



FCA
Facultad de Ciencias
Agropecuarias



FACULTAD
DE CIENCIAS
ECONÓMICAS

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CÓRDOBA

Facultad de Ciencias Agropecuarias
Facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales
Facultad de Ciencias Económicas

Escuela para Graduados FCA UNC

TRABAJO FINAL INTEGRADOR

Para optar al Grado Académico de
Especialista en Gestión de Cuencas Hidrográficas

**Análisis hidrológico comparativo de la Cuenca
“Despeñaderos” según distintos escenarios de manejo y
conservación de suelo**

Jorge Gabriel Raspanti Monteoliva

Director: Magister Ing. Agr. Manuel Eduardo Vicondo

Córdoba, 2022



FCA
Facultad de Ciencias
Agropecuarias



FACULTAD
DE CIENCIAS
ECONÓMICAS

Análisis hidrológico comparativo de la Cuenca “Despeñaderos” según distintos escenarios de manejo y conservación de suelo

Jorge Gabriel Raspanti Monteoliva

Director: Mag. Ing. Agr. Manuel Eduardo Vicondo

Aprobada en estilo y contenido por la Comisión Académica de la EGCH

Tribunal Examinador de TFI

- Ing. Agr. (MSc.) Eugenio Fernández
- Dra- Marta S. Juliá
- Ing. Civil (Mg.) Mariana R. Pagot.

Presentación formal académica: Córdoba, 05 de mayo de 2022

La Especialización en Gestión de Cuencas Hidrográficas es una instancia de capacitación integral para atender la problemática que urge en las cuencas hidrográficas, principalmente en los ambientes modificados e intervenidos por el hombre. Este programa de posgrado y formación conjunta surgió del trabajo integrado entre las Facultades de Ciencias Agropecuarias, Ciencias Exactas Físicas y Naturales y de Ciencias Económicas de la Universidad Nacional de Córdoba, y cuenta con el apoyo del Gobierno de la Provincia de Córdoba a través del Ministerio de Agricultura y Ganadería, Ministerio de Servicios Públicos y Ministerio de Obras Públicas, a través del Convenio Marco de Cooperación Académica (RD N° 447/2021) y sus respectivos Convenios Específicos (RD N° 475/2021, 465/2021 y 474/2021).

La Especialización en Gestión de Cuencas Hidrográficas fue acreditada por CONEAU con Res. 517/19 y Res. Ministerio de Educación de la Nación (ME) 938/2020



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons
Atribución – No Comercial – Sin Obra Derivada 4.0 Internacional.

Agradecimientos

Quiero agradecer especialmente:

- A mi director, el Ing. Agr. Magister Manuel Vicondo por su trabajo, tiempo y dedicación.
- A la Dra. Susana Hang, directora de la carrera de posgrado, por su dedicación, orientación, ánimo y confianza.
- A mis compañeros de especialización con quienes me enriquecí en un intercambio amable y generoso.
- Al Ing. Agr. Gustavo Negro y a mis compañeros de trabajo de la Cátedra de Topografía.

A mi esposa Trinidad...

RESUMEN

El suelo es un recurso natural que dispone la sociedad para garantizar su seguridad alimentaria, aportando beneficios a la humanidad por medio de los bienes y servicios que produce. La degradación del suelo es un fenómeno que afecta directamente su capacidad productiva y repercute en el bienestar de la sociedad. Los recursos hídricos y los suelos se enfrentan a esta problemática común: deben satisfacer una demanda creciente de sus bienes y servicios mientras que son alterados y degradados a tasas nunca antes atestiguadas. La gestión integral tiene el desafío de implementar estrategias completas y eficientes de remediación y de planificación para que estos recursos, sigan proveyendo servicios ambientales en el futuro. Como estrategias de gestión del suelo y el agua encontramos distintas prácticas, acciones o instrumentos tales como las prácticas ingenieriles o estructurales, las prácticas agronómicas o culturales y los instrumentos jurídicos o institucionales. Al mismo tiempo es posible evaluar estas estrategias mediante la simulación hidrológica. El objetivo general de este estudio fue evaluar para la cuenca "Despeñaderos", integrada por 7 subcuencas, la respuesta hidrológica simulando cinco posibles escenarios de cobertura y manejo de suelo. El área de estudio pertenece a la cuenca de aporte a la cortada de Grasso que es una cárcava próxima a la localidad de Despeñaderos, en el centro de la provincia de Córdoba, Argentina. Esta área corresponde, también, al Consorcio de Conservación de Suelos "Despeñaderos". Las condiciones evaluadas fueron denominadas como escenarios. El primer escenario reúne las condiciones de la cuenca al año 2000, la cobertura del suelo en ese año y ausencia de sistematización de lotes para control de erosión hídrica. El segundo escenario reúne las condiciones de la cuenca en la actualidad, la cobertura del suelo y con aproximadamente el 30% del área agrícola sistematizada. Los escenarios restantes en forma creciente incorporan obras de sistematización a toda el área agrícola de la cuenca con pendiente menor al 3% y a la implementación de la totalidad del Plan Agroforestal (LEY N°10.467) 2017) de la provincia de Córdoba.

El resultado de la modelación hidrológica indicó que el caudal pico de descarga para la cuenca "Despeñaderos" se produce a las 6,30 horas de iniciada la lluvia. El caudal pico para el escenario N°1 fue de 42.3 m³/s, del escenario N°2 fue de 36.6 M³/s, en el escenario N°3 fue de 35.2 m³/s, en el escenario N°4 fue de 29,2 m³/s, y en el escenario N°5 fue de 27.6 m³/s. La sistematización progresiva del suelo desde el escenario N°1 (0%), escenario N°2 (27.46%) y el escenario N°4 (85.15%) ha aportado significativamente a la reducción del caudal pico mientras que la incorporación de un 3% de forestación a los escenarios de simulación hidrológica, no aporta significativamente a dicha reducción. La sistematización del 97% y la forestación del 3% del total del área agrícola que presentaba hasta 3% de pendiente resultó ser la práctica que más contribuyó a la reducción del caudal pico.

Palabras clave: Ley N°10.467, erosión hídrica, consorcios de conservación de suelos, modelación hidrológica

TABLA DE CONTENIDOS

Sección	Pag.
INTRODUCCIÓN	10
Objetivo General	18
Objetivos Específicos	18
ÁREA DE TRABAJO	19
CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	21
Condiciones Climáticas y Agroclimáticas	22
Vegetación	25
Fauna	25
Suelos	26
Aspectos Económicos	27
Dimensión Territorial	28
DIAGNOSTICO DE LA PROBLEMÁTICA	29
METODOLOGÍA DE TRABAJO	30
RESULTADOS	49
CONCLUSIONES	64
BIBLIOGRAFÍA	65
SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA GENERADO	

Lista de Tablas

Nº	Título	Pag.
Tabla 1	Temperaturas medias mensuales (°C) - Rio Tercero	23
Tabla 2	Variabilidad del Régimen Pluviómetro - Rio Tercero	24
Tabla 3	Resultado de CN de cada combinación de cobertura y uso del suelo	38
Tabla 4	Obtención del CN por escenario para la Cuenca "Despeñaderos"	39
Tabla 5	Parámetros físicos de cada sub cuenca para la simulación hidrológica	47
Tabla 6	Parámetros K y X para ecuación de Muskingum para tránsitos	47
Tabla 7	Obtención del CN por escenario para la Subcuenca 1	54
Tabla 8	Obtención del CN por escenario para la Subcuenca 2	55
Tabla 9	Obtención del CN por escenario para la Subcuenca 3	56
Tabla 10	Obtención del CN por escenario para la Subcuenca 4	58
Tabla 11	Obtención del CN por escenario para la Subcuenca 5	59
Tabla 12	Obtención del CN por escenario para la Subcuenca 5	60
Tabla 13	Obtención del CN por escenario para la Subcuenca 5	61

Lista de Figuras

Nº	Título	Pag.
Fig. 1	Mapa de ubicación de la Cuenca “Despeñaderos”	20
Fig. 2	Mapa de Departamentos incluidos en la Cuenca “Despeñaderos”	21
Fig. 3	Superficie sembrada. Producción. Rendimiento 2008/2020. Bolsa de Cereales de Córdoba. 2020.	28
Fig. 4	Mapa de la Cuenca “Despeñaderos” las Sub cuencas que la componen y la red de escurrimiento	31
Fig. 5	Relación de Aspecto	32
Fig. 6	Análisis de Sombreado	33
Fig. 7	Mapa de Índice Topográfico de Humedad de la Cuenca “Despeñaderos”	34
Fig. 8	Mapa de Pendientes en porcentaje de la Cuenca “Despeñaderos”	35
Fig. 9	Factor S USLE	37
Fig. 10	Factor LS USLE	38
Fig. 11	Mapa de NC de la Cuenca “Despeñaderos” para el año 2000 (Escenario N°1)	41
Fig. 12	Mapa de NC de la Cuenca “Despeñaderos” para el año 2021 (Escenario N°2)	42
Fig. 13	MapBiomás Año 2000	43
Fig. 14	MapBiomás Año 2019	44
Fig. 15	Mapa de lotes sistematizados de la Cuenca “Despeñaderos”	45
Fig. 16	IDF para 10 años para 116 mm a partir de Evans (1971)	46
Fig. 17	Esquema de distribución de sub cuencas para simulación en HEC HMS.	48
Fig.18	Hidrograma comparativo Cuenca “Despeñaderos”	49
Fig.19	Hidrograma comparativo Subcuencas / Cuenca “Despeñaderos” para el Escenario N°1.	50
Fig. 20	Hidrograma comparativo Subcuencas / Cuenca “Despeñaderos” para el Escenario N°2.	51
Fig. 21	Hidrograma comparativo Subcuencas / Cuenca “Despeñaderos” para el Escenario N°3.	52
Fig. 22	Hidrograma comparativo Subcuencas / Cuenca “Despeñaderos” para el Escenario N°4	52
Fig. 23	Hidrograma comparativo Subcuencas / Cuenca “Despeñaderos” para el Escenario N°5	53
Fig. 24	Hidrograma comparativo Subcuenca 1 para cada Escenario de simulación	54
Fig. 25	Hidrograma comparativo Subcuenca 2 para cada Escenario de simulación	55
Fig. 26	Hidrograma comparativo Subcuenca 3 para cada Escenario de simulación	56
Fig. 27	Hidrograma comparativo Subcuenca 4 para cada Escenario de simulación	58

Fig. 28	Hidrograma comparativo Subcuenca 5 para cada Escenario de simulación	59
Fig. 29	Hidrograma comparativo Subcuenca 6 para cada Escenario de simulación	60
Fig. 30	Hidrograma comparativo Subcuenca 7 para cada Escenario de simulación.	61
Fig. 31	Comportamiento del Caudal Pico (m^3/s) para cada Subcuenca en cada escenario de simulación y para la Cuenca completa.	62

Análisis hidrológico comparativo de la Cuenca “Despeñaderos” según distintos escenarios de manejo y conservación de suelo

1. INTRODUCCIÓN

El Suelo en el contexto del Cambio Climático

De todos los dones de la naturaleza, ninguno es más indispensable para el hombre que la tierra (Bennett, 1950). El suelo es un sistema multifuncional que sustenta los ecosistemas terrestres. Este es un recurso natural que dispone la sociedad para garantizar su seguridad alimentaria, aportando beneficios a la humanidad por medio de los bienes y servicios que produce. La degradación del suelo es un fenómeno que afecta directamente su capacidad productiva y repercute en el bienestar de la sociedad. (Zaccagnini, 2014).

La degradación de la tierra disminuye la capacidad del suelo para mantener y almacenar carbono, contribuyendo a las amenazas globales como el cambio climático, con un costo estimado no menor a un billón de dólares (Davies, 2017).

A su vez, el cambio climático se consolidó como una amenaza grave que exige una acción inmediata de la comunidad global. Principalmente frente al aumento o disminución de las precipitaciones y al aumento de los eventos climáticos extremos (IPCC, 2019). El principal desafío es la identificación de opciones factibles de llevar a cabo para mitigar y adaptarnos al mismo.

La resiliencia del suelo es la capacidad que tiene un suelo para soportar una perturbación. Su capacidad para restituir las condiciones previas al estrés y es

diferencial de acuerdo a la salud del suelo. Entendemos por salud del suelo, al equilibrio que presenta con el ecosistema que lo contiene.

La pérdida de suelo es el principal problema que compromete la sustentabilidad de todos los sistemas productivos del país, con un impacto económico sobre la productividad de los cultivos estimado en US\$ 29,9 millones anualmente. Sin embargo, además de la pérdida de rendimiento de los cultivos, la erosión provoca otros costos que no son valorizados en números y que corresponden a costos ambientales debido a la pérdida o disminución de los servicios ecosistémicos que brindan los suelos (Gaitán et al., 2017).

La erosión es el proceso que comprende el desprendimiento, el traslado o arrastre y la sedimentación o colmatación de las partículas de suelo. La erosión es causada ya sea por acción del agua, del viento o por la actividad del hombre (Vásquez et al., 2016).

Hasta el año 1988, la superficie afectada por erosión hídrica en Argentina era de 25 millones de hectáreas (Prosa, 1988), mientras que en 2015 esta área representaba 64,6 millones de hectáreas (Casas, 2015). En los últimos 30 años, Argentina ha transitado un proceso de agriculturización favorecido por la macroeconomía, la aparición de nuevas tecnologías y la adopción de la siembra directa. Este proceso se desarrolló especialmente en la región semiárida pampeana y chaqueña con la incorporación de tierras de bosque natural, pastizales o uso ganadero, al cultivo intensivo de granos (Viglizzo y Jobbágy, 2010). Como resultado de esta transformación, el área cultivada de soja, se incrementó de 16,6 a 20,5 millones de hectáreas a nivel nacional, durante el período 2008/2015 (Bolsa de Comercio de Rosario, 2016).

A escala local, en Córdoba, INTA estima que cada año la erosión hídrica se lleva 4,17 toneladas de suelo de cada hectárea de la provincia, lo que equivale decir que se pierden 0,38 mm de suelo anualmente. Apezteguía et al. (1987) estimó para un Haplustol éntico, que la pérdida de rendimiento de la soja es de 35 kg/ha/cm.

Frente a la problemática de los suelos en el escenario de cambio climático actual, las prácticas de agricultura sustentable tienen múltiples beneficios que ofrecer para el medio ambiente, los productores y los consumidores. Además, las inversiones en prácticas de manejo sustentables permiten múltiples beneficios en materia de seguridad alimentaria y nutrición, reducción de la pobreza, provisión de servicios ecosistémicos y desarrollo sustentable (FAO, 2020).

Por lo tanto, identificar los suelos, que al ser más erodables, necesitan prácticas de manejo sustentable, manteniéndolos cubiertos, con prácticas que propicien el aumento del contenido de materia orgánica o mediante la sistematización de tierras como por ejemplo el cultivo en terrazas, es de suma importancia para reducir su degradación.

El Agua y la Cuenca Hidrográfica

La cuenca hidrográfica es un territorio que es delimitado por la propia naturaleza, esencialmente por los límites de las zonas de escurrimiento de las aguas superficiales que convergen hacia un mismo cauce (Dourojeanni, 1994). La cuenca, sus recursos naturales y sus habitantes poseen relaciones físicas, biológicas, económicas, sociales y culturales que les confieren características particulares.

La crisis que enfrenta la gestión del agua en América Latina y el Caribe, (Gaviño, 2010) requiere superar cuatro desafíos para los tomadores de decisiones. El primero de ellos surge de la necesidad de cubrir la falta de acceso al agua potable de una importante proporción de la sociedad. El segundo desafío es remediar la

contaminación del agua, en gran parte debida a la carencia o insuficiencia de los sistemas de tratamiento de efluentes adecuados. El tercer desafío surge de la necesidad de superar la escasez frente a un recurso finito y, en términos de la expectativa de vida de una persona, no renovable. El cuarto y último desafío se centra en la necesidad de implementar una gestión integrada de los recursos hídricos a nivel de cuencas y con una visión de largo plazo.

Los recursos hídricos y los suelos se enfrentan a esta problemática común: deben satisfacer una demanda creciente de sus bienes y servicios mientras que son alterados y degradados a tasas nunca antes atestiguadas. La gestión integral tiene el desafío de implementar estrategias completas y eficientes de remediación y de planificación para que estos recursos, sigan proveyendo servicios ambientales en el futuro. Para orientar la gestión integrada de los Recursos Hídricos en la Conferencia Internacional sobre Agua y Medio Ambiente (Dublín, 1992), se adoptaron los principios de la “Eco hidrología” que propone precisamente una nueva metodología de enfoque para una gestión sustentable y de largo plazo de los recursos hídricos. Se basa en la aplicación de los principios de (Zalewski et al., 1997):

“Restablecer y mantener los procesos evolutivos de circulación del agua, nutrientes y energía a escala de cuenca. Amplificar la capacidad de carga (resiliencia) de los ecosistemas frente a la presión antrópica. Usar las propiedades de los ecosistemas como herramientas de gestión del agua (ingeniería ecológica)”.

Estrategias para la Gestión del Suelo y el Agua

Como estrategias de gestión del suelo y el agua encontramos distintas prácticas, acciones o instrumentos tales como las prácticas ingenieriles o estructurales, las prácticas agronómicas o culturales y los instrumentos jurídicos o institucionales. Al mismo tiempo es posible evaluar estas estrategias mediante la simulación hidrológica.

Prácticas Ingenieriles o estructurales

Denominamos “prácticas estructurales” a aquellas que tienen carácter de permanentes, es decir que conforman una estructura, que permanece año tras año y cambian el valor de la tierra, a diferencia de las prácticas culturales, que pueden variar cada año.

Algunas de las prácticas estructurales más importantes son las terrazas paralelas con desagüe que son un conjunto de bordos con un canal de desagüe adyacente corriendo aguas arriba de cada bordo. Van dispuestos en forma paralela, cortando la pendiente y espaciados de modo tal que el agua no alcance velocidades erosivas entre una terraza y la siguiente. Presentan una altura y una pendiente longitudinal que les permite interceptar el escurrimiento y conducirlo en forma controlada hacia un canal de desagüe. Estas obras tienen por objetivo disminuir la erosión hídrica mediante la disminución de la longitud de la pendiente, retardar los escurrimientos aumentando los tiempos de concentración permitiendo mayor permanencia del agua en el suelo aumentando su infiltración y, disminuir el potencial erosivo del agua, entre otros (Beasley, et al., 1984; Esmoriz et al., 2000).

Esmoriz et al. (2002) midieron láminas de escurrimiento del orden de 10 veces menores en terrenos con siembra directa y sistematización en terrazas, en comparación con la labranza convencional. Al mismo tiempo que existe una influencia

en los cambios de uso del suelo sobre la infiltración, que fue determinada por Aoki et al. (1996) y Aoki y Sereno (1999).

Estas prácticas se utilizan en todos aquellos suelos que poseen aptitud agrícola o ganadera con susceptibilidad a la erosión hídrica (Ile a IVe); donde las características del clima, suelo y vegetación, provocan volúmenes de escurrimiento que no es posible o conveniente infiltrar totalmente en el terreno.

Otra de las obras complementarias a las terrazas son los canales de desagüe empastados, que son vías de escurrimiento esporádico, excavadas y perfiladas de sección frecuentemente parabólica, que por lo general coinciden con el curso natural de las aguas. Deben estar adecuadamente dimensionados y empastados. Comprenden todas aquellas vías de escurrimiento empastadas que actúan como colectoras y conductoras de un exceso de agua que se quiere conducir en forma controlada.

Práctica agronómicas o culturales

La evidencia obtenida de estudios experimentales demuestra que el suelo está más expuesto a los agentes erosivos si los campos están desprovistos de vegetación (Bennett, 1950). Las prácticas agronómicas están relacionadas en gran medida a la toma de decisiones por parte de técnicos o productores. Principalmente la elección de cultivos adaptados, la siembra en el sentido de la menor pendiente, la distancia entre surcos, la correcta fertilización, la rotación de cultivos con alternancia de gramíneas y leguminosas, los cultivos de servicios que protegen los suelos desnudos, forestaciones, entre otros

Instrumentos jurídicos o institucionales

Los incentivos para promover la conservación y manejo de los suelos, son un mecanismo que tiene el Estado para estimular a la sociedad en general para conservar

adecuadamente el recurso y mitigar los procesos de degradación (Zaccagnini, 2014). Para contribuir a la estabilidad de los sistemas agropecuarios, en la provincia de Córdoba se sancionó en el año 2000 la Ley 8.863 de Creación de Consorcios de Conservación de Suelos y en 2017 la Ley Agroforestal 10.467 que obliga a la forestación entre el 2 al 5% del territorio rural provincial para el año 2028.

En el año 2004, se decreta la LEY N°8863 (2000) en la Provincia de Córdoba, que establece la creación y funcionamiento de Consorcios de Conservación de los Suelos (CCS), dentro del territorio de la Provincia, serán personas de derecho público, con capacidad para actuar privada y públicamente de conformidad con las leyes generales sobre la materia y las especiales referidas a su funcionamiento. Los CCS tienen como función principal: proponer a la Autoridad de Aplicación para su aprobación los planes y proyectos previamente acordados por el Consorcio; la construcción de obras; la realización de trabajos por sí, por terceros o en concurso con los propietarios de los inmuebles afectados por las tareas que fueran necesarias; la administración y el control del mantenimiento de los planes prediales de conservación de suelos. Las jurisdicciones quedan comprendidas dentro de las áreas envueltas por cuencas hidrográficas, cursos de agua, embalses u otros accidentes naturales que conformen una zona ecológicamente homogénea a los efectos de realizar los trabajos de conservación y mantenimiento de los suelos. Esa delimitación puede ser propuesta por cada Consorcio, o por la Autoridad de Aplicación, atendiendo las necesidades agropecuarias, socioeconómicas, geográficas, etc.

Mucho se ha logrado con los adelantos técnicos, pasando por alto el aspecto humano del problema. Tratándose de un problema de incumbencia social, es imposible resolverlo solamente mediante la técnica. La existencia de instituciones tales como la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la UNC, el INTA, y otras instituciones no

gubernamentales, capaces de emprender la acción desde el punto de vista técnico, necesitan del acompañamiento de políticas de estado proactivas; estas acciones en conjunto, brindan el mecanismo para un abordaje eficaz y sostenible en materia de prevención, recupero y aseguramiento de este bien natural. El Estado tiene el deber y el derecho de asegurar la conservación y manejo del recurso suelo para garantizar que la población disponga de los bienes y servicios que este provee a la economía local, regional y nacional. Contribuyendo al mejoramiento socio-económico de la población a través de un modelo de desarrollo equitativo y de inclusión, entre el crecimiento y su capacidad productiva.

“La provisión de incentivos adecuados y un marco técnico, institucional y legal sólido son condiciones básicas para lograr un buen uso de la tierra. El incentivo dado a los agricultores y otros usuarios de la tierra debe ser de naturaleza práctica y orientada al servicio y debe fomentar la adopción de medidas de buen manejo de la tierra” (FAO, 2015).

La modelización hidrológica

Existe la necesidad de evaluar las prácticas e instrumentos de gestión y su influencia hidrológica con el fin de determinar la más adecuada para un escenario determinado. Esto es fundamental en la toma de decisiones y en la formulación o evaluación de políticas públicas.

Un modelo hidrológico es la representación de una cuenca hidrográfica y sus componentes de manera simplificada con el fin de determinar sus componentes, límites y relaciones. Son una herramienta óptima para determinar las condiciones de cobertura y manejo de suelo.

El método del Número de Curva del Soil Conservation Service (USDA, 1972) (National Engineering Handbook, 1981) es un modelo empírico, determinístico, concentrado y

de eventos, que está orientado principalmente a su utilización en el área de proyectos. No obstante, es empleado por diversos modelos hidrológicos orientados tanto a tareas de simulación como de diseño hidrológico (Luque, 2008).

La gran cantidad de información disponible en el área de estudio a partir de diversas plataformas de acceso libre tales como Cartas Topográficas (I.G.N); MapBiomias Chaco (2019); Merit Hydro DEM (Yamazaki et al., 2019); Cartas de Suelos (INTA y Secretaría de Ambiente, 2008); entre otros; incorporadas a metodologías automatizadas de cálculo de Número de Curva (NC) (Ferrér et al., 2003; Prieto Villarroja et al., 2013) y modelado hidrológico mediante HEC HMS 4.8 (Army Corps of Engineers, 2000) permite de manera general, evaluar hidrológicamente escenarios de cobertura, uso y manejo del suelo.

El objetivo general de este estudio es evaluar la respuesta hidrológica de cinco escenarios de cobertura y manejo de suelo en la cuenca “Despeñaderos”.

Objetivos específicos:

1. Caracterizar la cuenca “Despeñaderos” por sus rasgos biofísicos.
2. Determinar el número de curva (NC) para cada subcuenca en los distintos escenarios de simulación.
3. Modelar hidrológicamente la cuenca Despeñaderos considerando distintas condiciones de uso y manejo del suelo (reales y propuestas).
4. Identificar prácticas de manejo que mitiguen el deterioro del suelo en la cuenca “Despeñaderos”.

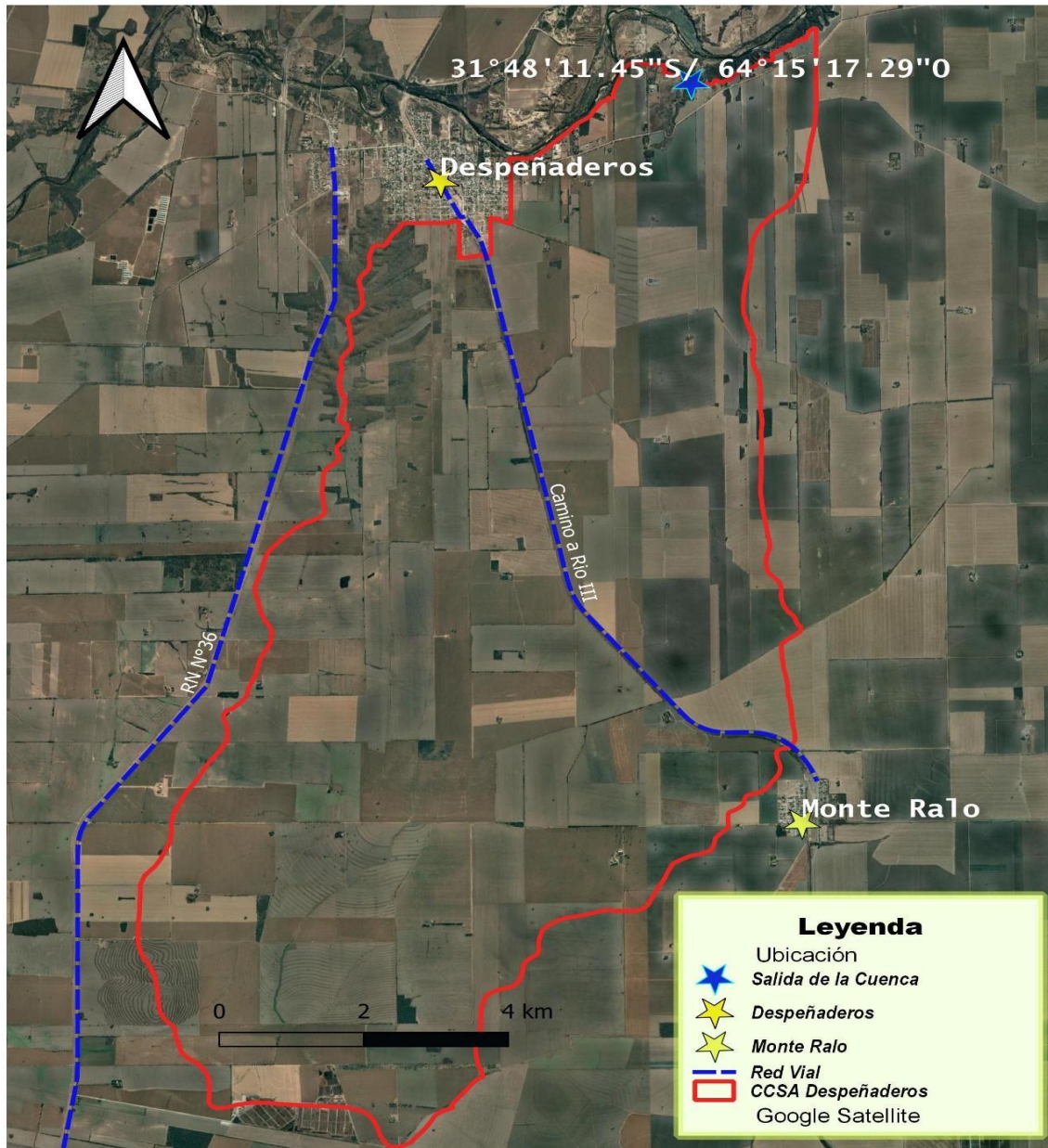
2. ÁREA DE TRABAJO

El área de estudio pertenece a la cuenca de aporte a la cortada de Grasso, que es una cárcava originada en el centro de la provincia de Córdoba, Argentina, vecina a la localidad de Despeñaderos (Fig. 1) formando a su vez, el Consorcio de Conservación de Suelos “Despeñaderos”.

La cuenca se ubica en los departamentos Santa María y Calamuchita (Fig. 2), posee un área de 9.254 ha. y desemboca en la margen sur del Río Xanaes (Segundo), está ubicada en el ambiente geomorfológico “Pampa Loésica Alta”.

El área está incluida dentro de las Cartas Topográficas confeccionadas por el Instituto Geográfico Nacional (I.G.N) de Despeñaderos, Cosme, San Agustín y Monte Ralo; todas con escala 1:50.000.

Ubicación del Consorcio de Conservación de Suelos "Despeñaderos"



Ing. Agr. Jorge Raspanti

Figura 1. Mapa de ubicación de la Cuenca "Despeñaderos"



Figura 2. Mapa de Departamentos incluidos en la Cuenca "Despeñaderos"

3. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio se encuentra en la Pampa Loésica Alta, se sitúa entre la Pampa Loésica Plana por el Este y la Depresión Periférica y la Pendiente Oriental por el oeste. Se trata de un plano alto, llamado plataforma basculada, con pendiente regional hacia el Este bastante uniforme y que disminuye en el mismo sentido. Sobre el límite occidental los valores de las pendientes varían entre 3 a 0,5 % siendo este último valor el dominante en la porción oriental.

“Estructuralmente esta unidad constituye un bloque elevado o basculado hacia el Este por fallas geológicas del basamento profundo, parcialmente cubierto por depósitos del piedemonte y luego por una potente sedimentación eólica. Superficialmente solo se encuentra el loess franco

limoso muy homogéneo donde se han observado espesores de hasta 50 metros. No se observa la presencia de depósitos fluviales, ya que, por razones topográficas, esta gran unidad geomorfológica de la Provincia ha quedado fuera de la influencia de los derrames y abanicos provenientes de las sierras chicas de Córdoba. Constituyen una excepción las estrechas fajas fluviales recientes y bien definidas de los ríos Suquía, Xanaes y Ctalamochita con sus respectivas terrazas, observándose en las barrancas por debajo de los sedimentos fluviales, los sedimentos eólicos (loess o loess modificado)” (ACA e INTA, 2006).

Es la unidad ambiental de la provincia donde más se observa la pérdida de suelo. Los procesos erosivos por acción del agua son intensos y generalizados en toda la unidad, sobre todo en el Oeste donde ocurren en forma laminar y en surcos y también en forma de cárcavas profundas aisladas. Se observa en esta zona la presencia de “mallines” (erosión por tubificación), en gran medida vinculados a las líneas de desagües estructurales. En cuanto a la capa freática esta se encuentra muy profunda sobre el borde occidental. Casi toda la vegetación natural ha sido removida, siendo reemplazada en su mayoría por agricultura.

3.1. Condiciones Climáticas y Agroclimáticas

Para caracterizar agroclimáticamente el área de la Cuenca se han utilizado datos pluviométricos de la localidad de Río Tercero (Latitud 29°54´S, Longitud 63°41'O, Altitud 341 m.s.n.m.) que cuenta con registros del periodo 1951-2004; provenientes de la Estación Meteorológica de la Cooperativa de Obras y Servicios Públicos de Río Tercero. La información termométrica ha sido tomada de datos provenientes del Servicio Meteorológico Nacional para la localidad de Río Tercero; por la Cátedra de

Climatología de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Nacional de Córdoba.

El régimen térmico de esta localidad es templado (mesotermal), con una media anual de 17,3°C que resulta característica de la zona central de la pradera pampeana (Tabla 1), siendo la del mes más cálido (enero) de 23,8°C y la del mes más frío (julio) de 11°C, con una amplitud térmica anual de 12,8°C. La fecha media de las primeras heladas para la ciudad de Río Tercero ocurre aproximadamente el 15 de mayo y la fecha media de las últimas heladas es el 15 de septiembre; estas heladas pueden ocurrir con 15 o 20 días de anticipo o retraso. El período medio libre de heladas es de 240 días. (Capitanelli, 1979).

Tabla 1. Temperaturas medias mensuales (°C) - Río Tercero

Meses	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
T (°C)	23,8	22,3	20,3	17,2	14,3	10,4	11,0	12,0	15,0	18,5	20,6	22,6

El régimen pluviométrico de Río Tercero, es del tipo monzónico ya que las lluvias de los seis meses estivales (octubre a marzo = 634 mm), quintuplican a las del semestre invernal (abril a septiembre = 126 mm). La precipitación media anual, para la localidad de Río Tercero, es de 760 mm. El período, en el cual se concentra la mayor cantidad de precipitaciones, es de noviembre a febrero (469 mm, 62% del total). Los meses más secos (período mayo-agosto) sólo acumulan 123 mm, esto representa el 16% del total; Diciembre es el mes más lluvioso con una precipitación media de 143 mm. En la Tabla N°2 se presentan las lluvias medias con sus desvíos y variabilidad. El mayor desvío standard (dispersión de las precipitaciones respecto a la media) se produce en el semestre primavera-estival; pero los mayores coeficientes de variación superiores al 50% (relación porcentual entre el desvío standard y la media) suceden en el

semestre otoño-invernal, situación que indicaría una elevada aleatoriedad para los cultivos estacionales.

Tabla 2. Variabilidad del Régimen Pluviómetro - Río Tercero

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	AÑO
Lluvia promedio (mm)	130	95	91	43	20	10	9	10	34	74	101	143	760
Desvío estándar (mm)	58	63	59	37	24	14	19	14	50	66	52	65	522
Coef. de variación (%)	44	67	65	86	120	139	217	140	146	89	51	45	69

El balance hidrológico es la relación entre las pérdidas y ganancias de agua en el suelo. Las ganancias están representadas principalmente por la precipitación (P) y las pérdidas por la evaporación desde el suelo y la transpiración de los vegetales proceso conocido como evapotranspiración. En el Balance Hidrológico se visualiza, que la deficiencia anual de agua es de 83,5 mm; el semestre de menor déficit (octubre-marzo), representan el 13% del déficit total. El semestre restante (abril-septiembre) acumula el 72% del déficit. Los meses con mayor déficit son: julio, agosto y septiembre, mermando sensiblemente en los meses invernales, pues si bien la precipitación es inferior a la evapotranspiración potencial, ésta disminuye a consecuencia de las bajas temperaturas, de las estaciones de otoño y primavera los déficits no existen o bien son de pequeña magnitud. La capacidad máxima de retención no se alcanza en ningún momento, dado que el agua que se repone en el suelo, no alcanza sino para disminuir o anular los déficits mensuales (INTA y Secretaría de Ambiente, 2008).

3.2. Vegetación

La vegetación original corresponde a la del Espinal (Luti, 1979) que es un gran ecotono entre las provincias chaqueña y pampeana. Las prácticas agropecuarias han llevado a la desaparición de gran parte de los bosques de esta región, aunque algunas áreas remanentes aisladas y de poca extensión, han permitido reconstruir parcialmente, las características del bosque que la constituía. Los relictos que aún se encuentran de la vegetación original están formados por bosques bajos, de algarrobo blanco (*Prosopis alba*) y algarrobo negro (*Prosopis nigra*) como especies dominantes. En el sector septentrional suelen estar acompañadas por quebracho blanco (*Apidosperma quebracho*), mistol (*Ziziphus mistol*), itín (*Prosopis kuntzei*) y chañar (*Geoffroea decorticans*). Las cactáceas son menos abundantes que en el bosque chaqueño y corresponden a los géneros *Opuntia*, *Cereus*, *Gymnocalycium* y *Harrisia*. En los sitios en los que las actividades agrícolas han sido abandonadas se presentan pastizales dominados generalmente por especies de la región pampeana. En los contactos de esta región con la zona serrana, se observan especies típicas de las montañas bajas. A lo largo de los cauces de algunos ríos y otros ambientes relativamente húmedos, aparecen: sauce criollo (), sauce mimbre (*Salix viminalis*), tala (*Celtis tala*), coco (*Zanthoxylum coco*), cina-cina (*Parkinsonia aculeata*), entre otros. (D.A.C.yT., 2003).

3.3. Fauna

Los relictos de vegetación original, formados por bosques bajos que alternan con pastizales sirven como refugio y sitios de reproducción de los vertebrados de la región. Son característicos: lagarto ocelado, yarará grande, ranita de las cunetas, perdiz chica, garganchillo, paloma turca, cata común, carpintero campestre, suirirí amarillo, calandria común; en estas islas de vegetación se encuentran la comadreja overa,

quirquincho chico, cuis común y se cobijan los últimos ejemplares de gatos del monte y gatos de las pajas (D.A.C.yT., 2003)

3.4. Suelos

El loess, material originario de estos suelos, posee un porcentaje muy elevado de limos (del orden del 70%) y es rico en carbonato de calcio. Estos caracteres del material, sumados a las condiciones climáticas de una planicie subhúmeda a semiárida y la vegetación natural bajo la cual evolucionaron, confieren a los suelos las características más sobresalientes que condicionan su utilización y definen sus potencialidades. Los Haplustoles (H. énticos y H. típicos), que son los suelos dominantes de la región, se caracterizan por ser suelos altamente productivos, profundos, bien drenados, fértiles, con un horizonte superficial rico en materia orgánica y con el complejo de cambio dominado por el calcio, lo que favorece, junto con el tipo de vegetación que compone el "espinal" original, el desarrollo de una buena estructura. Sin embargo, el alto contenido en limo les confiere cierta fragilidad e inestabilidad estructural, que se manifiesta por una tendencia al encostramiento y al "planchado", punto inicial de los escurrimientos y de los procesos erosivos. Regionalmente, existe una pendiente uniforme, que disminuye gradualmente hacia el Este, con valores de gradiente que van del 3% al 0,5%, siendo este último valor es el dominante de la porción oriental. Los procesos erosivos (principalmente hídricos) son intensos y generalizados en toda la unidad, sobre todo en el Oeste donde se producen no sólo en forma laminar y de surcos, sino también en forma de cárcavas profundas y aisladas. Esta puede ser considerada la región de la Provincia donde más se observa la pérdida de suelo. Un fenómeno particular y específico es la presencia de mallines (erosión tubificada), vinculados en la mayoría de los casos, a las líneas o desagües

estructurales. Esta región está profundamente modificada por las actividades agropecuarias. Desde mediados del siglo pasado estas tierras sufrieron una casi total sustitución de la vegetación natural (Espinal) por cultivos, primero de trigo, luego de maíz y más recientemente de soja y maní. Este proceso, que fue acompañado de un intenso parcelamiento, siendo el estrato más representativo el de los productores pequeños, hoy ha devenido en una intensa agriculturización que incluye 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 (D.A.C.yT., 2003).

En cuanto al Mapa de Suelos, la información oficial existente es la publicada en “Los Suelos” (ACA e INTA, 2006) con nivel de reconocimiento 1:500.000. La Unidades Cartográficas correspondientes al área de estudio descriptas, son: CoRS con índice de productividad de 5 y clase de uso igual a VI. MKtc-2 con índice de productividad de 61 y clase de uso igual a III y MNtc-2 con índice de productividad de 24 y clase de uso igual a IV.

3.5. Aspectos económicos

El área de estudio se caracteriza por presentar una generalizada adopción de agricultura extensiva bajo el sistema de siembra directa. Los principales cultivos que se desarrollan son soja, maíz, trigo, sorgo y maní principalmente. Además, en la región cobra importancia la ganadería intensiva de ganado bovino en sistemas de engorde a corral y engorde intensivo de ganado porcino. En el departamento Santa María, la superficie sembrada ronda las 181.000 hectáreas y la producción supero las 1.000 toneladas de granos en las últimas campañas según se muestra en la Fig. 3 (Bolsa de Cereales de Córdoba, 2020).

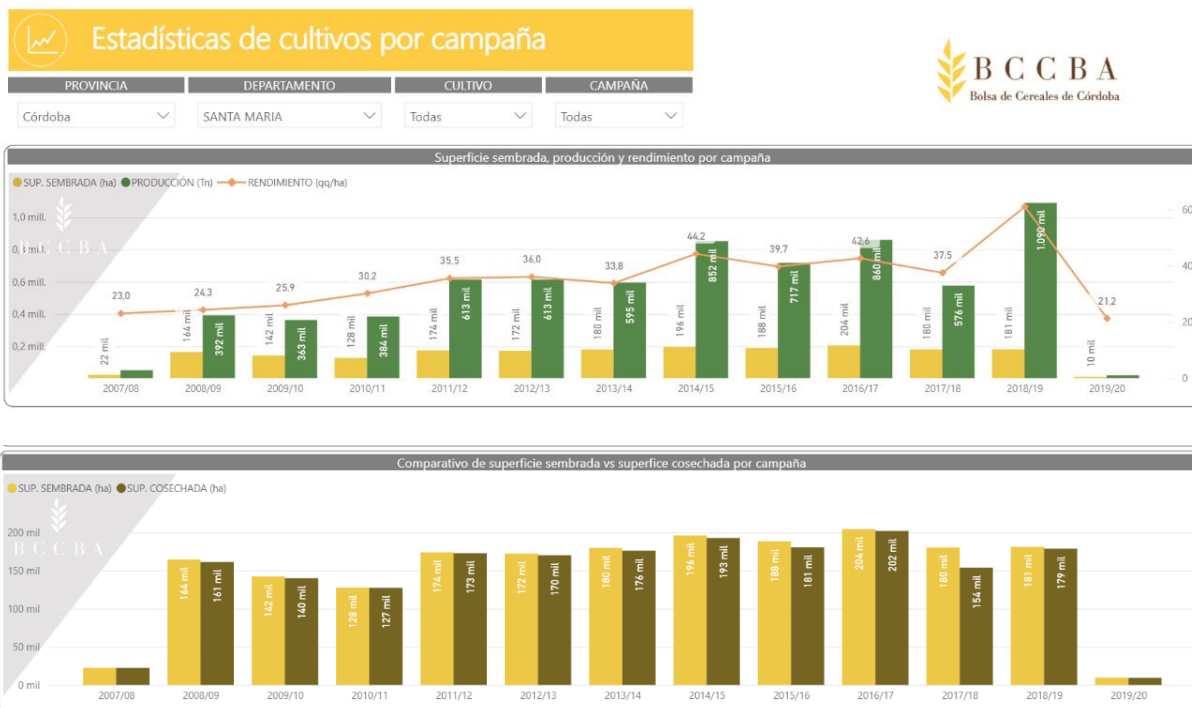


Figura 3. Superficie sembrada. Producción. Rendimiento 2008/2020. Bolsa de Cereales de Córdoba. 2020.

3.6. Dimensión territorial

El área de estudio tiene una predominancia de explotaciones agrícolas y en menor medida agrícola-ganadera, abarcando los cultivos extensivos el 90% de su superficie. También se observa pasturas tanto anuales como perennes, que comprenden un 4% de la superficie total de la cuenca y otras coberturas el porcentaje restante.

Considerando el total de propiedades que integran la cuenca, el 82% de la parcelación de las explotaciones se concentra entre las 80 y las 600 ha (comunicación personal). Esto indica que hay una amplia variedad de empresas agropecuarias con tendencia hacia la mediana y gran explotación. Esta apreciación se debe al modelo productivo de gran escala, en el cual es necesario ampliar la superficie a cultivar. El 80% de las tierras de la cuenca es trabajada por sus propietarios, ya sea en forma personal o familiar y bajo la forma de arriendo, sólo el 10%, principalmente en aquellos campos en sucesión.

4. DIAGNÓSTICO DE LA PROBLEMÁTICA

Las causas principales de los procesos generadores de erosión hídrica que afectan gran parte de la cuenca en estudio y su entorno, derivan de la combinación de:

modelo productivo - suelos dominantes – periodo de precipitaciones

Esto se debe a que no se ha considerado la realidad hidrológica natural en la medida correspondiente, o bien por la falta de adecuación de las prácticas productivas a las condiciones actuales. Los caudales de aguas pluviales se incrementaron por prácticas agropecuarias inadecuadas y son interferidos por los caminos provocando cárcavas. Como consecuencia, se produce una captación y conducción de las aguas pluviales que deriva en cambios locales en la dinámica del escurrimiento natural y en la generación de erosión concentrada en los caminos y campos.

En resumen, se ha generado una nueva dinámica de escurrimiento en el sistema Cuenca “Despeñaderos”, íntimamente relacionada con las características productivas de la región, y un incremento en la intensidad y magnitud de la problemática. Esto culmina en un notable desequilibrio producido en la relación infiltración-esorrentía dañando la limitada infraestructura vial.

5. METODOLOGÍA DE TRABAJO

Para la determinación de la red de drenaje y las sub cuencas de aporte se utilizó el Modelo Digital de Elevación (MDE) Meryt Hidro (Yamazaki et al., 2019) de 90 metros de resolución. Mediante el programa de cartografía digital QGIS 3.16.19, se realizó un relleno para asegurar eliminar los errores en la acumulación de flujo y se determinó la red de drenaje con un mínimo flujo de acumulación por arroyo de 50 celdas y con

dirección de flujo D8. Como resultado se obtuvieron siete subcuencas (Fig. 4) y la red de drenaje del área de estudio.

Con el objetivo de realizar un análisis básico del terreno, con base el mismo DEM, se utilizó el programa SAGA 2.3.2 y se ejecutó la herramienta “análisis básico del terreno” obteniendo como resultado el mapa de aspecto (Fig. 5) análisis de sombreado (Fig. 6), e índice topográfico de humedad (Fig. 7). La pendiente del terreno se determinó en porcentaje a partir de Meryt Hidro (Yamazaki et al., 2019) de 90 metros de resolución, mediante el programa QGIS 3.16.19 (Fig. 8). Con la herramienta “watersheed” de GRASS como plugin de QGIS 3.16.19 se obtuvieron los mapas Factor S y Factor LS (Fig. 9 y 10) de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE).

La metodología del Número de Curva (NC) elaborada por el Soil Conservation Service (SCS) de Estados Unidos, que se utiliza para determinar la escorrentía superficial, es un método aplicado que permite obtener la escorrentía superficial acumulada (SCS,1972). La determinación de NC se realizó según la metodología de automatización mediante Sistemas de Información Geográfica, que propone la Universidad Politécnica de Valencia y el Centro de Estudios Hidrográficos CEDEX (Ferrér et al., 1995) y la adaptación propuesta por Prieto Villarroya et al. (2013) para Argentina (Tabla 3). Además, se utilizaron las tablas de NC de Gaspari et al. (2009) para los casos de cobertura de suelo no estandarizadas en 1995.

Cuenca y Subcuencas - Red de drenaje superficial

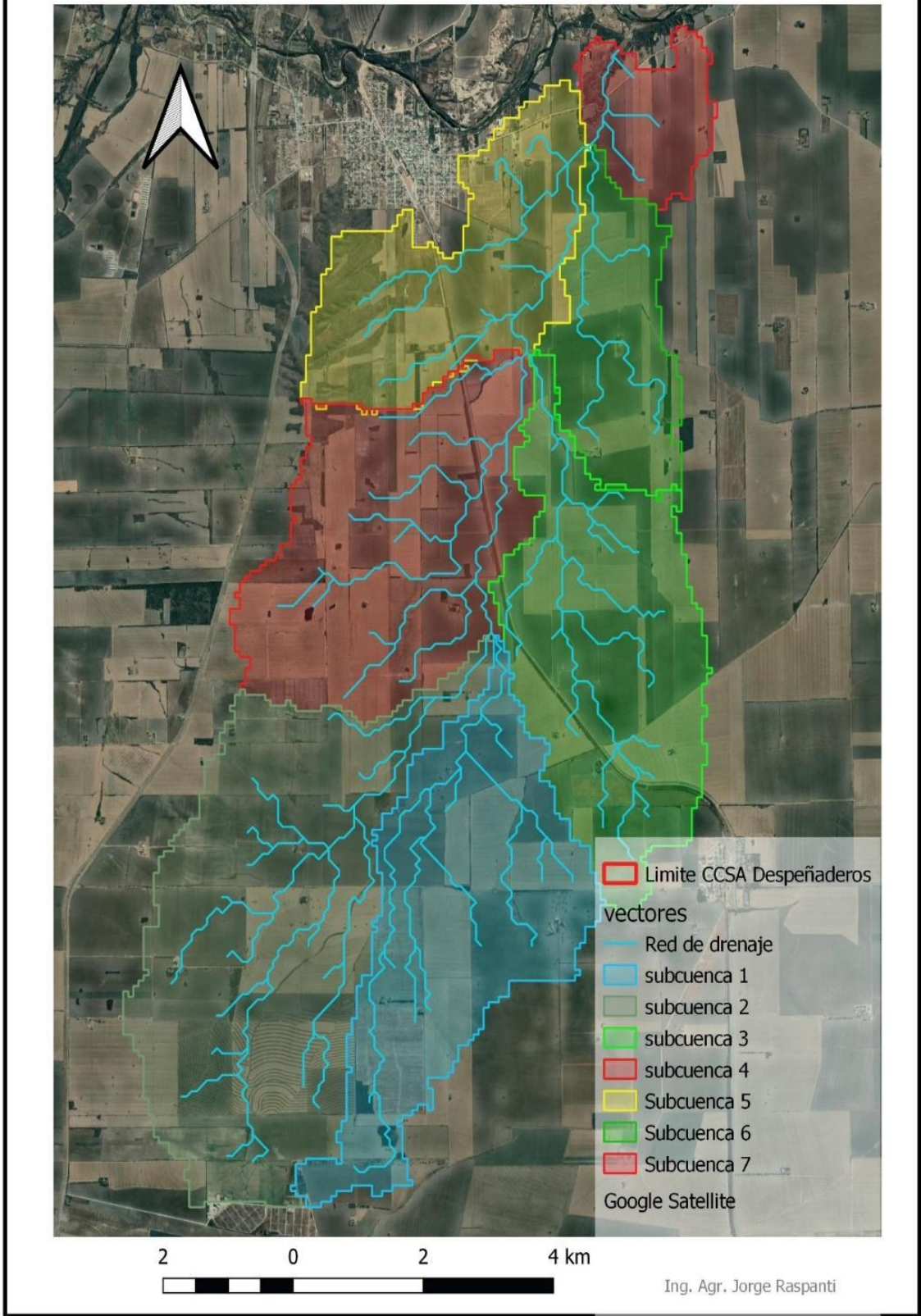


Figura 4. Mapa de la Cuenca “Despeñaderos” las Sub cuencas que la componen y la red de escurrimiento.

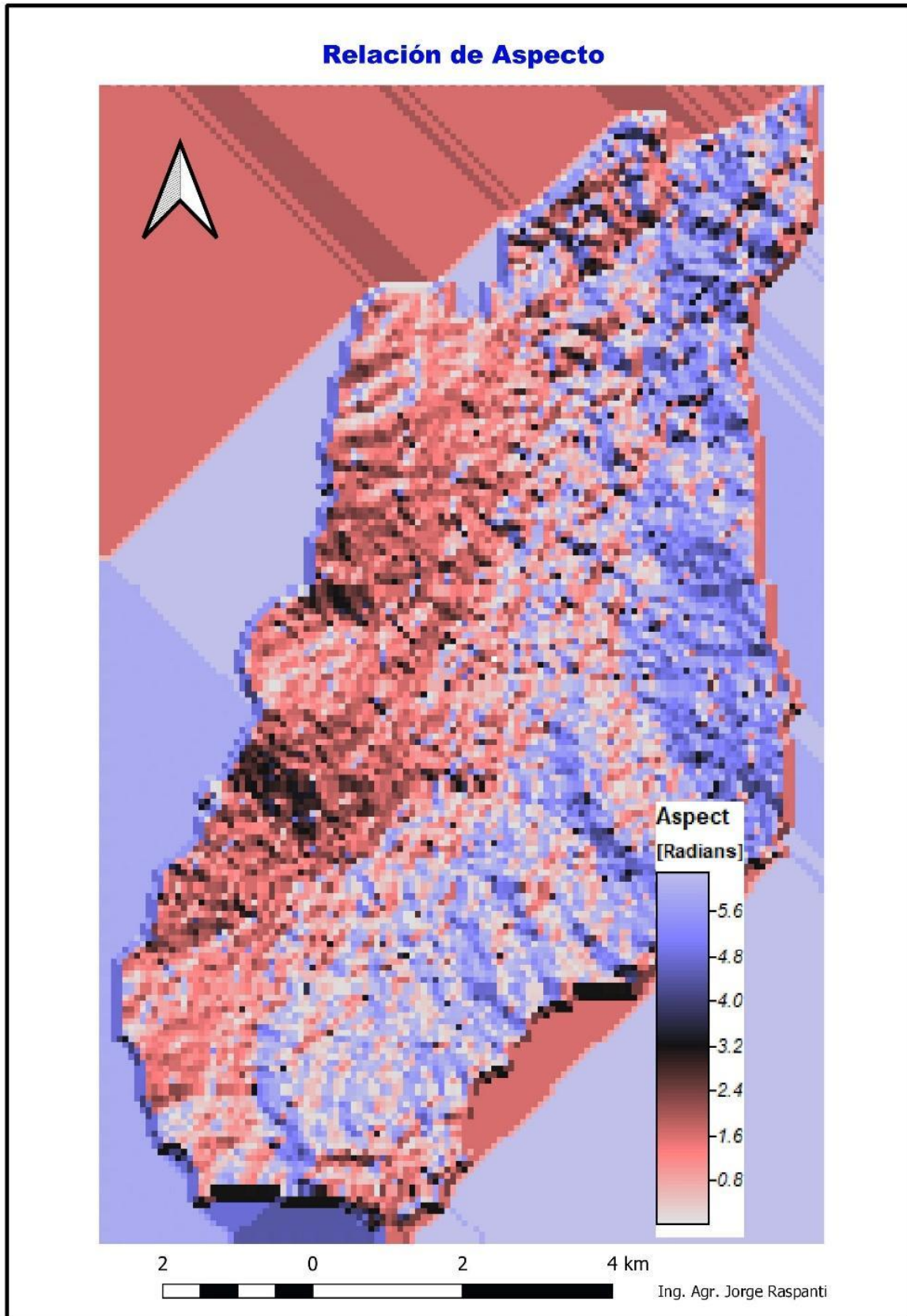


Figura 5. Relación de Aspecto

Mapa de Análisis de Sombreado

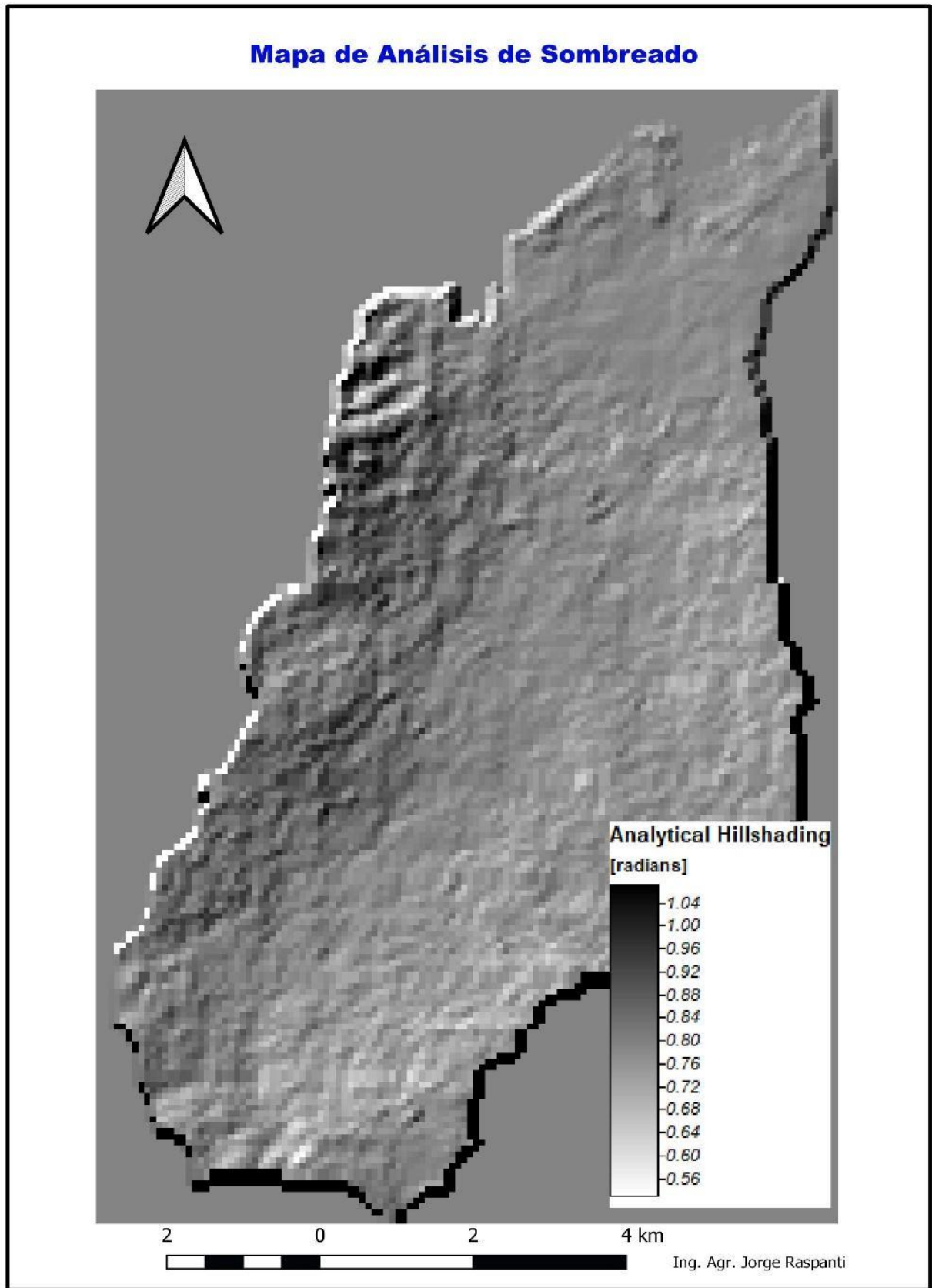


Figura 6. Análisis de Sombreado

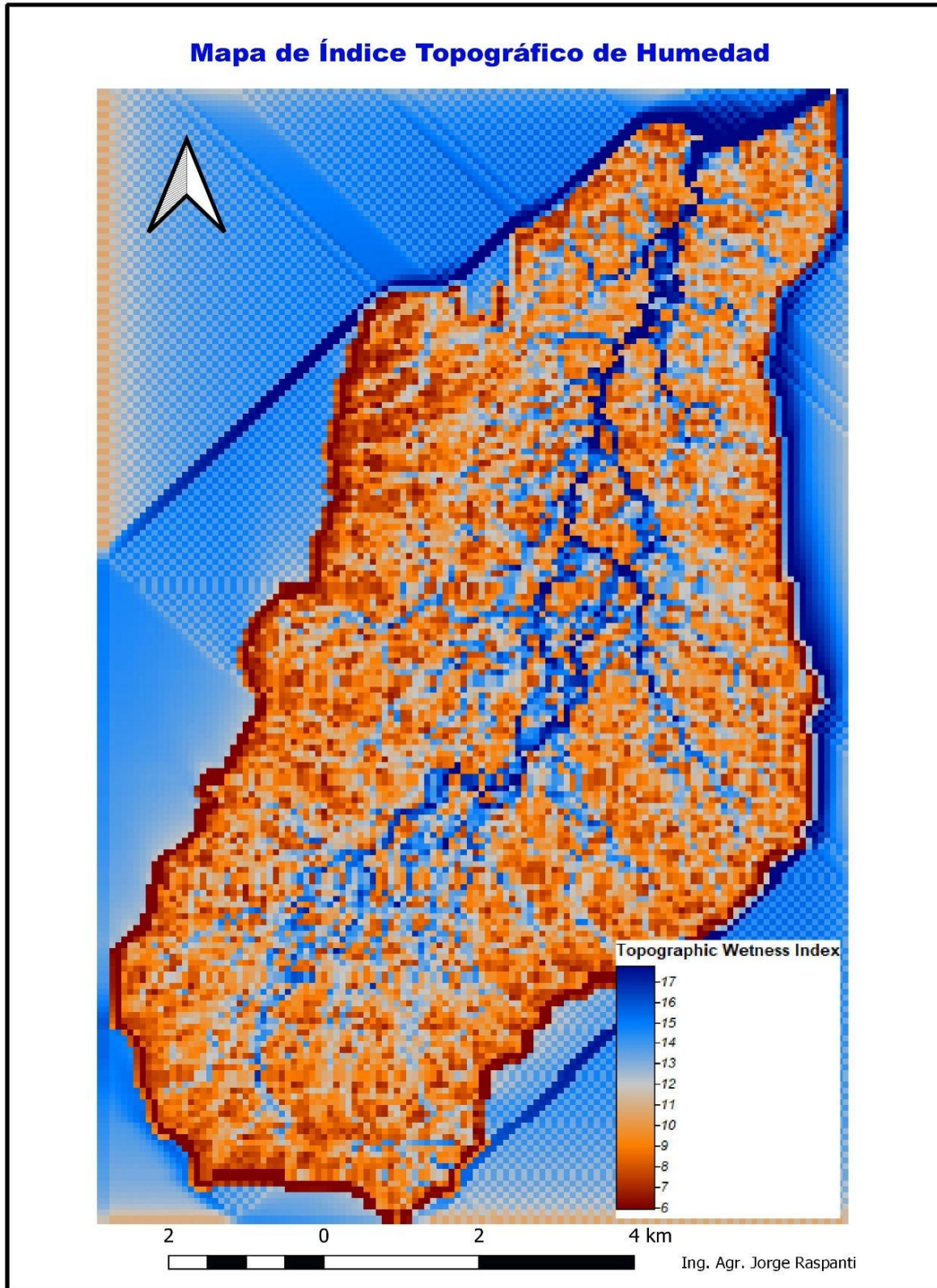
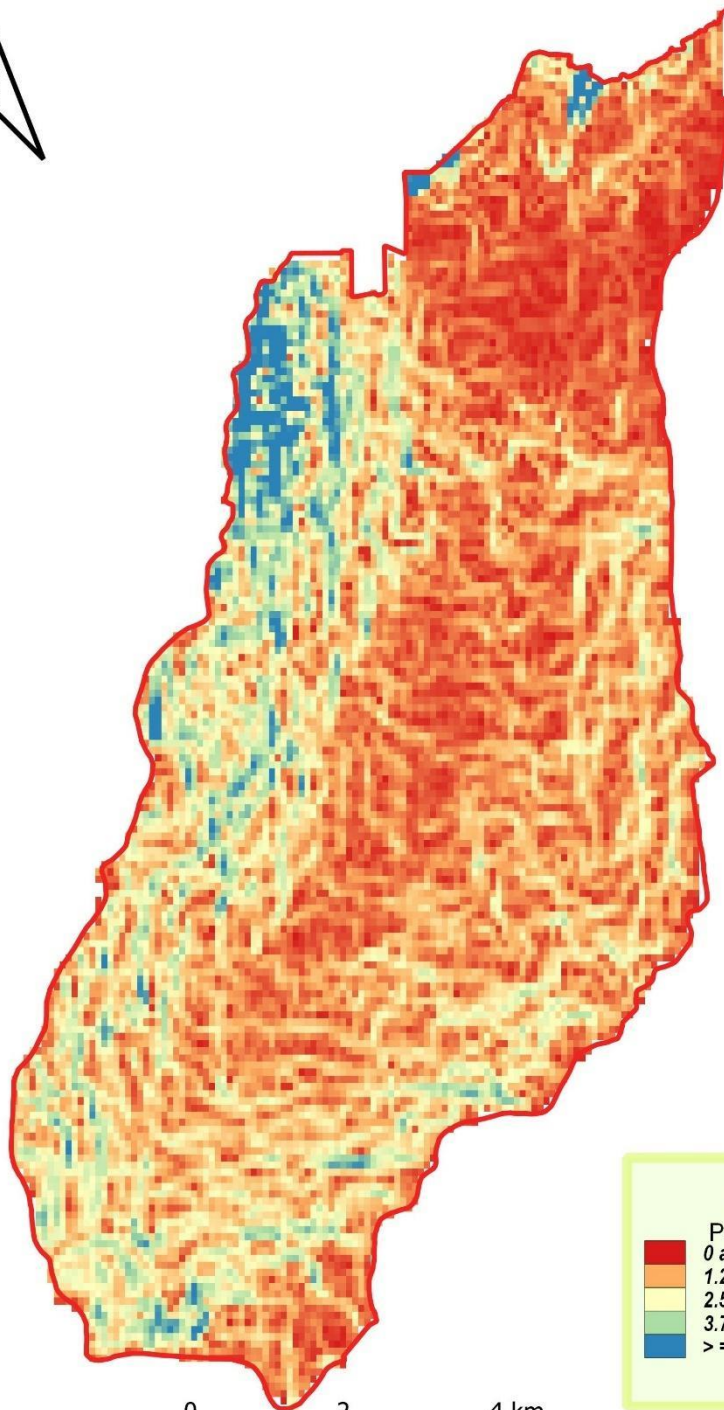


Figura 7. Mapa de Índice Topográfico de Humedad de la Cuenca “Despeñaderos”.

Pendiente del Terreno del Consorcio de Conservación de Suelos "Despeñaderos"



Leyenda

	Pendiente
	0 a 1.24%
	1.25 a 2.49%
	2.50 a 3.74%
	3.75 a 4.99%
	>= 5%

0 2 4 km

Mapa de pendientes en porcentaje obtenidas en Base a Merit Hydro DEM.

Ing. Agr. Jorge Raspanti

Figura 8. Mapa de Pendientes en porcentaje de la Cuenca "Despeñaderos".

Factor de Inclinación de Pendiente (S) para USLE

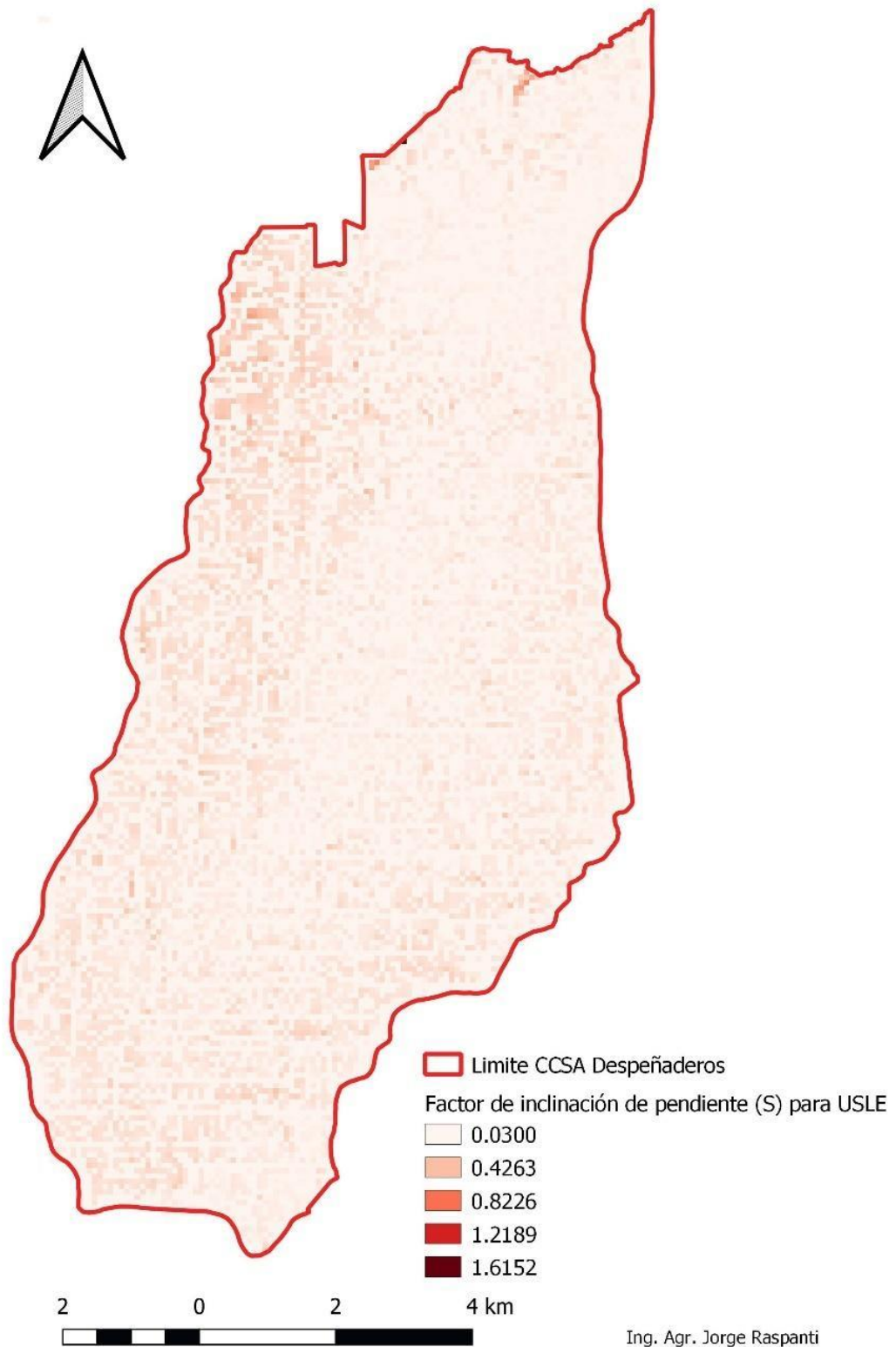


Figura 9. Factor S USLE

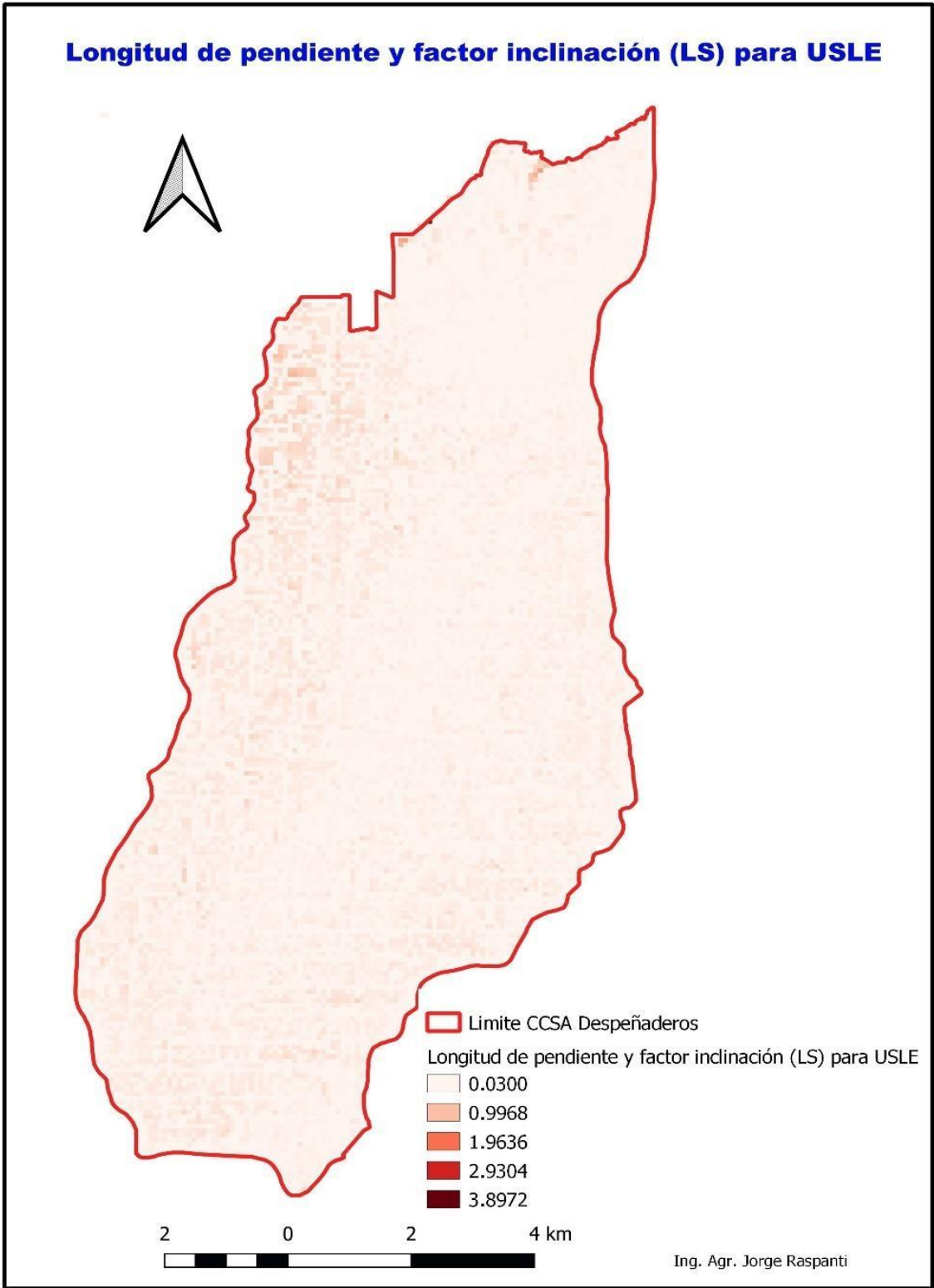


Figura 10. Factor LS – USLE

Este método asigna un número primo único a cada cobertura y uso del suelo, grupo hidrológico del suelo y pendiente. A través de un álgebra de capas, se determinó como producto un único número resultante, que se asocia a un valor de NC. Se realizó una estadística zonal, obteniendo un promedio ponderado de NC para cada subcuenca en los escenarios de simulación 1 y 2 que se observan en las figuras 11 y 12 respectivamente.

Tabla 3. Resultado de CN de cada combinación de cobertura y uso del suelo.

Cobertura	N° primo	Manejo	Pendiente (%)	N° primo	Grupo H. del Suelo	N° primo	Producto	CN
Bosque	73		>3	2	B	5	730	60
	73		< 3	1	B	5	365	58
Áreas no vegetadas	89		> 3	2	B	5	890	96
	89		< 3	1	B	5	445	93
Leñosas cerradas	61		> 3	2	B	5	610	73
	61		< 3	1	B	5	305	58
Leñosas Abiertas	61		> 3	2	B	5	610	73
	61		< 3	1	B	5	305	58
Leñosas Inundable	61		> 3	2	B	5	610	73
	61		< 3	1	B	5	305	58
Leñosas Cultivadas	61		> 3	2	B	5	610	73
	61		< 3	1	B	5	305	58
Leñosas Dispersas	61		> 3	2	B	5	610	73
	61		< 3	1	B	5	305	58
Pastizal Inundable	37		> 3	2	B	5	370	67
	37		< 3	1	B	5	185	48
Pastizal Abierto	37		> 3	2	B	5	370	67
	37		< 3	1	B	5	185	48
Pastizal Cerrado	37		> 3	2	B	5	370	67
	37		< 3	1	B	5	185	48
Pastizal Disperso	37		> 3	2	B	5	370	67
	37		< 3	1	B	5	185	48
Pasturas	37		> 3	2	B	5	370	67
	37		< 3	1	B	5	185	48
Cultivos Anuales	101	c/ trz	> 3	2	B	5	1010	73
	101	c/ trz	< 3	1	B	5	505	70
Cultivos Anuales	17	s/ trz	> 3	2	B	5	170	80
	17	s/trz ¹	< 3	1	B	5	85	75

¹ Terrazas paralelas de desagüe

Se plantearon cinco escenarios (Tabla 4) para la simulación hidrológica en base a tres criterios: Aplicación / no aplicación de la ley Agroforestal, Manejo del suelo (con prácticas de sistematización (CP) y sin prácticas de sistematización (SP) y Pendiente del terreno (<3% y > 3%). La cobertura del suelo se obtuvo del "Proyecto MapBiomás Chaco" para el año 2000 y 2019 (Fig. 13 y 14). El grupo hidrológico del suelo se obtuvo de Gaspari et al, 2019 que para toda la cuenca es del grupo "B". La presencia de obras de sistematización predial se determinó mediante observación visual en Google Earth e imágenes sentinel 2 (ESA) actualizadas, mediante el cual se obtuvo la Fig. 15.

Tabla 4. Obtención del CN por escenario para la Cuenca "Despeñaderos" (Superficie en hectáreas).

Cuenca completa											
	Escenario N°1		Escenario N°2		Escenario N°3		Escenario N°4		Escenario N°5		
CN	Sup.	%	Sup.	%	Sup.	%	Sup.	%	Sup.	%	
48	173.2	1.88	234.2	2.54	234.2	2.54	234.2	2.54	234.2	2.54	
58	73.5	0.80	55.4	0.60	332.3	3.60	55.4	0.60	332.3	3.60	
67	282.5	3.06	209.3	2.27	209.3	2.27	209.3	2.27	209.3	2.27	
70	0.0	0.00	2534.7	27.46	2534.7	27.46	7859.1	85.15	7582.2	82.15	
73	33.4	0.36	250.7	2.72	250.7	2.72	250.7	2.72	250.7	2.72	
75	7906.6	85.7	5324.4	57.69	5047.5	54.69	0.0	0.00	0.0	0.00	
80	750.4	8.13	606.0	6.57	606.0	6.57	606.0	6.57	606.0	6.57	
93	6.1	0.07	11.6	0.13	11.6	0.13	11.6	0.13	11.6	0.13	
96	4.3	0.05	3.7	0.04	3.7	0.04	3.7	0.04	3.7	0.04	
Total	9230	100	9230	100	9230	100	9230	100	9230	100	
	CN	75	CN	73	CN	72	CN	70	CN	70	

El primer escenario reúne las condiciones de la cuenca al año 2000, la cobertura del suelo en ese año y ausencia de sistematización de lotes para control de erosión hídrica. El segundo escenario reúne las condiciones de la cuenca en la actualidad, la cobertura del suelo y con aproximadamente el 30% del área agrícola sistematizada. Los escenarios restantes tienen la característica de ser supuestos en función de la promoción de las obras de sistematización a toda el área agrícola de la cuenca con

pendiente menor al 3% y a la implementación de la totalidad del Plan Agroforestal LEY N°10.467 (2017) de la Provincia de Córdoba que obliga a la forestación del 3% de la superficie de la cuenca para el año 2028. El tercer escenario plantea solamente la forestación del 3% del área agrícola sin cambiar el porcentaje del área sistematizada en la actualidad. El escenario cuatro establece los supuestos de sistematizar el 100% del área agrícola con pendiente menor al 3% y no realizar forestación. Y, por último, el quinto escenario plantea forestar el 3% y sistematizar el 97% del área agrícola con pendiente menor al 3%. Estos escenarios se formularon con el objetivo de tener respuestas hidrológicas contrastantes dado los porcentajes de estos ambientes en el área de estudio.

El valor de la lluvia proyecto se obtuvo del mapa de Precipitaciones Máximas Diarias Para Diseño Hidrológico publicado por IDECOR, del INA-CIRSA y UNC-FCEFyN. Para el área de estudio el valor máximo de precipitación diaria obtenido fue de 116 milímetros para un período de retorno de 10 años. Para la conformación de la curva Intensidad – Duración – Frecuencia (IDF), se utilizó la fórmula de Evans (1971) que se muestra en Fig. 16. Los tiempos de concentración para cada subcuenca fueron calculados a partir de lo propuesto por Williams (1922)

$$T_c = 58 L / (A^{0.1} * S_c^{0.2})$$

Donde: T= tiempo de concentración (minutos) L= distancia máxima a la salida (km)
A= área de la cuenca (km²) S_c= pendiente media del cauce principal (%).

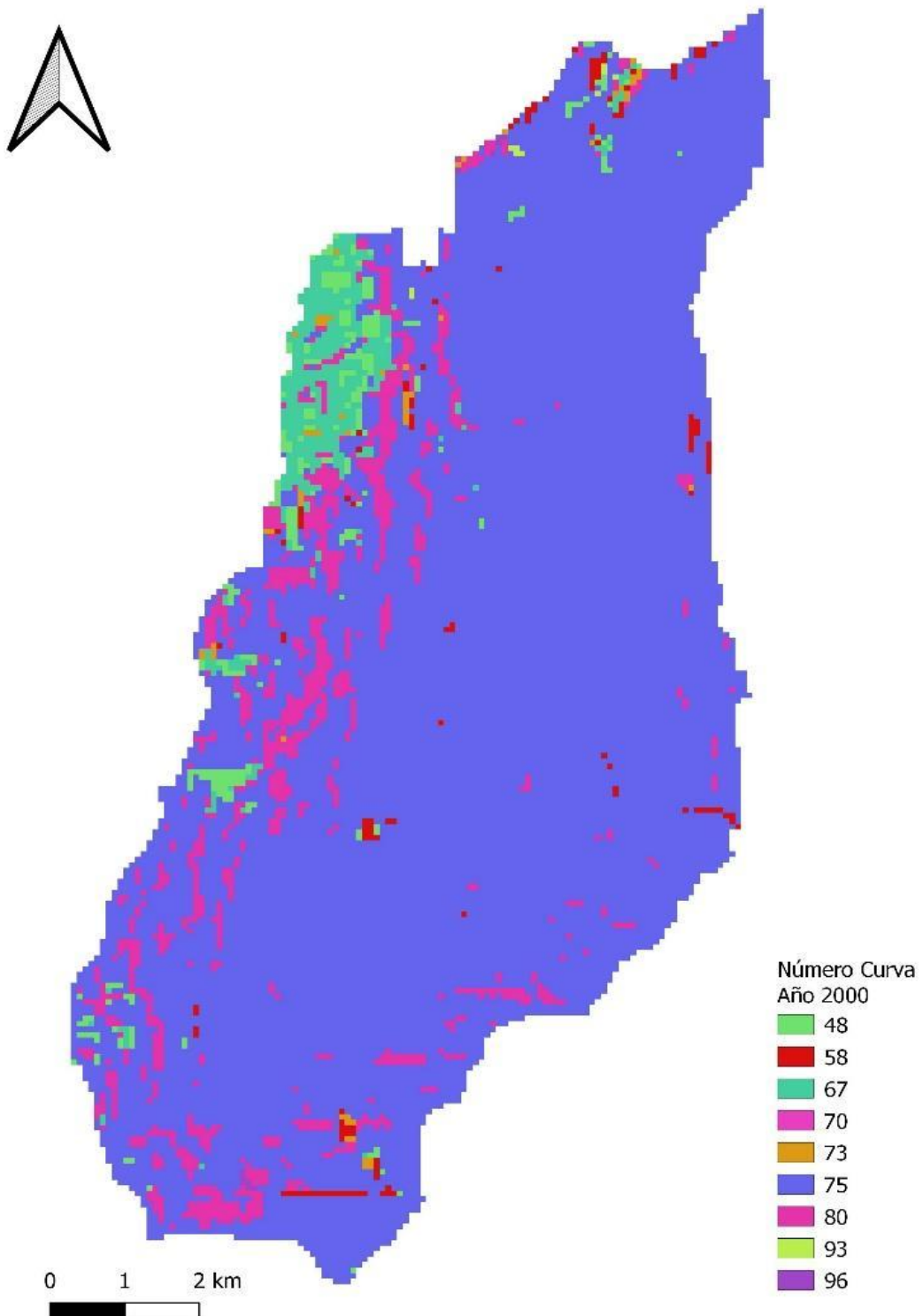


Figura 11. Mapa de NC de la Cuenca “Despeñaderos” para el año 2000 (Escenario N°1).

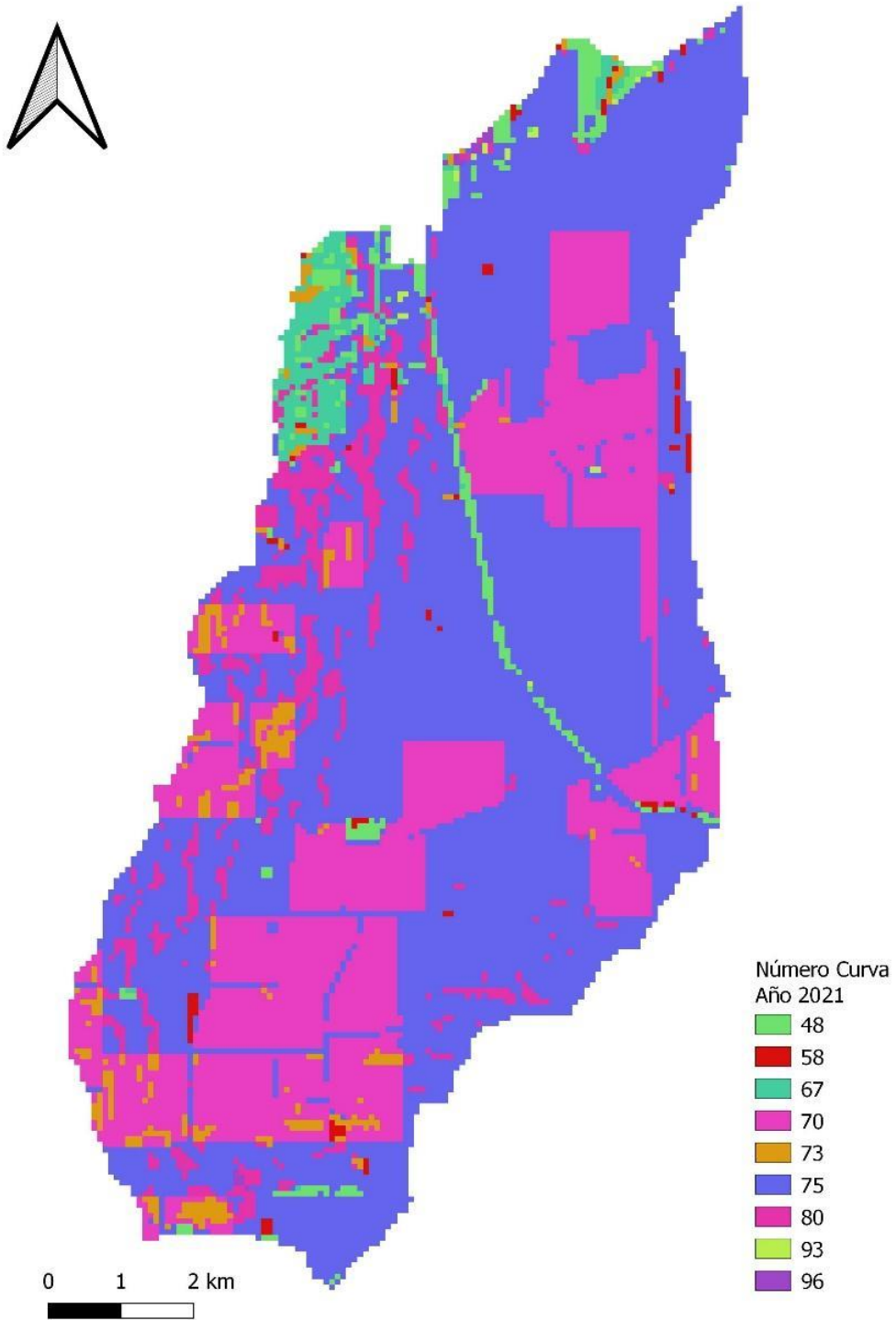


Figura 12. Mapa de NC de la Cuenca “Despeñaderos” para el año 2021 (Escenario N°2).

**Mapeo Anual de Cobertura y Uso del Suelo de Gran Chaco
Americano
MAPBIOMAS CHACO 2000**

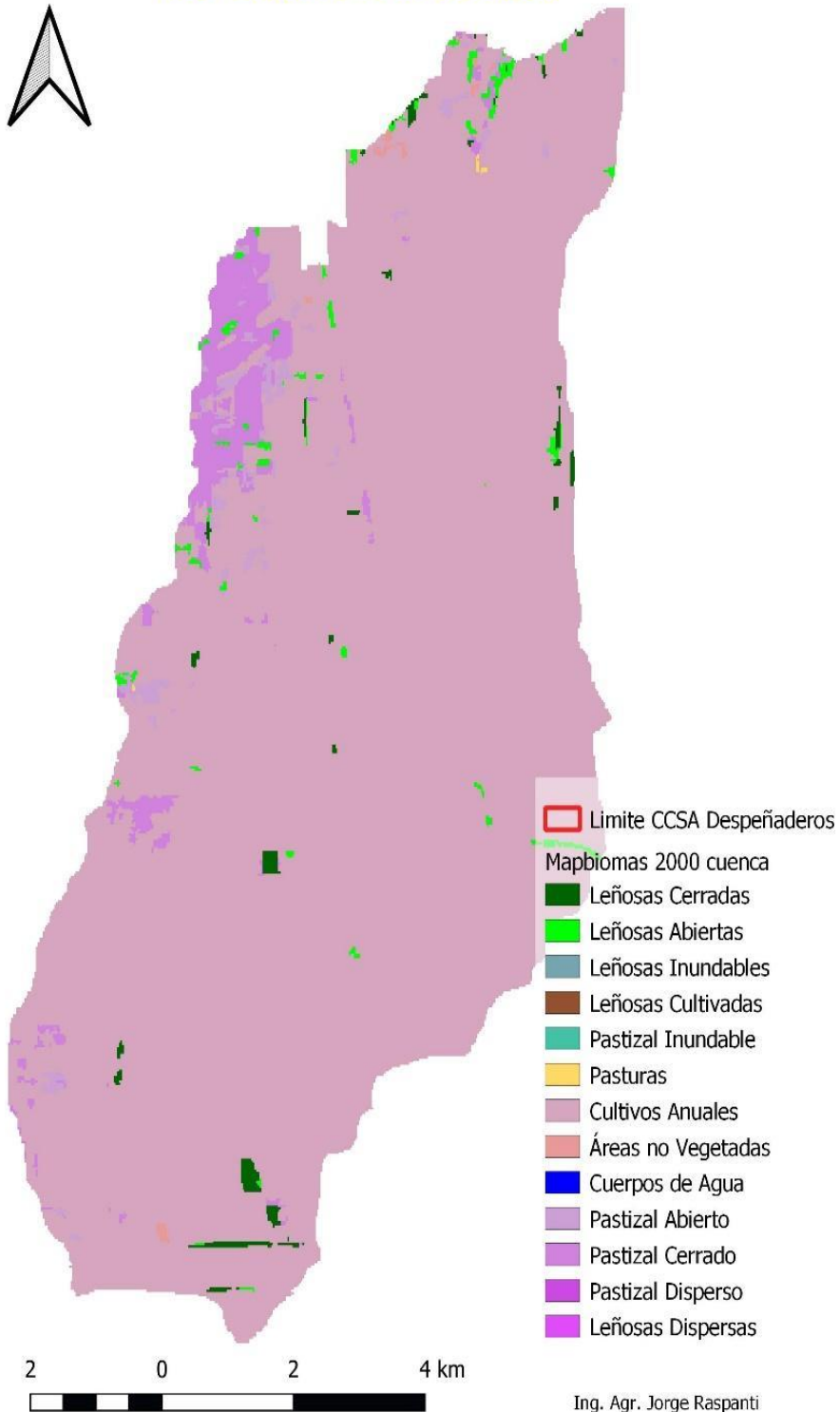


Figura13. MapBiomias Año 2000

**Mapeo Anual de Cobertura y Uso del Suelo de Gran Chaco
Americano
MAPBIOMAS CHACO 2019**

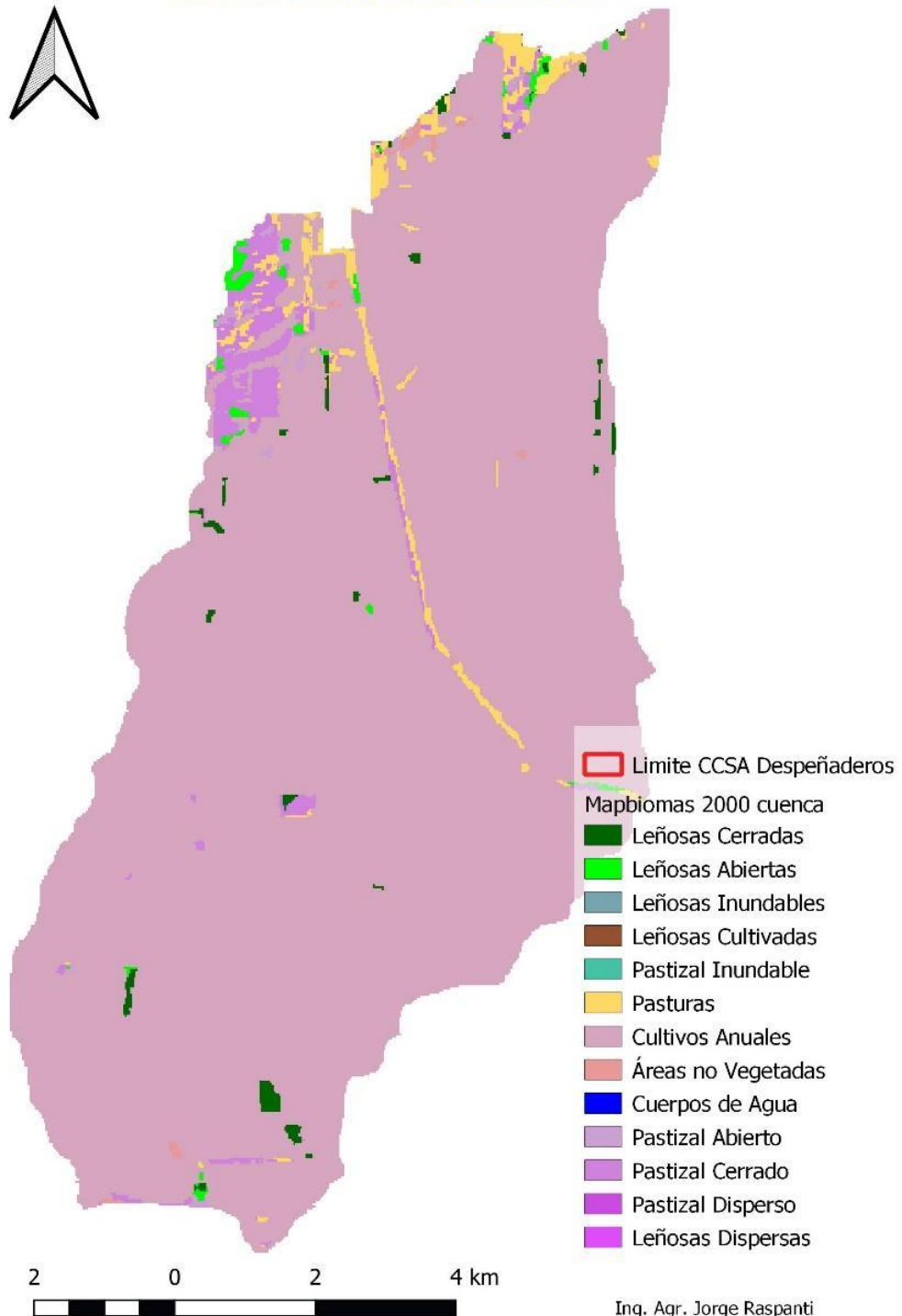
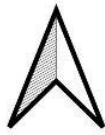


Figura 14. MapBiomas Año 2019

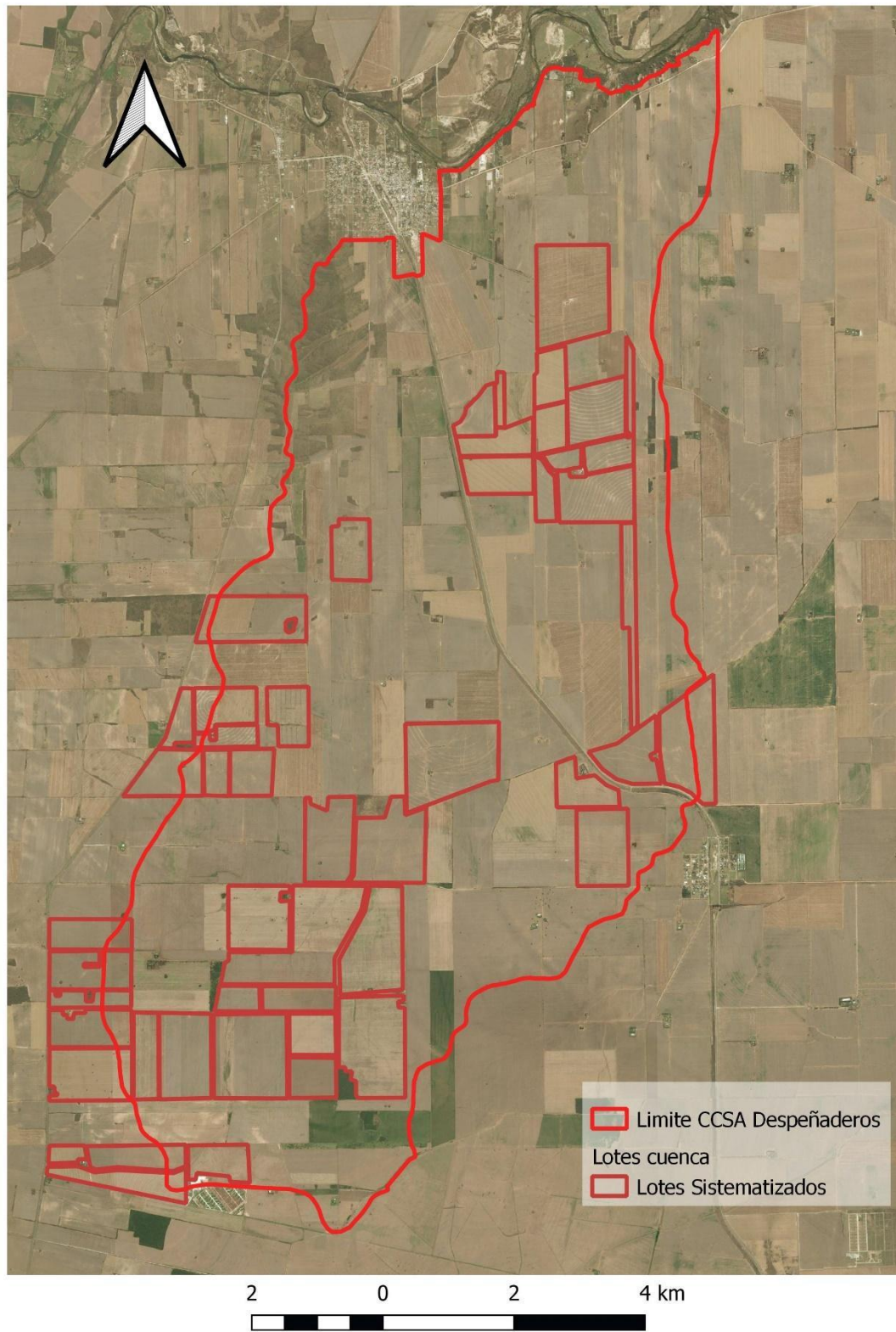


Figura 15. Mapa de lotes sistematizados de la Cuenca “Despeñaderos”.

El tiempo de retardo o Tlag se calculó como el 60% del TC. Para calcular los hidrogramas de salida de las subcuencas de aporte para los escenarios de simulación elegidos se utilizó el programa HEC HMS 4.8 (Army Corps of Engineers, 2000) (Fig. 17) con los parámetros que figuran en Tabla 5, además se calcularon los coeficientes k y s de Muskingam para cada uno de los tramos por los que transitaba el agua (Tabla 6). El método de transformación lluvia - caudal fue el del hidrograma unitario.

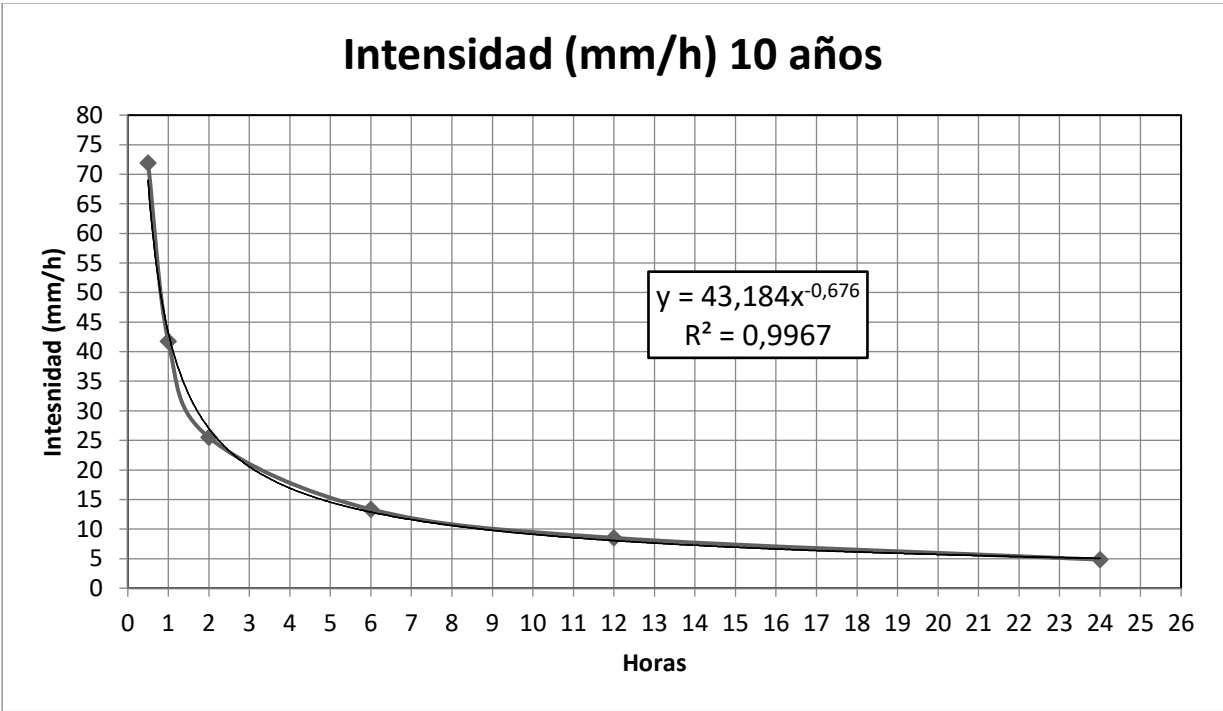


Figura 16. IDF para 10 años para 116 mm a partir de Evans (1971).

Tabla 5. Parámetros físicos de cada sub cuenca para la simulación hidrológica.

	Cuenca	Sub 1	Sub 2	Sub 3	Sub 4	Sub 5	Sub 6	Sub 7
L (m)	21096	10551	10454	8734	7135	5937	5995	2336
Área (Ha)	9253.9	1572.2	2292.9	1540.6	1654.3	1116	697.6	380.1
Sup. (%)	100.0	17.0	24.8	16.6	17.9	12.1	7.5	4.1
Área (Km2)		15.7	22.9	15.4	16.5	11.2	7.0	3.8
Sc (m/m)		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Sa (m/m)		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
TC min		306.1	294.4	263.9	201.0	176.7	220.8	75.7
TC hs		5.1	4.9	4.4	3.3	2.9	3.7	1.3
Lag Time (min)		183.7	176.6	158.3	120.6	106.0	132.5	45.4
PDM (mm)		116.0	116.0	116.0	116.0	116.0	116.0	116.0
I (mm/h)		12.4	12.7	13.7	16.4	18.0	15.4	31.8
Lam		63.3	62.3	60.3	54.9	53.0	56.7	40.1

Tabla 6. Parámetros K y X para ecuación de Muskingum para tránsitos.

	Reach 1	Reach 2	Reach 3
L (m)	4700	3985	1500
K	1,00	0,90	0,40
s	0,2	0,20	0,20

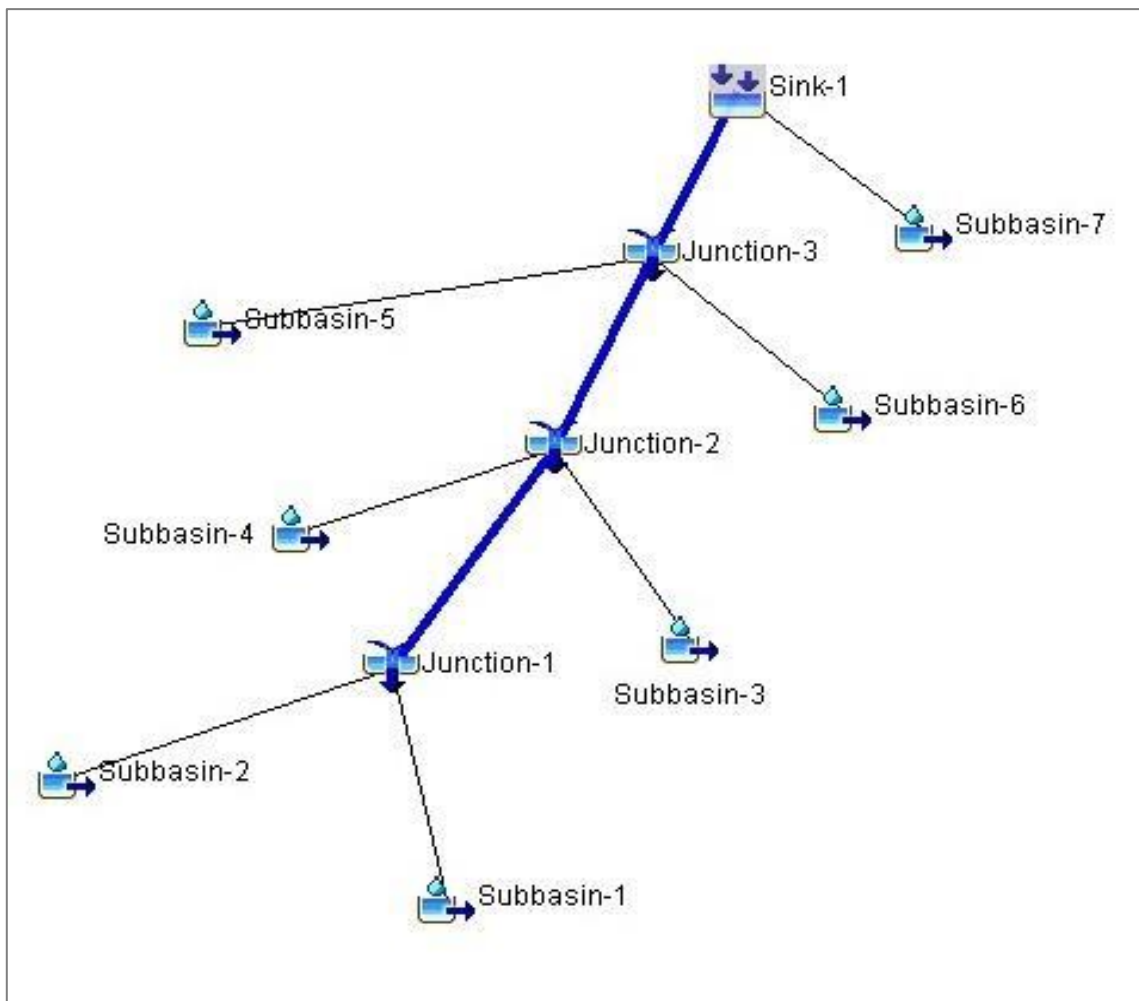


Figura 17. Esquema de distribución de sub cuencas para simulación en HEC HMS.

6. RESULTADOS

El resultado de la modelación hidrológica para los distintos escenarios se evalúa a continuación mediante los hidrogramas de salida de la cuenca. El pico de descarga para la Cuenca “Despeñaderos” se produce a las 6.30 horas de iniciada la lluvia (Fig. 18).

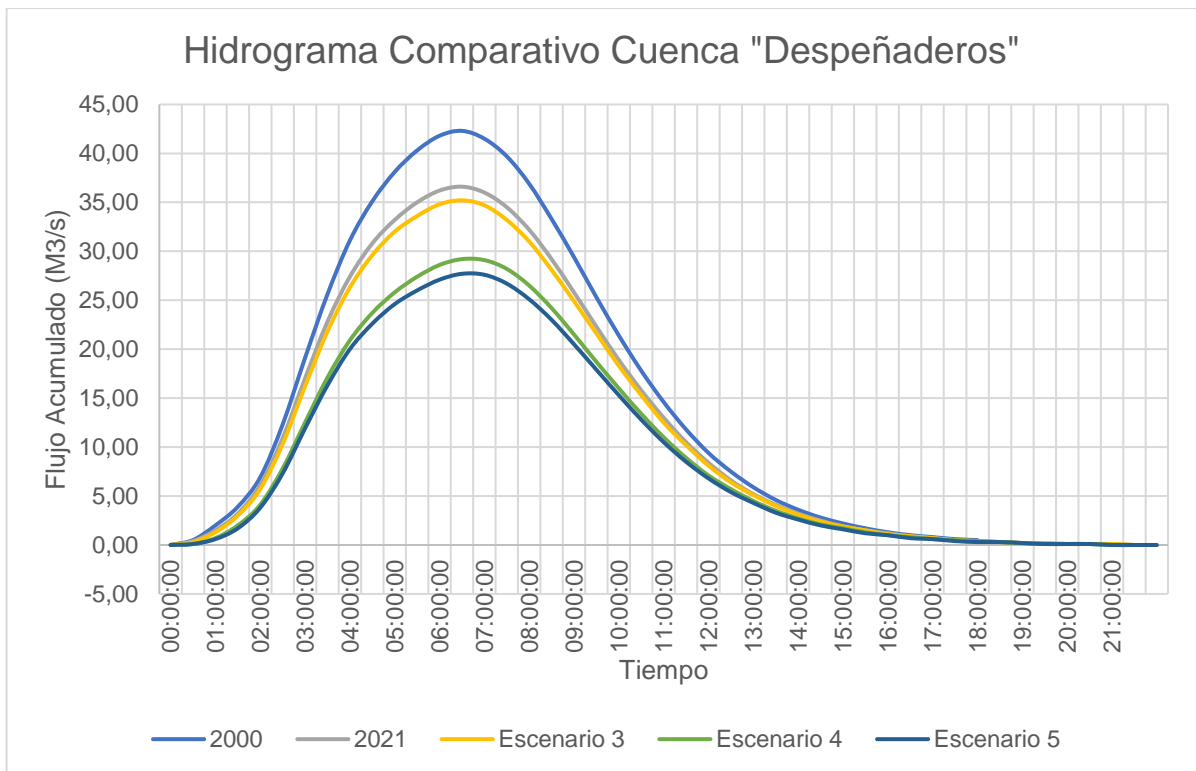


Figura 18. Hidrograma comparativo Cuenca “Despeñaderos”.

El caudal pico para el escenario N°1 fue de 42.3 m³/s, del escenario N°2 fue de 36.6 M³/s, en el escenario N°3 fue de 35.2 m³/s, en el escenario N°4 fue de 29,2 m³/s, y en el escenario N°5 fue de 27.6 m³/s.

La sistematización progresiva del suelo desde el escenario N°1 (0%), escenario N°2 (27.46%) y el escenario N°4 (85.15%) ha aportado significativamente a la reducción del caudal pico mientras que la incorporación de un 3% de forestación a los escenarios de simulación hidrológica, no aporta significativamente a dicha reducción.

En el año 2000 (Fig. 19) este caudal pico se calculó en un total de 42.3 m³/s donde un 85% de la superficie estaba cubierta por cultivos anuales sin terrazas con una pendiente menor al 3% entre otras coberturas en menor proporción (Tabla 7). El NC ponderado para la cuenca era de 75.

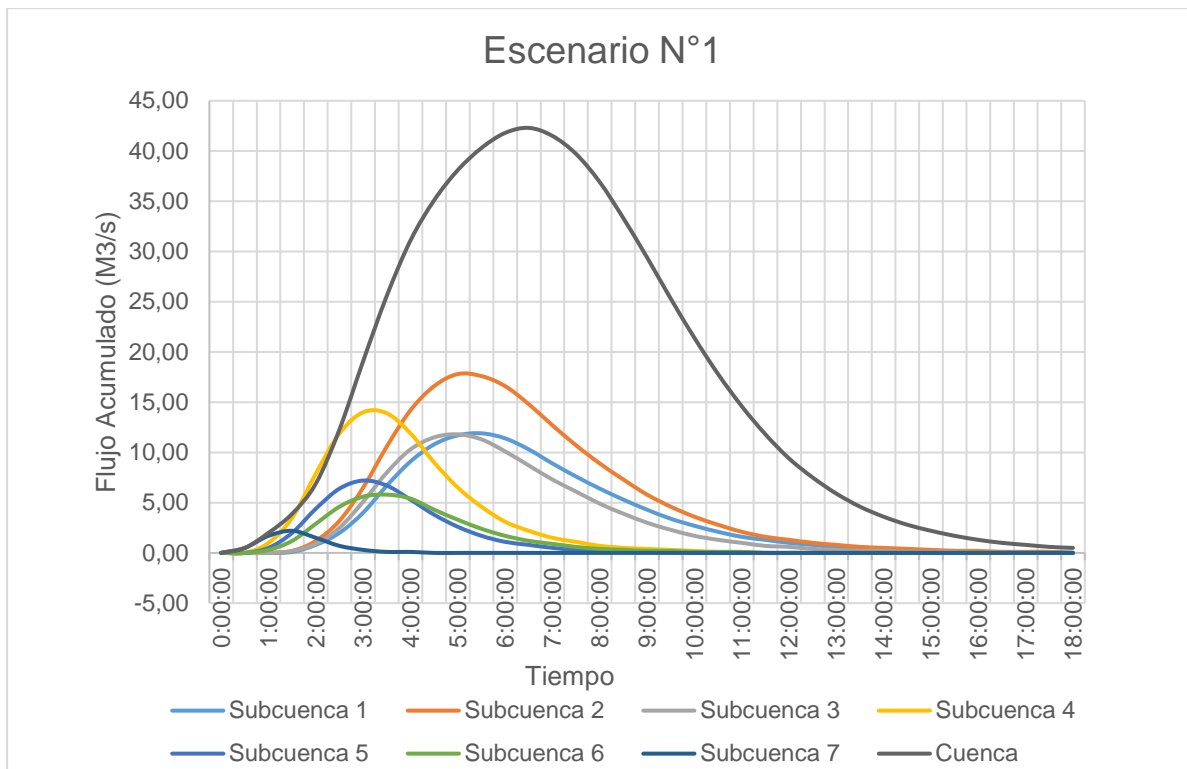


Figura 19. Hidrograma comparativo Subcuencas / Cuenca “Despeñaderos” para el Escenario N°1.

En la actualidad (Fig. 20) el pico de descarga es de 36.6 M³/s (un 13.5% menor que en el año 2000) y el principal cambio que se registra es que existe un 27.46% de la superficie sistematizada con terrazas. La superficie sistematizada corresponde a 2535 hectáreas aproximadamente (Tabla 4). El NC ponderado para toda la cuenca toma un valor de 73.

En el escenario N°3 (Fig. 21), se planteó utilizar un 3% del área con NC igual a 75 para realizar allí la implantación de árboles. Esto supone forestar 278 hectáreas. El resultado hidrológico de esta acción fue reducir el caudal pico en 1.4 m³/s lo que representa un 4% de disminución. Pasando de NC igual a 73 a NC igual a 72.

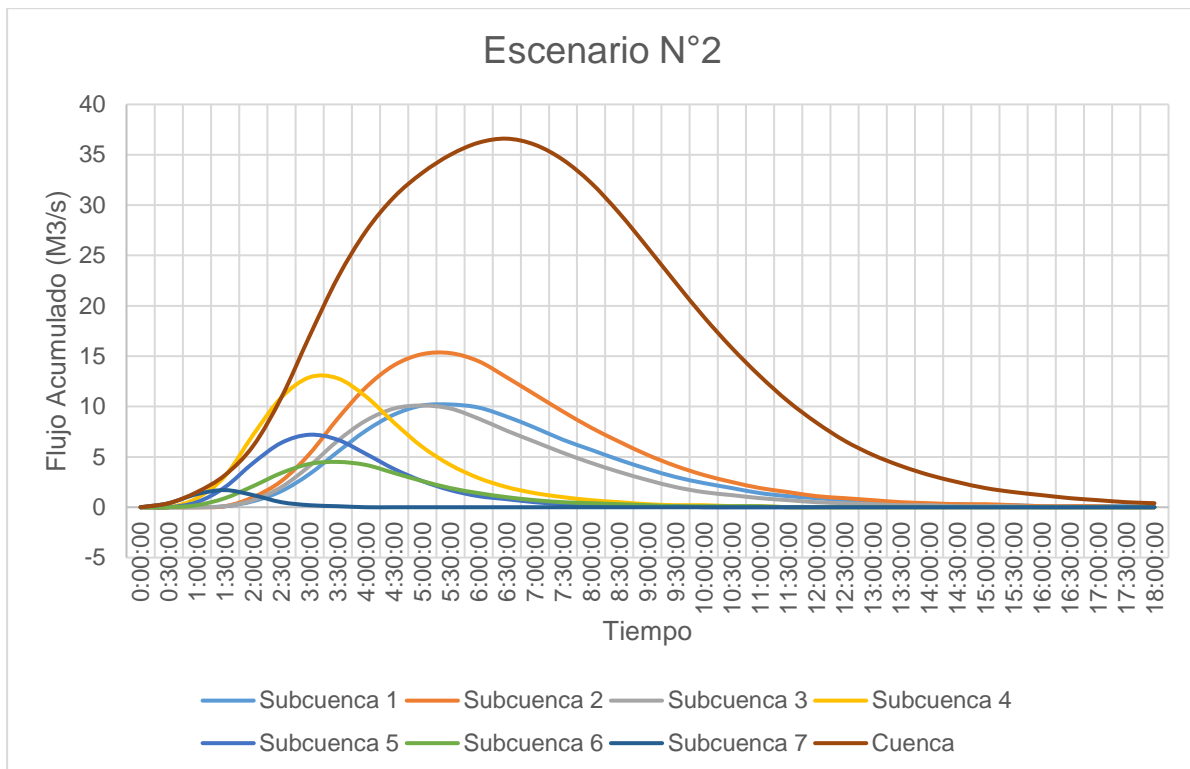


Figura 20. Hidrograma comparativo Subcuencas / Cuenca “Despeñaderos” para el Escenario N°2.

En el escenario N°4 (Fig. 22) se había propuesto utilizar el 100% del área con NC igual a 75 para realizar terrazas. Esto supone sistematizar 5325 hectáreas. El resultado hidrológico de esta acción fue reducir el caudal pico en 7.4 m³/s lo que representa un 20% de disminución. Pasando de NC de 72 a NC de 70.

En el escenario N°5 (Fig. 23) busca combinar los efectos de utilizar el 97% del área con NC igual a 75 para realizar terrazas (5048 hectáreas) y el 3% para forestación (278 hectáreas). El resultado hidrológico de esta acción fue reducir el caudal pico en 9 m³/s lo que representa un 24.3% de disminución (Tabla 4).

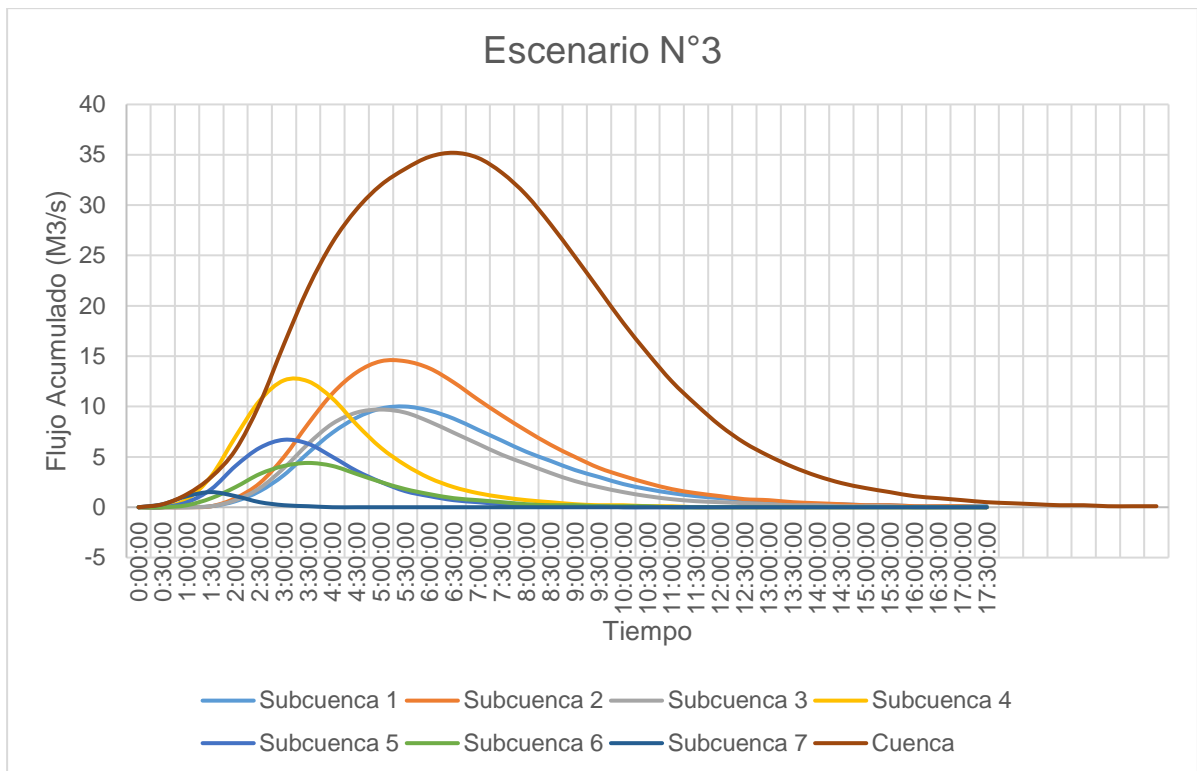


Figura 21. Hidrograma comparativo Subcuencas / Cuenca “Despeñaderos” para el Escenario N°3.

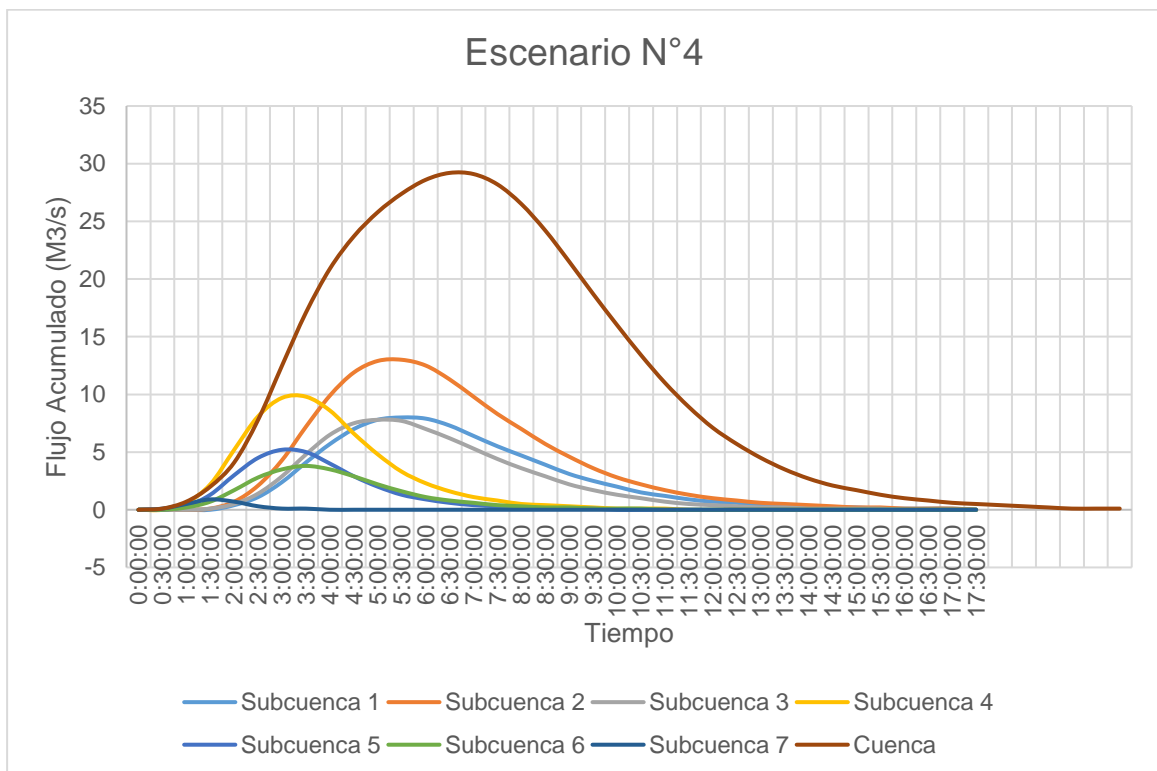


Figura 22. Hidrograma comparativo Subcuencas / Cuenca “Despeñaderos” para el Escenario N°4.

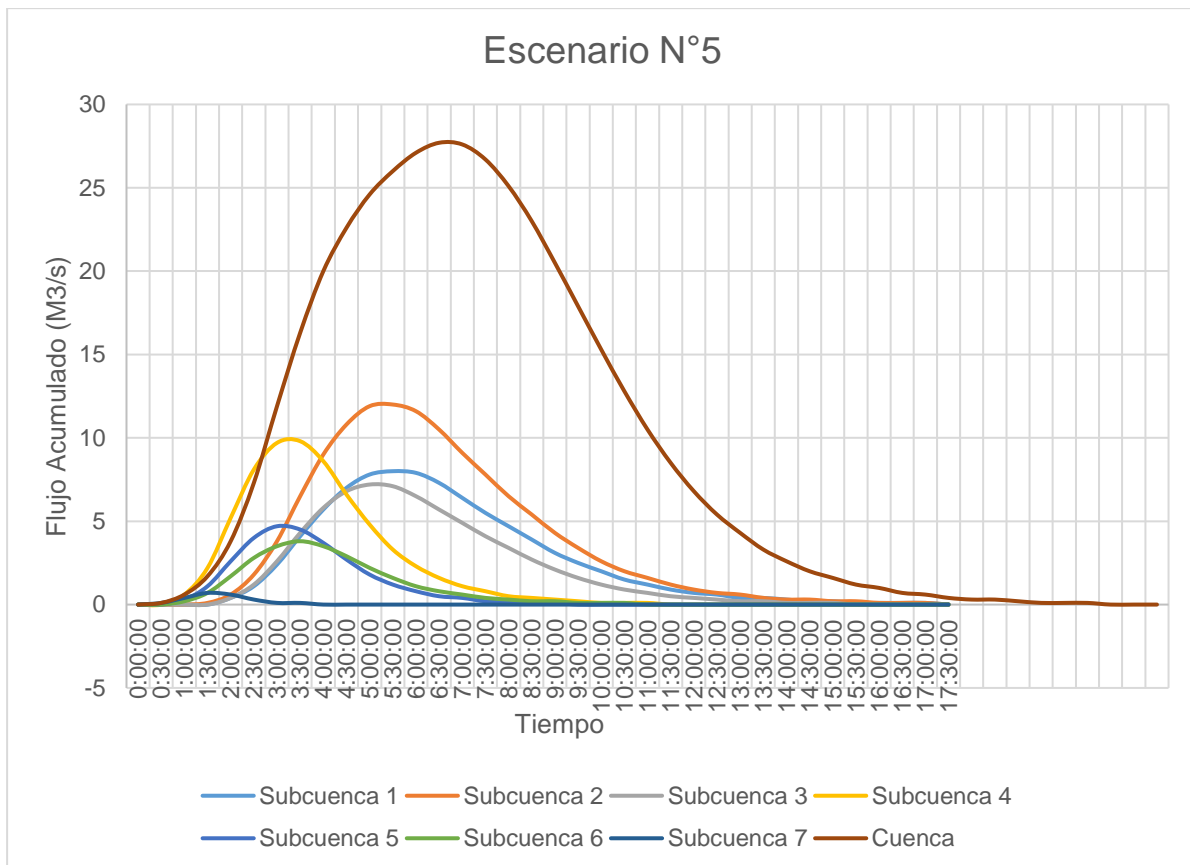


Figura 23. Hidrograma comparativo Subcuencas / Cuenca “Despeñaderos” para el Escenario N°5.

La respuesta de cada subcuencia a cada escenario de simulación fue diferente en función de sus características particulares, con excepción de las subcuencas 1 y 3. La naturaleza de cada subcuencia presenta una única combinación de cobertura de suelo, uso y pendiente; por lo tanto, un NC individual para cada escenario de simulación.

La subcuencia 1 presenta en la actualidad cerca de un 32% de su superficie sistematizada y un 65% más de área agrícola sin sistematización (Tabla 7). El hidrograma de respuesta de la subcuencia 1 se encuentra en la Fig. 24.

La subcuencia 2 presenta en la actualidad cerca de un 42% de su superficie sistematizada y un 50% más de área agrícola sin sistematización (Tabla 8). El hidrograma de respuesta de la subcuencia 2 se encuentra en la Fig. 25.

Tabla 7. Obtención del CN por escenario para la Subcuenca 1 (Superficie en hectáreas).

Subcuenca 1											
	Escenario N°1		Escenario N°2		Escenario N°3		Escenario N°4		Escenario N°5		
CN	Sup.	%	Sup.	%	Sup.	%	Sup.	%	Sup.	%	
48	2.4	0.16	15.2	0.97	15.2	0.97	15.2	0.97	15.2	0.97	
58	19.5	1.24	10.3	0.66	57.5	3.66	10.3	0.66	57.5	3.66	
60	0.0	0.00	0.0	0.00	0.0	0.00	0.0	0.00	0.0	0.00	
67	0.6	0.04	0.0	0.00	0.0	0.00	0.0	0.00	0.0	0.00	
70	0.0	0.00	499.5	31.8	499.5	31.8	1474.2	93.8	1427	90.8	
73	6.1	0.39	22.5	1.43	22.5	1.43	22.5	1.43	22.5	1.43	
75	1476.7	94.07	974.7	62.04	927.6	59.04	0.0	0.00	0.0	0.00	
80	64.5	4.11	48.7	3.10	48.7	3.10	48.7	3.10	48.7	3.10	
93	0	0.00	0.0	0.00	0.0	0.00	0.0	0.00	0.0	0.00	
96	0	0.00	0.0	0.00	0.0	0.00	0.0	0.00	0.0	0.00	
Total	1570	100	1570	100	1570	100	1570	100	1570	100	
	CN	75	CN	73	CN	73	CN	70	CN	70	

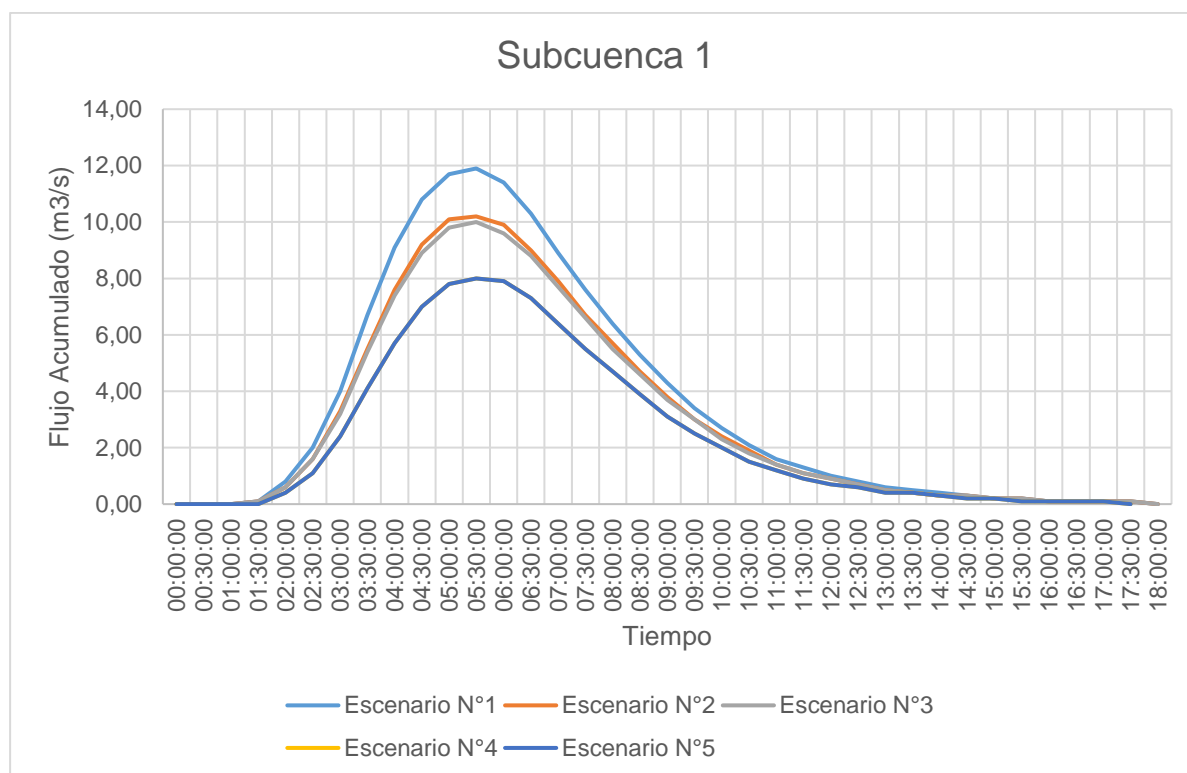


Figura 24. Hidrograma comparativo Subcuenca 1 para cada Escenario de simulación.

Tabla 8. Obtención del CN por escenario para la Subcuenca 2 (Superficie en hectáreas).

Subcuenca 2											
CN	Escenario N°1		Escenario N°2		Escenario N°3		Escenario N°4		Escenario N°5		
	Sup.	%	Sup.	%	Sup.	%	Sup.	%	Sup.	%	
48	45.0	1.96	21.3	0.93	21.3	0.93	21.3	0.93	21.3	0.93	
58	10.3	0.45	11.0	0.48	79.4	3.48	11.0	0.48	79.4	3.48	
60	0.0	0.00	0.0	0.00	0.0	0.00	0.0	0.00	0.0	0.00	
67	13.4	0.58	1.8	0.08	1.8	0.08	1.8	0.08	1.8	0.08	
70	0.0	0.00	958.9	42.00	958.9	42.00	1943.3	85.13	1874.9	82.13	
73	0.6	0.03	130.2	5.70	130.2	5.70	130.2	5.70	130.2	5.70	
75	1929.3	84.18	984.4	43.12	916.0	40.12	0.0	0.00	0.0	0.00	
80	289.6	12.64	171.6	7.52	171.6	7.52	171.6	7.52	171.6	7.52	
93	0.0	0.00	0.0	0.00	0.0	0.00	0.0	0.00	0.0	0.00	
96	3.7	0.16	3.7	0.16	3.7	0.16	3.7	0.16	3.7	0.16	
Total	2292	100	2292	100	2292	100	2292	100	2292	100	
	CN	75	CN	73	CN	72	CN	71	CN	70	

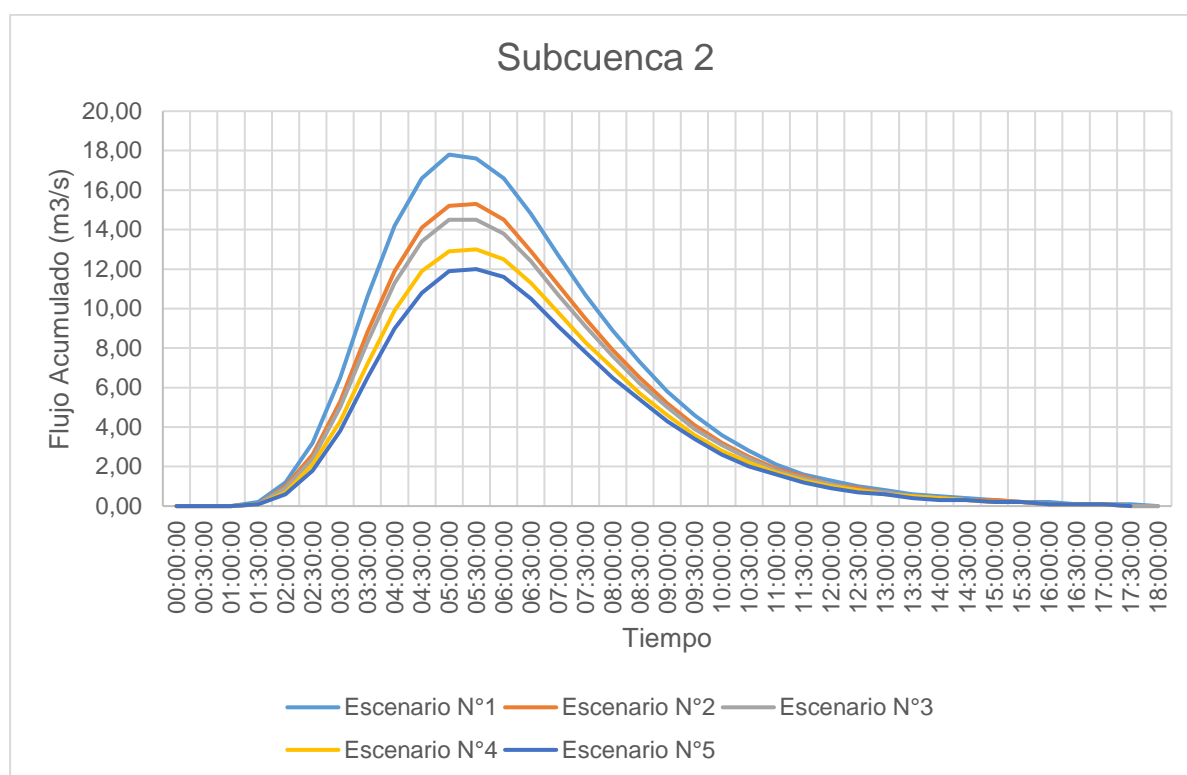


Figura 25. Hidrograma comparativo Subcuenca 2 para cada Escenario de simulación.

La subcuenca 3 presenta en la actualidad cerca de un 28% de su superficie sistematizada, un 69% más de área agrícola sin sistematización y cerca de un 2% .de

pasturas (Tabla 9). El hidrograma de respuesta de la subcuenca 3 se encuentra en la Fig. 26.

Tabla 9. Obtención del CN por escenario para la Subcuenca 3 (Superficie en hectáreas).

Subcuenca 3											
CN	Escenario N°1		Escenario N°2		Escenario N°3		Escenario N°4		Escenario N°5		
	Sup.	%	Sup.	%	Sup.	%	Sup.	%	Sup.	%	
48	0.00	0.00	31.03	2.02	31.03	2.02	31.03	2.02	31.03	2.02	
58	7.91	0.52	4.87	0.32	50.94	3.32	4.87	0.32	50.94	3.32	
60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
67	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
70	0.00	0.00	427.7	27.8	427.7	27.8	1483.4	96.59	1437.3	93.59	
73	0.00	0.00	6.69	0.44	6.69	0.44	6.69	0.44	6.69	0.44	
75	1512	98.5	1056	68.7	1010	65.7	0.00	0.00	0.00	0.00	
80	15.82	1.03	9.13	0.59	9.13	0.59	9.13	0.59	9.13	0.59	
93	0	0.00	0.61	0.04	0.61	0.04	0.61	0.04	0.61	0.04	
96	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Total	15356	100	15356	100	15356	100	15356	100	15356	100	
	CN 75		CN 73		CN 73		CN 70		CN 69		

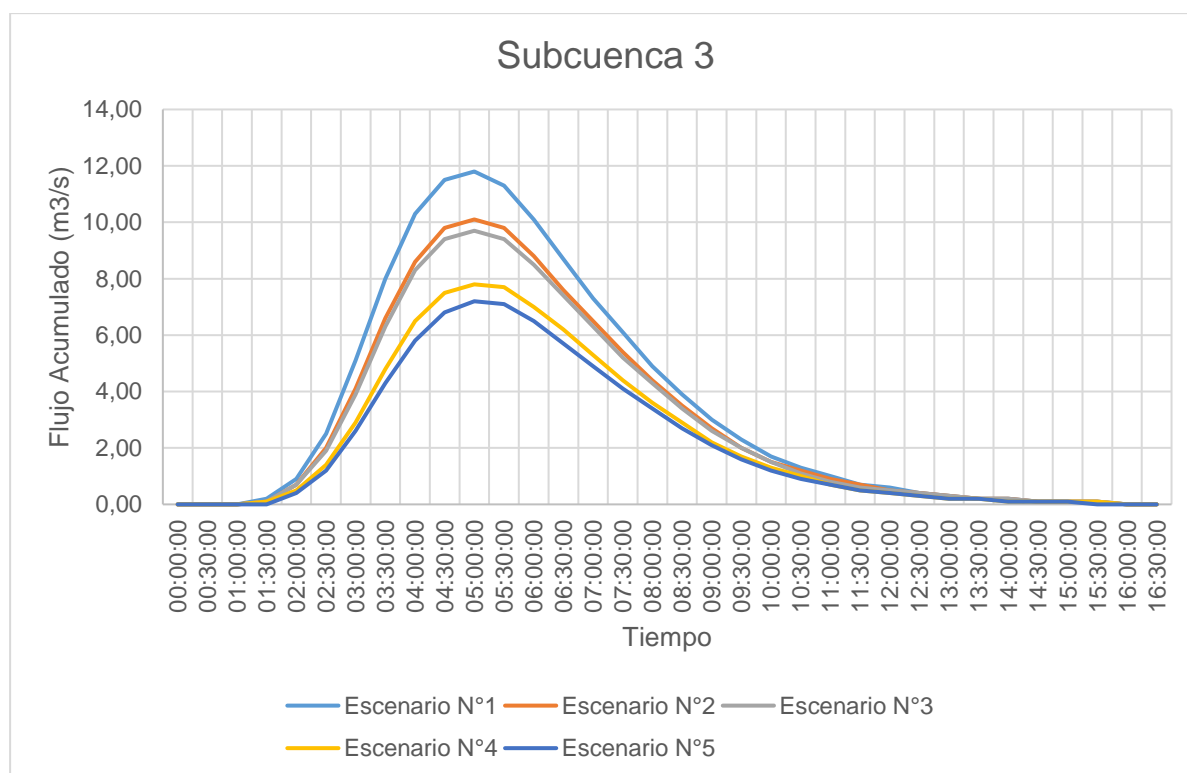


Figura 26. Hidrograma comparativo Subcuenca 3 para cada Escenario de simulación.

La subcuenca 4 presenta en la actualidad un 14% de su superficie sistematizada (Tabla 10). Es la subcuenca que presenta más proporción (17%) de superficie con más de 3% de pendiente que no posee sistematización de suelos. El hidrograma de respuesta de la subcuenca 4 se encuentra en la Fig. 27.

La subcuenca 5 presenta en la actualidad cerca de un 70% de su superficie agrícola (Tabla 11) y cerca del 8% de pasturas. El hidrograma de respuesta de la subcuenca 5 se encuentra en la Fig. 28.

La subcuenca 6 presenta en la actualidad cerca de un 55% de su superficie sistematizada y un 43% más de área agrícola sin sistematización (Tabla 12). El hidrograma de respuesta de la subcuenca 6 se encuentra en la Fig. 29.

La subcuenca 7 es la de menor superficie. Presenta en la actualidad cerca de un 10% de su superficie con pasturas y un 83% de área agrícola sin sistematización (Tabla 13). El hidrograma de respuesta de la subcuenca 7 se encuentra en la Fig. 30.

En la Fig. 31 encontramos valores de caudal pico (m^3/s) para cada subcuenca y para la cuenca "Despeñaderos" para los escenarios planteados. Se puede observar que los escenarios brindan una progresiva disminución de caudal pico para cada escenario de simulación, sin variación significativa para los escenarios N°3 y N°5, con un aporte diferencial de cada subcuenca de acuerdo a su naturaleza, con la particularidad de que las subcuencas 1 y 3 son similares y por lo tanto, tienen similar comportamiento.

Tabla 10. Obtención del CN por escenario para la Subcuenca 4 (Superficie en hectáreas).

Subcuenca 4											
CN	Escenario N°1		Escenario N°2		Escenario N°3		Escenario N°4		Escenario N°5		
	Sup.	%	Sup.	%	Sup.	%	Sup.	%	Sup.	%	
48	45	2.7	37	2.2	37	2.2	37	2.2	37	2.2	
58	10	0.6	8	0.5	57	3.5	8	0.5	57	3.5	
60	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	
67	75	4.5	26	1.5	26	1.5	26	1.5	26	1.5	
70	0	0.0	230	14	230	14	1241	75	1191	72	
73	9	0.5	62	3.8	62	3.8	62	3.8	62	3.8	
75	1231	74	1011	61	961	58	0	0.0	0	0.0	
80	284	17	279	17	279	17	279	17	279	17	
93	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	
96	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	
Total	1654	100	1653	100	1536	100	1653	100	1653	100	
	CN	75	CN	74	CN	74	CN	71	CN	71	

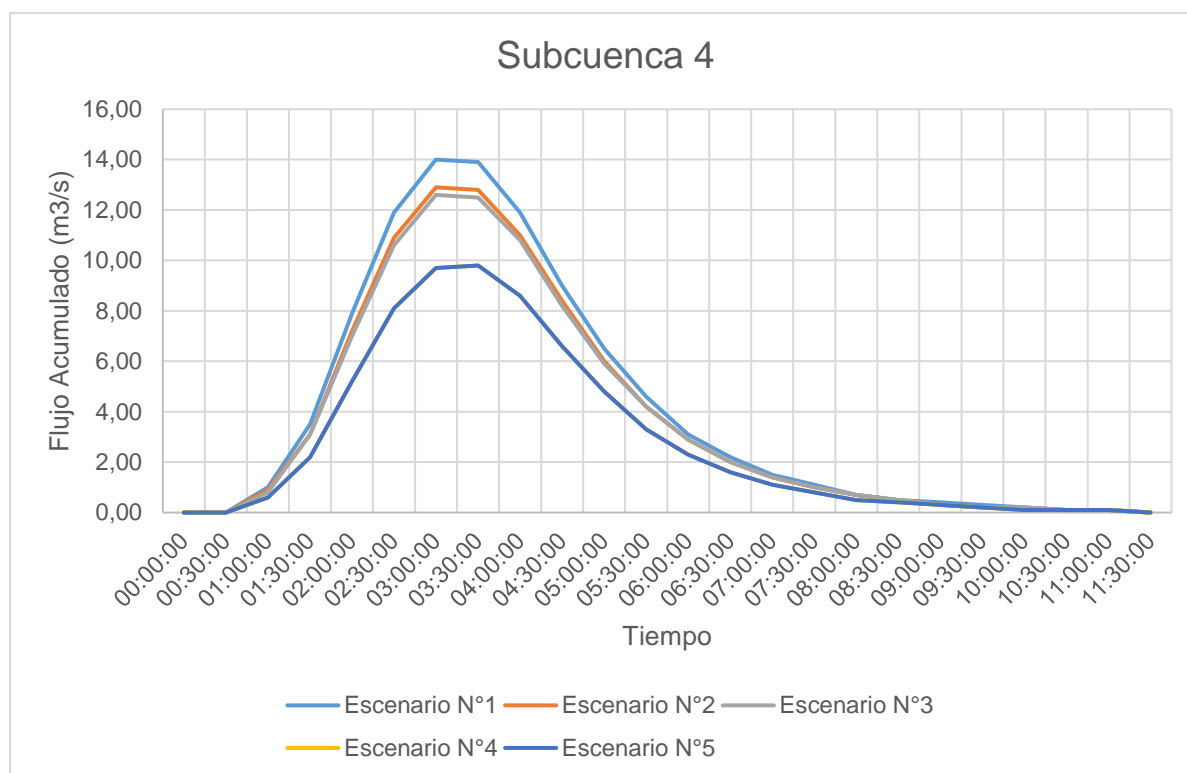


Figura 27. Hidrograma comparativo Subcuenca 4 para cada Escenario de simulación.

Tabla 11. Obtención del CN por escenario para la Subcuenca 5 (Superficie en hectáreas).

Subcuenca 5											
CN	Escenario N°1		Escenario N°2		Escenario N°3		Escenario N°4		Escenario N°5		
	Sup.	%	Sup.	%	Sup.	%	Sup.	%	Sup.	%	
48	72	6.5	91	8.2	91	8.2	91	8.2	91	8.2	
58	9	0.8	6	0.5	39	3.5	6	0.5	39	3.5	
60	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	
67	186	16.7	166	15.0	166	15.0	166	15.0	166	15.0	
70	0	0.0	37	3.3	37	3.3	721	65.0	688	62.0	
73	12	1.1	24	2.1	24	2.1	24	2.1	24	2.1	
75	744	66.9	684	61.7	651	58.7	0	0.0	0	0.0	
80	85	7.7	92	8.3	92	8.3	92	8.3	92	8.3	
93	4	0.3	9	0.8	9	0.8	9	0.8	9	0.8	
96	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	
Total	1112	100.0	1109	100.0	1109	100.0	1109	100.0	1109	100.0	
	CN	72	CN	72	CN	71	CN	69	CN	68	

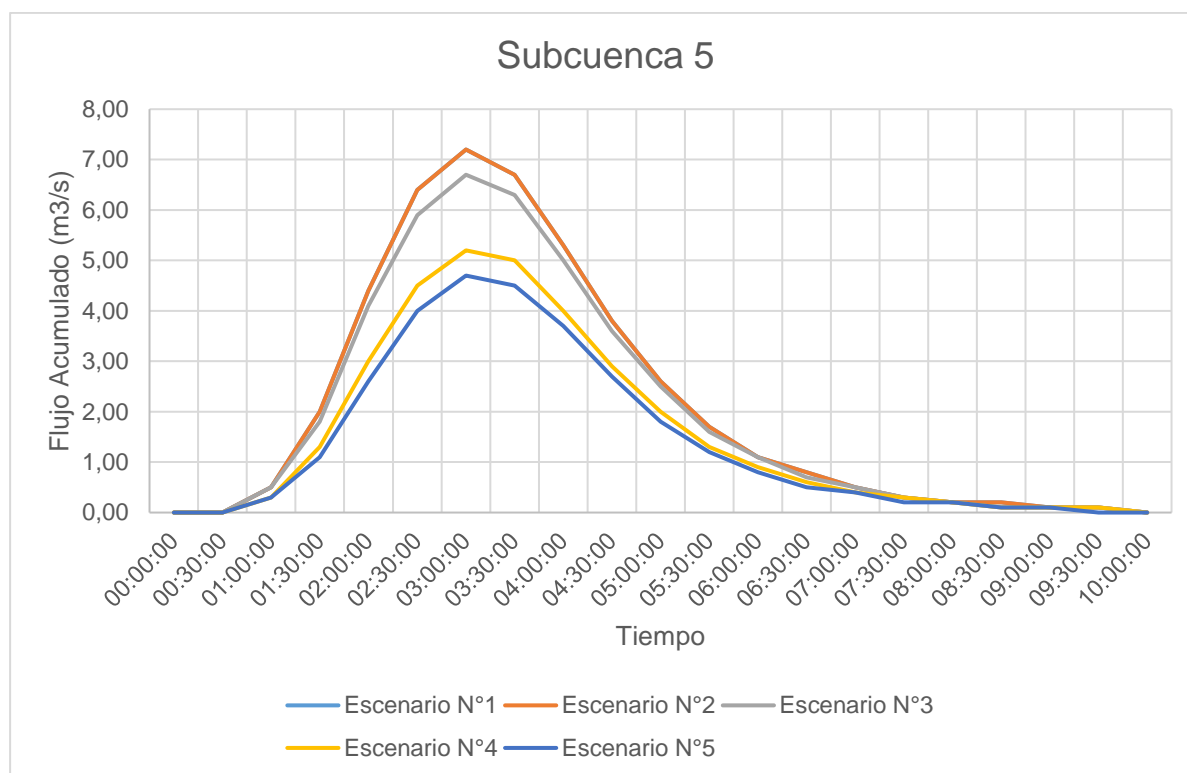


Figura 28. Hidrograma comparativo Subcuenca 5 para cada Escenario de simulación.

Tabla 12. Obtención del CN por escenario para la Subcuenca 6 (Superficie en hectáreas).

	Subcuenca 6									
	Escenario N°1		Escenario N°2		Escenario N°3		Escenario N°4		Escenario N°5	
CN	Sup.	%	Sup.	%	Sup.	%	Sup.	%	Sup.	%
48	1	0.17	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00
58	9	1.22	10	1.48	31	4.48	10	1.48	31	4.48
60	0	0.00		0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00
67	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00
70	0	0.00	381	55	381	55	683	98	662	95
73	1	0.09	1	0.09	1	0.09	1	0.09	1	0.09
75	685	98	301	43	280	40	0	0.00	0	0.00
80	4	0.61	4	0.61	4	0.61	4	0.61	4	0.61
93	0	0.00	1	0.17	1	0.17	1	0.17	1	0.17
96	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00
Total	700	100	700	100	700	100	700	100	700	100
	CN	75	CN	72	CN	72	CN	70	CN	70

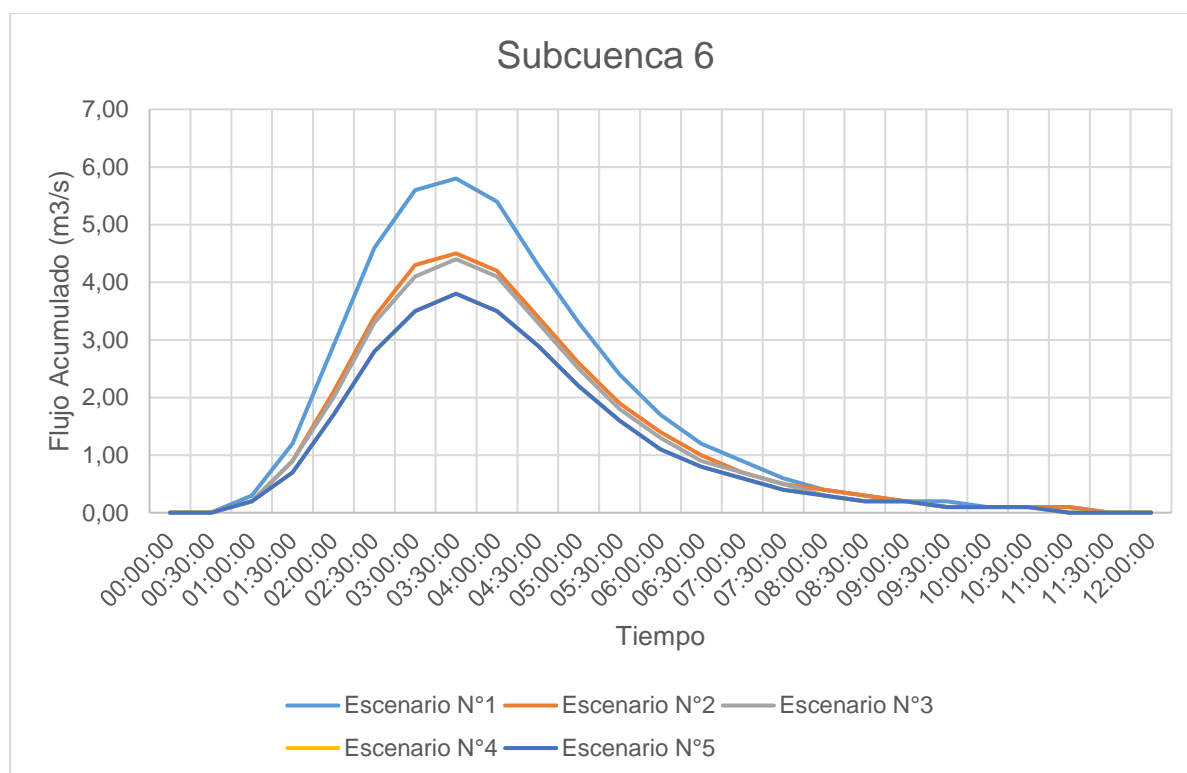


Figura 29. Hidrograma comparativo Subcuenca 6 para cada Escenario de simulación.

Tabla 13. Obtención del CN por escenario para la Subcuenca 7 (Superficie en hectáreas).

Subcuenca 7										
CN	Escenario N°1		Escenario N°2		Escenario N°3		Escenario N°4		Escenario N°5	
	Sup.	%	Sup.	%	Sup.	%	Sup.	%	Sup.	%
48	7.9	2.08	38.3	10.08	38.3	10.08	38.3	10.08	38.3	10.08
58	7.9	2.08	4.9	1.28	16.3	4.28	4.9	1.28	16.3	4.28
60	0.0	0.00	0.0	0.00	0.0	0.00	0.0	0.00	0.0	0.00
67	7.9	2.08	15.8	4.16	15.8	4.16	15.8	4.16	15.8	4.16
70	0.0	0.00	0.0	0.00	0.0	0.00	314.0	82.56	302.5	79.56
73	5.5	1.44	4.9	1.28	4.9	1.28	4.9	1.28	4.9	1.28
75	340.1	89.44	314.0	82.56	302.5	79.56	0.0	0.00	0.0	0.00
80	7.9	2.08	1.2	0.32	1.2	0.32	1.2	0.32	1.2	0.32
93	2.4	0.64	1.2	0.32	1.2	0.32	1.2	0.32	1.2	0.32
96	0.6	0.16	0.0	0.00	0.0	0.00	0.0	0.00	0.0	0.00
Total	380	100	380	100	380	100	380	100	380	100
	CN	74	CN	72	CN	71	CN	68	CN	67

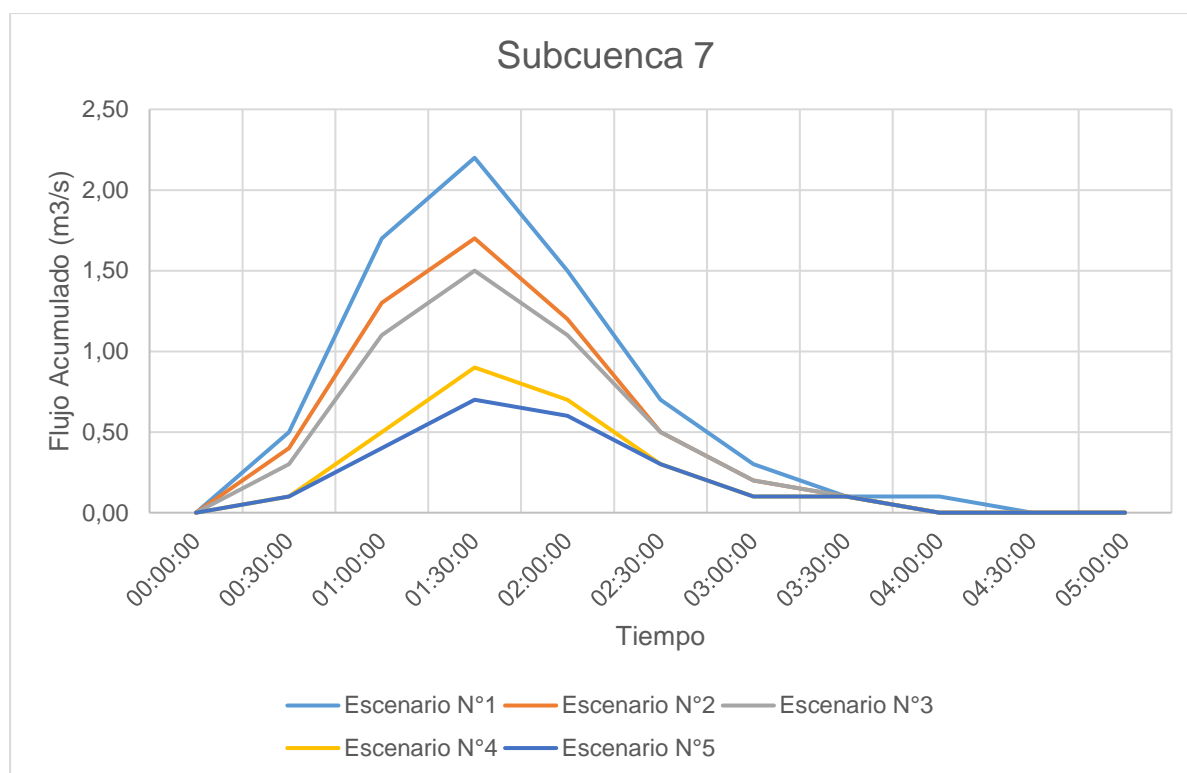


Figura 30. Hidrograma comparativo Subcuenca 7 para cada Escenario de simulación.

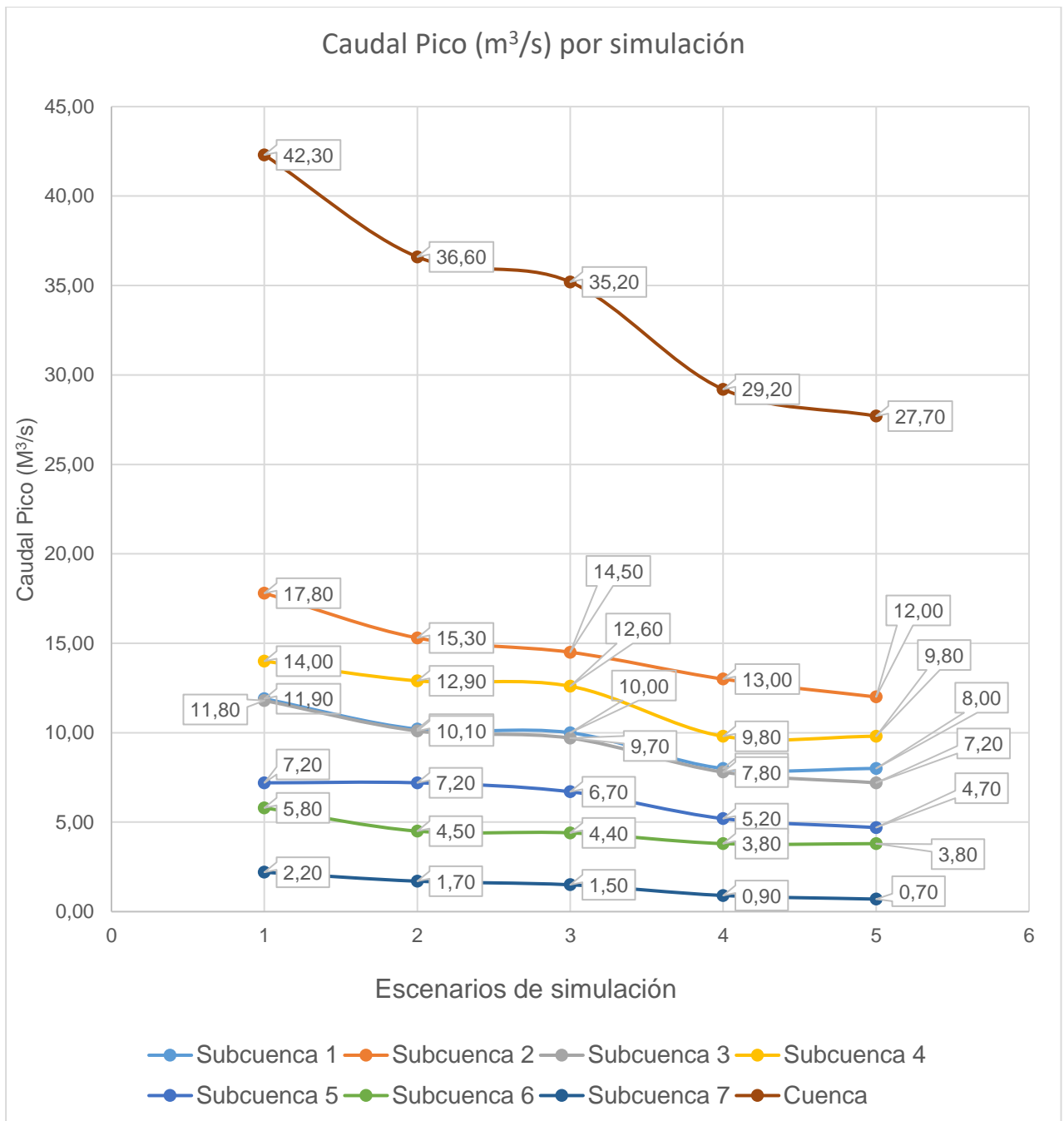


Figura 31. Comportamiento del Caudal Pico (m³/s) para cada Subcuenca en cada escenario de simulación y para la Cuenca completa.

7. CONCLUSIONES

La recopilación, clasificación y análisis de la información disponible culminó con la caracterización biofísica de la cuenca Despeñaderos permitiendo de este modo obtener los parámetros requeridos por los modelos de simulación utilizados.

A partir de una metodología simple y novedosa se obtuvieron los valores de NC para distintas situaciones de uso y manejo de suelo como insumos para la modelación hidrológica.

La naturaleza de cada subcuenca presentó una única combinación de cobertura de suelo, uso y pendiente; por lo tanto la respuesta de cada subcuenca a cada escenario de simulación fue diferente.

La modelización hidrológica permitió establecer las prácticas de manejo de suelo que causarían mayor impacto en la disminución de los caudales pico en la cuenca de estudio.

El análisis de diferentes escenarios posibles mediante la modelización hidrológica permitió categorizar prácticas de manejo de suelo según su impacto sobre la erosión hídrica en la cuenca estudiada.

Tanto la forestación como la sistematización en áreas agrícolas con pendiente menor al 3% redujeron los caudales pico de salida de la cuenca.

La sistematización del 97% y la forestación del 3% del total del área agrícola que presentaba hasta 3% de pendiente resultó ser la práctica que más contribuyó a la reducción del caudal pico.

La respuesta hidrológica de la aplicación del Plan Agroforestal en la cuenca "Despeñaderos" resultó de poca significancia.

8. BIBLIOGRAFÍA

- Agencia Córdoba Ambiente e INTA (2006). *Recursos Naturales de la Provincia de Córdoba. Los Suelos. Nivel de reconocimiento 1:500.000*. Córdoba.
- Agencia Córdoba D.A.C.yT. (2003). *Regiones Naturales de la Provincia de Córdoba. Serie C. Publicaciones Técnicas 3*.
- Aoki A., Apezteguía H. y Sereno, R. 1996. Determinación de la infiltración con simulador de lluvia en suelos con diferentes manejos en la región central de la provincia de Córdoba, Argentina. XIII° Congreso Latinoamericano de Ciência do Solo. Aguas de Lindóia, SP - Brasil. 1996.
- Aoki A. y Sereno R. 1999. Caracterización de la Conductividad Hidráulica de un Suelo Haplustol típico bajo condición de Monte Natural y de Monocultivo de soja usando Infiltrómetro de Tensión. Resumen en Actas del XIV Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo, pág. 616. 1999.
- Apezteguia, H. P.; Amaya, H.; Crusta L. (1987). Medición de pérdidas de suelo y disminución de los rendimientos de soja debidos a la erosión hídrica en la región semiárida central de Córdoba - Manejo de Suelos - Departamento de Recursos Naturales - Facultad de Ciencias Agropecuarias - UNC - CC 509 (5000). Córdoba.
- Army Corps of Engineers (2000). HEC User's Manual. En H. E. Center, *HEC-GeoHMS Geospatial Hydrologic Modeling Extension*. Estados Unidos.
- Beasley R.P., Gregory J.M. and Mccarty T.R. 1984. Erosion and sediment pollution control. Iowa State University Press. EEUU.
- Bennett, H. H. 1950. Manual de Conservación de Suelos. Servicio de Conservación de Suelos. Secretaría de Agricultura. Estados Unidos.
- Bolsa de Cereales de Córdoba. (2020). *Informe Técnico*. Córdoba.
- Bolsa de Comercio de Rosario (2016). *Anuario Estadístico*. Responsable de la edición: Cont. Rogelio T. Pontón Director de la publicación.
- Capitanelli R. G. (1979). Clima. En M. R. Vázquez J. B., *Geografía física de la provincia de Córdoba*. (p. 45-138). Editorial Boldt.
- Casas R. (2015). La erosión del suelo en Argentina. En R. C. Albarracín, *Degradación de Tierras en la República Argentina* (págs. Tomo II 433- 452). FECIC.
- Davies J. (2017). *The business case for soil*. Nature. N° 543: 309 – 311.
- Dourojeanni A. (1994). Revista de la CEPAL. Santiago de Chile: CEPAL.
- Esmoriz G., Ruiz Posse E., Croce A., Luque R. y Bertoni J. 2000. Comportamiento hidrológico de dos cuencas agrícolas en la Región Central de Córdoba. 11th International Soil Conservation Organization Conference. ISCO 2000, Buenos Aires, Argentina.

- Esmoriz G. E., Luque R. L., Ruiz Posse E. J., Croce A. J. y Ateca M. R. 2002. Comportamiento hidrológico de dos cuencas agrícolas bajo formas de manejo contrastantes en la región central de Córdoba, Argentina. XII Congreso Brasileiro de Agrometeorología. Fortaleza, Brasil.
- Evans, T. (1971). *Hydrological Report. Part I y II*. UNDP-FAO-INTA Arg/26. Paraná.
- FAO (1967). *El estado mundial de la agricultura y la alimentación*. Roma.
- FAO (2015). *Carta Mundial de los Suelos*. Roma.
- FAO (2020). *Recarbonización de los Suelos*. Roma.
- Ferrér, M. et al. (2003). *Generación automática del número de curva con Sistemas de Información Geográfica*. Ingeniería del Agua. Universidad Politécnica de Valencia y Centro de Estudios Hidrográficos (CEDEX), Vol. N°2 - N°4 p.43-58.
- Gaitán, J., Navarro, M.F., Tenti Vuegen, L., Pizarro, M.J., Carfagno, P. y Rigo, S. (2017). *Estimación de la Pérdida De Suelo Por Erosión Hídrica En La República Argentina*. Buenos Aires: Instituto de Suelos – Centro de Investigación de Recursos Naturales (CIRN).
- Gaspari et al. (2009). *Manual de Manejo Integral de Cuencas Hidrográficas*. La Plata: ISBN 978-987-05-6165-1.
- Gaviño. (2010). La ecohidrología como desafío: experiencias y estudios de caso. En *Documento Técnico N° 23* (págs. ISBN 978-92-9089-148-2). Programa Hidrológico Internacional (PHI) de la Oficina Regional de Ciencia para América Latina y el Caribe de la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO).
- Instituto Geográfico Nacional (I.G.N) Cartas Topográficas 1:50.000 Despeñaderos, Cosme, San Agustín y Monte Ralo.
- Instituto Nacional del Agua (INA) Subgerencia Centro de la Región Semiárida (CIRSA). UNC-FCEfYn. *Precipitaciones Máximas Diarias para Diseño Hidrológico*. Obtenido de Mapas Córdoba: www.mapascordoba.gob.ar
- INTA y Secretaría de Ambiente. (2008). *Carta de Suelos de la República Argentina - Hoja Rio Tercero*. Córdoba.
- IPCC (2019). *Climate Change and Land: An IPCC Special Report on climate change, desertification, land degradation sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems*. Summary for Policymakers.
- LEY 10.467 (2017). *Plan Provincial Agroforestal*. Boletín Oficial de la Provincia de Córdoba.
- LEY 8.863 (2000). *Creación de los Consorcios de Conservación de Suelos* . Boletín Oficial de la Provincia de Córdoba .

- Luque, R. L. 2008. Número de Curva aplicado a una cuenca agrícola de la región central de Córdoba, Argentina. Tesis de Maestría. FCA-UNC y Fac. de Agr. y Vet-UNRC.
- Luti, R. (1979). *Vegetación*. En J. M. Vázquez, *Geografía Física de la Provincia de Córdoba*.
- MapBiomias Chaco (2019). Obtenido de MapBiomias Chaco: <http://chaco.mapbiomas.org>
- Prieto Villarroya et al. (2013). *Estimación del parámetro hidrológico del Número de Curva NC: Automatización del cálculo mediante S.I.G. y nuevas fuentes de información cartográfica. Caso del área urbana de Pozo Hondo*. Investigaciones en Facultades de Ingeniería del NOA, ISSN N° 1853-7871.
- Prosa (1988). *El deterioro del ambiente en la Argentina*. FECIC. Editorial Orientación Grafica Editora. ISBN: 9789509149274.
- Soil Conservation Service (SCS). (1972). *National Engineering Handbook*, Section 4. Hydrology.
- Vásquez V. A., Mejía M.A., Faustino M.J., Terán A.R., Vásquez R.I., Díaz R.J., Vásquez R.C., Castro A.A., Tapia M. y Alcántara R.J. (2016). *Manejo y Gestión de Cuencas Hidrográficas*. Lima.
- Viglizzo, E. y Jobbágy, E. G. (2010). *Expansión de la frontera agropecuaria en Argentina y su impacto ecológico ambiental*. Buenos Aires.
- Williams, G. (1922). *Flood discharges and the dimensions of spillways in India*. London: Engineering.
- Yamazaki D., Ikeshima, J. Sosa, P.D., Bates, G.H. y Allen, T.M. (2019). *Pavelsky MERIT Hydro: A high-resolution global hydrography map based on latest topography datasets Water Resources Research*. Vol.55, pp.5053-5073, doi: 10.1029/2019WR024873.
- Zaccagnini, M.E., Wilson, M.G. y Oszust, J.D. (2014). *Manual de buenas prácticas para la Conservación del Suelo, la Diversidad y sus Servicios Ecosistémicos*. Buenos Aires: PNUD; Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación; INTA.
- Zalewski, M., Janauer, G.A. y Jolankai, G. (1997). *Ecohydrology: A new paradigm for the sustainable use of aquatic resources*. En *Technical Document in Hydrology 7*. Paris: International Hydrological Programme UNESCO.