

MAESTRÍA EN MANEJO INTEGRAL DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS

ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD HÍDRICA EN LA CUENCA DEL RÍO CTALAMOCHITA



Tesista: Ing. Lucía de Antueno

Directora: Ing. Forestal Mg.Sc. Dra. Fernanda J. Gaspari.

Tutor: Geol. Germán E. Tissera.

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS Y FORESTALES
LA PLATA - 2019**

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, quiero agradecer a mi familia, especialmente a mis padres, Gabriela y Lisandro, por el apoyo, los consejos, la ayuda y el cariño que me proporcionan. A Salvador, por acompañarme y apoyarme en todo, por su cariño y paciencia.

A mi directora de tesis la Dra. Fernanda Gaspari, por estar siempre dispuesta a ayudarme, por brindarme sus conocimientos, consejos y guía sin los que no habría sido posible la realización de este trabajo.

Al Geólogo Germán Tissera, mi tutor de tesis, por su buena predisposición, por facilitarme el acceso a la información, por brindarme su casa y su tiempo, por acompañarme en los viajes y mostrarme lo había que ver en cada lugar.

A las increíbles personas que conocí en este proceso: los docentes y colaboradores de la maestría, por brindarme los conocimientos necesarios para el desarrollo de este trabajo, y muy especialmente a mis compañeros de maestría, con quienes compartí increíbles momentos y de los cuales aprendí tanto.

Al Decano del Instituto Académico Pedagógico de Ciencias Básicas y Aplicadas de la Universidad Nacional de Villa María, el Ing. Agr. Germán Casseta, que tuvo la amabilidad de reunirse conmigo y proporcionarme la información obtenida en la realización del Proyecto de Gestión Integral de Recursos Hídricos, cuenca río Ctalamochita.

A la Municipalidad de Villa María, que me brindó datos e información específica de la zona estudiada.

Al Secretario de Recursos Hídricos de la Provincia de Córdoba, el Ing. Edgar Manuel Castelló, que proporcionó información de las precipitaciones registradas en la parte alta de la cuenca estudiada, fundamentales para la modelación hidrológica.

RESUMEN

El presente trabajo de tesis se realizó en la cuenca hidrográfica del río Ctalamochita, provincia de Córdoba, la cual forma parte del sistema de drenaje el río Carcarañá.

La mayor parte de los asentamientos urbanos dentro de la cuenca se encuentran a la vera de los cauces, muchos incluso ocupando valles de inundación y zonas de ribera, lo que ha provocado que, en numerosas ocasiones, se vean inundados. A su vez, en estos sectores se han depositado grandes cantidades del material erosionado, conformando bancos de arena. Esta situación permitió plantear el objetivo general de esta tesis, que se expresa como generar un análisis de la vulnerabilidad ambiental ante eventos pluviales en la cuenca del río Ctalamochita. Se entiende por vulnerabilidad al grado de debilidad o exposición de un elemento o conjunto de elementos frente a la ocurrencia de un peligro natural o antrópico de una magnitud dada (INDC, 2006).

La investigación realizada consistió, inicialmente, en la recopilación de antecedentes climáticos, de uso del suelo, edáficos, sobre infraestructura y sociales. Además, se tomaron datos en campo para verificar situaciones socioambientales para su posterior análisis e interpretación. Se generó una base de datos geoespacial que permitió las modelaciones hidrológicas de la cuenca. De esta manera, se obtuvo un diagnóstico del medio biofísico y social para caracterizar la vulnerabilidad ante eventos de precipitación extraordinarios.

El extenso uso del territorio para cultivos y la ausencia de técnicas de conservación de suelo en la cuenca, propician los procesos de erosión, que se acentúan por la creciente ocurrencia de lluvias intensas. Estos procesos han sido analizados y modelizados, a partir del procesamiento de diferentes capas temáticas con Sistemas de Información Geográfica. Dicho análisis implicó un estudio detallado de los factores que inciden directamente en la vulnerabilidad ambiental, denominados indicadores, enfocados en el uso de territorio, los tipos y estado de cobertura del suelo (EVI-TDVI), focalizando en la erosión hídrica, empleando productos MODIS.

Finalmente, a partir del planteo de eventos pluviales de distinta intensidad, y su correspondiente modelación hidrológica a nivel de subcuenca, se determinaron niveles de riesgo en función de la cantidad de suelo erosionado en cada escenario planteado. Se desarrollaron cuatro escenarios, con sus respectivos eventos de precipitación de distinta intensidad: máxima, considerando la lluvia que generó las inundaciones en febrero de 2014, mínima representando la lluvia media de los registros en los últimos diez años y dos eventos de intensidad intermedia.

El análisis del balance hidrológico demostró que la zona presenta un régimen seco en el norte durante todo el año, mientras que, en el sur, ocurren excesos durante seis meses del año, y los restantes son deficitarios.

Por otro lado, el balance energético, brindó información sobre la distribución espacial del agua disponible, siendo esta mayor en las zonas de bañados, de la cuenca baja, y en los valles y laderas más densamente vegetadas en la cuenca alta. El agua disponible, se evidencia entre octubre y abril, coincidiendo con los balances hídricos del sur de la cuenca. El estudio realizado concluye que entre abril y octubre la falta de humedad del suelo expone a la vegetación a significativos estados de deterioro.

En cuanto al análisis de la vulnerabilidad a la erosión hídrica, el 62,6 % de la superficie presenta una pérdida de suelo no tolerable, es decir mayor a $5 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$. El comportamiento estacional de la pérdida potencial de suelo presenta, entre diciembre y febrero, valores de EVI más altos, expresando zonas con nula-leve y moderada erosión hídrica. Mientras que, para los meses de julio a septiembre, cuando el EVI se hace mínimo, casi la totalidad de la cuenca presenta una pérdida de suelos máxima.

Con relación a los niveles de riesgo hídrico, el incremento en la generación de sedimentos aumenta con la intensidad de la lluvia, en eventos mayores a 100 mm.

Índice de Contenidos

1	ASPECTOS GENERALES	- 12 -
1.1	INTRODUCCIÓN	- 12 -
1.2	CUENCA EN ESTUDIO	- 13 -
1.3	ANTECEDENTES	- 14 -
1.4	MARCO TEÓRICO.....	- 15 -
1.5	HIPÓTESIS.....	- 17 -
1.6	OBJETIVOS.....	- 17 -
1.6.1	Objetivo general	- 17 -
1.6.2	Objetivos específicos.....	- 17 -
2	MATERIALES Y METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN.....	- 18 -
2.1	Diagnóstico socio-productivo y ambiental de la cuenca.....	- 18 -
2.1.1	Análisis socio-productivo.....	- 18 -
	Proyección Demográfica por Ajuste Lineal de la Tendencia Histórica.....	- 18 -
	Proyección Demográfica por Tasa Geométrica Decreciente	- 19 -
2.1.2	Análisis ambiental.....	- 19 -
2.1.2.1	Caracterización Morfométrica	- 20 -
2.1.2.2	Análisis climático	- 22 -
2.1.2.2.1	Método de Thornthwaite.....	- 22 -
2.1.2.2.2	Método de Hargreaves	- 23 -
2.1.2.2.3	Método de Penman – Montheith	- 23 -
2.1.2.3	Hidrología	- 24 -
2.1.2.4	Hidrogeología	- 24 -
2.1.2.5	Geología Regional.....	- 24 -
2.1.2.6	Suelos	- 25 -
2.1.2.7	Coberturas y usos del suelo.....	- 26 -
2.2	Balance Hidrológico.....	- 26 -
2.2.1	Generalidades.....	- 26 -
2.2.2	Thornthwaite - Mather.....	- 27 -
2.2.3	Balance energético	- 29 -
2.3	Modelización y simulación hidrológica	- 32 -
2.3.1	Método del Número de curva	- 33 -
2.3.2	Determinación de caudales.....	- 35 -
2.4	Análisis de vulnerabilidad.....	- 36 -

2.4.1	Indicador: zonas forestadas o con medidas conservacionistas.....	- 37 -
2.4.2	Indicador de vulnerabilidad a la erosión hídrica	- 37 -
2.4.3	Indicador: erosión hídrica máxima	- 41 -
2.4.4	Indicador: estado de la vegetación EVI	- 41 -
2.4.5	Indicador: USLE-EVI mensual.....	- 42 -
2.4.6	Indicador de déficit hídrico – TDVI	- 42 -
2.5	Niveles de riesgo hídrico ante eventos pluviales	- 42 -
3	RESULTADOS.....	- 44 -
3.1	Diagnóstico socio-productivo y ambiental de la cuenca.....	- 44 -
3.1.1	Análisis socio-productivo.....	- 44 -
3.1.2	Análisis ambiental.....	- 51 -
3.1.2.1	Caracterización Morfométrica	- 51 -
3.1.2.1.1	Morfometría de la Cuenca alta	- 53 -
3.1.2.1.2	Morfometría de la Cuenca media-baja	- 59 -
3.1.2.2	Análisis climático	- 61 -
3.1.2.2.1	Generalidades	- 61 -
3.1.2.2.2	Estaciones Meteorológicas	- 62 -
3.1.2.2.3	Precipitación	- 64 -
3.1.2.2.4	Temperatura	- 68 -
3.1.2.2.5	Humedad Relativa.....	- 70 -
3.1.2.2.6	Viento.....	- 71 -
3.1.2.2.7	Evapotranspiración Potencial	- 72 -
3.1.2.3	Hidrología	- 73 -
3.1.2.3.1	Cuenca alta del río Ctalamochita	- 74 -
3.1.2.3.2	Cuenca Ctalamochita parte media-baja.....	- 80 -
3.1.2.3.3	Aforos.....	- 81 -
3.1.2.4	Hidrogeología	- 85 -
3.1.2.4.1	Ambientes hidrogeológicos	- 85 -
3.1.2.4.2	Hidrodinámica subterránea regional	- 90 -
3.1.2.4.3	Dirección de flujo de agua en el acuífero libre	- 90 -
3.1.2.4.4	Dirección de flujo de agua en acuíferos confinados	- 92 -
3.1.2.4.5	Ciudad de Villa María	- 94 -
3.1.2.5	Geología Regional.....	- 96 -
3.1.2.6	Suelos	- 97 -
3.1.2.7	Coberturas y usos del suelo.....	- 102 -

3.2	Balance hidrológico	- 107 -
3.2.1	Generalidades.....	- 107 -
3.2.2	Thorntwaite - Mather.....	- 109 -
3.2.3	Balance energético	- 113 -
3.2.3.1	Relación entre precipitación y evapotranspiración real	- 117 -
3.3	Modelización hidrológica	- 118 -
3.3.1	Método del Número de curva	- 118 -
3.3.1.1	Determinación del Número de curva	- 118 -
3.3.1.2	Análisis de evento.....	- 122 -
3.3.1.3	Análisis por subcuenca	- 124 -
3.3.1.4	Análisis mensual	- 125 -
3.3.2	Simulación con HEC-HMS	- 127 -
3.4	Análisis de vulnerabilidad.....	- 128 -
3.4.1	Indicador: zonas forestadas o con medidas conservacionistas.....	- 129 -
3.4.2	Indicador de vulnerabilidad a la erosión hídrica	- 131 -
3.4.3	Indicador: erosión hídrica potencial.....	- 144 -
3.4.4	Indicador: estado de la vegetación EVI	- 146 -
3.4.5	Indicador: USLE-EVI mensual.....	- 148 -
3.4.6	Indicador de humedad del suelo – TDVI	- 150 -
3.5	Niveles de riesgo hídrico ante eventos pluviales	- 152 -
4	CONCLUSIONES	- 157 -
5	BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA.....	- 160 -

Anexos

ANEXO I: MORFOMETRÍA DE SUBCUENCAS.....	- 165 -
ANEXO II: MAPA DE SUBUNIDADES CARTOGRÁFICAS DE SUELOS	- 172 -
ANEXO III: RELACIÓN LLUVIA-CAUDAL.....	- 176 -
ANEXO IV: BALANCE HÍDRICO CON IMÁGENES SATELITALES.....	- 178 -
ANEXO V: MÉTODO DEL NÚMERO DE CURVA.....	- 215 -
ANEXO VI: MODELACIÓN HIDROLÓGICA	- 234 -
ANEXO VII: MAPA FORESTAL DE LA PROVINCIA DE CÓRDOBA	- 263 -
ANEXO VIII: INDICADOR RELACIÓN USLE-EVI	- 265 -
ANEXO IX: MODELACIÓN PARA NIVELES DE RIESGO	- 273 -

Índice de figuras

Figura 1.1 Ubicación cuenca del río Ctalamochita dentro la cuenca del río Carcarañá. Fuente: Elab. propia.....	- 13 -
Figura 2.1. Tiempos característicos en un hidrograma. Fuente: Vélez y Botero, 2010.....	- 21 -
Figura 2.2 Ciclo hidrológico. Fuente: IDEAM, 2010.....	- 27 -
Figura 2.3. Esquema del diagrama de dispersión Ts vs índice de vegetación. Fuente: Holzman, 2014.....	- 31 -
Figura 3.1. Cuencas sociales de la Provincia de Córdoba. Recuadro negro la zona de estudio. Fuente: SRHC. ..	- 45 -
Figura 3.2. Departamentos, localidades y ciudades , cant. de habitantes. Fuente: Elab. propia, INDEC (2010).	- 46 -
Figura 3.3 Cuencas lecheras de la zona de estudio. Fuente: Elab. propia; Datos: SIIA, 2016.	- 49 -
Figura 3.4. Modelo de elevación digital. Fuente: Elaboración propia, datos IGN.....	- 51 -
Figura 3.5. Mapa de pendientes (en porcentaje) con detalle de la cuenca alta. Fuente: Elaboración propia.....	- 52 -
Figura 3.6. Relieve en tres dimensiones, con exageración vertical 1:3. Fuente: Google Earth.....	- 53 -
Figura 3.7. DEM de la cuenca alta. Fuente: Elaboración propia.	- 54 -
Figura 3.8. Parte Alta de la cuenca del Río Ctalamochita. Fuente: UNVM, 2015.....	- 54 -
Figura 3.9. Parte Alta de la cuenca del Río Ctalamochita. Fuente: Elaboración propia.	- 55 -
Figura 3.10. Subcuencas y zonas de aporte a los embalses. Fuente: Elaboración propia.	- 56 -
Figura 3.11. Cuenca del río Ctalamochita según Lenarduzzi, 2013.	- 57 -
Figura 3.12. DEM cuenca media-baja, SRTM 30 m. Fuente: Elaboración propia.....	- 59 -
Figura 3.13. Cuenca del río Ctalamochita parte media -baja. Fuente: Elaboración propia.	- 60 -
Figura 3.14. Regiones Naturales de la provincia de Córdoba. Fuente: Abril et al. 2003.	- 61 -
Figura 3.15. Ubicación de las estaciones meteorológicas analizadas. Fuente: Elaboración propia.....	- 62 -
Figura 3.16. Ubicación de las estaciones meteorológicas de la SRH de la provincia de Córdoba.....	- 63 -
Figura 3.17. Precipitación media anual la provincia de Córdoba. Fuente: Bahill et al., 2006.	- 64 -
Figura 3.18 Precipitaciones medias anuales, periodo 1993-2015. Fuente: Elaboración propia.	- 65 -
Figura 3.19. Precipitación anual, cuenca Alta, periodo 1993-2015. Fuente: Elaboración propia.	- 66 -
Figura 3.20. Precipitación anual, cuenca Media-Baja, periodo 1993-2015. Fuente: Elaboración propia.	- 66 -
Figura 3.21 Régimen pluviométrico. Fuente: Elaboración propia.....	- 67 -
Figura 3.22. Registro de precipitaciones horarias en las estaciones 5060 y 5100.	- 67 -
Figura 3.23. Relación IDT transpuesta a la estación pluviométrica Pan de Azúcar. Fuente: INA-CIRSA.	- 68 -
Figura 3.24. Temperatura media de enero y julio. Fuente: Bahill et al., 2006.....	- 68 -
Figura 3.25. Temperaturas medias mensuales máx., medias y mín. Fuente: Elab. propia, datos del SMN.....	- 69 -
Figura 3.26 Distribución de las temperaturas medias para los meses cálidos. Fuente: Elaboración propia.	- 70 -
Figura 3.27. Distribución de las temperaturas medias para los meses fríos. Fuente: Elaboración propia.	- 70 -
Figura 3.28. Humedad Relativa media periodo 1986-2015. Fuente: Elaboración propia.	- 71 -
Figura 3.29. Valores medios mensuales de velocidad media del viento, 1986-2015. Fuente: Elab. propia.	- 71 -
Figura 3.30. Izq.: Frec. de dirección viento. Der.: Velocidad máx. viento. Fuente: Elab. propia, datos del SMN. -	72 -
Figura 3.31. Delimitación Cuenca alta y media-baja del río Ctalamochita. Fuente: Elaboración propia.	- 74 -
Figura 3.32. Mapa geológico y red hidrológica de la parte alta de la cuenca. Fuente: UNVM, 2015.	- 74 -
Figura 3.33. Central Fitz Simon. Fuente: EPEC.	- 75 -
Figura 3.34. La central Ing. Cassafousth. Fuente: EPEC.....	- 76 -
Figura 3.35. Central Ing. Reolín. Fuente: EPEC.....	- 76 -
Figura 3.36. Dique piedras moras y central hidroeléctrica. Fuente: http://prensa.cba.gov.ar/i	- 77 -
Figura 3.37 Central Piedras Moras. Fuente: EPEC.....	- 77 -
Figura 3.38. Aprovechamiento hidroeléctrico de río Tercero. Fuente: Defensa Civil, provincia de Córdoba.....	- 78 -

Figura 3.39 Aprovechamiento hidroeléctrico de río Tercero. Fuente: Elaboración propia.	79 -
Figura 3.40. Sentido de escurrimiento agua superficial. Fuente: UNVM, 2015.	80 -
Figura 3.41. Cauces de la cuenca media - baja y de cuencas cercanas. Fuente: Elaboración propia.....	81 -
Figura 3.42. Ubicación de los puntos de aforo. Fuente: Elaboración propia.	82 -
Figura 3.43. Caudales medios mensuales anuales, datos de la BDHI.	84 -
Figura 3.44. Caudales medios mensuales, datos de la BDHI.....	85 -
Figura 3.45. Unidades hidrogeológicas de la Prov. de Córdoba. Fuente: Blarasin et al., 2014.....	86 -
Figura 3.46. Unidades hidrogeológicas. Fuente: Elab. propia, datos: Blarasin et al., 2014.....	87 -
Figura 3.47. Dirección de flujo de agua en el acuífero libre. Fuente: Blarasin, 2014.....	91 -
Figura 3.48. Modelo hidrogeológico conceptual Villa María. Fuente: UNVM, 2017.	94 -
Figura 3.49. Perfil paralelo al cauce del río Ctalamochita. Fuente: UNVM, 2017.	95 -
Figura 3.50. Tipo de suelos. Fuente: Elaboración propia, datos INTA, Bahill et al., 2006.....	98 -
Figura 3.51. Unidades de suelos. Fuente: Elaboración propia, datos INTA, Bahill et al., 2006.....	101 -
Figura 3.52. Mapa de Coberturas, uso del suelo según el IGN. Fuente: Elaboración propia, datos: IGN.	102 -
Figura 3.53. Mapa de Coberturas, uso del suelo según la FAO. Fuente: Elaboración propia, datos: FAO.	103 -
Figura 3.54. Mapa de Coberturas cuenca del río Ctalamochita, datos: IGN y FAO. Fuente: Elab.propia.	104 -
Figura 3.55. Zonas ecológicas homogéneas. fuente: datos INTA, Bahill et al., 2006.	105 -
Figura 3.56. Clases de capacidades de uso de la cuenca. Fuente: INTA, Bahill et al., 2006.....	106 -
Figura 3.57. Índice de Productividad en la cuenca, año 2006. Fuente: Elab. propia, datos INTA Córdoba.	107 -
Figura 3.58. Balance hídrico climático, en Bell Ville. Fuente: INTA, Bahill et al., 2006.	108 -
Figura 3.59. Balance hídrico climático, en Villa María. Fuente: INTA, Bahill et al., 2006.....	108 -
Figura 3.60. Balance hídrico climático, en Marcos Juárez. Fuente: INTA, Bahill et al., 2006.	109 -
Figura 3.61. Balance hídrico T-M, Marcos Juárez. Fuente: Elaboración propia.	110 -
Figura 3.62. Balance hídrico T-M, Villa Dolores. Fuente: Elaboración propia.....	111 -
Figura 3.63. Balance hídrico T-M, Pilar. Fuente: Elaboración propia.	112 -
Figura 3.64. Balance hídrico T-M, Río Cuarto. Fuente: Elaboración propia.	113 -
Figura 3.65. Fracción evaporativa calculada para el mes de febrero de 2014. Fuente: Elaboración propia.	114 -
Figura 3.66. Fracción evaporativa calculada para el mes de julio de 2014. Fuente: Elaboración propia.	115 -
Figura 3.67. Evapotranspiración real, febrero de 2014. Fuente: Elaboración propia.	115 -
Figura 3.68. Evapotranspiración real, julio de 2014. Fuente: Elaboración propia.	116 -
Figura 3.69. PPT-ETR para febrero de 2014. Fuente: Elaboración propia.....	117 -
Figura 3.70. PPT-ETR para julio de 2014. Fuente: Elaboración propia.	117 -
Figura 3.71. Grupos hidrológicos en la cuenca del Ctalamochita. Fuente: Elaboración propia.	120 -
Figura 3.72. Números de curva en la cuenca. Fuente: Elaboración propia.....	121 -
Figura 3.73. Números de curva ponderados para cada subcuenca. Fuente: Elaboración propia.....	122 -
Figura 3.74. Perdidas y escorrentía (Q). Fuente: Elaboración propia.	124 -
Figura 3.75. Distribución de precipitaciones ocurridas en febrero de 2014. Fuente: Elaboración propia.	125 -
Figura 3.76. Distribución de Q en la cuenca, para febrero de 2014. Fuente: Elaboración propia.	126 -
Figura 3.77. Distribución de F en la cuenca, para febrero de 2014. Fuente: Elaboración propia.....	127 -
Figura 3.78. Secciones de cauces, Izquierda: río el Durazno, Derecha: Río Ctalamochita altura Villa María. ...	128 -
Figura 3.79. Superficies de bosques autóctonos. Fuente: http://noqueremosinundarnos.blogspot.com/	129 -
Figura 3.80. Regiones Forestales de la provincia de Córdoba. Fuente: Dirección de Bosques.....	130 -
Figura 3.81. Mapa vegetación con imágenes satelitales e inf. de campo. Fuente: Cabido et al., 2018.....	131 -
Figura 3.82. Erosión hídrica actual. Zona de análisis en punteado negro. Fuente: Gaitán et al., 2017.	132 -
Figura 3.83. Erosión hídrica potencial. Zona de análisis en punteado negro. Fuente: Gaitán et al. 2017.	132 -

Figura 3.84. Izq: Mapa con las Zonas erosionadas, der: Zonas con susceptibilidad a la erosión	- 133 -
Figura 3.85. Mapa de isolíneas de Factor R. Fuente: Rojas y Conde, 1985.	- 134 -
Figura 3.86 Mapa de isolíneas de Factor R, zona de estudio en punteado negro. Fuente: Gaitán et al., 2017.	- 135 -
Figura 3.87. Valores del Factor R en la cuenca. Fuente: Elaboración propia.	- 136 -
Figura 3.88. Valores del Factor K en los suelos de la cuenca. Fuente: Elaboración propia.	- 136 -
Figura 3.89. Valores del Factor LS en rangos. Fuente: Elaboración propia.	- 138 -
Figura 3.90. Valores del Factor C en la cuenca. Fuente: Elaboración propia	- 139 -
Figura 3.91. Pérdida de suelo por erosión hídrica, USLE. Fuente: Elaboración propia.	- 140 -
Figura 3.92. Pérdida de suelo por erosión hídrica, USLE, cuenca alta. Fuente: Elaboración propia.	- 141 -
Figura 3.93. Pérdida de suelo por erosión hídrica, USLE, cuenca media-baja. Fuente: Elaboración propia.	- 141 -
Figura 3.94. Tolerancia de pérdida de suelos. Fuente: Elaboración propia.	- 143 -
Figura 3.95. Porcentaje de sup. de ocupación según tolerancia de pérdida de suelo. Fuente: Elab propia.	- 143 -
Figura 3.96. Erosión hídrica potencial. Fuente: Elaboración propia.	- 145 -
Figura 3.97. Superficie de ocupación por rango de erosión hídrica potencial. Fuente: Elab. propia.	- 146 -
Figura 3.98. EVI para el mes de enero de 2014. Fuente: Elaboración propia.	- 147 -
Figura 3.99. EVI para el mes de agosto de 2014. Fuente: Elaboración propia.	- 147 -
Figura 3.100. Tabulación cruzada EVI-USLE potencia, para enero de 2014. Fuente: Elaboración propia.	- 149 -
Figura 3.101 Tabulación cruzada EVI-USLE potencia, para agosto de 2014. Fuente: Elaboración propia.	- 150 -
Figura 3.102. TDVI para el mes de enero de 2014. Fuente: Elaboración propia.	- 151 -
Figura 3.103. TDVI para el mes de agosto de 2014. Fuente: Elaboración propia.	- 151 -
Figura 3.104. Eventos aplicados en las modelaciones de la cuenca Alta. Fuente: Elaboración propia.	- 152 -
Figura 3.105. Eventos aplicados en modelaciones, cuenca Media-Baja, con CAA. Fuente: Elab. propia.	- 153 -
Figura 3.106. Caudales pico vs eventos de precipitación. Fuente: Elaboración propia.	- 154 -

Índice de Tablas

Tabla 2.1. Clasificación de los grupos hidrológicos. Fuente: Gaspari et al., 2013	- 33 -
Tabla 2.2. Clasificación del grado de erosión hídrica superficial.....	- 40 -
Tabla 3.1 Población según censos.....	- 46 -
Tabla 3.2 Proyección poblacional para los años 2017 y 2020.....	- 47 -
Tabla 3.3 Superficie sembradas de cada cultivo por departamento (ha). Fuente: SIIA.2015/2016.	- 47 -
Tabla 3.4 Superficie cosechadas de cada cultivo por departamento (ha). Fuente: SIIA. 2015/2016.....	- 48 -
Tabla 3.5. Rendimiento de cada cultivo por departamento ($kh \cdot ha^{-1}$). Fuente: SIIA. 2015/2016	- 48 -
Tabla 3.6. Cantidad de bovinos existentes, año 2016.....	- 50 -
Tabla 3.7. Cantidad de caprinos existentes, año 2016.....	- 50 -
Tabla 3.8. Morfometría de las cuencas de los embalses.	- 57 -
Tabla 3.9. Morfometría de las Subcuencas.....	- 57 -
Tabla 3.10. Tiempo de concentración para cada subcuenca, según ecuaciones empíricas.	- 58 -
Tabla 3.11. Tiempos de rezago, para cada subcuenca.....	- 58 -
Tabla 3.12. Morfometría de la cuenca media-baja.....	- 59 -
Tabla 3.13. Tiempo de concentración y rezago de la cuenca media-baja.	- 60 -
Tabla 3.13. Estaciones meteorológicas en la cuenca Ctalamochita.....	- 63 -
Tabla 3.14. Precipitación media mensual, periodo entre junio de 1993 y septiembre de 2016.	- 65 -
Tabla 3.16. EVT media mensual, paso mensual y diario Método de Thornthwaite.....	- 73 -
Tabla 3.17. EVT media mensual, Método de Hargreaves y Samani.....	- 73 -
Tabla 3.18. EVT media mensual, Método de Penman – Montheith.....	- 73 -
Tabla 3.19. Características de los embalses.....	- 79 -
Tabla 3.20. Datos de las estaciones de aforo.....	- 83 -
Tabla 3.21. Caudales registrados ($m^3 \cdot s^{-1}$).....	- 83 -
Tabla 3.22. Datos de aforos obtenidos de la BDHI.....	- 84 -
Tabla 3.23. Superficies de las unidades hidrogeológicas de la cuenca	- 87 -
Tabla 3.24. superficie ocupada por cada tipo de suelo, fuente; INTA, Bahill et al., 2006.....	- 101 -
Tabla 3.25. Balance hídrico T-M, Marcos Juárez.....	- 110 -
Tabla 3.26. Balance hídrico T-M, Villa Dolores.....	- 111 -
Tabla 3.27. Balance hídrico T-M, Pilar.....	- 112 -
Tabla 3.28. Balance hídrico T-M, Río Cuarto.....	- 113 -
Tabla 3.29. Fechas de las imágenes satelitales utilizadas.....	- 114 -
Tabla 3.30. Valores de ETR por mes en cada cuenca, para el año 2014.	- 116 -
Tabla 3.31. Grupos hidrológicos según tipo de suelos y textura.	- 119 -
Tabla 3.32. Número de curva según los usos del suelo y los grupos hidrológicos.....	- 120 -
Tabla 3.33. Números de curva ponderados por subcuenca.....	- 121 -
Tabla 3.34. Cálculo del método del número de curva.	- 123 -
Tabla 3.35. Cálculo de escorrentía e infiltración por método del número de curva, para cada subcuenca.	- 124 -
Tabla 3.36. Valores de Q mensual por subcuenca, para el año 2014.	- 125 -
Tabla 3.37. Valores de F mensual por subcuenca, para el año 2014.	- 126 -
Tabla 3.38. Caudales modelados por subcuenca y zona de aporte, Cuenca Alta.	- 128 -
Tabla 3.39. Determinación del factor de erodabilidad del suelo.....	- 137 -
Tabla 3.40. Factores C adoptados para las distintas coberturas o usos del terreno.....	- 138 -

Tabla 3.41. Valores de USLE por subcuenca o zona de aporte.	- 142 -
Tabla 3.42. Tolerancia de pérdida de suelo.	- 142 -
Tabla 3.43. Sedimentos emitidos en cada subcuenca, cuenca Alta.	- 144 -
Tabla 3.44. Rangos para la tabulación cruzada.	- 148 -
Tabla 3.45. Superficie mensual ocupada por cada color en porcentaje.	- 149 -
Tabla 3.46. Superficie mensual ocupada por TDVI, para cada color en porcentaje.	- 152 -
Tabla 3.47. Resultados obtenidos con HEC-HMS en las cuatro modelaciones.	- 153 -
Tabla 3.48. Valores de MUSLE para las cuatro modelaciones realizadas.	- 154 -
Tabla 3.49. MUSLE por hectárea para cada cuenca y para cada modelación.	- 155 -
Tabla 3.50. MUSLE para cada cuenca y para cada modelación.	- 156 -

ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD HÍDRICA EN LA CUENCA DEL RÍO CTALAMOCHITA

1 ASPECTOS GENERALES

1.1 INTRODUCCIÓN

La presente tesis se realiza en el marco de la Maestría en Manejo Integral de Cuencas Hidrográficas de la Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad Nacional de La Plata, con título “Análisis de vulnerabilidad hídrica ante eventos de precipitación extraordinarios en la cuenca del río Ctalamochita”.

La cuenca en estudio corresponde al área de aporte del río Ctalamochita que se encuentra en el sector medio de la provincia de Córdoba, ubicada en el centro de la República Argentina. Gran parte de la región central de la provincia presenta, desde hace algunas décadas, un desequilibrio en su dinámica hidrológica. Este fenómeno se manifiesta por un proceso de erosión hídrica y sedimentación (GPC, 2011). A este proceso se le deben adicionar los importantes eventos de precipitación ocurridos durante los últimos años tanto en la cuenca del río Ctalamochita, como en otras de la región, que han incrementado estos mecanismos de erosión fluvial y procesos de remoción en masa generando, en las zonas con uso del suelo productivo y residencial, significativas inundaciones dejando amplias zonas anegadas y un arrastre de sedimentos que han modificado la morfología de los cursos.

Fundamentalmente, el evento extraordinario de crecida registrado en el mes de febrero del año 2014 evidenció importantes falencias en el diseño de medidas no estructurales en particular para la delimitación de las líneas de ribera, lo cual ocasionó que se inundaran extensas áreas urbanas y periurbanas de localidades ribereñas, incluso para caudales menores a los de diseño, produciendo graves daños a propiedades públicas y privadas.

La vulnerabilidad de una región o comunidad frente a una amenaza, como una inundación, cambia continuamente con las fluctuaciones de la población, las construcciones de nuevas viviendas, carreteras, instalaciones y otras infraestructuras, cambios en el uso de la tierra, etc. La expansión urbana local sin planificación o con una planificación que desconsidera o minimiza los riesgos de inundación hace aumentar o incrementar la vulnerabilidad ante un desastre.

La gestión de los riesgos hace referencia a un complejo proceso social cuyo objetivo último es la reducción o el control del riesgo ambiental en la sociedad. Toma como punto de partida la noción de que el riesgo ambiental como manifestación social es una situación dinámica que tiene dos componentes esenciales - amenaza y vulnerabilidad - y se crea a partir de la interacción de ambos en un espacio y tiempo determinado. No puede existir una amenaza sin la existencia de una sociedad vulnerable y viceversa, puesto que los problemas que plantea tienen un alcance directo sobre los asentamientos, la economía y el derecho a la vida de los habitantes expuestos. Comúnmente en el estudio de riesgos ambientales se pone mayor énfasis en la evaluación y determinación de la amenaza. Sin embargo, el análisis de la vulnerabilidad y sus procedimientos de evaluación requiere no sólo de un enorme esfuerzo sino también de una actualización constante por la expresión de los cambios de la propia organización social (Cardona Arboleda, 2001).

En los trabajos de investigación acerca de las interacciones entre medio ambiente y sociedad, el planteamiento tradicional ha sido el de evaluación de impacto, es decir, se selecciona algo que puede

generar cambios en el medio ambiente (como la construcción de una presa o una carretera, etc.) y se identifican sus efectos más importantes en los sistemas naturales y humanos.

En la última década, sin embargo, ha ido ganando importancia creciente una nueva perspectiva de análisis, basada en el concepto de vulnerabilidad, que traslada la atención principal hacia los grupos o entidades expuestas a cambios ambientales (trabajadores agrícolas, bosques tropicales, etc.). A diferencia del planteamiento tradicional, el análisis de vulnerabilidad considera, por un lado, determinar el riesgo de sufrir resultados desfavorables y, por otro, identificar aquellos factores que pueden reducir la capacidad de respuesta y adaptación a los cambios (Clark et al, 2000; Gómez, 2001).

La comprensión de la vulnerabilidad ambiental de una determinada zona implica entender con precisión la susceptibilidad o resistencia de un área respecto de los agentes destabilizadores y debe analizarse teniendo en cuenta las condiciones particulares de cada comunidad (Castro, 1999).

En este contexto, el objetivo del presente trabajo de investigación es abordar la valoración de los riesgos ante la ocurrencia de eventos de precipitación, en las zonas de afectación que presentan vulnerabilidad ambiental.

1.2 CUENCA EN ESTUDIO

La cuenca de aporte del río Ctalamochita se extiende desde las sierras cordobesas hasta la zona de llanura media de la provincia de Córdoba (Figura 1.1), enmarcada entre los paralelos -32° y -33° , atravesando más de 42 localidades, además de varias estancias, comunas y colonias.

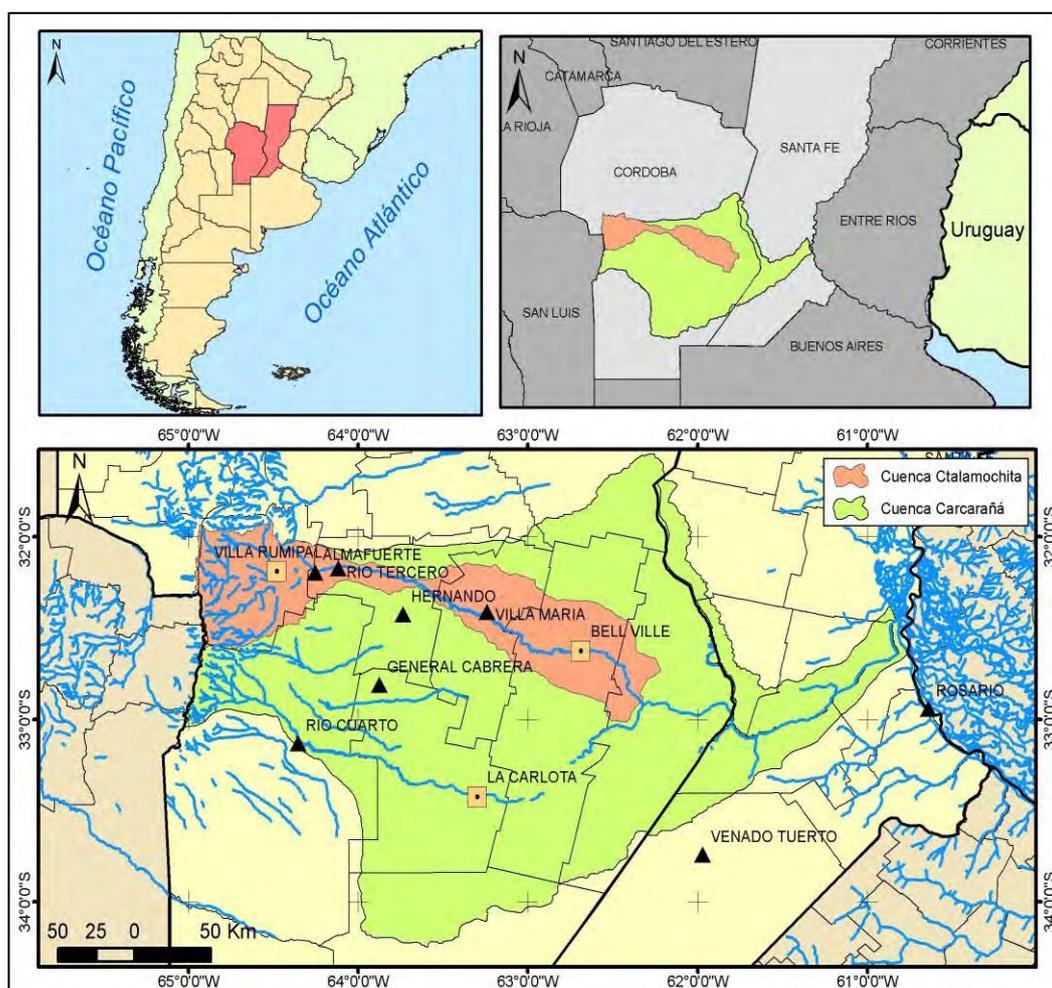


Figura 1.1 Ubicación de la cuenca del río Ctalamochita dentro la cuenca del río Carcarañá. Fuente: Elaboración propia.

El río Ctalamochita forma parte de la cuenca de aporte del río Carcarañá que ocupa un área aproximada de 60.000 km² y se extiende sobre el centro-sudeste de la provincia de Córdoba y el sur de la provincia de Santa Fe. El Carcarañá nace en la provincia de Córdoba por la confluencia de los ríos Tercero o Ctalamochita (del cual es de directa continuación) y Saladillo (nombre del curso inferior del río Cuarto o Chocancharagua). Luego de recibir los aportes del arroyo Tortugas, ingresa en la provincia de Santa Fe, a la que cruza de oeste a este desembocando, en cercanías de la localidad de Puerto Gaboto, en el río Coronda, que a su vez lo hace en el río Paraná (Días Lozada et al, 2015).

Si bien no hay documentación fidedigna que los avale, hay muchos significados de la toponimia de la palabra Ctalamochita que, por deformación, da origen al nombre Calamuchita. Inicialmente, pareciera ser la mezcla del vocablo originario *ctala* o *tala* que significa árbol importante, y una palabra castellana deformada de *mucho*. Considerando cierta tal etimología, Ctalamochita significa de muchos árboles, haciendo referencia, de esta manera, a la parte alta de la cuenca del río Tercero. Otra de las interpretaciones es que surge de la unión de dos palabras, *cala* que en quechua significa sierra y *molle*, por uno de los árboles predominantes en la zona. Suponen también que deriva de la unión de los nombres de dos árboles: talas (*Celtis tala*) y molles (*Schinus*) y de allí a un sonido similar a talamollita.

Con un clima templado subhúmedo a húmedo, con precipitaciones medias anuales que varían desde 700 mm a 900 mm, disminuyendo hacia el oeste, pero aumentando nuevamente en el Valle de Calamuchita a 900 mm y temperaturas medias anuales que oscilan entre los 17° C a los 19 °C de Este a Oeste (UNVM., 2015).

El principal uso de suelo es agrícola-ganadero, tanto en la región pedemontana de cuenca alta como en la región de llanura de la cuenca media y baja. En consecuencia, es el primordial desarrollo socioeconómico, acentuándose más en las pequeñas poblaciones y las zonas rurales. En la cuenca alta, el uso de suelo en el Valle de Calamuchita es principalmente la forestación de pinos, así como también la ganadería. Sin embargo, el principal desarrollo socioeconómico de la región montañosa es el turismo, en este marco la actividad minera está restringida (UNVM, 2015).

En la parte alta de la cuenca hay dos sistemas hidroeléctricos que brindan el suministro de energía, el complejo Río Grande conformado por los embalses Cerro Pelado y Arroyo Corto y el sistema Río Tercero, constituido por los embalses Río Tercero, Ingeniero Cassaffousth, Ingeniero Benjamín Reolín y Piedras Moras (Días Lozada et al, 2015).

1.3 ANTECEDENTES

Son numerosos los estudios y trabajos realizados en la cuenca del río Ctalamochita e incluso en la del río Carcarañá, especialmente desde las importantes inundaciones ocurridas los últimos años.

Entre ellos se destaca fundamentalmente el Proyecto de gestión integral de Recursos Hídricos, cuenca río Ctalamochita, los Informes de Fase I y II: Proyecto de evaluación Preliminar de la Cuenca del río Ctalamochita, provincia de Córdoba, realizados por la Universidad Nacional de Villa María con la colaboración de Tissera G., Cejas G., González A., Preiato S., en 2015, (UNVM, 2015). Su objetivo fue ampliar el conocimiento calificado sobre los principales rasgos hidro-geomorfológicos de la cuenca del Río Ctalamochita, planteando la elaboración de un proyecto de investigación global de la gestión integral de sus recursos hídricos.

Del mismo, se emplearon fundamentalmente los datos de registros de caudales a lo largo de toda la cuenca y el trazado de subcuencas, que ha sido tomado como punto de partida.

Fueron consultados numerosos trabajos de investigación referidos a los escurrimientos y su caracterización, especialmente dos realizados por investigadores de la Universidad Nacional de Córdoba:

- *Cuantificación y caracterización del escurrimiento superficial en el sistema fluvial del río Carcarañá.* Tesis de maestría realizada por el Ing. José Manuel Díaz Lozada en el contexto de la Maestría en Ciencias de la Ingeniería con Mención en Recursos Hídricos, de la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, en el año 2014.
- *Cuantificación del escurrimiento superficial de la cuenca del río Carcarañá.* José M. Díaz Lozada, Carlos M. García, Horacio Herrero, Gustavo M. Barchiesi, Martín Romagnoli, Margarita Portapila, Fabián López, Edgar Castelló, Ana Cosavella y Juan P. Brarda. Este trabajo explica los dos sistemas de embalses ubicados en la cuenca alta y presenta los resultados de campañas de aforos en algunos de los cauces importantes del río Carcarañá. Año 2015.

Con respecto a la temática concerniente a la modelación hidrológica de la cuenca, se analizaron diversos estudios, entre ellos el informe técnico: “Modelación preliminar de la hidrodinámica del flujo del Río Tercero (Ctalamochita) en su tramo urbano en la ciudad de Villa María, Córdoba” UNC – José Díaz Lozada, Nicolás Guillén, Carlos García (2014). Este trabajo presentó información y resultados sobre la modelación ante un evento de crecida ocurrido en los meses de febrero y marzo de 2014.

En cuanto a la realización de un análisis y balance hidrológico a partir de imágenes satelitales, se contó con numerosos trabajos, entre los que se destaca el de Luna Toledo, E.S.; P.I. Figuerola, E.G. Abril y A.C. Ravelo (2013) elaboraron el trabajo denominado “*La fracción evaporativa en diferentes regiones agrícolas y naturales del centro noroeste de la Argentina*”, en el cual se calcula la fracción evaporativa con la metodología empleada para el cálculo de la evapotranspiración mediante productos satelitales MODIS. Dicha metodología se corresponde con la explicada en el apunte de clase del curso de posgrado *Evapotranspiración a escala local y regional*, realizado por M. Holzman (2014).

Otro trabajo tomado como referencia en el manejo de balance con imágenes satelitales es el realizado por Ovando, Bocco, Sayago y Willington, investigadores de la Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Córdoba (2014). El trabajo titulado “*Evaluación del contenido hídrico del suelo en la región central de Córdoba a partir de imágenes Landsat*” analiza la sequía, como carencia de agua disponible, a partir de información satelital y mediante el uso de indicadores espectrales determinando el contenido de humedad edáfica en distintos lotes con cultivos.

1.4 MARCO TEÓRICO

La vulnerabilidad ambiental es un concepto que se relaciona con la susceptibilidad o predisposición intrínseca del medio y los recursos naturales a sufrir un daño o una pérdida por eventos naturales o de origen socioeconómico (Pérez Figueredo, 2012).

Gaspari et al., 2011, hacen referencia al concepto de vulnerabilidad aplicado a cuencas hidrográficas, afirmando que se manifiesta cuando se presentan fenómenos de carácter hidrometeorológico extremo (granizadas, lluvias torrenciales, huracanes, inundaciones, sequías, tornados) y escenarios morfométricos críticos (alta pendiente, geomorfología abrupta, suelos poco profundos, uso del suelo sin medidas conservacionistas).

El estudio de la vulnerabilidad ambiental tiene por finalidad contribuir a prevenir o mitigar los impactos que puedan ocasionar los peligros a la población, su patrimonio y el ambiente. En este contexto se adoptan las siguientes definiciones relacionadas a las condiciones hidrológicas, realizadas por la Asociación Mundial del Agua, GWP-SAMTAC (descargado en diciembre de 2018, de la página de internet: <https://www.gwp.org/en/Website-Information/Glossary/>):

- Crecida: es la respuesta de una cuenca hidrográfica ante la ocurrencia de una precipitación que abarca total o parcialmente a su área de aporte. Implica la variación de los caudales y niveles en el tiempo. Tanto las características de la cuenca como de la precipitación definen la magnitud y severidad de la crecida.

- Inundación: condición temporaria de ocupación parcial o completa de tierras generalmente secas por parte del agua proveniente del desborde de un río o arroyo. Se desprende que no todas las crecidas (naturales o artificiales) provocan inundaciones.
- Riesgo hídrico: es la probabilidad de que ocurra un determinado fenómeno hidrológico en un determinado período de tiempo. Para ejemplificar, la probabilidad de que la crecida de un tiempo de recurrencia de 10 años ocurra en los próximos 5 años. Es decir, aquí interesa conocer cuál es la probabilidad de ocurrencia en todo un período y no sólo para un año cualquiera.

Mientras que según el *Manual básico para la estimación del riesgo* (INDC, 2006) define que una inundación es el desborde lateral del agua de los ríos, lagos, mares y/o represas, cubriendo temporalmente los terrenos bajos, adyacentes a sus riberas, llamadas zonas inundables. Suelen ocurrir en épocas de grandes precipitaciones, marejadas y maremotos (tsunami).

La Estimación del Riesgo para Defensa Civil, es el conjunto de acciones y procedimientos que se realizan en un determinado centro poblado o área geográfica, a fin de levantar información sobre la identificación de los peligros naturales y/o tecnológicos y el análisis de las condiciones de vulnerabilidad, para determinar o calcular el riesgo esperado (probabilidades de daños: pérdidas de vida e infraestructura). Complementariamente, como producto de dicho proceso, recomendar las medidas de prevención (de carácter estructural y no estructural) adecuadas, con la finalidad de mitigar o reducir los efectos de los desastres, ante la ocurrencia de un peligro o peligros previamente identificados.

Se puede estimar el riesgo antes de que ocurra el desastre. En este caso se plantea un peligro hipotético basado principalmente, en su periodo de retorno. O puede evaluarse el riesgo después de ocurrido un desastre, donde la evaluación de daños, pérdidas y víctimas, se realiza en forma directa.

Para cuantificar la gravedad y eventualidad del riesgo, es necesario realizar diversas pruebas, investigaciones y cálculos, alguna de las cuales se detallarán en los capítulos siguientes.

Según la GWP-SAMTAC, la vulnerabilidad de un centro poblado es el reflejo del estado individual y colectivo de sus elementos o tipos de orden ambiental y ecológico, físico, económico, social, y científico y tecnológico, entre otros; los mismos son dinámicos, es decir que cambian continuamente con el tiempo, según su nivel de preparación, actitud comportamiento, normas, condiciones socio-económicas y políticas en los individuos, familias, comunidades, instituciones y países.

Para su análisis, la vulnerabilidad debe promover la identificación y caracterización de los elementos que se encuentran expuestos, en una determinada área geográfica, a los efectos desfavorables de un peligro adverso.

Para entender la problemática de la vulnerabilidad y los impactos debidos a eventos naturales, especialmente de origen hídrico, en la cuenca del río Ctalamochita, se debe plantear un marco explicativo donde se consideran distintas variables e indicadores para su evaluación y cuantificación. Según Rueda (1999), los indicadores pueden ser definidos como variables dotadas de significados, derivados de su propia configuración científica, que reflejan en forma sintética un interés social por el ambiente posible de ser incluido coherentemente en el proceso de toma de decisiones.

Una de las ventajas de utilizar indicadores es la objetividad y comparabilidad de los mismos que representan un lenguaje común que facilita una medida estandarizada. Los indicadores por lo general, se construyen con información cuantitativa, no obstante, y de modo creciente, se usan indicadores cualitativos (OIT, 2011).

Este tipo de análisis, con una orientación mayoritariamente hídrica y ambiental, con una aplicación directa a una problemática social, considera la vulnerabilidad ambiental como un concepto que se relaciona con la mayor o menor exposición que tenga un territorio para ser afectado por un evento.

Debe considerarse también válido el concepto de fragilidad de un elemento medioambiental o perteneciente a un territorio, el cual está relacionado con su capacidad para soportar acciones, que sean

potencialmente alteradoras, sin variar esencialmente su cualidad y sin sufrir modificaciones (Torres, 2002).

En este sentido se entiende el riesgo como la combinación del producto de la vulnerabilidad y la amenaza, con una relación directamente proporcional considerando la probabilidad y magnitud de la amenaza con la mayor o menor exposición del territorio y la evaluación de los posibles impactos (Pérez Figueredo, 2012). Donde la amenaza ambiental se identifica con la probabilidad y magnitud de la manifestación de eventos físicos latentes, siendo dañinos en un futuro.

La comprensión del riesgo ambiental de un territorio implica entender con precisión los riesgos relacionados con la manifestación de la problemática ambiental y la evaluación de los posibles impactos relacionados con la misma y que pudieran incidir en la comunidad (Pérez Figueredo, 2012). Este conocimiento permite la toma de medidas correctoras para minimizar estos impactos o aplicar acciones preventivas para evitar que ocurran.

1.5 HIPÓTESIS

Los principales factores que originan la vulnerabilidad hídrica en la cuenca del río Ctlamochita son de fragilidad física, ambiental, hidrológica y el uso y manejo del territorio.

1.6 OBJETIVOS

1.6.1 Objetivo general

Evaluar la vulnerabilidad hídrica ante eventos pluviales en la cuenca del río Ctlamochita, provincia de Córdoba.

1.6.2 Objetivos específicos

1. Generar un diagnóstico ambiental, socio - productivo de la cuenca.
2. Realizar el balance hidrológico de la cuenca.
3. Aplicar una metodología de modelización y simulación hidrológica para determinar la producción de caudales.
4. Cuantificar y analizar la vulnerabilidad hídrica en las diferentes subcuencas, considerando la incidencia antrópica y natural.
5. Evaluar eventos pluviales para desarrollar niveles de riesgo hídrico, a partir del análisis de la vulnerabilidad.

2 MATERIALES Y METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

La investigación realizada para este trabajo de tesis ha sido, inicialmente, de tipo descriptivo, involucrando las tareas de recopilación, análisis e interpretación de la información. Asimismo, se cuenta con un importante análisis de carácter geoespacial y de generación de escenarios a partir de un análisis bibliográfico y de campo.

Se realizaron tres viajes de estudio a la cuenca para el reconocimiento en la zona de los aspectos biofísicos característicos, como también observar las áreas con mayor cantidad de problemáticas, tales como zonas inundables (urbanas y rurales), sectores gravemente erosionados y de depósito de sedimentación, entre otros.

2.1 Diagnóstico socio-productivo y ambiental de la cuenca

2.1.1 Análisis socio-productivo

La caracterización productiva de la zona estudiada se basó esencialmente en el Sistema Integrado de Información Agropecuaria (SIIA), siendo una base de datos de información agropecuaria relevada y brindada por el MAGyP (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca) y otros organismos, que se encuentra geo-referenciado y es de acceso libre. Se consideraron los datos sobre producción agrícola (superficie sembrada y rendimiento) como también cartografía sobre cuencas lecheras y de producción pecuaria. Se realizó un análisis estadístico para describir las implicancias determinadas por cada sector productivo. Se consideraron los datos obtenidos para los cinco departamentos que forman parte de la cuenca: Calamuchita, General San Martín, Marcos Juárez, Tercero arriba y Unión.

En cuanto a la producción de energía eléctrica, se consideró el aprovechamiento hidroeléctrico del río Tercero, constituido por dos sistemas: por un lado, el complejo Río Grande, conformado por los embalses Cerro Pelado y Arroyo Corto y, por el otro, el sistema llamado Río Tercero, constituido por los embalses: Río Tercero, Ingeniero Cassaffousth, Ingeniero Benjamín Reolín y Piedras Moras. El aprovechamiento cuenta con tres usinas para generación de energía eléctrica que son reguladas por la EPEC, Empresa Provincial de Energía de Córdoba. Si bien se trata de la producción de energía eléctrica, dado que el sistema influye sustancialmente en el comportamiento hidrológico de la cuenca, la caracterización del mismo se encuentra en el capítulo 3.1.2.3 Hidrología.

Para profundizar en los aspectos sociales se consideraron los datos demográficos que se obtuvieron en el último Censo Nacional, realizado por el INDEC en el año 2010. Adicionalmente, se ha realizado una proyección poblacional para estimar la población actual de la cuenca, empleando los métodos de Ajuste lineal y el de las Tasas Medias Anuales Decrecientes normados por el Ente Nacional de Obras Hídricas de Saneamiento (ENOHSa, 2009).

Proyección Demográfica por Ajuste Lineal de la Tendencia Histórica

La proyección demográfica de una localidad por ajuste lineal de tendencia histórica se efectuó aplicando la recta de ajuste resultante de la regresión lineal de los valores de población total registrados en los últimos tres censos.

La población futura se obtiene así utilizando la fórmula:

$$P_n = a + b.n \quad (1)$$

Donde P_n es la población total al año dado (número de habitantes), n es el número de años medidos desde el año calendario inicial de la proyección hasta el año calendario en análisis; a y b son coeficientes de la recta de ajuste y se obtienen aplicando el método de mínimos cuadrados.

El principio de este método es que la recta que mejor se ajusta a un conjunto de datos que muestran una ordenación de tendencia lineal, es aquella para la cual la suma de los cuadrados de los residuos es mínima. Se denomina residuo a la diferencia entre un valor estimado y un valor observado.

Proyección Demográfica por Tasa Geométrica Decreciente

El método utiliza para la proyección futura la siguiente expresión geométrica, similar a la expresión del interés compuesto:

$$P_n = P_0(1 + i)^n \quad (2)$$

Donde, P_n es la estimación de población al año "n"; P_0 es la población base (cantidad de habitantes), que por lo general corresponde al último censo; i es la tasa media anual de proyección.; n es el número de años transcurridos entre la población base y el año de proyección.

Este método define la tasa media anual a emplear basándose en un análisis de las tasas medias anuales de los dos últimos períodos inter-censales, por lo tanto, se toman como punto de partida los valores extraídos de los tres últimos censos del INDEC.

Las tasas medias anuales históricas se calculan a través de las siguientes expresiones:

$$i_I = \sqrt[n_1]{\frac{P_2}{P_1}} - 1 \quad (3)$$

$$i_{II} = \sqrt[n_2]{\frac{P_3}{P_2}} - 1 \quad (4)$$

Donde,

i_I = Tasa media anual de variación de la población durante el penúltimo período censal.

i_{II} = Tasa media anual de variación de la población durante del último período censal.

P_1 = Número de habitantes correspondientes al primer Censo en estudio.

P_2 = Número de habitantes correspondientes al penúltimo Censo en estudio.

P_3 = Número de habitantes correspondientes al último Censo.

n_1 = Número de años del período censal entre el primero y segundo Censo.

n_2 = Número de años del período censal entre el segundo y el último Censo.

Para definir la tasa con que se proyectó en cada período, se comparan tasas i_I e i_{II} . Si i_{II} es mayor que i_I se toma el promedio de ambas y en caso de ser menor se adopta el valor de la tasa i_{II} .

Una vez definidas las tasas que se usaron para la proyección se aplicó para cada período la expresión general.

2.1.2 Análisis ambiental

El diagnóstico ambiental comprendió inicialmente un análisis del tipo climático, donde se estudiaron las principales variables meteorológicas, con la información disponible. Luego se realizó un estudio

hidrológico, donde se definieron y caracterizaron morfológicamente las subcuencas, considerando la influencia del sistema de embalses. También se consideraron las características hidrogeológicas y geológicas de la zona, especialmente desde una escala regional, dada la escasez en la información disponible. Finalmente, se analizaron los distintos tipos de suelos, con usos y coberturas, considerando sus capacidades de uso y características productivas.

2.1.2.1 Caracterización Morfométrica

El análisis morfométrico se realizó mediante el empleo del software ArcMap 10.1, utilizando un Modelo de Elevación Digital (DEM), SRTM de 30 m de resolución espacial y 3 m vertical. Se emplearon fundamentalmente, los datos de la zona presentados en *el Proyecto de gestión integral de Recursos Hídricos, cuenca río Ctalamochita*, UNVM. 2015. A partir de estos datos, se han redefinido los límites de la cuenca y de algunas subcuencas, de forma acorde a la escala de trabajo.

Para el análisis se dividió la cuenca en estudio entre cuenca alta y cuenca media-baja. La primera se encuentra comprendida entre las nacientes de la cuenca, en la divisoria mayor de aguas, hasta el dique Piedras Moras, es decir, la superficie de aporte a dicho embalse. Mientras que la cuenca media-baja, se ha definido como aquella superficie de aporte que comprende desde la salida del río Ctalamochita del dique Piedras Moras hasta su desembocadura en el río Carcarañá.

Para la delimitación de las subcuencas hidrográficas se han considerado canales y cierres artificiales, vinculados a las obras hidráulicas existentes. En la cuenca alta se diferenciaron ocho subcuencas, siendo seis las cuencas de aporte de los seis embalses correspondientes al sistema Hidroeléctrico de Río Tercero.

Según Gaspari et al. 2013, el cálculo de los parámetros morfométricos permite realizar la caracterización de la cuenca en estudio a través de la determinación de parámetros de forma, de relieve y de drenaje. En cuanto a los primeros, se realizaron los cálculos principales tales como la *superficie (A)* y el *perímetro (P)*, como también los enumerados a continuación:

El *Ancho promedio (AP)* definido como la relación entre la superficie de la cuenca (A) y la longitud axial (LA), siendo esta última la distancia entre la desembocadura y el punto más lejano.

El *Índice de forma (IF)*, que regula la concentración del escurrimiento superficial, se calcula como el cociente entre el ancho promedio (AP) y la longitud axial (LA).

El *Coefficiente de compacidad Gravelius (Kc)* permite relacionar el perímetro de la cuenca (P) con el de un círculo de área equivalente al de la cuenca.

$$K_c = \frac{0,28 P}{\sqrt{A}} \quad (5)$$

De los parámetros de relieve sólo se calculó el *Coefficiente de rugosidad*®, determinado como la relación existente entre el desnivel de la cuenca (ΔH) y la densidad de drenaje (Dd).

Para la determinación de los parámetros de drenaje (relativos a la red hidrológica) se realizaron los siguientes cálculos:

Densidad de drenaje (Dd): es la relación entre la suma de las longitudes de todos los cursos (en este caso sólo se consideró la longitud del cauce principal (L) y el área de la cuenca (A)).

Pendiente media del cauce: se calcula como la relación entre el desnivel del cauce (ΔH_c) sobre la longitud del mismo (L).

Tiempo de concentración (Tc): es el tiempo necesario para que todo el sistema contribuya eficazmente a la generación de flujo en el sitio de desagüe (Llamas, 1993), medido en horas. Es una variable propia de cada sitio y depende de las características geomorfológicas de la cuenca y de la lluvia. Según Vélez y Botero, 2010, para estimarlo pueden usarse diferentes fórmulas que se relacionan con

parámetros propios de la cuenca, pero se recomienda emplear el valor medio obtenido de varias ecuaciones empíricas disponibles en la literatura científica. Para calcularlo se emplearon las siguientes ecuaciones, citadas por Vélez y Botero, 2010:

$$t_c = 14,6 \cdot L \cdot A^{-0,1} \cdot S^{-0,2} \quad \text{Bansbay-Williams, Wanielista et al., 1977.} \quad (6)$$

$$T_c = 0,335 \cdot \left[\frac{A}{S^{0,5}} \right]^{0,593} \quad \text{Clark, 1945.} \quad (7)$$

$$T_c = \frac{4\sqrt{A} + 1,5 \cdot L}{25,3\sqrt{S} \cdot L} \quad \text{Giandotti, Arbeláez et al., 1997.} \quad (8)$$

$$t_c = 0,0078 \cdot L_p^{0,77} \cdot S^{-0,385} \quad \text{Kirpich, 1940.} \quad (9)$$

$$t_c = \left[\frac{60 \cdot n \cdot L}{H^{0,3}} \right] \quad \text{Método Racional Generalizado, 1987.} \quad (10)$$

$$T_c = 0,76 \cdot A^{0,38} \quad \text{Pilgrim y McDermott, 1982.} \quad (11)$$

$$T_c = 0,3 \left[(L/j^{0,25})^{0,76} \right] \quad \text{Témez, 1991.} \quad (12)$$

$$T_c = 1,7694 \cdot A^{0,325} \cdot L^{-0,096} \cdot S_0^{-0,29} \quad \text{Valencia y Zuluaga, 1981.} \quad (13)$$

Donde, t_c es el tiempo de concentración (minutos), T_c es el tiempo de concentración (horas), L es la longitud del curso de agua más largo (km), H es la diferencia de nivel máxima y mínima (m), S es la pendiente promedio del cauce principal ($m \cdot m^{-1}$), S_0 es la pendiente en porcentaje, A es el área de la cuenca (km^2), L_p es la longitud del cauce (pies) y n es el coeficiente de Manning de rugosidad del cauce.

En cuanto al tiempo de rezago, Vélez y Botero, 2010, afirman que en la literatura la relación propuesta por el "Soil Conservation Service" es aproximadamente de 0,6 con respecto al tiempo de concentración medio estimado. Dichos autores lo definen como el tiempo transcurrido entre el centroide del hietograma y el centroide del hidrograma de escorrentía (ver $Tr-1$ en la Figura 2.1). También se encuentra en la literatura que el tiempo de rezago es el tiempo transcurrido entre el centroide del hietograma y el caudal pico (ver $Tr-2$ en la Figura 2.1). La Figura 2.1 muestra los tiempos característicos en un hidrograma que sirven para la estimación del tiempo de concentración y tiempo de rezago cuando se dispone de datos de lluvia y caudal.

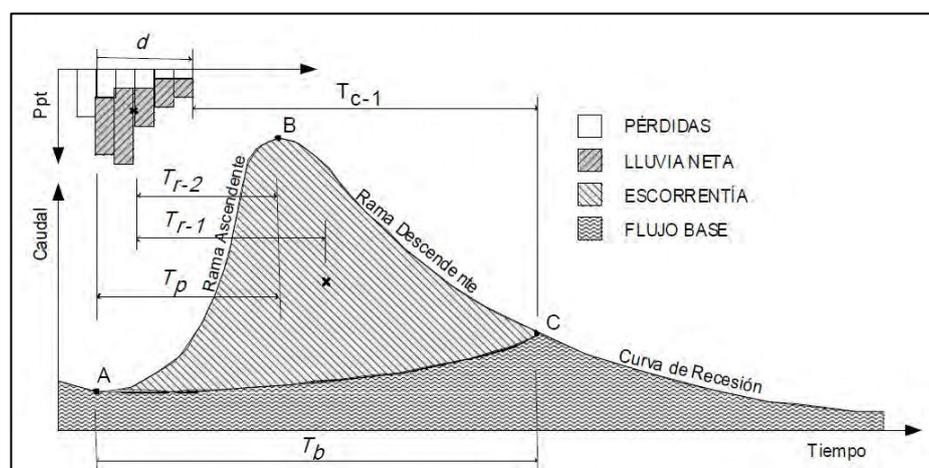


Figura 2.1. Tiempos característicos en un hidrograma. Fuente: Vélez y Botero, 2010.

La información fue analizada a nivel de las subcuencas, diferenciando entre la cuenca alta y media-baja.

2.1.2.2 Análisis climático

En relación al análisis climático de la cuenca del río Ctlamochita se tuvieron en cuenta estaciones meteorológicas ubicadas tanto dentro de la cuenca como en sus inmediaciones. El Servicio Meteorológico Nacional, posee activas las estaciones Marcos Juárez, Pilar, Villa Dolores y Río Cuarto, que si bien se encuentra fuera de la cuenca se emplearon dada su proximidad y posición estratégica. Asimismo, la Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación posee nueve estaciones meteorológicas que cuentan con datos de precipitación. La Universidad Tecnológica Nacional de Villa María (UTNVM) cuenta con una estación meteorológica propia, como también la Cooperativa de trabajo Sudeste Limitada (CTSL). Además, la Secretaría de Recursos Hídricos de la provincia de Córdoba brindó datos de precipitación horaria de dos estaciones meteorológicas ubicadas en la cuenca alta.

A partir de los datos obtenidos, se realizó un control de calidad de la información para hacer la valoración y verificar la consistencia de los datos previamente recopilados, incluyendo la identificación de faltantes en registros y elección de estaciones más representativas para los análisis climáticos a realizar.

Posteriormente, se realizó el análisis estadístico descriptivo de cada variable en todas las estaciones, dando mayor importancia a las precipitaciones. Al respecto, se compararon entre sí las estaciones meteorológicas recopiladas realizando un análisis de variabilidad estacional y de la tendencia histórica y actual de las mismas en el área.

Al igual que con las precipitaciones, se ha realizado el análisis estadístico descriptivo de las variables temperatura (medias máximas, mínimas y medias), humedad relativa y velocidad del viento y dirección, mediante un análisis de frecuencias.

Por último, se abordaron los cálculos de Evapotranspiración (ET) de referencia o potencial según corresponda, aplicando distintas metodologías, que incluyen a *Thornthwaite - Mather* (1948) a paso mensual y diario; *Hargreaves - Samani* (1985); *Penman - Montheith* (homologado por la FAO) y el método de *Turc*. Finalmente, un análisis mediante imágenes satelitales permitió el estudio espacial de la evapotranspiración real, el cual se desarrolla en el apartado 2.2.3 Balance energético.

2.1.2.2.1 Método de Thornthwaite

Este método (1948) se basa en el cálculo de la evapotranspiración (ET) en función de la temperatura media, con una corrección dependiendo de la duración astronómica del día y, en caso de tratarse de un análisis mensual, el número de días del mes. La ecuación es la siguiente:

$$ET = FC \cdot 16 \cdot (10 \cdot T_m / I)^a \quad (14)$$

Siendo,

FC: Factor de corrección, $FC = \frac{Ni}{12} \cdot \frac{Nd}{30}$

Ni: Horas de sol, duración astronómica del día.

Nd: Número de días del mes.

Tm: Temperatura media (°C).

I: Índice de calor anual, $I = \sum_1^{12} i$

i: Índice de calor mensual, $i = (T_m / 5)^{1,514}$

a: $f(I)$, $a = 0,000000675 \cdot I^3 - 0,0000771 \cdot I^2 + 0,01792 \cdot I + 0,46239$

2.1.2.2.2 Método de Hargreaves

El método de *Hargreaves* y *Samani* (1985) se basa en el cálculo ET utilizando los datos de temperaturas máximas y mínimas y valores de radiación solar.

La expresión completa del método es la siguiente:

$$ET = 0,0135. (T_m + 17,78). R_s \quad (15)$$

Siendo,

R_s : Radiación solar incidente convertida ($mm.día^{-1}$), $R_s = R_o. KT. (T_{max} - T_{min})^{0,5}$

R_o : Radiación solar extraterrestre, depende únicamente de la latitud ($mm.día^{-1}$)

KT: Coeficiente empírico, se adopta normalmente 0,162 para regiones del interior y 0,19 para regiones costeras.

T_m : Temperatura media ($^{\circ}C$).

T_{max} : Temperatura máxima ($^{\circ}C$).

T_{min} : Temperatura mínima ($^{\circ}C$).

2.1.2.2.3 Método de Penman - Monteith

Este método calcula la ET de una superficie extensa de pasto verde (*Festuca* o *Alfalfa*) de altura uniforme, en activo crecimiento, que cubre completamente el suelo y que permanece en óptimas condiciones de humedad.

Los parámetros climáticos empleados para este cálculo son: temperatura máxima, mínima y media, humedad relativa media, velocidad del viento, cota y latitud de cada estación meteorológica.

La ecuación (16), propuesta por Penman y Monteith, estima la evapotranspiración potencial para un cultivo de referencia con una altura asumida de 0,12 m, una resistencia superficial de 70 s/m, y un albedo de 0,23, asemejándose en términos de evapotranspiración a una superficie de pastura verde de altura uniforme, creciendo y recibiendo una cantidad adecuada de agua. La metodología corresponde a la publicada por FAO en su estudio: FAO Riego y Drenaje N° 56 (Allen et al, 2006).

$$ET = \frac{0,408. \Delta. R_n + \gamma. (900/(T + 273)) u_2. (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma. (1 + 0,34. u_2)} \quad (16)$$

Donde se definen,

Δ = Pendiente de la curva de presión de la saturación de vapor a una temperatura específica ($mbar/^{\circ}C$)

R_n = Energía de radiación neta ($cal/cm^2.día$), depende de la radiación extraterrestre (fórmula dependiendo de la latitud el día del año) γ , además, de las temperaturas máximas y mínimas.

γ = Constante psicométrica ($mbar/C$) = $0,665.10^{-3}$

T = Temperatura promedio ($^{\circ}C$)

u_2 = Velocidad del viento a los dos metros de altura, la puede calcularse a partir de la velocidad medida a cualquier otra altura.

$e_s - e_a$ = Déficit de presión de vapor (mb)

e_s = Presión de vapor a saturación a la temperatura promedio del aire (mb), depende de las temperaturas máximas y mínimas.

e_a = Presión de vapor tomada a la temperatura a punto de rocío (mb), depende de las temperaturas máximas, mínimas y medias y de la humedad relativa.

2.1.2.3 Hidrología

Para el análisis de los parámetros hidrológicos la cuenca del río Ctalamochita fue considerada separada entre cuenca alta y cuenca media-baja. Se estudiaron, puntualmente en la parte alta, los seis embalses existentes que regulan el escurrimiento del río Ctalamochita.

En relación a los registros de caudales y alturas de agua medidos en estaciones de aforo y embalses, se han obtenido los mismos en base al *Proyecto de Evaluación Preliminar de la Cuenca del río Ctalamochita*, provincia de Córdoba (UNVM, 2015).

Adicionalmente, se emplearon los datos correspondientes a la Base de Datos Hidrológicos de la Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación, totalizando 33 estaciones de aforo, indicando el tipo de registro y período abarcado, fuente, ubicación, entre otros datos complementarios de cada sitio.

Los datos se han analizado tanto mensual como anualmente, comparándose con los registros de precipitación correspondientes a cada zona estudiada.

2.1.2.4 Hidrogeología

En cuanto al análisis hidrogeológico, se ha basado principalmente en el trabajo presentado por la Universidad Nacional de Río Cuarto, *Aguas Subterráneas de la provincia de Córdoba*, editado en diciembre de 2014, realizada por M. Blarasin, A. Cabrera, E. Matteoda.

Especialmente para el caso de los acuíferos confinados, dado que es poca la información con la que se cuenta, se exponen los datos presentados por la Universidad Nacional de Villa María (2015), sobre las explotaciones para abastecimiento en las localidades de Río Tercero, con estudios realizados por Palacios et al. (2013) en Ballesteros y por Maldonado et al. (2013) en Villa Nueva, sobre la explotación de los acuíferos realizada por la cooperativa municipal a cargo del servicio.

A su vez, para un conocimiento local de la ciudad de Villa María, se empleó el *Estudio hidrogeológico: abastecimiento de agua a la ciudad de Villa María Provincia de Córdoba*, de la Universidad Nacional de Villa María (UNVM, 2017), realizado junto con la Municipalidad de Villa María en el marco del "Proyecto de Gestión Integral de Recursos Hídricos en la Cuenca Ctalamochita".

Se empleó la distinción de unidades hidrolíticas acuíferas (reciben, alojan y transmiten agua con facilidad), acuícludas (reciben y alojan, pero no transmiten), acuitardas (reciben, alojan, pero transmiten con dificultad y bajo ciertas condiciones) y acuífugas (reciben, pero no alojan ni transmiten agua), realizadas por la UNMV.

2.1.2.5 Geología Regional

La caracterización geológica, realizada desde un punto de vista regional, se basó en el estudio presentado por el UNVM en los Informes de Fase I y II: *Proyecto de evaluación Preliminar de la Cuenca del río Ctalamochita, provincia de Córdoba*, donde se consigna un análisis de las provincias geológicas de la zona estudiada y las principales estructuras presentes en la misma.

2.1.2.6 Suelos

Según Villalaz, 2004, se define el suelo como una delgada capa sobre la corteza terrestre de material que proviene de la desintegración y/o alteración física y/o química de la roca y de los residuos de la actividad de los seres vivos que sobre ella se asientan. Siendo, entonces, diversos los factores que intervienen en la génesis del suelo (clima, geomorfología, factores bióticos, material original y tiempo), dando lugar al perfil del suelo mediante los procesos de formación.

Los suelos se presentan sobre la superficie de la tierra como un manto continuo, imposible de estudiar como un todo, salvo mediante generalizaciones. Una clasificación proporciona criterios diferenciadores con fundamento científico y hace posible la subdivisión sistemática de ese todo en entidades simples, o sea, clases del sistema. El agrupamiento de suelos similares tiene por finalidad definir un uso productivo posible y el manejo más adecuado, manteniendo o mejorando su integridad física y biológica. Conocer qué suelos existen en una región, es información básica para la gestión directa del territorio (Bahill et al., 2006)

El Dr. Horaldo Senn, 2006, afirma que la naturaleza de los suelos de Córdoba, conjugada con sistemas de producción extensivos, históricamente característicos del área pampeana, han determinado el bajo nivel de deterioro y contaminación de nuestras tierras hasta no hace tantos años. Sin embargo, el proceso de expansión agrícola iniciado en los 90, bajo el estímulo del actual ciclo húmedo, con un poderoso incremento de la superficie dedicada a agricultura logrado a expensas de superficies antes ganaderas, sumado a una simplificación de los sistemas productivos y un aumento en la escala de explotación, con cambios en la tenencia de la tierra e incorporación de nuevas formas contractuales, condujo a la expansión de la frontera agrícola, a veces a expensas de tierras frágiles que exigen mayores cuidados para mantenerlas productivas. Este proceso, que muestra diferentes dinámicas según las regiones, vino muchas veces acompañado por desmontes, donde la difusión de la soja, sobre áreas con riesgo climático, elevada tasa de mineralización de la materia orgánica, y alta susceptibilidad a la erosión hídrica y eólica, genera incertidumbre sobre la sustentabilidad a largo plazo.

El sistema de clasificación de la capacidad de uso que interpreta el mapa de suelos, se basa en el Servicio de Conservación de Suelos de Estados Unidos, el cual 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 los 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 (Bahill et al., 2006).

Finalmente, el sistema de valoración de la productividad de los suelos complementa la clasificación de tierras por su Capacidad de Uso, empleando el Índice de Productividad (IP). La determinación de dicho 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. El índice calculado se interpreta como una proporción del rendimiento máximo potencial 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.

La determinación del IP se realiza entonces en dos etapas. En una primera se calcula el índice de productividad de cada unidad taxonómica (IPt) y la segunda, a partir de los resultados de la primera, y con la consideración de los porcentajes de participación areal de cada componente, se calculan los índices de las unidades cartográficas (IPc).

Para la caracterización de los suelos, el estudio se basó fundamentalmente en la publicación *Los suelos, Nivel de Reconocimiento, Escala 1:500.000*, del año 2006, a cargo de la Agencia Córdoba Ambiente, correspondiente al área de Subcoordinación Suelos, del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), EEA MANFREDI, realizado por Bahill Jarsún, Juan A. Gorgas, Eduardo Zamora, Hésmer Bosnero, Edgar Lovera, Andrés Ravelo y José Luis Tassile. Nombrado como INTA (2006).

Las tipologías de los suelos consideradas se basan en su génesis y composición textural, con la que se ha generado cartografía específica, analizada geoespacialmente a través del uso de sistemas de información geográfica, mediante el empleo del software ArcMap 10.1.

2.1.2.7 Coberturas y usos del suelo

El uso del territorio y los distintos tipos de cobertura existentes en la cuenca se obtuvieron de la base de datos del Instituto Geográfico Nacional (IGN) (2013), en una escala de 1:250.000; de la información obtenida del Bahill et al., 2006, y de la información georreferenciada obtenida de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) (2000).

Los datos fueron analizados geoespacialmente a través del uso de sistemas de información geográfica, mediante el empleo del software ArcMap 10.1, generando cartografía específica con las capacidades de uso del suelo, los índices de productividad y las áreas ecológicas homogéneas.

2.2 Balance Hidrológico

2.2.1 Generalidades

El funcionamiento de una cuenca del río Ctalamochita se basa en los principios del ciclo del agua y sus relaciones con el suelo, la cobertura y uso de la vegetación, la topografía y el agua, en tiempo y espacio.

Según Linsley, 1977, el ciclo hidrológico puede iniciar con la evaporación del agua de los océanos, el vapor de agua resultante es transportado por las masas móviles de aire y bajo condiciones adecuadas se condensa para formar las nubes, las cuales, a su vez, pueden transformarse en precipitación. La precipitación que cae sobre la tierra se dispersa de diversas maneras. La mayor parte de ésta es retenida temporalmente por el suelo, en las cercanías del lugar donde cae, y regresa eventualmente a la atmósfera por evaporación y transpiración de las plantas. Otra porción de agua que se precipita viaja sobre la superficie del suelo, o a través de éste, hasta alcanzar los canales de las corrientes. La porción restante penetra más profundamente en el suelo para hacer parte del suministro de agua subterránea. Bajo la influencia de la gravedad, tanto la escorrentía superficial como el agua subterránea se mueven cada vez hacia zonas más bajas y con el tiempo pueden incorporarse a los océanos. Sin embargo, una parte importante de la escorrentía superficial y del agua subterránea regresa a la atmósfera por medio de evaporación y transpiración, antes de alcanzar los océanos.

En resumen, la entrada principal de agua al sistema es la precipitación (P), y las salidas la evaporación del suelo y de cuerpos de aguas (si estos existieran), la evaporación - transpiración de las plantas o evapotranspiración (ET) como agua que regresa a la atmósfera, la que ingresa al suelo (Infiltración y Percolación) y el escurrimiento (E), que se encuentran en movimiento casi continuo en las capas horizontales del suelo (Gaspari et al., 2013). La Figura 2.2 muestra un esquema clásico del ciclo hidrológico, según el Estudio Nacional del Agua del Instituto de Meteorología, Hidrología y Estudios Ambientales- IDEAM, Bogotá, Colombia. 2010.

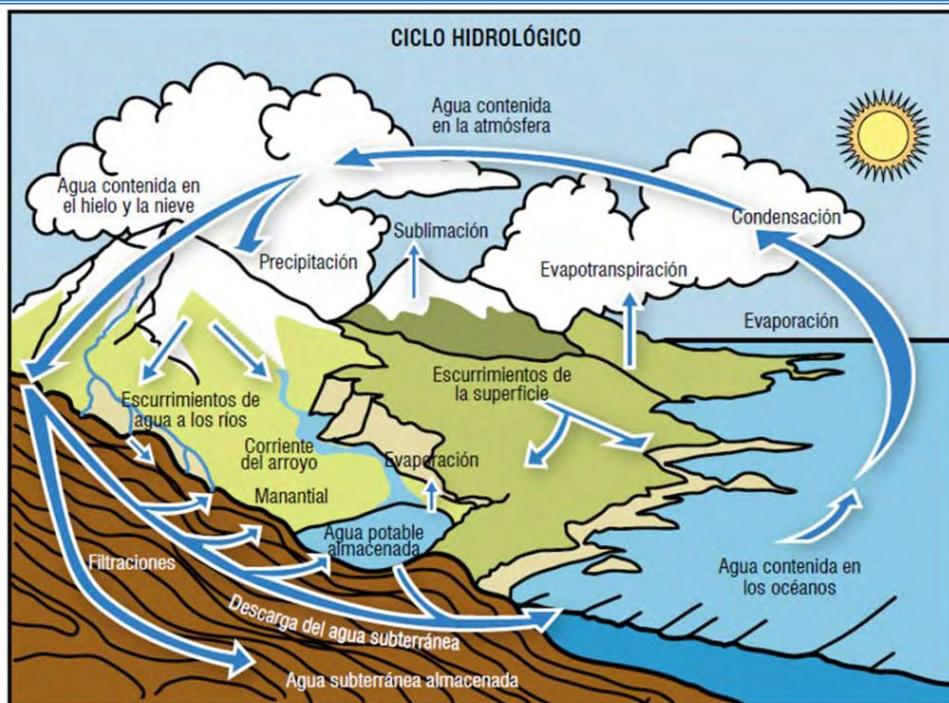


Figura 2.2 Ciclo hidrológico. Fuente: IDEAM, 2010.

El *balance hídrico*, hace referencia a un balance de masa en el cual se incluyen las relaciones entre ganancias y pérdidas de agua en una sección de control. Dichas relaciones se expresan en forma de evapotranspiración, precipitación, escorrentía o almacenamiento superficial y subterráneo. Para la determinación de estas variables intervinientes, se hará uso de la información disponible recopilada proveniente de estaciones meteorológicas y estudios antecedentes.

La ecuación del balance hídrico que contiene todas las variables mencionadas, se expresa a continuación:

$$P - ET \pm \Delta S - I \pm ES = 0 \quad (15)$$

Siendo, P la precipitación, ET la evapotranspiración real, ΔS la variación en el almacenamiento, I la infiltración al acuífero y escurrimiento subsuperficial y ES el escurrimiento superficial.

Cuando la pérdida de humedad excede a la precipitación resulta un balance deficitario, con lo cual el suelo se seca; mientras que cuando la precipitación es mayor a las pérdidas resulta un excedente que permite recuperar la humedad del suelo.

En relación a la estimación de la evapotranspiración, variable que presenta ciertas dificultades en cuanto a su determinación, se plantearon inicialmente diferentes métodos empíricos, los cuales permiten obtener valores puntuales (Ver apartado 3.1.2.2.7). Adicionalmente, debido a ciertas carencias en la información disponible, llevaron a plantear como herramienta de análisis, la utilización de imágenes satelitales y su procesamiento digital que, en conjunción con los datos obtenidos mediante mediciones en campo, permitieron la construcción de modelos del balance hidrológico y determinar las variables anteriormente descritas.

2.2.2 Thornthwaite - Mather

Según Claro Rizo, 2006, existen varios modelos para estimar el balance de agua en el suelo, el propuesto por Thornthwaite y Mather, parte de los supuestos de que toda la precipitación es efectiva y está disponible en primer término para ser utilizada en el proceso de evapotranspiración, y que los excesos no afectan el período siguiente. Asimismo, afirma que cuando la precipitación es deficitaria,

consume el agua de la reserva del suelo a una tasa proporcional para poder abastecer la demanda de la evapotranspiración potencial, hasta agotar dicha demanda. Para su determinación, se utiliza un modelo logarítmico de extracción de agua de los suelos que limita la capacidad máxima de extracción de acuerdo al agua disponible.

El agua en el suelo se halla alojada en los macro y micro poros y adsorbida en las partículas de suelo. La Cátedra de Cereales y Oleaginosas, de Facultad de Ciencias Agropecuarias, de la Universidad Nacional de Córdoba, define la cantidad de agua contenida por un suelo para un determinado momento, según las siguientes condiciones:

- Humedad de Saturación: es el contenido de agua de un suelo en el que todos sus poros están llenos de agua. Esta situación puede observarse inmediatamente después de una lluvia o riego abundante.
- Capacidad de Campo (CC): también conocido como límite máximo, es el contenido de agua presente en un suelo luego de drenar libremente durante los 2 o 3 días posteriores a una lluvia o riego intenso. Se estima que corresponde al agua retenida a un potencial mátrico que puede variar entre 0,1 bar para suelos arenosos hasta 0,5 bares para suelos arcillosos. Se puede tomar como valor medio 0,3 bar.
- Punto de Marchitez Permanente (PMP): También conocido como límite mínimo, es el contenido de agua de un suelo retenida tan firmemente que las plantas no pueden extraerla causándoles una marchitez irreversible. En este estado se admite, en general, que el agua está retenida con potenciales menores a -15 bares. En general se puede asumir que el valor de PMP de un suelo es aproximadamente el 50 % de la CC del mismo.

No todas las especies vegetales tiene la misma capacidad para extraer agua del suelo, incluso esta capacidad puede variar según el estado fenológico de la planta; por lo tanto, el valor del PMP no será un punto constante, para todos los casos. Además, el PMP depende también de características propias del suelo como su granulometría, su compactación, el contenido de materia orgánica y la profundidad del perfil, entre otros factores.

- Agua Útil (AU) o disponible: Es la diferencia entre los contenidos de agua a CC y PMP. Es la que se considera como agua utilizable o potencialmente extractable por las plantas en la zona de crecimiento radical. Esta es la fracción del agua del suelo que puede perderse por evaporación o variar por el consumo de las plantas.

El balance de entradas y salidas de agua del suelo clasifica un periodo como seco ($P-ETP < 0$) o húmedo ($P-ETP > 0$) según la diferencia entre la precipitación y la evapotranspiración potencial sea negativa o positiva. Cuando en un periodo se produzcan más entradas que salidas ($P > ETP$) el agua sobrante pasará a engrosar las reservas del suelo, mientras que cuando las salidas sean mayores que las entradas, se reducirá dicha reserva.

Sin embargo, el suelo tiene una capacidad máxima de retención de agua, el agua añadida en exceso se perderá superficialmente o por infiltración profunda. Por lo tanto, hay una cantidad de agua por unidad de superficie en milímetros que el suelo es capaz de almacenar en su perfil.

La capacidad de almacenamiento de agua del suelo es la cantidad de agua aprovechable por las plantas que puede almacenar el suelo y depende fundamentalmente de la textura del suelo y de su profundidad.

Cuando los balances se extrapolan a grandes zonas en donde la capacidad de almacenamiento es imposible de determinar por las variaciones del mismo, se puede establecer un valor fijo para un país o región. El valor más usado en esta clase de estudios es de 100 mm, pero se puede adoptar 50 mm si se trata de suelos con baja capacidad de almacenamiento y volúmenes bajos de precipitación o 150 mm si predominan los suelos profundos con excedentes de agua a lo largo del año. (Claro Rizo, 2006).

En el cálculo del balance en esta tesis, no se considerarán los aportes del agua subterránea por la dificultad en determinarlos, sólo se tendrán en cuenta los valores ingresados por precipitación. Las demandas de agua sólo estarán representadas por la ETP.

2.2.3 Balance energético

Para el cálculo de la ET se planteó un balance de energía mediante el uso de imágenes satelitales, donde las variables intervinientes se muestran en la ecuación 18:

$$R_n = G + LE + H \quad (18)$$

Siendo R_n la radiación neta o energía total, y es la resultante entre las radiaciones de onda corta y larga entrantes y salientes, G es el flujo de calor en el suelo, LE es el flujo de calor latente y H es el flujo de calor sensible. La unidad empleada en el balance energético es $W.m^{-2}$.

Se denomina Flujo de calor a la transferencia de energía que se lleva a cabo como consecuencia de las diferencias de temperatura. Es llamado *sensible* cuando no se produce cambio de estado como consecuencia de esa transferencia de energía, y *latente* cuando sí se produce. Es, entonces, LE el parámetro que se analiza, y representa para nuestro estudio a los procesos conjuntos de cambio de estado: evapotranspiración y sublimación.

La forma de cuantificar la partición de la *energía disponible* a emplearse en el cambio de estado (LE) en un área determinada a través de técnicas de teledetección, es mediante el cálculo de la Fracción Evaporativa (FE). Esta variable representa la energía utilizada para el proceso de cambio de estado y puede adoptar valores entre 0 y 1.

La energía disponible se define como la radiación neta (R_n) restante una vez ocurridos los procesos de flujo de calor en el suelo (G), siendo ésta la energía utilizada para calentar o enfriar en suelo. Resultando la siguiente ecuación:

$$Energía\ disponible = R_n - G \quad (19)$$

La ventaja de usar la FE resulta de su regularidad y constancia en días de cielo despejado, resultando imposible su análisis en días en que el cielo se encuentra cubierto por nubes. Su estabilidad permite admitir que su valor instantáneo representa satisfactoriamente un valor medio diario. Resumiendo, la FE representa la cantidad energía empleada en los procesos de flujos de calor latentes (LE), es decir aquellos que comprenden un cambio de estado.

Para la zona en estudio, el proceso de cambio de estado de mayor implicancia es la evapotranspiración, puesto que la condensación de agua (rocío) emplea cantidades despreciables de energía en este tipo análisis. La FE brinda la relación entre el valor potencial, o de referencia, de ET y el real (considerando la ET y la sublimación como un único proceso de pérdida de agua del sistema).

La ecuación 20, resume lo anteriormente expuesto (Sobrino et al., 2007; Hoedjes et al., 2008; Galleguillos et al., 2011):

$$FE = \frac{LE}{R_n - G} \Rightarrow ET_o . FE = (ET_{real} + sublimación) = LE \quad (20)$$

En el estudio de tesis, se obtuvo la distribución de los valores de la FE para las diferentes regiones que componen la cuenca analizada, utilizando la temperatura de superficie (T_s) y el índice de vegetación mejorado (EVI), productos obtenidos por sensores remotos.

Según el SNIA (Storage Networking Industry Association), el EVI provee información que permite monitorear el estado de la vegetación en caso de altas densidades de biomasa. Es un índice optimizado

a partir del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) para reducir la influencia de la atmósfera, por ejemplo, por la dispersión de aerosol. Este índice no presenta problemas de saturación como el NDVI en zonas con altas densidades de biomasa..¹

Como explican Roldán y Poveda (2006), para determinar la densidad de vegetación en un sector, se deben observar los diferentes colores (longitudes de onda) de luz visible (banda roja) e infrarroja reflejada por las plantas. La vegetación saludable absorbe más luz visible de lo que refleja, y refleja una alta porción en luz infrarroja. La vegetación no saludable refleja más luz visible y menos infrarroja.

En esta tesis, se empleó el EVI como un indicador del estado de la vegetación, siendo particularmente sensible a la cobertura vegetal, es decir, que los cambios, en el valor del índice de vegetación a través del tiempo permitieron identificar si un campo en determinado mes o año, en términos de cobertura vegetal y/o biomasa, está en mejor o peor condición respecto de sus valores normales (Torres et al., 2010).

La estimación de las variables EVI y FE se realizó utilizando datos de imágenes del sensor MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*) a bordo de la plataforma AQUA.

El empleo del EVI como índice de vegetación se debe a que no se satura fácilmente cuando se observan áreas con grandes cantidades de clorofila.

Las imágenes utilizadas son productos MODIS, MYD11A1 para la temperatura de superficie (Ts) diaria y MYD09GA para las reflectancias diarias a 500 m. Estas imágenes se encuentran calibradas y disponibles en forma gratuita.

Las fechas empleadas fueron seleccionadas por su representatividad de condiciones ambientales cálidas y húmedas, y por la calidad encontrada en las imágenes disponibles (existencia de pocas obstrucciones).

Procesamiento de imágenes

El procesamiento de las imágenes MODIS MYD11A1 y MYD09GA, mediante el software de tratamiento de imágenes satelitales ENVI 5.3, comprendió las siguientes etapas:

- i. Importación y re-proyección a latitud/longitud Datum WGS-84.
- ii. El EVI se calculó mediante la combinación de bandas explícita en la ecuación 20 (Liu y Huete, 1995):

$$EVI = G \frac{(\rho_{IRc} - \rho_{rojo})}{(\rho_{IRc} + C_1 \rho_{rojo} - C_2 \rho_{azul} + L)} \quad (21)$$

Donde:

G Factor de ganancia, adoptado como 2.5 en el algoritmo para MODIS.

ρ_{IRc} Reflectancia correspondiente a la banda del infrarrojo cercano.

ρ_{rojo} Reflectancia correspondiente a la banda roja.

ρ_{azul} Reflectancia correspondiente a la banda azul.

C1 y C2 Coeficientes de peso del uso de la banda azul en la corrección del efecto aerosol en la banda roja. Para el algoritmo de MODIS se adoptan C1=6 y C2=7,5, según Liu y Huete, 1995, Jiang et al., 2008.

L Factor de ajuste de efecto del suelo adoptado como 1 en el algoritmo para MODIS.

¹ Fuente: http://dlibrary.snia.gub.uy/maproom/Monitoreo_Agroclimatico/INDICES_VEGETACION/EVI/EVI_250m/EVI.html, diciembre de 2018.

- iii. La temperatura de superficie, T_s , (MYD11A1), originalmente con una definición de 1 km, fue remuestreada a 500 m por el método del vecino más cercano, puesto que se requiere que ambas imágenes tengan el mismo tamaño de pixel y MYD09GA tiene 500 m de resolución.
- iv. Se realizó el diagrama de dispersión T_s /EVI, según la Figura 2.3. La FE se estimó para cada pixel como la distancia relativa entre los dos límites de esa dispersión, llamados límite seco y límite húmedo.

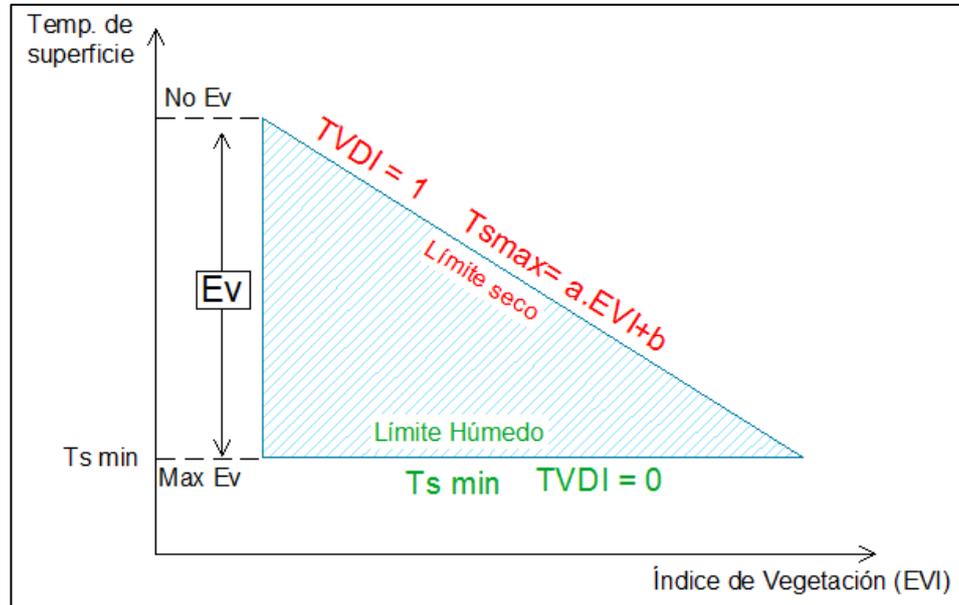


Figura 2.3. Esquema del diagrama de dispersión T_s vs índice de vegetación. Fuente: Holzman, 2014.

En tal espacio triangular de dispersión se puede definir el índice de estrés hídrico TVDI (Temperature Vegetation Dryness Index) como:

$$TVDI = \frac{T_s - T_{smin}}{T_{smax} - T_{smin}} \quad (22)$$

Donde:

T_s Temperatura de superficie para un píxel dado (en grados Kelvin);

T_{smin} Mínima temperatura de superficie en la imagen, definida por el límite húmedo;

T_{smax} ($T_{smax} = a \cdot EVI + b$) Máxima temperatura de superficie de la imagen y se refiere al límite seco del triángulo de dispersión T_s /EVI, definido como una relación lineal entre los datos, donde a y b son parámetros de la imagen que surgen de la regresión lineal.

El TVDI asume el valor de 1 en los píxeles cercanos al límite seco (hipotenusa del triángulo), indicando mínima evapotranspiración; y 0 en píxeles cercanos al límite húmedo (base del triángulo), indicando máxima evapotranspiración.

La pendiente de la línea de ajuste T_s /EVI se puede interpretar como un índice de la resistencia superficial a la evaporación o a la evapotranspiración. Así, ante condiciones meteorológicas similares, las diferencias en cuanto a esta resistencia se deben principalmente a las variaciones en la disponibilidad de humedad del suelo. Esto sugiere que la pendiente de la recta es similar al factor de disponibilidad de humedad.²

² Fuente: http://www.ora.gob.ar/TVDI/tvdi_metodologia.pdf

Así, la FE para un pixel se calcula con la siguiente ecuación:

$$FE = 1 - TVDI = 1 - \frac{T_s - T_{s_{\min}}}{a \times EVI + b - T_{s_{\min}}} \quad (23)$$

La precisión del método depende de la presencia de áreas heterogéneas (suelos secos y húmedos, suelo desnudo y con vegetación) que permitan una correcta definición de los parámetros de la ecuación. En este caso, las imágenes obtenidas de la zona de estudio lo permitieron.

Evapotranspiración Real

Para la determinación de la evapotranspiración real se tomó como punto de partida la evapotranspiración de referencia calculada a partir de datos meteorológicos.

Los valores reales de agua que vuelve a la atmósfera, el flujo de calor latente (LE), ya sea en forma de evapotranspiración o como sublimación, se determinan aplicando la siguiente ecuación:

$$LE = ET_{real} + Sublimación = FE \cdot ET_0 \quad (24)$$

Para la cuenca del río Ctlamochita, no se considera la sublimación dado que no se registran en la cuenca cantidades significativas de precipitación nival, ni cuerpos de hielo. Resultando:

$$ET_{real} = FE \cdot ET_0 \quad (25)$$

La operación se realizó empleando el software ArcMap 10.1, para las fechas seleccionadas, considerando los valores de FE obtenidos mediante el procedimiento descrito anteriormente.

A partir de la ecuación (17) de balance hídrico de masa y de los resultados de ET real obtenidos, puede plantearse un análisis interrelacionado de las variables intervinientes.

Se emplearon los registros de precipitación obtenidos en las estaciones meteorológicas distribuidas en la zona.

Teniendo en cuenta las consideraciones descritas, la ecuación de balance de hídrico puede replantearse según:

$$P - ET = I \pm \Delta S + ES \quad (26)$$

Donde se tienen como datos la distribución espacial de las precipitaciones y la evapotranspiración real.

2.3 Modelización y simulación hidrológica

Generalmente, se entiende un modelo como una representación simplificada de un sistema real complejo, bajo forma física o matemática, en esta última, el sistema real está representado por una expresión analítica.

En un modelo hidrológico, el sistema físico, real, que se representa es la cuenca hidrográfica y cada uno de los componentes del ciclo hidrológico que se quieran representar. Un modelo hidrológico consta de entradas y salidas que son variables hidrológicas mensurables y su estructura un conjunto de ecuaciones que conectan estas entradas y salidas (Chow et al., 1994).

Como asegura Dueñas (1997), la modelación hidrológica es una herramienta de gran importancia para el estudio de avenidas que se ha extendido por todo el mundo, fundamentalmente en países desarrollados. En la actualidad, con el empleo de estos modelos, se realiza el análisis y la prevención de las inundaciones. Además, es posible manejar hipótesis suficientemente realistas o previsibles que

ofrezcan un cierto grado de confianza para la toma de decisiones, ya sea en la ordenación del territorio en torno a los ríos o para exigir criterios de diseño de obras e infraestructuras capaces de soportar y funcionar adecuadamente en situaciones de emergencia, incluso alertar a los servicios de protección civil y establecer protocolos de actuación ante posibles situaciones de peligro por intensas lluvias.

Para la modelación hidrológica de la cuenca del río Ctalamochita fue empleado el software HEC-HMS. Este requirió de información morfológica de la cuenca, de datos de eventos de precipitación, el cálculo del número de curva para cada subcuenca y el conocimiento general del sistema. De igual manera, se empleó el método del número de curva para obtener valores estimativos de escorrentía e infiltración y el cálculo del coeficiente de escurrimiento.

2.3.1 Método del Número de curva

Como es conocido, cuando comienza a llover, una parte del agua precipitada queda retenida en la vegetación, otra inicia el proceso de infiltración y el resto genera escurrimiento. A medida que transcurre la precipitación el proceso de infiltración tiende a saturar el suelo y el escurrimiento tiende a aumentar. De ello se deduce que la precipitación se distribuye contemplando las características particulares de la misma, del tipo de suelo y cobertura vegetal y/o uso del suelo (Gaspari et al., 2013). Muchas veces no se cuenta con datos de ese escurrimiento y debe estimarse.

En 1972, el Servicio de Conservación de Recursos Naturales de EE.UU. (Natural Resources Conservation Service – NRCS), originalmente llamado Servicio de Conservación de Suelos (Soil Conservation Service – SCS), desarrolló un método sencillo para calcular la lluvia efectiva como una función de la lluvia acumulada, la cobertura del suelo, el uso del suelo y las condiciones de humedad. El mismo se denomina Número de Curva (NC) o el método de las abstracciones y se basa en que la precipitación generará diferentes caudales de escurrimiento en función del grado de permeabilidad del suelo y cobertura. Este método permite calcular las abstracciones de la precipitación de una tormenta, que por diferencia establece el escurrimiento. El NC se establece para cada complejo suelo-vegetación a partir de sus características particulares de vegetación y textura edáfica (Chow, 1994; López Cadenas del Llano, 1998; Muñoz Cárpena y Ritter Rodríguez, 2005; Gaspari et al 2009).

El método realiza una clasificación hídrica de los suelos reconociendo cuatro grupos hidrológicos, GH, tabulados según su textura, Tabla 2.1 y la cobertura vegetal y/o uso del suelo, que es otro elemento que tiene influencia en el escurrimiento.

GH	Textura
A	Arenoso; Arenoso-franco; Franco-arenoso
B	Franco-limoso; Franco; Limoso
C	Franco-arcillo-arenoso; Franco-arcillo-limoso; Franco-arcilloso
D	Arcillo-arenoso; Arcillo-limoso; Arcilloso

Tabla 2.1. Clasificación de los grupos hidrológicos. Fuente: Gaspari et al., 2013

Conocido el GH y la cobertura vegetal que le corresponde al terreno en estudio, se debe tener en cuenta la condición de humedad antecedente en el suelo, es decir el estado de humedad del suelo previo a la precipitación. Se determina el grado de humedad del suelo considerando si llovió los días previos (5-10 días). Se consideran tres condiciones básicas de humedad antecedente del suelo: seca (I) si la precipitación en ese período es menor a 12,5 mm, media (II) si la precipitación fue entre 12,7 – 38,1mm y húmeda (III), con valores mayores a 38,1mm.

En relación a los datos de la cobertura vegetal del suelo y las áreas ocupadas por las mismas en cada subcuenca, se determinó el NC para cada tipo de cobertura, mediante el empleo de tablas.

Para obtener el valor único ponderado de NC para la cuenca completa, se realizó una ponderación de los valores particulares de NC en relación al área de la cuenca correspondiente a cada uno. Para esto se empleó la siguiente ecuación:

$$NC_p = \frac{1}{A} \sum_{i=1}^n (A_i NC_i) \quad (27)$$

Donde, A es el área total de la cuenca (km²), A_i: es el área del polígono (km²) correspondiente al NC_i (número de curva del polígono); n es el número de polígonos de diferente NC.

En esta tesis, se determinó el NC ponderado de la cuenca, a partir del entrecruzamiento de datos georreferenciados con procesamiento con Sistemas de Información Geográfica (SIG). Inicialmente se determinó y zonificó el grupo hidrológico para cada tipo de suelo y la distribución de las clases de cobertura vegetal presentes en la zona estudiada. Luego se realizó el entrecruzamiento de los mapas de Grupo Hidrológico y de cobertura vegetal, mediante el uso del software ArcMap 10.1, obteniéndose las áreas correspondientes a cada NC. Finalmente, se realizó el cálculo de número de curva ponderado, NC_p, para la cuenca.

Una vez obtenido el NC_p para la cuenca, el escurrimiento se determinó con la aplicación de una ecuación empírica del SCS (1972). El procedimiento se inicia con la cuantificación de las Pérdidas iniciales (I_o) (mm), a partir de la retención potencial máxima (S) (mm). Para la obtención del valor de S se utilizó el NC, obtenido según Tablas. Las expresiones para el cálculo son las siguientes:

$$I_o = 0,2 \cdot S \quad (26)$$

$$S = 254 \left(\frac{100}{NC} - 1 \right) \quad (29)$$

Para establecer el escurrimiento directo (Q) (mm), se aplicó una ecuación que depende de la Precipitación total acumulada (P) (mm) y de las Pérdidas iniciales.

$$Q = \frac{(P - I_o)^2}{P + 4 \cdot I_o} = \frac{(P - 0,2 \cdot S)^2}{P + 0,8 \cdot S} \quad (30)$$

Conociendo que, del total de agua de lluvia que cae sobre la superficie de un terreno, una parte se evapora, otro escurre por la superficie (escurrimiento) y otra penetra en el terreno (infiltración), el escurrimiento comienza una vez superado el umbral de escorrentía (I_o). Entonces, se define que el coeficiente de escurrimiento (CE) es el cociente del caudal que discurre por dicha superficie (Q), en relación con el total precipitado (P) (ecuación 31):

$$CE = Q \cdot P^{-1} \quad (31)$$

La infiltración (F), expresada en milímetros, que ocurrirá ante una determinada precipitación se determina con la siguiente ecuación:

$$F = \frac{S(P - I_o)}{P - I_o + S} \quad (32)$$

Asimismo, puede definirse que el coeficiente de infiltración (CF) de una superficie, es el cociente del caudal que se infiltra en esa superficie (F), en relación con el caudal total precipitado (P).

$$CF = F \cdot P^{-1} \quad (33)$$

Entonces la suma de las láminas resultantes de la aplicación de los coeficientes, CE y CF, y de I_0 debe dar como resultado el total del agua precipitada.

2.3.2 Determinación de caudales

El modelo HEC-HMS 4.2, diseñado por el Centro de Ingeniería Hidrológica del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de EEUU (2016), permite simular el fenómeno lluvia-escorrentía en un sistema hidrológico, y de esta manera obtener datos de caudal y escorrentía para lluvias torrenciales en las diferentes subunidades que componen una cuenca. Es decir, permite calcular los hidrogramas de escurrimiento directo asumiendo la linealización del proceso físico real, esto es, utilizando la técnica del hidrograma unitario. El modelo requiere datos de entrada para el análisis como la distribución espacial de las subcuencas, ríos, uniones y sumideros. También son necesarios los datos de lluvia, para cada sector analizado.

En esta parte de la tesis se empleó el evento de precipitación registrado, en febrero de 2014, que provocó inundaciones y torrentes en la cuenca.

Según Zimmerman et al., 2000, la variabilidad espacial de los patrones de tormentas es generalmente grande, por ende, una tormenta de diseño estimada a partir de información pluviográfica registrada en una única estación de medición, tiene una validez limitada, desde un punto de vista geográfico. Cuando el área de aplicación es considerable, para lograr que dicha metodología sea representativa en el área de trabajo se emplean frecuentemente las curvas de abatimiento areal de la precipitación.

Entonces, en la cuenca Media-Baja, dada su gran extensión, se aplicó la ecuación presentada por Zimmerman et al., 2000, para obtener el Coeficiente de Abatimiento Areal:

$$CAA = [e^{(-0,017606*A)}]^{[0,03*d^{(-0,2927)}]} \quad (349)$$

Siendo,

CAA: Coeficiente de Abatimiento Areal

A: superficie de la cuenca en kilómetros cuadrados.

d: duración de la tormenta en horas.

En la modelización hidrológica de la cuenca del río Ctalamochita, con el HEC-HMS 4.2 se aplicó el método de Número de Curva para transformar la lluvia en escorrentía, a nivel de subcuenca. Además, se empleó el método del Hidrograma Unitario para la transformación de la escorrentía en hidrograma, por lo que fueron requeridos los valores del tiempo de retraso de cada cuenca.

Según Gaspari et al., 2013, el hidrograma unitario de una cuenca es definido como el hidrograma resultante de una precipitación efectiva de 1 mm de altura, distribuida uniformemente en la cuenca, de intensidad constante y de duración unitaria. Esta definición permite aplicar el método del hidrograma unitario para obtener hidrogramas individuales parciales desplazados en el tiempo, por el método denominado deconvolución, a partir del hidrograma total de escurrimiento directo de la cuenca para una precipitación dada de duración conocida.

Finalmente, el HEC-HMS 4.2, se empleó el método Muskingum-Cunge para modelizar el traslado de caudales por el cauce, por lo que se requirieron datos como: la longitud y pendiente de cada cauce, el número de Manning del lecho y el tipo de sección de cada río.

En las modelaciones no fueron considerados los aportes al cauce principal provenientes de los embalses ubicados aguas arriba, en la cuenca Alta. Esto se debe, principalmente, a la falta de datos fidedignos de dichos caudales erogados y, también, al desconocimiento en la interacción del río con el acuífero freático en todo su recorrido, definición de zonas en las que se comporta como perdedor o ganador.

Según Fuentes Mariles et al., 2006, el tránsito de avenidas en cauces consiste en el cálculo de los gastos en cualquier sección transversal de un tramo de río a partir de un hidrograma conocido en su extremo aguas arriba. Lo anterior permite obtener la forma del hidrograma en distintos sitios a lo largo de un cauce. El tránsito de avenidas se utilizó para la predicción de avenidas e inundaciones, en el diseño de almacenamientos, simulación del movimiento de agua en canales y estudios de aprovechamientos hidráulicos. El método de Muskingum-Cunge es un método de tránsito de avenidas de tipo hidrológico que incorpora al método tradicional de Muskingum gastos laterales (entrada y salida) y calcula los hidrogramas en varias secciones transversales de un tramo de río.

2.4 Análisis de vulnerabilidad

La vulnerabilidad es el grado de debilidad o exposición de un elemento o conjunto de elementos frente a la ocurrencia de un peligro natural o antrópico de una magnitud dada (INDC, 2006).

Puntualizando, para el análisis de la vulnerabilidad hídrica ante crecidas e inundaciones producidas por eventos de precipitación extraordinarios en la cuenca del río Ctalamochita, se consideraron factores característicos como el uso del suelo y su cobertura, tanto natural como antropizada, y su estado en los distintos momentos de año. Haciendo énfasis especial en la existencia de zonas forestadas y en los puntos dentro de la cuenca donde las características del medio favorecen la pérdida de material. Con estos factores se formaron escenarios complejos en relación al drenaje conduciendo, en muchos casos, a situaciones de inundación de poblados y de campos empleados para la producción agraria.

En este trabajo de tesis se determinaron diversos factores, denominados indicadores, que presentaron una incidencia directa en la vulnerabilidad, tales como:

- Indicador forestal: considera los efectos provechosos del aumento de la superficie forestada con relación a la cantidad de escorrentía y la pérdida de suelo que trae consigo. Considera las superficies forestadas y/o vegetadas y la existencia o no de zonas con un plan de manejo de los recursos.
- Indicador de erosión hídrica: considera la vulnerabilidad de la cuenca en relación a la pérdida de material, desgaste o pérdida de suelo y/o rocas como resultado de la acción del agua y fenómenos de intemperismo.
- Indicador de erosión hídrica máxima o potencial: al igual que en el caso anterior, considera la pérdida de material, suponiendo una situación crítica, donde el suelo se encuentra completamente desnudo.
- Indicador del estado de la vegetación: evalúa las características de la cobertura vegetal y su variación espacio-temporal dada su influencia en la protección contra la pérdida de suelo.
- Indicador USLE-EVI mensual: análisis mensual, estacional, y con variación espacial de la pérdida de suelo superficial cuantificada con la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE) considerando el estado de la vegetación existente. La USLE se describe en el punto 2.4.2.
- Indicador de la humedad del suelo: para analizar la distribución espacial del estrés hídrico, la humedad superficial del suelo determina la distribución de la radiación solar incidente, la distribución de la precipitación en escorrentía superficial o infiltración, siendo entonces en un factor decisivo para el crecimiento y desarrollo de los cultivos.

A continuación, se describen cada uno de los indicadores con su metodología de aplicación.

2.4.1 Indicador: zonas forestadas o con medidas conservacionistas

“Los bosques y selvas, además de concentrar biodiversidad considerable, juegan un papel fundamental en la regulación climática, el mantenimiento de las fuentes y caudales de agua y la conservación de los suelos. Son nuestra esponja natural y paraguas protector. Cuando perdemos bosques nos volvemos más vulnerables ante las intensas lluvias y corremos serios riesgos de inundaciones”, señaló Hernán Giardini, coordinador de la campaña de Bosques de Greenpeace Argentina (2015).

“El bosque actúa como una esponja, que absorbe la precipitación durante las tormentas tropicales, retiene los suelos y libera agua a intervalos regulares de tiempo. Este tipo de regulación de los bosques lluviosos ayuda a moderar los efectos destructivos de las inundaciones y la sequía, que ocurren con la tala de los bosques. Cuando se pierde la cubierta del bosque, el agua fluye rápidamente hacia los arroyos, lo que eleva los niveles de los ríos y deja expuestas a aldeas, ciudades y campos agrícolas ante las inundaciones, especialmente durante la época de lluvias. Durante la época de secas, las corrientes son susceptibles a los largos meses de sequía, lo que interrumpe la navegación de los ríos, causa estragos en los cultivos e interrumpe las operaciones industriales”.³

Un reciente informe de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), (Fuente: <http://www.fao.org>), ubicó a Argentina entre los diez países que más desmontaron durante los últimos 25 años, (1992-2017): se perdieron 7,6 millones de hectáreas, a razón de 300.000 hectáreas al año. Según datos oficiales, desde la sanción de la Ley de Bosques hasta fines de 2014 se deforestaron 2.107.208 hectáreas, de las cuales 626.244 hectáreas eran bosques protegidos.

Considerando estas definiciones, se supone a la deforestación como un indicador de la vulnerabilidad del riesgo hídrico y, por ello se analizaron las zonas, dentro de la cuenca, que presentan plantaciones forestales o autóctonas y sus cambios.

2.4.2 Indicador de vulnerabilidad a la erosión hídrica

La pérdida de material que se entiende como la erosión del suelo, es la desintegración, desgaste o pérdida de suelo y/o rocas como resultado de la acción del agua y fenómenos de intemperismo. Se entiende a la erosión fluvial es el desgaste que producen las fuerzas hidráulicas de un río en sus márgenes y en el fondo de su cauce, con variados efectos colaterales. Mientras que la erosión de laderas comprende todos los procesos que ocasionan el desgaste y traslado de los materiales de superficie (suelo o roca), por el continuo ataque de agentes erosivos, tales como agua de lluvias, escurrimiento superficial y vientos, que tiende a degradar la superficie del terreno (INDC, 2006).

Si bien estos procesos de erosión se producen de forma cotidiana, se vuelven significativos cuando ocurren grandes eventos de precipitación, generando que los caudales en ríos y de escorrentía aumenten considerablemente y así su capacidad de arrastre.

La cuantificación del caudal sólido emitido en la cuenca estudiada, ante la ocurrencia de eventos de precipitación críticos, que se basa principalmente en el cálculo de la pérdida de suelo superficial por erosión hídrica, se aplicó a partir del planteo de las ecuaciones USLE y MUSLE.

USLE

La Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE), desarrollado por Wischmeier y Smith en 1978, representa un modelo que estima la pérdida promedio anual de suelo en tierras agrícolas. Requiere

³ Fuente: <https://global.mongabay.com/es/rainforests/0902.htm>.

datos de precipitación, suelo, pendiente del terreno y del uso y manejo del suelo. Es un modelo que depende de la erosividad de las precipitaciones, de la erodabilidad del suelo y de las consecuencias del uso del mismo (Gaspari, et al. 2013).

Esta ecuación, evalúa principalmente la erosión laminar o erosión “entre surcos” y la erosión en surcos en forma conjunta, no así a la erosión por escurrimiento o “flujo concentrado”, cuya expresión máxima es la formación de cárcavas (Marelli, 1988, citado por Gaitán, 2017). Su bondad depende del rigor con que los factores que componen la ecuación reproduzcan las condiciones del medio al interpretar los mecanismos erosivos por sus causas y efectos (Almorox et al, 1994).

Según Rojas y Conde, 1985, las condiciones de pérdida de suelo por erosión hídrica dependen también del tipo de cobertura que presente dicho suelo. Por ejemplo, cuando un campo se cultiva, la pérdida de suelo en él se reduce porque con el cultivo se le proporciona una cierta protección contra la erosión. Por consiguiente, para el empleo en la ecuación de pérdida de suelo, el factor cultivo y ordenación es la relación esperada entre la pérdida de suelo en un terreno cultivado en condiciones específicas y la pérdida correspondiente de suelo en barbecho continuo. Esta comparación se hace suponiendo que son semejantes las condiciones de suelo, pendiente y lluvia.

La ecuación Modificada de Pérdida del Suelo (MUSLE) es la extensión del USLE a cuencas hidrográficas y determina la pérdida de suelo en una cuenca para una determinada tormenta.

La zonificación USLE en la cuenca del río Ctalamochita se realizó por medio del procesamiento geoespacial de la ecuación empleando el software ArcMap 10.1. La ecuación USLE para pérdida de suelo se expresa a continuación:

$$A = R.K.LS.C.P \quad (35)$$

Donde,

- A: Es la pérdida de suelo por erosión pluvial ($\text{Mg.ha}^{-1}.\text{año}^{-1}$)
- R: Es el factor que indica la erosión pluvial o erodabilidad del aguacero ($\text{J.cm.m}^{-2}.\text{h}^{-1}$). Se calcula a partir de fórmulas dependientes de la energía cinética, EC, de un aguacero (determinado en función del periodo de tiempo de intervalos de lluvia y la intensidad en esos intervalos) y la máxima intensidad en 30 minutos. Sin embargo, para esta tesis se emplearon valores de R obtenidos por recolección de antecedentes reflejados en la bibliografía. Finalmente, con una variación espacial determinada se zonificó empleando el software ArcMap 10.1.

Según Rojas y Conde, 1985, se define como factor R al índice numérico que expresa la capacidad de la lluvia que se supone ha de caer en una localidad para erosionar el suelo de un terreno sin proteger (en barbecho desnudo). Este factor se encuentra relacionado con el potencial de erosión de un aguacero; los técnicos del Agricultural Research Service, de la Secretaría de Agricultura de los Estados Unidos, dedujeron que cuando todos los factores menos la lluvia permanecen constantes, las pérdidas de suelo ocasionadas por los aguaceros en los terrenos cultivados son directamente proporcionales al valor del producto de dos características del aguacero: (a) su energía cinética total, y (b) su intensidad máxima en 30 minutos. Este producto es un término recíproco que mide el efecto de la manera particular en que la erosión por salpicadura y la turbulencia se combinan con el escurrimiento para llevarse del terreno las partículas de suelo separadas de éste.

- K: es el factor de la erodabilidad del suelo ($\text{Mg.m}^2.\text{h.ha}^{-1}.\text{J}^{-1}.\text{cm}^{-1}$). Se determinó a partir del porcentaje de las distintas fracciones granulométricas componentes del suelo, del porcentaje de materia orgánica (a), de la permeabilidad (c) y de la estructura del mismo (b). Se empleó la siguiente ecuación:

$$100.K = 10^{-4} . 2,71 . M^{1.14} . (12 - a) + 4,2 . (b - 2) + 3,23 . (c - 3)$$

Siendo,

$$M = (\% \text{limo} + \% \text{arena muy fina}) \times (100 - \% \text{arcilla})$$

a: Porcentaje de materia orgánica

b: Indica la estructura del suelo, según el tamaño del grano.

c: Clase de permeabilidad del perfil del suelo según Soil Survey Manual del USDA

Sin embargo, para la realización de esta tesis, se utilizó la ecuación de K simplificado, dado que no se cuenta con la totalidad de datos que requiere la ecuación completa, de esta forma se prescinde de los términos donde aparecen los factores b y c.

$$K_{\text{Simplificado}} = 10^{-6} \cdot 2,71 \cdot M^{1,14} \cdot (12 - a) \quad (36)$$

El valor de K fue calculado según los distintos tipos de suelos de la cuenca, donde fueron considerados los datos granulométricos y la distribución de los mismos en cada subcuenca por medio de cartografía y procesamiento geoespacial con sistema de información geográfica.

Según Rojas y Conde, 1985, este factor refleja el hecho de que los suelos de tipos diferentes se erosionan con velocidad distinta mientras que los demás factores que intervienen en la erosión son constantes. Las propiedades físicas del suelo influyen grandemente en la velocidad con que se erosionan los distintos suelos. Entre estas propiedades del suelo algunas de las más importantes son: la textura, la magnitud y la estabilidad de la estructura, el tipo de la arcilla, la permeabilidad y la infiltración, el contenido de materia orgánica y espesor. Los autores afirman que, investigaciones efectuadas por Wischmeier y Smith, 1978, analizando muchas propiedades del suelo, concluyeron que aproximadamente el 98 % de su erodabilidad está condicionada por la textura, la estructura y el tenor de materia orgánica del horizonte expuesto, y la permeabilidad del perfil.

- El factor LS en la ecuación de predicción de la pérdida de suelo, representa las toneladas de pérdida de suelo por hectárea por unidad de índice de erosión pluvial para una pendiente de 9 % y una longitud de 22,1 metros. Este factor expresa la pérdida en barbecho continuo sin la influencia de cubierta vegetal o de ordenación alguna (Rojas y Conde, 1985).

La cantidad de suelo erodado aumenta a medida que aumenta el grado y la longitud de la pendiente (Henao, 1988). Investigaciones realizadas en EEUU señalan que la erosión está relacionada con el largo expresado en metros por un exponente fraccionario que varía según su intensidad y que el subefecto intensidad se relaciona con la erosión a través del seno de ángulo de dicha pendiente.

L: es el factor longitud de pendiente, expresa la relación de pérdida de suelo de una pendiente con una longitud dada y la pérdida de suelo de una pendiente con una longitud estándar de 22,13 m, con idénticos valores de erodabilidad y gradiente de pendiente. Se calculó empleando SIG, mediante las siguientes ecuaciones:

$$L = \left(\frac{\lambda}{22,13} \right)^m \quad m = \frac{F}{(1+F)} \quad F = \frac{\sin \beta / 0,0896}{3(\sin \beta)^{0,8} + 0,56}$$

Donde

λ : Longitud de la pendiente (en metros),

m: Exponente de la longitud de la pendiente

β : es el ángulo de la pendiente. La longitud de la pendiente se define como la distancia horizontal desde donde se origina el flujo superficial al punto donde comienza la deposición o donde la escorrentía fluye a un canal definido (Foster et al., 1977, citado por Barrios y Quiñonez, 2000).

S: El factor de gradiente de pendientes la relación entre la pérdida de suelo con un determinado gradiente. Es decir, expresa la relación de pérdida de suelo de un gradiente de pendiente específica y la pérdida de suelos de una pendiente con gradiente estándar de 9 %, bajo otras condiciones similares, de esta manera definen el efecto de la inclinación de la pendiente sobre la pérdida de suelo por unidad de área. Se determinó mediante el uso de SIG, empleando las siguientes ecuaciones condicionales:

$$S_{(i,j)} = \begin{cases} 10,8 \sin \beta_{(i,j)} + 0,03 & \tan \beta_{(i,j)} < 0,09 \\ 16,8 \sin \beta_{(i,j)} - 0,5 & \tan \beta_{(i,j)} \geq 0,09 \end{cases}$$

Donde β es el ángulo medio a todos los subgrids (sectores en que se divide el archivo tipo ráster para su análisis) en la dirección de mayor pendiente (McCOOL et al., 1987,1989, citado por Barrios y Quiñonez, 2000). Velásquez, 2008, expresa que cuando se aplica esta fórmula en el Raster Calculator de ArcGIS se debe tomar en cuenta que el ángulo deberá ser convertido a radianes, para que pueda ser multiplicado por los demás componentes de las ecuaciones.

En este caso, el factor LS se determinó empleando el software ArcMap 10.1 a partir del DEM de la cuenca. Los pasos fueron: primero se realizó un filtro de paso bajo para suavizar los datos al reducir la variación local y quitar el ruido. Luego se realizó una interpolación bilineal, para trabajar con pixeles de tamaño mayor. Finalmente se empleó la herramienta rellenar para evitar errores de sumideros y picos debido a la resolución de los datos o el redondeo de elevaciones al valor entero más cercano. Luego se obtuvo el mapa de pendientes en porcentaje y se emplearon las ecuaciones descritas para determinar el factor LS para cada punto de la cuenca.

- C: es el factor de ordenación de cultivos. Se obtiene de tablas, en función de la cubierta vegetal que se encuentre en cada caso. A partir del mapa de vegetación, un *shapefile* sobre los usos del suelo, con tipos de cobertura, se determinaron los valores de los factores C.
- P: es el factor de control de la erosión mediante prácticas de cultivo. También se cuantifica mediante el uso de tablas. Para el caso de la cuenca en estudio y por la escala de trabajo, no se detectaron sectores en las que se realizan prácticas de conservación de suelos.

La influencia del cultivo y de las prácticas de cultivo sobre la erosión depende de muchos factores. Entre éstos figuran el tipo de cultivo, la calidad de la cubierta vegetal y el desarrollo radical, la absorción de agua por las plantas en crecimiento, la cantidad de restos de cultivos precedentes enterrados, etc. Es también importante el que estas condiciones difieren en el período que va desde la siembra hasta la recolección. Análogamente, también difiere la distribución de las lluvias erosivas a lo largo del año. Por ello, la eficacia del poder anti-erosivo de cada cultivo y de cada práctica de cultivo se valora con arreglo a cinco períodos correspondientes a otras tantas fases del cultivo. De esta manera, la eficacia de cada fase del desarrollo del cultivo se relaciona con la intensidad de las lluvias posibles en el periodo correspondiente a la fase en una localidad determinada.

Los resultados obtenidos de pérdida de suelo fueron comparados con los valores de la Tabla 2.2 elaborada por FAO, PNUMA y UNESCO (1980) para la clasificación del grado de erosión hídrica superficial, representando el grado de razonabilidad de cada área.

Perdida de suelo (Tn/ha año)	Grado de erosión hídrico
< 10	Nulo o Leve
10 - 50	Moderado
50 - 200	Alto
> 200	Muy Alto

Tabla 2.2. Clasificación del grado de erosión hídrica superficial

Según Gaspari et al. (2013), esta clasificación considera:

- Nulo o leve: cuando no hay presencia de erosión hídrica superficial o sólo se adelgaza el horizonte A o capa arable, observándose casi en su totalidad (menos del 25% del espesor). Aparecen pequeñas áreas desnudas (sin vegetación natural), formación de “patas de vaca” y acumulación de sedimentos en la base de las pendientes o en las depresiones.
- Moderado: Poca formación de surquillos. El horizonte A o capa arable ha sido arrastrado en parte (entre 25% y 75%). Aparece mayor proporción de áreas desnudas y la formación de “patas de vaca”. Algunas áreas pueden tener patrones intrincados que varían de manchas pequeñas a sitios erodados, donde el horizonte original A ha sido removido. En algunos lugares se puede encontrar mezcla del horizonte original A con el material del horizonte subyacente.
- Alto: El arrastre del horizonte A o capa arable es severo, casi total (más del 75%). Frecuentemente ocurre formación de surcos y en ocasiones se presentan cárcavas aisladas. En áreas cultivadas el material que se encuentra debajo del horizonte A está expuesto en la superficie.
- Muy alto: Pérdida completa del horizonte A, en forma muy severa. Se presenta formación de cárcavas en una red densa. Los suelos han sido destruidos casi totalmente, excepto en las pequeñas áreas que quedan entre cárcava y cárcava.

MUSLE

Para estimar el volumen de sedimentos emitido ante un evento de precipitación (Y), se aplicó el modelo MUSLE, que reemplaza sólo el factor R de USLE (descrito anteriormente) por un término que tiene en cuenta el efecto del flujo de escurrimiento en el proceso erosivo de la tormenta analizada, de la siguiente manera.

$$Y = 11,8 (Q - q)^{0,56} K. L.S. C. P \quad (37)$$

Siendo Q el volumen total escurrido (en m³) y q el caudal pico (en m³.s⁻¹).

2.4.3 Indicador: erosión hídrica máxima

La erosión hídrica máxima en una cuenca del río Ctlamochita considera el desgaste potencial máximo que puede presentar un sector, asumiendo las peores condiciones: la inexistencia de cobertura vegetal y la omisión total de prácticas de conservación de suelo. Para su definición se trabajó con imágenes ráster, utilizando el software ArcMap 10.1, a partir de la ecuación USLE para pérdida de suelo (34), donde se consideraron los términos correspondientes a C (cobertura vegetal) y P (prácticas de cultivo) iguales a la unidad.

2.4.4 Indicador: estado de la vegetación EVI

Previamente, en el apartado 2.2.3 Balance energético, se expuso la metodología empleada para determinar la fracción evaporativa, aplicada para realizar el balance hidrológico mediante el uso de productos MODIS. Uno de los factores a determinar en ese caso fue el índice de vegetación mejorado (EVI), el cual fue calculado mediante la combinación de bandas explícita (ecuación 21), de Liu y Huete (1995). Este índice corrige las distorsiones en la luz reflejada causadas por la nubosidad y los aerosoles en la atmósfera que bloquean la visión de los satélites.

Siguiendo el procedimiento explicado en el capítulo 2.2.3, aplicando la ecuación 21, empleando el programa de procesamiento de imágenes satelitales, ENVI, se obtuvieron los mapas de EVI para cada mes del año 2014, luego procesadas con el ArcMap10.1 para su presentación final.

2.4.5 Indicador: USLE-EVI mensual

Una vez obtenidos los valores de EVI para toda la cuenca, mes a mes, se realizó una tabulación cruzada entre los mapas de EVI y los mapas de erosión hídrica máxima.

De esta forma se obtuvo un valor mensual del USLE donde las consideraciones de cobertura, uso de la tierra, y prácticas de conservación de suelos, que originalmente deberían adoptarse con los parámetros C y P, ya definidos, se determinaron usando el EVI. Dando, de esta manera, un carácter mensual al análisis y de variación espacial.

2.4.6 Indicador de déficit hídrico – TDVI

Según Álvarez-Mozos et al., 2005, la humedad superficial del suelo es una variable que juega un papel importante en las zonas agrícolas y determina la separación de la radiación solar incidente en flujo de calor sensible o de calor latente, según el caso, y también condiciona la distribución de la precipitación en escorrentía superficial o infiltración, convirtiéndose en un factor decisivo para el crecimiento y desarrollo de los cultivos.

En el apartado 2.2.3 *Balance energético*, donde se expuso la metodología empleada para el cálculo del balance hidrológico, uno de los factores que se determinó en ese caso fue el TDVI, indicador de déficit hídrico, calculado mediante la ecuación 22.

El TVDI, que combina la temperatura de superficie (T_s) y el índice de vegetación, fue desarrollado para establecer el estado de la humedad (sequedad) del suelo. Se asume que la humedad del suelo es la principal fuente de variación de la T_s y que el TVDI está relacionado con la humedad del suelo debido a los cambios en la inercia térmica y al control de la evaporación y transpiración.

Para su análisis en esta tesis se consideró que, en las áreas cubiertas por vegetación, la disminución en la T_s a medida que se incrementa la densidad de vegetación (mayor EVI) es producto del enfriamiento provocado en las plantas por el flujo de calor latente o evapotranspiración (ET). Para ello se aplicó procesamiento cartográfico con SIG.

2.5 Niveles de riesgo hídrico ante eventos pluviales

Para la determinación de niveles de riesgo hídrico en la cuenca del río Ctlamochita se emplearon los modelos hidrológicos presentados en el capítulo 2.3, utilizando el programa HEC-HMS, variando los eventos de precipitación y los caudales erogados por los embalses.

Se plantearon cuatro escenarios:

1. Un evento de precipitación mínimo de 20 mm, valor adoptado por ser el promedio de las lluvias registradas en los últimos 10 años, mayores a 2,5 mm;
2. Un evento de precipitación máximo donde se adoptó la lluvia de 217 mm empleada en el capítulo 3.3;
3. Un evento de precipitación intermedio de 118 mm, determinado como la media aritmética entre los dos anteriores;
4. Un evento intermedio de 75 mm adoptado como nivel de base para la generación de escurrimiento.

Una vez logrado el análisis de escenarios se determinó la pérdida de suelo que genera cada evento modelado, empleando la ecuación (37) de la MUSLE.

Finalmente, y en función de los resultados obtenidos, se discretizaron los resultados obtenidos en rangos de vulnerabilidad, definiendo niveles de riesgo, mediante el empleo de percentiles y usando escalas de color de verde (menor riesgo) a rojo (mayor riesgo).

El percentil es una medida de posición usada en estadística que indica (una vez ordenados los datos de menor a mayor) el valor de la variable por debajo del cual se encuentra un porcentaje dado de observaciones en un grupo de observaciones. Por ejemplo, el percentil 20º es el valor bajo el cual se encuentran el 20 por ciento de las observaciones.

3 RESULTADOS

3.1 Diagnóstico socio-productivo y ambiental de la cuenca

3.1.1 Análisis socio-productivo

El análisis integral de la cuenca del río Ctalamochita admite el concepto de cuenca social, que la Secretaría de Recursos Hídricos de la provincia de Córdoba, define como un espacio delimitado por los nacimientos de los cursos de agua y las zonas altas que los protegen y nutren y se extiende hasta donde llegan las aguas naturalmente y hasta donde son conducidas por canales artificiales. El concepto de cuenca social o “cuenca hidro-social” es una unidad socio-territorial que involucra a todos los pobladores y que espacialmente rebasa los límites de la cuenca hidrográfica, porque comprende las zonas de producción de agua, zonas de aprovechamiento, trasvase (traslado) de aguas en cuencas aledañas; rebasa jurisdicciones político administrativas (departamento, provincia, municipio).

En función de lo expuesto, la provincia de Córdoba se encuentra dividida en 7 Sistemas Hídricos de Explotación y/o Cuencas Sociales siendo el Sistema del Río Tercero, al cual pertenece la zona en estudio, uno de ellos, comprendiendo el Sistema de Acueductos de Agua Superficial y Subterránea, Figura 3.1.

Las localidades más importantes que integran al área de estudio son: Villa General Belgrano, Santa Rosa de Calamuchita, Yacanto, Amboy, Villa Rumipal, Villa del Dique, Embalse, Almafuerde, La Cruz, Cañada de Álvarez, Los Cóndores, Berrotarán, Elena, Río de los Sauces, Río Tercero, Corralito, Villa Ascasubi, Colonia Almada, Tancacha, General Fotheringham, Hernando, Punta del Agua, Las Isletillas, General Deheza, General Cabrera, Las Perdices, Dalmacio Vélez, Pampayasta Norte y Sur, Oliva, James Craik, Tío Pujio, Luca, Arroyo Cabral, Villa María, Villa Nueva, Arroyo Algodón, La Laguna, Idiazábal, Ballesteros, Bell Ville, Justiniano Posse y Monte Buey. Además, existen variadas estancias, comunas y colonias distribuidas dentro de la cuenca de menor desarrollo poblacional.

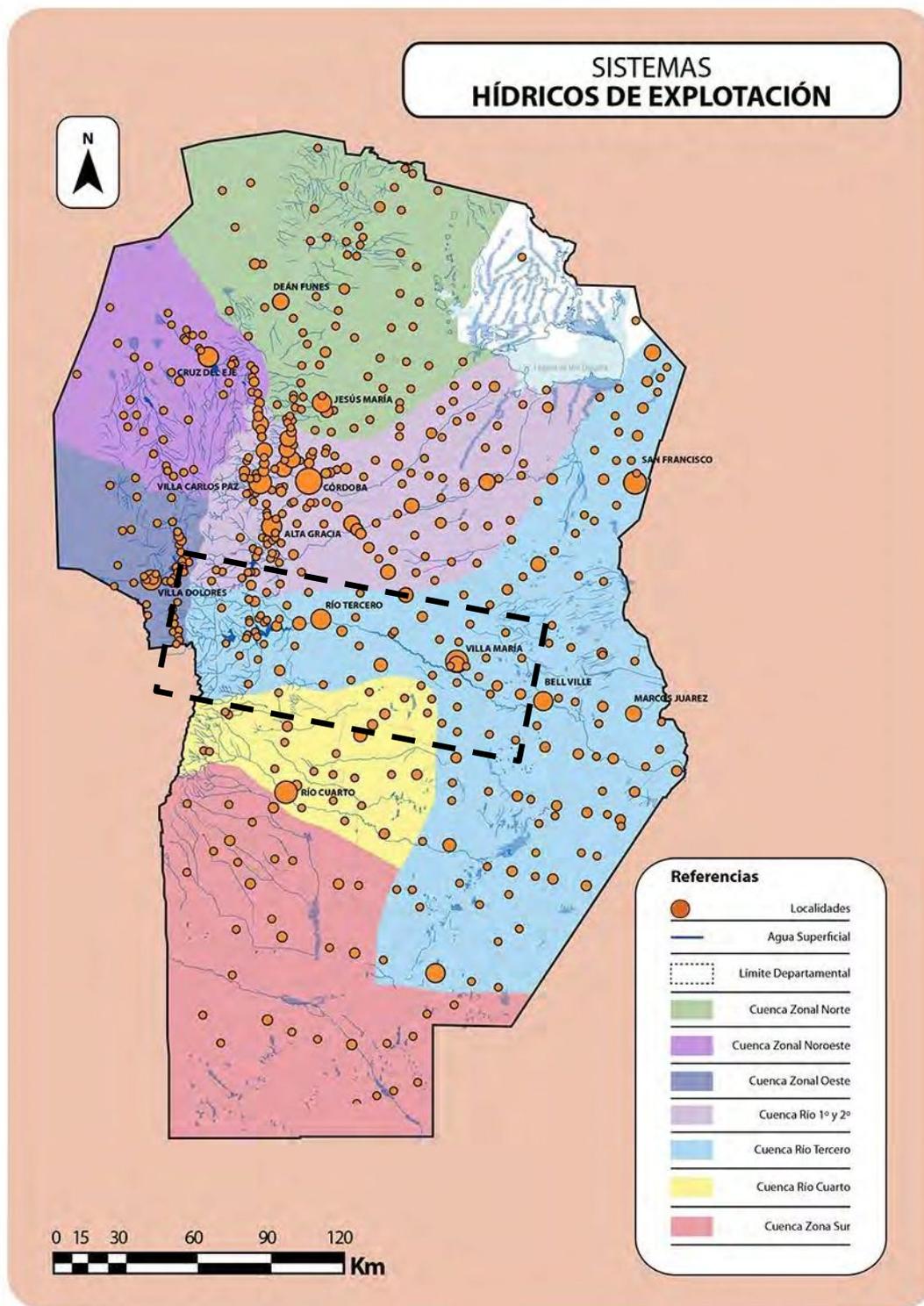


Figura 3.1. Cuencas sociales de la Provincia de Córdoba. Recuadro negro la zona de estudio. Fuente: SRHC.

La Figura 3.2 muestra los cinco departamentos que atraviesa la cuenca del río Ctalamochita junto con las localidades y ciudades principales, como también la cantidad de habitantes según el último censo nacional, correspondiente al año 2010, realizado por el INDEC.

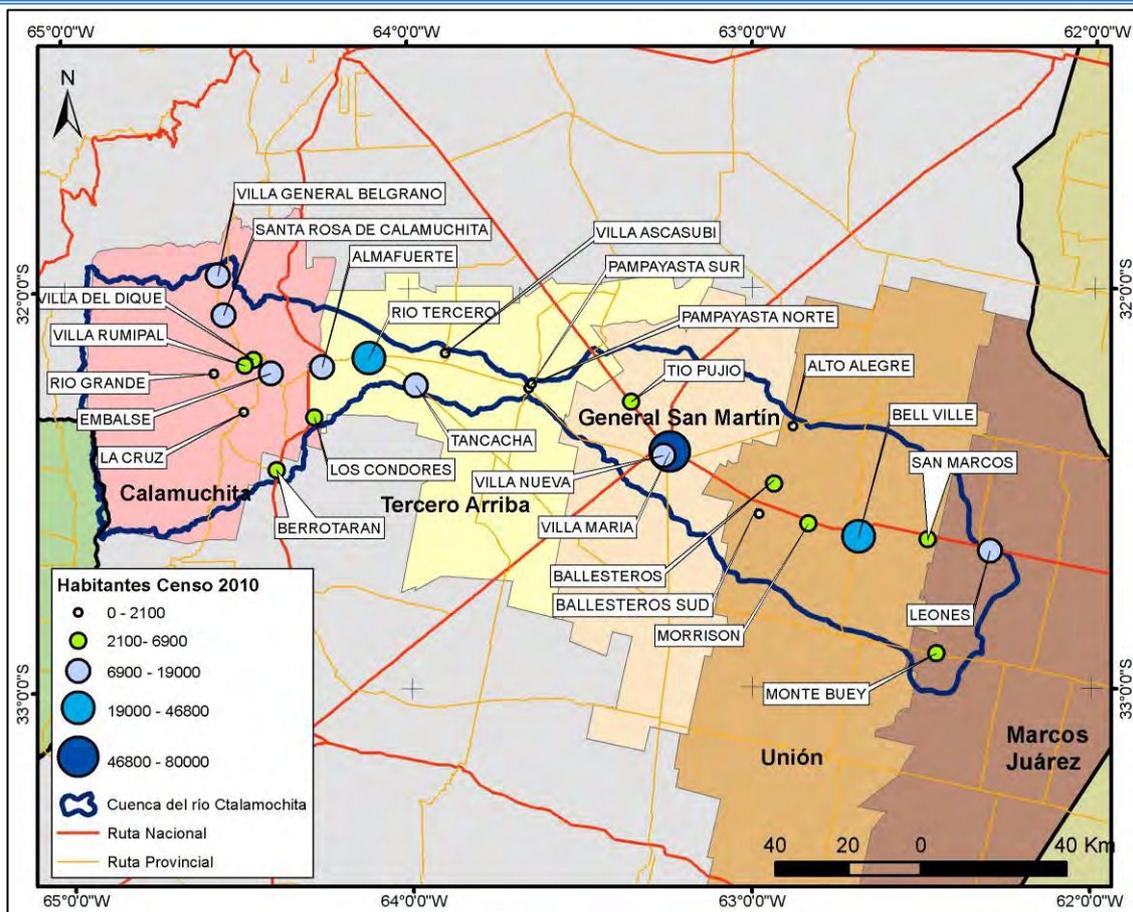


Figura 3.2. Departamentos que atraviesa la cuenca, localidades y ciudades principales con su cantidad de habitantes. Fuente: Elaboración propia, Base de Datos INDEC (2010).

En la Tabla 3.1 se presenta la población de los cinco departamentos que se encuentran dentro de la cuenca analizada, según los censos nacionales de los años 1991, 2001 y 2010, en relación con la población total de la provincia de Córdoba, representando en todas las fechas entre el 15,96 % y el 15,16 %, en sentido decreciente.

Departamento	Población según Censo		
	1991	2001	2010
Calamuchita	38.804	45.418	54.730
General San Martín	105.161	116.107	127.454
Marcos Juárez	97.595	99.761	104.205
Tercero Arriba	103.716	107.460	109.554
Unión	96.317	100.247	105.727
Tota	441.593	468.993	501.670
	15,96%	15,29%	15,16%
Total Córdoba	2.766.683	3.066.801	3.308.876

Tabla 3.1 Población según censos.

Para tener una estimación de la población actual en la cuenca se realizó una proyección poblacional, empleando los métodos de Ajuste lineal y el de las Tasas Medias Anuales Decrecientes, siendo este último el de mayor aceptación. Los resultados, obtenidos por la aplicación de las ecuaciones (1) y (2), se presentan en la Tabla 3.2. Puede observarse que, la población en 2020 aumentará en un 4,8 %, en relación a los valores censados en 2010.

AÑO	Proyección Población		
	Ajuste Lineal	Tasa decreciente	Promedio
2017	522,270	525,951	524,110
2020	531,732	536,713	534,223

Tabla 3.2 Proyección poblacional para los años 2017 y 2020.

En cuanto a la caracterización productiva de la zona estudiada, con relación a los cultivos que se desarrollan en dicho sector, se presentan los datos del SIIA obtenidos para los cinco departamentos mencionados, para cada cultivo representativo y en proporción a sus áreas dentro de la cuenca. En la Tabla 3.3 se exhibe la superficie sembrada, en la Tabla 3.4 la superficie cosechada y en la Tabla 3.5 el rendimiento por cultivo, para el periodo 2015/2016 por departamento.

Cultivo	Superficie Sembrada (Ha)				
	Calamuchita	Gral. San Martin	Marcos Juarez	Tercero Arriba	Union
Alpiste	0,0	2.684,4	8.264,4	0,0	1.300,0
Avena	825.906,4	200.515,7	103.380,4	112.553,7	65.937,2
Cebada cervecera	78,7	8.129,3	76.460,2	2.423,8	26.319,6
Cebada forrajera	11.197,3	58.399,1	77.229,8	39.310,8	29.632,9
Centeno	54.722,2	134.054,5	83.878,4	137.706,9	42.722,3
Colza	0,0	284,1	2.917,4	238,4	804,6
Girasol	57.028,5	30.023,2	273.282,1	110.990,3	83.184,5
Lino	4.774,7	3.711,2	3.919,3	12.836,9	1.644,3
Maiz	255.393,3	251.796,7	2.016.045,2	467.827,6	299.885,7
Mani	83.033,5	240.891,3	46.896,2	760.265,1	6.779,4
Mijo	8.809,9	44.538,7	83.605,8	46.333,4	36.652,2
Papa total	11.799,0	233,1	0,0	0,0	32,0
Poroto seco	1.392,3	0,0	0,0	274,0	0,0
Soja	1.345.731,0	776.618,8	5.870.061,0	2.652.363,3	1.140.116,4
Sorgo	119.051,9	169.408,0	300.881,1	450.298,7	118.865,8
Trigo	181.666,1	304.037,4	2.417.915,9	493.380,8	509.784,2
Total	2.960.584,6	2.225.358,0	11.364.772,8	5.286.804,0	2.363.661,0

Tabla 3.3 Superficie sembradas de cada cultivo por departamento (ha). Fuente: SIIA.2015/2016.

Cultivo	Superficie Cosechada (Ha)				
	Calamuchita	Gral. San Martin	Marcos Juarez	Tercero Arriba	Union
Alpiste	0,0	2.284,0	7.354,0	0,0	1.131,8
Avena	71.681,3	16.580,6	10.086,1	10.768,2	4.513,8
Cebada cervecera	0,0	4.199,7	64.199,9	1.615,5	20.609,1
Cebada forrajera	102,3	1.940,6	6.377,8	1.324,0	1.669,9
Centeno	2.156,9	6.751,3	15.728,9	8.041,9	4.728,8
Colza	0,0	284,1	2.456,0	238,4	664,4
Girasol	49.917,6	28.517,7	263.198,8	102.134,6	78.615,8
Lino	3.272,3	3.252,6	3.669,9	9.510,5	1.575,0
Maiz	227.764,0	174.486,0	1.888.183,3	392.611,9	263.227,6
Mani	80.929,3	238.294,2	43.261,9	743.605,9	6.711,0
Mijo	7.748,0	36.332,2	72.596,1	38.017,5	30.889,6
Papa total	11.012,4	221,7	0,0	0,0	32,0
Poroto seco	1.225,5	0,0	0,0	274,0	0,0
Soja	1.328.201,6	773.587,0	5.735.528,9	2.614.231,3	1.112.281,8
Sorgo	110.635,3	154.845,1	275.495,8	418.295,5	103.316,4
Trigo	151.787,8	279.363,3	2.289.177,6	448.351,7	468.637,5
Total	2.046.434,3	1.720.972,4	10.677.350,8	4.789.021,0	2.098.604,7

Tabla 3.4 Superficie cosechadas de cada cultivo por departamento (ha). Fuente: SIIA. 2015/2016.

Cultivo	Rendimiento (Kg/Ha)				
	Calamuchita	Gral. San Martin	Marcos Juarez	Tercero Arriba	Union
Alpiste	0,0	169,1	317,3	0,0	71,8
Avena	230,2	214,5	490,1	228,2	116,4
Cebada cervecera	0,0	219,9	661,4	285,0	162,8
Cebada forrajera	55,1	101,1	275,6	98,1	69,2
Centeno	250,3	99,7	267,4	112,4	65,4
Colza	0,0	361,1	550,8	371,0	145,5
Girasol	605,1	336,3	530,3	403,9	129,0
Lino	396,3	147,1	279,4	180,2	66,7
Maiz	3.026,8	959,7	2.112,5	1.164,6	480,5
Mani	827,9	356,4	625,9	428,4	147,1
Mijo	797,4	308,4	457,5	362,0	107,6
Papa total	14.046,3	1.718,9	0,0	0,0	1.573,3
Poroto seco	570,6	0,0	0,0	191,8	0,0
Soja	1.634,5	459,9	923,0	574,4	214,4
Sorgo	3.022,0	950,8	1.638,2	1.177,5	382,6
Trigo	1.211,2	380,6	848,7	434,1	195,9
Total	1.481,9	566,9	574,1	410,1	218,2

Tabla 3.5. Rendimiento de cada cultivo por departamento (kg*ha⁻¹). Fuente: SIIA. 2015/2016

Los datos presentados expresan la importancia relativa de cada uno de los cultivos en el contexto de la cuenca y dentro de cada Departamento. En relación a la superficie sembrada y cosechada, la soja, el trigo y el maíz, son los cultivos más representativos. Sin embargo, es importante destacar que los rendimientos generales de los cultivos en toda la cuenca son bajos, esto puede deberse a la gran importancia de la actividad ganadera, fundamentalmente a la alta productividad de la cuenca lechera.

Por otro lado, gran parte de la zona estudiada se encuentra dentro de lo que se conoce como la Cuenca Lechera Central. La misma comprende una región ubicada en la parte media central del país, abarcando parte de las provincias de Buenos Aires, La Pampa, Córdoba, Santa Fe y Entre Ríos.

La Provincia de Córdoba es una de las regiones más importantes en la producción lechera de la Argentina. Se pueden diferenciar claramente 3 cuencas lecheras de suma importancia: Cuenca Noreste (zona de Morteros), ubicada fuera de la zona estudiada, y la Cuenca Sur (zona de Huinca Renancó) y la Cuenca del Dpto. San Martín (zona de Villa María), entrando estas dos en el área en estudio. En la Figura 3.3 se presentan las tres cuencas lecheras ubicadas en las proximidades de la zona estudiada, de las 14 existentes en todo el país. Como puede observarse, la cuenca media y baja del río Ctalamochita se encuentra en casi su totalidad dentro de la cuenca lechera Villa María.

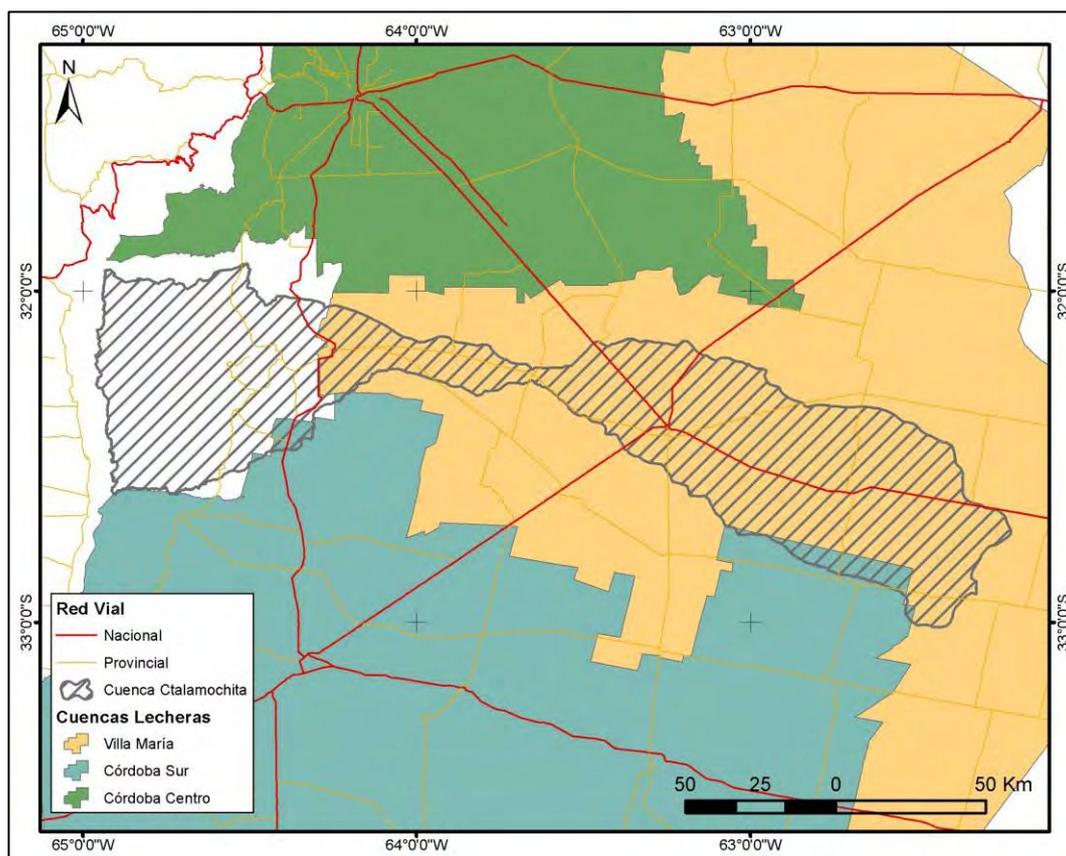


Figura 3.3 Cuencas lecheras de la zona de estudio. Fuente: Elaboración propia; Datos: Sistema Integrado de Información Agropecuaria. 2016.

Según la Dirección General de Estadísticas y Censos de la provincia de Córdoba, la producción anual lechera provincial ha aumentado de 1.855.540 litros en 1993, a 2.169.419 en 2003 y alcanzando 3.196.617 litros en el año 2013, representando un aumento de 172 %. A su vez, la cuenca de Villa María aporta el 43% de la producción tampera provincial, asentada en unas mil unidades productivas (Todoagro 2011). Mientras que, según Marino et al. (2011), la cuenca concentró el 14 % del stock nacional de vacas y el 11 % de las unidades productivas nacionales.

En cuanto a la actividad ganadera, el stock ganadero de la provincia de Córdoba es de aproximadamente 7,2 millones de animales, que representa un 15 % del total nacional, ubicándose en segundo lugar después de Buenos Aires, según el SENASA y la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentos provincial, de los cuales, el 91 % del total corresponde a ganado bovino, el 7,7 % a porcinos y el 1,3 % restante a ovinos y caprinos.

En relación a los porcinos, el total de animales en la provincia es de alrededor de 750 mil cabezas, ocupando el primer lugar en el orden nacional con más del 30 % de la existencia total.

Las existencias caprinas son de más de 160.000 cabezas que significan el 10% del stock de ganado caprino nacional. Se desarrolla como una actividad marginal donde las condiciones naturales limitan el desenvolvimiento de otras modalidades productivas.

El stock ovino provincial, con más de 260.000 animales, tiene escasa significación en el total nacional (sólo el 1,5 %). Se trata de una actividad secundaria orientada a la producción de carne.

En la Tabla 3.6 se presentan la cantidad de bovinos, existentes, en el año 2016, según el SIIA, para cada departamento considerado en la cuenca.

Departamento	Cantidades en 2016								
	Vaquillonas	Toritos	Terneros	Terneras	Novillitos	Novillos	Toros	Vacas	Bovinos
Unión	33470	1021	27506	29355	25445	11348	3271	72292	203708
Gral. San Martín	16757	384	13036	14302	13561	2864	1619	30341	92864
Tercero Arriba	10719	147	9359	12841	11493	3908	1019	16631	66117
Marcos Juárez	24438	1129	25741	27560	21303	9505	3288	60026	172996
Ctlamuchita	18839	424	18730	20252	20233	2240	3748	65299	149765

Tabla 3.6. Cantidad de bovinos existentes, año 2016.

Mientras que la Tabla 3.7 se presentan la cantidad de caprinos existentes en el año 2014, según el SIIA, para cada departamento considerado en la cuenca.

Departamento	Cantidades en 2014					
	Chivo	Cabra	Cabrito	Capones	Cabritos y Chivitos	Total caprinos
Unión	607	2058	1015	40	3	3723
Gral. San Martín	238	1119	868	2	11	2238
Tercero Arriba	402	1151	318	1	53	1925
Marcos Juárez	219	486	210	1	28	944
Ctlamuchita	1654	4082	237	16	108	6097

Tabla 3.7. Cantidad de caprinos existentes, año 2016.

Con respecto a la industria frigorífica y faena, la Dirección General de Estadísticas y Censos de la provincia de Córdoba, afirma que se trata de la tercera provincia en el contexto nacional por su capacidad de faenamiento, disponiendo de 43 establecimientos procesadores de los cuales 8 frigoríficos están habilitados para exportaciones hacia mercados extra-regionales, 17 plantas cuentan con habilitación para el mercado latinoamericano y 26 frigoríficos están autorizados para comercializar en todo el territorio nacional. Existen también 41 establecimientos aptos para procesar y comercializar carne dentro de la jurisdicción provincial y 87 plantas para la industrialización de carnes (embutidos, fiambres, conservas, etc.).

La faena de bovinos a nivel provincial promedio de los últimos cinco años es del orden de 1,2 millones de cabezas con una producción de 270.000 toneladas de carne limpia (10 % del total nacional). Mientras que, para la faena de porcinos, están radicados en la provincia el mayor número de industrias, siendo 26 los establecimientos. La faena provincial ha superado en los últimos años las 500 mil cabezas.

Dentro de la cuenca del Ctlamochita se encuentran, según el SIIA, cinco mataderos/frigoríficos de bovinos, uno de ovinos y cinco de porcinos. Adicionalmente, se encuentra un centro de acopio de pequeños productores de lana.

3.1.2 Análisis ambiental

3.1.2.1 Caracterización Morfométrica

La cuenca en estudio, correspondiente al área de aporte del río Ctalamochita, ubicado en el sector central de la provincia de Córdoba, pertenece a la gran cuenca del río Carcarañá. La misma se encuentra formada principalmente por ríos Ctalamochita o Tercero y Cuarto o Chocancharagua, en la zona centro sudeste de la provincia de Córdoba, y desemboca hacia el sur de la provincia de Santa Fe, a la cual cruza desembocando en cercanías de la localidad de Gaboto en el río Coronda, que a su vez lo hace en el río Paraná.

La cuenca del río Ctalamochita, de 10.573 km² de extensión, se encuentra contenida íntegramente en la provincia de Córdoba, siendo el 17,7 % de la superficie de la cuenca del Carcarañá, de 59.616 km². El cauce está regulado en su parte alta por un sistema de embalses, aguas abajo del último de estos, el dique Piedras Moras, el río adquiere características de un río de llanura.

Para estudiar la cuenca se empleó el software ArcMap 10.1, utilizando el Modelo de Elevación Digital (DEM) según SRTM con 30 m de resolución espacial y 3 m de error vertical, con el cual se definió el área por análisis de divisorias de aguas (Figura 3.4).

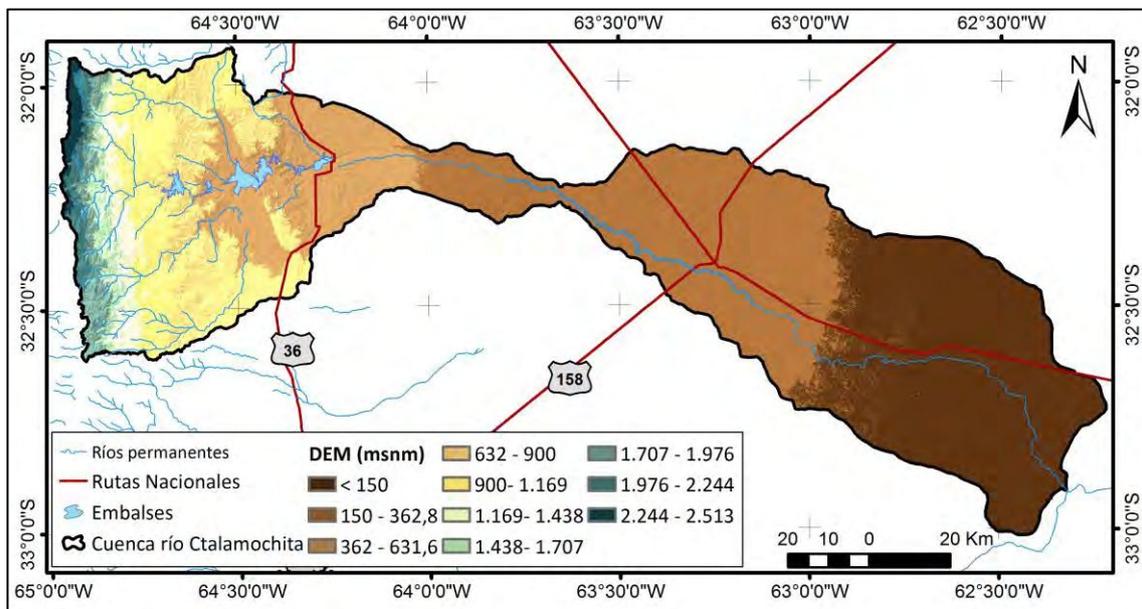


Figura 3.4. Modelo de elevación digital. Fuente: Elaboración propia, datos IGN.

Según Vázquez, 1979, el río Ctalamochita es el más caudaloso de la Provincia de Córdoba y su cuenca de recepción queda determinada al oeste por la divisoria de aguas de la Sierra Grande. Comprende el sector de la Sierra de Achala, entre el Cerro Negro y el Champaquí (2.790 msnm) y el de las altas cimas de la Sierra de los Comechingones, desde este último cerro hasta el de Oro. La Sierra Chica forma el límite este y lo integra la Cumbre del Hinojo, desde el Cerro Calaguala al sur, y la Cumbre Chica. El extremo occidental del valle de La Cruz, lo cierra en su término austral.

Por el norte, la separa de la cuenca del río de Los Molinos el dorso que se inicia como prolongación de las Cumbres de Achala a la altura del Cerro Negro, continúa por las Lomas de Athos Pampa y se prolonga por una línea hasta el Cerro de Calaguala (Vázquez, 1979). Al sur está limitada por las pendientes septentrionales de los cerros de Oro- Sombrero Quemado, Los Cerros. Forman el actual colector el río Santa Rosa, el arroyo de Amboy y los ríos Grande, Quillinzo y de Los Sauces-La Cruz, que se derraman en el Embalse de Río Tercero. Desde el Dique, el colector recibe la designación de río Ctalamochita; corre aproximadamente hacia el este con un cauce encajado, irregular y con una

pendiente del 5 %. Por el norte recibe las aguas de la Cumbre Chica por intermedio de torrentes y arroyos como el Monsalvo, y a la altura de El Salto, al Soconcho. Por el sur, el arroyo homónimo y el de Los Quebrachos, drenan la Sierra de los Cóndores (Vázquez, 1979).

La división entre la parte alta y la media-baja de la cuenca se basa fundamentalmente en el comportamiento de los escurrimientos de la cuenca en general, siendo un régimen de cuenca de montaña en las zonas altas, las nacientes de la cuenca, con mayores pendientes, denominada cuenca alta en esta tesis, y un comportamiento de transición, hasta alcanzar amplias zonas de llanura, con una relación bidireccional del agua superficial y la subterránea, con pendientes muy bajas, zona denominada cuenca media-baja, en esta tesis.

Según la clasificación de López Cadenas de Llano (1998), la pendiente refleja los diferentes tipos de relieve, considerándose muy plano a un relieve menor del 0,5 %; plano a 0,5 a 1 %, de 1 a 3 % suave; de 3 a 12 % presenta lomadas; 12 a 20 % relieve accidentado; 20 a 50% muy fuerte; escarpado cuando se distribuye entre 50 y 75 %, y mayor al 75 % se corresponde a un relieve muy escarpado. El análisis de las pendientes de la cuenca se presenta en la Figura 3.5.

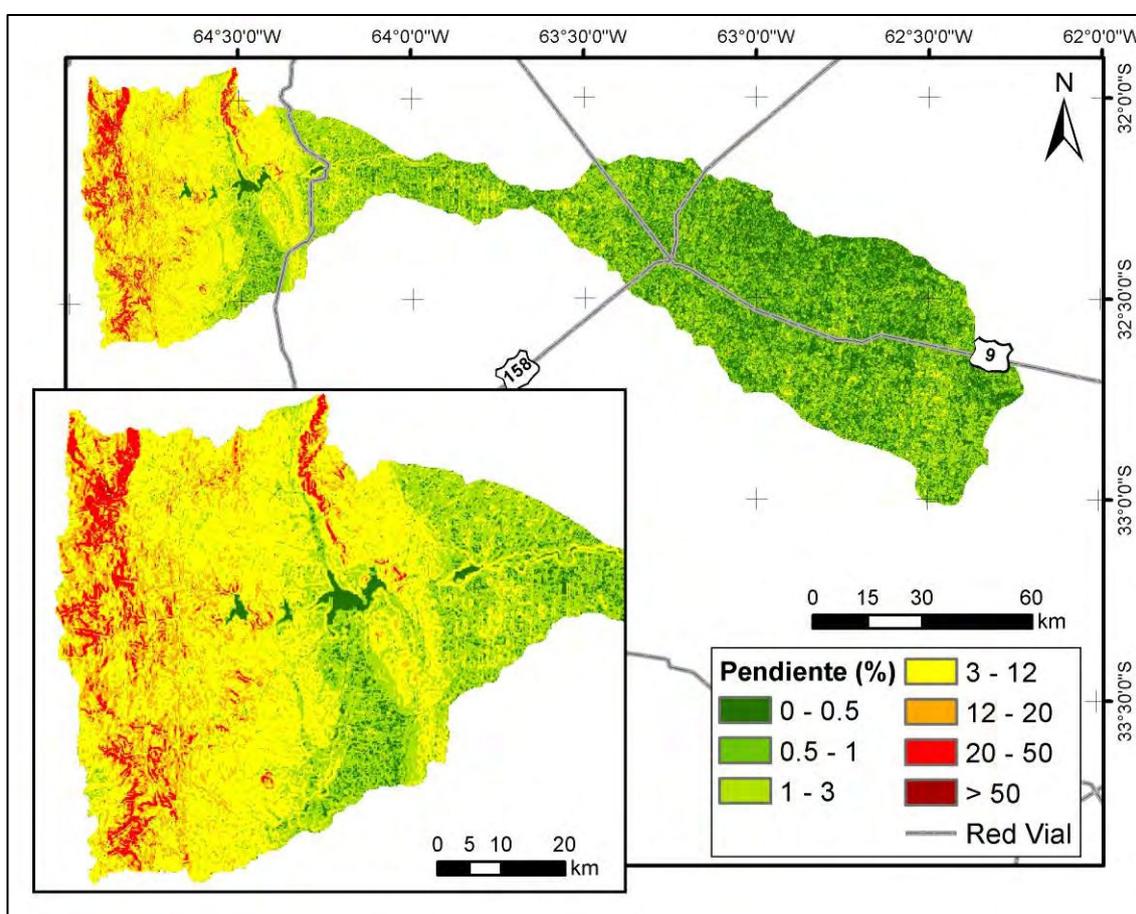


Figura 3.5. Mapa de pendientes (en porcentaje) con detalle de la cuenca alta. Fuente: Elaboración propia.

La Figura 3.5 evidencia una predominancia de pendientes menores al 3 % en la parte baja de la cuenca siendo, según la clasificación presentada, un relieve mayoritariamente plano con presencia de lomadas. Mientras que, en la parte alta de cuenca, presenta pendientes mayores al 12 %, alcanzando picos mayores al 20 % especialmente en la grandes cañadas y valles, definiéndose como relieves accidentados y con fuertes pendientes.

En la Figura 3.6 se presenta una perspectiva de la parte alta de la cuenca, donde se exageró la escala vertical para evidenciar las zonas de mayor pendiente, en coincidencia con el cordón serrano.



Figura 3.6. Relieve en tres dimensiones, con exageración vertical 1:3. Fuente: Google Earth.

Según la UNVM, 2015, el lecho del río Ctalamochita adquiere paulatinamente la naturaleza de un río de llanura desde El Salto. Las barrancas que lo bordean disminuyen de altura y lo mismo sucede con la pendiente. De esta manera se favorece el trazado de gran cantidad de meandros, alcanzando en el tramo Río Tercero-Villa María, la máxima anchura y una amplia playa. Entre esta última ciudad y Bell Ville, su cauce se enangosta nuevamente y queda encajonado entre barrancas de 5 a 10 m. A esta característica se agrega más adelante la aparición de tosca en el fondo, lo cual permite la formación de saltos y rápidos. Tras cruzar Bell Ville, describe una inflexión al sudeste y a unos sesenta y tres kilómetros confluye con el Saladillo y originan el río Carcarañá.

Para el trazado de la cuenca del río Carcarañá se han considerado los datos de la Secretaría de Recursos Hídricos de La Nación, y los ajustes en el extremo NO, perteneciente a la cuenca del Ctalamochita, realizados por la UNVM, 2015, en el marco del *Proyecto de gestión integral de Recursos Hídricos, cuenca río Ctalamochita*. Dicho proyecto traza los límites de la cuenca del río Ctalamochita y las subcuencas que lo conforman. En este trabajo de tesis se considera adecuado el trazado de la primera, pero se encuentran discrepancias en algunas subcuencas y en la forma en que han sido analizadas.

Para el análisis morfométrico, la cuenca fue considerada dividida en dos, cuenca alta y cuenca media-baja.

3.1.2.1.1 Morfometría de la Cuenca alta

La Figura 3.7 presenta el detalle del Modelo de Elevación Digital (DEM) de la cuenca alta, considerando como tal la superficie de aporte aguas arriba del compensador Piedras Moras, que coincide, en el coronamiento, con la traza de la Ruta Nacional N° 36.

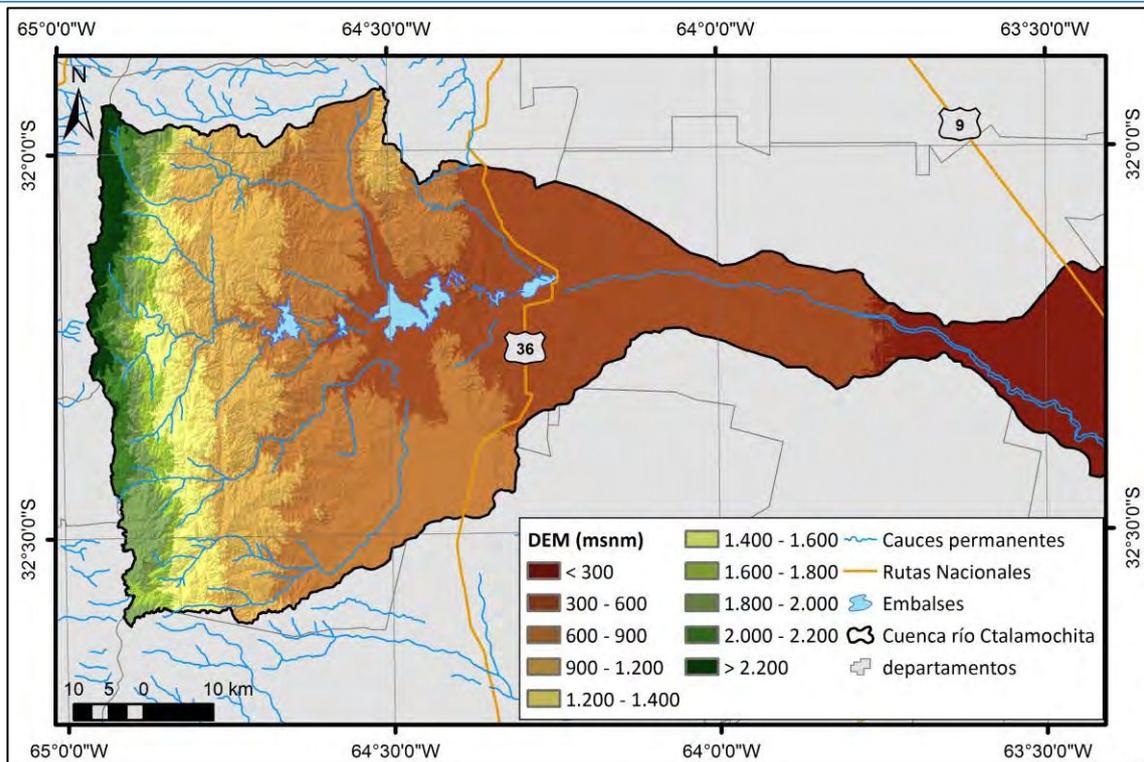


Figura 3.7. DEM de la cuenca alta. Fuente: Elaboración propia.

La UNVM, 2015, plantea los principales cursos y las subcuencas asociadas a la cuenca alta que se muestran en la Figura 3.8. Puede observarse que la llamada subcuenca del río Ctlamochita (en color rosa en la misma figura) representa algunos sectores de aporte a los embalses y al cauce, sin discriminar a cuál de ellos corresponde cada uno. Es este planteo el que se modifica en este análisis.

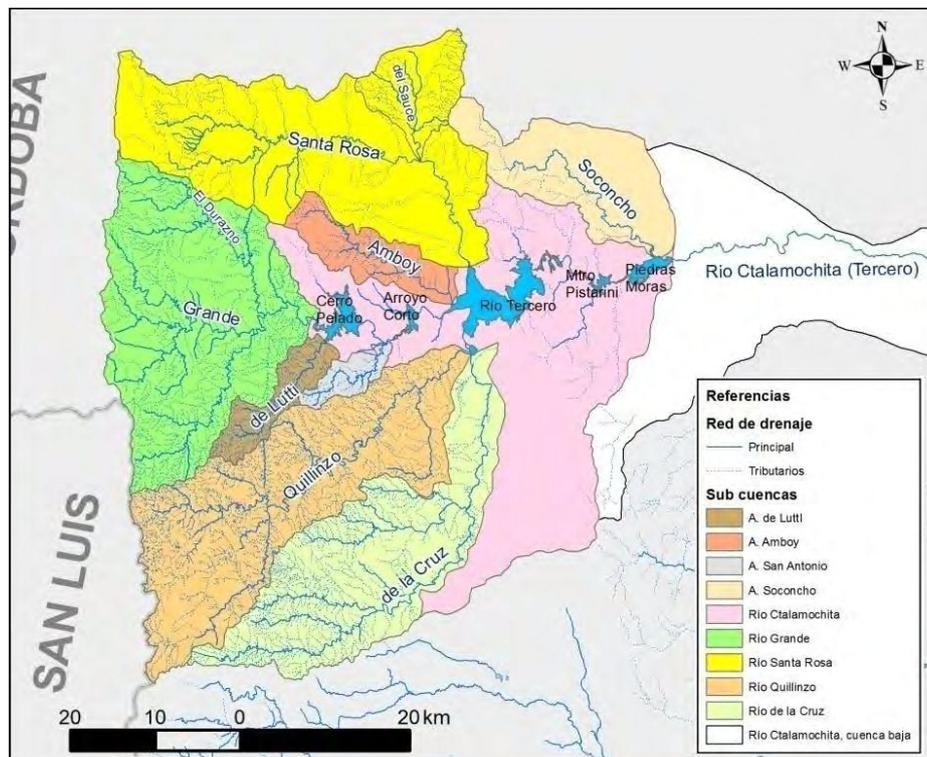


Figura 3.8. Parte Alta de la cuenca del Río Ctlamochita. Fuente: UNVM, 2015.

El nuevo planteo propuesto en esta tesis traza las cuencas de aporte a la salida de cada embalse y las mismas se subdividirán según los cauces que los tributan aguas arriba. La nueva organización se presenta en la Figura 3.9.

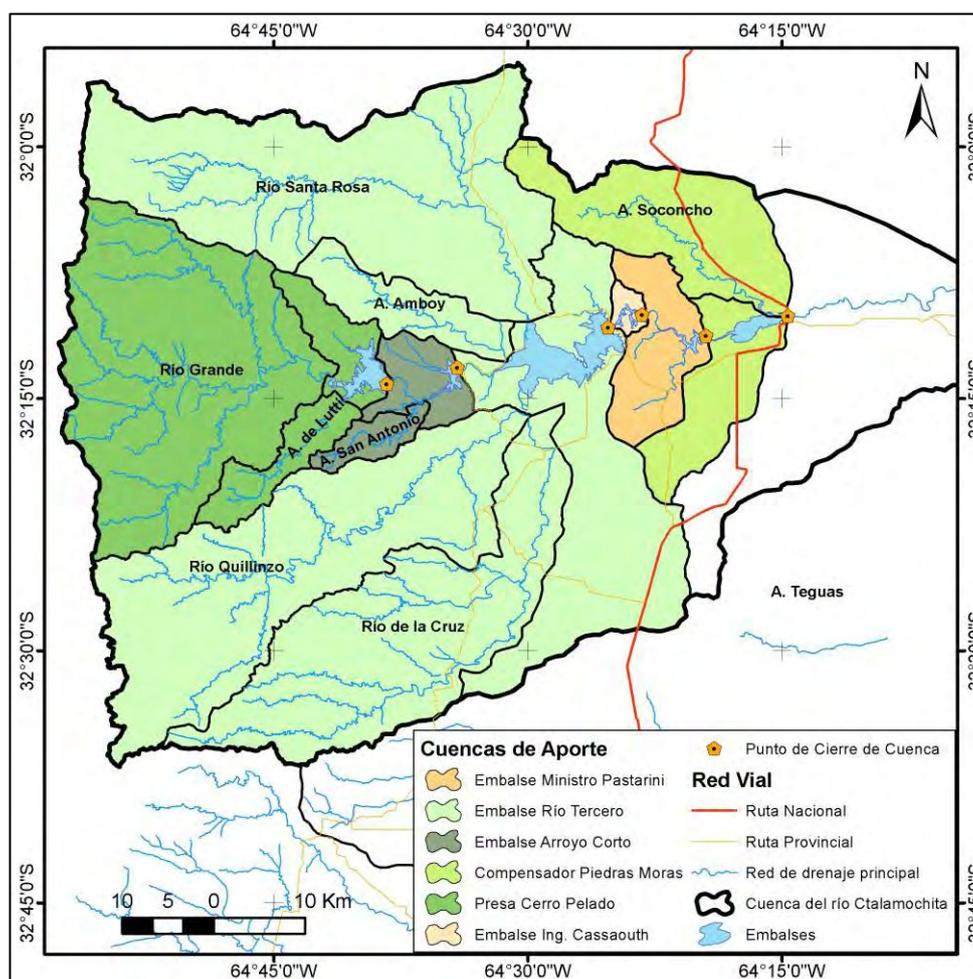


Figura 3.9. Parte Alta de la cuenca del Río Ctlamochita. Fuente: Elaboración propia.

De igual manera, en la Figura 3.10, se definen las subcuencas, correspondientes a los principales afluentes a los embalses mencionados y las llamadas zonas de aporte que, si bien no presentan cauces definidos o permanentes, también aportan superficial o subterráneamente a dichos embalses. Las características morfométricas particulares de las subcuencas correspondientes a los seis embalses son brevemente descritas a continuación, y en detalle en el Anexo I.

La cuenca de aporte a la presa Cerro Pelado (ACP), en color verde oscuro en la Figura 3.10, cuenta con dos afluentes principales, el río Grande y el arroyo Lutti, y sus correspondientes subcuencas.

El área de aporte al embalse compensador Arroyo Corto (AAC) corresponde a la subcuenca del Cerro Pelado y a los aportes provenientes de afluentes siendo el principal el arroyo San Antonio, en color gris oscuro (Figura 3.10).

La subcuenca de aporte correspondiente al embalse Río Tercero (ART), la mayor de todas, recibe el aporte de las aguas liberadas por el embalse compensador Arroyo Corto y, a su vez, cuenta con cuatro afluentes principales: el río Santa Rosa, el arroyo San Amboy, el río Quillizo y el río De La Cruz, en color verde claro (Figura 3.10).

La zona de aporte del embalse Ingeniero Carlos Cassafousth (AIC) se compone en un 99 % de la subcuenca del embalse Río Tercero, lo restante los componen aportes de escorrentías laterales propios al Ing. Cassafousth, aunque no presenta afluentes de cauces importantes, en color rosa (Figura 3.10).

La cuenca de aporte del embalse Ministro Pistarini (AMP) o Ing. Reolín, recibe agua proveniente del embalse Ingeniero Carlos Cassafousth, 3319 km², y los aportes de escorrentías laterales, en color anaranjado, sin presentar afluentes de cauces importantes (Figura 3.10).

Finalmente, la cuenca de aporte al embalse compensador Piedras Moras (APM), recibe las aguas erogadas por los diques aguas arriba, de la subcuenca del arroyo Soconcho y los aportes laterales directos al embalse (Figura 3.10).

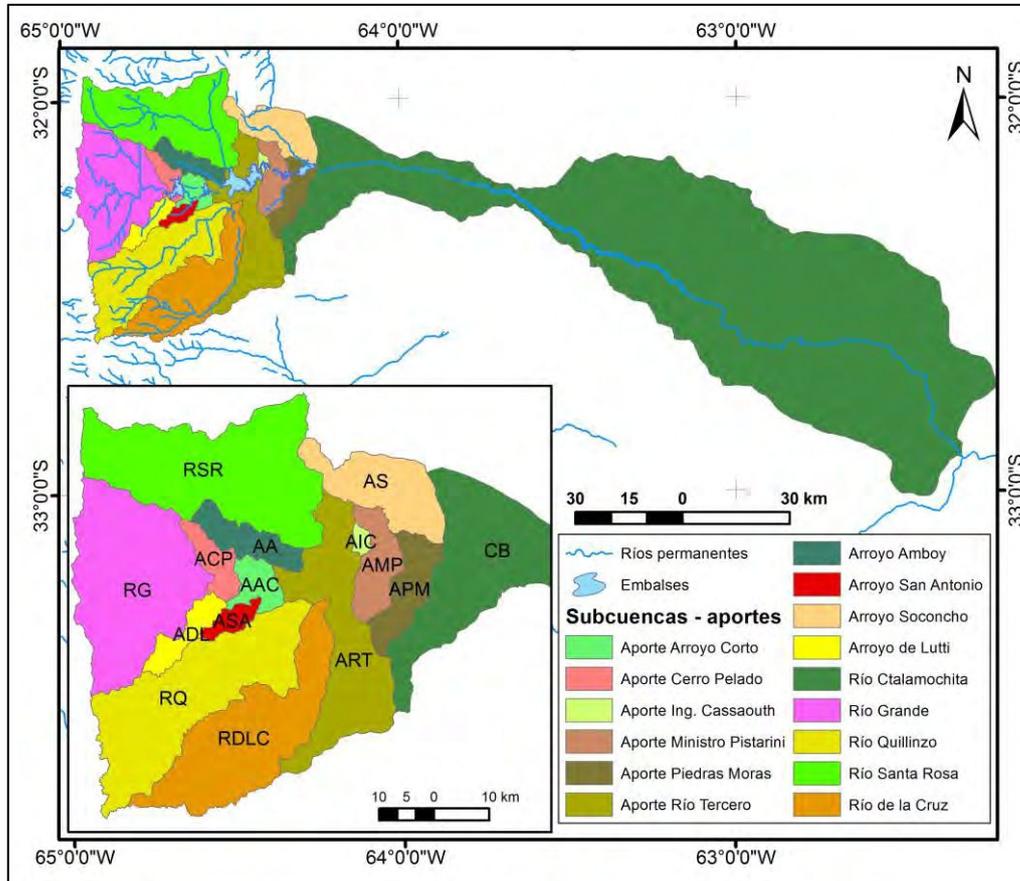


Figura 3.10. Subcuencas y zonas de aporte a los embalses. Fuente: Elaboración propia.

La Figura 3.11, presenta la delimitación de la cuenca del río Ctalamochita realizada por Lenarduzzi (2013), la misma difiere levemente en los límites de la cuenca media y baja determinada en esta tesis. Es importante mencionar que, dado que la cuenca presentada en este trabajo fue trazada mediante el uso de imágenes satelitales y de forma manual, son entendibles las pequeñas diferencias, especialmente en la zona llana, donde no hay una divisoria de aguas definida.

En cuanto a las diferencias en la cuenca alta, la más evidente es la correspondiente a la zona de aporte al embalse río Tercero (ART). Este sector no presenta cauces definidos y la divisoria de aguas se vuelve menos evidente, sin embargo, dado que se trata de una zona agrícola existen una serie de canales artificiales que favorecen el desagüe de los campos y llevan el agua hacia el embalse Río Tercero. Esta información fue verificada en las sucesivas visitas que se hicieron en la zona, por lo que se consideró parte de la cuenca del río Ctalamochita.



Figura 3.11. Cuenca del río Ctalamochita según Lenarduzzi, 2013.

En la Tabla 3.8 se presentan los parámetros morfométricos de las cuencas correspondientes a los seis embalses, siendo la cuenca del embalse compensador Piedras Moras la que llamamos cuenca Alta del río Ctalamochita.

Parámetro /Cuenca embalse	Cerro Pelado	Arroyo Corto	Río Tercero	Segunda Usina Ing. Cassaffouth	Tercera Usina Ing. Reolín	Piedras Moras
Superficie embalse (km ²)	12,20	3,09	40,68	1,88	2,72	8,43
Superficie cuenca (km ²)	782,5	887,9	3304,1	3319,0	3444,6	3824,1
Perímetro (km)	142,0	156,4	289,0	290,9	297,2	305,4
Longitud del cauce principal (km)	60,2	24,0	93,5	-	13,80	55,20
Pendiente media del cauce principal (%)	2,82	2,33	1,82	-	1,33	1,38
Altura máxima del cauce (m)	2461	1135	2431	678	648	1181,00
Altura mínima del cauce (m)	762	575	531	498	465	419,00
Índice de compacidad de Gravelius	1,42	1,47	1,41	1,41	1,42	1,38

Tabla 3.8. Morfometría de las cuencas de los embalses.

La cuenca del embalse Ing. Cassaffouth no presenta cauces definidos aguas abajo del embalse Río Tercero, motivo por el cual no se presenta la longitud del cauce principal y su pendiente media correspondiente.

Por otro lado, la Tabla 3.9, detallan los aspectos fisiográficos de cada una de las principales subcuencas que componen las zonas de aporte a los diques y a la parte alta del río Ctalamochita.

Subcuenca	Río Santa Rosa	Río Grande	Río Quillínzo	Río de La Cruz	Arroyo Soconcho	Arroyo de Lutti	Arroyo Amboy	Arroyo San Antonio
Superficie (km ²)	715,73	637,40	615,75	517,69	242,44	74,13	107,01	37,93
Perímetro (km)	162,18	133,36	163,61	148,73	84,92	57,60	61,26	35,22
Longitud del cauce principal (km)	88,20	60,23	93,50	92,40	55,20	32,70	33,90	24,00
Pendiente media del cauce principal (%)	2,15	2,82	1,52	1,21	1,38	2,49	1,72	2,33
Altura máxima del cauce (m)	2.431	2.461	1.948	1.649	1.181	1.564	1.129	1.135
Altura mínima del cauce (m)	535	762	531	532	419	749	545	575
Orden de corrientes	6,00	6,00	6,00	5,00	5,00	5,00	5,00	4,00
Densidad de drenaje (km/km ²)	1,51	1,71	2,04	1,76	1,21	3,07	1,53	2,56
Densidad de corrientes (n-corrientes/km ²)	1,11	1,04	2,19	1,44	0,85	4,05	1,56	3,64
Índice de compacidad de Gravelius	1,70	1,48	1,85	1,83	1,53	1,87	1,66	1,60
Coefficiente de rugosidad	1,26	0,99	0,69	0,64	0,63	0,27	0,38	0,22
Forma de la cuenca	Oblonga	Oblonga	Rectangular - Oblonga	Rectangular - Oblonga	Oblonga	Rectangular - Oblonga	Oblonga	Oblonga

Tabla 3.9. Morfometría de las Subcuencas.

Analizando el coeficiente de rugosidad, en general las subcuencas presentan una baja relación entre el desnivel y la densidad de drenaje, generada principalmente por una baja cantidad de cursos en relación a la superficie de cada una de las subcuencas.

Recordando que el coeficiente de compacidad de Gravelius (Kc) relaciona la forma y la superficie de una cuenca, influenciando los escurrimientos y la forma del hidrograma resultante, y que según el valor que tome este coeficiente, la cuenca tendrá diferente forma donde se describe que: Kc = 1,00 representa una cuenca redonda; 1,25, oval redonda; 1,50 oblonga; e igual o mayor a 1,75 cuenca rectangular-oblonga, considerando que su valor será mayor que la unidad y crecerá con la irregularidad de la forma de la cuenca (Gaspari et al, 2013). Los resultados alcanzados para la tesis, se encuentra que sólo tres subcuencas cuentan con valores de Kc mayores a 1,75, definiéndose como subcuencas rectangular – oblongas; correspondiéndose con una peligrosidad baja de que se produzcan avenidas máximas, mientras que, para los 5 restantes, con valores de kc entre 1,48 y 1,7, se definen como oblongas, con una peligrosidad media. A medida que se alejan de la forma circular (Kc=1) la peligrosidad de crecidas disminuye, las distancias entre la divisoria de aguas y el punto de aforo son mayores, con mayores tiempos de concentración.

Como se ha mencionado, (Vélez Upegui y Botero Gutiérrez, 2010), en la estimación del tiempo de concentración pueden usarse diferentes fórmulas que se relacionan con parámetros propios de cada cuenca, pero recomiendan emplear el valor medio obtenido de varias ecuaciones empíricas disponibles en la literatura científica. Dado que cada autor estima el tiempo de concentración para cuencas con características muy particulares, los resultados suelen ser disimiles, por lo que se emplean las ecuaciones que se ajusten mejor a cada cuenca estudiada. Sin embargo, Vélez Upegui y Botero Gutiérrez, 2010, afirman que un uso de la mayor cantidad de ecuaciones empíricas para calcular el tiempo de concentración reduce la incertidumbre asociada, especialmente en cuencas chicas, siendo posible eliminar aquellas que se encuentran por fuera del rango medio. Como el caso de Bransby-Williams que se recomienda para cuencas menores a los 75 km², mientras que Pilgrim y McDermott para aquellas menores a las 250 km².

En esta tesis se aplicaron las 10 ecuaciones empíricas detalladas y el promedio de los valores obtenidos por subcuenca, los resultados se presentan en la Tabla 3.10.

Tiempo de concentración (hrs)	Río Santa Rosa	Río Grande	Río Quillinzo	Río de La Cruz	Arroyo Soconcho	Arroyo de Lutti	Arroyo Amboy	Arroyo San Antonio
Bransby-Williams	9,54	6,24	11,01	11,59	7,27	4,31	4,64	3,43
California Culvert Practice	9,16	6,15	10,96	11,85	7,57	4,03	4,78	3,26
Clark	13,16	11,34	13,35	12,88	7,90	3,28	4,55	2,25
Giandotti	6,87	5,80	7,95	8,59	6,57	3,66	4,77	3,20
Kirpich	9,15	6,14	10,95	11,83	7,56	4,02	4,77	3,25
Método Racional Generalizado	11,52	6,43	7,36	7,16	4,75	1,16	1,91	0,79
Pilgrim y McDermott	9,24	8,84	8,73	8,17	6,12	3,90	4,49	3,03
Témez	7,81	5,55	8,72	9,02	5,95	3,57	3,94	2,86
Valencia y Zuluaga	7,81	7,21	8,18	8,27	6,53	3,94	4,92	3,32
Promedio	9,36	7,08	9,69	9,93	6,69	3,54	4,31	2,82

Tabla 3.10. Tiempo de concentración para cada subcuenca, según ecuaciones empíricas.

En cuanto a los tiempos de rezago, se determinaron como el sesenta por ciento de los tiempos de concentración adoptados en cada subcuenca, cuyos valores calculados se presentan en la Tabla 3.11.

Tiempo en horas	Río Santa Rosa	Río Grande	Río Quillinzo	Río de La Cruz	Arroyo Soconcho	Arroyo de Lutti	Arroyo Amboy	Arroyo San Antonio
Concentración Promedio	9,36	7,08	9,69	9,93	6,69	3,54	4,31	2,82
Rezago	5,62	4,25	5,81	5,96	4,02	2,13	2,58	1,69

Tabla 3.11. Tiempos de rezago, para cada subcuenca.

Finalmente, en el Anexo I se presenta el análisis morfométrico de cada una de las subcuencas correspondientes a la cuenca Alta.

3.1.2.1.2 Morfometría de la Cuenca media-baja

En cuanto a la cuenca media-baja, la misma considera la superficie de aporte aguas abajo del embalse compensador Piedras Moras hasta que sus aguas desembocan en el río Carcarañá. A continuación, en la Figura 3.12, se presenta el detalle del Modelo de Elevación Digital correspondiente, evidenciando un desnivel desde una cota máxima de 350 msnm hasta mínima de 94 msnm.

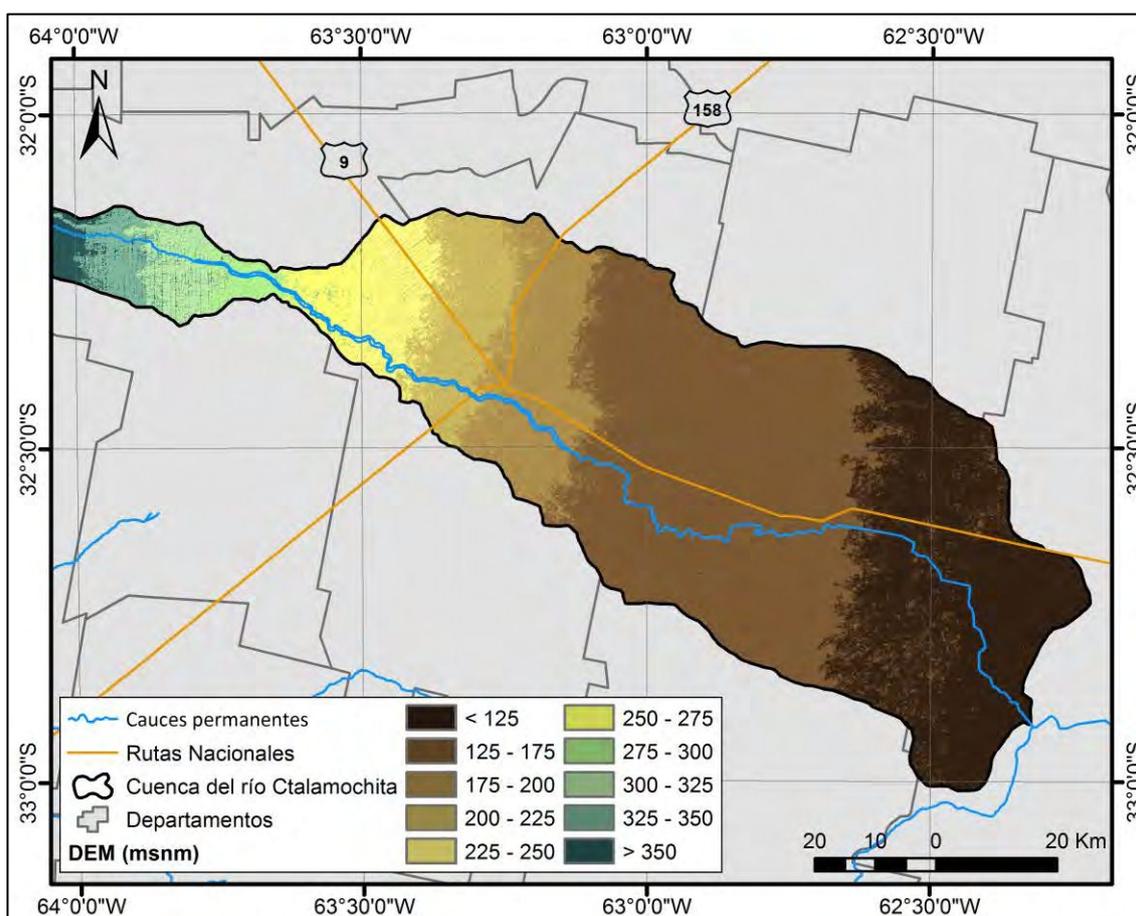


Figura 3.12. DEM cuenca media-baja, SRTM 30 m. Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 3.12 se presentan los aspectos morfométricos determinados para la cuenca media baja, en la que no se han evidenciado subcuencas dado su comportamiento de cuenca de llanura, definido por su poca pendiente y escasez de cauces secundarios.

Cuenca Media-Baja	
Superficie (km ²)	6749,10
Tamaño de la cuenca	Muy grande
Perímetro (km)	581,3
Longitud del cauce principal (km)	347,4
Pendiente media del cauce principal (%)	0,08
Altura máxima del cauce (m)	389
Altura mínima del cauce (m)	94
Índice de compacidad de Gravelius	1,98
Forma de la cuenca	Rectangularoblonga

Tabla 3.12. Morfometría de la cuenca media-baja.

Al igual que para las subcuencas de la cuenca Alta, para la cuenca Media-Baja se determinó el tiempo de concentración, como el promedio entre los valores obtenidos por distintos métodos, y el tiempo de rezago como el 60 % del de concentración (Tabla 3.13).

Tiempo de concentración (hrs)	Cuenca Media-Baja
Bransby-Williams	56.05
California Culvert Practice	87.48
Clark	125.58
Giandotti	58.46
Kirpich	87.35
Pilgrim y McDermott	21.67
Témez	40.03
Valencia y Zuluaga	35.07
Promedio	63.96
Rezago	38.38

Tabla 3.13. Tiempo de concentración y rezago de la cuenca media-baja.

A partir de la Tabla 3.12, se interpreta que la superficie de la cuenca media-baja supera los 5.000 km² por lo que entra en la categoría de lo que se denomina una cuenca *muy grande* (Gaspari et al, 2013). Dado que el coeficiente de compacidad de Gravelius es mayor a 1,75 se asimila la cuenca a una forma rectangular-oblonga, como puede observarse en la Figura 3.13.

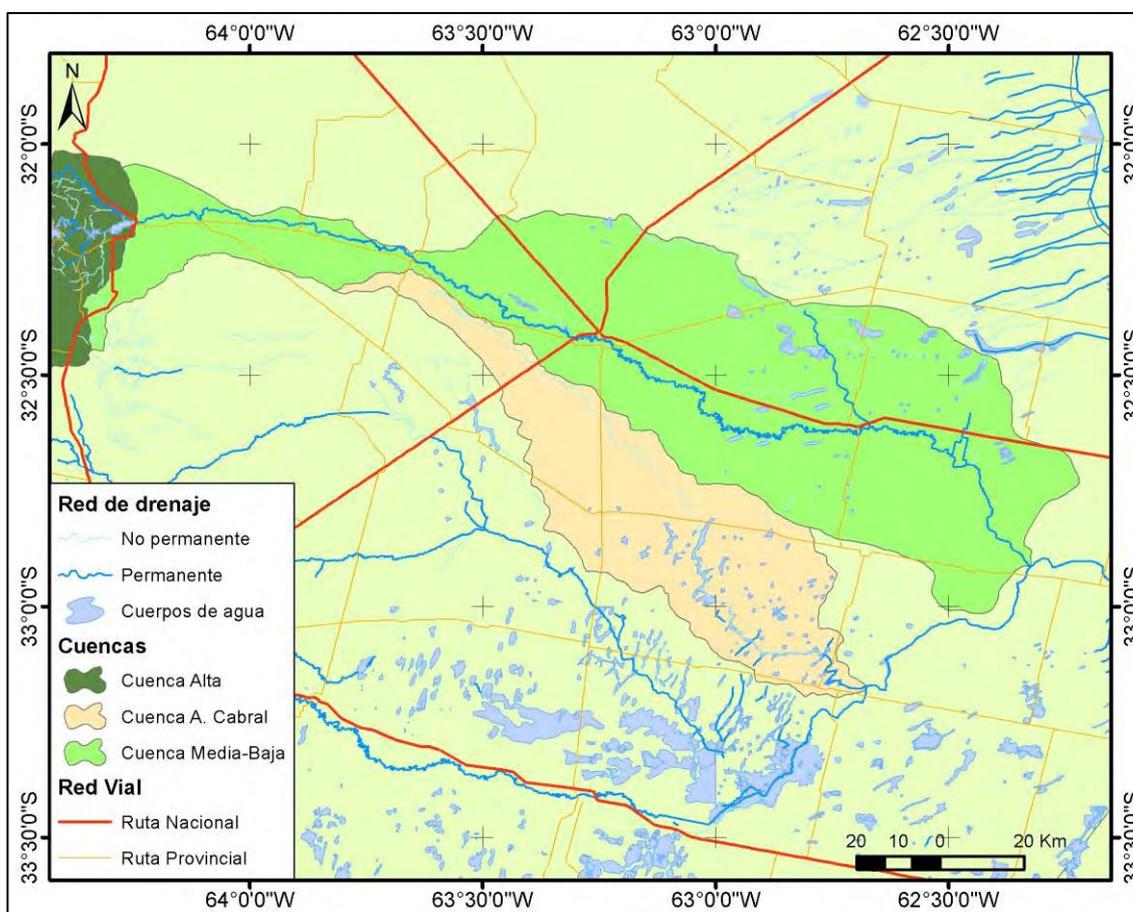


Figura 3.13. Cuenca del río Ctlamochita parte media -baja. Fuente: Elaboración propia.

3.1.2.2 Análisis climático

3.1.2.2.1 Generalidades

Una primera caracterización climática puede basarse a partir de las distintas regiones naturales de la provincia de Córdoba, determinadas según Abril et al., 2003. En la cuenca se distinguen cuatro regiones naturales: Sierras del Sur, Pampa Loéssica Alta y Baja dividida entre Ondulada y Plana, como se observa en la Figura 3.14.

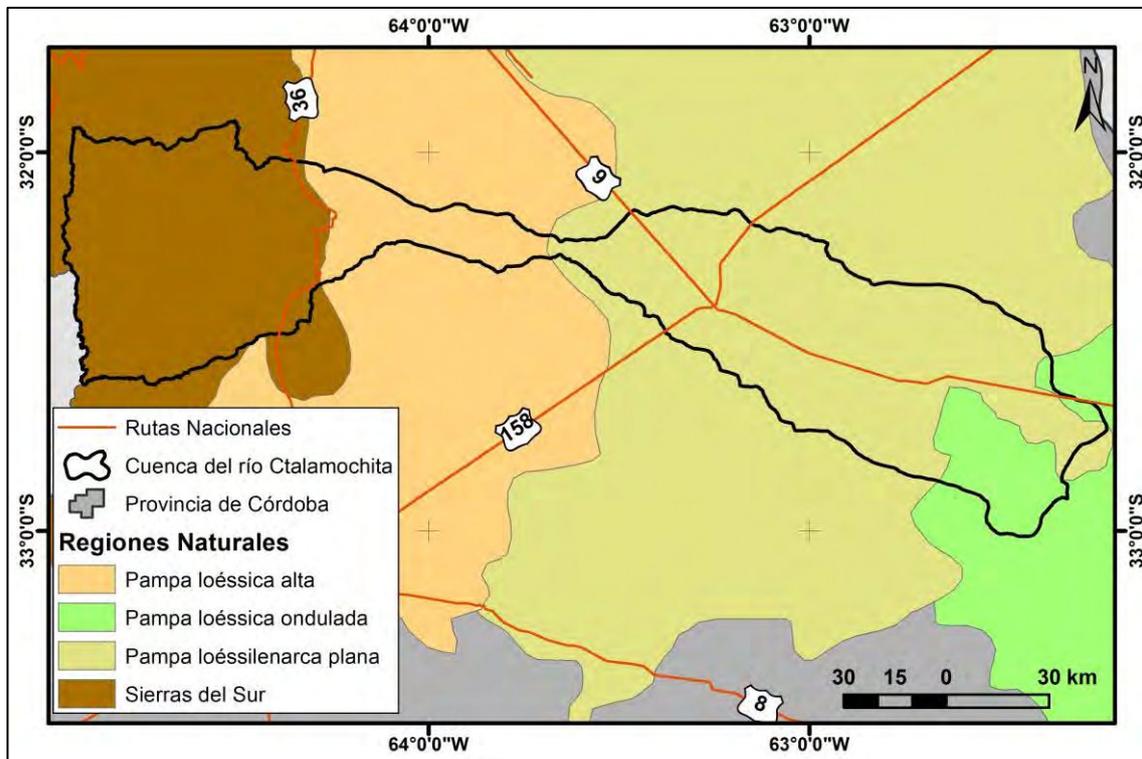


Figura 3.14. Regiones Naturales de la provincia de Córdoba. Fuente: Abril et al. 2003.

Según Abril et al., 2003, la parte alta de la cuenca del Ctalamochita, que se corresponde con el sector de las Sierras del Sur, no posee registros meteorológicos suficientes para caracterizar su gran variedad climática. Aunque la topografía característica de la parte serrana determina la existencia de diferentes microclimas, hay un patrón general para la cuenca alta donde se presenta un gradiente de disminución de las precipitaciones hacia el Oeste y un aumento correlativo de la evapotranspiración.

Los sectores Pampa loéssica alta y Pampa loéssilenarca plana, Köppen, 1931, los sitúa en clima templado con estación seca en invierno (Cw) y para Thornthwaite y Hare, 1955, se trata de un clima de pradera baja con una eficiencia térmica de 1.050 mm y un índice hídrico de -15. En esta región se destacan las amplitudes térmicas elevadas considerando las máximas 45 °C y mínimas -8 °C absolutas observadas. El período lluvioso se extiende de octubre a marzo (580 mm), el cual representa el 80 % de las precipitaciones anuales. La evapotranspiración potencial supera los 850 mm anuales, causando la existencia de períodos con deficiencia de agua edáfica cuyos valores se incrementan hacia occidente. Las heladas ocurren entre los meses de mayo y septiembre.

En la Pampa loéssica plana, considerando el gradiente de las precipitaciones que aumentan de Oeste a Este en la provincia, los déficits hídricos pueden llegar a ser menores.

Al sector Pampa loéssica ondulada, de acuerdo con la clasificación climática de Köppen, 1931, le corresponde un clima templado sin estación seca (Cf). La clasificación fitoclimática de Thornthwaite y Hare, 1955, la ubica en clima de pradera baja con una eficiencia térmica de 830 mm y un índice hídrico de -14. Las temperaturas extremas registradas han alcanzado los 42 °C durante el verano y -8 °C en

invierno. Se producen heladas entre mayo y octubre con las mayores frecuencias en julio. El mayor porcentaje de las precipitaciones se observa durante la época estival. Sin embargo, el balance hídrico sólo presenta excesos durante parte de la primavera, el otoño y comienzos del invierno.

3.1.2.2.2 Estaciones Meteorológicas

Para el análisis climático se tuvieron en cuenta estaciones meteorológicas ubicadas tanto dentro de la cuenca, como en sus proximidades. Se consideró una gran cantidad de pluviómetros instalados en fincas privadas, para uso agropecuario, así como también pertenecientes al INTA – RIAN (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria – Red de Información Agropecuaria Nacional).

Por su parte, el Servicio Meteorológico Nacional posee activas las estaciones Marcos Juárez, Pilar, Villa Dolores y Río Cuarto que, si bien no se encuentran dentro del área de estudio, se emplearon dada su proximidad a la misma y debido al análisis regional que se elabora en esta tesis, como también debido a que cuentan con un extenso periodo de registro, de 1986 a 2015, y las mediciones de variables como precipitación, temperaturas máximas, mínimas y medias, humedad relativa, dirección y velocidad de viento máximo y medio.

La Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación posee nueve estaciones meteorológicas, que cuentan únicamente con datos de precipitación diaria, con distintos periodos de registro. En la Figura 3.15 se presenta la ubicación de las estaciones meteorológicas consideradas.

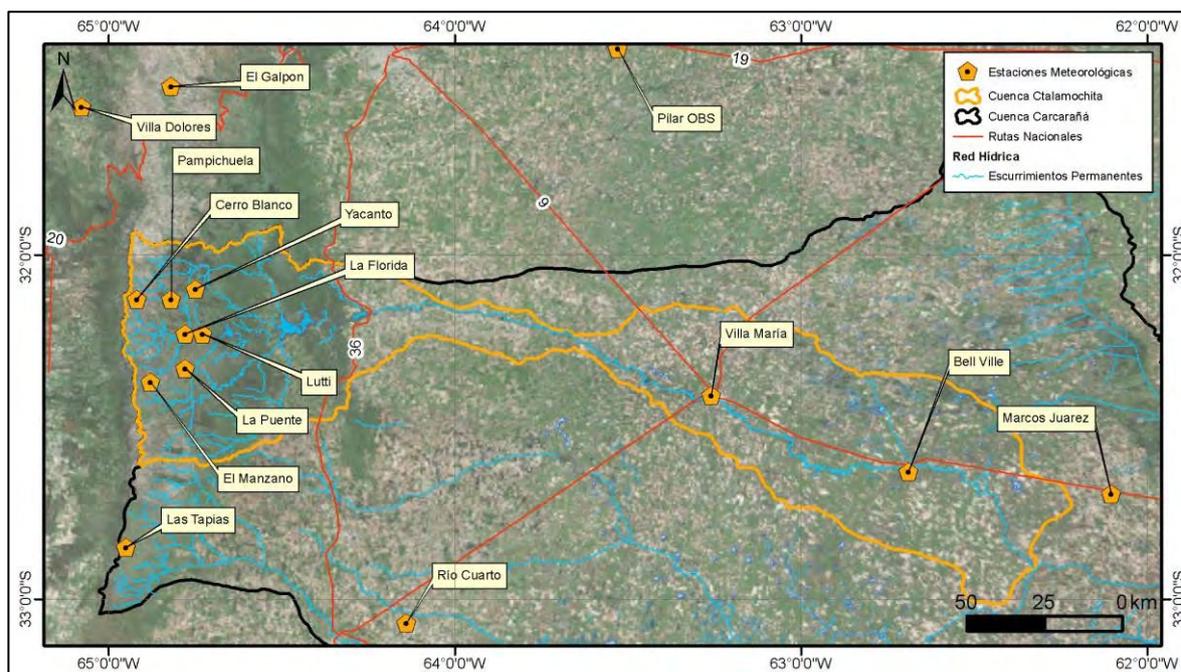


Figura 3.15. Ubicación de las estaciones meteorológicas analizadas. Fuente: Elaboración propia.

Como puede observarse en la Figura 3.15, la mayor cantidad de estaciones se encuentran ubicadas en la cuenca alta, mientras que en la parte media - baja hay menor cantidad y distanciadas entre sí. Las cuatro estaciones del SMN se encuentran estratégicamente ubicadas en los extremos de la zona en estudio, permitiendo un análisis espacial de las principales variables climáticas.

La Tabla 3.14 muestra el detalle de las estaciones empleadas en el análisis climático, sus coordenadas y altitud, el período de registro, el tipo de dato y los parámetros que registran, como también la fuente de cada una de ellas. Es importante destacar que las mismas presentan algunos datos faltantes. Para la estación de Bell Ville, adicionalmente se cuenta con datos de precipitación anual desde 1950 a 2014.

Estación meteorológica	Coordenadas				Z (msnm)	Fuente	Periodo		Tipo de dato	Parámetros
	Latitud Oeste	Longitud Sur	Desde	Hasta						
Villa Dolores	31° 57' 00"	31.95	65° 10' 00"	65.17	569	SMN	ene.-86	dic.-15	diario	T med.,max. y min., ppt, HR, viento vel. y dir.
Pilar	31° 40' 00"	31.67	63° 53' 00"	63.88	338	SMN	ene.-86	dic.-15	diario	T med.,max. y min., ppt, HR, viento vel. y dir.
Río Cuarto	33° 07' 00"	33.12	64° 10' 00"	64.17	420	SMN	ene.-86	dic.-15	diario	T med.,max. y min., ppt, HR, viento vel. y dir.
Marcos Juárez	32° 42' 00"	32.70	62° 10' 00"	62.17	114	SMN	ene.-86	dic.-15	diario	T med.,max. y min., ppt, HR, viento vel. y dir.
Cerro Blanco	32° 07' 60"	32.13	64° 55' 00"	64.92	2261	SRHN	jun.-93	sep.-16	diario	PPT
El Manzano	32° 22' 00"	32.37	64° 53' 00"	64.88	1840	SRHN	mar.-89	sep.-16	diario	PPT
La Florida	32° 13' 60"	32.23	64° 46' 60"	64.78	930	SRHN	ene.-58	sep.-16	diario	PPT
La Puente	32° 20' 00"	32.33	64° 46' 60"	64.78	1292	SRHN	ene.-74	sep.-16	diario	PPT
Las Tapias	32° 51' 00"	32.85	64° 57' 00"	64.95	705	SRHN	jun.-93	sep.-16	diario	PPT
Luti	32° 17' 60"	32.23	64° 44' 00"	64.73	1062	SRHN	mar.-84	sep.-16	diario	PPT
El Galpón	31° 30' 29"	31.51	64° 49' 13"	64.82	2330	SRHN	ene.-92	dic.-13	diario	PPT
Pampichuela	32° 07' 60"	32.13	64° 48' 60"	64.82	1187	SRHN	oct.-77	sep.-16	diario	PPT
Villa María	32° 24' 30,84"	32.41	63° 15' 34,44"	63.26	187	UTNVM	ene.-56	dic.-14	mensual	PPT
Yacanto	32° 06' 00"	32.10	64° 45' 00"	64.75	1152	SRHN	ene.-90	sep.-16	diario	PPT
Bell Ville	32° 37' 48"	32.63	62° 41' 24"	62.69	130	CTSL	ene.-11	dic.-14	mensual	PPT

SHRN: Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación
 UTNVM: Universidad Tecnológica Nacional de Villa María
 SMN: Servicio Meteorológico Nacional
 CTSL: Cooperativa de Trabajo Sudeste Limitada, Concesionaria de servicios de agua potable y cloacas.

HR: humedad relativa
 T med.: temperatura me
 max.: máxima
 min.: mínima

PPT: precipitación
 vel.: velocidad del viento
 dir.: dirección del viento

Tabla 3.14. Estaciones meteorológicas en la cuenca Ctlamochita.

Adicionalmente, se utilizaron datos de precipitación horaria registrada en dos estaciones meteorológicas pertenecientes a la Secretaría de Recursos Hídricos de la provincia de Córdoba, denominadas Tres árboles, cuyo número de referencia es 5060, y Alpa Corral, de número 5100. La Figura 3.16 muestra la ubicación de dichas estaciones, la 5060 se encuentra en el límite entre las subcuencas del río Grande y el río Santa Rosa, mientras que la 5100 se ubica fuera de la cuenca analizada, pero muy próxima a la subcuenca del río De La Cruz.

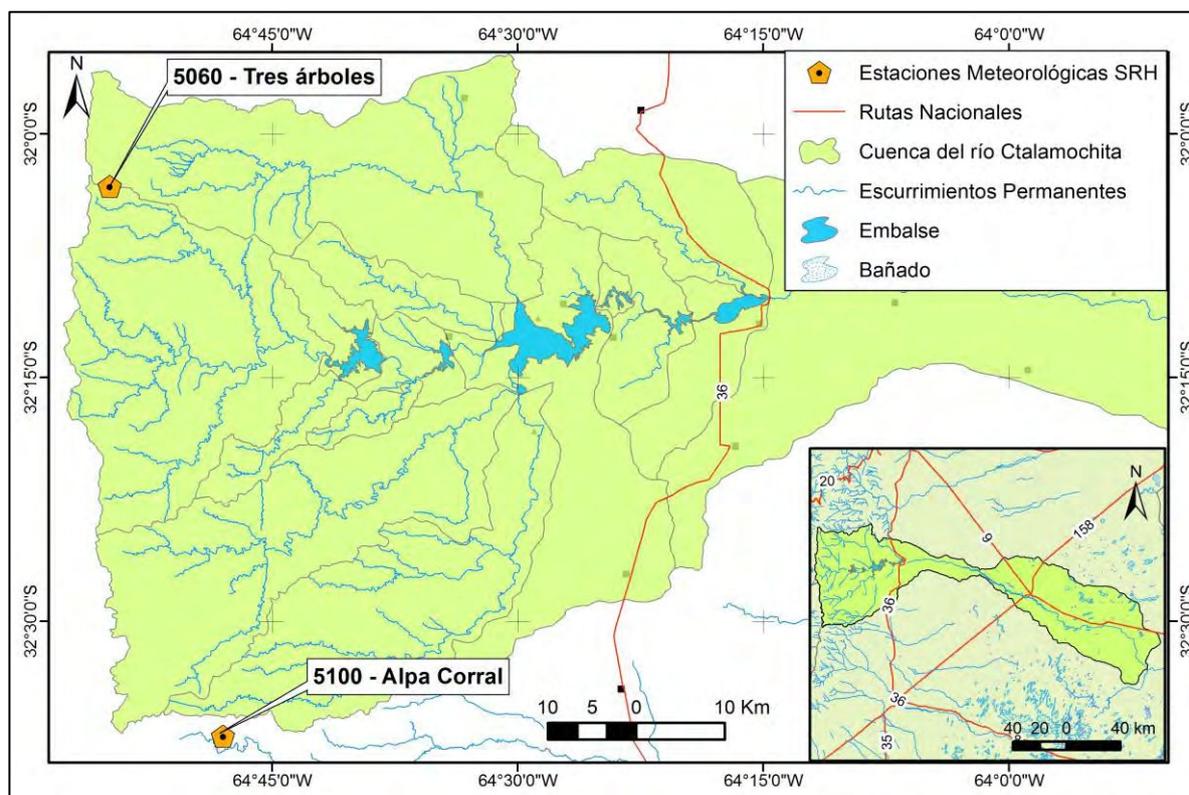


Figura 3.16. Ubicación de las estaciones meteorológicas de la SRH de la provincia de Córdoba.

De estas dos estaciones se dispone información en el periodo desde la medianoche (12 am) del día 14 de febrero de 2014 hasta las 8 am del 15 de febrero de 2014. En este corto periodo de tiempo ocurrió el evento de precipitación que ocasionó las inundaciones que fomentaron la realización de este trabajo de tesis.

3.1.2.2.3 Precipitación

Bahill et al., 2006, de la Agencia Córdoba Ambiente – INTA, elaboraron un mapa de la distribución de las precipitaciones medias anuales en la provincia de Córdoba, considerando valores desde 1961 a 1990, a modo de referencia y contexto regional se presenta en la Figura 3.17.

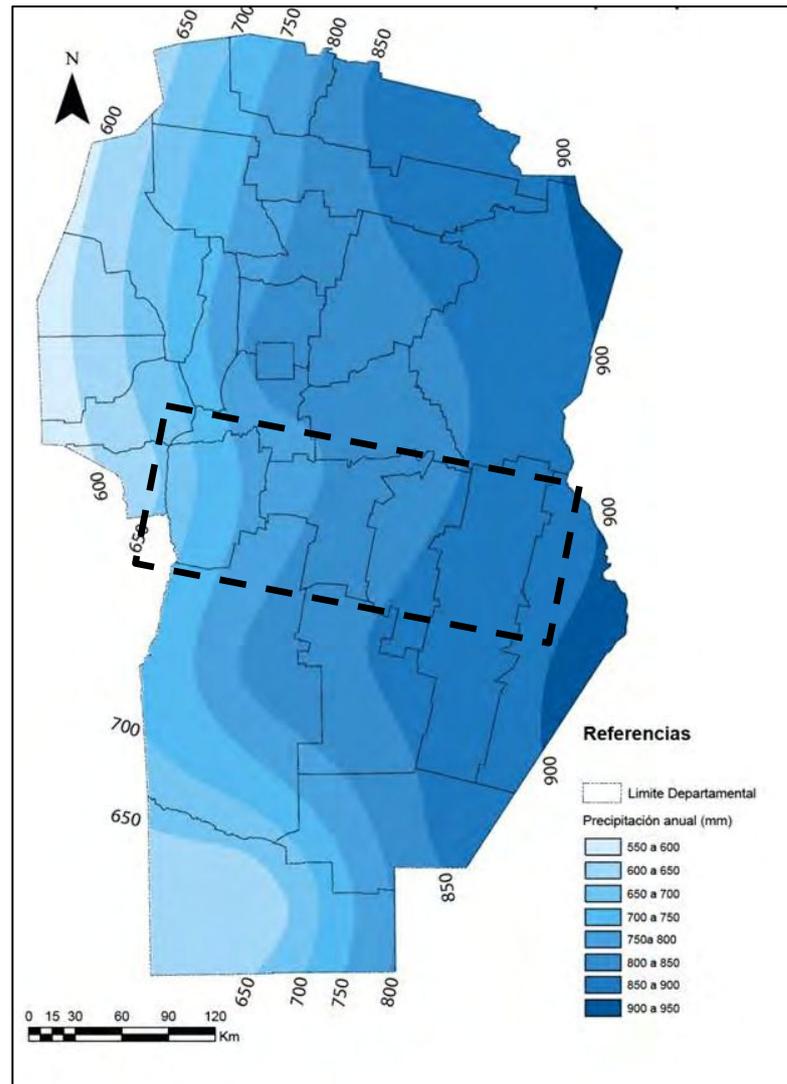


Figura 3.17. Precipitación media anual la provincia de Córdoba, zona estudiada en punteado negro. Fuente: Bahill et al., 2006.

Las dieciséis estaciones meteorológicas presentadas anteriormente, Tabla 3.15, cuentan con información pluviométrica, donde se exhiben los valores medios mensuales de precipitación de las estaciones empleadas en el análisis para el periodo desde junio de 1993 y hasta el último registro de cada una de ellas, a excepción de Bell Ville que sólo cuenta con registros mensuales desde el 2011 hasta 2014.

Estación meteorológica	Periodo		Precipitación media mensual (mm)												
	desde	hasta	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Anual
Villa Dolores	jun.-93	dic.-15	10.34	5.77	19.78	38.20	81.33	97.97	113.06	103.02	95.36	44.26	18.29	7.51	626.20
Pilar	jun.-93	dic.-15	7.23	8.97	27.25	79.64	106.52	107.62	116.06	108.79	103.69	63.90	21.31	5.08	754.74
Río Cuarto	jun.-93	dic.-15	9.92	11.18	40.83	84.84	131.00	128.44	140.14	105.21	99.22	72.03	30.98	6.82	849.88
Marcos Juárez	jun.-93	dic.-15	13.03	23.36	41.05	111.47	105.22	131.97	109.76	122.63	118.51	95.60	36.02	15.60	921.52
Cerro Blanco	jun.-93	sep.-16	12.32	17.38	43.60	88.43	165.41	202.90	215.64	202.22	187.85	94.77	30.33	10.99	1220.20
El Manzano	jun.-93	sep.-16	9.70	11.57	37.76	95.89	161.28	185.75	182.19	212.18	171.40	85.57	26.90	11.58	1154.19
La Florida	jun.-93	sep.-16	9.38	10.02	34.46	70.90	150.66	176.27	182.88	172.44	166.72	91.26	24.78	7.06	1061.42
La Puente	jun.-93	sep.-16	8.71	11.61	35.46	88.11	144.35	191.10	187.57	200.70	168.71	87.41	22.45	11.48	1119.86
Las Tapias	jun.-93	sep.-16	9.32	10.38	33.98	76.43	148.29	122.25	152.39	141.34	128.42	72.36	31.43	7.38	899.74
Lutti	jun.-93	sep.-16	9.61	9.93	31.69	78.42	145.77	157.18	169.96	171.40	160.32	76.47	25.17	10.81	1013.65
El Galpón	jun.-93	dic.-13	7.26	6.16	28.00	64.26	136.79	164.84	148.90	140.60	115.29	55.39	26.37	5.11	814.62
Pampichuela	jun.-93	sep.-16	11.39	11.77	41.98	84.54	167.63	193.89	189.44	189.03	173.80	90.09	26.61	10.88	1153.02
Villa María	jun.-93	dic.-14	7.09	12.36	36.18	89.73	100.64	118.41	100.23	116.00	100.61	69.18	25.36	6.77	782.57
Yacanto	jun.-93	sep.-16	9.54	11.09	40.33	74.26	156.70	177.68	184.32	171.50	161.70	80.68	27.07	8.75	1068.23
Bell Ville	ene.-11	dic.-14	2.75	15.25	57.50	146.25	127.50	114.67	55.50	179.25	151.00	80.75	49.75	10.00	990.17
Media			9.17	11.79	36.66	84.76	135.27	151.39	149.87	155.75	140.17	77.31	28.19	9.06	962.00

Tabla 3.15. Precipitación media mensual, periodo entre junio de 1993 y septiembre de 2016.

De los valores obtenidos pueden separarse los registrados en la cuenca alta que, exceptuando Las Tapias, superan los 1000 mm anuales. Mientras que, en la cuenca media y baja en Villa María, Bell Ville y finalizando con Marcos Juárez, se observan valores de 792,75 mm, 793,94 mm y 935,31 mm anuales respectivamente.

A partir del análisis y procesamiento geoespacial de los datos de las estaciones meteorológicas se logró un mapa de isohietas con el cual se diseñó el mapa de precipitación media anual. La precipitación media anual de la cuenca en los últimos 25 años se presenta a continuación en la Figura 3.18, donde se observa que los mayores valores se encuentran en la parte serrana, con máximos que alcanzan los 1.220 mm.año⁻¹, en Cerro Blanco; en la zona media se observan valores mínimos de 800 mm.año⁻¹; hacia el SE los Valores aumentan nuevamente alcanzando los 950 mm, analizando el registro de Marcos Juárez.

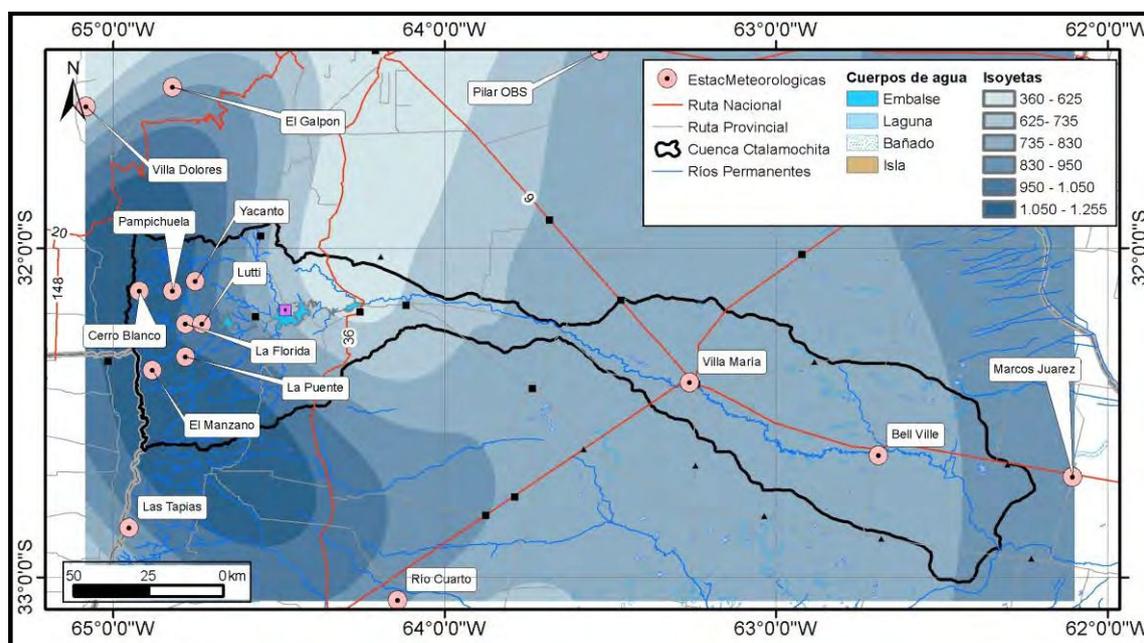


Figura 3.18 Precipitaciones medias anuales, periodo 1993-2015. Fuente: Elaboración propia.

Las Figura 3.19 y Figura 3.20 presentan la precipitación anual en la cuenca alta y media-baja respectivamente. El periodo considerado, de 1993 a 2015, se corresponde con los años que contienen

una mayor densidad de estaciones sin datos faltantes. Se descartaron para este análisis los años que contaban con más de dos meses faltantes de datos.

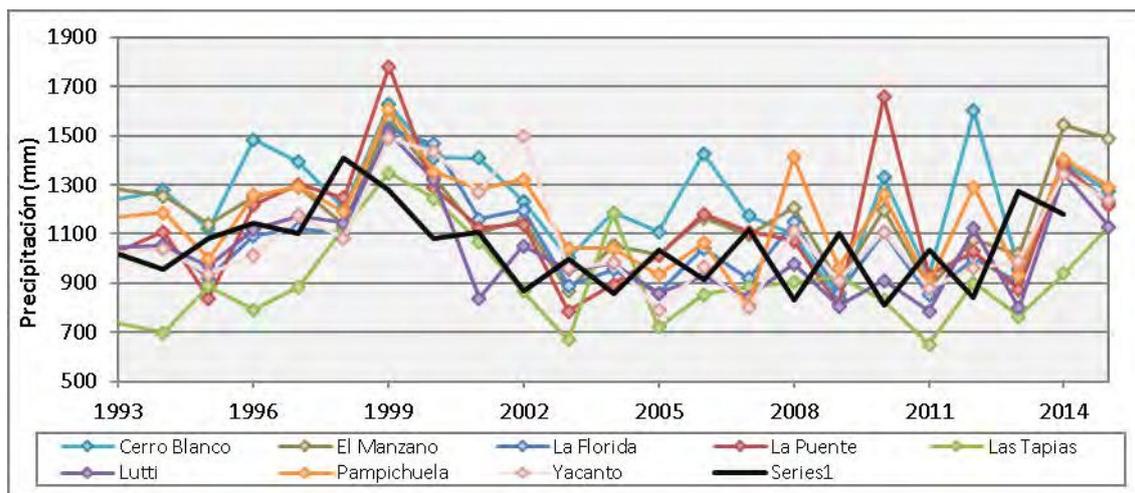


Figura 3.19. Precipitación anual, cuenca Alta, periodo 1993-2015. Fuente: Elaboración propia.

En la cuenca alta, Figura 3.19, se observa un comportamiento similar de picos máximos y mínimos que se alternan año a año, presentando un valor medio de 985 milímetros anuales. Mientras que, en la parte media y baja de la cuenca, Figura 3.20, se observa una menor cantidad de picos, de menor magnitud, y presenta un valor medio de 824 mm al año.

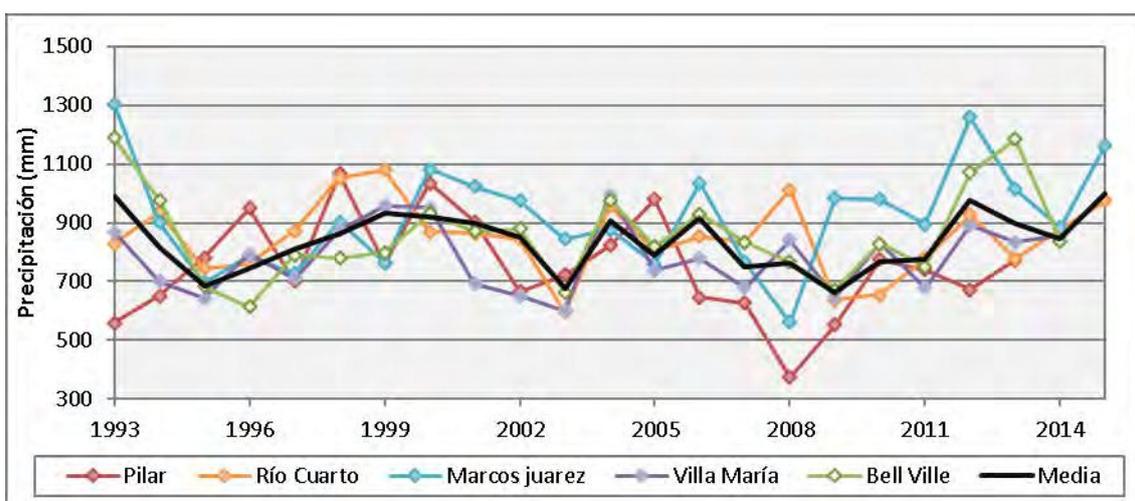


Figura 3.20. Precipitación anual, cuenca Media-Baja, periodo 1993-2015. Fuente: Elaboración propia.

En cuanto a la estación ubicada en Villa María, para el período 1993-2014, la precipitación anual promedio es de 778 mm, con un máximo en el año 2004, que supera los 995 mm y un mínimo de 600 mm en 2003. Mientras que, para todo el periodo de registro de la estación, 1956-2014, el máximo anual es poco mayor a 1100 mm, en 1991, y el mínimo no alcanza los 500 mm, en el año 1970. Si bien, en general, la precipitación no ha superado los 900 mm anuales en la última década, los registros a partir del año 2011 hacia la actualidad rondan los 815 mm de precipitación media anual, valor que resulta levemente superior al histórico (794 mm) y a los 20 años considerados en el análisis, con tendencia ascendente en los últimos años. En comparación con los valores registrados de Bell Ville, estos resultan levemente superiores en relación con Villa María, precipitación media de 990 mm para el período 2011-2014, evidenciando la tendencia al aumento de las precipitaciones hacia el Este (UNVM, 2017).

Respecto a la distribución en el año, en la Figura 3.21 se visualiza la precipitación media anual obtenida en las estaciones de la cuenca alta. Se observa un mismo comportamiento en todos los puntos

analizados, un régimen pluviométrico unimodal monzónico, con valores máximos durante el periodo estival, de diciembre a marzo, y mínimos durante los meses más fríos, de mayo a septiembre, donde prácticamente no se registran precipitaciones.

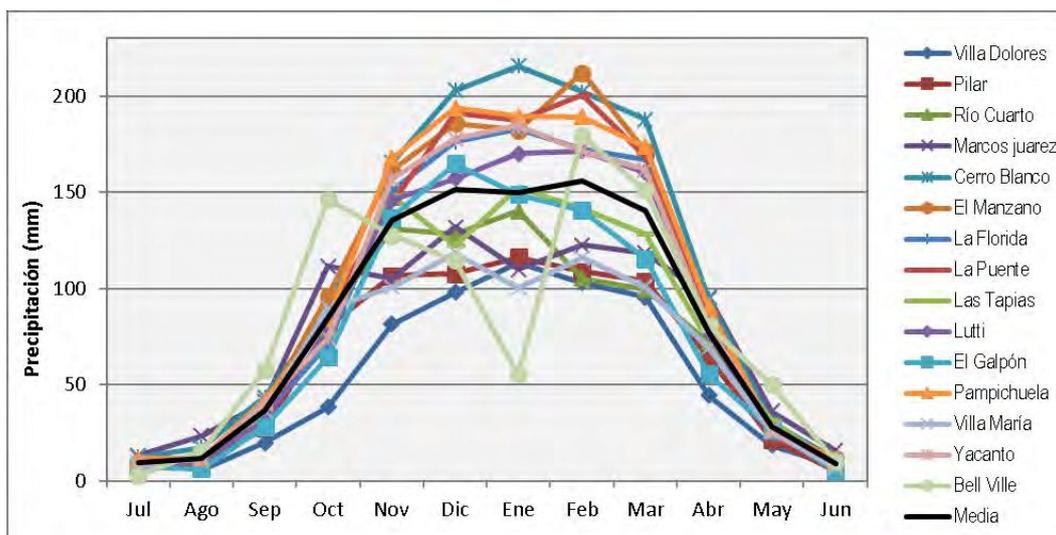


Figura 3.21 Régimen pluviométrico. Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, en cuanto a las precipitaciones horarias registradas en las estaciones 5060, Tres Árboles, y 5100, Alpa Corral, la Figura 3.22 presenta las 33 horas de registros de cada estación, observándose un pico máximo de 19 mm a las 23 hs del día 14 de febrero, en la 5060.

En la estación 5060 se totalizaron 217 mm, mientras que en la 5100, fueron 84 mm. Comparando estos valores de precipitación diaria con los mensuales presentados en la Tabla 3.15, se aprecia que la magnitud del evento equivaldría a una lluvia mensual.

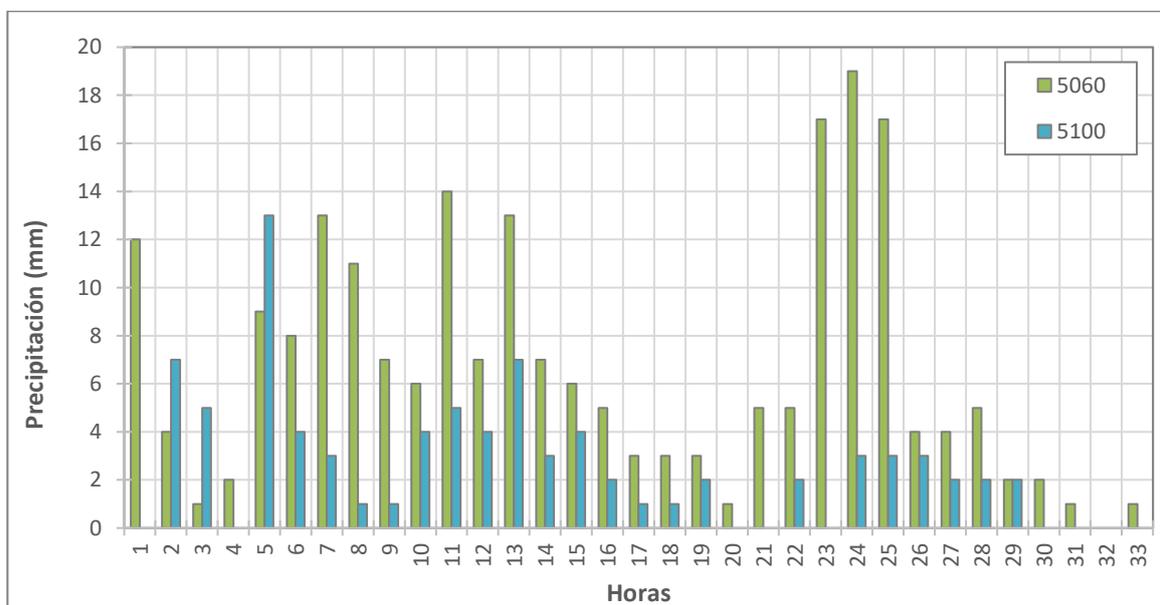


Figura 3.22. Registro de precipitaciones horarias en las estaciones 5060 y 5100.

Un estudio desarrollado por el INA-CIRSA, Instituto Nacional del Agua – Centro de la Región Semiárida⁴, presenta las curvas de Intensidad (I), Duración (D) y Recurrencia (T), denominadas IDT, Figura

⁴ Fuente: <https://www.ina.gov.ar/legacy/cirsa/index.php?cirsa=12>

3.23, determinadas para la zona serrana de la provincia de Córdoba, con datos de la estación pluviométrica Pan de Azúcar.

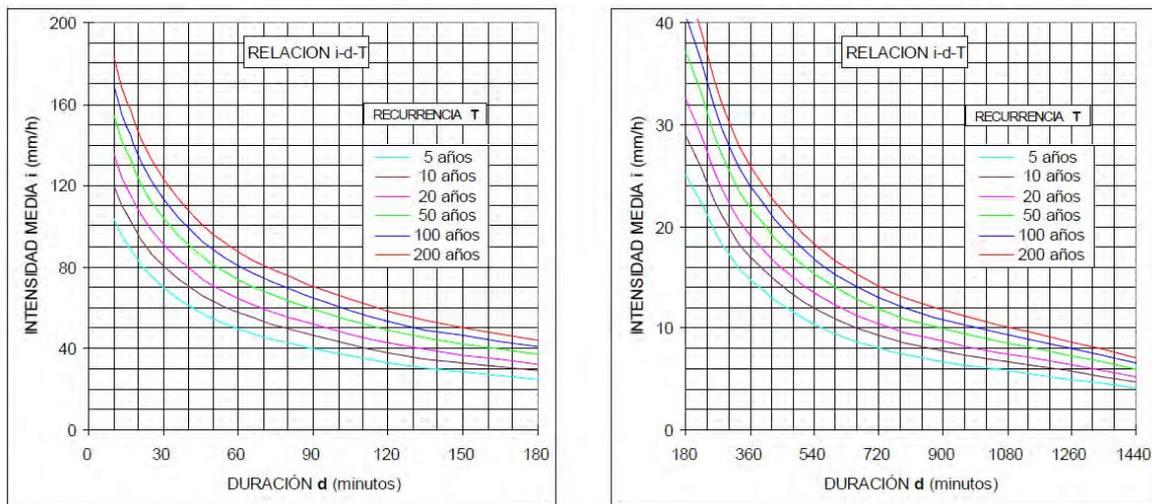


Figura 3.23. Relación IDT transpuesta a la estación pluviométrica Pan de Azúcar. Fuente: INA-CIRSA.

Considerando las 21 horas de mayor cantidad de lluvia (entre las 4 y 24 horas desde el inicio del evento) con una duración de 1260 minutos y 179 mm precipitados en ese lapso, se trata de una lluvia de una intensidad de 8,5 mm/h y una recurrencia de aproximadamente 50 años, resultando una precipitación extraordinaria.

3.1.2.2.4 Temperatura

Bahill et al., 2006 elaboraron gráficas de distribución de temperaturas en la provincia de Córdoba, para el mes más cálido y el más frío, las mismas se presentan en la Figura 3.24.

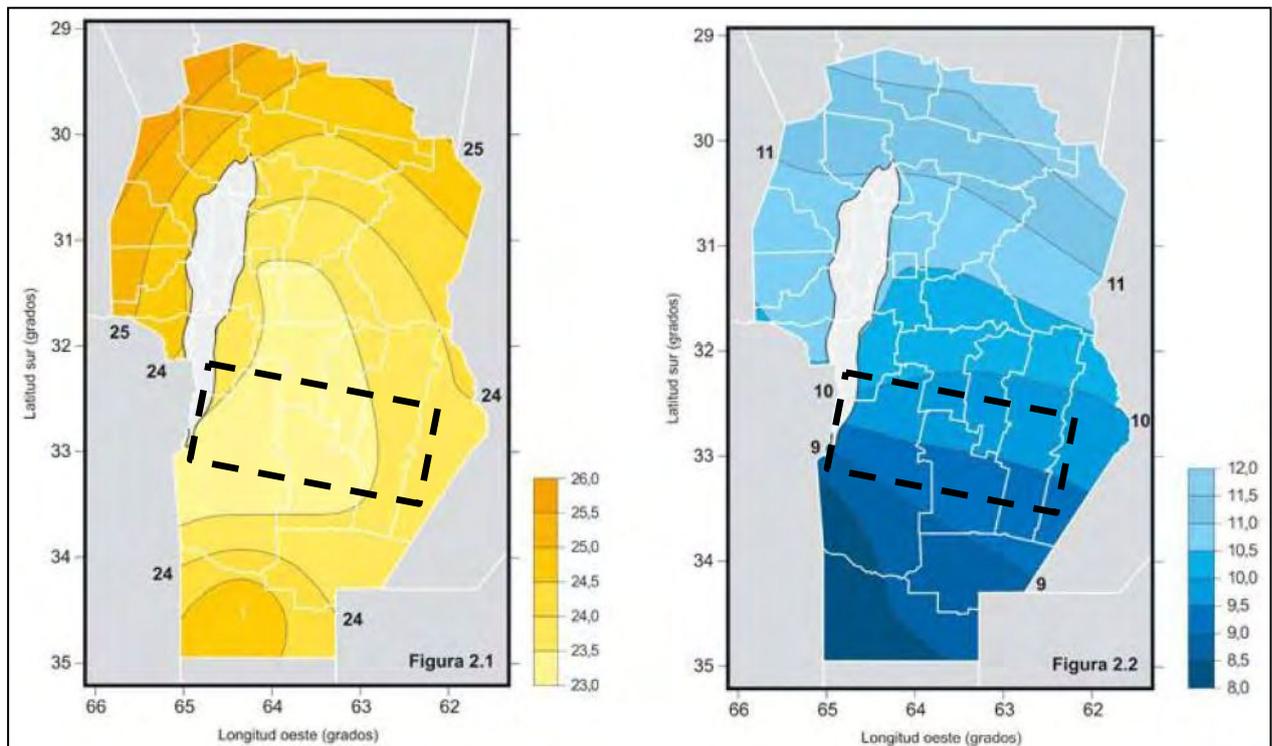


Figura 3.24. Temperatura media de enero (izq.) y julio (der) para la provincia de Córdoba, periodo 1961.1990, punteado en negro la zona de estudio. Fuente: Bahill et al., 2006.

En el verano, la temperatura media oscila entre los 23 °C en el sur de la provincia, hasta 26 °C en el extremo NO. En el invierno, el área SO de la provincia es la que presenta temperaturas más bajas, con valores del orden de los 8 °C, ascendiendo a los 11,5 °C en la zona norte.

Únicamente cuatro de las estaciones meteorológicas analizadas presentan datos de temperatura diaria media máxima, media mínima y media, Villa Dolores al noroeste de la cuenca, Pilar al norte, Río Cuarto ubicada al sur de la zona estudiada y Marcos Juárez al sureste. Las mismas presentan registros desde enero de 1986 a diciembre de 2015, con algunos valores faltantes intermedios.

La Figura 3.25 expone la temperatura media mensual máxima (líneas con marcadores), mínima (líneas punteadas) y media (líneas lisas). Si bien en las cuatro estaciones se observa el mismo comportamiento, las mayores temperaturas se expresan en Villa Dolores, mientras que las mínimas en Río Cuarto y Marcos Juárez.

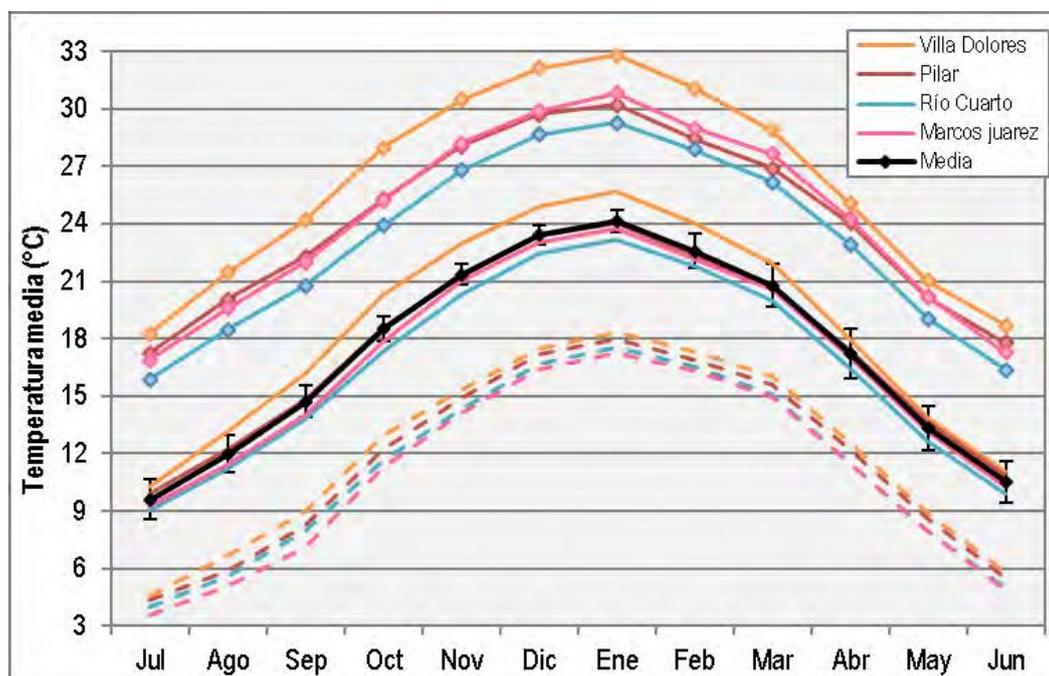


Figura 3.25. Temperaturas medias mensuales máximas, medias y mínimas. Fuente: Elaboración propia, datos del SMN.

La Figura 3.25 también presenta la desviación estándar correspondiente a la temperatura media de las estaciones analizadas, donde se observa una mayor discrepancia de los datos durante los meses más cálidos, mientras que en los meses fríos es considerablemente menor.

Dada la distribución espacial de las estaciones mencionadas, se realizaron dos mapas, Figura 3.26 y Figura 3.27, donde la primera expone la variación de la temperatura media de los seis meses cálidos (de octubre a marzo) en toda la cuenca, con máximos de 23,29° C en la zona NO, cuenca alta y mínimo de 20,8° C en la zona media. Mientras que, la segunda, presenta la variación de la temperatura media de los seis meses fríos (de abril a septiembre) en toda la cuenca, con máximos de 13,7° C en la zona NO, cuenca alta, y mínimos de 12° C en el sector sur.

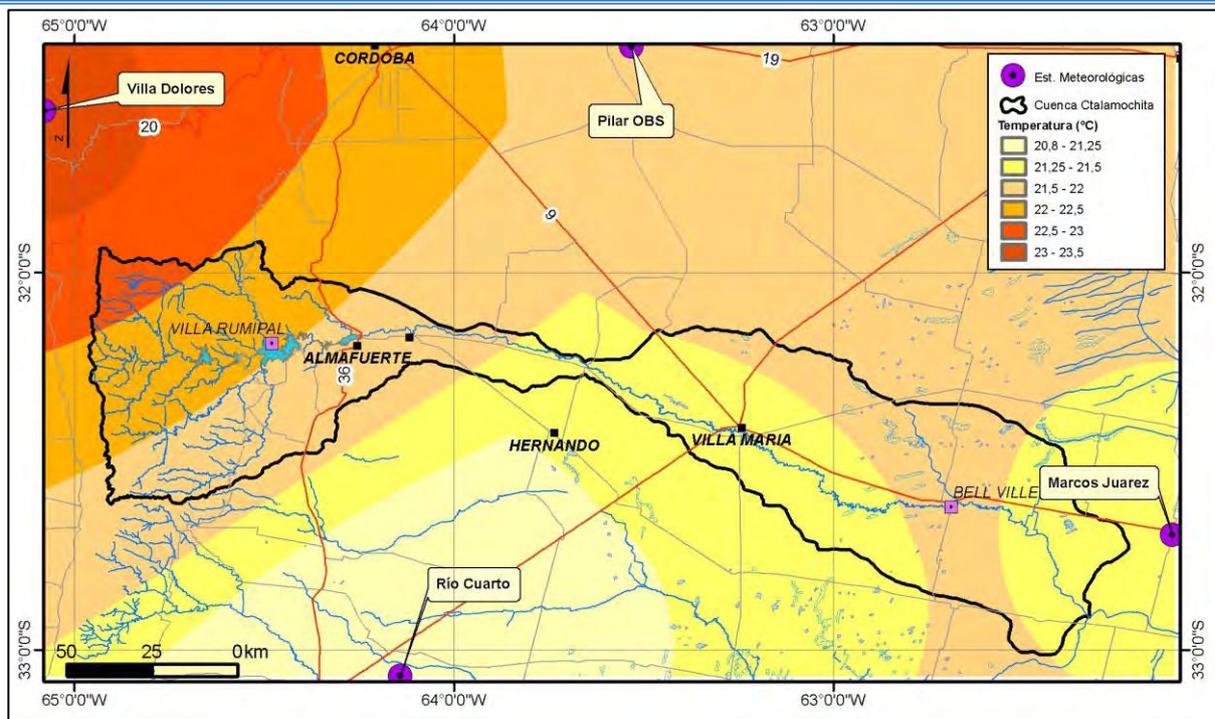


Figura 3.26 Distribución de las temperaturas medias para los meses cálidos. Fuente: Elaboración propia.

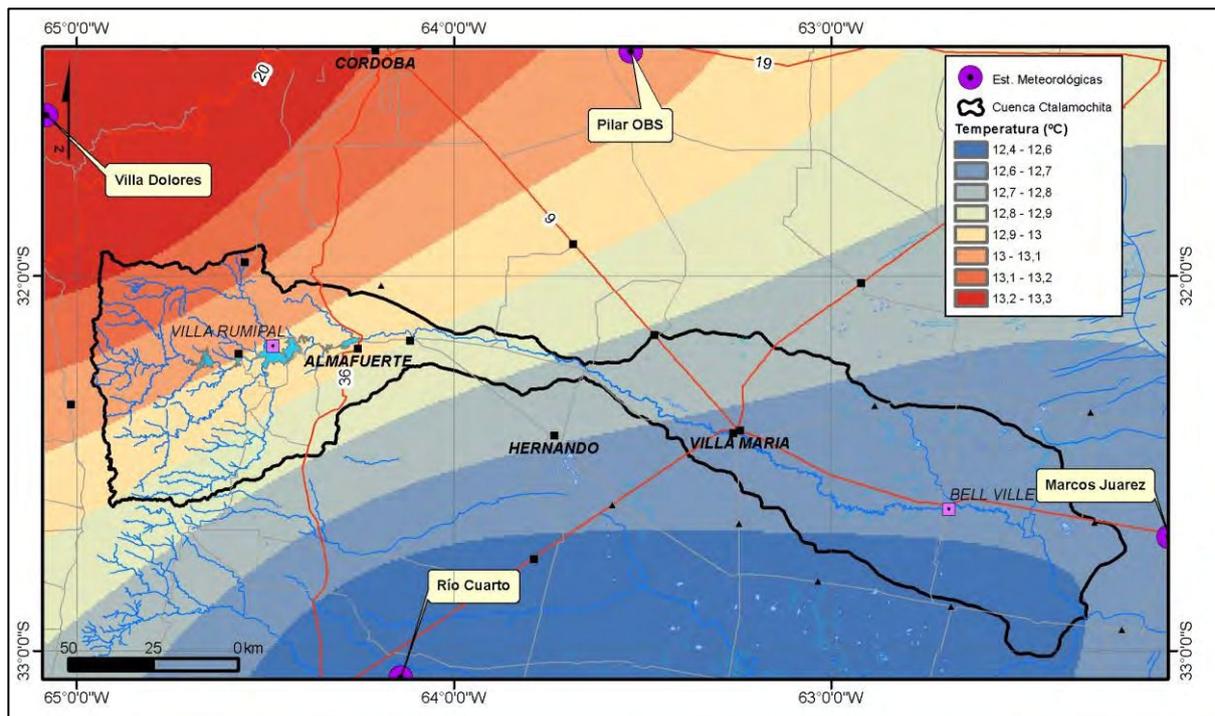


Figura 3.27. Distribución de las temperaturas medias para los meses fríos. Fuente: Elaboración propia.

3.1.2.2.5 Humedad Relativa

Al igual que para la temperatura, sólo las estaciones Villa Dolores, Pilar, Río Cuarto y Marcos Juárez tienen valores de registros de humedad relativa media diaria, para el periodo comprendido entre enero de 1986 y diciembre de 2015.

La Figura 3.28 muestra los valores medios mensuales obtenidos para cada estación, donde se observa una clara variación estacional, siendo mayores los valores obtenidos para los meses cálidos y

menores durante los fríos. Villa Dolores presenta los máximos valores mes a mes, mientras que Río Cuarto los mínimos.

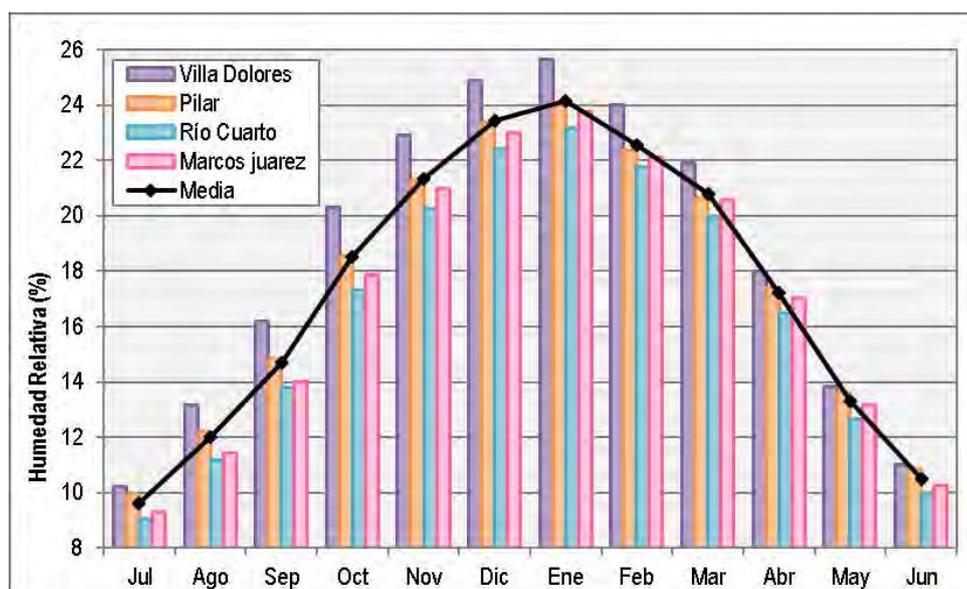


Figura 3.28. Humedad Relativa media periodo 1986-2015. Fuente: Elaboración propia.

Se observa que no hay una gran disparidad de valores entre las estaciones, a pesar de la gran extensión de la cuenca, sólo un 3% de diferencia máxima en los meses de la segunda mitad del año.

3.1.2.2.6 Viento

La caracterización del viento en la zona del proyecto comprende un análisis conjunto de la frecuencia, dirección e intensidad del mismo, registrados en las estaciones meteorológicas Villa Dolores, Pilar, Río Cuarto y Marcos Juárez, para el periodo comprendido entre junio de 1986 y diciembre de 2015.

La Figura 3.29 muestra la distribución anual de los valores medios mensuales de la velocidad del viento para las cuatro estaciones. En la misma se puede observar que los valores máximos ocurren durante la segunda mitad del año, alcanzando valores de hasta 19,5 km.h⁻¹ en Río Cuarto.

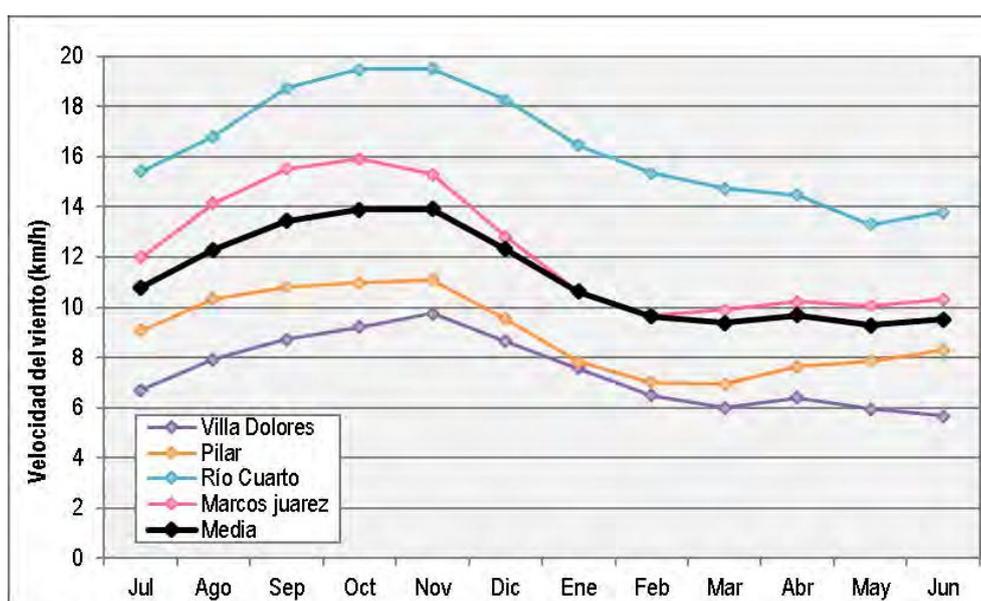


Figura 3.29. Valores medios mensuales de velocidad media del viento, periodo 1986-2015. Fuente: Elaboración propia.

La rosa de los vientos graficada en la imagen derecha de la Figura 3.30 presenta un análisis comparativo de la velocidad máxima del viento registrada en las estaciones, según cada dirección. Mientras que la imagen de la izquierda muestra la distribución de la frecuencia relativa de la dirección del viento por cuadrante (a partir de datos diarios de la variable).

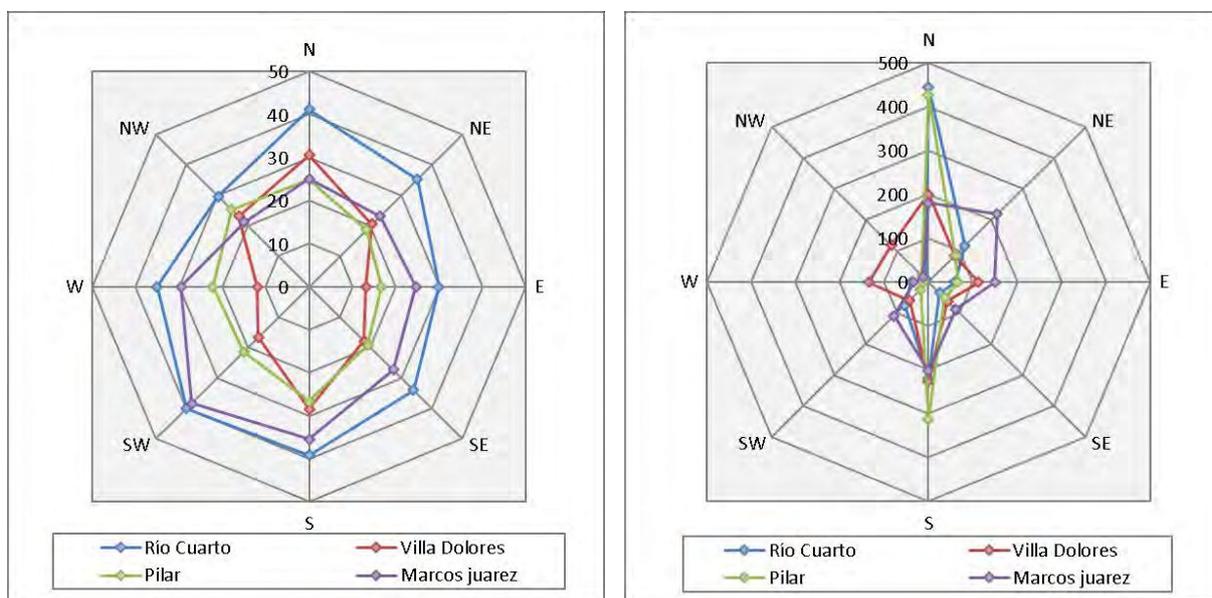


Figura 3.30. Izq.: Frecuencia de dirección del viento. Der.: Velocidad máxima del viento (km.h-1). Periodo 1986-2015. Fuente: Elaboración propia, datos del SMN.

En lo que respecta al análisis de frecuencias, la Figura 3.30 permite afirmar que los vientos son predominantemente provenientes del Norte en Río Cuarto, Pilar y Villa Dolores, mientras que del Sur Oeste (SW) en Marcos Juárez.

Se observan velocidades máximas del viento mayores en Río Cuarto, seguido por Marcos Juárez, sin grandes distinciones según la dirección, mientras que en Pilar y Villa Dolores las velocidades registradas son levemente menores.

3.1.2.2.7 Evapotranspiración Potencial

Thornthwaite denomina Evapotranspiración Potencial, posteriormente llamada evapotranspiración de referencia (EVT), a aquella que se produciría si la humedad del suelo y la cobertura vegetal estuvieran en condiciones óptimas para un cultivo específico, estándar o de referencia, habitualmente gramíneas o alfalfa, de 8 a 15 cm de altura uniforme, de crecimiento activo, que cubre totalmente el suelo y que no se ve sometido a déficit hídrico. Para su determinación se emplearon la ecuación (5) de Thornthwaite y la (6) de Hargreaves - Samani. Mientras que, la ecuación (7), propuesta por Penman y Monteith, estima la evapotranspiración para un cultivo de referencia, asemejándose a una superficie de pastura verde de altura uniforme, creciendo y recibiendo una cantidad adecuada de agua. En cambio, la Evapotranspiración Real es la que se produce efectivamente en las condiciones existentes en cada caso particular. Consecuentemente la evapotranspiración potencial será siempre mayor o igual a la real.

Los valores de EVT media mensual en esta tesis, fueron obtenidos mediante las fórmulas de Thornthwaite diario y mensual, Hargreaves - Samani y Penman - Monteith, para las estaciones Villa Dolores, Pilar, Río Cuarto y Marcos Juárez, dado que son las únicas que cuentan con registros de temperatura, se presentan en las, Tabla 3.16, Tabla 3.17 y Tabla 3.18, respectivamente.

Estación Meteorológica	Análisis	Thorthwaite - Análisis Diario y mensual - Periodo 1986 - 2015 / EVT (mm/mes)												EVT anual (mm/año)		
		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Media	Valores extremos	
Río Cuarto	Mensual	124.0	99.3	88.3	56.1	34.3	20.9	18.9	29.1	43.9	72.9	98.0	124.3	809.86	853.89	745.05
	Diario	137.2	105.6	94.0	62.5	40.2	25.4	23.5	36.2	51.7	83.5	108.2	134.0	902.0	1035.6	745.0
Villa Dolores	Mensual	151.0	113.4	97.6	58.7	33.6	19.9	18.2	31.8	50.5	88.0	115.5	144.9	923.05	1004.23	873.58
	Diario	151.2	117.5	104.1	66.3	41.5	25.9	25.1	40.0	56.2	92.5	118.0	145.3	983.6	1061.7	873.6
Pilar	Mensual	136.2	102.5	91.4	59.3	36.5	22.3	20.0	31.1	46.7	78.4	104.3	131.4	860.01	958.23	820.87
	Diario	137.1	104.6	92.6	60.9	38.4	23.7	21.9	33.8	49.0	80.8	106.2	132.6	881.7	986.4	820.9
Marcos Juárez	Mensual	135.6	91.8	73.0	56.1	37.1	19.6	23.0	33.7	49.8	88.5	97.7	117.9	823.29	872.46	814.08
	Diario	137.1	93.3	73.6	57.9	38.7	20.8	24.7	37.9	50.7	91.1	100.1	119.0	844.8	896.7	814.1

Tabla 3.16. EVT media mensual, paso mensual y diario Método de Thornthwaite.

Estación Meteorológica	Hargreaves & Samani - Análisis Diario - Periodo 1986 - 2015 / EVT (mm/mes)												EVT anual (mm/año)		
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Media	Valores extremos	
Río Cuarto	165.4	131.9	116.3	78.6	56.6	43.7	48.2	67.6	91.0	132.3	153.1	168.9	1254.3	1369.6	1140.2
Villa Dolores	174.7	135.7	126.7	104.8	97.7	96.6	110.9	137.3	153.6	179.3	183.2	187.4	1687.8	2043.7	1347.4
Pilar	172.3	133.9	118.3	83.5	59.1	46.1	50.9	73.2	99.5	134.5	158.0	175.8	1306.7	1415.6	1215.9
Marcos Juárez	172.9	129.4	122.8	96.7	62.9	49.8	53.3	66.1	94.4	123.5	148.0	180.0	1326.7	1416.0	1225.7

Tabla 3.17. EVT media mensual, Método de Hargreaves y Samani.

Estación Meteorológica	Penman - Montheith - Análisis Diario - Periodo 1986 - 2015 / EVT (mm/mes)												EVT anual (mm/año)		
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Media	Valores extremos	
Río Cuarto	192.5	155.6	135.7	90.9	60.8	43.0	51.0	79.4	114.9	161.8	183.2	197.6	1467.3	1524.5	1387.1
Villa Dolores	210.5	168.9	145.8	98.0	66.0	47.9	55.6	84.5	122.8	170.0	195.6	215.2	1580.8	1618.8	1534.3
Pilar	196.3	156.5	138.1	95.3	64.7	47.2	55.1	84.4	120.6	161.9	184.8	201.1	1561.0	1615.7	1494.4
Marcos Juárez	205.5	154.9	140.9	102.0	65.8	46.7	56.1	80.2	118.9	160.6	182.3	189.2	1561.0	1615.7	1494.4

Tabla 3.18. EVT media mensual, Método de Penman – Montheith.

Los resultados obtenidos mediante los métodos de Hargreaves y Samani y de Penman – Montheith son, en general, más elevados que los obtenidos por el método de Thornthwaite. Los resultados presentan un marcado comportamiento estacional, siendo los mayores los obtenidos, por los tres métodos, en la estación de Villa Dolores.

3.1.2.3 Hidrología

La Cuenca del río Ctlamochita tiene sus nacientes, en la vertiente oriental de las Sierras Grandes, siguiendo la línea de esta importante divisoria de aguas de alcance regional, su curso concentra las aguas que escurren entre el Cerro Negro y el Cerro Champaquí, hasta las que bajan de la Sierra de Comechingones al Norte del Cerro de Oro. Al Sur, por la divisoria de aguas que une el Cerro de Oro, Sombrero Quemado, los cerros y las lomadas que se extienden hasta el extremo occidental del valle de La Cruz. Al N, la prolongación de las Cumbres de Achala a la altura del Cerro Negro y se prolonga por una línea imaginaria hasta el Cerro de Calaguala (Fuente: Secretaría de Minería de la Nación). El punto más alto de la divisoria de la Cuenca se encuentra sobre el cerro Champaquí (2.780 msnm) al NO de la cuenca.

Para el análisis se dividió la cuenca entre cuenca alta y cuenca media-baja, como se presenta en la Figura 3.31. La primera es el área de aporte comprendido entre las nacientes de la cuenca, en la divisoria mayor de aguas, hasta el dique Piedras Moras. Mientras que, la cuenca media-baja, se ha definido como aquella superficie de aporte que comprende desde la salida del río del Ctlamochita del dique Piedras Moras hasta su desembocadura en el río Carcarañá.

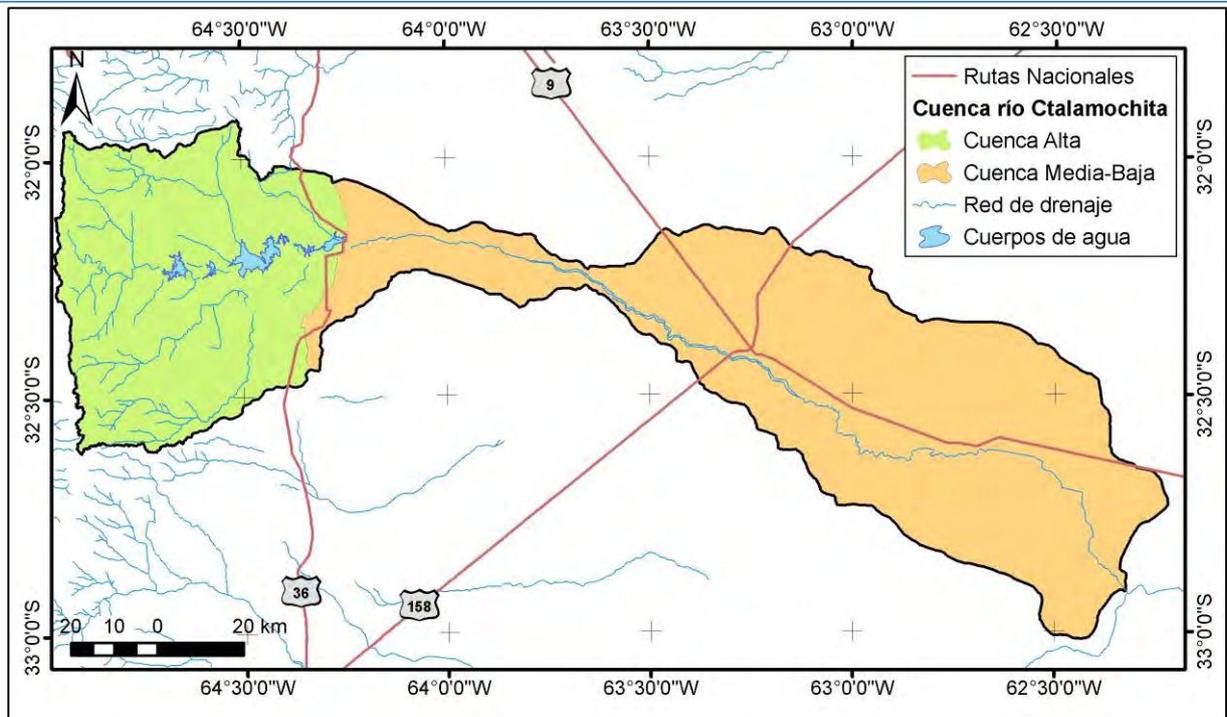


Figura 3.31. Delimitación Cuenca alta y media-baja del río Ctalamochita. Fuente: Elaboración propia.

3.1.2.3.1 Cuenca alta del río Ctalamochita

Esta parte de la cuenca presenta una extensión de 3.825 km², representando el 36% del total de la cuenca del Ctalamochita. Los recorridos de los principales escurrimientos del sector Oeste de la cuenca respetan la pendiente dominante local, pero se observa que en algunos sectores su cauce se ve dominado por los lineamientos existentes en la zona (UNVM, 2015). Esto puede observarse en la Figura 3.32.

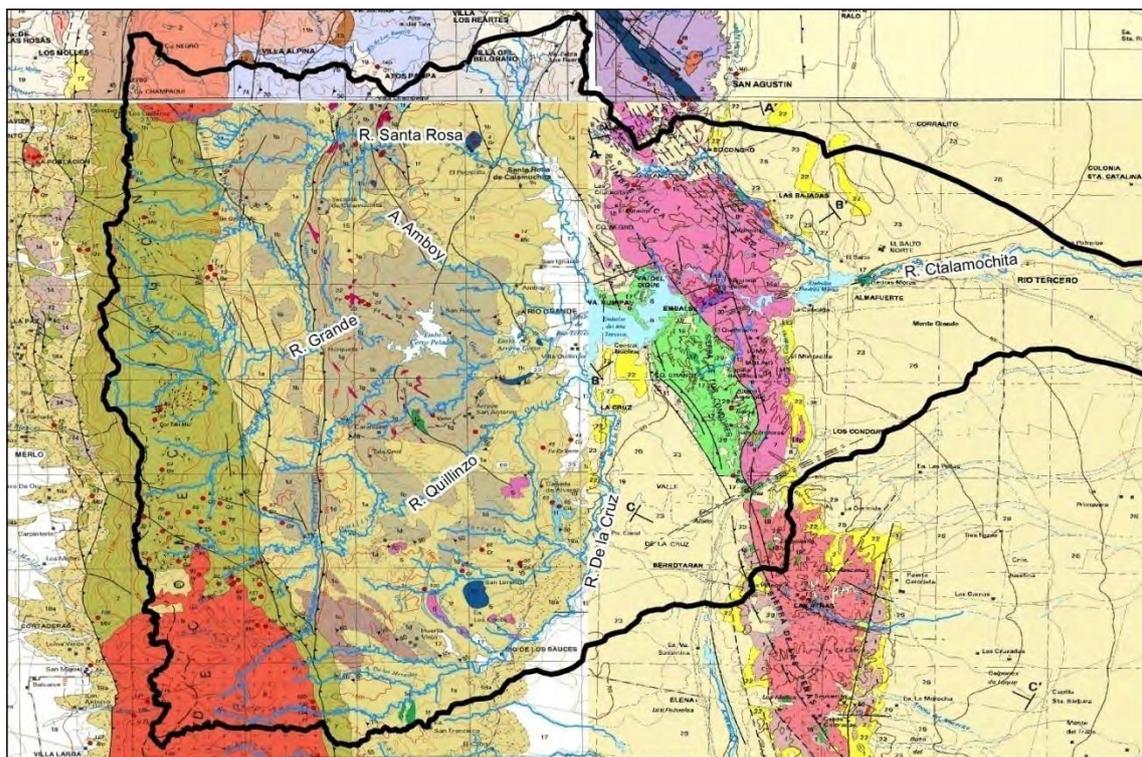


Figura 3.32. Mapa geológico y red hidrológica de la parte alta de la cuenca Ctalamochita. Fuente: UNVM, 2015.

El aprovechamiento hidroeléctrico del río Tercero caracteriza la dinámica hidrológica de la parte alta de la cuenca, constituido por dos sistemas: por un lado, el complejo Río Grande, conformado por los embalses Cerro Pelado y Arroyo Corto y, por el otro, el sistema llamado Río Tercero, constituido por los embalses: Río Tercero, Ingeniero Cassaffouth, Ingeniero Benjamín Reolín y Piedras Moras (Lenarduzzi, 2013).

El complejo hidroeléctrico Río Grande está constituido por los embalses Cerro Pelado y Arroyo Corto, ubicado a 12 km aguas abajo del primero. Su construcción comenzó en 1974, durante el último gobierno de Juan Domingo Perón y se finalizó en 1986 durante la presidencia de Raúl Alfonsín y es operado por la Empresa Provincial de Energía de Córdoba (EPEC).

El sistema de Río Tercero, también conocido como Ministro Pistarini, en homenaje al ex ministro de Obras Públicas Juan Pistarini, comenzó su construcción en 1916, se detuvo durante la Primera Guerra Mundial y fue terminado entre 1927 y 1936, el año de su inauguración. Es un embalse de tipo escollera y sus aguas se turbinan en cuatro usinas.

La EPEC explica que la función de una central hidroeléctrica, o usina, es utilizar la energía potencial del agua almacenada y convertirla en energía eléctrica. Esto se realiza a través de un sistema de captación de agua, que es conducida a las turbinas. Al pasar por ellas a gran velocidad, el agua provoca un movimiento de rotación que finalmente se transforma en energía eléctrica por medio de los generadores. Una vez utilizada el agua es devuelta río abajo.

La primera usina es la Santiago Fitz Simon, ubicada en la ruta provincial RP5, es un dique regulador de los cinco ríos del embalse y dan origen al río Tercero o Ctlamochita. Su nombre homenajea a Santiago Fitz Simón, promotor de la enseñanza comercial en la Argentina. La Figura 3.33 presenta imágenes de la central, el embalse y las turbinas instaladas, además presenta los datos característicos de la central.



Figura 3.33. Central Fitz Simon. Fuente: EPEC.

Aguas abajo de la Fitz Simon, se encuentra el segundo embalse, mucho más pequeño, que a través de un túnel alimenta a la segunda usina denominada Ing. Cassaffouth. La obra comenzó en 1916 y se inauguró recién en 1953. Lleva el nombre en honor a Carlos Cassaffouth, promotor de la construcción

de embalses en la provincia de Córdoba y autor del proyecto original del actual embalse. La Figura 3.34, muestra imágenes de las instalaciones y las características principales de la central.



Figura 3.34. La central Ing. Cassafousth. Fuente: EPEC.

En el punto en que desagua la central Cassafousth comienza la cola del tercer embalse, algo mayor que el anterior, que alimenta a pie de presa la tercera usina, denominada Ing. Reolín. En este embalse hay actividad náutica como canotaje y vela. Su nombre rinde homenaje a Benjamín Reolín, promotor de la construcción de embalses. La Figura 3.35 presenta imágenes de las instalaciones de esta central, junto con las características principales.



Figura 3.35. Central Ing. Reolín. Fuente: EPEC.

Finaliza el sistema de embalses el dique Piedras Moras, que se encuentra a 432 msnm, completando el “Sistema del Río Tercero”. El embalse fue proyectado para abastecer agua potable, riego, generar energía y atenuar crecidas. La cota del vertedero es de 26 m, mientras que el lago presenta una profundidad máxima de 34 m. La obra fue construida durante el comienzo de la década de 1970 y fue inaugurada en el año 1979. Según información provista por la EPEC, aunque el embalse se inauguró en 1979, el inicio de las actividades en la central hidroeléctrica comenzó en 1995.

Las Figura 3.36 y Figura 3.37 presentan fotografías del embalse, la central de generación de energía eléctrica y de las turbinas instaladas en la misma.



Figura 3.36. Dique piedras moras y central hidroeléctrica. Fuente: <http://prensa.cba.gov.ar/i>.

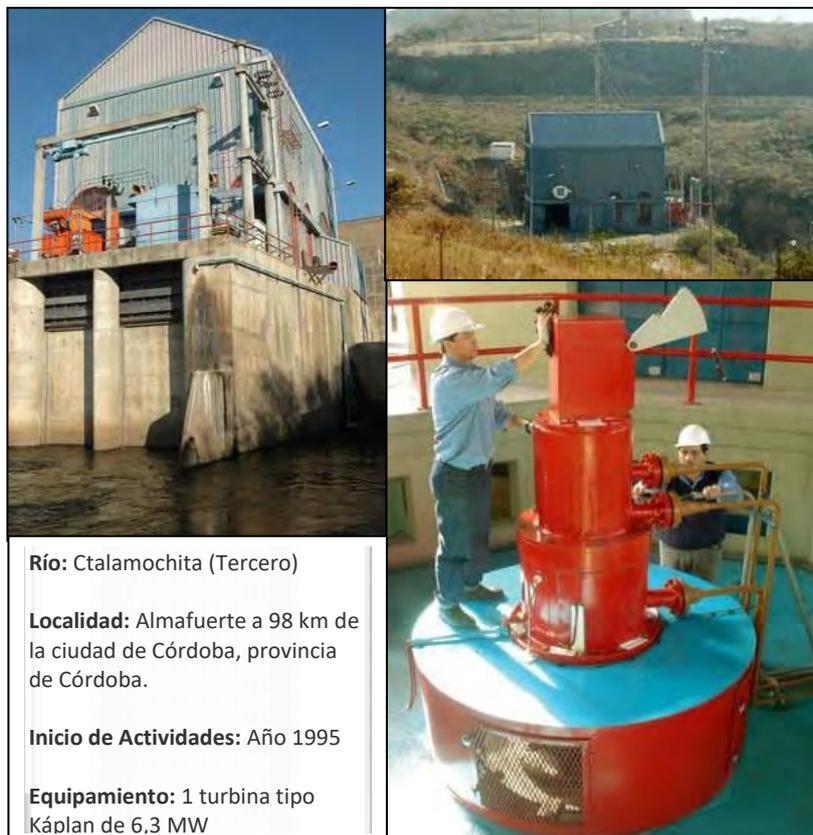


Figura 3.37 Central Piedras Moras. Fuente: EPEC.

En la Figura 3.38 se presenta un perfil longitudinal de las instalaciones que componen el Aprovechamiento Hidroeléctrico del Río Tercero, realizado por la secretaría de Recursos Hídricos y Coordinación de la provincia de Córdoba.

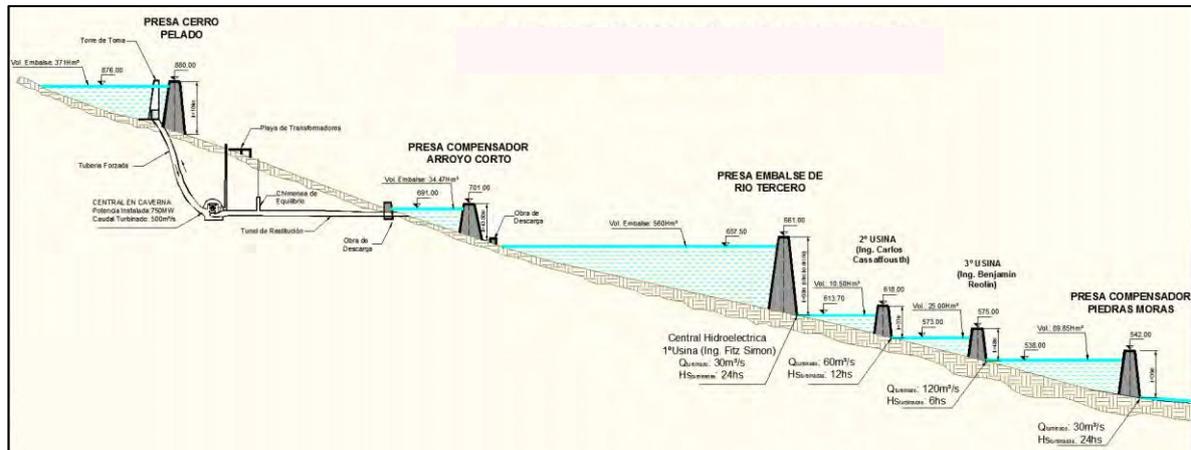


Figura 3.38. Aprovechamiento hidroeléctrico de río Tercero. Fuente: Defensa Civil, provincia de Córdoba.

De igual manera, la Figura 3.39. presenta la disposición en planta de los seis embalses analizados. La imagen permite apreciar que el dique Piedras Moras efectiviza un límite en el comportamiento, diferenciando entre la cuenca alta, con características de una cuenca de montaña aguas arriba, y un comportamiento de cuenca media, agua abajo, donde se angosta la cuenca y comienzan a aparecer características de cuencas de menor pendiente.

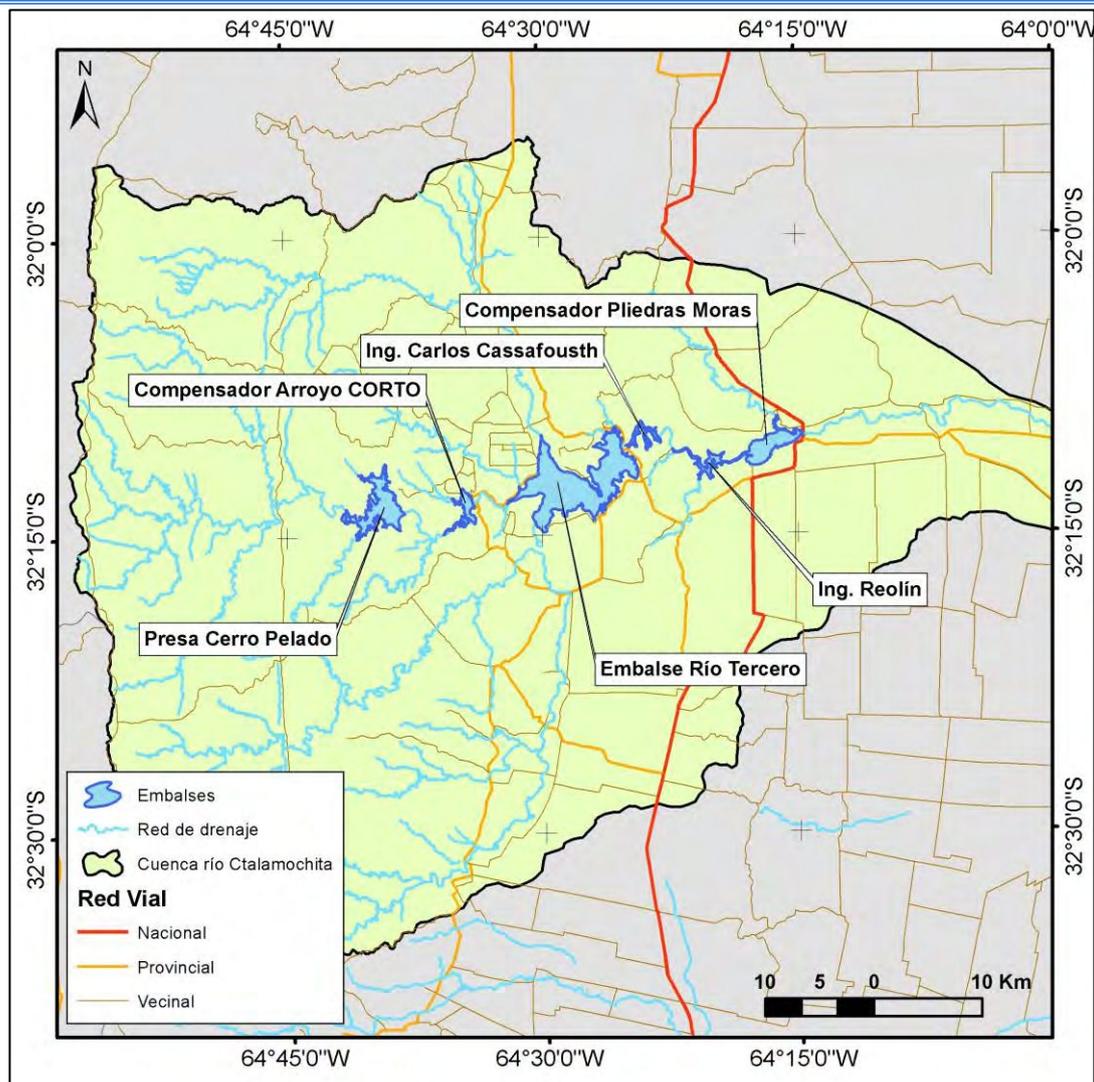


Figura 3.39 Aprovechamiento hidroeléctrico de río Tercero. Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 3.19 se presentan la capacidad máxima de los seis embalses y las principales funciones de cada uno de ellos. En total, se trata de una capacidad de almacenamiento de aproximadamente 1.100 Hm³. Estos datos fueron obtenidos de una presentación realizada por la Defensa Civil sobre la *Operación y Manejo de Embalses Sistema Hidroeléctrico Río III*.

Embalse	Capacidad Máxima (Hm ³)	Principales funciones
Cerro Pelado	370,96	Generación hidroeléctrica, atenuación de crecidas
Arroyo Corto	35,20	Rebombeo de agua a Cerro Pelado y equilibrio del sistema
Embalse de Río III	560,00	Agua potable para la ciudad de Río III, enfriamiento del núcleo de la Central Atómica, atenuación de crecidas, recreación. Mantenimiento eco. ambiental del sistema. Primera usina para generación hidroeléctrica.
Segunda Usina - Ing. Cassafousth	13,00	Generación Hidroeléctrica y sistema de riego Almafuerte.
Tercera Usina - Ing. Reolín	26,00	Generación Hidroeléctrica de punta.
Piedras Moras	89,83	Dique Compensador. Abastecimiento de agua potable a la localidad de Almafuerte, generación hidroeléctrica.

Tabla 3.19. Características de los embalses.

Los escurrimientos principales son los ríos Santa Rosa, Quillinzo, de la Cruz y el arroyo Amboy, con destino hacia el embalse río Tercero, el río Grande y el arroyo Lutti, hacia el embalse Cerro Pelado, y el arroyo Soconcho con destino al embalse Piedras Moras.

3.1.2.3.2 Cuenca Ctlamochita parte media-baja

Según UNVM, 2015, la cuenca media-baja, se ha definido como aquella superficie de aporte que comprende desde la salida del río del Ctlamochita del dique Piedras Moras hasta su desembocadura en el río Carcarañá, posee una extensión de 6.749 km². Se trata de una cuenca llana donde la diferencia topográfica es considerablemente menor, siendo la cota más alta la que provee las Sierras de Las Peñas, de aproximadamente 720 msnm, aunque la cota del río, en la salida del dique Piedras Moras, es de aproximadamente 400 msnm. Mientras que la cota más baja, correspondiente al cierre de la cuenca Ctlamochita, es de 100 msnm. En este punto confluyen los ríos Saladillo y Ctlamochita, para dar origen al Carcarañá. Las Figura 3.40 y Figura 3.41 muestran la cuenca media-baja, junto a la cuenca del arroyo Cabral, dada su importancia en el funcionamiento del sistema.

A diferencia de la parte alta, la cuenca baja presenta una topografía suave, en la cual el río escurre conformando meandros. La zona cuenta con una gran cantidad de bajos que conforman lagunas temporales, zonas de bañados, así como cursos transitorios, que se activan ante eventos de precipitación abundantes, ante afloramientos de los niveles freáticos o aumentos los caudales de los cursos ubicados aguas arriba, características correspondientes a una cuenca de llanura.

Durante sus estadios normales, el río Ctlamochita escurre por su cauce, desde el dique Piedras Moras hacia el nacimiento del Carcarañá, recibiendo aportes de escorrentía directa, principalmente desde su margen izquierda. Los escurrimientos del área norte tienden a circular hacia el NE, son tomados por el arroyo Algodón que luego se incorporan al Ctlamochita, aguas arriba de Bell Ville, a través de un canal derivador (UNVM, 2015).

Sin embargo, ante eventos de precipitación importantes, los cauces se desbordan, aumentando la escorrentía, siguiendo la pendiente natural de terreno hacia bajos o cauces transitorios. Asimismo, estos desbordes suelen ser interceptados por la gran cantidad de precarios canales artificiales existentes en la cuenca, que intentan derivar flujos para proteger o desagotar áreas (campos, barrios, etc.). En estos casos, el arroyo Cabral también recibe aguas provenientes de la cuenca del Ctlamochita, principalmente desde sus nacientes. En la Figura 3.40 se han representado los sentidos de estos flujos naturales que tendrían los escurrimientos superficiales (UNVM, 2015).

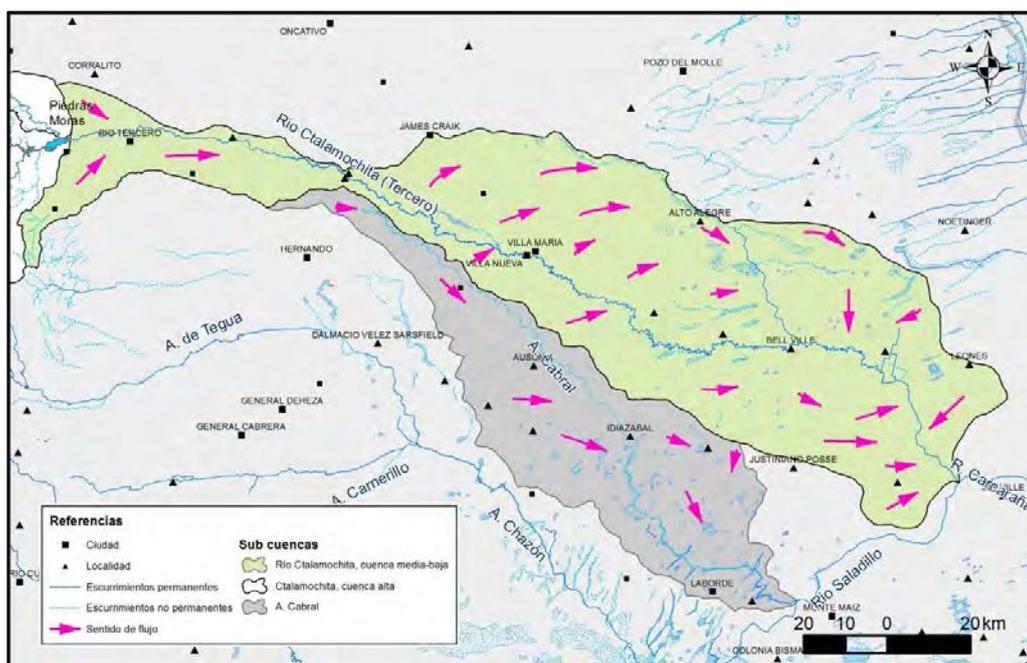


Figura 3.40. Sentido de escurrimiento agua superficial. Fuente: UNVM, 2015.

Según Barbeito y Ambrosino, 2014, el río Ctlamochita a la salida de las sierras e ingreso a la planicie a partir de la Ciudad de Río Tercero, evidencia procesos de avulsión y cambio de curso por agradación o aluvionamiento a margen derecha e izquierda, ocurridos en el pasado geológico subreciente y reciente. Tal evidencia se manifiesta en primera instancia en el arroyo Cabral a margen derecha y seguidamente en los arroyos Algodón y Las Mojarras a margen izquierda, cauces en el presente que no tienen conexión hidrológica con el curso actual, la Figura 3.41.

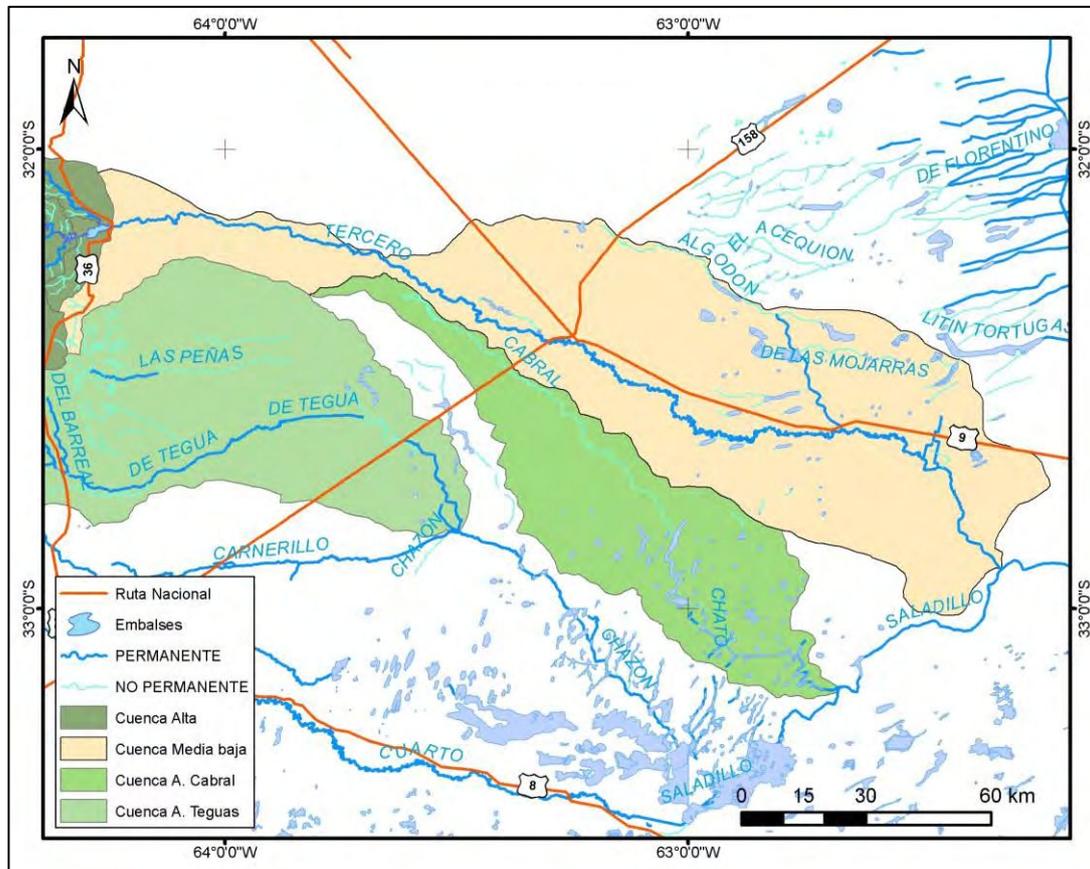


Figura 3.41. Cauces de la cuenca media - baja y de cuencas cercanas. Fuente: Elaboración propia.

Como puede observarse, los escurrimientos regionales se dirigen de Oeste a Este, llenando bajos temporarios o interceptados por los cursos o canales que los conducen hacia los cauces principales.

3.1.2.3.3 Aforos

Según Abril et al. (2013), después del Dulce, el río Ctlamochita es el segundo más caudaloso que posee la Provincia de Córdoba, alcanzando su módulo los $27 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

Para este estudio se contó con diversos datos de caudales de distintos puntos ubicados dentro de la cuenca, de los cuales 16 fueron registrados por la Universidad Nacional de Villa María (UNVM), a través del *Proyecto de evaluación preliminar de la cuenca del río Ctlamochita*. Mientras que 11 aforos fueron realizados por la Universidad Nacional de Córdoba (UNC). La ubicación de dichos puntos se presenta en la Figura 3.42., siendo las estaciones denominadas con un H, las realizadas por la UNVM.

En relación con los aforos realizados por la UNVM, se cuenta con información de 17 campañas de medición entre los meses de enero de 2015 y diciembre de 2016. Como puede observarse, la distribución espacial de las estaciones permite definir fundamentalmente las características de los cursos de la cuenca.

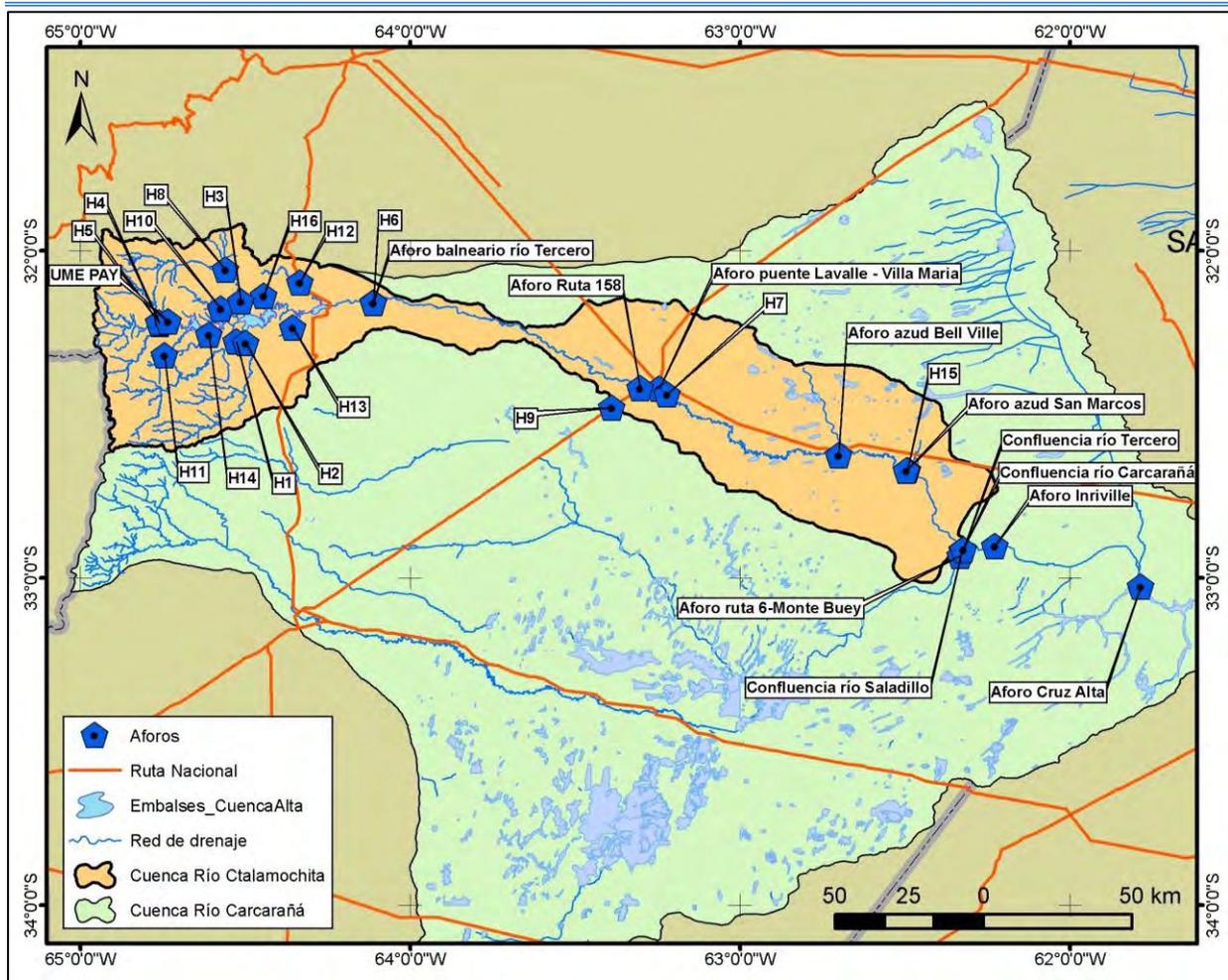


Figura 3.42. Ubicación de los puntos de aforo. Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 3.20 exhibe las características de cada una de las estaciones de aforo empleadas, tales como su ubicación en coordenadas geográficas, las fechas en que fueron realizados los aforos y la fuente que brindó los datos.

Id.	Sitio	Lat Sur	Long Oeste	Altitud (msnm)	Cantidad de datos	Dato	Fuente
H1-Quillinzo	Aguas arriba puente ruta N°23	32°16'41,9"	64°31'39,2"	538	15	ene15; feb15; mar15; abr15; may15; jun15	UNVM
H2-de la Cruz	Próximo a confluencia con el Río Quillinzo	32°16'54,1"	64°29'53,5"	550	15	ene15; feb15; mar15; abr15; may15; jun15	UNVM
H3-Santa Rosa	Aguas arriba del puente de ruta N° 23	32°09'20,4"	64°30'46,2"	533	13	ene15; feb15; mar15; abr15; may15; jun15	UNVM
H4-Grande	Próximo a su confluencia con el Río El Duraz	32°13'29,1"	64°45'32,5"	843	13	ene15; feb15; mar15; abr15; may15; jun15	UNVM
H5-El Durazno	Próximo a su confluencia con el Río Grande	32°13'07,7"	64°45'40,8"	838	17	ene15; feb15; mar15; abr15; may15; jun15	UNVM
H6-Río Tercero	Puente Balneario Río Tercero	32°09'36,7"	64°06'40,63"	376	8	ene15; feb15; mar15; abr15; may15; jun15	UNVM
H7-Villa María	Puente ruta 2	32°26'20,21"	63°13'18,04"	195	11	ene15; feb15; mar15; abr15; may15; jun15	UNVM
H8-A. del Sauce	Próximo a la confluencia con Río Santa Rosa	32°03'30,4"	64°33'32,9"	600	17	ene15; feb15; mar15; abr15; may15; jun15	UNVM
H9-A. Cabral	Aguas abajo del puente de Ruta N° 158	32°28'46,2"	63°23'20,8"	230	14	ene15; feb15; mar15; abr15; may15; jun15	UNVM
H10-A. Amboy	Agua abajo del puente de ruta N° 23	32°10'40,7"	64°34'27,7"	582	15	ene15; feb15; mar15; abr15; may15; jun15	UNVM
H11-A. Lutti	Aguas arriba del puente camino a Lutti	32°19'10,54"	64°44'38,55"	1.063	16	ene15; feb15; mar15; abr15; may15; jun15	UNVM
H12-A. Soconcho	Aguas arriba del puente camino a Monsalvo	32°05'52,4"	64°19'59,7"	489	16	ene15; feb15; mar15; abr15; may15; jun15	UNVM
H13-A. Quebracho	Aguas abajo del puente de ruta N° 63	32°14'06,6"	64°21'22"	518	14	ene15; feb15; mar15; abr15; may15; jun15	UNVM
H14-A. San Antonio	Agua abajo del vado San Antonio	32°15'24,8"	64°36'36,5"	575	16	ene15; feb15; mar15; abr15; may15; jun15	UNVM
H15-San Marcos	Próximo a cooperativa del agua San Marcos	32°40'18,3"	62°29'32,5"	117	1	ene-15	UNVM
H16-A. Las Vacas		32°08'19,68"	64°26'35,05"	584	15	feb15; mar15; abr15; may15; jun15	UNVM
UNC17-Río Tercero	Sección Balneario - ciudad de Río Tercero	32°09'32,04"	64°06'42,64"	366		jun12; sep12; nov12; mar13; may13; sep13	UNC
UNC18-V. María	Sección ruta 158 - Villa María	32°25'10,21"	63°18'9,17"	210		jun-13	UNC
UNC19-V. María	Puente Lavalle - Vila María	32°25'18,50"	63°14'39,66"	201		nov-13	UNC
UNC20-Bell Ville	Azud Bell Ville	32°37'34,19"	62°42'4,48"	129		dic-13	UNC
UNC21-Azud San Marcos	Azud San Marcos	32°40'20,32"	62°29'45,46"	113		dic-13	UNC
UNC22-Confluencia	Sección Confluencia	32°54'53,08"	62°19'30,45"	92		dic12; may13; ago13	UNC
UNC23-Confluencia - Salad.	Sección Confluencia	32°54'57,73"	62°19'26,63"	92		dic12; may13; ago13	UNC
UNC24-Monte Buey-Salad.	Sección puente ruta 6 - Monte Buey	32°55'56,26"	62°19'56,61"	93		jun13; sep13; nov13	UNC
UNC25-Inrville-Carc.	Sección Inrville	32°54'8,27"	62°13'38,82"	87		jun13; sep13; nov13	UNC
UNC26-Cruz Alta-Carc.	Cruz Alta	33° 1'39,03"	61°47'7,57"	64		jun13; sep13; nov13	UNC
UNC27-Confluencia-Carc.	Sección Confluencia	32°54'52,89"	62°19'24,30"	92		ago-13	UNC

UNVM: Universidad Nacional de Villa María

UNC: Universidad Nacional de Córdoba

Tabla 3.20. Datos de las estaciones de aforo.

La Tabla 3.21 expone los valores de caudal obtenidos, en metros cúbicos por segundo, junto con la fecha de cada campaña para cada uno de los puntos de aforo.

Aforo	Curso	2015										2016						
		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Dic
H1	Río Quillinzo	8,21	38,08	11,84	4,52	1,68	0,92	0,38	5,89	5,14	-	9,35	10,14	4,22	4,72	-	2,42	0,45
H2	Río de la Cruz	1,86	21,6	7,23	3,17	1,38	0,85	0,49	3,75	3,34	-	3,39	5,29	2,98	2,76	-	1,67	0,62
H3	Río Santa Rosa	5,24	37,54	6,17	3,97	2,26	1,41	0,82	5,08	2,91	-	-	8,06	6,94	3,89	-	2,71	-
H4	Río Grande	6,14	28,74	7,75	4,08	2,31	0,88	0,79	-	6,27	-	-	7,86	4,24	4,92	1,85	2,66	-
H5	Río Durazno	3,62	8,27	4,19	3,47	1,31	0,44	0,36	6,99	2,2	9,89	6,43	5,3	2,9	2,26	0,79	1,1	2,26
H6	Río Tercero (Río Tercero)	35,29	67,96	46,99	15,67	18,2	10,34	7,2	7,63	-	-	-	-	-	-	-	-	-
H7	Río Tercero (Villa María)	11,48	49,37	45,83	23,47	13,7	9,76	7,32	7,5	38,35	40,15	-	-	-	14,21	-	-	-
H8	A° El Sauce	0,1	1,08	0,5	0,24	0,2	0,15	0,11	0,22	0,15	0,24	0,55	0,39	0,44	0,31	0,24	0,32	0,11
H9	A° Cabral	0,2	0,46	0,39	0,28	0,25	0,23	0,22	0,28	0,34	0,34	1,51	0,34	0,4	0,39	-	-	-
H10	A° Amboy	0,04	0,96	0,69	0,48	0,34	0,16	0,05	0,11	0,04	1,05	1,8	1,06	0,77	0,43	-	0,39	-
H11	A° Lutti	0,51	5,21	1,02	0,35	0,14	0,07	0,02	0,48	2,3	1,1	1,58	0,73	0,43	0,54	-	0,2	0,1
H12	A° Soconcho	0,04	1,01	0,79	0,28	0,17	0,12	0,03	0,1	0,14	0,28	0,84	0,32	0,7	0,37	0,19	0,33	-
H13	A° Quebracho	0,01	0,04	0,04	0,03	0,03	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03	0,04	-	-	-
H14	A° San Antonio	0,09	0,57	0,45	0,32	0,15	0,06	0,02	0,12	0,12	0,27	0,69	0,9	0,31	0,42	-	0,2	0,002
H16	A° Las Vacas	-	0,18	0,11	0,09	0,06	0,05	0,03	0,03	0,06	0,07	0,16	0,08	0,24	0,12	0,09	0,12	-

Tabla 3.21. Caudales registrados (m³.s⁻¹).

Adicionalmente, se cuenta con datos de caudales obtenidos de la Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación, de la Base de Datos Hidrológica Integrada (BDHI), donde hay registros de 6 puntos de aforo, algunos históricos, en su mayoría, y otros actuales. En la Tabla 3.22 se presentan las características de dichas estaciones de aforos, los periodos de registro, la cantidad y tipo de datos con los que se cuenta y los caudales medios mensuales calculados. Puede observarse que se trata de datos, en su mayoría, de más de treinta años de antigüedad y, a su vez, presentan muchos faltantes de información.

Aforo	Periodo de registro		Datos		Caudal Medio Mensual (m ³ /s)
	inicio	fin	tipo	cantidad	
Bell Ville	01/10/1938	01/06/1981	mensual	284	20.9
Villa María	01/09/1974	01/07/1981	mensual	83	29.16
Piedras Moras	01/09/1973	01/05/1981	mensual	93	34.01
Embalse	01/09/1913	01/05/1984	mensual	849	27.1
La Florida	01/09/1980	01/08/1984	mensual	48	5.11
Ume Pay	29/12/1965	20/02/2017	mensual/diario	306	16.25

Tabla 3.22. Datos de aforos obtenidos de la BDHI.

La Figura 3.43 presenta los valores medios mensuales obtenidos para los caudales registrados en los distintos puntos de aforo. De la estación con mayor cantidad de datos y más amplio periodo de registro, Embalse, se analizó su línea de tendencia, pudiendo concluirse que no se observaron cambios perceptibles en los caudales medidos. Para los datos de Ume Pay, se puede observar que los valores han ido disminuyendo levemente en el tiempo, pero la estación no cuenta con registros en todos los meses, esto puede llevar a un error de análisis.

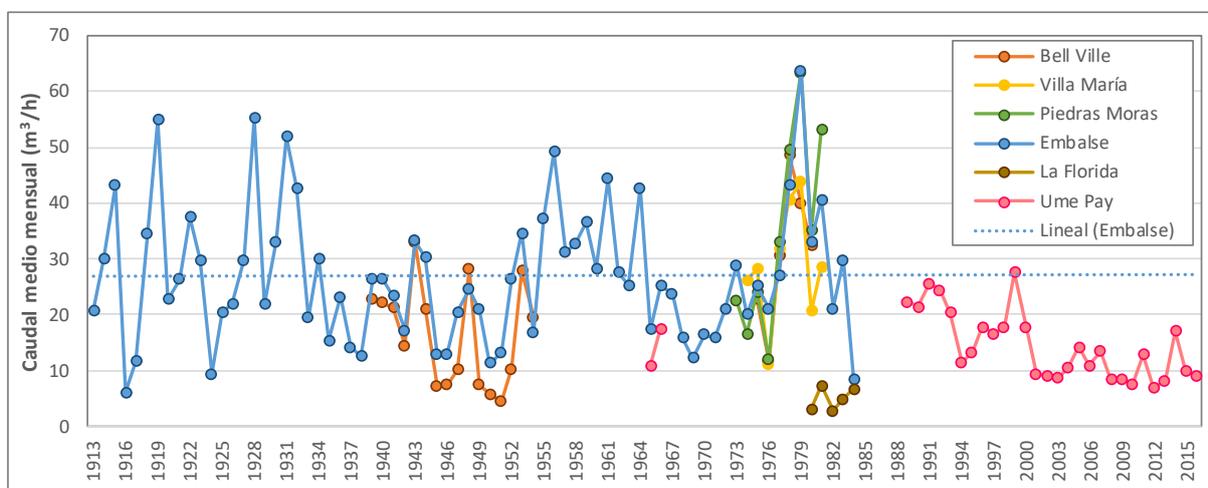


Figura 3.43. Caudales medios mensuales anuales, datos de la BDHI.

En cuanto a las otras estaciones, Figura 3.43, se observa que Bell Ville presenta la misma tendencia de picos máximos y mínimos que Embalse, lo mismo ocurre con Villa María y Piedras Moras. Esto permite afirmar que se trata de un año húmedo o seco con similar comportamiento a lo largo de toda la cuenca, especialmente porque la estación Embalse se encuentra en la parte alta de la cuenca, mientras que Bell Ville en la parte baja.

La distribución mensual de los caudales en las estaciones previamente analizadas se presenta en la Figura 3.44. En todas puede observarse un claro comportamiento estacional, con valores máximos en los meses estivales y mínimos durante los meses invernales.

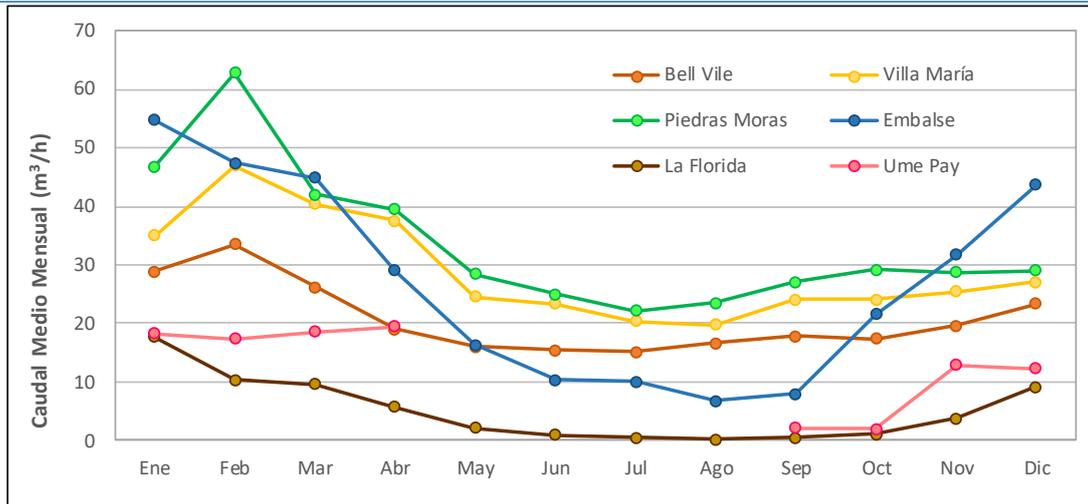


Figura 3.44. Caudales medios mensuales, datos de la BDHI.

En el Anexo II se analizan los caudales de las estaciones de aforo con datos más actuales, fundamentalmente la realizada por la UNVM, desde febrero de 2015 a julio de 2016, en coincidencia con las precipitaciones medias registrados para ese mismo periodo.

3.1.2.4 Hidrogeología

3.1.2.4.1 Ambientes hidrogeológicos

Según Blarasin et al. 2014, los sistemas hidrogeológicos de la provincia están estrechamente vinculados a la geomorfología, a la estructura de bloques que caracterizan a las Provincias Geológicas Sierras Pampeanas y Llanura Chaco Pampeana, a las litologías, a las variaciones climáticas del Cuaternario y a eventos neotectónicos. Por este motivo se describen los dos ambientes hidrogeológicos coincidentes con la sierra y la llanura, que han sido subdivididos en subsistemas o unidades hidrogeológicas. Se abunda en las más relevantes, por la importancia que poseen en términos de funcionamiento hidrológico (zonas de recarga o descarga de acuíferos) y potenciales caudales de extracción y/o calidad de agua. La Figura 3.45 muestra los principales sistemas hidrogeológicos de toda la provincia de Córdoba.

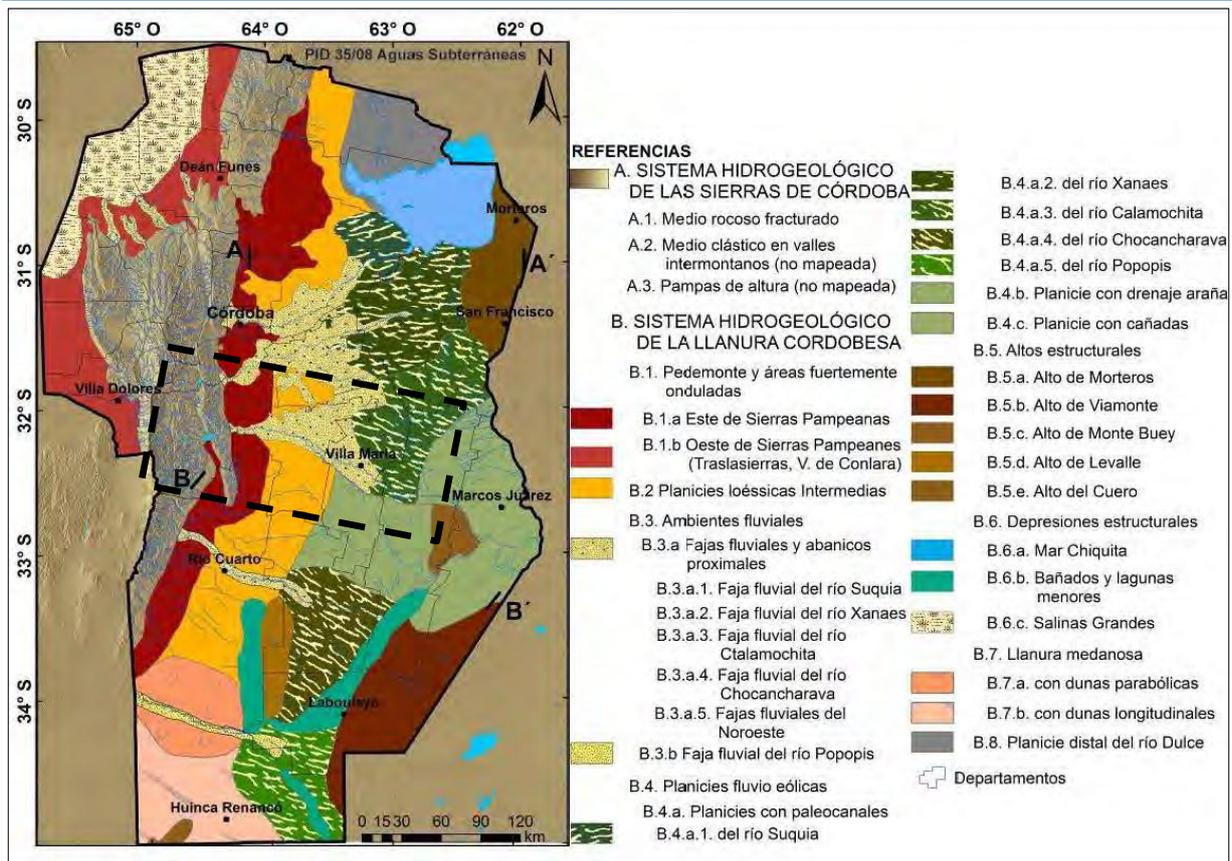


Figura 3.45. Unidades hidrogeológicas de la Prov. de Córdoba, en recuadro la zona estudiada. Fuente: Blarasin et al., 2014

La Figura 3.46 muestra puntualmente las unidades hidrogeológicas principales presentes en la cuenca en estudio. Puede observarse el sistema correspondiente a las sierras de Córdoba en la parte alta de la cuenca, seguido del sistema de sierras Pampeanas, continuado con planicies loésicas intermedias y un gran sector ocupado por ambientes fluviales, en lo que respecta a la cuenca media-baja. De igual manera, en la parte más baja se encuentran las planicies con drenajes o cañadas aluvionales eólicas. Finalmente, un sector al sur-este presenta un alto estructural.

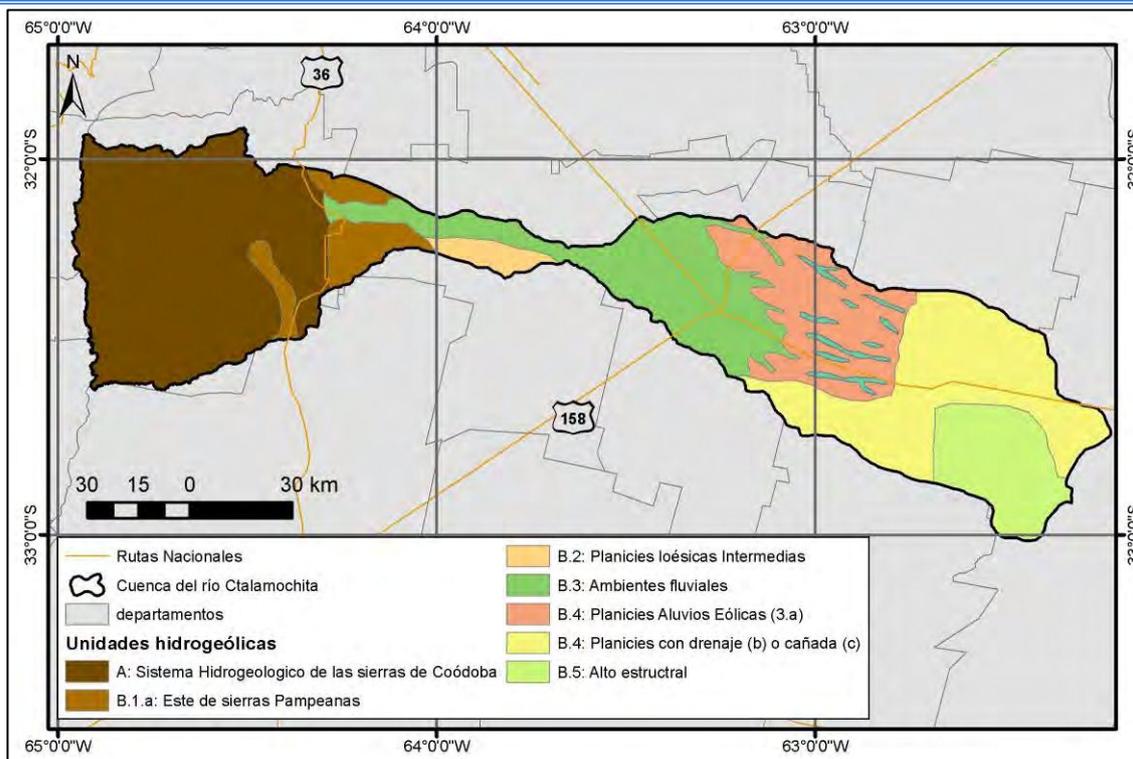


Figura 3.46. Unidades hidrogeológicas de la cuenca Ctalamochita. Fuente: Elaboración propia, datos: Blarasin et al., 2014

Las áreas ocupadas por las unidades hidrogeológicas presentes en la cuenca, Figura 3.46, se exponen en la Tabla 3.23, donde puede apreciarse que el sistema serrano y las planicies con drenajes y cañadas son las que se presentan con predominancia en la zona estudiada.

Unidades Hidrogeológicas		Áreas (km ²)
A	Sistema Hidrogeológico de las Sierras de Córdoba	3669,572
B.1.a	Este de sierras Pampeanas	546,725
B.2.	Planicies loésicas Intermedias	200,574
B.3.	Ambientes fluviales	1724,892
B.4.c y b	Planicies con drenaje, b, o cañada, c,	2998,179
B.4.3.a	Planicies Aluvios Eólicas	1434,013
B.5.	Alto Estructural	1724,892

Tabla 3.23. Superficies de las unidades hidrogeológicas de la cuenca

A continuación, se describen las formaciones hidrogeológicas principales que fueron presentadas en la Figura 3.46, según el informe presentado por Blarasin et al., en 2014.

A. Sistema Hidrogeológico de las Sierras de Córdoba

Las Sierras Pampeanas están integradas fundamentalmente por un basamento lutónico-metamórfico, metamorfitas de edad precámbrica, intruidas en el Paleozoico inferior por batolitos graníticos (batolito de Achala y otros menores). Con escasa significación areal y reducido espesor aparecen relictos de formaciones sedimentarias del Paleozoico superior, al Norte de las sierras, estratos rojos asociados con vulcanitas del Cretácico inferior y vulcanitas traquiandesíticas (en Sierra de Los Cóndores) y sedimentos asociados del Cenozoico. Las sierras constituyen una macrounidad morfoestructural, integrada por una sucesión de megabloques que presentan una marcada asimetría debido a la presencia de una importante escarpa de falla en el borde occidental, de rumbo meridiano submeridiano. Estas características y su altitud (550 y 2.790 msnm), implican una configuración que las posiciona como en una entidad hidrológica receptora y a la vez emisora de agua, con incidencia fundamental en el sistema hidrológico subterráneo.

Las rocas ígneas y metamórficas de las sierras están drenadas por importantes ríos y numerosos arroyos menores que, en general, desarrollan una red de drenaje de alta densidad, condicionada fuertemente por la presencia de fracturas y diaclasas. Presentan además relictos de superficies erosivas preándicas, las pampas de altura, cubiertas parciamente por loess, como la Pampa de Pocho, Pampa de Achala, entre otras. En conjunto, las sierras constituyen una zona receptora de precipitaciones, de vital importancia para el funcionamiento hidrogeológico ya que la mayoría de los ríos y arroyos que la drenan se infiltran al salir de la sierra y alimentan los acuíferos de pedemonte y llanuras onduladas cercanas.

A.1 Acuífero en medio fracturado

El sistema de fracturas y diaclasas que poseen las rocas del basamento serrano otorga a la roca una permeabilidad o conductividad hidráulica secundaria que varía según el grado de fracturamiento, aunque, en general, es baja. Esta situación da origen a un sistema acuífero libre, de pobre capacidad para conducir el fluido, pero de importancia en la dinámica hidrológica regional y local y en sus características químicas. El agua circulante en la roca aporta al medio clástico alojado en los valles y además da lugar a manantiales, permanentes o temporarios, de escaso caudal. El agua es dulce y alimenta también ríos y arroyos.

A.2. Acuífero en medio clástico en valles intermontanos

Está constituido por los sedimentos de edad fundamentalmente cuaternaria que rellenan los valles intermontanos y se alimenta de la infiltración de precipitaciones locales y del aporte de agua de las rocas circundantes. Los valles son de tamaño sumamente variable, desde aquellos regionales (Punilla, Calamuchita) hasta algunos locales muy pequeños. Dependiendo de este aspecto y de su historia geológica, los rellenos sedimentarios varían desde pocos centímetros a varias decenas de metros y la granulometría abarca el rango pefitas-psamitas-pelitas. Por estos motivos las K son desde bajas a moderada-altas ($1-50 \text{ m.d}^{-1}$) y hay diferentes ensambles de capas acuíferas-acuitardas. Presentan un lento ritmo de reposición del agua subterránea desde el medio fracturado circundante. Los valles intermontanos, Calamuchita, Punilla, San Pedro Norte, Pocho, Avellaneda, etc., en general presentan una cubierta sedimentaria que no supera los 100 m de profundidad hasta alcanzar el basamento hidrogeológico constituido en algunos casos por sedimentitas del Terciario, Carbonífero, Cretácico o basamento ígneo-metamórfico. En los más grandes se encuentran acuíferos semiconfinados y confinados con rendimientos variados, desde $10 \text{ m}^3.\text{h}^{-1}$ hasta $150 \text{ m}^3.\text{h}^{-1}$. La salinidad es en general baja ($< 2 \text{ g.L}^{-1}$) pero aparece el flúor como elemento limitante.

A3. Acuíferos en pampa de altura

Son de escasa significación areal y poco espesor saturado, en general están compuestos por sedimentos arenosos muy finos limosos de baja conductividad hidráulica ($1-2 \text{ m.d}^{-1}$). Exceptuando la Pampa de Pocho, en general no tienen relevancia económica directa, pero actúan como zonas plenas de recarga aportando a arroyos colectores.

B. Sistema hidrogeológico de la llanura

La llanura cordobesa es una planicie predominantemente agradacional, con variaciones de relieve que se relacionan a la presencia de bloques estructurales, algunos de ellos con probada actividad neotectónica (Sagripanti et al., 2012), y a los ciclos de denudación-agradación controlados por las oscilaciones climáticas del Cuaternario. La llanura ubicada al Este de las sierras tiene una mayor potencialidad hidrogeológica que el sistema fracturado, con importantes reservas en el subsuelo que, como se indicara, tienen alta relevancia económica-social.

El ambiente de llanura aloja el acuífero libre y diferentes acuíferos confinados ubicados a distintas profundidades (lo que otorga disímiles grados de confinamiento). Las características de los procesos sedimentarios que tuvieron lugar durante el Cenozoico han influido en la disposición y geometría (espesor y extensión areal) y en las características sedimentológicas (tamaño de grano, diagénesis, etc.)

de las diferentes capas acuíferas, aspectos que condicionan su comportamiento hidráulico y geoquímico.

En general, el acuífero libre de la provincia tiene variable espesor, pocos metros en proximidades de la sierra (por la cercanía del basamento) hasta 80– 100 m en la llanura. Los materiales de mejor aptitud acuífera, con alta K y alta transmisividad (T), están fundamentalmente vinculados a las fajas fluviales de los principales ríos y arroyos (formaciones Chocancharava, Río Primero y otros depósitos más profundos sin denominación formal), en las que abundan perforaciones que erogan importantes caudales.

En casi toda la llanura, existen acuíferos confinados, en general por debajo de los 80–100 m de profundidad, de sedimentos arenosos y areno-gravosos, con techos y bases de materiales más impermeables que le otorgan confinamiento variable. Entre los más conocidos, y más somero, ya que se lo alcanza en general a los 80 m de profundidad, se encuentra el acuífero conformado por las llamadas “arenas Puelches” (Sistema Acuífero Confinado B o SAC B) compuesto por arenas medias a finas de origen fluvial, cuarzosas, redondeadas y bien seleccionadas, identificadas y muy explotadas en el noreste de Córdoba, cuyo techo es una capa de arcillas varicolores.

B.1. Pedemonte y áreas fuertemente onduladas

Se trata de una faja de aproximadamente 10–50 km de ancho, con bloques de basamento en general próximos a la superficie (1–40 m de profundidad), incluso con relictos de roca aflorantes, cubierto por sedimentos aluviales-coluviales y en algunos sectores, por materiales de tipo loésicos. Las llanuras fuertemente onduladas adosadas al pedemonte poseen el basamento más profundo (hasta aproximadamente 100 m) y, consecuentemente, mayor espesor de cubierta sedimentaria.

B.1.a. Al este de Sierras Pampeanas

Hidrológicamente ligada al macizo serrano, en esta faja angosta de pedemonte y llanura fuertemente ondulada, la infiltración de importantes cantidades de agua de muy baja salinidad ($<1 \text{ g.L}^{-1}$) procedente de las sierras, satura materiales del subsuelo constituidos por granulometrías gruesas (bajadas periserranas), lo que conforma excelentes acuíferos. Los sedimentos de mayor potencialidad acuífera, si bien restringidos arealmente (paleocauces), poseen K medianas a altas ($10 - 50 \text{ m.d}^{-1}$) y potencias variables comprendidas entre los 5 y 40 m, por lo que la T también es variable.

B.3. Acuíferos en ambientes fluviales

La faja fluvial y abanico proximal del río Ctlamochita incluye el tramo pedemontano y de sector medio de la cuenca. Exhibe una importante historia de depósitos correspondientes a facies de canal y llanura de inundación, aunque abundan las primeras, alojando los principales acuíferos de la provincia. Las reservas estimadas del acuífero libre para la zona de la localidad de Río Tercero y entorno rural, según Blararsin et al., 2014, para un área de 434 km^2 , son del orden de 1.992 hm^3 . Existen numerosas perforaciones de las industrias petroquímicas y de la Cooperativa de Obras y Servicios Públicos de Río Tercero, que explotan las capas acuíferas a más de 100 m de profundidad (SAC A), que presentan excelente calidad (menos de 1 g.L^{-1} de sales) y rendimientos específicos superiores a $5 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$.

B.4. Planicies fluvio-eólicas

Se trata de amplias zonas del sector centro-oriental de la provincia que representa el relleno de grandes depresiones tectónicas delimitadas por megaestructuras meridianas (fallas Pampayasta-Alejandro Roca, Tostado, Tigre Muerto, entre otras, Degiovanni y Blarasin, 2005), segmentadas por otras transversales u oblicuas que generan bloques menores. Están formadas por rasgos y paleorasgos fluviales y eólicos discontinuos en los que se sitúan cuerpos lagunares. Se distinguen depósitos continentales (fluviales y eólicos) con algunas intrusiones marinas asociadas (Mioceno) en profundidad.

En ellas se distinguen:

B.4.a Planicies con paleocanales del río Ctlamochita

Dominan los abanicos de paleocanales de los cursos principales y otros menores cubiertos parcialmente por sedimentos eólicos del Holoceno con removilizaciones más modernas. En cercanías de las fajas actuales se distinguen derrames aluviales antiguos y actuales, dominando sedimentos finos arenosos-limosos. En los paleocanales discontinuos y en corredores o cubetas de deflación se sitúan cuerpos lagunares alimentados por aporte freático. Los tramos de ríos y arroyos de este ambiente son de régimen permanente por aporte de agua subterránea.

El acuífero libre es pobre, de baja K ($0,5-3 \text{ m}\cdot\text{d}^{-1}$ para sedimentos eólicos o fluviales finos, localmente en paleocanales aumenta) y T (del orden de $80 \text{ m}^2\cdot\text{d}^{-1}$, localmente aumenta). Las captaciones poseen caudales de menos de $5 \text{ m}^3\cdot\text{h}^{-1}$ y altos tenores de sales ($2-14 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$). A mayor profundidad pueden localizarse capas acuíferas semiconfinadas o confinadas de arenas medias-gruesas-gravas con mejor calidad que el acuífero libre.

B.4.b. Planicie con drenaje araña

Se caracteriza por una red de drenaje de tipo araña conformada por líneas de escurrimiento rectilíneas dispuestas radialmente alrededor de pequeñas depresiones centrales, que suelen interconectarse siguiendo la pendiente regional o lineamientos estructurales (Cantú y Degiovanni, 1984). En los sectores más deprimidos las depresiones están ocupadas por lagunas permanentes. En las líneas de drenaje suele acumularse agua dulce de precipitaciones que pueden recargar localmente y mejorar la calidad de agua del acuífero libre

B.4.c. Planicie con cañadas

En general, el relieve es suavemente ondulado, con numerosas áreas mal drenadas y procesos hidrohalomórficos, principalmente hacia el sur. Presenta un relieve muy plano (pendientes del 0,1 %), en el que se destacan bajos rectilíneos, anchos, de dirección sudoeste, que localmente se denominan “cañadas”. Se observan leves manifestaciones de antiguas dunas longitudinales. En las cañadas se acumula agua dulce de lluvia y de escurrimientos superficiales que se convierte en zona de recarga del acuífero por lo que las perforaciones cercanas poseen agua más dulce que el entorno acuífero general de esta unidad. Los valores de K son pequeños ($1-2 \text{ m}\cdot\text{d}^{-1}$) ya que dominan sedimentos eólicos arenosos muy finos.

3.1.2.4.2 Hidrodinámica subterránea regional

La conformación geológica-geomorfológica de la provincia es el principal condicionante de la configuración del flujo regional del agua subterránea, definiendo las principales áreas de recarga y descarga y, consecuentemente, de los principales procesos hidroquímicos.

Como en todos aquellos sistemas de flujo de agua subterránea en regiones con relieve ondulado, en la zona estudiada se observa una jerarquización de los flujos (Tóth, 1999), distinguiéndose niveles regionales, intermedios y locales que interactúan con el ambiente (Blarasin, 2003). Se observa flujo descendente en áreas de recarga y ascendente en áreas de descarga apareciendo en estas últimas bañados y lagunas.

3.1.2.4.3 Dirección de flujo de agua en el acuífero libre

Este apartado se basa fundamentalmente en los contenidos aportados por el texto de Blarasin et al., 2014. En la Figura 3.47 se muestran las curvas potenciométricas para el acuífero libre a nivel regional, para toda la provincia, donde se observa que hay un flujo radial divergente desde las sierras y hacia la periferia, indicando que la zona de recarga neta regional es el ámbito pedemontano. El agua subterránea fluye hacia el oeste y noroeste en la zona de Traslasierra mientras que en la llanura oriental provincial

lo hace hacia el este-noreste en el norte de la provincia, con evidente zona de descarga en la laguna de Mar Chiquita. Al sur provincial dominan las direcciones de flujo noroeste-sudeste, con descargas parciales en los bañados del Tigre Muerto, lagunas Santa Ana–La Chanchera–bañados del Saladillo y lagunas de Bouchardo.

Los gradientes hidráulicos del agua subterránea son variables, fuertemente condicionados por la topografía, los más altos se ubican en la faja pedemontana, inmediatamente cercana a la sierra, con valores de 5,0–4,0 %. En las llanuras fuertemente onduladas los gradientes disminuyen a valores de 1,0–0,4 %. En las planicies loésicas y fluvio-eólicas son del orden de 0,4–0,2 %, mientras que en las llanuras más tendidas y áreas mal drenadas los valores son muy bajos, del orden de 0,07 %. La velocidad real del agua subterránea, condicionada por la topografía y las litologías presentes, adopta valores estimados en 2 m.d⁻¹ para los materiales muy gruesos de las fajas fluviales donde hay altos gradientes, hasta 1,10-3 m.d⁻¹ para los sedimentos eólicos/palustres y los más bajos gradientes hidráulicos.

La variable morfología de las redes de flujo evidencia que el agua de los flujos activos del acuífero libre puede circular en diversas direcciones (norte-sur, oeste-este, etc.) en función de aspectos locales, incluso en sentido opuesto al flujo regional provincial explicado.

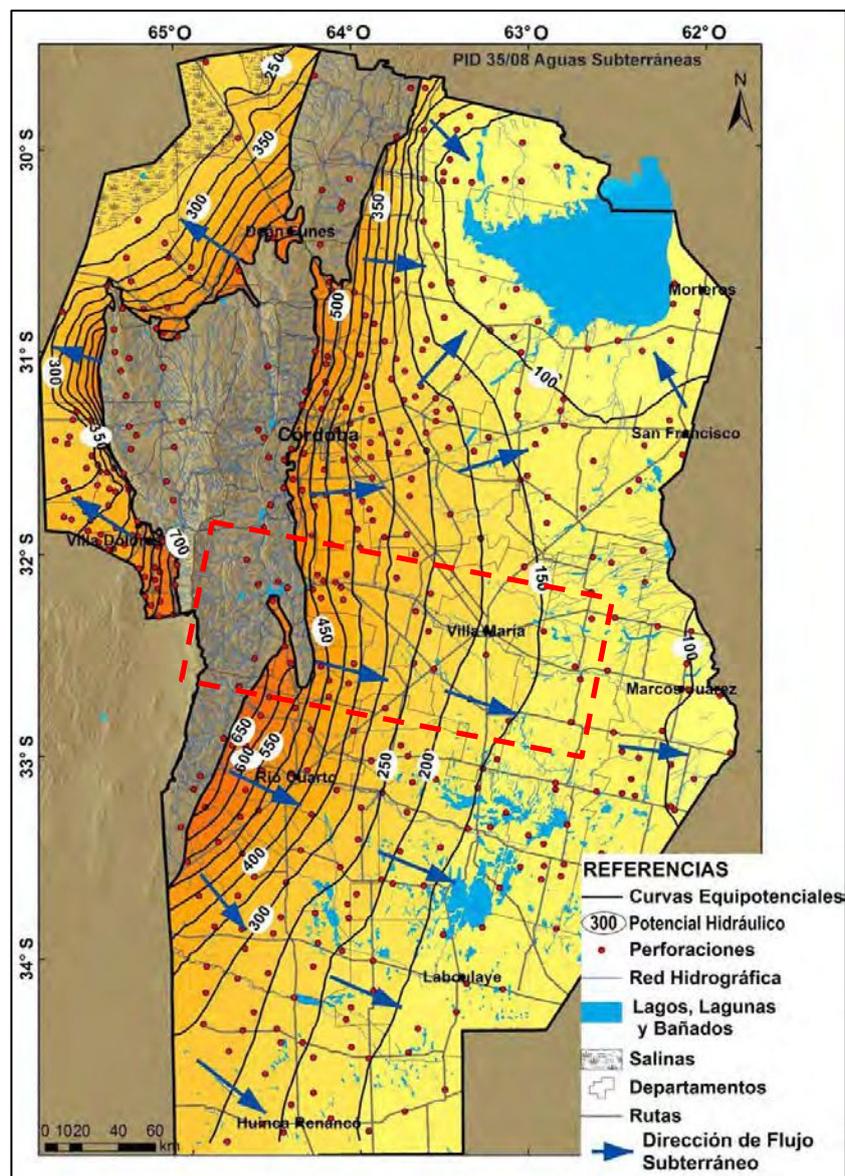


Figura 3.47. Dirección de flujo de agua en el acuífero libre, en punteado rojo zona estudiada. Fuente: Blarasin, 2014.

3.1.2.4.4 Dirección de flujo de agua en acuíferos confinados

Para el caso de los acuíferos confinados, la dirección de flujo del agua es variable según la capa acuífera y la zona evaluada, aunque en general se observa una correspondencia importante con las direcciones de flujo del acuífero libre. Las capas acuíferas más profundas poseen menor gradiente hidráulico y menor velocidad de flujo.

Es poca la información sobre los acuíferos, por esto se exponen a continuación los conocimientos presentado por la UNVM, 2015, con estudios sobre las explotaciones para abastecimiento en las localidades de Río Tercero, Ballesteros y Villa Nueva.

Estudios realizados por Palacios et al., 2013, en la localidad de Río Tercero y zona rural, sostienen que el sistema subterráneo es de carácter multiacuífero; los sedimentos permeables son difícilmente correlacionables entre las distintas perforaciones debido a su escaso desarrollo areal, por lo que se intentó diferenciar en subsuelo la presencia de distintas unidades hidrogeológicas, que se asumen como espesores sedimentarios con características hidrogeológicas propias.

Los límites en profundidad de estas unidades hidrogeológicas son aún imprecisos, debido a los escasos datos hidráulicos y sedimentarios con que cuentan las perforaciones relevadas; por lo que se definieron de forma estimativa y están sujetos a revisión.

Se diferencian dos unidades hidrogeológicas: la unidad superior que contiene el nivel freático y se extiende hasta aproximadamente 85 a 100 m de profundidad, posee un predominio de sedimentos gruesos con respecto a la unidad subyacente. Los niveles acuíferos podrían tener carácter de semiconfinados. La unidad inferior, con predominio de sedimentos más finos, aporta rendimientos específicos menores. Los niveles acuíferos pueden tener carácter de confinados debido a la existencia de importantes espesores de materiales arcillosos que actuarían como niveles acuícludos.

La dirección dominante del flujo subterráneo es Oeste - Este, observándose un comportamiento mixto en relación al río Ctlamochita; con una estrecha relación entre el río y las dos unidades hidrogeológicas superior e inferior. El río Ctlamochita es de carácter mixto, en algunos tramos es influente, en otros es efluente, dependiendo que tramo de margen se considere. Por otra parte, se observa que las menores profundidades del nivel freático se encuentran asociadas a la faja fluvial del río Ctlamochita, aumentando hacia el Norte y Sur, con valores máximos de 80 a 87 m al Norte del área de estudio.

La localidad de río Tercero cuenta con un registro importante de perforaciones (mayor a 50) de acuerdo a datos brindados por la Municipalidad de dicha ciudad, divididas en perforaciones someras y profundas. Las perforaciones someras, explotan el acuífero libre, el cual se encuentra entre los 8 a 30 m de profundidad dependiendo de la proximidad al área de descarga del río Ctlamochita. Por otro lado, se encuentran las perforaciones del acuífero confinado, cuya profundidad varía entre los 60 a 100 m, siendo las mismas las de menor cantidad y localizadas en la ciudad.

En cuanto a la localidad de Villa Ascasubi, posee dos perforaciones al acuífero confinado, de aproximadamente 100 m de profundidad, y con rendimientos del orden de los $50 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$, según lo informado por la municipalidad local. Esta agua es utilizada para consumo humano, mientras que para riego y otros usos, se utiliza una perforación al freático, de aproximadamente 20 m de profundidad, con un rendimiento de $10 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$.

En la zona de Carnerillos - Ballesteros sur - Ballesteros, Maldonado et al. (2013), definen que el acuífero libre se extiende hasta los 80-100 m de profundidad. Está constituido por sedimentos cuaternarios arenosos finos limosos, de origen fundamentalmente eólico (loess), que se encuentran parcial y diferencialmente cementados. La base de este acuífero está conformada por materiales arcillosos. Por debajo del mismo se ha identificado un importante sistema de acuíferos confinados, multicapa, pre-Cuaternario, constituido por delgadas capas de granulometrías variables (arenas medias,

gruesas y gravas), de escaso espesor (entre 1-8 m), confinadas por potentes paquetes arcillosos que les otorgan distintos grados de confinamiento. De acuerdo a las características granulométricas, se asume que los materiales que constituyen los diferentes niveles acuíferos profundos poseen una permeabilidad, K, del orden de 100-500 m/d (Custodio y Llamas, 1983). Al Oeste de la falla El Rastreador-Los Cisnes, los materiales que forman estos sistemas profundos (tanto las capas de arenas como las arcillas que confinan) son de origen continental (Formación Tigre Muerto, Terciario superior) y está relacionado a sedimentación eólica y fluvial proveniente de la zona periserrana (Blarasin, 2003). Al Este de esta estructura los materiales arcillosos que se encuentran por encima de los sistemas profundos, se destacan las arcillas verdes-azuladas (Formación Paraná), asociadas a intrusiones marinas ocurridas durante el Mioceno medio (Renz, 1993, Gómez, 1995, Blarasin, 2003).

Los sistemas acuíferos (lentes de arenas intercaladas en arcillas castañas), situadas por debajo de estas arcillas verdes, podrían corresponderse a la Formación Chaco (Russo et al., 1979) de edad eocena-miocena inferior. A estos niveles profundos se les ha asignado edades y comportamientos hidráulicos con dudas, debido a la escasez de información vinculada a dataciones, geofísica y a la incertidumbre inherente a las profundidades de las perforaciones (informadas en la mayoría de los casos), lo que hizo dificultoso correlacionar los distintos niveles, y por lo tanto generar una clasificación hidroestratigráfica acabada.

Se definieron 2 grandes sistemas de acuíferos profundos (SCA y SCB) con distinto grado de confinamiento, diferenciados por la profundidad donde se alojan y características hidráulicas observadas.

El sistema más somero SCA se encuentra a profundidades variables en función de los bloques existentes en el área. Al Oeste de la falla Pampayasta-Alejandro, se encuentra entre los 120-180 m de profundidad (SCA1). En el bloque central, entre esta falla y la del El Rastreador-Los Cisnes, se lo encuentra entre los 220-235 m (SCA2). Al Este de esta última estructura se lo distingue entre los 150 m y los 190 m de profundidad, aunque se le asigna nomenclatura con dudas (SCA?), porque si bien se cuenta con información litológica no se dispone de datos hidráulicos e hidroquímicos ya que estas capas en este bloque no han sido habilitadas en las captaciones. Las perforaciones que captan agua de este sistema SCA son tanto surgentes como semisurgentes, con niveles piezométricos que varían entre -22 m y +5 m.

El sistema más profundo, denominado SCB, también se presenta a diferentes profundidades. Se encuentra entre los 250 m y 330 m de profundidad al Oeste de la falla El Rastreador-Los Cisnes (SCB1) y entre 280 m y 390 m hacia el Este de dicha estructura (SCB2). Las perforaciones que captan de este sistema son todas surgentes con niveles piezométricos mayores a SCA (> +5 m). Se asume un mayor grado de confinamiento dada su mayor profundidad de yacencia, espesor de sedimentos netamente arcillosos que actúan como techos y cargas hidráulicas observadas.

En la localidad de Villa Nueva, en los pozos realizados por la cooperativa de Villa Nueva para extracción de agua potable para consumo humano se pueden observar los distintos horizontes hidrogeológicos atravesados. La zona de mayor explotación, debido a sus importantes caudales de aporte y su calidad química apta para el consumo humano, se encuentra a una profundidad de 130 m. b. n. t. y un espesor de 7 m en la parte sur de Villa Nueva; y a unos 140 m de profundidad hacia el norte con un espesor que alcanza unos 13 m en algunos sectores.

La litología predominante de la zona corresponde a arenas medias a gruesas cuarzo-feldespáticas, no presentando intercalaciones de importancia de otros materiales, presenta como techo una sucesión de capas acuitardas y acuícludas y como piso una capa acuícluda cuya composición litológica predominante corresponden a arcillas pardo claras.

3.1.2.4.5 Ciudad de Villa María

Este apartado se basa en el *Estudio hidrogeológico: abastecimiento de agua a la ciudad de Villa María Provincia de Córdoba*, de la Universidad Nacional de Villa María (UNVM, 2017), realizado junto con la Municipalidad de Villa María en el marco del “Proyecto de Gestión Integral de Recursos Hídricos en la Cuenca Ctalamochita”.

Según lo mencionado por Blarasin et al., 2014 – UNRC, la zona de Villa María se encuentra ubicada en el ámbito del Sistema Hidrogeológico de la Llanura Cordobesa, en la Región Hidrogeológica de la Faja Fluvial del río Ctalamochita y en cercanías al límite con la región de la Planicie con paleocanales del río Ctalamochita. En este ambiente se aloja el acuífero libre y diferentes acuíferos confinados ubicados a distintas profundidades, con diferentes los grados de confinamiento. Las características de los procesos sedimentarios que tuvieron lugar durante el Cenozoico han influido en la disposición y geometría (espesor y extensión areal) y en las características sedimentológicas (tamaño de grano, diagénesis, etc.) de las diferentes capas acuíferas, aspectos que condicionan su comportamiento hidráulico y geoquímico.

El estudio hidrogeológico citado abarca un área de aproximadamente 70 km de largo por 15 km de ancho, con centro en Villa María, donde entre septiembre y octubre de 2017 se midieron 31 Sondeos Eléctricos Verticales (SEV) de 500 m de ala ($AB/2=500$ m).

De acuerdo con la litología y teniendo en cuenta el comportamiento hidrogeológico del área, la UNVM 2017, identifica para la zona cinco capas acuíferas, Figura 3.48 y Figura 3.49. La primera capa reconocida representa el acuífero libre, posteriormente los siguen cuatro acuíferos semiconfinados de diferentes dimensiones espaciales.

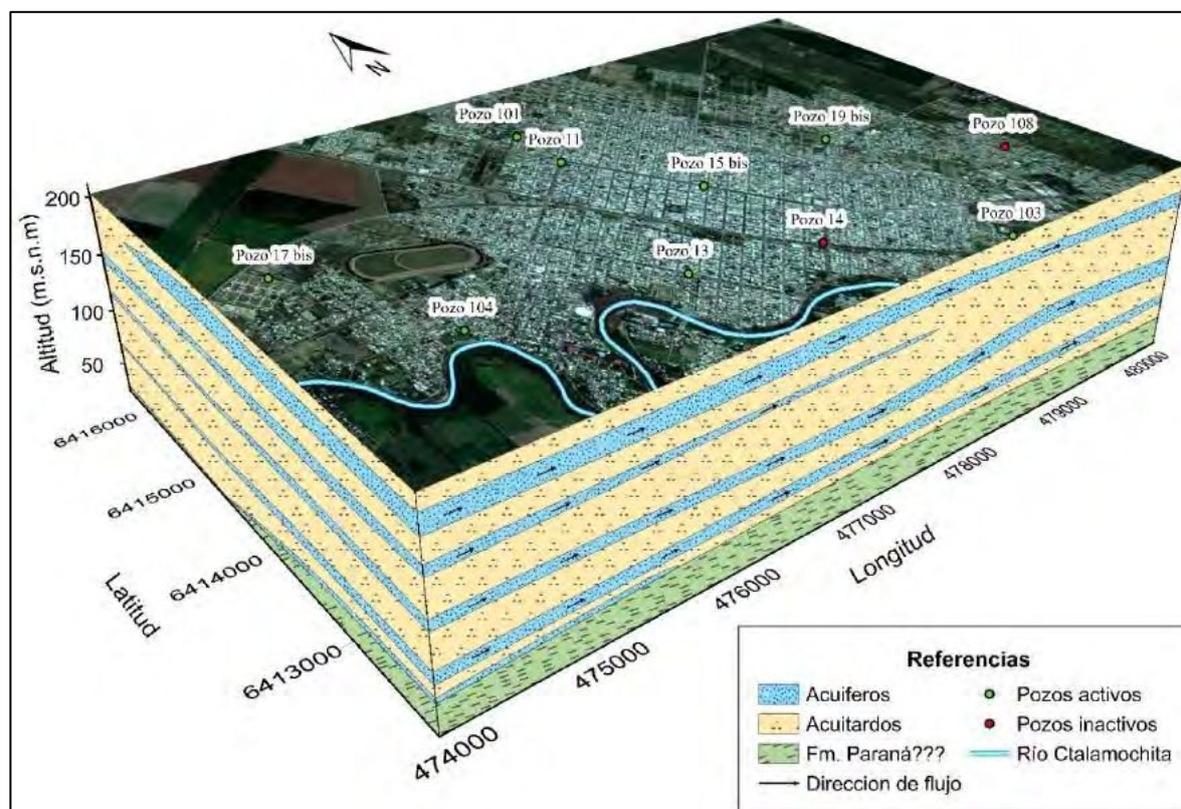


Figura 3.48. Modelo hidrogeológico conceptual Villa María. Fuente: UNVM, 2017.

El estudio afirma que las capas acuíferas están compuestas por arenas cuarzo-feldespáticas finas a medias-gruesas, separadas por limos arcillo-arenosos, con coloración pardo rojiza, algo compactados y cementados por carbonato de calcio ($CaCO_3$), los que funcionan como acuitardos. Por las características litológicas, estos sistemas hidrogeológicos se encuentran dentro de la Formación Pampeano.

El acuífero freático es pobre, de baja transmisividad (del orden de $80 \text{ m}^2 \cdot \text{d}^{-1}$), con captaciones que no superan los $5 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$, en general. Dicho nivel no se usa para explotación de agua por restricciones de calidad, ya que no resulta apta para riego ni para consumo humano.

Por debajo de esta capa acuífera se evidencia un cambio notable en la litología y en las propiedades físicas de los estratos, dando paso a depósitos arcillosos con intercalaciones arenosas de moderado espesor, lo que indicaría un probable cambio de formación. Esta formación posiblemente es de edad terciaria y llega a conformar el basamento hidrogeológico de las capas acuíferas suprayacentes.

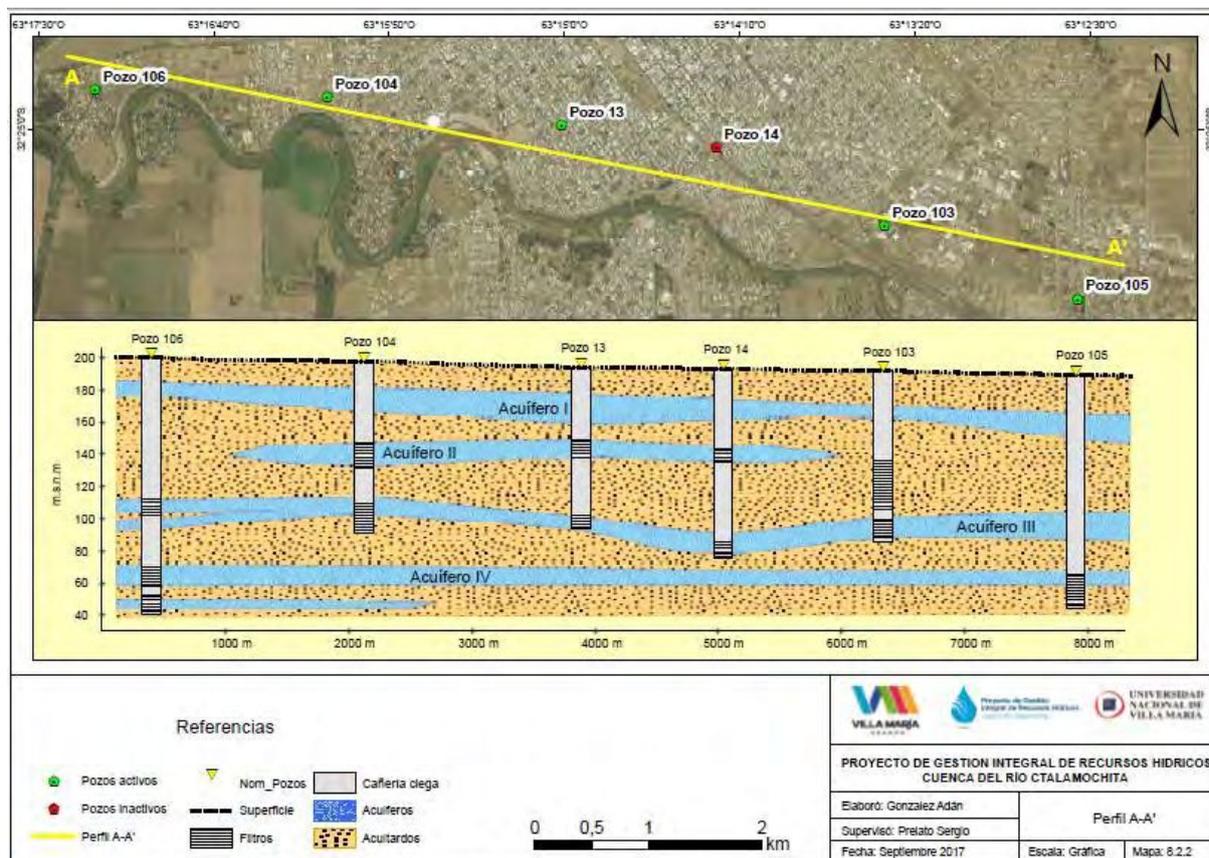


Figura 3.49. Perfil paralelo al cauce del río Ctalamochita. Fuente: UNVM, 2017.

La dirección de flujo subterráneo regional es similar en todos los acuíferos, concordando con la pendiente regional y con el rumbo que lleva el río Ctalamochita en la zona (E y SE). A escala local, en Villa María, hay desvíos en el flujo de los acuíferos II-III hacia el sur en dirección al cauce del río Ctalamochita.

En los logueos de perforaciones realizadas por la Cooperativa 15 de mayo, a cargo del servicio de agua potable en la localidad de Villa María, se identifican 4 capas acuíferas semiconfinadas, compuestas por intercalaciones arenosas finas en la secuencia predominantemente loésica dentro de la Formación Pampeano. Dichas capas aparecen en la zona a partir de los 45 a 60 metros de profundidad, siendo más discontinuos los niveles II y III. Este último junto con el nivel IV (de mayor distribución areal) son los de principal explotación para abastecer a la ciudad de Villa María.

En cuanto a los análisis hidroquímicos, el agua de los acuíferos que abastecen a Villa María es dulce (TSD entre 200 y $500 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$), entre algo dura y dura ($60\text{-}130 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$), con conductividad eléctrica entre 550 y $690 \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$ en la planta de bombeo de la cooperativa, más variable fuera del predio ($400 \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$ cerca del cauce del río y al SE de la ciudad, hasta $900 \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$ al Norte y NE, siendo mayor cuando los pozos están temporalmente inactivos).

La composición química del agua es bicarbonatada sódica hasta bicarbonatada sódico-cálcica e incluso cálcica-sódica, variando a clases clorurada y sulfatada sódica en sitios puntuales como el pozo 18 y 19bis/107, respectivamente.

El contenido de Arsénico sobrepasa los límites normados en la provincia para uso de bebida humana en 9 pozos del área, 5 dentro del predio de la Cooperativa, con concentraciones máximas de 0,074 mg.L⁻¹. Este analito muestra tendencia ascendente en la concentración en otros pozos como el 9, 17b o el 106, donde podría esperarse que sobrepase el límite aceptable.

3.1.2.5 Geología Regional

Según el trabajo presentado por la UNVM en 2015, la cuenca del Río Ctlamochita se encuentra dentro de dos provincias geológicas: la parte alta de la cuenca se desarrolla en la provincia geológica Sierras Pampeanas Orientales, y la parte media y baja, en el ámbito de la provincia geológica Llanura Chaco-bonaerense.

Citando a Ramos, 1999, la UNVM expresa que las Sierras Pampeanas Orientales corresponden a un orógeno generado durante el Proterozoico, con una colisión cercana al límite Precámbrico-Cámbrico, que sería responsable del magmatismo y metamorfismo de esa edad. Están caracterizadas por metamorfitas proterozoicas, en las que se emplazan granitoides calcoalcalinos asociados a subducción y que corresponderían a un arco magmático de edad proterozoica. Estructuralmente es un sistema de montañas en bloque, limitadas por fallas inversas. La estructura actual se originó principalmente a partir del Mioceno inferior, como lo muestran sus depósitos sinorogénicos. En su sector oriental se registran los primeros levantamientos en la sierra Chica de Córdoba en el Eoceno, debido a la reactivación de antiguas fallas normales cretácicas.

En cuanto a la provincia geológica Llanura Chacobonaerense, descrita por Groeber en 1938, se caracteriza como una extensa planicie desarrollada entre las Sierras Subandinas y las Sierras Pampeanas al oeste y el río Paraná al este. Donde su rasgo más conspicuo es el extenso desarrollo en todo su ámbito de una extensa transgresión marina de edad miocena media (13 a 15 Ma), que cubrió casi todo el ámbito de la planicie. Si bien sus depósitos no afloran, se la ha detectado mediante perforaciones en casi toda su extensión. En la constitución de su subsuelo intervienen varias cuencas sedimentarias, destacándose por su importancia las cuencas Chacoparanense, la del Salado y sistemas conexos (Ramos, 1999).

De este modo, Reinante et al., 2014, sostienen que la cuenca Chacoparaná es una extensa cubeta sedimentaria que cubre una superficie total de, aproximadamente, 2.200.000 km² y en la Provincia de Córdoba ocupa la porción oriental del territorio, extendiéndose con una superficie aproximada de 52.000 km². Ramos, 1999 la describe como una cuenca de una historia compleja formada por diferentes procesos de subsidencia y que se correspondería con la extensión sur de la cuenca de Paraná. A pesar de compartir parte del desarrollo paleozoico y mesozoico con esa cuenca, difiere ampliamente en las secuencias cambro-ordovícicas y las cenozoicas.

En cuanto a las estructuras principales, Martino et al., 2012, sostiene que la falla de la Sierra Chica es una de las fallas inversas más extensas de las sierras de Córdoba, ya que su escarpa de falla puede reconocerse por más de 200 km de largo. Hacia el sur, llega hasta el lineamiento Los Cóndores, a partir del cual se ramifica en una serie de lineamientos. Entre éstos se destaca el lineamiento Elena (de traza curva) que afecta a la sierra de Las Peñas en su margen occidental y que sería la continuación sur de la falla de la Sierra Chica. Asociadas a la zona de falla, se reconocen rocas cataclásticas con un ancho afectado que alcanza la decena a centena de metros, representadas por brechas y microbrechas con harina de falla de color rojo y verde, y rocas de aspecto filonítico, intensamente cloritizadas y muscovitizadas. La deformación frágil andina que produjo la falla de la Sierra Chica habría sido controlada parcialmente por estructuras previas. Cuando se produjo la compresión terciaria, dichas fajas

fueron reactivadas como fallas de deslizamiento de rumbo dextral, con componente extensional (cizalla oblicua divergente = transtensiva) formando los lineamientos Carapé, Quebrada Honda y Soconcho.

Las Fajas de cizalla que se localizan en esta zona son, Faja de Guacha Corral y Faja de la Sierra Chica, caracterizadas por la presencia de gneises de ojos, milonitas y blastomilonitas, con las que en algunos casos se asocian fenómenos cataclásticos posteriores que desarrollan diversos tipos de cataclasitas. El rasgo estructural más sobresaliente es la presencia de una foliación de rumbo nornoroeste con buzamiento al este (Bonalmi et al., 1999).

Fuera del sector serrano y adentrándose a las llanuras o regiones marginales la acomodación habría sido mucho menor (menor espesor total preservado) y los sistemas sedimentarios predominantemente fluvio-eólicos permite sostener correlaciones más regionales de unidades con menor espesor estratigráfico (Astini et al., 2014).

3.1.2.6 Suelos

Según la UNVM, 2015, citando a Luque, 2009, la cuenca del río Ctlamochita forma parte del Distrito Chaqueño Serrano, donde la vegetación se distribuye a lo largo del gradiente altitudinal formando pisos o “zonas de vida”, aunque se encuentra considerablemente modificado por la actividad antrópica. Las diferencias de altitud determinan cambios en la vegetación, que se manifiestan con la aparición de especies típicas. Entre los 500 m y los 1.300 m sobre el nivel del mar, se desarrolla el “bosque serrano”. A medida que se asciende, los elementos del bosque serrano van disminuyendo en tamaño y en densidad, confundiéndose con el “matorral serrano o romerillar”. A partir de los 1.000 m de altitud, se presentan los “pastizales y bosquesillos de altura”. Los bosques situados en las laderas que dan al Este presentan un mayor desarrollo y una mayor variedad de especies que los situados hacia el Oeste y hacia el Norte. Entrando en la zona pedemontana y de llanura la vegetación natural corresponde a la Provincia Fitogeográfica del Espinal (Cabrera, 1976), de las cuales actualmente quedan relictos como Estancia Yucat, a pocos kilómetros de Villa María y Reserva Parque Francisco Tau en Bell Ville.

Los principales tipos de suelos que se encuentran en la provincia de Córdoba son: Molisoles, Alfisoles, Entisoles y Aridisoles. La Figura 3.50 presenta la distribución espacial según Bahill et al., 2006, de las tipologías mencionadas dentro de la cuenca, con una escala 1:500.000, donde se evidencia que no se encuentran cantidades representativa de Aridisoles.

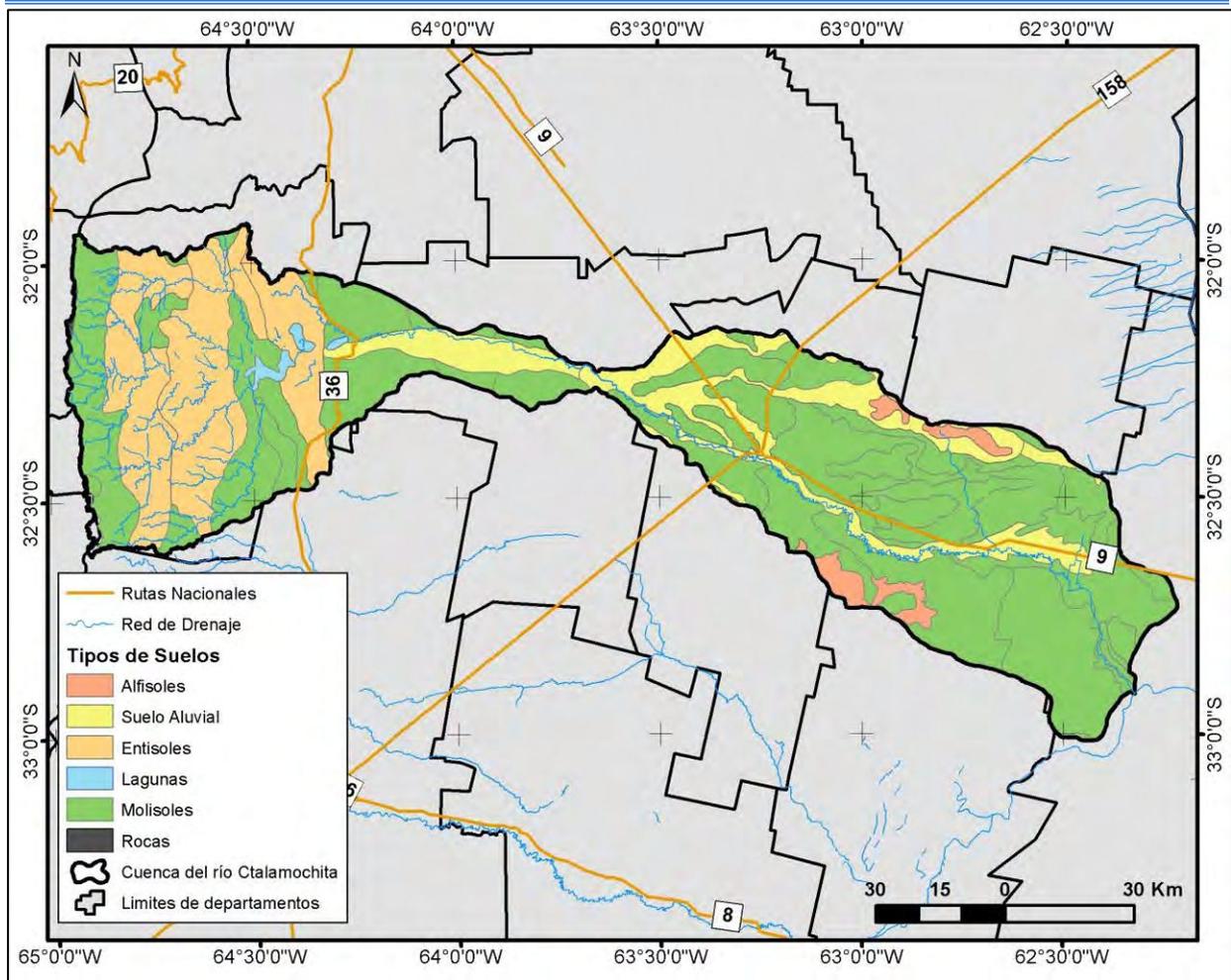


Figura 3.50. Tipo de suelos. Fuente: Elaboración propia, datos INTA, Bahill et al., 2006.

Estos grandes tipos de suelos se encuentran divididos en subgrupos que, a su vez, se separan en subunidades cartográficas. Si bien para la modelación se consideraron todas las subunidades que se observan dentro de la cuenca, para una escala 1:500.000, presentadas en el Figura 1 del Anexo III, para sintetizar la información se expresan las unidades con mayor predominancia.

En la zona de la naciente de la cuenca se encuentra una franja rocosa superficial, Figura 3.50, que no presenta un desarrollo de suelo en profundidad. El Sistema Montañoso Sierras de Córdoba, comprende a las Sierras Grandes y Comechingones, Sierras Chicas, Sierra de Los Cóndores y Sierra de las Peñas. A continuación de la franja rocosa, los suelos predominantes que se desarrollan en estos sistemas montañosos son los pertenecientes al orden Hapludoles líticos. Estos suelos presentan un nivel de roca poco alterada y casi continua, interrumpiendo el perfil a menos de 50 cm donde, por debajo del horizonte superficial oscuro, puede haber un horizonte B o un horizonte transicional AC y luego la roca. Se asocian con áreas de relieve escarpado, donde las pendientes y la rocosidad limitan gravemente su uso a campos naturales de pastoreo. Una variante de este Subgrupo es la de los Hapludoles paralíticos, en los cuales el sustrato de roca subyacente está alterado formando una regolita de textura arenosa gruesa con gravas, que conserva parte de la estructura original de la roca. En este caso, el sustrato puede ser penetrado por las raíces de las plantas, por lo que presentan mejores condiciones para la vegetación. Ambos suelos se reconocen en la región de las sierras, donde aparecen como dominantes en MJli (5, 6 y 7) y como componentes menores en Eolio (I) y EPli (7), Figura 3.51. Las nomenclaturas de los tipos de suelos presentes en la cuenca son explicadas en el Anexo III.

De acuerdo a Luque (2009), la alta dinámica del paisaje produce suelos jóvenes de escaso desarrollo, encontrándose los Grandes Grupos como Ustorthentes, Udorthentes, Ustipsammentes y Udipsammentes. No obstante, se ha observado que, en muchos lugares de las Sierras Grandes, la

alteración del complejo metamórfico es profundo, debido a una mayor humedad y a la presencia de planos que favorecen la penetración del agua, meteorización profunda, de hasta 5 m de alteración. La limitante principal es la pedregosidad y la erosión hídrica.

Siguiendo aguas abajo, en la zona debajo de los embalses, Figura 3.51, se encuentran los Haplustoles típicos, que normalmente presentan un horizonte superficial oscuro, bien estructurado, provisto de materia orgánica; un horizonte subsuperficial algo enriquecido en arcilla iluvial; un decrecimiento regular de la materia orgánica con la profundidad y un régimen ústico de humedad (clima semiárido-subhúmedo). Son profundos, bien drenados, fértiles, de buena productividad y sólo presentan limitaciones moderadas de origen climático, propias del régimen de precipitaciones donde están ubicados. Son suelos eminentemente agrícolas, de buena productividad, con limitaciones climáticas moderadas a severas, según su ubicación geográfica, requieren, por lo tanto, prácticas destinadas al manejo, conservación y acumulación de agua en el perfil. Se encuentran como suelos dominantes en las unidades que llevan el símbolo MNtc, como asociado en las unidades cartográficas MBtc-17, MKtc-3, MKtc-12, MKtc-19, MNen-44, MNen-57, MNen-63, MNli-3, MNpq-1, MNud-5 y MNur-8. y como componentes menores en las unidades EPtc-14, MBtc-8, MBtc-10, MBtc-11, MBtc-18, MKtc-13, MKtc-14, MKtc-16, MNen-30, MNen-36, MNen-37, MNen-10, MNen-31, MNen-48, MNen-51 y MOtc-17. Se han reconocido fases por erosión hídrica ligera y severa; levemente salina; moderadamente bien drenada y por pendiente.

La Pampa elevada o pedemontana, comprende la Faja Fluvial, Planicie Loésica y Paleosuelos y Campo de dunas. A la faja fluvial están asociados Complejos Indeterminados y Alfisoles como los Natracualf típicos relacionados a sectores bajos y paleocauces de la zona. Sus limitantes son el drenaje deficiente y la presencia de sodio a menos de 50cm. Vinculados a la Planicie Loésica se desarrollan principalmente Molisoles como Haplustoles énticos y típicos, y paleosuelos como Argiudoles típicos.

Los complejos indeterminados presentan suelos compuestos denominados CoRT1 y CoRT2. El primero con un Índice de productividad (IP) de 15 y una aptitud de uso Clase IV, tratándose de Planos aluviales y derrames del Río Ctlamochita, con suelos indiferenciados aluviales, salinos, alcalinos 100%. Imperfectamente drenado, con profundidades mayores al metro, textura franco limoso en superficie y franco limoso en el subsuelo; bien provisto de materia orgánica; alta capacidad de intercambio. Presenta como limitante un drenaje imperfecto donde el suelo permanece mojado por importantes lapsos.

Mientras que CoRT2, posee un Índice de productividad de 5 y una aptitud de uso Clase VII. Son planos aluviales y derrames del Río Ctlamochita. Se trata de suelos indiferenciados salino alcalinos 100%. Imperfectamente drenado; con profundidades mayores al metro; una textura franco -arenoso en superficie; moderadamente salino, sódico desde la superficie; moderadamente pobre en materia orgánica; moderada capacidad de intercambio.

Rodeando estos complejos se encuentran los Haplustoles énticos, Figura 3.51, que presentan un horizonte superficial oscuro, con moderado contenido de materia orgánica, seguido de un horizonte de transición con escaso desarrollo y poco alterado, pasando gradualmente al material originario, constituyendo un suelo poco evolucionado, de características énticas, que lo diferencia de los Haplustoles típicos que presentan un horizonte subsuperficial con alteraciones y acumulación de arcillas iluviadas. Tienen buen a algo excesivo drenaje, vinculados a lomadas onduladas o suavemente onduladas, con la capa freática profunda que no afecta el perfil del suelo y desarrollados en condiciones climáticas de semiaridez (régimen ústico de humedad). Los materiales que dieron origen a estos suelos constituyen sedimentos eólicos de granulometría variada, desde franco arenosos, francos a franco limosos.

Los Haplustoles énticos se encuentran como suelos dominantes en las unidades indicadas con el símbolo MNen, como asociado en las unidades cartográficas EPtc-4, EPtc-5, EPtc-10, EPtc-14, MNfv-l, MKtc-2, MKtc-6, MKtc-13, MKtc-18, MNtc-18, MNtc-28, MNtc-29, MNud-9, MNud-22 y MNur-4 y como suelo menor en las unidades AEmo-5, AEtc-29, Epli-19, EPtc-13, EVtc-10, EVtc-14, MBtc-10, MBtc-12,

MBtc-16, MEtc-1, MGtc-22, MKtc-7, MLtc-2, MNli-3, MNtc-7, MNtc-15, MNud-13 y MNur-3. Se han reconocido las fases inclinada, erosión hídrica ligera, moderada, severa y grave; erosión eólica ligera y moderada; moderadamente bien drenada y ligeramente salina.

En la Pampa hundida o de las lagunas, donde el diseño de drenaje radial es más notable que en la Pampa pedemontana, hay predominancia de lagunas encadenadas y reactivación de cañadas y bañados durante ciclos húmedos. Este sector está conformado por Paleobanico aluvial, Faja Fluvial y Planicie Loésica y Paleosuelos. Tanto la Faja Fluvial como la Planicie Loésica están constituidas por el mismo material originario que las presentes en la pampa elevada, pero al estar afectadas estructuralmente la evolución de los suelos es diferente, con variadas problemáticas de salinidad y sodicidad. De este modo, dentro del orden de los Molisoles además de los Haplustoles údicos y típicos que predominan en la Planicie Loésica, se han desarrollado de acuerdo con Bosnero et al., 2006, Natrustoles, Natralboles, Duracuoles, Endoacuoles y Natracuoles típicos. En cuanto a los Alfisoles asociados a complejos indiferenciados, los cuales se correlacionan a la Faja Fluvial y a sectores de paleocauces, además del Natracualf típico también se localiza en menor proporción Albacualf típico. En cuanto al Paleobanico aluvial, presenta paleosuelos, predominan en él los Hapustoles údicos intercalados con complejos indiferenciados y Natracualf típicos (UNVM, 2015).

Se observa en la parte baja de la cuenca una predominancia de Haplustoles údicos, Figura 3.51 caracterizados por ser suelos profundos, bien drenados, con el horizonte superior o capa arable oscura bien provista de materia orgánica, buena fertilidad natural y estructura moderada. El horizonte subsuperficial está algo alterado y moderadamente enriquecido en arcilla iluvial y desarrollado bajo condiciones ústicas de humedad transicional al údico (condiciones climáticas subhúmedas). Han evolucionado a partir de sedimentos eólicos franco-arenosos, francos y franco-limosos de acuerdo a la ubicación geográfica que se encuentren, ya que se vinculan a las lomadas extendidas de la Pampa arenosa cordobesa y a las llanuras loésicas franco limosas.

Son suelos agrícolas, de muy buena productividad, aptos para una amplia gama de cultivos. Se encuentran como suelos dominantes en las unidades cartográficas que llevan el símbolo MNud y que tienen una importante representatividad areal. Aparecen también como suelos asociados o componentes menores en las unidades MItc-5, MNac-3, MNen-16, MNur-2, MNur-3 y MNur-7.

Finalmente cerrando la cuenca baja hay predominancia de Argiudoles típicos, Figura 3.51. Estos suelos se caracterizan por presentar un horizonte superficial profundo, oscuro, bien estructurado, rico en materia orgánica y fértil asociado a un horizonte de enriquecimiento de arcilla iluvial, de color parduzco. Son suelos desarrollados en condiciones de drenaje libre y se encuentran bajo un régimen de humedad en el cual el suelo no se seca totalmente por períodos prolongados en el verano, existiendo durante casi todo el año un sistema trifásico sólido-líquido-gaseoso en equilibrio.

Son suelos de neta aptitud agrícola, que no presentan limitaciones fisicoquímicas que condicionen su uso. Su explotación intensiva y en condiciones de agricultura continua, tiende a provocar una pérdida de productividad por destrucción de las buenas condiciones físicas, que naturalmente poseen estos suelos. Son suelos dominantes en todas las unidades cartográficas identificadas con el símbolo MItc y aparecen como componente asociado en: EJmo-5, MJtc-7 y MJtc-10. Se los menciona también como inclusiones en: EPLi-7, MATc-3, MBtc-7, MBtc-15, MIac-5, y MJen-32.

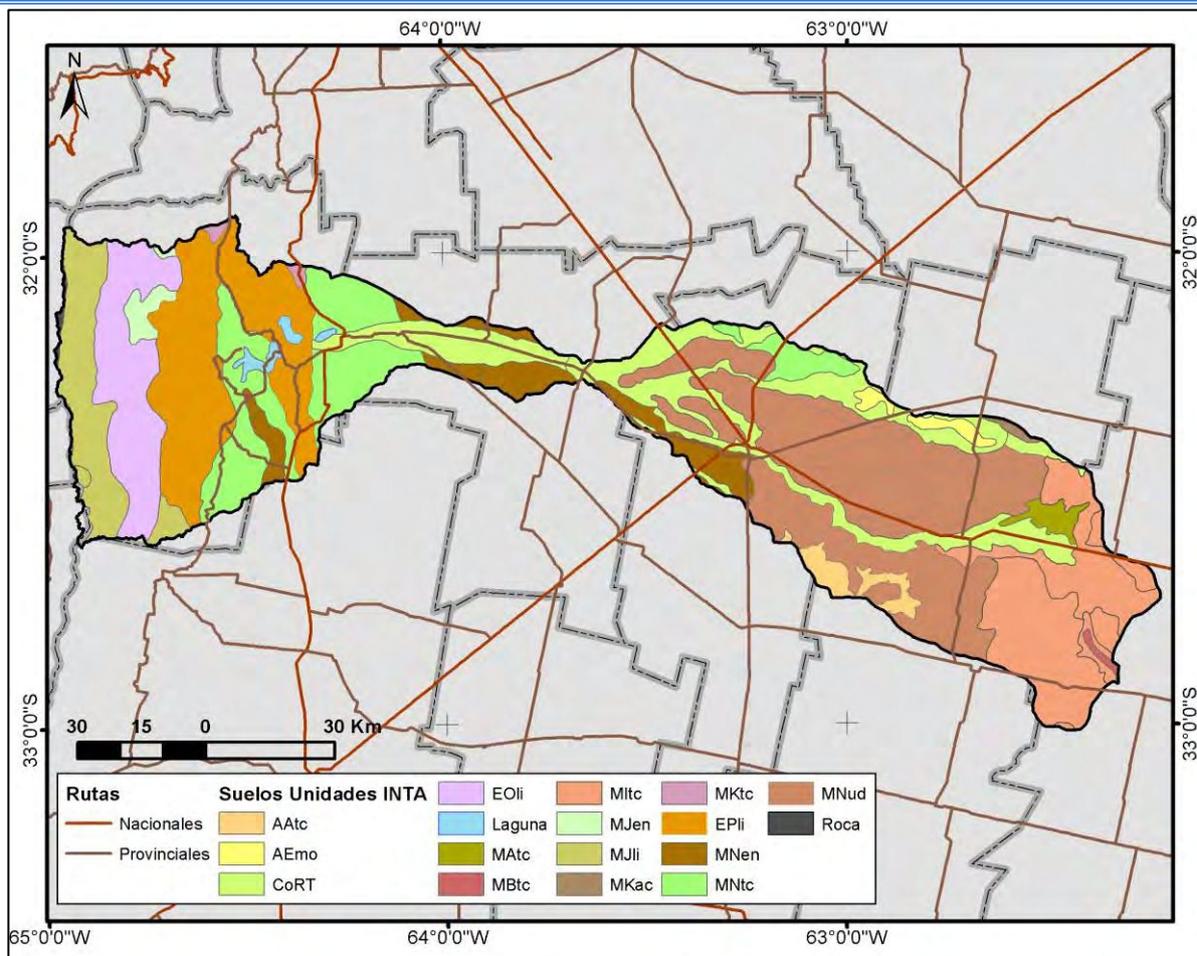


Figura 3.51. Unidades de suelos. Fuente: Elaboración propia, datos INTA, Bahill et al., 2006.

La Tabla 3.24 las superficies ocupadas por las distintas unidades de suelos descritas anteriormente, siendo la de mayor extensión la correspondiente a los Haplustoles údicos, Mnud, representando casi un cuarto de la superficie de la cuenca.

Suelo INTA		Área (km ²)	Porcentaje (%)
Mnud	Haplustoles údicos	2592,27	24,58%
CoRT	Planos aluviales	1419,39	13,46%
Epli	Ustorthentes líticos	1383,52	13,12%
Mitc	Argiudoles típicos	1347,40	12,77%
MNtc	Haplustoles típicos	1197,63	11,35%
Eoli	Udorthentes líticos	783,29	7,43%
Mjli	Hapludoles líticos	678,76	6,43%
Mnen	Haplustoles énticos	540,69	5,13%
Aatc	Albaculfes típicos	169,54	1,61%
Mjen	Hapludoles énticos	95,16	0,90%
MAtc	Argialboles típicos	88,82	0,84%
Aemo	Natraculfes mólicos	88,77	0,84%
L	Lagunas	68,41	0,65%
MKtc	Argiustoles típicos	32,43	0,31%
Mkac	Argiustoles ácuicos	23,87	0,23%
MBtc	Natralboles típicos	22,06	0,21%
R	Rocas	15,88	0,15%
Mkud	Argiustoles údicos	0,44	0,00%
Total		10548,33	100,00%

Tabla 3.24. Superficie ocupada por cada tipo de suelo, Fuente; INTA, Bahill et al., 2006.

En conclusión, a escala regional se observa un bajo porcentaje de desarrollo de suelos en la región montañosa limitado principalmente por la alta escorrentía y baja retención del agua en el material originario, la cual es principalmente destinada a la recarga del acuífero fracturado en cuenca alta.

En planicie fluvio-eólica se diferencian bien dos sectores relacionados al basculamiento diferencial de los bloques por la neotectónica con buen desarrollo de los suelos, pero con ciertas limitantes como baja retención de humedad y climática en el sector de Pampa elevada y anegamiento en el sector de la Pampa hundida con intensificación de las problemáticas de salinidad. El acuífero en la planicie es poroso, quedando expuesta la freática en algunos sectores de lagunas, cañadas y bañados de la Pampa hundida.

3.1.2.7 Coberturas y usos del suelo

La zona en estudio, como otros sectores de la región, se encuentra profundamente modificada por las actividades agropecuarias. Desde mediados del siglo pasado, estas tierras sufrieron una sustitución de la vegetación natural (Espinal) casi total por cultivos, primero de trigo, luego de maíz y más recientemente de soja y maní. Este proceso fue acompañado de un intenso parcelamiento, siendo el estrato más representativo el de los pequeños productores, incluyendo un desplazamiento de las actividades ganaderas y que sin dudas contribuye a la intensificación de la erosión laminar y en cárcavas y la degradación química y biológica del suelo (Abril et al., 2003).

El mapa de cobertura adaptado a la cuenca en estudio, que presenta el IGN, en escala 1:250.000, Figura 3.52, donde se exhibe, en la parte alta, una predominancia de bosques, en su mayoría naturales, seguido de una zona de afloramiento rocosos, mientras que casi toda la cuenca media y baja, presenta un uso mixto del terreno (cultivos diversos como cereales, pasturas y silviculturas alternados).

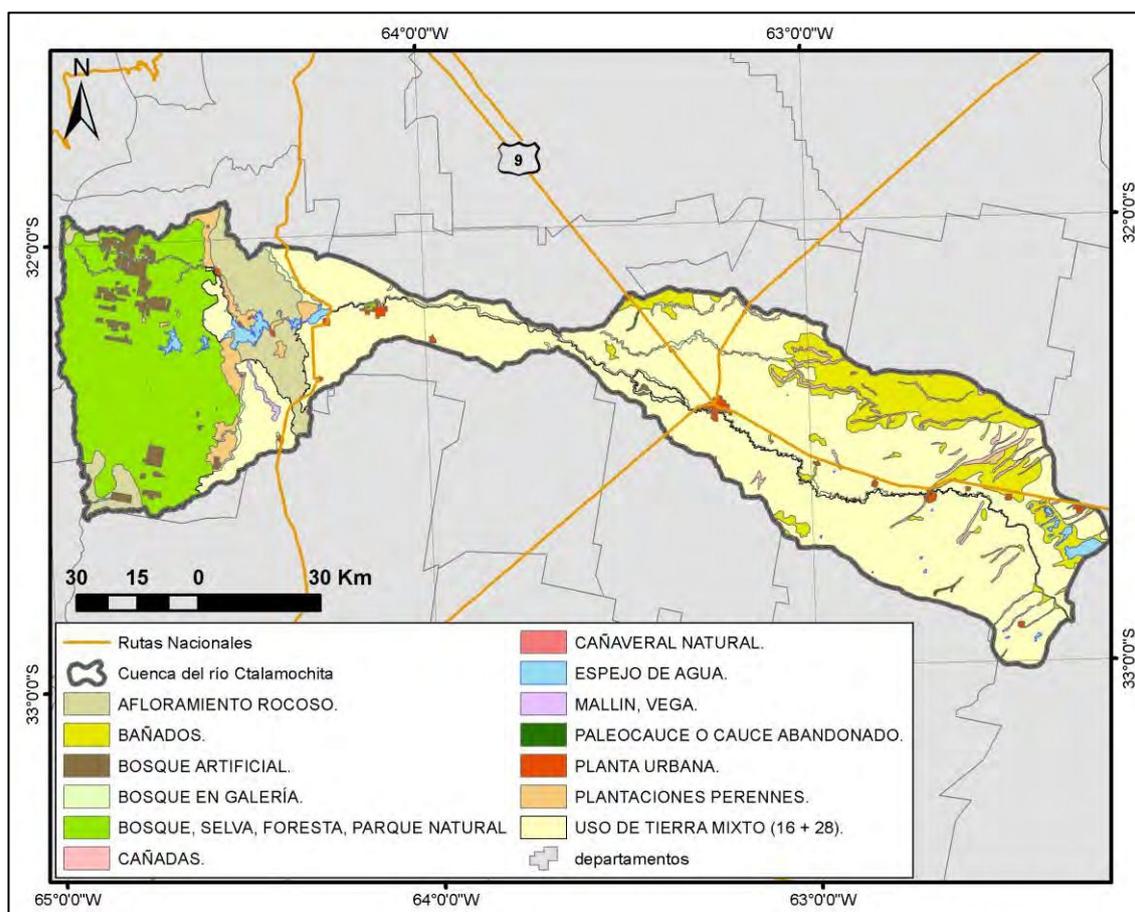


Figura 3.52. Mapa de Coberturas, uso del suelo según el IGN. Fuente: Elaboración propia, datos: IGN.

FAO también cuenta con un mapa de cobertura, la Figura 3.53 expone su distribución dentro de la cuenca en estudio, donde se exhibe, en la parte alta, una gran zona de pastizales cerrados y abiertos, junto con predominancia de arbustales cerrados, y cultivos de especies arbóreas. Mientras que casi toda la cuenca media y baja, presenta un uso mixto de cultivos herbáceas no graminoideas y, en la parte noreste, pastizales y arbustales cerrados, junto con bosques abiertos.

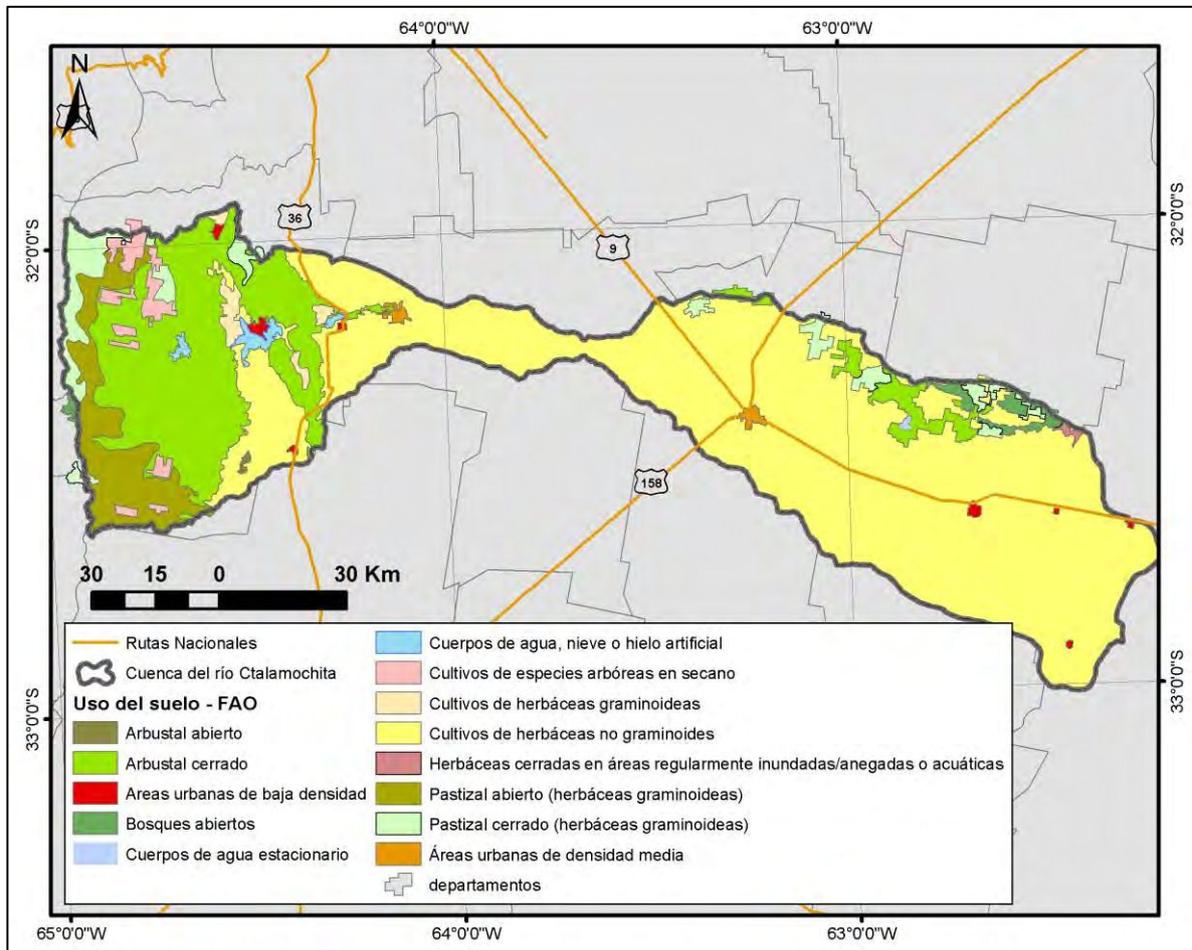


Figura 3.53. Mapa de Coberturas, uso del suelo según la FAO. Fuente: Elaboración propia, datos: FAO.

Si bien se puede apreciar una gran similitud entre ambos mapas, la FAO presenta una mayor discretización en la cuenca alta, diferenciando entre distintos tipos de cobertura arbórea y pastizales, mientras que el IGN lo hace en la parte media y baja de la cuenca, evidenciando la presencia de cañadas y bañados.

El mapa de coberturas y uso del suelo final adoptado para la cuenca en estudio se presenta a continuación en la Figura 3.54, donde se han superpuesto ambas bases de datos, de la FAO y del IGN.

Mucha de la información presentada en el mapa de cobertura adoptado para la cuenca fue cotejada con los sucesivos viajes de campo a la cuenca, donde pudieron apreciarse los arbustales y pastizales característicos de la zona serrana como también la zona de cultivos, ubicados en la parte sur de la cuenca alta.

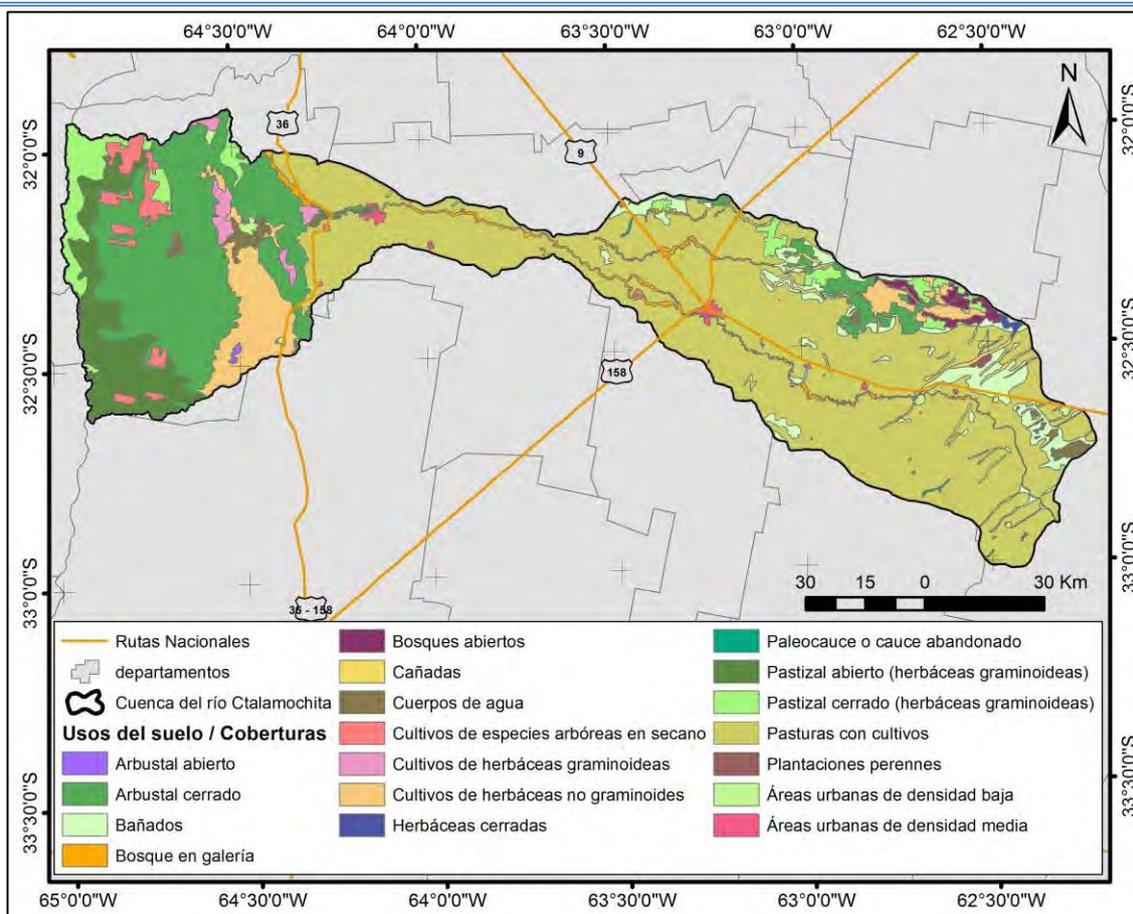


Figura 3.54. Mapa de Coberturas cuenca del río Ctalamochita, datos: IGN y FAO. Fuente: Elaboración propia.

Las recomendaciones de manejo y prácticas de conservación de suelos se describen agrupadas por zonas donde los sistemas de producción y tipos de uso de la tierra predominantes son uniformes, así como sus condiciones climáticas y edáficas (ecológicamente homogéneas). Se definen entonces, doce Zonas Ecológicas Homogéneas que proporcionan un panorama aún más sinóptico de las regiones con diferentes modalidades productivas de la Provincia.

La Figura 3.55 muestra cómo se distribuyen estas zonas en la cuenca del Ctalamochita, encontrándose las zonas 2, 7, 8 y 9 mayoritariamente y, en menor proporción, la 6. A continuación, se describen dichas zonas, según el INTA, Bahill et al., 2006:

ZONA 2: Comprende el sector serrano y se caracteriza por la presencia de microclimas que van desde la suficiente disponibilidad de agua a la semiaridez. El régimen térmico es variable, existiendo sectores con invierno y sin verano (de montaña) y otros sin invierno térmico. Los suelos predominantes son muy poco desarrollados y poco profundos, con dominio de rocas aflorantes. Solo los valles presentan suelos desarrollados. Los sistemas productivos principales son el Ganadero, en su mayoría, y agrícola, en mínima expansión.

ZONA 6: Comprende el área subhúmeda Centro-Este, con ligera deficiencia de agua (> 100 mm) y sin invierno térmico. Es una zona plana y de lomadas suavemente onduladas, siendo los suelos dominantes Molisoles con inclusiones de suelos salino-alcalinos sódicos, desarrollados sobre materiales franco-limosos. El principal uso de la tierra incluye las siguientes actividades y sistemas de producción: Tambo ganadero; Ganadero bovino y Agrícola ganadero.

ZONA 7: Constituye el sector semiárido central, con gran déficit de agua (100 a 200 mm) y con invierno térmico. Predominan suelos francos a franco-limosos vinculados a lomas suavemente onduladas. Predominantemente, la actividad productiva es Agrícola, Agrícola ganadero, Ganadero

bovino; Tambo ganadero. Si bien hay zonas con suelos agrícolas de gran importancia para la economía regional y provincial, no se reconocieron en esta área suelos de Clases I y II.

ZONA 8: Constituye el área Semiárida y Subhúmeda Central, con un déficit hídrico ligero (+/- 100 mm). Los suelos se vinculan a amplias lomadas planas, con dominio de Molisoles y algunas inclusiones de suelos salino-sódicos. Los principales sistemas de producción son el Tambo ganadero; Ganadero bovino; Agrícola ganadero; Agrícola.

ZONA 9: Constituye el área húmeda del Sudeste, sin déficit hídrico. Predominan las lomadas casi planas, con suelos bien desarrollados, bien drenados, de textura franco limosa fina. Las lomadas presentan intercalaciones de sectores bajos, donde se asocian suelos salino-sódicos. El sistema Agrícola puro es la actividad predominante en la zona. Le siguen el Agrícola ganadero; Agrícola porcino; Agrícola ganadero-agrícola; Ganadero bovino-agrícola.

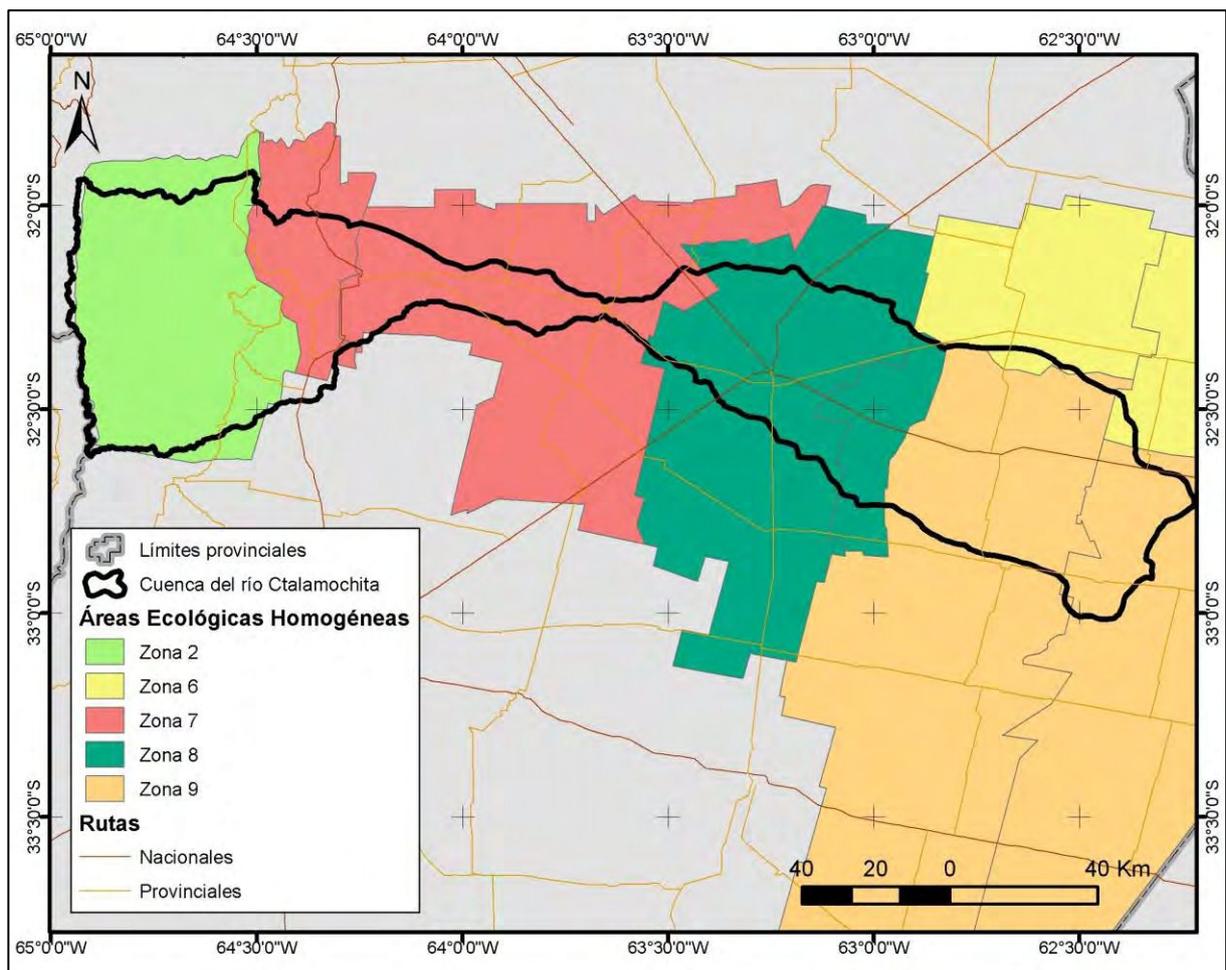


Figura 3.55. Zonas ecológicas homogéneas. Fuente: datos INTA, Bahill et al., 2006.

Para la evaluación de las tierras de la región, fundamentalmente para usos agrarios, se valoraron los efectos favorables y desfavorables de distintas actividades en un marco de producción sostenida y sin deterioro de las condiciones ambientales. La Figura 3.56 presenta las distintas clases de uso, según los tipos de suelo y sus limitantes que se encuentran en la cuenca. Hay una predominancia de Clases VII, VI y IV en la parte alta, mejorando en sectores de la parte media y baja, Clases II y III.

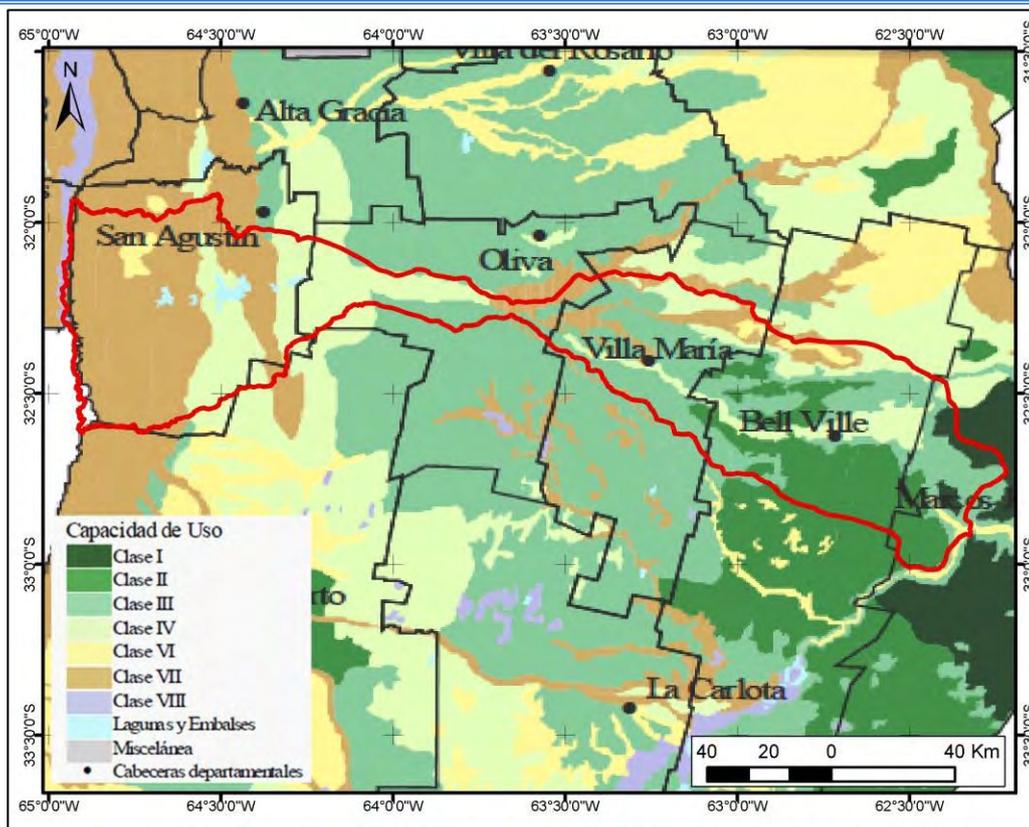


Figura 3.56. Clases de capacidades de uso de la cuenca. Fuente: INTA, Bahill et al., 2006.

A continuación, se describen las clases de suelos que se observan en la cuenca del río Ctalamochita, según el INTA, Bahill et al., 2006:

Los suelos de la Clase II ubicados en la parte baja de la cuenca presentan algunas limitaciones que exigen prácticas simples de manejo y conservación de fácil aplicación. Son adecuados para agricultura, pasturas y forestación.

En la Clase III, los suelos tienen mayores limitaciones que los de las clases anteriores, por lo que requieren prácticas de manejo y conservación más complejas; no obstante, son adecuados para cultivos, pasturas y otros usos de la tierra. Estos suelos se ubican en la parte media y baja de la cuenca, rodeando los suelos aluviales.

Los de la Clase IV tiene limitaciones más severas que la clase III, cuando están cultivados requieren prácticas de manejo y conservación más difíciles y complejas. Generalmente son adecuados para una estrecha gama de cultivos, no obstante, pueden ser utilizados para pasturas y otros usos de la tierra.

En la Clase VI, los suelos presentan graves limitaciones para el uso, resultando ineptos para los cultivos. Son apropiados como campos naturales de pastoreo, pasturas cultivadas, bosque y fauna. No se presenta en grandes cantidades, solo en pequeños sectores rodeados con suelos clase VII.

La Clase VII cuenta con suelos con muy graves limitaciones para el uso, resultando también ineptos para cultivos. Su uso queda reducido exclusivamente para pasturas cultivadas, campos naturales de pastoreo o para bosques y refugio de la fauna.

Finalmente, el sistema de valoración de la productividad de los suelos se complementó con la clasificación de tierras por su Capacidad de Uso, según el Departamento de Evaluación de Tierras (INTA-CASTELAR) que ha desarrollado fórmulas para el cálculo del Índice de Productividad (IP) a partir del Sistema Paramétrico Multiplicativo propuesto por Riquier, Bramao y Cornet, 1970, al que se han introducido una serie de modificaciones para adaptarlo a las distintas y variadas condiciones ecológicas

e información básica disponible. Para el caso particular de la Provincia de Córdoba, participaron técnicos del Plan Mapa de Suelos de dicha Provincia.

La regionalización climática de la Provincia preparada para la determinación de los IP ha significado la división del territorio basada en isolíneas de Índice Hídrico y por las isothermas medias anuales, Figura 3.57. Los valores que corresponden a cada subregión son los que figuran como referencia en el mapa.

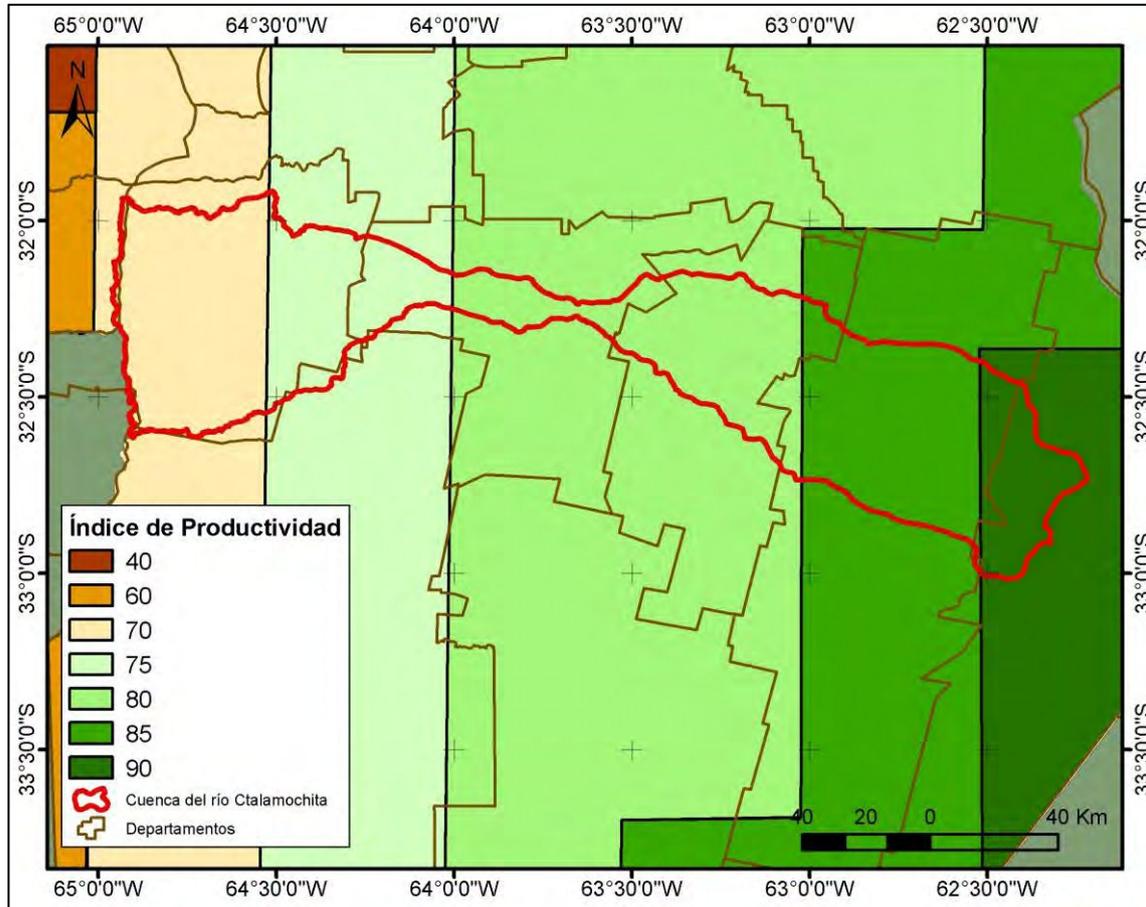


Figura 3.57. Índice de Productividad en la cuenca, año 2006. Fuente: Elaboración propia, datos INTA Córdoba.

3.2 Balance hidrológico

3.2.1 Generalidades

Tal lo explicado en el capítulo 2.3, los principales componentes del balance hídrico son la precipitación, la evapotranspiración, la infiltración y el escurrimiento, tanto el superficial como el subsuperficial.

La Carta de Suelos de la Prov. de Córdoba escala 1:500.000 (INTA, Bahill et al., 2006) define la evapotranspiración como la cantidad de agua que evapora el suelo y transpiran las plantas bajo determinadas condiciones atmosféricas y de humedad edáfica. En este proceso se distinguen dos tipos de evapotranspiración: la potencial y la real. La evapotranspiración potencial ocurre cuando la humedad edáfica se encuentra en el punto de capacidad de campo y el suelo se encuentra totalmente cubierto por una vegetación herbácea de baja altura. Cuando alguna o ambas de las condiciones precedentes no está presente se produce la evapotranspiración real. En la provincia de Córdoba, la evapotranspiración potencial estimada por el método de Penman (1948) fluctúa entre los 880 y los 1080 mm anuales. La

evapotranspiración real, estimada a través del balance hídrico, varía entre los 640 y los 800 mm anuales. Como resultado de la diferencia entre ambas evapotranspiraciones se obtiene a la deficiencia hídrica. Esta adquiere valores anuales de unos 80 mm en el área de Marcos Juárez y asciende hasta los 480 mm en Villa Dolores.

En INTA, Bahill et al., 2006, se analizaron tres localidades importantes para este trabajo Bell Ville y Villa María, dentro de la cuenca y Marcos Juárez, aguas debajo de la cuenca. Las variaciones estacionales de la precipitación, la evapotranspiración potencial y real demarcan los períodos de déficit.

En el caso de Bell Ville, Figura 3.58, hay déficit durante todo el año, exceptuando los meses de marzo y abril en los que se alcanzan a producirse pequeños excesos.

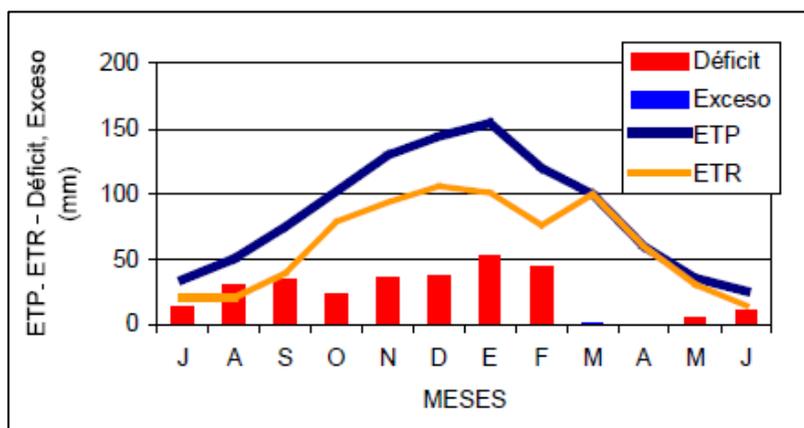


Figura 3.58. Balance hídrico climático, en Bell Ville. Fuente: INTA, Bahill et al., 2006.

Con un comportamiento similar, en el balance realizado en la ciudad de Villa María, se observa deficiencia hídrica de junio a febrero, mientras que de marzo a mayo se registraron pequeños excesos, Figura 3.59.

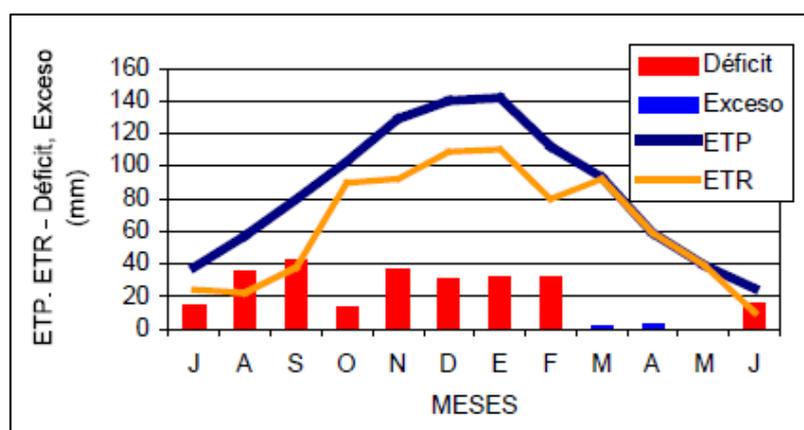


Figura 3.59. Balance hídrico climático, en Villa María. Fuente: INTA, Bahill et al., 2006.

Mientras que en Marcos Juárez los períodos de déficit ocurren durante los meses de agosto a enero, mientras que los excesos o estadias de equilibrio hídrico se produce entre los meses de febrero a julio, Figura 3.60.

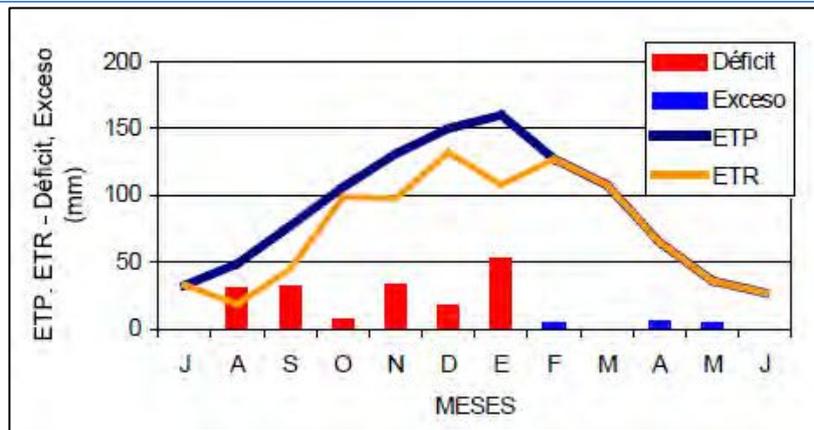


Figura 3.60. Balance hídrico climático, en Marcos Juárez. Fuente: INTA, Bahill et al., 2006.

3.2.2 Thornthwaite - Mather

El método de cálculo del balance hídrico propuesto por Thornthwaite y Mather (Thornthwaite y Mather, 1955) parte de los supuestos de que toda la precipitación es efectiva y está disponible en primer término para ser utilizada en el proceso de evapotranspiración, y que los excesos no afectan el período siguiente. A su vez, se utiliza un modelo logarítmico de extracción de agua de los suelos que limita la capacidad máxima de extracción de acuerdo al agua disponible.

Se empleó este método con los datos obtenidos en las estaciones meteorológicas: Marcos Juárez, Pilar, Villa Dolores y Río Cuarto, Figura 3.15. Dada la gran extensión de terreno que se considera y su emplea heterogeneidad, se toma como valor medio, en cada uno de los casos, una capacidad de campo de 100 mm.

El periodo estudiado, para las cuatro estaciones, es el correspondiente entre enero de 1986 y diciembre de 2015, donde no se presentaron faltantes de información. El balance realizado es del tipo modular, con valores medios mensuales.

Los valores de evapotranspiración empleados fueron los calculados por el método de Thornthwaite, con un paso de análisis diario, para que sea coherente con el método de balance empleado.

Para el caso de Marcos Juárez, Tabla 3.25 y Figura 3.61, se presenta un régimen húmedo, donde en siete meses ocurren excesos, totalizando 88,62 mm, en concordancia con los meses de mayores precipitaciones. Mientras que sólo hay cinco meses con déficit, es decir donde la evapotranspiración potencial es mayor que la real.

Mes	Ppt (mm)	T media (°C)	EP (mm/mes)	Ppt - EP (mm/mes)	Alm. (mm/mes)	V Alm. (mm/mes)	EP real (mm/mes)	Déficit (mm/mes)	Exceso (mm/mes)
					100,00				
Ene	109,06	23,74	133,42	-24,36	78,38	-21,62	130,68	-2,74	0,00
Feb	115,59	22,14	102,08	13,51	91,89	13,51	102,08	0,00	0,00
Mar	119,30	20,55	91,64	27,66	100,00	8,11	91,64	0,00	19,55
Abr	93,72	17,03	59,16	34,56	100,00	0,00	59,16	0,00	34,56
May	38,59	13,17	37,09	1,50	100,00	0,00	37,09	0,00	1,50
Jun	17,93	10,24	22,62	-4,69	95,42	-4,58	22,51	-0,11	0,00
Jul	15,64	9,27	20,79	-5,15	90,63	-4,79	20,43	-0,36	0,00
Ago	25,03	11,44	31,35	-6,33	85,07	-5,56	30,58	-0,77	0,00
Sep	40,93	14,02	45,39	-4,46	81,36	-3,71	44,64	-0,75	0,00
Oct	105,27	17,85	76,19	29,08	100,00	18,64	76,19	0,00	10,44
Nov	106,70	20,97	103,27	3,43	100,00	0,00	103,27	0,00	3,43
Dic	147,56	23,00	128,41	19,14	100,00	0,00	128,41	0,00	19,14
Anual	935,31	16,95	851,41	83,90			846,69	-4,73	88,62

Tabla 3.25. Balance hídrico T-M, Marcos Juárez.

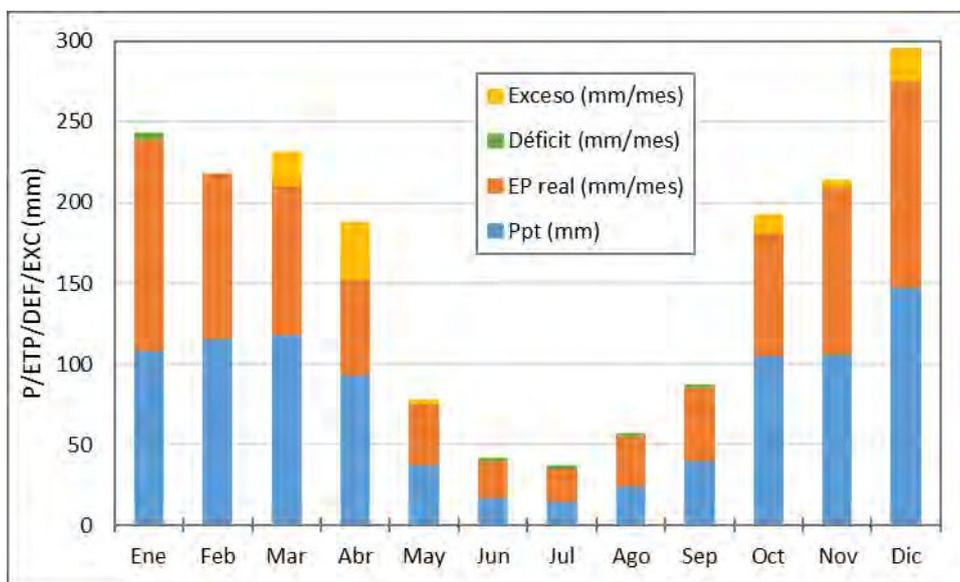


Figura 3.61. Balance hídrico T-M, Marcos Juárez. Fuente: Elaboración propia.

Pueden compararse los resultados obtenidos con los presentados en la Figura 3.60, correspondiente con el balance presentado por el INTA, Bahill et al., 2006. Se observan comportamientos claramente similares, donde en ambos análisis durante los meses febrero a mayo se producen los excesos mientras que en los meses de agosto a septiembre hay mayor déficit. Sin embargo, las pequeñas diferencias entre los resultados presentados pueden radicar en el periodo analizado de tiempo estudiado, en el paso de análisis empleado y/o en la capacidad de capacidad de campo adoptada, en cada caso.

El balance realizado con los datos obtenidos en la estación de Villa dolores, Tabla 3.26 y Figura 3.62, a diferencia con Marcos Juárez (Figura 3.61), presenta un régimen seco, deficitario, donde no ocurren excesos en ningún mes del año y la evapotranspiración potencial es siempre mayor que la real, por lo menos para este paso de análisis.

Mes	Ppt (mm)	T media (°C)	EP (mm/mes)	Ppt - EP (mm/mes)	Alm. (mm/mes)	V Alm. (mm/mes)	EP real (mm/mes)	Déficit (mm/mes)	Exceso (mm/mes)
					100,00				
Ene	110,18	25,66	151,20	-41,02	66,35	-33,65	143,83	-7,37	0,00
Feb	104,63	24,02	117,46	-12,83	58,36	-7,99	112,62	-4,84	0,00
Mar	90,85	21,92	104,15	-13,29	51,10	-7,27	98,12	-6,03	0,00
Abr	43,86	17,99	66,27	-22,40	40,84	-10,26	54,12	-12,15	0,00
May	19,76	13,84	41,46	-21,70	32,87	-7,97	27,72	-13,73	0,00
Jun	7,42	11,02	25,89	-18,47	27,33	-5,54	12,97	-12,92	0,00
Jul	11,64	10,23	25,09	-13,45	23,89	-3,44	15,08	-10,01	0,00
Ago	6,24	13,16	40,04	-33,80	17,04	-6,85	13,09	-26,95	0,00
Sep	22,78	16,20	56,24	-33,47	12,19	-4,85	27,62	-28,62	0,00
Oct	38,64	20,31	92,54	-53,90	7,11	-5,08	43,72	-48,82	0,00
Nov	76,66	22,92	117,97	-41,31	4,71	-2,41	79,07	-38,90	0,00
Dic	106,80	24,91	145,35	-38,55	3,20	-1,51	108,31	-37,04	0,00
Anual	639,45	18,52	983,64	-344,19			736,25	-247,39	0,00

Tabla 3.26. Balance hídrico T-M, Villa Dolores.

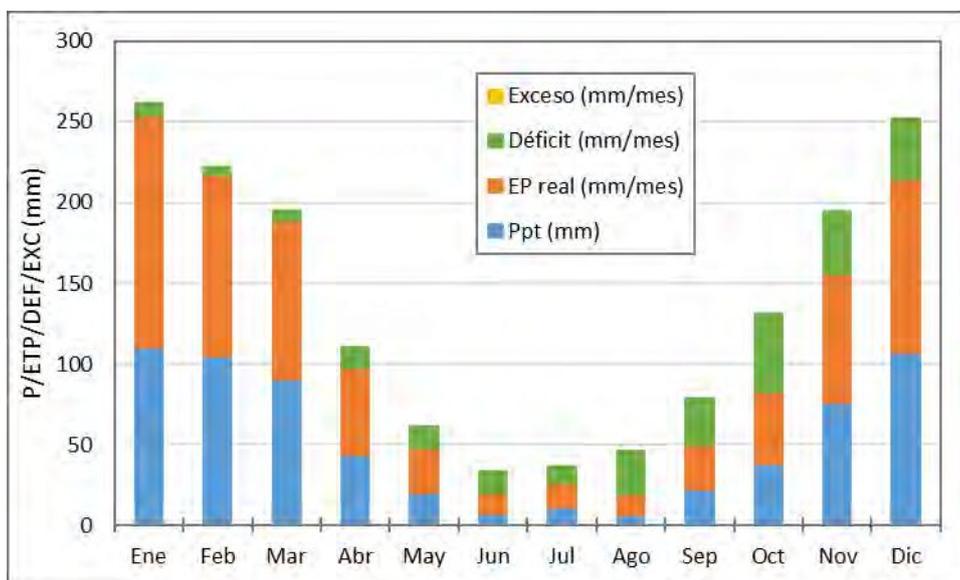


Figura 3.62. Balance hídrico T-M, Villa Dolores. Fuente: Elaboración propia.

El balance realizado para la estación de Pilar, observatorio, Tabla 3.27 y Figura 3.63, como en Villa Dolores, presenta un régimen seco, deficitario, pero ocurren escasos excesos durante el mes de marzo, en febrero hay equilibrio hídrico, en los restantes la evapotranspiración potencial es mayor que la real, por lo menos para este paso de análisis. Una situación similar, de pocos meses con excesos, a esta ocurre en Bell Ville y Villa María, Figura 3.58 y Figura 3.59, respectivamente.

Mes	Ppt (mm)	T media (°C)	EP (mm/mes)	Ppt - EP (mm/mes)	Alm. (mm/mes)	V Alm. (mm/mes)	EP real (mm/mes)	Déficit (mm/mes)	Exceso (mm/mes)
					100,00				
Ene	117,28	24,01	136,18	-18,90	82,78	-17,22	134,50	-1,68	0,00
Feb	109,86	22,37	102,50	7,36	90,14	7,36	102,50	0,00	0,00
Mar	105,79	20,66	91,35	14,44	100,00	9,86	91,35	0,00	4,58
Abr	58,78	17,41	59,26	-0,49	99,52	-0,48	59,26	0,00	0,00
May	23,73	13,63	36,50	-12,77	87,58	-11,93	35,66	-0,84	0,00
Jun	5,89	10,84	22,27	-16,38	74,35	-13,23	19,12	-3,15	0,00
Jul	10,55	9,90	20,00	-9,45	67,65	-6,70	17,25	-2,75	0,00
Ago	9,58	12,18	31,07	-21,49	54,57	-13,08	22,66	-8,41	0,00
Sep	28,75	14,84	46,73	-17,98	45,59	-8,98	37,73	-9,00	0,00
Oct	76,83	18,53	78,43	-1,60	44,86	-0,72	77,55	-0,88	0,00
Nov	99,87	21,28	104,31	-4,44	42,92	-1,95	101,82	-2,49	0,00
Dic	127,13	23,36	131,41	-4,28	41,12	-1,80	128,93	-2,48	0,00
Anual	774,04	17,42	860,01	-85,96			828,34	-31,66	4,58

Tabla 3.27. Balance hídrico T-M, Pilar.

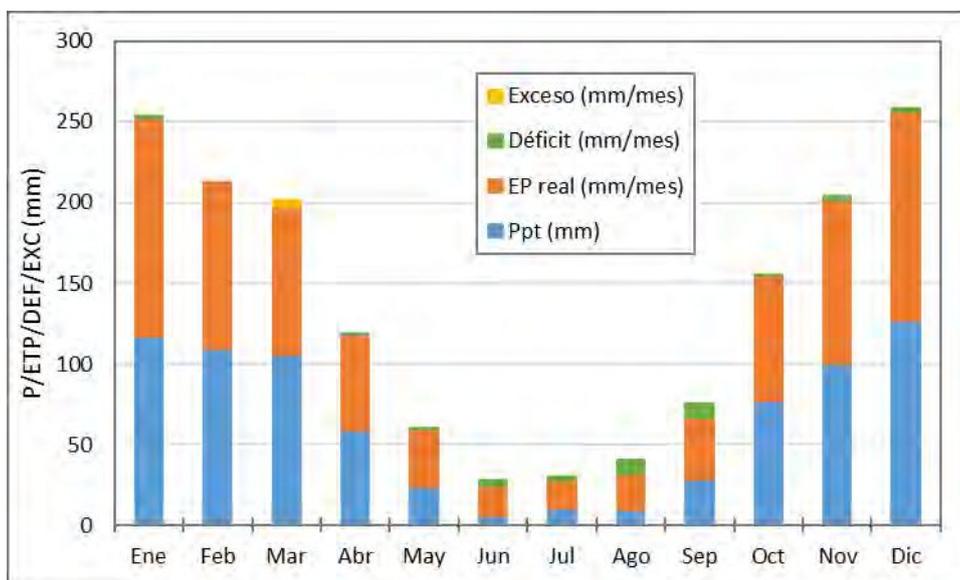


Figura 3.63. Balance hídrico T-M, Pilar. Fuente: Elaboración propia.

Para el caso de Río cuarto, Tabla 3.28 y Figura 3.64, se observa un régimen normal, donde ocurren excesos durante seis meses del año, mientras que los restantes son deficitarios, donde los valores de evapotranspiración potencial son levemente mayores a los de evapotranspiración real.

Mes	Ppt (mm)	T media (°C)	EP (mm/mes)	Ppt - EP (mm/mes)	Alm. (mm/mes)	V Alm. (mm/mes)	EP real (mm/mes)	Déficit (mm/mes)	Exceso (mm/mes)
					100,00				
Ene	132,58	23,16	123,97	8,62	100,00	0,00	123,97	0,00	8,62
Feb	105,16	21,77	99,29	5,87	100,00	0,00	99,29	0,00	5,87
Mar	108,77	19,98	88,26	20,51	100,00	0,00	88,26	0,00	20,51
Abr	64,77	16,46	56,07	8,70	100,00	0,00	56,07	0,00	8,70
May	30,43	12,66	34,33	-3,90	96,17	-3,83	34,26	-0,08	0,00
Jun	6,89	9,90	20,91	-14,02	83,59	-12,58	19,47	-1,44	0,00
Jul	10,14	9,02	18,86	-8,72	76,61	-6,98	17,12	-1,74	0,00
Ago	12,79	11,17	29,14	-16,35	65,05	-11,55	24,35	-4,79	0,00
Sep	41,84	13,77	43,89	-2,05	63,73	-1,32	43,16	-0,73	0,00
Oct	81,40	17,34	72,86	8,54	72,28	8,54	72,86	0,00	0,00
Nov	126,75	20,26	98,04	28,71	100,00	27,72	98,04	0,00	0,99
Dic	134,03	22,43	124,25	9,78	100,00	0,00	124,25	0,00	9,78
Anual	855,55	16,49	809,86	45,68			801,08	-8,78	54,46

Tabla 3.28. Balance hídrico T-M, Río Cuarto.

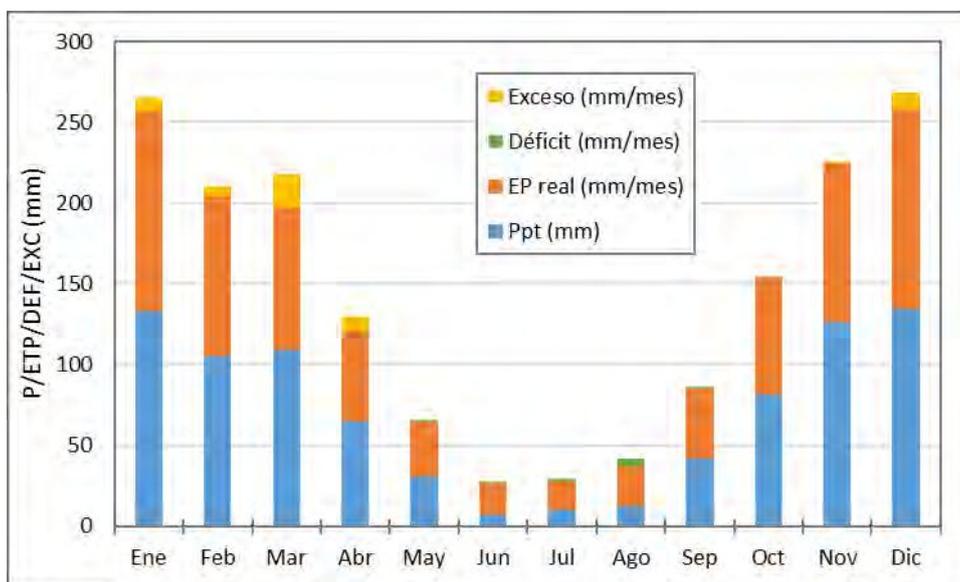


Figura 3.64. Balance hídrico T-M, Río Cuarto. Fuente: Elaboración propia.

3.2.3 Balance energético

El análisis se realizó para el año 2014, dado que es el mismo año para el cual se ejecutó la modelación y en el que se registraron las precipitaciones que generaron importantes inundaciones.

Los días empleados para el análisis de la fracción evaporativa (FE), uno por cada mes, fueron seleccionadas según la nubosidad, eligiendo aquellos que presentaban imágenes que permitían tener una mejor visión de la zona estudiada, es decir, una menor cantidad de interferencias. Los productos MODIS se descargaron para las fechas presentadas en la Tabla 3.29.

Mes	Fecha analizada
Enero	05/01/2014
Febrero	08/02/2014
Marzo	20/03/2014
Abril	15/04/2014
Mayo	26/05/2014
Junio	03/06/2014
Julio	19/07/2014
Agosto	18/08/2014
Septiembre	12/09/2014
Octubre	13/10/2014
Noviembre	15/11/2014
Diciembre	23/12/2014

Tabla 3.29. Fechas de las imágenes satelitales utilizadas.

Durante todo el mes de febrero, la nubosidad presente en la imagen satelital registrada fue muy alta, incluso el día elegido para el estudio, el 8, presenta una gran cantidad de interferencias, por este motivo, se obtendrán valores no tan elevados como los esperados.

Inicialmente, mediante la ecuación (21), se determinó el índice de vegetación mejorado, EVI, para todos los meses, que permite apreciar la variación estacional del estado en que se encuentra la vegetación, representado en las Figuras 2.1 a 2.12 del Anexo IV.

Luego, con la ecuación (22), se determinó el índice satelital de estrés hídrico, TDVI, los resultados obtenidos mes a mes se presentan en las figuras 3.1 a 3.12, del Anexo IV.

Posteriormente, se determinó la fracción evaporativa (FE) mediante la ecuación (22), siguiendo el procedimiento descrito en la metodología (Capítulo 2.2.3). Las imágenes ráster obtenidas para los meses de febrero y julio se muestran a continuación en la Figura 3.65 y Figura 3.66, mientras que las restantes obtenidas mes a mes se presentan en las Figuras 4.1 a 4.12, del Anexo IV.

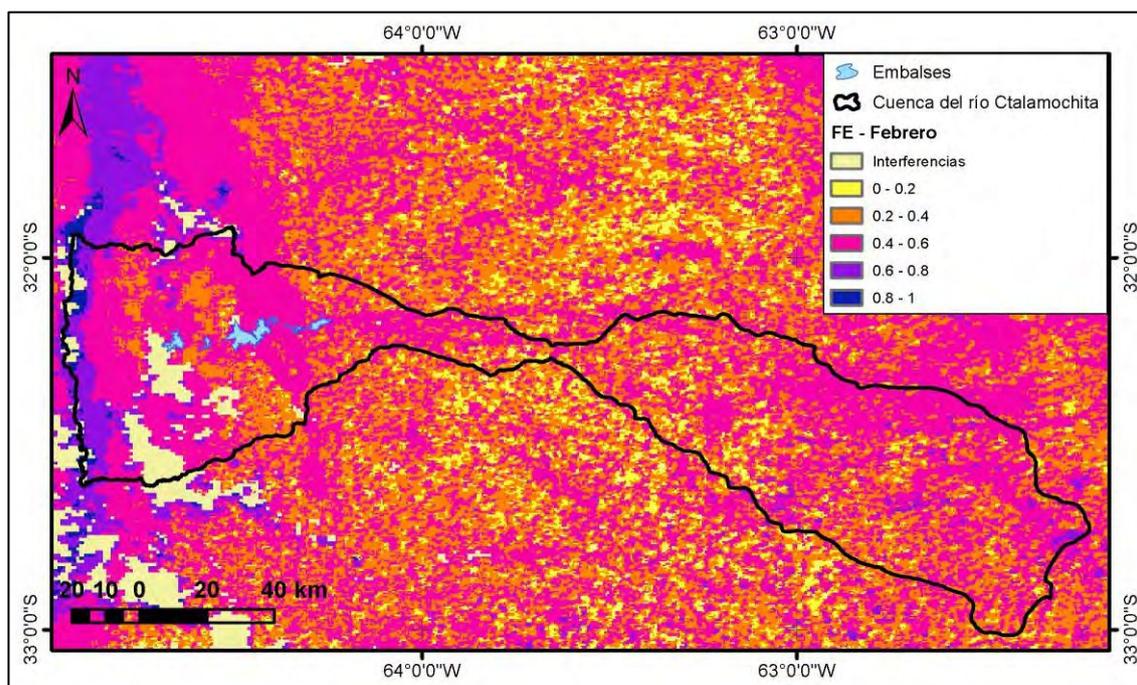


Figura 3.65. Fracción evaporativa calculada para el mes de febrero de 2014. Fuente: Elaboración propia.

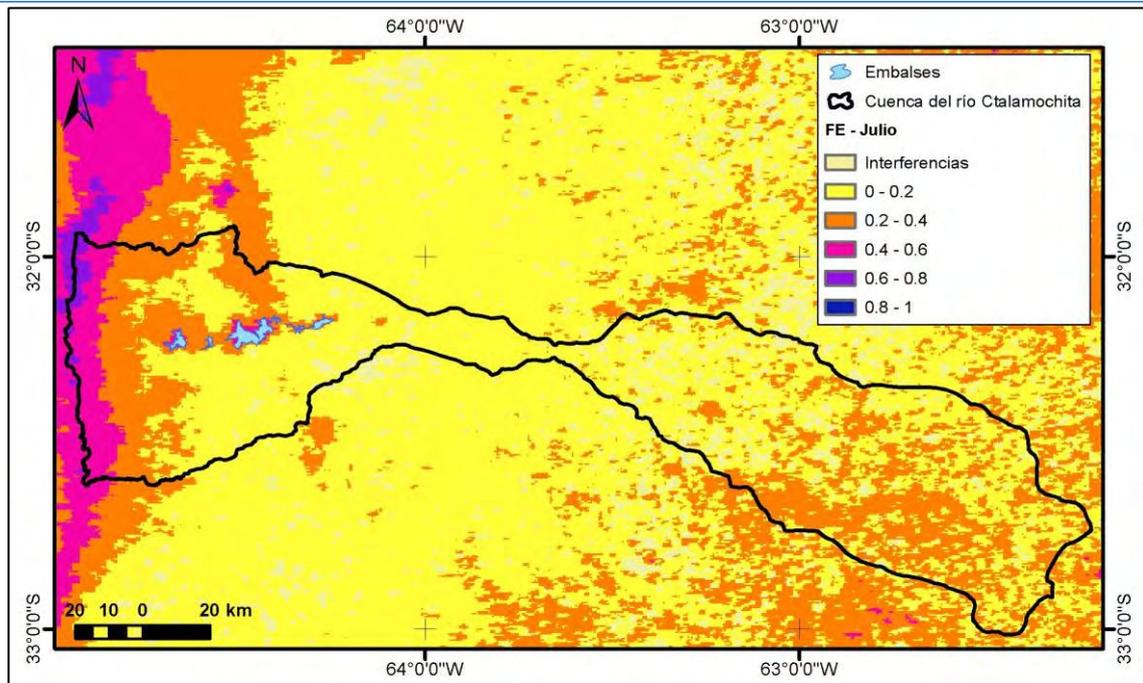


Figura 3.66. Fracción evaporativa calculada para el mes de julio de 2014. Fuente: Elaboración propia.

Para la determinación de la evapotranspiración real se tomó como punto de partida el promedio de los valores de evapotranspiración de referencia o potencial (ETP) media mensual calculados, la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, con los cuales se armaron doce imágenes ráster, presentadas en las Figuras AIV 1.1 a 1.12, del Anexo IV.

Finalmente, se empleó la ecuación (25) y se obtuvieron los productos ráster de evapotranspiración real, ETR, presentados en las Figuras AIV 5.1 a 5.12, del Anexo IV. En las Figura 3.67 y Figura 3.68 se exhiben los resultados obtenidos para los meses de febrero y julio.

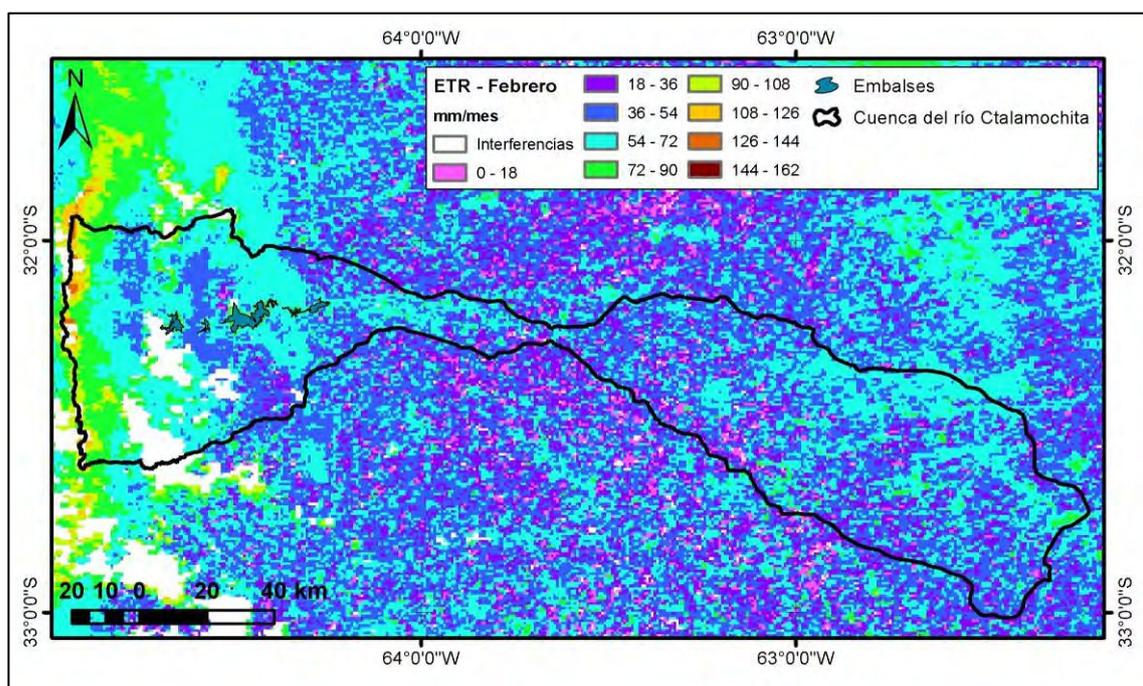


Figura 3.67. Evapotranspiración real, febrero de 2014. Fuente: Elaboración propia.

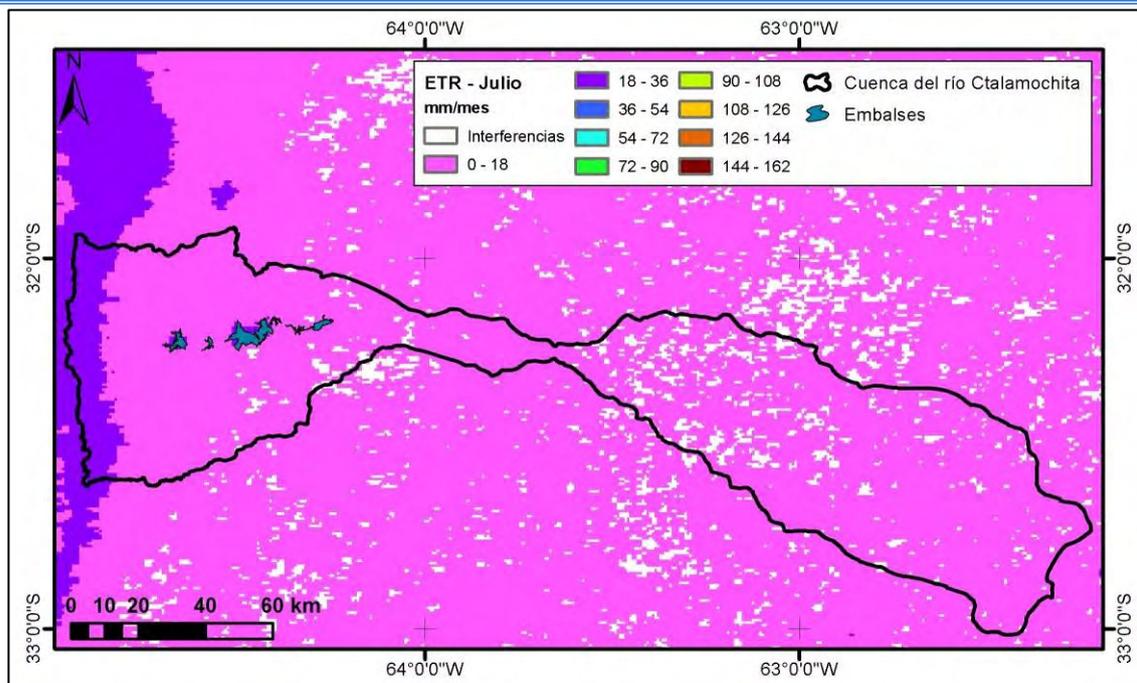


Figura 3.68. Evapotranspiración real, julio de 2014. Fuente: Elaboración propia.

Los valores medios obtenidos con esta operación, empleando el software ArcMap 10.1, mes a mes, en cada subcuenca o zona de aporte, se presentan en la Tabla 3.30.

Subcuenca	ETR promedio mm/mes											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Arroyo Amboy	87,7	54,6	55,9	47,0	11,3	13,9	9,7	13,7	51,9	39,0	92,0	118,1
Arroyo de Lutti	84,9	39,6	54,1	43,9	12,7	15,0	10,3	14,8	50,1	41,0	88,2	117,3
Arroyo San Antonio	70,5	27,6	49,2	39,4	8,3	9,8	6,8	10,3	41,2	34,5	62,2	92,2
Arroyo Soconcho	82,3	55,3	56,3	46,8	13,5	14,8	6,3	12,9	47,6	36,3	73,3	101,5
Aporte Arroyo Corto	86,8	56,0	60,9	47,1	10,7	14,1	11,3	15,4	52,1	41,4	81,8	108,0
Aporte Cerro Pelado	105,5	56,7	64,6	54,6	16,4	21,2	15,2	22,4	60,5	48,7	110,2	135,1
Aporte Ing, Cassaouth	96,3	65,5	64,9	53,6	13,0	15,3	11,7	19,0	57,5	46,1	90,9	125,0
Aporte Ing. Reolín	73,9	60,0	59,0	47,1	10,7	12,1	7,6	13,2	49,2	40,0	70,1	103,6
Aporte piedras moras	75,2	59,4	56,6	44,7	12,6	12,3	5,8	12,8	44,6	37,9	62,2	95,1
Aporte Río Tercero	87,7	54,2	53,1	49,1	15,1	17,2	8,0	15,1	48,9	42,7	64,9	99,4
Cuenca Media Baja	102,0	48,0	43,5	49,8	12,1	20,5	5,6	14,3	30,9	31,8	47,2	88,5
Río de la Cruz	83,0	40,3	52,0	43,9	11,9	15,0	7,1	13,6	46,2	38,5	75,9	108,3
Río Grande	100,9	66,7	71,0	55,5	20,2	20,3	18,1	24,3	64,8	52,4	115,5	142,7
Río Quillinzo	94,6	56,3	61,9	50,7	16,8	19,1	14,0	19,8	59,2	47,4	94,5	126,8
Río Santa Rosa	96,9	60,9	63,0	51,6	14,3	17,1	12,3	18,7	56,8	44,6	102,6	129,7

Tabla 3.30. Valores de ETR por mes en cada cuenca, para el año 2014.

Las imágenes muestran que los valores mayores se producen en las zonas de mayor altitud, parte serrana alta, donde las precipitaciones son considerablemente mayores dejando una gran cantidad de agua disponible para su evapotranspiración. De igual manera, los valores son máximos en las superficies de agua libre, lagos, embalses, lagunas y cuerpos de agua menores.

El estudio del comportamiento de la evapotranspiración (como flujo de calor latente) para los escenarios propuestos, mes a mes, permite concluir que durante los meses cálidos será superior que durante periodo invernal. Es importante apreciar cómo es su variación con la altura y la presencia de humedad superficial, con las que se correlaciona en forma directa.

3.2.3.1 Relación entre precipitación y evapotranspiración real

De la ecuación (17) de balance de hídrico de masa ya se conocen entonces los valores de evapotranspiración real y precipitación, por lo que ahora puede hacerse un análisis interrelacionado de las restantes variables intervinientes. Para la precipitación se emplearon los registros obtenidos en las estaciones meteorológicas distribuidas en la zona, empleando las definidas para cada subcuenca o zona de aporte, para las fechas estudiadas, con paso mensual.

Las Figura 3.69 y Figura 3.70 muestran la diferencia entre las precipitaciones y evapotranspiración, para los meses de febrero y de julio, respectivamente. El análisis realizado para los restantes meses del año se presenta en el apartado 6, del Anexo IV.

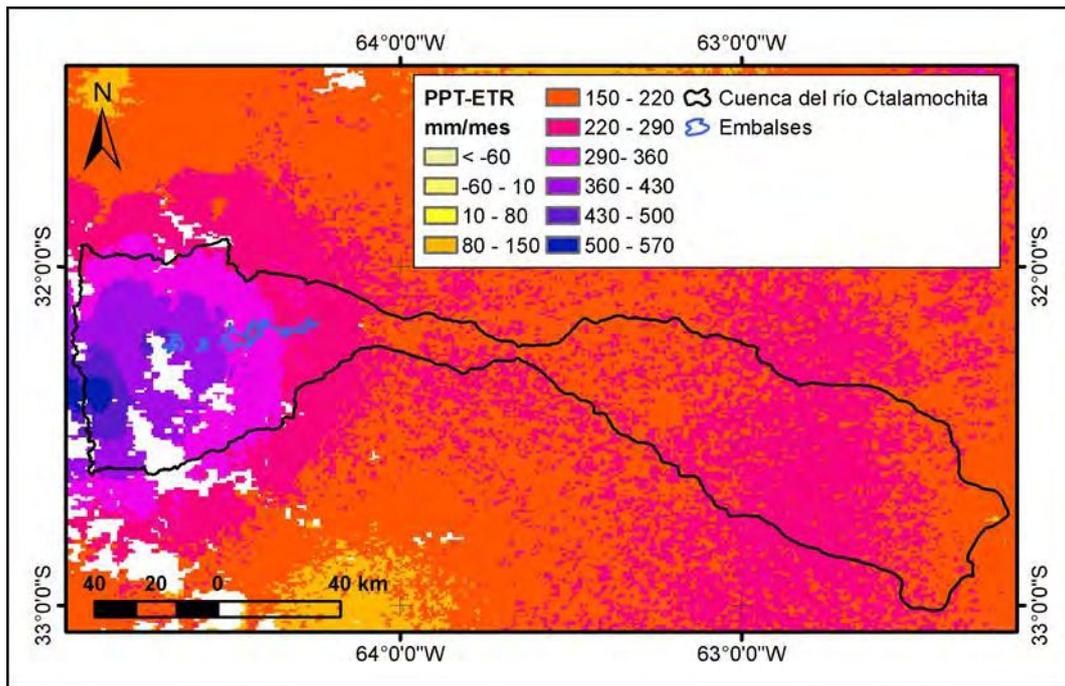


Figura 3.69. PPT-ETR para febrero de 2014. Fuente: Elaboración propia

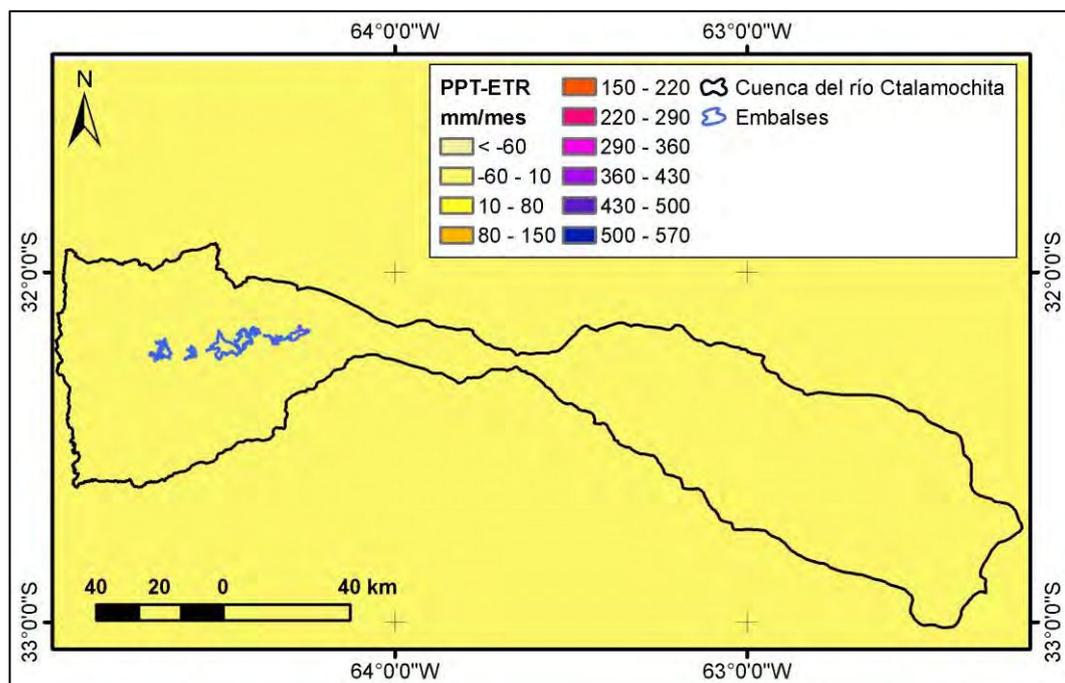


Figura 3.70. PPT-ETR para julio de 2014. Fuente: Elaboración propia.

Un análisis comparativo geoespacial permite observar las distintas zonas de posible recarga, representando zonas más positivas, donde los ríos y arroyos tienen un comportamiento perdedor, en los distintos meses del año.

Los valores positivos representan la existencia de humedad en la superficie pese a la ocurrencia de los procesos de evapotranspiración. Esta humedad puede representarse en los cauces, cuerpos de agua y bajos, en zonas con densa vegetación, escurrimiento superficial (dentro de la cuenca) o simplemente humedad en los vacíos del mismo suelo.

Representan entonces los valores positivos, el agua que ingresa al suelo, como una entrada de agua al volumen de control. La misma puede llenar los vacíos de suelo, satisfaciendo la capacidad de campo (ΔS) y, una vez completa, recargando el acuífero (I).

En cambio, los valores negativos representan la pérdida de humedad por parte del suelo y la vegetación, siendo esta el agua que sale del volumen de control. Esa humedad puede representarse tanto como agua superficial, agua capilar o nieve, según el caso y la zona que se analice.

3.3 Modelización hidrológica

3.3.1 Método del Número de curva

3.3.1.1 Determinación del Número de curva

El método requiere, inicialmente, una clasificación de los suelos según los cuatro grupos hidrológicos, tabulados en la Tabla 2.1, considerando su textura. Dadas las diferentes características y tipologías de los suelos se encuentran tres grupos hidrológicos dentro de la cuenca: A, B y C. La Tabla 3.31 presenta los grupos hidrológicos adoptados para los tipos de suelos (descriptos en el apartado 3.1.2.6) presentes en la cuenca en estudio. Donde L significa lagunas (cuerpos de agua) y R rocas, afloraciones rocosas.

Suelo INTA	Área (km ²)	Porcentaje del total	Limo %	Arena muy fina %	Arcilla %	Clase textural	Grupo hidrológico
AAtc-9	169,5	1,6	69,5	12,0	16,5	franco limosa	B
AEmo-3	88,77	0,84	69,7	11,7	16,7	franco limosa	B
CoRT1	722,2	6,8	74,0	21,0	5,0	franco limosa	B
CoRT2	697,2	6,6	15,5	67	17,5	franco arenosa	A
MNtc-2	1042,0	9,9	28,75	55,5	15,75	franco arenosa	A
MNud-3	957,0	9,1	58,37	19,15	22,33	franco limosa	B
MNud-17	942,1	8,9	58,37	19,15	22,33	franco limosa	B
EPLi-23	855,1	8,1	22,00	34,00	12,10	franco arenosa	A
EOli-2	783,3	7,4	21,10	5,00	3,10	franco arenosa	A
MItc-5	690,2	6,5	56,15	15,05	27,00	franco limosa	B
MJli-6	603,6	5,7	26,15	5,65	20,10	franco arenosa	A
MItc-49	488,6	4,6	62,53	7,93	28,90	franco limosa	B
MNud-22	434,5	4,1	58,37	19,15	22,33	franco limosa	B
EPLi-17	434,3	4,1	22,00	34,00	12,1	franca	B
MNen-4	370,6	3,5	69,90	14,45	15,20	franco limosa	B
MNtc-27	155,6	1,5	20,20	61,75	7,40	franco arenosa	A
MNud-20	149,9	1,4	58,37	19,15	22,33	franco limosa	B
MItc-1	117,3	1,1	62,53	7,93	28,90	franco arcillo limosa	C
MNud-4	108,8	1,0	58,37	19,15	22,33	franco limosa	B
MJen-32	95,2	0,9	15,00	18,10	7,40	franco arenosa	A
EPLi-9	94,0	0,9	22,00	34,00	12,10	franco arenosa	A
MNen-10	89,7	0,9	56,00	23,90	15,30	franco limosa	B
MAtc-3	88,8	0,8	66,47	7,03	27,10	franco limosa	B
MNen-6	80,5	0,8	69,90	14,45	15,20	franco limosa	B
L	68,4	0,6					-
MJli-5	61,7	0,6	14,00	8,45	7,20	franco arenosa	A
MItc-45	51,4	0,5	62,53	7,93	28,90	franco limosa	B
MKac-5	23,9	0,2	61,35	9,15	20,25	franco -franco limosa	B
MBtc-7	20,5	0,2	59,43	20,57	19,27	franco limosa	B
MKtc-2	17,0	0,2	57,65	4,25	35,45	franco arcillo limosa	C
R	15,9	0,2					-
MKtc-13	15,4	0,1	57,65	4,25	35,45	franca	B
MJli-7	13,5	0,1	26,15	5,65	20,10	franco arenosa	A
MBtc-18	1,5	0,0	65,70	0,70	28,73	franco limosa	B
MKud-28	0,4	0,0	66,45	5,90	27,00	franco limosa	B

Tabla 3.31. Grupos hidrológicos según tipo de suelos y textura.

La Figura 3.71 presenta la distribución espacial dentro de la cuenca de los grupos hidrológicos definidos en la Tabla 3.31. Puede observarse que, en la parte alta de la cuenca, predominan suelos del grupo hidrológico A, la cuenca media se encuentra repartida entre los tres grupos y en la baja predominan los suelos del grupo B. La superficie ocupada por los suelos perteneciente al grupo hidrológico C, es muy pequeña en comparación con los otros grupos y se encuentra en la parte más baja de la cuenca y un poco en la parte límite de separación de entre la cuenca alta y la media.

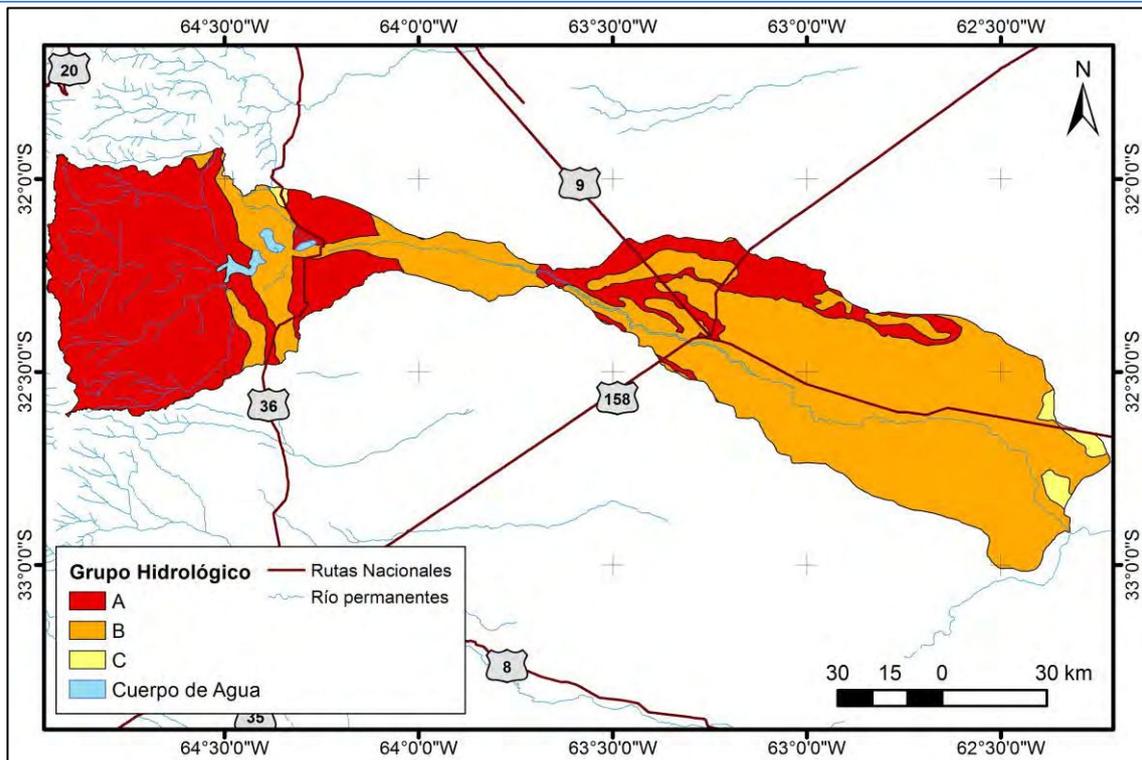


Figura 3.71. Grupos hidrológicos en la cuenca del Ctalamochita. Fuente: Elaboración propia.

A partir de la información sobre uso del suelo y coberturas, Figura 3.54, y considerando los valores tabulados en la bibliografía (Gaspari et al., 2010), se determinaron los números de curva (NC) para cada complejo suelo (grupo hidrológico) – vegetación (uso del suelo-cobertura), definiendo los valores obtenidos en la Tabla 3.32.

Tipo de Cobertura o Uso del suelo	NC según GH		
	A	B	C
Arbustal abierto	57	73	82
Arbustal cerrado	43	65	76
Áreas urbanas de baja densidad	54	70	80
Áreas urbanas de densidad media	59	74	82
Bañados	30	48	65
Bosque en galería	45	66	77
Bosques abiertos	36	60	73
Cañadas	48	67	77
Cuerpos de agua	0	0	0
Cultivos de especies arbóreas	30	55	70
Cultivos de herbáceas graminoideas	64	75	82
Cultivos de herbáceas no graminoideas	60	72	80
Herbáceas cerradas	68	79	86
Paleocauce o cauce abandonado	49	69	79
Pastizal abierto	49	69	79
Pastizal cerrado	39	61	74
Plantaciones Perennes	30	58	71
Pasturas con cultivos	58	72	81

Tabla 3.32. Número de curva según los usos del suelo y los grupos hidrológicos

Finalmente, el mapa de aptitud edáfico – vegetal, para procesar el Número de Curva (NC), presentado en la Figura 3.72, se realiza por medio de una tabulación cruzada entre el mapa de Grupos Hidrológicos (GH) y el mapa de uso de suelo.

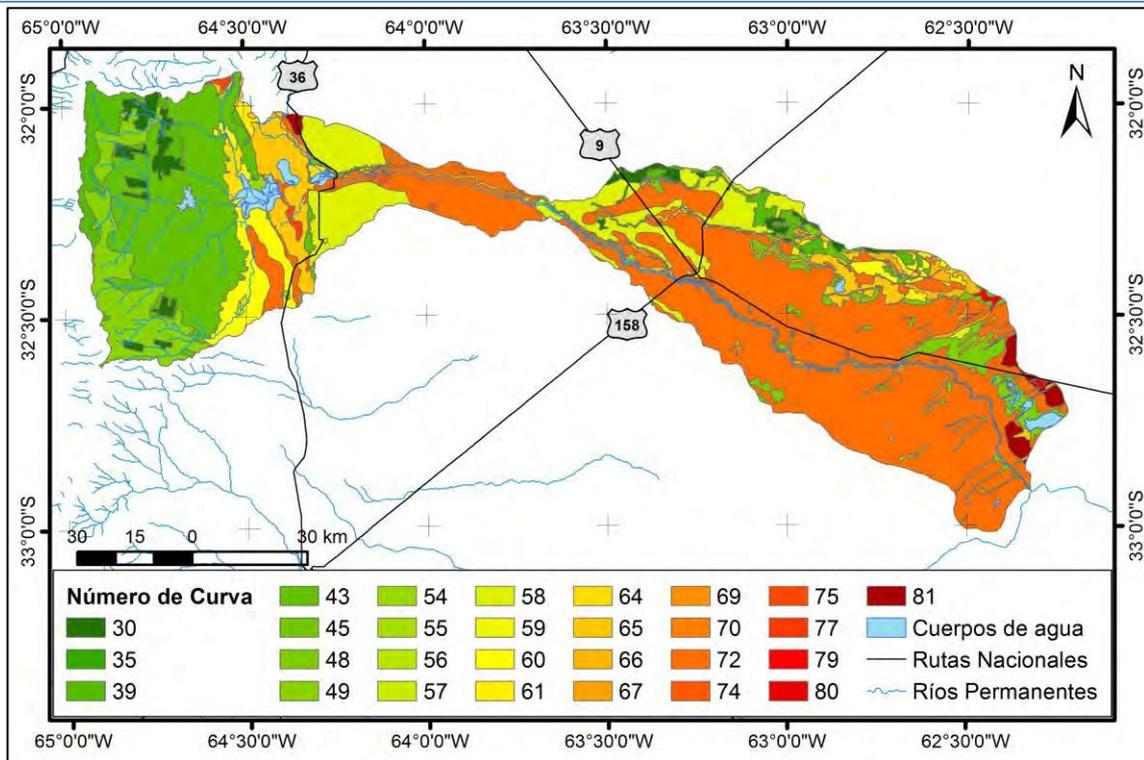


Figura 3.72. Números de curva en la cuenca. Fuente: Elaboración propia.

A partir de estos datos, empleando el software ArcGis 10.1, se realizó el cálculo del número de curva ponderado según la superficie ocupada, para cada subcuenca. Los valores obtenidos se presentan en la Tabla 3.33, mientras que en la Figura 3.73 donde también se observan los valores correspondientes a las zonas de aporte de cada embalse.

Subcuenca / Zona de aporte a embalses	Superficie		Curva Número
	km2	ha	
Río Santa Rosa	715,7	71.573,5	43,8
Río Grande	637,4	63.739,5	43,3
Río Quillinzo	615,8	61.575,3	45,3
Río De La Cruz	517,7	51.769,0	48,9
Arroyo Soconcho	243,7	24.374,2	62,7
Arroyo De Lutti	74,1	7.413,5	43,3
Arroyo San Antonio	37,9	3.792,6	43,0
Arroyo Amboy	107,0	10.700,8	43,7
Cuenca media-baja	6749,0	674.904,7	66,7
Arroyo Corto	67,5	6.754,1	42,4
Río Tercero	460,1	46.007,6	53,1
Cerro Pelado	71,0	7.102,7	40,1
Piedras Moras	135,8	13.579,8	56,8
Ing. Reolín	125,6	12.563,6	57,4
Ing. Cassafousth	14,9	1.487,9	42,4

Tabla 3.33. Números de curva ponderados por subcuenca.

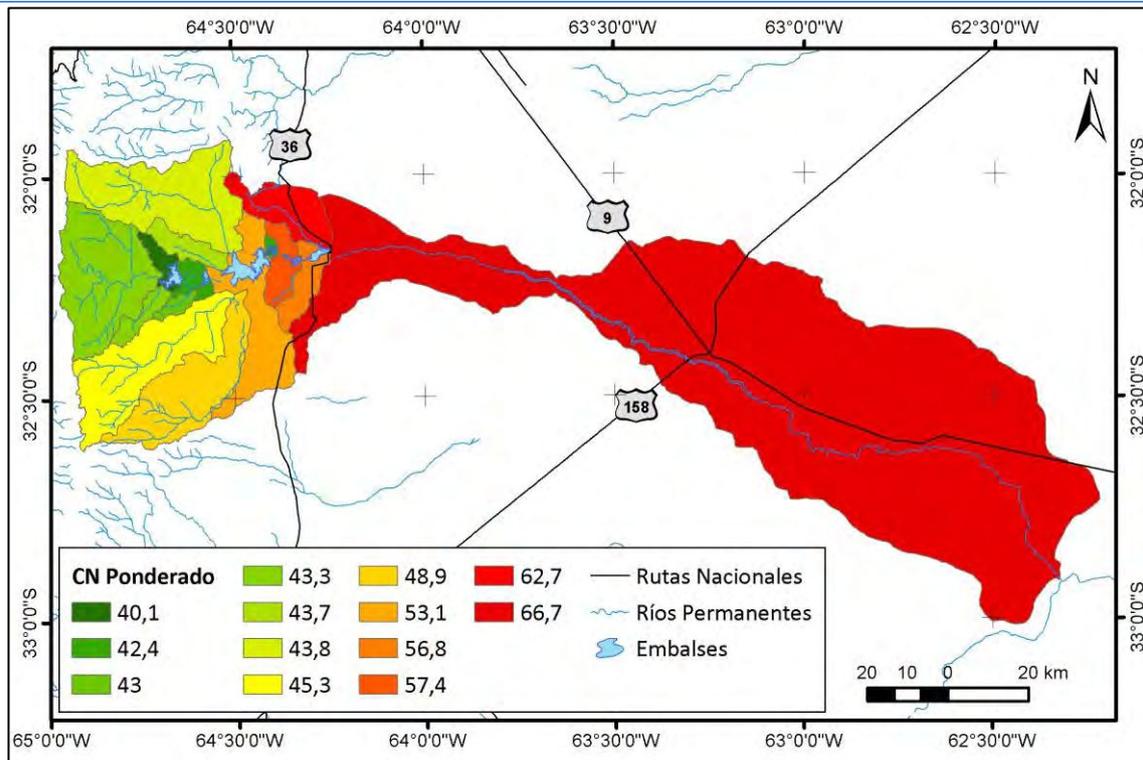


Figura 3.73. Números de curva ponderados para cada subcuenca. Fuente: Elaboración propia.

3.3.1.2 Análisis de evento

Para el análisis de evento se consideran los valores de precipitación registrados en la estación meteorológica Tres Árboles, presentados en la Figura 3.22., dado que ese evento es el que generó importantes inundaciones en toda la cuenca.

Dada la proximidad y similitud entre las subcuencas y zonas de aporte de la cuenca alta se planteó una media ponderada de los valores de NC presentados en la Tabla 3.33, exceptuando al correspondiente a la cuenca media-baja. El valor obtenido de NC ponderado fue de 46,43, donde las pérdidas iniciales (I_0) fueron determinadas en 58,61 mm, calculadas a partir de la retención potencial máxima (S) de 293,05 mm.

Como se ha mencionado, del total de agua de lluvia que cae sobre la superficie de un terreno, una parte se evapora, otra discurre por la superficie (escurrimiento) y otra penetra en el terreno (infiltración, F), el escurrimiento comienza una vez superado el umbral de escorrentía (I_0).

El análisis horario se presenta en la Tabla 3.34, donde se observan los valores acumulados y los determinados para cada intervalo.

Tiempo (hs)	Precipitación acumulada (mm)	Precipitación Intervalo (mm)	Abstracciones iniciales I_0 (mm)	I_0 intervalo (mm)	Q Escorrentía (mm)	Q intervalo (mm)	Pérdidas (mm)	F Infiltración acumulada (mm)	F intervalo (mm)
1	12,0	12,0	12,0	12,0	0,00	0,00	12,00	0,00	0,00
2	16,0	4,0	16,0	4,0	0,00	0,00	4,00	0,00	0,00
3	17,0	1,0	17,0	1,0	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00
4	19,0	2,0	19,0	2,0	0,00	0,00	2,00	0,00	0,00
5	28,0	9,0	28,0	9,0	0,00	0,00	9,00	0,00	0,00
6	36,0	8,0	36,0	8,0	0,00	0,00	8,00	0,00	0,00
7	49,0	13,0	49,0	13,0	0,00	0,00	13,00	0,00	0,00
8	60,0	11,0	58,6	9,6	0,01	0,01	10,99	1,38	1,38
9	67,0	7,0	58,6	0,0	0,23	0,23	6,77	8,16	6,77
10	73,0	6,0	58,6	0,0	0,67	0,44	5,56	13,72	5,56
11	87,0	14,0	58,6	0,0	2,51	1,83	12,17	25,88	12,17
12	94,0	7,0	58,6	0,0	3,81	1,31	5,69	31,58	5,69
13	107,0	13,0	58,6	0,0	6,86	3,04	9,96	41,53	9,96
14	114,0	7,0	58,6	0,0	8,81	1,95	5,05	46,59	5,05
15	120,0	6,0	58,6	0,0	10,63	1,83	4,17	50,76	4,17
16	125,0	5,0	58,6	0,0	12,26	1,63	3,37	54,13	3,37
17	128,0	3,0	58,6	0,0	13,29	1,02	1,98	56,11	1,98
18	131,0	3,0	58,6	0,0	14,34	1,05	1,95	58,05	1,95
19	134,0	3,0	58,6	0,0	15,43	1,09	1,91	59,96	1,91
20	135,0	1,0	58,6	0,0	15,80	0,37	0,63	60,59	0,63
21	140,0	5,0	58,6	0,0	17,69	1,90	3,10	63,70	3,10
22	145,0	5,0	58,6	0,0	19,67	1,98	3,02	66,72	3,02
23	162,0	17,0	58,6	0,0	26,96	7,29	9,71	76,43	9,71
24	181,0	19,0	58,6	0,0	36,06	9,09	9,91	86,33	9,91
25	198,0	17,0	58,6	0,0	44,93	8,87	8,13	94,46	8,13
26	202,0	4,0	58,6	0,0	47,11	2,18	1,82	96,28	1,82
27	206,0	4,0	58,6	0,0	49,32	2,21	1,79	98,07	1,79
28	211,0	5,0	58,6	0,0	52,14	2,81	2,19	100,26	2,19
29	213,0	2,0	58,6	0,0	53,27	1,14	0,86	101,12	0,86
30	215,0	2,0	58,6	0,0	54,42	1,15	0,85	101,97	0,85
31	216,0	1,0	58,6	0,0	55,00	0,58	0,42	102,40	0,42
32	216,0	0,0	58,6	0,0	55,00	0,00	0,00	102,40	0,00
33	217,0	1,0	58,6	0,0	55,57	0,58	0,42	102,82	0,42

Tabla 3.34. Cálculo del método del número de curva.

Las Figura 3.74 presentan los cálculos realizados, comparando la escorrentía con las pérdidas que se producen en cada intervalo.

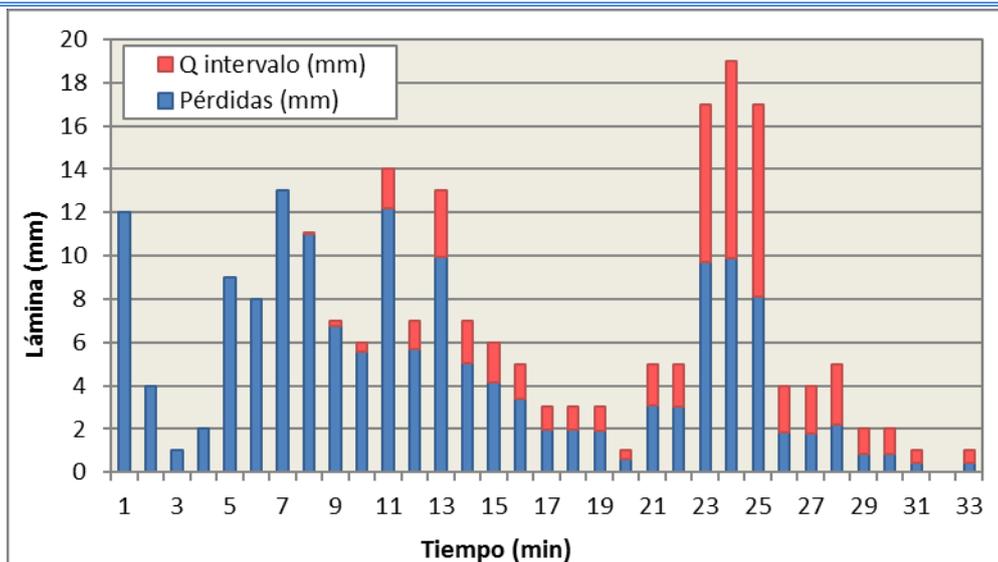


Figura 3.74. Pérdidas y escorrentía (Q). Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, se calculó el coeficiente de escurrimiento (CE) y el de infiltración (CF) de una superficie. El primero es de 0,2554, o del 25,54 %. Mientras que el segundo resulta 0,4738, o 47,38 %.

3.3.1.3 Análisis por subcuenca

En este caso, se consideran los valores de precipitación para una tormenta registrados en la estación meteorológica Tres Árboles, presentados en la Figura 3.22., suponiendo que cayeron de manera uniforme en toda la cuenca. De esta manera se pretenden determinar los parámetros para cada subcuenca, ante un evento de precipitación de gran magnitud, en este caso de 217 mm.

A partir de cada valor de NC, ponderado para cada subcuenca, se determinaron las pérdidas iniciales (I_o) calculadas en función de la retención potencial máxima (S), obteniendo valores de cantidad de agua que escurre por la superficie (Q) y que penetra en el terreno (F) y determinando el coeficiente de escorrentía medio, CE. Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 3.35.

Subcuenca / Zona de aporte a embalses	Superficie		Curva Número	S	I _o	P	Q	CE	F	CF
	km ²	ha								
Río Santa Rosa	715,7	71.573,5	43,8	325,8	65,2	217,0	48,3	0,22	103,6	0,48
Río Grande	637,4	63.739,5	43,3	333,1	66,6	217,0	46,8	0,22	103,6	0,48
Río Quillínzo	615,8	61.575,3	45,3	307,1	61,4	217,0	52,3	0,24	103,3	0,48
Río De La Cruz	517,7	51.769,0	48,9	265,0	53,0	217,0	62,7	0,29	101,3	0,47
Arroyo Soconcho	243,7	24.374,2	62,7	151,0	30,2	217,0	103,3	0,48	83,5	0,38
Arroyo De Lutti	74,1	7.413,5	43,3	332,7	66,5	217,0	46,9	0,22	103,6	0,48
Arroyo San Antonio	37,9	3.792,6	43,0	336,7	67,3	217,0	46,1	0,21	103,6	0,48
Arroyo Amboy	107,0	10.700,8	43,7	327,7	65,5	217,0	47,9	0,22	103,6	0,48
Arroyo Corto	67,5	6.754,1	42,4	345,3	69,1	217,0	44,4	0,20	103,6	0,48
Río Tercero	460,1	46.007,6	53,1	224,5	44,9	217,0	74,7	0,34	97,4	0,45
Cerro Pelado	71,0	7.102,7	40,1	380,1	76,0	217,0	38,2	0,18	102,8	0,47
Piedras Moras	135,8	13.579,8	56,8	193,3	38,7	217,0	85,6	0,39	92,8	0,43
Ing. Reolín	125,6	12.563,6	57,4	188,8	37,8	217,0	87,3	0,40	91,9	0,42
Ing. Cassafousth	14,9	1.487,9	42,4	344,6	68,9	217,0	44,5	0,21	103,6	0,48

Tabla 3.35. Cálculo de escorrentía e infiltración por método del número de curva, para cada subcuenca.

3.3.1.4 Análisis mensual

A partir de un ráster con los NC ponderados para cada subcuenca, Figura 3.72, se trabajó con algebra de mapas, realizando uno para la retención potencial máxima, S, y otro para las pérdidas iniciales, I₀.

Fueron consideradas las precipitaciones mensuales registradas en las distintas estaciones meteorológicas para el año 2014, con las que se realizaron 12 mapas, uno para cada mes, a partir de una Interpolación Gaussiana (ArcMap 10.1, módulo Spatial Analyst Tools/interpolación). La Figura 3.75 presenta la distribución de la precipitación ocurridas durante el mes de febrero de 2014. Las figuras con la precipitación, mes a mes, se encuentran en el Anexo V.

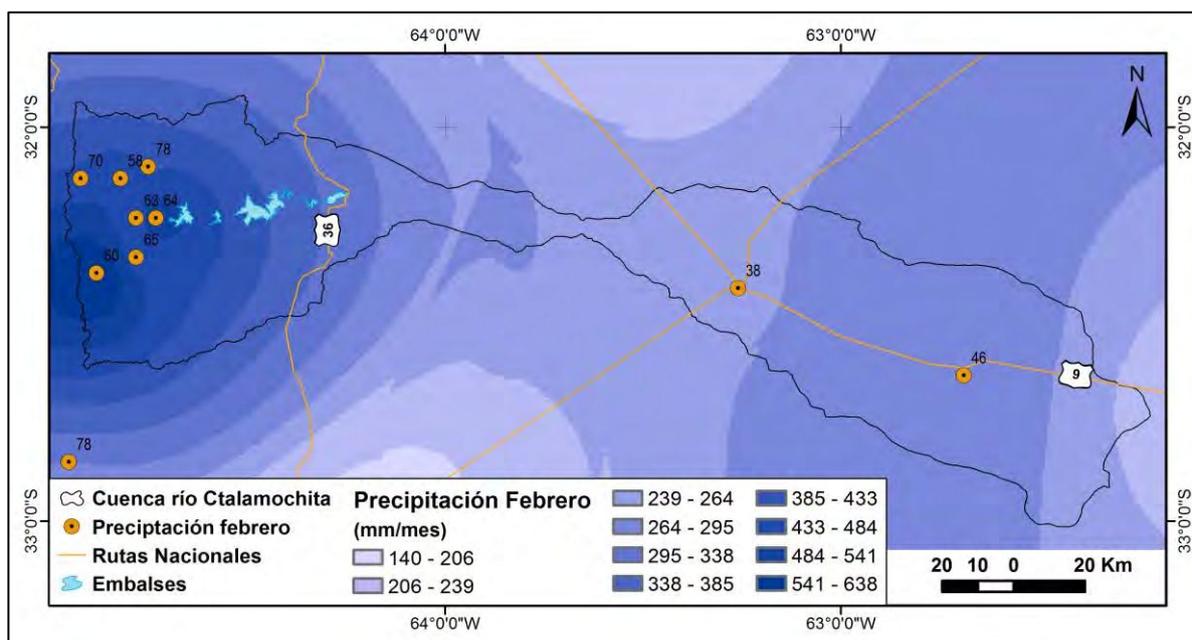


Figura 3.75. Distribución de precipitaciones ocurridas en febrero de 2014. Fuente: Elaboración propia.

Luego se calcularon los 12 mapas correspondientes al escurrimiento directo, Q, con la ecuación (20). En la Tabla 3.36 se presentan los valores calculados de escurrimiento directo mensual.

Subcuenca	Escurrimiento (mm/mes) - Q -												Anual mm/año
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
Aporte Arroyo Corto	9.63	202.87	27.85	4.99	11.33	12.49	15.78	12.42	0.07	0.31	0.73	27.57	326.04
Aporte Cerro Pelado	10.92	206.19	28.64	3.96	13.06	11.93	18.01	15.19	0.16	1.01	0.23	25.50	334.80
Aporte Ing. Cassaouth	3.87	135.69	8.65	3.36	10.60	12.55	15.85	12.49	0.18	0.17	0.27	18.51	222.20
Aporte Ministro Pistarini	17.07	199.93	29.98	16.68	3.59	5.15	8.12	5.10	2.11	2.88	7.48	45.40	343.50
Aporte Piedras Moras	14.55	182.63	28.86	15.23	3.61	5.26	8.24	5.21	1.40	3.07	7.15	40.95	316.16
Aporte Río Tercero	13.55	195.68	32.73	12.03	5.30	6.78	9.86	6.72	0.73	1.44	5.69	40.00	330.51
Arroyo Amboy	14.44	197.53	25.83	6.30	10.30	9.85	15.15	11.97	0.10	0.25	0.78	30.22	322.70
Arroyo Cabral	33.75	156.33	44.53	19.57	0.50	2.78	4.94	3.07	2.62	13.02	14.65	28.87	324.62
Arroyo de Lutti	6.53	227.77	43.78	6.50	11.53	6.72	16.17	10.03	0.02	0.19	2.21	33.52	364.97
Arroyo San Antonio	8.30	217.54	38.06	5.47	11.40	10.93	15.58	12.14	0.05	0.20	1.23	30.04	350.92
Arroyo Soconcho	23.87	204.43	35.07	24.18	1.93	3.46	6.27	3.42	5.14	5.40	10.95	53.89	378.02
Arroyo Teguas	20.58	196.32	44.70	21.37	2.74	4.12	6.87	4.06	3.26	7.80	13.29	48.22	373.33
Río Ctlamochita	29.89	163.69	39.39	19.76	0.37	2.69	4.92	3.30	2.55	12.93	26.16	33.11	338.76
Río de la Cruz	6.00	211.95	38.98	8.74	7.49	8.47	11.90	8.67	0.18	0.37	5.76	36.06	344.57
Río Grande	8.60	242.48	40.60	7.19	10.63	10.20	14.69	11.52	0.04	0.41	2.81	36.49	385.65
Río Quillinzo	3.76	243.33	34.47	7.21	9.77	8.73	14.08	10.56	0.01	0.01	4.28	34.06	370.27
Río Santa Rosa	13.42	166.99	21.60	6.40	9.51	10.07	14.95	11.85	0.11	0.32	0.68	30.66	286.56

Tabla 3.36. Valores de Q mensual por subcuenca, para el año 2014.

Puede observarse que los máximos ocurrieron durante el mes de febrero, en coincidencia con las máximas precipitaciones, mientras que en los meses restantes los valores son considerablemente menores.

En la Figura 3.76 se presentan los valores de Q en el mes de febrero de 2014. Los resultados de los meses restantes se presentan en el Anexo V.

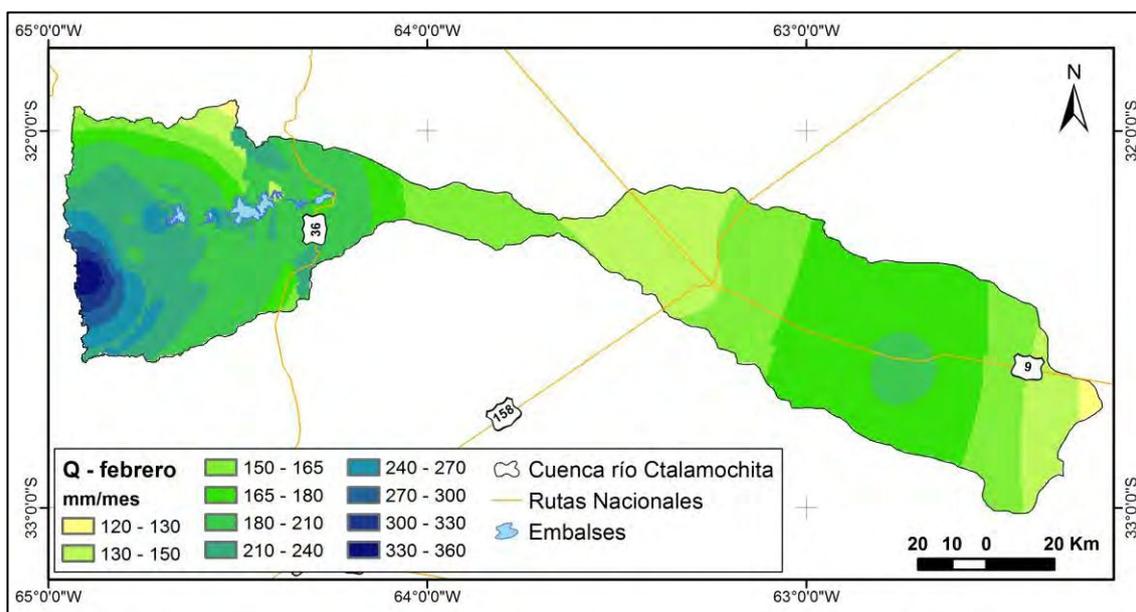


Figura 3.76. Distribución de Q en la cuenca, para febrero de 2014. Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, se calcularon los 12 mapas correspondientes a la infiltración, F, mediante la ecuación (22). Los resultados de infiltración obtenidos para cada subcuenca o zona de aporte, mes a mes se exponen en la Tabla 3.37.

Subcuenca	Infiltración (mm/mes) - F -												Anual mm/año
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
Aporte Arroyo Corto	52.35	181.33	84.23	38.38	38.38	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	14.56	84.09	493.32
Aporte Cerro Pelado	35.75	221.91	76.73	9.16	9.16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	70.77	423.48
Aporte Ing. Cassaouth	37.31	155.45	52.64	35.24	35.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	13.14	72.47	401.49
Aporte Ministro Pistarini	48.96	118.61	61.70	48.53	48.53	0.00	0.00	0.00	18.95	21.98	34.08	72.74	474.09
Aporte Piedras Moras	46.43	117.44	61.79	47.34	47.34	0.00	0.00	0.00	15.86	23.09	33.98	70.93	464.20
Aporte Río Tercero	48.52	133.32	70.47	46.23	46.23	0.00	0.00	0.00	11.56	16.97	32.80	76.78	482.87
Arroyo Amboy	61.09	173.95	79.35	42.06	42.06	0.00	0.00	0.00	4.01	0.00	15.23	85.21	502.96
Arroyo Cabral	48.93	85.12	54.54	39.67	39.67	0.00	0.00	0.00	15.18	34.75	40.36	48.62	406.83
Arroyo de Lutti	42.15	183.70	100.81	43.34	43.34	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	25.56	90.13	529.03
Arroyo San Antonio	49.06	183.14	95.93	40.51	40.51	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	19.91	86.95	516.02
Arroyo Soconcho	48.79	101.48	57.07	49.18	49.18	0.00	0.00	0.00	24.71	25.44	35.11	67.00	457.96
Arroyo Teguas	46.06	88.74	56.96	46.25	46.25	0.00	0.00	0.00	24.63	30.93	37.17	60.74	437.74
Río Ctlamochita	47.68	84.94	53.69	40.92	40.92	0.00	0.00	0.00	16.02	34.40	44.20	50.29	413.05
Río de la Cruz	36.11	153.57	83.62	43.98	43.98	0.00	0.00	0.00	6.52	9.73	36.00	81.40	494.91
Río Grande	45.78	186.79	97.35	45.25	45.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	28.27	93.24	541.93
Río Quillínzo	28.27	176.68	85.86	43.51	43.51	0.00	0.00	0.00	1.06	0.00	33.35	86.54	498.79
Río Santa Rosa	58.85	164.17	72.05	42.16	42.16	0.00	0.00	0.00	4.11	0.00	13.71	85.30	482.52

Tabla 3.37. Valores de F mensual por subcuenca, para el año 2014.

Al igual que para el escurrimiento, puede observarse que los máximos ocurrieron durante el mes de febrero, en coincidencia con las máximas precipitaciones, mientras que en los meses restantes los valores son considerablemente menores, incluso durante los meses de junio, julio y agosto, no se calcularon infiltraciones.

En la Figura 3.77 se presenta el mapa de distribución de la infiltración ocurrida durante el mes de febrero de 2014. Los resultados de los meses restantes se presentan en el Anexo V.

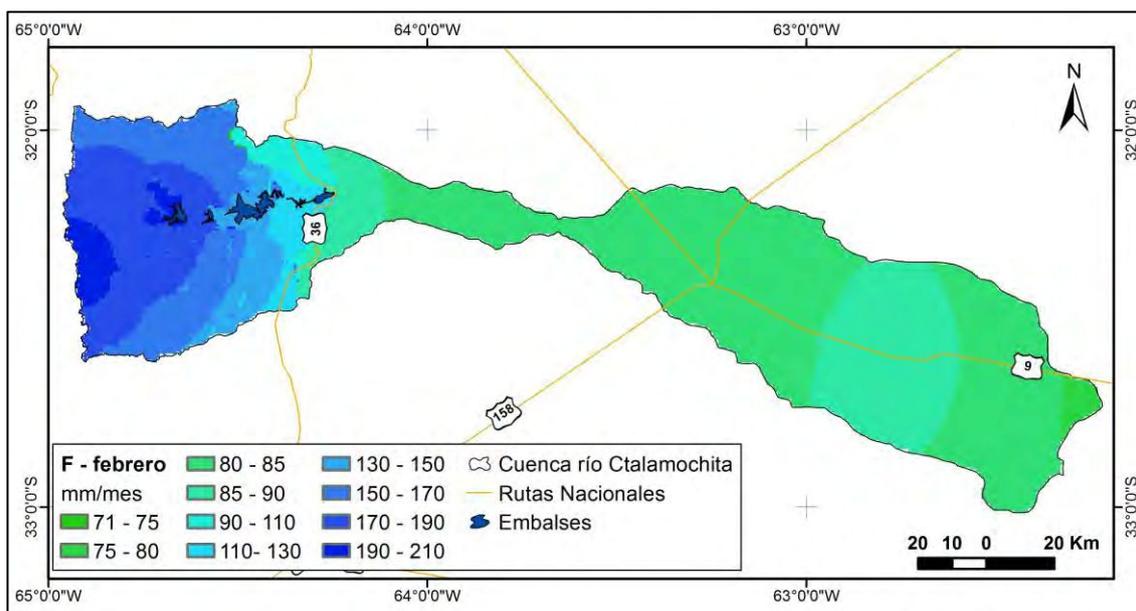


Figura 3.77. Distribución de F en la cuenca, para febrero de 2014. Fuente: Elaboración propia.

3.3.2 Simulación con HEC-HMS

Para la determinación de caudales se planteó la modelación individual de cada una de las subcuencas definidas, empleando el software de cálculo HEC-HMS 4.2, asumiendo un tiempo de retardo que representa el 60 % del tiempo de concentración promedio calculado, Tabla 3.10, (Gaspari et al., 2013).

En las subcuencas que conforman la parte alta se empleó el evento de precipitación extraordinario registrado con paso horario en la estación meteorológica 5060, el 14 de febrero de 2014 (Figura 3.22).

Mientras que, la cuenca Media-Baja, dada su gran extensión, se analizó dividida en tres grandes subcuencas, presentadas en el Anexo VI, a las que se les aplicó la ecuación (34) presentada por Zimmerman et al., 2000, para la tormenta de 26 horas de duración sobre una superficie de 6749.1 km², obteniéndose un Coeficiente de Abatimiento Areal (CAA) de 0,634.

Se emplearon para la modelación de las secciones de los cauces, las medidas determinadas durante la realización de los aforos, registradas por la UNVM, en febrero de 2015, considerando secciones de ocho puntos cada una, las mismas se presentan en el Anexo VI.

También fueron empleados los Números de Curva ponderados para cada subcuenca y zona de aporte, presentados en la Tabla 3.33.

Dada la gran extensión de las cuencas estudiadas y la existencia de una gran cantidad de cauces, con sus respectivos afluentes, especialmente en la parte alta, el coeficiente de rugosidad de Manning, n , fue adoptado similar para todos los cauces con un valor medio de 0,03, en función de las observaciones realizadas en los distintos viajes consumados a la cuenca. La Figura 3.78 expone dos fotografías de secciones de cauces ubicados dentro de la cuenca.

Como sección representativa del cauce del río Ctalamochita se tomó la registrada en el balneario de Villa María, correspondiente con el aforo H7, su ubicación se visualiza en la Figura 3.42.



Figura 3.78. Secciones de cauces, Izquierda: río el Durazno, Derecha: Río Ctlamochita altura Villa María.

En la Tabla 3.38 se presentan los resultados obtenidos para cada subcuenca y zona de aporte modelada individualmente. Se obtuvieron los valores de cauda pico y el volumen total escurrido. Los caudales generados de escorrentía se corresponden proporcionalmente con la superficie de cada sector analizado.

Sector estudiado	Superficie		Volumen Q		Caudal Pico q (m ³ /s)
	km ²	ha	1000 m ³	m ³	
Subcuenca Río Santa Rosa	715.7	71,573.5	29,858.7	29,858,690	667.8
Subcuenca Río Grande	637.4	63,739.5	25,946.7	25,946,660	677.7
Subcuenca Río Quillinzo	615.8	61,575.3	28,212.8	28,212,840	608.9
Subcuenca Río De La Cruz	517.7	51,769.0	28,622.1	28,622,090	584.9
Subcuenca Arroyo Soconcho	243.7	24,374.2	22,517.1	22,517,130	489.6
Subcuenca Arroyo De Lutti	74.1	7,413.5	3,017.6	3,017,610	110.7
Subcuenca Arroyo San Antonio	37.9	3,792.6	1,515.3	1,515,290	59.4
Subcuenca Arroyo Amboy	107.0	10,700.8	4,473.4	4,473,410	144.9
Zona de aporte Embalse Arroyo Corto	6749.0	674,904.7	2,596.5	2,596,450	98.2
Zona de aporte Embalse Rio Tercero	67.5	6,754.1	30,683.5	30,683,510	631.4
Zona de aporte Embalse Cerro Pelado	460.1	46,007.6	1,008.8	1,008,790	37.1
Zona de aporte Embalse Piedras Moras	71.0	7,102.7	10,453.5	10,453,460	246.1
Zona de aporte Embalse Ing. Reolín	135.8	13,579.8	9,883.2	9,883,170	290.4
Zona de aporte Embalse Ing. Cassafousth	125.6	12,563.6	572.0	572,030	24.8

Tabla 3.38. Caudales modelados por subcuenca y zona de aporte, Cuenca Alta.

Para la cuenca baja, empleando la precipitación afectada por el coeficiente de abatimiento de área, se obtuvo un valor de caudal pico (q) de 2.684,03 m³.s⁻¹ y un total de volumen escurrido (Q) de 329,94 hm³.

En el Anexo VI se presentan los resultados de cada modelación con las salidas del programa HEC-HMS, con un esquema de cada sector modelado y los caudales obtenidos.

3.4 Análisis de vulnerabilidad

Para el análisis de la vulnerabilidad hídrica se definieron indicadores, dentro del contexto de anegamientos y riesgo hídrico, determinando factores que presentan una incidencia directa en la vulnerabilidad, tales como:

1. Indicador de zonas forestadas o con medidas conservacionistas
2. Indicador de vulnerabilidad a la erosión hídrica
3. Indicador de erosión hídrica máxima o potencial

4. Indicador del estado de la vegetación EVI
5. Indicador USLE-EVI mensual
6. Indicador de humedad del suelo

3.4.1 Indicador: zonas forestadas o con medidas conservacionistas

Según el blog “No Queremos Inundarnos”, con temáticas referentes a la provincia de Córdoba, afirma que hace años que desde ámbitos técnicos y académicos se advierte que la alta tasa de desmonte agudiza los riesgos de mayores sequías sobre ríos y lagos en invierno, pero, a la vez, de crecidas más significativas en verano.

La Figura 3.79 muestra las zonas de la provincia de Córdoba con bosques autóctonos, a la izquierda con una superficie de 12 millones de hectáreas, mientras que para el año 2015, a la derecha, esa extensión se redujo a 500 mil (Fernando Colautti, 2015)⁵. El recuadro negro punteado, representa la zona en estudio.

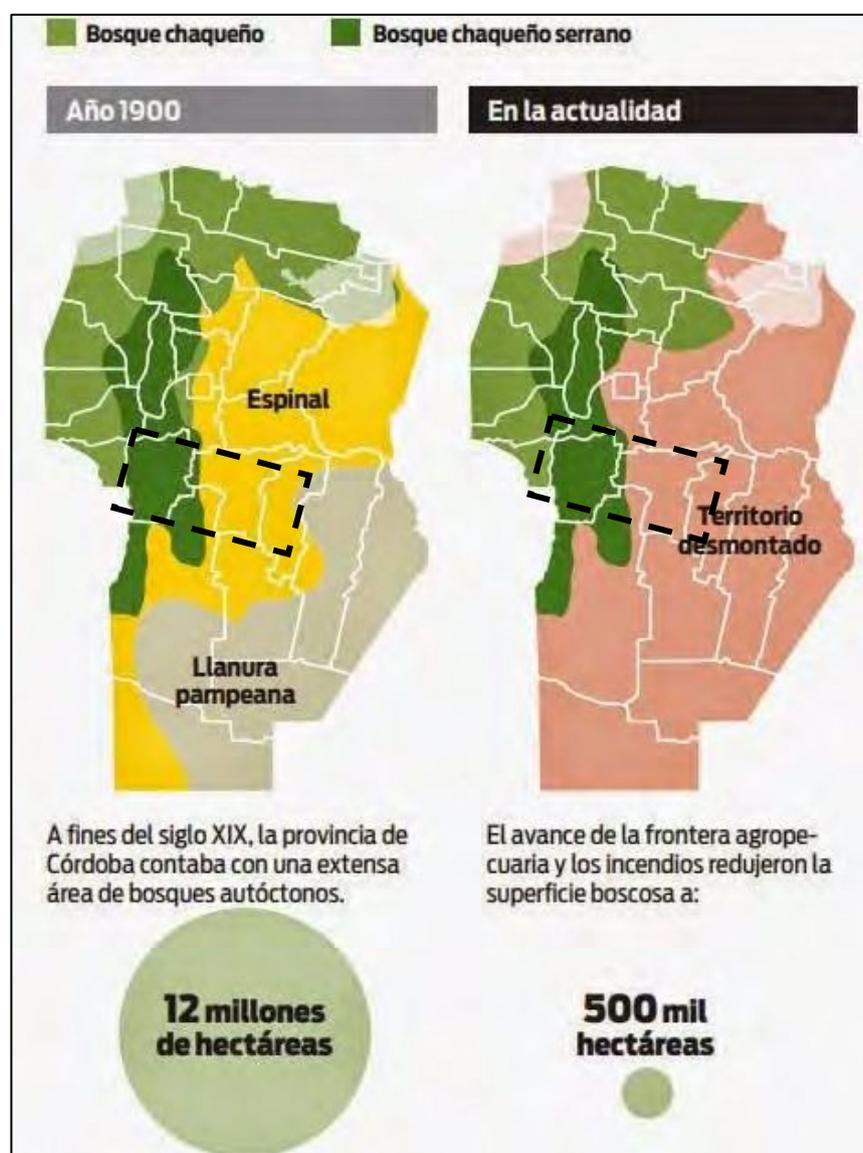


Figura 3.79. Superficies de bosques autóctonos. Fuente: <http://noqueremosinundarnos.blogspot.com/>

⁵ Fuente: <http://noqueremosinundarnos.blogspot.com/2015/03/reforestar-cordoba-un-debate-que-el.html>

La Dirección de Bosques, de la Secretaria de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación, realizó en el año 2002 el mapa Forestal de la Provincia de Córdoba, el cual separa el territorio provincial inicialmente, en Regiones Forestales. Como puede verse en la

Figura 3.80, la parte alta de la cuenca pertenece a la región Parque Chaqueño, mientras que la parte media-baja a la región Espinal.

El Mapa Forestal de la Provincia de Córdoba se presenta completo en el Anexo VII mientras que, para el sector de la cuenca en estudio, en la

Figura 3.80. Se observa que la región forestal *Espinal*, dentro de la cuenca media-baja, está representada prácticamente en su totalidad, por Cultivos Extensivos (color beige). La misma se corresponde con zonas agrícolas donde se practica la agricultura sobre grandes unidades continuas de terreno con rendimiento generalmente bajo. Mientras que en la parte alta de la cuenca (*Parque Chaqueño*) se observan, en verde, *Tierras forestales*, con cobertura boscosa continua, en marrón *Otras tierras forestales*, con una cobertura boscosa discontinua y, rodeando estos sectores boscosos, se encuentran *Otras Tierras*: tierras agropecuarias, pastizales, etc.

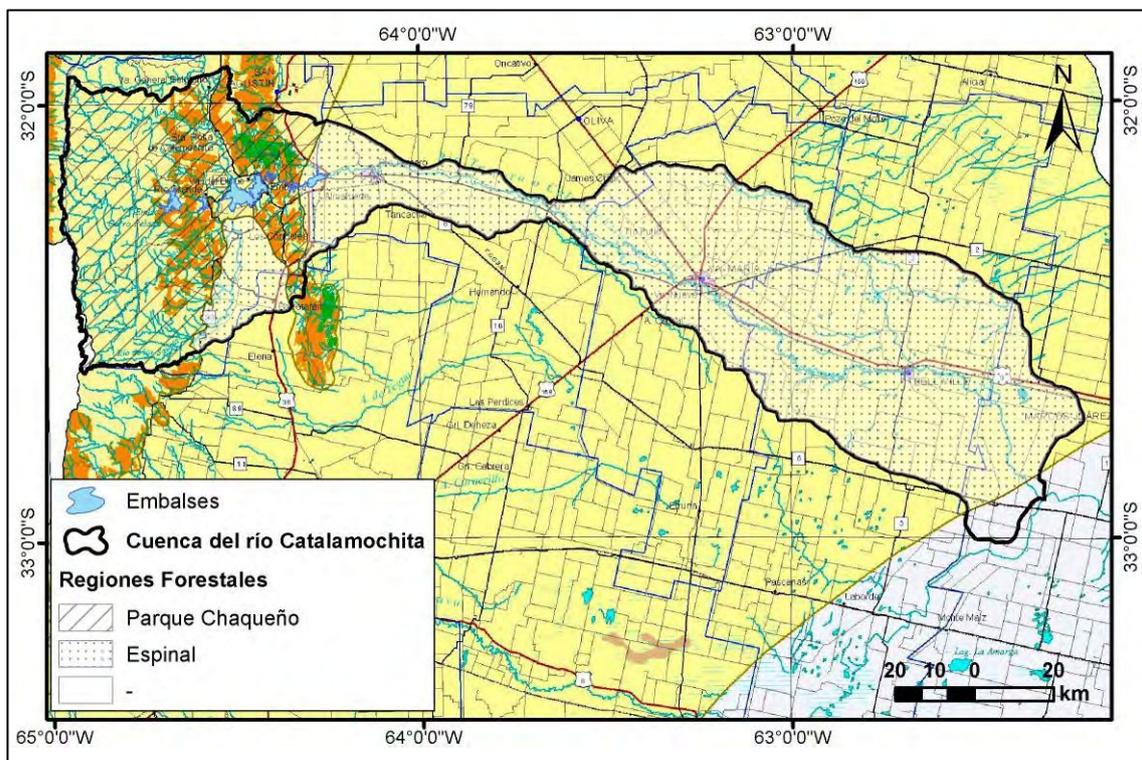


Figura 3.80. Regiones Forestales de la provincia de Córdoba. Fuente: Dirección de Bosques.

Cabido et al. 2018, hacen esta misma distinción de los sectores forestales, donde se detallan los tres tipos principales de vegetación autóctona (Figura 3.81): *Lithraea molleoides* – *Croton lachnostachyus* y matorrales de *Acacia caven*, en la parte montañosa del Parque Chaqueño y *Prosopis nigra*, *Celtis ehrenbergiana* *caldenia* en espinal.

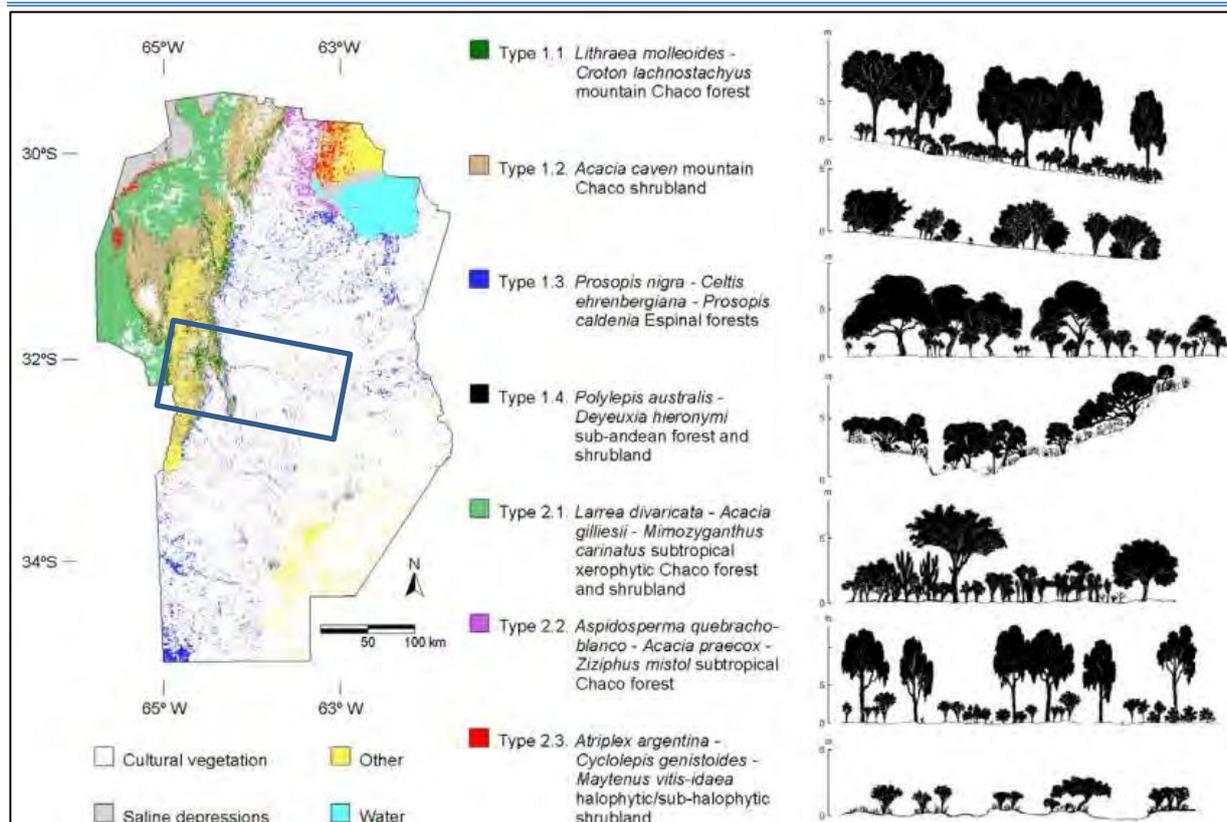


Figura 3.81. Mapa de vegetación de la provincia de Córdoba obtenido de imágenes satelitales (Landsat TM, 2009) e información de campo. Fuente: Cabido et al., 2018.

Analizando esta información, en correspondencia con lo presentado sobre uso del suelo y coberturas, (Figura 3.54), se aprecia que, si bien existe vegetación autóctona dispersa (arbustales y pastizales), no prevalecen importante zonas forestadas, especialmente en la parte alta de la cuenca, donde se desarrollan las mayores pendientes y las precipitaciones generan grandes escorrentías con su consecuente arrastre de material.

3.4.2 Indicador de vulnerabilidad a la erosión hídrica

La evaluación de tolerancia de pérdidas de suelo en un terreno es un estudio básico para la implementación de un modelo de ordenación territorial. Depende de diversos factores, tales como la profundidad del suelo, sus propiedades físicas, el desarrollo del sistema radical de la vegetación, el contenido de materia orgánica, pérdida de nutrientes, características de la topografía, entre otros (Gaspari et al., 2013, cita a López Cadenas del Llano, 1998).

Una de las principales limitantes o condicionantes de los suelos es su susceptibilidad al desgaste. Ese desgaste de la superficie terrestre por la acción de agentes externos como son el agua o el viento es lo que se conoce como erosión (Gaspari et al., 2013).

Las Figura 3.82 y Figura 3.83 presentan respectivamente el mapa con las zonas que sufren erosión hídrica en la actualidad y las que presentan una erosión hídrica potencial según Gaitán et al., 2017.

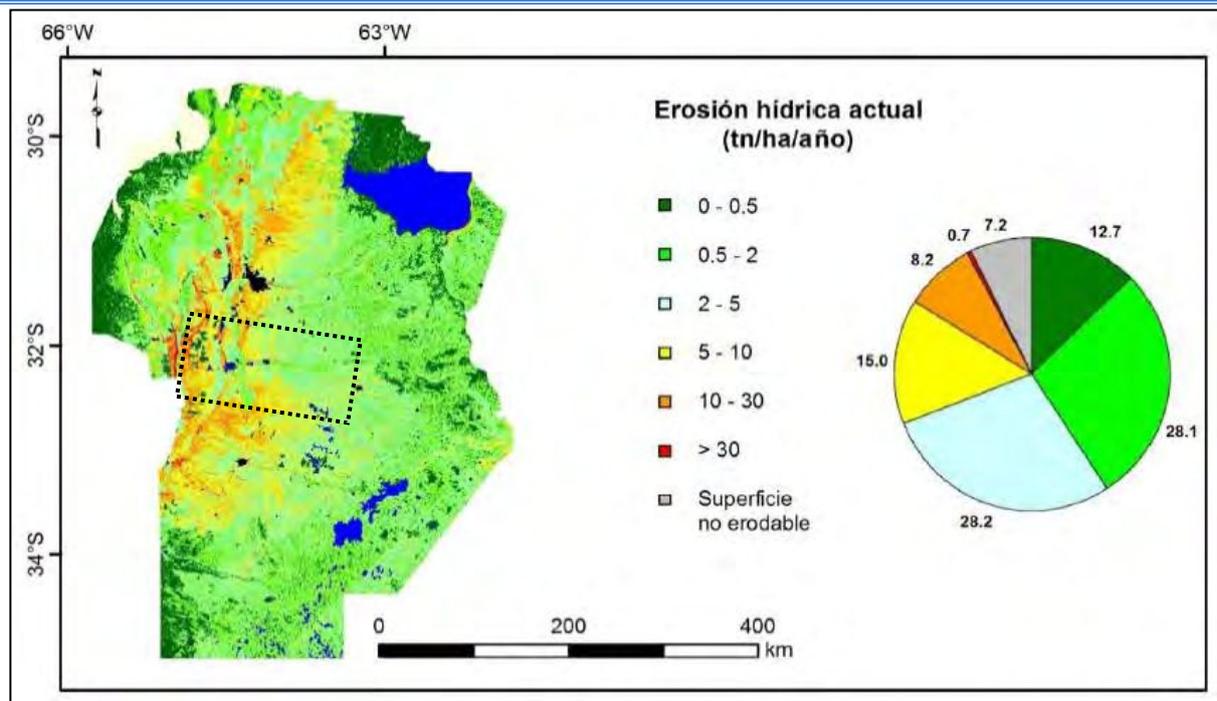


Figura 3.82. Erosión hídrica actual. Zona de análisis en punteado negro. Fuente: Gaitán et al., 2017.

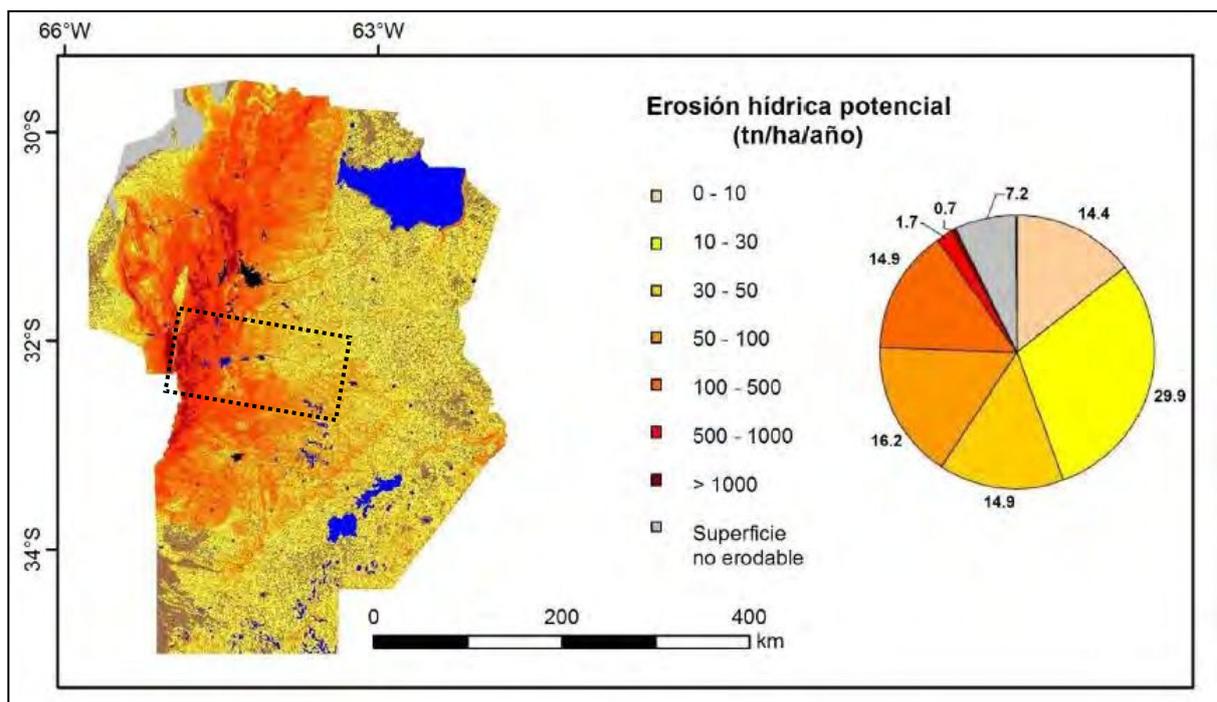


Figura 3.83. Erosión hídrica potencial. Zona de análisis en punteado negro. Fuente: Gaitán et al. 2017.

En la Figura 3.84 se presenta el mapa con las zonas que sufren erosión, a la izquierda y a la derecha los que son susceptibles de erosionarse, con los distintos tipos de erosión: eólica, hídrica y conjunta eólica e hídrica.

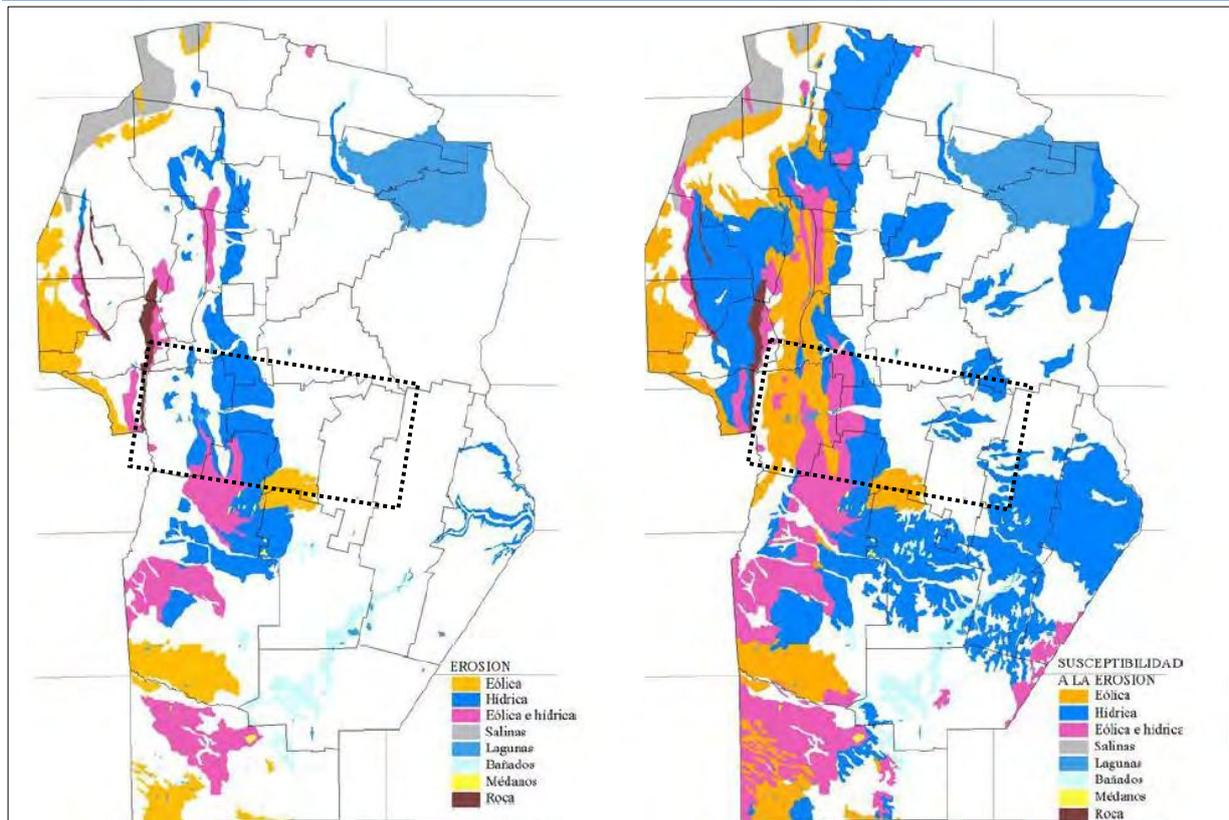


Figura 3.84. Izq: Mapa con las Zonas erosionadas, der: Zonas con susceptibilidad a la erosión, provincia de Córdoba.
Fuente: INTA, Bahill et al., 2006.

Las imágenes muestran que la zona con mayores problemas de erosión, fundamentalmente hídrica, se corresponde con el abanico aluvial, en la cuenca alta y media, siendo la pendiente un factor decisivo para el proceso erosivo. También se observan sectores con susceptibilidad a la erosión, por acción del agua, en la parte baja de la cuenca.

El proceso de degradación a que se ve sometida una cuenca hidrográfica, al igual que el caudal máximo, están muy influenciados por la configuración topográfica, debido a que el poder erosivo se manifiesta en mayor o menor grado de acuerdo con los distintos grados de pendiente (Gaspari et al., 2013), situación que se visualiza en la cuenca del río Ctlamochita.

USLE

Para determinar las zonas con mayor susceptibilidad a la erosión dentro de la cuenca y para cuantificar los caudales sólidos que se pueden desarrollar en la misma, se utilizó la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE), ecuación (19).

La aplicación del análisis cartográfico con SIG de los factores que integran la ecuación se presenta a continuación:

La Figura 3.85 presenta las isolíneas de potencialidad erosiva de las lluvias, isoerodentas, que obtuvieron Rojas y Conde, 1985, para la parte NE del país. Mientras que la Figura 3.86 presenta las realizadas por el INTA, Gaitán et al. 2017, los valores en ambas son similares.

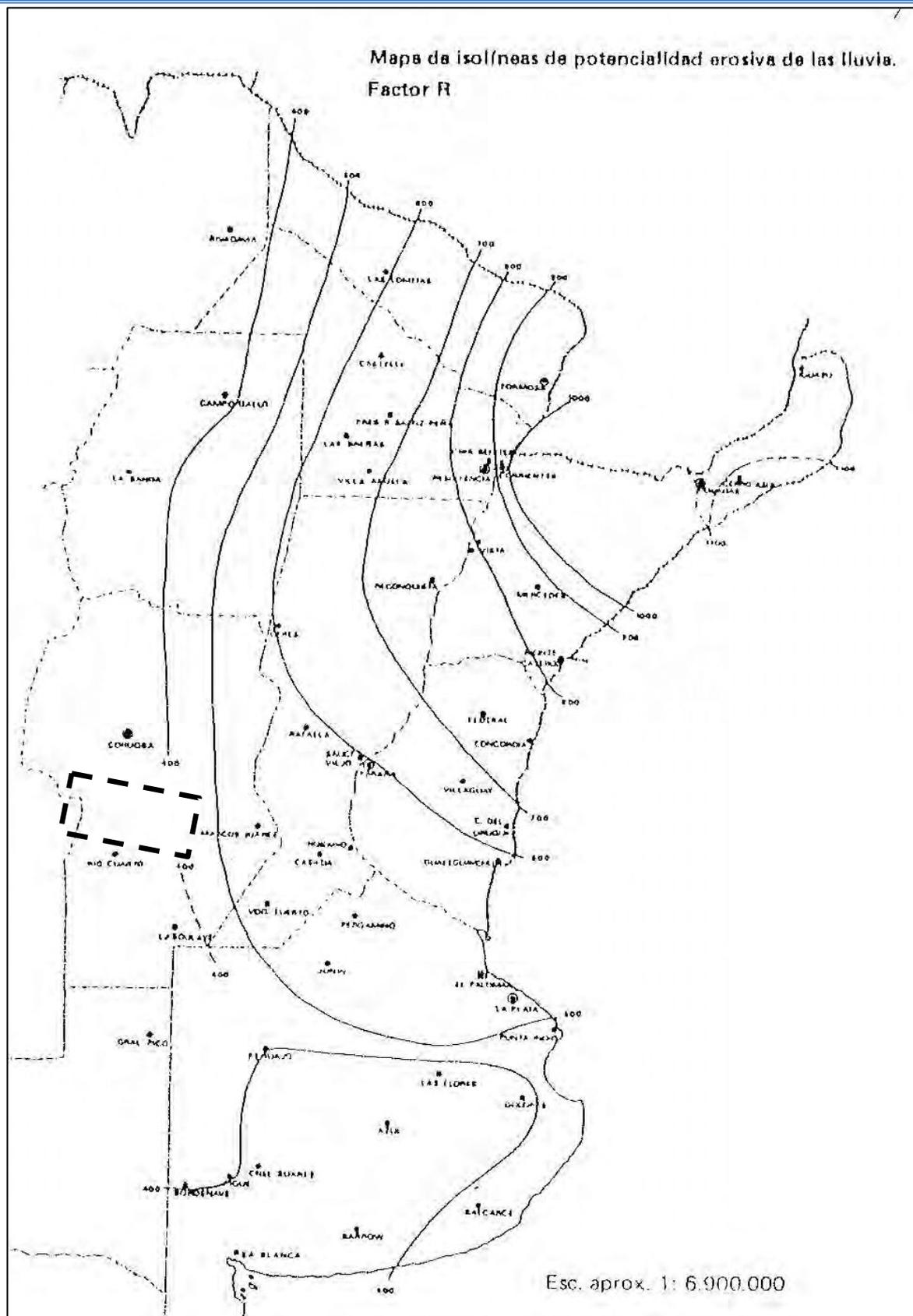


Figura 3.85. Mapa de isóneas de Factor R, zona de estudio en punteado negro. Fuente: Rojas y Conde, 1985.

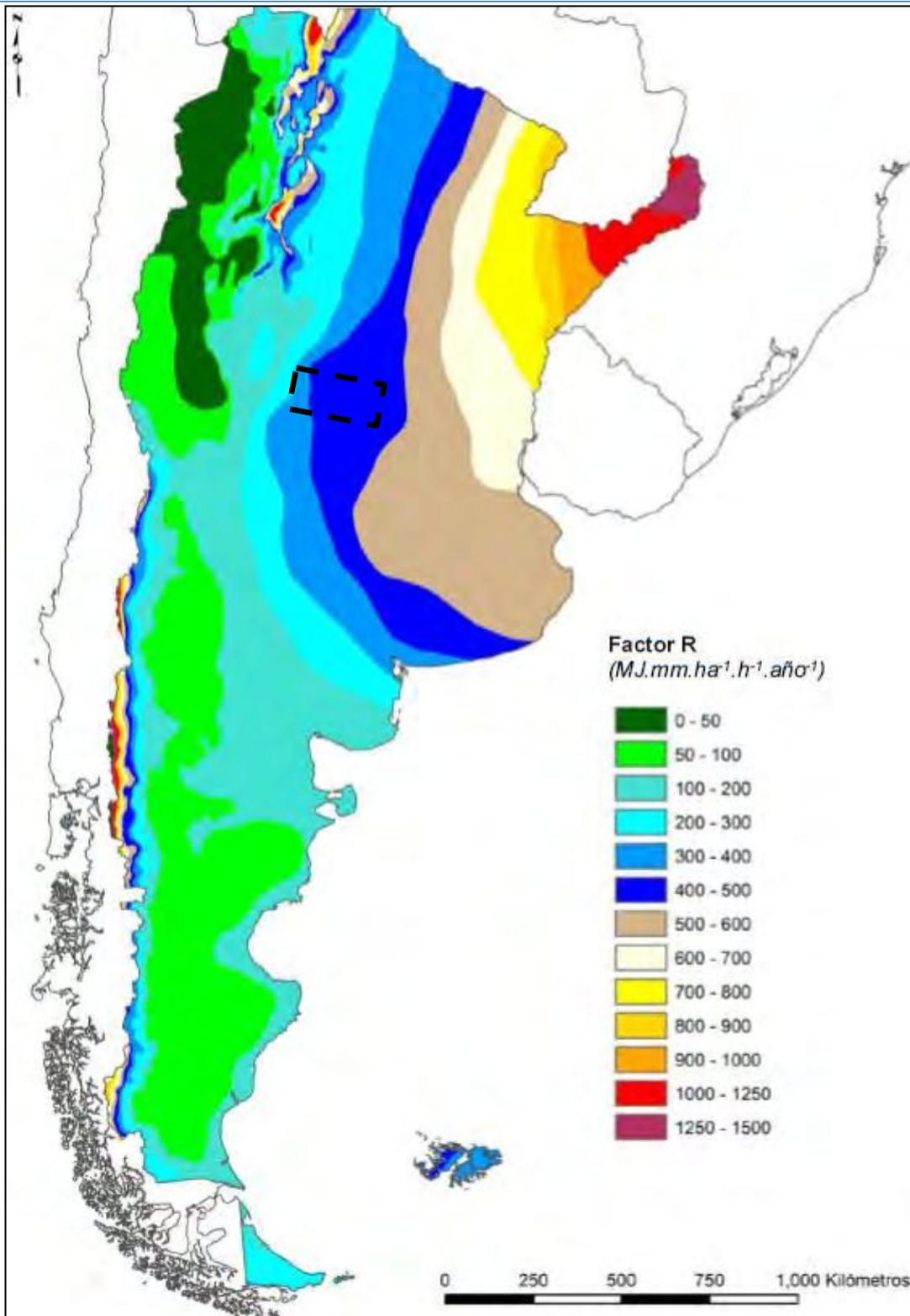


Figura 3.86 Mapa de isolíneas de Factor R, zona de estudio en punteado negro. Fuente: Gaitán et al., 2017.

Para la determinación del factor R, se consideraron los valores que presentaron Rojas y Conde, 1985, para cuatro localidades de la provincia de Córdoba: en Marcos Juárez, 519, en Laboulaye, 370, en Córdoba, 327, y en Río Cuarto, 445. A partir de estos datos se interpolaron dichos valores y se establecieron las isoerodentas, que se presenta en la Figura 3.46, donde se evidencia un aumento local de los valores desde el ONO hacia el ESE, coincidente con los autores mencionados anteriormente

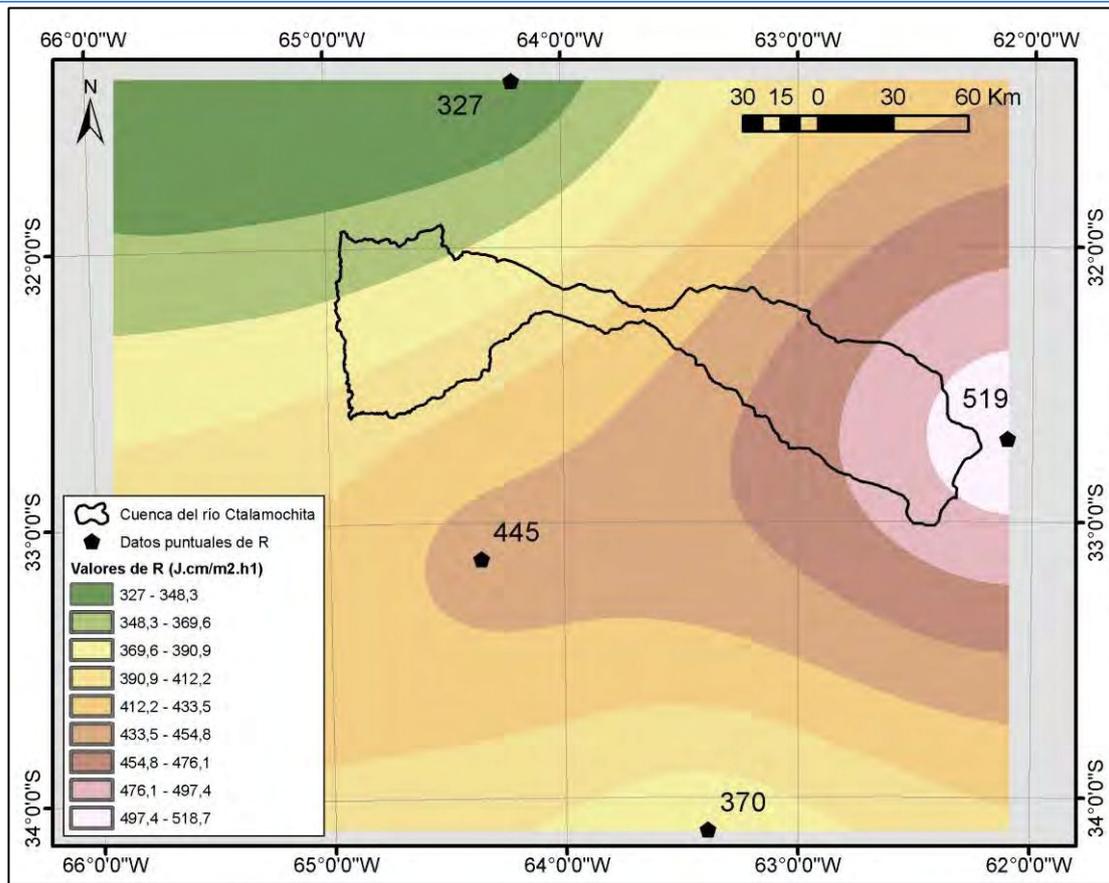


Figura 3.87. Valores del Factor R en la cuenca. Fuente: Elaboración propia.

Luego, a partir de los datos de granulometría y la cantidad de materia orgánica de los distintos tipos de suelo presentes en la cuenca, obtenidos para cada una de las unidades cartográficas, se determinó el factor K, de la erodabilidad del suelo, Figura 3.88 y Tabla 3.39.

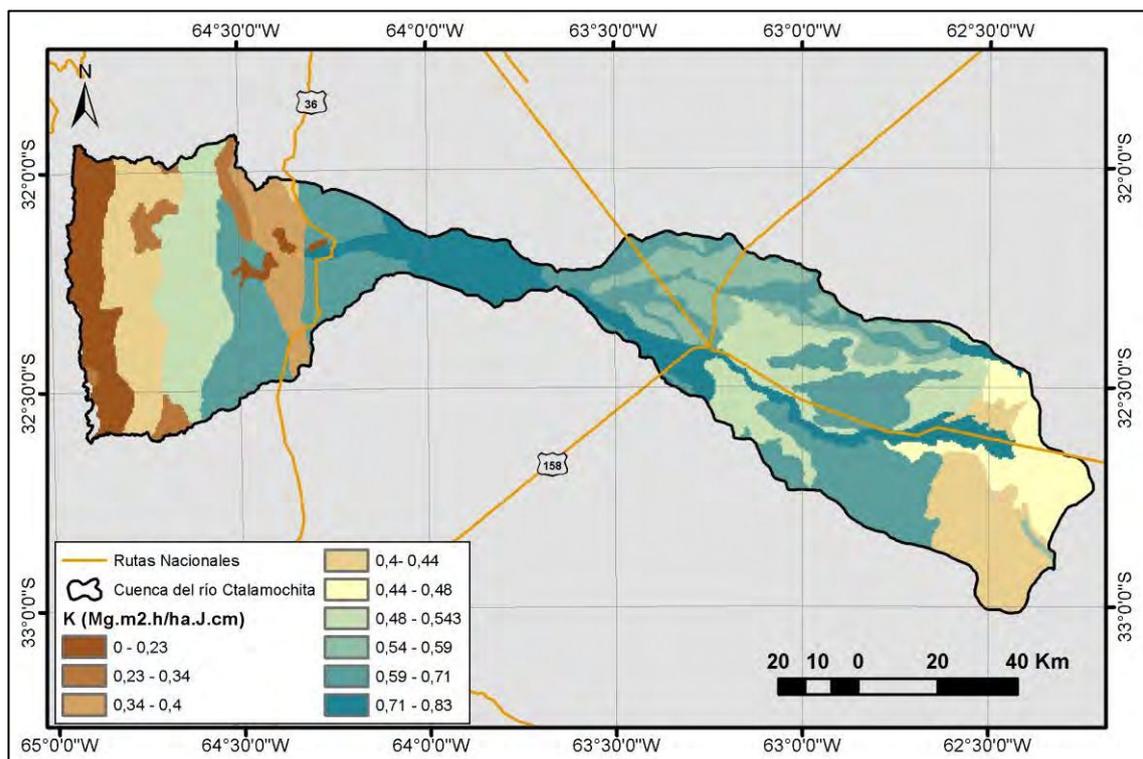


Figura 3.88. Valores del Factor K en los suelos de la cuenca. Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 3.88 se aprecia como los menores valores de K se encuentran en los sectores donde el suelo presenta un menor desarrollo, un menor espesor, especialmente en la zona serrana de la cuenca alta. Mientras que, en la cuenca media y baja, donde los contenidos de materia orgánica son mayores, los valores de K aumentan considerablemente.

Suelo INTA	Limo %	Arena muy fina %	Arcilla %	M	a	K
AAtc-9	69,5	12,0	16,5	6224,1	1,8	0,59
AEmo-3	69,7	11,7	16,7	5865,5	1,0	0,56
CoRT1	74,0	21,0	5,0	9025,0	2,5	0,83
CoRT2	15,5	67	17,5	6806,3	1,8	0,65
MNtc-2	28,75	55,5	15,75	7098,1	2,2	0,65
MNud-3	58,4	19,2	22,3	6020,5	1,3	0,59
MNud-17	58,4	19,2	22,3	5619,0	1,3	0,52
EPLi-23	22	34	12,1	5894,3	4,1	0,53
EOli-2	21,1	5	3,1	4168,9	0	0,40
Mltc-5	56,15	15,05	27,00	4850,9	2,28	0,43
MJli-6	26,15	5,65	20,10	2032,5	3,15	0,16
Mltc-49	62,53	7,93	28,90	5144,0	2,23	0,46
MNud-22	58,37	19,15	22,33	6073,4	1,27	0,58
EPLi-17	22	34	12,1	4308,2	4,1	0,34
MNen-4	69,90	14,45	15,20	7152,9	1,43	0,71
MNtc-27	20,20	61,75	7,40	6127,2	2,10	0,56
MNud-20	58,37	19,15	22,33	5835,4	1,27	0,54
Mltc-1	62,53	7,93	28,90	5010,18	2,23	0,44
MNud-4	58,37	19,15	22,33	6106,9	1,27	0,59
MJen-32	15,00	18,10	7,40	3940,0	2,90	0,32
EPLi-9	22,00	34,00	12,10	3588,0	4,10	0,28
MNen-10	56,00	23,90	15,30	6797,0	1,40	0,67
MAtc-3	66,47	7,03	27,10	4767,7	1,73	0,43
MNen-6	69,90	14,45	15,20	7152,9	1,43	0,71
L	Lagunas					
MJli-5	14,00	8,45	7,20	2662,2	2,45	0,23
Mltc-45	62,53	7,93	28,90	4888,0	2,23	0,43
MKac-5	61,35	9,15	20,25	5212,7	1,74	0,48
MBtc-7	59,43	20,57	19,27	6221,4	2,00	0,57
MKtc-2	57,65	4,25	35,45	4751,0	2,10	0,43
R	Roca desnuda					
MKtc-13	57,65	4,25	35,45	5693,5	2,10	0,50
MJli-7	26,15	5,65	20,10	2758,4	3,15	0,24
MBtc-18	65,70	0,70	28,73	5204,9	3,25	0,44
MKud-28	66,45	5,90	27,00	4985,9	3,10	0,43

Tabla 3.39. Determinación del factor de erodabilidad del suelo.

En cuanto a las ecuaciones de la longitud (L) y la pendiente del declive (S), los valores obtenidos se muestran en el ráster presentado en la Figura 3.89, donde se observan los máximos valores de LS en concordancia con las mayores pendientes de la parte alta de la cuenca y especialmente en la zona de cañadas y valles.

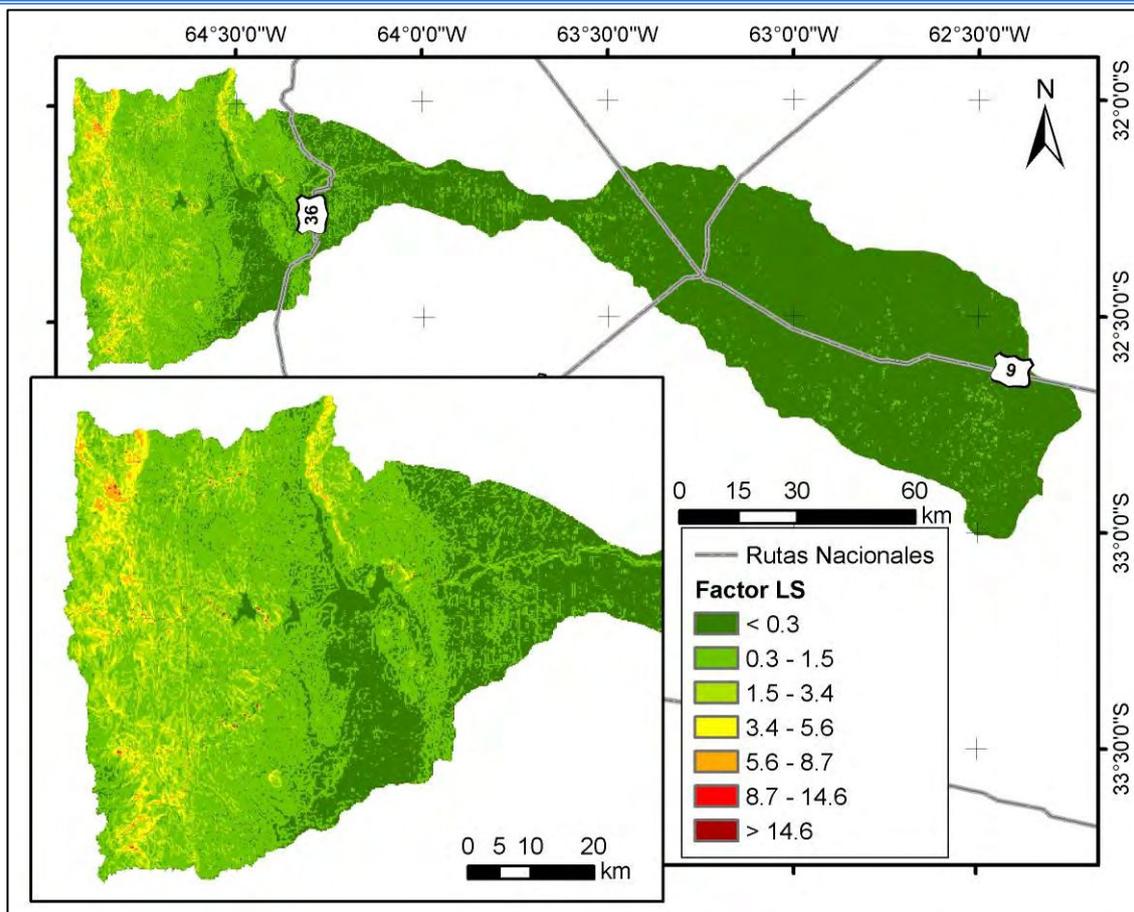


Figura 3.89. Valores del Factor LS en rangos. Fuente: Elaboración propia.

En función de tablas, se determinaron los factores C de ordenación de los cultivos, a partir de la interpretación los datos de cobertura y uso del suelo presentados en la Figura 3.53. Los valores adoptados de C, según tablas de Gaspari et al., 2010, se presentan en la Tabla 3.40.

Tipo de Cobertura o Uso del suelo	C	P
Arbustal abierto	0,05	1
Arbustal cerrado	0,03	1
Áreas urbanas de baja densidad	0,05	1
Áreas urbanas de densidad media	0,042	1
Bañados	0,039	1
Bosque en galería	0,08	1
Bosques abiertos	0,05	1
Cañadas	0,1	1
Cuerpos de agua	1	1
Cultivos de especies arbóreas	0,05	1
Cultivos de herbáceas graminoideas	0,25	1
Cultivos de herbáceas no graminoideas	0,25	1
Herbáceas cerradas	0,25	1
Paleocauce o cauce abandonado	0,11	1
Pastizal abierto	0,2	1
Pastizal cerrado	0,08	1
Plantaciones Perennes	0,045	1
Pasturas con cultivos	0,25	1

Tabla 3.40. Factores C adoptados para las distintas coberturas o usos del terreno.

La Figura 3.90 presenta la distribución de los valores adoptados para el factor C, según los tipos de coberturas existentes en la cuenca.

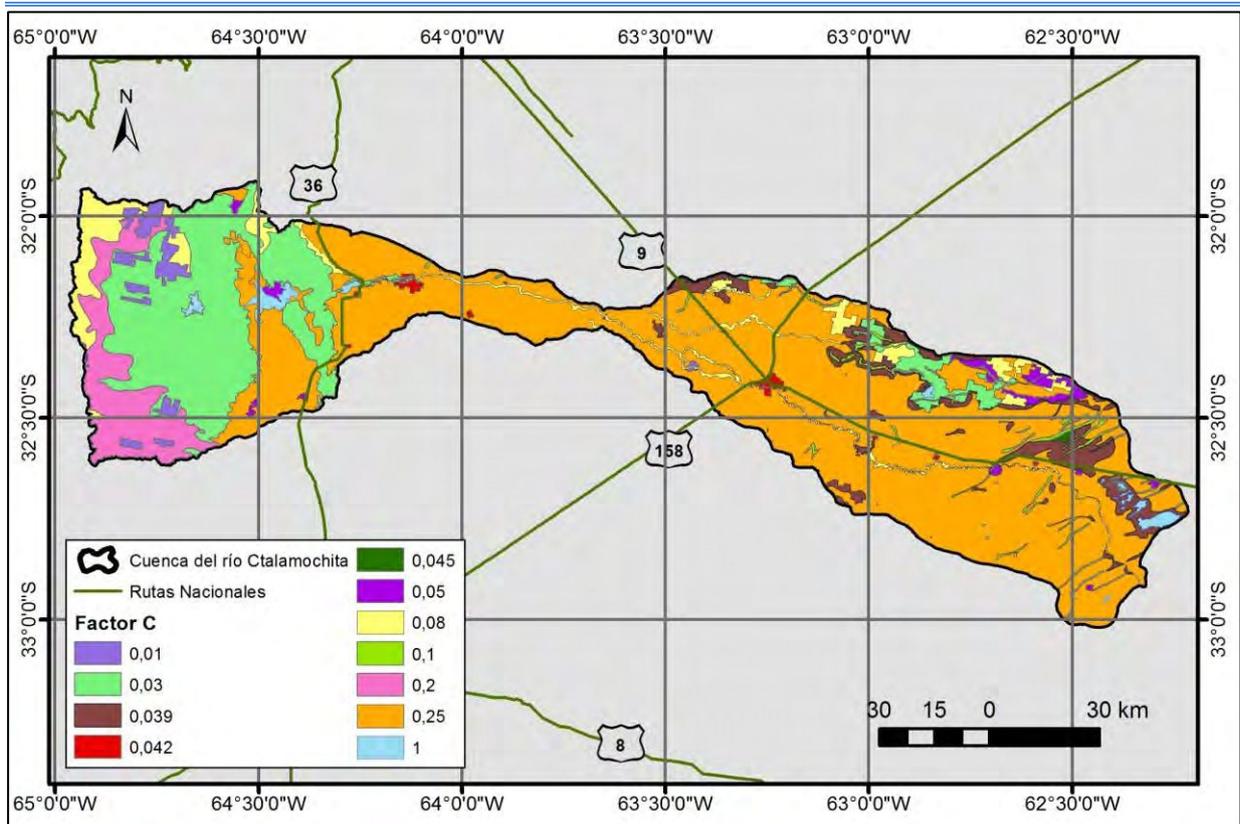


Figura 3.90. Valores del Factor C en la cuenca. Fuente: Elaboración propia

Mientras que el factor P, de control de la erosión mediante prácticas de cultivo, fue considerado igual a la unidad en todos los casos, ya que no se halla una tendencia marcada en el manejo de los suelos, ni prácticas de conservación a la escala de detalle de este trabajo.

Finalmente, aplicando la ecuación USLE, a partir de la superposición de mapas ráster, con el uso de software ArcMap 10.1 se obtuvo la distribución de la pérdida de suelo en la cuenca, los valores reclasificados según los rangos de FAO obtenidos se presentan en la Figura 3.91.

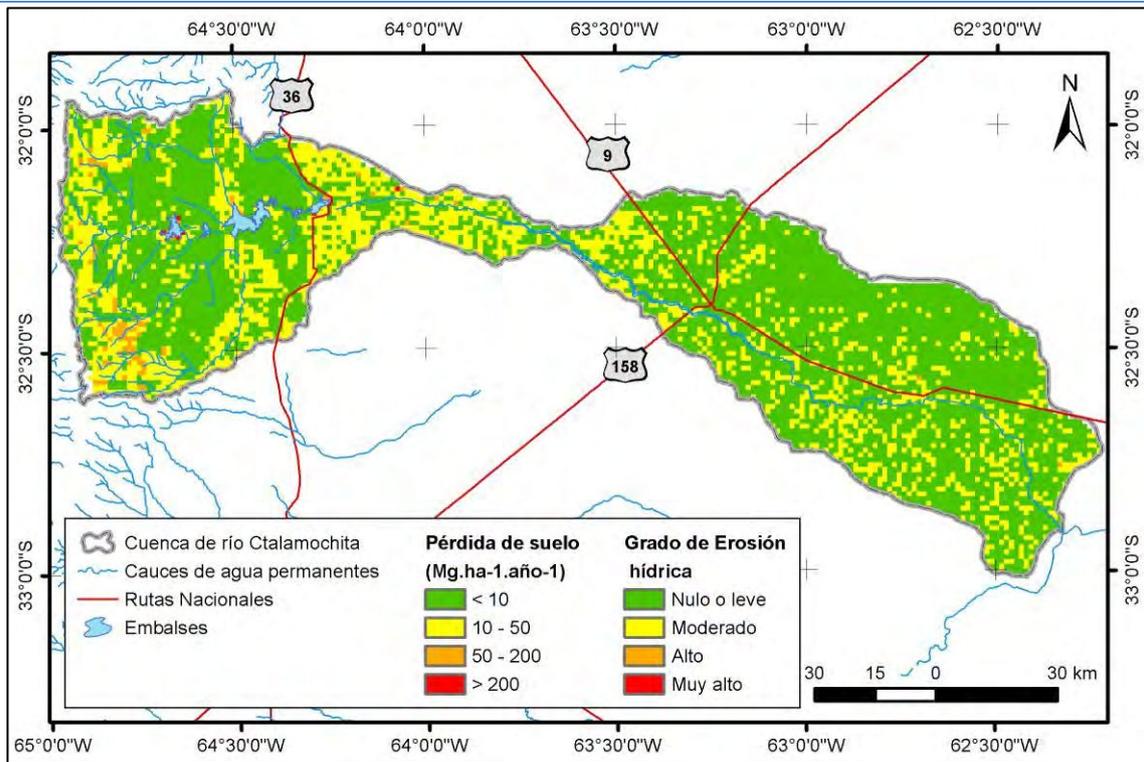


Figura 3.91. Pérdida de suelo por erosión hídrica, USLE. Fuente: Elaboración propia.

La Figura 3.91 presenta los rangos proporcionada por la FAO, Tabla 2.2, donde diferencia el grado de erosión hídrica, siendo levemente mayor en la parte media de la cuenca, donde las pendientes son importantes y las coberturas del suelo mínimas, mientras que en la parte alta la presencia de arbustales y pastizales hacen que la erosión sea moderada a alta. Aun habiendo pendientes pronunciadas, sólo algunos puntos presentan valores calificados con un grado de erosión muy alto.

Dado que gran parte de la superficie de la cuenca se encuentra en el rango *Moderado*, con una pérdida de suelo entre 10 y 50 Mg.ha⁻¹.año⁻¹, se planteó un rango más discretizado, presentando en la Figura 3.92 a la cuenca alta y en la Figura 3.93 a la cuenca baja.

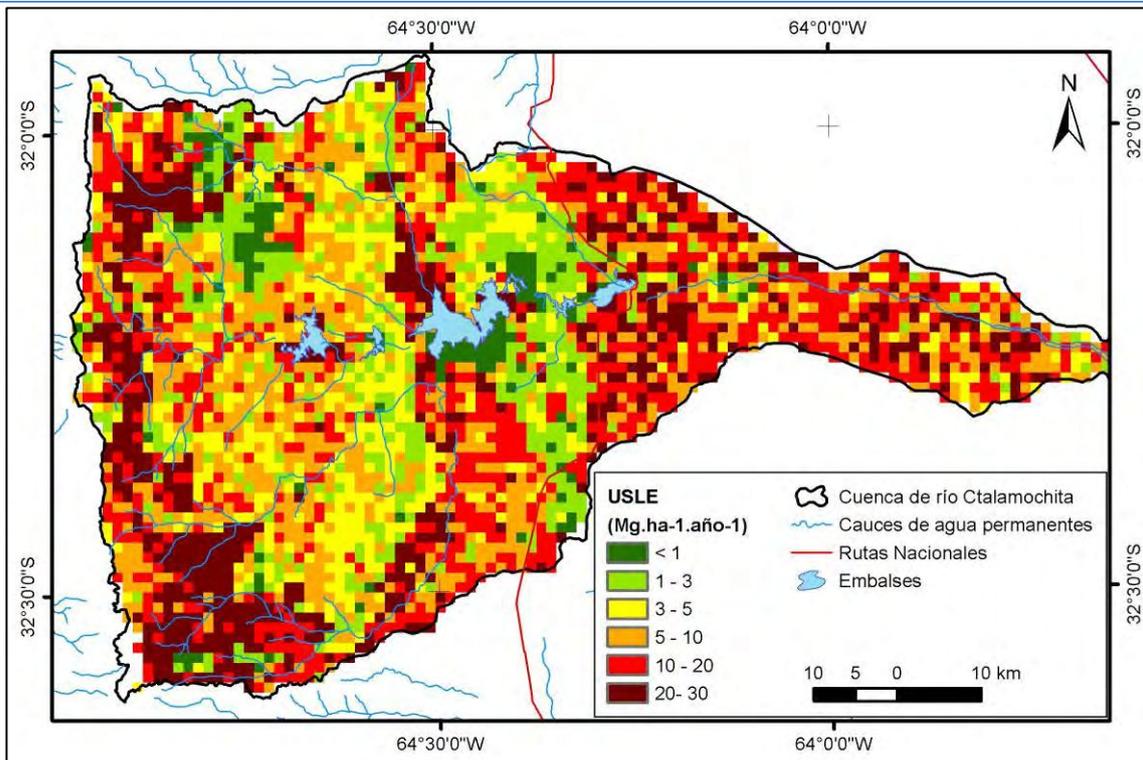


Figura 3.92. Pérdida de suelo por erosión hídrica, USLE, cuenca alta. Fuente: Elaboración propia.

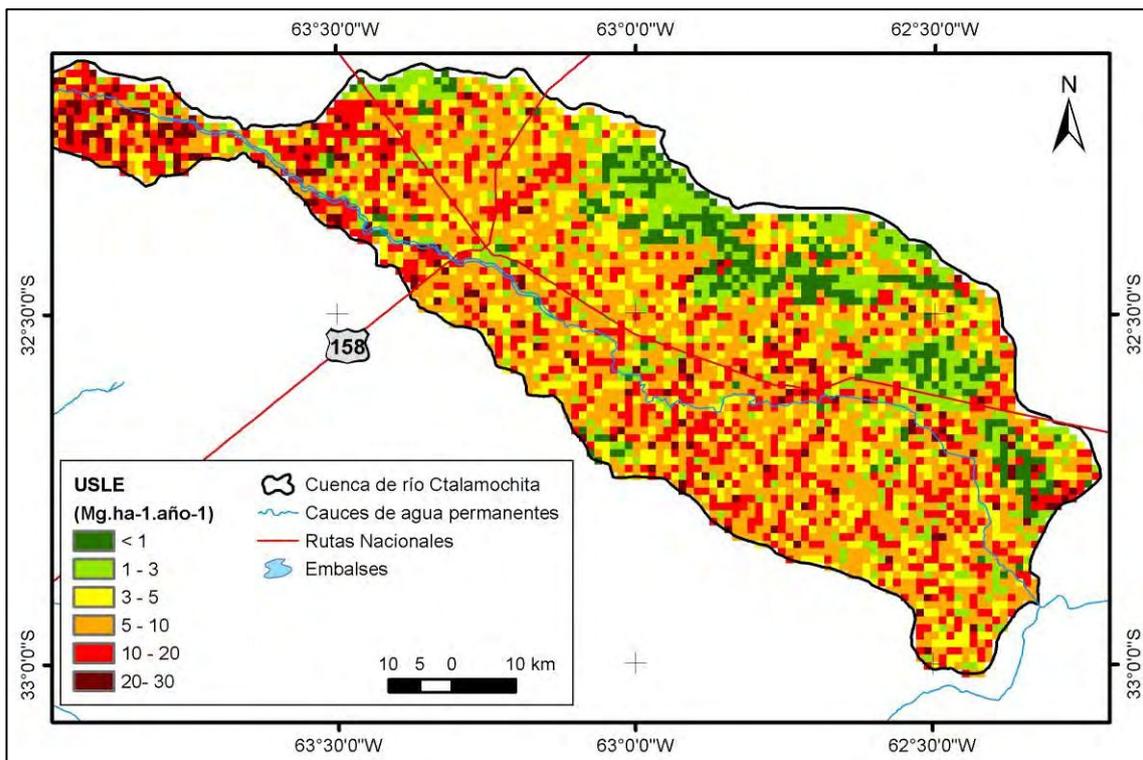


Figura 3.93. Pérdida de suelo por erosión hídrica, USLE, cuenca media-baja. Fuente: Elaboración propia.

De los valores ponderados para cada subcuenca o zona de aporte, definidas en la Figura 3.10, se obtienen los resultados que se presentan en Tabla 3.41.

	Sector estudiado	R ponderado	K ponderado	LS ponderado	C ponderado	USLE Mg.ha-1.año-1
Subcuenca	Río Santa Rosa	366.43	0.40	1.41	0.11	21.78
	Río Grande	377.53	0.27	1.97	0.12	24.19
	Río Quillínzo	387.79	0.38	1.51	0.14	31.39
	Río De La Cruz	398.22	0.51	0.74	0.16	24.10
	Arroyo Soconcho	379.61	0.47	0.53	0.15	14.10
	Arroyo De Lutti	375.90	0.45	1.20	0.10	21.53
	Arroyo San Antonio	382.83	0.53	0.98	0.10	19.83
	Arroyo Amboy	366.94	0.54	0.70	0.11	15.02
	Cuenca media-baja	458.75	0.59	0.14	0.22	8.22
Zona de aporte a embalses	Arroyo Corto	402.15	0.53	1.14	0.11	26.57
	Río Tercero	395.66	0.53	0.32	0.27	17.91
	Cerro Pelado	377.38	0.49	1.06	0.28	54.23
	Piedras Moras	380.82	0.52	0.40	0.19	15.29
	Pistarini/Ing. Reolín	397.44	0.30	0.61	0.06	4.36
	Ing. Cassafouths	410.22	0.22	1.55	0.05	7.15

Tabla 3.41. Valores de USLE por subcuenca o zona de aporte.

En Gaspari et al., 2013, citando a Morgan, 1997, se define la pérdida de suelo superficial tolerable como la tasa máxima de erosión permisible para que la fertilidad del suelo pueda mantenerse durante 20 o 25 años.

Según Wischmeier y Smith, 1978, las pérdidas de 12,5 Mg.ha⁻¹.año⁻¹ son admisibles como máximo en un suelo profundo, de textura media, permeabilidad moderada y con un subsuelo favorable para la vida de las plantas.

Según Hudson, citado por López Cadenas del Llano, 1998, para suelos arenosos profundos son admisibles pérdidas de entre 4 a 6 Mg.ha⁻¹.año⁻¹ y en suelos francos se admite en un rango entre 13 y 15 Mg.ha-1.año-1. En general, para suelos agrícolas, se dan valores de 4 a 6 Mg.ha⁻¹.año⁻¹ en suelos arenosos poco profundos; de 6 a 8 Mg.ha-1.año-1 en suelos areno – arcillosos, más de 12,5 Mg.ha-1.año-1 para suelos francos, profundos y fértiles.

En la cuencas estudiadas se exceden los 12,5 Mg.ha⁻¹.año⁻¹, exceptuando la subcuenca del arroyo San Antonio 11,7 Mg.ha⁻¹.año⁻¹ y las zonas de aporte a los embalses Ing. Cassafouths con 0,9 y Ing. Reolín con 4,9 Mg.ha⁻¹.año⁻¹ respectivamente, siendo 0,9 el mínimo valor calculado.

En función a lo descrito, se plantea un mapa de tolerancia de pérdida de suelo, considerando los siguientes valores:

Rango de Pérdida de suelo Mg.ha-1.año-1	Categoría
0 – 5	Tolerable
5 - 10	Límite de tolerancia
> 10	No tolerable

Tabla 3.42. Tolerancia de pérdida de suelo.

El mapa de tolerancia de pérdida de suelos se presenta en la Figura 3.94, donde se aprecia que gran parte de la cuenca alta y media presenta una pérdida de suelo no tolerable, en rojo, siendo pocos y espaciados los sectores donde es aceptable el valor obtenido. Mientras que en la cuenca baja la zona de bañados presenta una erosión tolerable.

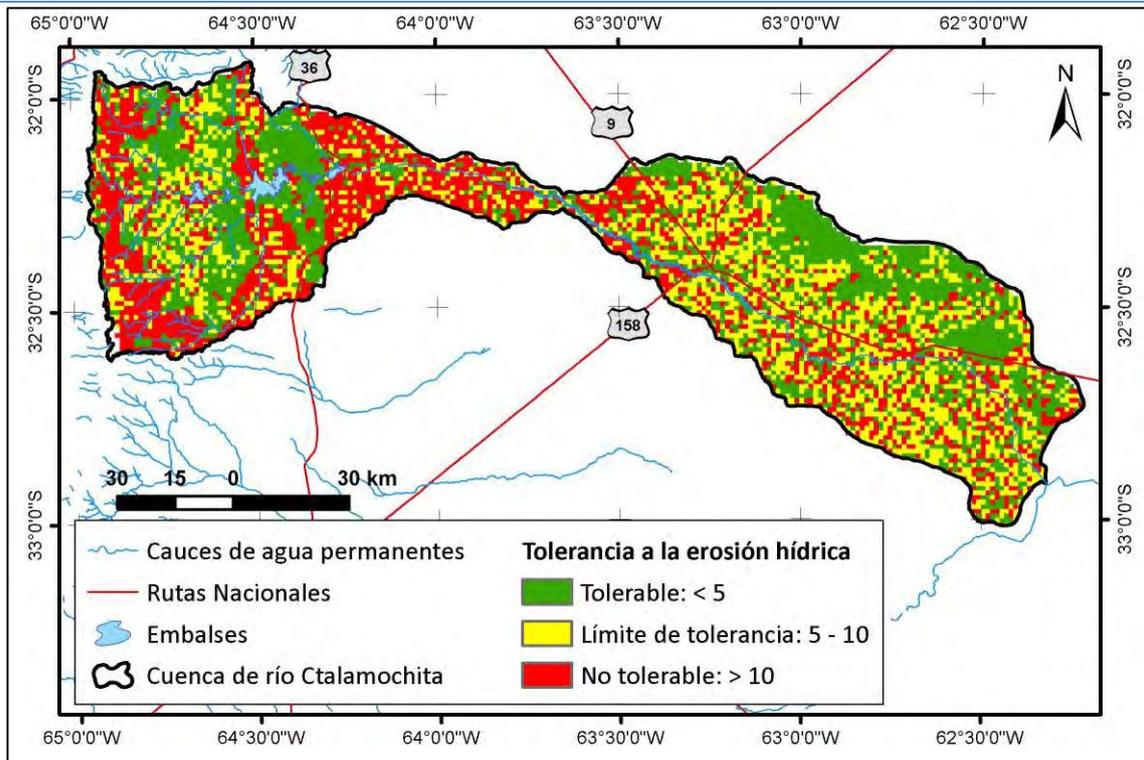


Figura 3.94. Tolerancia de pérdida de suelos. Fuente: Elaboración propia.

La Figura 3.95 detalla el porcentaje de superficie, dentro de la cuenca, con valores de erosión hídrica tolerables, en el límite de tolerancia y no tolerables.

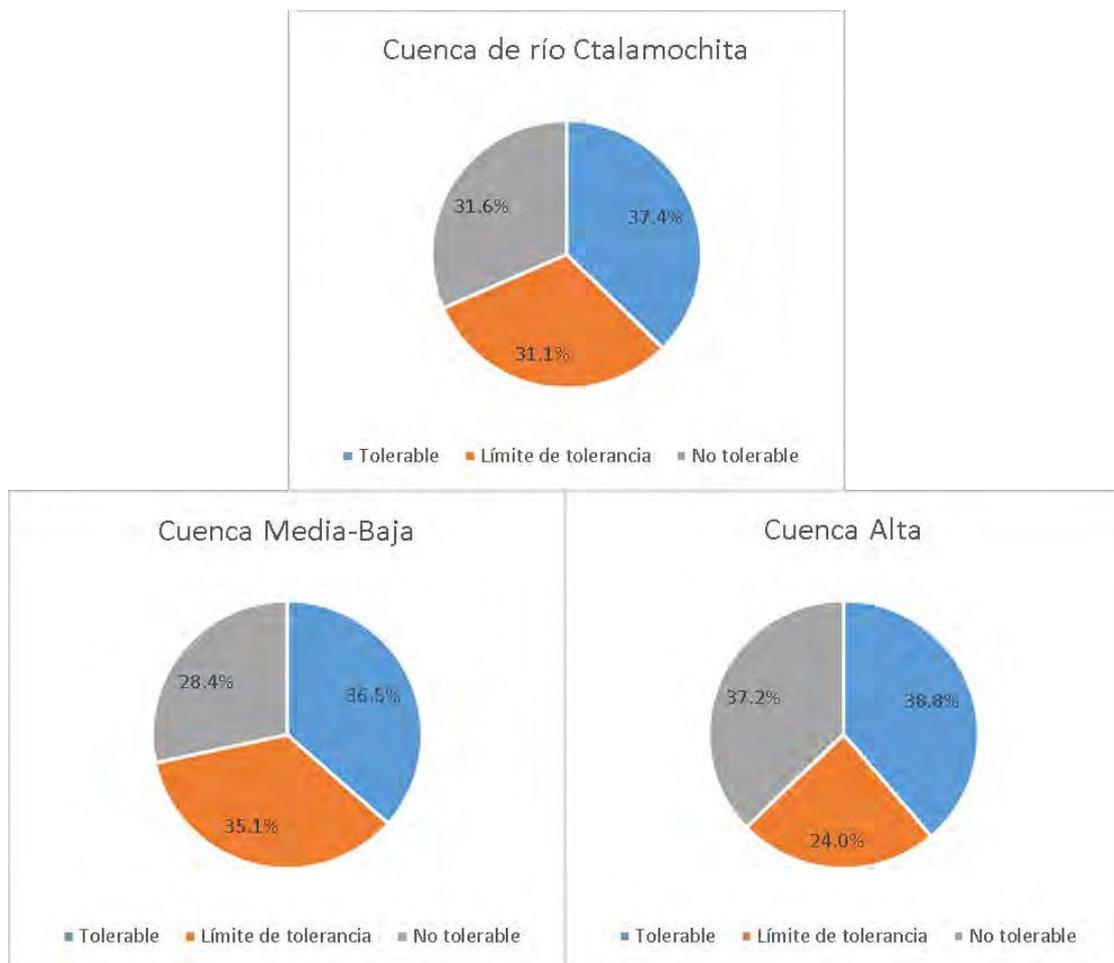


Figura 3.95. Porcentaje de superficie de ocupación según tolerancia de pérdida de suelo. Fuente: Elaboración propia.

Se aprecia que solo el 37,4 % de la cuenca presenta una erosión hídrica tolerable o aceptable, es decir que la cuenca soporta esa erosión, esa pérdida de material, mientras que el 62,6 % restante presenta una erosión de suelo irrecuperable, que no puede remediarse tomando medidas conservacionistas. Esta situación se mantiene tanto en la cuenca alta como en la media-baja, siendo los porcentajes de superficie con erosión hídrica no tolerable los que varían sólo un poco, de 28,4 % en la cuenca media-baja a 37,2 % en el alta.

MUSLE

Para determinar la cantidad de sedimentos emitidos por una tormenta en la cuenca (Y), se utilizó la ecuación Modificada de Pérdida del Suelo (MUSLE), en la cual se emplearon los datos ya definidos de los factores K, LS y C, obtenidos a partir de productos ráster. Los valores de cada parámetro para cada subcuenca son los presentados en la Tabla 3.41.

Con los datos de caudales pico y volúmenes escurridos que se obtuvieron para cada subcuenca y zona de aporte a los embalses, mediante el uso de programa HEC HMS, ya presentados en la Tabla 3.38, se estimó el volumen de sedimentos puesto en juego ante el evento de precipitación modelado.

Los resultados obtenidos para los sectores estudiados se presentan en la Tabla 3.43. donde se puede observar la pérdida de suelo media por hectárea por cuenca, en la última columna.

Sector estudiado	Volumen escurrido Q		Caudal Pico q (m ³ /s)	MUSLE Y	
	1000 m ³	m ³		(Mg)	(Mg.ha ⁻¹)
Subcuenca del Río Santa Rosa	29.858,7	29.858.690,0	667,8	10.762,98	0,15
Subcuenca del Río Grande	25.946,7	25.946.660,0	677,7	10.726,60	0,17
Subcuenca del Río Quillínzo	28.212,8	28.212.840,0	608,9	14.202,47	0,23
Subcuenca del Río De La Cruz	28.622,1	28.622.090,0	584,9	10.703,26	0,21
Subcuenca del Arroyo Soconcho	22.517,1	22.517.130,0	489,6	5.745,13	0,24
Subcuenca Arroyo De Lutti	3.017,6	3.017.610,0	110,7	2.873,60	0,39
Subcuenca Arroyo San Antonio	1.515,3	1.515.290,0	59,4	1.767,10	0,47
Subcuenca Arroyo Amboy	4.473,4	4.473.410,0	144,9	2.560,45	0,24
Zona de aporte Emb. Arroyo Corto	2.596,5	2.596.450,0	98,2	3.047,45	0,45
Zona de aporte Emb. Río Tercero	30.683,5	30.683.510,0	631,4	8.325,91	0,18
Zona de aporte Emb. Cerro Pelado	1.008,8	1.008.790,0	37,1	3.903,32	0,55
Zona de aporte Emb. Piedras Moras	10.453,5	10.453.460,0	246,1	4.039,28	0,30
Zona de aporte Emb. Ing. Reolín	9.883,2	9.883.170,0	290,4	1.069,11	0,09
Zona de aporte Emb. Cassafousth	572,0	572.030,0	24,8	344,74	0,23
Cuenca media-baja	329.939,2	329.939.150,0	2.684,0	12.466,43	0,02

Tabla 3.43. Sedimentos emitidos en cada subcuenca, cuenca Alta.

En todas las subcuencas de la parte alta se generan sedimentos mayores a las 0,15 Mg.ha⁻¹, siendo la del arroyo San Antonio la más comprometida con 0,47 Mg.ha⁻¹. Mientras que de las zonas sin cauces definidos se generó, una cantidad de sedimentos similar, con máximos en las zonas de aporte a los embalses Cerro Pelado y Piedras Mora, con 0,55 y 0,30 Mg.ha⁻¹ respectivamente. La cuenca media-baja generó 0,018 Mg.ha⁻¹ de sedimentos.

3.4.3 Indicador: erosión hídrica potencial

Una forma de evaluar la erosión hídrica potencial o máxima que podría ocurrir en un determinado sector es suponer que la zona estudiada no cuenta con ningún tipo de cobertura vegetal, como tampoco

prácticas de conservación de suelo o que regulen el escurrimiento superficial, de esta manera se evalúa la erosión potencial máxima de una determinada cuenca.

La Figura 3.96 presenta la erosión potencial en la cuenca estudiada, determinada mediante la ecuación 32, sin considerar los coeficientes C y P.

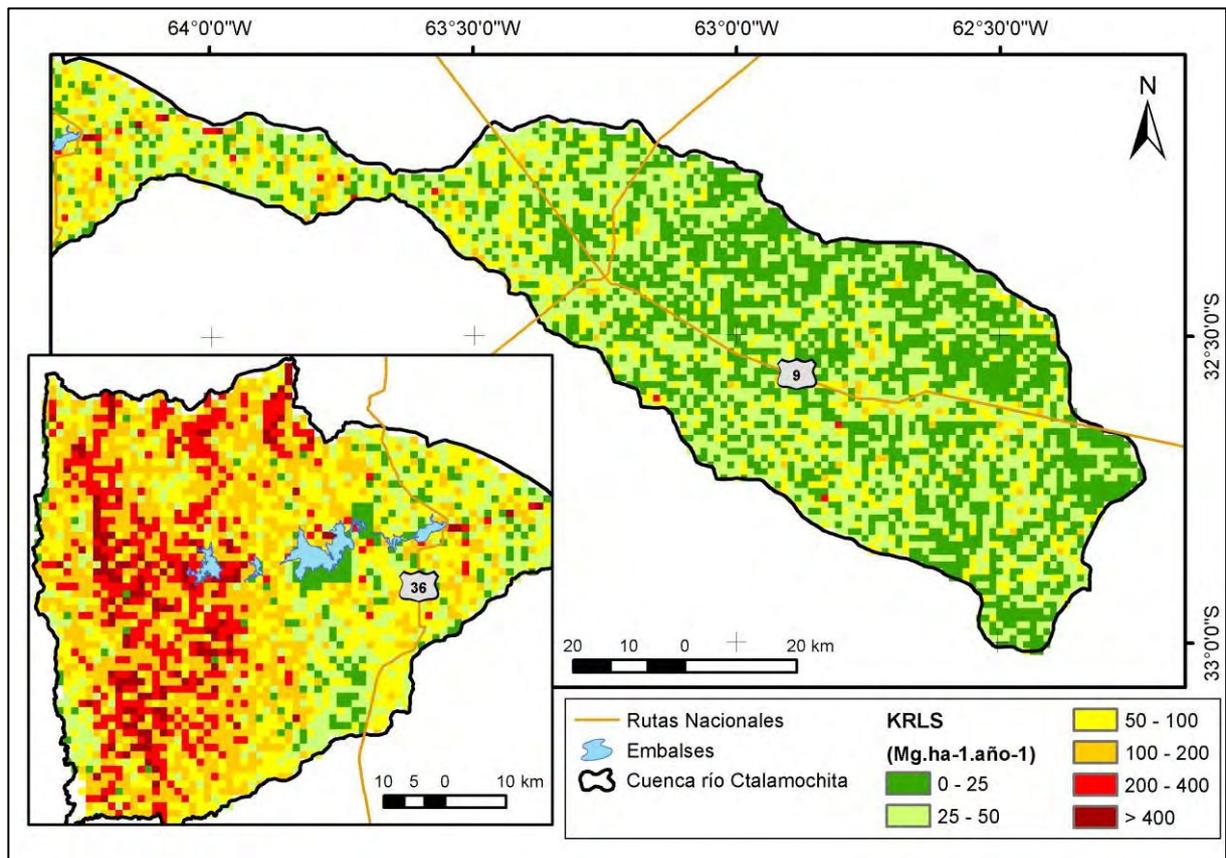


Figura 3.96. Erosión hídrica potencial. Fuente: Elaboración propia.

Inicialmente, se observa que en la cuenca alta los valores de erosión potencial son mayores, variando entre 50 y 400 Mg. ha⁻¹. año⁻¹, con colores entre amarillo y bordó, en concordancia con las laderas con mayores pendientes y altitudes. Mientras que, en la parte media y baja de la cuenca, donde las pendientes son menores y predominan los comportamientos de llanura, los valores de erosión se hacen mínimos, representado con colores verdes y amarillos, aunque se ven puntos dispersos con naranjas y rojos.

La Figura 3.97 muestra un gráfico de torta con la superficie de ocupación de cada rango, concluyendo que casi el 23 % de la cuenca presenta una erosión hídrica potencial mayor a 100 Mg.ha⁻¹.año⁻¹, siendo sólo el 2 % mayor a 400 Mg.ha⁻¹.año⁻¹, mientras que el 50 % de la cuenca presenta una erosión de entre 25 y 100 Mg.ha⁻¹.año⁻¹.

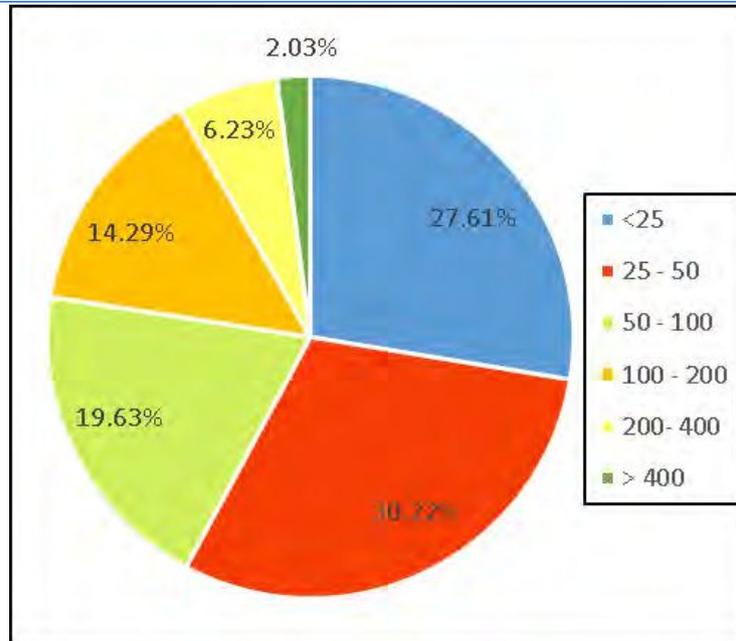


Figura 3.97. Superficie porcentual de ocupación por rango de erosión hídrica potencial (Mg. ha⁻¹. año⁻¹). Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, comparando los resultados obtenidos con los presentados por Gaitán et al. 2017, expuestos en la Figura 3.83, donde se observa también que la erosión potencial en la zona es similar a la obtenida, moderada en la zona baja de la cuenca y alcanzando valores máximos en la zona alta, en coincidencia con las zonas serranas.

3.4.4 Indicador: estado de la vegetación EVI

Como es sabido, el desarrollo de la vegetación se encuentra íntimamente ligado a la disponibilidad de agua y a las temperaturas. Con el análisis del EVI se estudió el comportamiento espacial y temporal del estado de las distintas cubiertas del suelo para distintas épocas del año, haciendo énfasis en las respuestas obtenidas en el periodo seco y húmedo del año, dependiendo, a su vez, de las cosechas.

En este caso, se utiliza al EVI como un indicador del estado de la vegetación y de su clasificación a partir de los valores óptimos. Se emplearon los mismos resultados que en el balance hidrológico presentados en el Anexo IV. A modo representativo se exponen los valores de EVI obtenidos para los meses de enero y agosto en las Figura 3.98 y Figura 3.99, respectivamente.

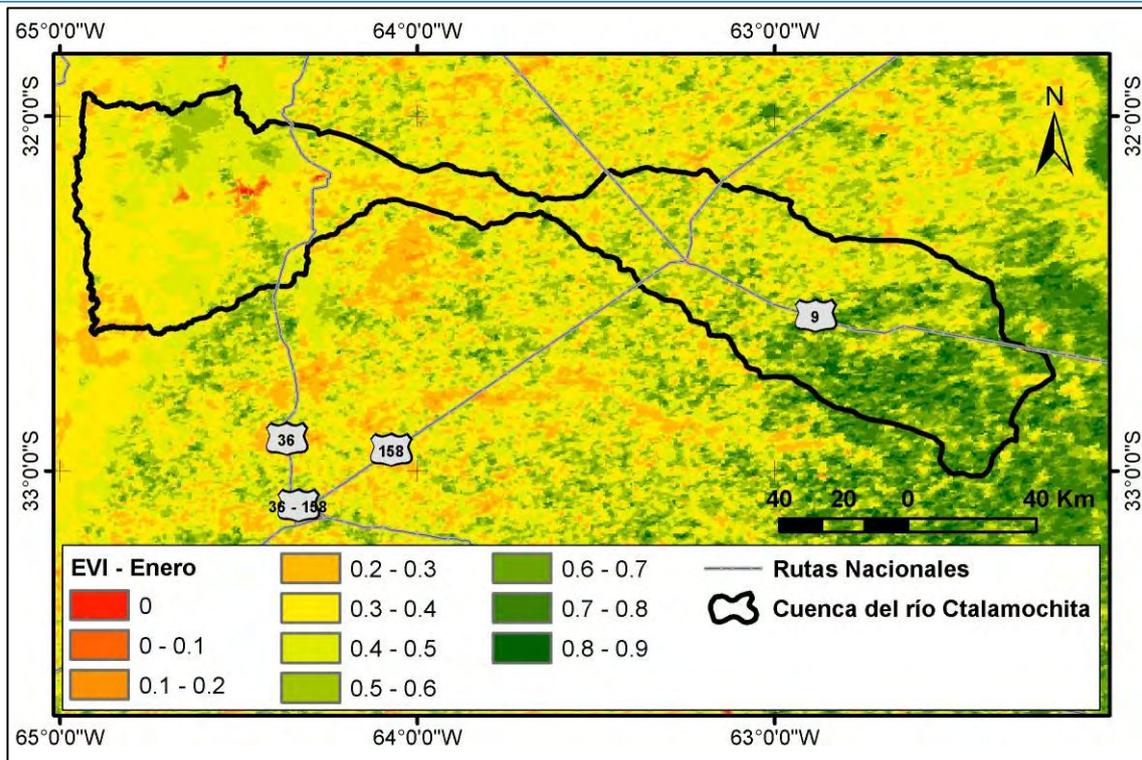


Figura 3.98. EVI para el mes de enero de 2014. Fuente: Elaboración propia.

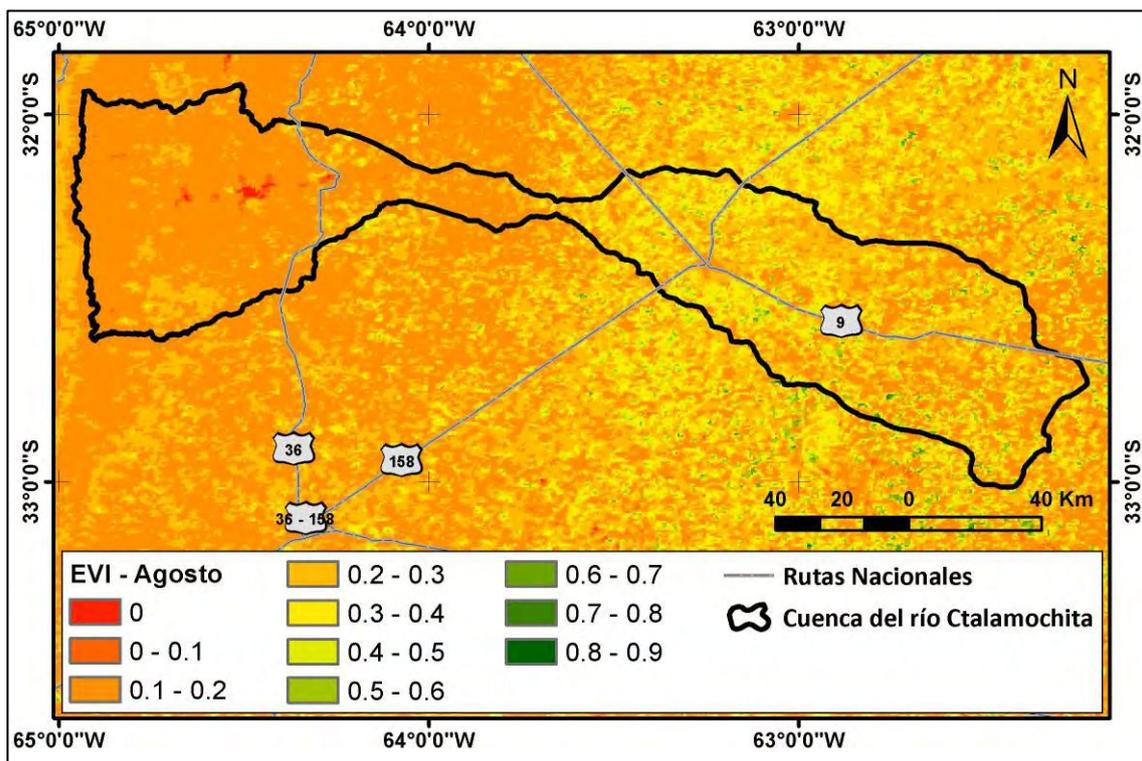


Figura 3.99. EVI para el mes de agosto de 2014. Fuente: Elaboración propia.

Según información de SNIA (Storage Networking Industry Association), los valores que adopta el EVI determinan, cuando son 0 o menores, la inexistencia de vegetación; en nuestro caso, dada la resolución de la imagen y el tamaño de los píxeles, los valores negativos son considerados errores de la imagen por nubosidad, ya que no existen zonas sin vegetación tan grandes dentro de la cuenca. Mientras que los valores del EVI mayores a 0, están asociados a presencia de vegetación, considerando que en los puntos donde el EVI oscila entre 0 y 0,2 la vegetación se encuentra en estrés hídrico o estado crítico. Finalmente,

en los puntos donde el EVI varía entre 0,2 y 1 la vegetación se encuentra en estados de estrés hídrico decreciente, siendo el 1 la mejor situación en que se encuentra la cobertura vegetal.

Analizando las imágenes obtenidas, se observa que entre los meses de abril y noviembre los valores de EVI se encuentran, en su mayoría, entre 0 y 0,3, coincidiendo con los meses con menores precipitaciones, permitiendo concluir que la falta de humedad del suelo expone a la vegetación a estados de estrés. A la vez, debe considerarse que la cantidad de vegetación es menor, o su nivel de crecimiento aún no se encuentra en alto desarrollo. Esto se encuentra en concordancia con las imágenes obtenidas de TDVI para los mismos meses, como se aprecia en el capítulo 3.4.3.

Dada la relación existente entre la capacidad de un suelo de resistir la erosión ante eventos de precipitación, con el tipo y estado de vegetación que lo cubre, puede entenderse la importancia de los datos obtenidos.

3.4.5 Indicador: USLE-EVI mensual

A partir de la generación de una tabulación cruzada (del cruzamiento de las imágenes ráster) obtenidas para cada mes de EVI y la de erosión hídrica máxima, presentada en la Figura 3.96, se obtuvieron las imágenes presentadas en el Anexo VIII, donde se analiza la influencia del estado y tipo de la cobertura del suelo sobre la erosión hídrica superficial.

La Tabla 3.44 muestra los valores adoptados para la tabulación cruzada. Se diferenciaron 4 rangos para el EVI, adoptando los valores: 1, 2, 3 y 4; para la erosión potencial también se usaron 4 rangos: 10, 20, 30 y 40 unidad.

EVI			KRLS - Erosión hídrica potencial			
			Nula /leve	Moderada	Alta	Muy Alta
			0 - 10	10 - 50	50 - 200	> 200
Estrés hídrico	Rango	Adoptado	10	20	30	40
Máximo	< 0.2	1	11	21	31	41
Alto	0.2 - 0.4	2	12	22	32	42
Moderado	0.4 - 0.6	3	13	23	33	43
Leve/Nulo	>0.6	4	14	24	34	44

Tabla 3.44. Rangos para la tabulación cruzada.

Los sectores en color rojo con valores 11, 21, 31 y 41, representan las situaciones con suelo prácticamente desnudo y junto con 42, 43 y 44 representan las peores situaciones con los píxeles en color rojo. En los 43 y 44 la pérdida del suelo es muy alta, si bien hay buena cobertura vegetal del suelo esto no impide su erosión. Las zonas anaranjadas con valores 22, 32 y 33 presentan una erosión hídrica potencial alta. Los valores 12, 13, 23 y 44 (en amarillo) representan los sectores de la cuenca donde la erosión potencial es moderada. Finalmente, los sectores donde la pérdida de suelos es nula o leve son los que presentan los valores 14 y 24 (en color verde).

La Tabla 3.45 presenta, en porcentaje, la superficie mensual que ocupa cada color, lo que permite analizar la evolución de la erosión que puede ocurrir en relación al estado de la cobertura. En la misma puede verse que, durante los meses de verano, el porcentaje de sectores en rojo es mucho menor que durante el resto del año, a la vez los sectores en verde ocupan una mayor superficie. Mientras que, la superficie ocupada por sectores en amarillo disminuye mucho entre mayo y noviembre, comportamiento similar al de la superficie ocupada por el sector verde. Sin embargo, la superficie ocupada por color naranja, exceptuando en el mes de febrero, siempre representa más del 40 % del total de la cuenca.

Mes	Procentaje de ocupación			
	Rojo	Naranja	Amarillo	Verde
Enero	8,80	43,37	32,14	15,68
Febrero	10,84	25,16	30,42	33,58
Marzo	13,07	50,02	27,35	9,56
Abril	31,89	52,92	15,08	0,11
Mayo	15,64	77,08	7,28	0,00
Junio	24,75	71,37	3,88	0,00
Julio	47,35	49,38	3,27	0,00
Agosto	53,92	40,46	5,37	0,24
Septiembre	45,32	48,16	6,38	0,14
Octubre	41,40	53,86	4,64	0,10
Noviembre	37,41	59,59	2,99	0,00
Diciembre	9,67	59,91	24,68	5,74

Tabla 3.45. Superficie mensual ocupada por cada color en porcentaje.

Los resultados obtenidos mes a mes se presentan en el Anexo VIII, a modo de muestra se presentan las imágenes obtenidas para los meses de enero y agosto de 2014 en las Figura 3.100 y Figura 3.101, respectivamente.

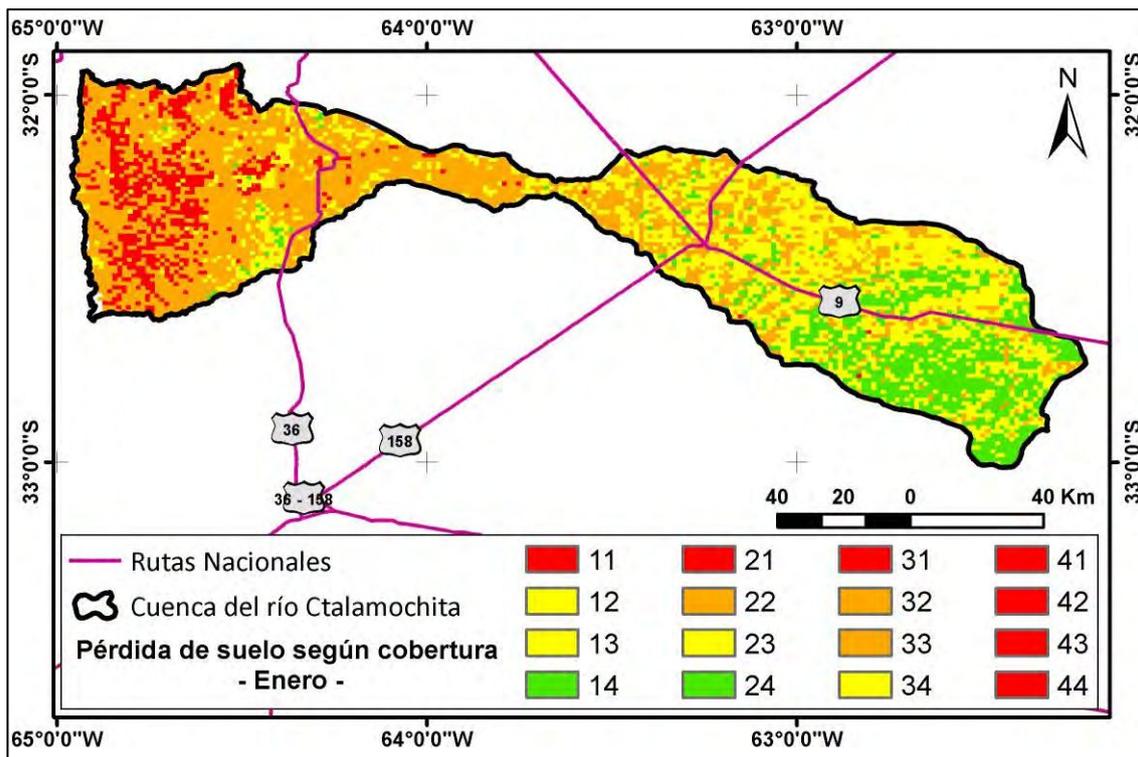


Figura 3.100. Tabulación cruzada EVI-USLE potencia, para enero de 2014. Fuente: Elaboración propia.

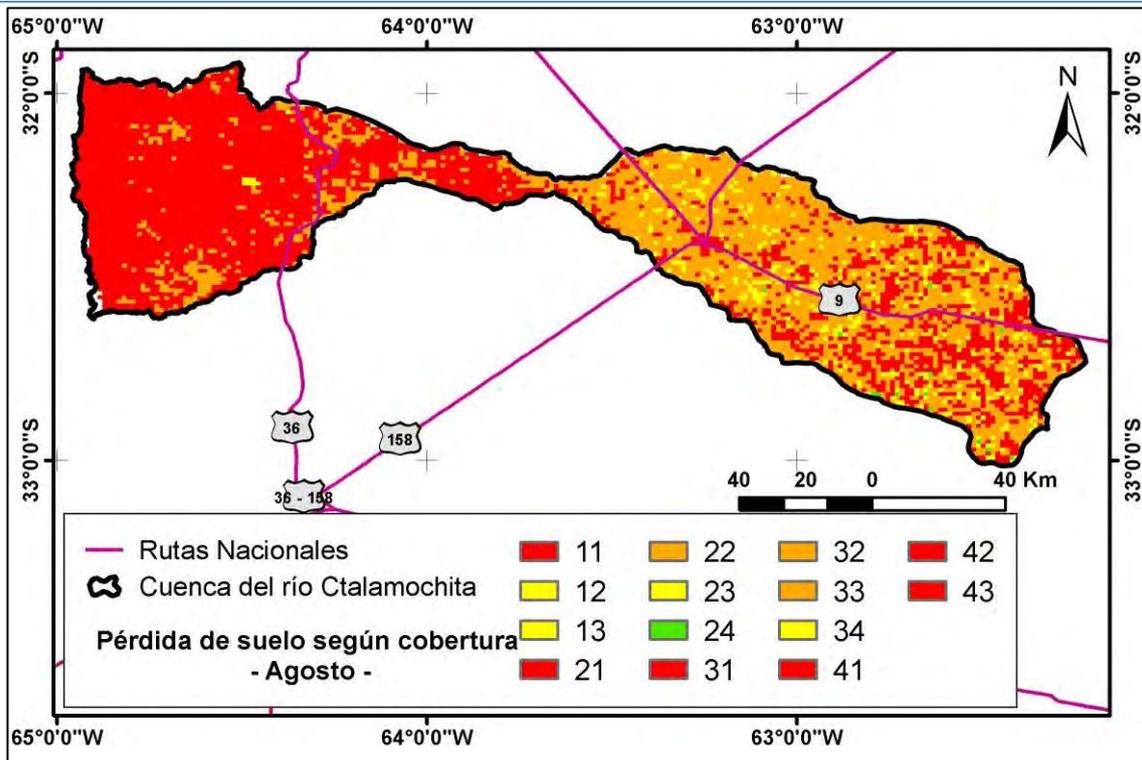


Figura 3.101 Tabulación cruzada EVI-USLE potencia, para agosto de 2014. Fuente: Elaboración propia.

3.4.6 Indicador de humedad del suelo - TDVI

El TVDI fue desarrollado para establecer el estado de la humedad (sequedad) del sistema suelo-planta. El índice toma valores entre 0 y 1, donde 0 indica máxima humedad y 1 alude a máxima sequedad. Según los valores del TDVI para cada pixel se entiende que valores entre 0 y 0,1 representan un suelo muy húmedo, húmedo entre 0,1 y 0,2, seco entre 0,6 y 0,8 y muy seco TVDI entre 0,8 y 1. El índice no permite distinguir entre diferentes coberturas vegetales (cultivos, pasturas, monte, etc.) sino que representa el estado de déficit hídrico de la cobertura vegetal existente. Donde la cobertura vegetal es escasa o nula (suelo desnudo, siembras incipientes), el índice representa el estado hídrico de la parte superficial del suelo (aproximadamente 5-10 cm de profundidad).

En este caso de estudio en la tesis, se utilizó al TDVI como un indicador de la humedad del suelo, para analizar la distribución espacial del estrés hídrico, para lo cual se emplearon los mismos resultados obtenidos en el balance hidrológico presentado en el Anexo IV. A modo de ejemplo, a continuación, se presentan las imágenes obtenidas para los meses de enero, Figura 3.102, y agosto, Figura 3.103.

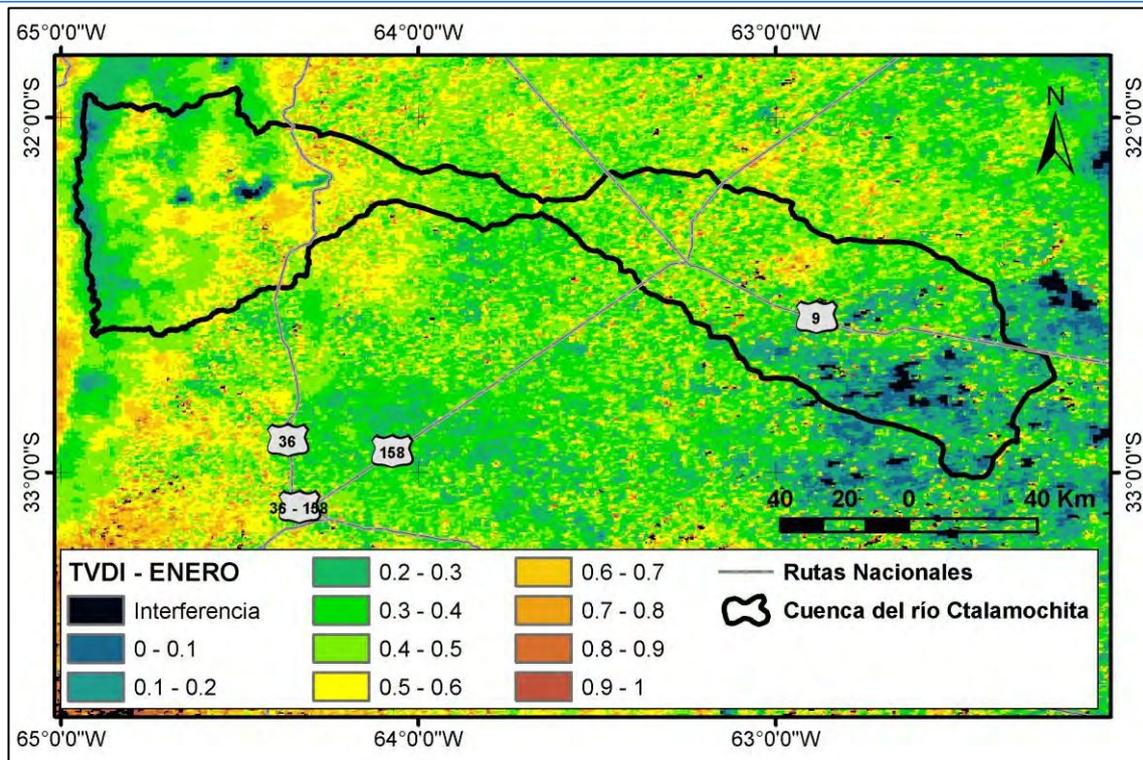


Figura 3.102. TVDI para el mes de enero de 2014. Fuente: Elaboración propia.

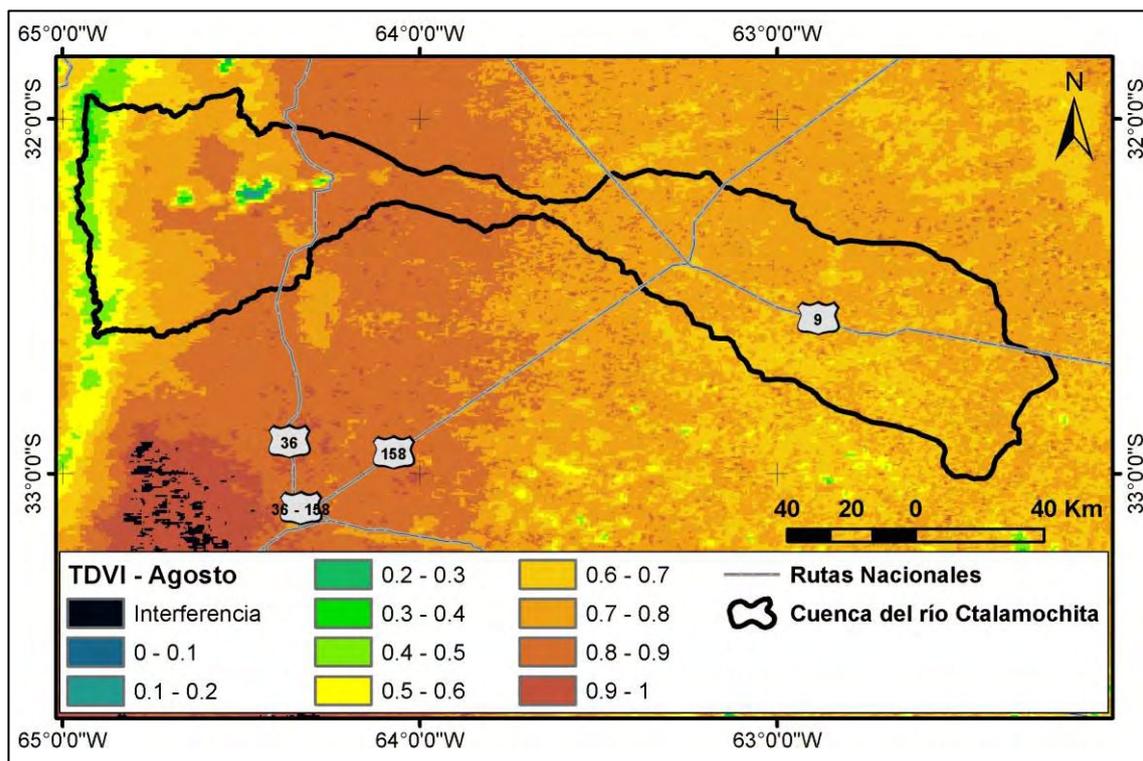


Figura 3.103. TVDI para el mes de agosto de 2014. Fuente: Elaboración propia.

Estudiando las imágenes obtenidas, se observa que hay una variación estacional, donde durante los meses de mayores lluvias, de noviembre a abril, se alcanzan los menores valores de TVDI, aludiendo a máximas humedades, en concordancia con los valores máximos de EVI hallados en dichos meses.

La Tabla 3.46 presenta, en porcentaje, la superficie mensual que ocupa cada color de las figuras de TVDI, que permite analizar la evolución del contenido de humedad del suelo. En la misma se visualiza que, durante los meses más fríos predominan los sectores con colores naranjas y rojos, con menor

humedad, en coincidencia con las menores lluvias. Entre noviembre y enero la humedad es la mayor (colores azules y verdes), mientras que entre febrero y abril predominan valores medios (colores verdes claros y amarillos). La segunda columna de la tabla representa el porcentaje ocupado por las interferencias (Interf.) presentes en cada imagen.

Mes	Porcentaje de ocupación por rango de TDVI										
	Interf.	0 - 0,1	0,1 - 0,2	0,2 - 0,3	0,3 - 0,4	0,4 - 0,5	0,5 - 0,6	0,6 - 0,7	0,7 - 0,8	0,8 - 0,9	0,9 - 1
Enero	1,59	3,03	7,03	11,41	22,66	29,72	18,01	4,66	1,21	0,40	0,27
Febrero	4,76	0,25	0,60	1,33	4,60	19,33	35,10	20,39	9,15	3,50	0,99
Marzo	0,00	0,00	0,96	2,70	3,34	18,51	46,20	23,90	3,93	0,40	0,05
Abril	0,36	1,10	3,43	19,33	47,57	23,16	4,01	0,65	0,24	0,09	0,06
Mayo	0,00	0,00	0,00	0,00	2,34	2,09	4,14	22,92	41,93	22,37	4,23
Junio	2,83	0,92	1,84	16,22	25,66	16,41	15,49	12,56	5,61	2,00	0,46
Julio	6,36	0,00	0,00	0,08	0,92	2,87	2,45	4,60	28,60	37,81	16,30
Agosto	0,00	0,00	0,11	0,10	0,56	2,30	3,62	19,72	52,94	20,35	0,29
Septiembre	0,91	0,00	0,00	0,18	0,61	3,44	6,36	40,29	34,52	10,63	3,07
Octubre	0,91	0,00	0,00	0,18	0,61	3,44	6,36	40,29	34,52	10,63	3,07
Noviembre	0,55	1,46	4,04	6,80	9,04	5,43	17,93	37,67	15,94	1,05	0,10
Diciembre	2,00	3,96	8,36	17,37	20,07	29,51	14,38	3,19	0,78	0,27	0,11

Tabla 3.46. Superficie mensual ocupada por TDVI, para cada color en porcentaje.

3.5 Niveles de riesgo hídrico ante eventos pluviales

Para analizar los niveles de riesgo se consideraron cuatro eventos de precipitación: máximo, de 217 mm, dos intermedios: de 108 mm y otro de 75 mm y, finalmente, uno mínimo con una lluvia de 20 mm.

Como evento de máximo riesgo hídrico, de 217 mm, se consideró la precipitación registrada durante el día 14 de febrero de 2014, para los otros tres eventos se mantuvo la misma distribución temporal de dicha precipitación. Los valores empleados en las distintas modelaciones de la cuenca Alta se presentan en la Figura 3.104.

Tal como se comentó en el apartado 3.3.2 dada la gran extensión de la cuenca Media-Baja, se analizó dividida en tres grandes subcuencas, a las que se les aplicaron, en los cuatro eventos de precipitación descritos, el Coeficiente de Abatimiento Areal (CAA) de 0,634. Los valores empleados en las distintas modelaciones de la cuenca Media-Baja se presentan en la Figura 3.105.

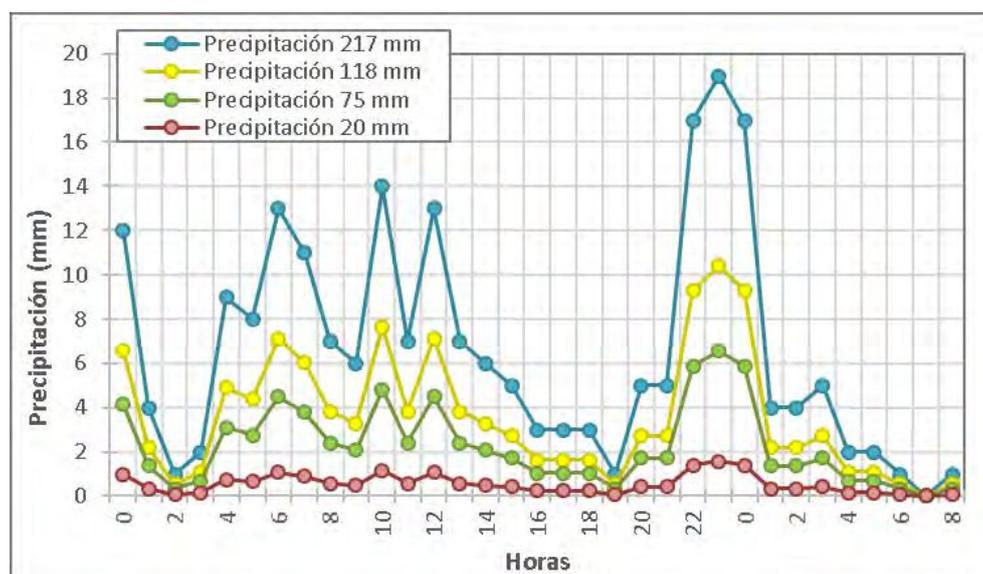


Figura 3.104. Eventos aplicados en las modelaciones de la cuenca Alta. Fuente: Elaboración propia.

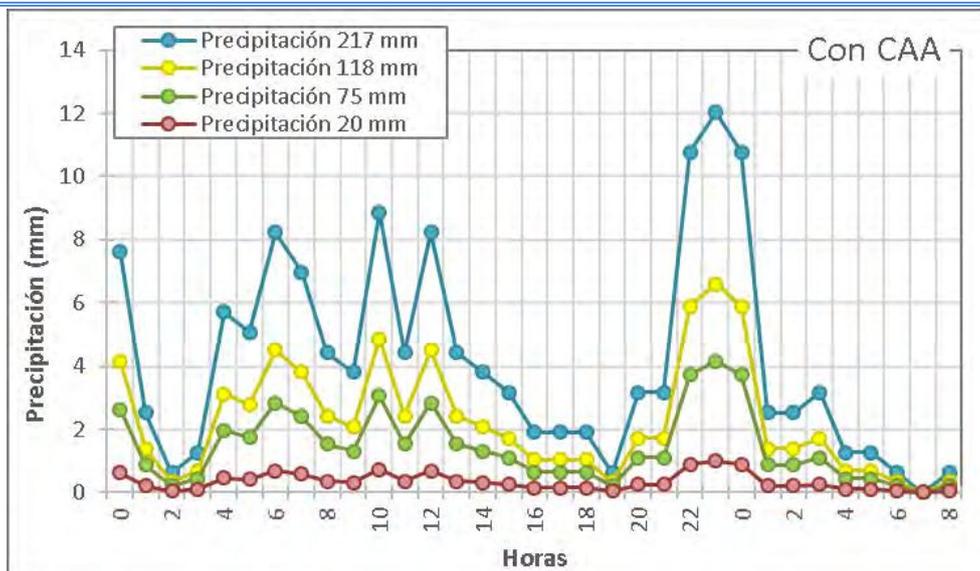


Figura 3.105. Eventos aplicados en las modelaciones de la cuenca Media-Baja, con CAA. Fuente: Elaboración propia.

La modelación realizada para el evento de 217 mm es la presentada en el Capítulo 3.3 Modelización hidrológica, los parámetros de modelación de cada subcuenca, junto con los resultados obtenidos, se encuentran en el Anexo VI.

La Tabla 3.47 presenta un resumen de los resultados obtenidos en todas las modelaciones, mientras que en el Anexo IX se presentan los resultados puntuales de cada modelación para cada subcuenca. Los resultados presentan caudales extremadamente elevados en la modelación con 217 mm, disminuyendo de forma abrupta a medida que las lluvias son menores, haciéndose nulos para precipitaciones menores a los 75 mm.

Sector estudiado	Superficie (ha)	Modelación - 217mm		Modelación - 118 mm		Modelación - 75 mm		Modelación - 20 mm	
		Volumen (1000 m ³)	Caudal Punta (m ³ /s)	Volumen (1000 m ³)	Caudal Punta (m ³ /s)	Volumen (1000 m ³)	Caudal Punta (m ³ /s)	Volumen (1000 m ³)	Caudal Punta (m ³ /s)
Subcuenca del Río Santa Rosa	71573,45	29858,69	667,77	4183,19	111,84	62,81	1,82	0,00	0,00
Subcuenca del Río Grande	63739,55	25946,66	677,67	3369,65	109,8	26,21	1,04	0,00	0,00
Subcuenca del Río Quillínz	61575,33	28212,84	608,86	4453,32	115,5	1492,54	39,29	0,00	0,00
Subcuenca del Río De La Cruz	51768,95	28622,09	584,85	5572,77	136,39	576,56	14,94	0,00	0,00
Subcuenca del Arroyo Soconcho	24374,16	22517,13	489,62	6878,15	175,91	2030,97	60,29	0,00	0,00
Subcuenca Arroyo De Lutti	7413,45	3017,61	110,71	408,89	17,68	4,12	0,2	0,00	0,00
Subcuenca Arroyo San Antonio	3792,61	1515,29	59,40	200,06	9,86	1,37	0,07	0,00	0,00
Subcuenca Arroyo Amboy	10700,84	4473,41	144,91	616,56	24,68	8,46	0,37	0,00	0,00
Zona de aporte Emb. Arroyo Corto	6754,13	2596,45	98,16	324,49	14,35	0,66	0,03	0,00	0,00
Zona de aporte Emb. Río Tercero	46007,62	30683,51	631,41	7150,73	175,85	1240,57	34,22	0,00	0,00
Zona de aporte Emb. Cerro Pelado	7102,75	1008,79	37,14	0,97	0,04	0,000	0,000	0,00	0,00
Zona de aporte Emb. Piedras Moras	13579,80	10453,46	246,07	2755,02	77,99	625,21	20,46	0,00	0,00
Zona de aporte Emb. Ing. Reolín	12563,63	9883,17	290,39	2651,26	93,01	622,83	24,98	0,00	0,00
Zona de aporte Emb. Cassafousth	1487,89	572,03	24,76	71,49	3,70	0,15	0,01	0,00	0,00
Cuenca media-baja	674904,68	329939,2	2684,0	83116,4	636,3	17039,7	94,1	0,0	0,0

Tabla 3.47. Resultados obtenidos con HEC-HMS en las cuatro modelaciones.

La Figura 3.106 evidencia la forma en que los caudales pico aumentan a medida que se incrementan las precipitaciones, lo que permite medir el grado de respuesta de cada zona estudiada, el cual se acentúa para eventos de precipitación mayores a los 100 mm. Los resultados para la cuenca media-baja no fueron graficados debido a la disparidad en las escalas, dado que el caudal obtenido en ese caso es mucho mayor.

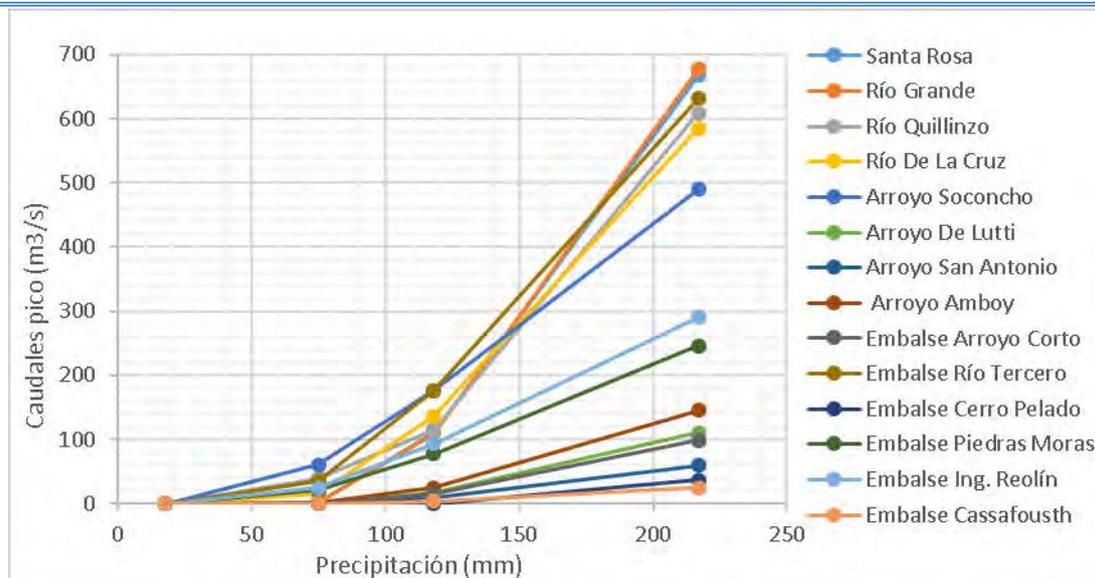


Figura 3.106. Caudales pico vs eventos de precipitación. Fuente: Elaboración propia.

Con los caudales obtenidos en las modelaciones y los volúmenes de agua generados se determinaron las cantidades de sedimentos que se producirían en cada caso. Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 3.48.

Sector estudiado	MUSLE Y							
	Modelación Ppt 217 mm		Modelación Ppt 118 mm		Modelación Ppt 75 mm		Modelación Ppt 20 mm	
	(Mg)	(Mg/ha)	(Mg)	(Mg/ha)	(Mg)	(Mg/ha)	(Mg)	(Mg/ha)
Subcuenca del Río Santa Rosa	10.763,0	0,15	3.580,4	0,05	341,03	0,00	0,00	0,00
Subcuenca del Río Grande	10.726,6	0,17	3.420,0	0,05	225,38	0,00	0,00	0,00
Subcuenca del Río Quillinzo	14.202,5	0,23	5.051,0	0,08	2.738,49	0,04	0,00	0,00
Subcuenca del Río De La Cruz	10.703,3	0,21	4.281,2	0,08	1.201,81	0,02	0,00	0,00
Subcuenca del Arroyo Soconcho	5.745,1	0,24	2.957,2	0,12	1.493,50	0,06	0,00	0,00
Subcuenca Arroyo De Lutti	2.873,6	0,39	938,2	0,13	71,47	0,01	0,00	0,00
Subcuenca Arroyo San Antonio	1.767,1	0,47	568,6	0,15	34,89	0,01	0,00	0,00
Subcuenca Arroyo Amboy	2.560,4	0,24	844,0	0,08	76,43	0,01	0,00	0,00
Zona de aporte Embalse Arroyo Corto	3.047,5	0,45	950,9	0,14	29,57	0,00	0,00	0,00
Zona de aporte Embalse Río Tercero	8.325,9	0,18	3.683,0	0,08	1.380,99	0,03	0,00	0,00
Zona de aporte Embalse Cerro Pelado	3.903,3	0,55	79,8	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
Zona de aporte Embalse Piedras Moras	4.039,3	0,30	1.914,2	0,14	834,24	0,06	0,00	0,00
Zona de aporte Embalse Ing. Reolín	1.069,1	0,09	511,7	0,04	227,36	0,02	0,00	0,00
Zona de aporte Embalse Cassafousth	344,7	0,23	107,6	0,07	3,40	0,00	0,00	0,00
Cuenca media-baja	12.466,4	0,02	5.760,3	0,01	2.371,58	0,00	0,00	0,00

Tabla 3.48. Valores de MUSLE para las cuatro modelaciones realizadas.

Analizando los resultados se evidencia que el incremento en la generación de sedimentos depende del aumento en la intensidad de la lluvia, incluso esto se intensifica cuando los eventos superan los 118 mm, esto se ha observado en todas las subcuencas estudiadas.

Para las modelaciones con el evento de 118 mm, los caudales sólidos obtenidos son menores, con respecto a los anteriores, evidenciando que pueden producir inundaciones y desbordes en la parte baja de la cuenca y arrastre de material.

Para el caso de las modelaciones realizadas con el evento de 75 mm, los caudales escurridos y el arrastre de sedimentos es mucho menor, en toda la cuenca, incluso hay sectores donde no se produce erosión hídrica, con valores de toneladas por hectárea próximos a cero.

Los resultados obtenidos, presentados en la Tabla 3.48, se analizaron por separado: por un lado las toneladas de suelos erosionado por hectárea, es decir por unidad territorial en la Tabla 3.49 y por el otro las toneladas de suelo que genera cada evento de precipitación en la Tabla 3.50, en las distintas subcuencas y sectores estudiados.

Las gradaciones de MUSLE fueron determinadas mediante percentiles indicando el riesgo hídrico ante eventos pluviales representado en las Tabla 3.49 y Tabla 3.50, donde en verde se observan los valores mínimos de erosión, cuando la vulnerabilidad es menor, para ambas tablas el valor mínimo determinado es 0. Mientras que, en rojo se identificaron los valores máximos de erosión, cuando la vulnerabilidad es mayor, siendo el máximo de 1,246 Mg.ha⁻¹ en la primera tabla, correspondiente al sector de aporte al embalse Río Tercero y 14.242,5 Mg en la segunda, correspondiente a la subcuenca del río Quillinzo.

Analizando los resultados obtenidos se aprecia que, para precipitaciones mayores a los 100 mm aproximadamente, en la mayoría de las cuencas se observa una vulnerabilidad moderada/alta. Especialmente en la Tabla 3.49, donde para precipitaciones mayores a 200 mm la vulnerabilidad se vuelve muy alta.

Sector estudiado	MUSLE (Mg.ha ⁻¹)			
	217 mm	118 mm	75 mm	20 mm
Subcuenca del Río Santa Rosa	0,150	0,050	0,005	0,000
Subcuenca del Río Grande	0,168	0,054	0,004	0,000
Subcuenca del Río Quillinzo	0,231	0,082	0,044	0,000
Subcuenca del Río De La Cruz	0,207	0,083	0,023	0,000
Subcuenca del Arroyo Soconcho	0,236	0,121	0,061	0,000
Subcuenca Arroyo De Lutti	0,388	0,127	0,010	0,000
Subcuenca Arroyo San Antonio	0,466	0,150	0,009	0,000
Subcuenca Arroyo Amboy	0,239	0,079	0,007	0,000
Zona de aporte Emb. Arroyo Corto	0,451	0,141	0,004	0,000
Zona de aporte Emb. Río Tercero	0,181	0,080	0,030	0,000
Zona de aporte Emb. Cerro Pelado	0,550	0,011	0,000	0,000
Zona de aporte Emb. Piedras Moras	0,297	0,141	0,061	0,000
Zona de aporte Emb. Ing. Reolín	0,085	0,041	0,018	0,000
Zona de aporte Emb. Cassafousth	0,232	0,072	0,002	0,000
Cuenca Media-Baja	0,018	0,009	0,004	0,000

Tabla 3.49. MUSLE por hectárea para cada cuenca y para cada modelación.

Sin embargo, cuando se analiza cada subcuenca, Tabla 3.50, se visualiza que en la cantidad total de sedimento que se genera en cada cuenca, los valores obtenidos son relativos al tamaño de cada subcuenca estudiada.

Sector estudiado	Superficie	MUSLE - Mg			
	ha	217 mm	118 mm	75 mm	20 mm
Subcuenca del Río Santa Rosa	71.573,5	10.763,0	3.580,4	341,0	0,0
Subcuenca del Río Grande	63.739,5	10.726,6	3.420,0	225,4	0,0
Subcuenca del Río Quillinzo	61.575,3	14.202,5	5.051,0	2.738,5	0,0
Subcuenca del Río De La Cruz	51.769,0	10.703,3	4.281,2	1.201,8	0,0
Subcuenca del Arroyo Soconcho	24.374,2	5.745,1	2.957,2	1.493,5	0,0
Subcuenca Arroyo De Lutti	7.413,5	2.873,6	938,2	71,5	0,0
Subcuenca Arroyo San Antonio	3.792,6	1.767,1	568,6	34,9	0,0
Subcuenca Arroyo Amboy	10.700,8	2.560,4	844,0	76,4	0,0
Zona de aporte Emb. Arroyo Corto	6.754,1	3.047,5	950,9	29,6	0,0
Zona de aporte Emb. Río Tercero	46.007,6	8.325,9	3.683,0	1.381,0	0,0
Zona de aporte Emb. Cerro Pelado	7.102,7	3.903,3	79,8	0,0	0,0
Zona de aporte Emb. Piedras Moras	13.579,8	4.039,3	1.914,2	834,2	0,0
Zona de aporte Emb. Ing. Reolín	12.563,6	1.069,1	511,7	227,4	0,0
Zona de aporte Emb. Cassafousth	1.487,9	344,7	107,6	3,4	0,0
Cuenca Media-Baja	674.904,7	12.466,4	5.760,3	2.371,6	0,0

Tabla 3.50. MUSLE para cada cuenca y para cada modelación.

4 CONCLUSIONES

Durante el desarrollo de la tesis, se recopiló información y se analizaron diferentes fuentes: trabajos, publicaciones, tesis, libros, documentos varios y se realizaron reuniones y entrevistas personales con investigadores de la Universidad Nacional de Villa María y con funcionarios municipales, entre otros, que permitió generar el diagnóstico íntegro y análisis del medio socio-ambiental y económico.

La base de datos generada mediante Sistemas de Información Geográfica permitió la sistematización de una cantidad diversa de información, posibilitando su manipulación con la finalidad de realizar un análisis del medio y de su vulnerabilidad. Se utilizaron muchas de las herramientas propias de procesamiento de un SIG, como álgebra de mapas, cálculos estadísticos, superposiciones, georreferenciaciones, entre otras, a los fines de manejar informática y digitalmente toda la información.

La estimación de la población actual en la cuenca, empleando los métodos de proyección poblacional de Ajuste lineal y de las Tasas Medias Anuales Decrecientes, dio como resultado un aumento del 4,8 % en relación a los valores censados en 2010, alcanzando los 525.000 habitantes.

Los cultivos más representativos en la cuenca son la soja, el trigo y el maíz, en relación a la información obtenida de censos provinciales de las hectáreas sembradas y cosechadas. Sin embargo, los rendimientos generales de los cultivos en toda la cuenca son bajos.

La cuenca media y baja del río Ctalamochita se encuentra en casi su totalidad dentro de la cuenca lechera Villa María, que aporta el 43% de la producción tambera provincial y concentró el 14 % del stock nacional de vacas y el 11 % de las unidades productivas nacionales. La actividad ganadera presenta un stock en la provincia de Córdoba, que representa un 15 % del total nacional, de los cuales, el 91 % del total corresponde a ganado bovino, el 7,7 % a porcinos y el 1,3 % restante a ovinos y caprinos. Dentro de la cuenca del Ctalamochita se encuentran, cinco mataderos/frigoríficos de bovinos, uno de ovinos y cinco de porcinos. Adicionalmente, se encuentra un centro de acopio de pequeños productores de lana.

El análisis pluvial permitió determinar el comportamiento de las lluvias en la cuenca, donde la tendencia general (isohietas de todo el país) indica que las precipitaciones aumentan de Oeste a Este. Sin embargo, en la zona estudiada las lluvias son mayores en la parte alta de la cuenca, al Oeste, por el efecto local de las sierras. Durante el año las lluvias presentan un comportamiento unimodal, siendo mayores de octubre a abril y menores de mayo a septiembre.

En cuanto a las temperaturas, los meses cálidos se distribuyen de octubre a marzo, en toda la cuenca, con máximos de 23° C en la zona NO, disminuyendo hacia la cuenca media con mínimos de 20° C, creciendo nuevamente hacia la salida de la cuenca, hasta los 22° C. Mientras que, los meses fríos, de abril a septiembre, presenta picos máximos de 13,7° C en la zona NO y mínimos de 12° C en el sector sur, con un decrecimiento parejo de norte a sur.

La Humedad Relativa presenta un claro comportamiento estacional, en todas las estaciones meteorológicas, con un máximo en enero que alcanza el 25% y un mínimo en el mes de junio de 8%.

La velocidad media del viento es mayor en la segunda mitad del año, de agosto a diciembre, alcanzando los 15 km/h.

A partir del análisis hidrológico de la cuenca se diferenciaron dos comportamientos muy marcados: la cuenca alta, regida por un comportamiento de cuenca de montaña con grandes pendientes y cauces definidos, donde el escurrimiento está regulado por una serie de seis embalses encadenados. Mientras que, en la cuenca media y baja, el comportamiento se asemeja al de una zona llana, donde las pendientes son mucho menores, donde los límites de la cuenca se vuelven más difusos y el cauce principal es meandroso.

La realización del balance hidrológico, empleando metodología empírica, permitió determinar que la zona presenta un régimen seco, en los sectores al norte de la cuenca, Pilar y Villa Dolores, donde no

ocurren excesos; mientras que, en los sectores al sur de la cuenca, Río Cuarto y Marcos Juárez, ocurren excesos durante seis meses del año y los restantes deficitarios, en donde se observan valores para evapotranspiración potencial levemente mayores que la real.

Por otro lado, empleando la metodología de balance energético, se logró el conocimiento de la distribución espacial del agua disponible dentro de la cuenca para cada etapa del año, siendo esta mayor durante los meses lluviosos (en particular febrero dado los eventos de precipitación registrados), en las zonas de bañados de la cuenca baja y en los valles y laderas en la cuenca alta, que presentan mayores cantidades de vegetación. Los valores positivos de agua disponible evidencian la presencia de agua, que se registra entre los meses de octubre y abril, situación que coincide con los balances hídricos determinados con metodología empírica, especialmente en los sectores al sur de la cuenca.

La modelación hidrológica mediante el método del número de curva y el empleo de SIG permitieron definir la distribución espacial de la escorrentía mes a mes, resultando mayor en los meses lluviosos en la cuenca alta, mientras que en los meses restantes es mayor en la cuenca media y baja. Con respecto al análisis de la infiltración se observa que durante los meses lluviosos se aprecia una marcada zona de infiltración y recarga de agua subterránea, en la parte alta de la cuenca, en coincidencia con las sierras debido al tipo de cobertura y uso del suelo.

En cuanto al análisis del indicador de vulnerabilidad de las zonas forestadas dentro de la cuenca, en correspondencia con el estudio del uso del suelo y coberturas, se concluye que, si bien existe vegetación autóctona dispersa (arbustales y pastizales), no prevalecen importantes zonas forestadas, especialmente en la parte alta de la cuenca, donde se desarrollan las mayores precipitaciones generando grandes escorrentías.

De igual manera, se considera fundamental la definición del indicador del estado de la vegetación existente, tanto autóctona como las grandes superficies sembradas, dada su relación intrínseca con la capacidad de un suelo de resistir la erosión ante eventos de precipitación. El estudio realizado concluye que entre los meses de abril y noviembre la falta de humedad del suelo expone a la vegetación a significativos estados de deterioro e, incluso, de estrés hídrico, observándose, a su vez, que la cantidad de vegetación merma considerablemente durante dichos meses.

La modelización hidrológica permitió definir los caudales picos y volúmenes escurridos para el evento de precipitación máximo, cuyos resultados se emplearon para la determinación de los sedimentos emitidos por cada sector modelado.

En cuanto al análisis específico sobre la vulnerabilidad a la erosión hídrica, enfocada hacia el cálculo de las toneladas de sedimentos que se pierden en la cuenca, se aprecia que la mayor parte de la zona estudiada, casi el 60 %, presenta una pérdida de suelo no tolerable o en el límite de tolerancia.

Un análisis extremo sobre la erosión hídrica potencial en la cuenca permitió aseverar dichas conclusiones, evidenciando que las mayores pérdidas de suelo se encuentran en concordancia con las laderas de mayores pendientes y altitudes, presentes en la cuenca alta. Mientras que, en la parte media y baja de la cuenca, donde las pendientes son menores y predominan los comportamientos de llanura, los valores de erosión se hacen menores, aunque se superan los límites tolerables y se observan puntos dispersos con valores picos.

Analizando la cartografía generada con la zonificación de EVI y TDVI, para el estado de la vegetación y déficit hídrico, respectivamente, se observó que hay una variación estacional, durante los meses de mayores lluvias, de noviembre a abril, donde se alcanzaron los menores valores de TVDI, aludiendo a máxima humedad, en concordancia con los valores máximos de EVI hallados en dichos meses. Además, debe considerarse que la cantidad de vegetación puede ser menor, o su nivel de crecimiento aún no se encuentra en alto desarrollo.

A partir del análisis conjunto de la erosión potencial y el estado de la vegetación con un paso mensual, representado con el indicador USLE-EVI mensual, pudo evidenciarse el comportamiento estacional de la pérdida potencial de suelo. Entre los meses de diciembre y marzo, con los valores de EVI más altos, la cuenca presenta una gran cantidad de zonas con nula-leve y moderada erosión hídrica. Mientras que, para los meses de julio a septiembre, cuando el EVI se hace mínimo, casi la totalidad de la cuenca presenta una pérdida de suelos máxima.

Como era de esperarse, los caudales pico y los volúmenes escurridos obtenidos en las distintas modelaciones se incrementaron a medida que aumentan las precipitaciones. Las precipitaciones menores a 50 mm no produjeron caudales considerables.

Analizando comparativamente los resultados obtenidos del cálculo de la MUSLE con los caudales determinados con las distintas precipitaciones, se determinaron los niveles de riesgo hídrico, a partir de los cuales puede observarse que el incremento en la generación de sedimentos aumenta con la intensidad de la lluvia, pero no de una forma directamente proporcional, sino que se intensifica cuando los eventos superan los 100 mm, esto fue observado en todas las subcuencas estudiadas.

La metodología planteada en esta investigación permitió evaluar la vulnerabilidad ante eventos de precipitación en la cuenca del río Ctalamochita, Provincia de Córdoba.

5 BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

- Abril, E., Arguello, L., Báez, S. y otros. 2003. Regiones naturales de la provincia de Córdoba. Dirección de ambiente de la provincia de Córdoba. Pp 50, 103.
- Allen R., Pereira L., Raes D. y Smith M. 2006. Estudio FAO Riego y Drenaje N° 56 – Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 322 pp.
- Almorox J., De Antonio, R., Saa, A., Cruz Díaz, M^a. Gasco, J.M. 1994. Métodos de estimación de la erosión hídrica. Ed. Agrícola Española, 152 p.
- Álvarez-Mozos, J., Casalí J., González-Audicana, M. 2005. Teledetección radar como herramienta para la estimación de la humedad superficial del suelo en cuencas agrícolas. Revista de Teledetección, 23, 27-42.
- Astini R., Tauber A., Marengo H. y N. Oviedo. 2014. Cubierta sedimentaria Cenozoica (Paleógeno-Neógeno). Geología de Superficie. Asociación Geológica Argentina. Relatorio del XIX Congreso Geológico Argentino, Córdoba. 537-589.
- Bahill, J., Gorgas, J.A., Zamora, E., Bosnero, H., Lovera, E., Ravelo, A., Tassile, J. L. 2006. Recursos naturales de la provincia de Córdoba. Los Suelos. Nivel de Reconocimiento 1:500.000. Agencia Córdoba Ambiente, área subcoordinación de suelos, INTA, EEA Manfredi. 541 pp.
- Barbeito, O. y Ambrosino, S. ,2014 a. Estudio hidrogeomorfológico y amenaza de inundación, ciudades de Villa María y Villa Nueva, provincia de Córdoba. Secretaria de Recursos Hídricos y Coordinación. Provincia de Córdoba.16 pp.
- Barbeito, O. y Ambrosino, S. ,2014 b. Estudio hidrogeomorfológico y amenaza de inundación, Ballesteros y Ballesteros Sud, provincia de Córdoba. Secretaria de Recursos Hídricos y Coordinación. Provincia de Córdoba. 17 pp.
- Barrios, A. Quiñonez, E. 2000. Evaluación de la erosión utilizando el modelo [®] USLE, con apoyo SIG. Aplicación en la microcuenca de los andes venezolanos. Rev. Forest, Venezuela. 44(1). P65-77.
- Blarasin, M.; Cabrera, A.; Matteoda, E. 2014. Aguas subterráneas de la provincia de Córdoba. Un río editora. Universidad Nacional de Río Cuarto.147 pp.
- Blarasin, M. 2003. Geohidrología ambiental del Sur de Córdoba, con énfasis en la ciudad de Río Cuarto y su entorno rural. Tesis Doctoral. UNRC. Río Cuarto, Córdoba. 377 pp.
- Bonalumi, A., Escayola M., Kraemer P., Baldo E. y R. Martino. 1999. Sierras Pampeanas (Córdoba, Santiago del Estero). Precámbrico-Paleozoico inferior de las Sierras de Córdoba. Geología Argentina. Instituto de Geología y Recursos Minerales. Anales 29: 136-140.
- Bosnero H., J. Pappalardo, J. Sanabria, M. Carnero, V. Bustos. 2006. Carta de Suelos de la Rep. Argentina, Hoja 3363-9, Villa María, Escala 1:50.000. Convenio Agencia Córdoba. Ambiente-INTA.
- Cabido M., Zeballos S., Zak M., Carranza M., Giorgis M., Acosta A. 2018. Native Woody vegetation in central Argentina: Classification of Chaco and Espinal Forests. Applied Vegetation Science. International Association for Vegetation Science. Pp. 3, 8, 9.
- Cabrera Á. L, 1976. Regiones fitogeográficas argentinas. En Kugler WF (Ed.) Enciclopedia argentina de agricultura y jardinería. Tomo 2. 2^a edición. Acme. Buenos Aires. Argentina. Fascículo 1. pp. 1-85.
- Cantú, R. y Degiovanni, S.M. 1984. Geomorfología de la Región centro-sur de la provincia de Córdoba. 9^o Congreso Geológico Argentino, Actas 4:76-92.

- Cardona Arboleda, O. D. 2001. Estimación Holística del Riesgo Sísmico utilizando Sistemas Dinámicos Complejos. Tesis de doctorado, Barcelona, España: Universidad Politécnica de Cataluña, UPC.
- Castro, M. 1999. Cooperación regional para reducir la vulnerabilidad ambiental y promover el desarrollo sostenible en Centro América. En Uribe, A., Franklin, H. editores. Memorias del taller sobre vulnerabilidad ecológica y social. Estocolmo, Suecia. Pp 59-88.
- Chow, V. T., Maidment, D.R. & L. Mays. 1994. Hidrología Aplicada. Ediciones McGraw-Hill. Colombia. 583 pp.
- CLARK, C.O. Storage and the Unit Hydrograph. Proc. Amer. Soc. Eng. Vol 69. P13331360. 1945.
- Claro Rizo, 2006. Índice de disponibilidad hídrica – Metodología de cálculo y aplicación en Colombia. Instituto de Hidrología, meteorología y estudios ambientales. Francisco Claro Rizo. Bogotá, septiembre de 2006. 54 pp.
- Degiovanni, S. y Blarasin, M. 2005. Hidrología superficial y morfodinámica de sistemas fluviales en el Sur de Córdoba. En Blarasin M., Degiovanni, S., Cabrera, A. y Villegas M. editores. Aguas superficiales y subterráneas en el Sur de Córdoba, Universidad Nacional de Río Cuarto: 31–40. Río Cuarto.
- Díaz Lozada J., García M., Herrero H., Barchiesi G., Romagnoli M., Portapila M., López F., Castelló E., Cosavella A. y Brarda J. 2015. Cuantificación del escurrimiento superficial de la cuenca del río Carcarañá. Revista Facultad de Ciencias Exactas. Físicas y Naturales, Vol. 2, No. 1. Pp 59-61.
- Dueñas, C. 1997. Marco normativo vigente ante el riesgo de inundaciones. In: Jornadas Parlamentarias sobre prevención de riesgos relacionados con el agua: VI- La protección civil ante el riesgo de inundaciones, Cámara del Senado. Madrid, 7.
- ENOHSa, 2009. Criterios básicos para el estudio y el diseño. Ente Nacional de Obras Hídricas de Saneamiento, CABA. Cap. 2.1.
- Fuentes Mariles Óscar A., Ravelo García Alicia, Ávila Licon Abraham A. 2006. Método para determinar los parámetros K, X y los coeficientes de tránsito del método de Muskingum-Cunge. XIX Congreso Nacional de Hidráulica Cuernavaca, Morelos. Coyoacán, 04510, México, D.F. 8 pp.
- Gaitán, J.; Navarro, M. F.; Tenti Veugen, L.; Pizarro, M. J.; Carfagno, P.; Rigo, S. 2017. Estimación de la pérdida de suelo por erosión hídrica en la República Argentina. INTA – CIRN. INTA Ediciones. 72 pp.
- Galleguillos, M.; Jacob, F.; Prévot, L.; French, A.; Lagacherie, P., 2011. Comparison of two temperature differencing methods to estimate daily evapotranspiration over a Mediterranean vineyard watershed from ASTER data. Revista Remote Sens. Environ., 115, 1326–1340.
- García, S. y Guerrero, M. Indicadores de sustentabilidad ambiental en la gestión de espacios verdes: Parque urbano Monte Calvario, Tandil, Argentina. 2006. Revista. geogr. Norte Gd. [online] n.35 [citado 2015-11-06], pp. 45-57.
- Gaspari, F., Delgado, M., y Senisterra G. 2009. Simulación espacio-temporal de la erosión hídrica superficial en una cuenca serrana bonaerense. Argentina. Revista GeoFocus 9(s/n), 67-82 p.
- Gaspari, F., Senisterra, G., Delgado, M., Rodríguez Vagaría, A., Besteiro, S. 2010. Manual de manejo integral de cuencas hidrográficas. La Plata. Pp. 184.
- Gaspari, F., Rodríguez, A., Delgado, M., Senisterra G., Denegri, A. 2011. Vulnerabilidad ambiental en cuencas hidrográficas serranas mediante SIG. Multequina 20(s/n), 3-13 p.
- Gaspari, F., Senisterra, G., Delgado, M., Rodríguez Vagaría, A., Besteiro, S. 2013. Elementos metodológicos para el manejo de cuencas hidrográficas. EDULP, Universidad Nacional de La Plata, 2013. Pp 191.

- Gómez, José Javier. 2001. Vulnerabilidad y Medio Ambiente. Seminario Internacional: Las diferentes expresiones de la vulnerabilidad social en América Latina y el Caribe. Santiago de Chile. Pp. 2.
- GWP-SAMTAC, Apunte de clase del Programa de capacitación para gestores y tomadores de decisión públicos en el campo de los recursos hídricos. Asociación Mundial del Agua, Comité Técnico Asesor Sud América. 163 pp.
- González Ortega, J. M., 2004. Análisis de procesos de erosión local en márgenes de cauces fluviales con curvatura en planta. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de caminos, canales y puertos. Universidad Politécnica de Madrid. Madrid, España. Tesis Doctoral. Disponible en: <http://oa.upm.es/1038/1/04200407.pdf>
- Hoedjes, J.C.B.; Chehbouni, A.; Jacob, F.; Ezzahar, J.; Boulet, G., 2008. Deriving daily evapotranspiration from remotely sensed instantaneous evaporative fraction over olive orchard in semi-arid Morocco. *J. Hydrol*, 354, 53–64.
- Holzman, M. 2014. Cálculo de la fracción evaporativa con imágenes MODIS. Apunte de clase del curso de posgrado Evapotranspiración a escala local y regional, Instituto de Hidrología de Llanuras, Azul, provincia de Buenos Aires. Pp 22.
- INDC (Instituto Nacional de Defensa Civil). 2006. Manual Básico para la Estimación del riesgo, Dirección Provincial de prevención (DINAPRE) Unidad de Estudios y Evaluación de Riesgos (UEER), Lima, Perú. Ed. Bisbal Sanz, A., Picón Gonzáles, A. Casaverde Río, M., Jáuregui Laveriano, F., Anchayhua Altamirano R., Sánchez Vidalón, R., Masana García, M. Pp 73.
- Jiang, Z., Huete, A. R., Didan, K., Miura, T., 2008. Development of a two-band enhanced vegetation index without a blue band. *Remote Sensing of Environment*, 112, 3833-3845.
- Kirpich, Z. P. 1940. Time of concentration of small agricultural watersheds. *Civil Eng.* 10(6), 362.
- Llamas, J. 1993. Hidrología general: Principios y Aplicaciones. Servicio Editorial de la Universidad del País Vasco. Pp 635.
- Lenarduzzi, M. G. 2013. Caracterización hidrodinámica experimental de un tramo del Río Tercero (Ctalamochita) con fines hidroambientales. Práctica Supervisada de la carrera Ingeniería Civil de la FCEF y N UNC. Córdoba, Argentina.
- Liu, H. Q. y Huete, A. R., 1995. A feedback based modification of the NDVI to minimize canopy background and atmospheric noise, *IEEE Transactions on Geosciences and Remote Sensing*, 33, 457-465.
- López Cadenas de Llano, F. 1988. Corrección de torrentes y estabilización de cauces. Colección FAO: Fomento de tierras y aguas Nro. 9. 184 pp. Disponible en: [Hhttp://books.google.com.ar/books?id=LYSz9cvPvXwC&lpq=PA4&hl=es&pg=PP1#v=onepage&q&f=trueH](http://books.google.com.ar/books?id=LYSz9cvPvXwC&lpq=PA4&hl=es&pg=PP1#v=onepage&q&f=trueH).
- López Cadenas de Llano F. 1998. Restauración Hidrológica Forestal de cuencas y Control de la Erosión. Ingeniería Medioambiental, TRAGSATEC, Ministerio de Medio Ambiente. Editorial Mundi Prensa. España. 945 pp.
- Luna Toledo, E.S.; P.I. Figuerola, E.G. Abril y A.C. Ravelo. 2013. La fracción evaporativa en diferentes regiones agrícolas y naturales del centronoroeste de la Argentina. Informe. *AGRISCIENTIA*. VOL. 30 (1): 13-24.
- Luque L.E. 2009. El cultivo de Fresno (*Fraxinus pennsylvanica* Marshall) y Roble (*Quercus robur* L.) en el Valle de Calamuchita, Córdoba, Argentina. Tesis para optar al Grado Académico de Magíster en Ciencias Agropecuarias Mención: Producción vegetal. FCA, UNC. 155 pp.
- Marino, Castiganani y Arzubi. 2011. Caracterización de los tambos pequeños de las cuencas lecheras pampeanas. INTA. Publicación Técnica N°61, 48p. ISSN 0485-9057.

- Martino R., Guerreschi A. y C. Carignano. 2012. Influencia de la tectónica preandina sobre la tectónica andina: El caso de la falla de la Sierra Chica, Sierras Pampeanas de Córdoba. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 69 (2): 207 - 221.
- Mintegui Aguirre, J. A. 1988. Análisis de la influencia del relieve en la erosión hídrica. Hipótesis de estudio para correlacionar la pendiente con la longitud del declive en un terreno. V Asamblea Nacional de Geodesia y Geofísica. Madrid pp. 2229-2245.
- Morgan, R.P.C. 1997. *Erosión y conservación del suelo*. Mundi-Prensa, Madrid, España. 343 pp.
- Nutini, F., Boschetti, M., Candiani, G., Bocchi, S., Brivio P. A. 2014. Evaporative Fraction as an Indicator of Moisture Condition and Water Stress Status in Semi-Arid Rangeland Ecosystems. *Revista Remote Sens.* 6, 6300-6323; doi:10.3390/rs6076300.
- Organización Internacional del Trabajo, Centifor (OIT). 2011. Guía para la evaluación de impacto de la formación. Eje 4, 34p. Disponible en: <http://guia.oitcinterfor.org/como-evaluar/como-se-construyen-indicadores>.
- Ovando, G., Bocco, M. Sayago S. y Willington, E. 2014. Evaluación del contenido hídrico del suelo en la región central de Córdoba a partir de imágenes Landsat. XLIII Jornadas Argentinas de Informática e Investigación Operativa (43JAIIO)-VI Congreso Argentino de AgroInformática (CAI), Buenos Aires. 195-204.
- Pasotti P., 2000. El bloque de Piamonte y la Tectónica de Placas en territorio santafesino. *Boletín del Instituto de Fisiografía y Geología*, Volumen 70, Números 1-2, pp. 19-22. Rosario, 30-05-2001. ISSN 1666-115X.
- Pérez Figueredo, A. 2012. La integración de la gestión de riesgos en la gestión del desarrollo local desde la perspectiva de la vulnerabilidad ambiental en los territorios. *Revista Desarrollo Local Sostenible*. Grupo Eumed.net y Red Académica Iberoamericana Local Global. Vol. 5. Nº 13. Pp 3-4.
- Ramos, V.A. 1999. Las provincias geológicas del territorio argentino. *Geología Argentina*. Instituto de Geología y Recursos Minerales. Anales 29: 41-96.
- Reinante S., Olivieri G., Salinas A., Lovecchio J.P. y Y. Basile. 2014. La Cuenca Chacoparaná: Estratigrafía y recursos de hidrocarburos. *Geología de Subsuelo*. Asociación Geológica Argentina. Relatorio del XIX Congreso Geológico Argentino, Córdoba. 893-912.
- Rojas A. C. y Conde A. 1985. Estimación del factor R de la Ecuación Universal de Perdidas de Suelo para el centro-este de la República argentina. *Revista Ciencia del Suelo*, Vol. 3-1,2.
- Roldán, P., Poveda, G. 2006: Variabilidad espacio-temporal de los índices NDVI y EVI. Aplicación a cinco regiones colombianas. *Meteorol. Colomb.* 10: 47-59. ISSN 0124-6984. Bogotá, D. C. Colombia.
- Rueda Palenzuela, S., 1999. Modelos e indicadores para ciudades más sostenibles. Talleres sobre indicadores de huella y calidad ambiental urbana. Agencia Europea del Medio Ambiente.
- Sagripanti G., Villalba D. y M. Villegas. 2012. Nuevas evidencias de deformaciones Cuaternarias asociadas a la falla Sierra Chica, Sierras Pampeanas de Córdoba. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 69 (4): 611 - 626.
- Sobrino, J.A.; Gómez, M.; Jiménez-Muñoz, J.C.; Oliso., A. 2007. Application of a simple algorithm to estimate daily evapotranspiration from NOAA-AVHRR images for the Iberian Peninsula. *Remote Sens. Environ.*, 110, 139-148.
- Thorne, C.R. y Tovey, N.K. (1981) "Stability of composite river banks". *Earth Surface Proc. Landforms*, Vol. 6, pp. 469-484.
- Torres, D. 2002. La fragilidad de los elementos ambientales. *Revista de Medio Ambiente*. Vol. 24. Pp. 026-028.

- Torres, V., Paredes, P. y Rial, P. 2010. Análisis de la anomalía del índice de vegetación mejorado (EVI), del sensor – MODIS, para la Provincia de Santa Cruz. Laboratorio de Teledetección y SIG. EEA Santa Cruz – INTA. Río Gallegos, Santa Cruz. P 1.
- Todoagro. 2011. Córdoba se consolida como la principal provincia lechera. Artículo periodístico obtenido en: www.produccion-animal.com.ar.
- UNVM (Universidad Nacional de Villa María). 2015. Proyecto de gestión integral de Recursos Hídricos, Cuenca río Ctlamochita, provincia de Córdoba. Ed. Tissera G., Cejas G., González A. y Preiato S. 285 pp.
- UNVM (Universidad Nacional de Villa María). 2017. Estudio hidrogeológico: abastecimiento de agua a la ciudad de Villa María Provincia de Córdoba. Ed. Tissera G., Cejas G. y González A.
- Vázquez, J. B., Miatello, R. A. y Roque, M. E. 1979. Geografía Física de la Provincia de Córdoba. Editorial Boldt, Argentina. 463 pp.
- Vélez Upegui, J. J, y Botero Gutiérrez, A. Estimación del tiempo de concentración y tiempo de rezago en la cuenca experimental urbana de la quebrada San Luis, Manizales. Dyna, año 78, nro. 164, pp58-77. Medellín, febrero de 2011.
- Wischmeier, W. H. y Smith, D. D. 1978. Predicting rainfall erosion losses. A guide to conservation planning. Unites States Department of Agriculture (USDA). Agriculture Handbook N°537. Washington. USA. 51 pp.
- Zimmermann, E., Riccardi, G., Pieroni, H., Arraigada, M. 2000. Curvas de abatimiento areal de tormentas región Pampa Ondulada (Santa Fe, Argentina). CUADERNOS del CURIHAM, Vol. 6. Pp 1,7.

ANEXO I: MORFOMETRÍA DE SUBCUENCAS

Contenido

1	Generalidades.....	- 166 -
2	Subcuencas.....	- 166 -
2.1	Embalse Cerro Pelado	- 166 -
2.2	Embalse Arroyo Corto	- 167 -
2.3	Embalse Río Tercero.....	- 168 -
2.4	Embalse Ingeniero Cassafousth	- 170 -
2.5	Embalse Ingeniero Reolín.....	- 170 -
2.6	Embalse compensdor Piedras Moras.....	- 170 -

1 Generalidades

El presente anexo expone las características morfométricas de cada una de las subcuencas estudiadas, expuestas en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, exceptuando las zonas de aporte a los embalses que no cuentan con cauces definidos. Gran parte de la información presentada a continuación se obtuvo del *Proyecto de gestión integral de Recursos Hídricos, cuenca río Ctlamochita*, realizado por la Universidad Nacional de Villa María, en 2015.

2 Subcuencas

2.1 Embalse Cerro Pelado

La cuenca de aporte a la presa Cerro Pelado presenta una extensión aproximada de 782,5 km² y cuenta con dos afluentes principales, el río Grande y el arroyo Lutti, y sus correspondientes subcuencas.

La cuenca del Río Grande forma parte de la vertiente oriental de las cumbres de la Sierra de los Comechingones, desde el Cerro del Águila hasta el Cerro El Tren (Sec. de minería de la Nación). Tiene una superficie aproximada de 637 km² y un perímetro de 133 km, a diferencia del resto de las cuencas estudiadas, esta presenta una forma ovalada (KC 1,48). El río Manzano, su cauce principal, cuya longitud es de 60,23 km y su pendiente media de 2,82 %, se encuentra formado por una red de drenaje del tipo dendrítica de una densidad de corrientes de 1,04 cauces.km⁻² y una densidad de drenaje de 1,71 km.km⁻². Este cauce, tras confluir con el río El Durazno y el río De Las Letanías, desemboca en el embalse de Cerro Pelado con un orden de corrientes 6, Figura AI 2.1.

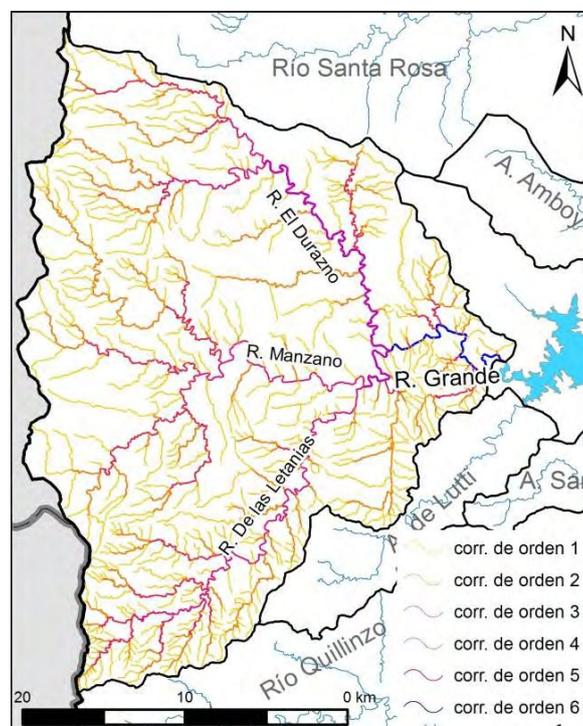


Figura AI 2.1. Fisiografía de la cuenca del Río Grande. Fuente: UNVM, 2015.

La cuenca del Arroyo de Lutti limita hacia NW con la cuenca del Río Grande y hacia el S-E con la cuenca del Río Quillínzo en su cabecera y con la cuenca del arroyo San Antonio en su parte baja. La

misma, forma oblonga (KC 1,87), presenta un perímetro de 57,6 km y una superficie de 74,1 km. Su cauce principal posee una longitud de 32,7 km, una pendiente media de 2,49% y desemboca en el embalse de Cerro Pelado, conformando una red de drenaje de orden 5 (Figura Al.2.2) con valores de densidad de 3,07 km.km⁻² y 4,05 corrientes.km⁻².

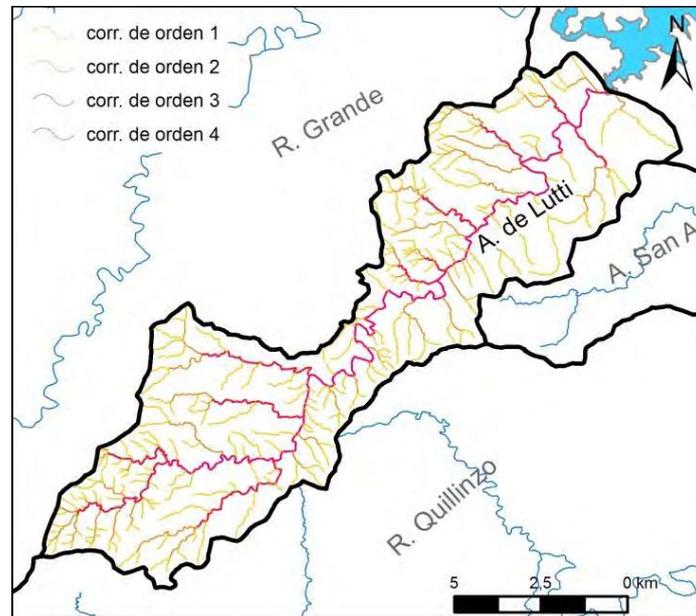


Figura Al.2.2. Fisiografía de la cuenca del Arroyo de Lutti. Fuente: UNVM, 2015.

2.2 Embalse Arroyo Corto

La cuenca de aporte al embalse compensador Arroyo Corto presenta una extensión aproximada 887,9 km² de los cuales 782,5 km² corresponden a la cuenca del Cerro Pelado y 105,5 km², como puede apreciarse en la Figura Al.2.3, a los aportes provenientes de afluentes siendo el principal el arroyo San Antonio.

El Arroyo San Antonio posee una cuenca pequeña, con una superficie de 37,9 km² y un índice de compacidad de Gravelius de 1,6 formando una cuenca oblonga, como se observa en la Figura Al.2.3.

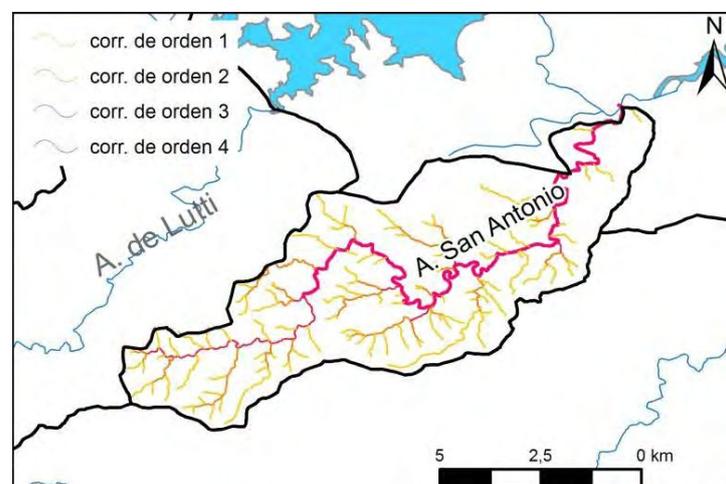


Figura Al.2.3. Fisiografía de la cuenca del Arroyo San Antonio. Fuente: UNVM, 2015.

Esta cuenca es recorrida por un cauce central de 24 km de longitud con una pendiente media de 2,33%. La red que drena a esta superficie es de orden 4 con densidades de 2,56 km.km⁻² y de 3,64 corrientes.km⁻².

2.3 Embalse Río Tercero

La cuenca de aporte correspondiente al embalse Río Tercero, la mayor de todas, presenta una superficie de 3304 km². La misma recibe el aporte de las aguas liberadas por el embalse compensador Arroyo Corto, siendo 887,9 km² y, a su vez, cuenta con cuatro afluentes principales: el río Santa Rosa, el arroyo San Amboy, el río Quillizo y el río De La Cruz.

El Río Santa Rosa tiene sus nacientes en la vertiente Sur del Cerro Negro y al Este del Cerro Champaquí, Los Linderos y del Cerro Águila. Su dirección de escurrimiento es en un principio SE, que cambia posteriormente frente al Cerro Yuyal hacia el E-NE, hasta la Quebrada de San Miguel, desde aquí, prosigue con rumbo E-SE. Durante este trayecto, recoge las aguas de numerosos arroyos por el S y por el N. De los cuales el más importante, es el río del Sauce (ingresa por el N). Toma en este sector, el río Santa Rosa, un rumbo S.E. y luego de 15 km de recorrido, descarga sus aguas en el embalse de río Tercero (Sec. de minería de la Nación). En la Figura Al.2.4 se muestra la cuenca y su red de drenaje.

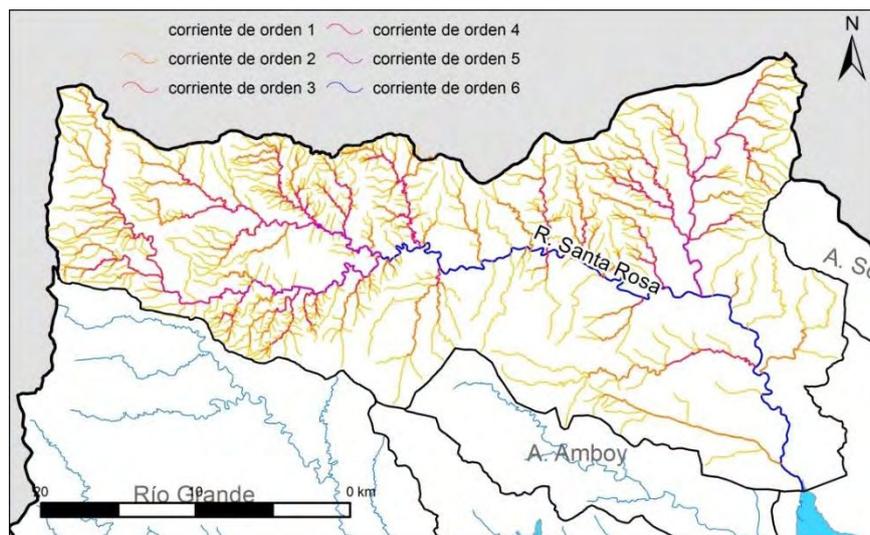


Figura Al.2.4. Fisiografía de la cuenca del Río Santa Rosa. Fuente: UNVM, 2015.

El cauce principal del Santa Rosa tiene una longitud de 88,2 km con una pendiente media de 2,15 % y pasa por el sector central de la cuenca, la cual posee una forma oblonga (KC 1,7) y una superficie de 715,7 km². Forma el límite norte de la zona estudiada y, a su vez, limita hacia el sur con las cuencas del río Grande y arroyo Amboy. Su red de drenaje posee una densidad de corrientes de 1,11 corrientes.km⁻² y densidad drenaje de 1,51 km.km⁻², conformando una red del tipo dendrítico con un orden de corrientes de 6.

La cuenca del Arroyo Amboy, Figura Al.2.5, de forma oblonga (KC 1,66), limita hacia el sur con la cuenca del río Santa Rosa y posee una superficie de 107 km². Su red de drenaje es del tipo dendrítico con un orden 5, una densidad de drenaje de 1,53 km.km⁻² y una densidad de corrientes de 1,56 corrientes.km⁻²; el cauce principal tiene 33,9 km y una pendiente de 1,72%.

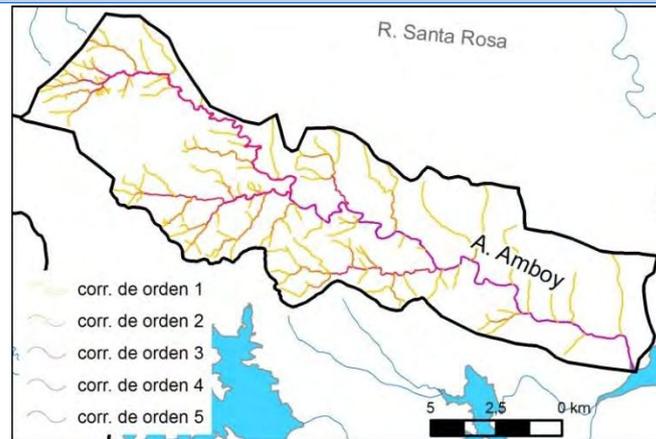


Figura AI.2.5. Fisiografía de la cuenca del Arroyo Amboy. Fuente: UNVM, 2015.

La cuenca del río Quillinzo, de forma oblonga (KC 1,85), cuenta con una superficie de 615,7 km² y un perímetro de 163,6 km. Tiene sus nacientes en las vertientes orientales de las sierras de Comechingones entre el Cerro del Tren y el Cerro de Oro. Limita hacia el sur con la cuenca del río de La Cruz, y hacia el norte con las cuencas de río Grande, arroyo Lutti y el arroyo San Antonio. Su cauce principal posee rumbo NE, unos 93,5 km de longitud y recorre la parte central de la cuenca con una pendiente media de 1,52 %. Esta corriente principal, junto a sus tributarios, conforman una red dendrítica con un orden de corrientes 6, Figura AI.2.6, una densidad de drenaje 2,04 km.km⁻² y una densidad de corrientes 2,19 corrientes.km⁻².

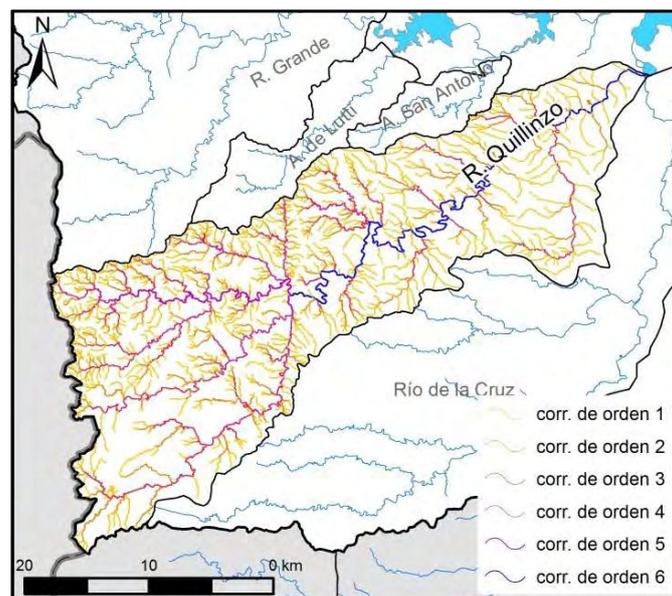


Figura AI.2.6. Fisiografía de la cuenca del Río Quillinzo. Fuente: UNVM, 2015.

La cuenca del Río de la Cruz es de forma oblonga (KC 1,83), presenta una superficie de 517,7 km² y un perímetro de 148,7 km. Tiene sus nacientes en la vertiente oriental del Cerro de Oro, alcanza su máximo desarrollo con el aporte de los cursos que nacen en los cerros del Nicho y Colorado, y Loma Pelada; por el N y por el S recibe afluentes que nacen en los cerros Sombrero Quemado y Los Cerros (Sec. de minería de la Nación). Su corriente principal, de una longitud de 92,4 km y una pendiente media de 1,21 %, tiene una dirección de escurrimiento E-NE hasta la zona correspondiente a la falla de las sierras Chicas, que es en donde cambia la dirección hacia el NE hasta confluir con el río Quillinzo; el conjunto de sus corrientes tributarias y su cauce principal conforman una red de un orden 5 con densidades de corrientes y drenaje de 1,44 corrientes.km⁻² y 1,76 km.km⁻² (Figura AI.2.7).

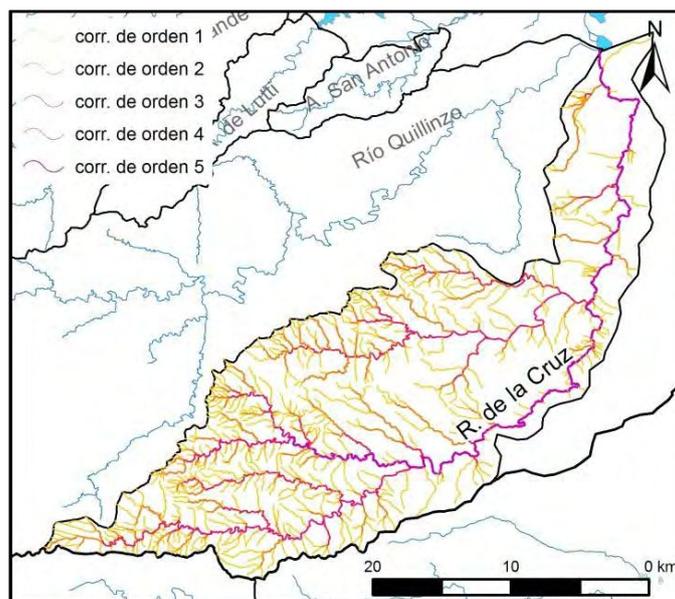


Figura AI.2.7. Fisiografía de la cuenca del Río de la Cruz. Fuente: UNVM, 2015.

2.4 Embalse Ingeniero Cassafousth

La cuenca de aporte del embalse Ingeniero Carlos Cassafousth, presenta una superficie aproximada de 3319 km², de los cuales 3304,1 km² forman parte de la cuenca de embalse Río Tercero y 14,9 km² son aportes de escorrentías laterales propios al Ing. Cassafousth, aunque no presenta afluentes de causas importantes.

2.5 Embalse Ingeniero Reolín

La cuenca de aporte del embalse Ing. Reolín, presenta una superficie aproximada de 3444,6 km². La misma recibe el agua proveniente del embalse Ingeniero Carlos Cassafousth, 3319 km², y los aportes de escorrentías laterales, 125 km², sin presentar afluentes de causas importantes.

2.6 Embalse compensador Piedras Moras

Finalmente, la cuenca de aporte al embalse compensador Piedras Moras, presenta una extensión de 3824,1 km², recibe las aguas de los diques presentan aguas arriba, 3444,6 km², de la cuenca del arroyo Soconcho y los aportes laterales directos al embalse.

El Arroyo Soconcho, presenta una cuenca de forma oblonga (KC 1,53) con una superficie de 242,4 km² y un perímetro de 84,9 km, Figura AI.2.8. Posee sus nacientes en la sierra de los Comechingones, se alimenta principalmente de una serie de pequeños cursos desde su margen derecha, y finalmente vierte sus aguas en el embalse Piedras Moras. Su cauce principal, de rumbo SE, recorre la parte central de la cuenca llegando a tener una longitud de unos 55,2 km y una pendiente media de 1,38%.

La cuenca del Soconcho muestra una red de tipo dendrítica, Figura AI.2.8, con un orden de corrientes 5 y una densidad de 1,21 km.km⁻² y 0,85 corrientes.km⁻².

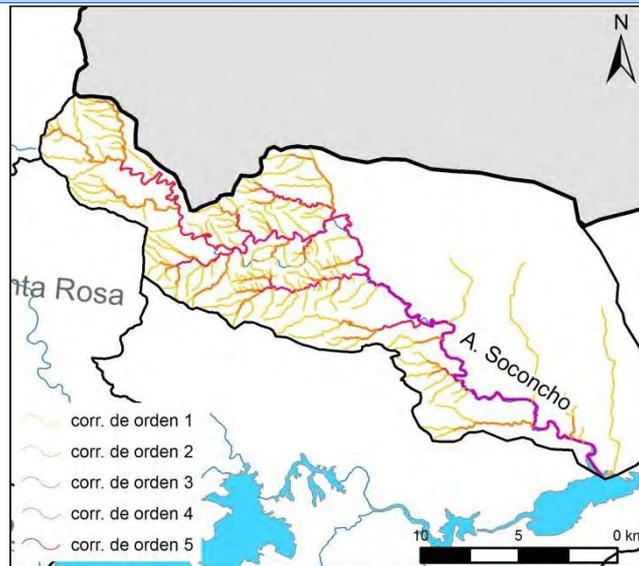


Figura A1.2.8. Fisiografía de la cuenca del Arroyo Soconcho Fuente: UNVM, 2015.

ANEXO II: RELACIÓN LLUVIA-CAUDAL

En el presente Anexo se analizan los caudales de las estaciones de aforo con datos más actuales, fundamentalmente la realizada por la UNVM, junto con los valores de la precipitación media de las estaciones meteorológicas de cada zona, para los meses de enero de 2015 a diciembre de 2016.

La Figura AII. 1 **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** presenta los caudales de los principales ríos de la cuenca alta, donde los mayores valores se registraron en febrero de 2015, en coincidencia con el pico de precipitación registrado ese mes. Denominados: H1 río Quillinzo, H2 río De La Cruz, H3 el río Santa Rosa, H4 río Grande y H5 río El Durazno. Los valores de la precipitación media de las estaciones meteorológicas de la zona (barras grises en la gráfica) fueron obtenidos de las estaciones meteorológicas: Cerro Blanco, El Manzano, La Florida, La Puente, Las Tapias, Lutti, Pampichuela y Yacanto.

En este análisis debe tenerse en cuenta que los valores aforados corresponden a un día puntual mientras que las precipitaciones son las acumuladas para el mes correspondiente.

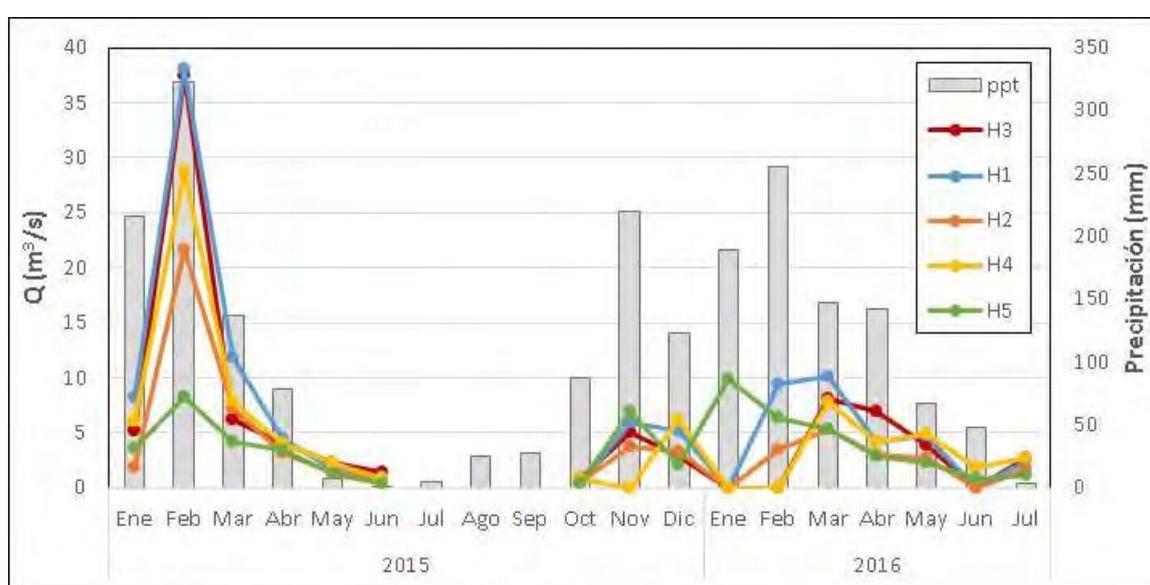


Figura AII. 1. Caudales y precipitación en el tiempo, principales ríos de la cuenca alta. Fuente: Elaboración Propia.

Por otro lado, la Figura AII. 2 **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, presenta los caudales de los principales arroyos de la cuenca alta, donde se observan valores mucho menores a los presentados en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**. Los mayores caudales fueron registrados en el arroyo Lutti (H11), en febrero de 2015 y de 2016, con otro pico en diciembre de 2015. En líneas generales, se observa un comportamiento estacional con máximos en los meses cálidos y los mínimos durante los meses fríos.

Al igual que en el caso anterior, en la Figura AII. 3 **Figura AII. 2** se presentan los valores de la precipitación media de las estaciones meteorológicas de la zona, para los meses de enero de 2015 a diciembre de 2016, las estaciones empleadas son las mismas como referencia fueron Cerro Blanco, El Manzano, La Florida, La Puente, Las Tapias, Lutti, Pampichuela y Yacanto. También debe tenerse en cuenta que los valores aforados corresponden a un día puntual mientras que las precipitaciones son las acumuladas para el mes correspondiente.

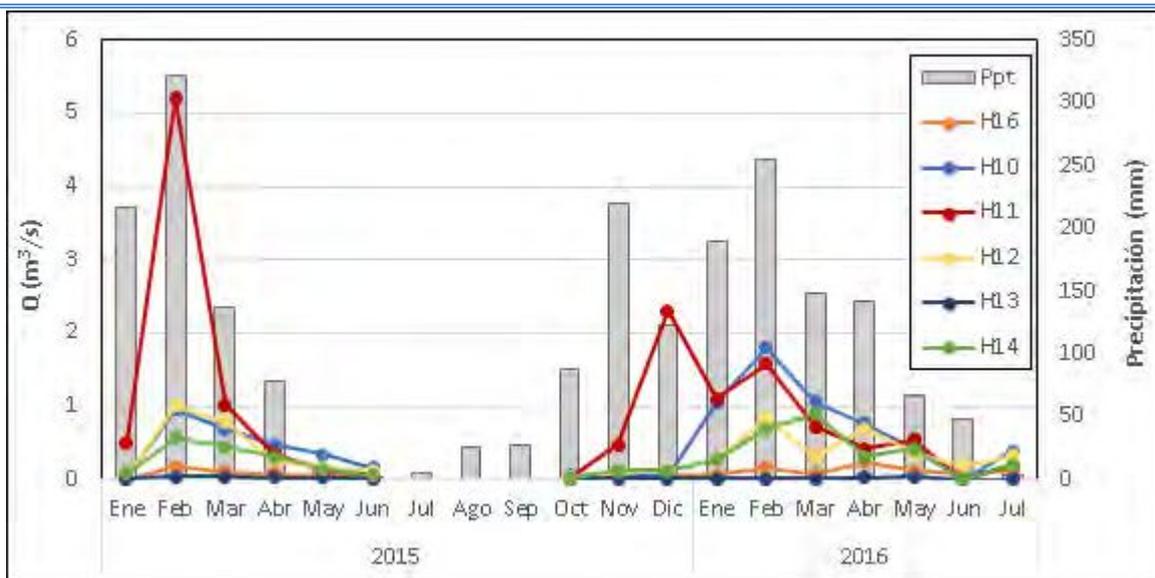


Figura AII. 2. Caudales y precipitación en el tiempo, principales arroyos de la cuenca alta. Fuente: Elaboración Propia.

En ambas gráficas, Figura AII. 1 y **Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, se observa una relación directa entre los valores aforados y el régimen de precipitaciones, a excepción del mes de enero de 2015 y noviembre de 2016, en el que los valores aforados son sustancialmente menores, mientras que las precipitaciones son considerables. Se debe recordar que los valores de caudal corresponden a una lectura puntual realizada en la primera quincena del mes, mientras las precipitaciones son acumuladas en el mes.

Si bien existe una diferencia en los órdenes de magnitud, se puede observar un comportamiento sincrónico de los valores aforados en todos los cursos de la cuenca alta, entre ellos y en concordancia con la precipitación.

En el caso de la cuenca baja, Figura AII. 3, tomando como referencia los registros del río Ctlamochita en las ciudades de Río Tercero y Villa María (H6 y H7), se observa que, durante los meses de enero y febrero, el caudal disminuyó hacia aguas abajo (río perdedor), reduciendo esta tasa hasta hacerse casi indiferente en marzo (caudales similares en ambos puntos). En abril y mayo, los caudales de Villa María fueron levemente superiores a los de Río Tercero (río ganador). Nuevamente en junio, los caudales en ambos puntos fueron similares. En este caso se utiliza la precipitación media mensual de las estaciones Villa María y Bell Ville.

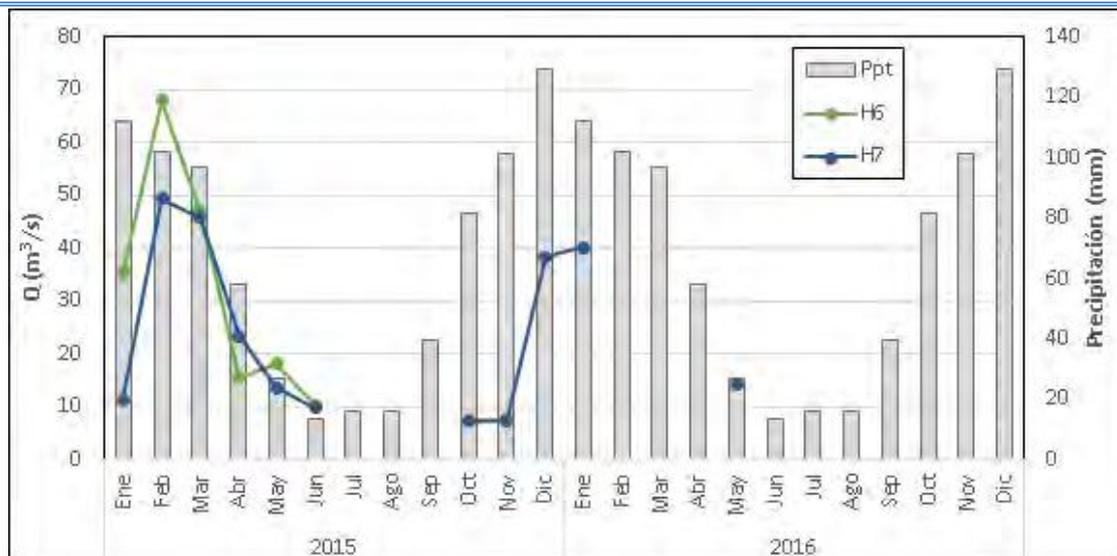


Figura AII. 3. Caudales y precipitación en el tiempo, cuenca baja. Fuente: Elaboración Propia.

Si bien no se cuenta con una amplia serie de datos de caudal, se aprecia que al igual que en la cuenca alta, las variaciones temporales de los caudales se correlacionan con las precipitaciones, teniendo el pico en los meses de cálidos, mientras que el mínimo fue registrado en los meses de mayo y junio.

ANEXO III: MAPA DE SUBUNIDADES CARTOGRÁFICAS DE SUELOS

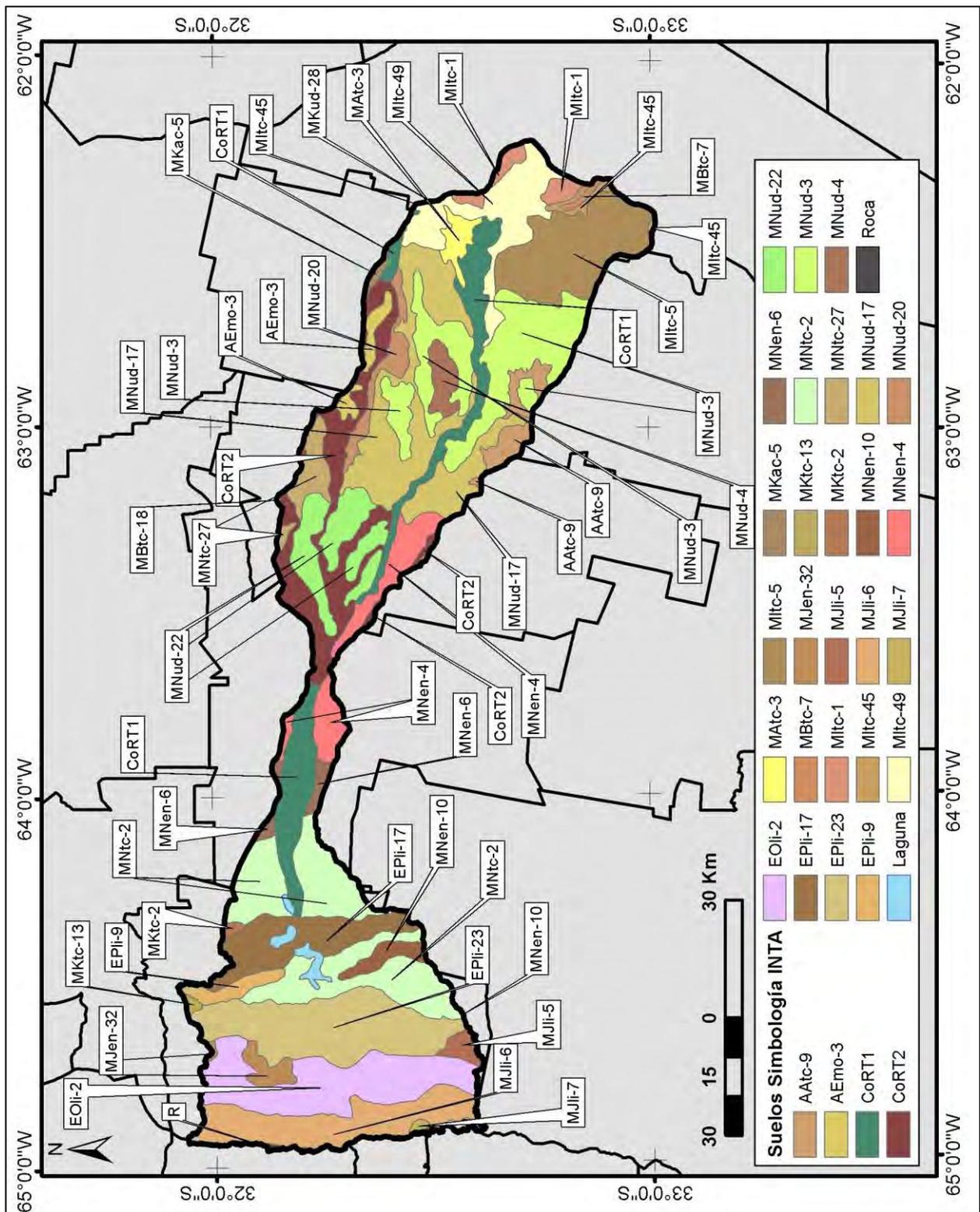


Figura AIII.0.1. Subunidades cartográficas de suelos dentro de la cuenca del río Ctalamochita. Fuente: elaborado con los datos del INTA, 2006, escala 1:500.000.

ANEXO IV: BALANCE HÍDRICO CON IMÁGENES SATELITALES

Contenido

1	EP: Evapotranspiración Potencial	- 179 -
2	EVI: Índice de Vegetación Mejorado	- 185 -
3	TDVI: Índice Satelital de Déficit Hídrico.....	- 191 -
4	FE: Fracción Evaporativa.....	- 197 -
5	ER: Evapotranspiración Real.....	- 203 -
6	Relación entre precipitación y evapotranspiración real	- 209 -

1 EP: Evapotranspiración Potencial

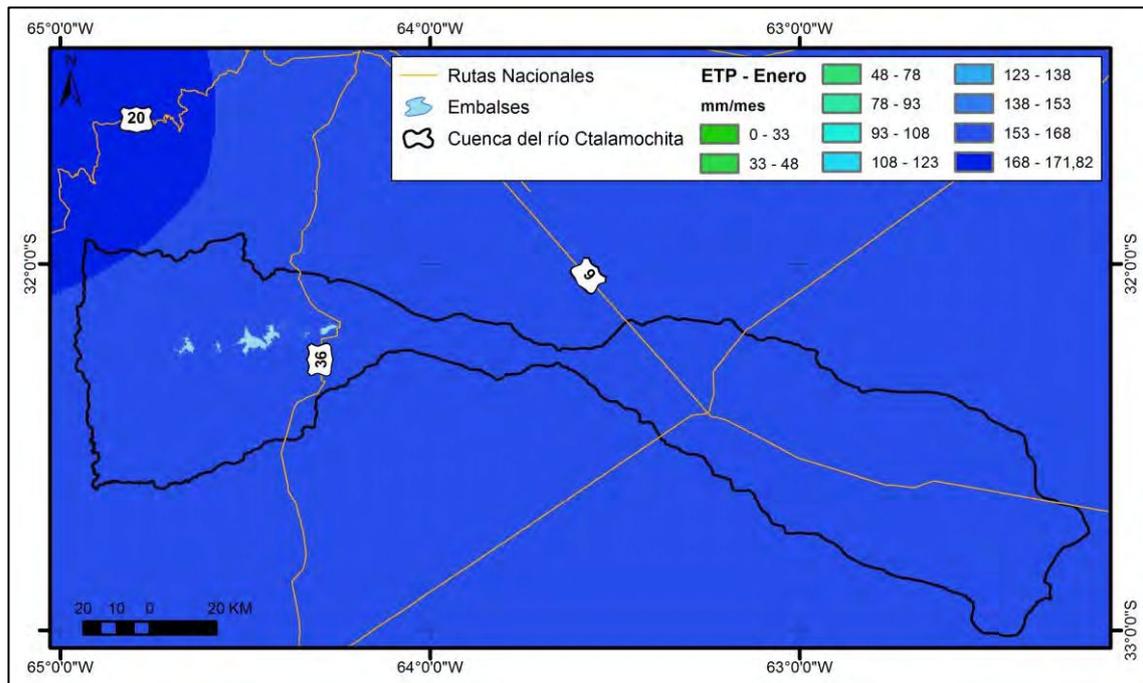


Figura AIV.1.1. Evapotranspiración potencial para el mes de enero de 2014. Fuente: Elaboración propia.

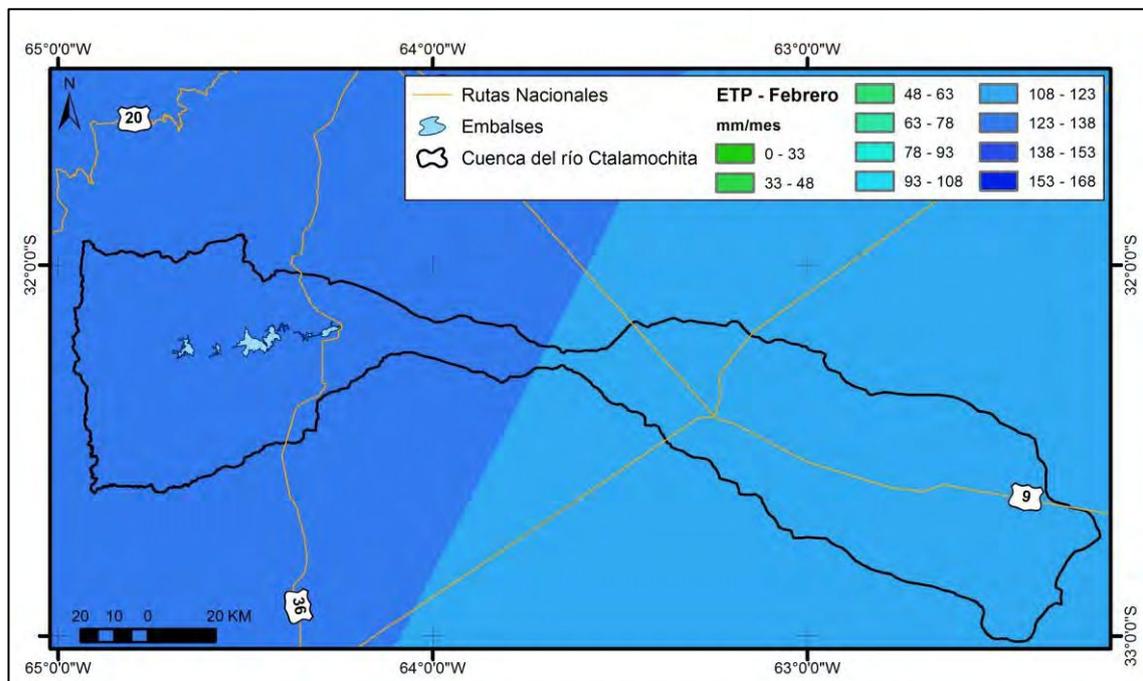


Figura AIV.1.2. Evapotranspiración potencial para el mes de febrero de 2014. Fuente: Elaboración propia.

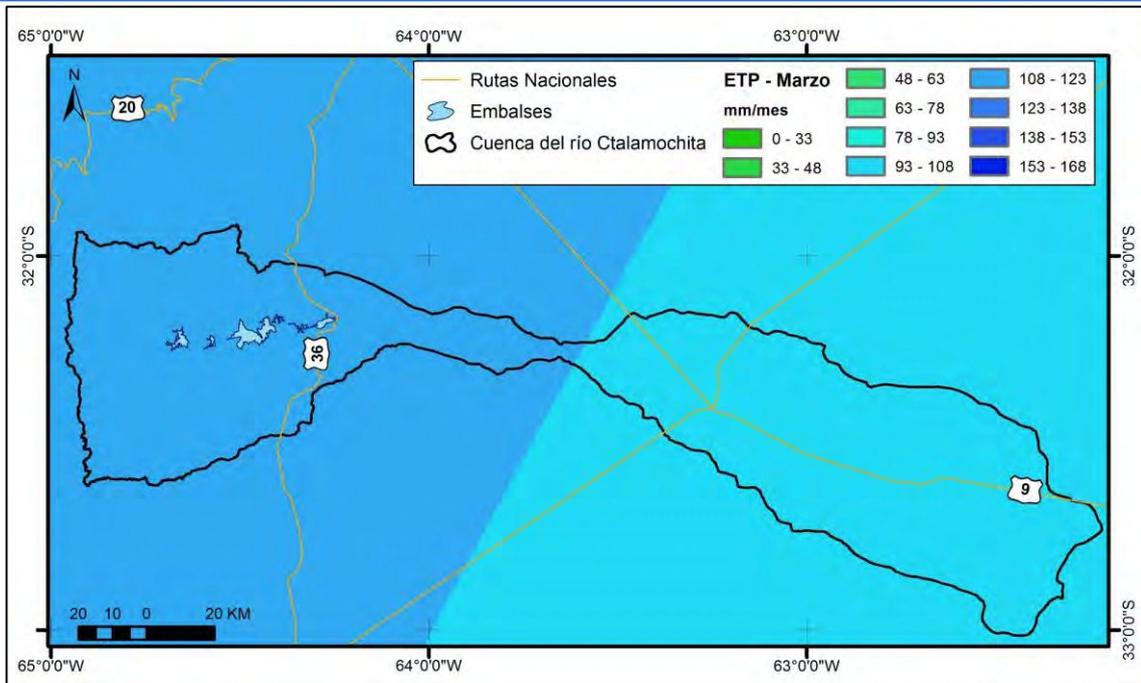


Figura AIV.1.3. Evapotranspiración potencial para el mes de marzo de 2014. Fuente: Elaboración propia.

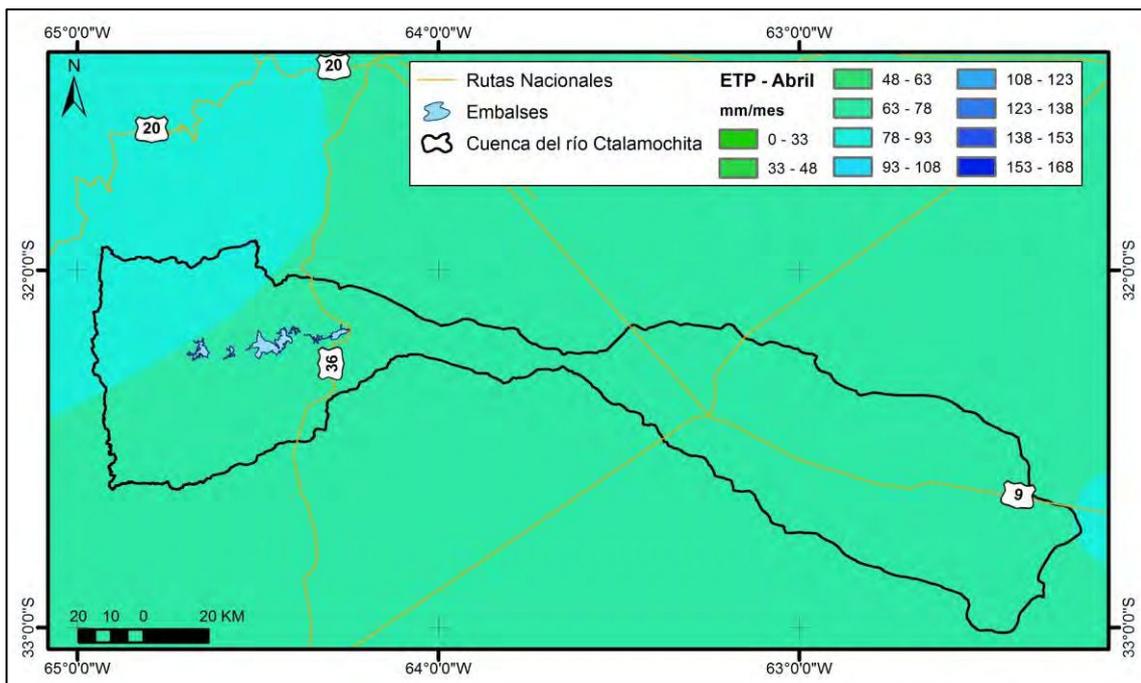


Figura AIV.1.4. Evapotranspiración potencial para el mes de abril de 2014. Fuente: Elaboración propia.

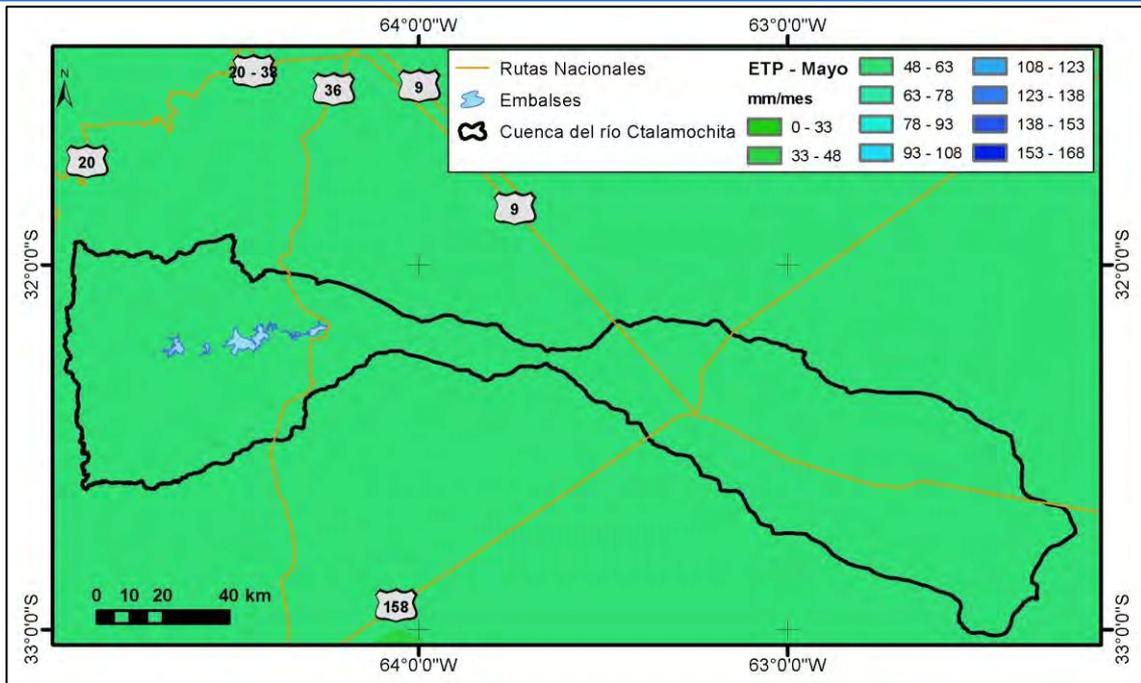


Figura AIV.1.5. Evapotranspiracion potencial para el mes de mayo de 2014. Fuente: Elaboración propia.

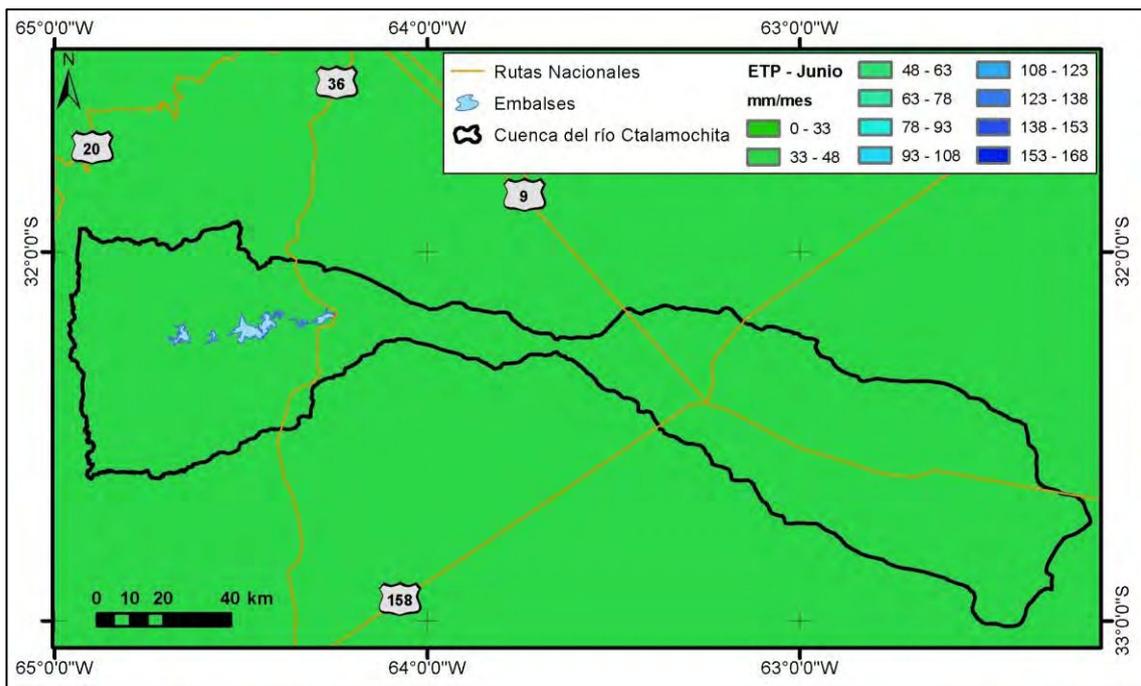


Figura AIV.1.6. Evapotranspiracion potencial para el mes de junio de 2014. Fuente: Elaboración propia.

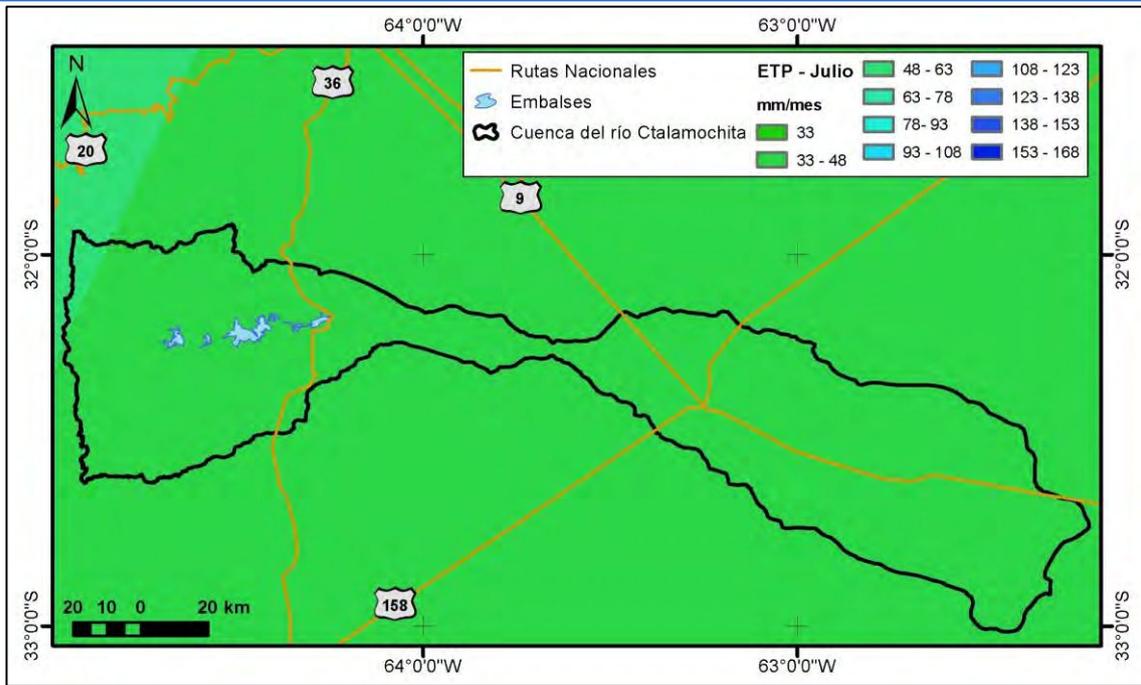


Figura AIV.1.7. Evapotranspiración potencial para el mes de julio de 2014. Fuente: Elaboración propia.

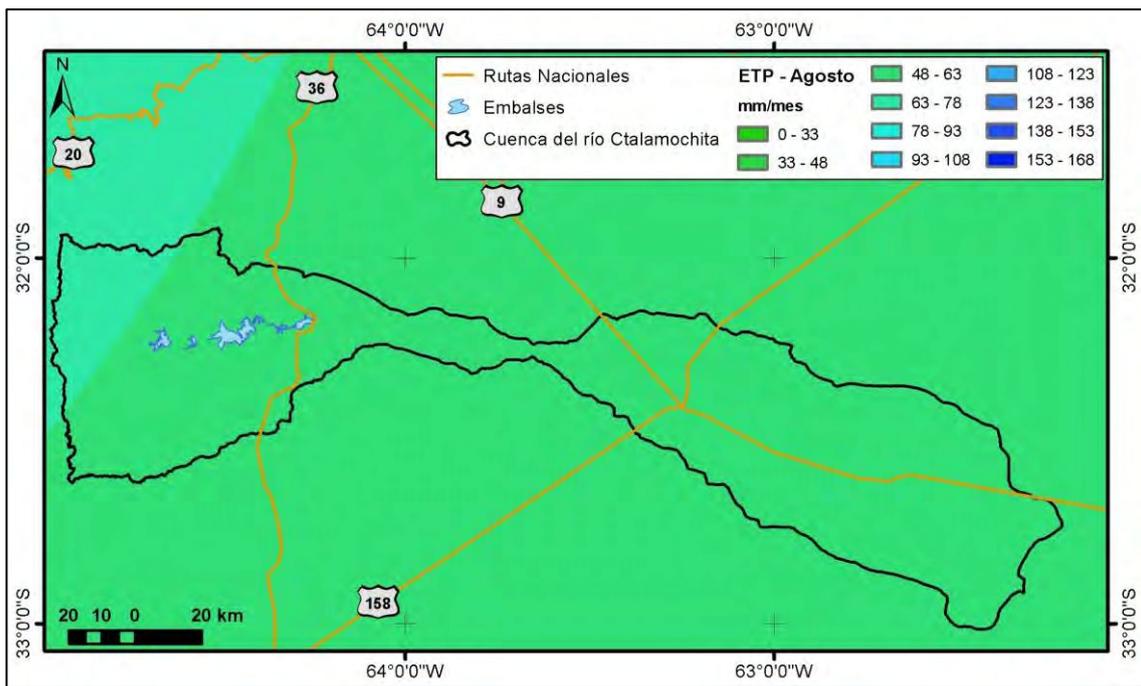


Figura AIV.1.8. Evapotranspiración potencial para el mes de agosto de 2014. Fuente: Elaboración propia.

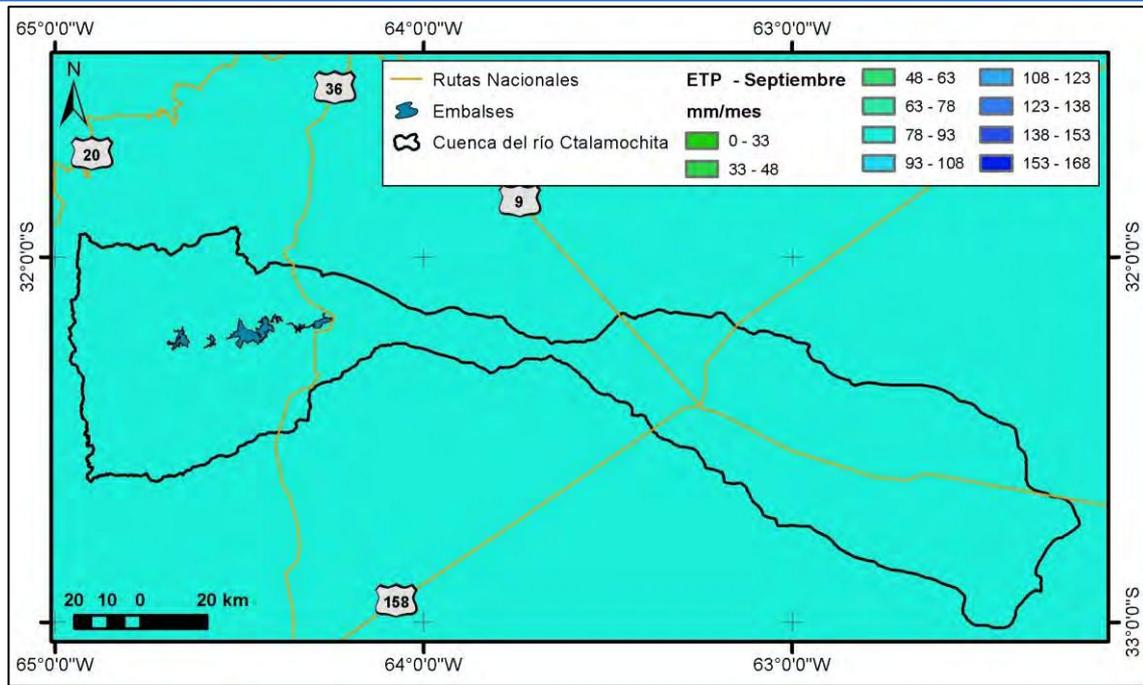


Figura AIV.1.9. Evapotranspiración potencial para el mes de septiembre de 2014. Fuente: Elaboración propia.

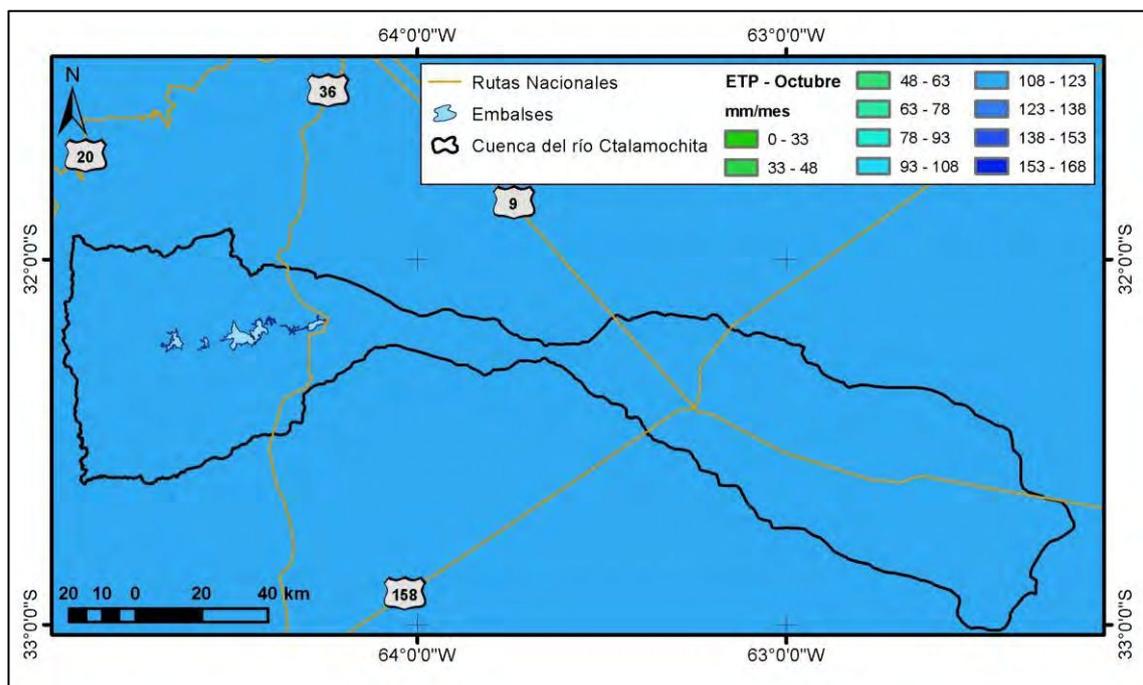


Figura AIV.1.10. Evapotranspiración potencial para el mes de octubre de 2014. Fuente: Elaboración propia.

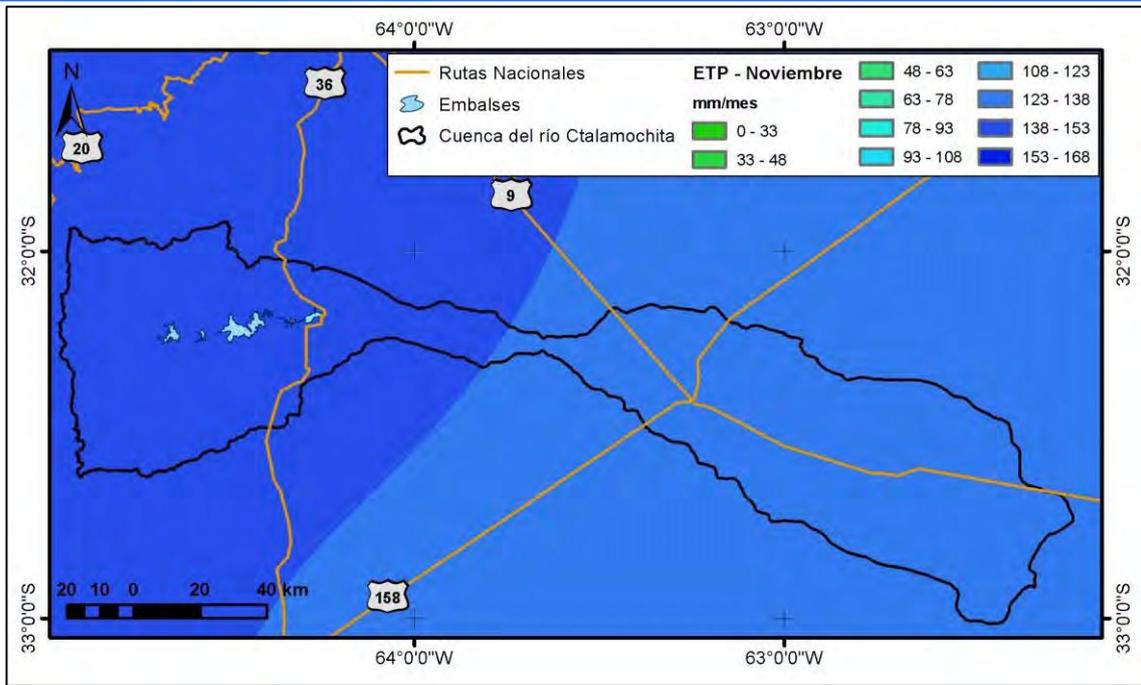


Figura AIV.1.11. Evapotranspiración potencial para el mes de noviembre de 2014. Fuente: Elaboración propia.

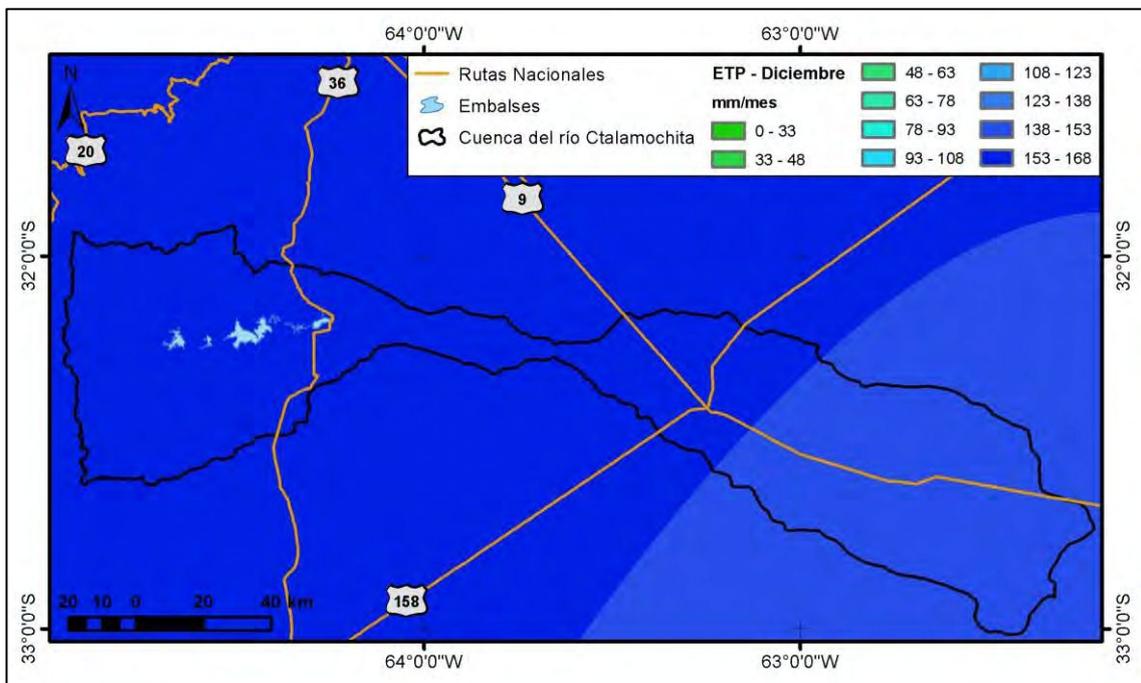


Figura AIV.1.12. Evapotranspiración potencial para el mes de diciembre de 2014. Fuente: Elaboración propia.

2 EVI: Índice de Vegetación Mejorado

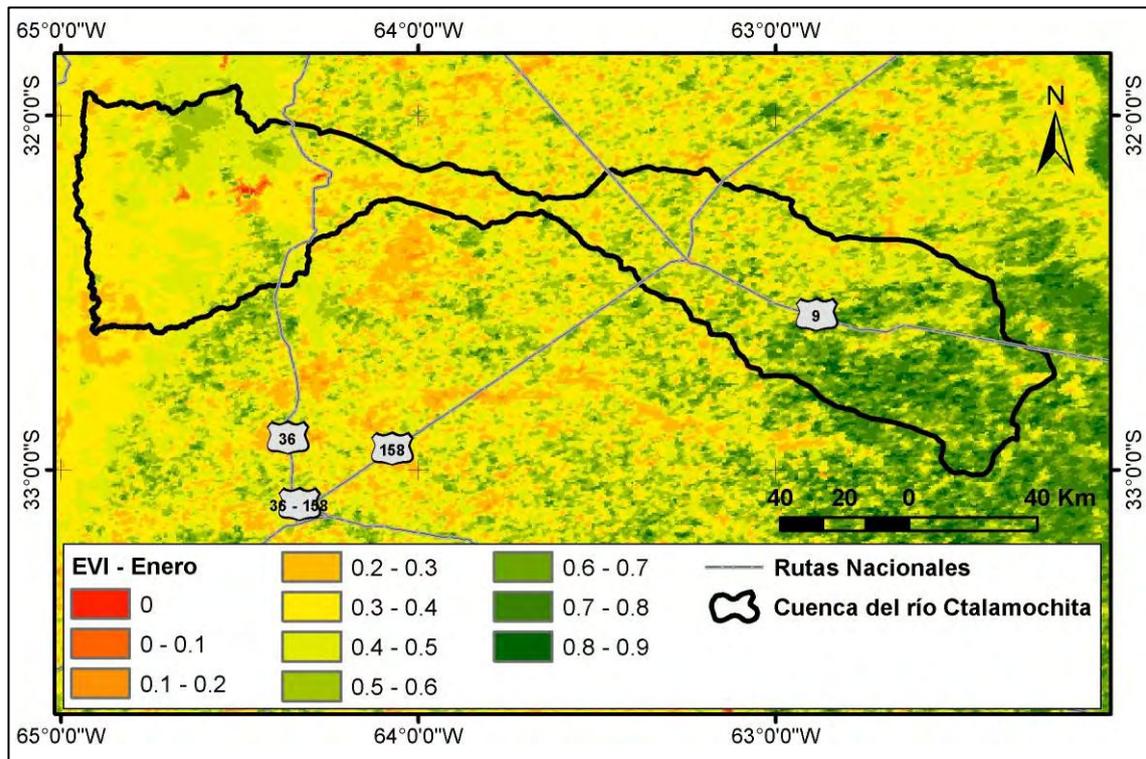


Figura AIV.2.1. EVI para el mes de enero de 2014. Fuente: elaboración propia.

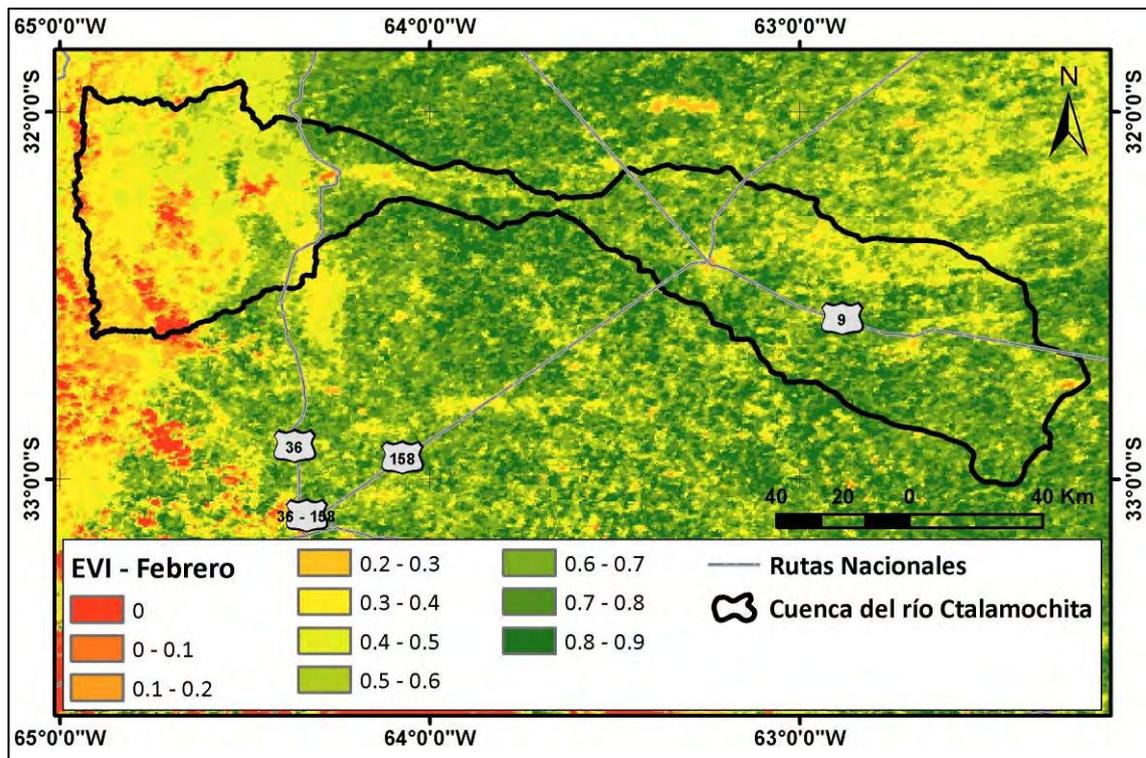


Figura AIV.2.2. EVI para el mes de febrero de 2014. Fuente: elaboración propia.

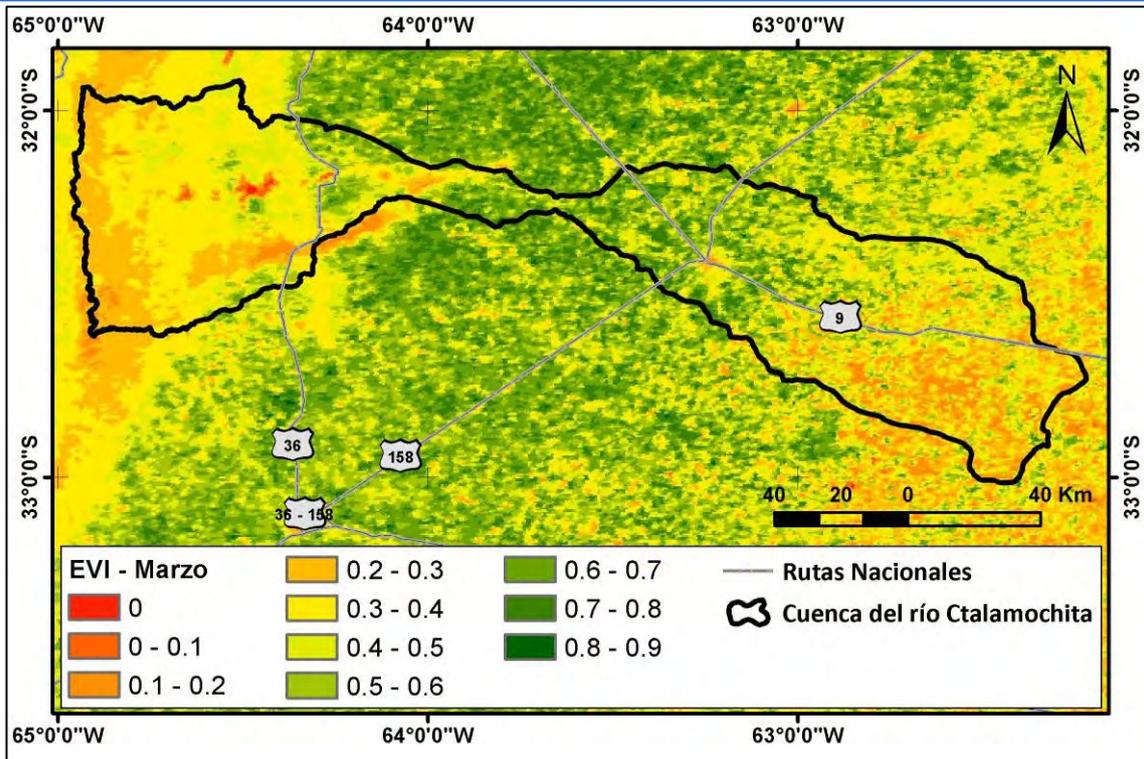


Figura AIV. 2.3. EVI para el mes de marzo de 2014. Fuente: elaboración propia.

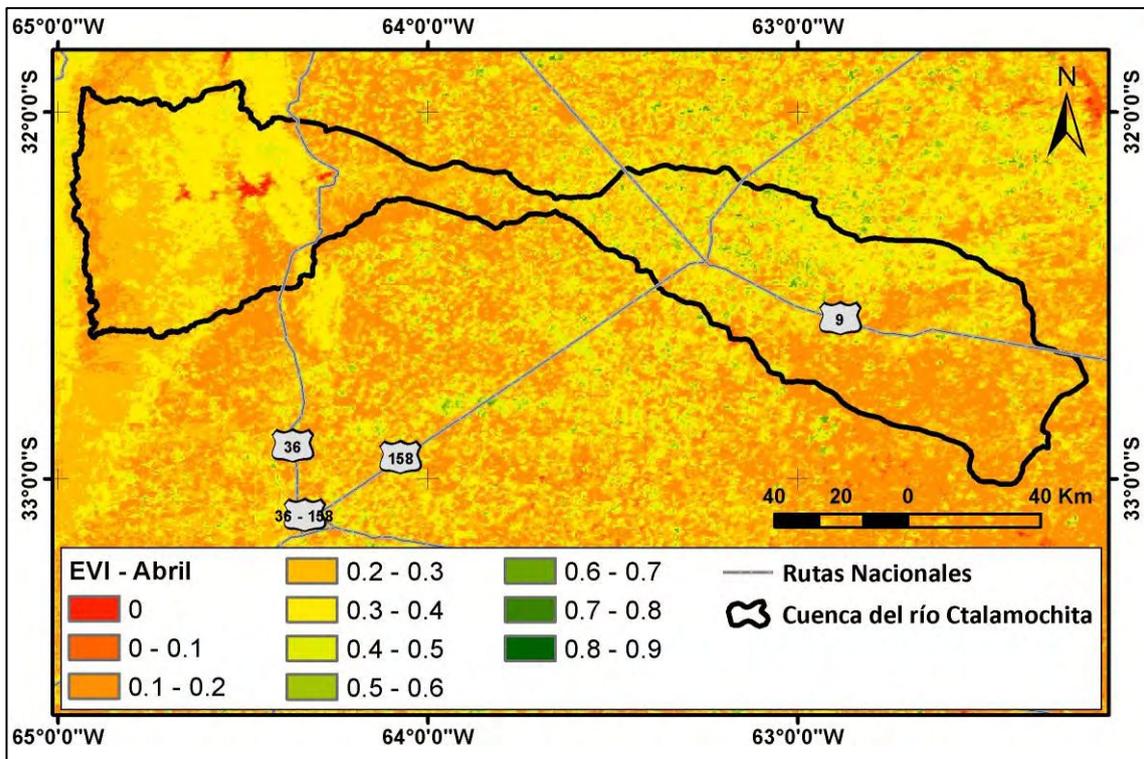


Figura AIV. 2.4. EVI para el mes de abril de 2014. Fuente: elaboración propia.

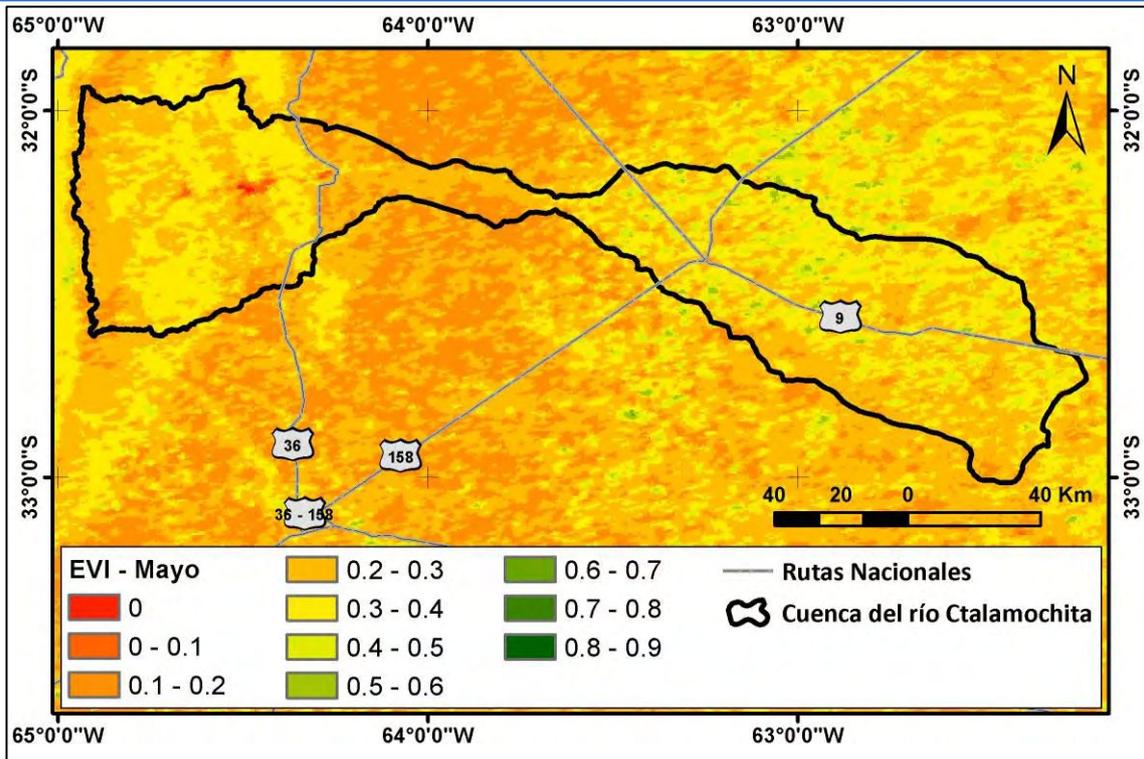


Figura AIV. 2.5. EVI para el mes de mayo de 2014. Fuente: elaboración propia.

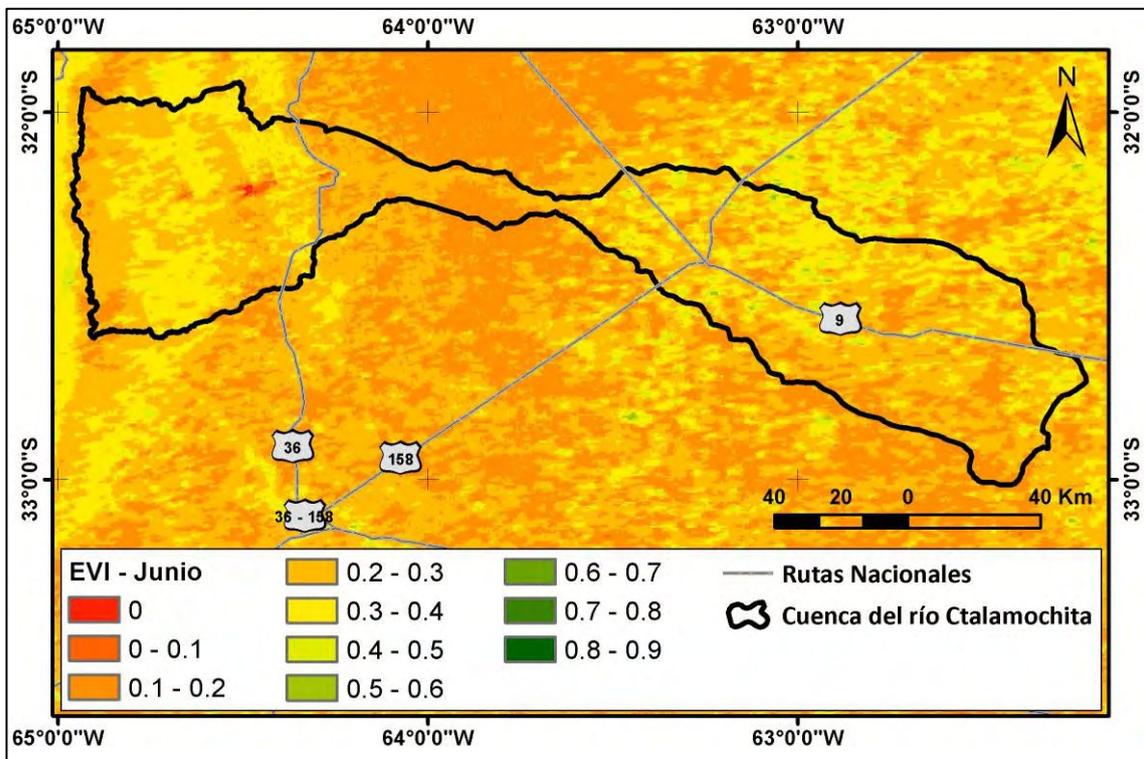


Figura AIV. 2.6. EVI para el mes de junio de 2014. Fuente: elaboración propia.

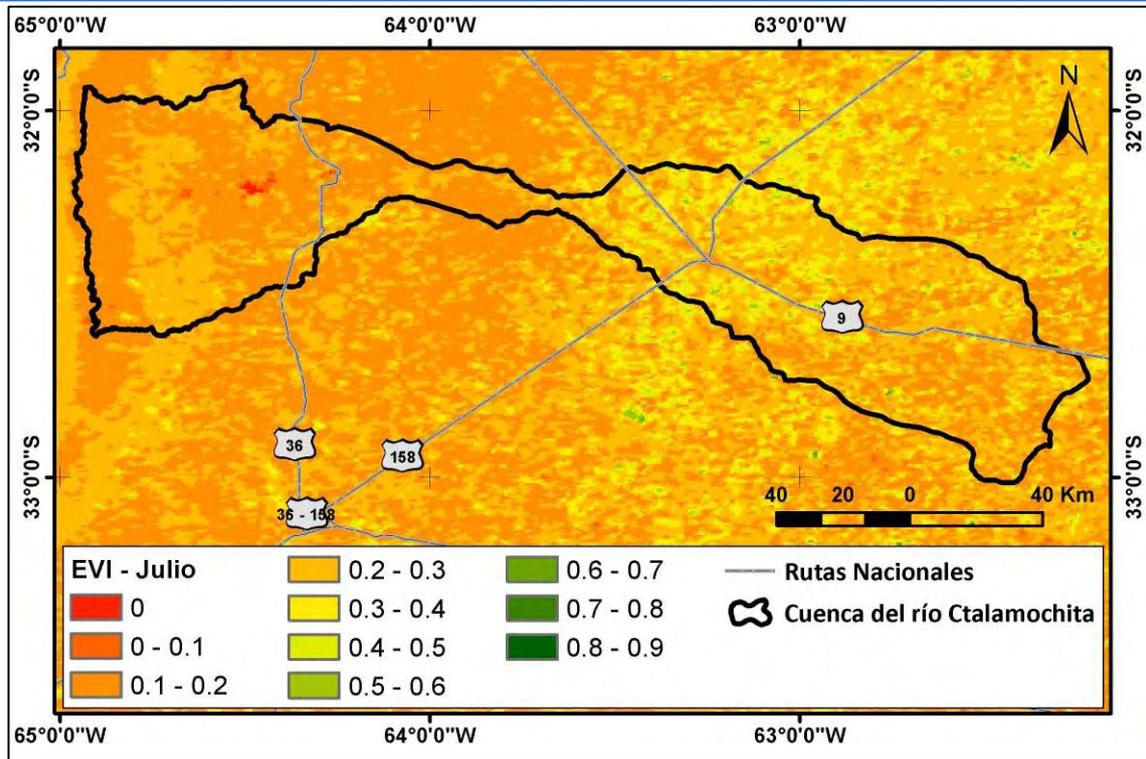


Figura AIV. 2.7. EVI para el mes de julio de 2014. Fuente: elaboración propia.

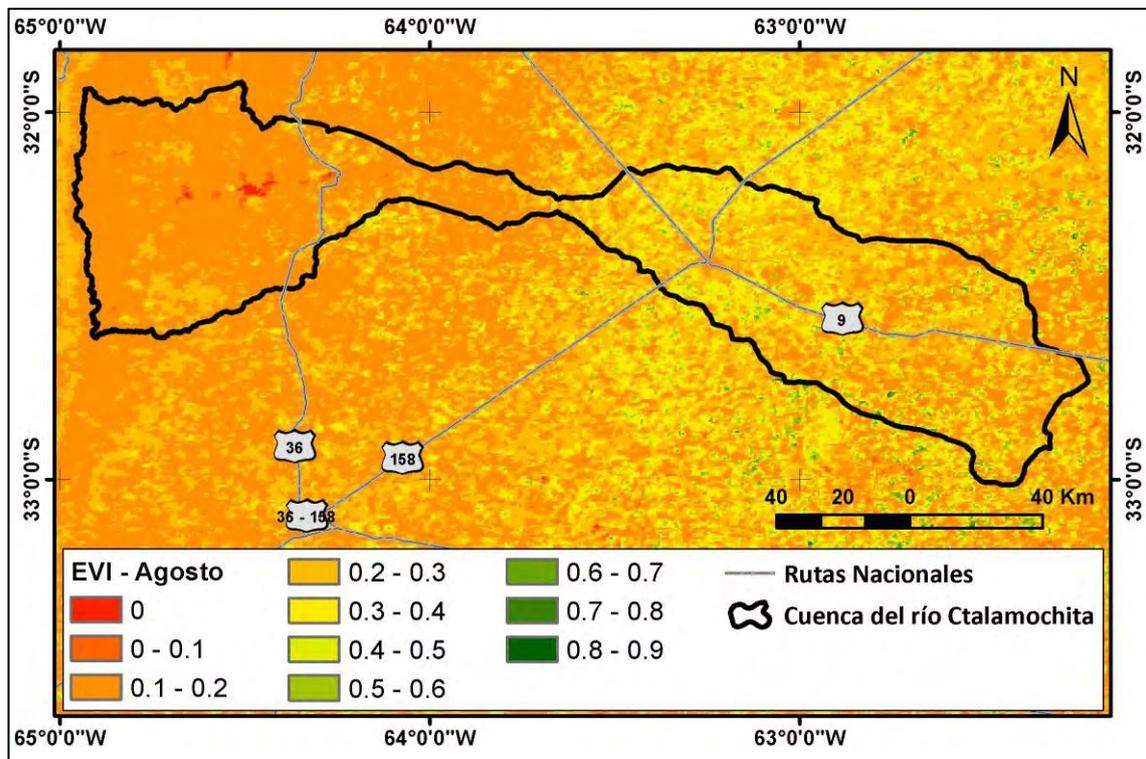


Figura AIV. 2.8. EVI para el mes de agosto de 2014. Fuente: elaboración propia.

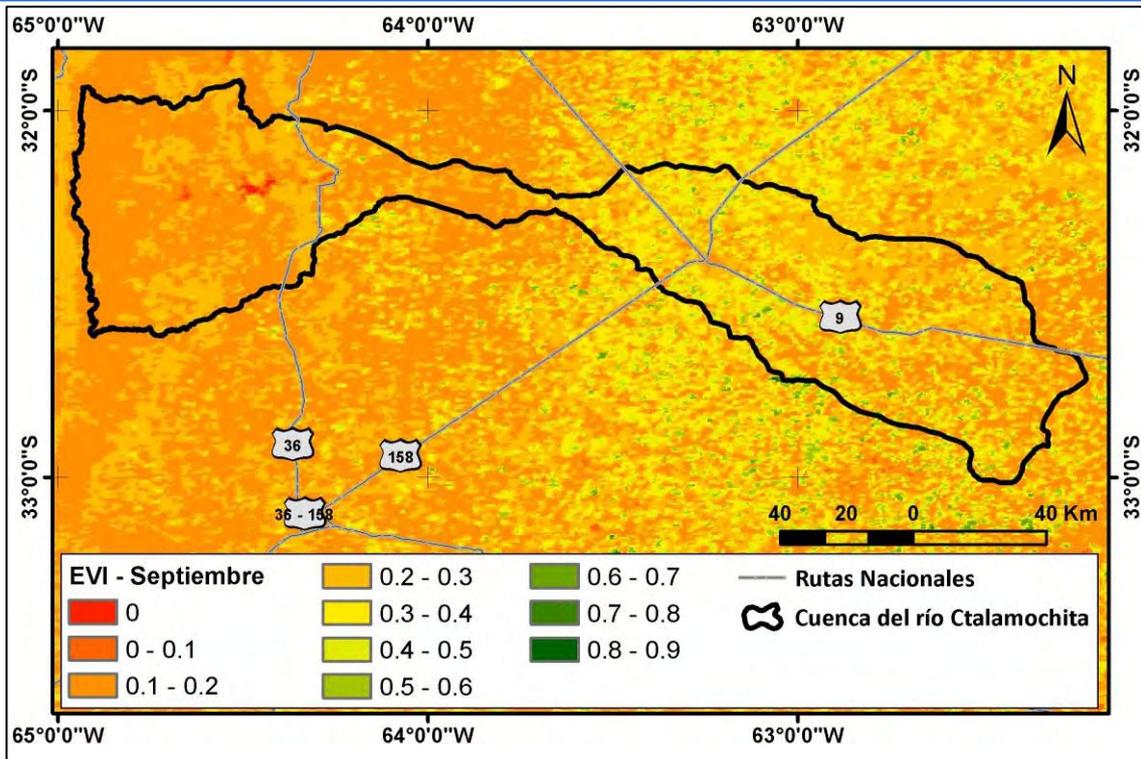


Figura AIV. 2.9. EVI para el mes de septiembre de 2014. Fuente: elaboración propia.

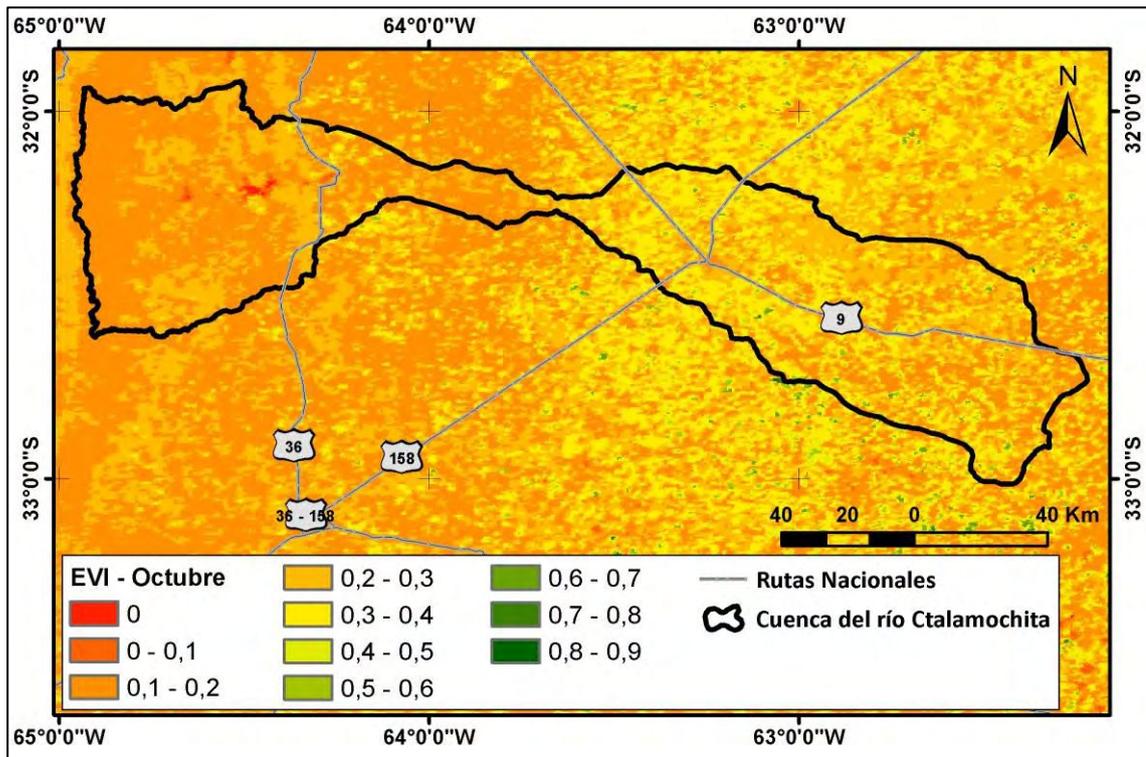


Figura AIV. 2.10. EVI para el mes de octubre de 2014. Fuente: elaboración propia.

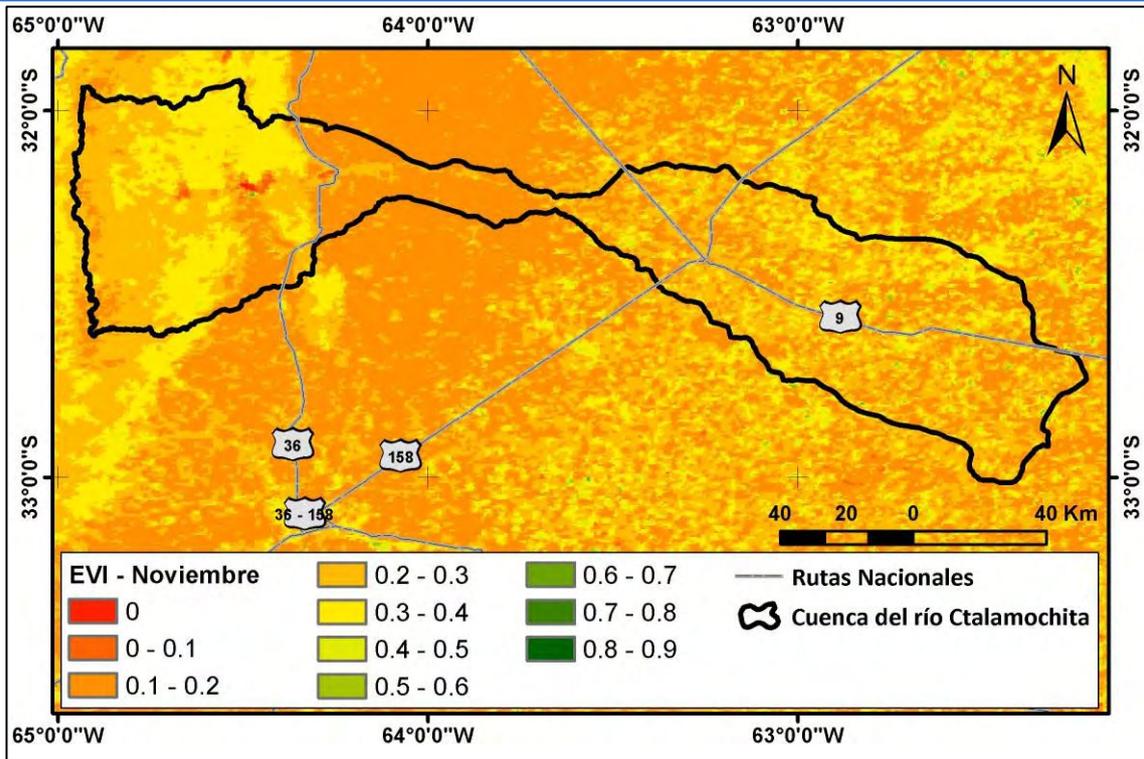


Figura AIV. 2.11. EVI para el mes de noviembre de 2014. Fuente: elaboración propia.

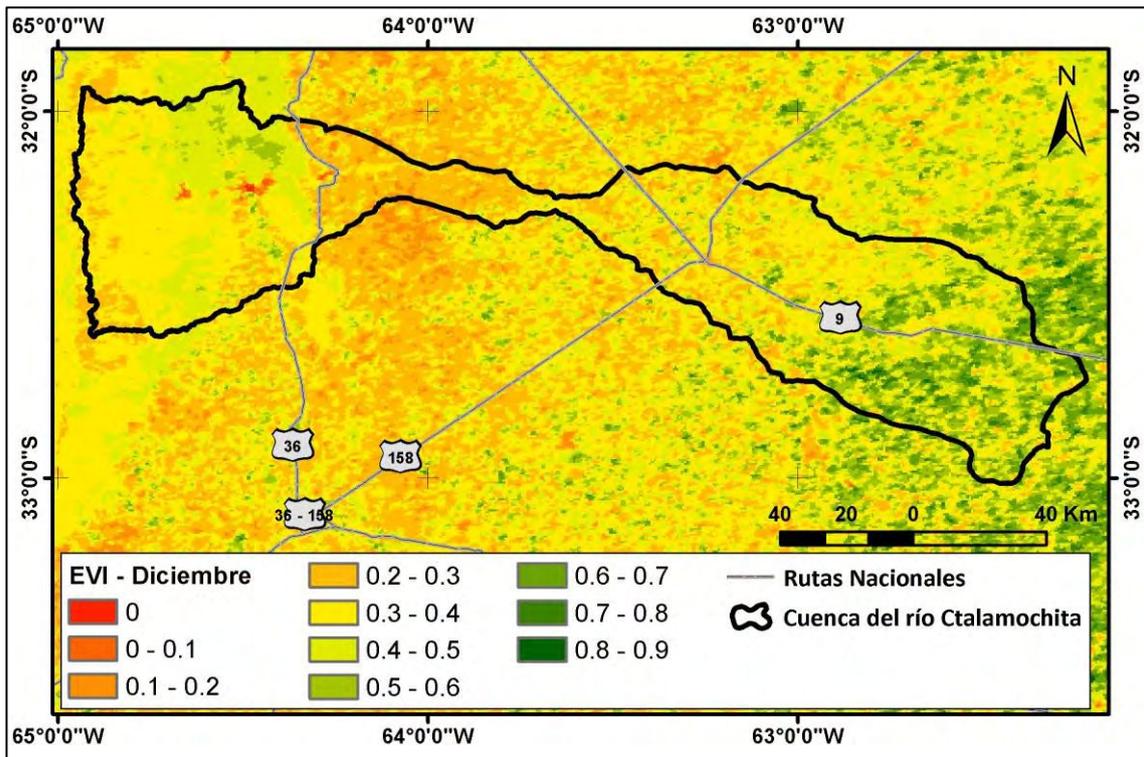


Figura AIV. 2.12. EVI para el mes de diciembre de 2014. Fuente: elaboración propia.

3 TDVI: Índice Satelital de Déficit Hídrico

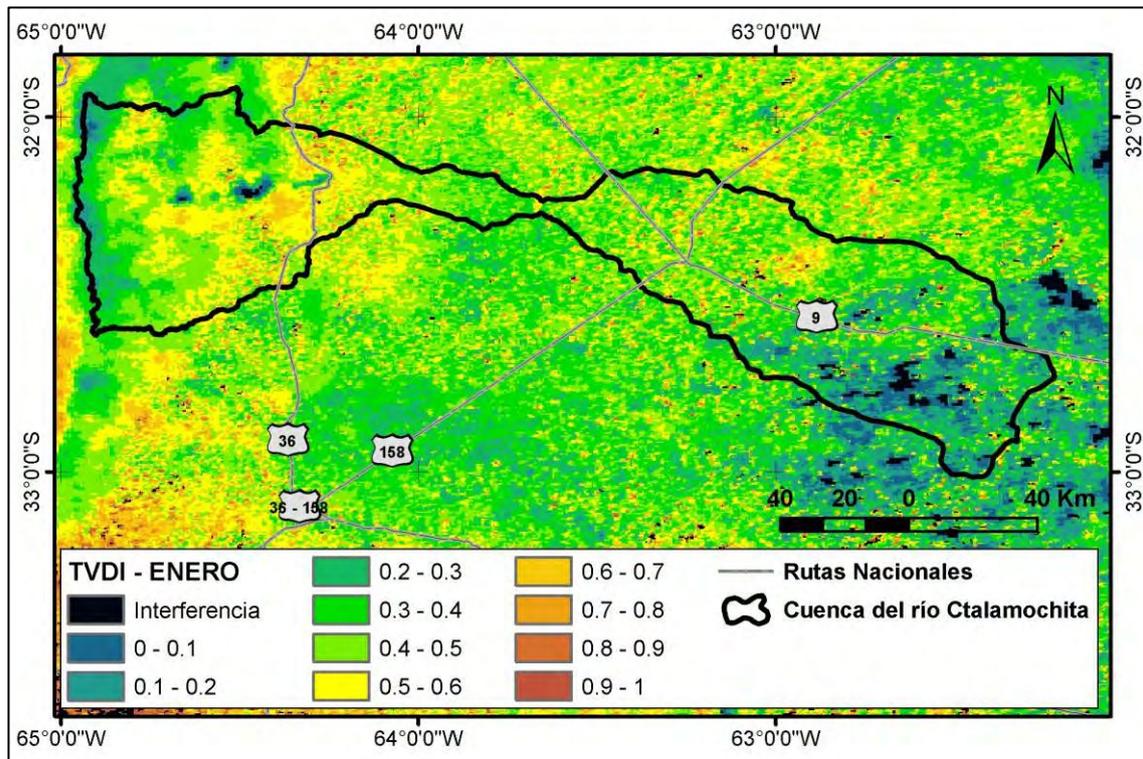


Figura AIV. 3.1 TDVI para el mes de enero de 2014. Fuente: elaboración propia.

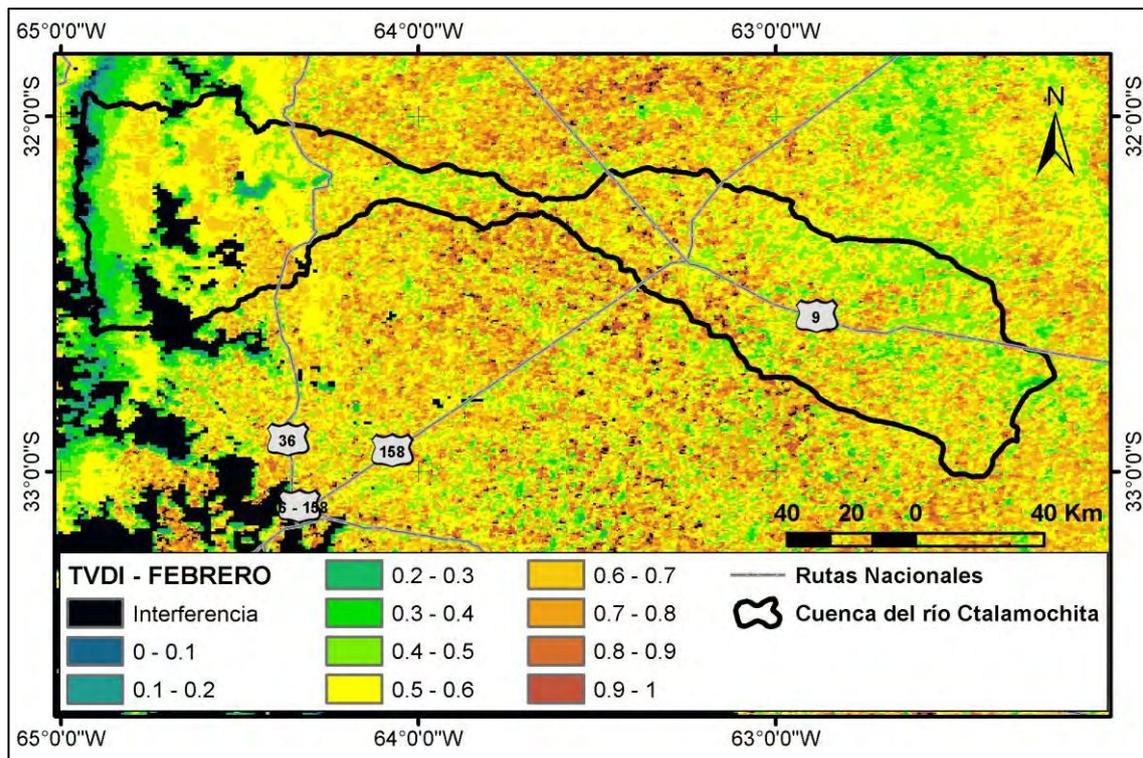


Figura AIV. 3.2. TDVI para el mes de febrero de 2014. Fuente: elaboración propia.

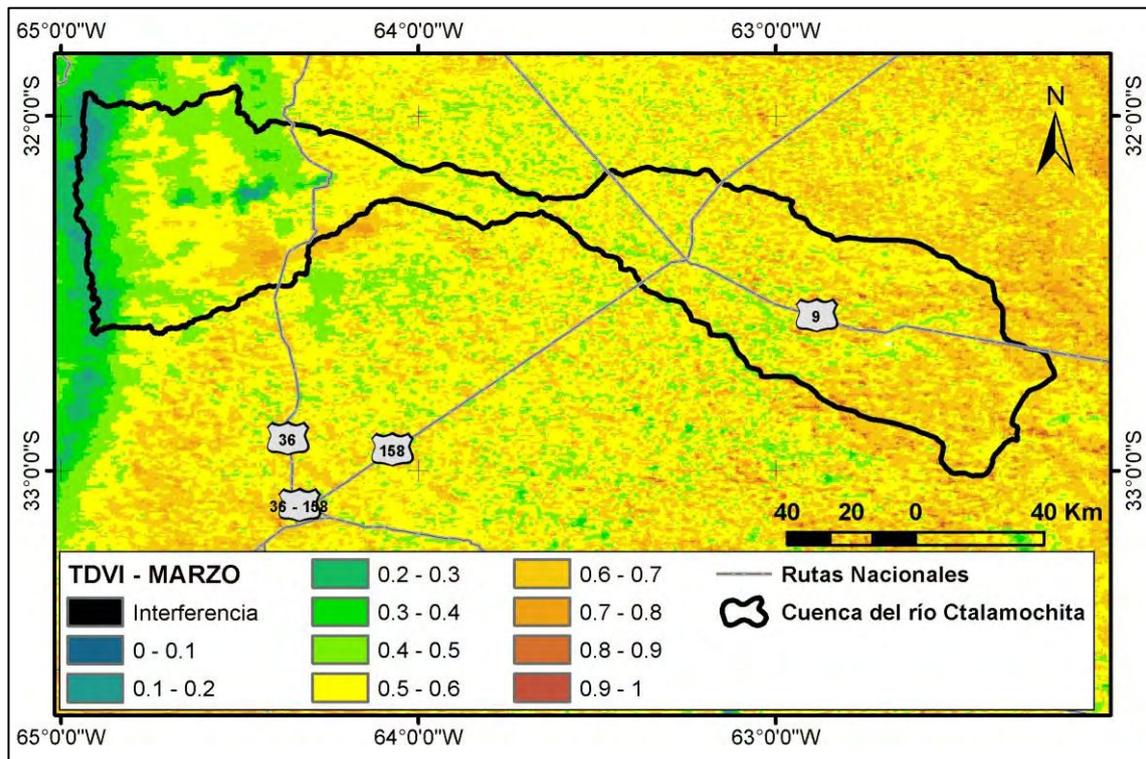


Figura AIV. 3.3. TDVI para el mes de marzo de 2014. Fuente: elaboración propia.

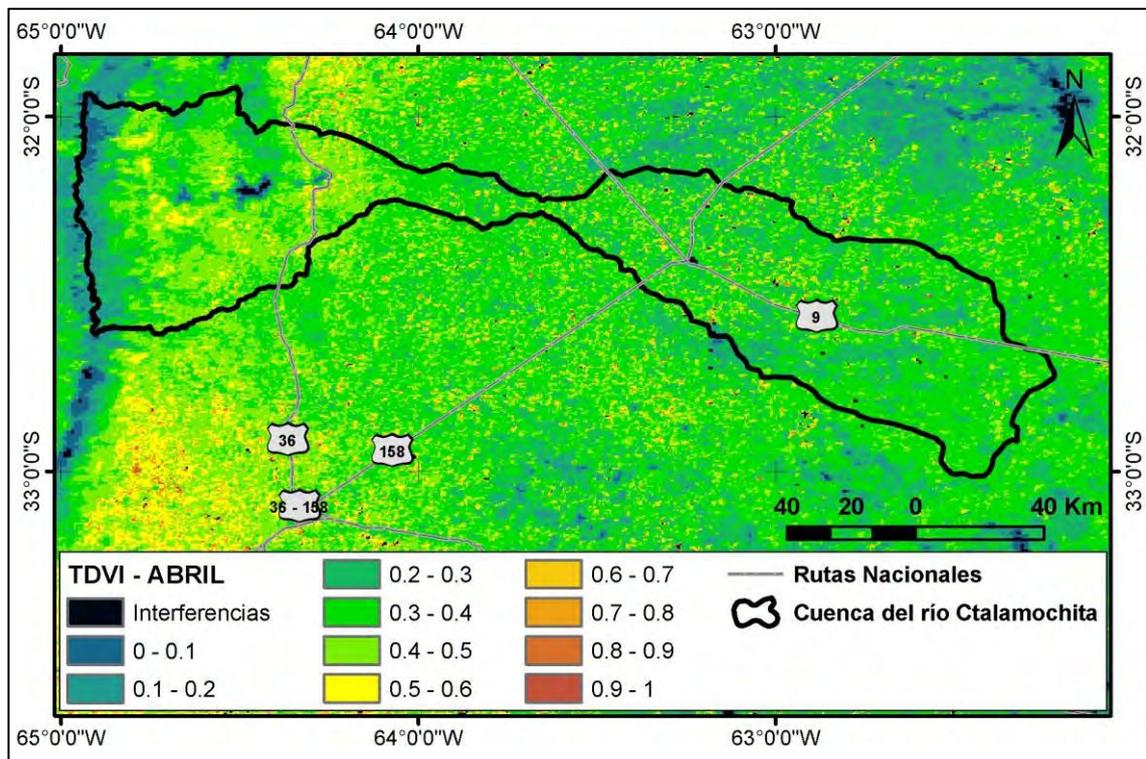


Figura AIV. 3.4. TDVI para el mes de abril de 2014. Fuente: elaboración propia.

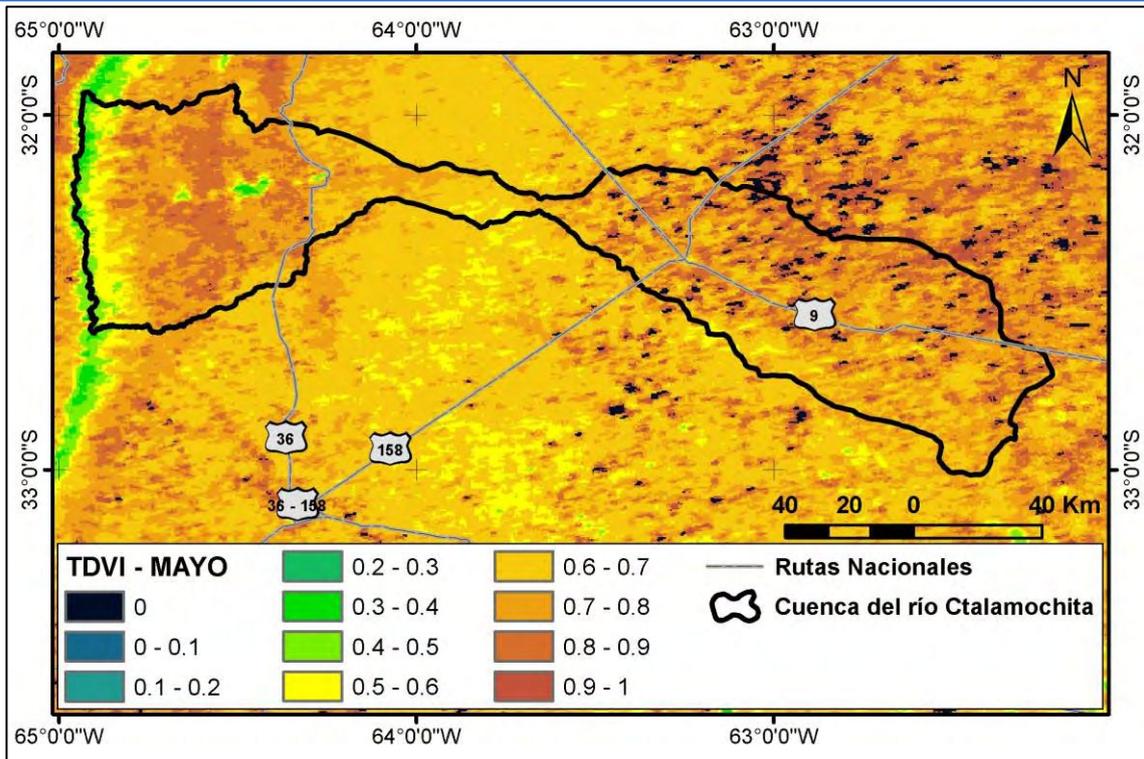


Figura AIV. 3.5. TDVI para el mes de mayo de 2014. Fuente: elaboración propia.

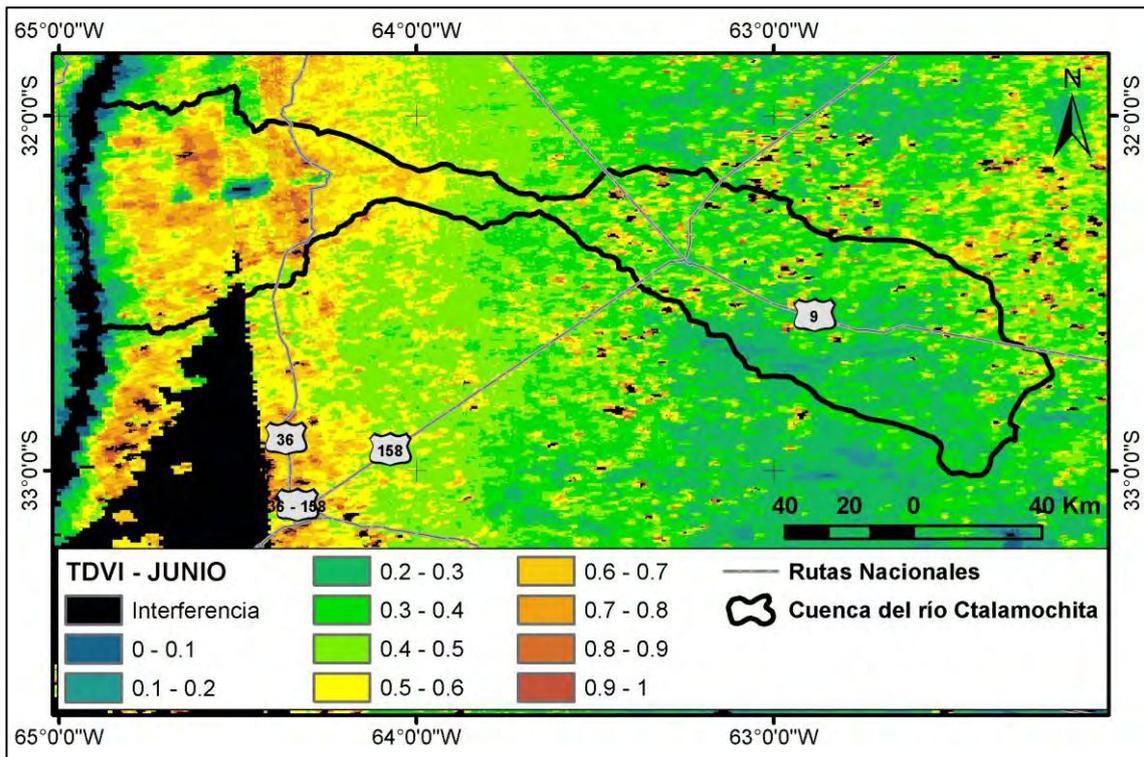


Figura AIV. 3.6. TDVI para el mes de junio de 2014. Fuente: elaboración propia.

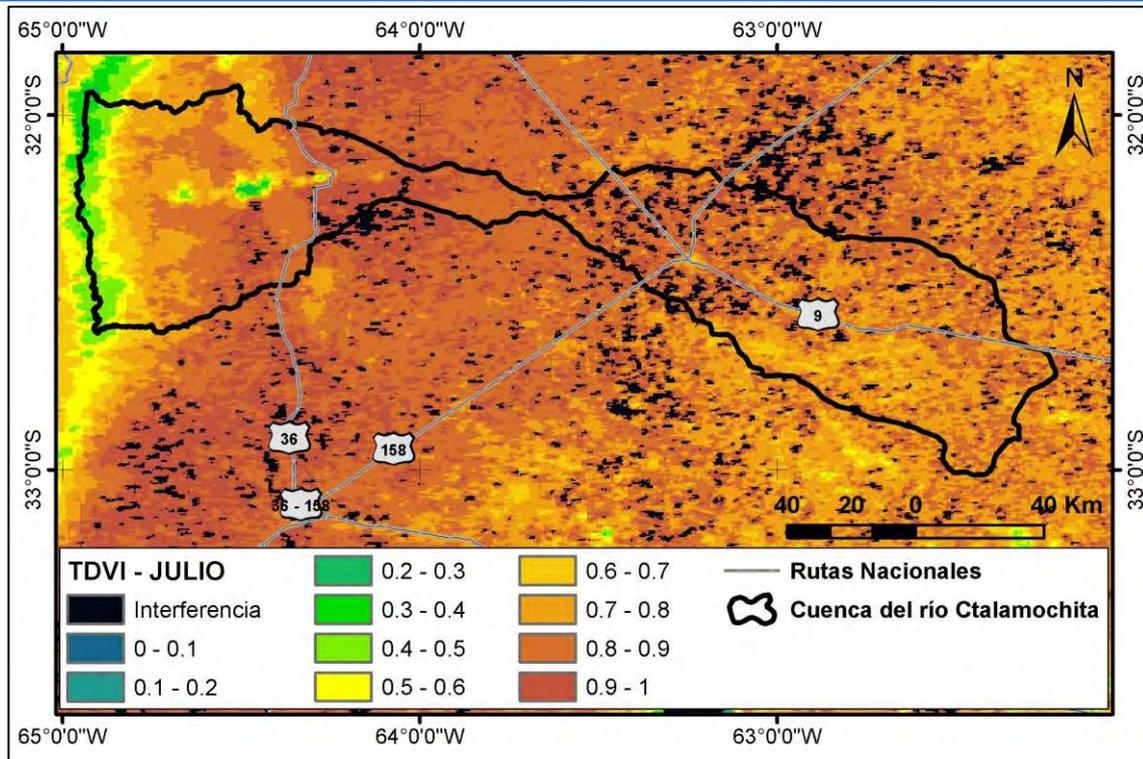


Figura AIV. 3.7. TDVI para el mes de julio de 2014. Fuente: elaboración propia.

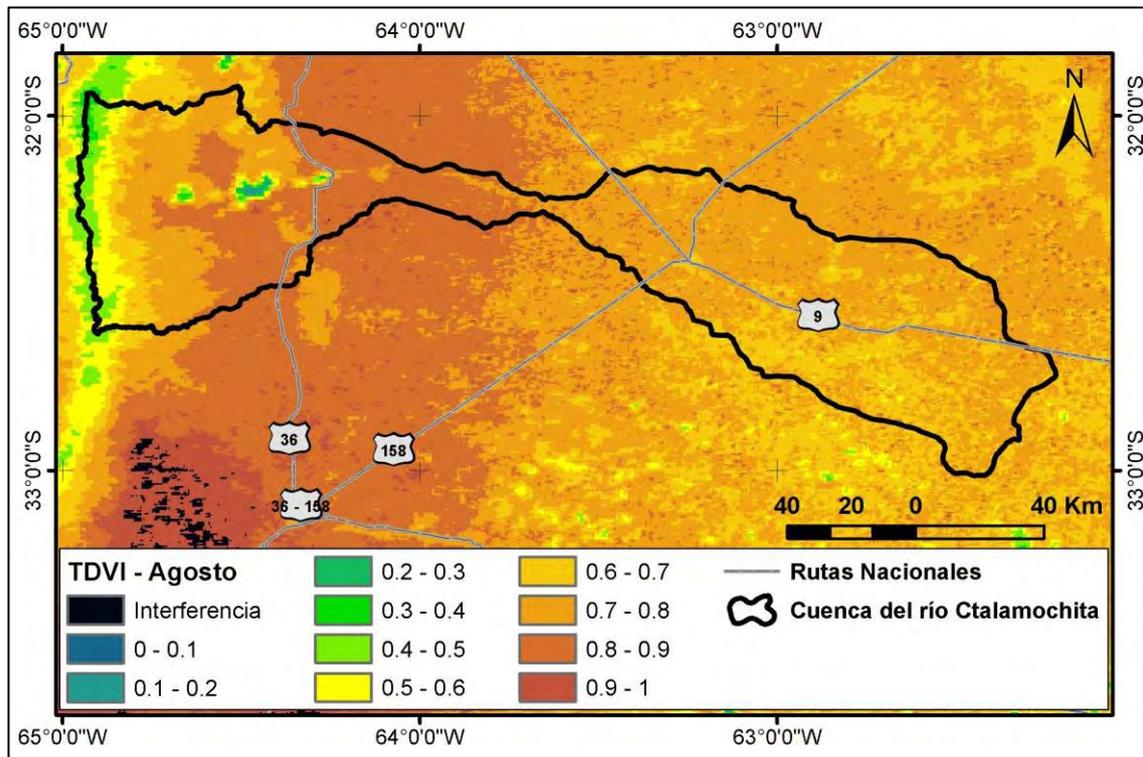


Figura AIV. AIV. 3.8. TDVI para el mes de agosto de 2014. Fuente: elaboración propia.

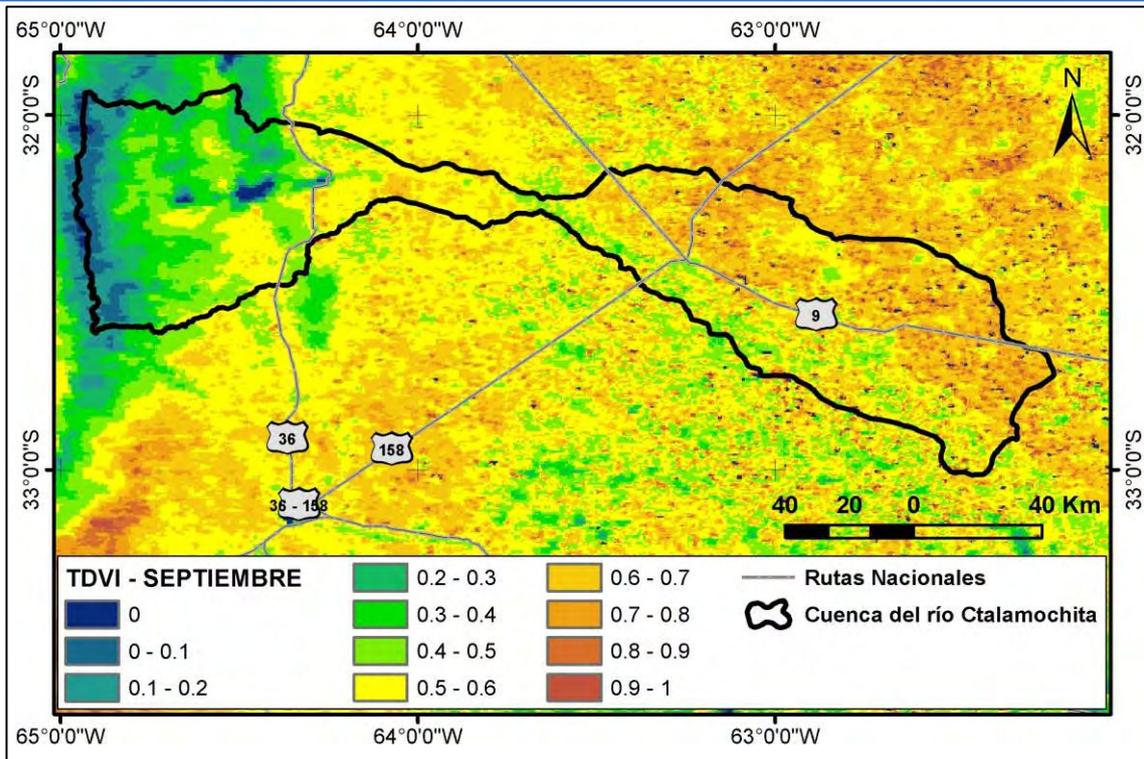


Figura AIV. 3.9. TDVI para el mes de septiembre de 2014. Fuente: elaboración propia.

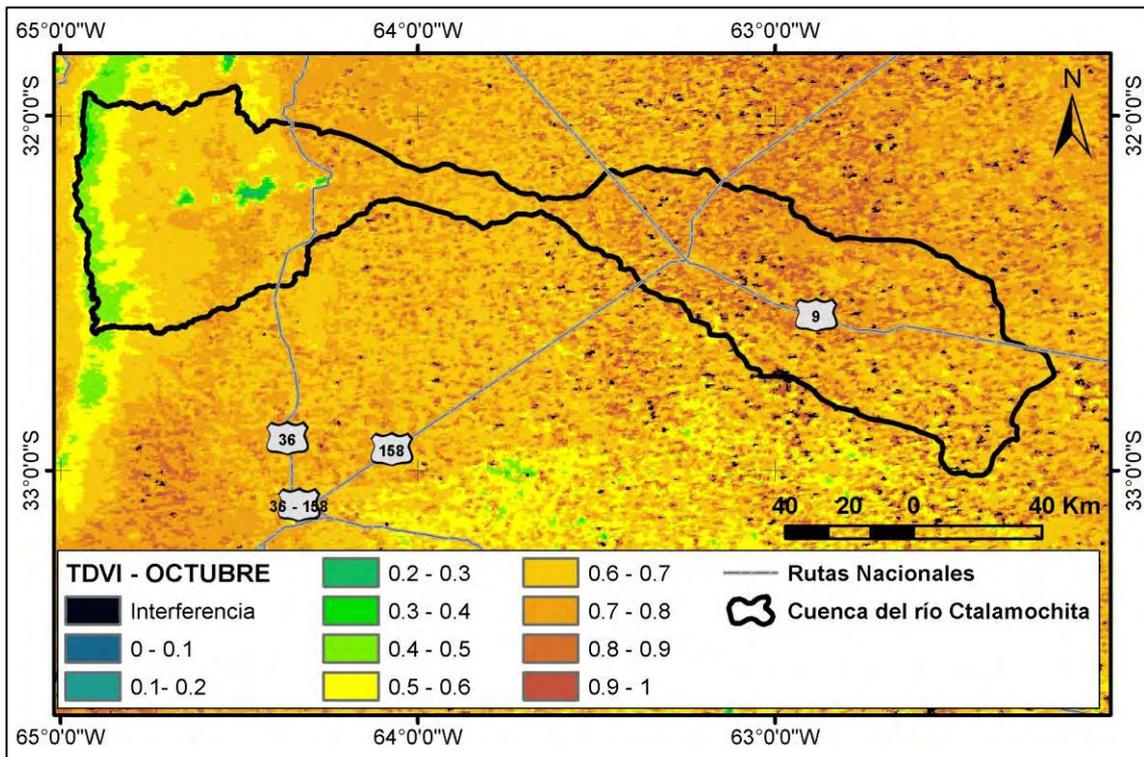


Figura AIV. 3.10. TDVI para el mes de octubre de 2014. Fuente: elaboración propia.

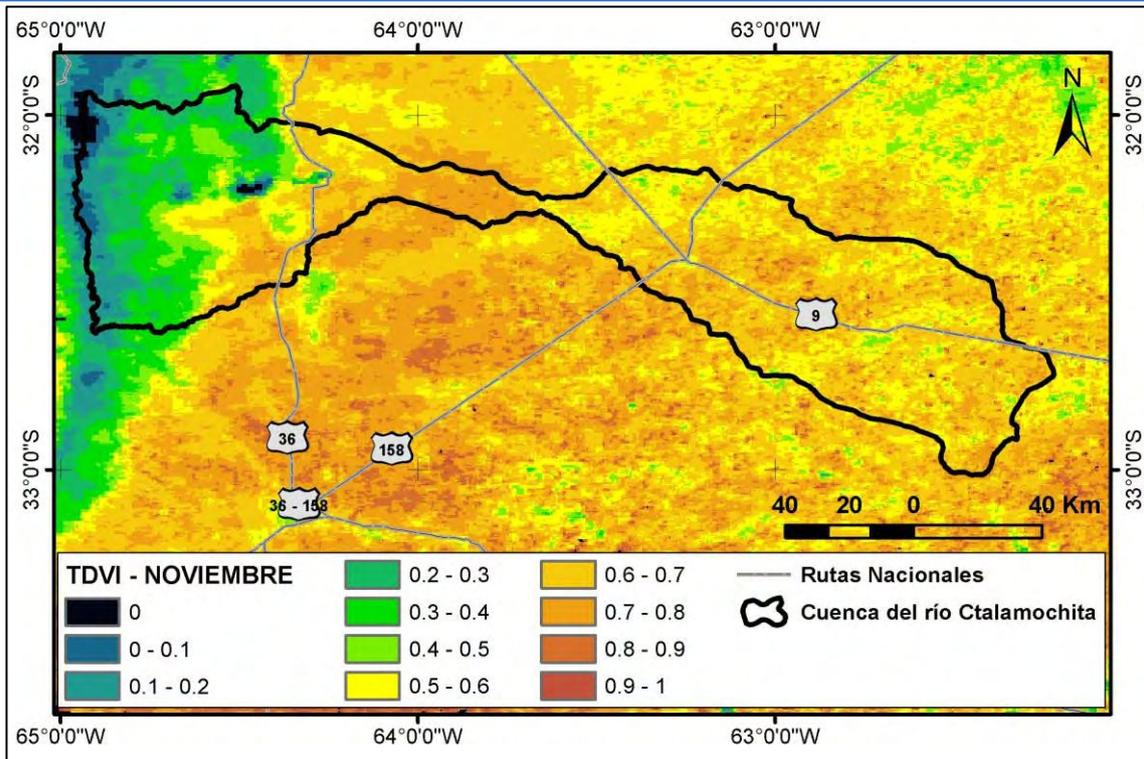


Figura AIV. 3.11. TDVI para el mes de noviembre de 2014. Fuente: elaboración propia.

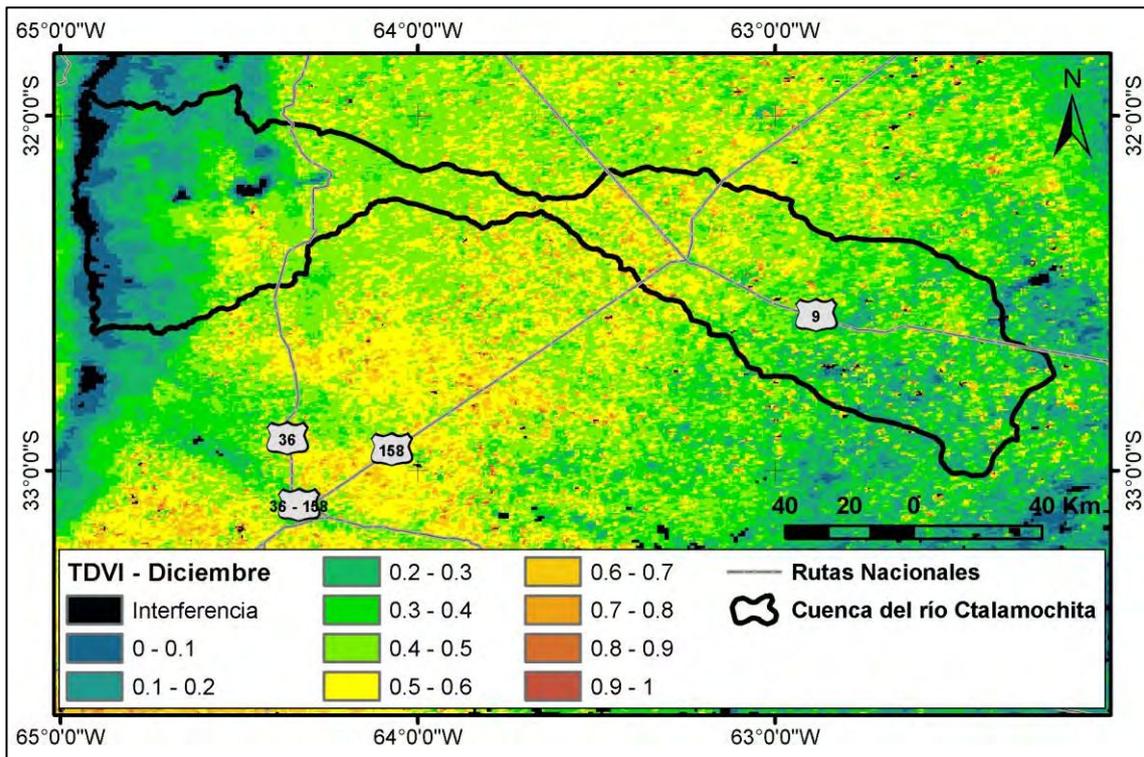


Figura AIV. 3.12. TDVI para el mes de diciembre de 2014. Fuente: elaboración propia.

4 FE: Fracción Evaporativa

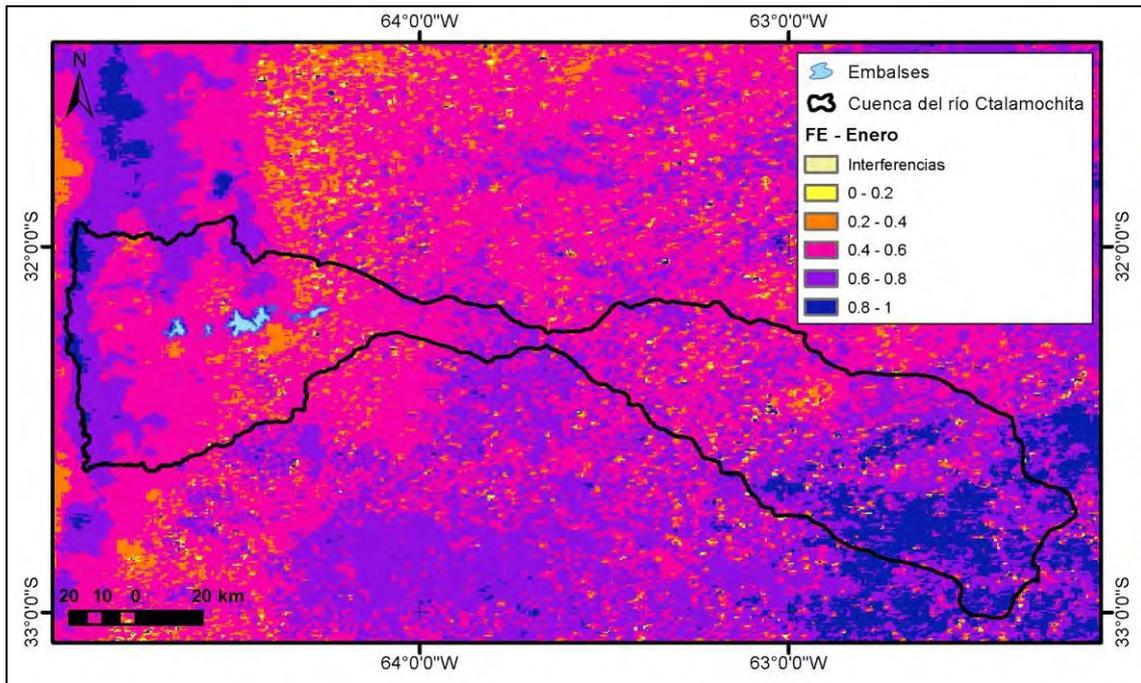


Figura AIV. 4.1. Fracción evaporativa calculada para el mes de enero de 2014. Fuente: elaboración propia.

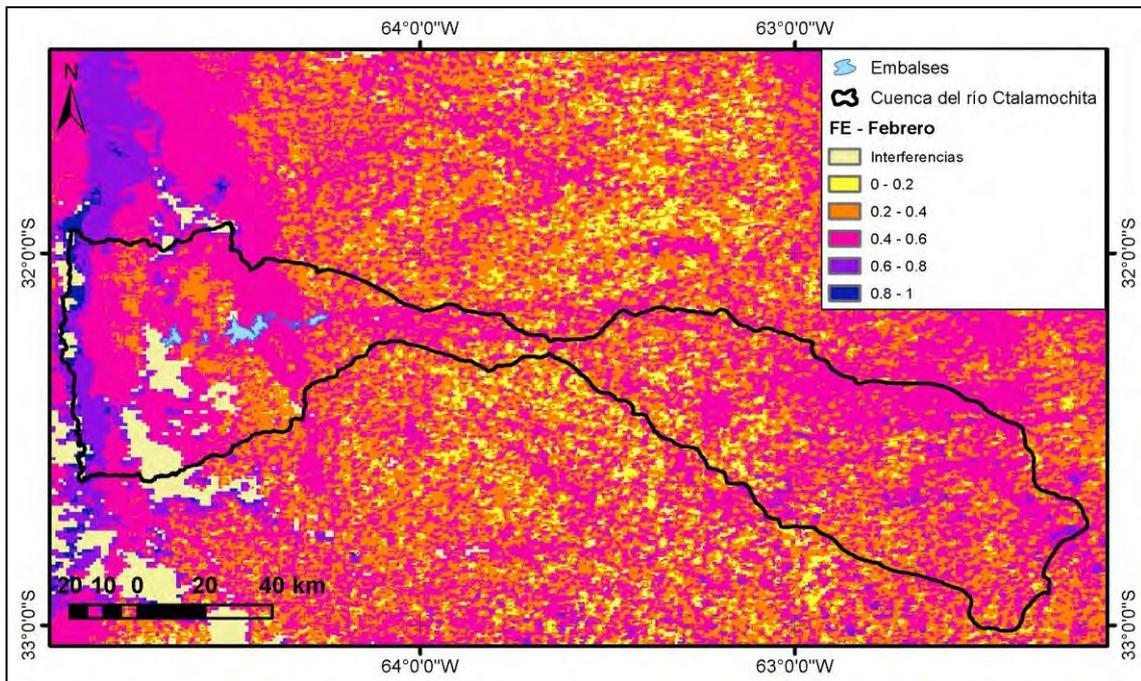


Figura AIV. 4.2. Fracción evaporativa calculada para el mes de febrero de 2014. Fuente: elaboración propia.

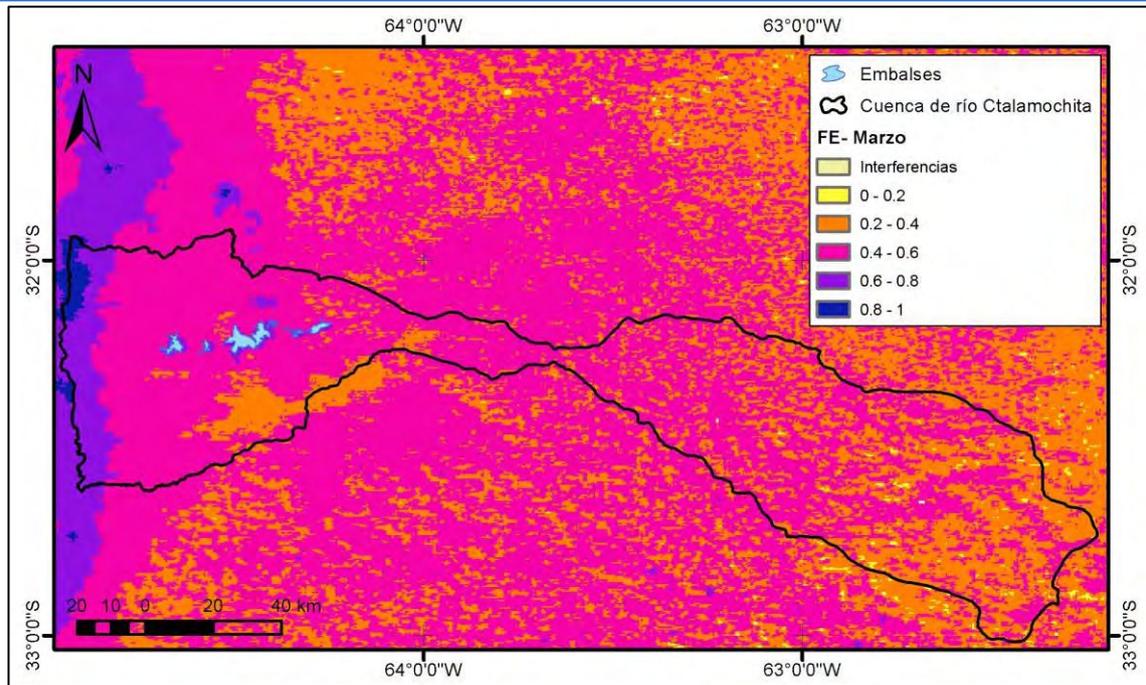


Figura AIV. 4.3. Fracción evaporativa calculada para el mes de marzo de 2014. Fuente: elaboración propia.

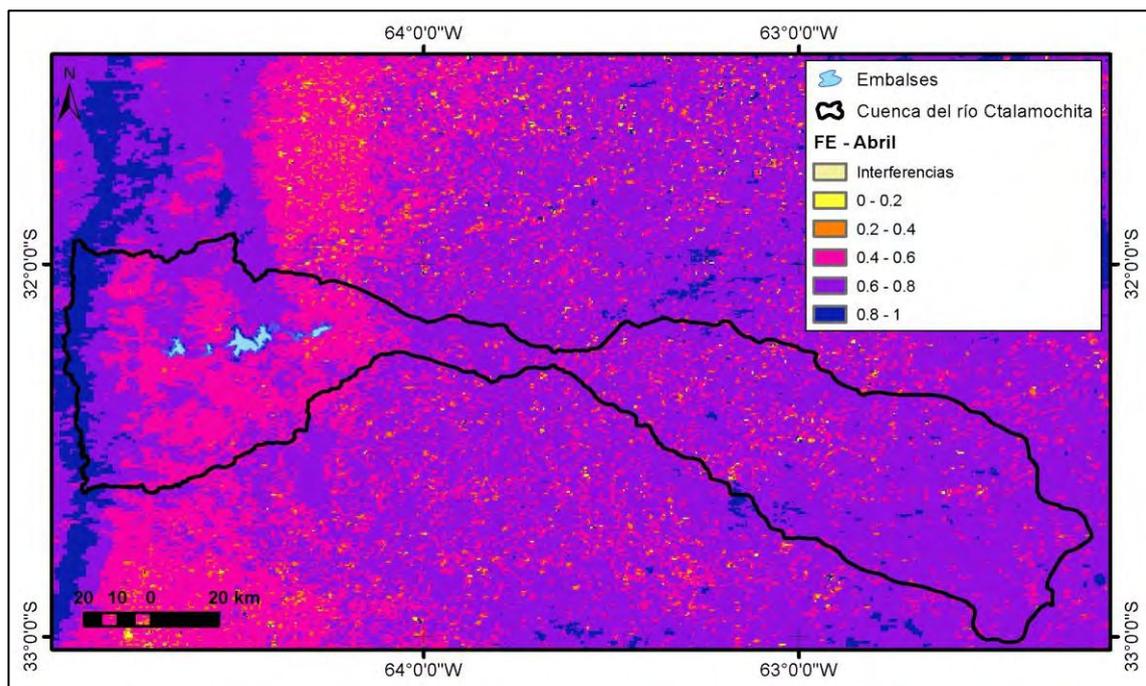


Figura AIV. 4.4. Fracción evaporativa calculada para el mes de abril de 2014. Fuente: elaboración propia.

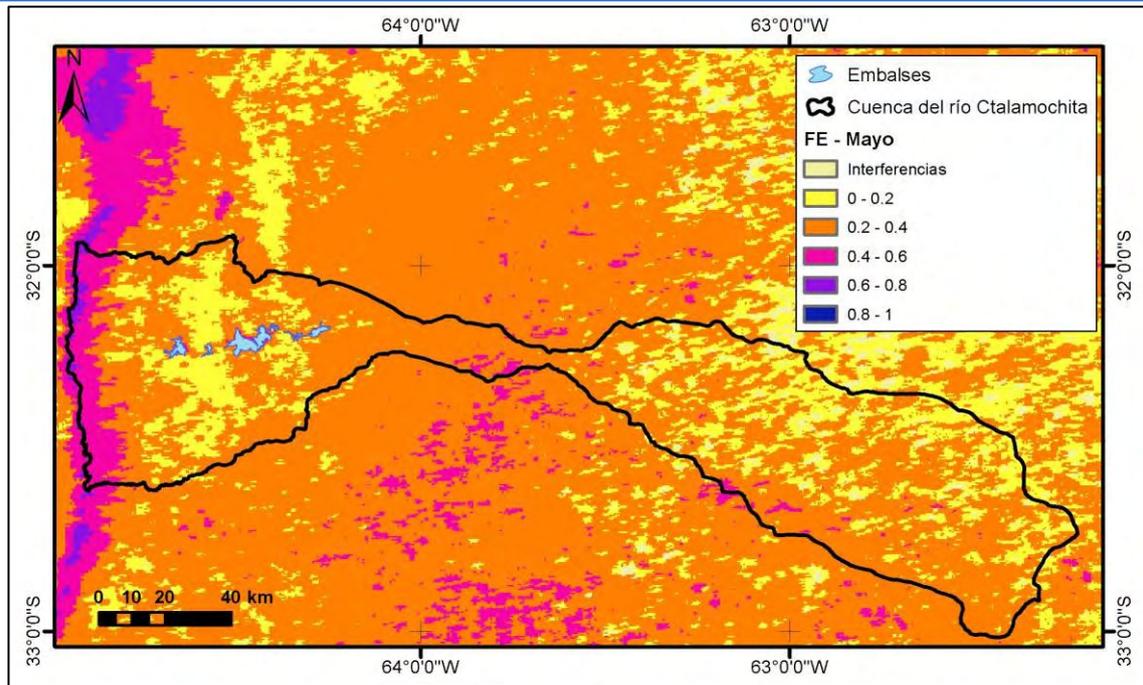


Figura AIV. 4.5. Fracción evaporativa calculada para el mes de mayo de 2014. Fuente: elaboración propia.

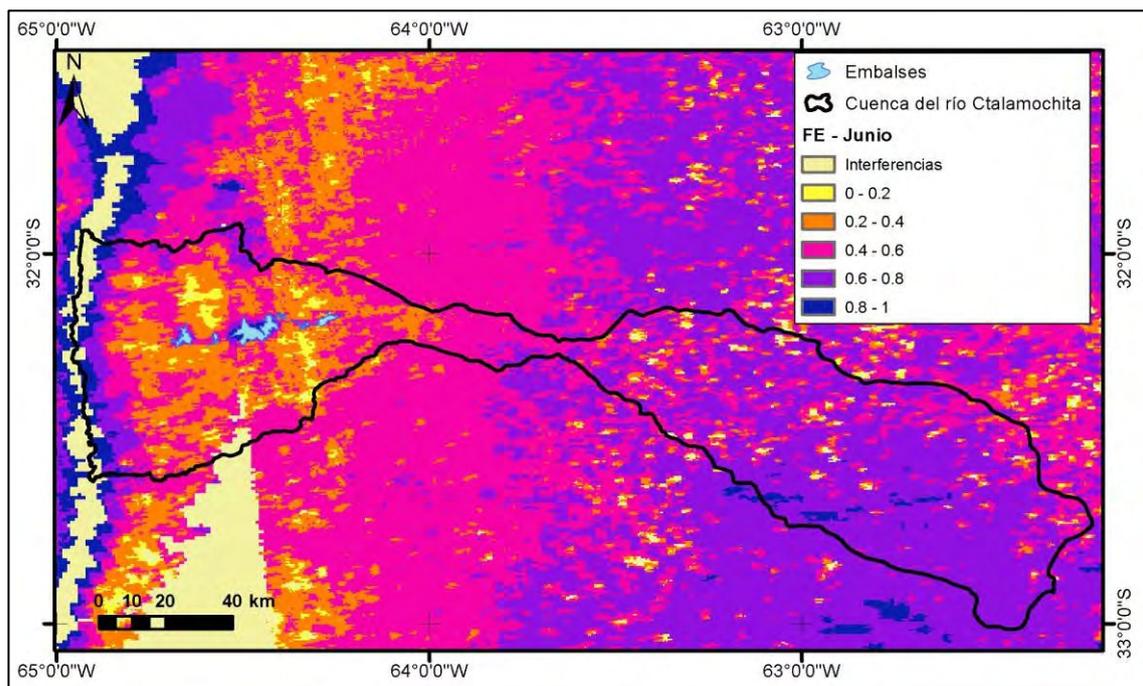


Figura AIV. 4.6. Fracción evaporativa calculada para el mes de junio de 2014. Fuente: elaboración propia.

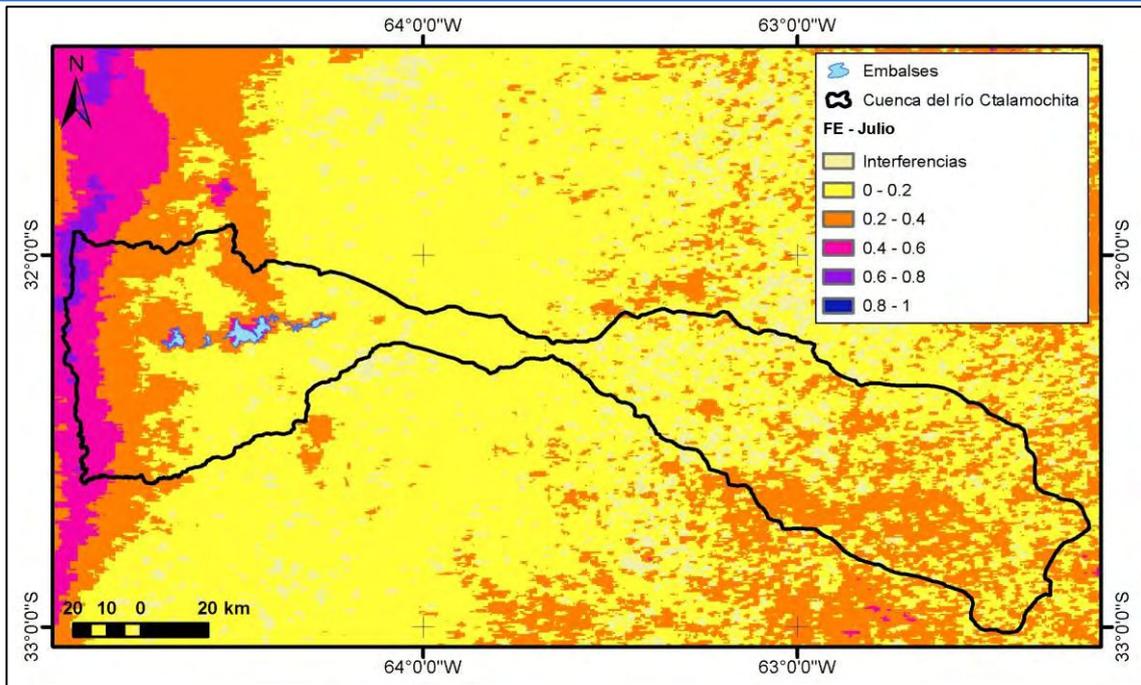


Figura AIV. 4.7. Fracción evaporativa calculada para el mes de julio de 2014. Fuente: elaboración propia.

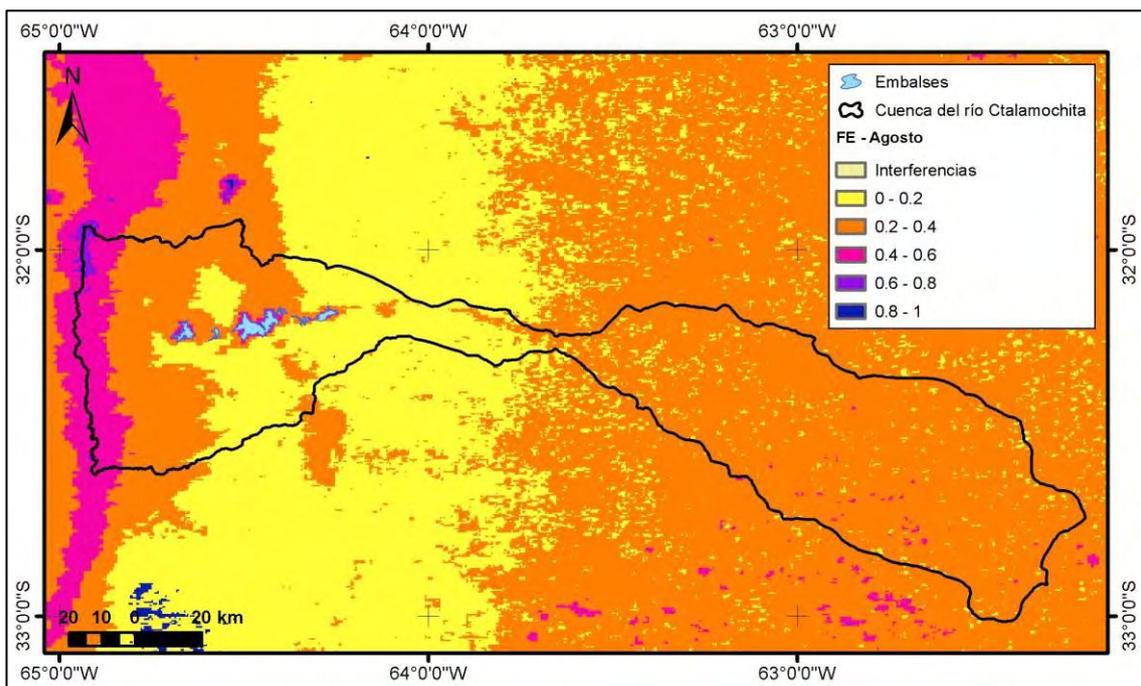


Figura AIV. 4.8. Fracción evaporativa calculada para el mes de agosto de 2014. Fuente: elaboración propia.

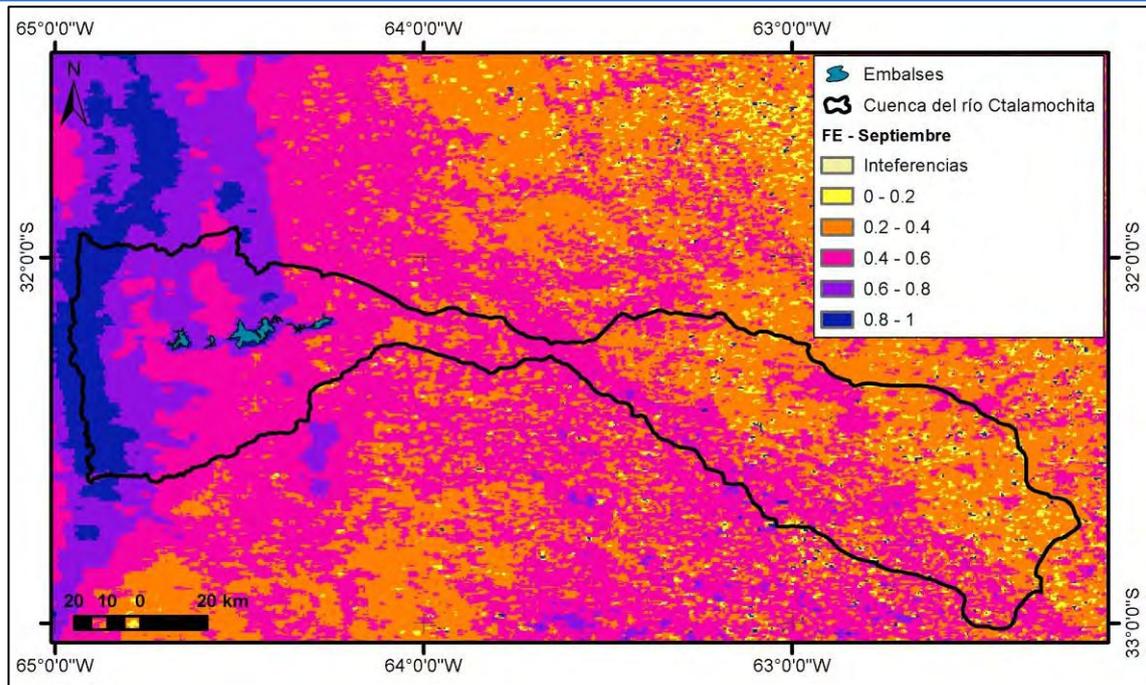


Figura AIV. 4.9. Fracción evaporativa calculada para el mes de septiembre de 2014. Fuente: elaboración propia.

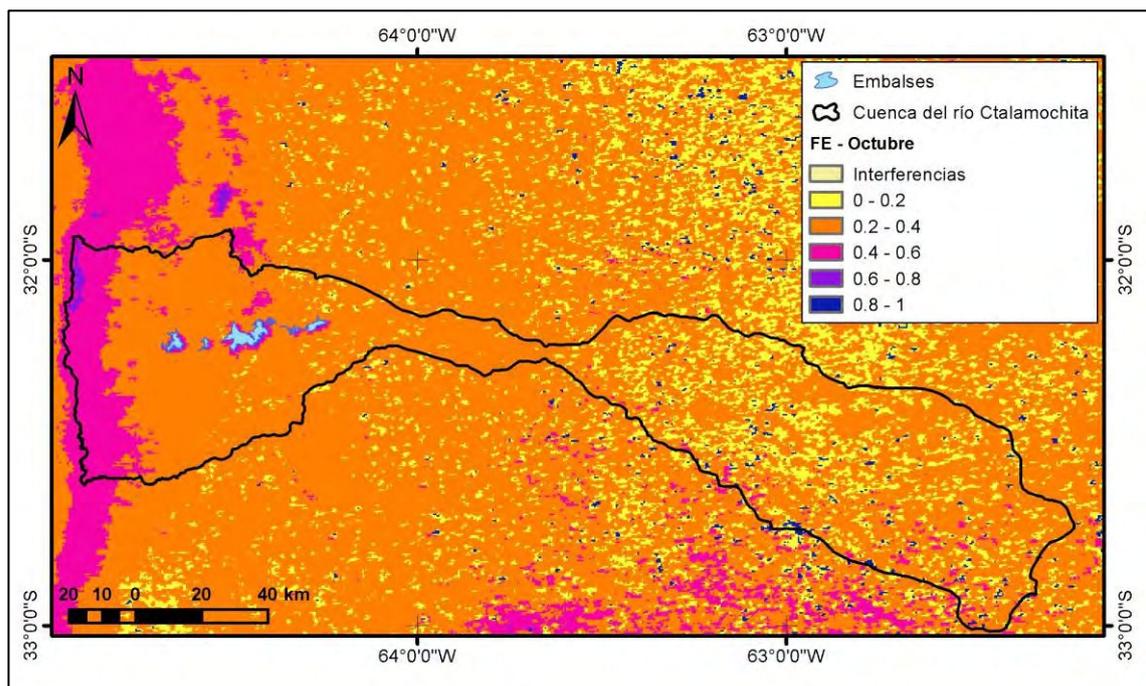


Figura AIV. 4.10. Fracción evaporativa calculada para el mes de octubre de 2014. Fuente: elaboración propia.

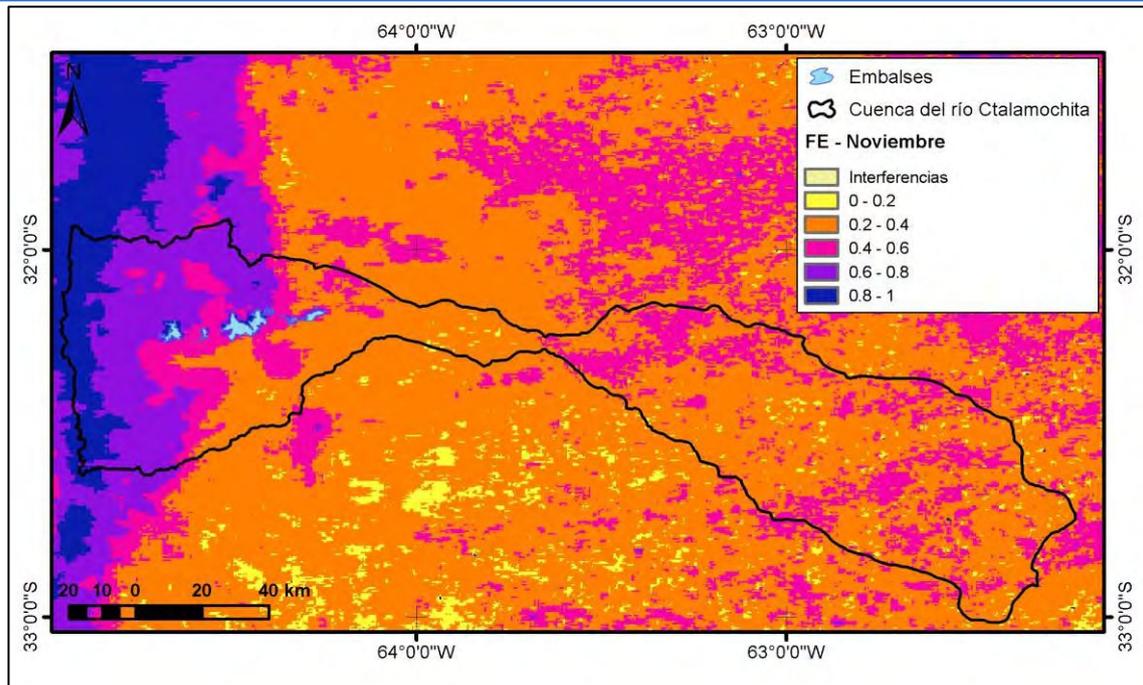


Figura AIV. 4.11. Fracción evaporativa calculada para el mes de noviembre de 2014. Fuente: elaboración propia.

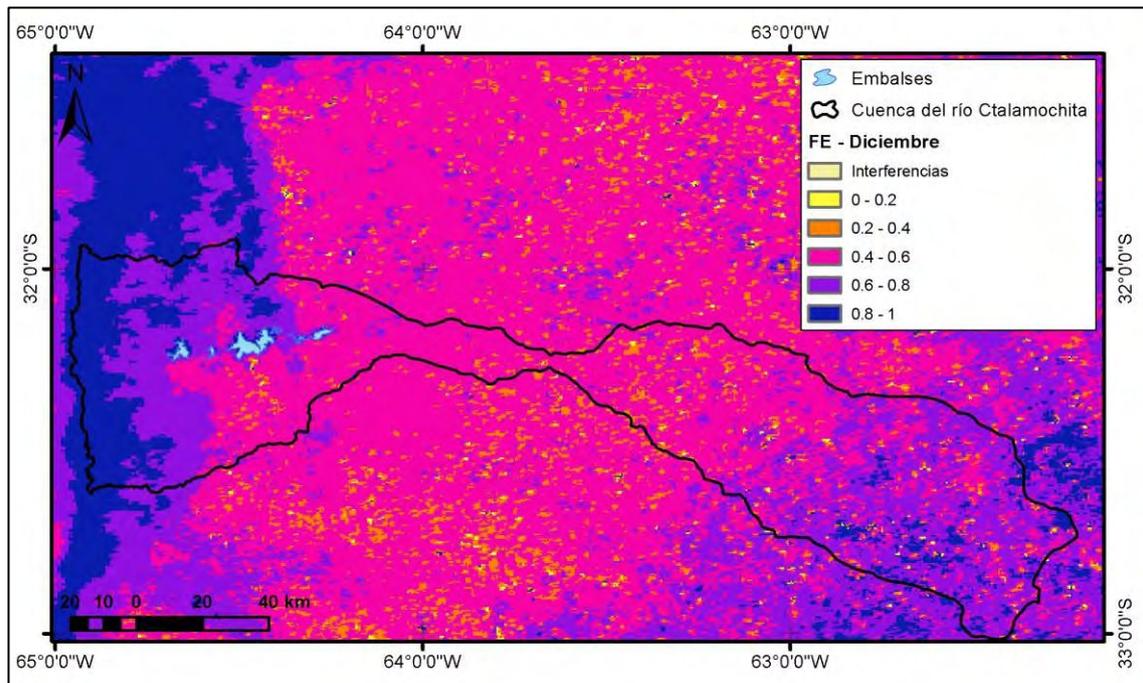


Figura AIV. 4.12. Fracción evaporativa calculada para el mes de diciembre de 2014. Fuente: elaboración propia.

5 ER: Evapotranspiración Real

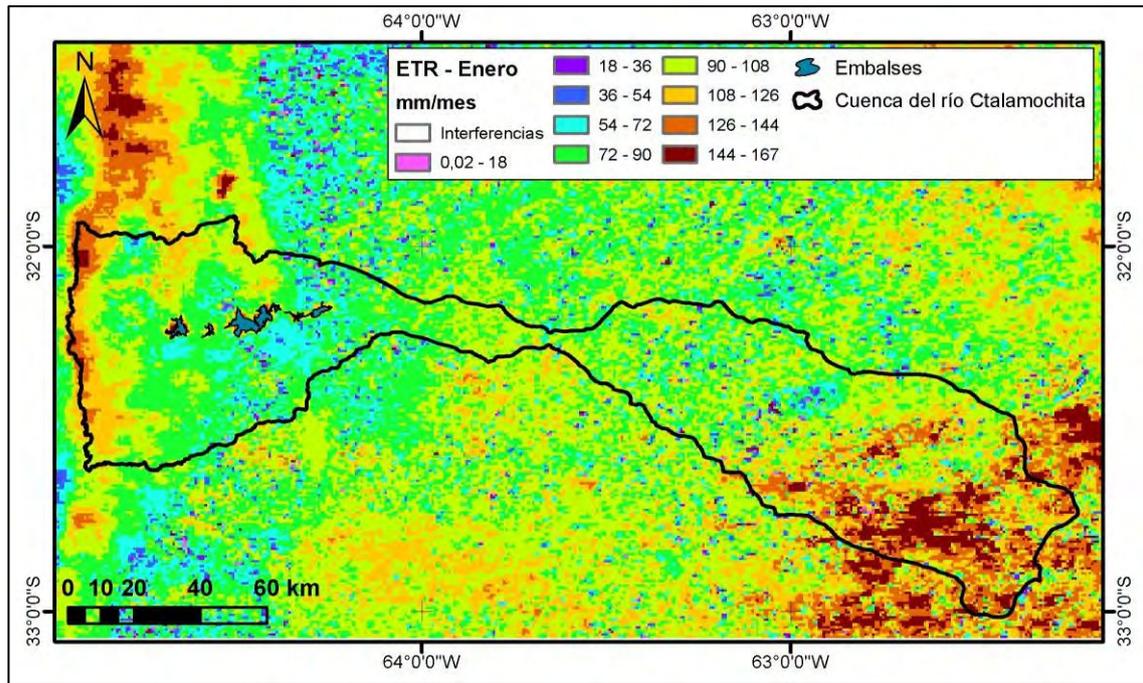


Figura 5.1. AIV. Evapotranspiración real, enero de 2014. Fuente: elaboración propia.

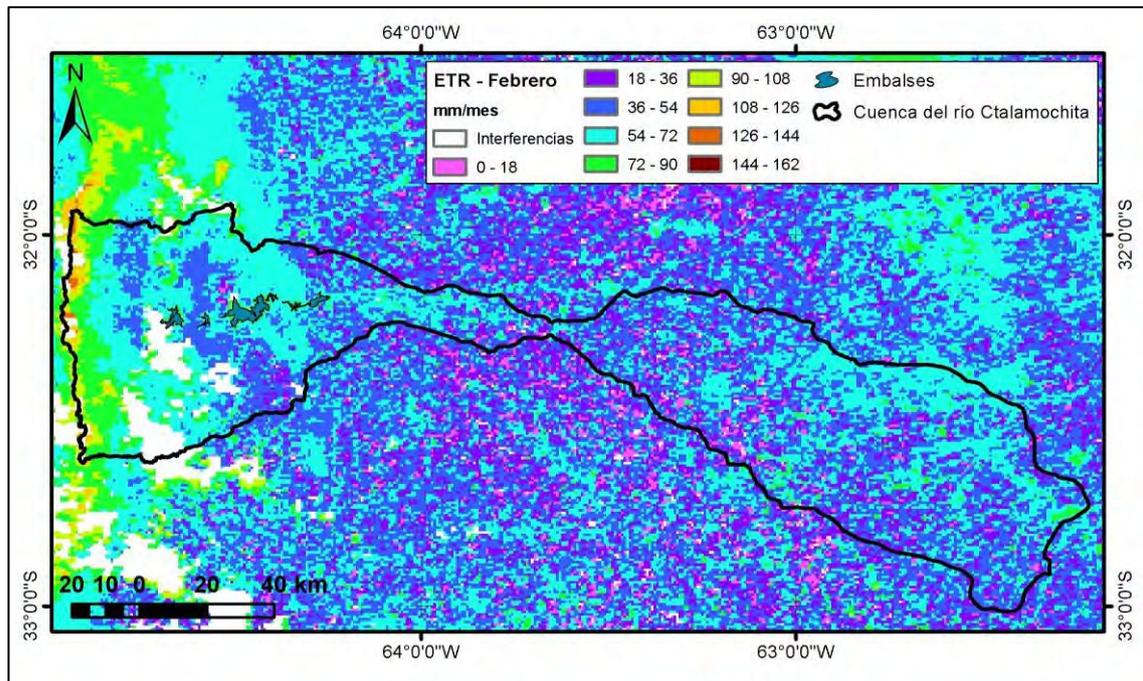


Figura AIV. 5.2. Evapotranspiración real, febrero de 2014. Fuente: elaboración propia.

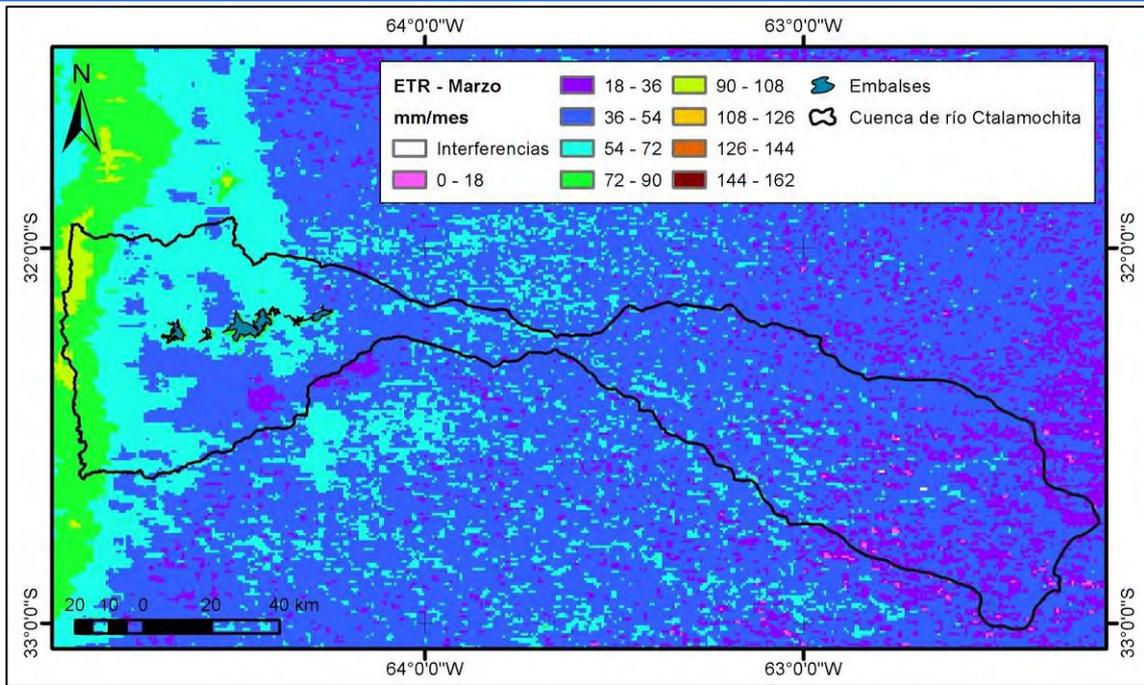


Figura AIV. 5.3. Evapotranspiración real, marzo de 2014. Fuente: elaboración propia.

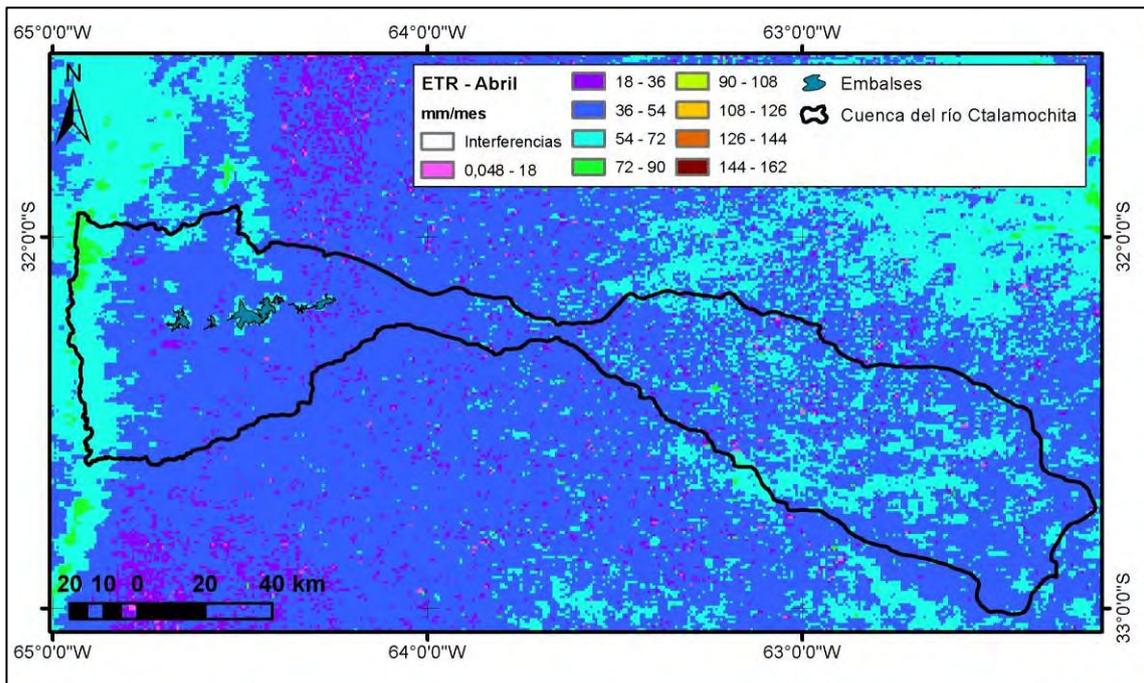


Figura AIV. 5.4. Evapotranspiración real, abril de 2014. Fuente: elaboración propia.

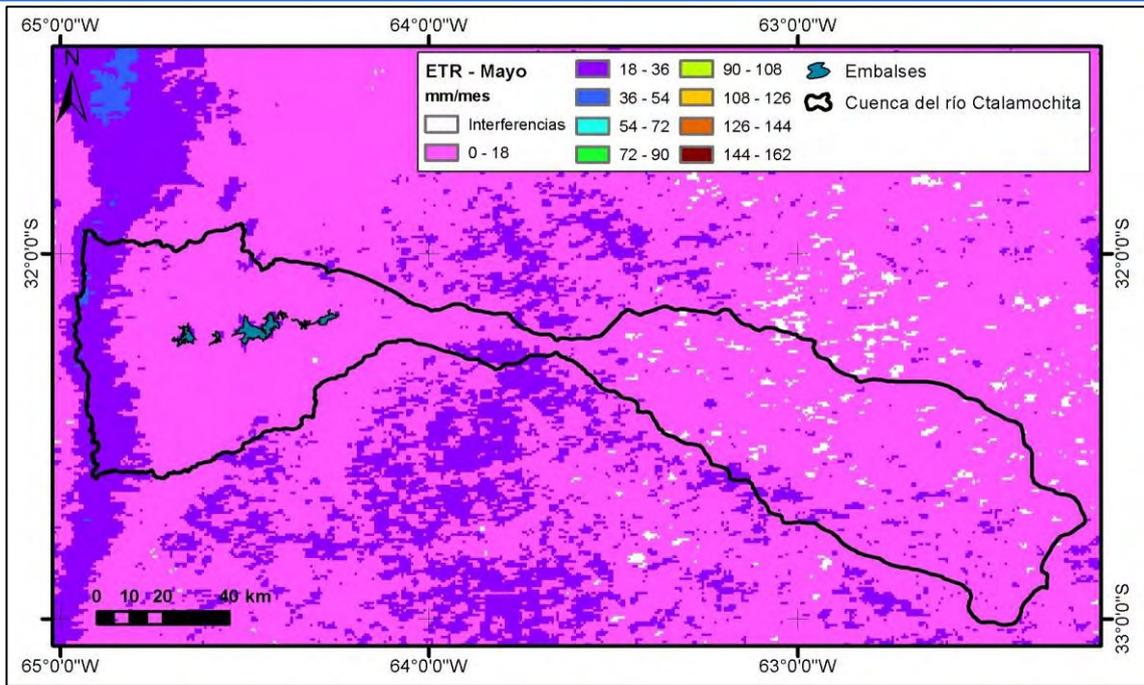


Figura AIV. 5.5. Evapotranspiración real, mayo de 2014. Fuente: elaboración propia.

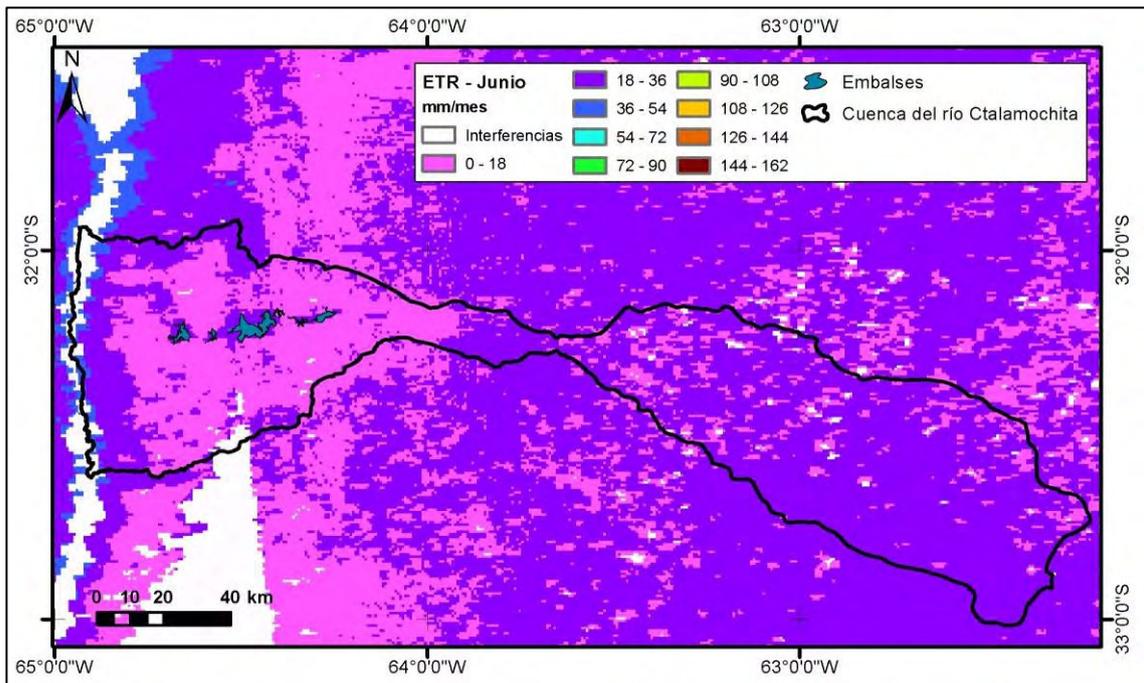


Figura AIV. 5.6. Evapotranspiración real, junio de 2014. Fuente: elaboración propia.

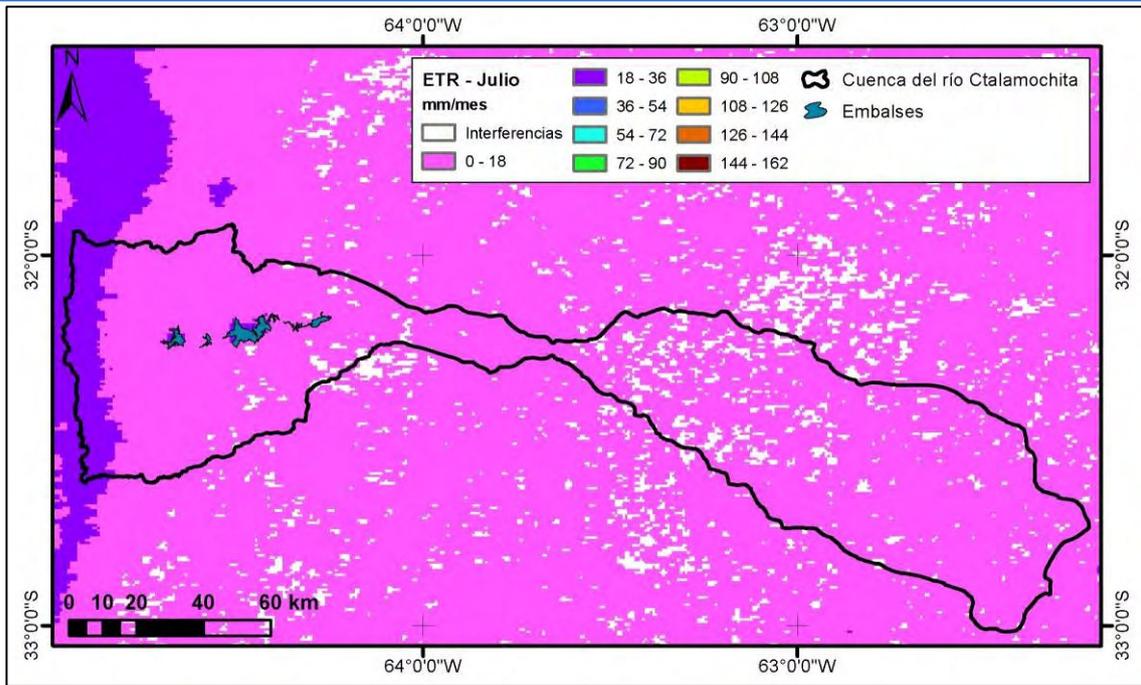


Figura AIV. 5.7. Evapotranspiración real, julio de 2014. Fuente: elaboración propia.

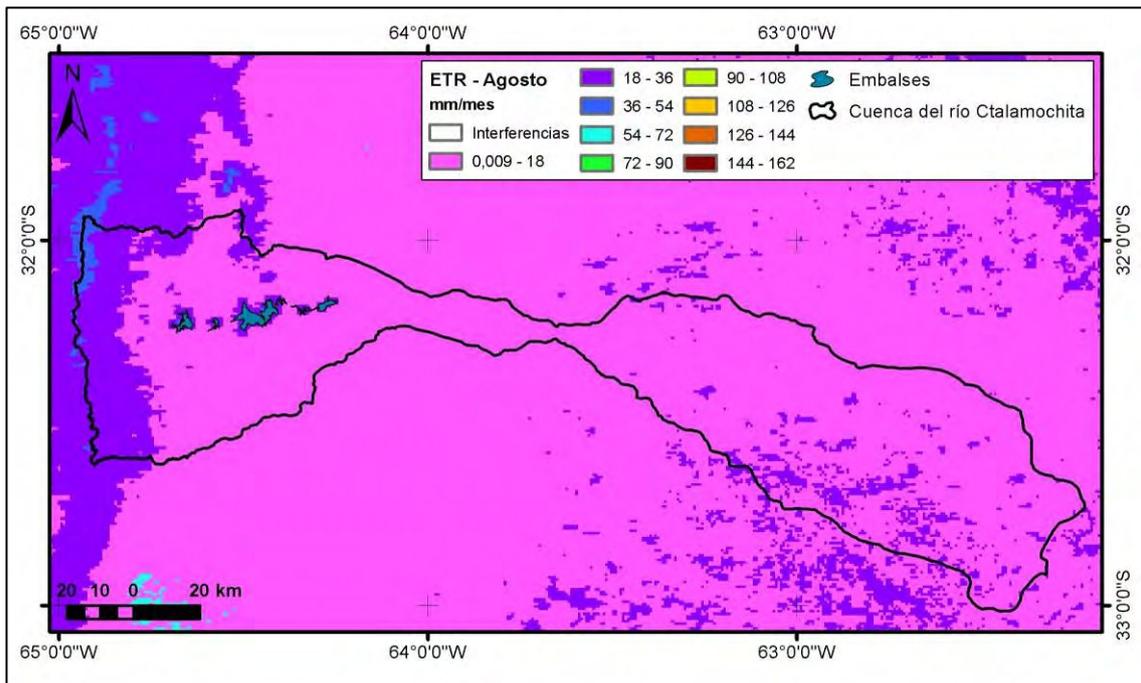


Figura AIV. 5.8. Evapotranspiración real, agosto de 2014. Fuente: elaboración propia.

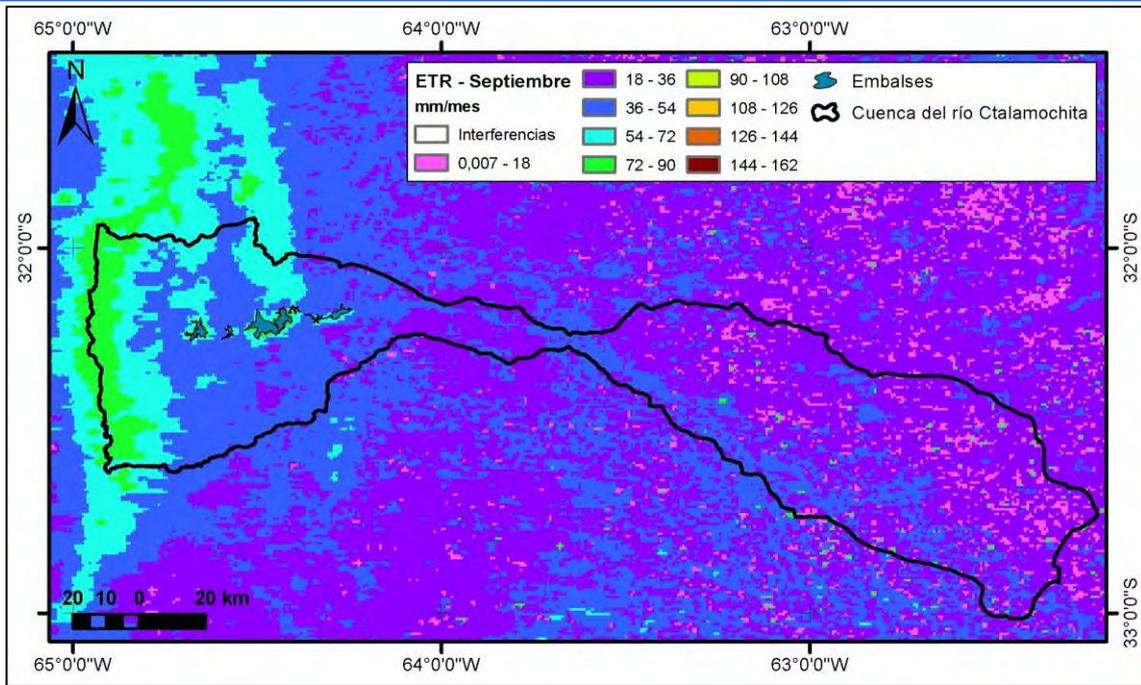


Figura AIV. 5.9. Evapotranspiración real, septiembre de 2014. Fuente: elaboración propia.

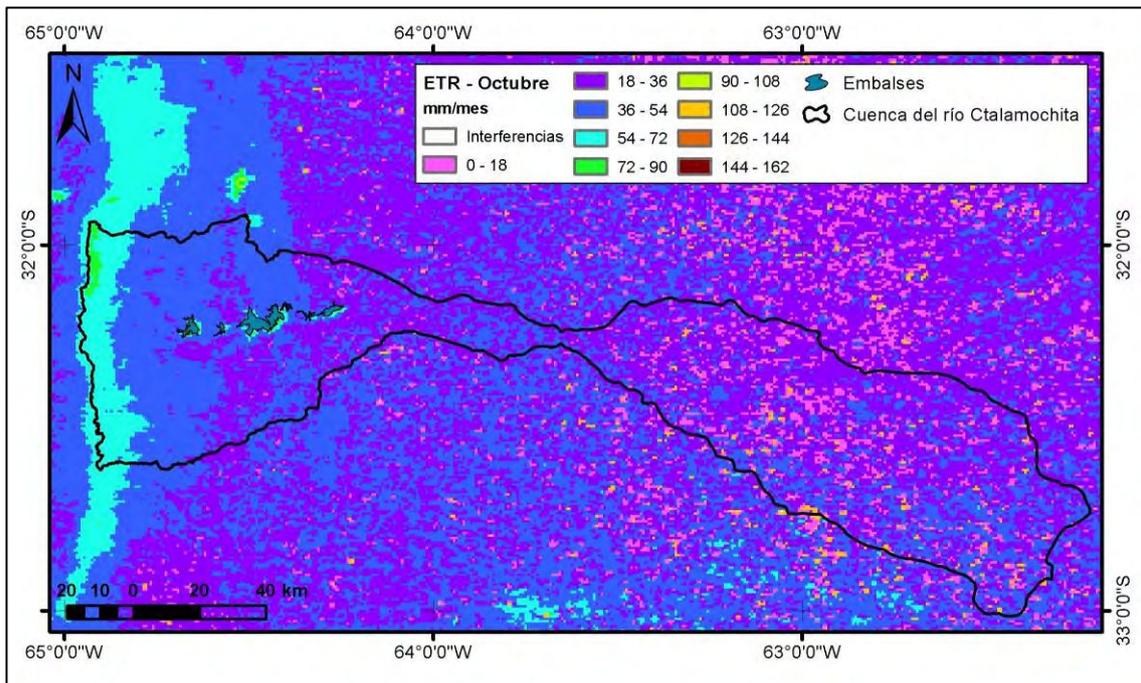


Figura AIV. 5.10. Evapotranspiración real, octubre de 2014. Fuente: elaboración propia.

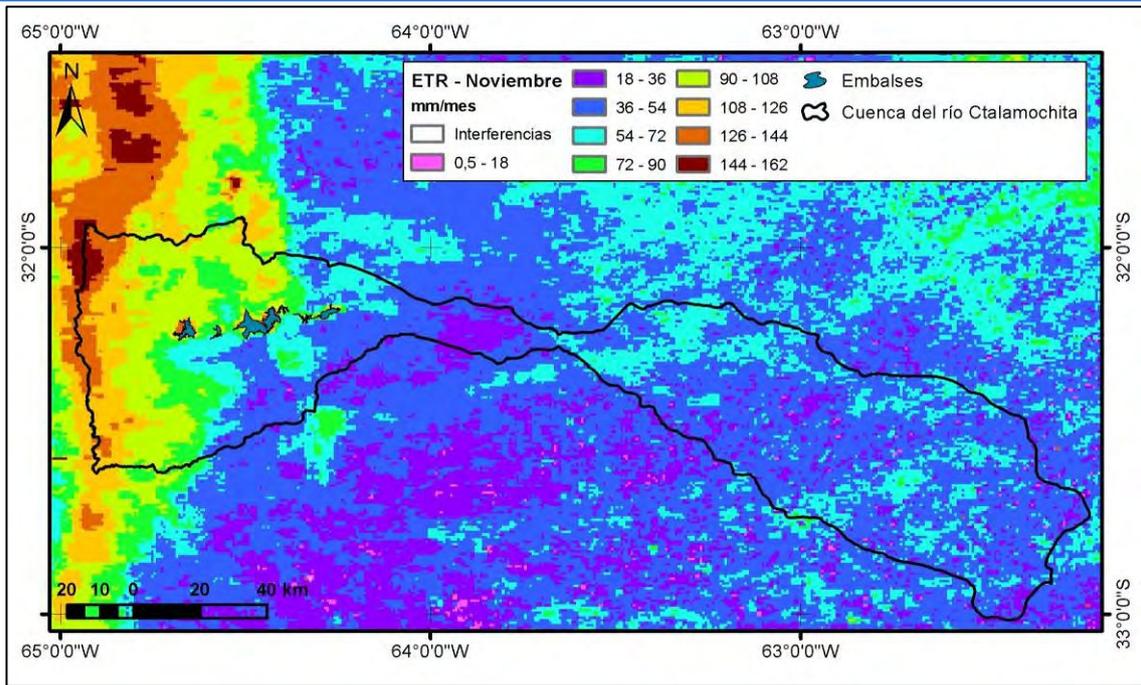


Figura AIV. 5.11. Evapotranspiración real, noviembre de 2014. Fuente: elaboración propia.

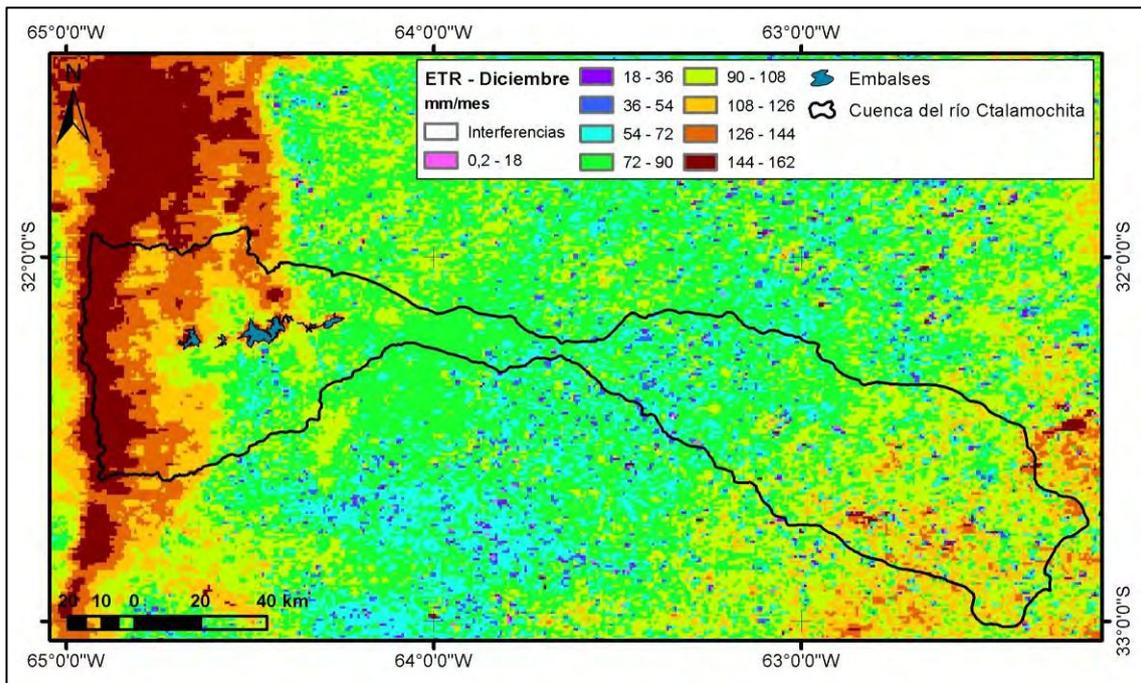


Figura AIV. 5.12. Evapotranspiración real, diciembre de 2014. Fuente: elaboración propia.

6 Relación entre precipitación y evapotranspiración real

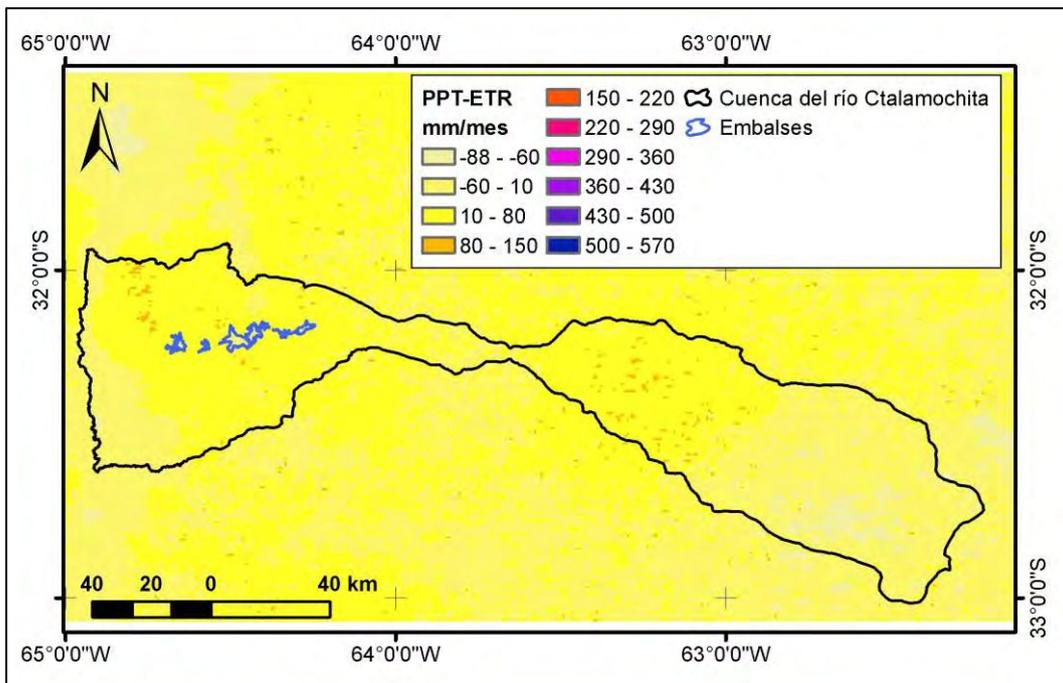


Figura AIV. 6.1. Precipitación menos ET real, enero de 2014. Fuente: elaboración propia.

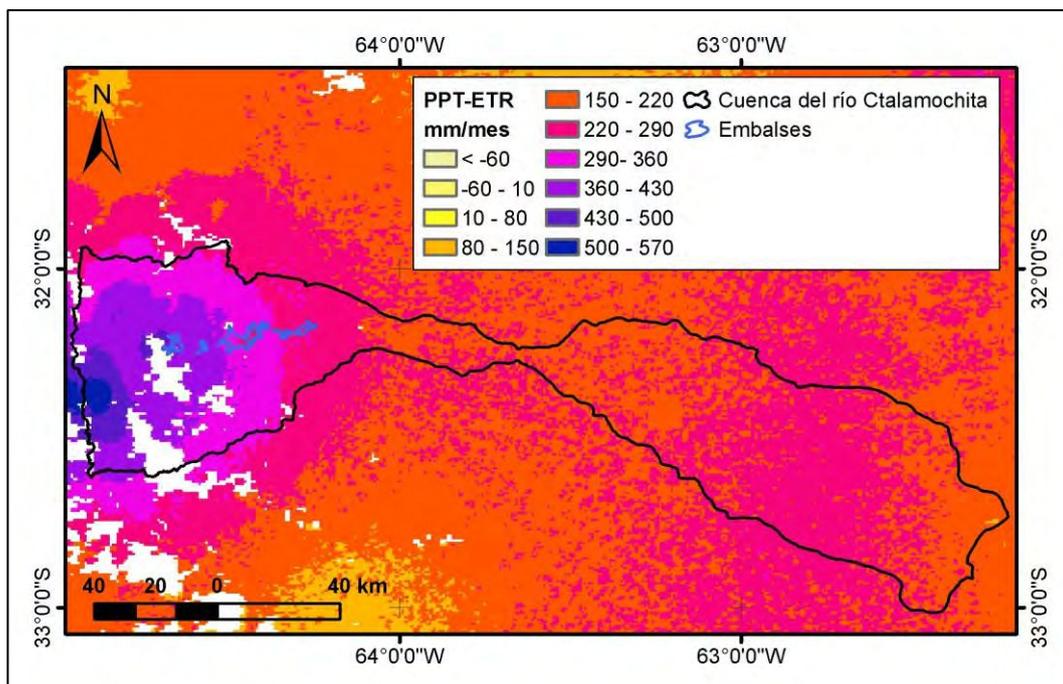


Figura AIV. 6.2. Precipitación menos ET real, febrero de 2014. Fuente: elaboración propia.

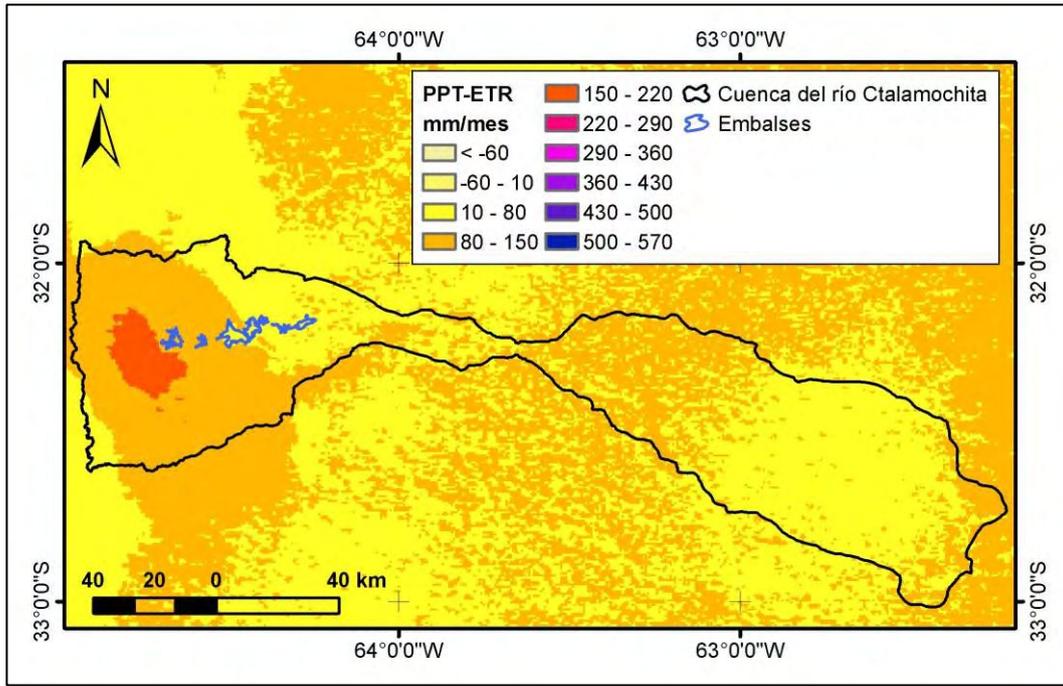


Figura AIV. 6.3. Precipitación menos ET real, marzo de 2014. Fuente: elaboración propia.

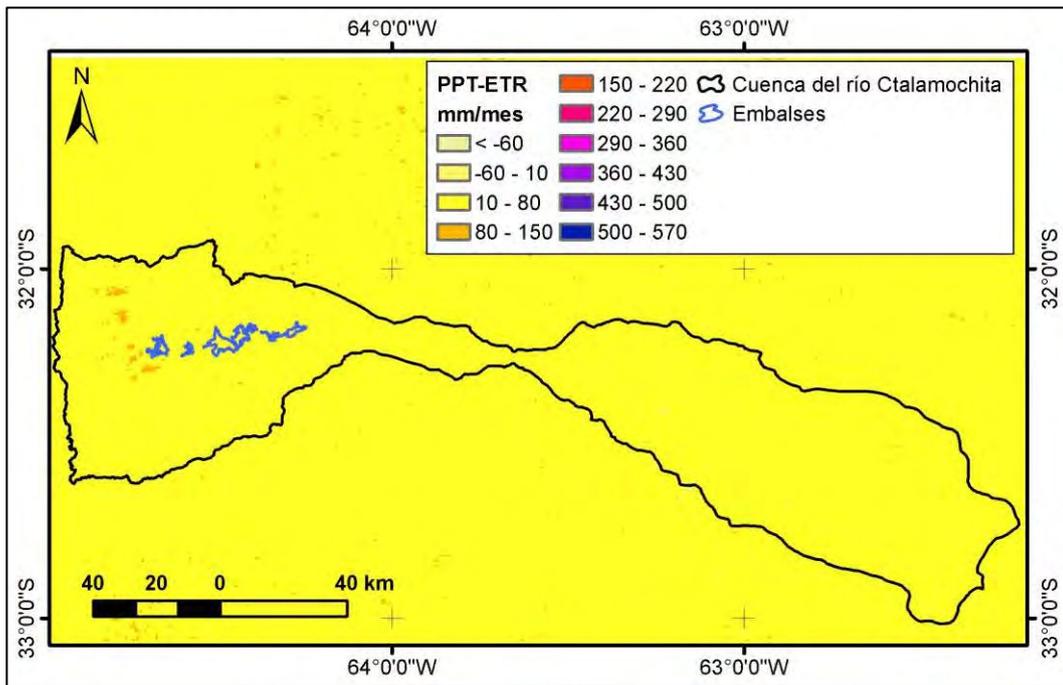


Figura AIV. 6.4. Precipitación menos ET real, abril de 2014. Fuente: elaboración propia.

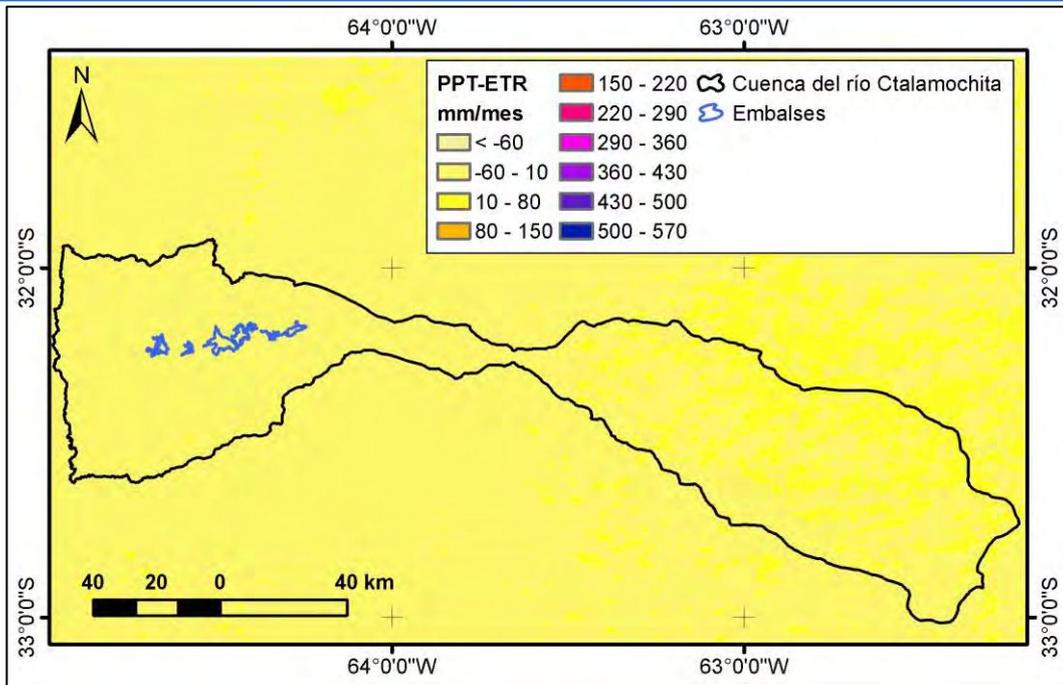


Figura AIV. 6.5. Precipitación menos ET real, mayo de 2014. Fuente: elaboración propia.

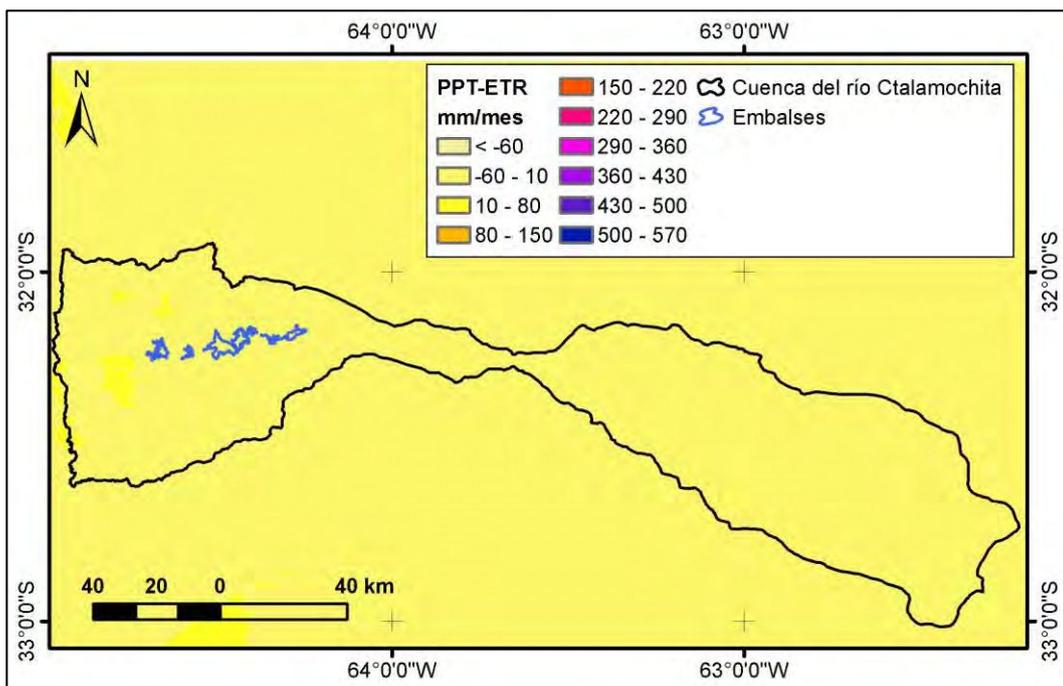


Figura AIV. 6.6. Precipitación menos ET real, junio de 2014. Fuente: elaboración propia.

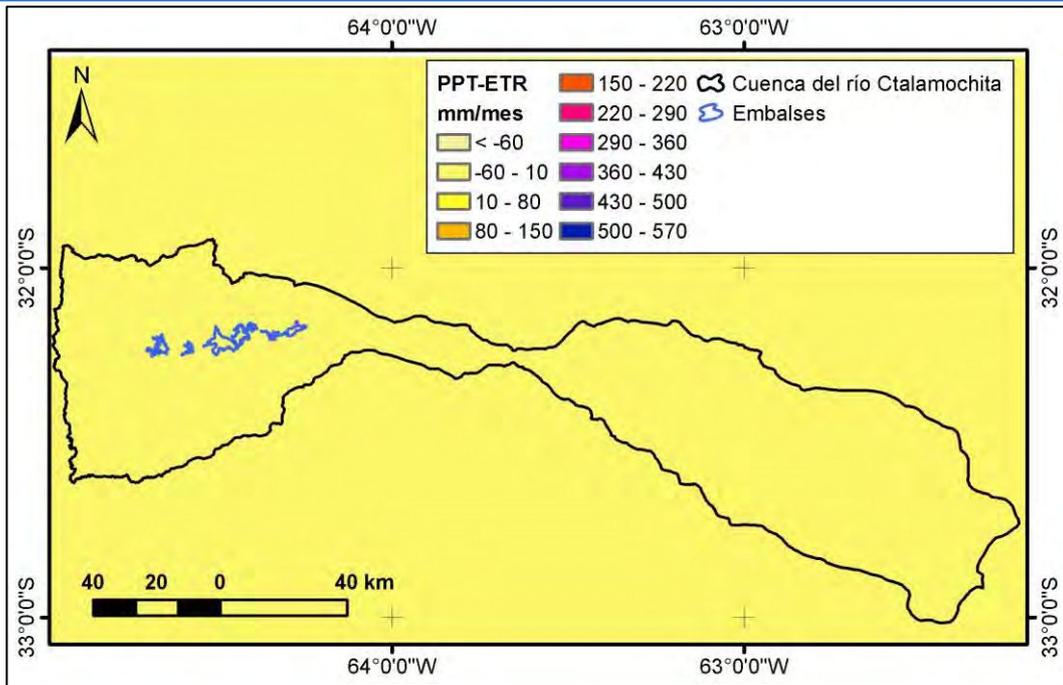


Figura AIV. 6.7. Precipitación menos ET real, julio de 2014. Fuente: elaboración propia.

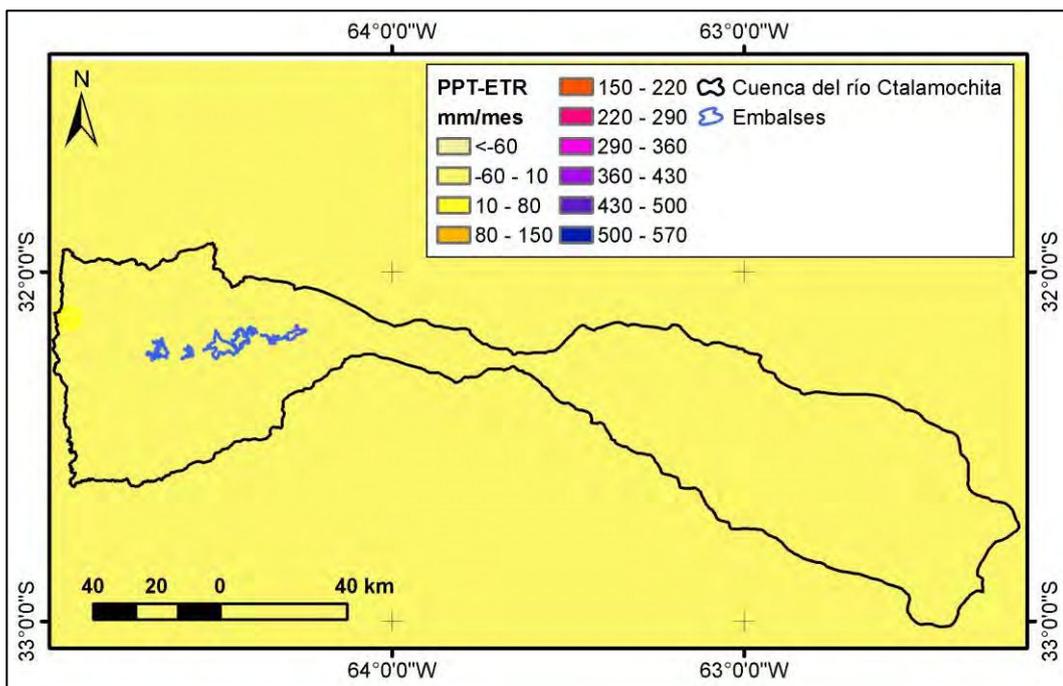


Figura AIV. 6.8. Precipitación menos ET real, agosto de 2014. Fuente: elaboración propia.

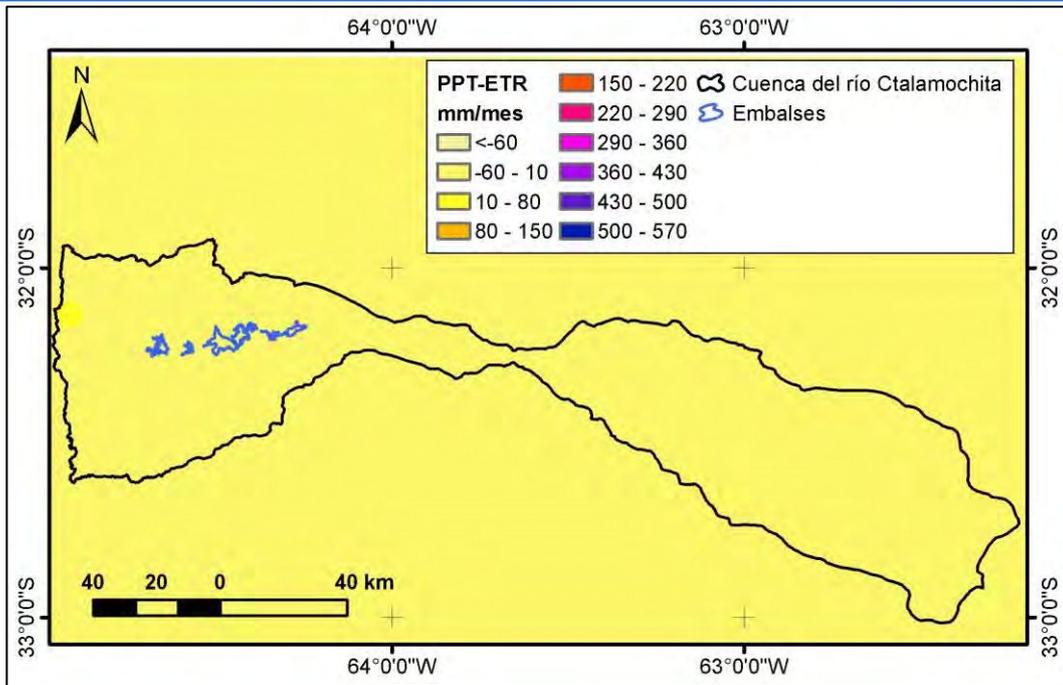


Figura AIV. 6.9. Precipitación menos ET real, septiembre de 2014. Fuente: elaboración propia.

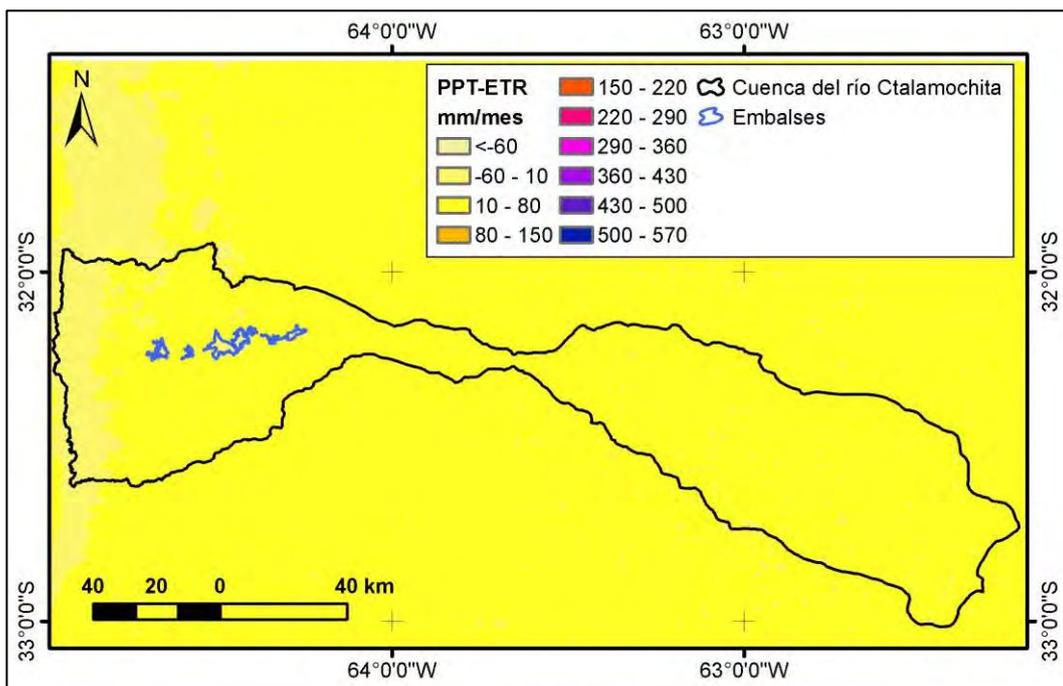


Figura AIV. 6.10. Precipitación menos ET real, octubre de 2014. Fuente: elaboración propia.

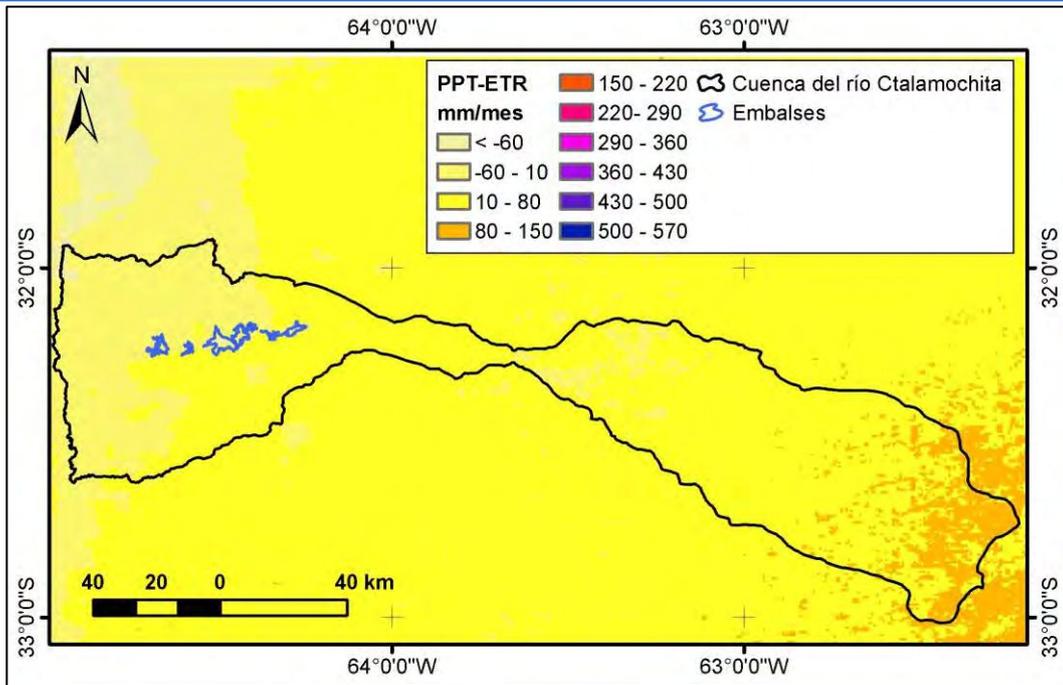


Figura AIV. 6.11. Precipitación menos ET real, noviembre de 2014. Fuente: elaboración propia.

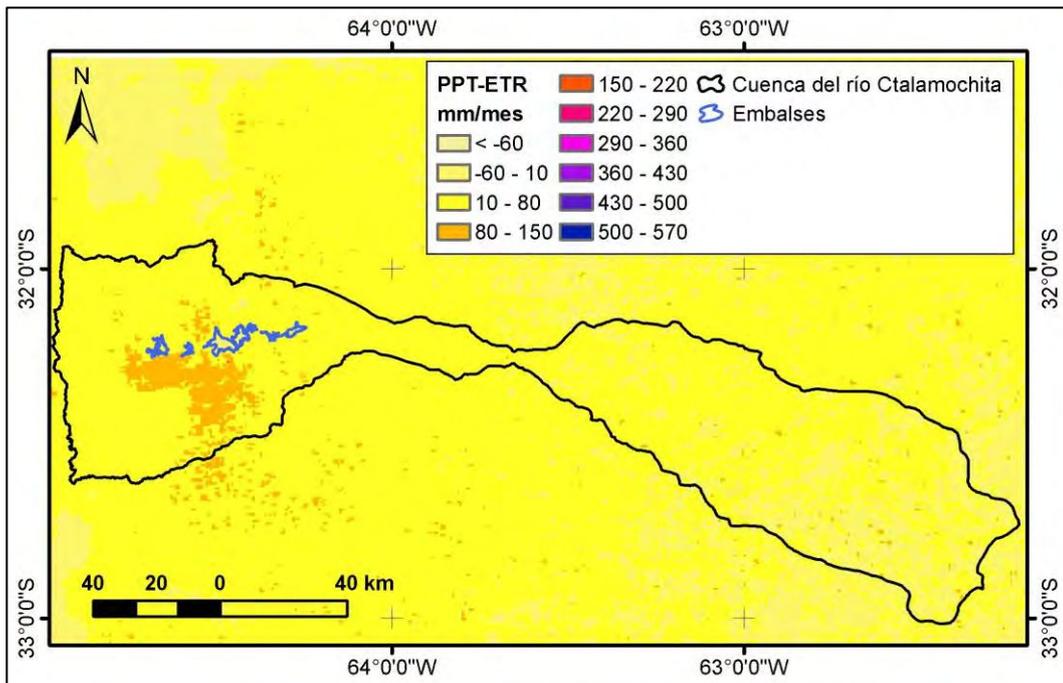


Figura AIV. 6.12. Precipitación menos ET real, diciembre de 2014. Fuente: elaboración propia.

ANEXO V: MÉTODO DEL NÚMERO DE CURVA

Contenido

1	Precipitación mensual	- 216 -
2	Escoventía mensual – Q.....	- 222 -
3	Infiltración Mensual - F.....	- 228 -

1 Precipitación mensual

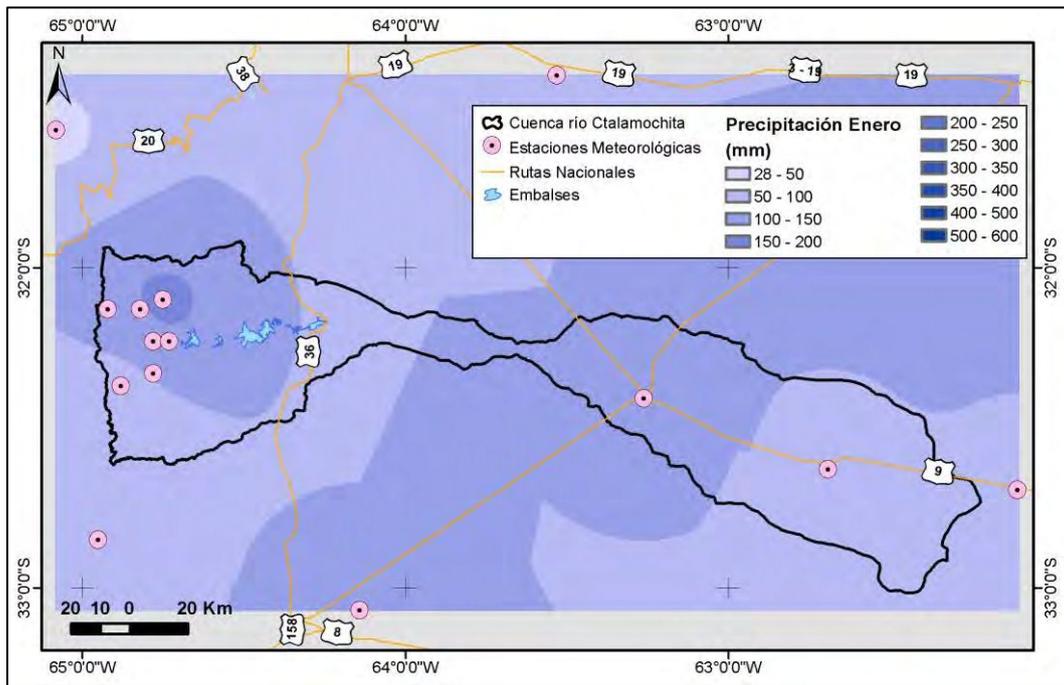


Figura AV. 1.1. Distribución de la precipitación para el mes de enero. Fuente: elaboración propia.

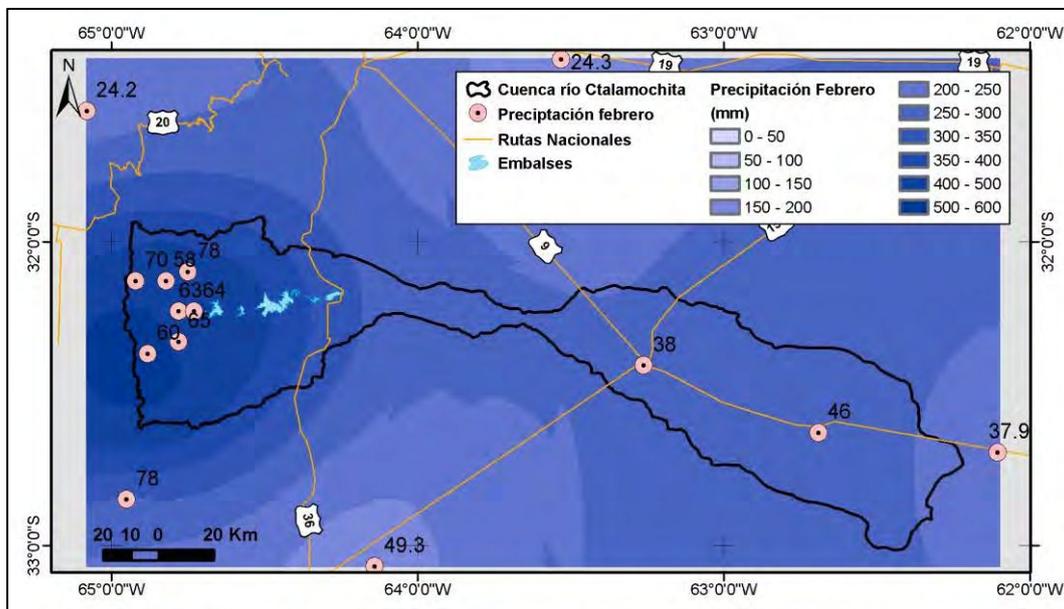


Figura AV. 1.2. Distribución de precipitación para el mes de febrero. Fuente: elaboración propia.

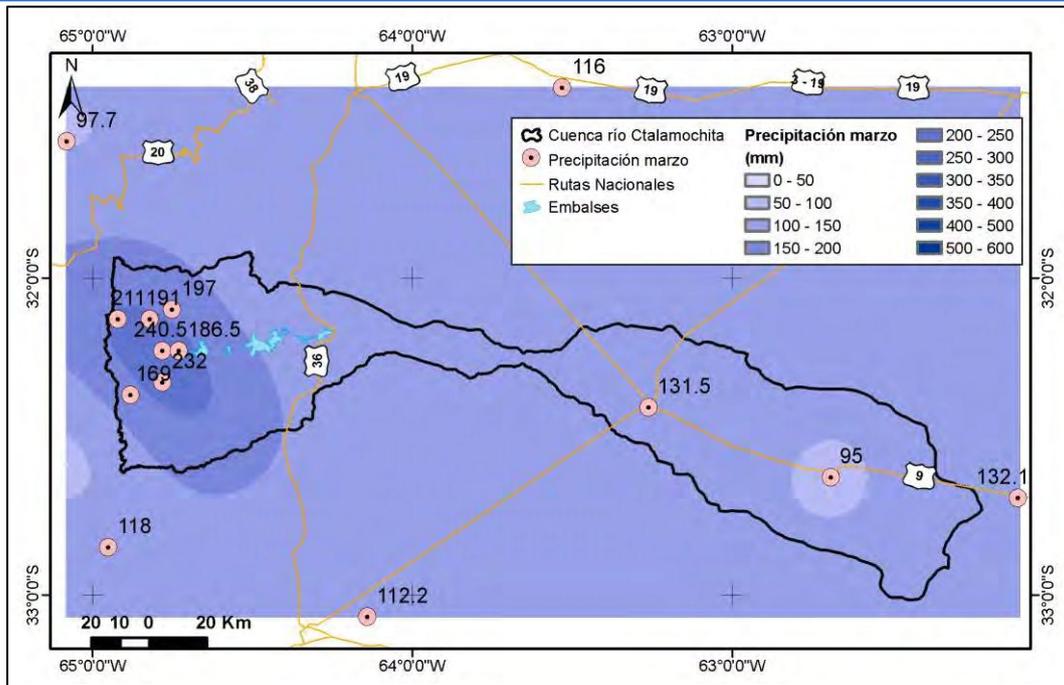


Figura AV. 1.3. Distribución de precipitación para el mes de marzo. Fuente: elaboración propia.

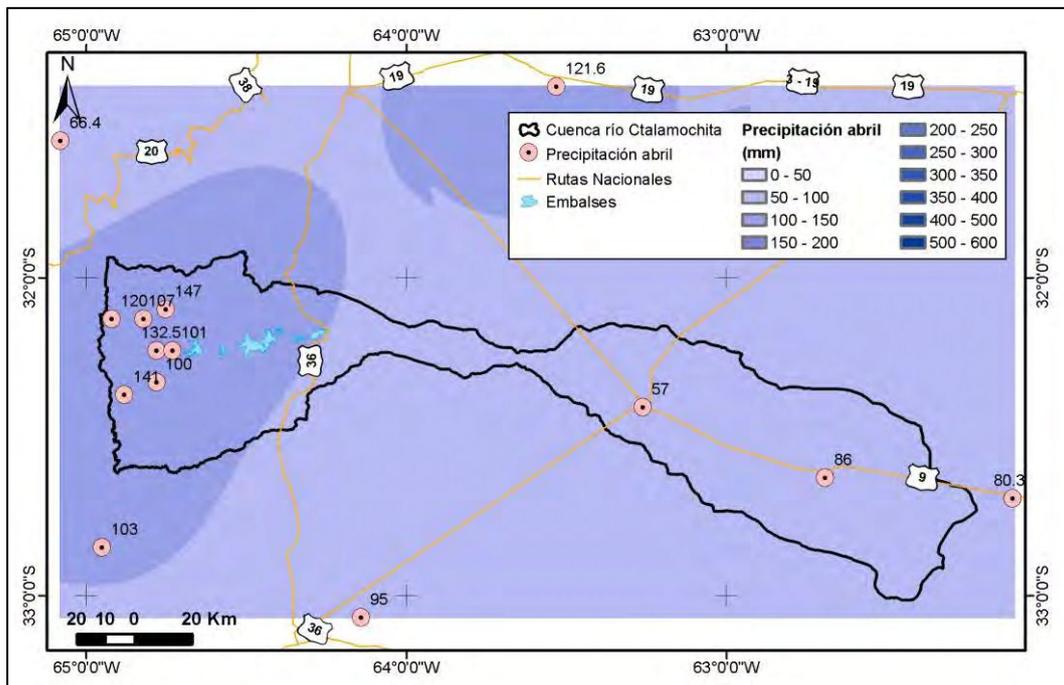


Figura AV. 1.4. Distribución de precipitación para el mes de abril. Fuente: elaboración propia.

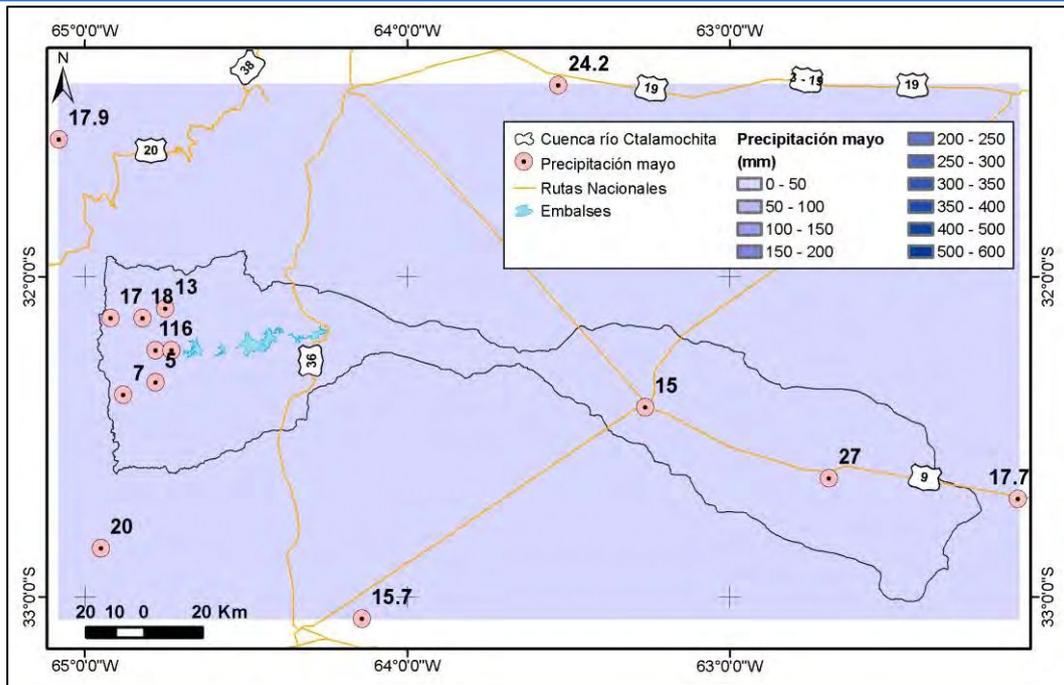


Figura AV. 1.5. Distribución de precipitación para el mes de mayo. Fuente: elaboración propia.

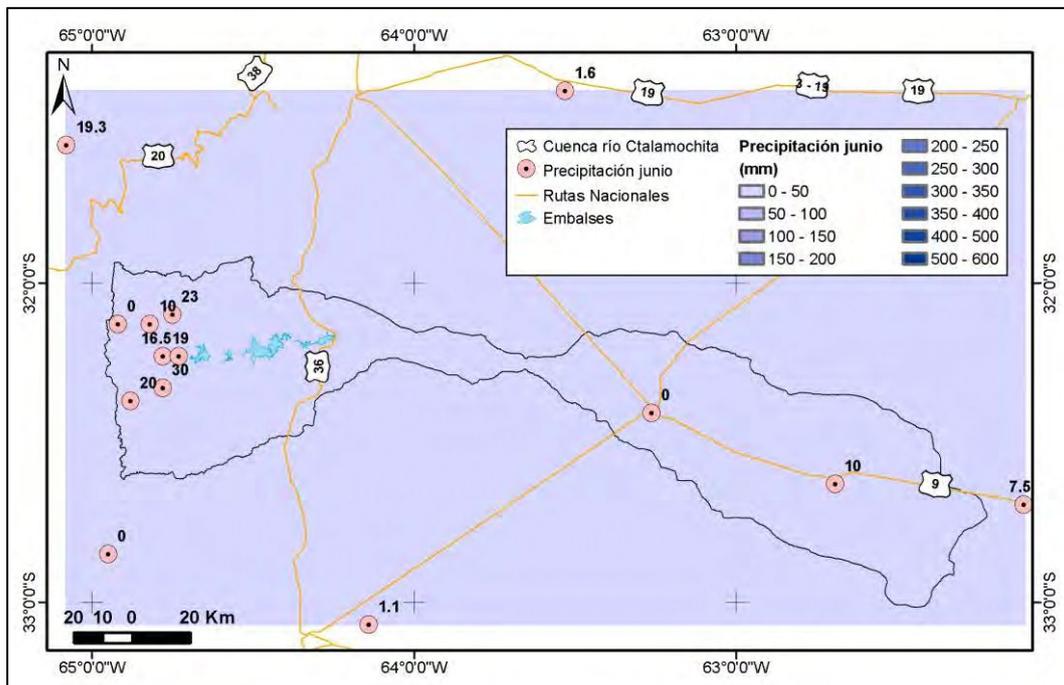


Figura AV. 1.6. Distribución de precipitación para el mes de junio. Fuente: elaboración propia.

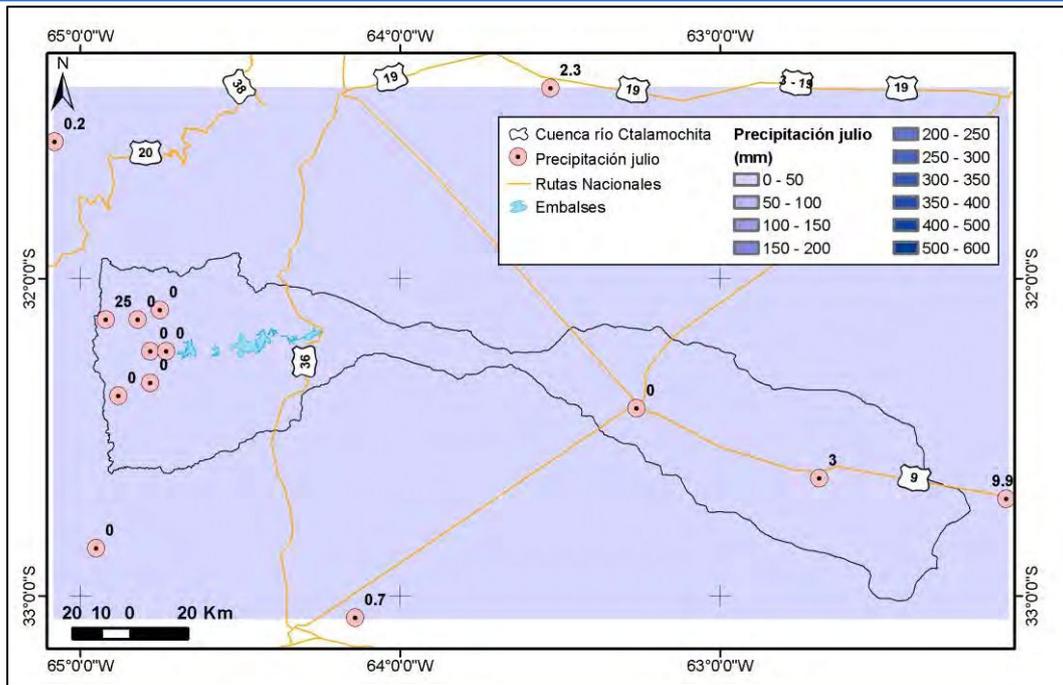


Figura AV. 1.7. Distribución de precipitación para el mes de julio. Fuente: elaboración propia.

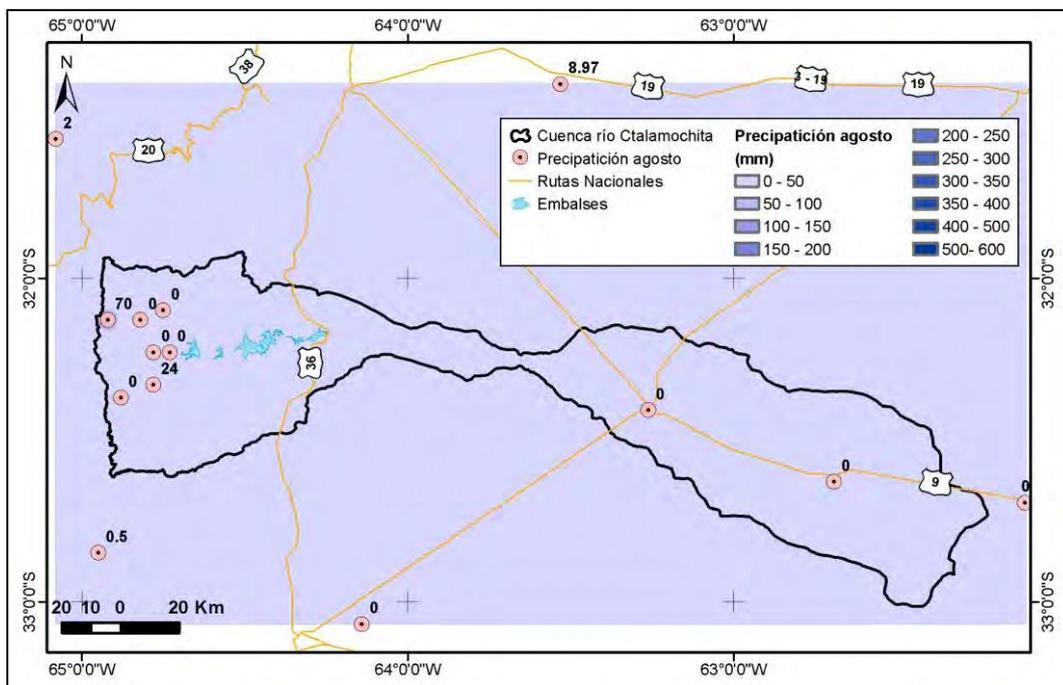


Figura AV. 1.8. Distribución de precipitación para el mes de agosto. Fuente: elaboración propia.

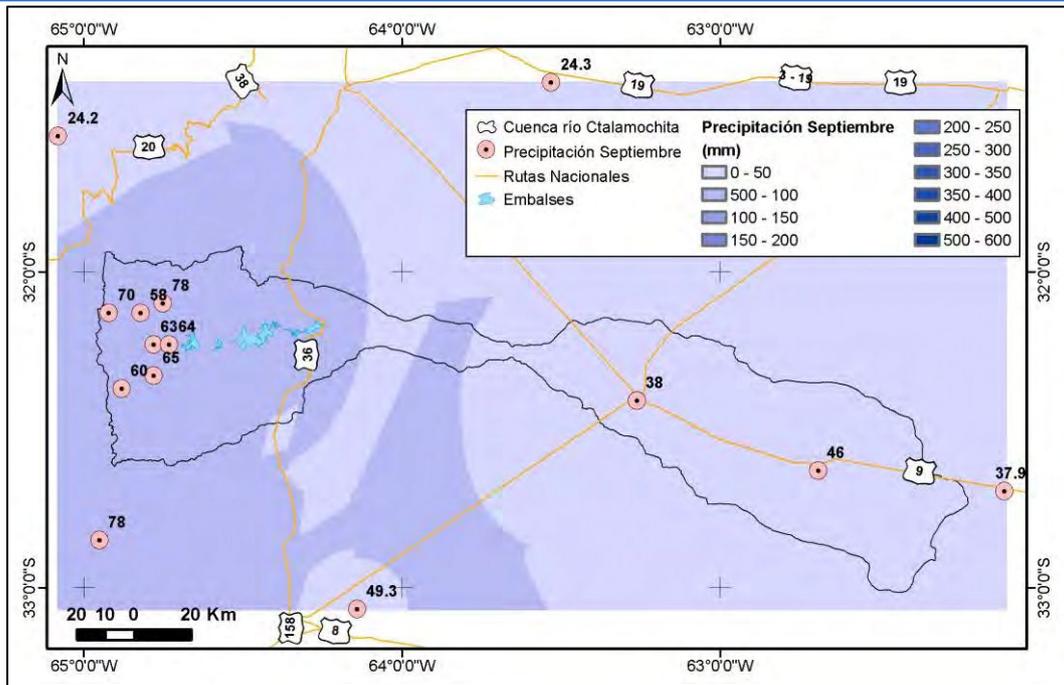


Figura AV. 1.9. Distribución de precipitación para el mes de septiembre. Fuente: elaboración propia.

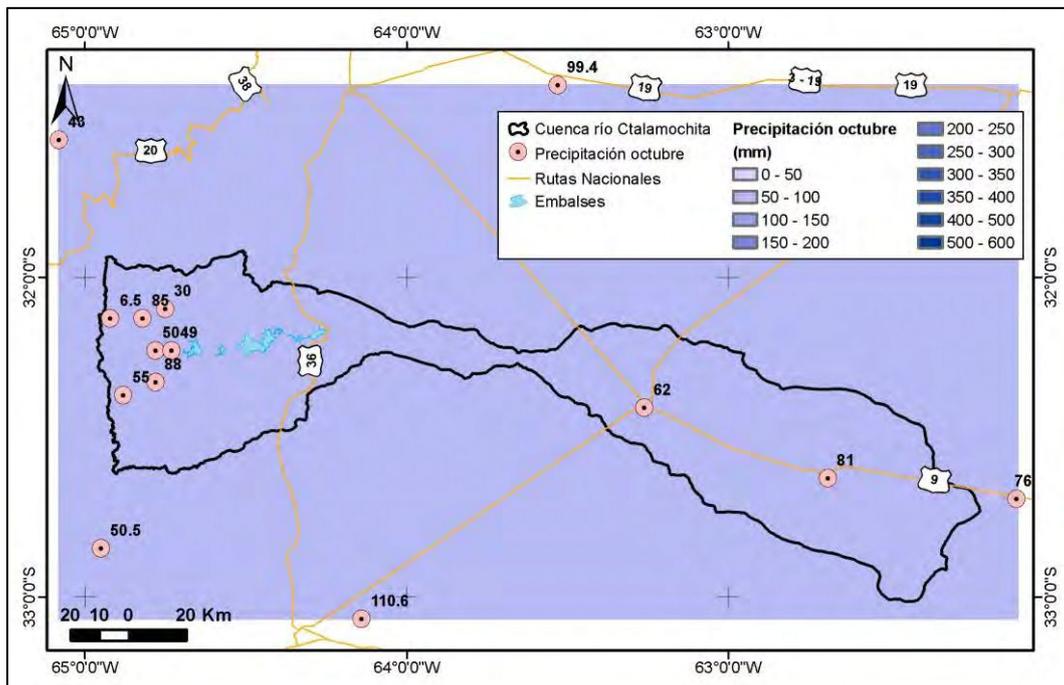


Figura AV. 1.10. Distribución de precipitación para el mes de octubre. Fuente: elaboración propia.

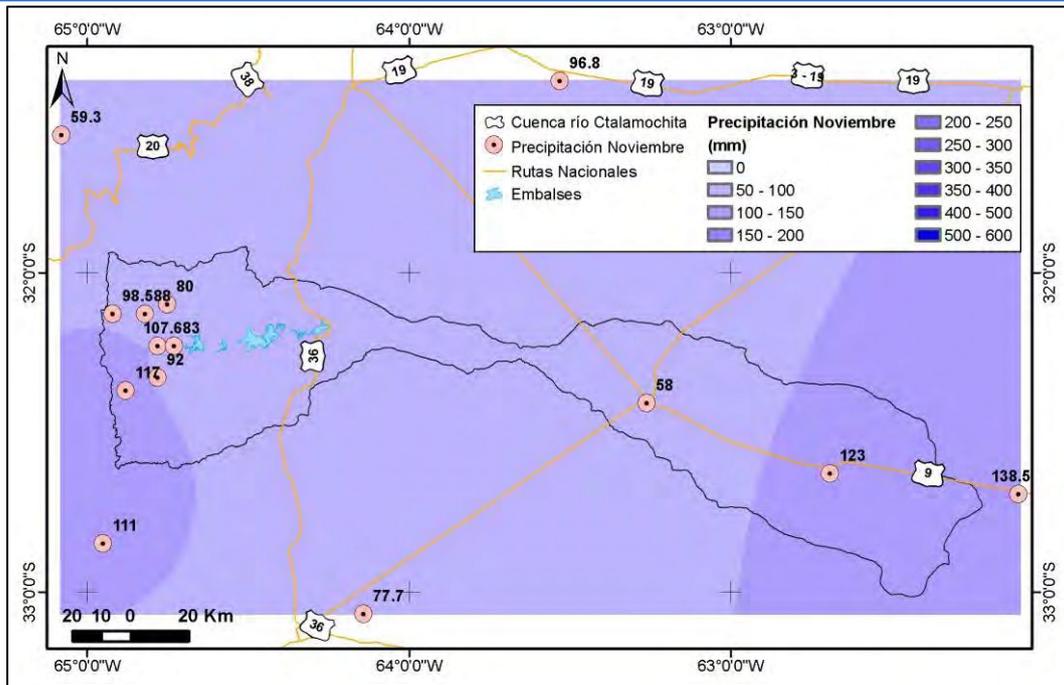


Figura AV. 1.11. Distribución de precipitación para el mes de noviembre. Fuente: elaboración propia.

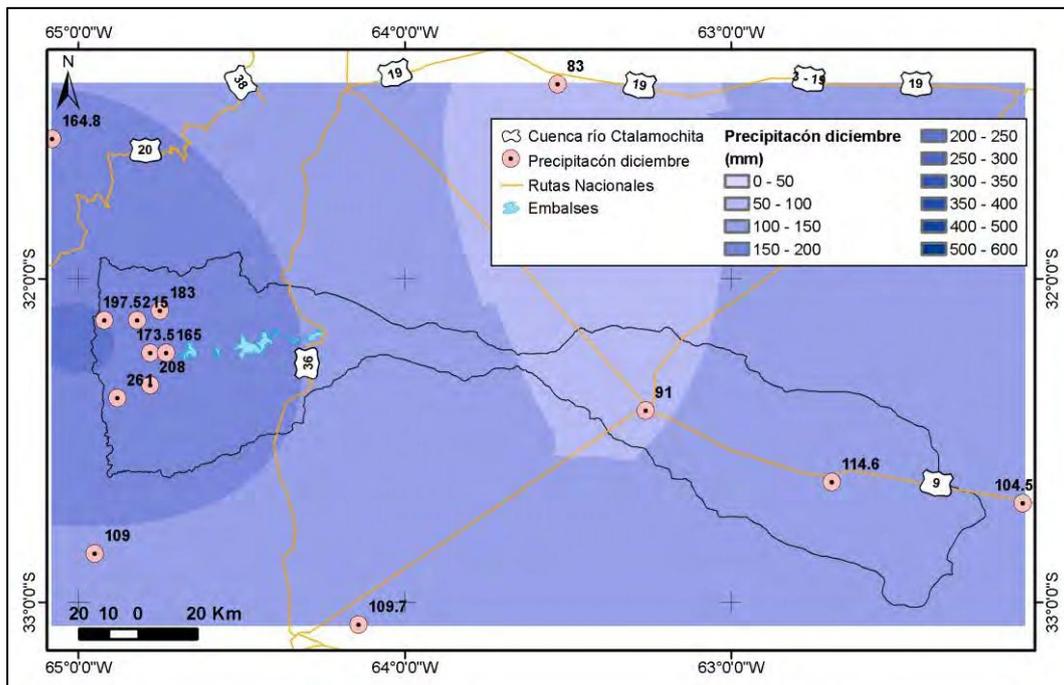


Figura AV. 1.12 Distribución de precipitación para el mes de diciembre. Fuente: elaboración propia.

2 Escorrentía mensual - Q

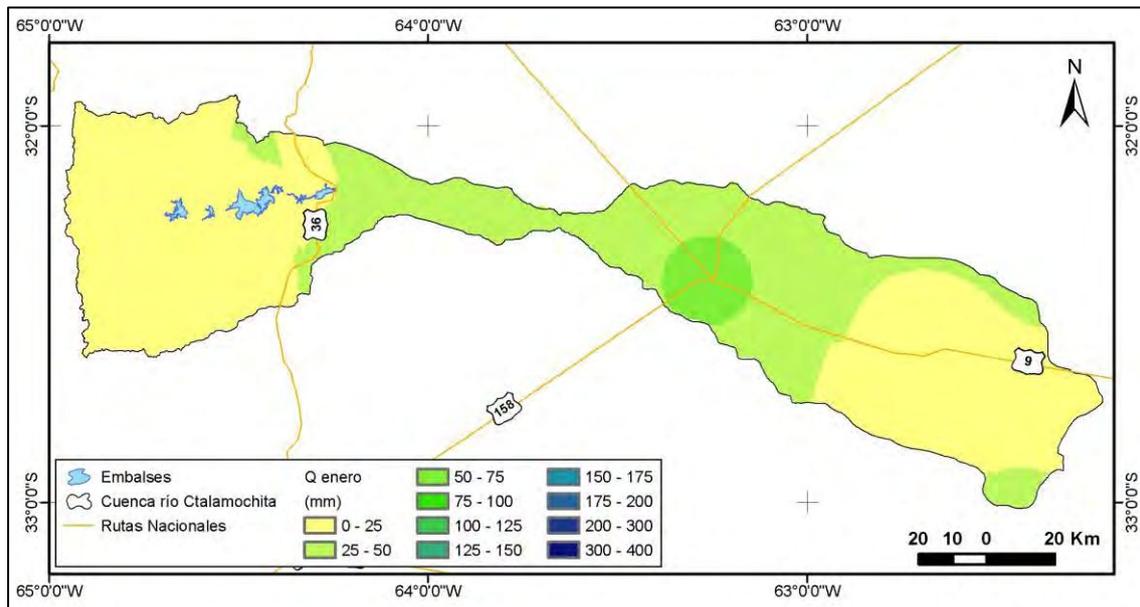


Figura AV. 2.1 Distribución de la escorrentía para el mes de enero. Fuente: elaboración propia.

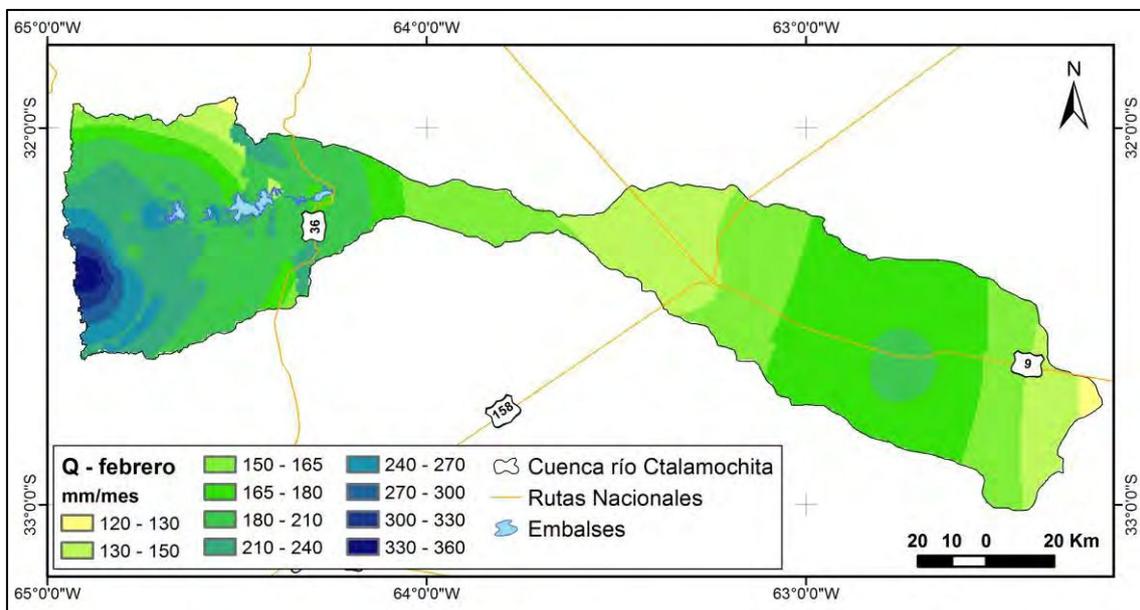


Figura AV. 2.2 Distribución de la escorrentía para el mes de febrero. Fuente: elaboración propia.

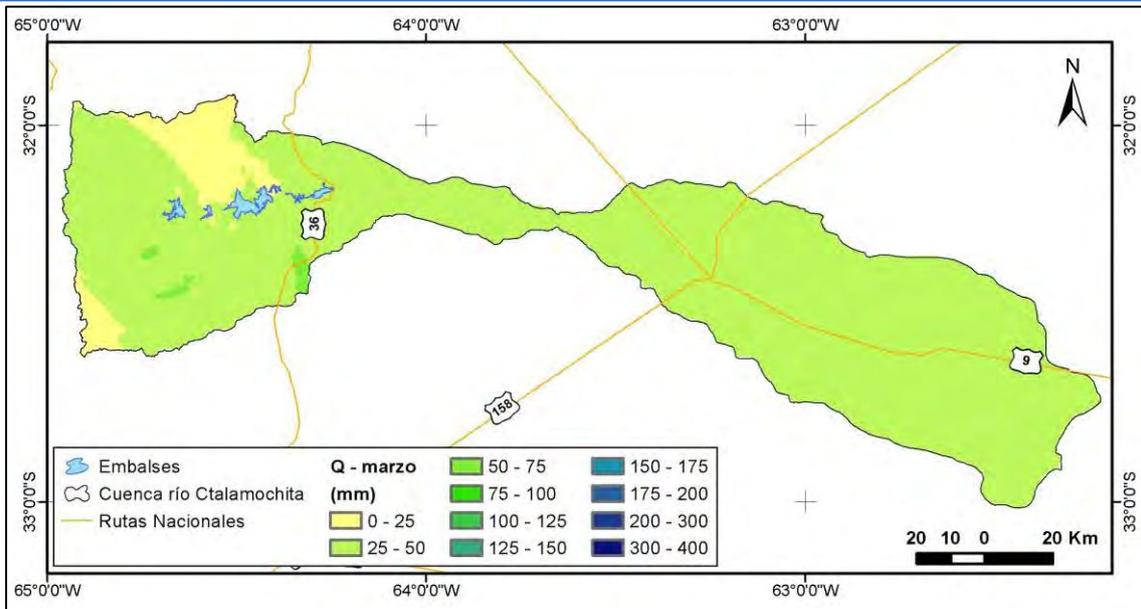


Figura AV. 2.3 Distribución de la escorrentía para el mes de marzo. Fuente: elaboración propia.

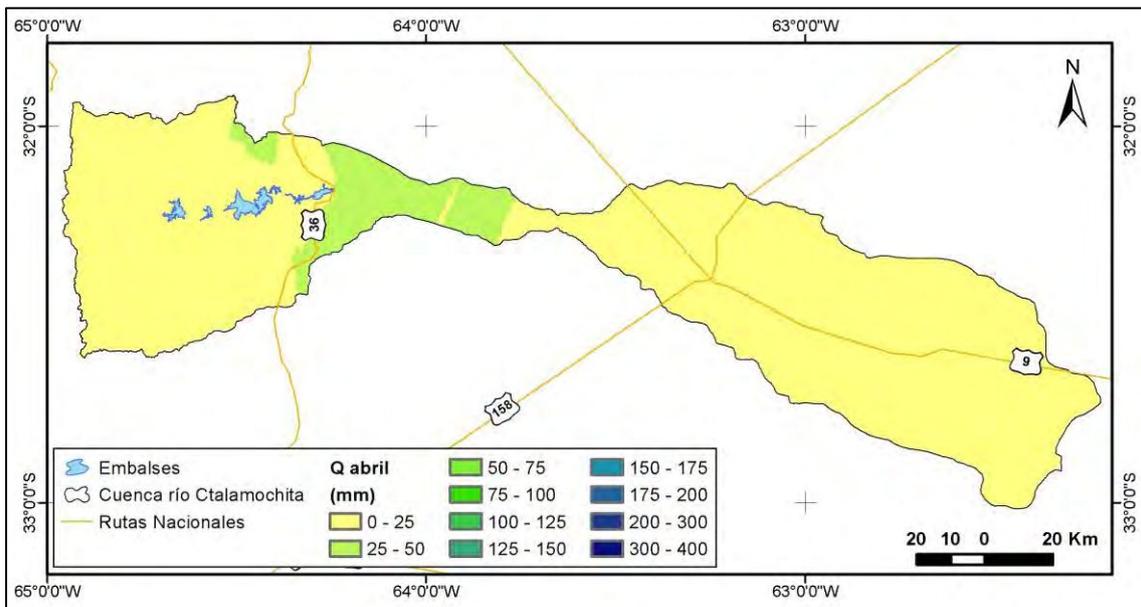


Figura AV. 2.4 Distribución de la escorrentía para el mes de abril. Fuente: elaboración propia.

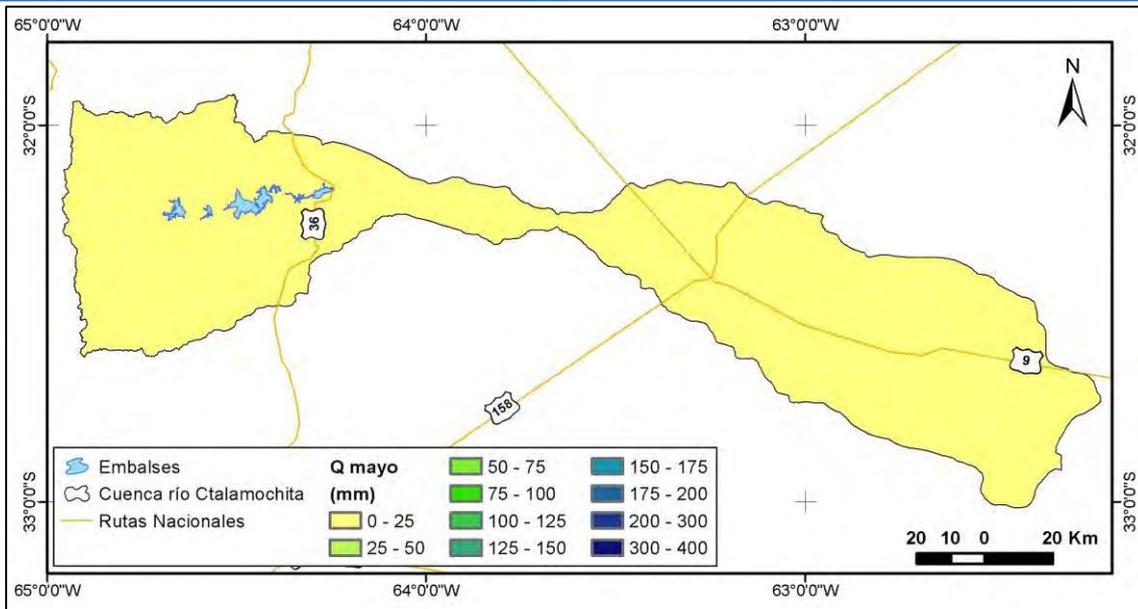


Figura AV. 2.5 Distribución de la escorrentía para el mes de mayo. Fuente: elaboración propia.

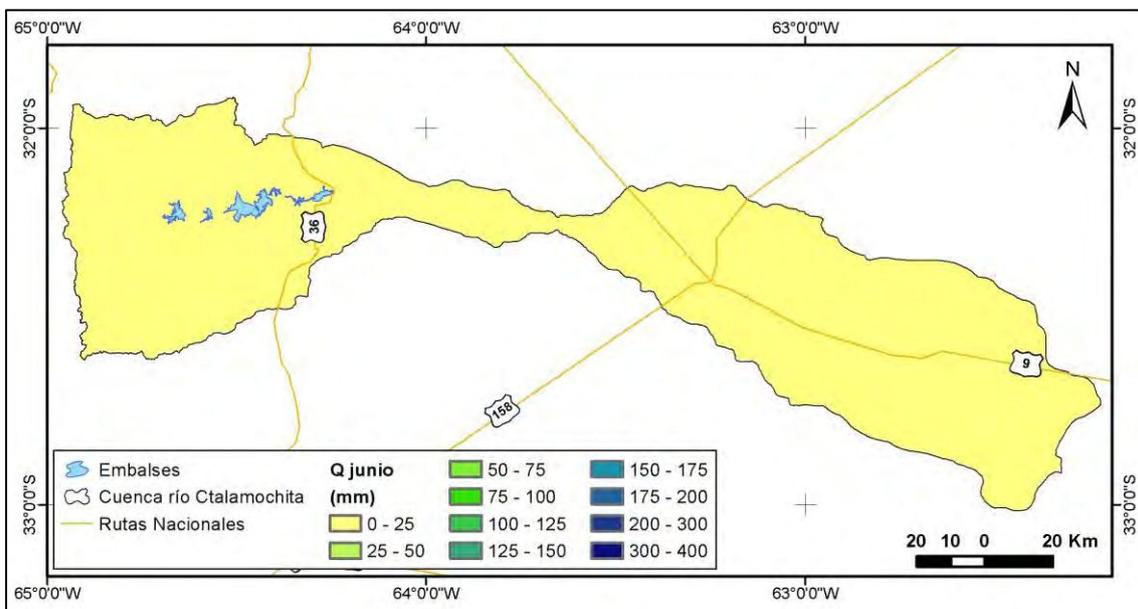


Figura AV. 2.6 Distribución de la escorrentía para el mes de junio. Fuente: elaboración propia.

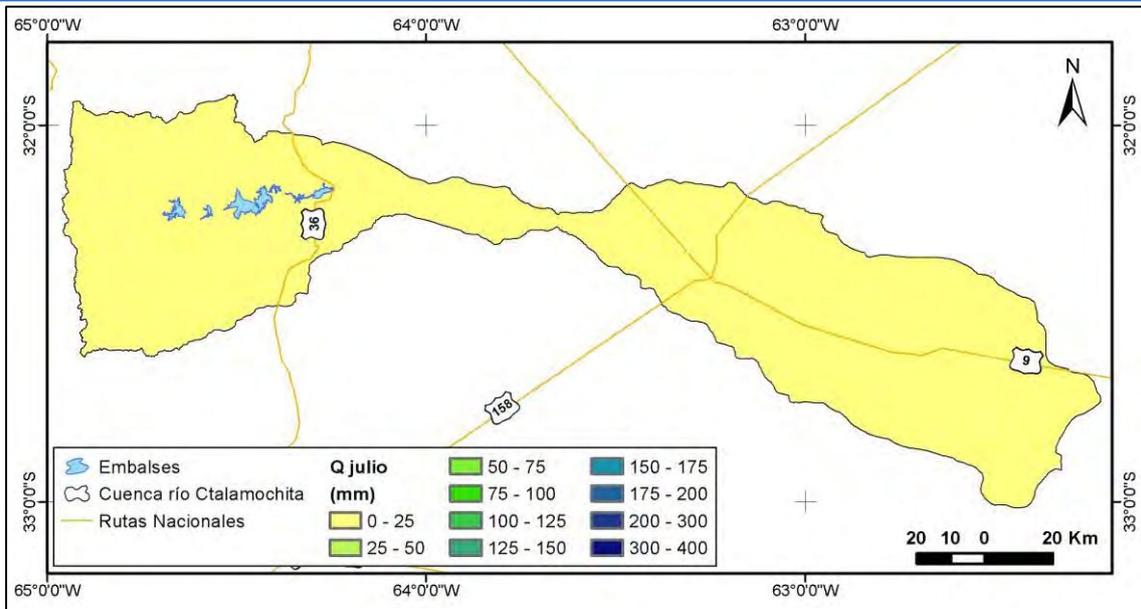


Figura AV. 2.7 Distribución de la escorrentía para el mes de julio. Fuente: elaboración propia.

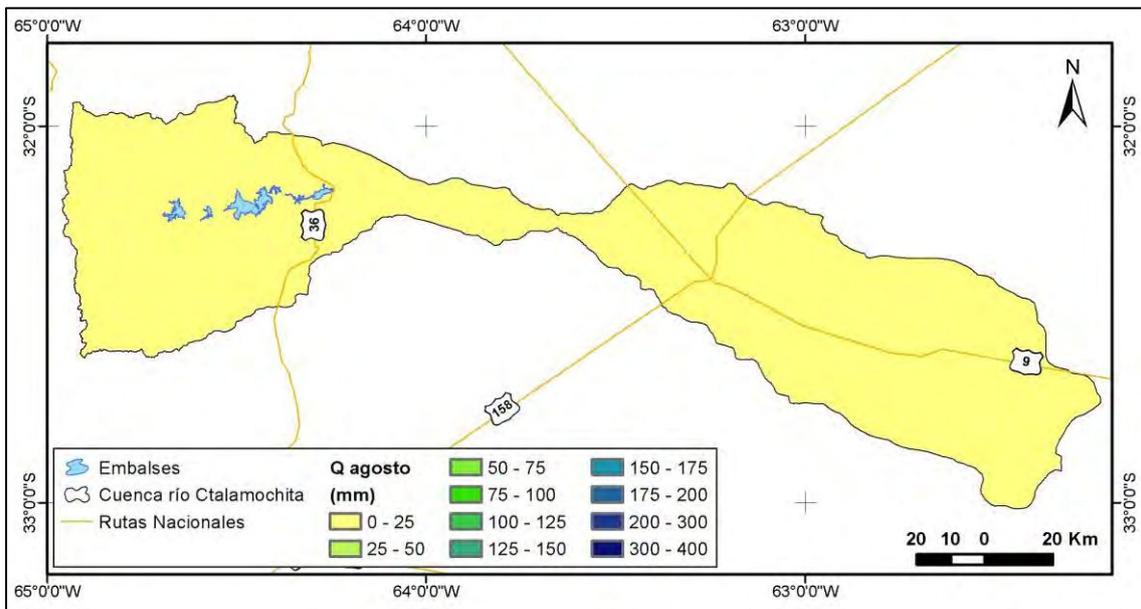


Figura AV. 2.8 Distribución de la escorrentía para el mes de agosto. Fuente: elaboración propia.

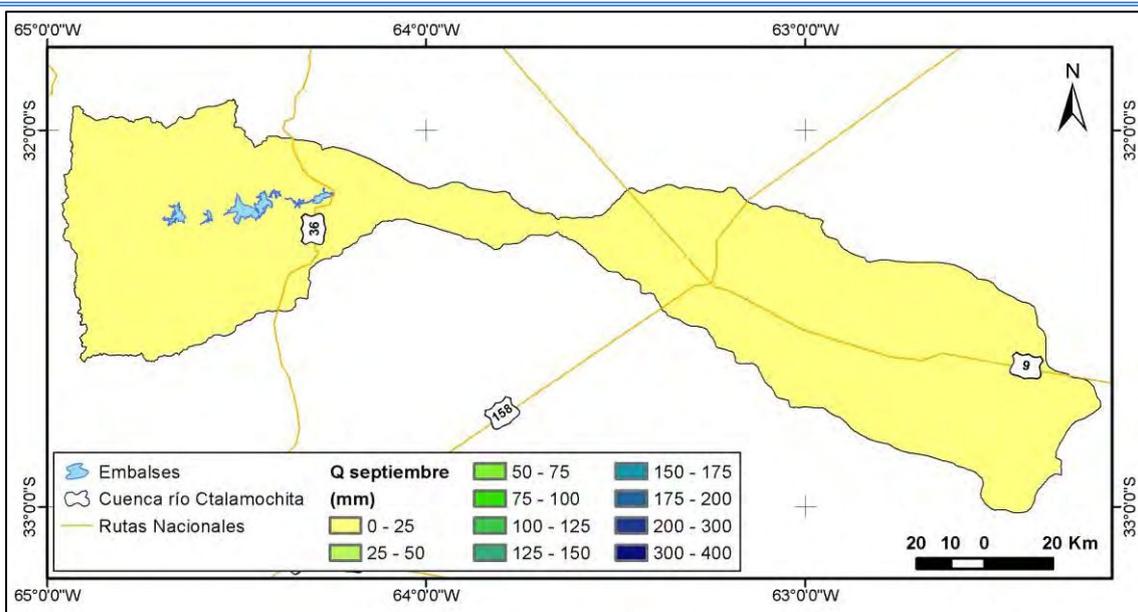


Figura AV. 2.9 Distribución de la escorrentía para el mes de septiembre. Fuente: elaboración propia.

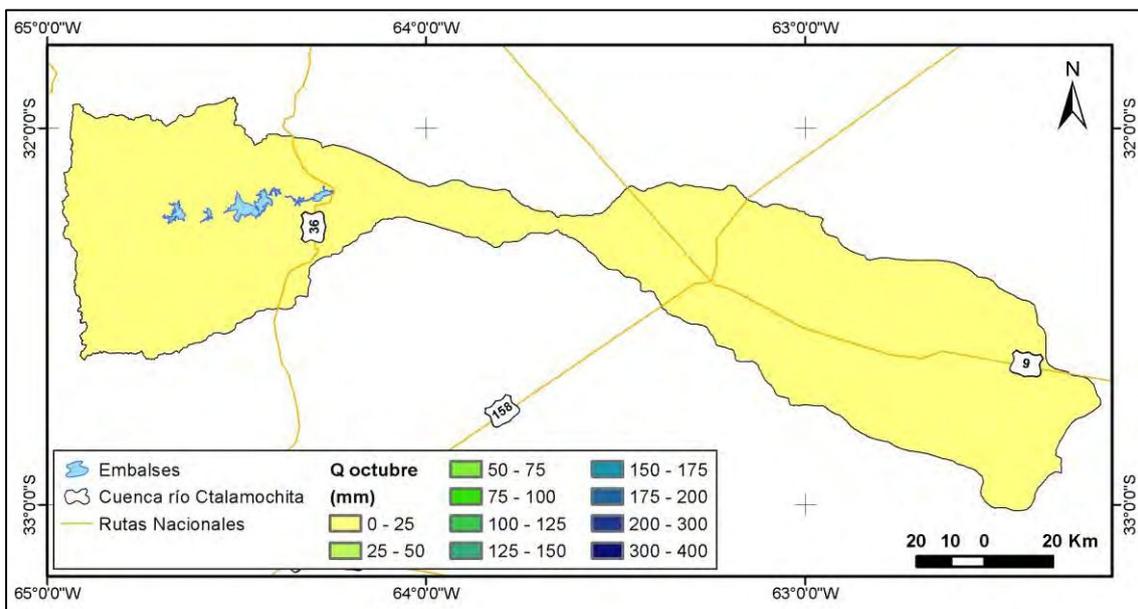


Figura AV. 2.10 Distribución de la escorrentía para el mes de octubre. Fuente: elaboración propia.

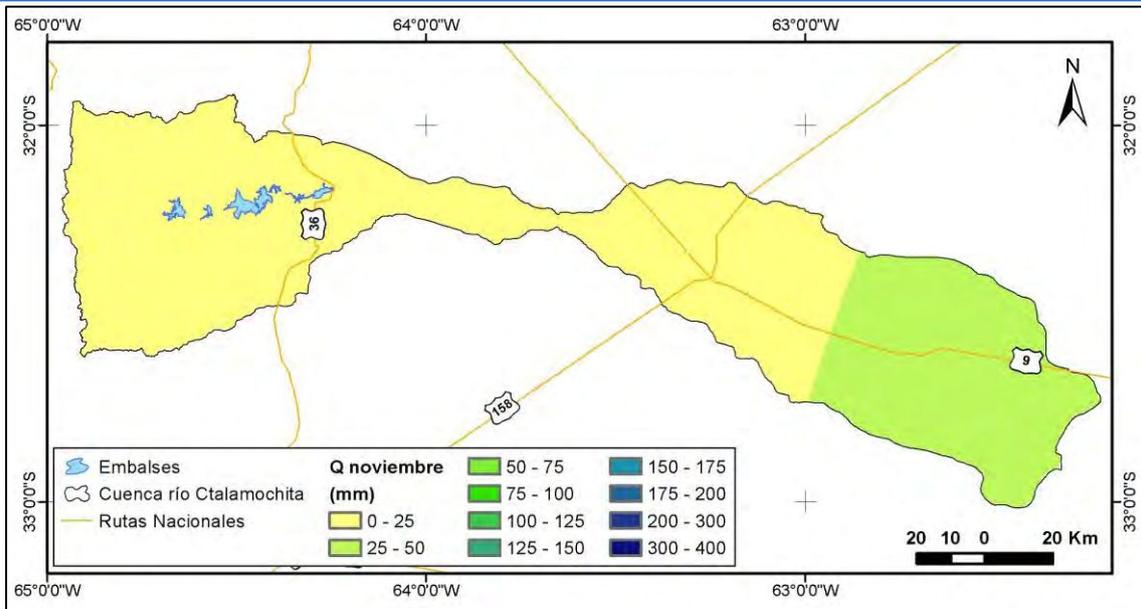


Figura AV. 2.11 Distribución de la escorrentía para el mes de noviembre. Fuente: elaboración propia.

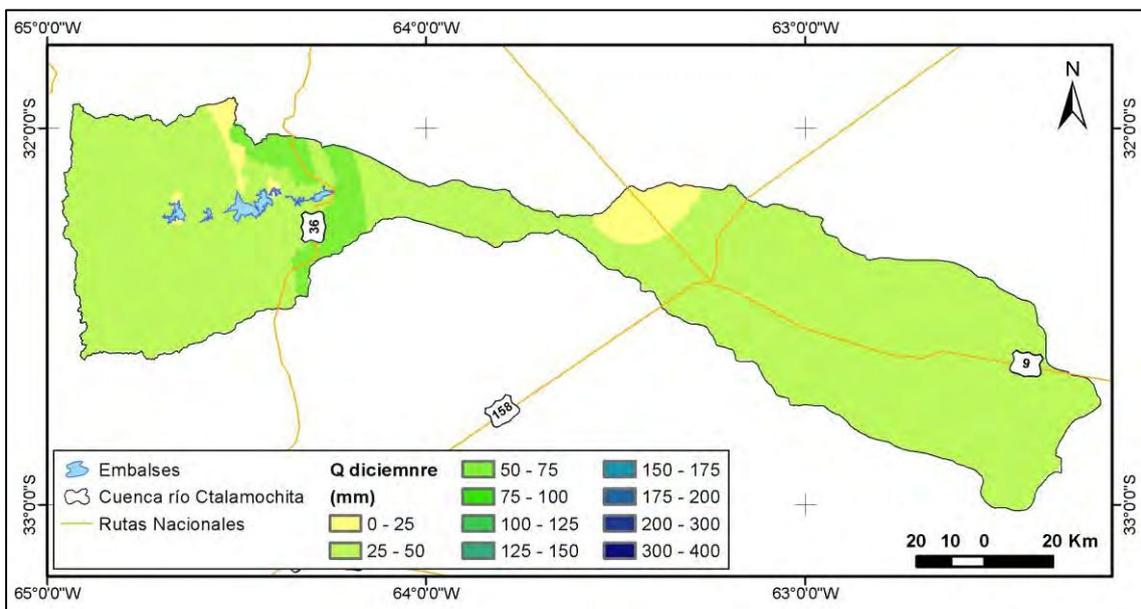


Figura AV. 2.12 Distribución de la escorrentía para el mes de diciembre. Fuente: elaboración propia.

3 Infiltración Mensual - F

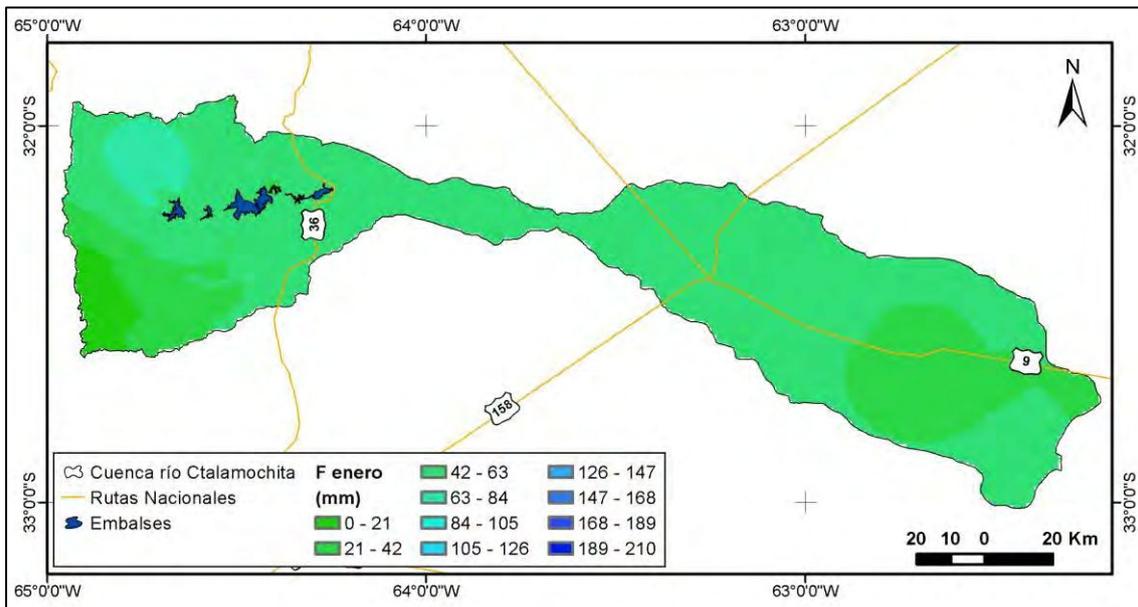


Figura AV. 3.1 Distribución de la infiltración para el mes de enero. Fuente: elaboración propia.

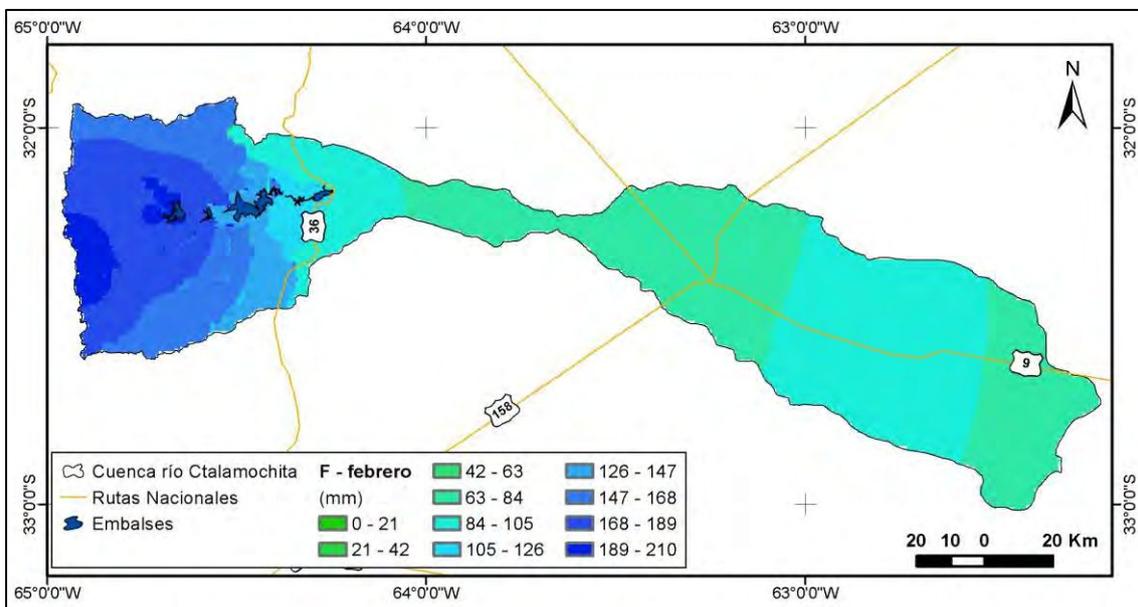


Figura AV. 3.2 Distribución de la infiltración para el mes de febrero. Fuente: elaboración propia.

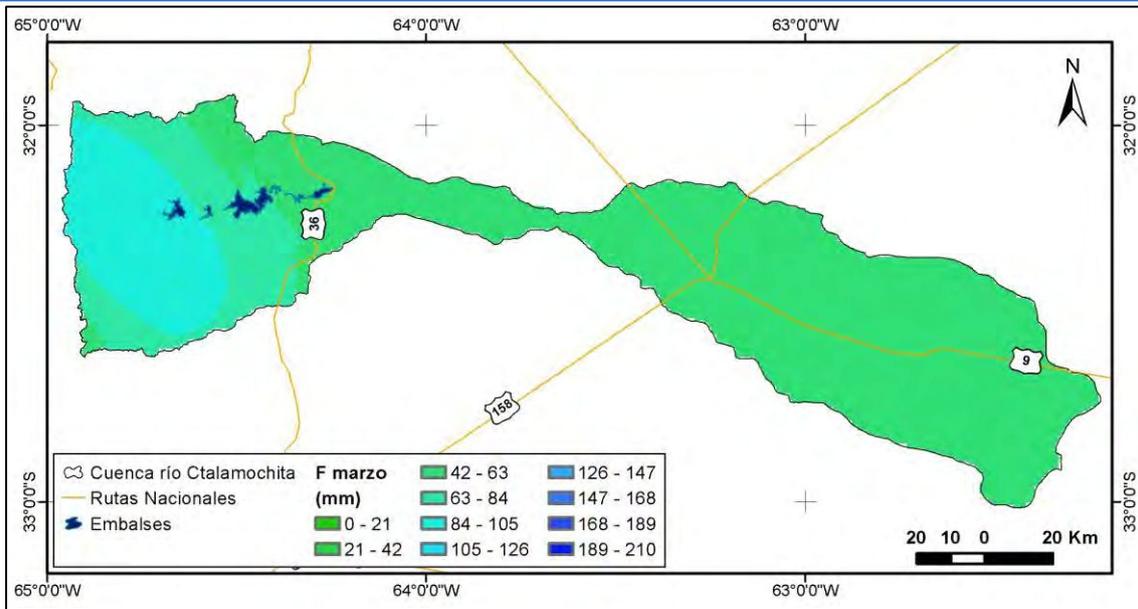


Figura AV. 3.3 Distribución de la infiltración para el mes de marzo. Fuente: elaboración propia.

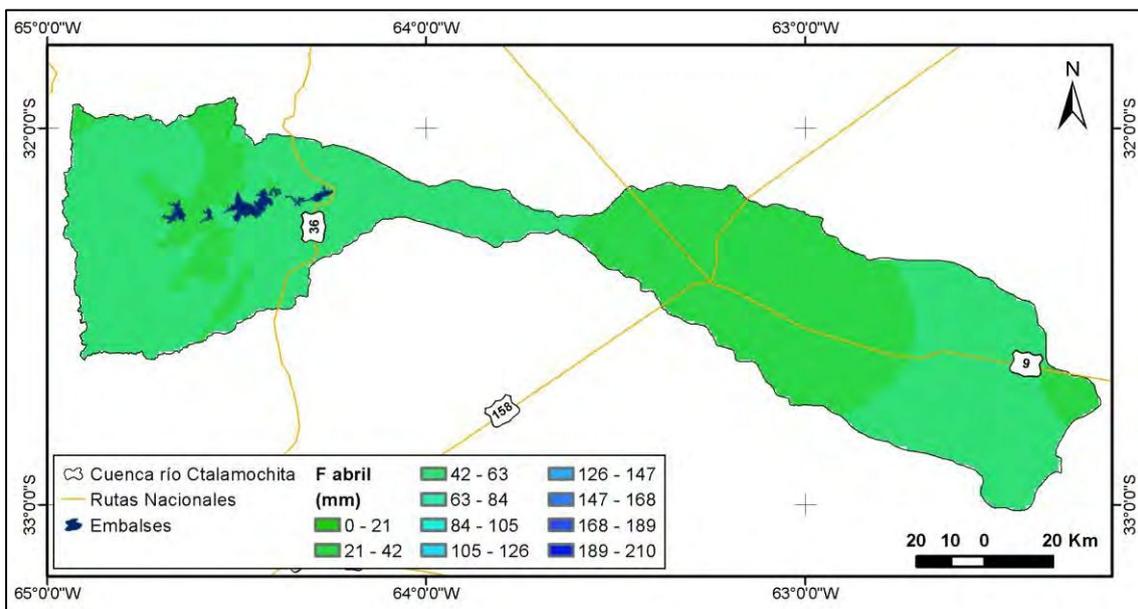


Figura AV. 3.4 Distribución de la infiltración para el mes de abril. Fuente: elaboración propia.

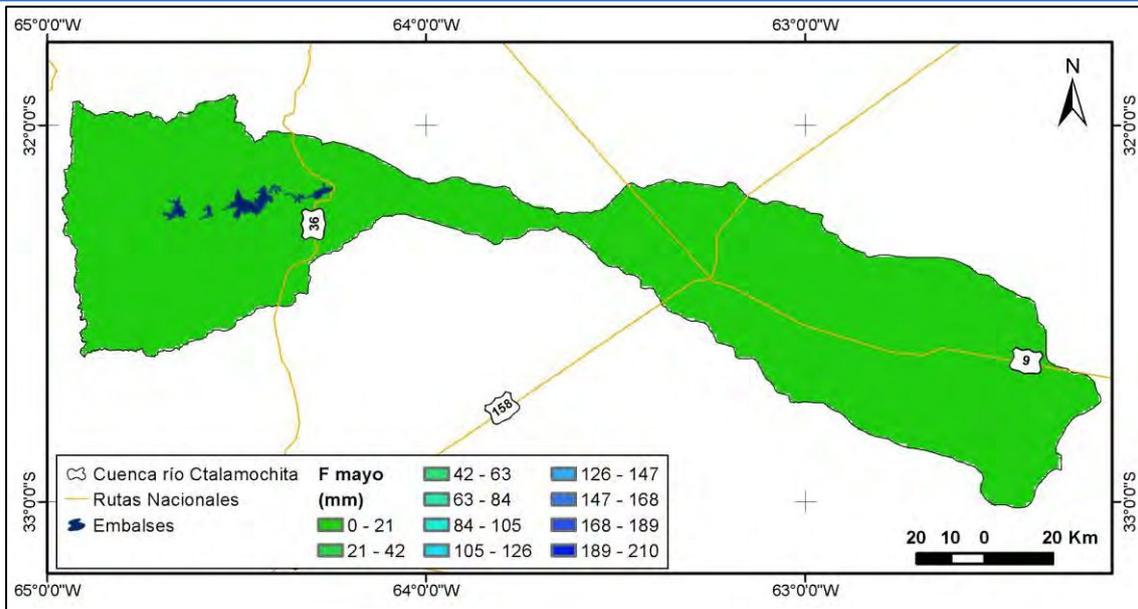


Figura AV. 3.5 Distribución de la infiltración para el mes de mayo. Fuente: elaboración propia.

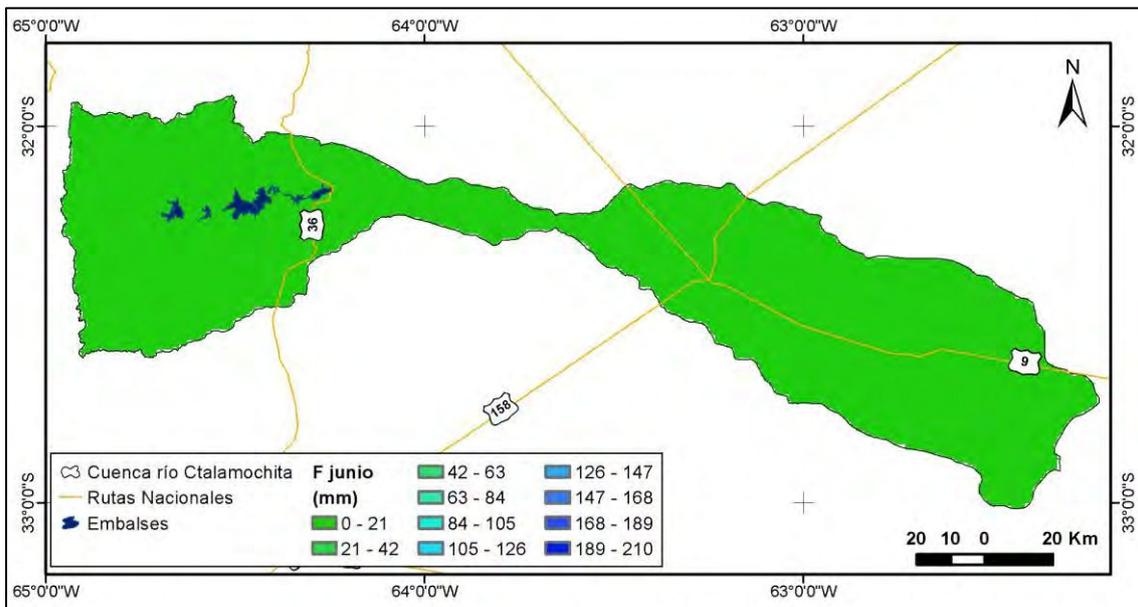


Figura AV. 3.6 Distribución de la infiltración para el mes de junio. Fuente: elaboración propia.

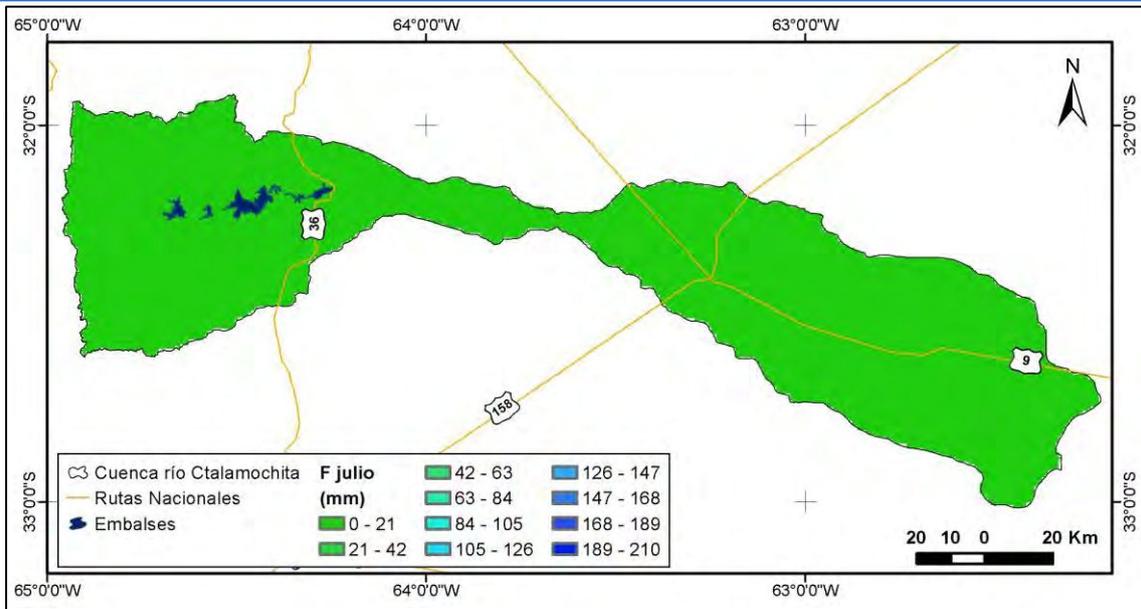


Figura AV. 3.7 Distribución de la infiltración para el mes de julio. Fuente: elaboración propia.

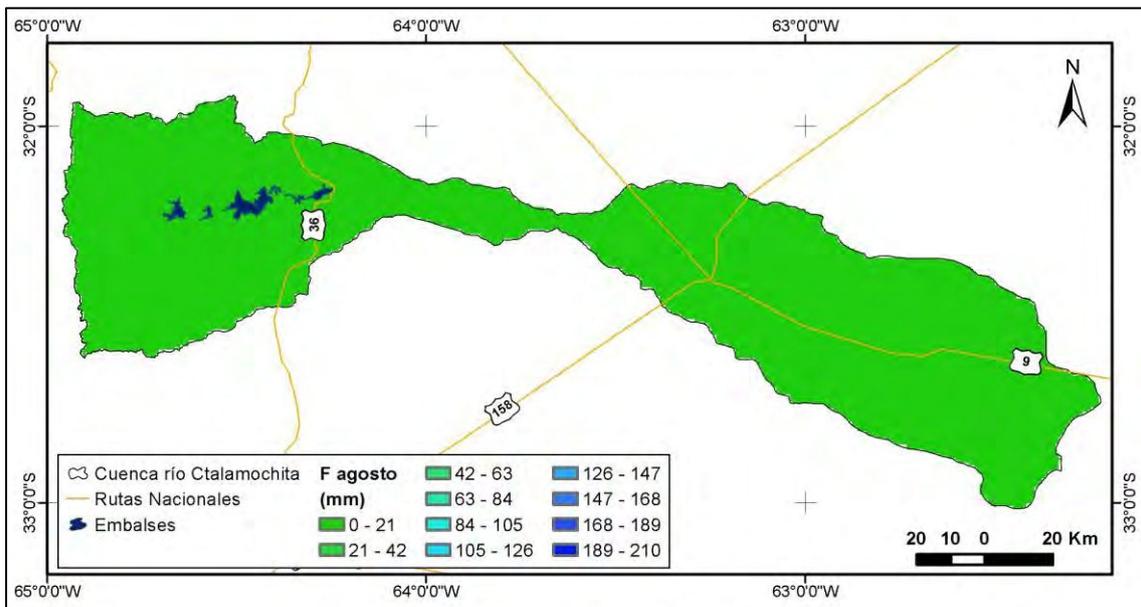


Figura AV. 3.8 Distribución de la infiltración para el mes de agosto. Fuente: elaboración propia.

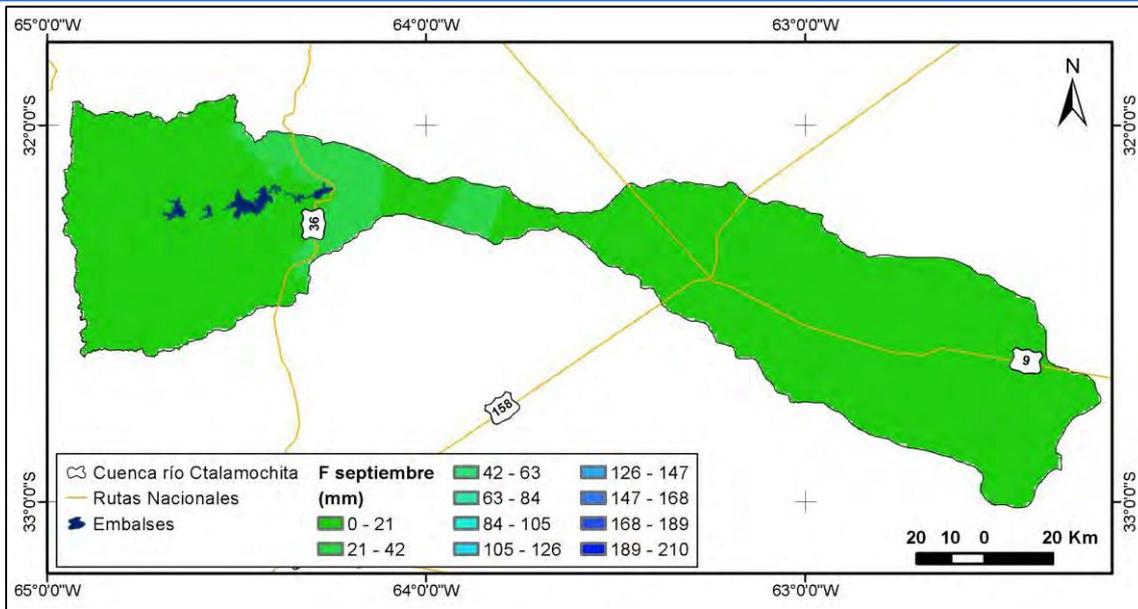


Figura AV. 3.9 Distribución de la infiltración para el mes de septiembre. Fuente: elaboración propia.

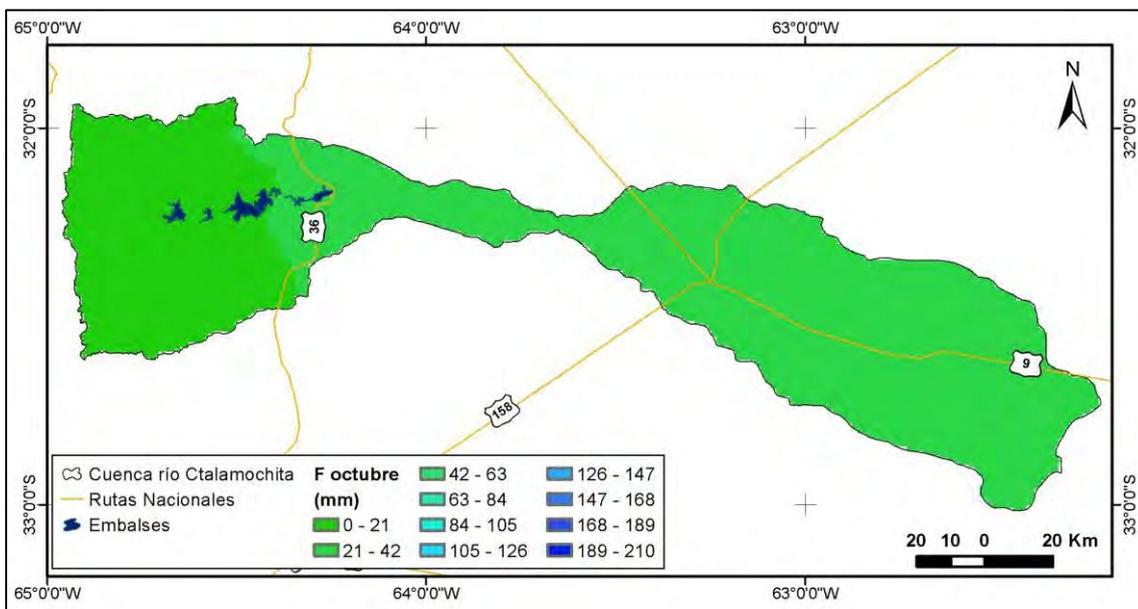


Figura AV. 3.10 Distribución de la infiltración para el mes de octubre. Fuente: elaboración propia.

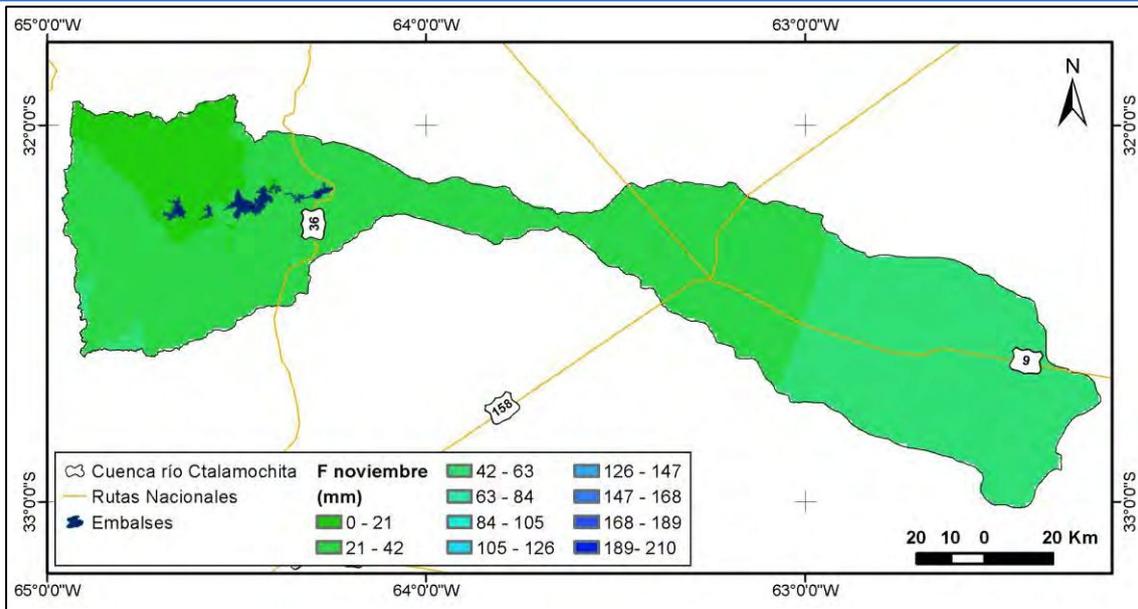


Figura AV. 3.11 Distribución de la infiltración para el mes de noviembre. Fuente: elaboración propia.

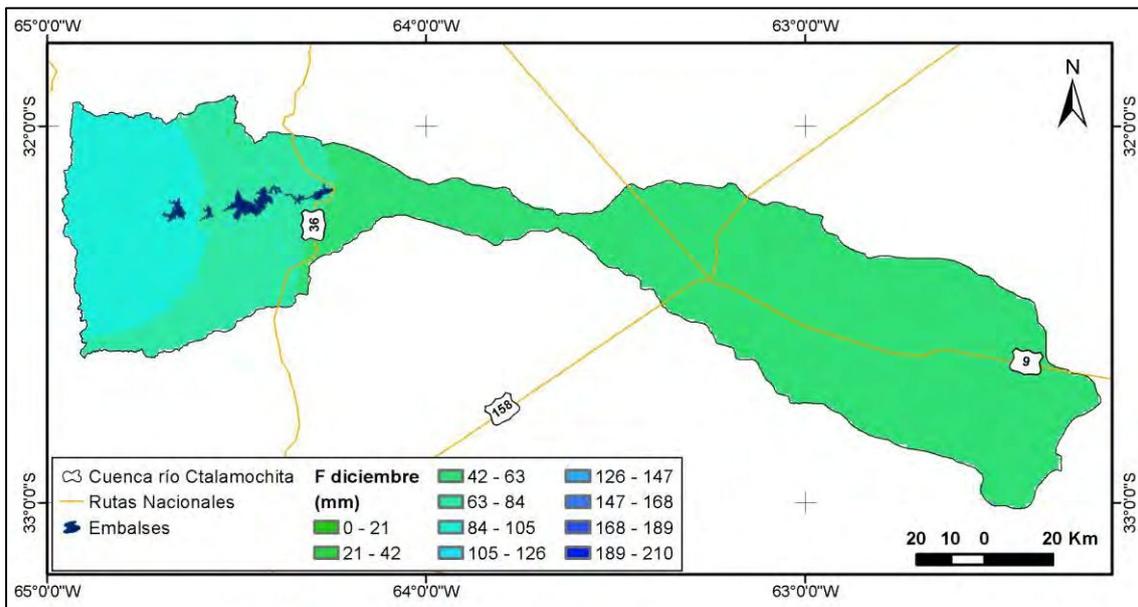


Figura AV. 3.12 Distribución de la infiltración para el mes de diciembre. Fuente: elaboración propia.

ANEXO VI: MODELACIÓN HIDROLÓGICA

Contenido

1	Modelación con HEC-HMS.....	- 235 -
2	Parámetros para la modelacion	- 235 -
3	Resultados de la modelación – Cuenca Alta.....	- 239 -
3.1	Subcuenca del Río Grande	- 239 -
3.2	Subcuenca del Río Santa Rosa.....	- 240 -
3.3	Subcuenca del Río Quillinzo	- 242 -
3.4	Subcuenca del Río De LaCruz	- 243 -
3.5	Subcuenca del Arroyo Soconcho.....	- 245 -
3.6	Subcuenca Arroyo De Lutti.....	- 246 -
3.7	Subcuenca Arroyo San Antonio.....	- 248 -
3.8	Subcuenca Arroyo Amboy.....	- 249 -
3.9	Zona de aporte al Embalse Compensador Arroyo Corto	- 251 -
3.10	Zona de aporte al Embalse Río Tercero	- 252 -
3.11	Zona de aporte al Embalse Cerro Pelado	- 254 -
3.12	Zona de aporte al Embalse Piedras Moras.....	- 255 -
3.13	Zona de aporte al Embalse Ing. Reolín.....	- 257 -
3.14	Zona de aporte al mbalse Ing. Cassafousth.....	- 258 -
4	Resultados de la modelación - Cuenca Media-Baja	- 259 -

1 Modelación con HEC-HMS

La modelación de las subcuencas y zonas de aporte se realizó mediante el uso del software HEC-HMS 4.2, diseñado por el Centro de Ingeniería Hidrológica del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de EEUU. El programa permite simular el fenómeno lluvia-escorrentía en un sistema hidrológico y, de esta manera, obtener datos de caudal y escorrentía para lluvias torrenciales en las diferentes subunidades que componen una cuenca. Es decir, permite calcular los hidrogramas de escurrimiento directo asumiendo la linealización del proceso físico real, utilizando la técnica del hidrograma unitario.

Las subcuencas y zonas de aporte modeladas se encuentran ubicadas dentro de la cuenca del río Ctalamochita como se presentan en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**

2 Parámetros para la modelación

Se emplearon para la modelación de las secciones de los cauces las medidas obtenidas durante la realización de los aforos, registradas por la Universidad Nacional de Villa María, en febrero 2015. Las secciones completas se adaptaron a ocho puntos cada una, de forma tal que sus características principales no varíen y puedan ser ingresadas en el HEC-HMS.

En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se muestra una imagen de cada sección y el gráfico de ocho puntos correspondientes a cada una de ellas.

Tabla AVI. 2.1 Secciones de los cauces empleadas en la modelación.

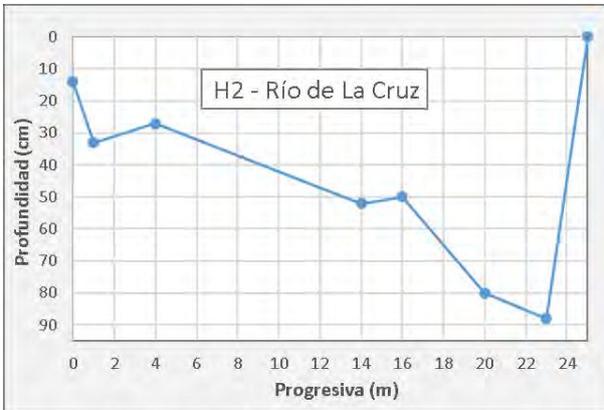
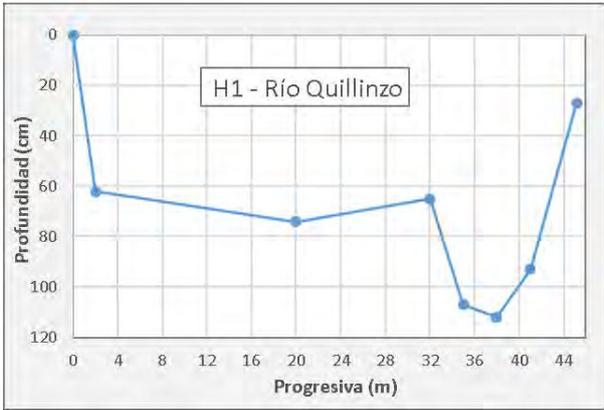
Cauce	Sección de 8 puntos empleada																		
<p>Río de la Cruz</p> 	 <table border="1"> <caption>Datos para H2 - Río de La Cruz</caption> <thead> <tr> <th>Progresiva (m)</th> <th>Profundidad (cm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>15</td></tr> <tr><td>1</td><td>35</td></tr> <tr><td>4</td><td>30</td></tr> <tr><td>14</td><td>55</td></tr> <tr><td>16</td><td>50</td></tr> <tr><td>20</td><td>80</td></tr> <tr><td>23</td><td>85</td></tr> <tr><td>24</td><td>10</td></tr> </tbody> </table>	Progresiva (m)	Profundidad (cm)	0	15	1	35	4	30	14	55	16	50	20	80	23	85	24	10
Progresiva (m)	Profundidad (cm)																		
0	15																		
1	35																		
4	30																		
14	55																		
16	50																		
20	80																		
23	85																		
24	10																		
<p>Río Quillinzo</p> 	 <table border="1"> <caption>Datos para H1 - Río Quillinzo</caption> <thead> <tr> <th>Progresiva (m)</th> <th>Profundidad (cm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>10</td></tr> <tr><td>2</td><td>60</td></tr> <tr><td>20</td><td>75</td></tr> <tr><td>32</td><td>65</td></tr> <tr><td>36</td><td>110</td></tr> <tr><td>38</td><td>115</td></tr> <tr><td>42</td><td>95</td></tr> <tr><td>44</td><td>25</td></tr> </tbody> </table>	Progresiva (m)	Profundidad (cm)	0	10	2	60	20	75	32	65	36	110	38	115	42	95	44	25
Progresiva (m)	Profundidad (cm)																		
0	10																		
2	60																		
20	75																		
32	65																		
36	110																		
38	115																		
42	95																		
44	25																		

Tabla AVI 2.1. Secciones de los cauces empleadas en la modelación. Continuación.

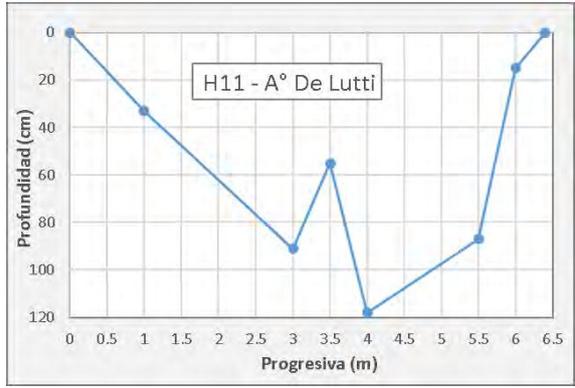
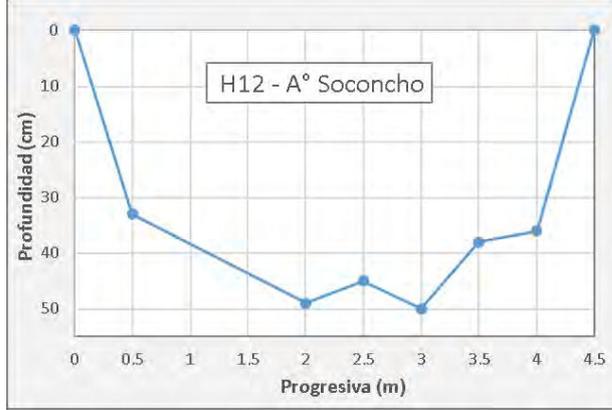
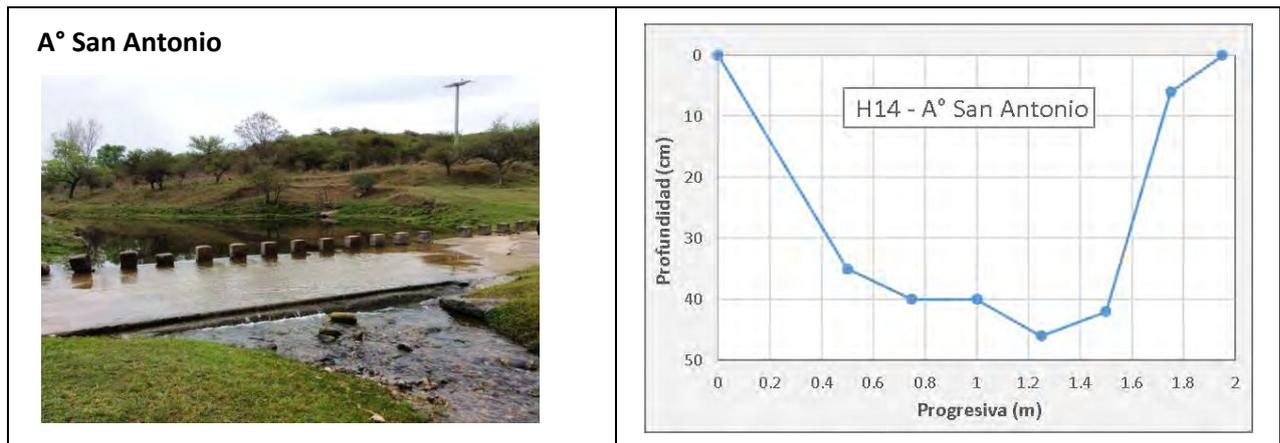
<p>Río Santa Rosa</p> 	 <table border="1"> <caption>H3 - Río Santa Rosa</caption> <thead> <tr> <th>Progresiva (m)</th> <th>Profundidad (cm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>110</td></tr> <tr><td>5</td><td>115</td></tr> <tr><td>8</td><td>105</td></tr> <tr><td>18</td><td>105</td></tr> <tr><td>22</td><td>70</td></tr> <tr><td>28</td><td>80</td></tr> <tr><td>32</td><td>0</td></tr> </tbody> </table>	Progresiva (m)	Profundidad (cm)	0	0	1	110	5	115	8	105	18	105	22	70	28	80	32	0
Progresiva (m)	Profundidad (cm)																		
0	0																		
1	110																		
5	115																		
8	105																		
18	105																		
22	70																		
28	80																		
32	0																		
<p>A° De Lutti</p> 	 <table border="1"> <caption>H11 - A° De Lutti</caption> <thead> <tr> <th>Progresiva (m)</th> <th>Profundidad (cm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>35</td></tr> <tr><td>3</td><td>90</td></tr> <tr><td>3.5</td><td>55</td></tr> <tr><td>4</td><td>115</td></tr> <tr><td>5.5</td><td>85</td></tr> <tr><td>6</td><td>15</td></tr> <tr><td>6.5</td><td>0</td></tr> </tbody> </table>	Progresiva (m)	Profundidad (cm)	0	0	1	35	3	90	3.5	55	4	115	5.5	85	6	15	6.5	0
Progresiva (m)	Profundidad (cm)																		
0	0																		
1	35																		
3	90																		
3.5	55																		
4	115																		
5.5	85																		
6	15																		
6.5	0																		
<p>A° Soconcho</p> 	 <table border="1"> <caption>H12 - A° Soconcho</caption> <thead> <tr> <th>Progresiva (m)</th> <th>Profundidad (cm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0.5</td><td>32</td></tr> <tr><td>2</td><td>48</td></tr> <tr><td>2.5</td><td>45</td></tr> <tr><td>3</td><td>50</td></tr> <tr><td>3.5</td><td>38</td></tr> <tr><td>4</td><td>35</td></tr> <tr><td>4.5</td><td>0</td></tr> </tbody> </table>	Progresiva (m)	Profundidad (cm)	0	0	0.5	32	2	48	2.5	45	3	50	3.5	38	4	35	4.5	0
Progresiva (m)	Profundidad (cm)																		
0	0																		
0.5	32																		
2	48																		
2.5	45																		
3	50																		
3.5	38																		
4	35																		
4.5	0																		
<p>Rio Tercero (Villa María)</p> 	 <table border="1"> <caption>H7 - Rio Tercero (Villa Maria)</caption> <thead> <tr> <th>Progresiva (m)</th> <th>Profundidad (cm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>2</td><td>45</td></tr> <tr><td>6</td><td>95</td></tr> <tr><td>10</td><td>75</td></tr> <tr><td>12</td><td>95</td></tr> <tr><td>14</td><td>95</td></tr> <tr><td>16</td><td>88</td></tr> <tr><td>18</td><td>45</td></tr> </tbody> </table>	Progresiva (m)	Profundidad (cm)	0	0	2	45	6	95	10	75	12	95	14	95	16	88	18	45
Progresiva (m)	Profundidad (cm)																		
0	0																		
2	45																		
6	95																		
10	75																		
12	95																		
14	95																		
16	88																		
18	45																		

Tabla AVI 2.1. Secciones de los cauces empleadas en la modelación. Continuación



En las zonas de aporte a los seis embalses presentes en la cuenca alta no se encuentran cauces de agua definidos, por lo que la modelación de estos sectores sólo consideró la escorrentía.

Los parámetros morfométricos usados en la cuenca alta, son los presentados en el Capítulo 3.1.2.1 Caracterización Morfométrica.

En cuanto a la cuenca media-baja, dada a la gran magnitud que presenta, el programa HEC-HMS no permitía su correcta modelización, para sortear este inconveniente se planteó su subdivisión en tres subcuencas. Se hizo coincidir dicha subdivisión con secciones aforo existentes y de las cuales se tenían datos. Las tres subcuencas planteadas se presentan en la Figura AVI 2.1 y sus características morfométricas requeridas para la modelación en la Tabla AVI. 2.2.

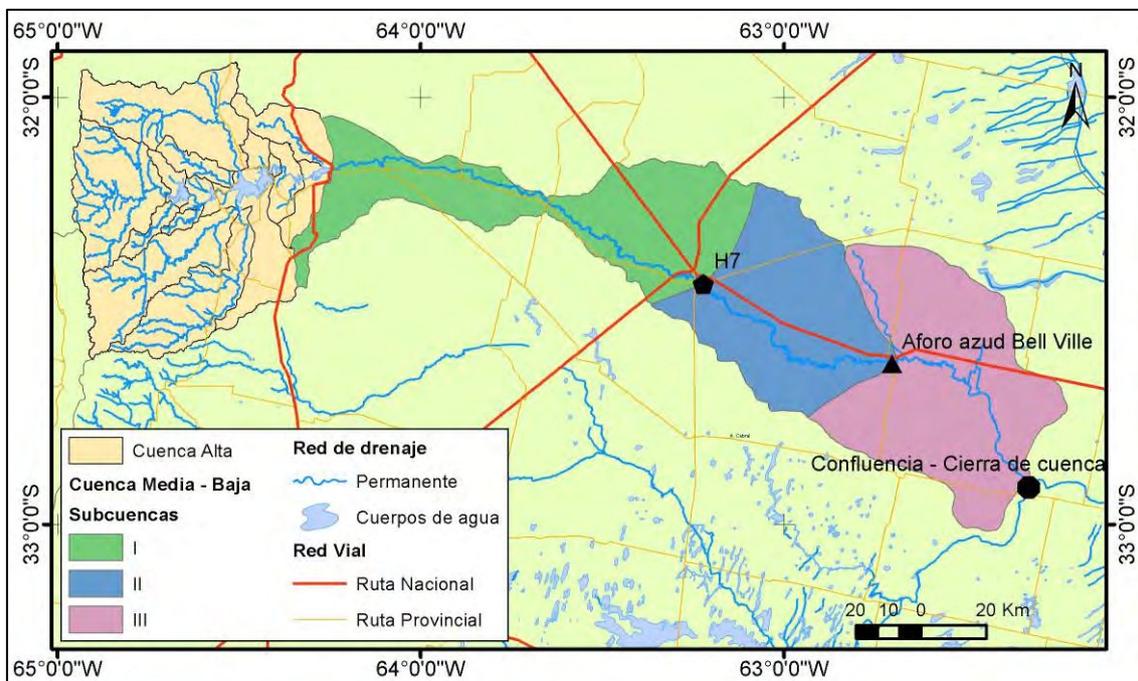


Figura AVI 2.1. Subcuencas de la Cuenca Media-Baja.

Tabla AVI. 2.2 Parámetros morfométricos de la cuenca media baja.

Subcuenca	I	II	III	Cuenca Media-Baja
Superficie (km ²)	2,228.70	1,899.50	2,619.90	6749.10
Perímetro (km)	352.10	193.20	246.48	581.3
Longitud del cauce principal (km)	164.40	96.38	86.25	347.4
Pendiente media del cauce principal (%)	0.14	0.06	0.04	0.09
Altura máxima del cauce (m)	427	189	134	427
Altura mínima del cauce (m)	189	134	97	97
Índice de compacidad de Gravelius	2.09	1.24	1.35	1.98
Forma de la cuenca	Rectangular - Oblonga	Oval redonda	Oval redonda	Rectangular - Oblonga

En cuanto a la determinación del tiempo de concentración y de rezago, se tuvieron las mismas consideraciones descritas en el Capítulo 3.1.2.1 Caracterización Morfométrica, los valores obtenidos se presentan en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**Tabla AVI. 2.3

Tabla AVI. 2.3 Tiempos de concentración y rezago de la cuenca media baja.

Tiempo de concentración (hrs)	I	II	III	Cuenca Media-Baja
Bransby-Williams	27.24	19.55	17.93	56.05
California Culvert Practice	41.81	39.66	40.64	87.48
Clark	57.45	68.87	90.69	125.58
Giandotti	35.28	53.75	68.66	58.46
Kirpich	41.75	39.60	40.58	87.35
Pilgrim y McDermott	14.23	13.39	15.13	21.67
Témez	20.93	16.64	16.15	40.03
Valencia y Zuluaga	23.26	30.45	37.11	35.07
Promedio	32.74	35.24	40.86	63.96
Rezago	19.65	21.14	24.52	38.38

3 Resultados de la modelación – Cuenca Alta

3.1 Subcuenca del Río Grande

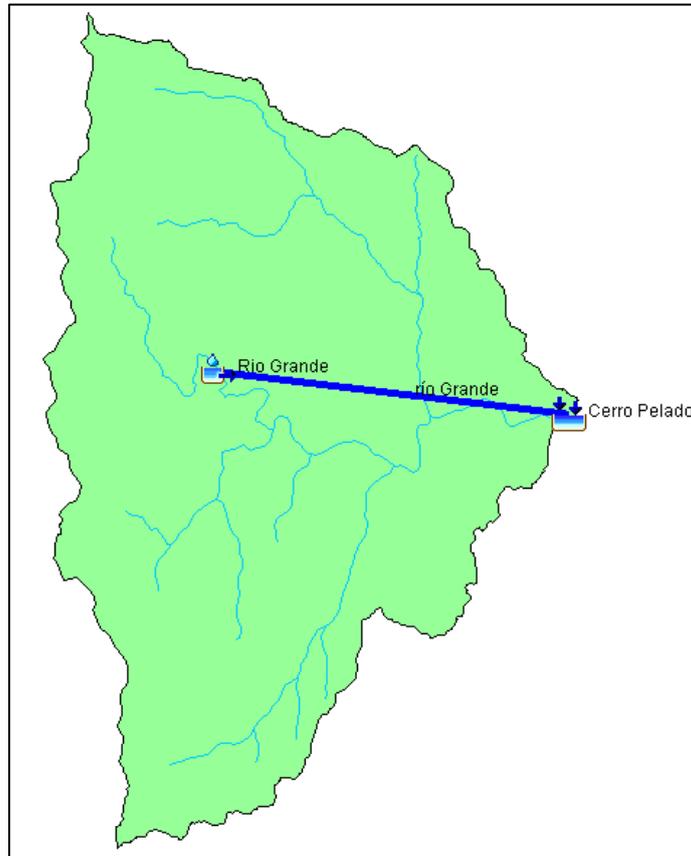


Figura AVI. 3.1. Esquema de modelación de la subcuenca del río Grande.

Project: Rio Grande Simulation Run: Run 1

Start of Run: 14feb2014, 00:00 Basin Model: RioGrande
 End of Run: 16feb2014, 08:00 Meteorologic Model: feb 14
 Compute Time: 01feb2018, 11:25:07 Control Specifications: Control 1

Show Elements: Volume Units: MM 1000 M3 Sorting:

Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (1000 M3)
Rio Grande	6374	677,7	15feb2014, 03:00	25946,7
río Grande	6374	669,8	15feb2014, 04:00	25985,3
Cerro Pelado	6374	669,8	15feb2014, 04:00	25985,3

Figura AVI. 3.2. Tabla de resultados de la subcuenca del río Grande.

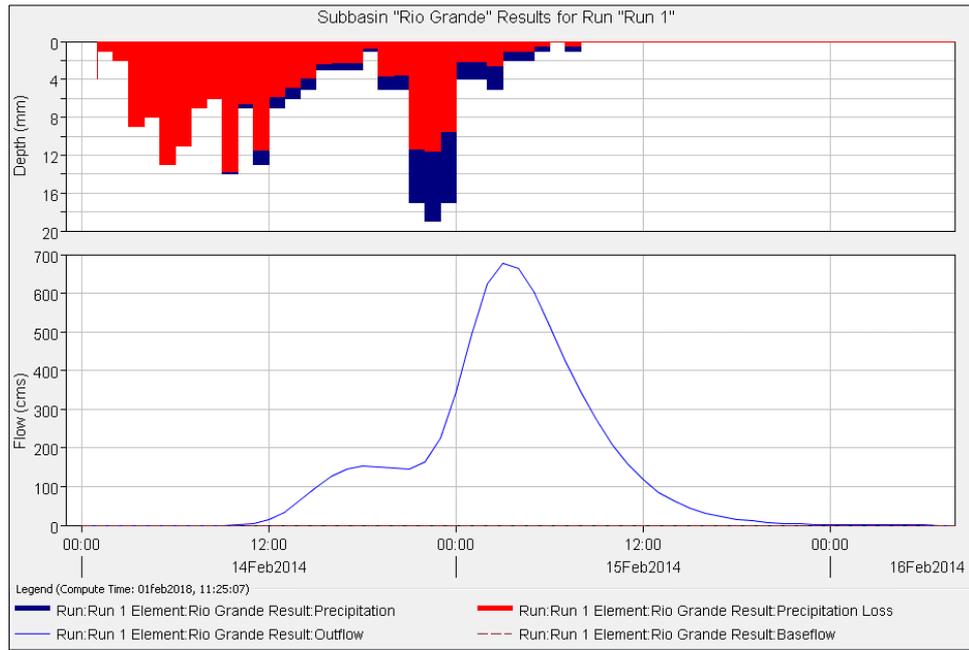


Figura AVI. 3.3. Gráfico de resultados de la modelación de la subcuenca del río Grande.

3.2 Subcuenca del Río Santa Rosa

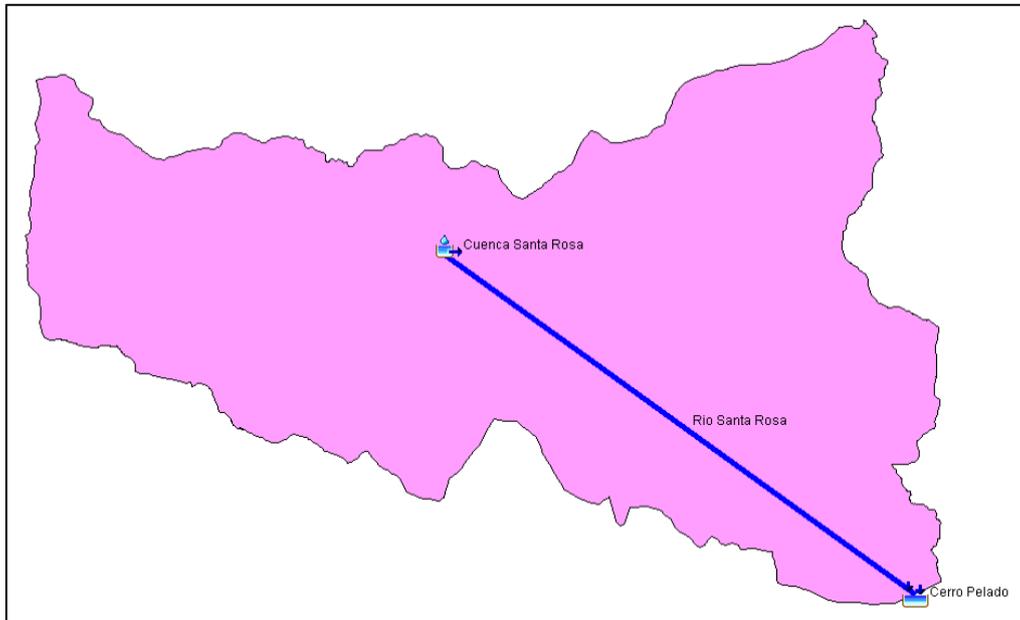


Figura AVI. 3.4. Esquema de modelación de la subcuenca del río Santa Rosa.

Project: Santa Rosa		Simulation Run: Run 1		
Start of Run:	14feb2014, 00:00	Basin Model:	Santa Rosa	
End of Run:	16feb2014, 08:00	Meteorologic Model:	feb 14	
Compute Time:	30ene2018, 12:19:48	Control Specifications:	Control 1	
Show Elements:	All Elements	Volume Units:	<input type="radio"/> MM	<input checked="" type="radio"/> 1000 M3
		Sorting:	Hydrologic	
Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (1000 M3)
Cuenca Santa Rosa	71573	667,8	15feb2014, 05:00	29858,7
Rio Santa Rosa	71573	668,3	15feb2014, 07:00	29929,9
Cerro Pelado	71573	668,3	15feb2014, 07:00	29929,9

Figura AVI. 3.5. Tabla de resultados de la subcuenca del río Santa Rosa.

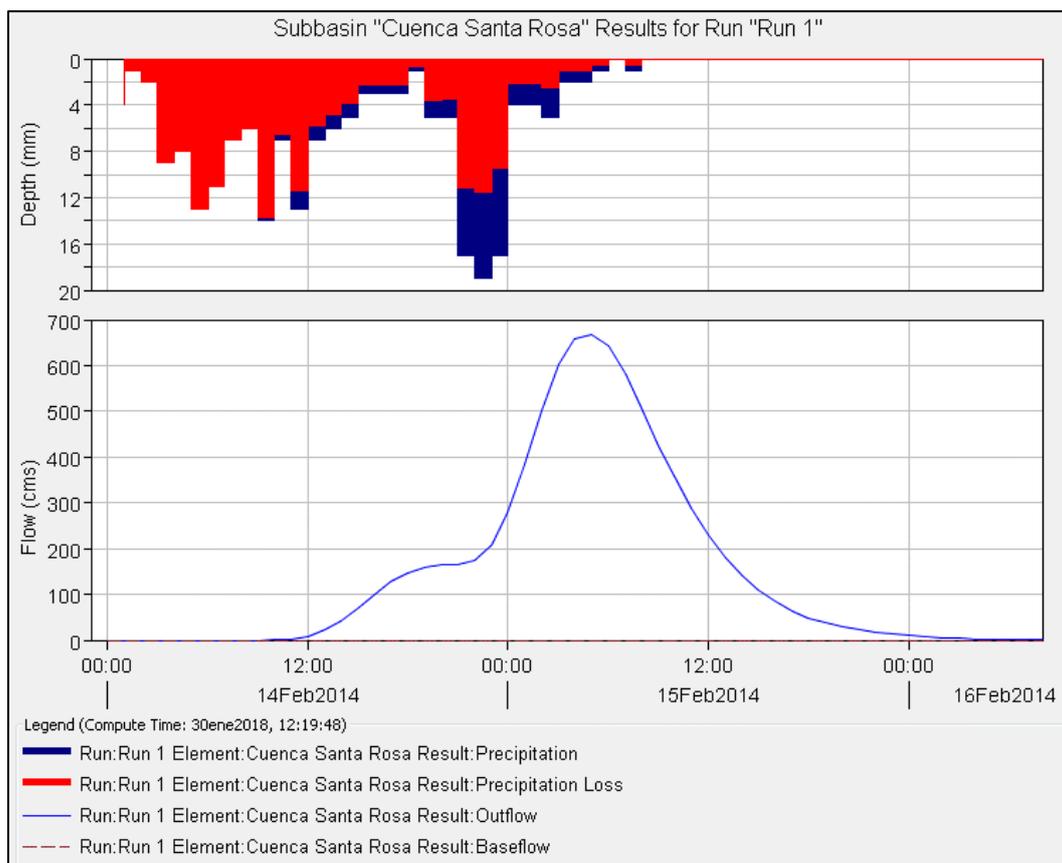


Figura AVI. 3.6. Gráfico de resultados de la modelación de la subcuenca del río Santa Rosa.

3.3 Subcuenca del Río Quillinzo

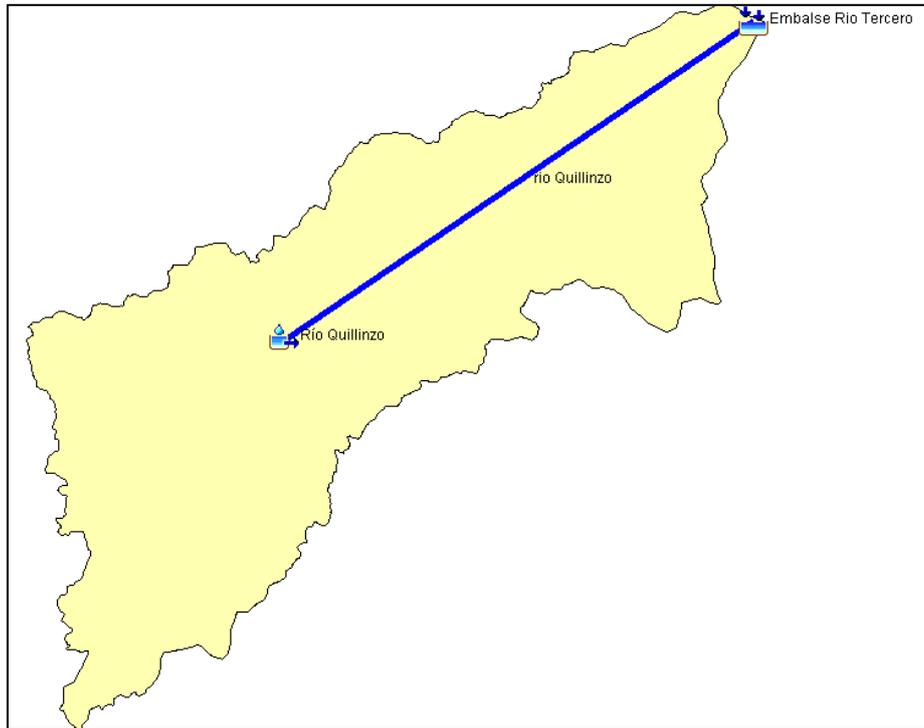


Figura AVI. 3.7. Esquema de modelación de la subcuenca del río Quillinzo.

Project: Rio Quillinzo Simulation Run: Run 1

Start of Run: 14feb2014, 00:00 Basin Model: Rio Quillinzo
 End of Run: 16feb2014, 08:00 Meteorologic Model: feb
 Compute Time: 30ene2018, 13:59:38 Control Specifications: Control 1

Show Elements: All Elements Volume Units: MM 1000 M3 Sorting: Hydrologic

Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (1000 M3)
Río Quillinzo	61575	608,9	15feb2014, 05:00	28212,8
rio Quillinzo	61575	605,4	15feb2014, 08:00	28239,4
Embalse Rio Tercero	61575	605,4	15feb2014, 08:00	28239,4

Figura AVI. 3.8. Tabla de resultados de la subcuenca del río Quillinzo.

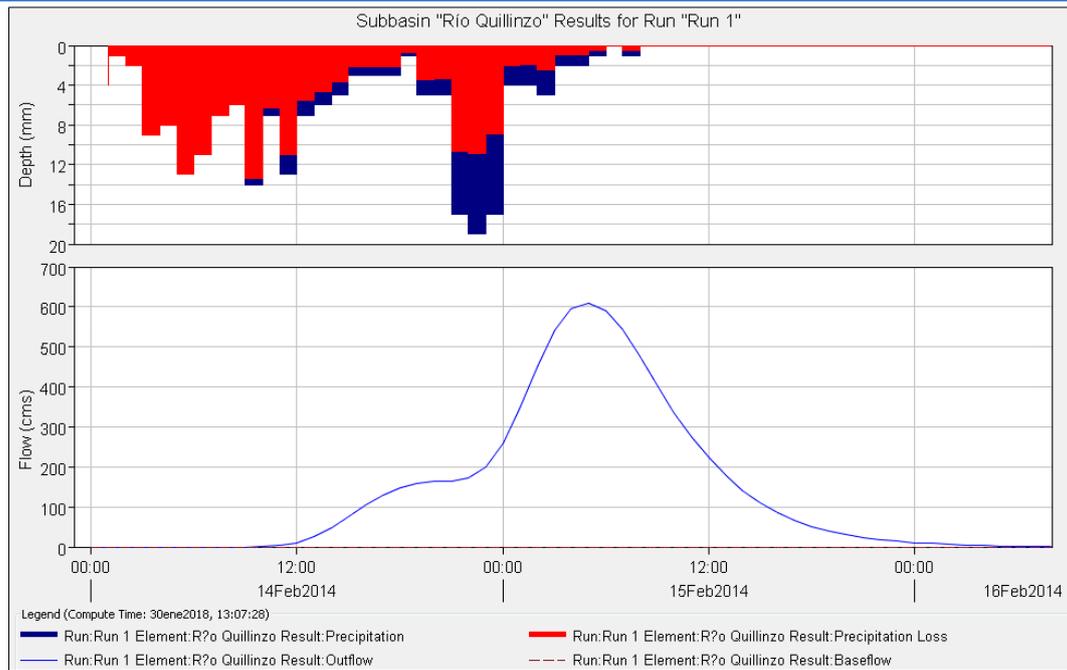


Figura AVI. 3.9. Gráfico de resultados de la modelación de la subcuenca del río Quillinzo.

3.4 Subcuenca del Río De La Cruz

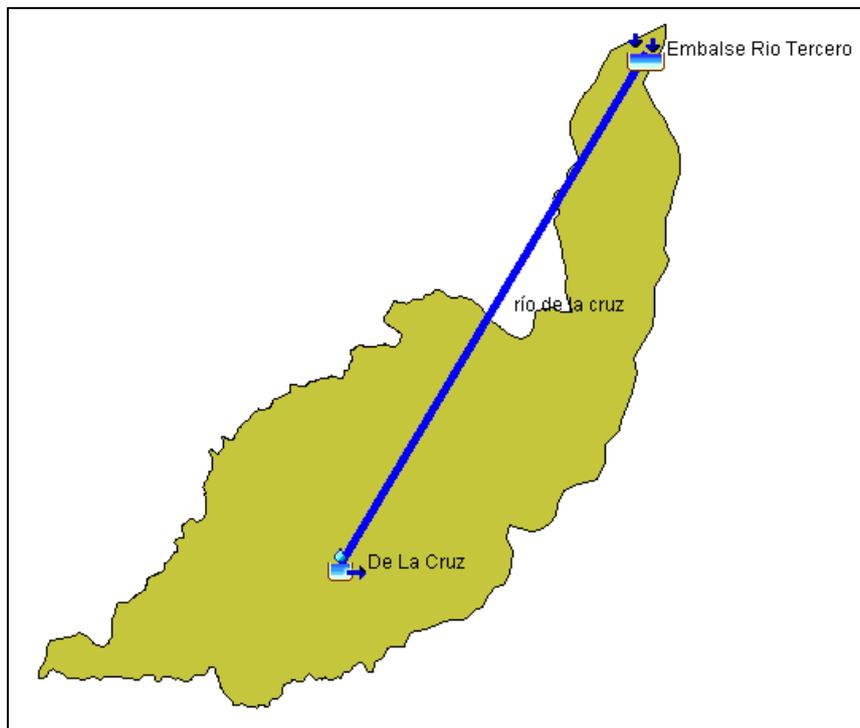


Figura AVI. 3.10. Esquema de modelación de la subcuenca del río De La Cruz.

Project: Río de la Cruz		Simulation Run: Run 1		
Start of Run: 14feb2014, 00:00		Basin Model: De La Cruz		
End of Run: 16feb2014, 08:00		Meteorologic Model: Met 1		
Compute Time: 30ene2018, 14:05:40		Control Specifications: Control 1		
Show Elements: All Elements	Volume Units: <input type="radio"/> MM <input checked="" type="radio"/> 1000 M3	Sorting: Hydrologic		
Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (1000 M3)
De La Cruz	51769	584,8	15feb2014, 05:00	28622,1
río de la cruz	51769	580,4	15feb2014, 07:00	28652,0
Embalse Rio Tercero	51769	580,4	15feb2014, 07:00	28652,0

Figura AVI. 3.11. Tabla de resultados de la subcuenca del río De LA Cruz.

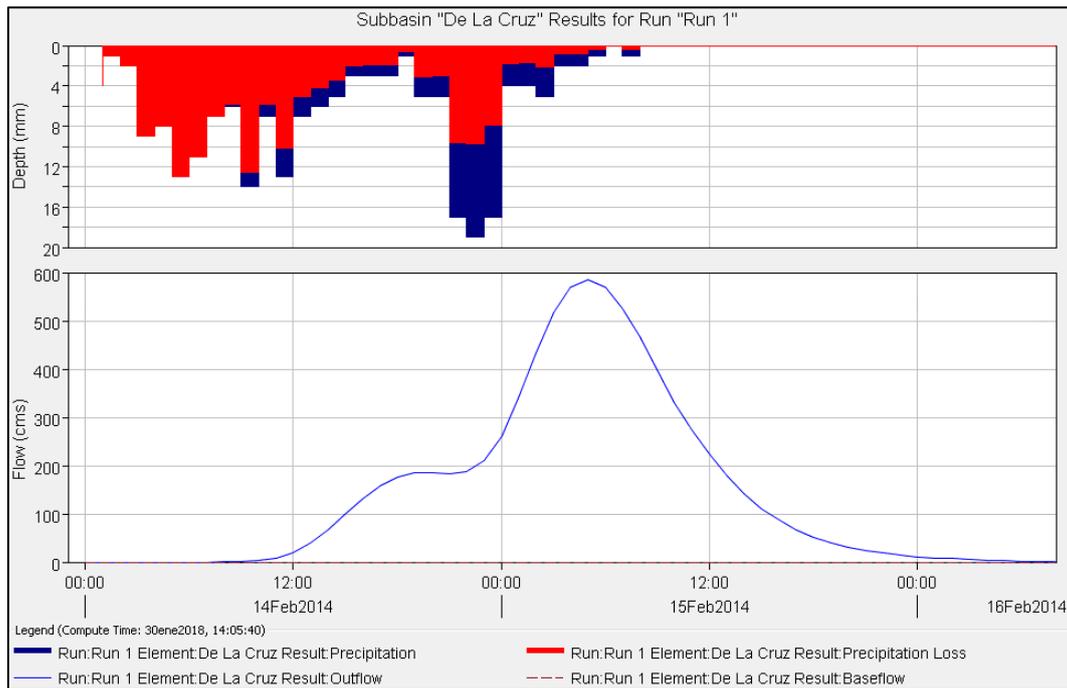


Figura AVI. 3.12. Gráfico de resultados de la modelación de la subcuenca del río De La Cruz.

3.5 Subcuenca del Arroyo Soconcho

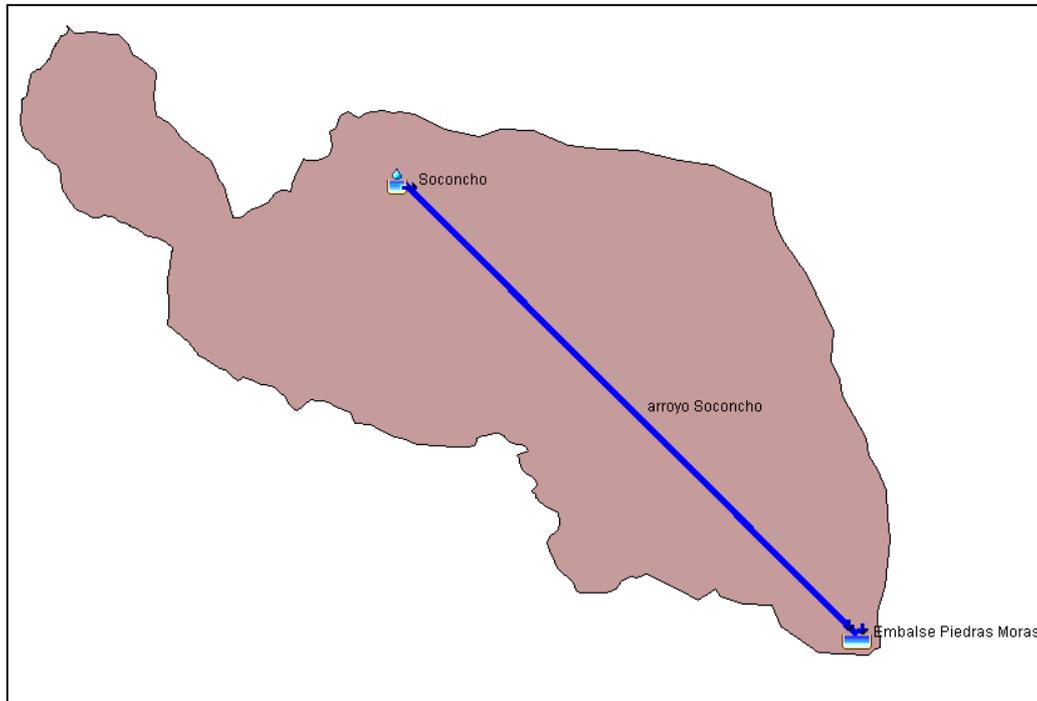


Figura AVI. 3.13. Esquema de modelación de la subcuenca del arroyo Soconcho.

Project: Arroyo Soconcho Simulation Run: Run 1

Start of Run: 14feb2014, 00:00 Basin Model: A. Soconcho

End of Run: 16feb2014, 08:00 Meteorologic Model: Met 1

Compute Time: 30ene2018, 14:34:16 Control Specifications: Control 1

Show Elements: All Elements Volume Units: MM 1000 M3 Sorting: Hydrologic

Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (1000 M3)
Soconcho	24244	489,6	15feb2014, 03:00	22517,1
arroyo Soconcho	24244	485,9	15feb2014, 04:00	22550,5
Embalse Piedras Moras	24244	485,9	15feb2014, 04:00	22550,5

Figura AVI. 3.14. Tabla de resultados de la subcuenca del arroyo Soconcho.

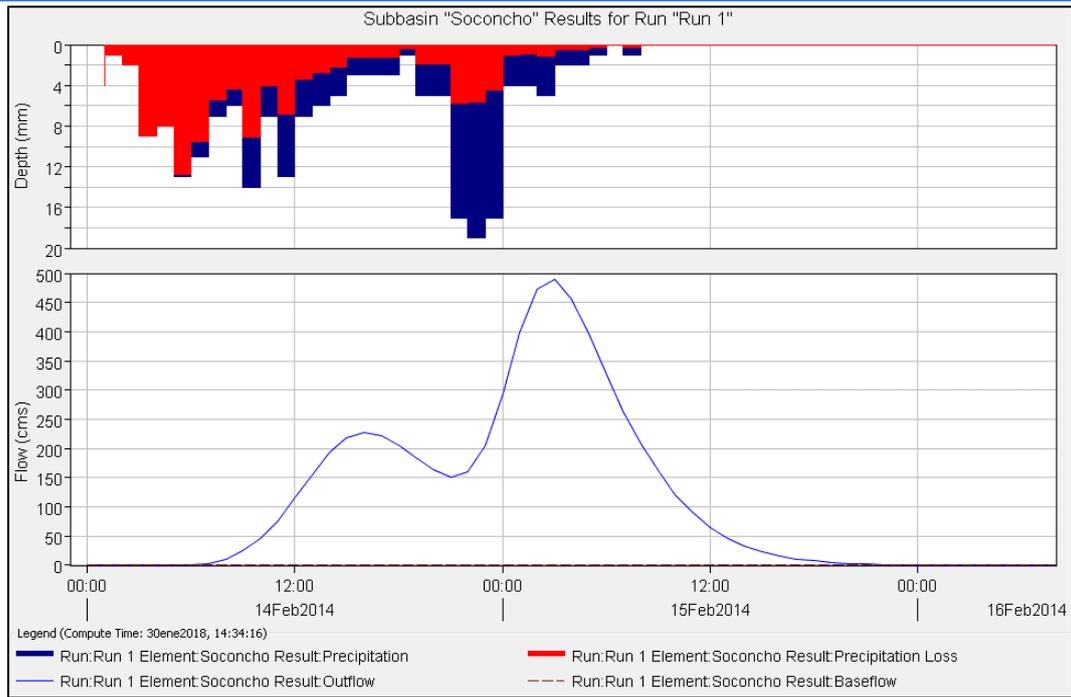


Figura AVI. 3.15. Gráfico de resultados de la modelación de la subcuenca del arroyo Soconcho.

3.6 Subcuenca Arroyo De Lutti

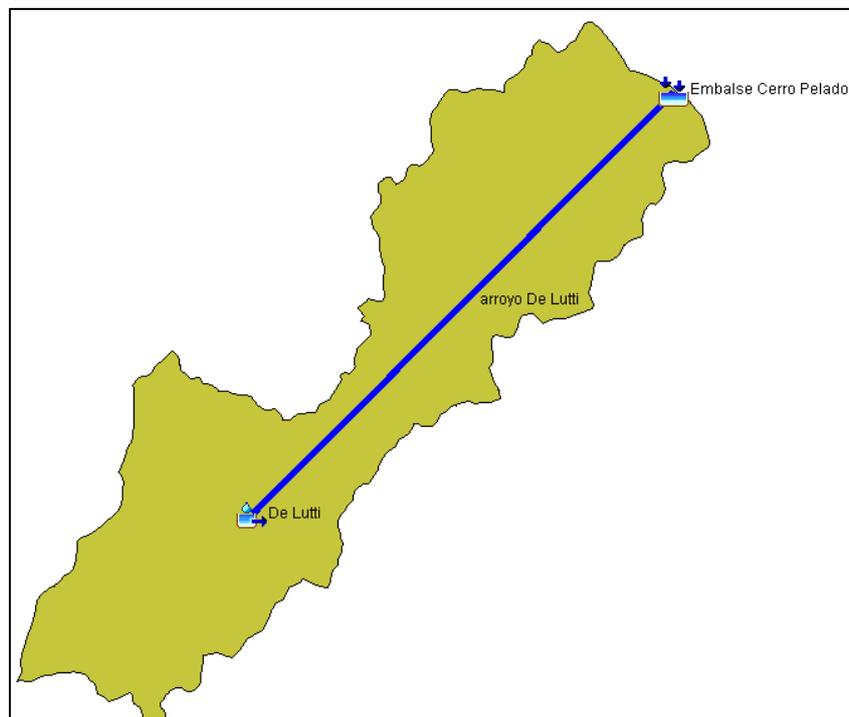


Figura AVI. 3.16. Esquema de modelación de la subcuenca del arroyo De Lutti.

Project: Arroyo de Lutti Simulation Run: Run 1				
Start of Run: 14feb2014, 00:00		Basin Model: De Lutti		
End of Run: 16feb2014, 08:00		Meteorologic Model: Met 1		
Compute Time: 31ene2018, 09:21:25		Control Specifications: Control 1		
Show Elements: All Elements	Volume Units: <input type="radio"/> MM <input checked="" type="radio"/> 1000 M3		Sorting: Hydrologic	
Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (1000 M3)
De Lutti	7413	110,7	15feb2014, 01:00	3017,6
arroyo De Lutti	7413	106,8	15feb2014, 02:00	3018,3
Embalse Cerro Pelado	7413	106,8	15feb2014, 02:00	3018,3

Figura AVI. 3.17. Tabla de resultados de la subcuenca del arroyo De Lutti.

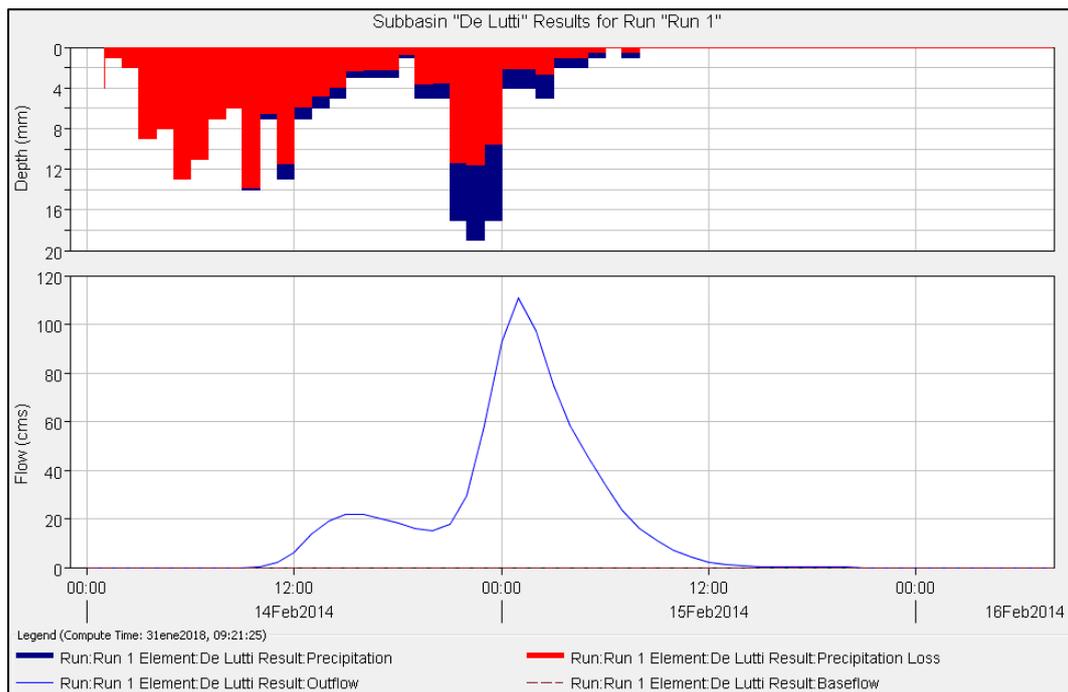


Figura AVI. 3.18. Gráfico de resultados de la modelación de la subcuenca del arroyo De Lutti.

3.7 Subcuenca Arroyo San Antonio

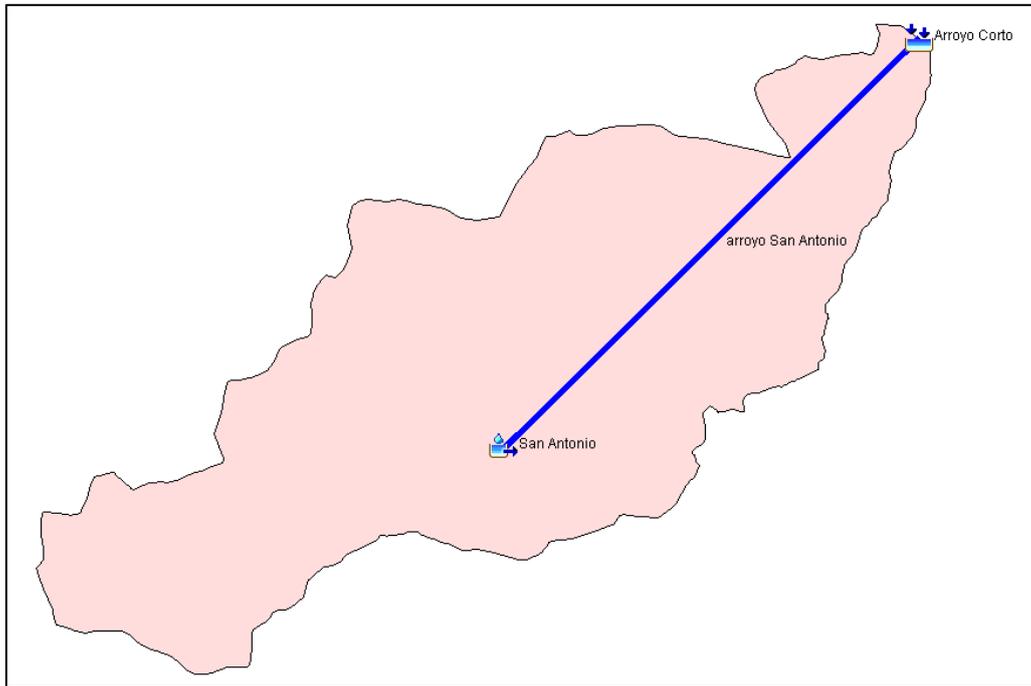


Figura AVI. 3.19. Esquema de modelación de la subcuenca del arroyo San Antonio.

Project: San Antonio Simulation Run: Run 1

Start of Run: 14feb2014, 00:00 Basin Model: San Antonio
 End of Run: 16feb2014, 08:00 Meteorologic Model: Met 1
 Compute Time: DATA CHANGED, RECOMPUTE Control Specifications: Control 1

Show Elements: Volume Units: MM 1000 M3 Sorting:

Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (1000 M3)
San Antonio	3793	59,4	15feb2014, 01:00	1515,3
Arroyo Corto	3793	59,4	15feb2014, 01:00	1515,3

Figura AVI. 3.20. Tabla de resultados de la subcuenca del arroyo San Antonio.

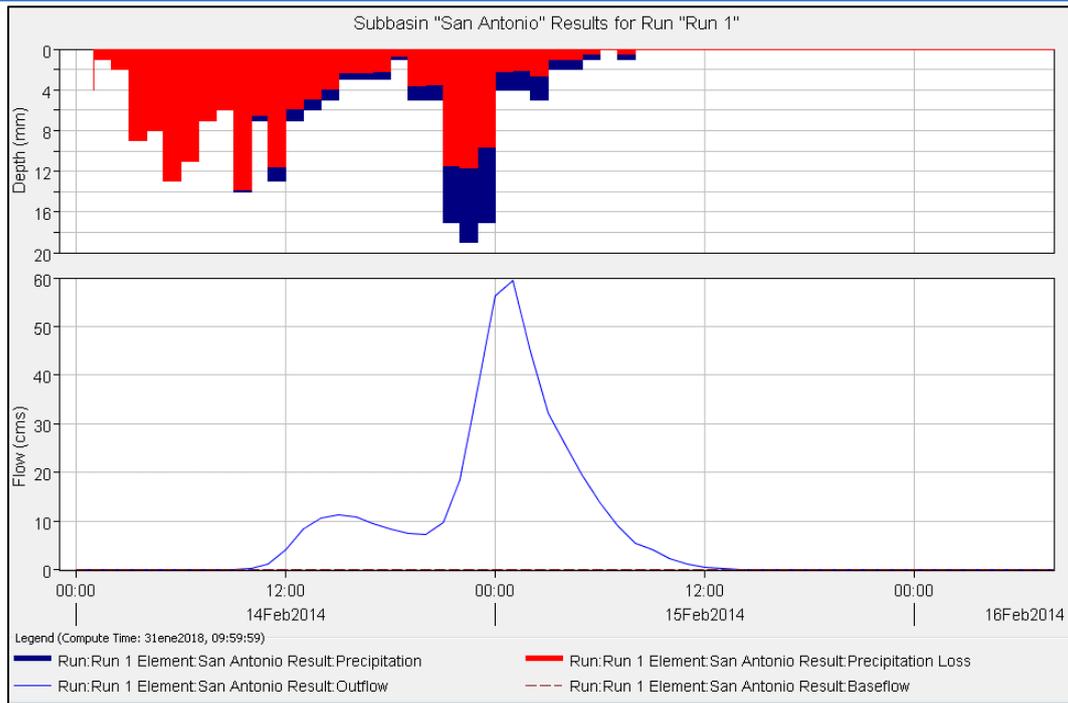


Figura AVI. 3.21. Gráfico de resultados de la modelación de la subcuenca del arroyo San Antonio.

3.8 Subcuenca Arroyo Amboy

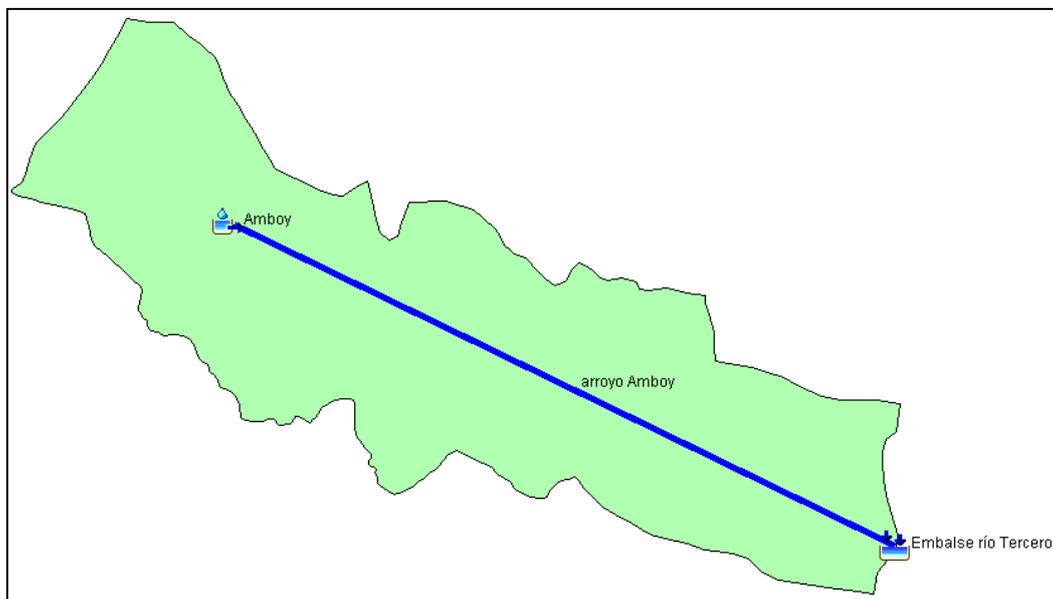


Figura 3.22. Esquema de modelación de la subcuenca del arroyo Amboy.

Project: Amboy Simulation Run: Run 1				
Start of Run: 14feb2014, 00:00		Basin Model: Amboy		
End of Run: 16feb2014, 09:00		Meteorologic Model: Met 1		
Compute Time: 31ene2018, 10:29:30		Control Specifications: Control 1		
Show Elements: All Elements	Volume Units: <input type="radio"/> MM <input checked="" type="radio"/> 1000 M3		Sorting: Hydrologic	
Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (1000 M3)
Amboy	10701	144,9	15feb2014, 01:00	4437,4
arroyo Amboy	10701	147,6	15feb2014, 02:00	4447,0
Embalse río Tercero	10701	147,6	15feb2014, 02:00	4447,0

Figura AVI. 3.23. Tabla de resultados de la subcuenca del arroyo Amboy.

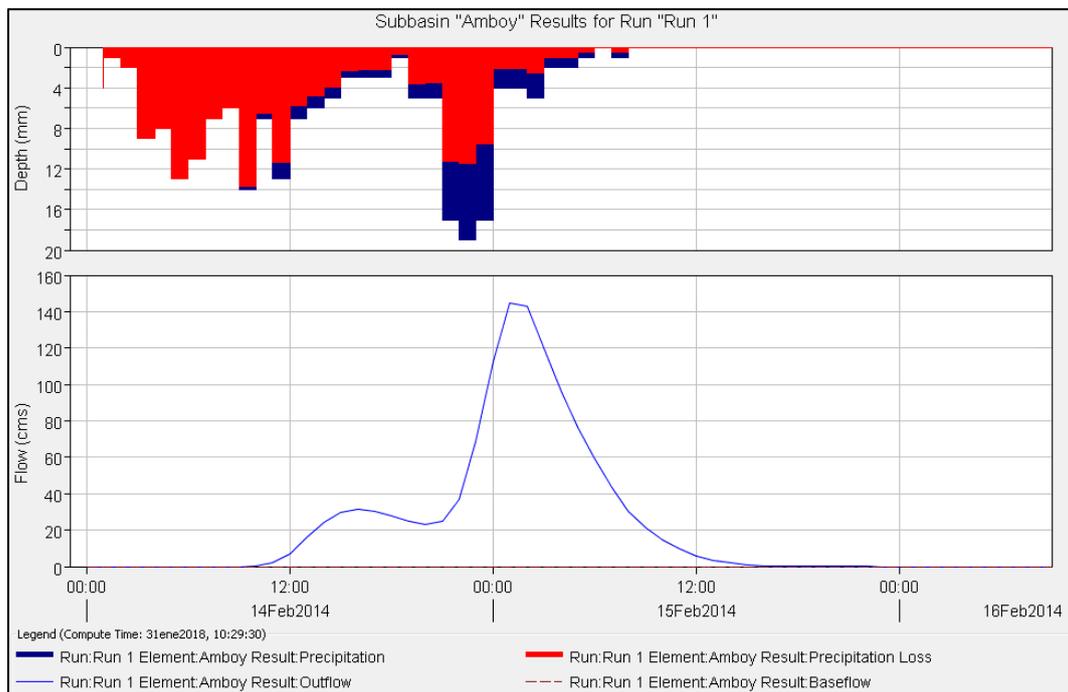


Figura AVI. 3.24. Gráfico de resultados de la modelación de la subcuenca del arroyo Amboy.

3.9 Zona de aporte al Embalse Compensador Arroyo Corto

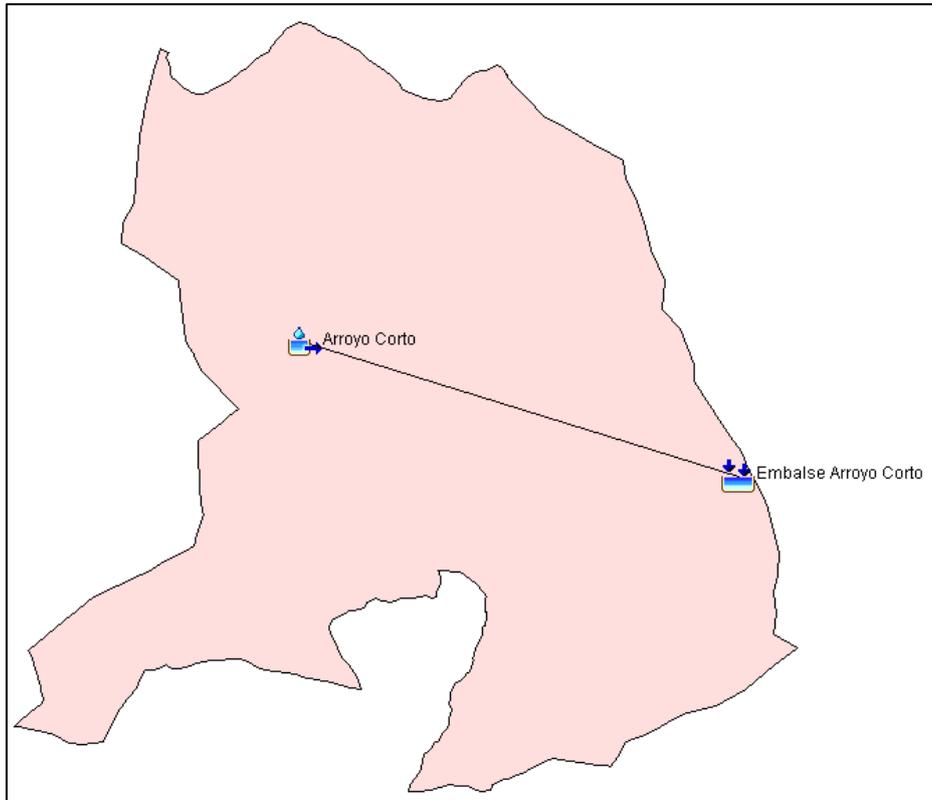


Figura AVI. 3.25. Esquema de modelación de la zona de aporte al embalse Arroyo Corto.

Project: Aporte Arroyo Corto Simulation Run: Run 1

Start of Run: 14feb2014, 00:00 Basin Model: Arroyo Corto
 End of Run: 16feb2014, 08:00 Meteorologic Model: Met 1
 Compute Time: 31ene2018, 13:51:46 Control Specifications: Control 1

Show Elements: All Elements Volume Units: MM 1000 M3 Sorting: Hydrologic

Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (1000 M3)
Arroyo Corto	6754	98,2	15feb2014, 01:00	2596,5
Embalse Arroyo Corto	6754	98,2	15feb2014, 01:00	2596,5

Figura AVI. 3.26. Tabla de resultados de la zona de aporte al embalse Arroyo Corto.

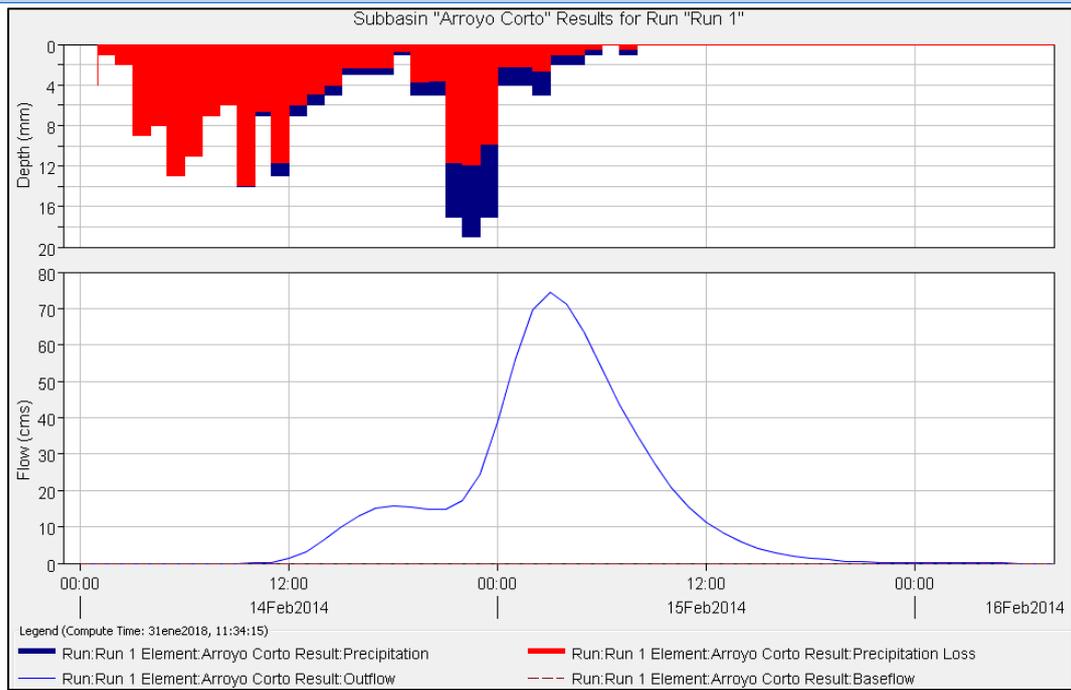


Figura AVI. 3.27. Gráfico de resultados de la modelación de la zona de aporte al embalse Arroyo Corto.

3.10 Zona de aporte al Embalse Río Tercero

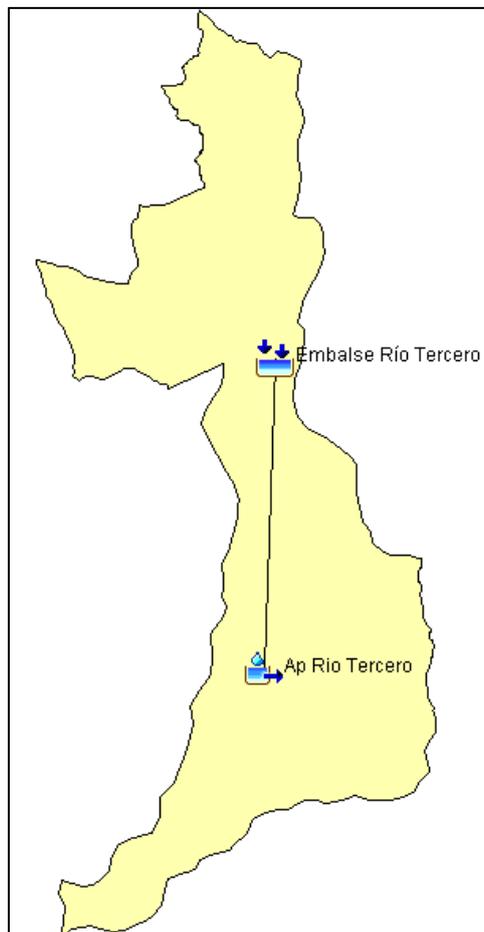


Figura AVI. 3.28. Esquema de modelación de la zona de aporte al embalse Río Tercero.

Project: Río Tercero		Simulation Run: Run 1		
Start of Run: 14feb2014, 00:00		Basin Model: Aporte Río Tercero		
End of Run: 16feb2014, 08:00		Meteorologic Model: Met 1		
Compute Time: 31ene2018, 13:47:41		Control Specifications: Control 1		
Show Elements:	All Elements	Volume Units:	<input type="radio"/> MM <input checked="" type="radio"/> 1000 M3	Sorting: Hydrologic
Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (1000 M3)
Ap Río Tercero	46008	631,4	15feb2014, 04:00	30683,5
Embalse Río Tercero	46008	631,4	15feb2014, 04:00	30683,5

Figura AVI. 3.29. Tabla de resultados de la zona de aporte al embalse Río Tercero.

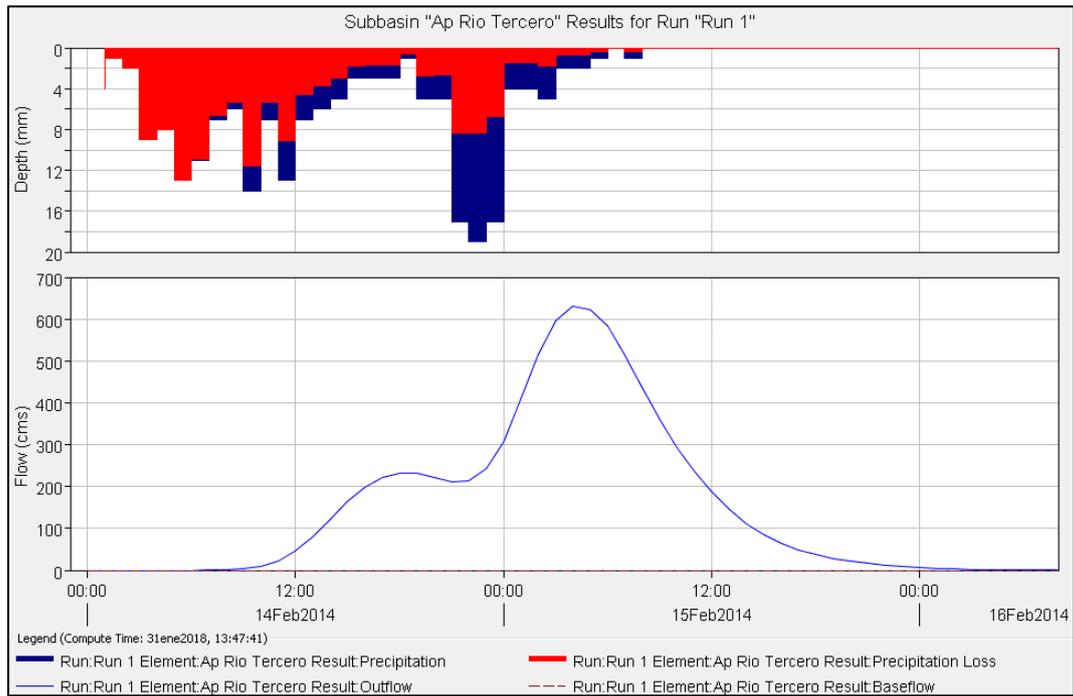


Figura AVI. 3.30. Gráfico de resultados de la modelación de la zona de aporte al embalse Río Tercero.

3.11 Zona de aporte al Embalse Cerro Pelado

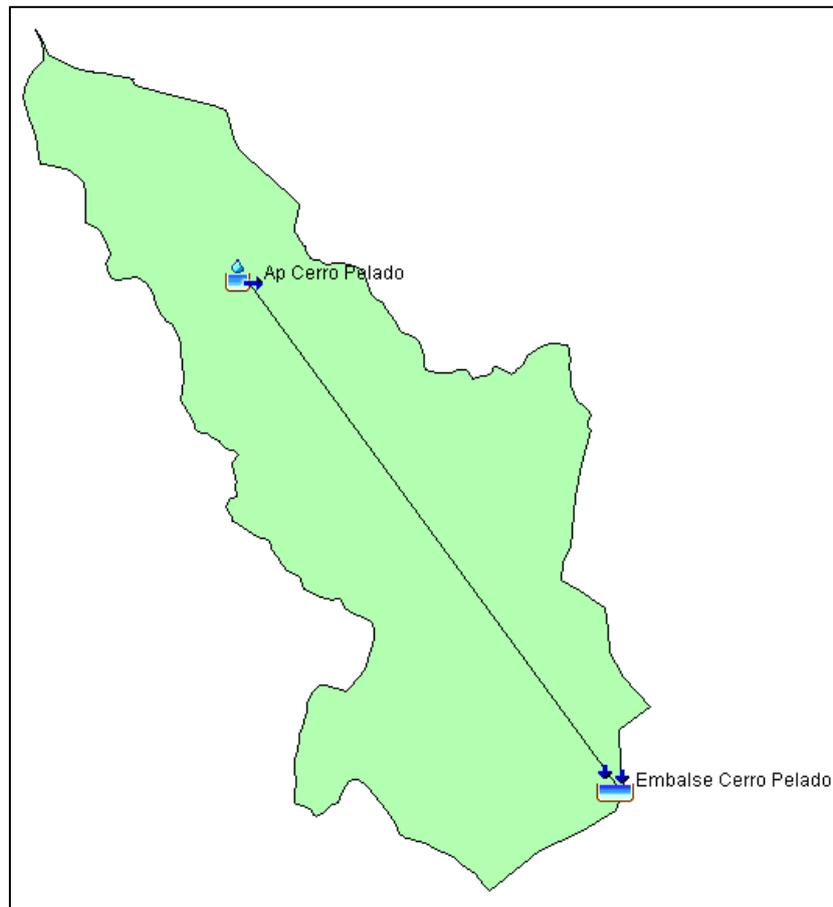


Figura AVI. 3.31. Esquema de modelación de la zona de aporte al embalse Cerro Pelado.

Project: Aporte Cerro Pelado Simulation Run: Run 1

Start of Run: 14feb2014, 00:00 Basin Model: Ap Cerro Pelado
 End of Run: 16feb2014, 08:00 Meteorologic Model: Met 1
 Compute Time: 31ene2018, 13:45:44 Control Specifications: Control 1

Show Elements: All Elements Volume Units: MM 1000 M3 Sorting: Hydrologic

Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (1000 M3)
Ap Cerro Pelado	7103	37,1	15feb2014, 02:00	1008,8
Embalse Cerro Pelado	7103	37,1	15feb2014, 02:00	1008,8

Figura AVI. 3.32. Tabla de resultados de la zona de aporte al embalse Cerro Pelado.

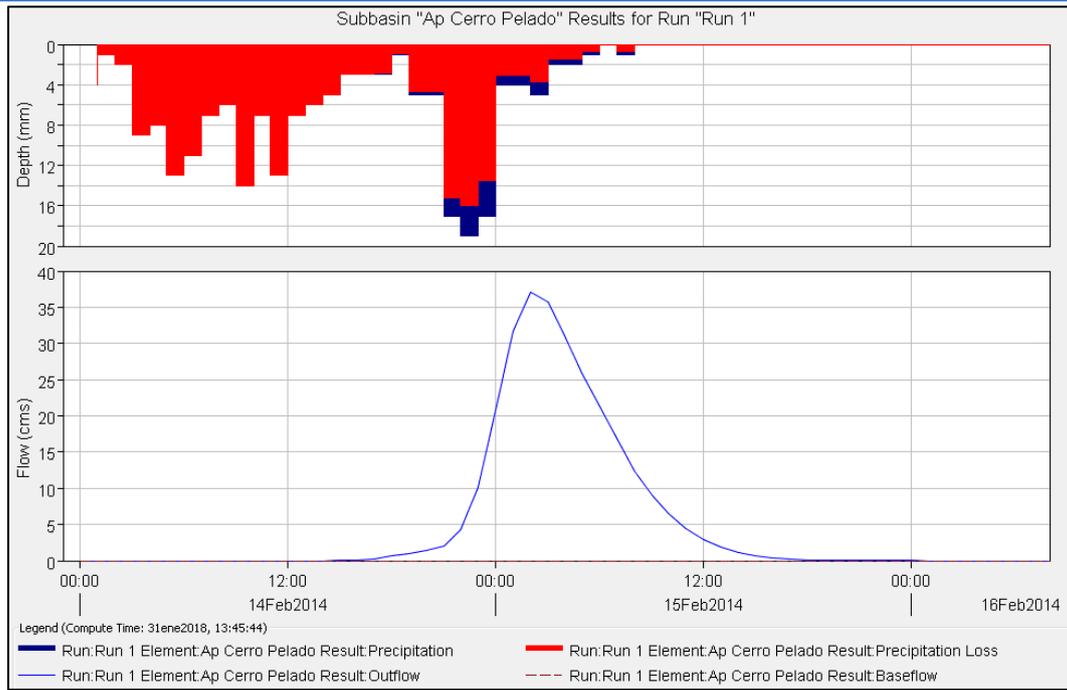


Figura AVI. 3.33. Gráfico de resultados de la modelación de la zona de aporte al embalse Cerro Pelado.

3.12 Zona de aporte al Embalse Piedras Moras

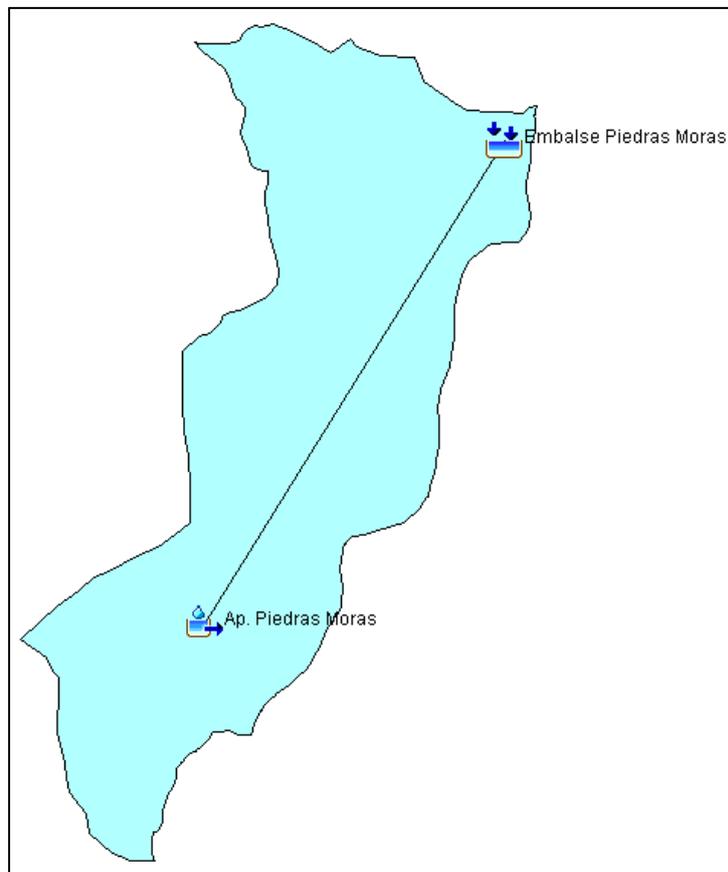


Figura AVI. 3.34. Esquema de modelación de la zona de aporte al embalse Piedras Moras.

Project: Piedras Moras Simulation Run: Run 1				
Start of Run: 14feb2014, 00:00		Basin Model: Aporte a Piedras Moras		
End of Run: 16feb2014, 08:00		Meteorologic Model: Met 1		
Compute Time: 31ene2018, 13:42:28		Control Specifications: Control 1		
Show Elements: All Elements	Volume Units: <input type="radio"/> MM <input checked="" type="radio"/> 1000 M3		Sorting: Hydrologic	
Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (1000 M3)
Ap. Piedras Moras	1358	246,1	15feb2014, 03:00	10453,5
Embalse Piedras Moras	1358	246,1	15feb2014, 03:00	10453,5

Figura AVI. 3.35. Tabla de resultados de la zona de aporte al embalse Piedras Moras.

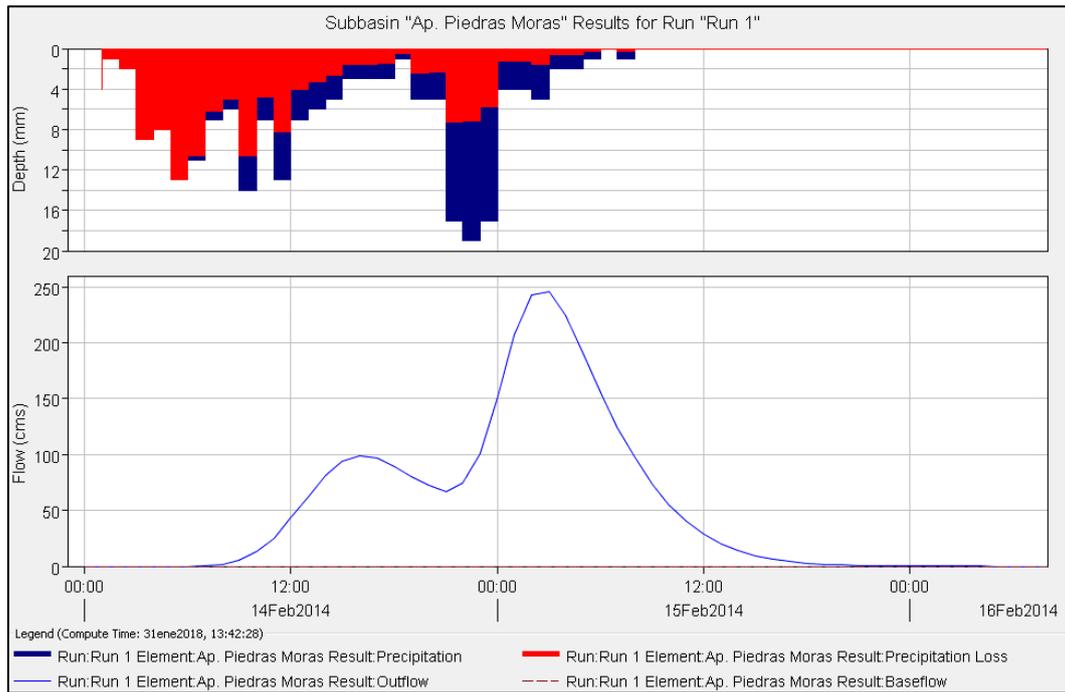


Figura AVI. 3.36. Gráfico de resultados de la modelación de la zona de aporte al embalse Piedras Moras

3.13 Zona de aporte al Embalse Ing. Reolín

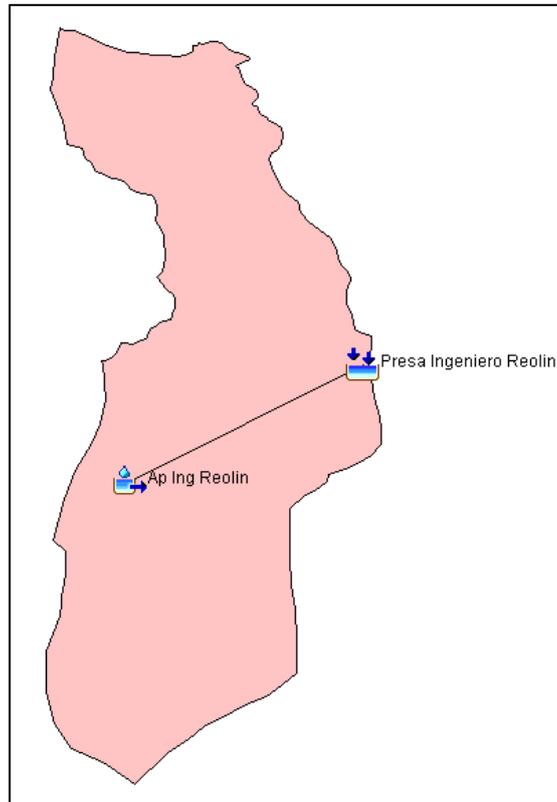


Figura AVI. 3.37. Esquema de modelación de la zona de aporte al embalse Ing. Reolín.

Project: Ing. Reolín Simulation Run: Run 1 Minimizar

Start of Run: 14feb2014, 00:00 Basin Model: Ing. Reolin
 End of Run: 16feb2014, 08:00 Meteorologic Model: Met 1
 Compute Time: 31ene2018, 13:40:37 Control Specifications: Control 1

Show Elements: All Elements Volume Units: MM 1000 M3 Sorting: Hydrologic

Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (1000 M3)
Ap Ing Reolin	12564	290,4	15feb2014, 01:00	9883,2
Presa Ingeniero Reolin	12564	290,4	15feb2014, 01:00	9883,2

Figura AVI. 3.38. Tabla de resultados de la zona de aporte al embalse Ing. Reolín.

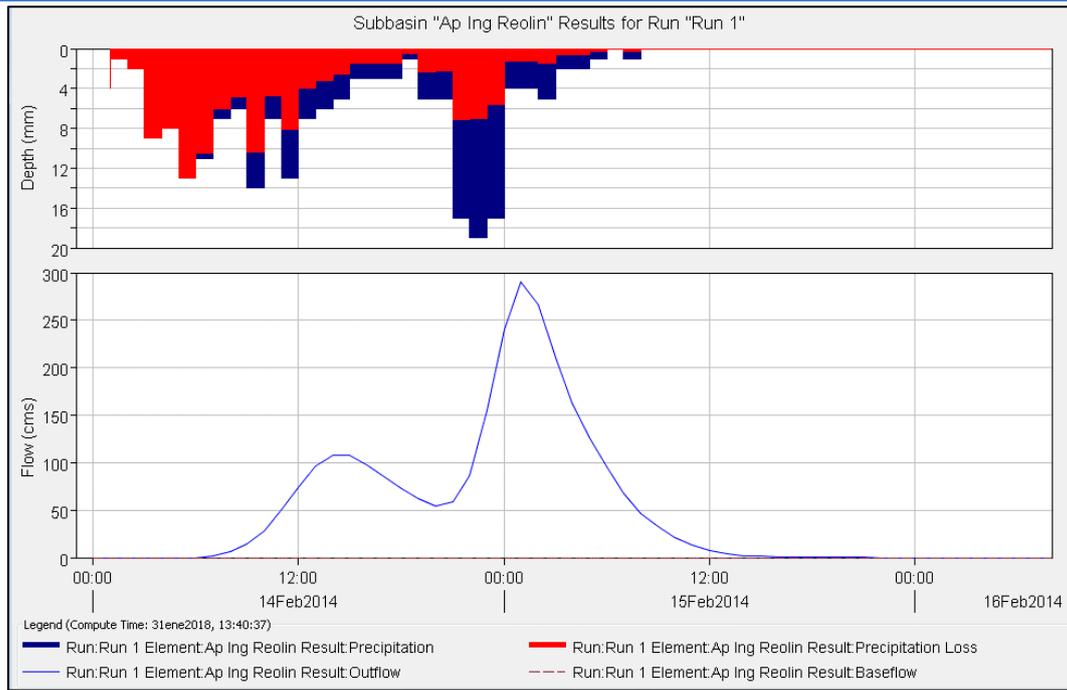


Figura AVI. 3.39. Gráfico de resultados de la modelación de la zona de aporte al embalse Ing. Reolín.

3.14 Zona de aporte al Embalse Ing. Cassafousth

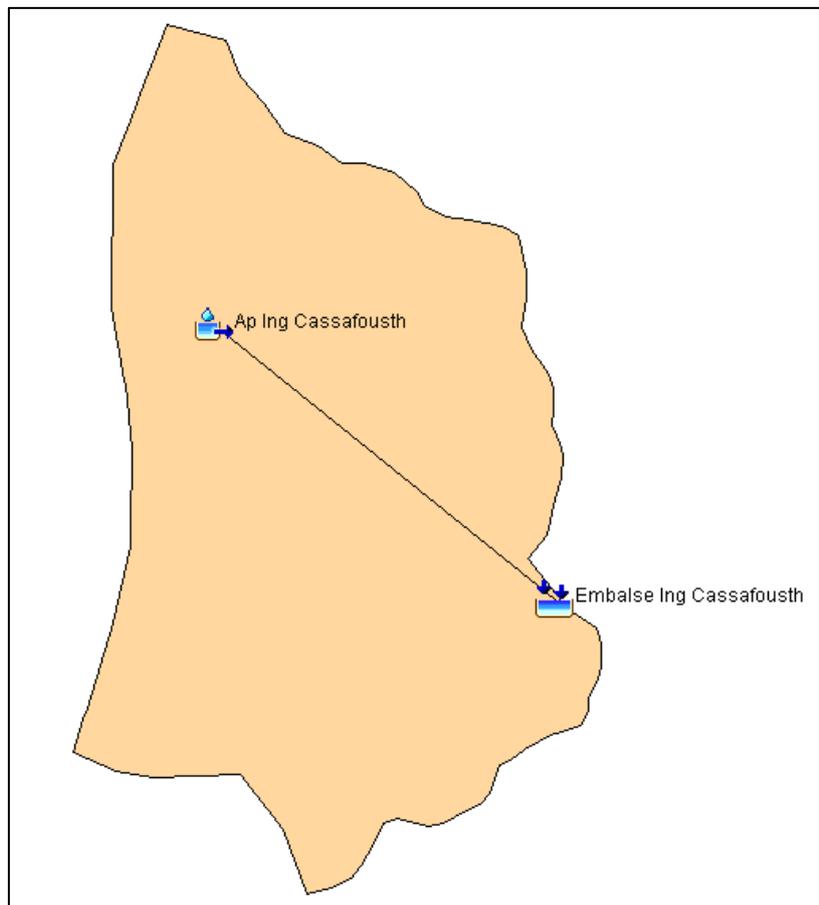


Figura AVI. 3.40. Esquema de modelación de la zona de aporte al embalse Ing. Cassafousth.

Project: Ing. Cassafouth Simulation Run: Run 1				
Start of Run: 14feb2014, 00:00		Basin Model: Ap Ing. Cassafouth		
End of Run: 16feb2014, 08:00		Meteorologic Model: Met 1		
Compute Time: 31ene2018, 13:36:58		Control Specifications: Control 1		
Show Elements: All Elements	Volume Units: <input type="radio"/> MM <input checked="" type="radio"/> 1000 M3		Sorting: Hydrologic	
Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (1000 M3)
Ap Ing Cassafouth	1488	24,8	15feb2014, 00:00	572,0
Embalse Ing Cassafouth	1488	24,8	15feb2014, 00:00	572,0

Figura AVI. 3.41. Tabla de resultados de la zona de aporte al embalse Ing. Cassafouth.

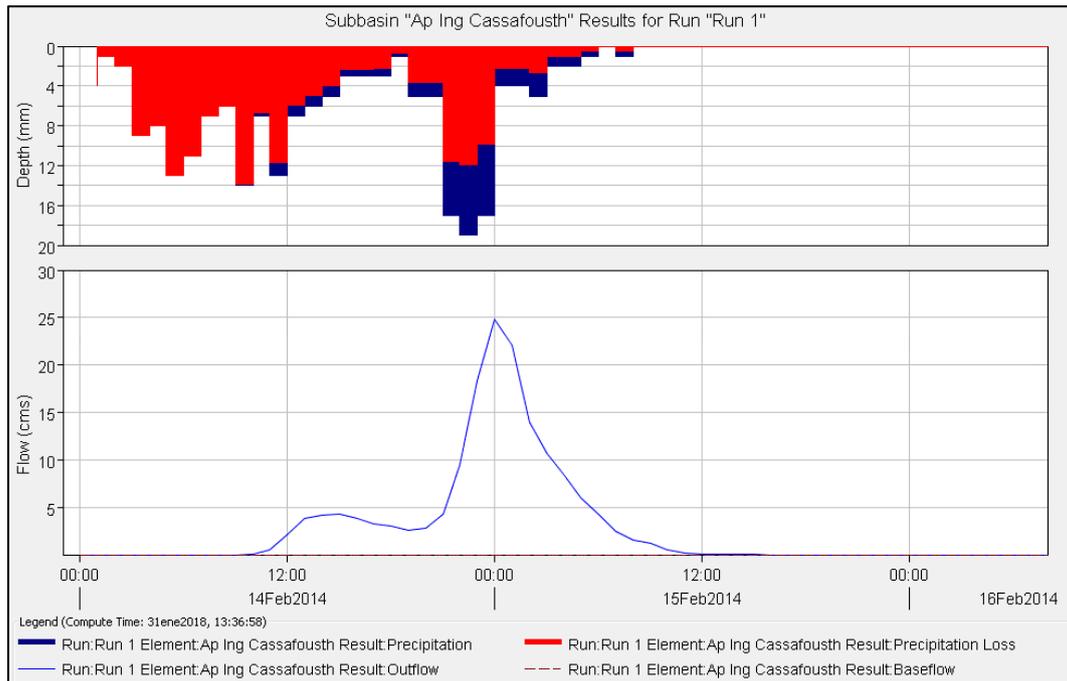


Figura AVI. 3.42. Gráfico de resultados de la modelación de la zona de aporte al embalse Ing. Cassafouth.

4 Resultados de la modelación - Cuenca Media-Baja

El esquema empleado para la modelación, considerando las tres subcuencas se presenta a continuación en la Figura AVI. 4.1.

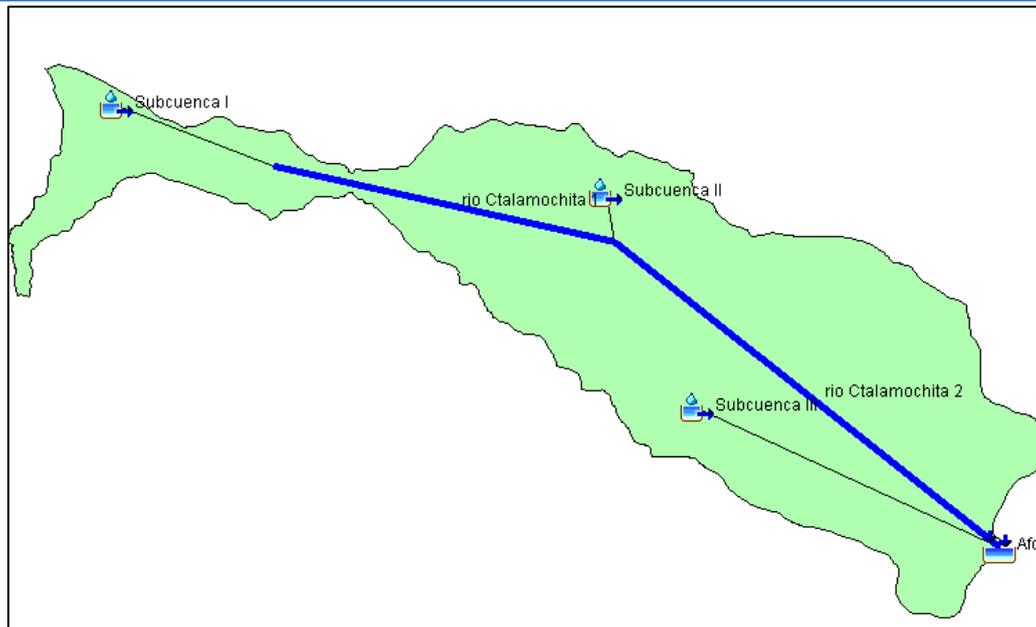


Figura AVI. 4.1. Esquema de modelación de la cuenca Media-Baja.

La tabla resumen de los resultados obtenidos en la cuenca media-baja se presenta en la Figura AVI. 4.2, mientras que los gráficos obtenidos en la modelación de las subcuencas I, II y III, se presentan en las Figura AVI. 4.3, Figura AVI. 4.4 y Figura AVI. 4.5, respectivamente. La Figura AVI. 4.56 presenta los resultados obtenidos en el punto de aforo.

Project: 5_CMB_217_CAA_2 Simulation Run: Run 1

Start of Run: 14feb2014, 00:00 Basin Model: Cuenca Media - Baja
 End of Run: 20feb2014, 00:00 Meteorologic Model: Met 1
 Compute Time: 01jul2019, 09:35:02 Control Specifications: Control 1

Show Elements: All Elements Volume Units: MM 1000 M3 Sorting: Hydrologic

Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (1000 M3)
Subcuenca II	2620	1047.86	15feb2014, 18:00	121252.07
Subcuenca I	1900	802.56	15feb2014, 17:00	87930.89
rio Ctalamochita 1	1900	793.89	15feb2014, 23:00	87873.67
Subcuenca III	2619.9	930.32	15feb2014, 21:00	121236.98
rio Ctalamochita 2	4520	1775.74	16feb2014, 01:00	208702.17
Aforo	7139.9	2684.03	16feb2014, 00:00	329939.15

Figura AVI. 4.2. Tabla de resumen resultados de la cuenca Media-Baja.

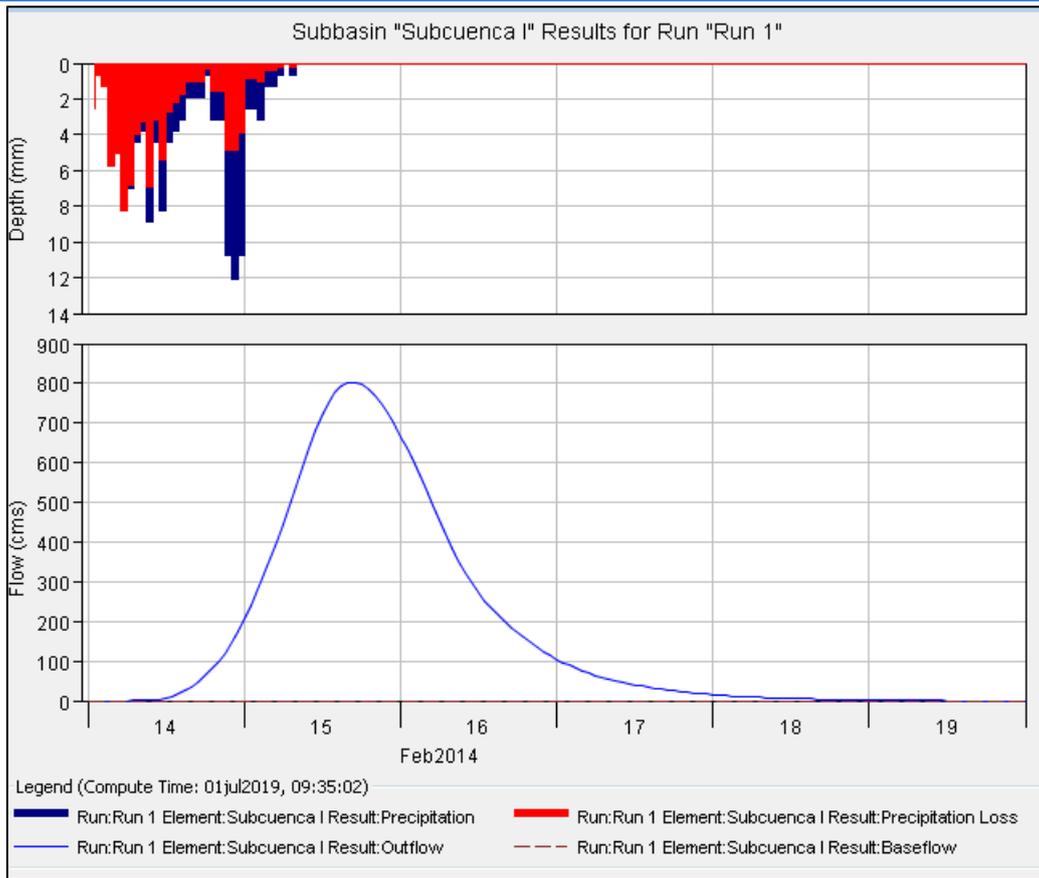


Figura AVI. 4.3. Gráfico de resultados de la modelación de subcuenca I.

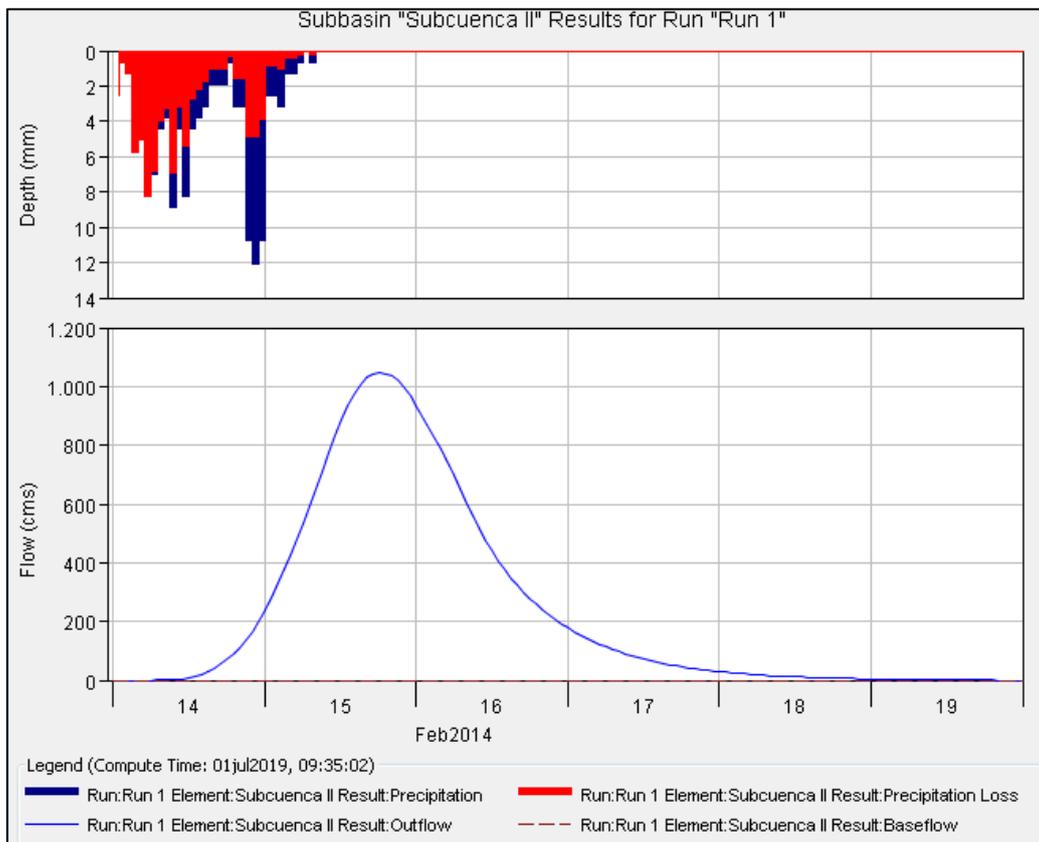


Figura AVI. 4.4. Gráfico de resultados de la modelación de subcuenca II.

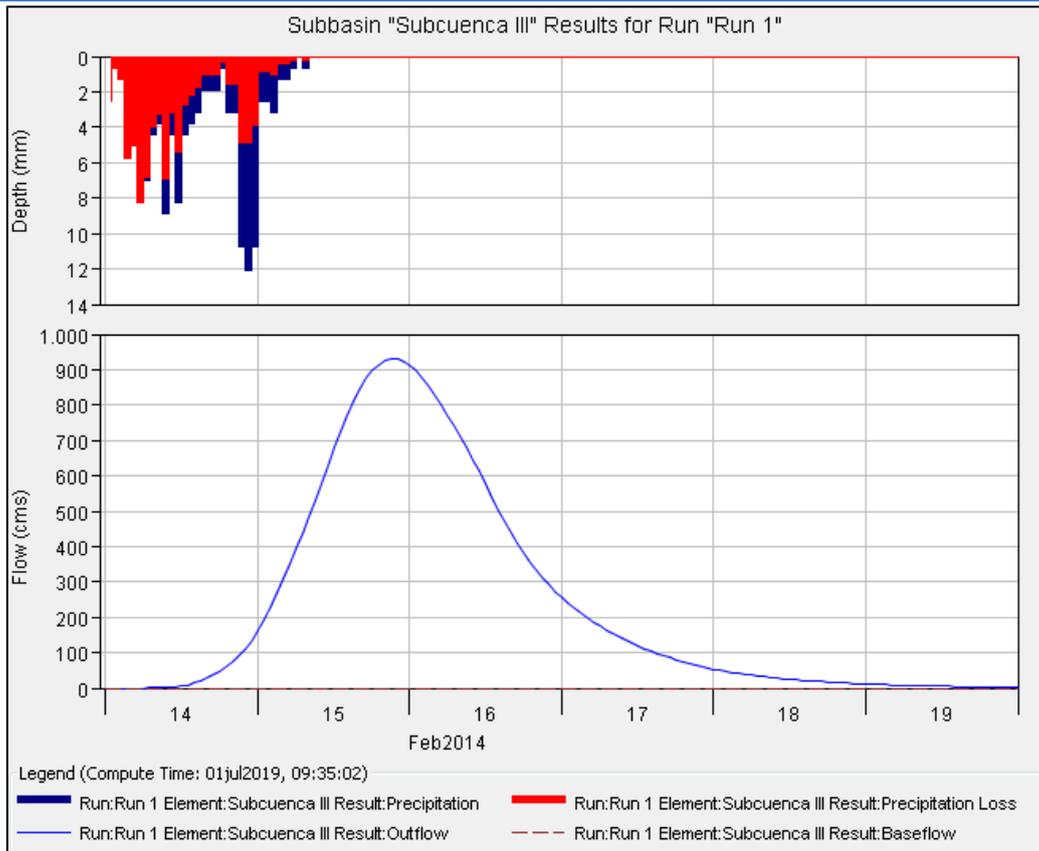


Figura AVI. 4.5. Gráfico de resultados de la modelación de subcuenca III.

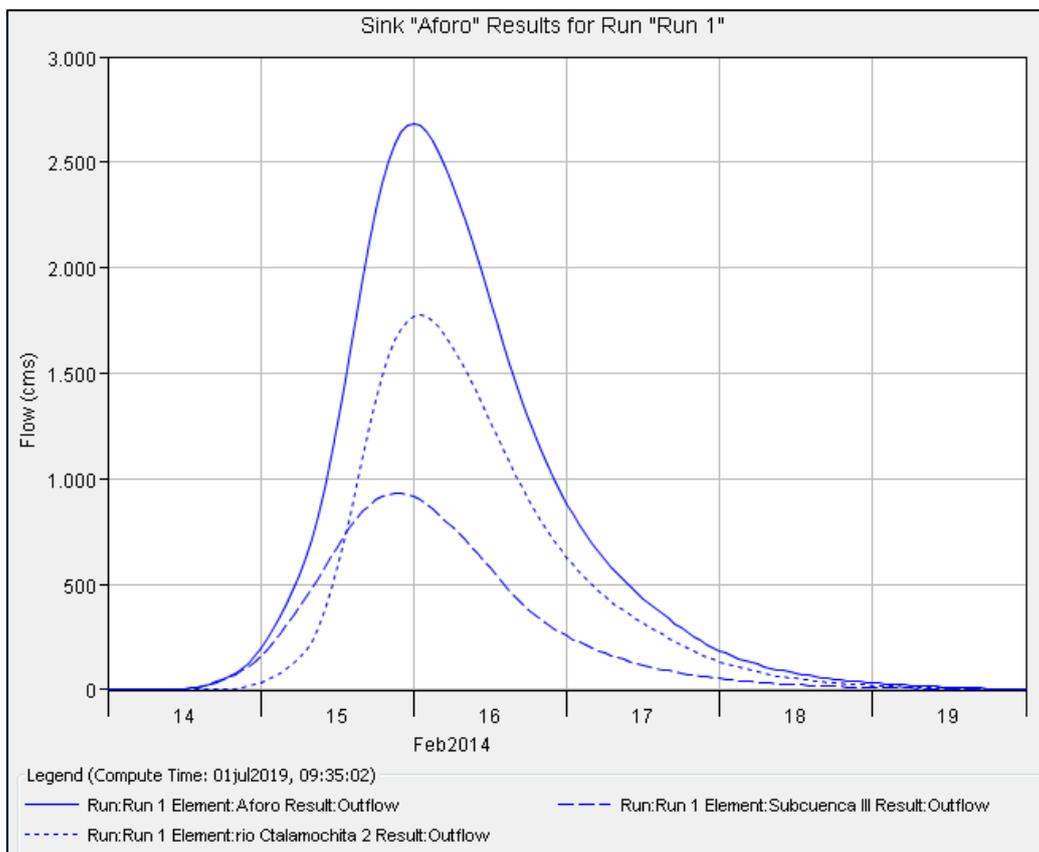


Figura AVI 4.6. Gráfico de resultados de la modelación en el Aforo.

ANEXO VII: MAPA FORESTAL DE LA PROVINCIA DE CÓRDOBA

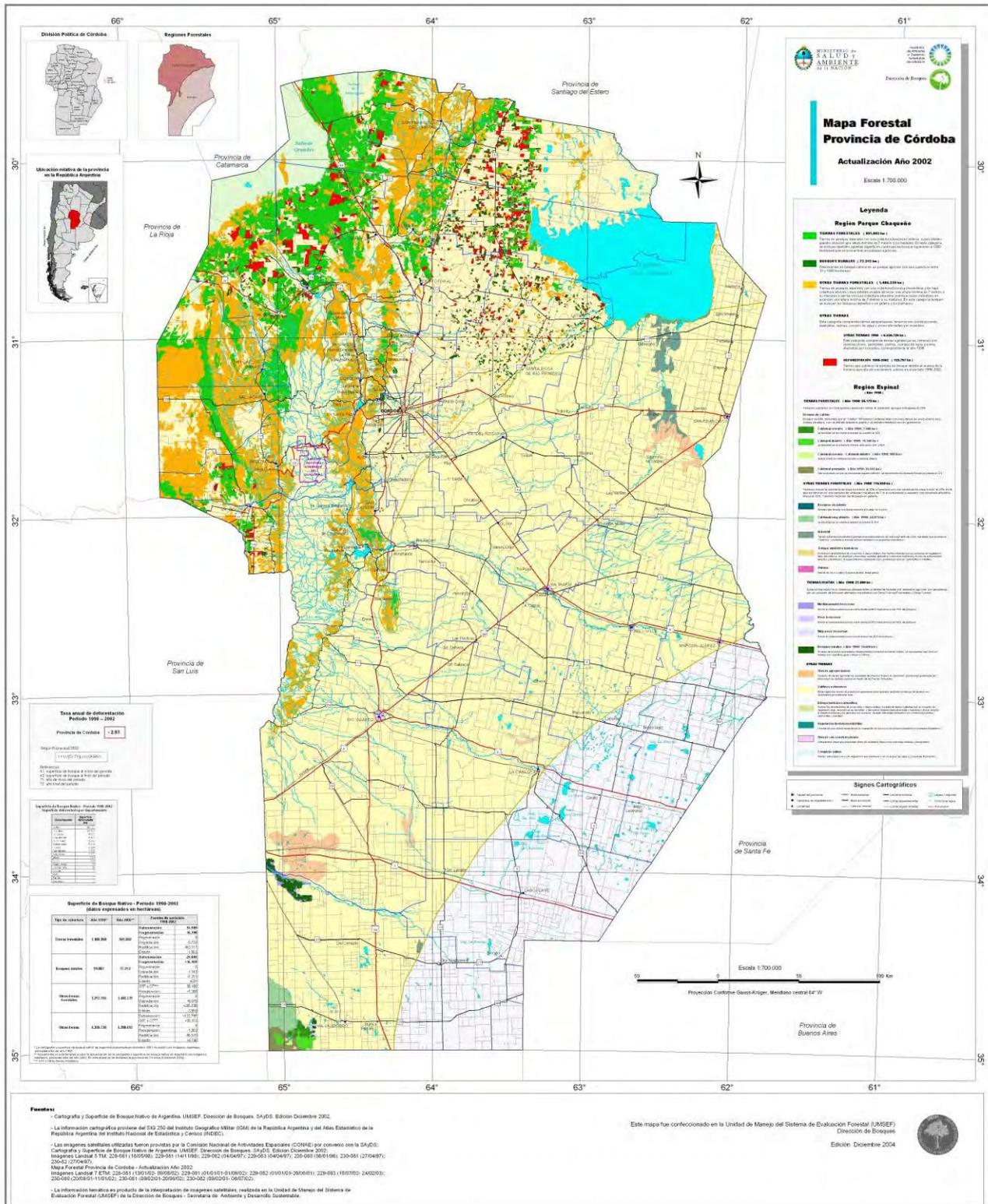


Figura AVII.0.1. Mapa Forestal de la Provincia de Córdoba. Fuente: Secretaria de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación.

ANEXO VIII: INDICADOR RELACIÓN USLE-EVI

Contenido

1	USLE Potencial	- 266 -
2	Relación EVI – USLE	- 266 -

1 USLE Potencial

El presente anexo expone la tabulación cruzada obtenida para cada mes, entre EVI y la erosión hídrica máxima, presentada en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..** La Figura AVIII. 1.1 presen la USLE potencial reclasificada empleada en la tabulación cruzada.

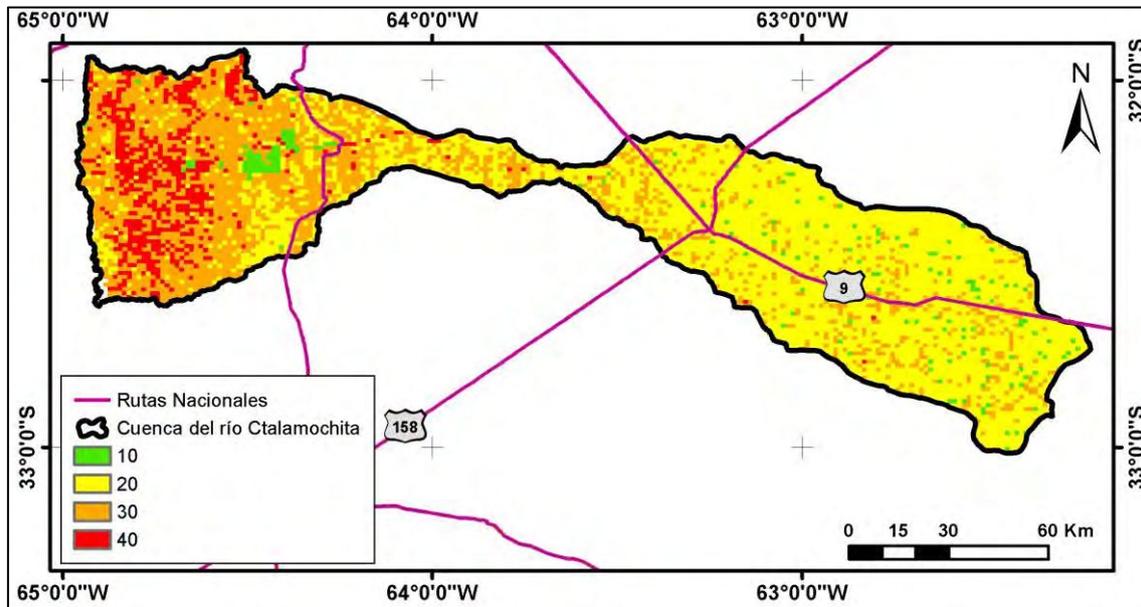


Figura AVIII. 1.1. USLE potencial reclasificado. Fuente: Elaboración propia.

2 Relación EVI – USLE

Las siguientes figuras expone el cruzamiento de los mapas de estado y tipo de la cobertura del suelo (EVI) y la erosión potencial (USLE potencial).

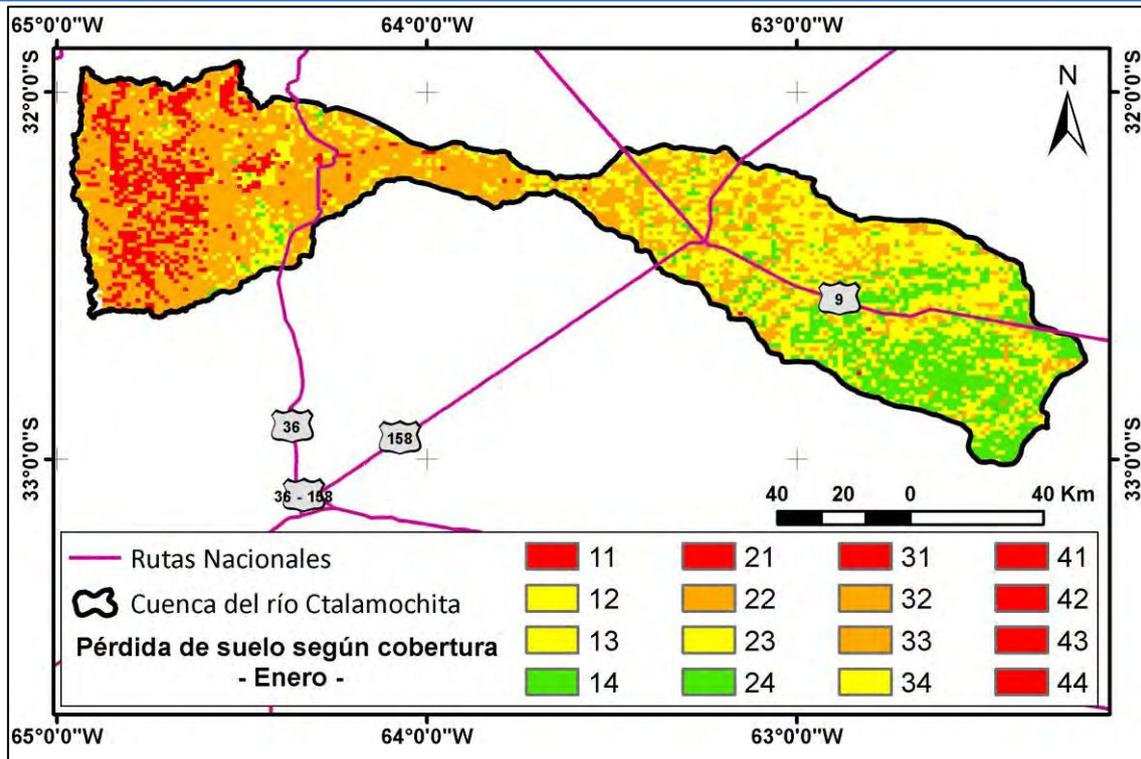


Figura AVIII 2.1. Tabulación cruzada EVI-USLE potencia, para enero de 2014. Fuente: Elaboración propia.

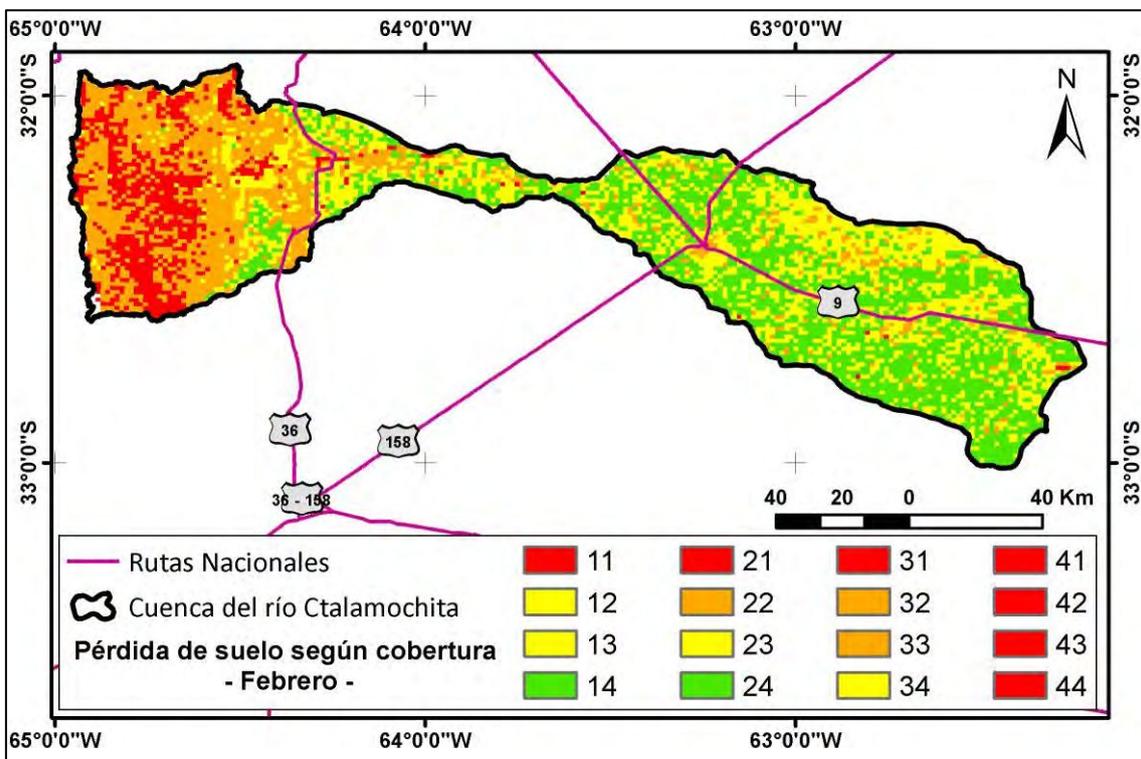


Figura AVIII 2.2. Tabulación cruzada EVI-USLE potencia, para febrero de 2014. Fuente: Elaboración propia.

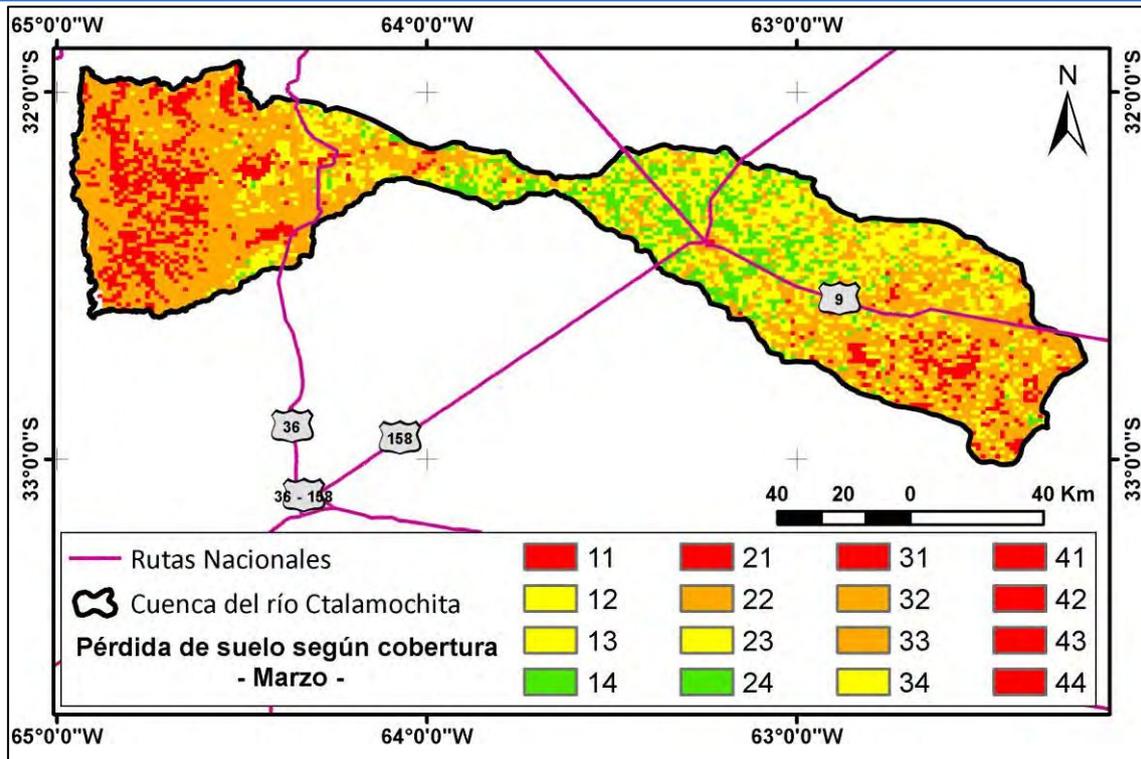


Figura AVIII 2.3 Tabulación cruzada EVI-USLE potencia, para marzo de 2014. Fuente: Elaboración propia.

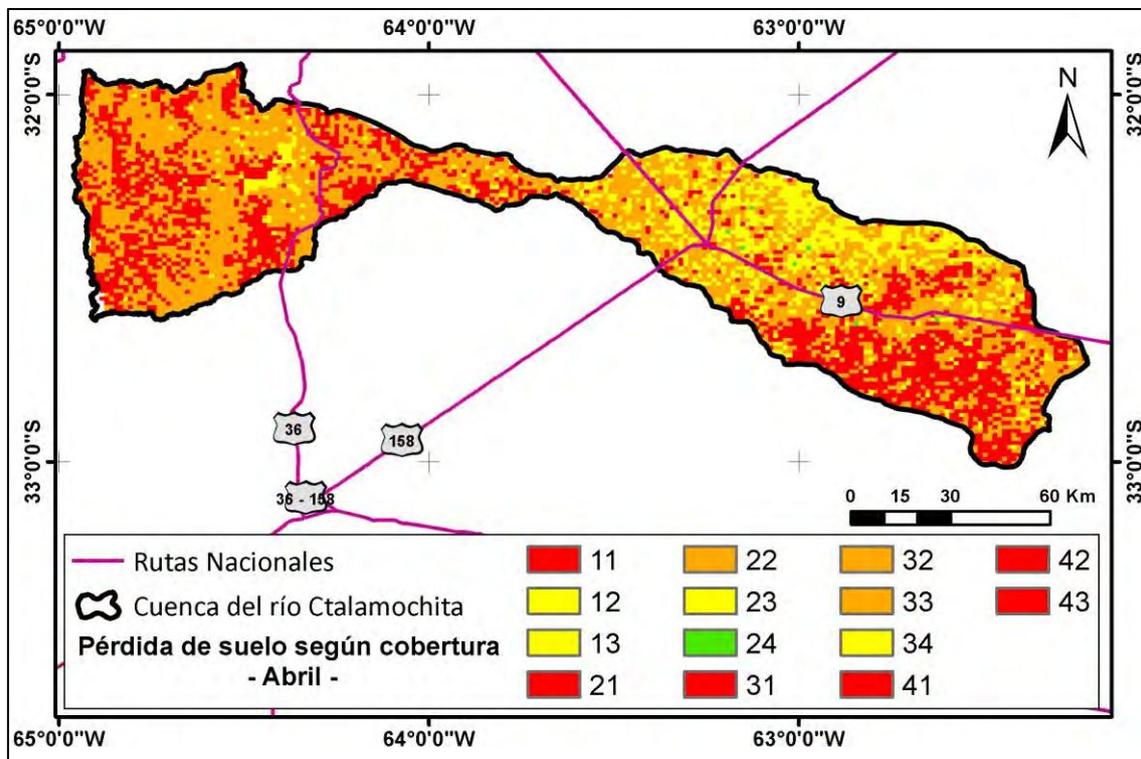


Figura AVIII 2.4 Tabulación cruzada EVI-USLE potencia, para abril de 2014. Fuente: Elaboración propia.

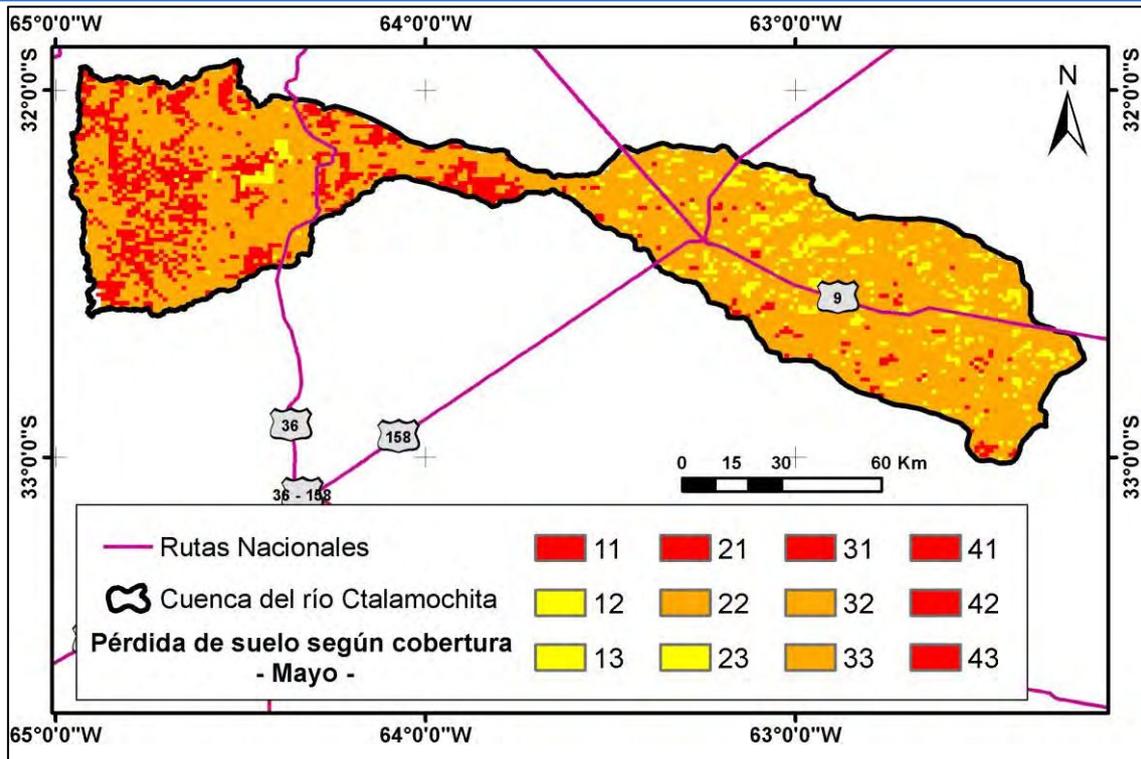


Figura AVIII 2.5 Tabulación cruzada EVI-USLE potencia, para mayo de 2014. Fuente: Elaboración propia.

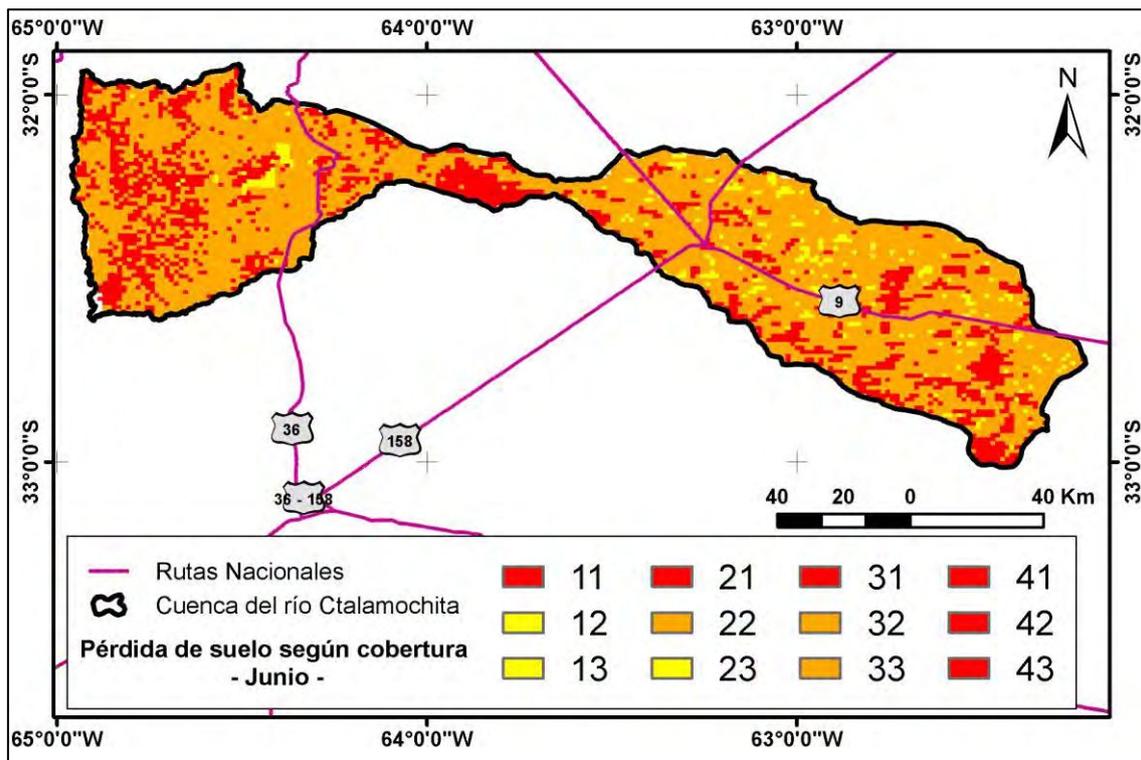


Figura AVIII 2.6 Tabulación cruzada EVI-USLE potencia, para junio de 2014. Fuente: Elaboración propia.

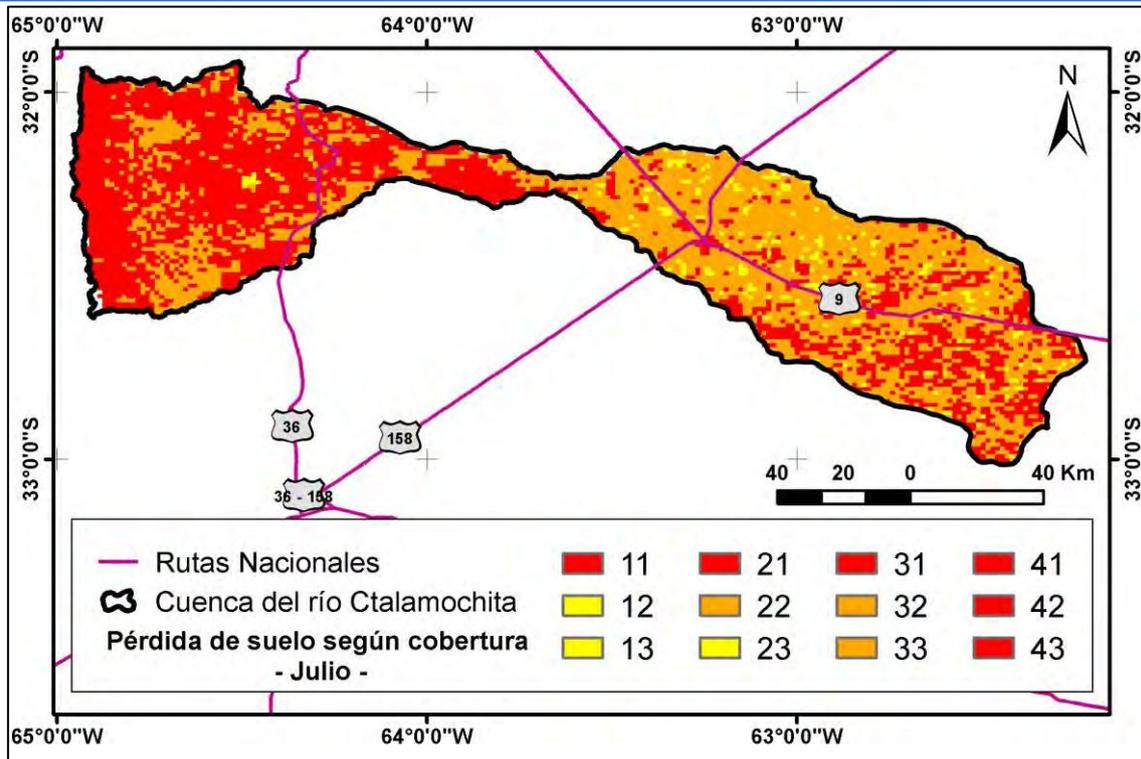


Figura AVIII 2.7 Tabulación cruzada EVI-USLE potencia, para julio de 2014. Fuente: Elaboración propia.

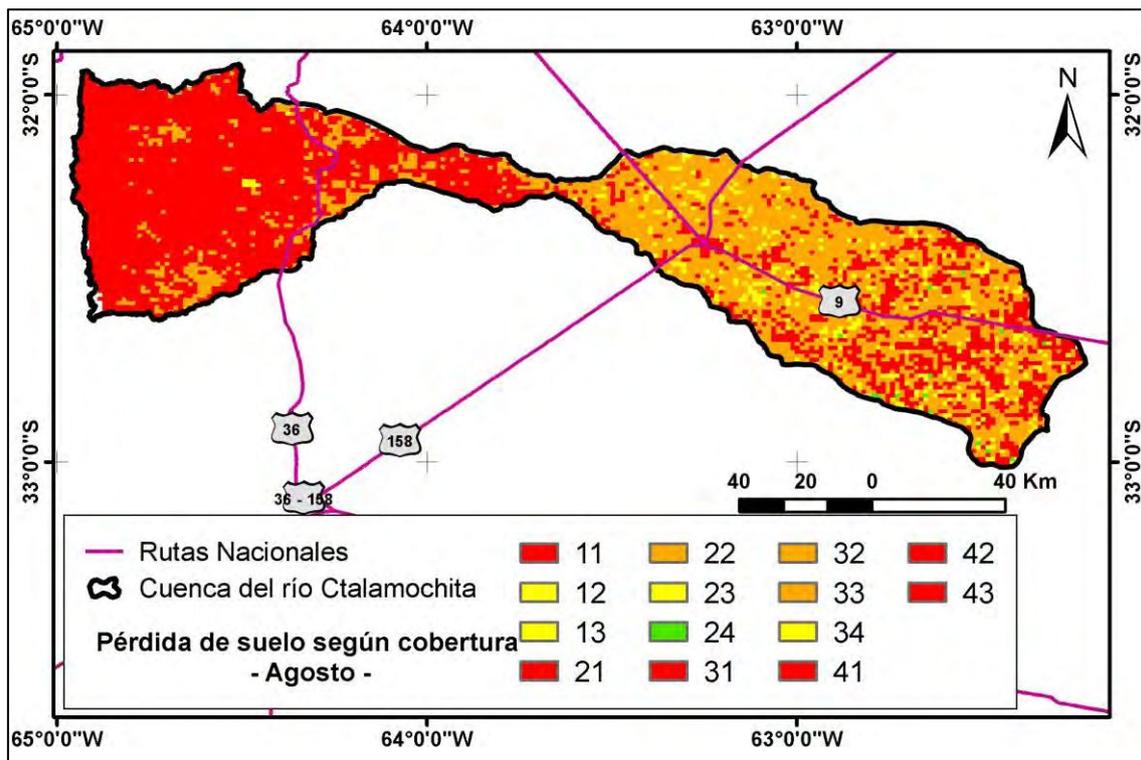


Figura AVIII 2.8 Tabulación cruzada EVI-USLE potencia, para agosto de 2014. Fuente: Elaboración propia.

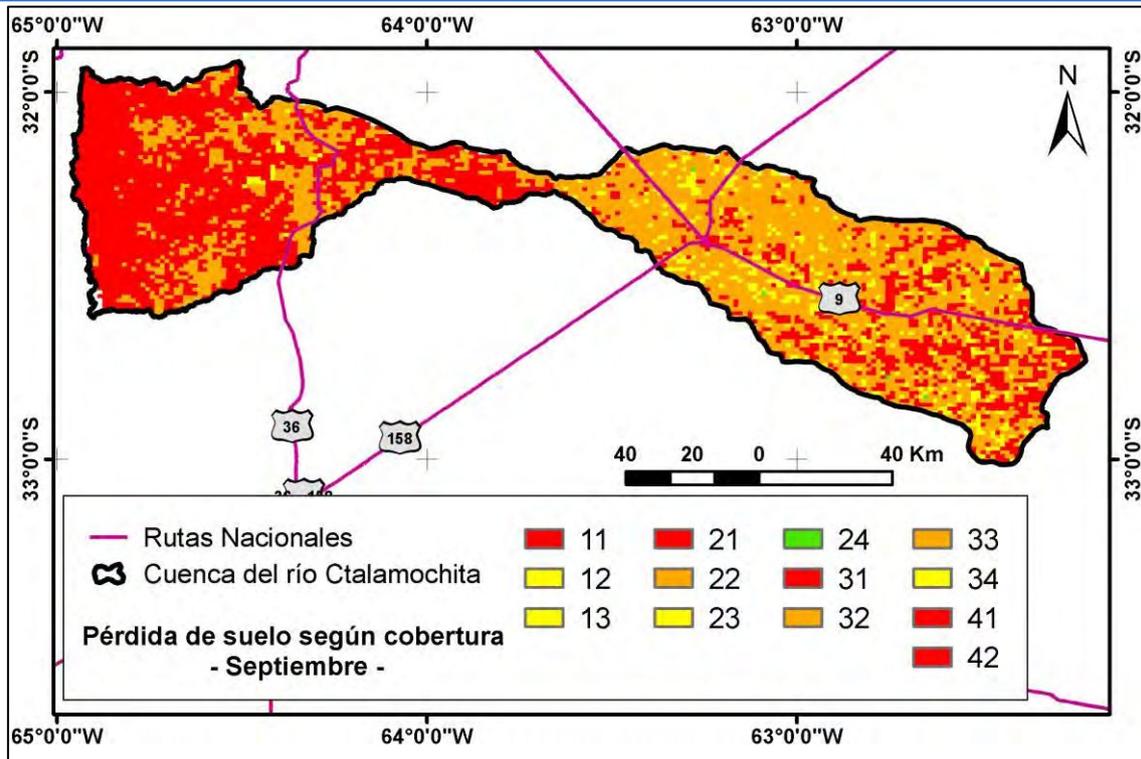


Figura AVIII 2.9 Tabulación cruzada EVI-USLE potencia, para septiembre de 2014. Fuente: Elaboración propia.

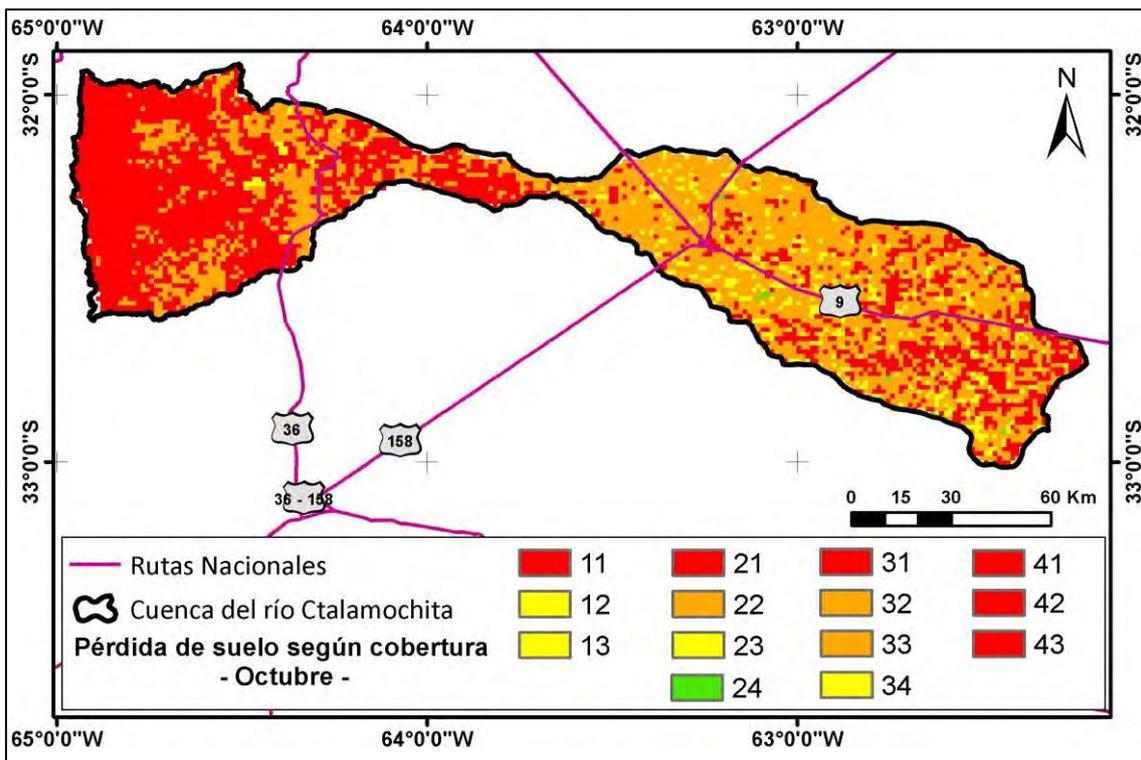


Figura AVIII 2.10 Tabulación cruzada EVI-USLE potencia, para octubre de 2014. Fuente: Elaboración propia.

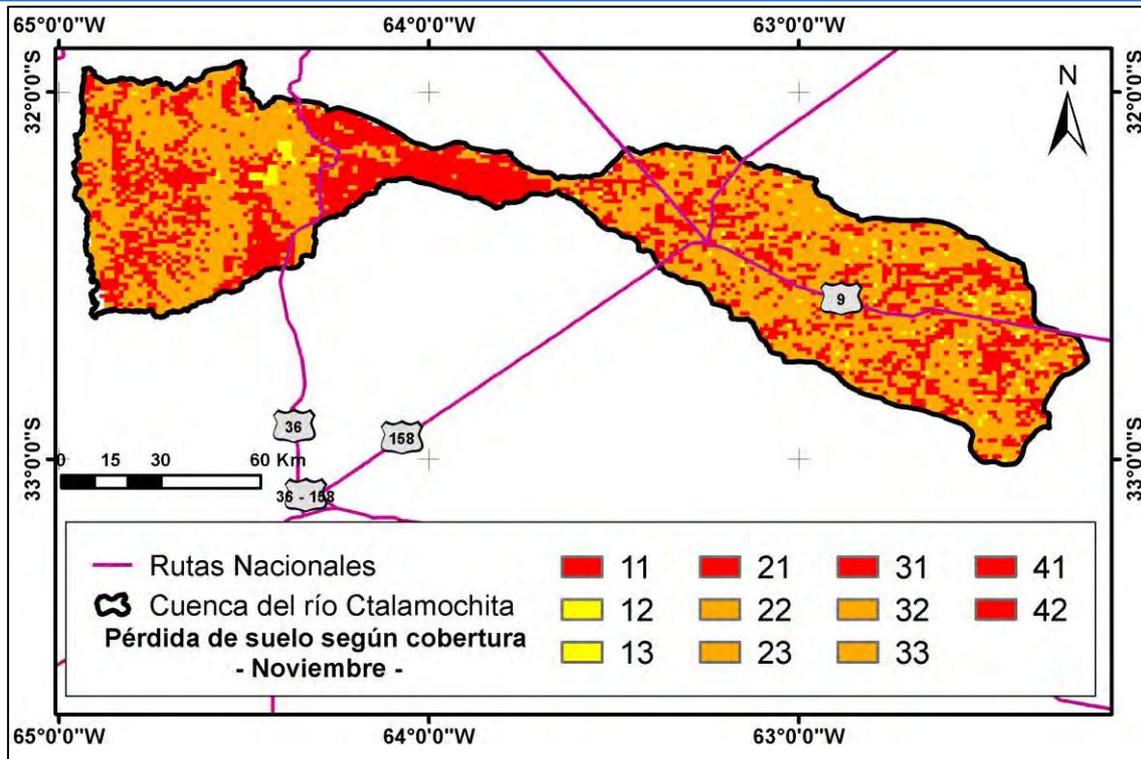


Figura AVIII 2.11 Tabulación cruzada EVI-USLE potencia, para noviembre de 2014. Fuente: Elaboración propia.

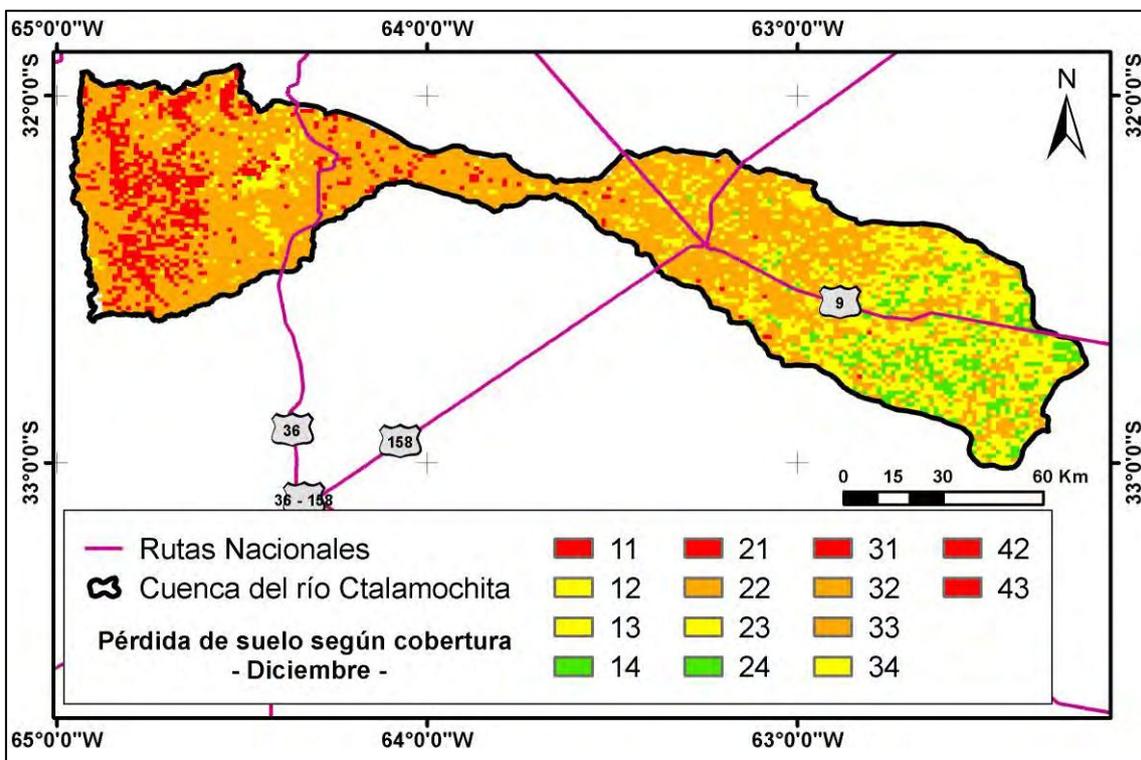


Figura AVIII 2.12 Tabulación cruzada EVI-USLE potencia, para diciembre de 2014. Fuente: Elaboración propia.

ANEXO IX: MODELACIÓN PARA NIVELES DE RIESGO

Contenido

1	Modelación con HEC-HMS.....	- 275 -
2	Parámetros para la modelación	- 275 -
3	Resultados de la modelación – Precipitación 18 mm.....	- 278 -
3.1	Subcuenca del Río Grande	- 278 -
3.2	Subcuenca del Río Santa Rosa.....	- 279 -
3.3	Subcuenca del Río Quillinzo	- 281 -
3.4	Subcuenca del Río De La Cruz	- 282 -
3.5	Subcuenca del Arroyo Soconcho.....	- 284 -
3.6	Subcuenca Arroyo De Lutti.....	- 285 -
3.7	Subcuenca Arroyo San Antonio.....	- 287 -
3.8	Subcuenca Arroyo Amboy.....	- 288 -
3.9	Zona de aporte al Embalse Compensador Arroyo Corto	- 290 -
3.10	Zona de aporte al Embalse Río Tercero	- 292 -
3.11	Zona de aporte al Embalse Cerro Pelado	- 294 -
3.12	Zona de aporte al Embalse Piedras Moras.....	- 295 -
3.13	Zona de aporte al Embalse Ing. Reolín.....	- 297 -
3.14	Zona de aporte al embalse Ing. Cassafousth.....	- 299 -
3.15	Cuenca media-baja.....	- 300 -
4	Resultados de la modelación – Precipitación 75 mm.....	- 303 -
4.1	Subcuenca del Río Grande	- 303 -
4.2	Subcuenca del Río Santa Rosa.....	- 304 -
4.3	Subcuenca del Río Quillinzo	- 305 -
4.4	Subcuenca del Río De La Cruz	- 306 -
4.5	Subcuenca del Arroyo Soconcho.....	- 307 -
4.6	Subcuenca Arroyo De Lutti.....	- 308 -

4.7	Subcuenca Arroyo San Antonio.....	- 309 -
4.8	Subcuenca Arroyo Amboy.....	- 310 -
4.9	Zona de aporte al Embalse Compensador Arroyo Corto	- 310 -
4.10	Zona de aporte al Embalse Río Tercero	- 311 -
4.11	Zona de aporte al Embalse Cerro Pelado	- 312 -
4.12	Zona de aporte al Embalse Piedras Moras.....	- 313 -
4.13	Zona de aporte al Embalse Ing. Reolín.....	- 314 -
4.14	Zona de aporte al embalse Ing. Cassafousth.....	- 315 -
4.15	Cuenca media-baja.....	- 316 -
5	Resultados de la modelación – Precipitación 118 mm.....	- 318 -
5.1	Subcuenca del Río Grande	- 318 -
5.2	Subcuenca del Río Santa Rosa.....	- 319 -
5.3	Subcuenca del Río Quillinzo	- 320 -
5.4	Subcuenca del Río De La Cruz	- 321 -
5.5	Subcuenca del Arroyo Soconcho.....	- 322 -
5.6	Subcuenca Arroyo De Lutti.....	- 323 -
5.7	Subcuenca Arroyo San Antonio.....	- 324 -
5.8	Subcuenca Arroyo Amboy.....	- 325 -
5.9	Zona de aporte al Embalse Compensador Arroyo Corto	- 326 -
5.10	Zona de aporte al Embalse Río Tercero	- 327 -
5.11	Zona de aporte al Embalse Cerro Pelado	- 328 -
5.12	Zona de aporte al Embalse Piedras Moras.....	- 329 -
5.13	Zona de aporte al Embalse Ing. Reolín.....	- 330 -
5.14	Zona de aporte al embalse Ing. Cassafousth.....	- 331 -
5.15	Cuenca media-baja.....	- 332 -

1 Modelación con HEC-HMS

La modelación de las subcuencas y zonas de aporte se realizó empleando la misma metodología que la expresada en el capítulo 2.3.2, mediante el uso del software HEC-HMS 4.2, diseñado por el Centro de Ingeniería Hidrológica del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de EEUU. Las subcuencas y zonas de aporte modeladas son las mismas a las modeladas en el capítulo 3.3.2 y se encuentran ubicadas dentro de la cuenca del río Ctalamochita, como se presentan en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

2 Parámetros para la modelación

Se emplearon para la modelación de las mismas secciones de los cauces presentadas en el Anexo V. Los parámetros morfométricos usados en las subcuencas son los presentados en el Capítulo 3.1.2.1 Caracterización Morfométrica y en el Anexo VI, teniendo las mismas consideraciones de diseño adoptadas en dicho anexo.

En cuanto a los eventos de precipitación adoptados, se consideraron tres nuevas precipitaciones. Como evento de mínimo impacto se consideró una media de las precipitaciones ocurridas en la cuenca durante los últimos 20 años. Mientras que como evento de medio impacto, se consideró el promedio entre las precipitaciones correspondientes al evento de máximo y de mínimo impacto.

La distribución diaria de dichos eventos se mantuvo como el que fue registrado el 14 de febrero de 2014. Los valores horarios de lluvia se presentan en la Tabla AIX. 2.1

Horas	Precipitación 217 mm		Precipitación 118 mm		Precipitación 75 mm		Precipitación 20 mm	
	mm	mm acum.	mm	mm acum.	mm	mm acum.	mm	mm acum.
0	12,00	12,00	6,57	6,57	4,15	4,15	1,00	1,00
1	4,00	16,00	2,19	8,76	1,38	5,53	0,33	1,33
2	1,00	17,00	0,55	9,30	0,35	5,88	0,08	1,41
3	2,00	19,00	1,09	10,40	0,69	6,57	0,17	1,58
4	9,00	28,00	4,93	15,32	3,11	9,68	0,75	2,32
5	8,00	36,00	4,38	19,70	2,76	12,44	0,66	2,99
6	13,00	49,00	7,11	26,82	4,49	16,94	1,08	4,06
7	11,00	60,00	6,02	32,84	3,80	20,74	0,91	4,98
8	7,00	67,00	3,83	36,67	2,42	23,16	0,58	5,56
9	6,00	73,00	3,28	39,95	2,07	25,23	0,50	6,06
10	14,00	87,00	7,66	47,62	4,84	30,07	1,16	7,22
11	7,00	94,00	3,83	51,45	2,42	32,49	0,58	7,80
12	13,00	107,00	7,11	58,56	4,49	36,98	1,08	8,88
13	7,00	114,00	3,83	62,39	2,42	39,40	0,58	9,46
14	6,00	120,00	3,28	65,68	2,07	41,47	0,50	9,95
15	5,00	125,00	2,74	68,41	1,73	43,20	0,41	10,37
16	3,00	128,00	1,64	70,06	1,04	44,24	0,25	10,62
17	3,00	131,00	1,64	71,70	1,04	45,28	0,25	10,87
18	3,00	134,00	1,64	73,34	1,04	46,31	0,25	11,12
19	1,00	135,00	0,55	73,89	0,35	46,66	0,08	11,20
20	5,00	140,00	2,74	76,62	1,73	48,39	0,41	11,61
21	5,00	145,00	2,74	79,36	1,73	50,12	0,41	12,03
22	17,00	162,00	9,30	88,66	5,88	55,99	1,41	13,44
23	19,00	181,00	10,40	99,06	6,57	62,56	1,58	15,01
0	17,00	198,00	9,30	108,37	5,88	68,43	1,41	16,42
1	4,00	202,00	2,19	110,56	1,38	69,82	0,33	16,76
2	4,00	206,00	2,19	112,74	1,38	71,20	0,33	17,09
3	5,00	211,00	2,74	115,48	1,73	72,93	0,41	17,50
4	2,00	213,00	1,09	116,58	0,69	73,62	0,17	17,67
5	2,00	215,00	1,09	117,67	0,69	74,31	0,17	17,83
6	1,00	216,00	0,55	118,22	0,35	74,65	0,08	17,92
7	0,00	216,00	0,00	118,22	0,00	74,65	0,00	17,92
8	1,00	217,00	0,55	118,77	0,35	75,00	0,08	18,00

Tabla AIX. 2.1. Precipitaciones empeladas en las modelaciones de la cuenca Alta.

En cuento a los valores de precipitación empleados en la modelación de la cuenca Media-Baja, afectaron por el Coeficiente de Abatimiento de Área calculado en el Capítulo 3.3.2. La Tabla AIX. 2.2 presenta los valores empleados en las distintas modelaciones de la cuenca Media-baja.

Horas	Precipitación 217 mm		Precipitación 118 mm		Precipitación 75 mm		Precipitación 20 mm	
	mm	mm acum.	mm	mm acum.	mm	mm acum.	mm	mm acum.
0	7,61	7,61	4,16	4,16	2,63	2,63	0,63	0,63
1	2,54	10,14	1,39	5,55	0,88	3,50	0,21	0,84
2	0,63	10,77	0,35	5,90	0,22	3,72	0,05	0,89
3	1,27	12,04	0,69	6,59	0,44	4,16	0,11	1,00
4	5,70	17,75	3,12	9,71	1,97	6,13	0,47	1,47
5	5,07	22,82	2,78	12,49	1,75	7,89	0,42	1,89
6	8,24	31,06	4,51	17,00	2,85	10,73	0,68	2,58
7	6,97	38,03	3,82	20,81	2,41	13,14	0,58	3,15
8	4,44	42,46	2,43	23,24	1,53	14,68	0,37	3,52
9	3,80	46,27	2,08	25,32	1,31	15,99	0,32	3,84
10	8,87	55,14	4,86	30,18	3,07	19,06	0,74	4,57
11	4,44	59,58	2,43	32,61	1,53	20,59	0,37	4,94
12	8,24	67,82	4,51	37,12	2,85	23,44	0,68	5,63
13	4,44	72,25	2,43	39,54	1,53	24,97	0,37	5,99
14	3,80	76,06	2,08	41,63	1,31	26,29	0,32	6,31
15	3,17	79,23	1,73	43,36	1,10	27,38	0,26	6,57
16	1,90	81,13	1,04	44,40	0,66	28,04	0,16	6,73
17	1,90	83,03	1,04	45,44	0,66	28,70	0,16	6,89
18	1,90	84,93	1,04	46,48	0,66	29,35	0,16	7,04
19	0,63	85,56	0,35	46,83	0,22	29,57	0,05	7,10
20	3,17	88,73	1,73	48,56	1,10	30,67	0,26	7,36
21	3,17	91,90	1,73	50,30	1,10	31,76	0,26	7,62
22	10,77	102,68	5,90	56,20	3,72	35,49	0,89	8,52
23	12,04	114,72	6,59	62,79	4,16	39,65	1,00	9,52
0	10,77	125,49	5,90	68,68	3,72	43,37	0,89	10,41
1	2,54	128,03	1,39	70,07	0,88	44,25	0,21	10,62
2	2,54	130,56	1,39	71,46	0,88	45,13	0,21	10,83
3	3,17	133,73	1,73	73,19	1,10	46,22	0,26	11,09
4	1,27	135,00	0,69	73,89	0,44	46,66	0,11	11,20
5	1,27	136,27	0,69	74,58	0,44	47,10	0,11	11,30
6	0,63	136,90	0,35	74,93	0,22	47,32	0,05	11,36
7	0,00	136,90	0,00	74,93	0,00	47,32	0,00	11,36
8	0,63	137,54	0,35	75,27	0,22	47,54	0,05	11,41

Tabla AIX. 2.2. . Precipitaciones empeladas en las modelaciones de la cuenca Media-Baja.

3 Resultados de la modelación - Precipitación 20 mm

3.1 Subcuenca del Río Grande

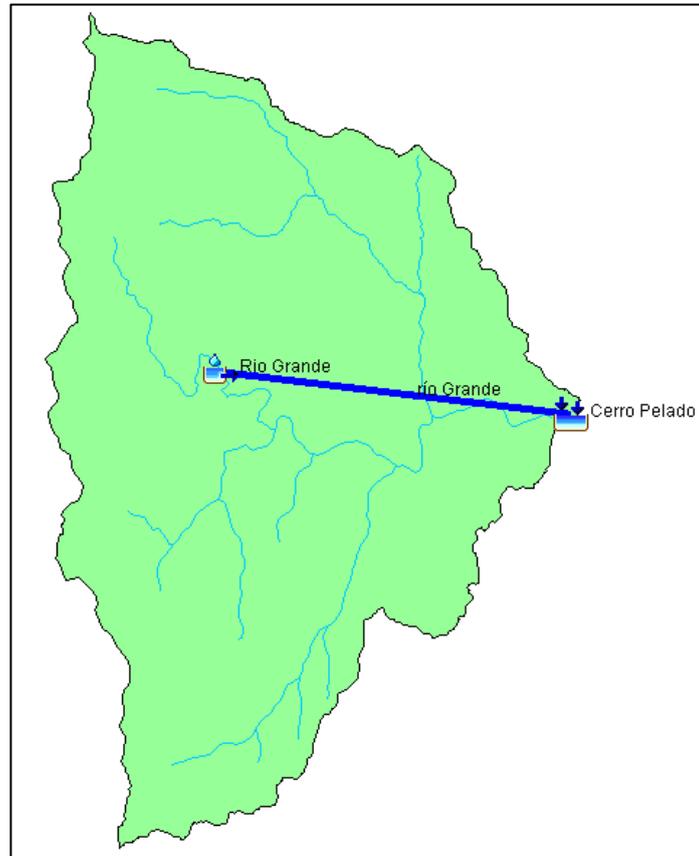


Figura AIX 3.1. Esquema de modelación de la subcuenca del río Grande.

Project: R_Grande:Media Simulation Run: Run 1

Start of Run: 13feb2014, 00:00 Basin Model: Cuenca Río Grande
End of Run: 17feb2014, 00:00 Meteorologic Model: Met 1
Compute Time: 02nov2018, 11:39:10 Control Specifications: Control 1

Show Elements: All Elements Volume Units: MM 1000 M3 Sorting: Hydrologic

Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (1000 M3)
Cuenca Río Grande	637.4	0.00	13feb2014, 00:00	0.00
río Grande	637.4	0.00	13feb2014, 00:00	0.00
Cerro Pelado	637.4	0.00	13feb2014, 00:00	0.00

Figura AIX 3.2. Tabla de resultados de la subcuenca del río Grande.

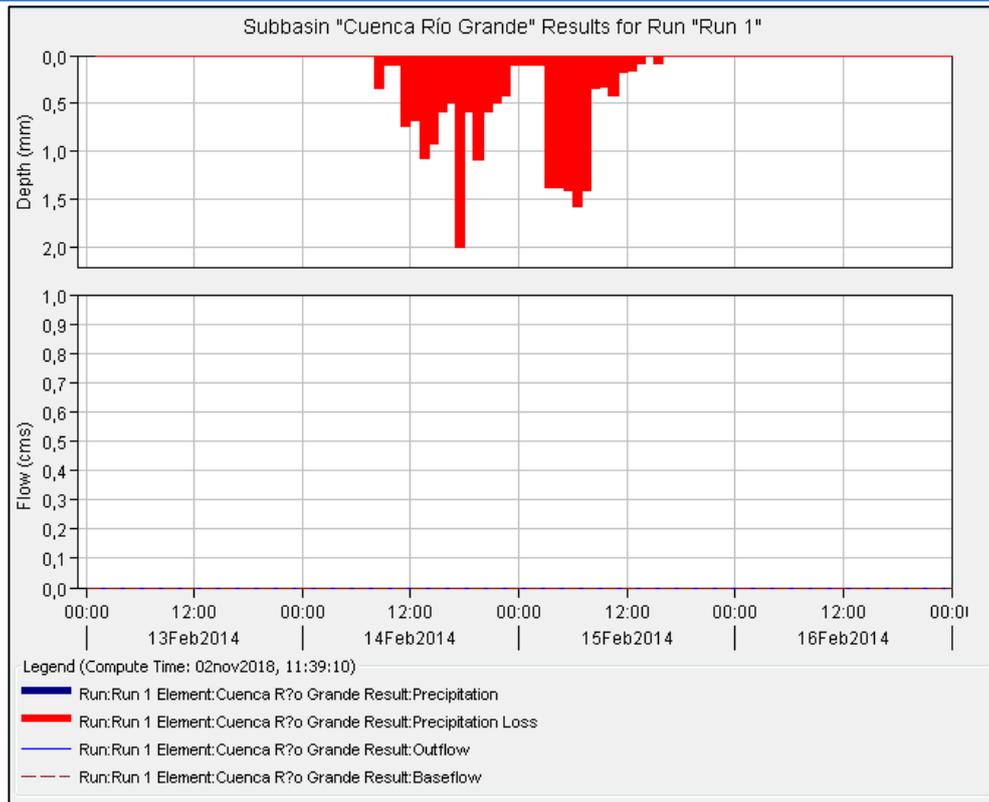


Figura AIX 3.3. Gráfico de resultados de la modelación de la subcuenca del río Grande.

3.2 Subcuenca del Río Santa Rosa

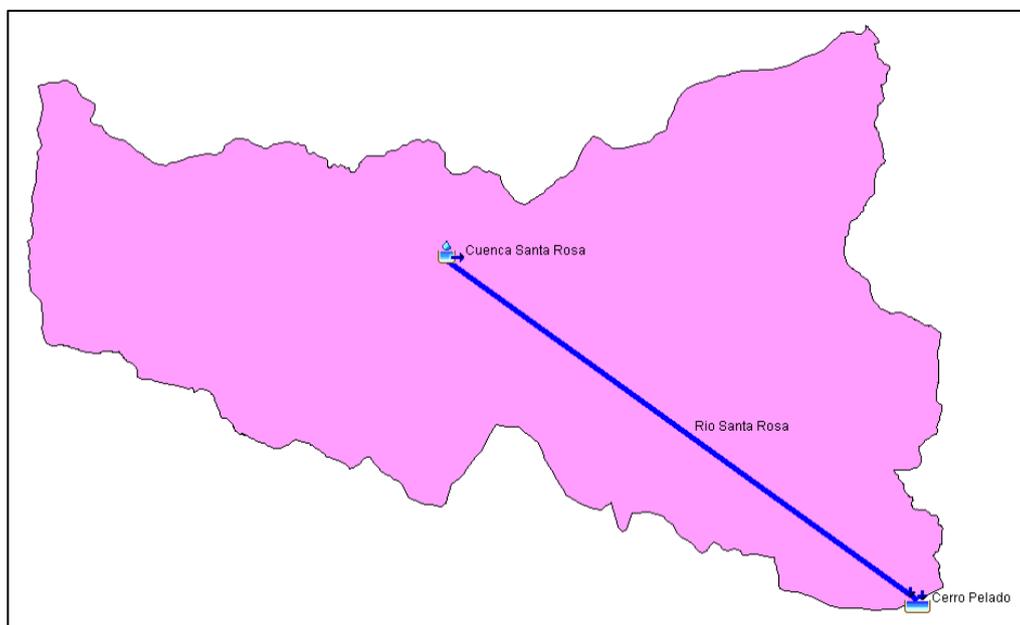


Figura AIX 3.4. Esquema de modelación de la subcuenca del río Santa Rosa.

Project: Santa Rosa Simulation Run: Run 1

Start of Run: 16feb2014, 00:00 Basin Model: Santa Rosa
End of Run: 20feb2014, 08:00 Meteorologic Model: feb14
Compute Time: 02nov2018, 13:12:21 Control Specifications: Control 1

Show Elements: Volume Units: MM 1000 M3 Sorting:

Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (1000 M3)
Cuenca Santa Rosa	715.73	0.00	16feb2014, 00:00	0.00
Rio Santa Rosa	715.73	0.00	16feb2014, 00:00	0.00
Cerro Pelado	715.73	0.00	16feb2014, 00:00	0.00

Figura AIX 3.5. Tabla de resultados de la subcuenca del río Santa Rosa.

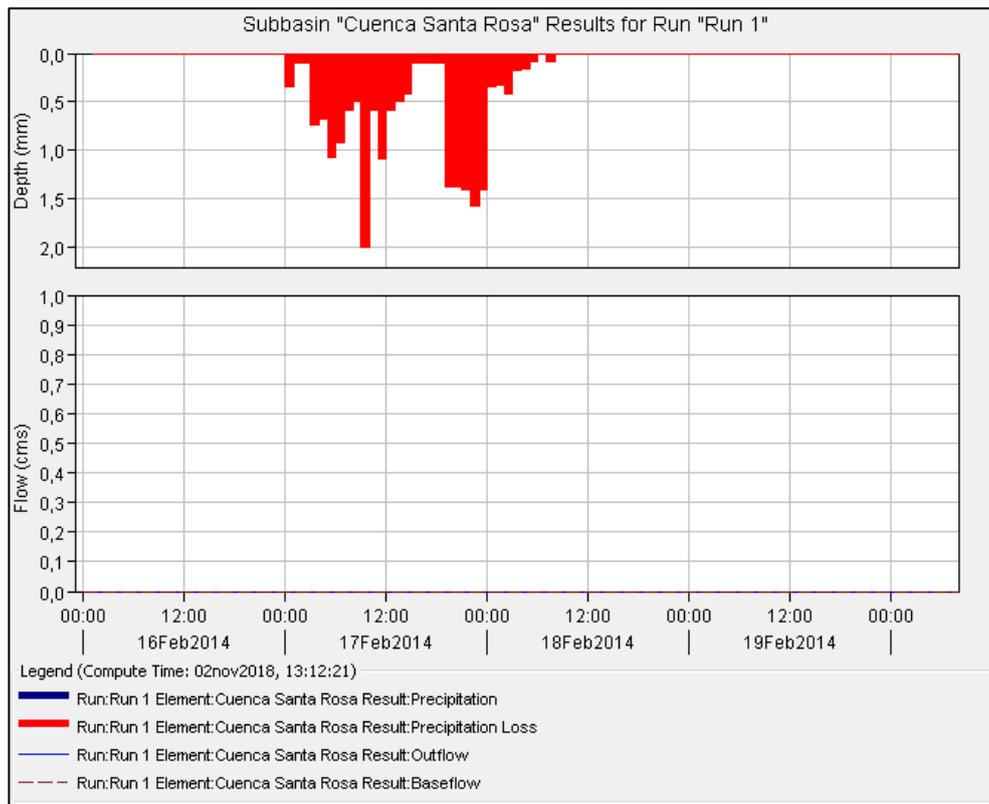


Figura AIX 3.6. Gráfico de resultados de la modelación de la subcuenca del río Santa Rosa.

3.3 Subcuenca del Río Quillinzo

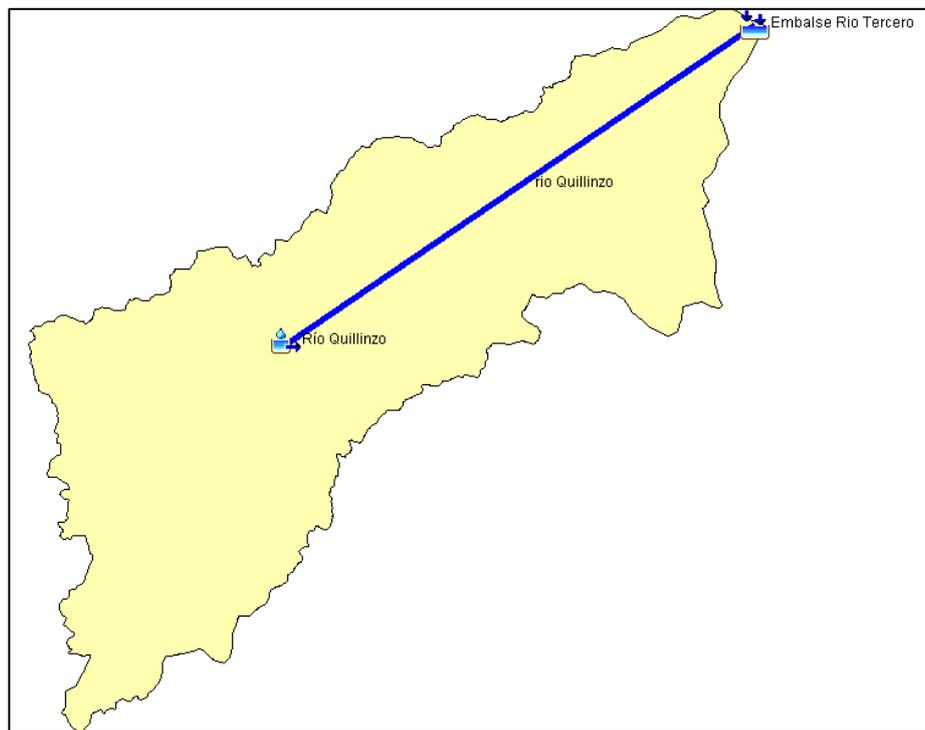


Figura AIX 3.7. Esquema de modelación de la subcuenca del río Quillinzo.

Project: R:quillinzo_media Simulation Run: runn

Start of Run: 15feb2014, 00:00 Basin Model: Río Quillinzo
 End of Run: 18feb2014, 08:00 Meteorologic Model: feb
 Compute Time: 02nov2018, 13:46:06 Control Specifications: Control 1

Show Elements: All Elements Volume Units: MM 1000 M3 Sorting: Hydrologic

Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (1000 M3)
Río Quillinzo	615.75	0.00	15feb2014, 00:00	0.00
rio Quillinzo	615.75	0.00	15feb2014, 00:00	0.00
Embalse Río Tercero	615.75	0.00	15feb2014, 00:00	0.00

Figura AIX 3.8. Tabla de resultados de la subcuenca del río Quillinzo.

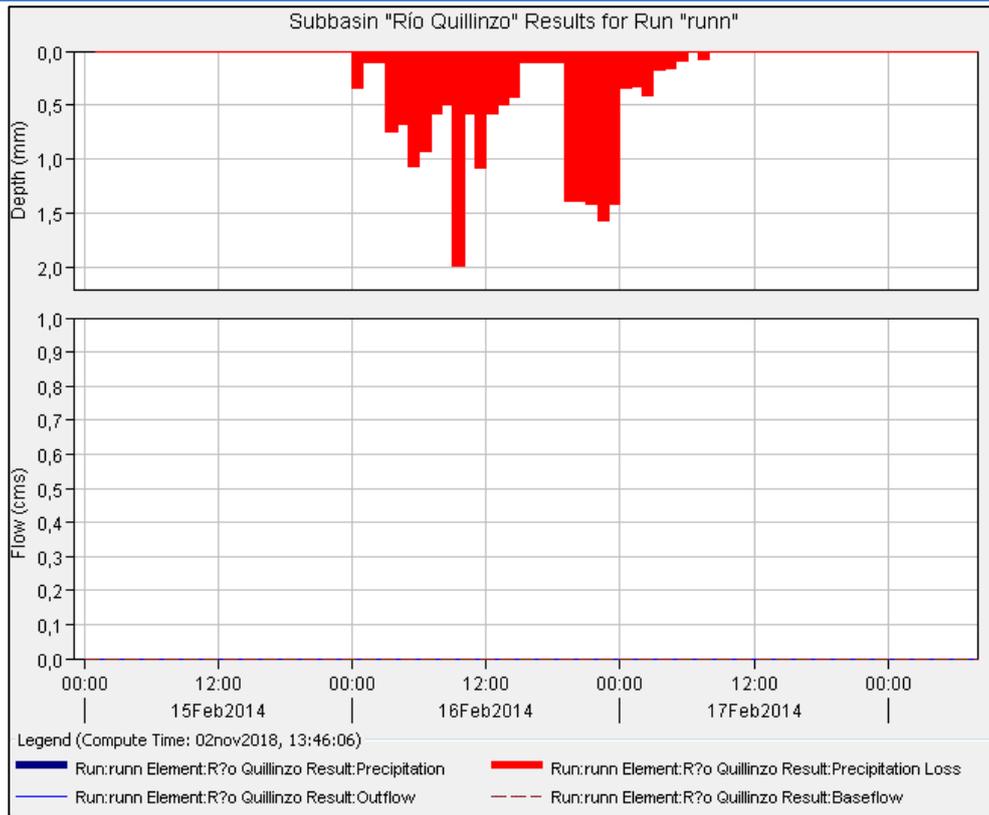


Figura AIX 3.9. Gráfico de resultados de la modelación de la subcuenca del río Quillín.

3.4 Subcuenca del Río De La Cruz

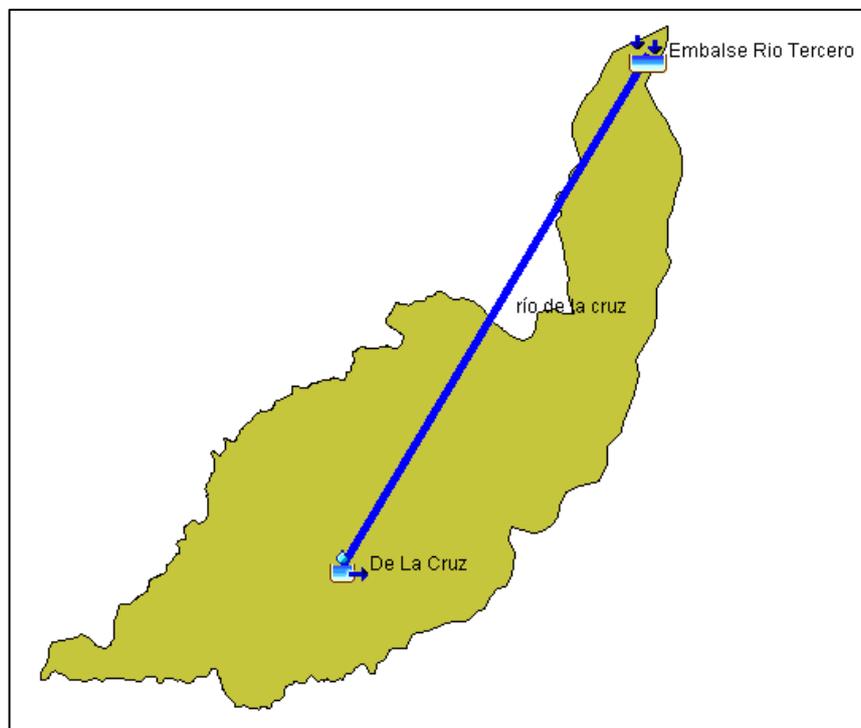


Figura AIX 3.10. Esquema de modelación de la subcuenca del río De La Cruz.

Project: R_de la cruz Simulation Run: Run 1

Start of Run: 14feb2014, 00:00 Basin Model: De La Cruz
End of Run: 16feb2014, 08:00 Meteorologic Model: Met 1
Compute Time: 05nov2018, 09:16:32 Control Specifications: Control 1

Show Elements: Volume Units: MM 1000 M3 Sorting:

Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (MM)
De La Cruz	517.69	0.00	14feb2014, 00:00	0.00
rio de la cruz	517.69	0.00	14feb2014, 00:00	0.00
Embalse Rio Tercero	517.69	0.00	14feb2014, 00:00	0.00

Figura AIX 3.11. Tabla de resultados de la subcuenca del río De LA Cruz.

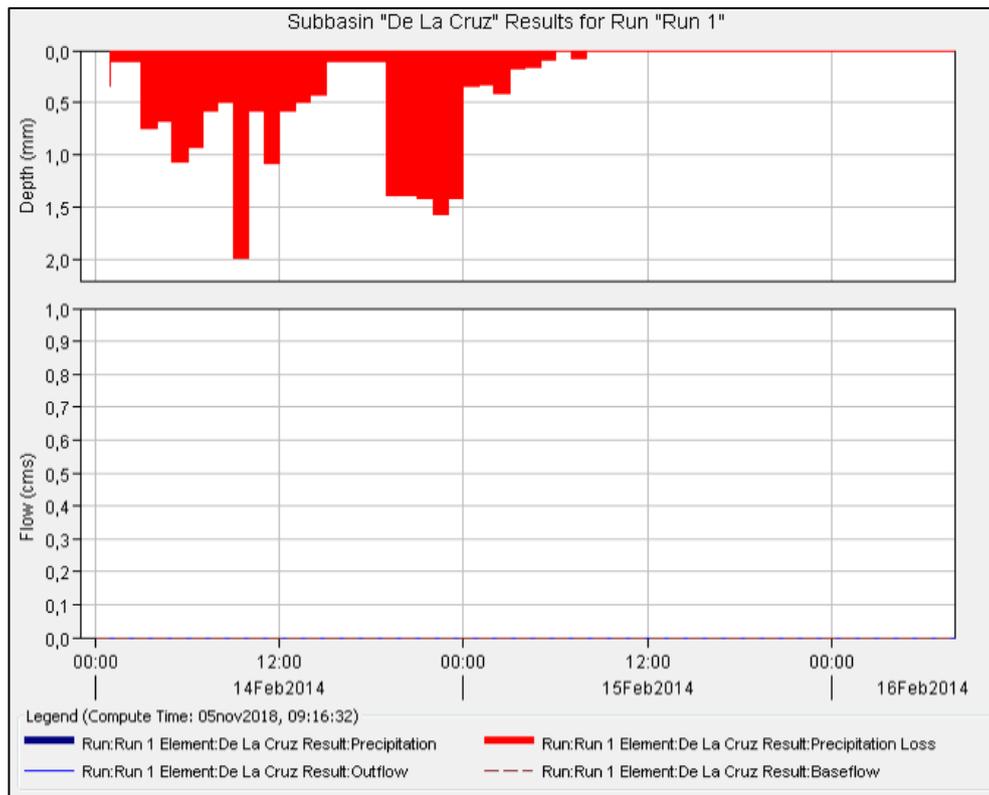


Figura AIX 3.12. Gráfico de resultados de la modelación de la subcuenca del río De La Cruz.

3.5 Subcuenca del Arroyo Soconcho

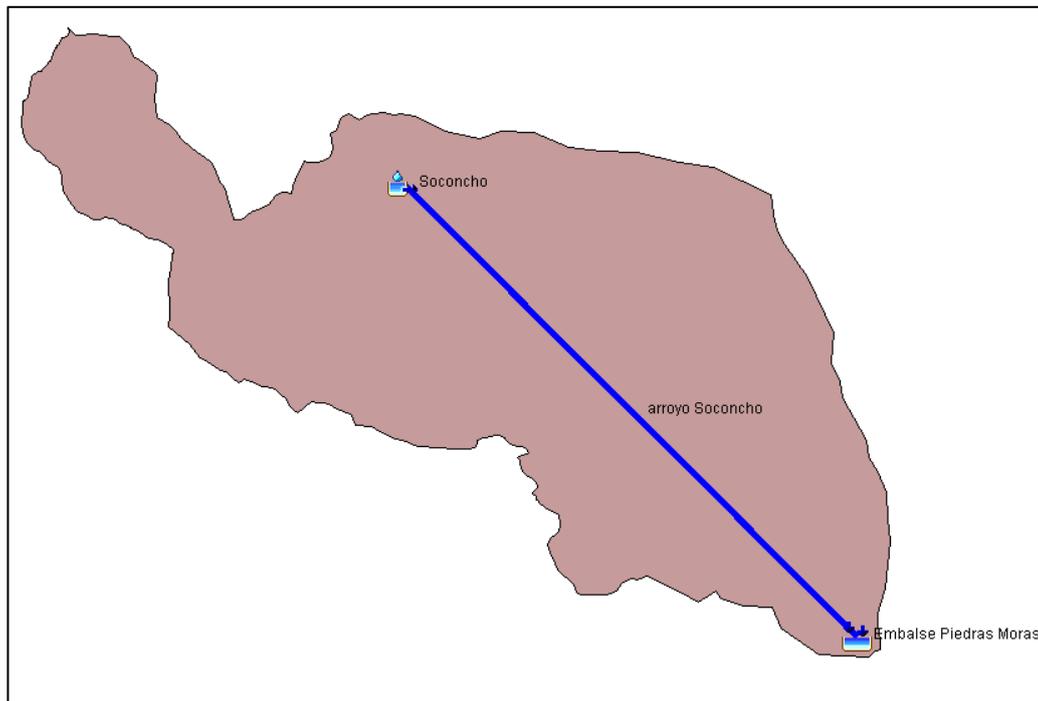


Figura AIX 3.13. Esquema de modelación de la subcuenca del arroyo Soconcho.

Project: A_soconcho Simulation Run: Run 1

Start of Run: 14feb2014, 00:00 Basin Model: A. Soconcho
End of Run: 16feb2014, 08:00 Meteorologic Model: Met 1
Compute Time: 05nov2018, 09:21:44 Control Specifications: Control 1

Show Elements: All Elements Volume Units: MM 1000 M3 Sorting: Hydrologic

Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (1000 M3)
Soconcho	242.44	0.00	14feb2014, 00:00	0.00
arroyo Soconcho	242.44	0.00	14feb2014, 00:00	0.00
Embalse Piedras Moras	242.44	0.00	14feb2014, 00:00	0.00

Figura AIX 3.14. Tabla de resultados de la subcuenca del arroyo Soconcho.

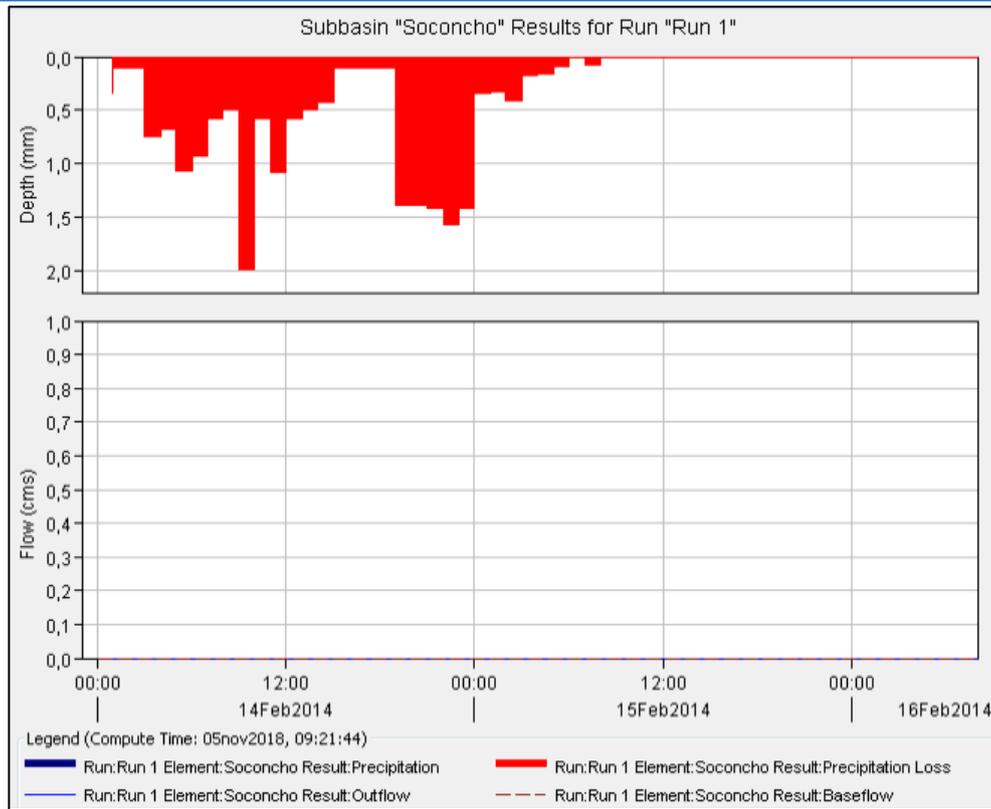


Figura AIX 3.15. Gráfico de resultados de la modelación de la subcuenca del arroyo Soconcho.

3.6 Subcuenca Arroyo De Lutti

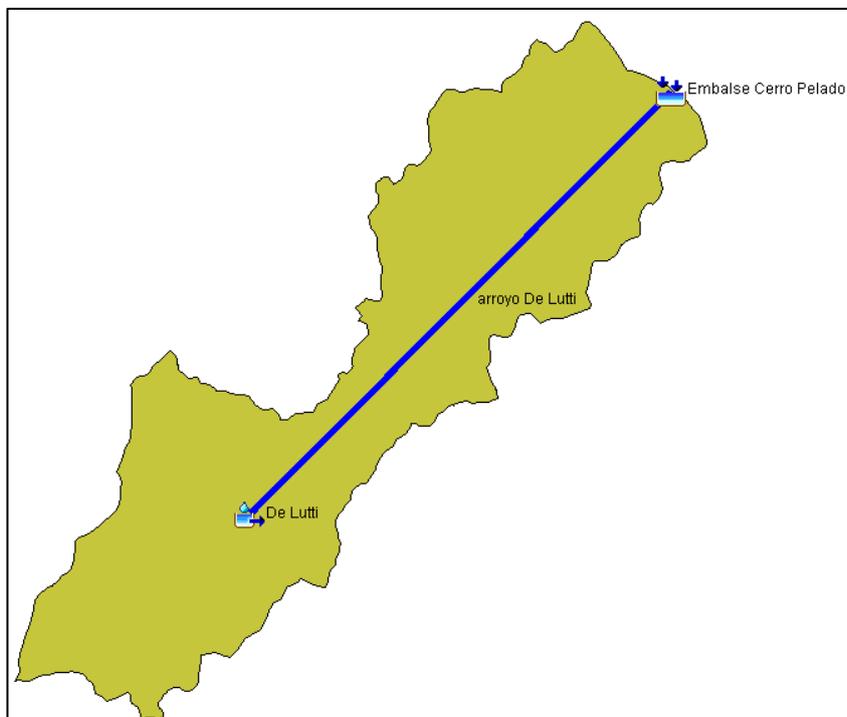


Figura AIX 3.16. Esquema de modelación de la subcuenca del arroyo De Lutti.

Project: A de Lutti Simulation Run: Run 1

Start of Run: 14feb2014, 00:00 Basin Model: De Lutti
End of Run: 16feb2014, 08:00 Meteorologic Model: Met 1
Compute Time: 05nov2018, 09:34:54 Control Specifications: Control 1

Show Elements: Volume Units: MM 1000 M3 Sorting:

Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (1000 M3)
De Lutti	74.13	0.00	14feb2014, 00:00	0.00
arroyo De Lutti	74.13	0.00	14feb2014, 00:00	0.00
Embalse Cerro Pelado	74.13	0.00	14feb2014, 00:00	0.00

Figura AIX 3.17. Tabla de resultados de la subcuenca del arroyo De Lutti.

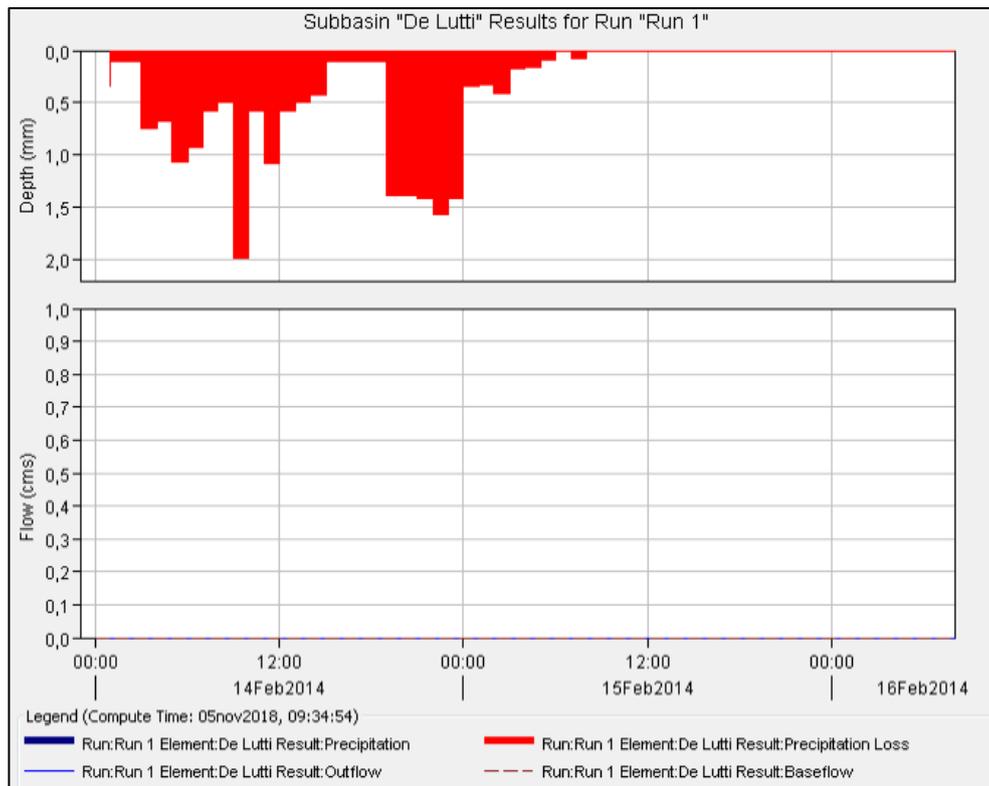


Figura AIX 3.18. Gráfico de resultados de la modelación de la subcuenca del arroyo De Lutti.

3.7 Subcuenca Arroyo San Antonio

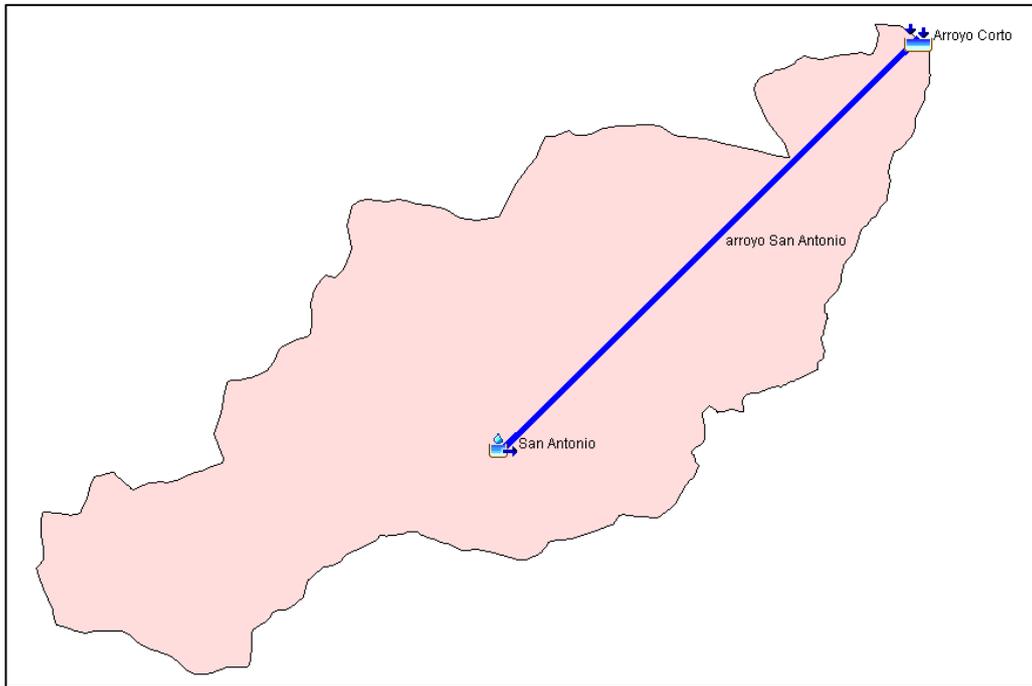


Figura AIX 3.19. Esquema de modelación de la subcuenca del arroyo San Antonio.

Project: A San Antonio Simulation Run: Run 1

Start of Run: 14feb2014, 00:00 Basin Model: San Antonio
 End of Run: 16feb2014, 08:00 Meteorologic Model: Met 1
 Compute Time: 05nov2018, 09:42:46 Control Specifications: Control 1

Show Elements: All Elements Volume Units: MM 1000 M3 Sorting: Hydrologic

Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/5)	Time of Peak	Volume (1000 M3)
San Antonio	37.93	0.00	14feb2014, 00:00	0.00
arroyo San Antonio	0.0	0.00	14feb2014, 00:00	0.00
Arroyo Corto	37.93	0.00	14feb2014, 00:00	0.00

Figura AIX 3.20. Tabla de resultados de la subcuenca del arroyo San Antonio.

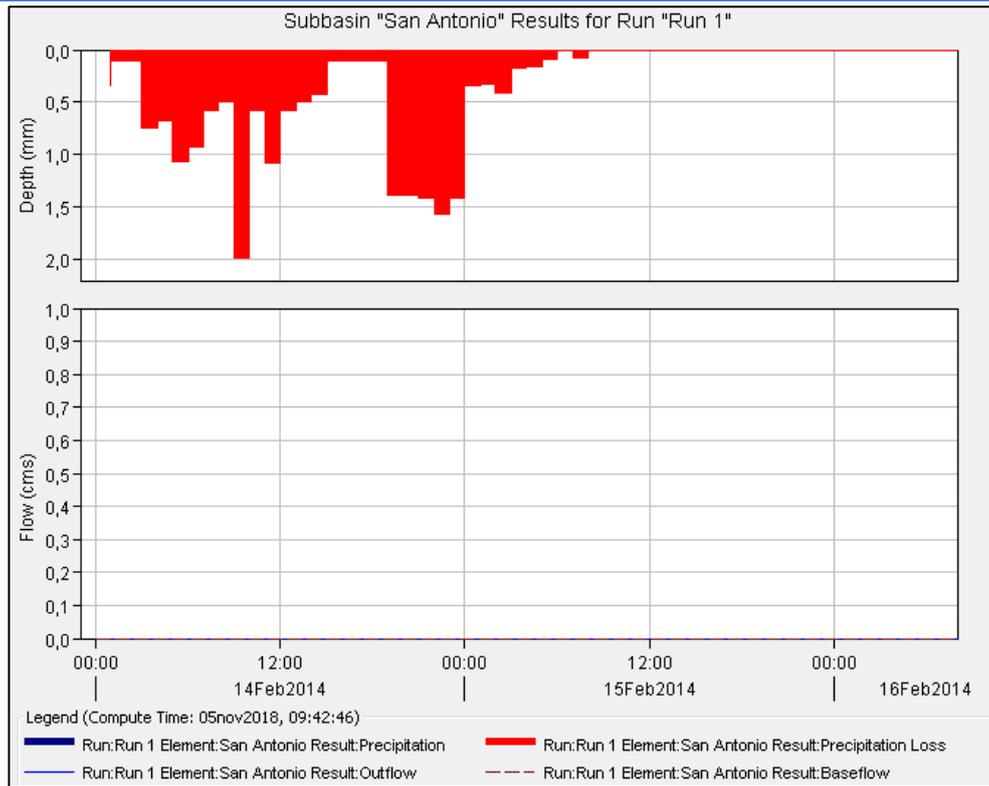


Figura AIX 3.21. Gráfico de resultados de la modelación de la subcuenca del arroyo San Antonio.

3.8 Subcuenca Arroyo Amboy

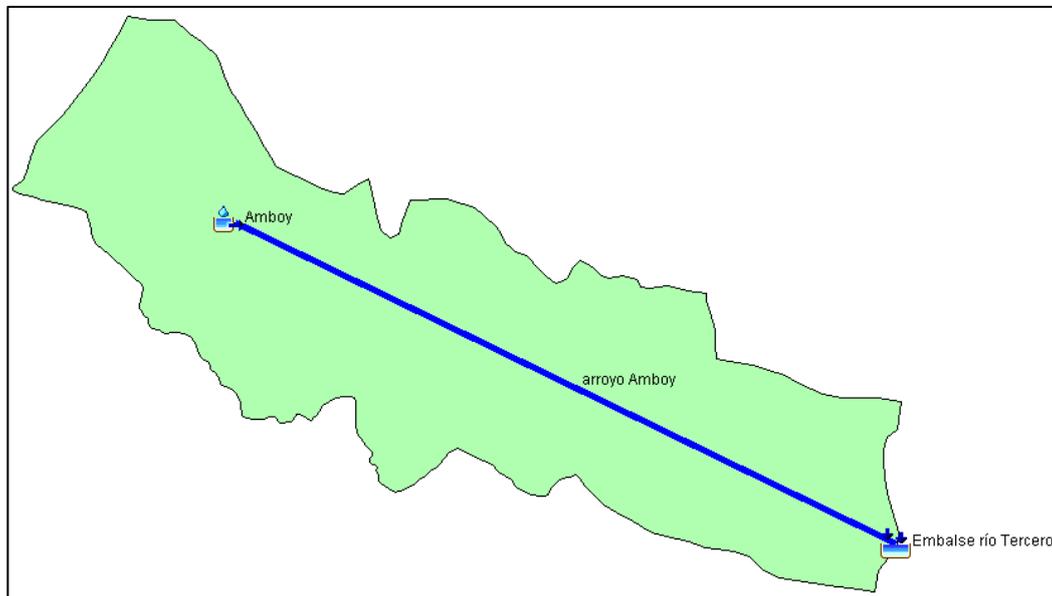


Figura AIX 3.22. Esquema de modelación de la subcuenca del arroyo Amboy.

Project: A Amboy Simulation Run: Run 1

Start of Run: 14feb2014, 00:00 Basin Model: Amboy
End of Run: 16feb2014, 09:00 Meteorologic Model: Met 1
Compute Time: 05nov2018, 10:30:01 Control Specifications: Control 1

Show Elements: Volume Units: MM 1000 M3 Sorting:

Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (MM)
Amboy	107.01	0.00	14feb2014, 00:00	0.00
arroyo Amboy	107.01	0.00	14feb2014, 00:00	0.00
Embalse río Tercero	107.01	0.00	14feb2014, 00:00	0.00

Figura AIX 3.23. Tabla de resultados de la subcuenca del arroyo Amboy.

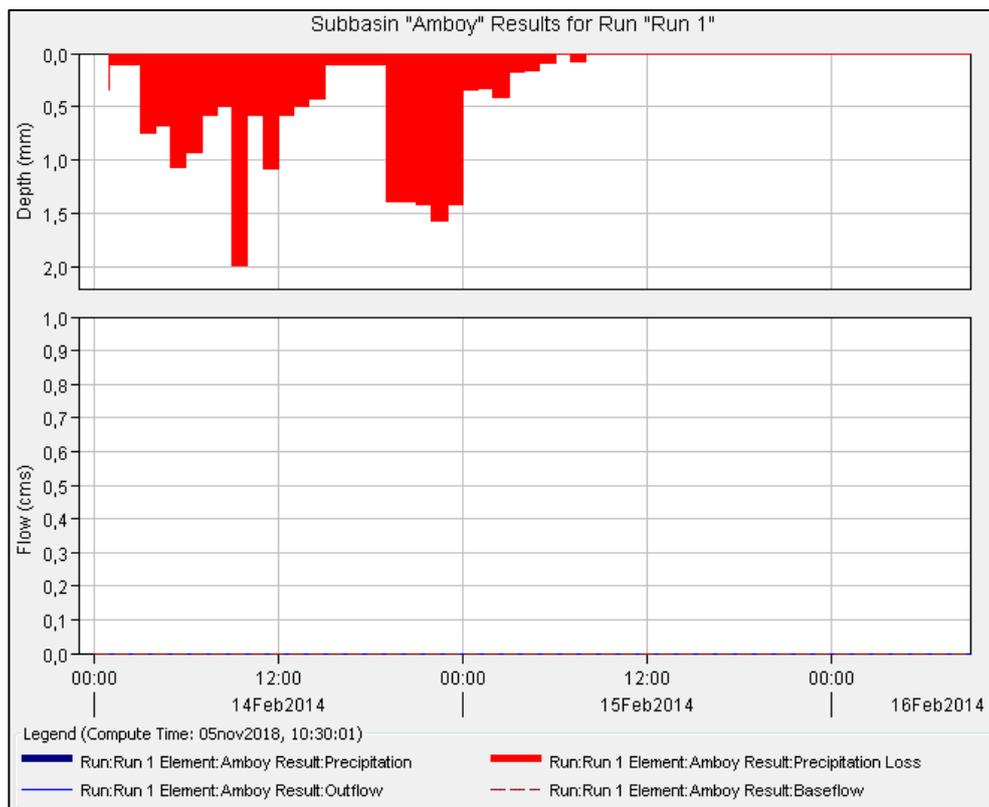


Figura AIX 3.24. Gráfico de resultados de la modelación de la subcuenca del arroyo Amboy.

3.9 Zona de aporte al Embalse Compensador Arroyo Corto

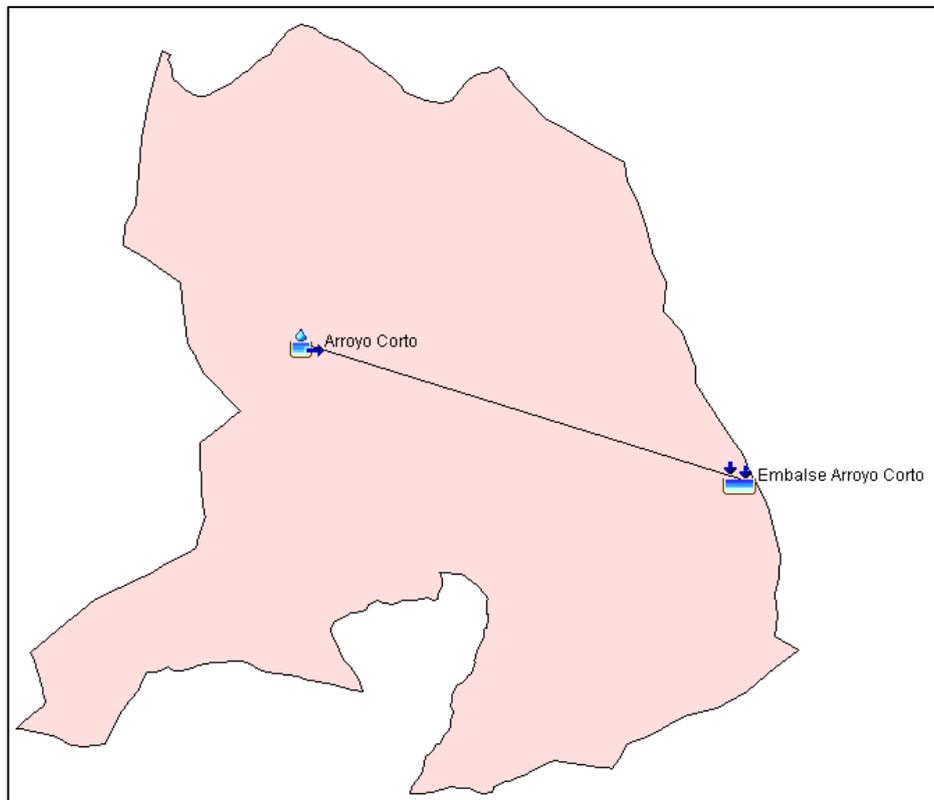


Figura AIX 3.25. Esquema de modelación de la zona de aporte al embalse Arroyo Corto.

Project: Aporte_A_Corto Simulation Run: Run 1

Start of Run: 14feb2014, 00:00 Basin Model: Arroyo Corto
End of Run: 16feb2014, 08:00 Meteorologic Model: Met 1
Compute Time: 05nov2018, 11:32:17 Control Specifications: Control 1

Show Elements: All Elements Volume Units: MM 1000 M3 Sorting: Hydrologic

Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (1000 M3)
Arroyo Corto	67.54	0.00	14feb2014, 00:00	0.00
Embalse Arroyo Corto	67.54	0.00	14feb2014, 00:00	0.00

Figura AIX 3.26. Tabla de resultados de la zona de aporte al embalse Arroyo Corto.

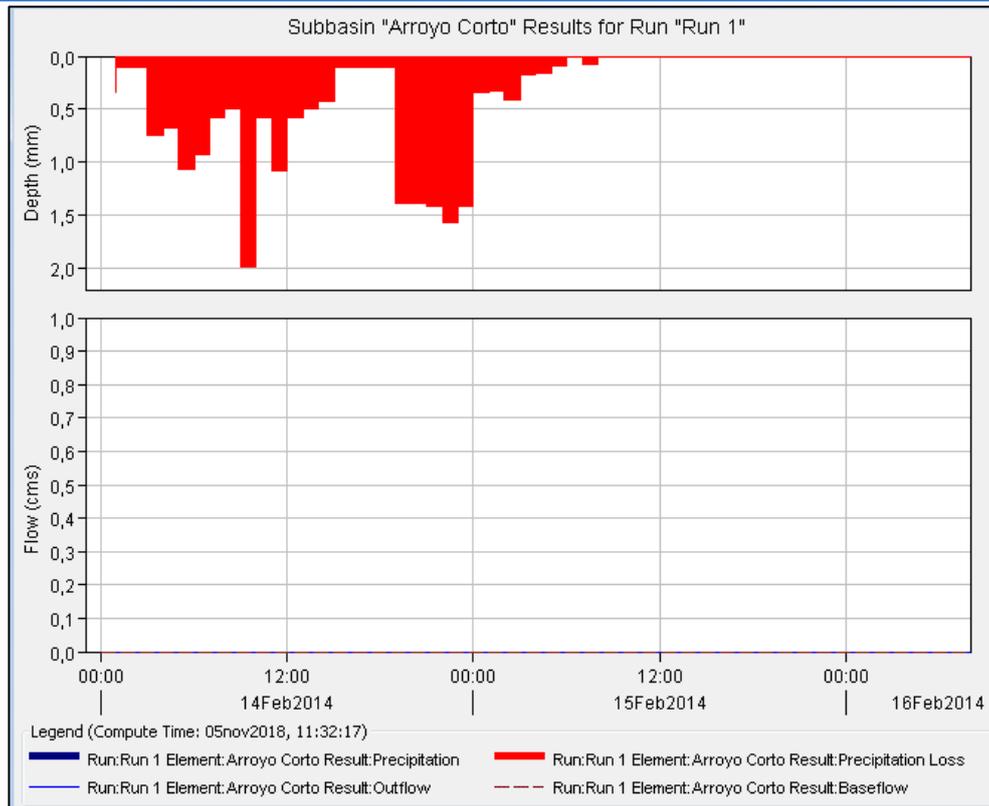


Figura AIX 3.27. Gráfico de resultados de la modelación de la zona de aporte al embalse Arroyo Corto.

3.10 Zona de aporte al Embalse Río Tercero

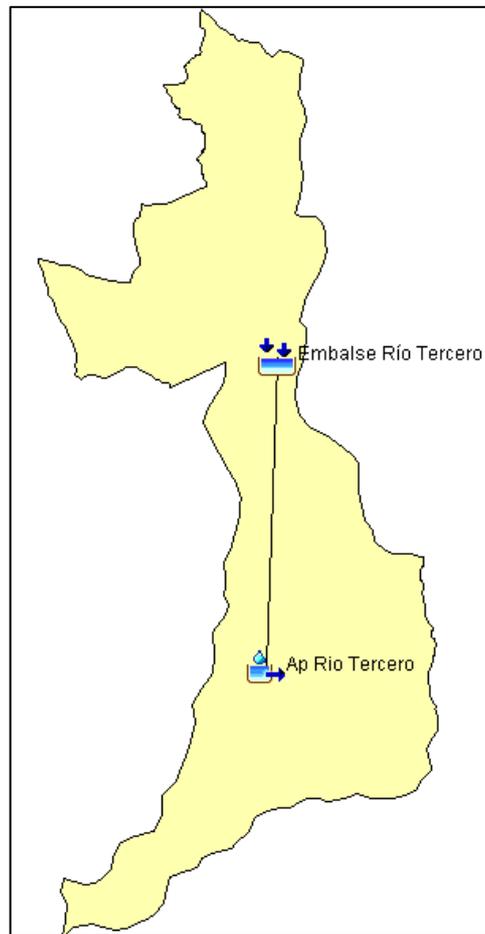


Figura AIX 3.28. Esquema de modelación de la zona de aporte al embalse Río Tercero.

Project: Río Tercero Simulation Run: Run 1

Start of Run: 14feb2014, 00:00 Basin Model: Aporte Río Tercero
 End of Run: 16feb2014, 08:00 Meteorologic Model: Met 1
 Compute Time: 05nov2018, 13:02:59 Control Specifications: Control 1

Show Elements: Volume Units: MM 1000 M3 Sorting:

Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (1000 M3)
Ap Río Tercero	460.08	0.00	14feb2014, 00:00	0.00
Embalse Río Tercero	460.08	0.00	14feb2014, 00:00	0.00

Figura AIX 3.29. Tabla de resultados de la zona de aporte al embalse Río Tercero.

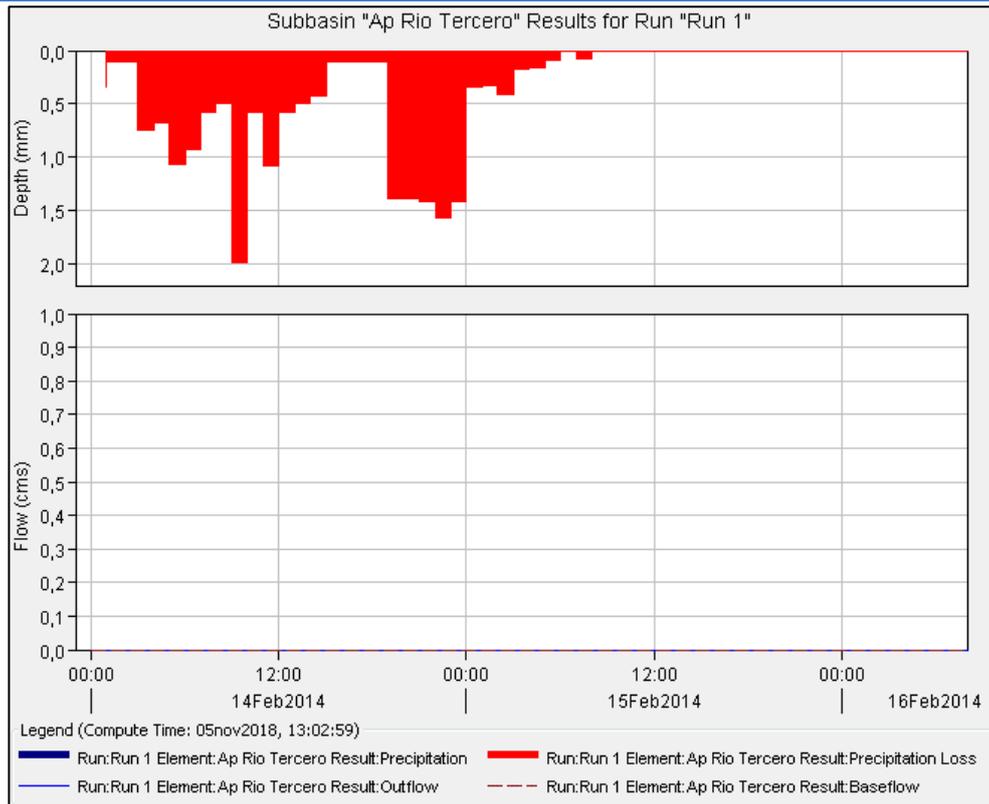


Figura AIX 3.30. Gráfico de resultados de la modelación de la zona de aporte al embalse Río Tercero.

3.11 Zona de aporte al Embalse Cerro Pelado

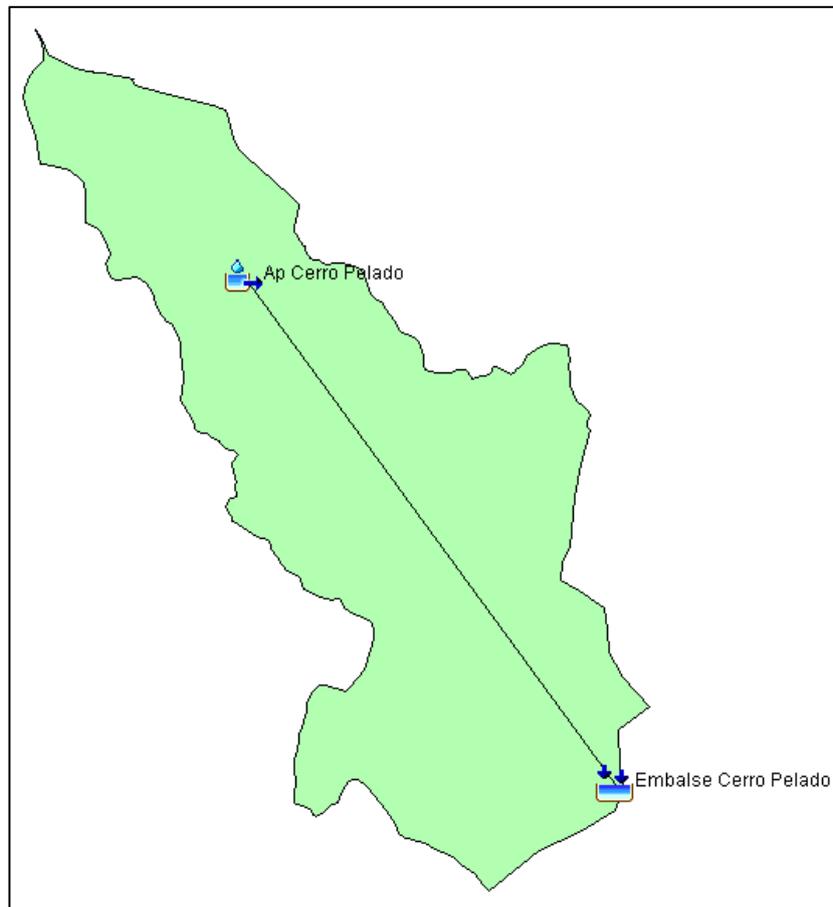


Figura AIX 3.31. Esquema de modelación de la zona de aporte al embalse Cerro Pelado.

Project: Ap cerro pelado Simulation Run: Run 1

Start of Run: 14feb2014, 00:00 Basin Model: Ap Cerro Pelado
 End of Run: 16feb2014, 08:00 Meteorologic Model: Met 1
 Compute Time: 20nov2018, 11:09:27 Control Specifications: Control 1

Show Elements: All Elements Volume Units: MM 1000 M3 Sorting: Hydrologic

Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (1000 M3)
Ap Cerro Pelado	71.03	0.00	14feb2014, 00:00	0.00
Embalse Cerro Pelado	71.03	0.00	14feb2014, 00:00	0.00

Figura 3.32. Tabla de resultados de la zona de aporte al embalse Cerro Pelado.

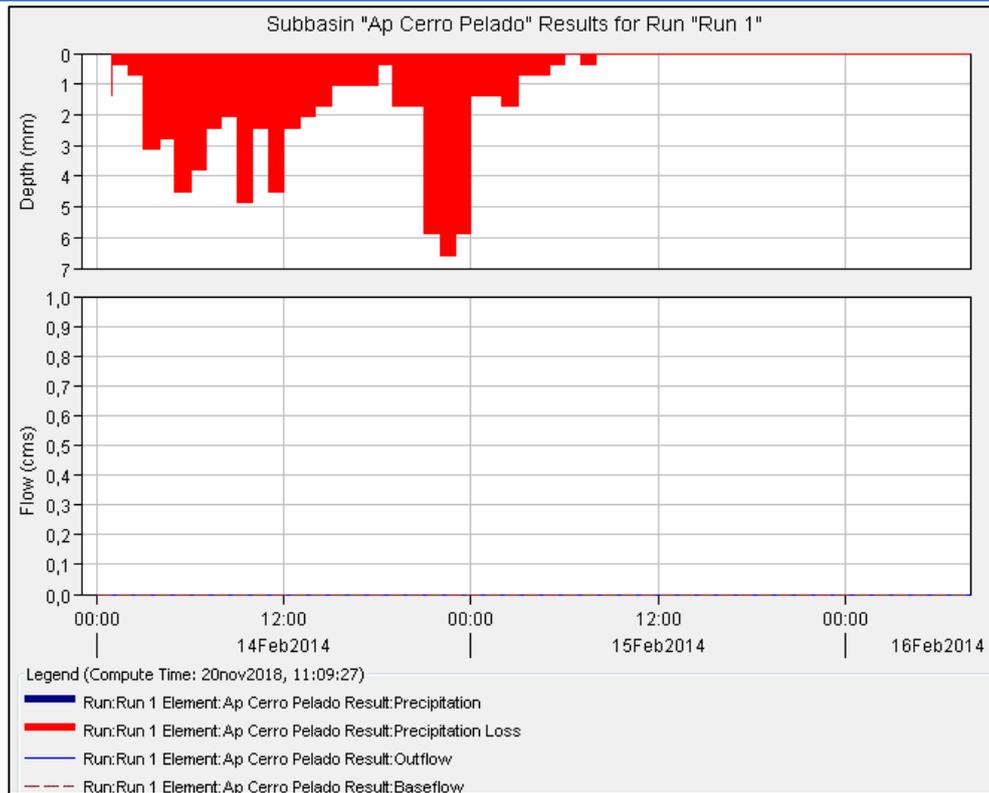


Figura AIX 3.33. Gráfico de resultados de la modelación de la zona de aporte al embalse Cerro Pelado.

3.12 Zona de aporte al Embalse Piedras Moras

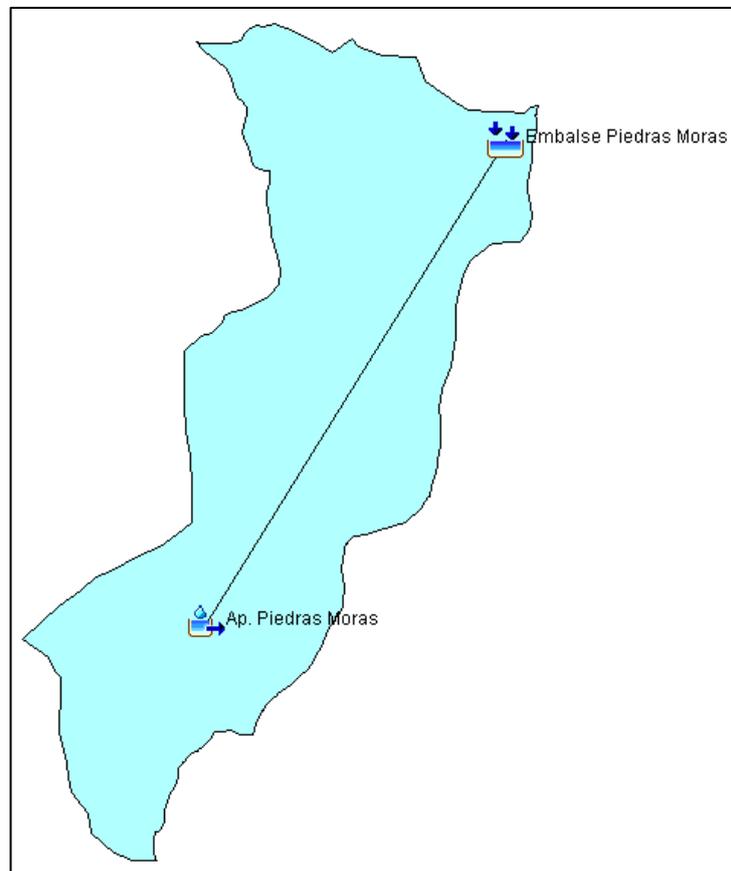


Figura AIX 3.34. Esquema de modelación de la zona de aporte al embalse Piedras Moras.

Project: Ap piedras moras Simulation Run: Run 1

Start of Run: 14feb2014, 00:00 Basin Model: Aporte a Piedras Moras
End of Run: 16feb2014, 08:00 Meteorologic Model: Met 1
Compute Time: 05nov2018, 13:49:25 Control Specifications: Control 1

Show Elements: Volume Units: MM 1000 M3 Sorting:

Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (1000 M3)
Ap. Piedras Moras	135.8	0.00	14feb2014, 00:00	0.00
Embalse Piedras Moras	135.8	0.00	14feb2014, 00:00	0.00

Figura AIX 3.35. Tabla de resultados de la zona de aporte al embalse Piedras Moras.

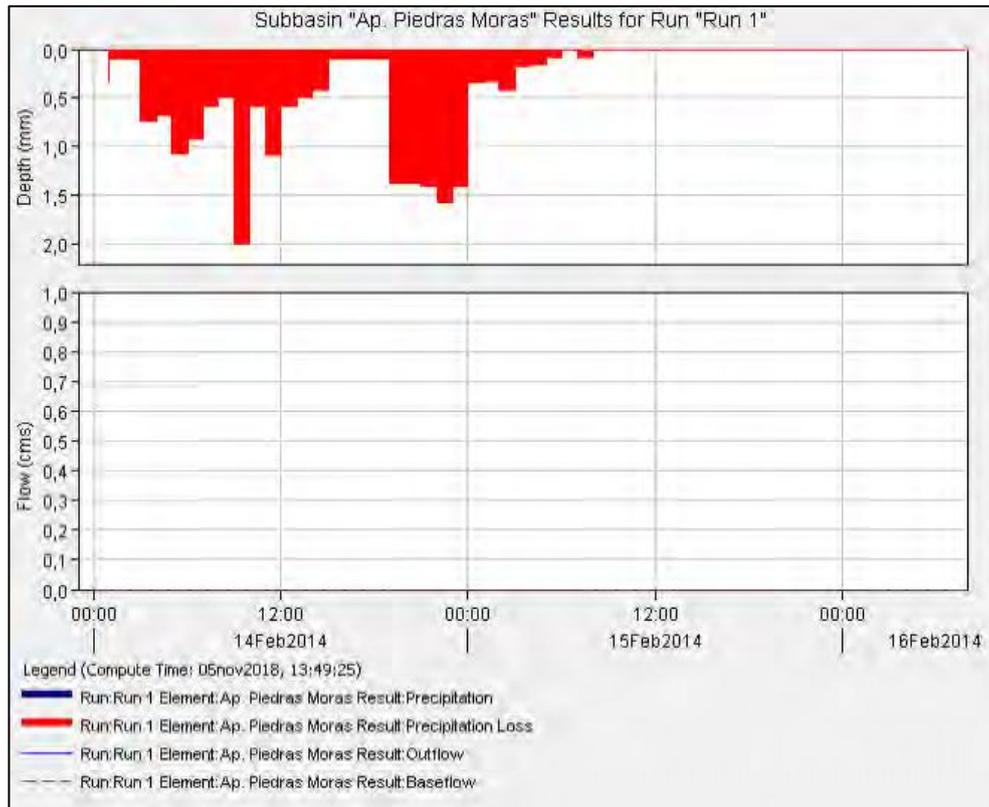


Figura AIX 3.36. Gráfico de resultados de la modelación de la zona de aporte al embalse Piedras Moras

3.13 Zona de aporte al Embalse Ing. Reolín

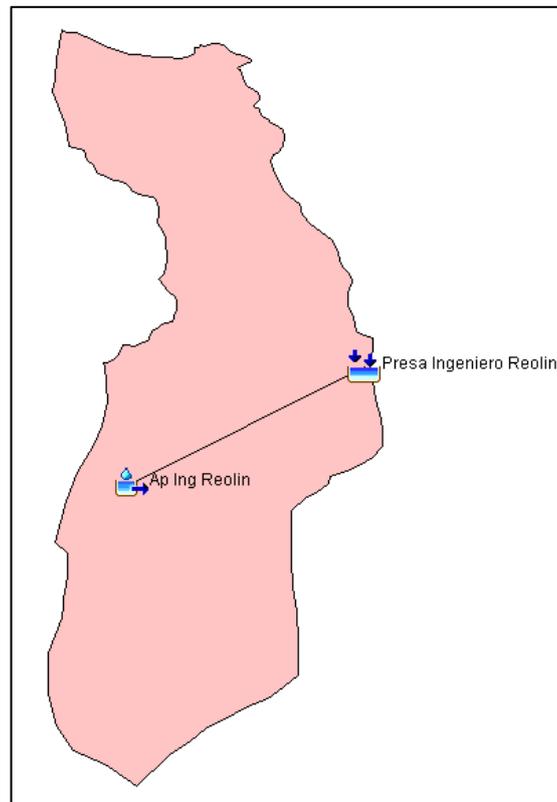


Figura AIX 3.37. Esquema de modelación de la zona de aporte al embalse Ing. Reolin.

Project: Ap ing reolin Simulation Run: Run 1

Start of Run: 14feb2014, 00:00 Basin Model: Ing. Reolin
 End of Run: 16feb2014, 08:00 Meteorologic Model: Met 1
 Compute Time: 05nov2018, 14:01:05 Control Specifications: Control 1

Show Elements: All Elements Volume Units: MM 1000 M3 Sorting: Hydrologic

Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (1000 M3)
Ap Ing Reolin	125.64	0.00	14feb2014, 00:00	0.00
Presa Ingeniero Reolin	125.64	0.00	14feb2014, 00:00	0.00

Figura AIX 3.38. Tabla de resultados de la zona de aporte al embalse Ing. Reolin.

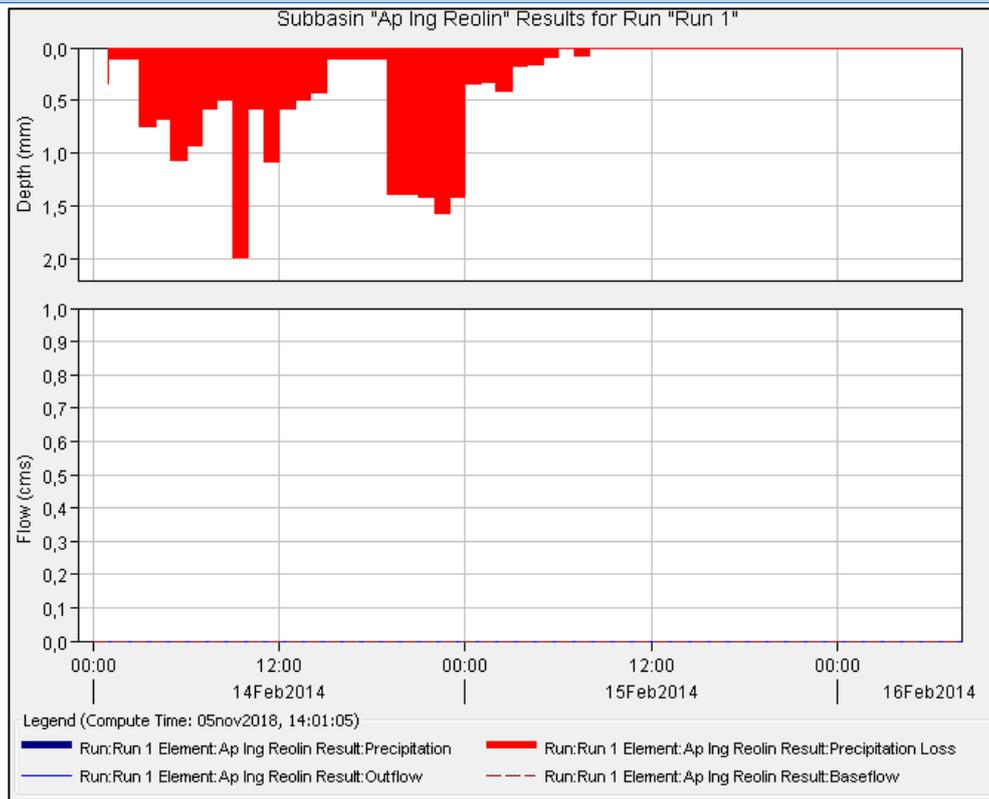


Figura AIX 3.39. Gráfico de resultados de la modelación de la zona de aporte al embalse Ing. Reolin.

3.14 Zona de aporte al embalse Ing. Cassafousth

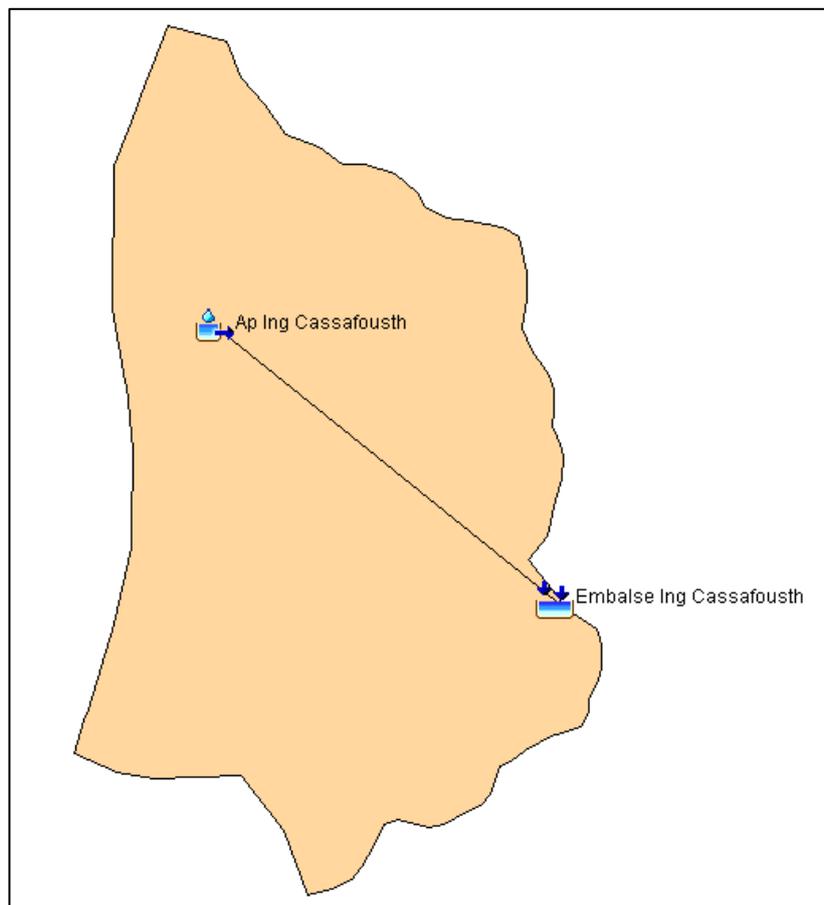


Figura AIX 3.40. Esquema de modelación de la zona de aporte al embalse Ing. Cassafousth.

Project: Ap ing Cassafousth Simulation Run: Run 1

Start of Run: 14feb2014, 00:00 Basin Model: Ap Ing. Cassafousth
 End of Run: 16feb2014, 08:00 Meteorologic Model: Met 1
 Compute Time: 05nov2018, 14:15:42 Control Specifications: Control 1

Show Elements: All Elements Volume Units: MM 1000 M3 Sorting: Hydrologic

Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (1000 M3)
Ap Ing Cassafousth	14.88	0.00	14feb2014, 00:00	0.00
Embalse Ing Cassafousth	14.88	0.00	14feb2014, 00:00	0.00

Figura AIX 3.41. Tabla de resultados de la zona de aporte al embalse Ing. Cassafousth.

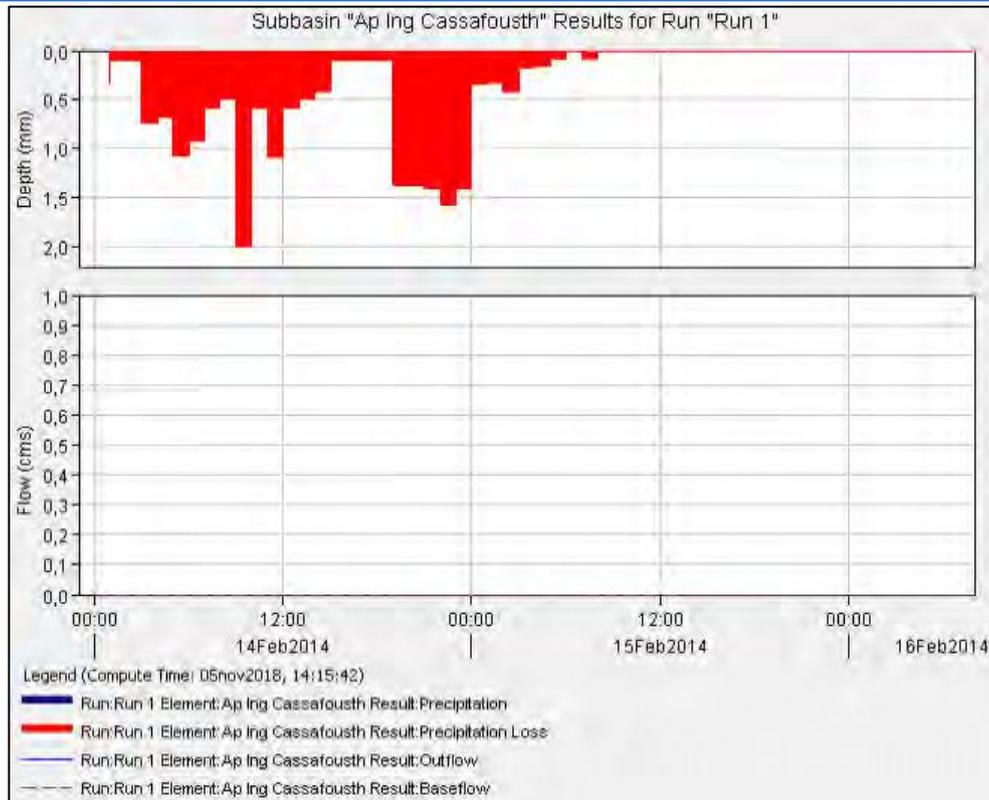


Figura AIX 3.42. Gráfico de resultados de la modelación de la zona de aporte al embalse Ing. Cassafousth.

3.15 Cuenca media-baja

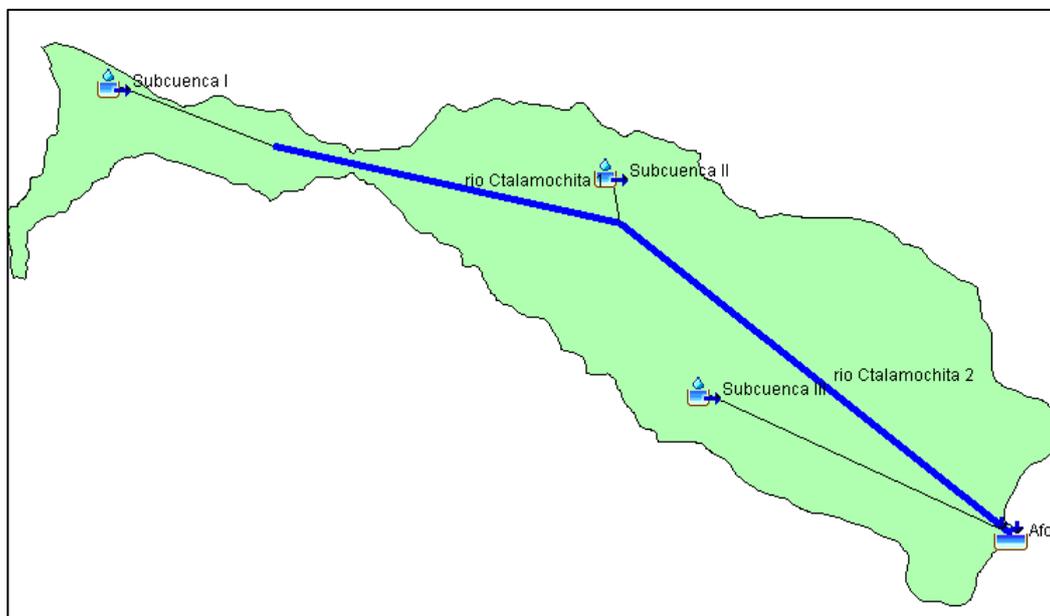


Figura AIX 3.43. Esquema de modelación de la cuenca media-baja.

Project: 8_CMB_20_CAA_2 Simulation Run: Run 1

Start of Run: 14feb2014, 00:00 Basin Model: Cuenca Media - Baja
 End of Run: 20feb2014, 00:00 Meteorologic Model: Met 1
 Compute Time: 01jul2019, 10:22:30 Control Specifications: Control 1

Show Elements: All Elements Volume Units: MM 1000 M3 Sorting: Hydrologic

Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (1000 M3)
Subcuenca II	2620	0.00	14feb2014, 00:00	0.00
Subcuenca I	1900	0.00	14feb2014, 00:00	0.00
rio Ctalamochita 1	1900	0.00	14feb2014, 00:00	0.00
Subcuenca III	2619.9	0.00	14feb2014, 00:00	0.00
rio Ctalamochita 2	4520	0.00	14feb2014, 00:00	0.00
Aforo	7139.9	0.00	14feb2014, 00:00	0.00

Figura AIX 3.44. Tabla de resumen resultados de la cuenca media-baja.

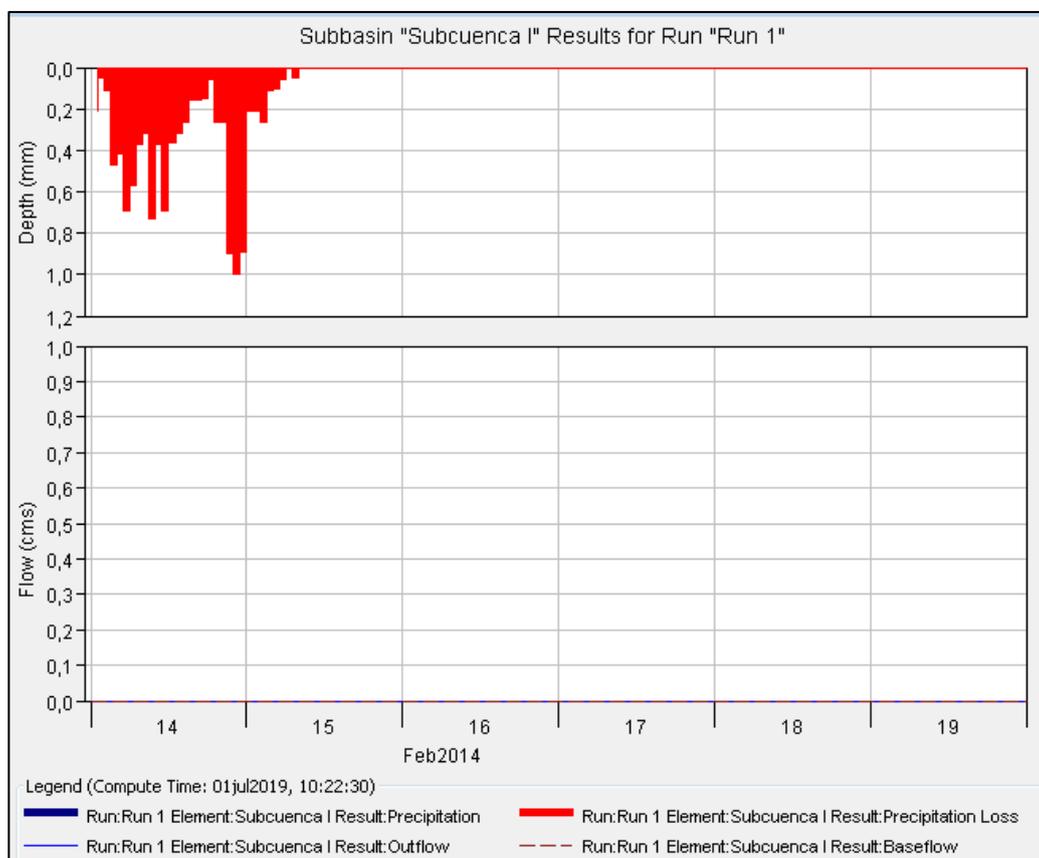


Figura AIX 3.45. Gráfico de resultados de la modelación de subcuenca I.

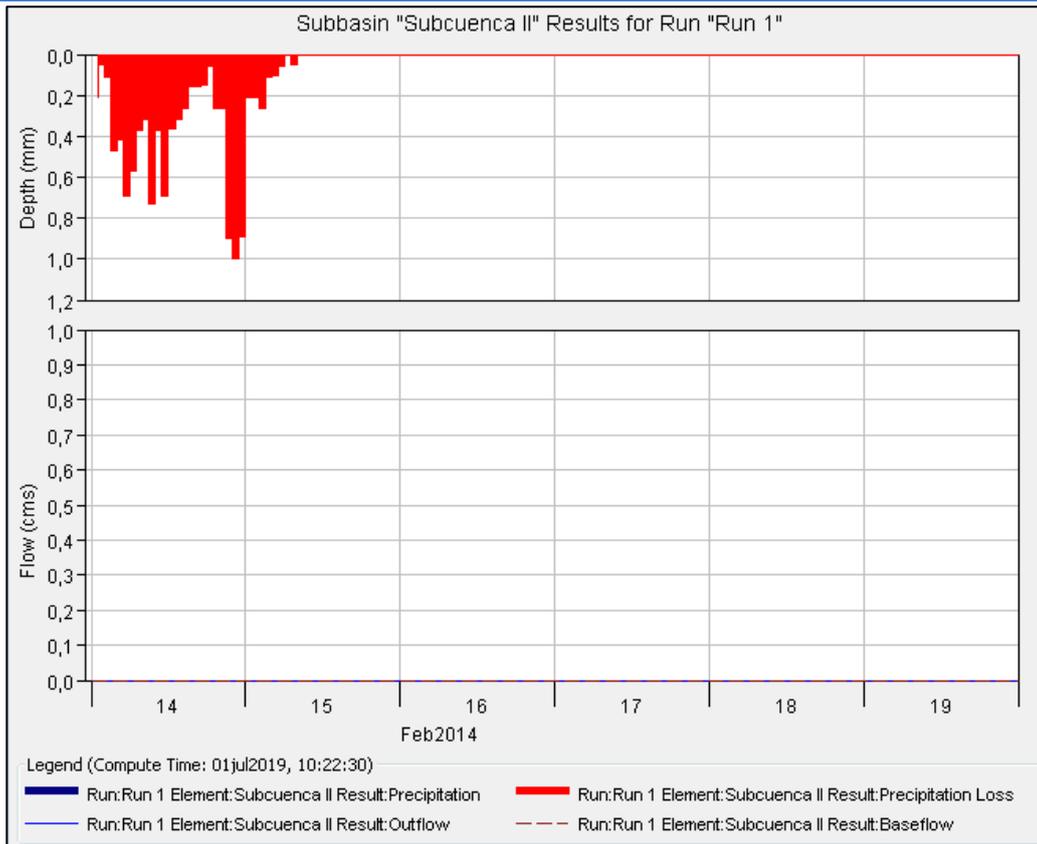


Figura AIX 3.46. Gráfico de resultados de la modelación de subcuenca II.

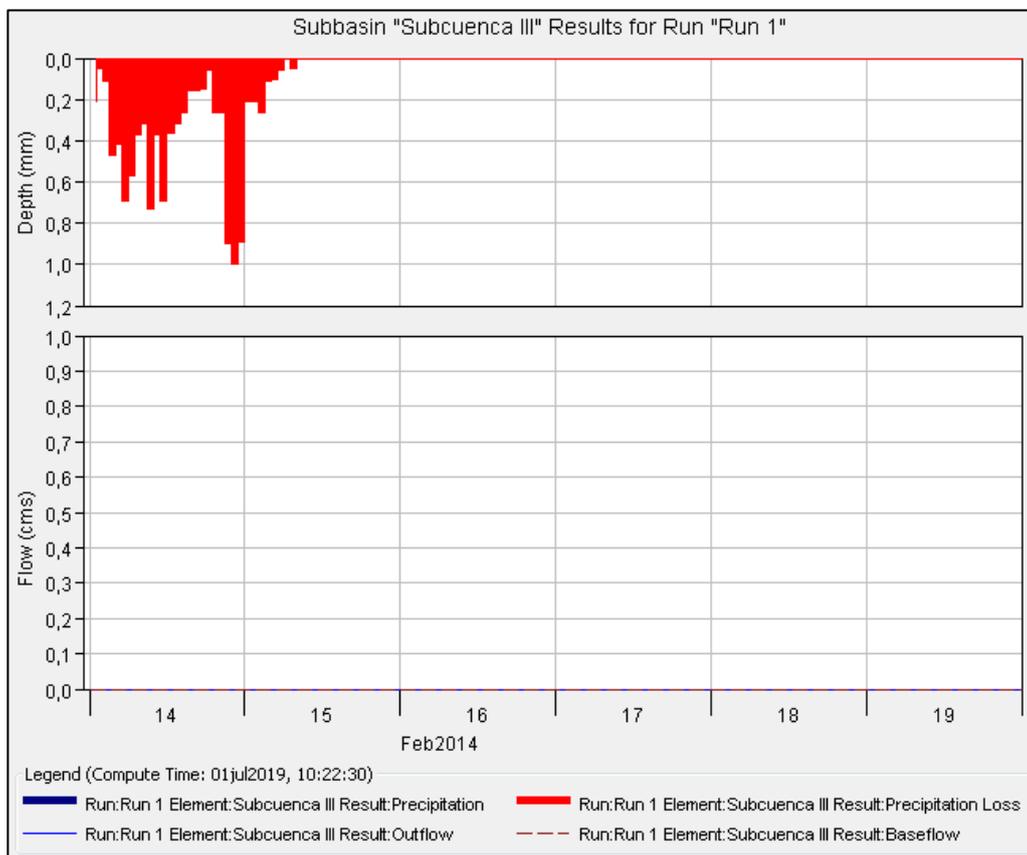


Figura AIX 3.47. Gráfico de resultados de la modelación de subcuenca III.

4 Resultados de la modelación – Precipitación 75 mm

4.1 Subcuenca del Río Grande

Project: Río grande - ppt 75 Simulation Run: Run 1

Start of Run: 13feb2014, 00:00 Basin Model: Cuenca Río Grande
End of Run: 17feb2014, 00:00 Meteorologic Model: Met 1
Compute Time: 20nov2018, 09:53:40 Control Specifications: Control 1

Show Elements: All Elements Volume Units: MM 1000 M3 Sorting: Hydrologic

Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (1000 M3)
Cuenca Río Grande	637.4	1.04	15feb2014, 16:00	26.21
río Grande	637.4	1.00	16feb2014, 03:00	25.68
Cerro Pelado	637.4	1.00	16feb2014, 03:00	25.68

Figura AIX 4.1. Tabla de resultados de la subcuenca del río Grande.

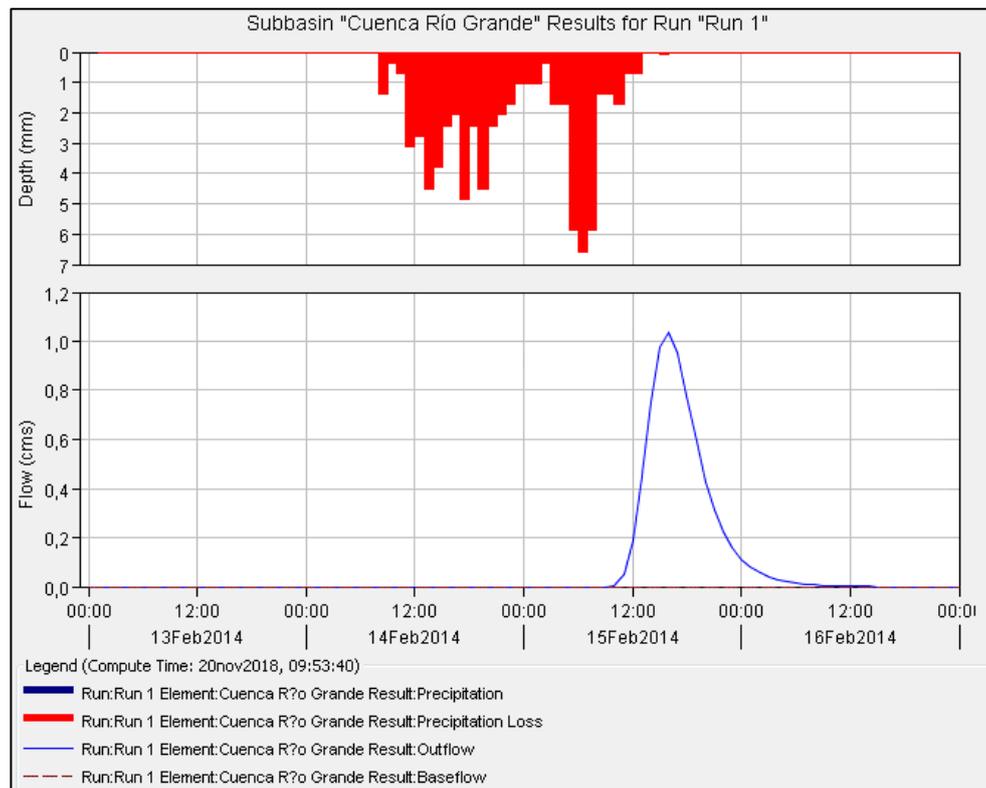


Figura AIX 4.2. Gráfico de resultados de la modelación de la subcuenca del río Grande.

4.2 Subcuenca del Río Santa Rosa

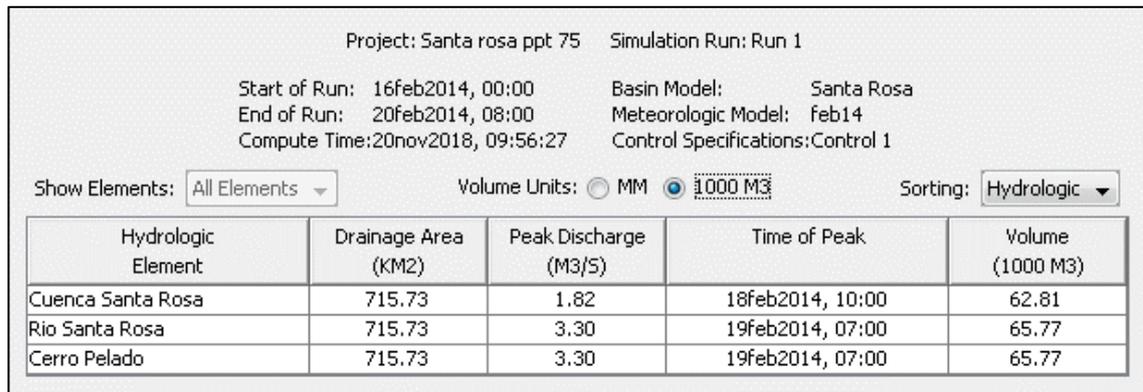


Figura AIX 4.3. Tabla de resultados de la subcuenca del río Santa Rosa.

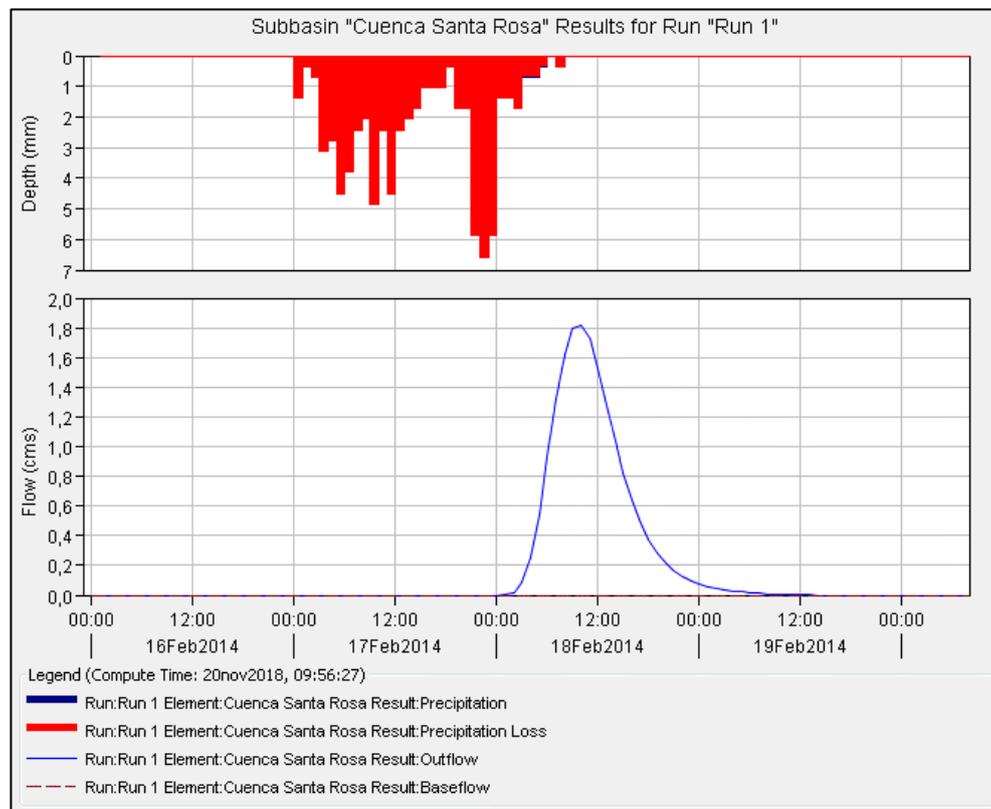


Figura AIX 4.4. Gráfico de resultados de la modelación de la subcuenca del río Santa Rosa.

4.3 Subcuenca del Río Quillinzo

Project: Río Quillinzo - ppt 75 Simulation Run: Run 1

Start of Run: 15Feb2014, 00:00 Basin Model: Río Quillinzo
 End of Run: 18Feb2014, 08:00 Meteorologic Model: feb
 Compute Time: 20Nov2018, 10:06:00 Control Specifications: Control 1

Show Elements: Volume Units: MM 1000 M3 Sorting:

Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/5)	Time of Peak	Volume (1000 M3)
Río Quillinzo	615.75	39.29	17Feb2014, 06:00	1492.54
rio Quillinzo	615.75	38.82	17Feb2014, 14:00	1448.80
Embalse Rio Tercero	615.75	38.82	17Feb2014, 14:00	1448.80

Figura AIX 4.5. Tabla de resultados de la subcuenca del río Quillinzo.

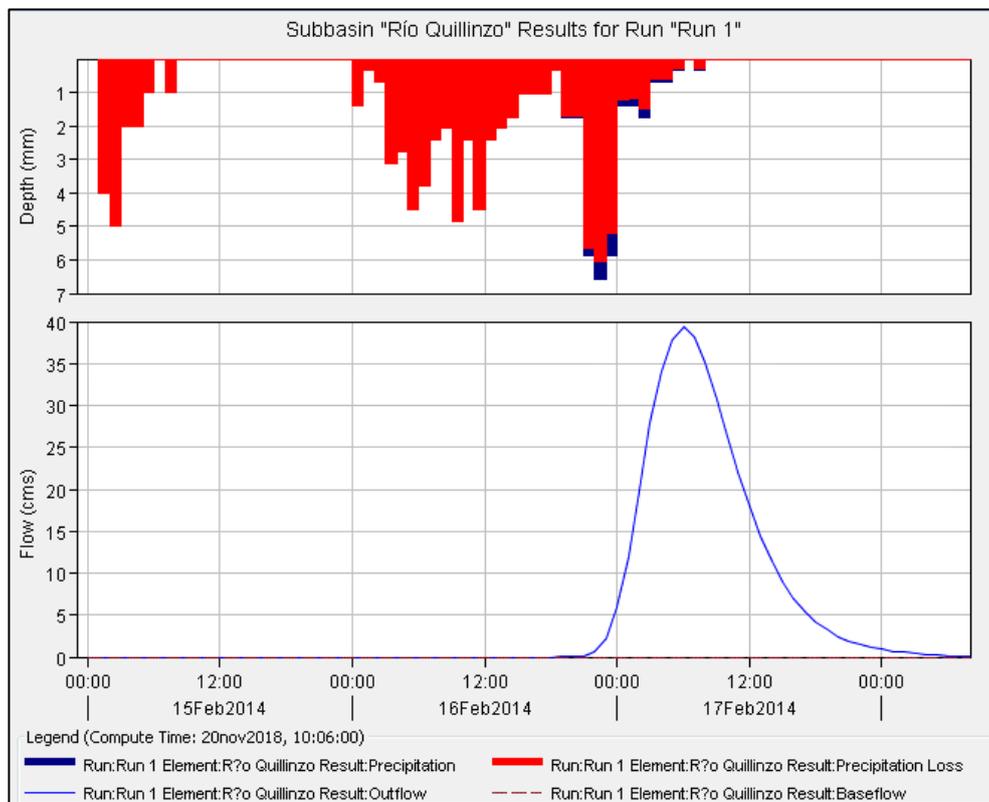


Figura AIX 4.6. Gráfico de resultados de la modelación de la subcuenca del río Quillinzo.

4.4 Subcuenca del Río De La Cruz

Project: Río De La Cruz - ppt 75 Simulation Run: Run 1

Start of Run: 14Feb2014, 00:00 Basin Model: De La Cruz
 End of Run: 16Feb2014, 08:00 Meteorologic Model: Met 1
 Compute Time: 20Nov2018, 10:10:05 Control Specifications: Control 1

Show Elements: All Elements Volume Units: MM 1000 M3 Sorting: Hydrologic

Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (1000 M3)
De La Cruz	517.69	14.94	15Feb2014, 07:00	576.56
río de la cruz	517.69	19.45	15Feb2014, 18:00	536.14
Embalse Rio Tercero	517.69	19.45	15Feb2014, 18:00	536.14

Figura AIX 4.7. Tabla de resultados de la subcuenca del río De LA Cruz.

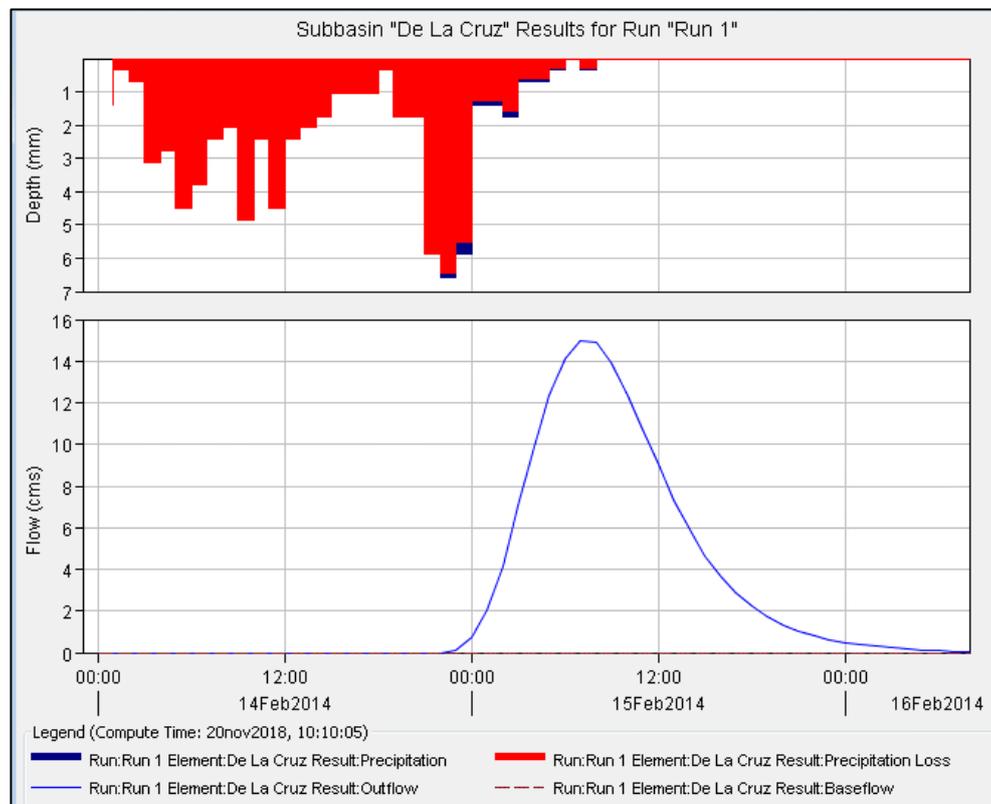


Figura AIX 4.8. Gráfico de resultados de la modelación de la subcuenca del río De La Cruz.

4.5 Subcuenca del Arroyo Soconcho

Project: A. Soconcho - ppt 75 Simulation Run: Run 1

Start of Run: 14Feb2014, 00:00 Basin Model: A. Soconcho
 End of Run: 16Feb2014, 08:00 Meteorologic Model: Met 1
 Compute Time: 20Nov2018, 10:15:29 Control Specifications: Control 1

Show Elements: All Elements Volume Units: MM 1000 M3 Sorting: Hydrologic

Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/5)	Time of Peak	Volume (1000 M3)
Soconcho	242.44	60.29	15Feb2014, 03:00	2030.97
arroyo Soconcho	242.44	59.78	15Feb2014, 05:00	2037.04
Embalse Piedras Moras	242.44	59.78	15Feb2014, 05:00	2037.04

Figura AIX 4.9. Tabla de resultados de la subcuenca del arroyo Soconcho.

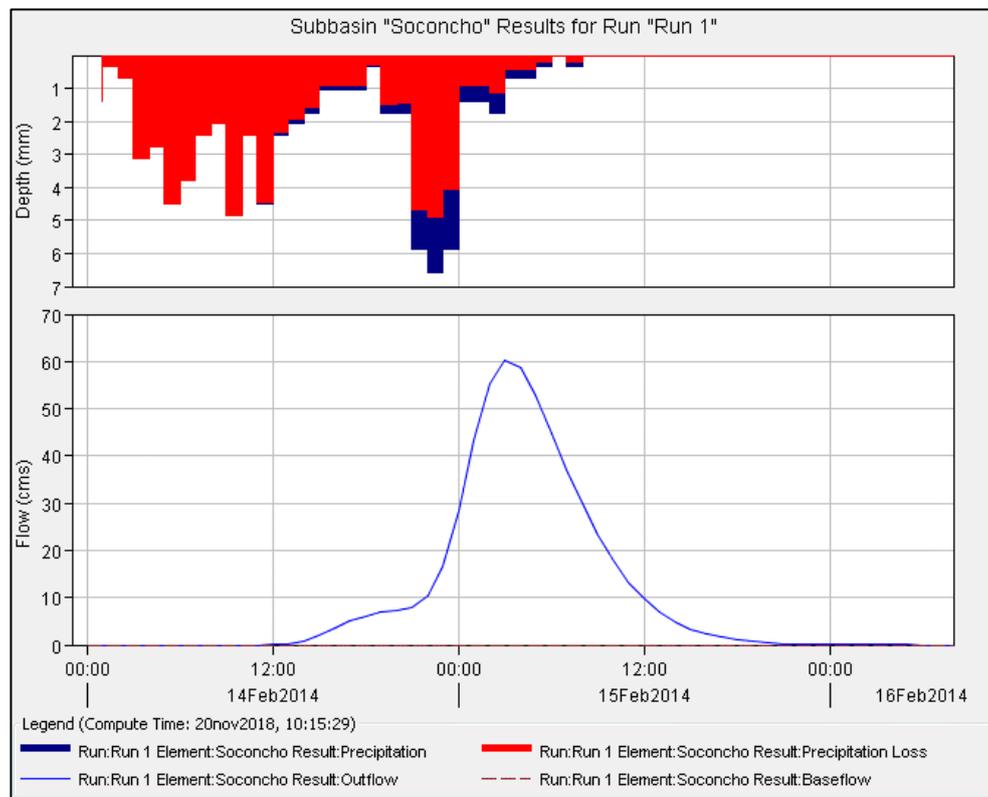


Figura AIX 4.10. Gráfico de resultados de la modelación de la subcuenca del arroyo Soconcho.

4.6 Subcuenca Arroyo De Lutti

Project: Arr de lutti Simulation Run: Run 1				
Start of Run: 14feb2014, 00:00		Basin Model: De Lutti		
End of Run: 16feb2014, 08:00		Meteorologic Model: Met 1		
Compute Time:20nov2018, 10:38:10		Control Specifications:Control 1		
Show Elements:	All Elements	Volume Units:	MM <input type="radio"/> 1000 M3 <input checked="" type="radio"/>	Sorting: Hydrologic
Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (1000 M3)
De Lutti	74.13	0.20	15feb2014, 06:00	4.12
arroyo De Lutti	74.13	0.19	15feb2014, 13:00	4.13
Embalse Cerro Pelado	74.13	0.19	15feb2014, 13:00	4.13

Figura AIX 4.11. Tabla de resultados de la subcuenca del arroyo De Lutti.

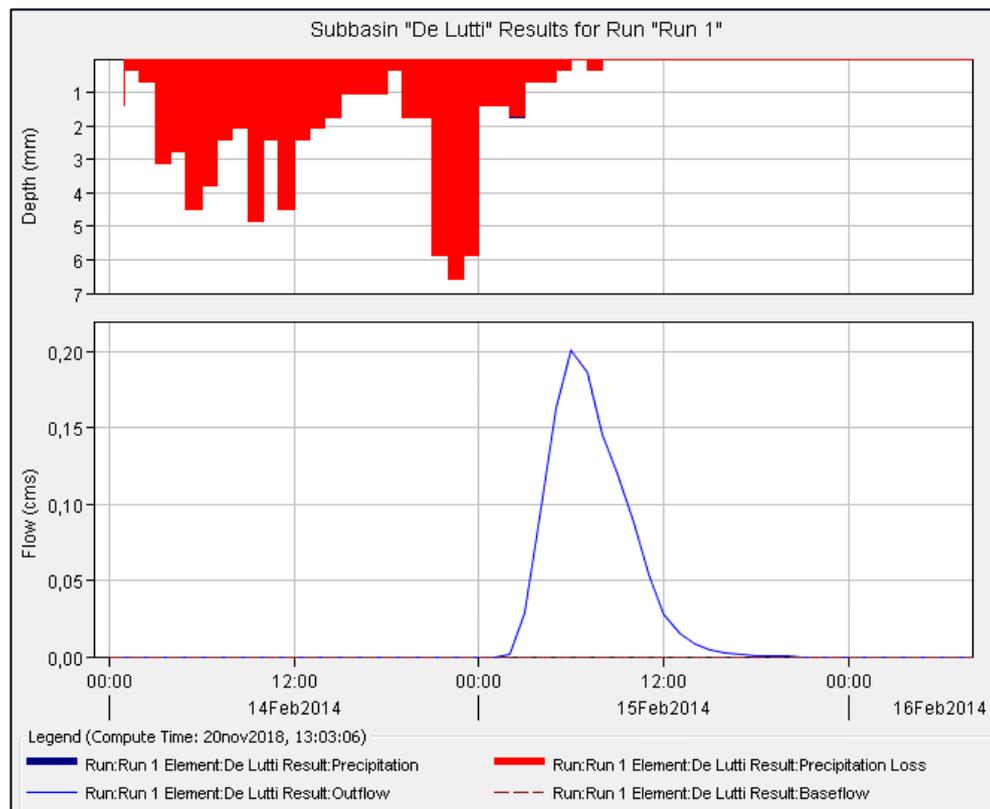


Figura AIX 4.12. Gráfico de resultados de la modelación de la subcuenca del arroyo De Lutti.

4.7 Subcuenca Arroyo San Antonio

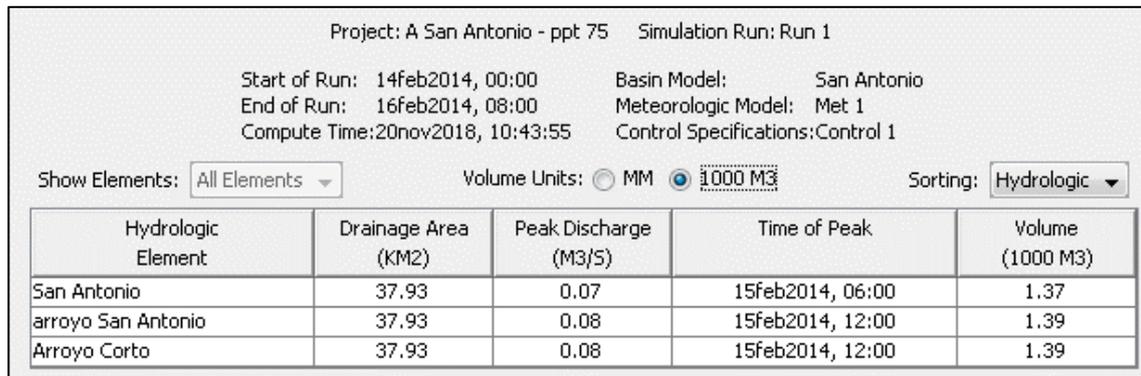


Figura AIX 4.13. Tabla de resultados de la subcuenca del arroyo San Antonio.

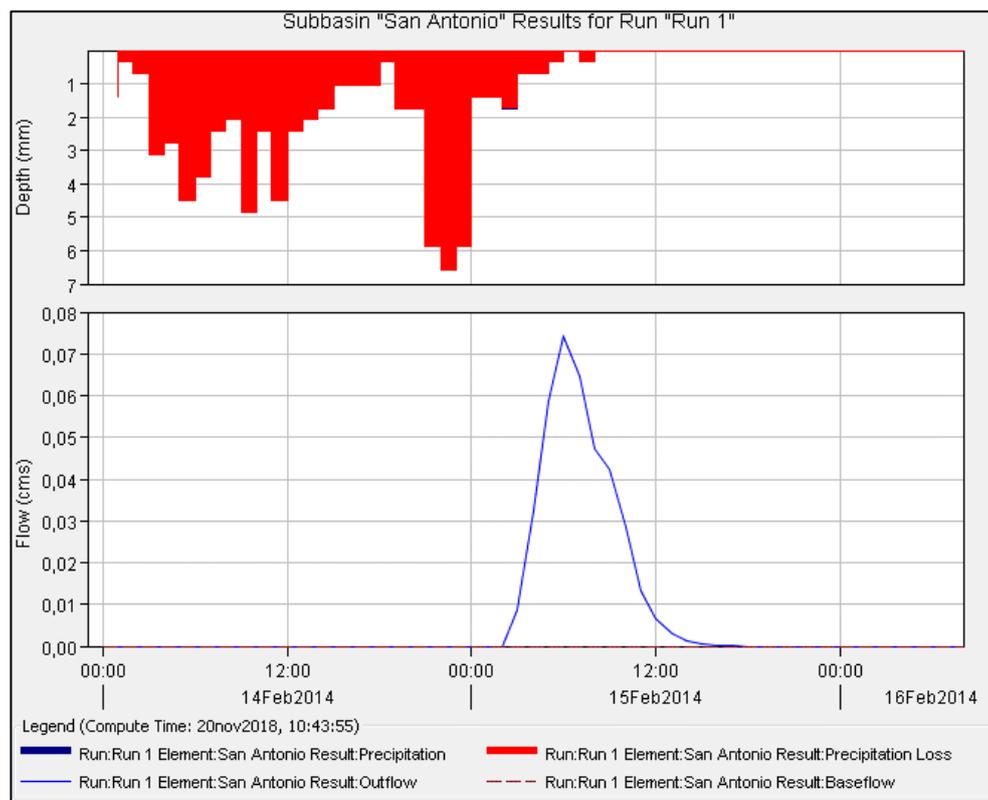


Figura AIX 4.14. Gráfico de resultados de la modelación de la subcuenca del arroyo San Antonio.

4.8 Subcuenca Arroyo Amboy

Project: A Amboy - ppt 75 Simulation Run: Run 1

Start of Run: 14feb2014, 00:00 Basin Model: Amboy
 End of Run: 16feb2014, 09:00 Meteorologic Model: Met 1
 Compute Time: 20nov2018, 10:47:19 Control Specifications: Control 1

Show Elements: All Elements Volume Units: MM 1000 M3 Sorting: Hydrologic

Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (1000 M3)
Amboy	107.01	0.37	15feb2014, 06:00	8.46
arroyo Amboy	107.01	0.37	15feb2014, 14:00	9.03
Embalse río Tercero	107.01	0.37	15feb2014, 14:00	9.03

Figura AIX 4.15. Tabla de resultados de la subcuenca del arroyo Amboy.

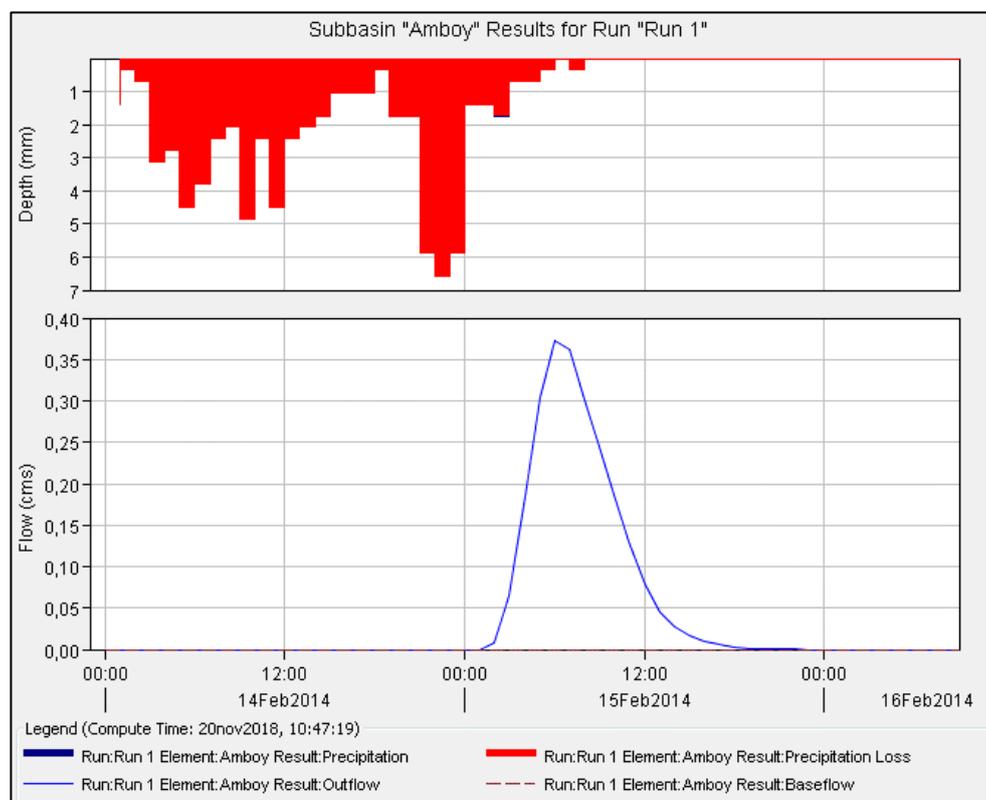


Figura AIX 4.16. Gráfico de resultados de la modelación de la subcuenca del arroyo Amboy.

4.9 Zona de aporte al Embalse Compensador Arroyo Corto

Project: Aporte A corto Simulation Run: Run 1

Start of Run: 14feb2014, 00:00 Basin Model: Arroyo Corto
 End of Run: 16feb2014, 08:00 Meteorologic Model: Met 1
 Compute Time: 20nov2018, 11:04:13 Control Specifications: Control 1

Show Elements: All Elements Volume Units: MM 1000 M3 Sorting: Hydrologic

Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (1000 M3)
Arroyo Corto	67.54	0.03	15feb2014, 07:00	0.66
Embalse Arroyo Corto	67.54	0.03	15feb2014, 07:00	0.66

Figura AIX 4.17. Tabla de resultados de la zona de aporte al embalse Arroyo Corto.

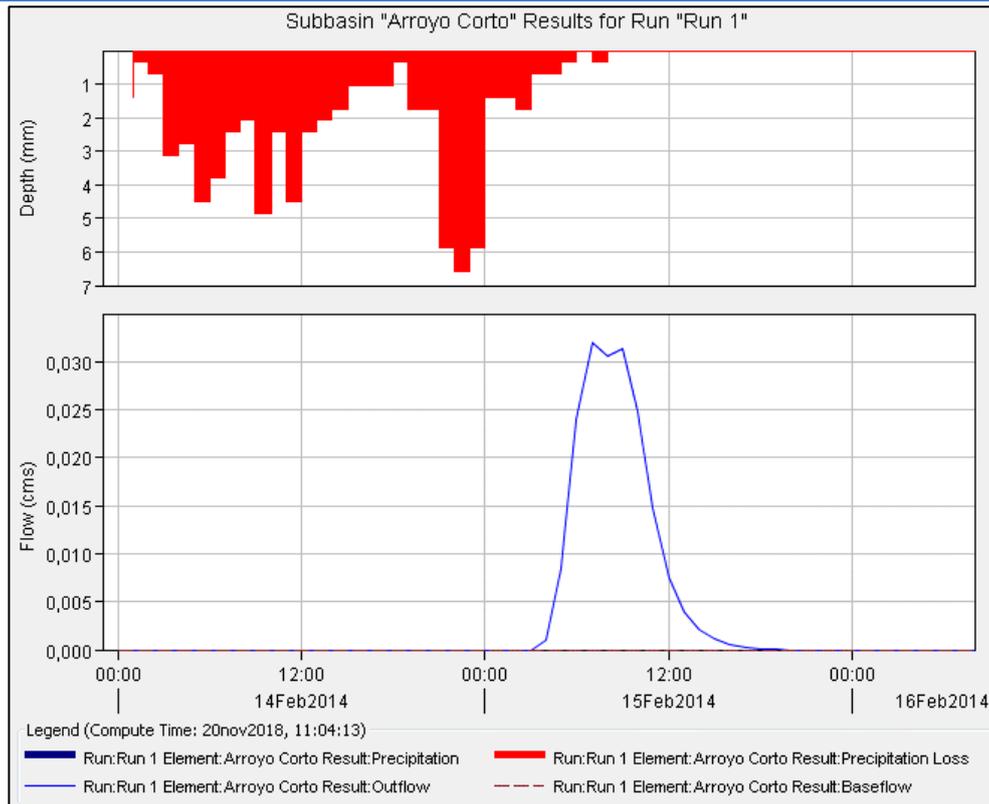


Figura AIX 4.18. Gráfico de resultados de la modelación de la zona de aporte al embalse Arroyo Corto.

4.10 Zona de aporte al Embalse Río Tercero

Project: Ap río tercero - ppt 75 Simulation Run: Run 1

Start of Run: 14feb2014, 00:00 Basin Model: Aporte Río Tercero
 End of Run: 16feb2014, 08:00 Meteorologic Model: Met 1
 Compute Time: 20nov2018, 11:06:43 Control Specifications: Control 1

Show Elements: Volume Units: MM 1000 M3 Sorting:

Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (1000 M3)
Ap Río Tercero	460.08	34.22	15feb2014, 06:00	1240.57
Embalse Río Tercero	460.08	34.22	15feb2014, 06:00	1240.57

Figura AIX 4.19. Tabla de resultados de la zona de aporte al embalse Río Tercero.

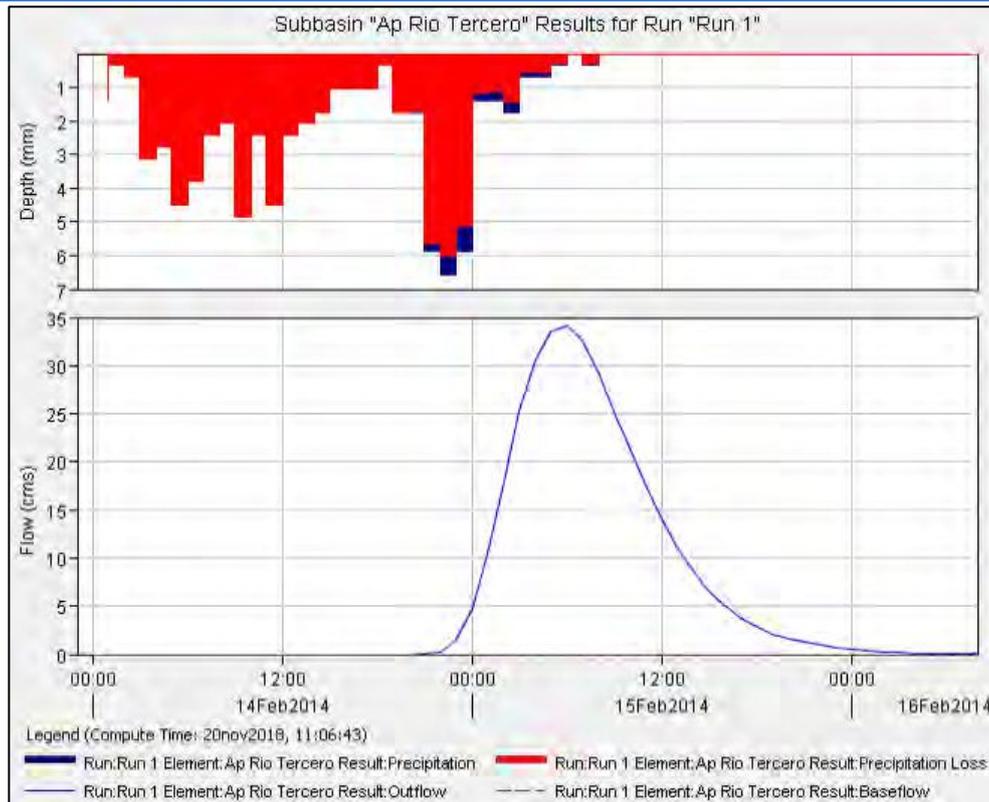


Figura AIX 4.20. Gráfico de resultados de la modelación de la zona de aporte al embalse Río Tercero.

4.11 Zona de aporte al Embalse Cerro Pelado

Project: Cerro Pelado		Simulation Run: Run 1		
Start of Run: 14feb2014, 00:00		Basin Model: Ap Cerro Pelado		
End of Run: 16feb2014, 08:00		Meteorologic Model: Met 1		
Compute Time: 17dic2018, 11:12:48		Control Specifications: Control 1		
Show Elements:	All Elements	Volume Units:	<input type="radio"/> MM <input checked="" type="radio"/> 1000 M3	Sorting: Hydrologic
Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (1000 M3)
Ap Cerro Pelado	71.03	0.00	14feb2014, 00:00	0.00
Embalse Cerro Pelado	71.03	0.00	14feb2014, 00:00	0.00

Figura 4.21. Tabla de resultados de la zona de aporte al embalse Cerro Pelado.

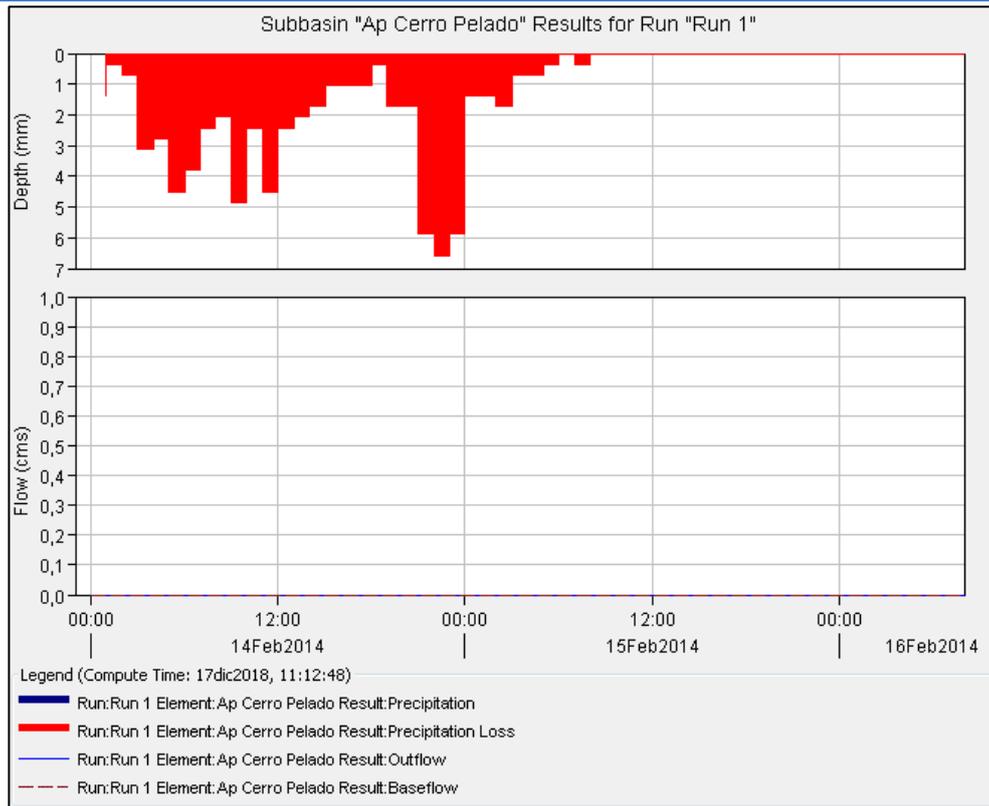


Figura AIX 4.22. Gráfico de resultados de la modelación de la zona de aporte al embalse Cerro Pelado.

4.12 Zona de aporte al Embalse Piedras Moras

Project: Ap Piedras Moras Simulation Run: Run 1

Start of Run: 14feb2014, 00:00 Basin Model: Aporte a Piedras Moras
 End of Run: 16feb2014, 08:00 Meteorologic Model: Met 1
 Compute Time: 20nov2018, 11:14:20 Control Specifications: Control 1

Show Elements: Volume Units: MM 1000 M3 Sorting:

Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (1000 M3)
Ap. Piedras Moras	135.8	20.46	15feb2014, 03:00	625.21
Embalse Piedras Moras	135.8	20.46	15feb2014, 03:00	625.21

Figura AIX 4.23. Tabla de resultados de la zona de aporte al embalse Piedras Moras.

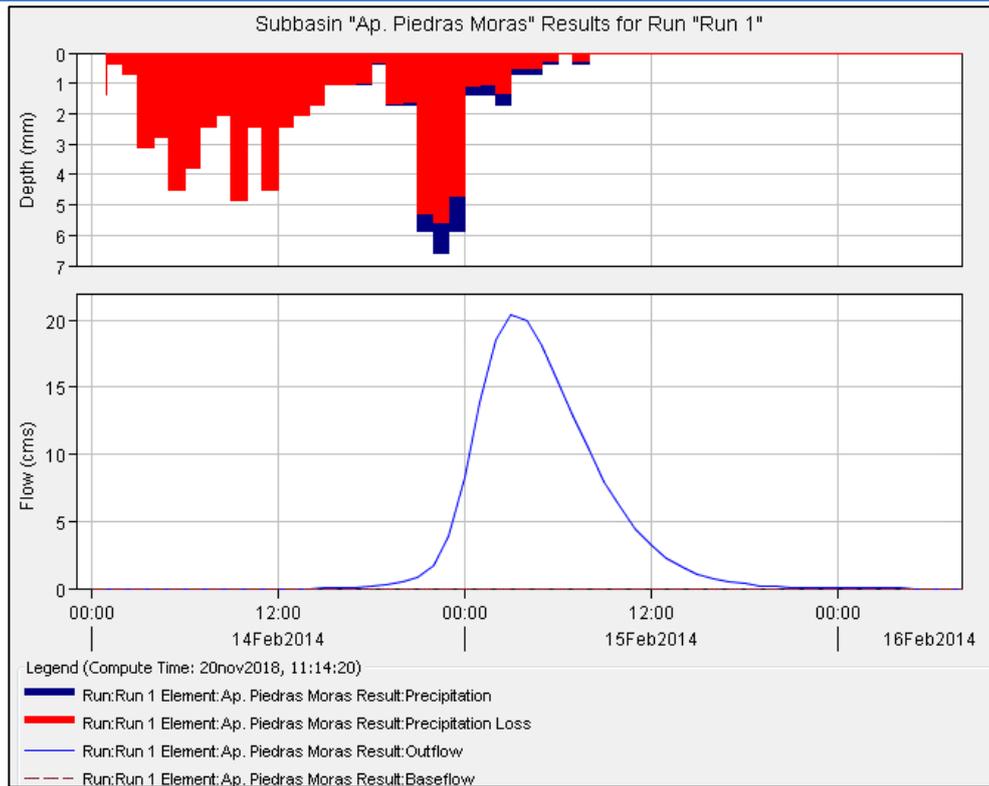


Figura AIX 4.24. Gráfico de resultados de la modelación de la zona de aporte al embalse Piedras Moras

4.13 Zona de aporte al Embalse Ing. Reolín

Project: Ap ing Reolin - ppt 75 Simulation Run: Run 1

Start of Run: 14feb2014, 00:00 Basin Model: Ing. Reolin
End of Run: 16feb2014, 08:00 Meteorologic Model: Met 1
Compute Time:20nov2018, 11:31:05 Control Specifications:Control 1

Show Elements: Volume Units: MM 1000 M3 Sorting:

Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (1000 M3)
Ap Ing Reolin	125.64	24.98	15feb2014, 02:00	622.83
Presa Ingeniero Reolin	125.64	24.98	15feb2014, 02:00	622.83

Figura AIX 4.25. Tabla de resultados de la zona de aporte al embalse Ing. Reolín.

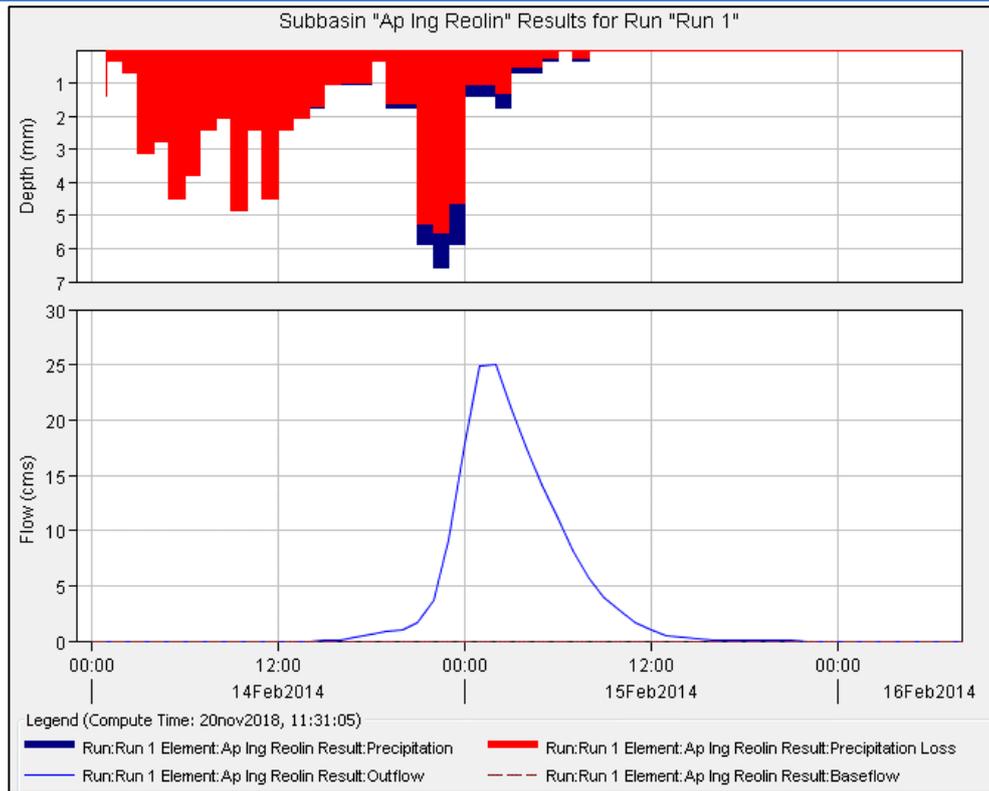


Figura AIX 4.26. Gráfico de resultados de la modelación de la zona de aporte al embalse Ing. Reolín.

4.14 Zona de aporte al embalse Ing. Cassafouth

Project: Ap ing cassafouth Simulation Run: Run 1

Start of Run: 14feb2014, 00:00 Basin Model: Ap Ing. Cassafouth
 End of Run: 16feb2014, 08:00 Meteorologic Model: Met 1
 Compute Time:20nov2018, 11:33:24 Control Specifications:Control 1

Show Elements: All Elements Volume Units: MM 1000 M3 Sorting: Hydrologic

Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (1000 M3)
Ap Ing Cassafouth	14.88	0.01	15feb2014, 06:00	0.15
Embalse Ing Cassafouth	14.88	0.01	15feb2014, 06:00	0.15

Figura AIX 4.27. Tabla de resultados de la zona de aporte al embalse Ing. Cassafouth.

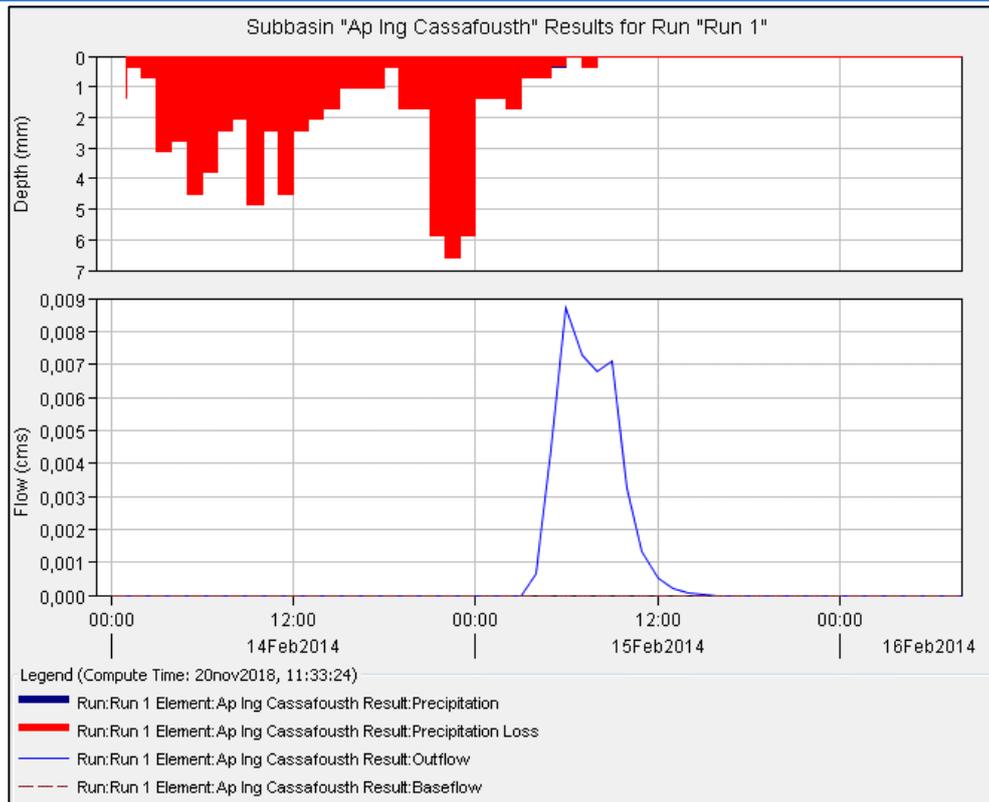


Figura AIX 4.28. Gráfico de resultados de la modelación de la zona de aporte al embalse Ing. Cassafousth.

4.15 Cuenca media-baja

Project: 7_CMB_75_CAA_2 Simulation Run: Run 1

Start of Run: 14feb2014, 00:00 Basin Model: Cuenca Media - Baja
 End of Run: 20feb2014, 00:00 Meteorologic Model: Met 1
 Compute Time: 01jul2019, 10:09:54 Control Specifications: Control 1

Show Elements: Volume Units: MM 1000 M3 Sorting:

Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (1000 M3)
Subcuenca II	2620	59.83	15feb2014, 21:00	6344.18
Subcuenca I	1900	46.46	15feb2014, 20:00	4600.74
rio Ctalamochita 1	1900	45.56	16feb2014, 14:00	4598.47
Subcuenca III	2619.9	52.10	16feb2014, 01:00	6342.87
rio Ctalamochita 2	4520	65.97	17feb2014, 06:00	10696.78
Aforo	7139.9	94.05	16feb2014, 12:00	17039.65

Figura AIX 4.29. Tabla de resumen resultados de la cuenca media-baja.

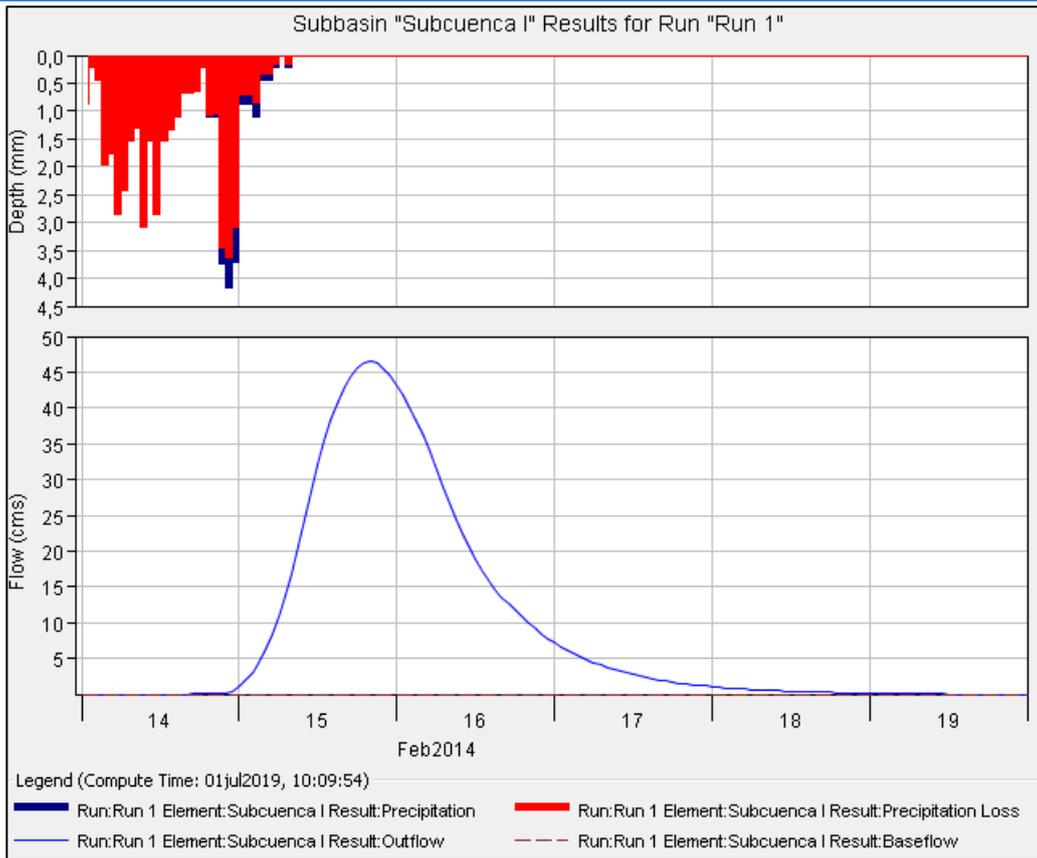


Figura AIX 4.30. Gráfico de resultados de la modelación de subcuenca I.

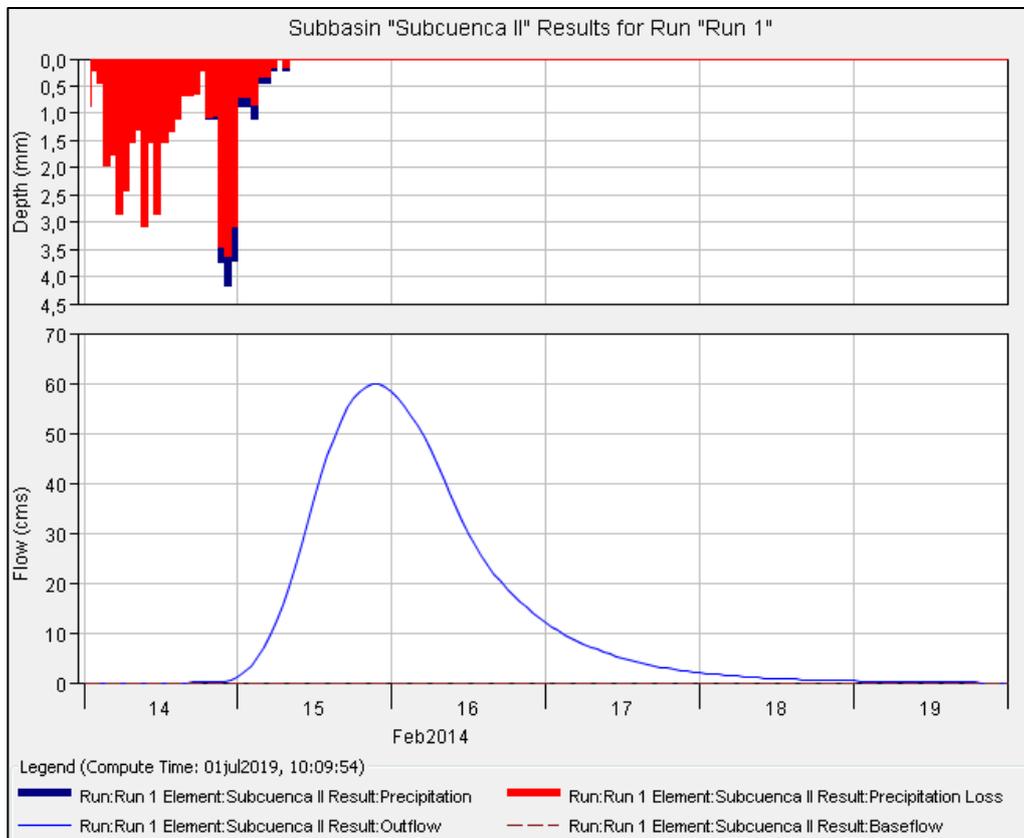


Figura AIX 4.31. Gráfico de resultados de la modelación de subcuenca II.

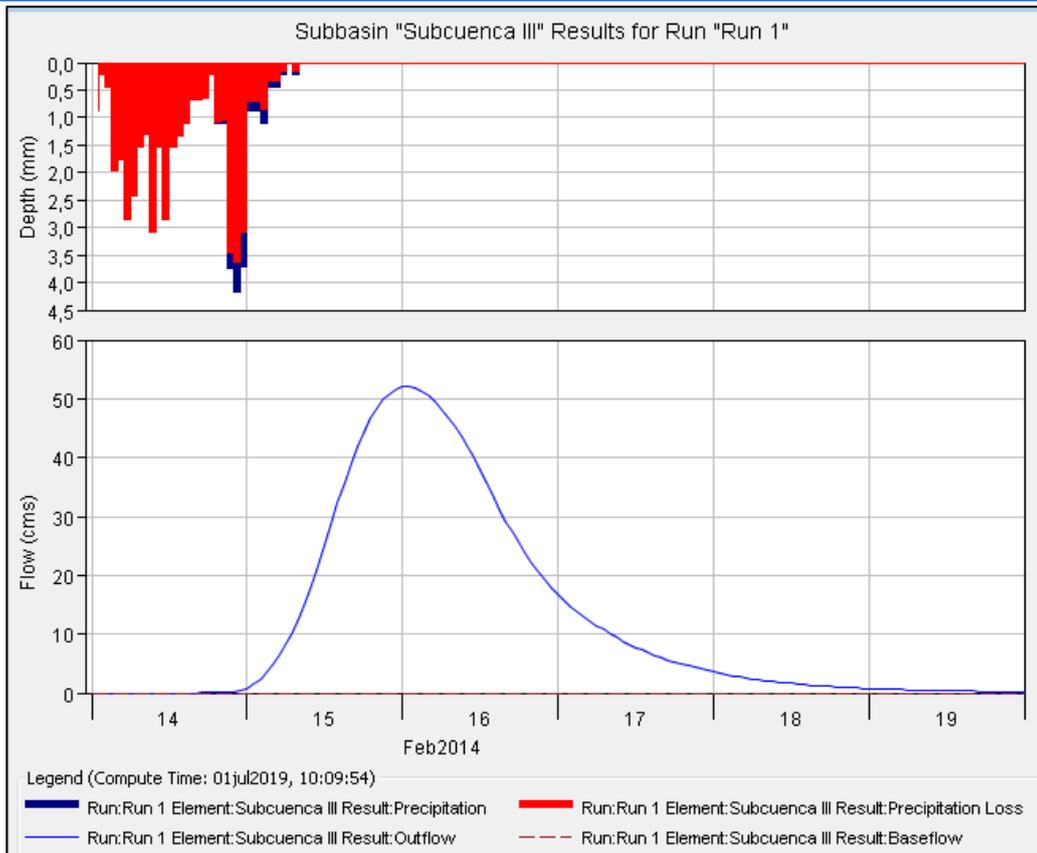


Figura AIX 4.32. Gráfico de resultados de la modelación de subcuenca III.

5 Resultados de la modelación – Precipitación 118 mm

5.1 Subcuenca del Río Grande

Project: R. grande__ Simulation Run: Run 1

Start of Run: 13feb2014, 00:00 Basin Model: Cuenca Río Grande
 End of Run: 17feb2014, 00:00 Meteorologic Model: Met 1
 Compute Time:06nov2018, 09:06:20 Control Specifications:Control 1

Show Elements: All Elements Volume Units: MM 1000 M3 Sorting: Hydrologic

Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (1000 M3)
Cuenca Río Grande	637.4	109.80	15feb2014, 12:00	3369.65
río Grande	637.4	108.52	15feb2014, 14:00	3373.48
Cerro Pelado	637.4	108.52	15feb2014, 14:00	3373.48

Figura AIX 5.1. Tabla de resultados de la subcuenca del río Grande.

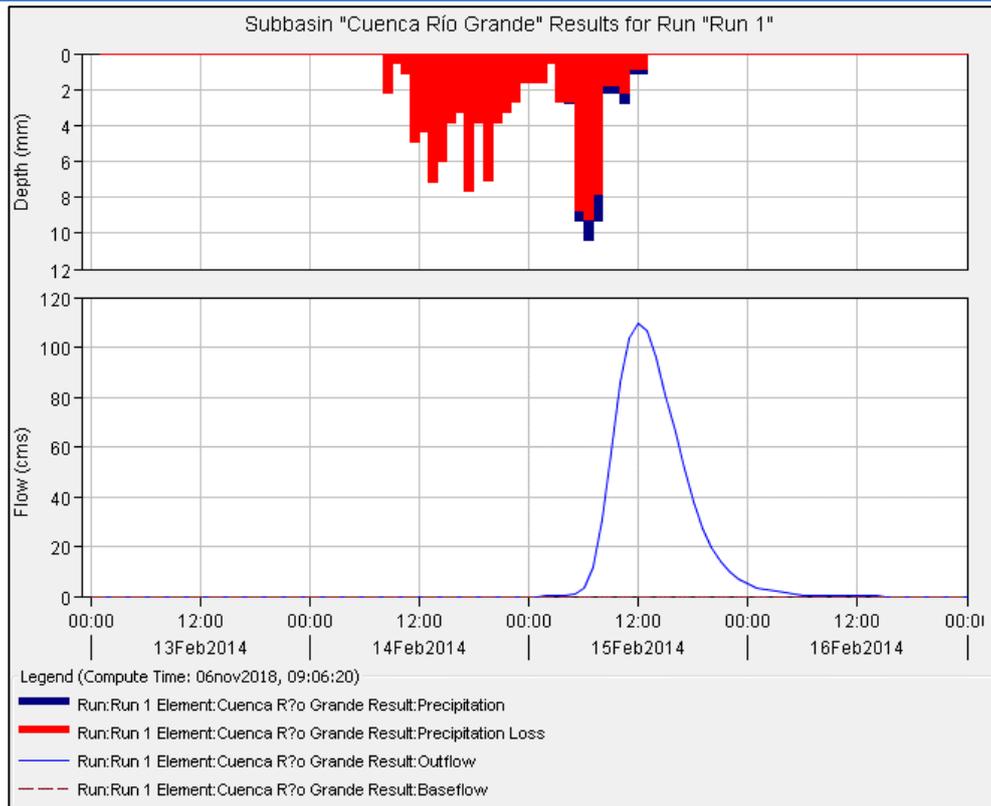


Figura AIX 5.2. Gráfico de resultados de la modelación de la subcuenca del río Grande.

5.2 Subcuenca del Río Santa Rosa

Project: Río Santa rosa		Simulation Run: Run 1		
Start of Run: 16feb2014, 00:00		Basin Model: Santa Rosa		
End of Run: 20feb2014, 08:00		Meteorologic Model: feb14		
Compute Time:06nov2018, 09:19:38		Control Specifications:Control 1		
Show Elements:	All Elements	Volume Units:	MM <input type="radio"/> 1000 M3 <input checked="" type="radio"/>	Sorting: Hydrologic
Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (1000 M3)
Cuenca Santa Rosa	715.73	111.84	18feb2014, 06:00	4183.19
Río Santa Rosa	715.73	111.32	18feb2014, 10:00	4195.28
Cerro Pelado	715.73	111.32	18feb2014, 10:00	4195.28

Figura AIX 5.3. Tabla de resultados de la subcuenca del río Santa Rosa.

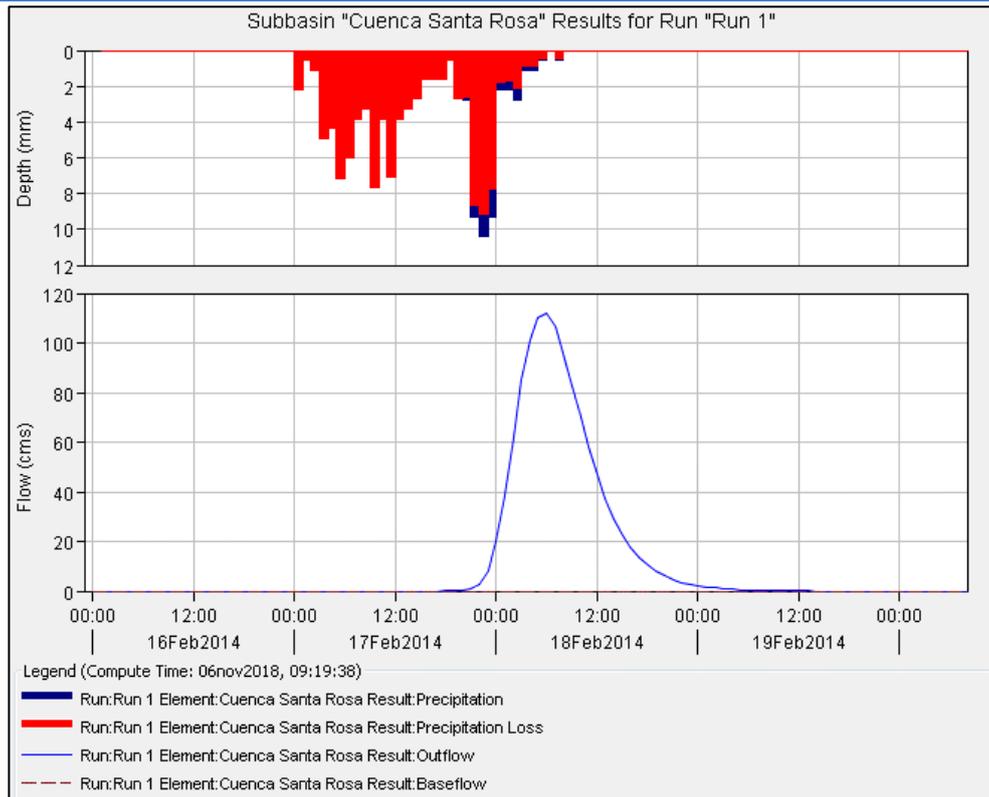


Figura AIX 5.4. Gráfico de resultados de la modelación de la subcuenca del río Santa Rosa.

5.3 Subcuenca del Río Quillinzo

Project: Rio Quillinzo Simulation Run: Run 1

Start of Run: 14feb2014, 00:00 Basin Model: Rio Quillinzo
 End of Run: 16feb2014, 08:00 Meteorologic Model: feb
 Compute Time:06nov2018, 09:28:01 Control Specifications:Control 1

Show Elements: All Elements Volume Units: MM 1000 M3 Sorting: Hydrologic

Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (1000 M3)
Río Quillinzo	615.75	115.50	15feb2014, 06:00	4453.32
rio Quillinzo	615.75	115.06	15feb2014, 11:00	4447.64
Embalse Rio Tercero	615.75	115.06	15feb2014, 11:00	4447.64

Figura AIX 5.5. Tabla de resultados de la subcuenca del río Quillinzo.

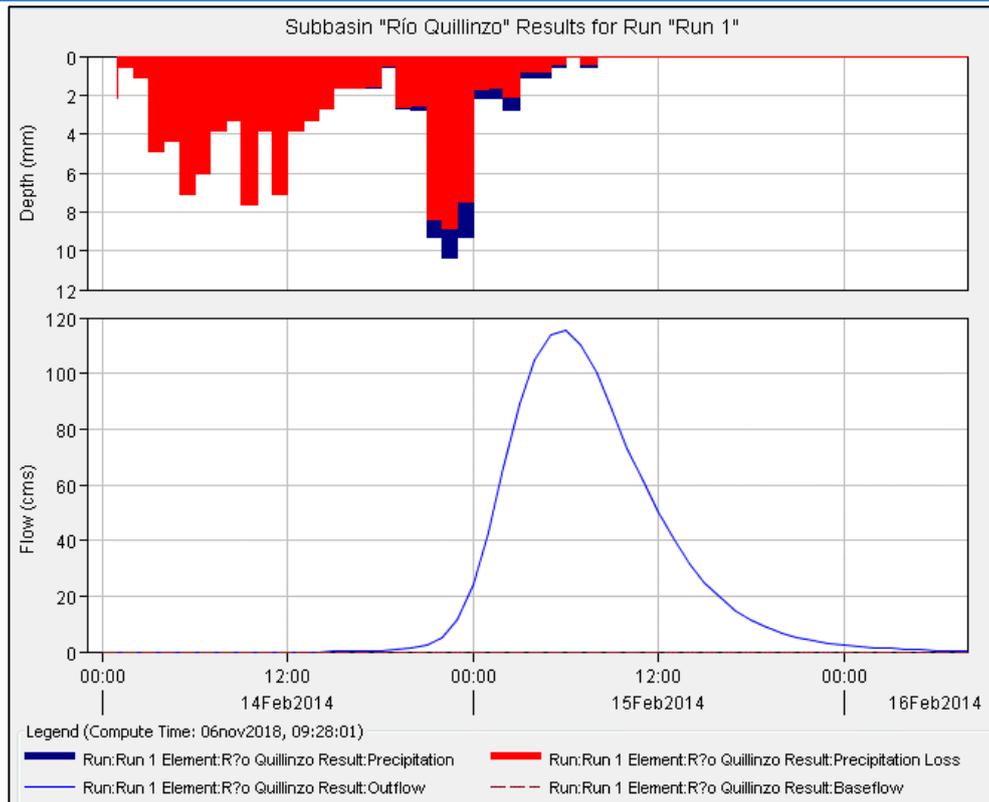


Figura AIX 5.6. Gráfico de resultados de la modelación de la subcuenca del río Quillinzo.

5.4 Subcuenca del Río De La Cruz

Project: Río de la Cruz Simulation Run: Run 1

Start of Run: 14feb2014, 00:00 Basin Model: De La Cruz
 End of Run: 16feb2014, 08:00 Meteorologic Model: Met 1
 Compute Time:06nov2018, 09:33:15 Control Specifications:Control 1

Show Elements: All Elements Volume Units: MM 1000 M3 Sorting: Hydrologic

Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (1000 M3)
De La Cruz	517.69	136.39	15feb2014, 06:00	5572.77
río de la cruz	517.69	136.06	15feb2014, 10:00	5562.36
Embalse Rio Tercero	517.69	136.06	15feb2014, 10:00	5562.36

Figura AIX 5.7. Tabla de resultados de la subcuenca del río De LA Cruz.

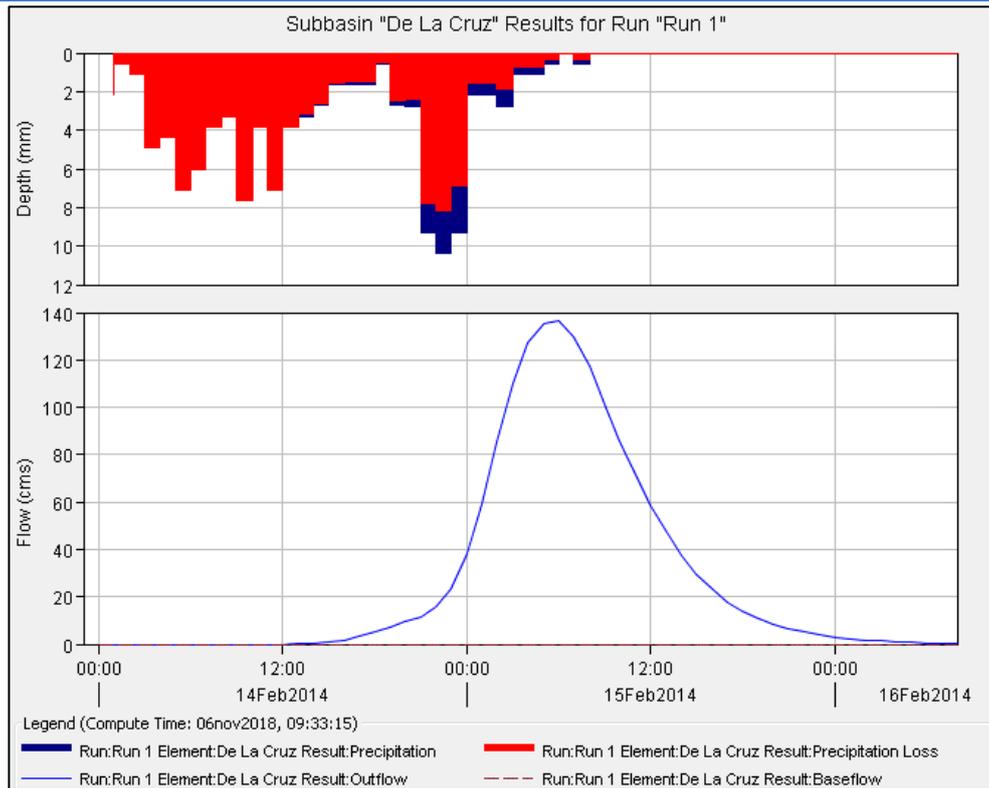


Figura AIX 5.8. Gráfico de resultados de la modelación de la subcuenca del río De La Cruz.

5.5 Subcuenca del Arroyo Soconcho

Project: Arr Soconcho Simulation Run: Run 1

Start of Run: 14Feb2014, 00:00 Basin Model: A, Soconcho
 End of Run: 16Feb2014, 08:00 Meteorologic Model: Met 1
 Compute Time: 06Nov2018, 09:50:25 Control Specifications: Control 1

Show Elements: All Elements Volume Units: MM 1000 M3 Sorting: Hydrologic

Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (1000 M3)
Soconcho	242.44	175.91	15Feb2014, 03:00	6878.15
arroyo Soconcho	242.44	173.43	15Feb2014, 04:00	6885.83
Embalse Piedras Moras	242.44	173.43	15Feb2014, 04:00	6885.83

Figura AIX 5.9. Tabla de resultados de la subcuenca del arroyo Soconcho.

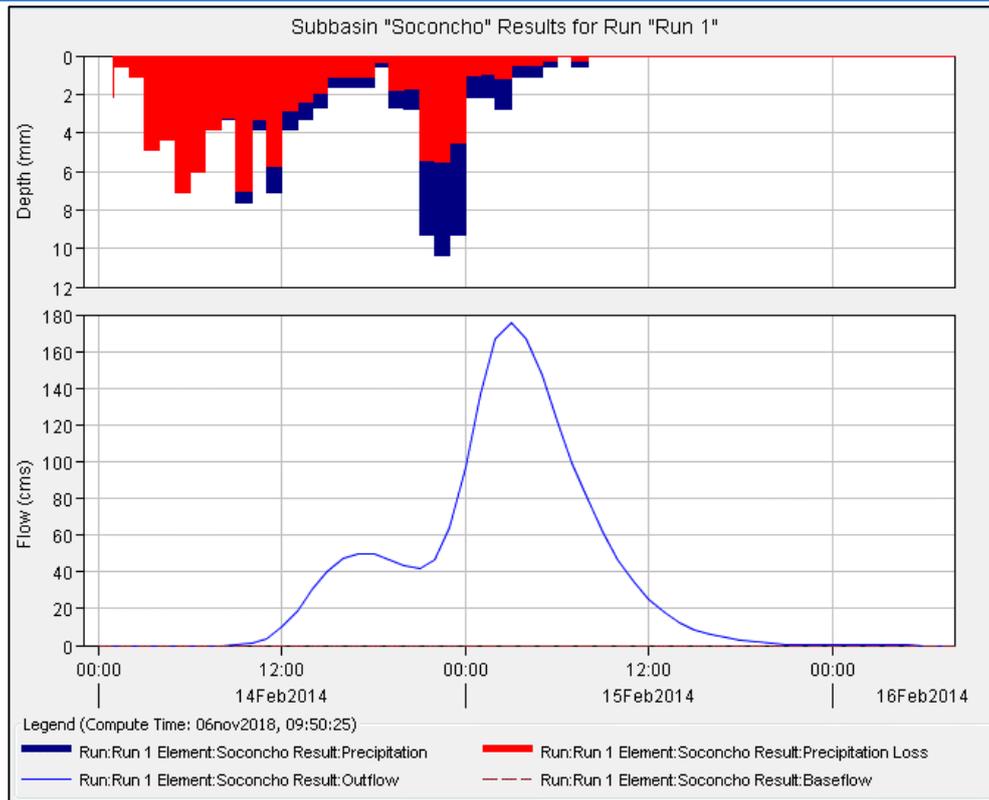


Figura AIX 5.10. Gráfico de resultados de la modelación de la subcuenca del arroyo Soconcho.

5.6 Subcuenca Arroyo De Lutti

Project: Arr de lutti Simulation Run: Run 1

Start of Run: 14feb2014, 00:00 Basin Model: De Lutti
 End of Run: 16feb2014, 08:00 Meteorologic Model: Met 1
 Compute Time:06nov2018, 09:53:26 Control Specifications:Control 1

Show Elements: All Elements Volume Units: MM 1000 M3 Sorting: Hydrologic

Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/5)	Time of Peak	Volume (1000 M3)
De Lutti	74.13	17.68	15feb2014, 01:00	408.89
arroyo De Lutti	74.13	17.81	15feb2014, 03:00	407.67
Embalse Cerro Pelado	74.13	17.81	15feb2014, 03:00	407.67

Figura AIX 5.11. Tabla de resultados de la subcuenca del arroyo De Lutti.

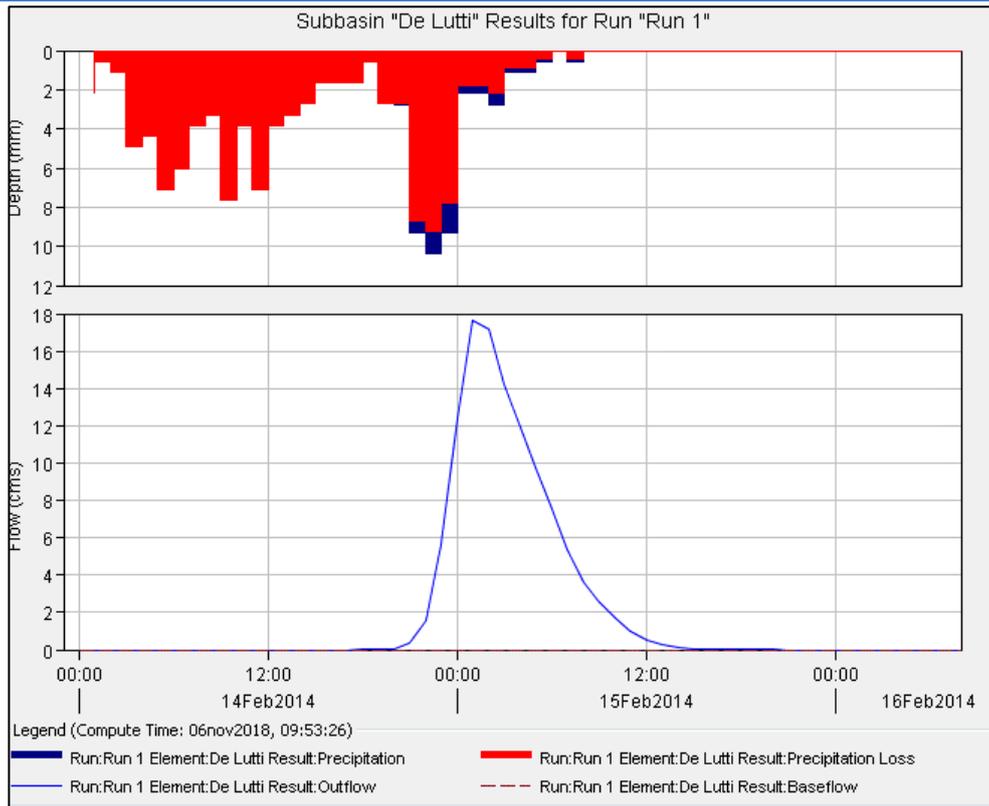


Figura AIX 5.12. Gráfico de resultados de la modelación de la subcuenca del arroyo De Lutti.

5.7 Subcuenca Arroyo San Antonio

Project: A San Antonio Simulation Run: Run 1

Start of Run: 14feb2014, 00:00 Basin Model: San Antonio
 End of Run: 16feb2014, 08:00 Meteorologic Model: Met 1
 Compute Time: 05nov2018, 10:16:23 Control Specifications: Control 1

Show Elements: Volume Units: MM 1000 M3 Sorting:

Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (1000 M3)
San Antonio	37.93	9.86	15feb2014, 01:00	200.06
arroyo San Antonio	37.93	9.70	15feb2014, 02:00	202.18
Arroyo Corto	37.93	9.70	15feb2014, 02:00	202.18

Figura AIX 5.13. Tabla de resultados de la subcuenca del arroyo San Antonio.

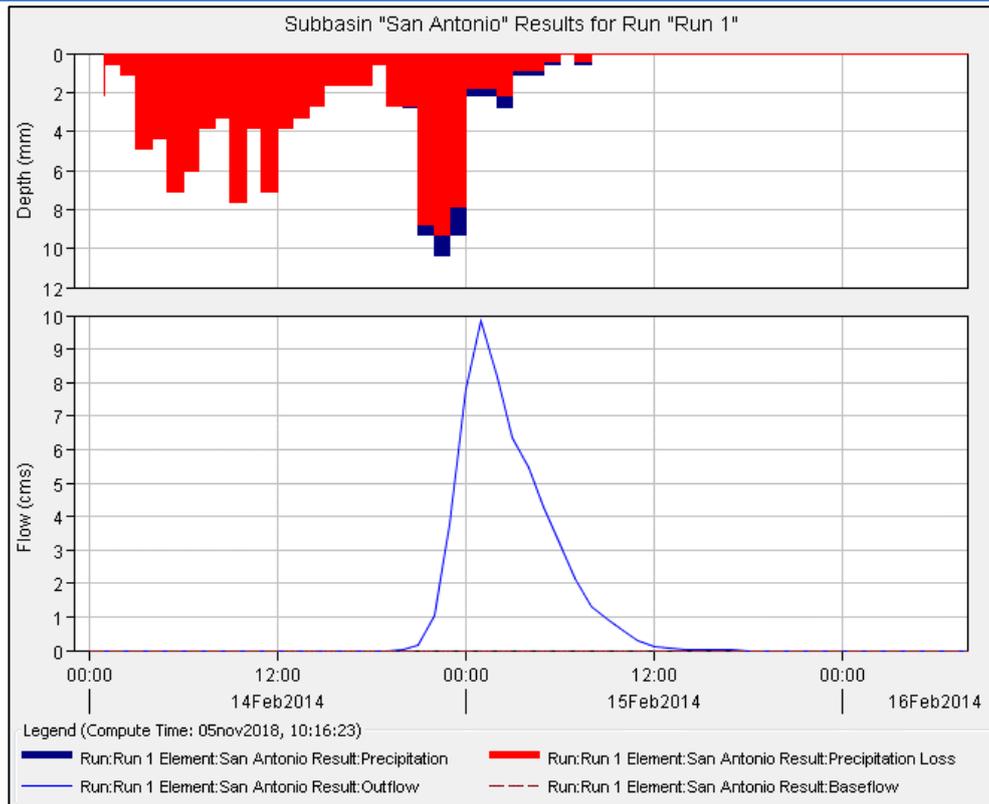


Figura AIX 5.14. Gráfico de resultados de la modelación de la subcuenca del arroyo San Antonio.

5.8 Subcuenca Arroyo Amboy

Project: A Amboy Simulation Run: Run 1

Start of Run: 14feb2014, 00:00 Basin Model: Amboy
 End of Run: 16feb2014, 09:00 Meteorologic Model: Met 1
 Compute Time:05nov2018, 11:05:16 Control Specifications:Control 1

Show Elements: All Elements Volume Units: MM 1,000 M3 Sorting: Hydrologic

Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (1000 M3)
Amboy	107.01	24.68	15feb2014, 02:00	616.56
arroyo Amboy	107.01	23.78	15feb2014, 04:00	618.57
Embalse río Tercero	107.01	23.78	15feb2014, 04:00	618.57

Figura AIX 5.15. Tabla de resultados de la subcuenca del arroyo Amboy.

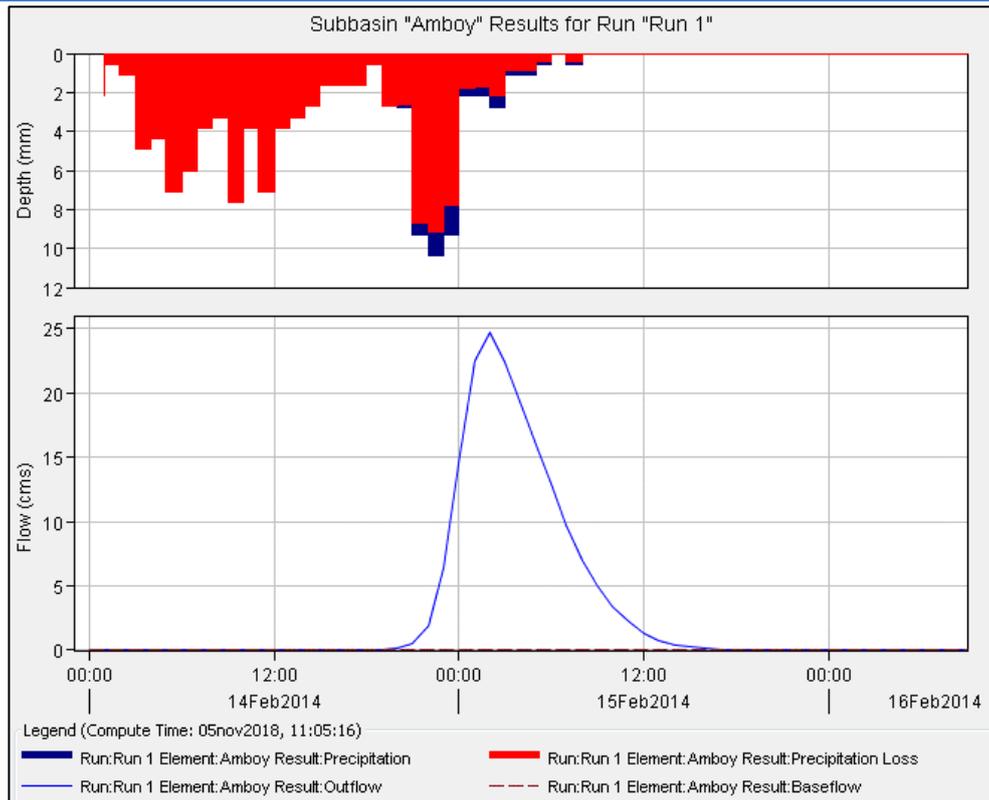


Figura AIX 5.16. Gráfico de resultados de la modelación de la subcuenca del arroyo Amboy.

5.9 Zona de aporte al Embalse Compensador Arroyo Corto

Project: Aporte A corto Simulation Run: Run 1

Start of Run: 14feb2014, 00:00 Basin Model: Arroyo Corto
 End of Run: 16feb2014, 08:00 Meteorologic Model: Met 1
 Compute Time:05nov2018, 12:00:41 Control Specifications:Control 1

Show Elements: All Elements Volume Units: MM 1000 M3 Sorting: Hydrologic

Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (1000 M3)
Arroyo Corto	67.54	14.35	15feb2014, 01:00	324.49
Embalse Arroyo Corto	67.54	14.35	15feb2014, 01:00	324.49

Figura AIX 5.17. Tabla de resultados de la zona de aporte al embalse Arroyo Corto.

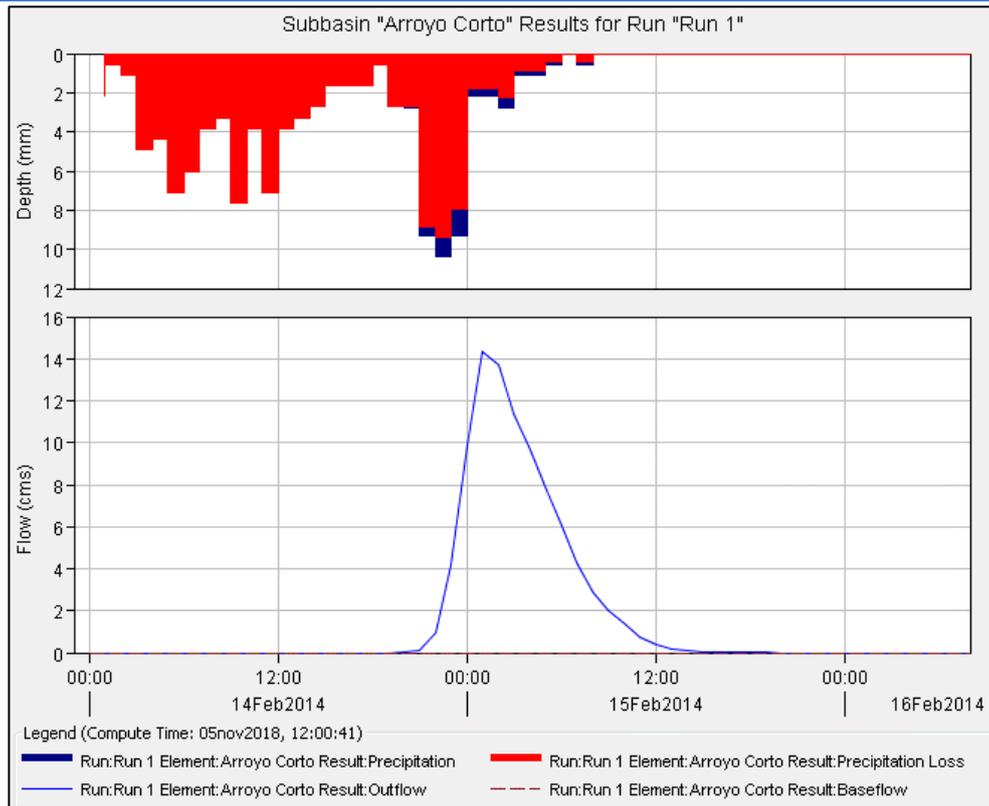


Figura AIX 5.18. Gráfico de resultados de la modelación de la zona de aporte al embalse Arroyo Corto.

5.10 Zona de aporte al Embalse Río Tercero

Project: AP rio tercero Simulation Run: Run 1

Start of Run: 14feb2014, 00:00 Basin Model: Aporte Río Tercero
 End of Run: 16feb2014, 08:00 Meteorologic Model: Met 1
 Compute Time: 05nov2018, 13:15:14 Control Specifications: Control 1

Show Elements: All Elements Volume Units: MM 1000 M3 Sorting: Hydrologic

Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (1000 M3)
Ap Rio Tercero	460.08	175.85	15feb2014, 05:00	7150.73
Embalse Río Tercero	460.08	175.85	15feb2014, 05:00	7150.73

Figura AIX 5.19. Tabla de resultados de la zona de aporte al embalse Río Tercero.

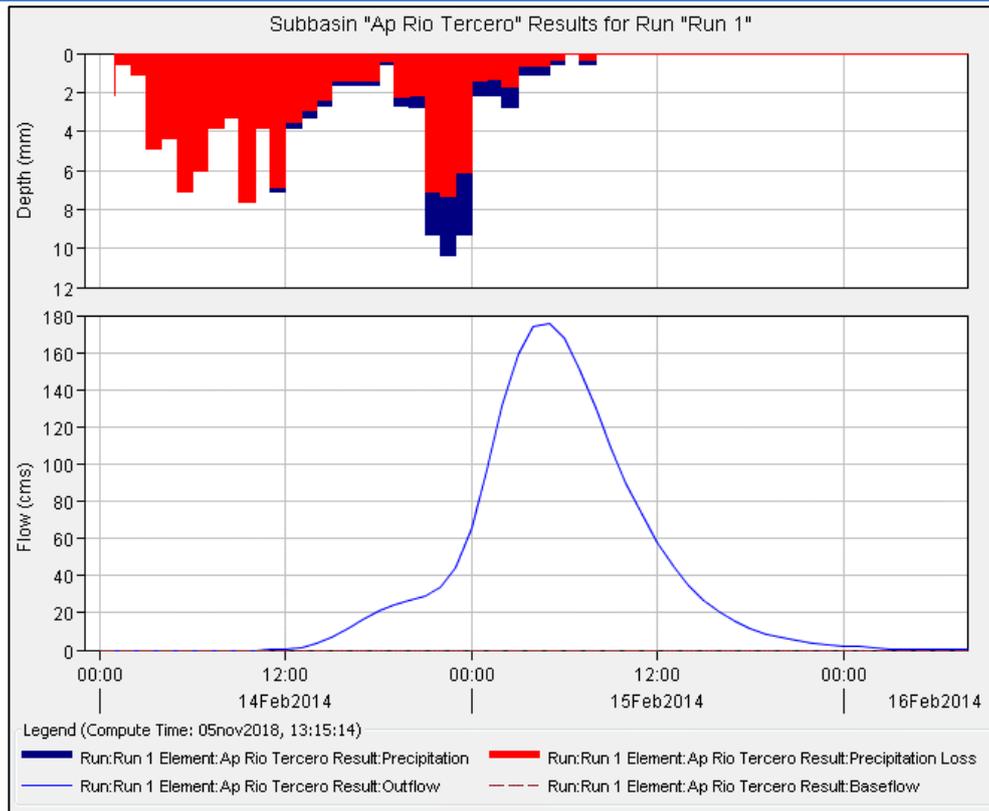


Figura AIX 5.20. Gráfico de resultados de la modelación de la zona de aporte al embalse Río Tercero.

5.11 Zona de aporte al Embalse Cerro Pelado

Project: Ap cerro pelado Simulation Run: Run 1

Start of Run: 14feb2014, 00:00 Basin Model: Ap Cerro Pelado
 End of Run: 16feb2014, 08:00 Meteorologic Model: Met 1
 Compute Time: 06nov2018, 10:55:49 Control Specifications: Control 1

Show Elements: All Elements Volume Units: MM 1,000 M3 Sorting: Hydrologic

Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (1000 M3)
Ap Cerro Pelado	71.03	0.04	15feb2014, 09:00	0.97
Embalse Cerro Pelado	71.03	0.04	15feb2014, 09:00	0.97

Figura AIX 5.21. Tabla de resultados de la zona de aporte al embalse Cerro Pelado.

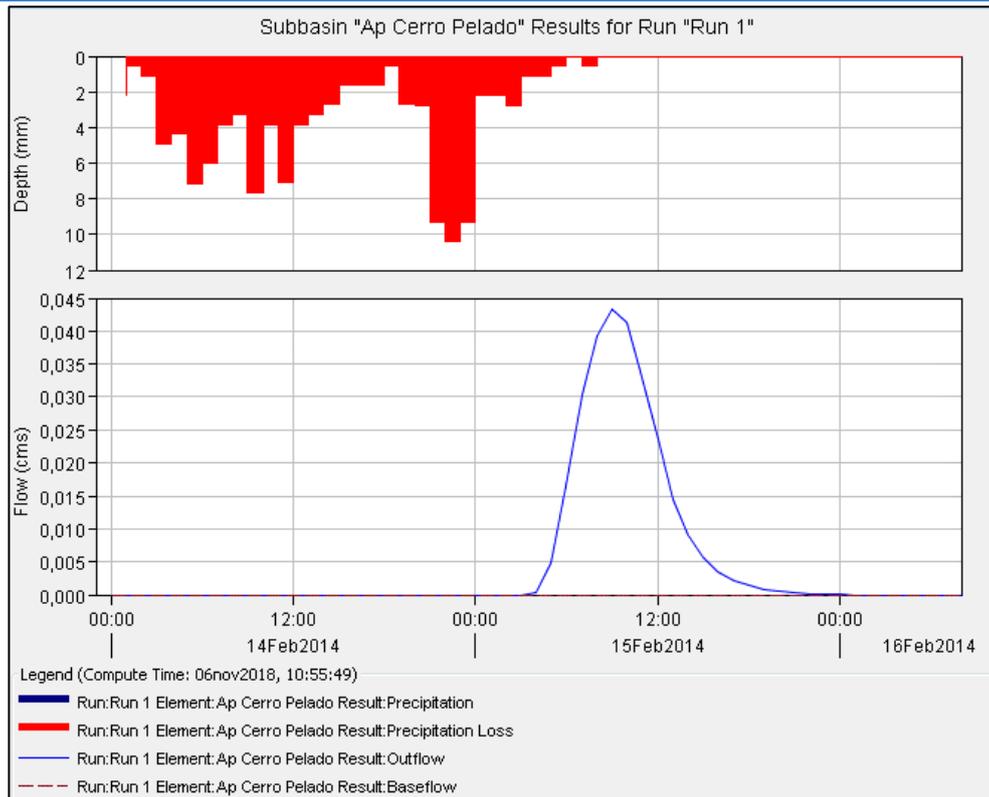


Figura AIX 5.22. Gráfico de resultados de la modelación de la zona de aporte al embalse Cerro Pelado.

5.12 Zona de aporte al Embalse Piedras Moras

Project: Ap piedras moras Simulation Run: Run 1

Start of Run: 14feb2014, 00:00 Basin Model: Aporte a Piedras Moras
 End of Run: 16feb2014, 08:00 Meteorologic Model: Met 1
 Compute Time: 05nov2018, 13:53:25 Control Specifications: Control 1

Show Elements: Volume Units: MM 1000 M3 Sorting:

Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (1000 M3)
Ap. Piedras Moras	135.8	77.99	15feb2014, 03:00	2755.02
Embalse Piedras Moras	135.8	77.99	15feb2014, 03:00	2755.02

Figura AIX 5.23. Tabla de resultados de la zona de aporte al embalse Piedras Moras.

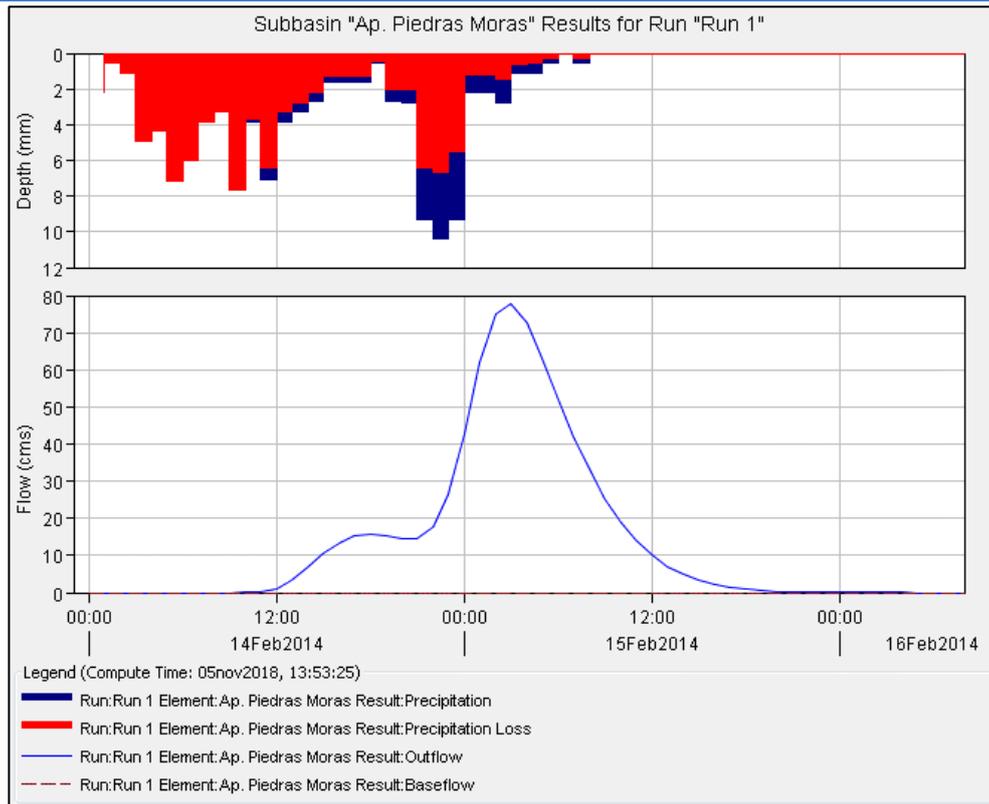


Figura AIX 5.24. Gráfico de resultados de la modelación de la zona de aporte al embalse Piedras Moras

5.13 Zona de aporte al Embalse Ing. Reolín

Project: Ap ing reolin Simulation Run: Run 1

Start of Run: 14feb2014, 00:00 Basin Model: Ing. Reolin
 End of Run: 16feb2014, 08:00 Meteorologic Model: Met 1
 Compute Time:05nov2018, 14:05:48 Control Specifications:Control 1

Show Elements: All Elements Volume Units: MM 1000 M3 Sorting: Hydrologic

Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (1000 M3)
Ap Ing Reolin	125.64	93.01	15feb2014, 01:00	2651.26
Presa Ingeniero Reolin	125.64	93.01	15feb2014, 01:00	2651.26

Figura AIX 5.25. Tabla de resultados de la zona de aporte al embalse Ing. Reolín.

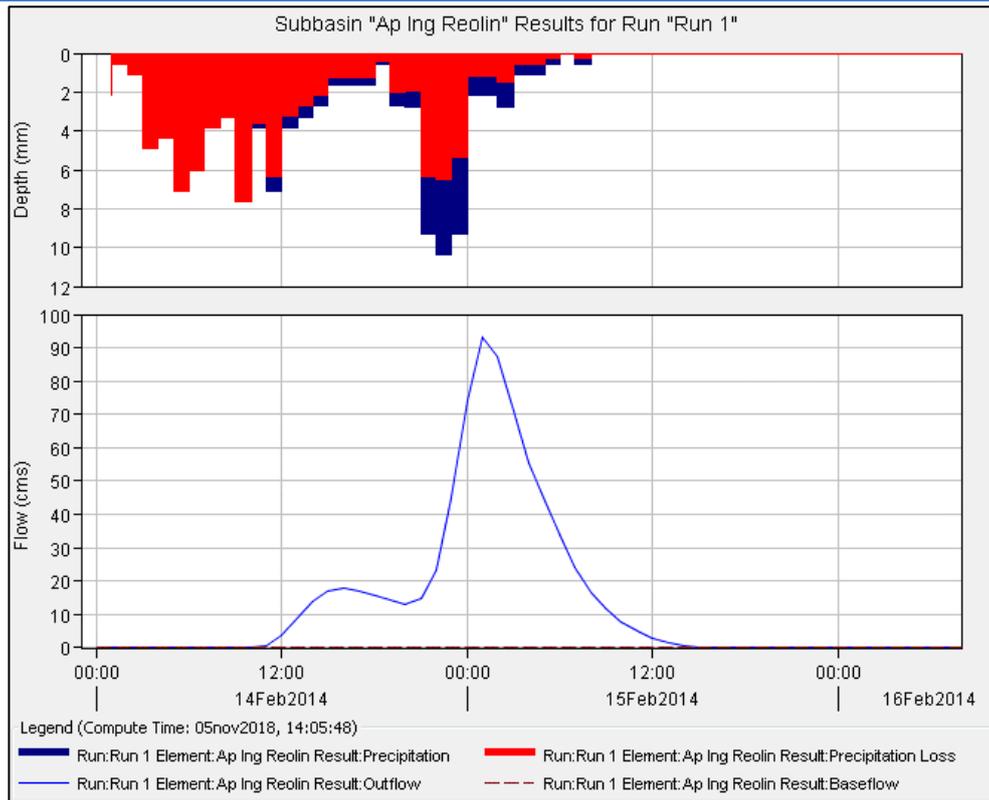


Figura AIX 5.26. Gráfico de resultados de la modelación de la zona de aporte al embalse Ing. Reolín.

5.14 Zona de aporte al embalse Ing. Cassafouth

Project: Ap ing cassafouth Simulation Run: Run 1

Start of Run: 14feb2014, 00:00 Basin Model: Ap Ing. Cassafouth
 End of Run: 16feb2014, 08:00 Meteorologic Model: Met 1
 Compute Time:05nov2018, 14:18:06 Control Specifications:Control 1

Show Elements: All Elements Volume Units: MM 1000 M3 Sorting: Hydrologic

Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (1000 M3)
Ap Ing Cassafouth	14.88	3.70	15feb2014, 01:00	71.49
Embalse Ing Cassafouth	14.88	3.70	15feb2014, 01:00	71.49

Figura AIX 5.27. Tabla de resultados de la zona de aporte al embalse Ing. Cassafouth.

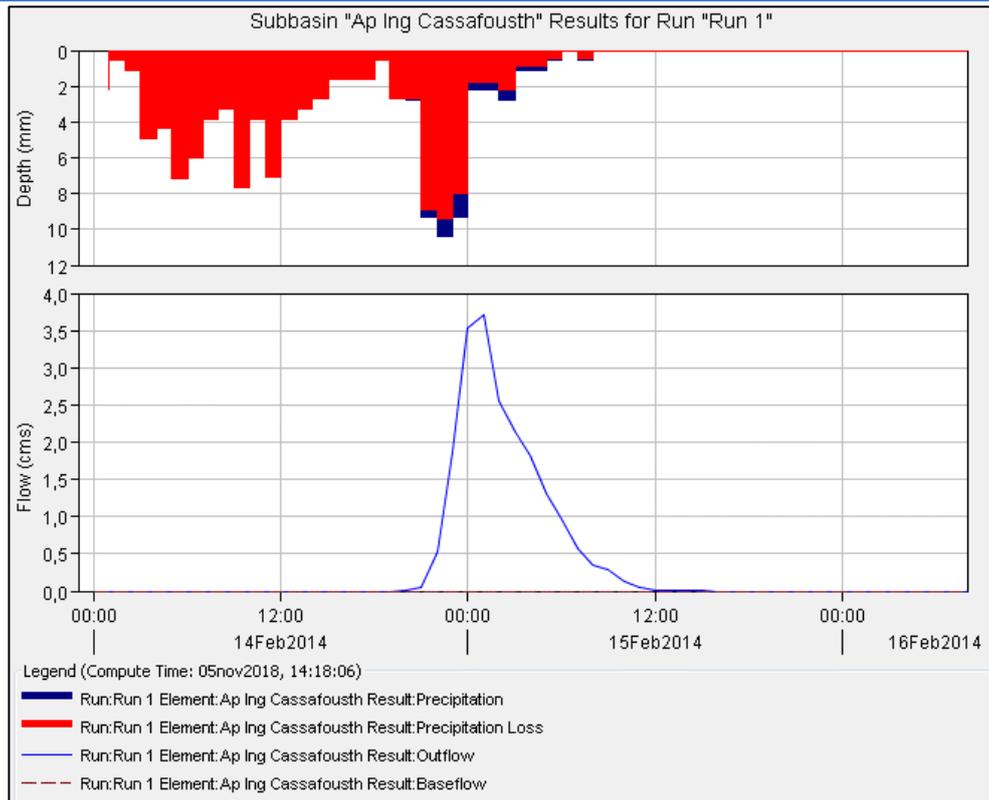


Figura AIX 5.28. Gráfico de resultados de la modelación de la zona de aporte al embalse Ing. Cassafouth.

5.15 Cuenca media-baja

Project: 6_CMB_118_CAA_2 Simulation Run: Run 1

Start of Run: 14feb2014, 00:00 Basin Model: Cuenca Media - Baja
 End of Run: 20feb2014, 00:00 Meteorologic Model: Met 1
 Compute Time:01jul2019, 09:59:52 Control Specifications:Control 1

Show Elements: All Elements Volume Units: MM 1000 M3 Sorting: Hydrologic

Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (1000 M3)
Subcuenca II	2620	277.66	15feb2014, 20:00	30575.18
Subcuenca I	1900	214.22	15feb2014, 18:00	22172.84
rio Ctalamochita 1	1900	211.47	16feb2014, 04:00	22155.55
Subcuenca III	2619.9	243.61	15feb2014, 23:00	30570.48
rio Ctalamochita 2	4520	438.97	16feb2014, 09:00	52545.92
Aforo	7139.9	636.34	16feb2014, 08:00	83116.40

Figura AIX 5.29. Tabla de resumen resultados de la cuenca Media-Baja.

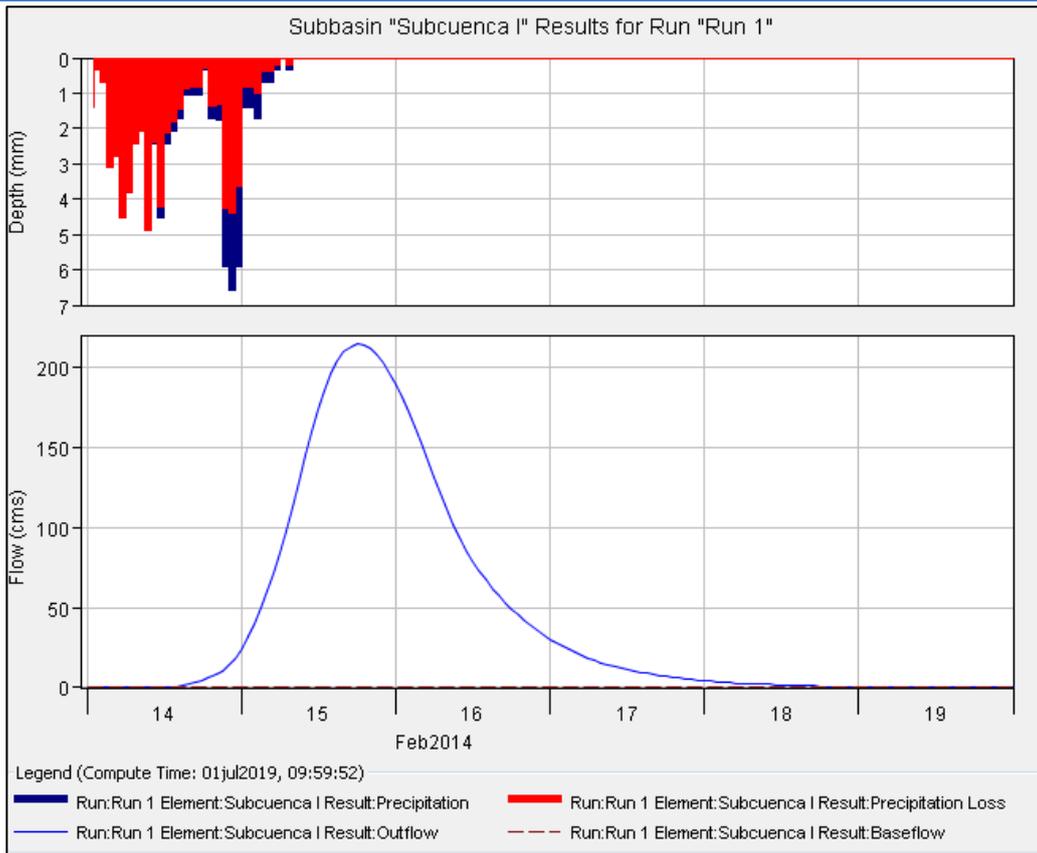


Figura AIX 5.30. Gráfico de resultados de la modelación de subcuenca I.

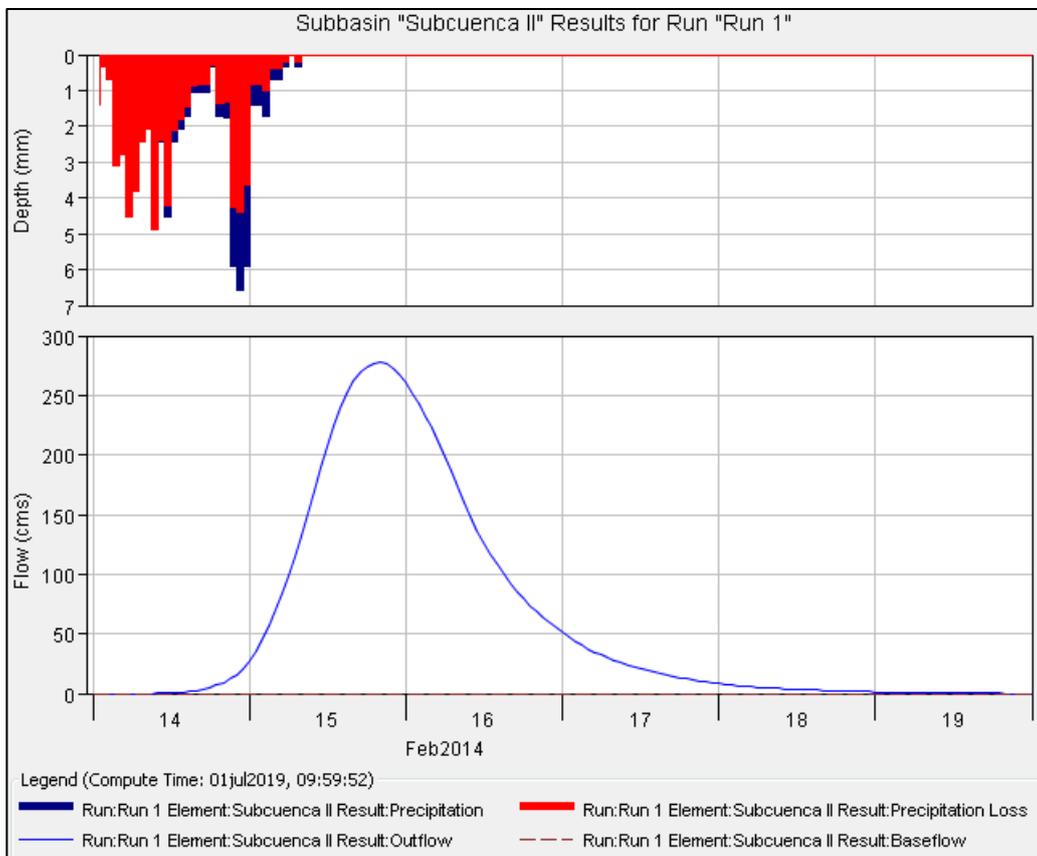


Figura AIX 5.31. Gráfico de resultados de la modelación de subcuenca II.

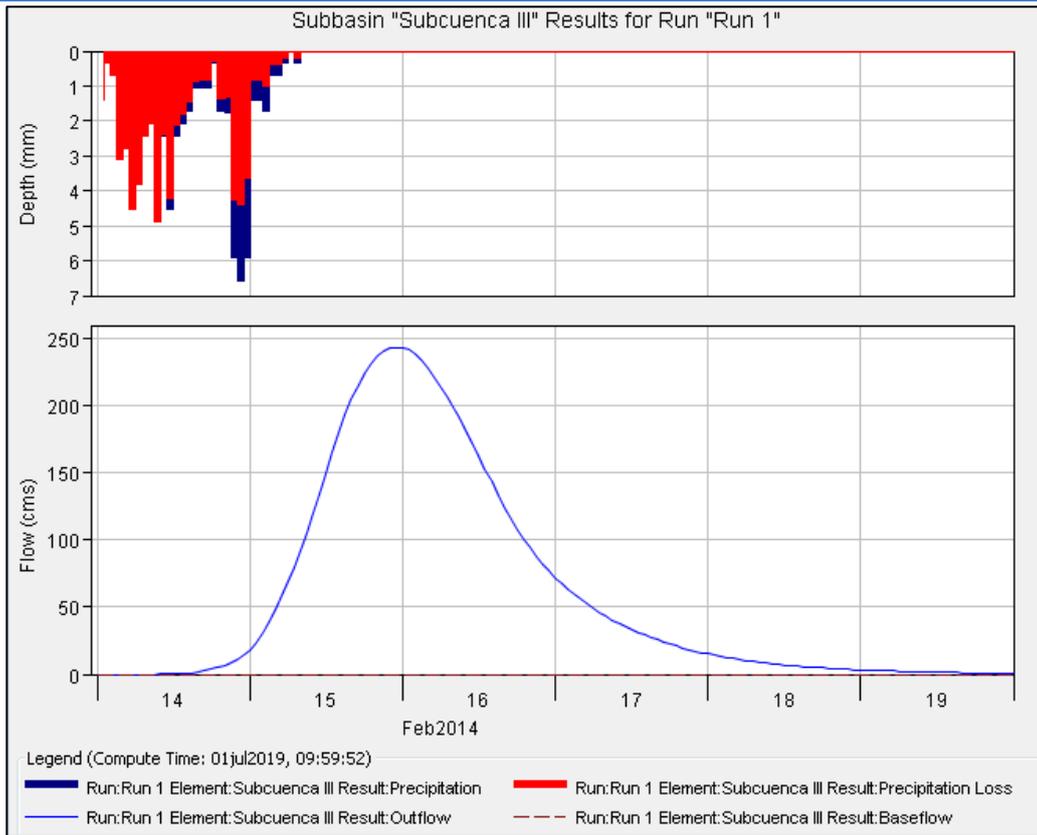


Figura AIX 5.32. Gráfico de resultados de la modelación de subcuenca III.