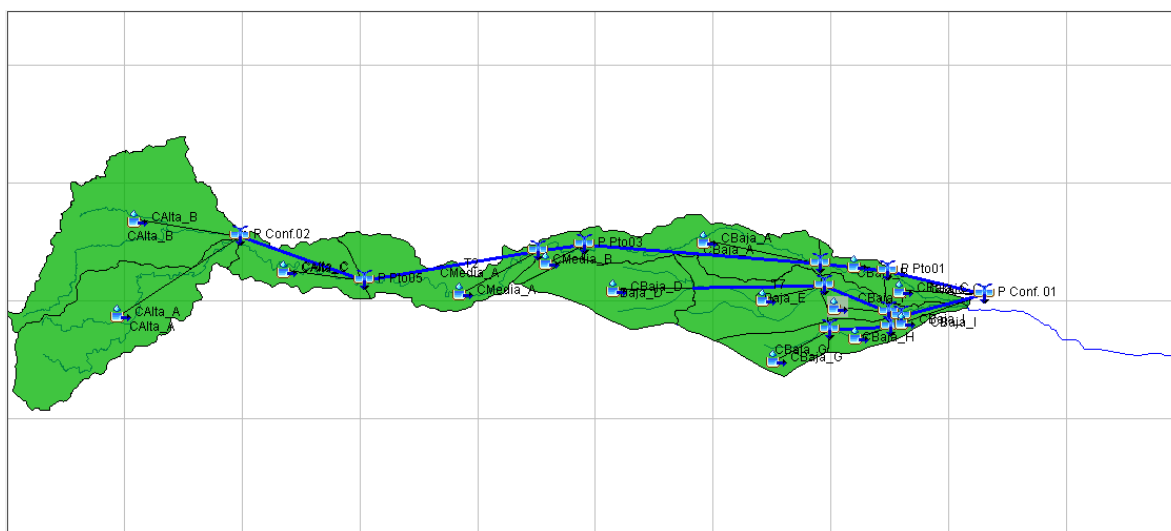


Figura 92. Esquema del modelo HEC-HMS de la cuenca del Río Pinto.

Tabla 47. Tiempos de concentración de cada una de las subcuencas de la cuenca del Río Pinto aplicando diferentes formulaciones empíricas.

Subcuenca	t_c [min]							
	SCS	Kirpich	Kerby - Kirpich	Ventura-Heras	Passini	Giandotti	California Culverts Practice	PROMEDIO
Alta_A	25	135	194	48	34	24	300	109
Alta_B	23	97	125	37	28	25	231	81
Alta_C	11	105	148	57	27	15	205	81
Media_A	13	142	209	86	38	17	264	110
Media_B	3	54	104	61	17	8	94	49
Baja_A	12	152	204	109	43	19	275	116
Baja_B	5	62	132	50	17	8	112	55
Baja_C	7	54	84	25	13	8	111	43
Baja_D	8	74	161	73	27	17	144	72
Baja_E	9	87	127	77	30	17	168	74
Baja_F	5	52	94	42	16	9	100	45
Baja_G	5	44	123	41	15	11	88	47
Baja_H	4	52	93	48	16	9	95	45
Baja_I	5	64	125	48	17	8	115	54

Tabla 48. Parámetros del modelo de tránsito de Muskingum de cada uno de los tramos de la cuenca del Río Pinto.

Tramos	X	K [hs]
T1	0.3	0.39
T2	0.3	0.56
T3	0.3	0.16
T4	0.3	0.60
T5	0.3	0.19
T6	0.3	0.15
T7	0.3	0.45
T8	0.3	0.17
T9	0.3	0.20
T10	0.2	0.19

Tabla 49. Coeficiente de permeabilidad.

k (cm/s)		
Allen Hazen	Schlichter	Terzaghi
11.25	5.4	11.5

Tabla 50. Capacidad de infiltración [m^3/s] de los tramos del Río Pinto en el piedemonte.

Tramos	Caudal infiltrado [m^3/s]		
	Allen Hazen	Schlichter	Terzaghi
T4	161	77	164
T5	47	22	48
T6	108	52	111

Para definir los valores de curva número (CN) de las subcuencas se necesitan datos de uso y tipo de suelo. Para determinar el *tipo de suelo*, se extrajo el SIG de la carta de suelos de la base de datos “Suelos de la República Argentina - Escala 1-500.000” del INTA (Figura 93).

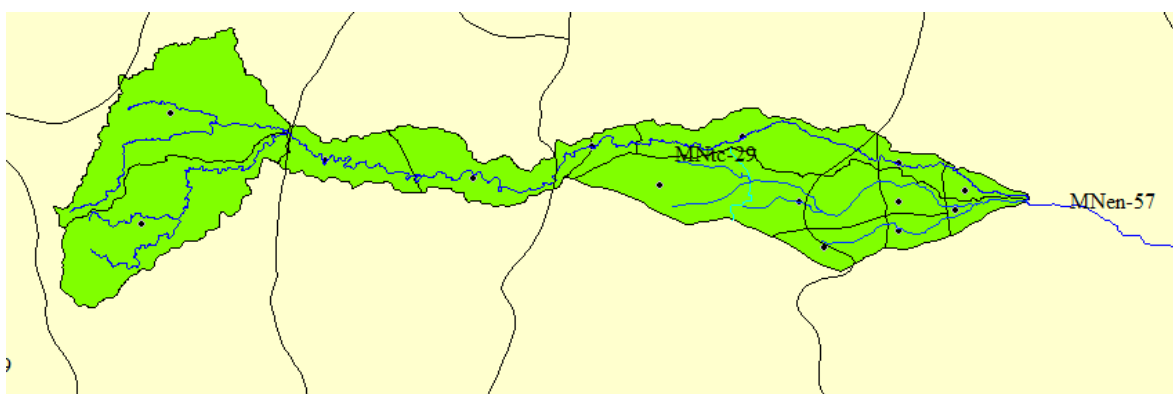


Figura 93. Tipo de suelo en el área de estudio, Cuenca Río Pinto.

Al analizar la última figura se observa que en la cuenca existen cuatro tipos de suelos:

- ✓ EPLi-7: a) suelo excesivamente drenado 50%, somero (<50 cm), areno franco, pobremente provisto de materia orgánica, muy inclinado; b) suelo excesivamente drenado 30%, somero (<50 cm), franco arenoso, pobremente provisto de materia orgánica, muy inclinado; c) suelo excesivamente drenado 10%, profundo (>100 cm), franco arcilloso limoso, bien provisto de materia orgánica, muy moderadamente inclinado.

Este es un suelo de tipo B - C según la clasificación de SCS-CN

- ✓ EPLi-17: a) suelo excesivamente drenado 40%, somero (<50 cm), areno franco, moderadamente pobre en materia orgánica, muy inclinado; b) suelo

excesivamente drenado 30%, muy somero (<25 cm), areno franco, pobremente provisto de materia organica, muy inclinado; c) suelo algo excesivamente drenado 10%, profundo (>100 cm), franco, bien provisto de materia organica, moderadamente inclinado; d) suelo rocoso 20%.

Este es un suelo de tipo B según la clasificación de SCS-CN

- ✓ MNtc-29: a) suelo algo excesivamente drenado 50%, profundo (>100 cm), franco, moderadamente provisto de materia organica, moderadamente inclinado; b) suelo algo excesivamente drenado 30%; profundo (>100 cm), franco, moderadamente bien provisto de materia organica, fuertemente ondulado; c) suelo algo excesivamente drenado 20%, muy somero (<25 cm), familia franco arenosa, pobremente provisto de materia organica, fuertemente ondulado.

Este es un suelo de tipo B según la clasificación de SCS-CN

- ✓ MNen-57: a) suelo bueno a algo excesivamente drenado 50%, profundo (>100 cm), familia franco limoso, moderadamente provisto de materia organica; b) suelo bien drenado 50%; profundo (>100 cm), familia franco limoso, moderadamente bien provisto de materia organica.

Este es un suelo de tipo B según la clasificación de SCS-CN

Para el *uso del suelo* se realizó un análisis de imágenes satelitales del terreno. Se observa que en general en la zona de estudio, en la zona oeste coexisten zonas montañosas con pastizales y roca desnuda; mientras que en el centro y el este la vegetación está formada principalmente por zonas cultivables. En la Figura 94 se observan superpuestas las subcuencas en una imagen satelital del terreno.



Figura 94. Uso de suelo en el área de estudio, Cuenca Río Pinto.

En la Tabla 51 se presentan los valores de CN de cada una de las subcuencas estimados a partir de una ponderación areal de los valores de CN propuestos por el SCS (Tabla 7) considerando la pendiente, el uso y tipo de suelo y considerando una humedad antecedente tipo II.

Tabla 51. Parámetros del modelo de pérdidas del SCS – CN de las subcuenca del Río Pinto.

Subcuenca	CN	la [mm]
CAlta_A	79	14
CAlta_B	79	14
CAlta_C	70	22
Cmedia_A	70	22
Cmedia_B	65	27
CBaja_A	65	27
CBaja_B	65	27
CBaja_C	65	27
CBaja_D	65	27
CBaja_E	65	27
CBaja_F	65	27
CBaja_G	65	27
CBaja_H	65	27
CBaja_I	65	27

Duración Crítica: En la Figura 95 se grafican los caudales picos obtenidos en el punto de cierre de la cuenca del Río Pinto. Se puede observar que a partir de una duración de tormenta de entre 360 a 720 minutos (6 a 12 horas) los caudales no muestran incrementos significativos con el aumento de la duración de la lluvia. Por otro lado, considerando lo expuesto en el apartado 6 se adoptó como lluvia crítica una duración de 6 hs. Entonces, para determinar la lluvia de diseño se adoptó una duración de 360 min.

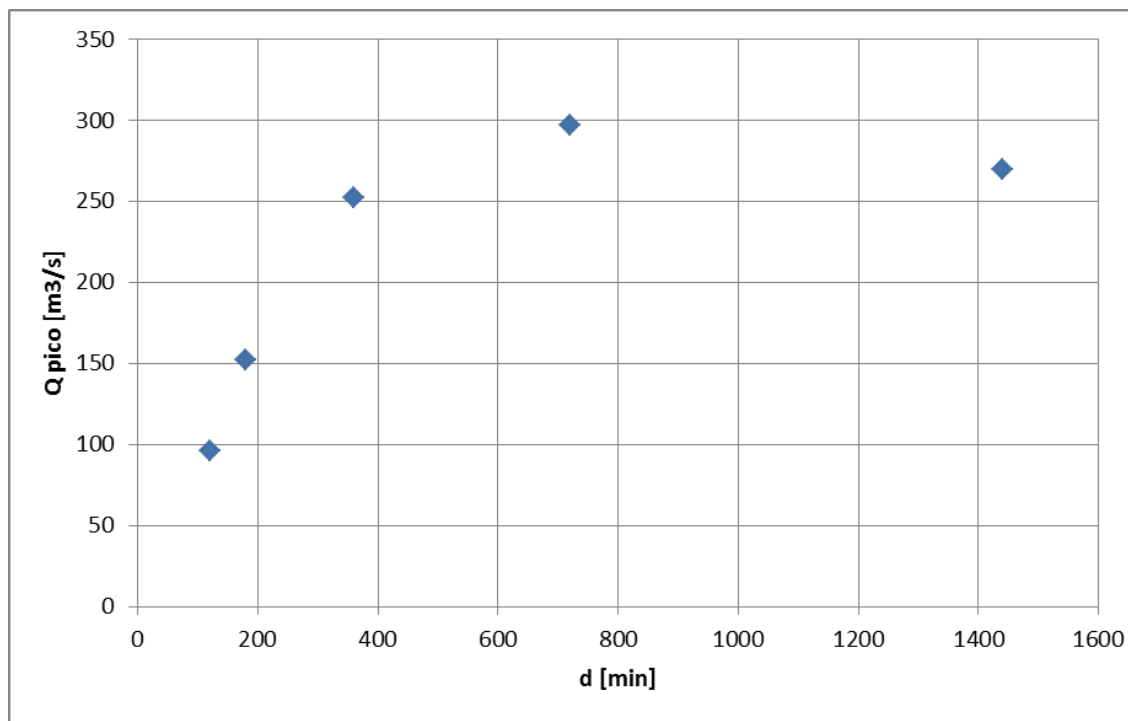


Figura 95. Caudales pico obtenidos para diferentes duraciones de lluvia en el punto de cierre de la cuenca analizada (P Conf. 01).

7.4.5 Cuenca del Río Los Mistoles

En la Figura 96 se presentan el punto de cierre de la cuenca del Río Los Mistoles con sus cauces principales en una imagen satelital de la zona. En dicha figura se presenta la división en subcuencas con sus respectivas nomenclaturas.

En la Tabla 52, Tabla 53 y Tabla 54 se presentan los principales parámetros de cada una de las subcuencas.

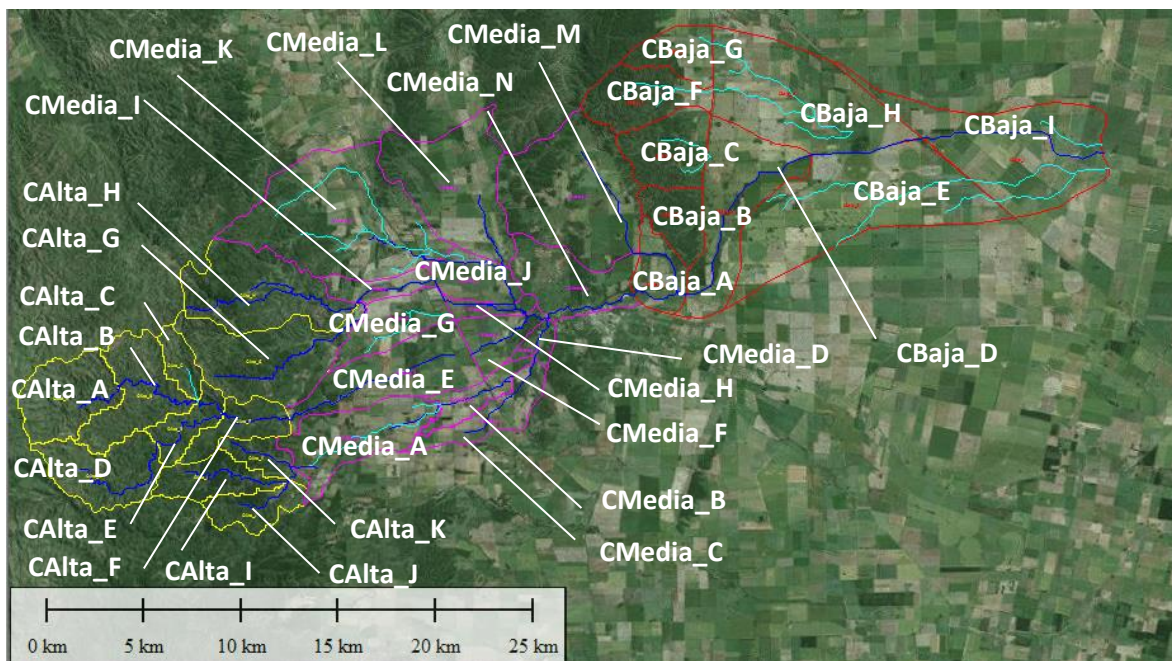


Figura 96. Cuenca y subcuencas del Río Los Mistoles.

Tabla 52. Parámetros principales de cada una de las subcuencas de la Cuenca alta del Río Los Mistoles.

Subcuenca	Área [km ²]	Cauce principal		
		L [m]	ΔH [m]	S [m/m]
CALta_A	17.2	6930	394	0.0569
CALta_B	18.2	7860	270	0.0344
CALta_C	5.0	4810	120	0.0249
CALta_D	17.3	8230	210	0.0255
CALta_E	7.4	6450	183	0.0284
CALta_F	8.9	7430	157	0.0211
CALta_G	27.7	10900	183	0.0168
CALta_H	27.4	11270	300	0.0266
CALta_I	10.3	6610	143	0.0216
CALta_J	8.1	4620	100	0.0216
CALta_K	5.9	4960	100	0.0202

Tabla 53. Parámetros principales de cada una de las subcuencas de la Cuenca media del Río Los Mistoles.

Subcuenca	Área [km ²]	Cauce principal		
		L [m]	ΔH [m]	S [m/m]
CMedia_A	20.3	6800	83	0.0122
CMedia_B	7.2	5000	66	0.0132
CMedia_C	10.4	5750	60	0.0104
CMedia_D	3.1	2000	15	0.0075
CMedia_E	24.2	10000	155	0.0155
CMedia_F	8.3	5300	55	0.0104
CMedia_G	12.1	5250	70	0.0133
CMedia_H	3.6	5000	50	0.0100
CMedia_I	6.1	4600	45	0.0098
CMedia_J	9.4	5550	50	0.0090
CMedia_K	49.9	10500	200	0.0190
CMedia_L	31.6	8100	100	0.0123
CMedia_M	41.7	6100	65	0.0107
CMedia_N	17.7	4500	45	0.0100

Tabla 54. Parámetros principales de cada una de las subcuencas de la Cuenca baja del Río Los Mistoles.

Subcuenca	Área [km ²]	Cauce principal		
		L [m]	ΔH [m]	S [m/m]
CBaja_A	9.3	4000	30	0.0075
CBaja_B	9.5	3500	50	0.0143
CBaja_C	15.0	4500	110	0.0244
CBaja_D	29.8	11100	80	0.0072
CBaja_E	52.7	5800	45	0.0078
CBaja_F	15.1	7350	147	0.0200
CBaja_G	9.2	4360	113	0.0259
CBaja_H	42.2	5800	45	0.0078
CBaja_I	42.8	10500	70	0.0067

En la Figura 97 se presenta el esquema de la cuenca en el modelo numérico realizado en el programa HEC-HMS. En la Tabla 55, Tabla 56 y Tabla 57 se presentan los valores del tiempo de concentración arrojados por las diferentes fórmulas presentadas anteriormente para cada una de las subcuencas y en la Tabla 58 los parámetros X y K del método de Muskingum de los diferentes tránsitos. En la Tabla 59 los valores del coeficiente de permeabilidad calculado con las fórmulas de Allen-Hazen, de Schlichter y de Terzaghi y en la Tabla 60 la capacidad de infiltración de los tramos del río en el piedemonte de la cuenca.

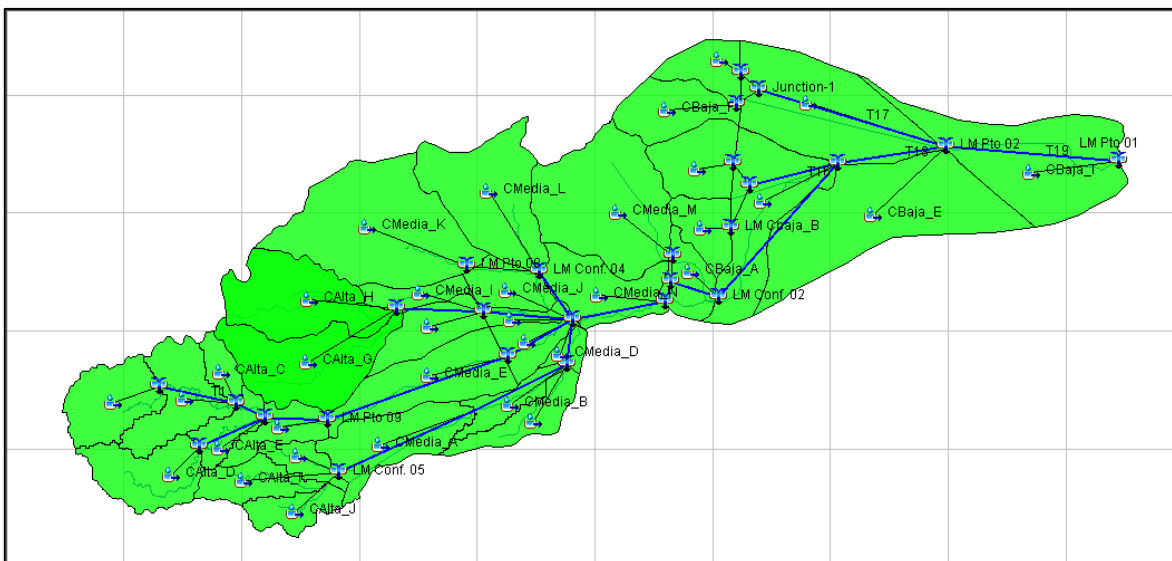


Figura 97. Esquema del modelo HEC-HMS de la cuenca del Río Los Mistoles.

Tabla 55. Tiempos de concentración de cada una de las subcuencas de la Cuenca Alta del Río Los Mistoles aplicando diferentes formulaciones empíricas.

Subcuenca	t_c [min]							
	SCS	Kirpich	Kerby - Kirpich	Ventura-Heras	Passini	Giandotti	California Culverts Practice	PROMEDIO
Alta_A	15	55	77	22	16	17	135	48
Alta_B	13	73	108	37	22	18	164	62
Alta_C	8	57	81	27	14	10	120	45
Alta_D	12	85	147	49	26	18	179	74
Alta_E	11	68	91	29	17	12	146	53
Alta_F	11	84	112	42	22	13	172	65
Alta_G	13	124	149	94	40	23	240	98
Alta_H	16	107	127	59	32	22	226	84
Alta_I	10	77	143	45	22	14	157	67
Alta_J	7	58	98	40	18	12	119	50
Alta_K	8	63	103	36	17	11	128	52

Tabla 56. Tiempos de concentración de cada una de las subcuencas de la Cuenca Media del Río Los Mistoles aplicando diferentes formulaciones empíricas.

Subcuenca	t_c [min]							
	SCS	Kirpich	Kerby - Kirpich	Ventura-Heras	Passini	Giandotti	California Culverts Practice	PROMEDIO
Media_A	8	97	172	111	36	19	178	89
Media_B	7	75	164	61	22	12	139	69
Media_C	7	91	199	93	30	14	162	85
Media_D	3	46	138	70	17	8	77	51
Media_E	12	120	170	95	39	21	229	98
Media_F	6	86	189	83	27	13	152	79
Media_G	7	77	154	78	27	15	144	72
Media_H	6	83	131	57	20	9	147	65
Media_I	5	78	161	76	24	11	138	71
Media_J	6	94	193	102	31	14	162	86
Media_k	13	115	174	112	46	30	228	103
Media_L	9	111	187	137	45	24	204	102
Media_M	7	94	171	181	48	27	168	100
Media_N	5	77	219	126	34	18	135	88

Tabla 57. Tiempos de concentración de cada una de las subcuencas de la Cuenca Baja del Río Los Mistoles aplicando diferentes formulaciones empíricas.

Subcuenca	t_c [min]							
	SCS	Kirpich	Kerby - Kirpich	Ventura-Heras	Passini	Giandotti	California Culverts Practice	PROMEDIO
Baja_A	4	78	161	122	30	14	131	77
Baja_B	5	55	84	65	21	13	105	50
Baja_C	8	54	81	48	20	16	114	49
Baja_D	10	174	248	227	64	24	286	148
Baja_E	6	102	293	279	59	31	172	135
Baja_F	10	86	101	58	27	17	172	67

Subcuenca	t_c [min]							
	SCS	Kirpich	Kerby - Kirpich	Ventura-Heras	Passini	Giandotti	California Culverts Practice	PROMEDIO
Baja_G	8	52	66	35	17	13	110	43
Baja_H	6	102	302	250	55	28	172	131
Baja_I	9	172	331	293	73	29	278	169

Tabla 58. Parámetros del modelo de Muskingum de cada uno de los tramos de los cauces de la Cuenca Los Mistoles.

Tramos	X	K [hs]
T1	0.3	0.33
T2	0.3	0.11
T3	0.3	0.29
T4	0.3	0.21
T5	0.3	0.50
T6	0.3	0.45
T7	0.3	0.30
T8	0.3	0.18
T9	0.3	0.14
T10	0.2	0.17
T11	0.2	0.30
T12	0.2	0.28
T13	0.2	0.42
T14	0.2	0.33
T15	0.2	0.58
T16	0.2	0.35
T17	0.2	0.67
T18	0.2	0.30
T19	0.2	0.55

Tabla 59. Coeficiente de permeabilidad.

k (cm/s)		
Allen Hazen	Schlichter	Terzaghi
11.25	5.4	11.5

Tabla 60. Capacidad de infiltración [m^3/s] de los tramos del río en el piedemonte.

Tramos	Caudal infiltrado [m^3/s]		
	Allen Hazen	Schlichter	Terzaghi
T13	54	26	55
T14	27	13	28
T15	120	58	123
T18	42	20	43
T19	55	27	56

Para definir los valores de curva número (CN) de las subcuencas se necesitan datos de uso y tipo de suelo. Para determinar el *tipo de suelo*, se extrajo el SIG de la carta de suelos de la base de datos “Suelos de la República Argentina - Escala 1-500.000” del INTA (Figura 98).

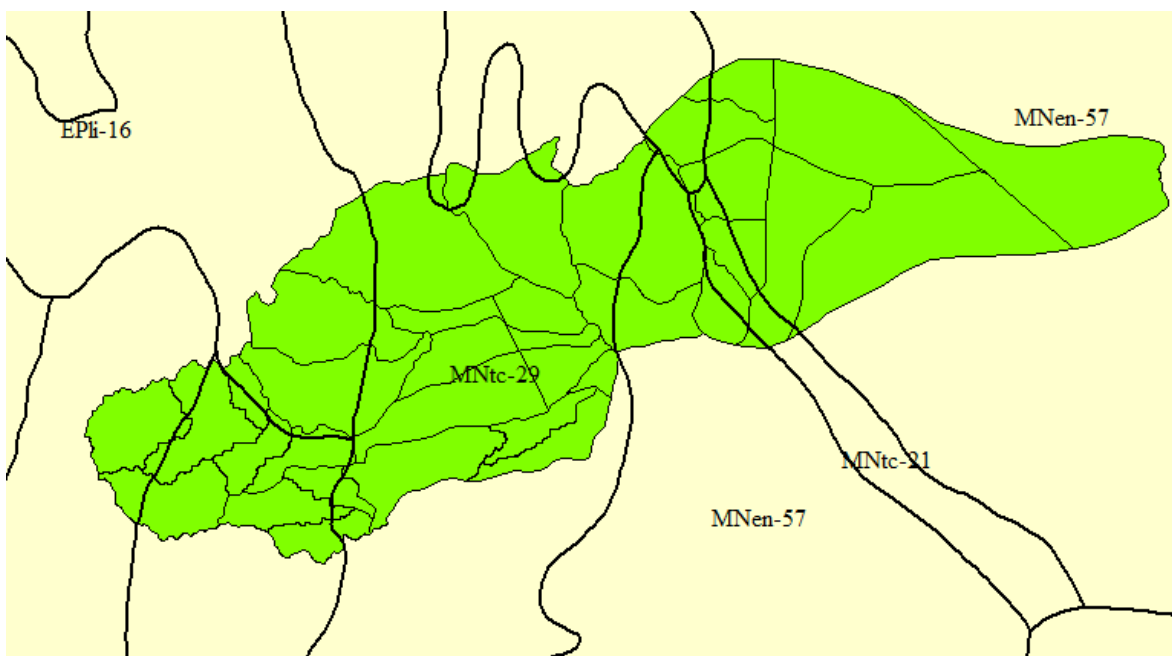


Figura 98. Tipo de suelo en el área de estudio, Cuenca Los Mistoles.

Al analizar la última figura se observa que en la cuenca existen siete tipos de suelos:

- ✓ EPli-5: a) suelo excesivamente drenado 60%, muy somero (<25 cm), areno franco, pobre en materia orgánica, escarpado, pedregoso; b) suelo bien a algo excesivamente drenado 20%, profundo (>75 cm), franco, moderadamente provisto de materia orgánica, muy poco pedregoso; c) suelo algo excesivamente drenado 10%, profundo (>75 cm), franco arenoso, algo pobre de materia orgánica, pendiente moderada y poco pedregoso; d) suelo rocoso 10%.

Este es un suelo de tipo B - C según la clasificación de SCS-CN

- ✓ EPLi-7: a) suelo excesivamente drenado 50%, somero (<50 cm), areno franco, pobremente provisto de materia organica, muy inclinado; b) suelo excesivamente drenado 30%, somero (<50 cm), franco arenoso, pobremente provisto de materia organica, muy inclinado; c) suelo excesivamente drenado 10%, profundo (>100 cm), franco arcilloso limoso, bien provisto de materia organica, muy moderadamente inclinado.

Este es un suelo de tipo B - C según la clasificación de SCS-CN

- ✓ EPLi-16: a) suelo excesivamente drenado 40%, algo somero (50 – 75 cm), areno franco, pobre en materia organica, escarpado y pedregoso; b) suelo excesivamente drenado 30%, muy somero (<25 cm), areno franco, pobremente provisto de materia organica, escarpado y pedregoso; c) suelo algo excesivamente drenado 10%, profundo (>75 cm), franco arenoso, moderadamente provisto de materia organica, moderadamente inclinado; d) suelo algo excesivamente drenado 10%, profundo (>75 cm), franco arcilloso limoso, bien provisto de materia organica, moderadamente inclinado; e) suelo rocoso 10%.

Este es un suelo de tipo B - C según la clasificación de SCS-CN

- ✓ EPLi-17: a) suelo excesivamente drenado 40%, somero (<50 cm), areno franco, moderadamente pobre en materia organica, muy inclinado; b) suelo excesivamente drenado 30%, muy somero (<25 cm), areno franco, pobremente provisto de materia organica, muy inclinado; c) suelo algo excesivamente drenado 10%, profundo (>100 cm), franco, bien provisto de materia organica, moderadamente inclinado; d) suelo rocoso 20%.

Este es un suelo de tipo B según la clasificación de SCS-CN

- ✓ MNtc-21: a) suelo moderadamente bien drenado 40%, profundo (>100 cm), franco limoso, moderadamente provisto de materia organica, ligeramente inclinado; b) suelo moderadamente bien drenado 30%; profundo (>100 cm), franco arenoso, moderadamente pobre de materia organica; c) suelo moderadamente bien drenado 30%, profundo (>100 cm), familia franco arenosa, moderadamente pobre de materia organica.

Este es un suelo de tipo B según la clasificación de SCS-CN

- ✓ MNtc-29: a) suelo algo excesivamente drenado 50%, profundo (>100 cm), franco, moderadamente provisto de materia organica, moderadamente inclinado; b) suelo algo excesivamente drenado 30%; profundo (>100 cm), franco , moderadamente bien provisto de materia organica, fuertemente ondulado; c) suelo algo excesivamente drenado 20%, muy somero (<25 cm), familia franco arenosa, pobremente provisto de materia organica, fuertemente ondulado.

Este es un suelo de tipo B según la clasificación de SCS-CN

- ✓ MNen-57: a) suelo bueno a algo excesivamente drenado 50%, profundo (>100 cm), familia franco limoso, moderadamente provisto de materia organica; b) suelo bien drenado 50%; profundo (>100 cm), familia franco limoso, moderadamente bien provisto de materia organica.

Este es un suelo de tipo B según la clasificación de SCS-CN

Para el *uso del suelo* se realizó un análisis de imágenes satelitales del terreno. Se observa que en general en la zona de estudio, en la zona oeste coexisten zonas montañosas con pastizales y roca desnuda; mientras que en el centro y el este la vegetación está formada principalmente por zonas cultivables. En la Figura 99 se observan superpuestas las subcuencas en una imagen satelital del terreno.

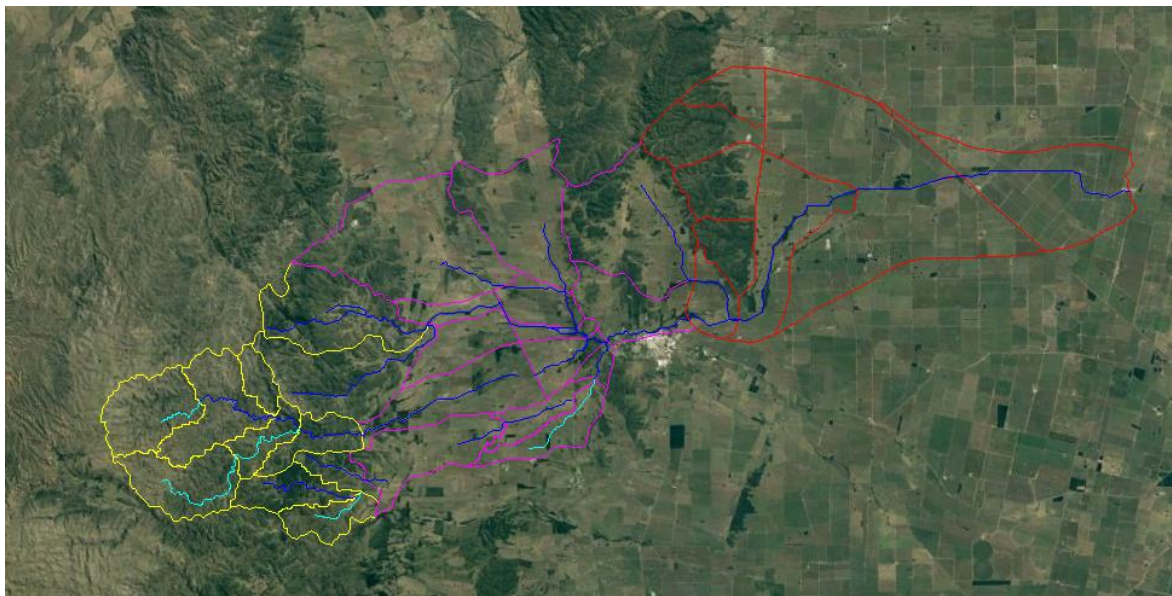


Figura 99. Uso de suelo en el área de estudio, Cuenca Los Mistoles.

En la Tabla 61, Tabla 62 y Tabla 63 se presentan los valores de CN de cada una de las subcuencas estimados a partir de una ponderación areal de los valores de CN propuestos por el SCS (Tabla 7) considerando la pendiente, el uso y tipo de suelo y considerando una humedad antecedente tipo II.

Tabla 61. Parámetros CN del modelo de pérdidas del SCS – de la Cuenca Alta.

Subcuenca	CN	Ia [mm]
CAIta_A	79	14
CAIta_B	79	14
CAIta_C	79	14
CAIta_D	79	14
CAIta_E	79	14
CAIta_F	70	22
CAIta_G	70	22

Subcuenca	CN	la [mm]
CAlta_H	70	22
CAlta_I	70	22
CAlta_J	79	14
CAlta_K	70	22

Tabla 62. Parámetros CN del modelo de pérdidas del SCS – de la Cuenca Media.

Subcuenca	CN	la [mm]
CMedia_A	65	27
CMedia_B	65	27
CMedia_C	65	27
CMedia_D	65	27
CMedia_E	65	27
CMedia_F	65	27
CMedia_G	65	27
CMedia_H	65	27
CMedia_I	65	27
CMedia_J	65	27
CMedia_K	70	22
CMedia_L	65	27
CMedia_M	70	22
CMedia_N	80	13

Tabla 63. Parámetros CN del modelo de pérdidas del SCS – de la Cuenca Baja.

Subcuenca	CN	la [mm]
CBaja_A	65	27
CBaja_B	70	22
CBaja_C	70	22
CBaja_D	65	27
CBaja_E	65	27
CBaja_F	70	22
CBaja_G	70	22
CBaja_H	65	27
CBaja_I	65	27

Duración Crítica: En la Figura 100 y Figura 101 se grafican los caudales picos obtenidos en el punto de cierre de la cuenca del Río Los Mistoles y en la localidad de Villa del Totoral para diferentes duraciones de lluvia. Se puede observar que en ambos puntos a partir de una duración de tormenta de 360 a 720 minutos (6 a 12 horas) los caudales no muestran incrementos significativos con el aumento de la duración de la lluvia. Por otro lado, considerando lo expuesto en el apartado 6 se adoptó como lluvia crítica una duración de 6 hs. Entonces, para determinar la lluvia de diseño se adoptó una duración de 360 min.

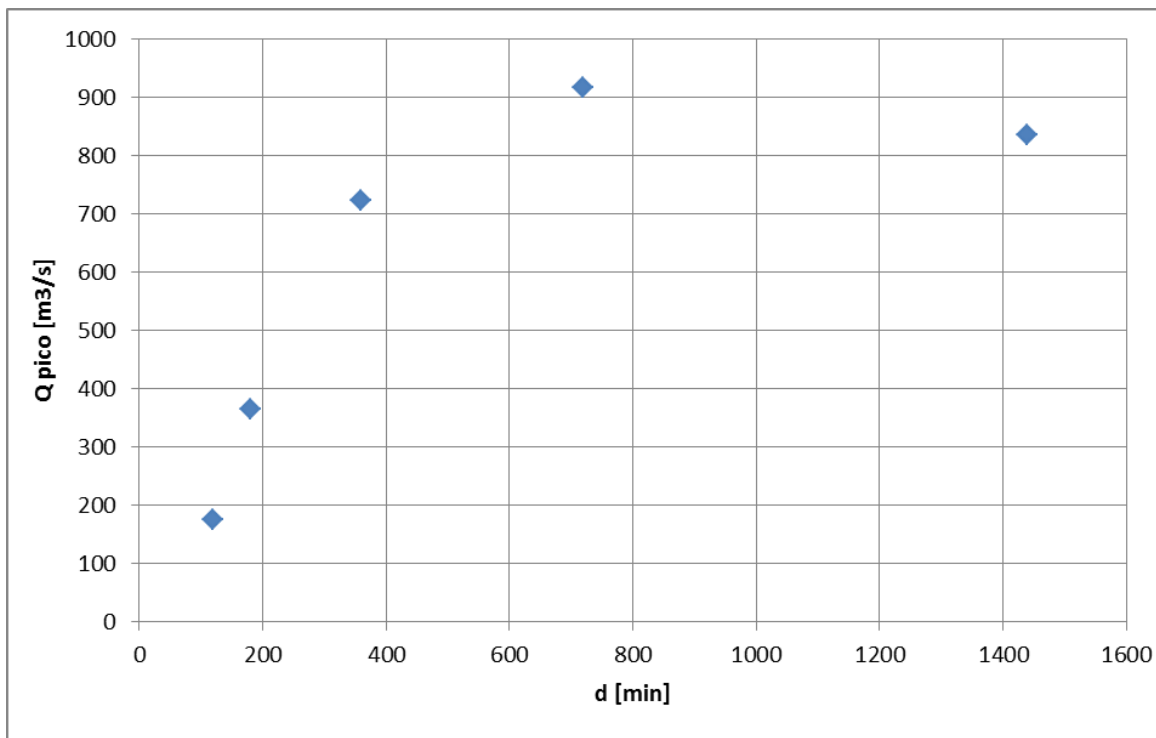


Figura 100. Caudales pico obtenidos para diferentes duraciones de lluvia en el punto de cierre de la cuenca Los Mistoles (LM_Pto01).

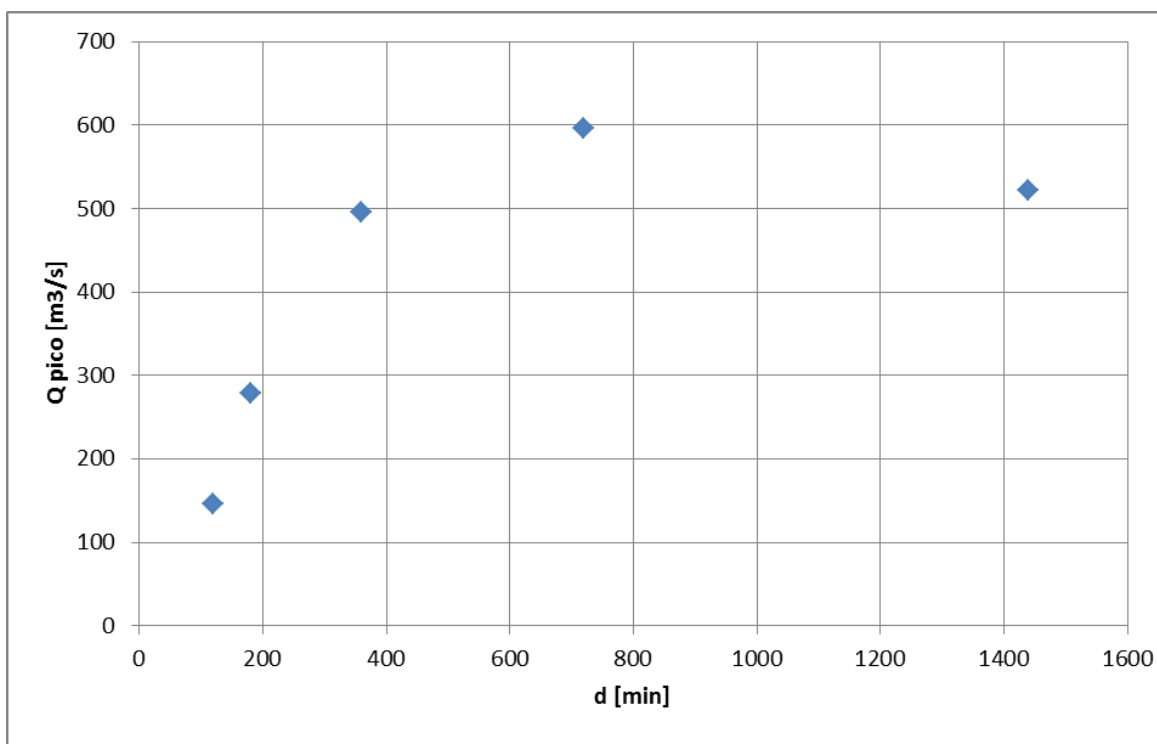


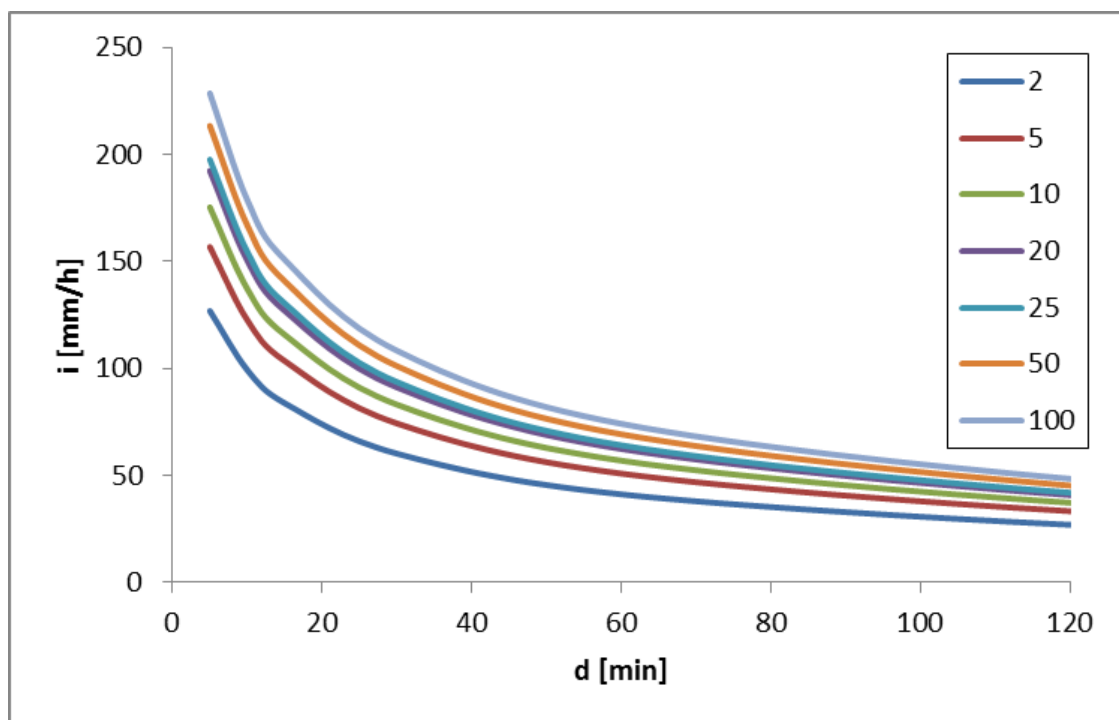
Figura 101. Caudales pico obtenidos para diferentes duraciones de lluvia en la localidad de Villa Totoral (LM Conf. 03).

7.5 Lluvia de Diseño

La probabilidad de ocurrencia de una lluvia depende de su persistencia o duración por lo que hace falta establecer la relación entre tres variables: la intensidad (i), la duración (d), y el período de retorno (T , inversamente relacionado a la probabilidad de ocurrencia) las cuales requieren para su construcción de registros continuos (pluviografía), escasos en Argentina (al igual que en muchos lugares del mundo), tanto por su cobertura espacial como por la extensión temporal de sus series. Estas curvas o relaciones están disponibles en la estación La Suela, representativa de la zona Sierras en la provincia de Córdoba (Caamaño et al. 2003). Esta información se transpuso a la estación pluviométrica Ascochinga más cercanas a la zona de estudio (donde se encuentren disponibles registros pluviométricos históricos) regionalizando la información pluviográfica de la estación La Suela con técnicas apropiadas asumiendo que esta estación pluviográfica y la estación pluviométrica se encuentran en una zona meteorológicamente homogénea de acuerdo a lo propuesto por Caamaño et al., 2003. Para ello se utilizó el algoritmo denominado DIT (Caamaño y García, 1999) que parametriza el rol de la lluvia diaria en el vínculo i - d - T y permite transponerlo como una superficie tridimensional continua.

Curvas IDT

Aplicando el método DIT, partiendo de la estación pluviográfica base de La Suela, se estimó la relación IDT en la localidad de Ascochinga, para ser aplicada al caso de estudio.



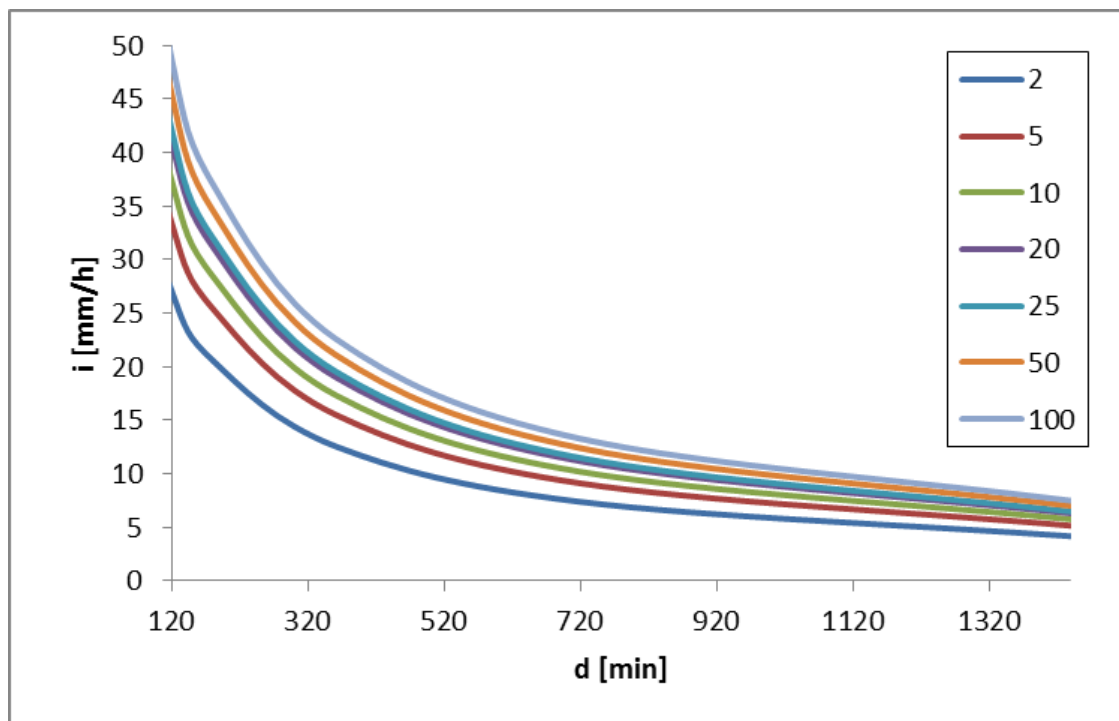


Figura 102. Curva IDT en la localidad de Ascochinga para duraciones de 5 a 120 min (gráfico superior) y para duraciones mayores a 120 min (gráfico inferior).

Hietogramas de Diseño

Partiendo de las curvas IDT se estimaron las láminas de diseño asociadas a las distintas recurrencias (25, 50 y 100 años):

Debido a que el área de la cuenca es mayor a 25 km^2 , para todas las cuencas en estudio, se aplicó el Coeficiente de Decaimiento Areal (CDA), para lo cual se utilizó el método CODA (Catalini, 2001).

Utilizando la “Distribución Sintética De Lluvias Intensas en el área serrana de la provincia de Córdoba, Argentina” de Dasso y Caamaño Nelli se obtienen los siguientes hietogramas de diseño se obtuvieron los hietogramas de diseño de cada una de las cuencas.

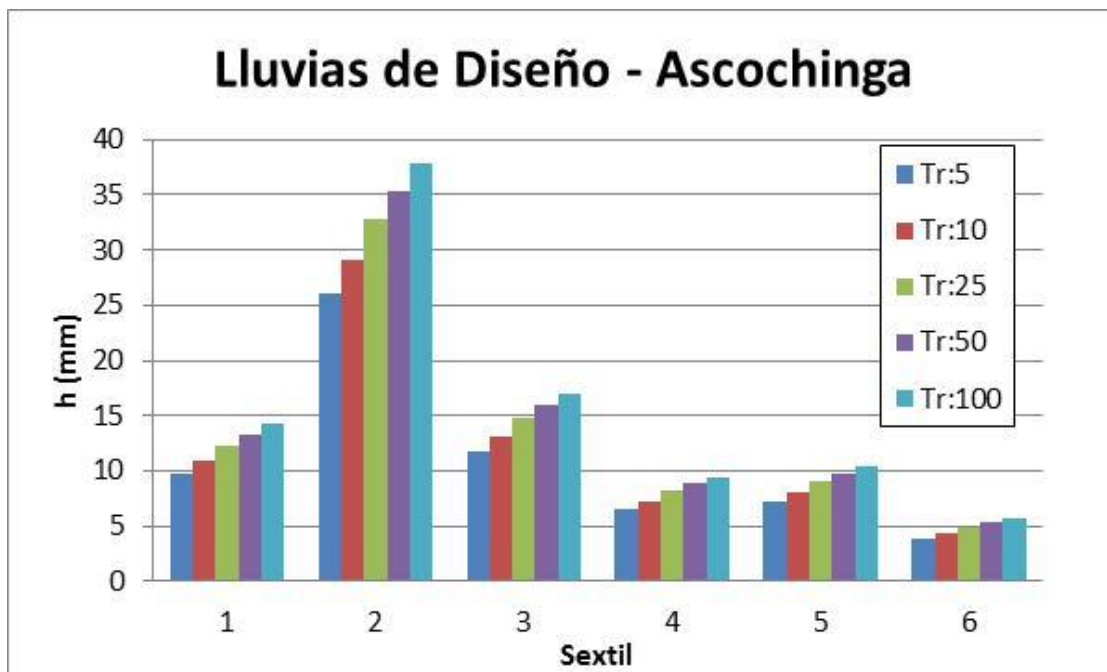


Figura 103. Lluvia de diseño en la cuenca del Río Ascochinga para Tr: 25, 50 y 100 años.

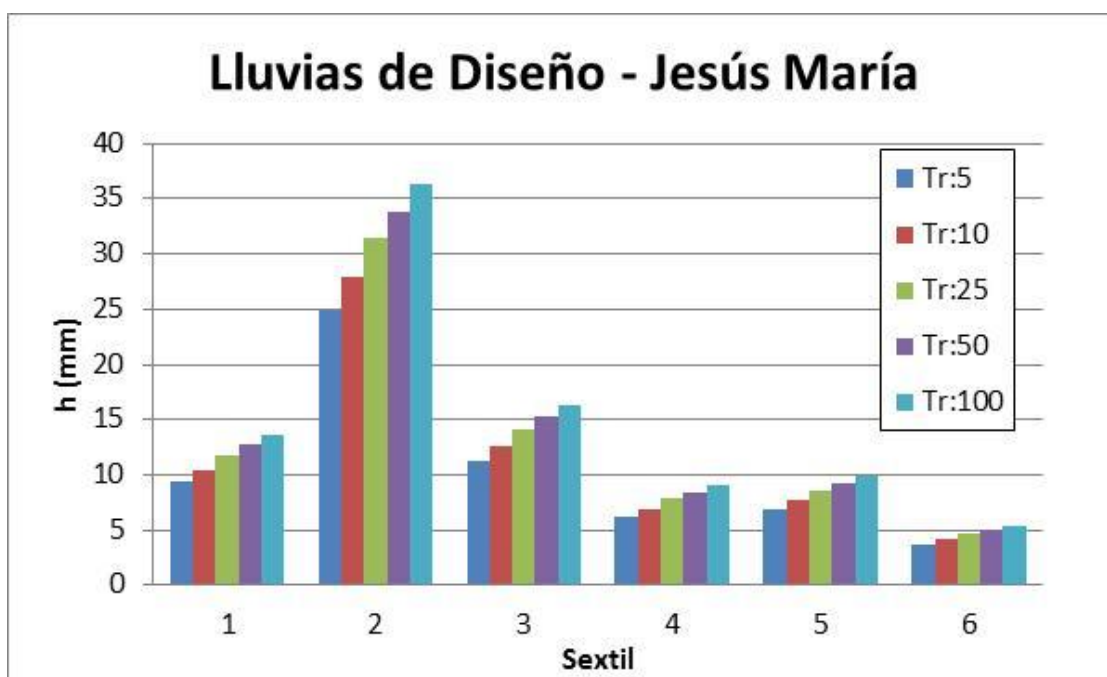


Figura 104. Lluvia de diseño en la cuenca del Río Guanusacate para Tr: 25, 50 y 100 años.

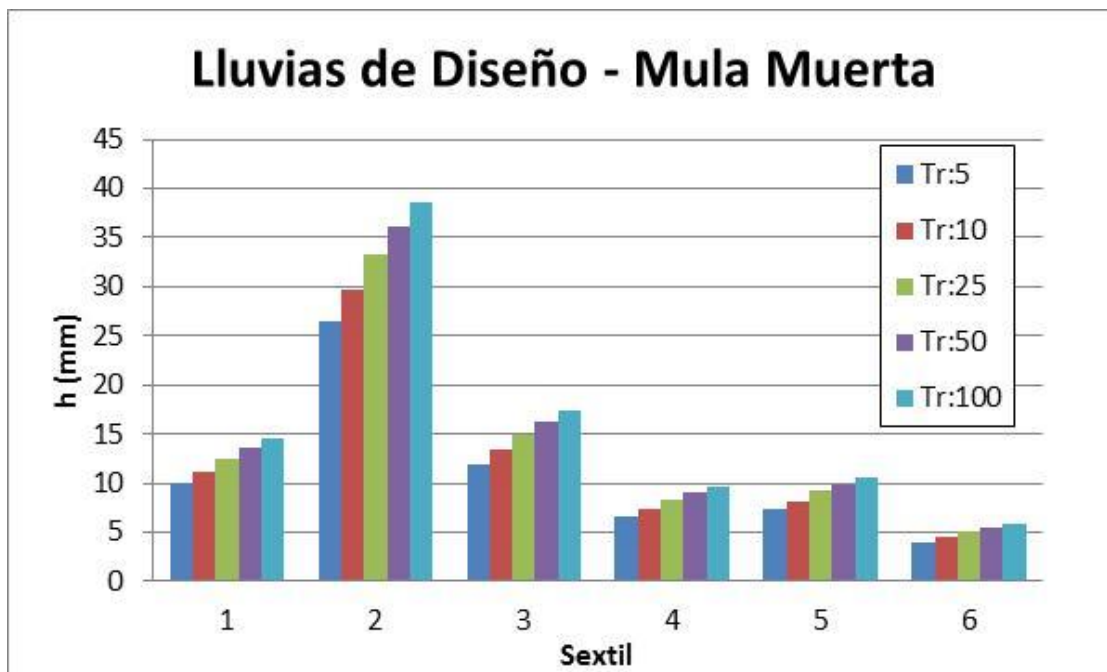


Figura 105. Lluvia de diseño en la cuenca del Arroyo Mula Muerta para Tr: 25, 50 y 100 años.

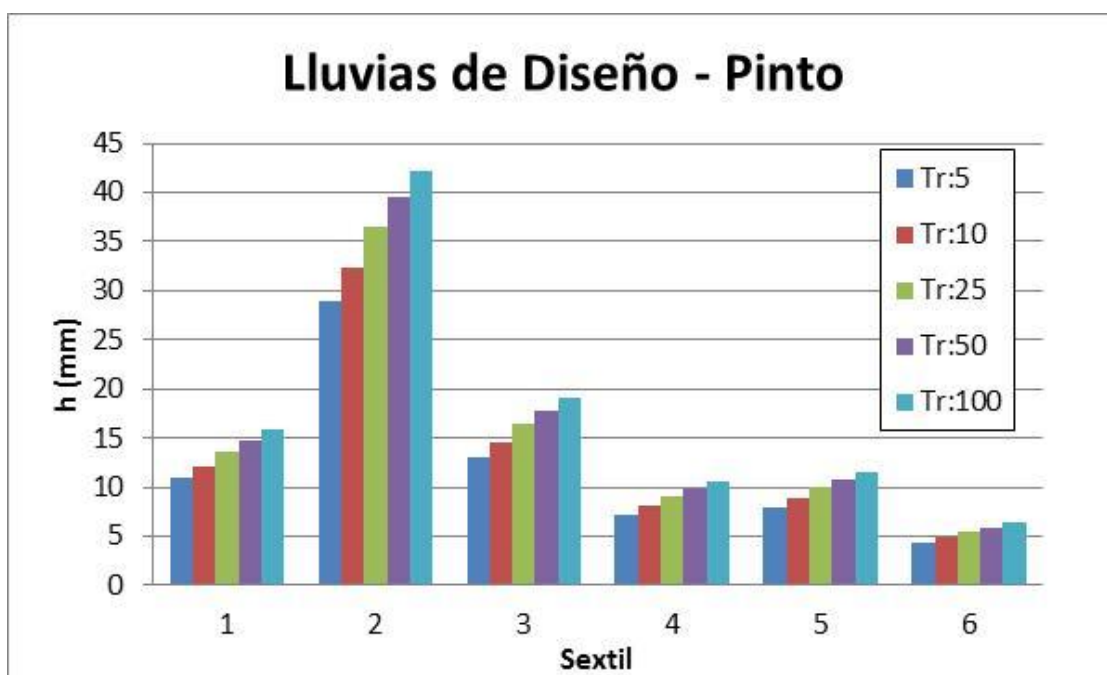


Figura 106. Lluvia de diseño en la cuenca del Río Pinto para Tr: 25, 50 y 100 años.

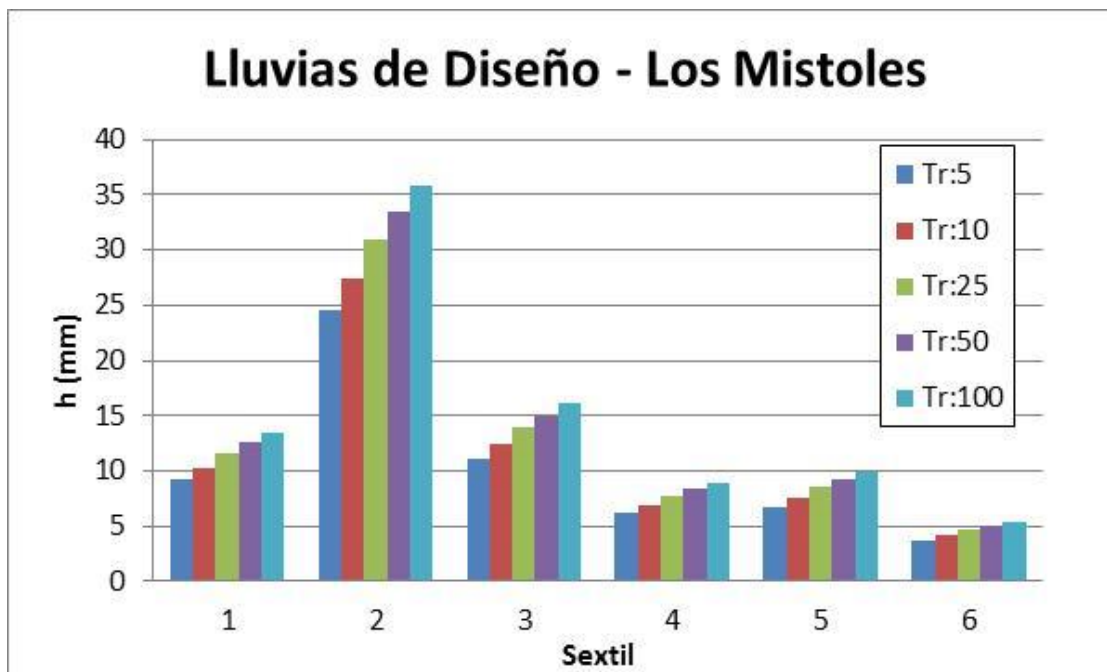


Figura 107. Lluvia de diseño en la cuenca del Río Los Mistoles para Tr: 25, 50 y 100 años.

7.6 Resultados hidrológicos

A continuación se presentan los resultados obtenidos del estudio hidrológico para cada una de las cuencas se presenta la ubicación de los “Puntos de Interés” y sus respectivos caudales pico para diferentes recurrencias:

7.6.1 Cuenca del Río Carnero

En la Figura 108 se presenta la ubicación de los “Puntos de Interés” y en la Tabla 64 los caudales picos asociados a recurrencias de 5, 10, 25, 50 y 100 años.

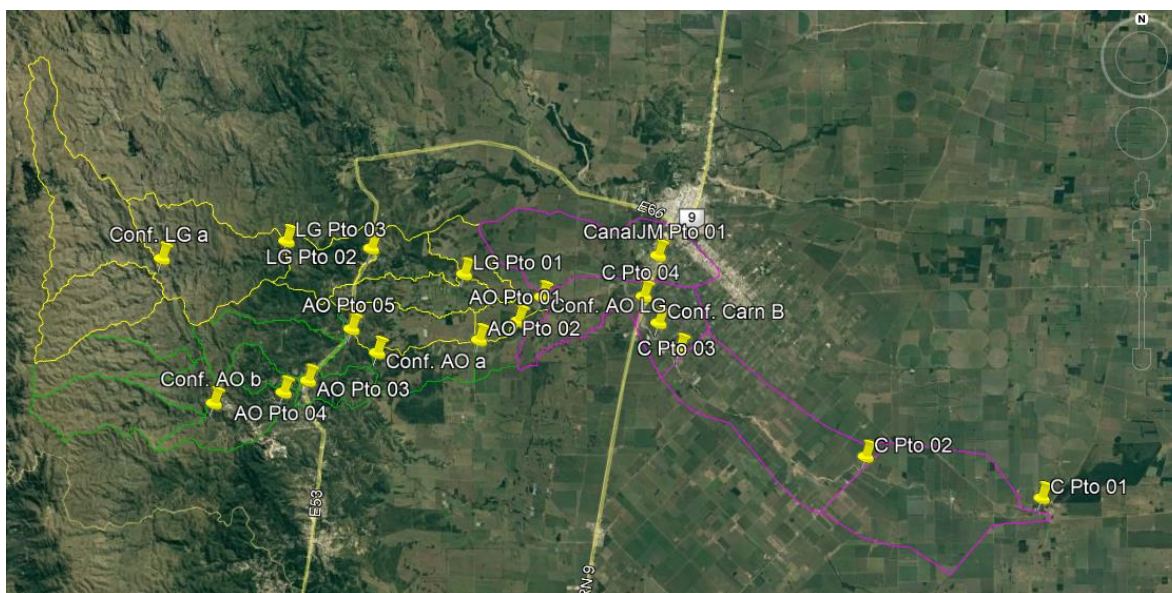


Figura 108. Ubicación de “Puntos de Interés” en la cuenca del Río Carnero.

Tabla 64. Caudales picos en los “Puntos de Interés” de la cuenca del Río Carnero para Tr: 5, 10, 25, 50 y 100 años.

Nodo	Coordenadas		Caudal (m ³ /s)				
	Latitud	Longitud	Tr: 100	Tr: 50	Tr: 25	Tr: 10	Tr: 5
AO Pto 01	31° 02' 28.91" S	64° 11' 10.81" O	231.8	201.5	171.6	132.1	102.1
AO Pto 02	31° 03' 00.63" S	64° 12' 27.81" O	232.9	202.2	172.1	132.5	102.4
AO Pto 03	31° 04' 08.72" S	64° 18' 01.69" O	168.7	147.7	126.8	99	77.6
AO Pto 04	31° 04' 28.06" S	64° 18' 49.10" O	168.1	147.2	126.4	98.8	77.4
AO Pto 05	31° 02' 42.11" S	64° 16' 36.88" O	43.1	36.7	30.6	22.8	17.3
Conf.LG_a	31° 00' 44.32" S	64° 22' 42.23" O	129.4	114.2	99.1	78.8	63
Conf. AO a	31° 03' 21.94" S	64° 15' 47.04" O	224.8	195.7	167	128.9	99.9

Nodo	Coordenadas		Caudal (m ³ /s)				
	Latitud	Longitud	Tr: 100	Tr: 50	Tr: 25	Tr: 10	Tr: 5
Conf. AO b	31° 04' 45.89" S	64° 21' 03.73" O	141	124	107.1	84.4	66.7
Conf. AO LG	31° 01' 48.49" S	64° 10' 24.20" O	521.3	455.6	390.8	304.8	238.6
Conf. Carn B	31° 02' 32.01" S	64° 06' 35.46" O	527.1	448.5	370.6	45.7	32.6
C Pto 01	31° 07' 27.13" S	63° 53' 58.33" O	288.2	195.2	103.2	24.4	18
C Pto 02	31° 06' 17.20" S	63° 59' 47.02" O	386	299.1	213.2	24	17.7
C Pto 03	31° 03' 17.18" S	64° 05' 54.49" O	513.9	433.2	353.4	23.7	17.2
C Pto 04	31° 01' 47.14" S	64° 07' 04.67" O	477.3	408	339.6	89.5	61.1
LG Pto 01	31° 01' 09.92" S	64° 12' 56.75" O	238.3	209.9	181.6	143.6	114.1
LG Pto 02	31° 00' 26.89" S	64° 15' 58.21" O	226.7	199.9	173.2	137.4	109.4
LG Pto 03	31° 00' 12.70" S	64° 18' 36.32" O	22	18.7	15.6	11.6	8.8
Canal JM Pto 01	31° 00' 38.45" S	64° 06' 36.30" O	88.7	78.5	68.3	54.5	43.7

7.6.2 Cuenca del Río Guanusacate

En la Figura 109 se presenta la ubicación de los “Puntos de Interés” y en la Tabla 65 los caudales picos asociados a recurrencias de 5, 10, 25, 50 y 100 años.

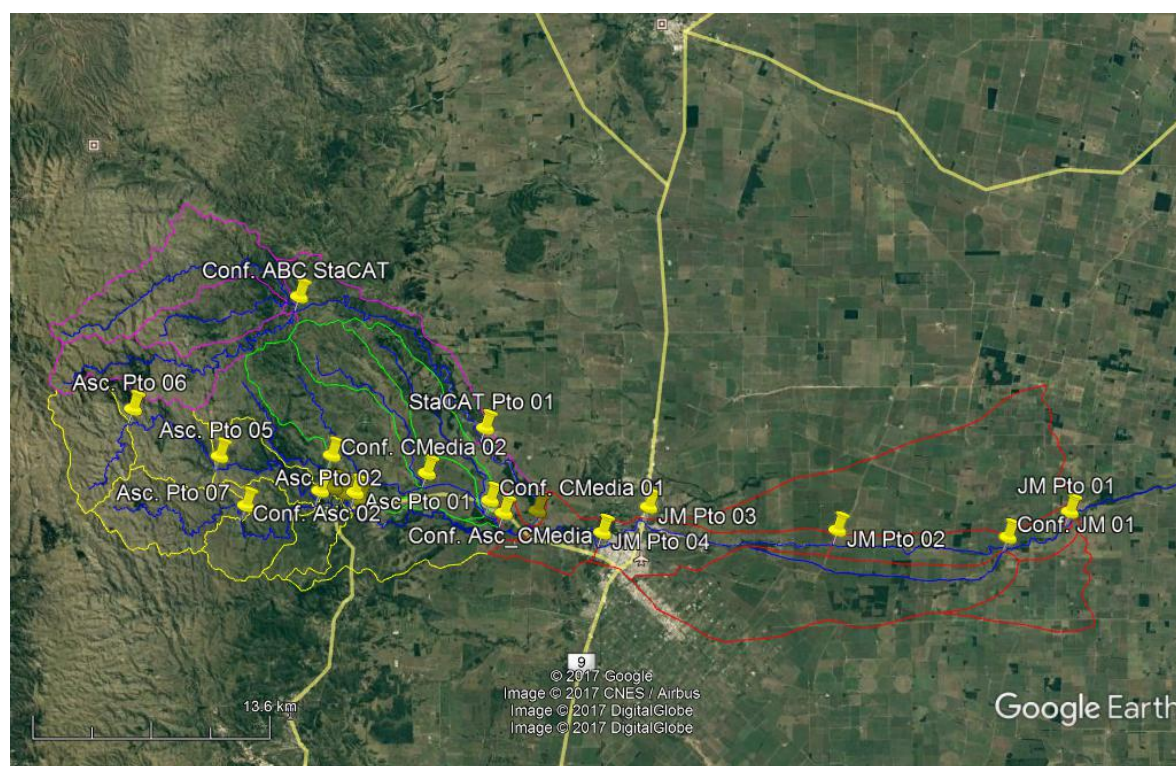


Figura 109. Ubicación de “Puntos de Interés” en la cuenca del Río Guanusacate.

Tabla 65. Caudales picos en los “Puntos de Interés” de la cuenca del Río Guanusacate para Tr: 5, 10, 25, 50 y 100 años.

Nodo	Coordenadas		Caudal (m ³ /s)				
	Latitud	Longitud	Tr: 100	Tr: 50	Tr: 25	Tr: 10	Tr: 5
Asc. Pto 01	30° 57' 29.00" S	64° 15' 45.13" O	30.4	26.1	21.9	16.6	12.7
Asc. Pto 02	30° 56' 18.08" S	64° 16' 35.89" O	28.7	24.6	20.6	15.7	12
Asc. Pto 03	30° 57' 30.08" S	64° 16' 07.05" O	257.8	224.9	191.9	148.8	115.6
Asc. Pto 04	30° 57' 19.55" S	64° 16' 32.68" O	258	225.1	192	148.9	115.7
Asc. Pto 05	30° 56' 19.01" S	64° 20' 39.81" O	121.7	107	92.1	72.4	57
Asc. Pto 06	30° 54' 49.20" S	64° 23' 45.90" O	64.6	56.7	48.7	38.2	30
Asc. Pto 07	30° 57' 52.21" S	64° 19' 43.68" O	66.7	58.7	50.7	40	31.6
Conf. ABC StaCAT	30° 51' 17.73" S	64° 17' 45.94" O	219.6	194.1	168.1	133.7	106.6
Conf. Asc 01	30° 57' 43.26" S	64° 15' 35.59" O	288.2	250.9	213.6	165	127.8
Conf. Asc 02	30° 57' 25.42" S	64° 17' 01.98" O	242.7	212.1	181.4	141.2	110.1
Conf. Asc_CMedia	30° 58' 08.48" S	64° 10' 16.76" O	130.4	112.5	94.9	72.3	55
Conf. Asc_StaCAT	30° 58' 04.30" S	64° 09' 02.43" O	699.7	609.9	520.0	403.0	313.6
Conf. CMedia 01	30° 57' 44.50" S	64° 10' 46.85" O	130.4	112.5	94.9	72.3	55
Conf. CMedia 02	30° 56' 52.45" S	64° 13' 06.59" O	90.1	77.8	65.8	50.4	38.7
Conf. JM 01	30° 58' 55.28" S	63° 51' 35.21" O	366.9	259.3	151.3	42.6	30.7
JM Pto 01	30° 58' 07.05" S	63° 49' 16.79" O	338	230.1	122	15.8	6.2
JM Pto 02	30° 58' 41.77" S	63° 57' 55.74" O	469.8	373.2	276.2	149.5	52
JM Pto 03	30° 57' 57.47" S	64° 04' 55.49" O	637.3	543.9	450.3	328.3	234.5
JM Pto 04	30° 58' 46.02" S	64° 06' 38.30" O	649.2	556.9	464.5	344.1	251.8
StaCAT Pto 01	30° 55' 26.96" S	64° 10' 57.28" O	246.5	217.3	187.7	148.5	118

7.6.3 Cuenca del Mula Muerta

En la Figura 110 se presenta la ubicación de los “Puntos de Interés” y en la Tabla 66 los caudales picos asociados a recurrencias de 5, 10, 25, 50 y 100 años.

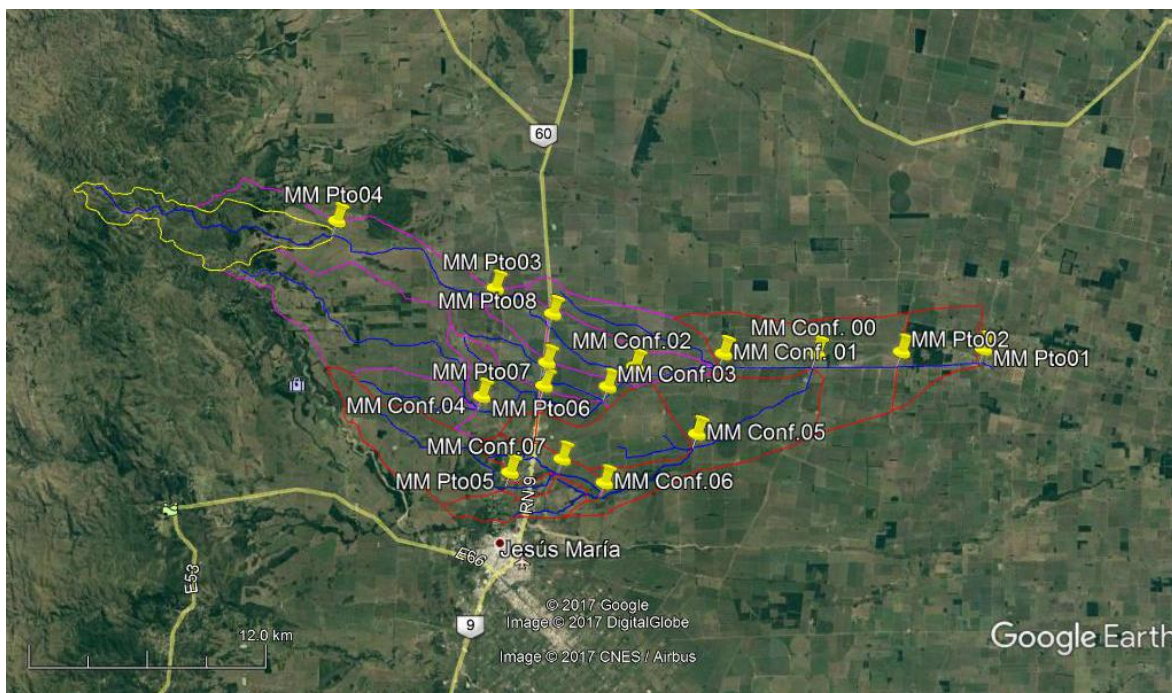


Figura 110. Ubicación de “Puntos de Interés” en la cuenca del Arroyo Mula Muerta.

Tabla 66. Caudales picos en los “Puntos de Interés” de la cuenca del Arroyo Mula Muerta para Tr: 5, 10, 25, 50 y 100 años.

Nodo	Coordenadas		Caudal (m ³ /s)				
	Latitud	Longitud	Tr: 100	Tr: 50	Tr: 25	Tr: 10	Tr: 5
MM Conf. 00	30° 53' 42.37" S	63° 55' 33.44" O	321.6	262.6	204.5	128.9	75.2
MM Conf. 01	30° 53' 42.58" S	63° 58' 35.91" O	211.5	176.3	141.5	95.8	61.2
MM Conf. 02	30° 54' 04.51" S	64° 01' 29.32" O	235.7	204.1	172.8	131.7	100.5
MM Conf. 03	30° 54' 37.85" S	64° 02' 22.92" O	102.9	88.4	74.1	55.6	42
MM Conf. 04	30° 54' 54.07" S	64° 06' 29.04" O	68.8	59	49.4	36.9	28.1
MM Conf. 05	30° 55' 57.36" S	63° 59' 28.00" O	105.3	90.1	75.3	56.3	42.4
MM Conf. 06	30° 57' 19.38" S	64° 02' 29.17" O	62.1	53.2	44.5	33.2	25
MM Conf. 07	30° 56' 39.19" S	64° 03' 51.97" O	43.8	37.5	31.4	23.4	17.7
MM Pto01	30° 53' 34.37" S	63° 50' 04.64" O	227.3	161.5	96.8	23.9	10.9
MM Pto02	30° 53' 39.40" S	63° 52' 46.15" O	280.3	217.3	155.2	74.6	21.6
MM Pto03	30° 51' 52.58" S	64° 06' 02.10" O	100.8	88.3	75.8	59.1	46.2
MM Pto04	30° 50' 00.15" S	64° 11' 09.94" O	69.7	62	54.2	43.6	35.1
MM Pto05	30° 57' 01.50" S	64° 05' 33.87" O	35.4	30.3	25.3	18.8	14.3
MM Pto06	30° 57' 19.38" S	64° 02' 29.17" O	85.2	73.1	61.3	45.9	34.8
MM Pto07	30° 56' 39.19" S	64° 03' 51.97" O	14	11.8	9.7	7.1	5.2
MM Pto08	30° 52' 35.30" S	64° 04' 10.06" O	110.2	96.4	82.7	64.4	50.2

7.6.4 Cuenca del Río Pinto

En la Figura 111 se presenta la ubicación de los “Puntos de Interés” y en la Tabla 67 los caudales picos asociados a recurrencias de 5, 10, 25, 50 y 100 años.

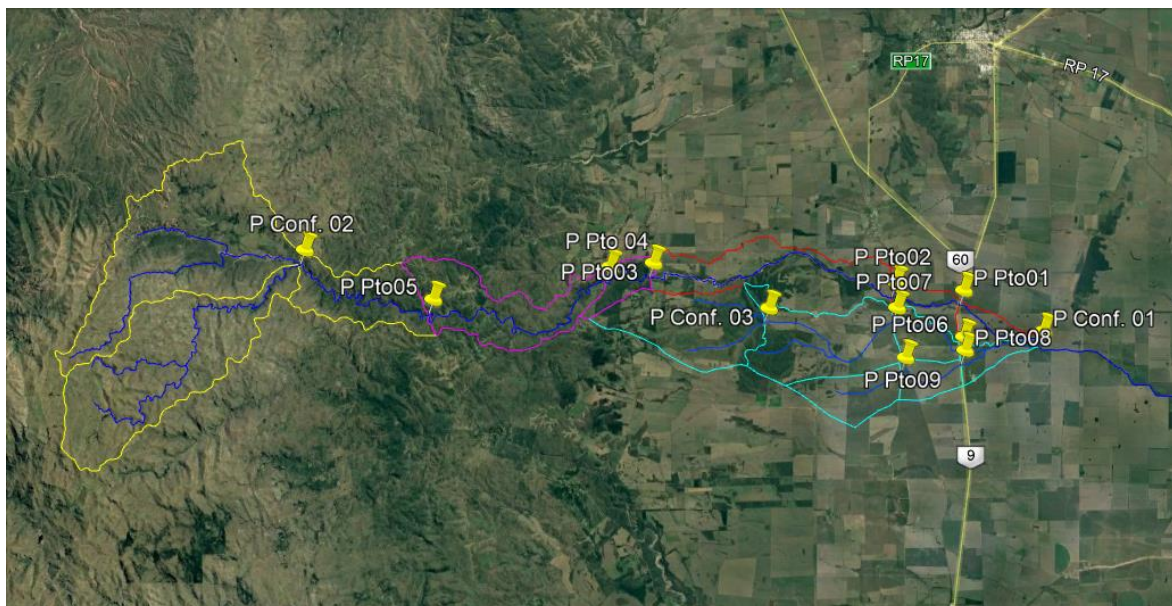


Figura 111. Ubicación de “Puntos de Interés” en la cuenca del Río Pinto.

Tabla 67. Caudales picos en los “Puntos de Interés” de la cuenca del Río Pinto para Tr: 5, 10, 25, 50 y 100 años.

Nodo	Coordenadas		Caudal (m ³ /s)				
	Latitud	Longitud	Tr: 100	Tr: 50	Tr: 25	Tr: 10	Tr: 5
P Conf. 01	30° 49' 01.95" S	64° 02' 17.78" O	80.7	69.4	58.5	44.4	33.7
P Conf. 02	30° 47' 17.46" S	64° 21' 05.46" O	168.7	150.7	132.5	107.7	88
P Conf. 03	30° 48' 32.58" S	64° 09' 20.38" O	72	61.8	52	39.4	30
P Pto01	30° 48' 08.58" S	64° 04' 20.74" O	28.9	11.1	6.6	4.9	3.7
P Pto02	30° 47' 58.83" S	64° 06' 05.83" O	72.4	45.2	29.5	22.4	17.3
P Pto03	30° 47' 33.54" S	64° 12' 16.97" O	212.5	188.7	164.7	132.3	106.8
P Pto04	30° 47' 38.96" S	64° 13' 23.36" O	207.9	184.7	161.3	129.8	104.9
P Pto05	30° 48' 21.47" S	64° 17' 52.13" O	188.5	168	147.3	119.2	97
P Pto06	30° 49' 09.93" S	64° 04' 20.73" O	56.6	48.6	40.9	31	23.5
P Pto07	30° 48' 31.68" S	64° 06' 03.63" O	49.9	42.8	36	27.3	20.7
P Pto08	30° 49' 27.57" S	64° 04' 18.79" O	15.4	13.2	11.1	8.5	6.4
P Pto09	30° 49' 37.45" S	64° 05' 50.48" O	9.9	8.5	7.2	5.5	4.1

7.6.5 Cuenca del Río Los Mistoles

En la Figura 112 se presenta la ubicación de los “Puntos de Interés” y en la Tabla 68 los caudales picos asociados a recurrencias de 5, 10, 25, 50 y 100 años.

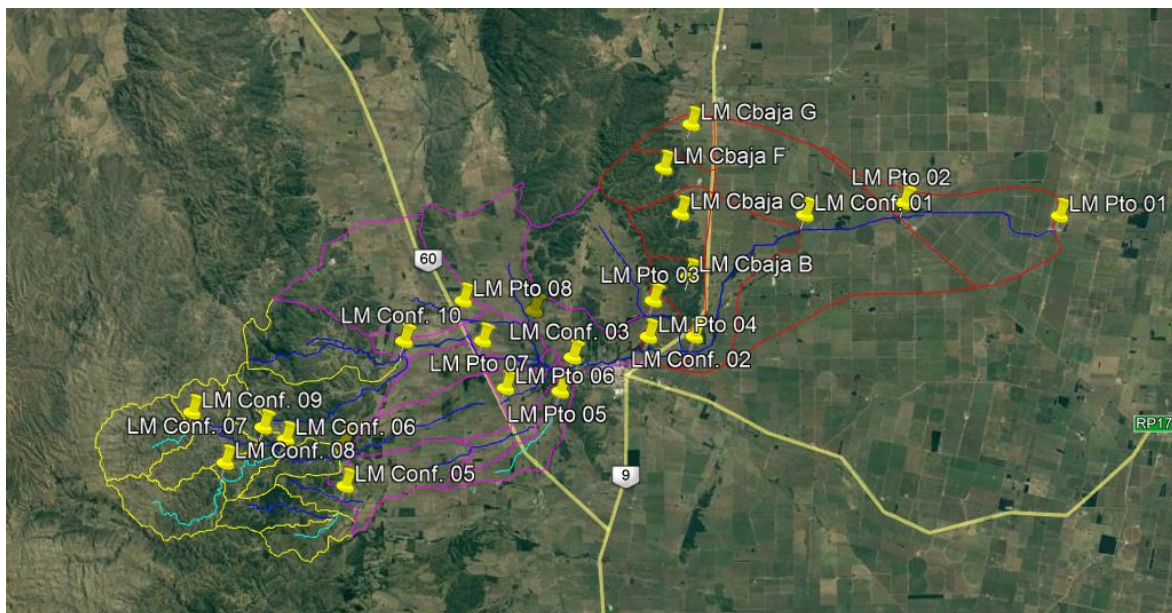


Figura 112. Ubicación de “Puntos de Interés” en la cuenca del Río Los Mistoles.

Tabla 68. Caudales picos en los “Puntos de Interés” de la cuenca del Río Los Mistoles para Tr: 5, 10, 25, 50 y 100 años.

Nodo	Coordenadas		Caudal (m ³ /s)				
	Latitud	Longitud	Tr: 100	Tr: 50	Tr: 25	Tr: 10	Tr: 5
LM Cbaja_B	-	-	16.8	14.1	11.5	8.5	6.3
LM Cbaja_C	-	-	26.7	22.4	18.3	13.4	9.9
LM Cbaja_F	-	-	25.2	21.4	17.6	13.1	9.9
LM Cbaja_G	-	-	17.6	14.7	11.9	8.4	6.2
LM Conf. 01	30° 37' 50.65" S	63° 57' 01.59" O	510.3	415.7	322.1	202	112
LM Conf. 02	30° 41' 41.01" S	64° 01' 05.05" O	545.1	458.2	372.3	262.5	181.1
LM Conf. 03	30° 42' 20.44" S	64° 05' 32.57" O	521.5	448	375.6	283.8	216.2
LM Conf. 04	30° 40' 51.92" S	64° 06' 57.58" O	105.1	90.3	75.8	57.2	43.4
LM Conf. 05	30° 46' 22.24" S	64° 13' 50.57" O	46	39.6	33.3	25.2	19.3
LM Conf. 06	30° 44' 53.78" S	64° 16' 00.05" O	174.9	153.3	131.3	102.4	80.2
LM Conf. 07	30° 44' 31.15" S	64° 16' 48.66" O	120.5	105.5	90.3	70	54.4
LM Conf. 08	30° 45' 37.73" S	64° 18' 11.68" O	43.2	38	32.7	25.7	20.3
LM Conf. 09	30° 44' 02.72" S	64° 19' 23.05" O	55.7	48.6	41.5	32.1	24.8
LM Conf. 10	30° 41' 49.51" S	64° 11' 41.74" O	84.5	72.2	60.4	45.7	34.7

Nodo	Coordenadas		Caudal (m ³ /s)				
	Latitud	Longitud	Tr: 100	Tr: 50	Tr: 25	Tr: 10	Tr: 5
LM Pto 01	30° 37' 50.95" S	63° 47' 38.88" O	564.5	448.2	332.9	184.3	72.3
LM Pto 02	30° 37' 27.11" S	63° 53' 22.20" O	584.7	473.5	363.4	221.7	115.1
LM Pto 03	30° 40' 33.08" S	64° 02' 35.10" O	60.5	52	43.8	33.3	25.5
LM Pto 04	30° 41' 41.39" S	64° 02' 45.62" O	504.5	426.8	350.1	252.2	180
LM Pto 05	30° 43' 24.65" S	64° 05' 59.57" O	83.6	71.5	59.7	44.9	34
LM Pto 06	30° 43' 18.36" S	64° 07' 59.69" O	210.6	183.3	155.8	120	92.8
LM Pto 07	30° 41' 48.77" S	64° 08' 49.83" O	104	88.9	74.3	55.9	42.4
LM Pto 08	30° 40' 33.37" S	64° 09' 32.15" O	72.3	62.1	52.3	39.8	30.4
LM Pto 09	30° 45' 03.23" S	64° 13' 53.76" O	188.8	165.1	141.2	109.7	85.5

8 Conclusiones

- En el Ambiente de Montaña el proceso dinámico que involucra las situaciones de amenaza más severas, se representa por las crecientes repentinas en los principales colectores de la red de drenaje regida por condicionamiento natural (geología, relieve, vegetación y clima). Frente a esta situación la población de La Granja en la cuenca del Río Carnero, es la población comprometida en mayor medida.
- En los interfluvios sobre laderas los procesos erosivos ligados a la acción del escurrimiento elemental en todas las cuencas consideradas y los procesos de remoción en masa detectados, se encuadran dentro de los procesos geológicos normales, aunque con tendencia a la intensificación en el caso de la erosión, dependiendo del estado de la cubierta de vegetación.
- En el Ambiente del Piedemonte como proceso dinámico de mayor peso, se destaca la erosión hídrica acelerada en todas sus formas condicionada por la disminución y/o eliminación completa de la cubierta de vegetación natural para el uso agrícola, el aumento de las precipitaciones y la ausencia de prácticas de conservación en buena parte del ambiente de todas las cuencas. Los procesos presentan alta tendencia a la intensificación y generalización. Ante esta situación de las cuencas consideradas, se destaca la del Aº Mula Muerta y la de los ríos Los Mistoles (subcuencas: Río de Las Talas y El Manzano) y Pinto.
- Por su parte en el mismo ambiente los procesos fluviales en forma de inundaciones y erosión de márgenes, adquieren en mayor o menor medida significativa importancia. Considerando el alcance y tendencia de los procesos y las zonas expuestas, se destaca la cuenca del Río Guanusacate, en donde áreas rurales productivas, urbanas y periurbanas de la Ciudad de Jesús María, enfrentan el mayor grado de Amenaza. Como infraestructura vial se destaca la amenaza potencial por erosión de márgenes de puentes sobre la ruta N9 de los ríos Carnero, Guanusacate y Los Mistoles.
- En la Pampa Loéssica Alta los nuevos procesos fluviales manifiestos en la avulsión, derrames y colmatación por depósitos aluviales adquieren importancia en todos los casos. Algunas obras de canalización para evacuar los excedentes en algunos casos han favorecido el avance del proceso.
- Considerando el alcance de los procesos y su potencial, se destaca la fuerte tendencia a la integración de un único sistema al este de la zona de estudio, de las cuencas de los ríos Guanusacate, Mula Muerta y Pinto, cuyo colector común afectaría la población de Obispo Trejo y todo el entorno rural productivo.
- El estudio hidrológico permitió cuantificar los escurrimientos en diferentes puntos de interés, se observa que la cuenca alta aporta la mayor proporción de los caudales correspondientes a eventos extremos. Esta situación evidencia que la regulación de

caudales, que generan fenómenos de crecidas repentinas, debe ser planteada en la cuenca alta.

9 Recomendaciones y propuestas de medidas correctivas

Crecidas Repentinas

Con el objetivo de reducir los efectos provocados por crecidas repentinas en los sectores considerados se pueden plantear medidas estructurales y no estructurales.

Las “**medidas estructurales**” tienen como finalidad actuar sobre la amenaza, es decir controlar los escurrimientos superficiales con el fin de reducir los caudales que escurren por los cauces naturales.

Se proponen las siguientes medidas estructurales:

- Analizar Embalses de Regulación: Antes de su ejecución se debe realizar un estudio hidrológico/hidráulico detallado y un análisis de factibilidad técnica/económica que justifique la ejecución de este tipo de obra. Las mismas deben ubicarse en la subcuenca alta o media de las cuencas analizadas y tienen como objetivo almacenar los volúmenes escurridos durante los eventos de precipitación y vaciar los mismos en un mayor tiempo.
- Analizar la Capacidad Hidráulica de los Puentes y su posible redimensionamiento a las secciones requeridas por la faja fluvial, y considerar la construcción de vados puentes que puedan ser utilizados en un corto periodo con posterioridad a un evento.
- Analizar Medidas de Estabilización de Márgenes: las mismas deben respetar la sección máxima y evaluar la tendencia evolutiva del proceso, para no trasladar la problemática aguas abajo en caso de achicar la sección del canal.

Las “**medidas no estructurales**” no intentan reducir la amenaza sino la vulnerabilidad de la población ante la ocurrencia de eventos extremos:

- Confeccionar mapas de riesgo y de inundación en las poblaciones bajo amenaza. Indicativos de la dinámica y alcance de las inundaciones ordinarias y extremas y procesos asociados.
- Transferencia y capacitación a referentes locales, organismos de defensa civil y población en general de cómo actuar ante situación de alerta, sitios de evacuación, y prioridades de traslado.
- Modificar ordenanzas de usos de suelo que limiten la expansión urbana en las áreas sujetas a amenaza. Limitar los usos en los sectores ya urbanizados ubicados en áreas amenazadas que impliquen la concentración de personas tales como colegios, hospitales, clubes entre otros.

- Instalar sistemas de alerta en la cuenca y articular con las diferentes instituciones competentes planes de contingencia ante la ocurrencia de eventos extraordinarios.
- Trasladar o mitigar los procesos de inestabilidad de los sitios de disposición final de residuos sólidos urbanos de las localidades de Jesús María y Colonia Caroya ya que se encuentran afectados por erosión de márgenes.

10 ANEXO

10.1 Practicas agronómicas de conservación

La calidad de suelo es la capacidad funcional que permite sustentar la productividad animal y vegetal, mantener o mejorar la calidad del agua, el aire, sostener el asentamiento y salud humanos, con límites ecosistémicos naturales o determinados por el manejo. Las funciones específicas representadas por la calidad del suelo son:

- 1) Captar, mantener y liberar nutrientes y otros compuestos químicos.
- 2) Captar, mantener y liberar agua a las plantas y recargar las napas subterráneas.
- 3) Mantener un hábitat edáfico adecuado para la actividad biológica del suelo.

Debido su carácter dinámico esta puede cambiar en el corto o largo plazo, de acuerdo al uso y las prácticas de manejo. Tanto en las cuencas bajo estudio, como en el resto de la provincia de Córdoba se evidencian cambios de magnitud, por el tipo de uso dado en las tres últimas décadas, (Hang, 2015).

La agriculturización con desbalances en extracción y reposición de nutrientes (Figura 113) como así también el nuevo ordenamiento predial con lotes más grandes para aprovechamiento del uso de maquinarias, la intensificación ganadera (engorde a corral versus pastoreo), han generado un desbalance de los parámetros de calidad evidenciado por la disminución en los contenidos de materia orgánica, las relaciones C/N bajas, los cambios en el pH , que indican un empobrecimiento del suelo en todo sus aspectos (físico, biológico y químico).

El tránsito de maquinarias por efecto secundario de la siembra directa, el sobrepastoreo y los incendios, favorecieron los procesos de compactación superficial que inciden de modo directo en la aceleración de los procesos erosivos.

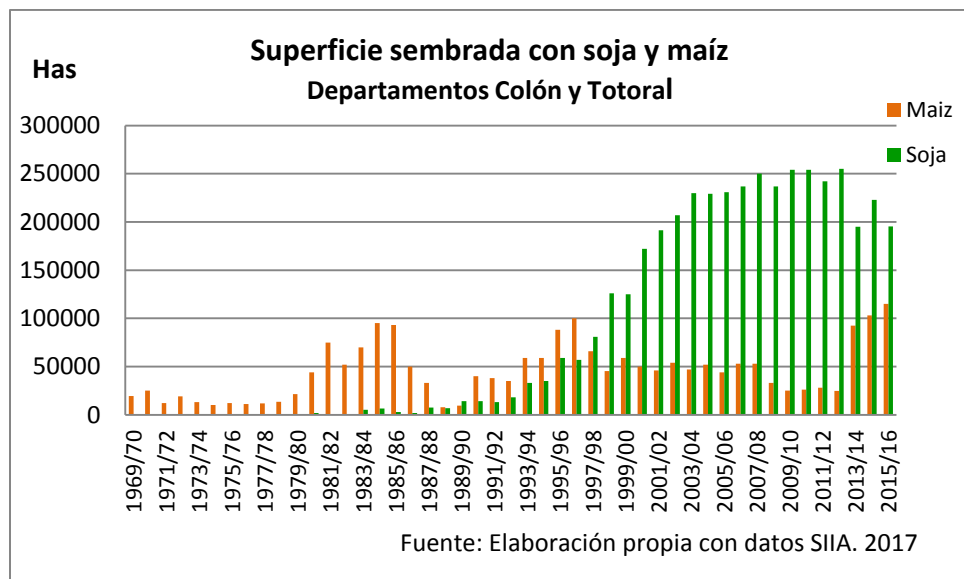


Figura 113. Evolución histórica de la superficie sembrada con soja y maíz.

El mejoramiento de la calidad de un suelo se percibe, en general, por el aumento o disminución del valor de alguna característica, como así también con indicadores de tipo ecológicos –biológicos que deben ser definidos para cada tipo de suelo en particular.

En este punto, la materia orgánica es un factor clave ya que además cumple un rol de filtro de sustancias que presenten estructuras químicas análogas a componentes de la materia orgánica del suelo. Dentro del grupo de potenciales contaminantes que pueden ser retenidos e inactivados por la materia orgánica del suelo se encuentran numerosos pesticidas, (Hang, 2008).

En base a ello el objetivo de este apartado es establecer propuestas de medidas correctivas o de prevención orientadas a **mejorar o mantener la calidad del suelo y controlar los procesos erosivos hídricos** que se manifiestan en la región, a escala **regional**.

Recomendaciones Generales

1. Implementar prácticas de uso y manejo de suelos conservacionistas, que minimicen los procesos erosivos descriptos (erosión por salpicadura, laminar, en surcos y cárcavas), con fines de control pero también de prevención.
 - a) Mejorar los **contenidos de materia orgánica**: Aumentar la infiltración y mejorar capacidad de almacenamiento de agua en el perfil, con el fin de: reducir el volumen escurrido y mejorar la productividad vegetal. Se conoce que a mayor nivel de materia orgánica los agregados son más estables. En consecuencia, la estabilidad del sistema de poros y la infiltración son mayores cuando se incrementa al contenido de materia orgánica del suelo,

lo que está asociado a un incremento de la resistencia a la erosión. (Álvarez, 2006) Otra propiedad física del suelo afectada por la materia orgánica es la capacidad de retención de agua útil. Los componentes orgánicos humificados retienen mucha más agua útil que la fracción mineral, (Alvarez, 2006).

- b) Priorizar la **cobertura vegetal** en los suelos de la región en cantidad, calidad y permanencia. Suelo cubierto la mayor parte del año y recuperar el estrato arbóreo, arbustivo y herbáceo perenne dentro del sistema productivo. Detener el desmonte y promover la forestación. De esta manera se protegerá al suelo del impacto de la gota de lluvia y se reducirá el caudal escurrido.
 - c) Técnicas de manejo del relieve. Prácticas de tipo estructurales para corregir problemas erosivos.
2. Definir los **indicadores de calidad de suelo** y evaluar los mismos, para poder determinar la práctica más adecuada, como complemento y aporte a las Buenas Prácticas Agrícolas.
3. Determinar los **sistemas de cultivos más adecuados en función a la capacidad de uso de los suelos y el manejo de los mismos en consonancia con su índice de productividad.**

Recordamos que el sistema de clasificación de tierras por su capacidad de uso, utilizado por el Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos (SCS, USDA) distingue ocho clases (señaladas con números romanos I a VIII) que indican un aumento progresivo de las limitaciones que presentan los suelos para el desarrollo de los cultivos. Las cuatro primeras clases incluyen suelos arables, aptos para cultivos. La clase I requiere poco o ningún tratamiento de manejo o conservación especial. Las clases II, III y IV necesitan grados crecientes de cuidado y protección. Las clases V a VII por lo general no son aptas para los cultivos y precisan cuidados progresivamente más intensos aun cuando se destinen para pasturas o a la forestación. Finalmente la clase VIII no tiene aplicación agrícola ni ganadera, sólo sirve para la recreación, para conservación de la fauna silvestre, provisión de agua o fines estéticos.

Existe otro parámetro para categorizar los suelos y es el Índice de Productividad. Este índice tiene como objetivo establecer comparaciones entre las capacidades de producción de los distintos tipos de tierras presentes en un área, partido, región o provincia. Para implementarlo se ha utilizado una regionalización climática y la metodología empleada para determinar los IP de las unidades cartográficas se basa en una fórmula multiplicativa:

$$IPt = H \times D \times Pe \times Ta \times Tb \times Sa \times Na \times Mo \times T \times E$$

Dónde:

IPt: Índice de productividad del suelo considerado (unidad taxonómica)
H: Disponibilidad de agua. Condición climática
D: Drenaje

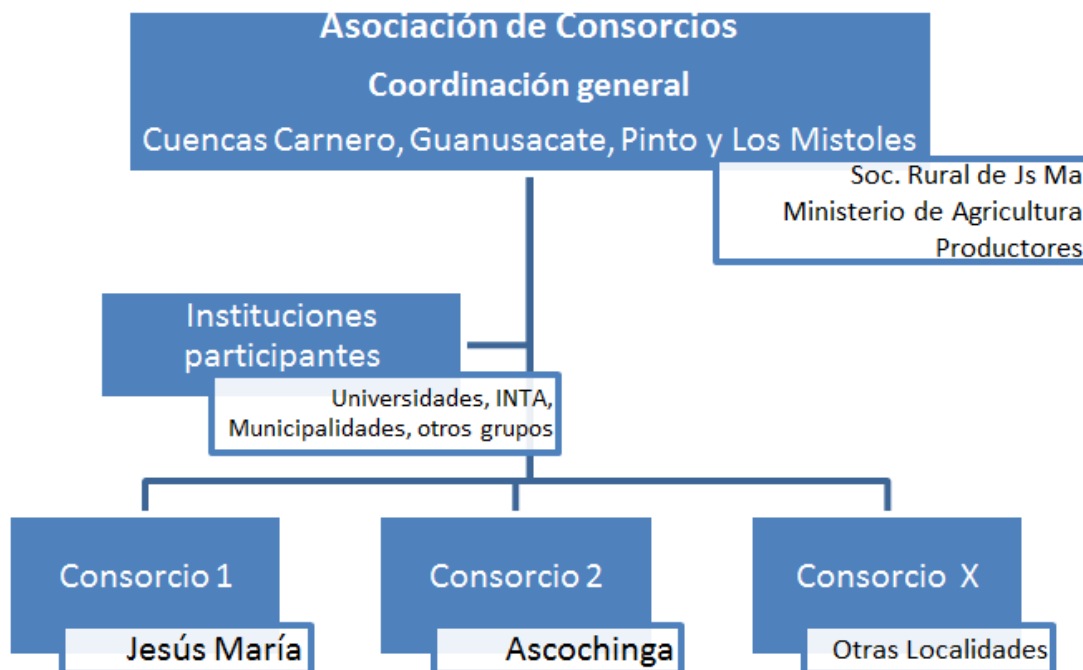
Pe:	Profundidad efectiva
Ta:	Textura del horizonte superficial
Tb:	Textura del horizonte subsuperficial
Sa:	Contenido de sales solubles (dentro de los primeros 75 cm)
Na:	Alcalinidad sódica (consideradas hasta 1 m)
Mo:	Contenido de materia orgánica
T:	Capacidad de intercambio catiónico
E:	Erosión

Cada factor o parámetro descripto ha sido subdividido en Clases, a cada una de las cuales se le ha asignado un valor numérico. Estos valores varían de 10 a 100 y son interpretados como una proporción del rendimiento máximo de los cultivos más comunes bajo un nivel intermedio de manejo. Una vez obtenidos los valores de IPT, se calcula el IPC (Índice de Productividad de las unidades cartográficas), con otra fórmula que incluye la fase, el porciento que ocupa la unidad taxonómica dentro de la unidad cartográfica, componentes taxonómicos de la unidad cartográfica.

El índice calculado se interpreta como una proporción del rendimiento máximo potencial calculado de los cultivos más comunes de la región, ecotipos adaptados, bajo un nivel de manejo medio a alto. Expresado de otra manera, la diferencia a 100 del valor obtenido corresponde al porcentaje de disminución experimentada en los rendimientos máximos debido al efecto de una o más características o cualidades, (Gorjas, 2003).

4. Se propone trabajar con **planes prediales que estén integrados a un plan zonal**, para poder diseñar manejos adecuados por regiones, comprendiendo que cada agroecosistema tiene sus particularidades y se debe hacer atendiendo esas características dentro del microambiente donde se encuentra.

Para este punto se deberá trabajar interinstitucionalmente, aprovechando las posibilidades que brindan hoy los planes y programas gubernamentales que promueven el asociativismo a través de los Consorcios de Conservación de suelo en conjunto con la implementación de las Buenas Prácticas Agrícolas. Esta coordinación permitirá diseñar y evaluar la práctica de conservación implementada en su impacto interno y externo al sistema, previniendo los perjuicios a campos vecinos, caminos, ciudades; como así también gestionar lo necesario para que se implemente lo planificado. Se puede llevar adelante una estructura como la que presenta el siguiente organigrama, aunque se recomienda tomar los antecedentes y experiencias de otras organizaciones que ya vienen trabajando en esto, como por ejemplo la Asociación de Consorcios de Conservación de Suelos de la Cuenca del Arroyo Tegüa.



Medidas de Manejo de Suelos

Medidas de Manejo: No Estructurales:

a) Tipo de labranza

Dependerá del cultivo, producción de cereales y oleaginosas o si es producción de pasturas, frutales u hortalizas, entre tantos otros. También del tipo de riego que se emplee. En caso de presentarse compactaciones antrópica, determinar la causa y resolver la situación en función a la profundidad de la impedancia y lo que esté limitando. (Ver cuadro 2). Es necesario permitir el ingreso de agua y aire al suelo para permitir la vida, tanto de los vegetales como de los microorganismos, actores fundamentales en la mejora de la calidad del suelo. Siempre se recomienda realizar la mínima roturación y exposición del suelo a factores de erosión eólica o hídrica, por lo que las labranzas deberán ser evaluadas y consideradas dentro de un plan predial de manejo conservacionista del suelo.

Tabla 69. Perfil agro físico del suelo (Taboada, 2004).

Profundidad	Nombre	Función	Limitación	Manejo
0-5 cm	Capa superficial	Interacción suelo - atmósfera	Encostramiento	Disqueado, cincelado
0-10cm	Cama de siembra	Germinación	Exceso de soltura o dureza	Disqueado, cincelado
0-18/20cm	Capa arada	Abs. de agua y nutrientes	Degradación estructural	Labranza
18/20 – 30 cm	Piso de arado y/o pan de tráfico	Interacción suelo – subsuelo	Compactación inducida	Subsolado, cultivos mejoradores, riego
0-100 cm	Zona radical	Absorción de agua	Compactación natural	Subsolado, cultivos mejoradores, riego

Algunas consideraciones sobre la siembra directa:

- Tener en cuenta que la siembra directa produce una estratificación del carbono en el perfil, con mayores contenidos en los primeros centímetros y menores en profundidad respecto de sistemas con labranzas, (Álvarez, 2006).
- El uso prolongado de ésta técnica, puede presentar efectos no deseados, vinculados especialmente a la fertilidad física, química y biológica de los suelos, tales como densificaciones superficiales, disminución de la disponibilidad de algunos nutrientes, y acidificación superficial, lo que será necesario considerar a los fines de su corrección, (Gorgas, 2003).
- La compactación por rodados de maquinarias como por pisoteo animal, deberá contemplarse en su tratamiento, primero previniendo esta situación para la no ocurrencia y si ya está presente el problema, solucionarlo con labranzas verticales y cultivos mejoradores.

b) Rotación de cultivos

La rotación agrícola - ganadera permite elevar el nivel de materia orgánica del suelo durante la fase de pastura. Esto se debe a los mayores aportes de residuos que se producen generalmente en esta fase de la rotación, (Álvarez, 2006). Incorporar animales al sistema, controlando adecuadamente el pisoteo (pastoreo racional y rotativo), permite una mejora en los contenidos de materia orgánica.

En agroecosistemas bajo rotaciones exclusivamente agrícolas, el contenido de carbono del suelo está relacionado con el aporte de carbono de la vegetación. En consecuencia, al incrementar la cantidad de cultivos que se hacen por año o incorporar en la rotación cultivos de mayor producción de biomasa, como el maíz, es mayor el nivel de carbono del suelo luego de varios años que en situaciones con menos cultivos por año o de menor producción de biomasa. También la fertilización adecuada, al incrementar la producción de biomasa de los cultivos y el aporte de residuos al suelo, produce un incremento del nivel de materia orgánica, (Álvarez, 2006).

El manejo del agua del suelo almacenada (humedad edáfica) es fundamental en los cultivos de secano en esta zona. El uso eficiente del agua permitirá producir más biomasa vegetal y así incrementar el contenido de materia orgánica del suelo.

c) Favorecer la cobertura vegetal del suelo:

La cobertura del suelo, a través de una capa de vegetación (árboles, arbustos, malezas, praderas, o cualquier cultivo), protege el suelo de la erosión causada por las precipitaciones, porque amortigua la energía con que caen las gotas sobre el suelo. La cobertura vegetal actúa como una cubierta protectora del suelo, ejerciendo una acción a dos niveles: uno por sobre la superficie del suelo y otro por debajo del mismo. En el primero, existe un efecto de intercepción de las gotas de lluvia, y en el segundo, intervienen directamente las raíces de las especies vegetales, al ejercer un efecto de sujeción de los agregados o terrones del suelo, (Carrasco, 2012).



Manejo agronómico

Al igual que los rastrojos, el canopeo de los cultivos es capaz de interceptar la gota de lluvia, disminuyendo su energía cinética. Esta interceptación será mayor a medida que el vegetal crece y se desarrolla.

En relación a la época de crecimiento del cultivo, es importante la coincidencia entre el periodo de mayor cantidad e intensidad de precipitaciones con las etapas del cultivo en la que ofrezca cobertura al suelo, de modo de disminuir la incidencia de los agentes erosivos.

Los cultivos que cubren el entresurco en un período corto, ofrecen una rápida protección de la superficie del suelo. Un manejo cultural de la siembra, asociado a la velocidad de crecimiento de la especie a implantar, es la selección del distanciamiento entre hileras, de modo que los cultivos de crecimiento lento se siembren con un menor distanciamiento que aquellos de crecimiento rápido.

La cobertura del canopeo es una variable de entrada en la mayoría de los modelos utilizados para la predicción de la erosión hídrica.

Rastrojos: El uso de rastrojos en la superficie, es una de las formas de mantener una buena cobertura en suelos de cultivo. Con el uso del laboreo de tipo vertical, utilizando el arado cincel o mediante la labranza cero o siembra directa, que permite establecer un cultivo con una mínima remoción de suelo, conservando más de un 70% de rastrojos sobre la superficie.

El tipo de rastrojo es fundamental y la cantidad de materia seca que deja también es de suma relevancia.



Cultivos de cobertura: La mejor forma de favorecer la cobertura del suelo, y por lo tanto controlar los procesos erosivos, es estableciendo una pradera permanente con las especies recomendadas para los distintos climas y suelos.

La práctica de cultivos de cobertura representa una estrategia para proteger los suelos y minimizar el efecto erosivo de las lluvias de primavera y verano. Consiste en la siembra de plantas, generalmente de especies forrajeras gramíneas, leguminosas o crucíferas, que no se destinan al pastoreo animal ni a la cosecha de granos. Se siembran en otoño y ocupan el suelo entre dos cultivos de verano.

La asociación de distintas especies de cultivos de cobertura permite sumar sus cualidades al material vegetal producido. Las gramíneas como avena y centeno producen elevadas cantidades de materia seca con alto porcentaje de carbono y, las leguminosas como vicia, poseen una alta capacidad para acumular nitrógeno por fijación simbiótica a través de sus raíces, (Capurro, 2015).

Para muchos suelos agrícolas los cultivos de cobertura ofrecen el sólo significado práctico de suministrar la materia orgánica necesaria para mantener el suelo en un alto estado de productividad.

La materia orgánica hace al suelo más friable, mejora su capacidad de laboreo, y facilita la penetración del agua.

Cuando la materia orgánica se descompone, puede proveer nitrógeno y otros nutrientes al suelo para los cultivos subsiguientes.

Los microorganismos del suelo que se benefician de la descomposición de los residuos de las plantas coberturas suculentas contribuyen a dar una mayor salud al ecosistema, (Miller, 1990).



Mulch

Los mulchs orgánicos son usados generalmente en explotaciones intensivas como las frutihortícolas. Actúan cubriendo al suelo con algún tipo de material vegetal. Además pueden generarse naturalmente como ocurre en situaciones bajo monte o bosque implantado en donde los aportes de hojarascas, restos de corteza y ramas va conformando un colchón de materiales orgánicos sobre la superficie del suelo. Producen un aporte de materia orgánica al suelo a partir de su descomposición gradual y generan una protección mecánica contra el efecto desagregante de las gotas de lluvia, manteniendo así inalterable la estructura superficial para la infiltración del agua en el suelo, (Cisneros, 2012).

d) Aumentar la diversidad de especies cultivadas.

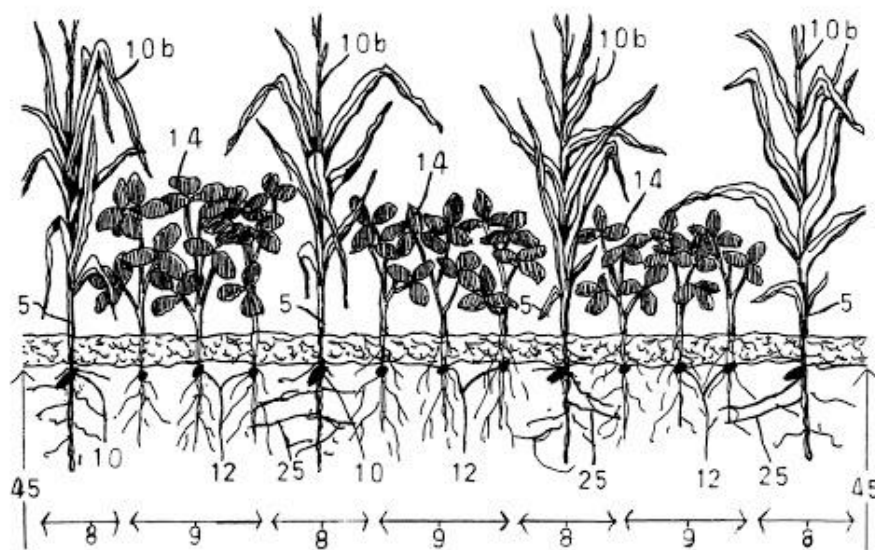
La asociación de cultivos (intersembra de pasturas, cultivos anuales intercalados, cultivos en fajas) ofrece una alternativa para la protección del suelo al producirse una ocupación simultánea del terreno de cultivos que ejercen protección con otros que lo hacen en menor medida ya sea por su velocidad de crecimiento o por encontrarse en diferente estadio de desarrollo.

Por otro lado, el diferente aporte de materia orgánica que realizan cultivos de gramíneas y leguminosas producirá un incremento de la estabilidad estructural superficial en los sectores que

recibieron un mayor aporte de residuos y de mejor calidad (relación C/N elevada), lo que hará necesario realizar una adecuada planificación de las rotaciones de los cultivos dentro del lote, (Cisneros, 2012).

Cultivos intercalares

Los policultivos son una variante muy interesante y por experimentar dentro de las alternativas. Se llaman cultivos intercalares cuando en una misma parcela coinciden hileras de un cultivo alternadas con las de otro, ya sean agrupadas o no las de la misma especie. Normalmente un cultivo es el principal u objetivo y el otro es auxiliar u oportunista, (Sans, 2014).



e) Abonos verdes

Son cultivos que se realizan en el propio terreno que se desea mejorar y cuya masa vegetativa es incorporada al suelo. Su objetivo principal es mejorar la condición química de los suelos a modo de fertilización orgánica o biofertilización (disponibilidad de nutrientes orgánicos, NO₃ principalmente), para la implantación de algún cultivo de cosecha. Un objetivo adicional es el aumento temporario de la estabilidad de agregados superficial del suelo.

Preferentemente se emplean leguminosas por su capacidad de fijación del N atmosférico y porque el material va a poseer una relación C/N más estrecha que el de gramíneas. Esta característica del abono genera una rápida descomposición del cultivo y estabilización de los agregados, pero de corta duración.

La incorporación de gramíneas, de relación C/N elevada, si bien puede provocar inmovilización del N, poseen una capacidad para cubrir más rápidamente el suelo y dejar un material más persistente que el de leguminosas, aspectos que pueden resultar de importancia al momento de obtener una estabilización más duradera de los agregados, (Cisneros, 2012).

f) Inoculación y fertilización

La fertilización, al incrementar la producción de biomasa de los cultivos y el aporte de residuos al suelo, produce un incremento del nivel de materia orgánica, (Alvarez, 2006).

Los inoculantes son herramienta fundamentales en este punto, tanto los que contienen microorganismos fijadores de nitrógenos (simbiosis rizobio-leguminosas) como los microorganismos promotores del crecimiento de raíces (PGPR).

Se aclara que el uso de fertilizantes químicos si bien, aumenta la biomasa vegetal y por ende el aporte de materia orgánica, si la utilización no es la adecuada puede resultar perjudicial a la hora de mejorar las condiciones de calidad de suelo. Salinización, sodificación y contaminaciones son efectos secundarios del uso inadecuado de los fertilizantes químicos. Se recomienda su uso dentro de un plan que esté integrado en normas como las Buenas Prácticas Agrícolas, que regulan su uso responsablemente.

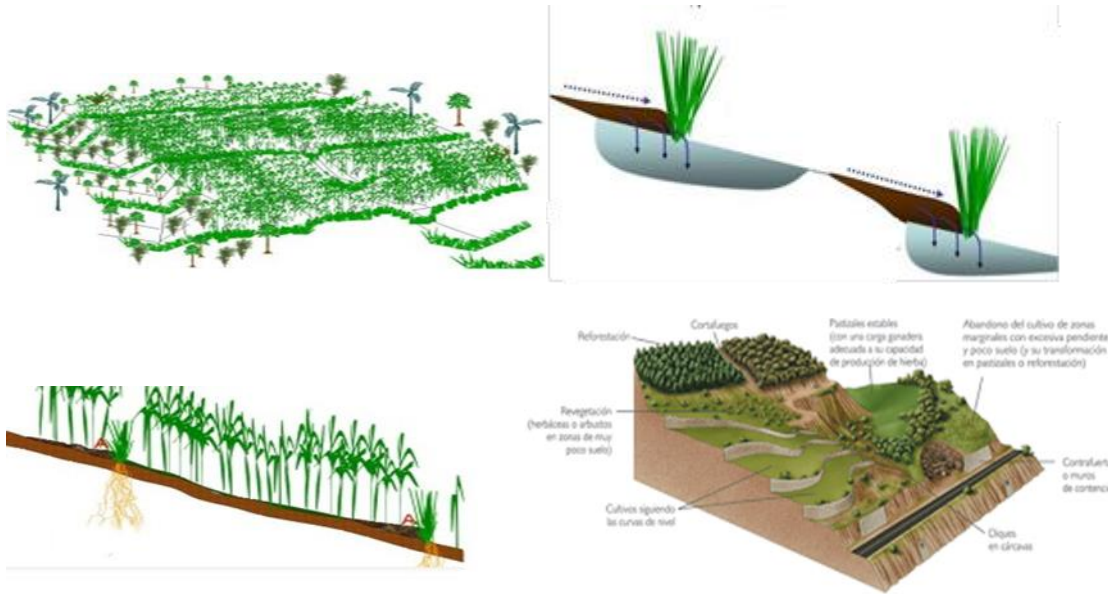


Medidas de Manejo de Suelo: Estructurales:

Las técnicas de manejo del relieve (también llamadas prácticas de conservación, prácticas estructurales o de sistematización), son un conjunto de técnicas que abarcan desde la simple ordenación de las líneas de cultivo, hasta prácticas muy complejas como la nivelación completa de terrenos muy inclinados, con fines de implementar el uso agrícola, (Cisneros, 2012)

Hay diversas prácticas y cada una responderá al caso puntual a resolver. Se describen las siguientes prácticas:

- Cultivos cortando la pendiente;
- Cultivos en curvas de nivel o cultivos en contorno;
- Cultivos en fajas a nivel, cultivos intercalados a nivel;
- Cultivos en terrazas:
 - a. de banco o bancales
 - b. de banco de conservación
 - c. de absorción o a nivel,
 - d. de desagüe, de escurrimiento o a desnivel,



Las tres primeras técnicas implican solamente un direccionamiento de las líneas de siembra, en forma perpendicular a la pendiente del lote. En los cultivos en fajas, además, se intercalan cultivos con pastos, o distintos tipos de cultivos. Los cultivos en terrazas implican movimientos de suelo en el lote, de ahí que suelen nombrarse como prácticas estructurales de conservación. Las terrazas de absorción o desagüe se basan en la construcción de pequeños bordos, mientras que las terrazas de banco implican el movimiento de grandes volúmenes de suelo, hasta generar superficies casi planas, (Cisneros, 2012).

El criterio para elegir una o varias técnicas, radica en tener un estudio predial, donde se evalúen el sistema de producción y el riego de erosión, como así también los costos y posibilidades de implementación en función a los recursos disponibles.

Cultivos cortando la pendiente

Esta práctica consiste en trazar una línea perpendicular a la pendiente principal de un lote, a fin de que sirva como línea base para la siembra de cultivos (línea guía).

Se aconseja utilizar la misma dirección marcada, para la siembra, en tareas de arada, disqueadas, rastreadas y siembra, pudiendo hacerse estas con pequeños cambios de dirección para evitar provocar irregularidades en el terreno.

Esta técnica es la más sencilla de implementar, se aplica en condiciones de bajo potencial erosivo del sitio: pendientes uniformes, de bajo gradiente. Puede aplicarse a cualquier sistema de producción ya que sólo implica la orientación de las líneas de siembra, tanto de cultivos como de pastos. Su efectividad para el control de la erosión dependerá de la rugosidad superficial generada

por las labores o por el rastrojo, y del manejo de las condiciones de infiltración del suelo. La línea guía trazada puede usarse además para la implementación de cultivos en fajas cortando la pendiente, (Cisneros, 2012).

Cultivos en curvas de nivel

Se llama curva de nivel o en contorno a una línea trazada en el terreno, que une puntos de igual altura sobre el nivel del mar. La técnica de cultivos en curvas de nivel, por lo tanto, es aquella en la cual las operaciones de labranza y siembra se realizan siguiendo esa línea.

El efecto de la práctica sobre la escorrentía es similar a la práctica anterior:

cortar la pendiente de forma que cada surco o cada planta represente un obstáculo al avance del agua, aumentando la retención y el detenimiento superficial. La ejecución de esta práctica se hace posible a través del trazado de curvas guías a seguir en todas las prácticas de manejo posteriores (laboreos, siembras, formas de pastoreos, etc.).

Se aplica en condiciones de relieve más complejo y pronunciado que la técnica de cultivos cortando la pendiente. Los riesgos de erosión son mayores y no pueden ser adecuadamente resueltos con una simple línea, siendo necesario cortar todas las direcciones de la pendiente, (Cisneros, 2012).

Cultivos en fajas o franjas a nivel

El cultivo en fajas (también llamadas fajas buffer) consiste en la siembra de fajas o paños alternados de pasturas de crecimiento denso (denominada franja de protección o contención) y cultivos anuales en hileras (faja protegida), perpendicularmente a la dirección de la pendiente o siguiendo curvas de nivel (cultivos en fajas a nivel o en contorno).

Una variante de esta técnica consiste en la siembra en fajas de cultivos anuales, de distinto porte y ciclo de crecimiento, en lo que constituye una forma de cultivos intercalados en franjas.

La técnica del cultivo en franjas, especialmente la que incluye pasturas permanentes, es una de las más seguras y efectivas para el control de erosión y escurrimientos, ya que combina propiedades ingenieriles de la vegetación, con prácticas estructurales. Por esta razón es aplicable a situaciones con alto potencial de escurrimiento y erosión, en pendientes de algo gradiente, en las cuales la longitud es controlada por la presencia de la pastura densa.

En razón de la inclusión de pasturas es una técnica aplicable a sistemas mixtos de producción, en los cuales se puede hacer un aprovechamiento integrado de pastos y cultivos. Por esta misma razón es una práctica poco aceptada por productores agrícola puros, debido a que la superficie empastada es considerada un área subutilizada del campo. No obstante para estos sistemas de

producción se puede implementar la práctica de intercultivos, en una relación que generalmente es 50/50, a los fines de simplificar la rotación, (Cisneros, 2012)

Sería importante incorporar árboles a la franja, a pesar que se vea al sombreado como un perjuicio, estos vegetales son fundamentales para lograr esta barrera viva que controla el escurrimiento.

Concepto de terraza

La terraza puede ser definida como una estructura física compuesta por un dique y un canal, de tierra o de piedra, construida sistemáticamente en el terreno, en el sentido perpendicular a la pendiente, de manera que intercepte el agua que escurre sobre el suelo, provocando su infiltración, evaporación o desviándola hacia un lugar determinado, debidamente protegido y con una velocidad controlada que no ocasione erosión en el canal.

La eficiencia de un sistema de terraceo depende de la adopción de otras prácticas conservacionistas tales como la plantación en curvas de nivel o contorno; la plantación en fajas o la cobertura del suelo. Además debe tomarse en consideración las condiciones del área, el correcto dimensionamiento y construcción de las terrazas y su funcionalidad y seguridad, (FAO, 1997).

Con relación al destino de las aguas interceptadas:

Terrazas de absorción: son terrazas construidas en nivel con el objetivo de retener y acumular la escorrentía en el canal para la posterior infiltración del agua y acumulación de sedimentos; son terrazas recomendadas para regiones de baja precipitación pluvial, suelos permeables y en terrenos con pendiente menor a 8%; normalmente son terrazas de base ancha.

Terrazas de drenaje: son terrazas construidas en desnivel cuyo objetivo es interceptar la escorrentía y conducir el exceso de agua no infiltrada hasta lugares debidamente protegidos (desagües). Son terrazas recomendadas para las regiones de alta precipitación pluvial, suelos con permeabilidad moderada o lenta y recomendadas para áreas con más de 8% y hasta 20 % de pendiente; normalmente son terrazas de base estrecha o media.

La selección del tipo de terraza, está relacionada a las propiedades físicas del suelo que determinan la permeabilidad del agua en su perfil. De ahí la importancia del conocimiento de la textura, la estructura, la profundidad efectiva y la permeabilidad de la capa superficial y subsuperficial en la planificación de un sistema de terraceo, (FAO, 1997).

Terrazas de banco

El sistema de terrazas de banco o banales consiste en una serie de áreas planas, semejantes a bancos o escaleras, que convierten una pendiente escarpada en planos casi horizontales (terraplén), separados por paredones (talud), generalmente estabilizados con piedra.

En las terrazas de banco se modifica tanto la longitud, como el gradiente de las pendientes, ya que se genera una superficie plana. Su uso está concentrado en áreas de montaña, con pendientes superiores al 20 %, y con condiciones del subsuelo que permitan generar terrenos aptos para la agricultura. Requieren grandes movimientos de suelo para su construcción y una muy alta precisión en el trazado de los banales y sus vías de desagüe o drenaje, especialmente aquellas construidas en regiones de altas precipitaciones, (FAO, 1997).

Terrazas de banco de conservación

Una variante de las terrazas de banales típicas, son las llamadas terrazas de banco de conservación. Están diseñadas para regiones semiáridas, donde se requiere una conservación máxima de la humedad. Este tipo de terraza está formado por un terraplén y un canal plano y muy ancho que se asemeja a un banco horizontal. El área inclinada que se extiende pendiente arriba hacia el lomo de la siguiente terraza, es el área de contribución de escurrimiento para los canales. La diferencia entre esta terraza y la convencional a nivel, en cuanto a corte transversal y patrón de almacenaje de humedad se refiere.

Terrazas de desagüe y terrazas de absorción

- En las terrazas de desagüe el escurrimiento circula lentamente por la porción cóncava de la terraza (canal de la terraza) y descarga en un canal de desagüe planificado a tal fin.
- En las terrazas de absorción el escurrimiento se acumula en la porción cóncava de la terraza, provocando allí su infiltración en el suelo, (FAO, 1997).

Tabla 70. Algunas características de los sistemas de terrazas (FAO).

Característica	Terrazas de desagüe	Terrazas de absorción
Pendiente	Hasta 0,5%	Cero
Escurrimiento/captación de lluvia	Descarga a un canal. Parte de la lluvia se pierde.	Se acumula en la terraza. No hay pérdidas.
Terreno	Alto potencial de escurrimiento.	Bajo potencial de escurrimiento
Diseño	Base ancha o angosta	Normalmente de base angosta
Paralelización	Posible, variando la pendiente	Debe respetar la línea a nivel.
Planialtimetría	Necesaria. Sólo en pendientes uniformes puede replantearse directamente a campo.	Necesaria. Puede replantearse directamente a campo.
Riesgo de desborde	Bajo, el agua circula	Alto, el agua se acumula.
Mantenimiento	Permanente	Permanente
Obras complementarias	Canales de desagüe, drenajes subterráneos	Canales de desagüe opcionales
Sedimentos	Parte se descargan a las vías	Quedan retenidos en la terraza

	de drenaje	
--	------------	--

Consideraciones generales: Mantenimiento y cuidados de los canales de desagüe

- inmediatamente después de la demarcación del canal, establecer pasto de cobertura;
- proteger el establecimiento de la vegetación de revestimiento mínimo a un metro del borde del canal;
- utilizar piedras o diques en el canal mientras la vegetación no esté establecida;
- los canales deben ser amplios, pendiente abajo, y nunca deben ser estrechados con laboreo o arado;
- si existieran cárcavas en el canal es necesario realizar su recuperación;
- no utilizar el canal de desagüe como camino;
- no desaguar los canales en lugares impropios y utilizar canales divergentes para dirigir el agua hacia los lugares escogidos;
- no usar cárcavas, propiedades vecinas, caminos, matorrales o pastizales con poca pendiente como desaguaderos;
- no permitir maniobras de la maquinaria o pastoreo de ganado en el lecho del canal.
- mantener el canal limpio de plantas invasoras;
- mantener el pasto a una altura mínima de 10 cm;
- corregir periódicamente fallas en la vegetación de cobertura del canal;
- realizar una conservación periódica de los taludes y lecho del canal, principalmente en los puntos de desagüe de las terrazas;
- la localización, la construcción y el mantenimiento de los canales de desagüe deben ser realizados por técnicos especializados, (FAO, 1997).

Cordón de vegetación permanente. Barrera viva

Los cordones de vegetación permanente son fajas en contorno, intercaladas al cultivo principal, mantenidos con especies perennes que desarrollan una densa vegetación con el objetivo de reducir la velocidad del escurrimiento superficial.

Los cordones con vegetación pueden ser utilizados tanto para cultivos anuales como perennes y representan una alternativa para los agricultores que no disponen de recursos para la construcción de terrazas, por ser una práctica de costo relativamente bajo.

Como práctica aislada, el cordón con vegetación ha mostrado ser eficiente en áreas con pendientes hasta 10%. Para pendientes mayores se recomienda el uso combinado con otras prácticas conservacionistas.

El uso combinado de cordones en contorno (surcos de absorción) y cordones con vegetación ha mostrado ser una buena opción para el control del escurrimiento superficial.

Mientras están siendo formadas las barreras vegetales, los surcos de absorción desempeñan una función importante, además de acumular humedad para el crecimiento de la vegetación del cordón.

El uso combinado de cordones en contorno y con vegetación permite:

- mayor eficiencia en el control del escurrimiento superficial por la acción filtrante de la vegetación y por la mayor reducción de la velocidad de la escorrentía;
- debido a esta acción filtrante, la vegetación provoca la acumulación de sedimentos y la formación de pequeñas terrazas de banco;
- aprovechamiento de la vegetación para la alimentación animal.

En los cordones con vegetación se sugiere la implantación de especies de ciclo corto con gran densidad de raíces y desarrollo rápido de la parte aérea, (FAO, 1997).

Algunas especies a utilizar:

- Pasturas subtropicales como Grama Rhodes (Chloris gayana), bermuda (Cynodon dactylon) y vicia (Vicia sativa/Vicia villosa).
- Árboles autóctonos: Molle, manzano del campo, coco, tala, espinillo y el orco – quebracho.

A modo de síntesis, podemos ver en el cuadro 4 los tipos de control en relación a cada caso en particular.

Tabla 71. Tipo de Control en función a la pendiente y precipitación.

PENDIENTE	PRECIPITACIONES	CONTROL
0 A 0,5 %	El escurrimiento es lento, dependerá de la infiltración	Cuidar de no labrar a favor de la pendiente
0,5 a 1 %	-900 mm/ año	Cultivo cortando pendiente
0,5 a 1 %	+ 900 mm/año	Cultivos cortando la pendiente en forma oblicua
1 a 3%	+ 900 mm/año	Contorneo simple con desagüe
1 a 3%	-900 mm/ año	Contorneo simple con desagüe
3 a 7%	+ 900 mm/año	Terrazas con desagües
3 a 7%	-900 mm/ año	Terrazas con absorción
7 a 25%	+ 900 mm/año	Terrazas tipo banco con desagüe
7 a 25%	-900 mm/ año	Terrazas tipo banco a nivel

10.2 Control de Cárcavas

En general, el control de cárcavas es difícil y costoso. La restauración de un área demanda tiempo, trabajo y capital, por lo que es económicamente recomendable establecer un plan de prevención de cárcavas.

Por otra parte, las tierras fuertemente erosionadas poseen un reducido valor inmediato, justificándose medidas de contención, para, por lo menos, proteger las tierras vecinas y evitar sus consecuencias fuera del área erosionada.

Cuando se opta por el control, será conveniente determinar cuál es la protección más económica y adecuada para cada área. El costo de corrección de una cárcava y el tipo de protección a ser aplicado, deben ser considerados siempre con relación al destino que pueda darse a las mismas, (FAO, 1997)

Dimensiones de las Cárcavas

En relación a la profundidad:

- cárcavas pequeñas, cuando tienen menos de 2,5 m de profundidad.
- cárcavas medianas, cuando tienen de 2,5 a 4,5 m de profundidad.
- cárcavas grandes, cuando tienen más de 4,5 m de profundidad.

En relación a la cuenca de contribución:

- cárcavas pequeñas, cuando la cuenca de contribución es menor a 10 ha.
- cárcavas medianas, cuando la cuenca de contribución es de 10 a 50 ha.
- cárcavas grandes, cuando la cuenca de contribución es mayor a 50 ha.

Medidas Para el Control y Estabilización

Aunque las causas del deterioro pueden ser totalmente distintas, se pueden aplicar algunos principios básicos para la solución de la mayoría de los casos de recuperación y/o estabilización de cárcavas, (FAO, 1997)

Aislamiento de la Cárcava

El objetivo de esta fase es detener el proceso que provoca el aumento de la cárcava; es decir, evitar que la concentración de agua continúe erosionando el lecho y desestabilice los taludes del surco.

Para cumplir tal objetivo es necesario establecer un adecuado manejo del suelo del área agrícola y demás áreas que componen la cuenca de captación (potreros, caminos, áreas de beneficio

común), de modo que se obtenga una correcta distribución e infiltración del agua en toda la cuenca. En virtud del estado de la cárcava, muchas veces es necesaria la construcción de una terraza o canal divergente inmediatamente encima de la cabecera para impedir totalmente la entrada de agua. Otras veces, dependiendo de la localización, es necesario el aislamiento con cercos de todo su perímetro para evitar la entrada de animales o que los trabajos rutinarios de campo sean realizados muy próximos a los taludes de las cárcavas. La construcción de cercos a una distancia de los bordes dos veces la profundidad máxima de la cárcava, ha mostrado buenos resultados, (FAO, 1997)

Recuperación o Estabilización de la Cárcava

Dependiendo del estado de la cárcava y de la relación costo/beneficio se puede optar por la recuperación total o estabilización del área, con posibilidades de usarla para otros propósitos.

- Recuperación

Si las dimensiones de la cárcava no fueran muy grandes y si los beneficios esperados pudieran compensar la inversión, se recomienda la recuperación del surco; es decir, tapar la cárcava con tierra, recuperando el área e incorporándola nuevamente al proceso productivo. Esta medida es recomendable en áreas de alto valor y con buena productividad con cultivos anuales. Una vez recubierta, debe procederse a la nivelación con relación a las áreas adyacentes e implementar la adopción de prácticas conservacionistas que no permitan la reiniciación del proceso. Es necesario que se proceda periódicamente a la nivelación del área, en virtud del proceso natural de compactación del suelo recubierto, (FAO, 1997)

- Estabilización de la cárcava

En caso que la recuperación de la cárcava no sea técnica o económicamente viable, se recomienda seguir los siguientes pasos:

- I. antes de cerrar el perímetro de la cárcava, suavizar los taludes para impedir que el proceso de desbarrancamiento continúe
- II. si después de haber cercado el área, el crecimiento de la vegetación natural no fuera suficiente para hacer un buen control, se deberá realizar la plantación de algún tipo de vegetación en función del futuro del área.
- III. con relación al tamaño y forma de la cárcava se recomiendan implementar las siguientes acciones:
 - Para cárcavas pequeñas, más anchas que profundas, con poca pendiente en su lecho o cuya cuenca de captación no sea muy grande, puede utilizarse vegetación. En este caso, se podrá transformar el área en pastizal, utilizando gramíneas forrajeras; o, si se desea que el

área sea destinada a protección natural, reserva forestal o para la producción industrial de madera, se deberán escoger los árboles más adaptados a la región y de más rápido crecimiento. Se recomienda la siembra o plantación en líneas perpendiculares a la pendiente de la cárcava, de manera que se formen pequeños escalones defensivos, (FAO, 1997).

Los árboles y arbustos defensivos reducen la velocidad del agua en el interior de la cárcava, resultando en deposición de sedimentos, lo que favorece el establecimiento de nueva vegetación;

- para cárcavas mayores, será necesario utilizar estructuras temporales o permanentes. Las estructuras temporales deben ser de fácil y rápida construcción, usando materiales baratos y de fácil disponibilidad.

Se recomienda la construcción de varias estructuras a lo largo del lecho de la cárcava, de altura no superior a 40 cm, distribuidas a intervalos uniformes o en posiciones estratégicas, de manera que protejan los puntos críticos y faciliten el crecimiento de vegetación en los mismos, (FAO, 1997).

10.3 PLANOS