



FACULTAD DE AGRONOMÍA
Y VETERINARIA

UNIVERSIDAD NACIONAL
DE RÍO CUARTO



**SISTEMA DE INFORMACIÓN
GEOGRÁFICA Y MODELO DE
SIMULACIÓN HIDROLÓGICA APLICADO
A LA CUENCA ARROYO CHAJÁN
(CÓRDOBA).**

Corigliano, José Alberto

**Río Cuarto - Córdoba
Noviembre 2015**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE RÍO CUARTO
FACULTAD DE AGRONOMÍA Y VETERINARIA**

Proyecto de Trabajo Final presentado para optar al Grado de Ingeniero Agrónomo

**SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA Y MODELO DE
SIMULACIÓN HIDROLÓGICA APLICADO A LA CUENCA ARROYO
CHAJÁN (CÓRDOBA).**

**Corigliano José Alberto
32861667**

**Director: Dr. Cisneros José Manuel
Co-Director: Lic. Msc. Gonzalez Jorge Gustavo**

**Río Cuarto - Córdoba
Noviembre 2015**

CERTIFICADO DE APROBACIÓN

SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA Y MODELO DE SIMULACIÓN HIDROLÓGICA APLICADO A LA CUENCA ARROYO CHAJAN (CÓRDOBA).

ALUMNO: CORIGLIANO JOSE

D.N.I. 32.861.667

DIRECTOR: Dr. Cisneros José Manuel

CODIRECTOR: Lic. Msc. Gonzalez Jorge Gustavo

Aprobado y corregido de acuerdo con las sugerencias de la Comisión Evaluadora:

Fecha de Presentación: ____/____/____.

Aprobado por Secretaría Académica: ____/____/____.

Índice

RESUMEN	7
INTRODUCCIÓN	9
ANTECEDENTES	11
i. Antecedentes generales sobre relevamientos territoriales	11
ii. Antecedentes y conceptos básicos sobre los Sistemas de Información Geográfica (SIG) ...	12
iii. Antecedentes de modelos hidrológicos	13
iv. Antecedentes regionales y locales de ordenamiento de cuencas	14
OBJETIVOS	16
– Objetivo General	16
– Objetivos Específicos	16
MATERIALES Y MÉTODOS	17
i. Características generales del área de estudio:	17
ii. Suelos:	17
iii. Características Hidrológicas:	19
iii.a. Análisis visual de imágenes satelitales:.....	19
iii.b. Recopilación de información hidrometeorológica:	20
iii.c. Relevamiento de uso y manejo actual:	20
iii.d. Toma de muestras de agua:	20
iii.e. Caminos Públicos:.....	21
iv. Elaboración del Sistema de Información Geográfica:	21
iv.a. Límites de Cuenca y Subcuencas:	21
iv.b. Superficie de la cuenca y subcuencas:	22
iv.c. Superficie ocupada por cada una de las unidades de suelos:.....	22
iv.d. Pendiente de la cuenca y subcuencas:	22
iv.e. Red de Drenaje, su Longitud y Orden:	22
v. Desarrollo del modelo hidrológico y estimación del escurrimiento máximo:	23
vi. Escenarios evaluados en las simulaciones hidrológicas:	25

RESULTADOS.....	26
i. Elaboración del Sistema de Información Geográfico:	26
i.a. Límites de Cuenca y subcuencas:.....	26
i.b. Superficie de la cuenca y subcuencas:	26
i.c. Asignación del Grupo Hidrológico y superficie ocupada por las unidades de suelos:	28
i.c.1. Asignación del Grupo Hidrológico:	28
i.c.2. Superficie ocupada por las unidades de suelos:	28
i.d. Características Hidrológicas.....	29
i.d.1. Información hidrometeorológica:.....	29
i.d.2. Lluvias de diseño:	31
i.d.3. Calidad del agua Superficial:	32
i.e. Relevamiento de uso y manejo actual:	34
i.f. Caminos Públicos:	34
i.g. Pendientes:	35
i.h. Red de Drenaje, su Longitud y Orden:.....	35
ii. Desarrollo del modelo hidrológico para HEC.....	38
ii.a. Estimación de parámetros hidrológicos del modelo: Curva Número (CN) y Tiempo de Concentración (Tc).....	38
ii.b. Estructura del modelo:	39
ii.c. Caudales para los distintos escenarios:.....	43
ii.c.1. Escenario 1. Condición actual	43
ii.c.2. Escenario 2. Condición de Degradación.	46
ii.c.3. Escenario 3. Condición de Conservación.	50
iii. Síntesis de resultados.....	53
BIBLIOGRAFÍA.....	56
ANEXO	60

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 1: Clasificación de aguas para bebidas de bovinos según su salinidad.....	21
Tabla N° 2: Superficie de las unidades de suelos dentro de la cuenca.....	29
Tabla N° 3: Datos relevados en las giras realizadas el 15/05/2013 y el 22/11/2013.....	32
Tabla N° 4: Valores de CN utilizados en la cuenca.....	38
Tabla N° 5: Resultados obtenidos para el Escenario 1. Condición Actual.....	43
Tabla N° 6: Resultados obtenidos para el Escenario 2. Condición de Degradación.....	46
Tabla N° 7: Resultados obtenidos para el Escenario 3. Condición de Conservación.....	50

Índice de Figuras

Figura N° 1: Ubicación de la Cuenca	17
Figura N° 2: Esquema de combinaciones de simulaciones	25
Figura N° 3: Cuenca y subcuencas	27
Figura N° 4: Superficie ocupada por cada unidad de suelos	29
Figura N° 5: Distribución mensual de precipitaciones	30
Figura N° 6: Hietograma de la lluvia de diseño con una recurrencia cercana a los 25 años	31
Figura N° 7: Hietograma de la lluvia de diseño validada para la cuenca El Gato	31
Figura N° 8: Sitios de toma de muestras de agua en la cuenca	33
Figura N° 9: Caminos públicos georeferenciados	35
Figura N° 10: Red de drenaje de la cuenca categorizada por orden	36
Figura N° 11: Red de drenaje de la cuenca	37
Figura N° 12: Gráfica descriptiva del funcionamiento del modelo de 56 subcuencas (mitad superior)	40
Figura N° 13: Gráfica descriptiva del funcionamiento del modelo de 56 subcuencas (mitad inferior)	41
Figura N° 14: Gráfica descriptiva del funcionamiento del modelo de 6 subcuencas	42
Figura N° 15: Hidrograma para la simulación “A56SC87”. La línea roja indica el pico de caudal y el tiempo al pico debajo de la misma	44
Figura N° 16: Hidrograma para la simulación “A6SC87”. La línea roja indica el pico de caudal y el tiempo al pico debajo de la misma	44
Figura N° 17: Hidrograma para la simulación “A56SC85,7”. La línea roja indica el pico de caudal y el tiempo al pico debajo de la misma	45
Figura N° 18: Hidrograma para la simulación “A6SC85,7”. La línea roja indica el pico de caudal y el tiempo al pico debajo de la misma	46
Figura N° 19: Hidrograma para la simulación “D56SC87”. La línea roja indica el pico de caudal y el tiempo al pico debajo de la misma	47
Figura N° 20: Hidrograma para la simulación “A6SC87”. La línea roja indica el pico de caudal y el tiempo al pico debajo de la misma	48
Figura N° 21: Hidrograma para la simulación “D56SC85,7”. La línea roja indica el pico de caudal y el tiempo al pico debajo de la misma	49
Figura N° 22: Hidrograma para la simulación “D6SC85,7”. La línea roja indica el pico de caudal y el tiempo al pico debajo de la misma	49

Figura N° 23: Hidrograma para la simulación “C56SC87”. La línea roja indica el pico de caudal y el tiempo al pico debajo de la misma.....51

Figura N° 24: Hidrograma para la simulación “C6SC87”. La línea roja indica el pico de caudal y el tiempo al pico debajo de la misma.....51

Figura N° 25: Hidrograma para la simulación “C56SC85,7”. La línea roja indica el pico de caudal y el tiempo al pico debajo de la misma.....52

Figura N° 26: Hidrograma para la simulación “C6SC85,7”. La línea roja indica el pico de caudal y el tiempo al pico debajo de la misma.....53

RESUMEN

Los objetivos de la tesis fueron realizar un sistema de información geográfico (SIG) de la cuenca arroyo Chaján (Departamento Río Cuarto, Córdoba), y desarrollar un modelo de simulación hidrológico, mediante el método de Curva Número, para diferentes escenarios de uso del suelo.

La metodología incluyó una etapa de fotointerpretación y fotoidentificación sobre imágenes satelitales, controles de campo sobre puntos críticos y evaluación del uso y manejo de los suelos, integrando la información en el software QGIS. El modelo hidrológico se desarrolló en base a la información incluida en el SIG, y la utilización del software HEC-HMS, determinándose los valores de caudal pico (Q_p) y escurrimientos para un escenario actual, un escenario de conservación y un escenario degradado, en los que se consideraron valores de CN iguales a 52, 74 y 48, respectivamente y en todos los casos se utilizaron dos lluvias, una de 87 mm en 6 hs, con el pico de intensidad en el segundo sextil, y la segunda de 85,7 mm en 14 hs 30' de duración. La superficie estimada de la cuenca fue de 19868 has. Se realizaron dos modelos de cuenca, el modelo **56SC** con un total de 56 subcuencas, y el modelo **6SC** con 6 subcuencas totales. El uso de la tierra en la cuenca fue predominantemente agrícola en un 44% de la superficie, agrícola ganadero en un 22% y ganadero en un 34% de la misma. Las aguas superficiales del área en estudio fueron de salinidad variable entre 0,24 y 4,83 gr/lit, con mayores salinidades en la parte baja de la cuenca. Para el modelo **56SC**, con una precipitación de 87 mm, los Q_p fueron 22 m³/s, 37 m³/s y 194,5 m³/s, para cada una de los tres escenarios, conservacionista, actual y degradada, respectivamente. Para el modelo **6SC** y la misma precipitación los Q_p fueron 12,8 m³/s, 23m³/s y 114,9 m³/s, respectivamente. Para el modelo **6SC** y la misma precipitación, los caudales fueron 63,4 % menores que para el modelo **56SC**. Los resultados de Q_p para la precipitación de 85,7 mm se ven disminuidos en un 18,6 % en promedio, respecto de los Q_p simulados con la lluvia de 87 mm. El uso combinado de SIG y el modelo hidrológico brinda la posibilidad de analizar la influencia de distintos valores de las variables intervinientes y evaluar el impacto sobre escenarios posibles, generando así resultados que indican el funcionamiento de la cuenca ante diferentes situaciones de manejo, intensidades y distribuciones de precipitaciones. Estas herramientas contribuyen a establecer bases para la realización de propuestas de ordenamiento territorial de la cuenca.

Palabras Clave: cuenca Arroyo Chaján, modelos de simulación hidrológica, SIG.

SUMMARY

The aim of this study were: the completion of a geographic information system (GIS) of the stream basin Chaján (Río Cuarto Department, Córdoba), and develop a hydrological model simulation, using the curve number method, for different scenarios land use.

The methodology included a photo-identification stage fotointrepretación and on satellite imagery, field checks on critical points and evaluation of the use and management of soil, integrating information in QGis software. The hydrological model was developed based on the information in the GIS and the use of HEC-HMS, software determining the values of peak discharge (Q_p) and runoff for a current stage, a stage of conservation and a degraded stage. The estimated watershed area was 19868 has; Two models were made, the 56SC model with a total of 56 sub-basins, and 6SC 6 Total sub model. The land use in the basin was predominantly agricultural 44% of the surface, agricultural livestock by 22% and livestock by 34% of it. The waters of the basin were of variable salinity between 0.24 and 4.83 g / l, with higher salinity in the lower part of the basin. Rainfall of 87 mm in 6 hours, with the peak in the second sextile, and 85.7 mm in 14 hours 30'-long were used. Three different scenarios, for which values CN = 48 for the conservation status, CN = 52 for the current situation and CN = 74 for the degraded condition used were raised. For 56SC model, with a rainfall of 87 mm, the Q_p were 22 m³ / s, 37 m³ / s and 194.5 m³ / s, for each of the scenarios: conservation, current and degraded respectively. 6SC for the same model and the Q_p precipitation was 12.8 m³ / s, 23m³ / s and 114.9 m³ / s respectively. 6SC model for flow rates were 63.4% lower than for the 56SC model. Q_p results for precipitation of 85.7 mm are diminished by 18.6% on average. The use of the model offered the possibility to analyze different values for each intervening variable in the model and assess the impact of possible scenarios, generating results that indicate the operation of the basin to different driving situations, and distributions of rainfall intensities. These models help to establish a basis for making proposals for land use in the watershed.

Keywords: Arroyo Chaján basin, hydrologic simulation models, GIS.

INTRODUCCIÓN

El desarrollo global de la agricultura a través de los últimos 50 años ha sido rápido y ha habido un alejamiento progresivo de los sistemas tradicionales, ambientalmente benignos y de bajos insumos y baja producción, tales como los sistemas pastoriles y orgánicos, hacia sistemas modernos o de “revolución verde”, también llamados de “agricultura industrial” (Maxwell et al., 1995).

El desarrollo económico y social de la región está directamente relacionado con la disponibilidad de sus recursos naturales, su aprovechamiento y uso sustentable a perpetuidad. Además, toda visión de desarrollo integrado y sostenible a través del tiempo requiere que tales recursos, y especialmente las tierras, mantengan su capacidad productiva, en un marco de estabilidad ambiental y social. Es por ello que, técnicas ligadas a la conservación del suelo y del agua adquieren singular importancia (Cisneros et al., 2012b).

La estabilidad física de una región y el mejoramiento de las capacidades productivas (o de explotación) de sus recursos naturales, constituyen condiciones básicas imprescindibles para la implementación y mantenimiento de procesos de desarrollo integral de las comunidades integrantes de esos territorios. Sin ello, la sustentabilidad del crecimiento económico, el desarrollo regional y el mejoramiento de la calidad de vidas de las personas, se ven seriamente comprometidos en su realización (Cantero et al., 1998).

Los recursos naturales y el hombre forman parte de un gran sistema complejo, tanto en lo estructural como en lo funcional. Por tal motivo, existe la necesidad de crear herramientas conceptuales y metodológicas que permitan describir y analizar las respuestas del ambiente a la intervención del hombre (De Rosnay., 1974).

El ordenamiento territorial, entendido como la acción y efecto de colocar las cosas en el lugar adecuado, aparece como el instrumento de planificación apto para lograr los múltiples objetivos involucrados en el desarrollo sustentable, considerando sus dimensiones productivas, económicas y sociales. El ordenamiento hidrológico de las cuencas constituye uno de esos objetivos, con atención a objetivos de corto, mediano y largo plazo que básicamente consisten en minimizar la erosión, controlar procesos de inundación, de contaminación, o recuperar productividad y funciones de los ecosistemas, entre otros (Cisneros., et al 2010).

Respecto a la actitud de los productores sobre la erosión hídrica y la necesidad de adoptar técnicas de control, el estudio realizado por Gil et al., (2008) concluye que una amplia mayoría declara reconocer la presencia del problema de erosión a nivel regional, en tanto que una menor proporción de productores reconoce que podría ocurrir u ocurre en su predio. También se encuentra una baja adopción de prácticas conservacionistas, cuya utilidad el productor aún no reconoce. Estas conclusiones son de gran relevancia para orientar el diseño de políticas dirigidas a fomentar la

conservación de los suelos. La firme persistencia de la mayoría de los productores a no aplicar prácticas de conservación de suelo por considerarlas innecesarias, es posiblemente el obstáculo de mayor importancia para su adopción, mayor que los costos o cualquier otro argumento. En función de estas conclusiones, la política de conservación de suelo requiere valorizar las tareas de capacitación y extensión como ejes estratégicos, dirigidos a poner de relieve los efectos de todas las formas de erosión y la importancia que tiene para su control la aplicación de las técnicas de conservación de suelo (Gil et al., 2008).

Para contribuir a la finalidad de minimizar el deterioro de los suelos y mantener en el tiempo la capacidad productiva de las tierras de la cuenca Chaján, se plantea este estudio, cuyos objetivos son realizar un relevamiento integral de tierras utilizando herramientas informáticas como los SIG y los modelos de simulación hidrológica.

ANTECEDENTES

i. Antecedentes generales sobre relevamientos territoriales

Los antecedentes sobre levantamientos integrales se remontan a la década del '50 (Christian y Stewart, 1953), quienes con el objeto de caracterizar en forma rápida, eficiente e integral el extenso territorio australiano, desarrollaron el *Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization* (CSIRO) o también conocido por el nombre de *Land Systems* (Sistemas de Tierra), el que por su carácter pionero, versatilidad y aplicabilidad ha tenido una amplia difusión en todo el mundo.

Este método consistió en subdividir el territorio en áreas que tenían en común determinadas características físicas que las hacían diferentes de otras áreas adyacentes. A esta primera subdivisión del territorio se la denominó Land Systems y su delimitación se basó en criterios topográficos, edafológicos y de vegetación. El tamaño de estas subdivisiones territoriales fluctuó desde unas decenas de km² a algunos centenares de km².

La cartografía de los *Land Systems* consistió en definir áreas extensas, de difícil acceso, mal conocidas y sobre todo en regiones donde la cartografía era muy deficiente o incluso inexistente. Esta cartografía se realizaba por medio de la fotointerpretación a diferentes escalas, que podían oscilar entre 1:30.000-1:80.000.

Cada Land Systems se subdividió en *Land Unit* (Unidad de tierra), pero éstas no se cartografiaron, sino que se representaron sobre bloques diagramas, en los cuales y por medio de números se identificaban las unidades de tierra, que son formas simples de paisaje (Díaz de Terán, 1989).

Paralelamente en Europa surge una línea de levantamientos integrados basados en criterios geográficos y ecológicos, denominado Landscape Ecology ó Ecología del Paisaje (Troll 1966), la cual surge como una nueva forma de estudiar los ecosistemas del mundo con una perspectiva geográfica.

Este enfoque transdisciplinario, llamado también *enfoque sistémico*, se sustenta en los principios formulados por la teoría general de sistemas (Bertalanffy, 1968), la cual establece que el todo es más que la suma de las partes, es decir, que la realidad de un paisaje debe concebirse y estudiarse de forma integral, y no a partir de la sumatoria de sus elementos, tales como el suelo, agua, vegetación, litología y actividades humanas (Zonneveld, 1979).

Este concepto sobre paisaje como entidad holística, fue concebido por el geógrafo alemán Troll (1966), dicho concepto fue evolucionando con el correr de los años. Estos avances se basaron en la generación de nuevas técnicas de levantamientos de datos, en nuevos elementos cartográficos (fotografía color, imágenes satelitales) y en la incorporación de nuevas ramas del conocimiento científico.

ii. Antecedentes y conceptos básicos sobre los Sistemas de Información Geográfica (SIG)

A partir de la década del '60, con la generación del primer Sistema de Información Geográfica (SIG), se produjo un cambio rotundo en el tratamiento, análisis, planificación y gestión del territorio (Comas y Ruiz, 1993). Los mapas en papel o tela que hasta ese momento habían servido para representar la organización de las sociedades y la distribución de los recursos naturales en una región, fueron superados por estas nuevas tecnologías, que a su vez generaron un nuevo enfoque sobre el espacio territorial.

Los SIG tienen como objetivo permitir el manejo de grandes cantidades de datos ambientales referenciados geográficamente y constituyen una tecnología avanzada para los profesionales de la ciencia de la tierra y cualquier estudio o disciplina relacionado con análisis espacial (Meijerink *et al.*, 1994).

Una definición que sintetiza el concepto SIG es la propuesta por el National Center for Geographic Information and Analysis de los Estados Unidos (1990), que sostiene que *un Sistema de Información Geográfica (SIG) es un sistema compuesto de hardware, software y procedimientos para capturar, manejar, manipular, analizar, modelizar y representar datos georreferenciados, con el fin de resolver problemas de gestión y planificación.*

Los elementos que componen un SIG fueron definidos por Maguire (1991) como: *Hardware, Software, datos y organización.*

El *hardware* es el soporte material y está compuesto por una Unidad Central de procesamiento y dispositivos de entrada de datos, de salida de información, de almacenamiento y de visualización.

El *software* es el soporte lógico que organiza, dirige y da consistencia a todo el sistema.

El tercer elemento de un SIG es el *dato*, que es el elemento crucial de un sistema.

El cuarto componente es la *organización de la estructura* del personal encargado del diseño, implementación y uso del SIG.

Algunos ejemplos de Sistemas de Información Geográfica (SIG) para la región en estudio que pueden citarse corresponden A. Degioanni (1998), aplicados a la cuenca Santa Catalina, proponiendo una metodología para evaluar el potencial productivo de los recursos agrarios de la cuenca Santa Catalina (Córdoba Argentina), con el fin de optimizar el uso y gestión de dichos recursos bajo principios de máxima eficiencia ecológica y sostenibilidad. Cisneros (2010), desarrolla un sistema de información para contribuir a la toma de decisiones para el ordenamiento territorial de la cuenca. La metodología integra herramientas GIS, modelos de simulación de hidrología, erosión y sedimentación y métodos de análisis multicriterio. Gonzalez J. (1999), analiza escenarios de deterioro/recuperación de los recursos naturales (suelos, vegetación y aguas), basándose en los Sistemas de Integración Geográfica (SIG) con modelos hidrológicos en la cuenca arroyo La Tapa.

iii. Antecedentes de modelos hidrológicos

Los antecedentes, en simulación o modelación hidrológica integrado a los Sistemas de Información Geográfica (SIG) son relativamente nuevos, esta rama del conocimiento ha comenzado a desarrollarse a partir de la década del 80 (Maidment, 1993).

Llamas, (1993), sostiene que *“Un modelo es la representación simplificada, bajo una forma física o matemática de un sistema complejo en el cual las respuestas producidas por una serie de entradas externas son difícilmente previsibles a causa precisamente de gran número de factores que entran en juego”*.

Para Karplus, (1983), *“Un modelo es conjunto de ecuaciones que caracterizan un sistema real, llamado prototipo, de tal forma que al menos un cierto número de nexos entre las entradas externas y las respuestas correspondientes, se ha representado de forma adecuada”*.

Maidment, (1993) y Degioanni, (1995), sostienen que la unión entre los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y los modelos hidrológicos pueden ser de dos tipos: Uniones Anexadas y Uniones Integradas. Las primeras, consisten en un acoplamiento mediante los flujos de datos entre el Sistema de Información Geográfica (SIG) y el modelo hidrológico, manteniendo cada uno su independencia funcional y operativa, en cambio, en el segundo tipo, la unión es hermética constituyendo una sola unidad funcional y operativa.

La unión anexada, es un acoplamiento mediante flujo de datos entre el Sistema de Información Geográfica (SIG) y el modelo, manteniendo cada uno su independencia funcional y operativa.

La unión integrada, consiste en una unión hermética constituyendo una sola unidad funcional y operativa. Las ventajas están referidas a la unificación de los datos, su menor transferencia y resultados rápidamente relacionados con otros datos ambientales.

Un modelo de simulación hidrológica está, en general, compuesto por cuatro elementos básicos, los cuales son:

1. Modelo conceptual hidrológico,
2. Ecuaciones matemáticas,
3. Información espacial (mapas),
4. Base de datos.

Los dos últimos puntos son el nexo entre los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y los modelos, ya que en modelos hidrológicos como ARHymo, escrito en Fortran 77; los autores han contado con tres programas fuente como punto de partida para su elaboración: el modelo HYMO-10 (1984), el modelo OTTHYMO (1983) y el programa CHICMET de la Universidad de Ottawa (Maza et al., 1993),

en el modelo HEC-HMS (USACE, 2009) no pueden resolver por sí solos la espacialización de sus parámetros físicos de entrada ni representar en el espacio los resultados obtenidos de la aplicación de las leyes hidrológicas que gobiernan el proceso (Degioanni, 1995).

iv. Antecedentes regionales y locales de ordenamiento de cuencas

Distintos trabajos relacionados a los ordenamientos de cuencas han sido realizados en la región, entre estos se destacan:

Cantero y Cantú (1985) realizan un trabajo sobre los suelos y los procesos degradación-recuperación en las tierras del departamento Río Cuarto. Se dividió el departamento en 14 ambientes fisiográficos, donde el factor geomorfología fue la variable principal en la delimitación de las unidades. Por otra parte, se caracterizaron los suelos, el uso y manejo actual y las condiciones socioeconómicas de cada unidad y los procesos geomorfológicos dominantes. Cantero et al (1998), promueve el manejo de las tierras para el control de escurrimientos, la construcción de microembalses reguladores de caudal y el ordenamiento de áreas que permitan mantener la máxima capacidad de almacenaje de los eventuales excesos de agua. Cisneros, J. (2010), establecen ordenamientos y propuestas de manejos de tierras que permitan minimizar los perjuicios sociales, económicos y ambientales generados por las afecciones erosivas generadas en procesos eventuales. Rummie Vittar et al (2009), establecen relaciones hidrodinámicas y geoquímicas en la cuenca del arroyo Chaján. A. Degioanni et al (2002), expresa sintéticamente la problemática de inundaciones del sudeste Cordobés, definiendo factores naturales y antrópicos como los generadores de las inundaciones, entre los primeros se destaca un relieve muy plano, con muy baja pendiente general, favoreciendo la acumulación de charcas o lagunas, el anegamiento de grandes extensiones de suelos, el traslado de agua superficial muy lento, suelos hidromórficos, con baja permeabilidad debido a la presencia de horizontes sódicos y a la existencia de una capa freática salina próxima a la superficie. Entre los factores inducidos por el hombre se destacan: la impermeabilización progresiva por deterioro físico de los suelos, la construcción de una red vial que condiciona la acumulación y movimiento del agua en superficie y el establecimiento de canales de manera anárquica, sin un criterio integral sobre el funcionamiento hidrológico regional. Barbeito et al, (2008), se plantea como objetivo principal del trabajo es el de obtener información cartográfica geológica-geomorfológica, sobre los problemas de excesos hídricos y erosión que afectan a la región, a los efectos de implementar una base de partida para el logro de una propuesta de ordenamiento y manejo integral que posibilite mitigar el deterioro de tierras productivas y obras de infraestructura. Describen al Sistema Arroyo Nuevo como aquel en donde los procesos fluviales denotan mayor actividad erosiva – deposición actual, siendo este aledaño a la cuenca Arroyo Chaján.

Pocos trabajos han sido desarrollados sobre el funcionamiento hidrológico y ordenamiento de la cuenca Arroyo Chaján, elevando la necesidad de generar un ordenamiento preliminar sobre la misma. Entre los estudios realizados sobre el área en estudio se destaca el del mapa de los Suelos de Córdoba de Gorgas y Lovera, 2006, a partir del cual se conoce que: “El arroyo Chaján tiene una longitud de cursos de 100 km y drena una cuenca de 25.400 ha. Se realizó una caracterización a nivel general de la cuenca, definiendo características de los suelos y sus capacidades de uso, perfiles representativos, limitantes productivas, afecciones a la erosión hídrica-eólica, topografía, clima, precipitaciones, vegetación.

La información generada hasta el momento no posee una escala con el detalle adecuado para la simulación hidrológica, tampoco han sido definidos los límites de la misma, sus redes de drenaje y subcuencas entre otros. Por lo tanto este trabajo profundiza el estudio que permita entender de manera detallada el funcionamiento de la cuenca arroyo Chaján para futuros estudios de planificación de su ordenamiento.

OBJETIVOS

– *Objetivo General*

- Desarrollar un Sistema de Información Geográfico y un Modelo de Simulación Hidrológica que permitan evaluar propuestas de ordenamiento para la cuenca Arroyo Chaján.

– *Objetivos Específicos*

- Delimitar el área de la cuenca Arroyo Chaján;
- Recopilar y actualizar la información de la cuenca: hidrología, uso del suelo, unidades de suelo, red de drenaje, precipitaciones, estado de los caminos, calidad del agua de cauces superficiales;
- Evaluar la producción de escorrentía y caudal máximo para diferentes condiciones hidrológicas de las tierras;
- Evaluar diferentes modelos de cuenca y su influencia en la generación de escorrentía.

MATERIALES Y MÉTODOS

i. Características generales del área de estudio:

La cuenca Arroyo Chaján está comprendida entre las coordenadas 33° 24' y 33° 35' Sur, y 65° 12' y 65° 01' Oeste, en la provincia de Córdoba – Argentina, próxima a las localidades de Villa Mercedes hacia el Oeste, Justo Daract hacia el Sur y Sampacho hacia el Noroeste.

Hacia el noroeste de la localidad homónima se encuentra un ambiente geomorfológico pedemontano, donde a través de cursos menores, como el arroyo del Medio y Los Arroyitos, colecta el escurrimiento de las últimas estribaciones serranas. El sector es fuertemente ondulado, con pendientes que oscilan entre el 0,5 y el 10%.

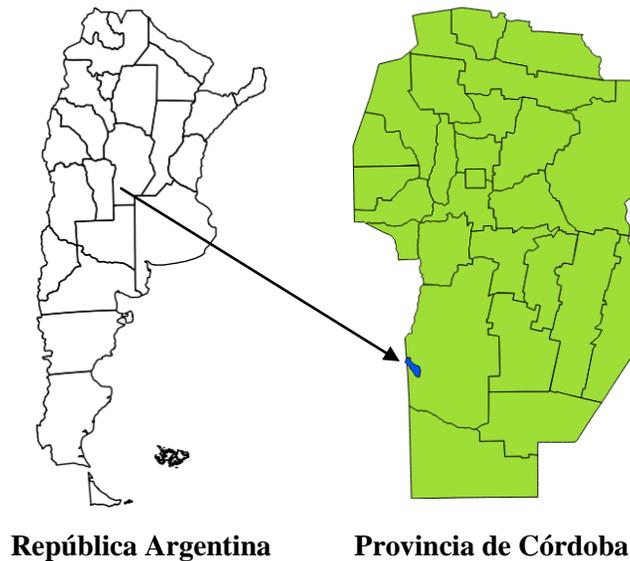


Figura N° 1: Ubicación de la Cuenca

ii. Suelos:

En el ámbito de la cuenca, se han definido siete unidades de suelos cartográficas según el Atlas de los Suelos de Córdoba (Gorgas y Lovera, 2006). Dichas unidades son: **EPtc-10; EOli-2; MNen-36; ECtc-3; EPtc-5; MBtc-14** y **Co-6**. A continuación se describen brevemente las unidades destacando los aspectos que se utilizaron para asignar el grupo hidrológico de cada unidad.

- **Unidad MNen-36**

La unidad posee una aptitud de uso clase IV y un IP 31. Su fisiografía corresponde a la de una planicie periserrana proximal. Esta unidad está compuesta por suelos a) un 50% por suelos de lomas y

pendientes clasificados como Haplustol éntico, algo excesivamente drenado; con erosión hídrica actual moderada y moderada susceptibilidad a la erosión hídrica. b) un 30 % de suelos de crestas de lomas clasificados como Ustorthent típico, de textura franca arenosa, algo excesivamente drenado son erosión hídrica actual y potencial moderada. c) 20% de suelos de bajos con drenaje libre clasificados como Haplustol típico de textura franca limosa y con ligera susceptibilidad a erosión hídrica.

- **Unidad EPtc-10**

La unidad posee una aptitud de uso clase VI y un IP 22. Su fisiografía corresponde a la de una pampa medanosa con llanos estabilizados. Esta unidad está compuesta por suelos a) un 50% por suelos de lomas y pendientes clasificados como Ustorthent típico, algo excesivamente drenado; profundo (+ de 100 cm); de textura franco-arenosa; pobre en materia orgánica; moderada susceptibilidad a la erosión hídrica y erosión eólica. b) un 40% de suelos de concavidades clasificados como Haplustol éntico, de textura franco-arenosa; algo excesivamente drenado; moderada susceptibilidad a la erosión hídrica. c) un 10% por relictos medanosos.

- **Unidad ECtc-3**

La unidad posee una aptitud de uso clase VII y un IP 6. Su fisiografía corresponde a la planicie periserrana baja. Esta unidad está compuesta por suelos a) un 50% de suelos de sectores fuertemente anegados clasificados como Endoacuent típico, algo excesivamente drenado; baja capacidad de retención de humedad. b) un 50% de suelo indiferenciado salino-alcálico; sódico en superficie; drenaje muy pobre.

- **Unidad EPtc-5**

La unidad posee aptitud de uso clase VI y un IP 12. Su fisiografía corresponde a la planicie ondulada periserrana. Esta unidad está compuesta por suelos a) un 70% de suelos de lomas y medias lomas clasificados como Ustorthent típico; algo excesivamente drenado; alta susceptibilidad a la erosión hídrica y moderada susceptibilidad a la erosión eólica. b) 30% de suelos de pie de lomas clasificados como Haplustol éntico; alta susceptibilidad a la erosión hídrica y ligera susceptibilidad a la erosión eólica; baja capacidad de retención de humedad.

- **Unidad MBtc-14**

La unidad posee aptitud de uso clase IV y un IP 41. Su fisiografía corresponde a la Pampa arenosa con planicies fluvioeólica. Esta unidad está compuesta por suelos a) un 40% de planos bajos imperfectamente drenado clasificado como Natralbol típico; imperfectamente drenado; sódico en el subsuelo. b) un 30% de suelos de depresiones como Argiacuol típico; imperfectamente drenado; drenaje imperfecto, permaneciendo mojado durante importantes lapsos de tiempo. c) un 30% de planos intermedios como Haplustol ácuico; moderadamente bien drenado; drenaje algo impedido, ya que el

suelo permanece mojado por cortos pero significativos períodos de tiempo; ligera susceptibilidad a la erosión hídrica y eólica.

- **Unidad Co-6**

La unidad posee una aptitud de uso clase VII y un IP 15. Su fisiografía corresponde a causas y terrazas de arroyos. Esta unidad está compuesta por un 100% de suelos indiferenciados aluviales; profundo (+ de 100 cm); moderadamente salino; fuertemente sódicos; baja capacidad de retención de humedad.

- **Unidad EOLI-2**

La unidad posee una aptitud de uso clase VII y un IP 3. Su fisiografía corresponde a sierras grandes escarpadas en el flanco occidental. Esta unidad está compuesta por a) un 30% de laderas quebradas clasificado como Udorthent lítico; excesivamente drenado; algo somero (75 a 50 cm); muy rocosa; alta susceptibilidad a la erosión hídrica y ligera susceptibilidad a la erosión eólica. b) un 30% de laderas escarpadas clasificado como Udipsamment típico; excesivamente drenado; poco profundo (100 a 75 cm); pedregoso; alta susceptibilidad a la erosión hídrica y ligera susceptibilidad a la erosión eólica. c) un 20% de suelos de pie de laderas clasificado como Hapludol éntico; excesivamente drenado; profundo (+ de 100cm); ligera pedregosidad/rocosidad; muy baja capacidad de retención de humedad; alta susceptibilidad a la erosión hídrica. d) un 20% de rocas.

iii. Características Hidrológicas:

iii.a. Análisis visual de imágenes satelitales:

La interpretación de imágenes se realiza mediante un conjunto de técnicas destinadas a detectar, delinear e identificar objetos y/o fenómenos en una imagen e interpretar su significado. Las principales características que resultan observables en las imágenes son: el tamaño, el tono, el color, la sombra, la forma en que los objetos se distribuyen sobre la superficie terrestre y la manera en que dichos objetos se agrupan. Además, estas técnicas permiten realizar diversos análisis, por ejemplo, se puede rastrear el comportamiento de un río a lo largo del tiempo; también se puede estudiar cómo evolucionan los cultivos en distintas zonas en una misma fecha o también, como se comporta un derrame de petróleo en un océano en diferentes fechas (Cisneros et al, 2012b). A partir de las imágenes obtenidas en GOOGLE EARTH, incorporadas al SIG mediante Quantum Gis Wroclaw, se digitalizaron la cuenca y sus subcuencas, la red de drenaje. Mediante el SIG se estimaron los siguientes parámetros hidrológicos de las cuencas: pendientes, áreas, coeficientes de escurrimientos y longitud de cursos. Para facilitar el procesamiento y comprensión de la información, esta se presentó en tablas de acuerdo a la variable en análisis.

iii.b. Recopilación de información hidrometeorológica:

La recopilación hidrometeorológica es un factor clave para el análisis e interpretación del funcionamiento de la cuenca, por lo que es imprescindible obtener series de precipitaciones del área en estudio que otorguen mayor seguridad para el procesamiento y realización del histograma. Se recopilaron series de precipitaciones de productores vinculados a la cuenca en estudio y de la agrupación AACREA para determinar la lluvia de diseño y construir el histograma de diseño. La necesidad de la utilización de una lluvia validada es vital para la mayor precisión del modelo, aportando a su vez las características de distribución temporal a lo largo de la ocurrencia de la precipitación. Se utilizaron dos precipitaciones de diseño: La primera lluvia de diseño utilizada para los modelos de la cuenca corresponde a una precipitación máxima de 87 mm en 6 horas, la cual tiene una recurrencia de algo menos de 25 años, con un pico en el segundo sextil (Cisneros, 2010), y la segunda lluvia de diseño, es la validada por M. Corral et al. (2009), para la cuenca El Gato, con una precipitación total de 85,7mm en 14 horas y media.

iii.c. Relevamiento de uso y manejo actual:

Se realizaron dos giras de relevamiento, con el principal objetivo de reconocer el área de estudio a campo, y cotejar algunos aspectos de la realidad de la cuenca, con la información obtenida mediante imágenes satelitales. La primera gira fue realizada el 15 de Mayo y la segunda el 22 de Noviembre del año 2013. En las mismas se recolectaron datos del uso y manejo de los suelos.

iii.d. Toma de muestras de agua:

Se realizaron dos muestreos de agua superficial en dos fechas diferentes, la georeferenciación de los puntos de muestreos se realizó con un GPS manual, evaluando así las características de pH, Sólidos en volumen y Conductividad Eléctrica. Se extrajeron 500 cm³ de cada punto de muestreo y se tomó una alícuota de 200 cm³ para la evaluación de Sólidos, esta misma se colocó en un recipiente tarado, llevándola a estufa durante 7 días para la evaporación del agua, se midió el peso final seco y por diferencia se obtuvo el peso final de Sólidos en ese volumen. Los datos de pH se midieron por método potenciométrico y la salinidad por Conductividad Eléctrica con un conductímetro. Con los resultados obtenidos se definió la calidad del agua según los parámetros definidos para la clasificación de las aguas para bebida de bovinos (Bavera, 2009). Los valores parámetros se muestran en la tabla N° 1 a continuación:

Tabla N° 1: Clasificación de aguas para bebidas de bovinos según su salinidad (Bavera, 2009).

	Sales Totales (gr/lt)	Para		
		Cría	Invernada Pastoril	Tambo bovino o engorde a corral
menos de	1	Deficiente	Deficiente	Deficiente
mas de	1	Muy Buena	Muy Buena	Muy Buena
Hasta alrededor de	2	Muy Buena	Muy Buena	Muy Buena
Hasta alrededor de	4	Buena	Aceptable	Aceptable
Hasta alrededor de	7	Aceptable	Mala	Mala
Hasta alrededor de	11	Mala	---	---
Hasta alrededor de	13	Condicionada	---	---

iii.e. Caminos Públicos:

En la gira realizada el 22 de Noviembre del año 2013, el camino recorrido con el vehículo fue grabado con un GPS como metodología de levantamiento de datos y se recabó información sobre las condiciones de los mismos, la utilidad pública y se analizó la posibilidad de funcionamiento como red de drenaje.

iv. Elaboración del Sistema de Información Geográfica:

En el SIG (Sistema de Información Geográfica) elaborado, se realizó una organización de toda la información relevante para la cuenca en estudio, delimitando las divisorias de aguas, como los límites de la cuenca y las subcuencas, el uso, manejo, la superficie y pendiente de cada una de ellas, la longitud de la red de drenaje y su grado. Se utilizó para ello el programa Quantum GIS.

iv.a. Límites de Cuenca y Subcuencas:

Para poder definir las divisorias de agua, fue necesario elaborar un mapa planialtimétrico de la superficie en estudio, este se obtuvo del Consorcio de Información Espacial (CGIAR), una vez obtenida la capa DEM (Modelo de Elevación Digital), se procesó la información que nos brindó en Quantum GIS para la obtención de las curvas de nivel del terreno. Basándose en la distribución, forma y las diferentes alturas de las curvas de nivel se definieron las Divisorias de Agua de la cuenca, marcando así los límites de la misma. Para definir los límites internos de la cuenca que nos generen las

subcuencas, se utilizó el mismo procedimiento, teniendo en cuenta además, el comportamiento hidrológico que se manifiesta por la presencia de caminos, los cuales pueden actuar como conductores del escurrimiento (red de drenaje temporal). Se utilizaron dos modelos de cuencas: Uno con 56 subcuencas (**56SC**) y otro con 6 subcuencas (**6SC**), a los fines de analizar las diferencias en la generación de caudal.

iv.b. Superficie de la cuenca y subcuencas:

Para definir la superficie de la cuenca y cada una de las subcuencas es necesario trabajar con el sistema de coordenadas correcto, para ello fue necesario convertir las coordenadas geográficas de GOOGLE EARTH a coordenadas de proyección. Mediante Quantum GIS se realizó la conversión y luego se calculó la superficie en hectáreas (ha) de cada una de ellas y la superficie total de la cuenca.

iv.c. Superficie ocupada por cada una de las unidades de suelos:

Se evaluó la proporción de las diferentes unidades cartográficas de suelo en la superficie de la cuenca, mediante Qgis

iv.d. Pendiente de la cuenca y subcuencas:

La pendiente media de las subcuencas fue calculada mediante Quantum GIS, interrelacionando la capa de planialtimetría (DEM) y los polígonos de superficie de cada subcuenca, así como de la cuenca completa.

iv.e. Red de Drenaje, su Longitud y Orden:

La red de drenaje se delimitó en base a las características fotográficas de color, textura y homogeneidad de las imágenes obtenidas en GOOGLE EARTH, combinadas con el mapa de curvas de nivel y el de caminos. Una vez trazada la red de drenaje en coordenadas geográficas, se convirtió a coordenadas de proyección; mediante Quantum GIS se realizó el cálculo de las longitudes de red de drenaje (metros) y la clasificación por orden correspondiente a la complejidad y ubicación de sus partes en la red total (de primer, segundo, tercer, cuarto y quinto orden)

A pesar de que la red de drenaje continúa fuera de la cuenca, a la misma se la definió hasta un punto de interés, el punto de salida de la cuenca, ubicado en las coordenadas 33° 38' 34,49'' Sur y 64° 59' 14,04'' Oeste.

v. Desarrollo del modelo hidrológico y estimación del escurrimiento máximo:

Para la evaluación del escurrimiento máximo se utilizó el método de CN (USDA, 1984), el cual se basa en determinar los grupos hidrológicos de suelos que componen la cuenca, el uso de los mismos y la posible aplicación de prácticas conservacionistas. Además es importante consignar que este método emplea para la estimación de los escurrimientos la lluvia total máxima ocurrida en 24 horas, y no la intensidad horaria, es importante que la superficie analizada no deba superar las 800 hectáreas. Este aspecto, en el presente estudio, fue subsanado a partir de la subdivisión de la cuenca en subcuencas.

Para simular la respuesta hidrológica de una cuenca se utilizó el paquete HEC-HMS (USACE, 2009), para el cual son necesarios los siguientes componentes: modelo de la cuenca con sus subcuencas correspondientes, los valores de CN, tiempo de concentración y traslado, área y pendiente de cada subcuenca, y la lluvia de diseño. Esta simulación calcula la transformación de lluvia a caudal en un punto definido de salida en el modelo de la cuenca.

El contenido de humedad del suelo tiene influencia sobre la velocidad de infiltración y posibilidad de almacenaje de agua de lluvia y por lo tanto sobre el volumen de escurrimiento que se genera. Para este estudio se considera la humedad antecedente de nivel 2 (**AMC II**), la cual corresponde a una situación promedio de humedad edáfica.

El Grupo Hidrológico indica el grado mínimo de infiltración obtenido en un suelo desnudo, después de una prolongada mojadura. Para definirlo se consideran las condiciones de superficie y las de los horizontes. En el primer caso se habla del grado de infiltración y en el segundo del grado de transmisión. Estos se dividen en cuatro categorías según el grado de infiltración-transmisión: **A** (ALTO, bajo potencial de escurrimiento), **B** (MODERADO), **C** (BAJO) y **D** (MUY BAJO, potencial alto de escurrimiento). De acuerdo a las características presentes, se asignó un grupo hidrológico a cada subcuenca.

Para que la representatividad del modelo se aproxime con mayor certeza a la realidad, se utilizaron valores de CN validados (CN 52), para la cuenca El Gato (Corral et al. 2009), para la validación de este resultado, se realizó la medición detallada de la precipitación y la variación del caudal en un punto determinado, con esta información definieron el valor de CN para la cuenca. El valor CN 52 se consideró como **Escenario 1**, los valores obtenidos de CN (ver tabla N°2 en anexo) para cada una de las subcuencas relevadas fueron ponderadas con el valor validados en la cuenca vecina, definiendo así

un valor más preciso de CN. El **Escenario 2** representa una condición degradada con un valor de CN 74. El **Escenario 3**, con un valor de CN 48, representaría una condición de manejo conservacionista generalizada en la cuenca. La caracterización de estos nuevos valores de CN para cada subcuenca se definieron mediante la ponderación de cada subcuenca, de igual manera que para la situación actual relevada de la cuenca.

A través de la fórmula del SCS (Servicio de Conservación de Suelos) se estimaron los tiempos de concentración y el tiempo de traslado para el cálculo hidrológico.

El tiempo de concentración (T_c) se define como el tiempo máximo requerido por el escurrimiento, para llegar a la salida de la cuenca desde cualquier punto de la misma. En otras palabras, es el tiempo que tarda el agua proveniente de toda la cuenca, en concentrarse en el punto de salida de la misma. Puede estimarse mediante la siguiente ecuación (Schwab et al., 2006):

$$T_c = L^{0.8} \times \left[\frac{\left(\frac{1000}{CN} - 9 \right)^{0.7}}{4407 \times S_g^{0.5}} \right]$$

Donde: T_c = Tiempo de concentración (h)

L = Longitud de la cuenca (m)

CN = Curva Número

S_g = Pendiente (m/m)

El tiempo de traslado o Lag (T_{lag}) se define como el tiempo requerido por un caudal ingresante en una subcuenca para recorrerla y salir de la misma, se definió mediante el procedimiento del SCS (Soil Conservation Service, 2006), que requiere la longitud y pendiente media de la cuenca, los cuales se determinaron a partir del DEM procesado en Qgis. Para la estimación se consideró que el mismo es del 60 % del T_c , según la siguiente expresión:

$$T_{lag} = 0,6 * T_c$$

Mediante HEC-HMS (USACE, 2009) se determinó el escurrimiento máximo de la cuenca y de cada subcuenca (Chow et al; 1994).

Para la cuenca y cada una de las subcuencas se calculó el caudal pico por el método de CN, expresada m^3/s . Para ello se realizó un censo en los lotes que integran la cuenca.

vi. Escenarios evaluados en las simulaciones hidrológicas:

Las diferentes combinaciones entre modelos, precipitaciones y escenarios, se realizaron según lo que se indica en la figura N° 2.

ESCENARIO/ CN	MODELO DE LA CUENCA	PRECIPITACIÓN (mm)	CÓDIGO
ACTUAL (CN 52)	56SC	87	A56SC87
	6SC	87	A6SC87
	56SC	85,7	A56SC85,7
	6SC	85,7	A6SC85,7
CONSERVACIONISTA (CN 48)	56SC	87	C56SC87
	6SC	87	C6SC87
	56SC	85,7	C56SC85,7
	6SC	85,7	C6SC85,7
DEGRADADO (CN 74)	56SC	87	D56SC87
	6SC	87	D6SC87
	56SC	85,7	D56SC85,7
	6SC	85,7	D6SC85,7

Figura N° 2: Combinaciones entre variables tenidas en cuenta, en las diferentes simulaciones realizadas.

RESULTADOS

i. Elaboración del Sistema de Información Geográfico:

i.a. Límites de Cuenca y subcuencas:

La superficie total de la cuenca es de 19868 ha. Parte de las subcuencas están delimitadas por divisorias naturales, y otra parte, resultan de divisorias antrópicas, como caminos, vías férreas, rutas, etc. En la figura N° 3 se detallan las curvas de nivel y la cuenca y subcuencas definidas.

i.b. Superficie de la cuenca y subcuencas:

Para el modelo **56SC**, la superficie total de las subcuencas osciló 61 ha y 846 ha, el promedio de las subcuencas es de 354,8 ha. Para el modelo **6SC**, los valores de subcuencas fueron desde 1741 ha hasta 5861 ha, con un promedio 3313 ha. La descripción completa de cada subcuenca se ubica en la tabla Anexo N° 2.

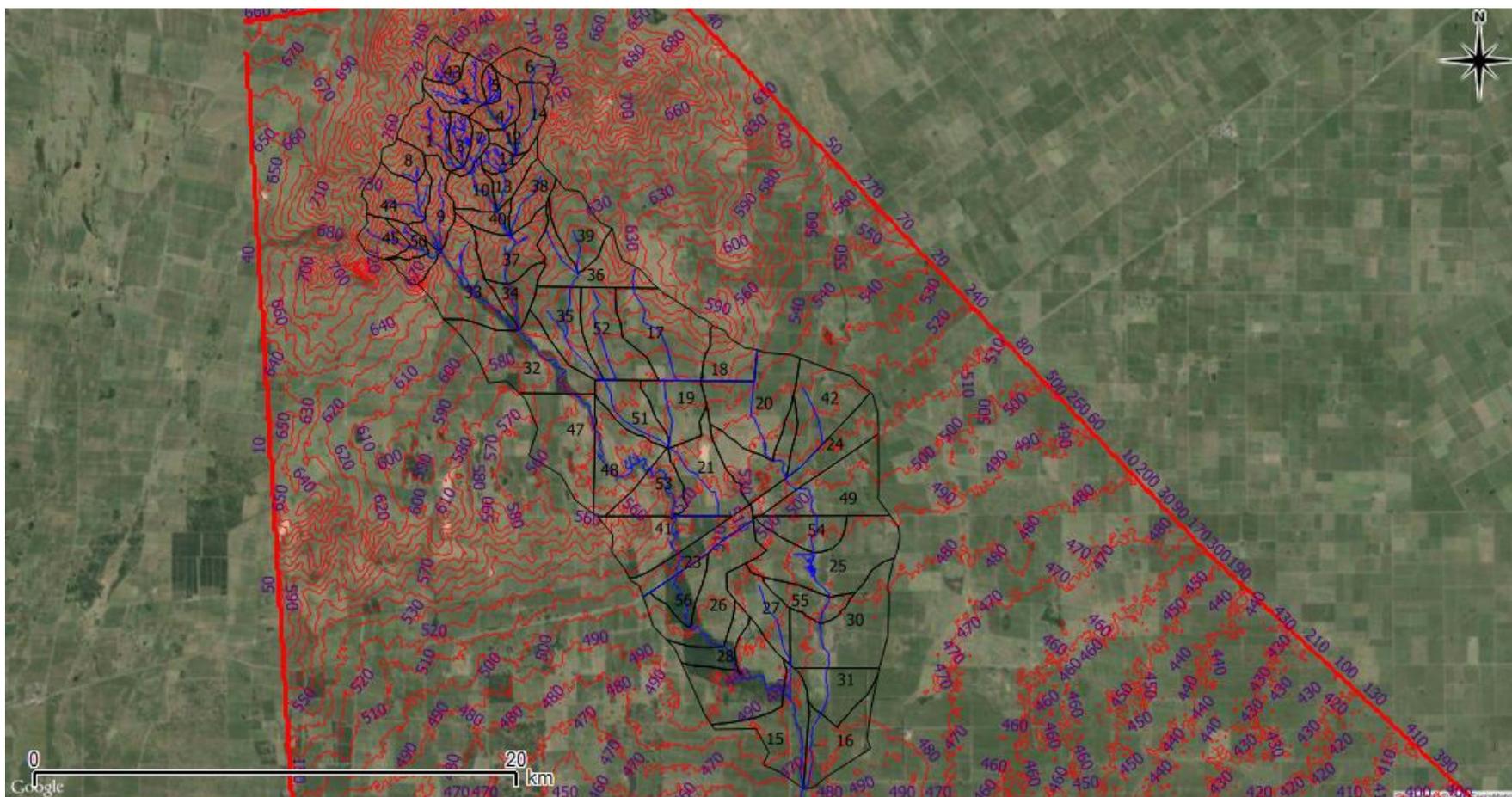


Figura N° 3: Cuenca y subcuencas (líneas negras), red de drenaje (líneas azules), curvas de nivel (líneas rojas) y valores de las curvas de nivel (números violetas). (Elaboración propia, imagen de fondo extraída de Google Earth).

i.c. Asignación del Grupo Hidrológico y superficie ocupada por las unidades de suelos:

i.c.1. Asignación del Grupo Hidrológico:

El Grupo Hidrológico indica el grado mínimo de infiltración obtenido en un suelo desnudo, después de una prolongada mojadura. Para definirlo se consideran las condiciones de superficie y las de los horizontes. En el primer caso se habla del grado de infiltración y en el segundo del grado de transmisión. Estos se dividen en cuatro categorías según el grado de infiltración-percolación:

- A (Alto potencial de infiltración / bajo potencial de escurrimiento),
- B (Moderado potencial de infiltración / moderado potencial de escurrimiento),
- C (Bajo potencial de infiltración / alto potencial de escurrimiento),
- D (Muy bajo potencial de infiltración / muy alto potencial de escurrimiento).

De acuerdo a las características de relieve, drenaje y condición morfológica actual que presentan cada uno de los suelos de cada una de las unidades, se definieron dos grupos hidrológicos. El grupo hidrológico B para las unidades **EPtc-10**, **MNen-36**, **ECtc-3**, **EPtc-5**, **MBtc-14** y **Co-6**. Estas unidades presentan en su gran reúnen suelos que si bien presentan condiciones de buen drenaje, dado el grado de compactación superficial y subsuperficial que presentan, limitan el grado de infiltración-percolación (Degioanni, et al. 2012). Por otra parte el grupo hidrológico C, fue asignado a la unidad **EOli-2**, por la baja capacidad de infiltración-percolación que presentan, dado que los suelos se encuentran con gradientes de pendientes pronunciados, presencia de rocas en superficie y un 20 % de la superficie de la unidad es roca.

i.c.2. Superficie ocupada por las unidades de suelos:

Las unidades cartográficas de suelos que se presentan en la cuenca son EOli-2 representando una superficie del 50,7% de la cuenca, seguida por MNen-36 con un 16,05% y en tercer lugar la unidad MBtc-14 con un 15,92%. Esta prevalencia de unidades cartográficas está indicando una predominancia de suelos franco, francoarenoso con susceptibilidad a erosión hídrica y eólica. En la figura N° 4 se revela la superficie cartográfica ocupada por cada unidad de suelos.

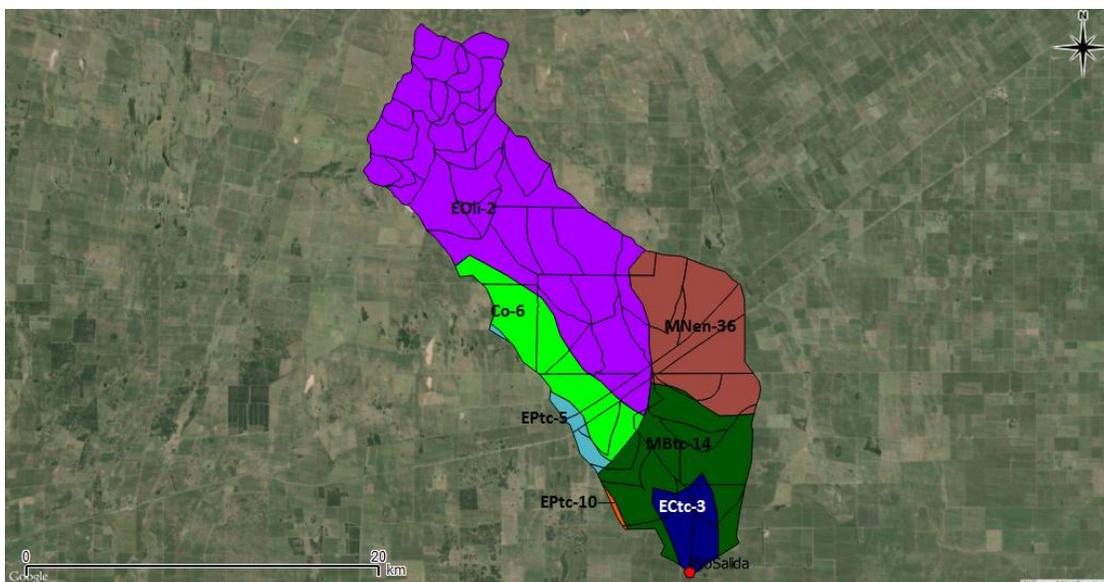


Figura N° 4: Superficie ocupada por cada unidad de suelos pertenecientes a la cuenca (19.868 ha).
(Elaboración propia)

Tabla N° 2: Superficie de las unidades cartográficas de suelos dentro de la cuenca y su grupo hidrológico correspondiente.

Unidades	Superficie (ha)	Superficie (%)	Grupo Hidrológico
Eptc-10	40	0,2	B
EPtc-5	323	1,63	B
MNen-36	3.188	16,05	B
MBtc-14	3.163	15,92	B
EOLI-2	10.074	50,7	C
Ectc-3	914	4,6	B
Co-6	2.166	10,9	B
Total	19.868	100	

i.d. Características Hidrológicas

i.d.1. Información hidrometeorológica:

La información fue generada, utilizando como base la brindada por el establecimiento Don Jacinto (33° 35'47,1'' S, 65° 0'26,49''), con un registro que abarca el período 1968-2013, siendo este el mayor período de registro obtenido. Se analizó la distribución mensual de precipitaciones

definiendo como el mes con mayor cantidad de lluvias a Enero con 139,9 mm, y el mes más seco a Junio con 12 mm, en promedio la precipitación anual es de 806,5 mm, con distribución monzónica. A continuación se detalla la distribución mensual de las precipitaciones (Figura N° 5) y las características de duración e intensidad de las lluvias a utilizar en el modelo.

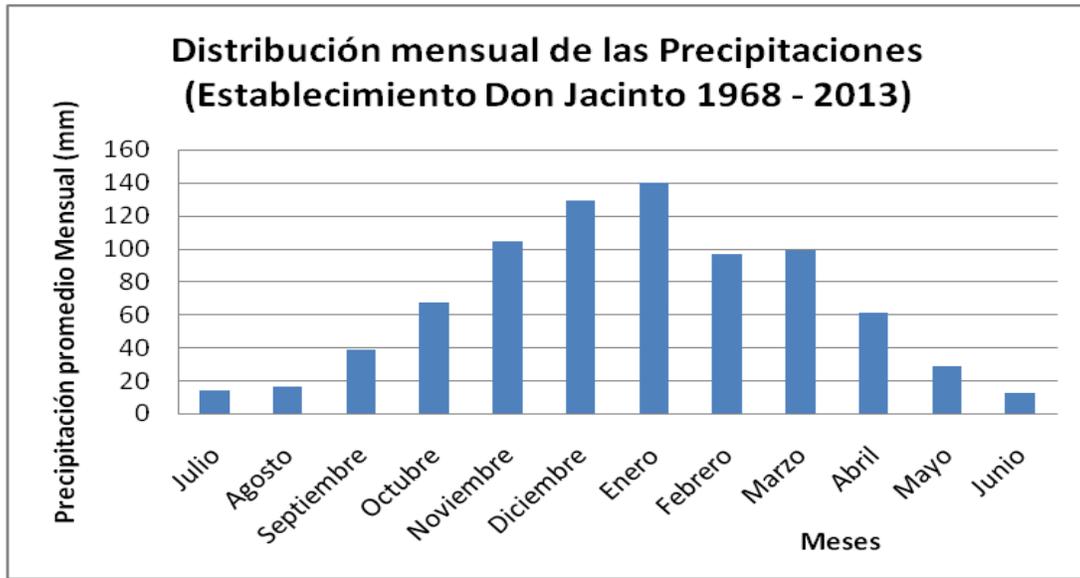


Figura N° 5: Distribución mensual de precipitaciones (Fuente: Establecimiento Don Jacinto)

Para que la representatividad de los valores arrojados por el modelo sea lo más próxima a la realidad, se tomaron los valores de la intensidad de la lluvia a lo largo del tiempo con los valores de la lluvia validada en la cuenca EL Gato y la lluvia registrada en la cuenca de Chaján en el mismo período, representados los valores en la tabla N° 13 del anexo.

i.d.2. Lluvias de diseño:

La primera lluvia de diseño utilizada para los modelos de la cuenca corresponde a una precipitación máxima de 87 mm en 6 horas, la cual tiene una recurrencia de algo menos de 25 años, con un pico en el segundo sextil (Cisneros, J. 2010a). El hietograma de la lluvia de diseño se muestra en la figura 6.

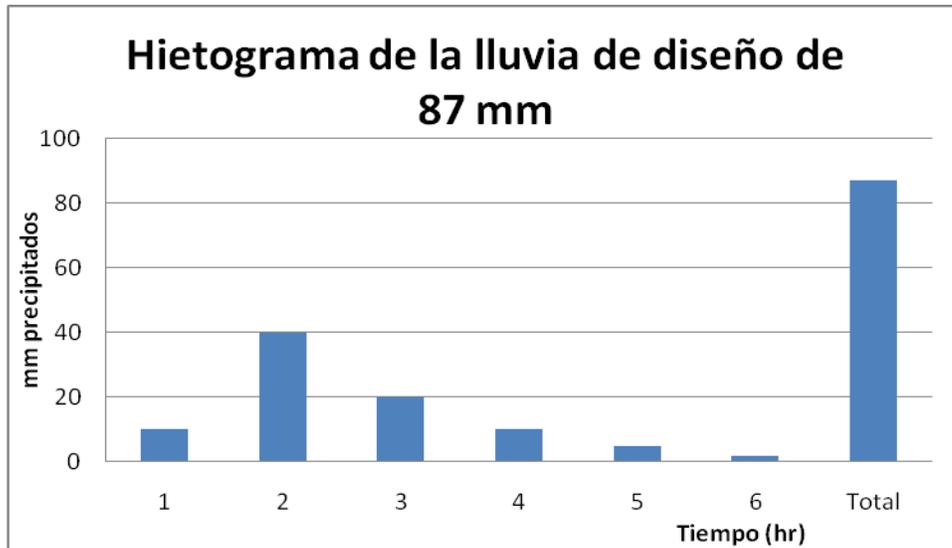


Figura N° 6: Hietograma de la lluvia de diseño seleccionada con una recurrencia cercana a los 25 años.

La segunda lluvia de diseño seleccionada, es la validada por Corral M, (et al. 2009), para la cuenca El Gato. Con una precipitación total de 85,7mm, cuyo registro está distribuido en intervalos de 15 minutos desde iniciada la lluvia, hasta que la misma finaliza luego de 14 horas y media (Figura 7).

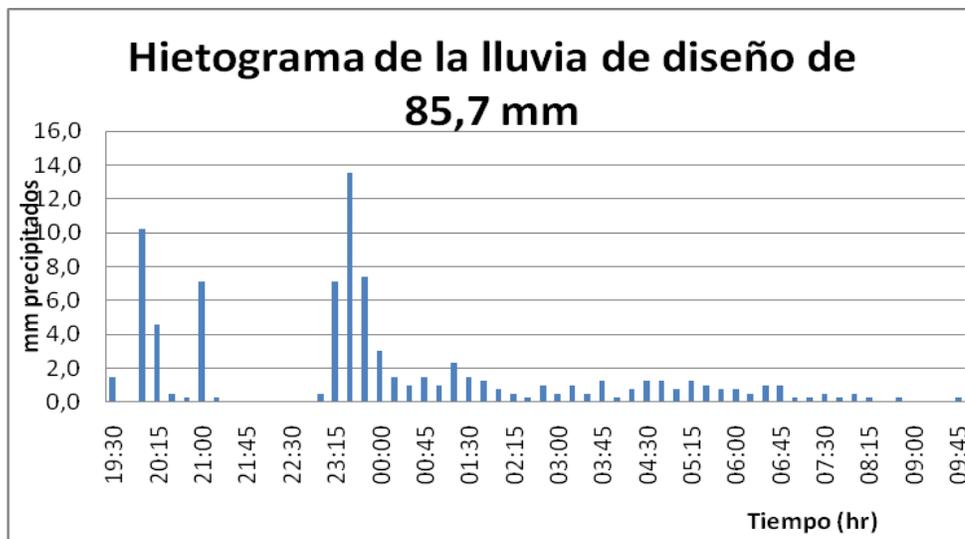


Figura N° 7: Hietograma de la lluvia de diseño validada por Corral et al. (2009), para la cuenca El Gato.

i.d.3. Calidad del agua Superficial:

La calidad del agua varía a lo largo de la cuenca. De norte a sur se observó un aumento constante en la cantidad de sales y por lo tanto de Conductividad Eléctrica (CE), y en el pH del agua de los cursos, atribuyéndose esto a la posible incorporación de sales en el agua a medida que recorre la cuenca, las cuales generan una importante disminución en la calidad de la misma.

Los resultados obtenidos para la evaluación de las diferentes calidades de agua para consumo animal se detallan en la tabla N° 3, y los sitios de extracción georreferenciados se muestran en la figura N° 8.

Tabla N° 3: Datos relevados en las giras realizadas el 15/05/2013 y el 22/11/2013.

Fecha	Muestra N°	pH	C.E.	gr/lt	Cría	Invernada	Tambo
15/05/2013	1	8,48	1510 (µm/cm)	0,97	Deficiente	Deficiente	Deficiente
	2	7,5	1632 (µm/cm)	1,22	Muy buena	Muy buena	Muy buena
	3	7,51	901 (µm/cm)	0,545	Deficiente	Deficiente	Deficiente
	4	7,5	8,77 (mS/cm)	6,19	Aceptable	Mala	Mala
	5	7,51	1516 (µm/cm)	0,975	Deficiente	Deficiente	Deficiente
	6	7,01	2334 (µm/cm)	1,535	Muy buena	Muy buena	Muy buena
22/11/2013	1	6,99	2221 (µm/cm)	0,6	Deficiente	Deficiente	Deficiente
	2	8,55	3,34 (mS/cm)	1,63	Muy buena	Muy buena	Muy buena
	3	8,6	2045(µm/cm)	4,83	Buena	Aceptable	Aceptable
	4	8,48	1397(µm/cm)	1,1	Muy buena	Muy buena	Muy buena
	5	7,9	1887(µm/cm)	0,24	Deficiente	Deficiente	Deficiente
	6	7,99	1996(µm/cm)	1,13	Muy buena	Muy buena	Muy buena
	Ají	7,6	1050(µm/cm)	0,67	Deficiente	Deficiente	Deficiente

Referencias: **pH**: manifiesta el grado de salinización o alcalinidad, asumiendo un valor de pH de 7 como neutro; **C.E.**: Conductividad Eléctrica; **Sólidos (gr/lt)**: representa la cantidad de sólidos por volumen de agua (gramos contenidos en un litro de agua).



Figura N° 8: Sitios de toma de muestras de agua en la cuenca, las realizadas el 15/05/2013 se representa a través de cuadrados celestes y las realizadas el 22/11/2013 se través de círculos marrones. (Elaboración propia).

i.e. Relevamiento de uso y manejo actual:

La cuenca posee un uso agrícola en el 44% de las tierras, el uso ganadero es del orden del 34% y el agrícola-ganadero en el 22% restante de la superficie.

En cuanto al manejo se observó una fuerte ausencia de técnicas de manejo del agua. Se caracterizó para cada subcuenca según el uso y el manejo predominante relevado, definiendo sus valores parámetros C (factor de cobertura y manejo de cosecha) y P (factor de métodos de control de erosión) para la estimación de erosión mediante el modelo RUSLE 2 (USDA-ARS, 2008), según se detalla en tabla Anexo N° 5.

i.f. Caminos Públicos:

El trazado de los caminos se detalla en la Figura N° 9. En general, en la cuenca, se aprecia un buen estado en los caminos que tienen sentido Este-Oeste, y presencia de procesos erosivos en los caminos cuya sentido es de Norte a Sur, ajustándose estos a la dirección de la pendiente general de la cuenca. En las fotos N° 1 y N° 2, se pueden apreciar imágenes del estado que presentan los caminos de sentido Norte-Sur (Fotos N° 1) y Este-Oeste (Foto N° 2).



Foto N° 1: Camino de la cuenca con evidencia de procesos de erosión hídrica, funcionando como red de drenaje.



Foto N° 2: Camino de la cuenca en buen estado.

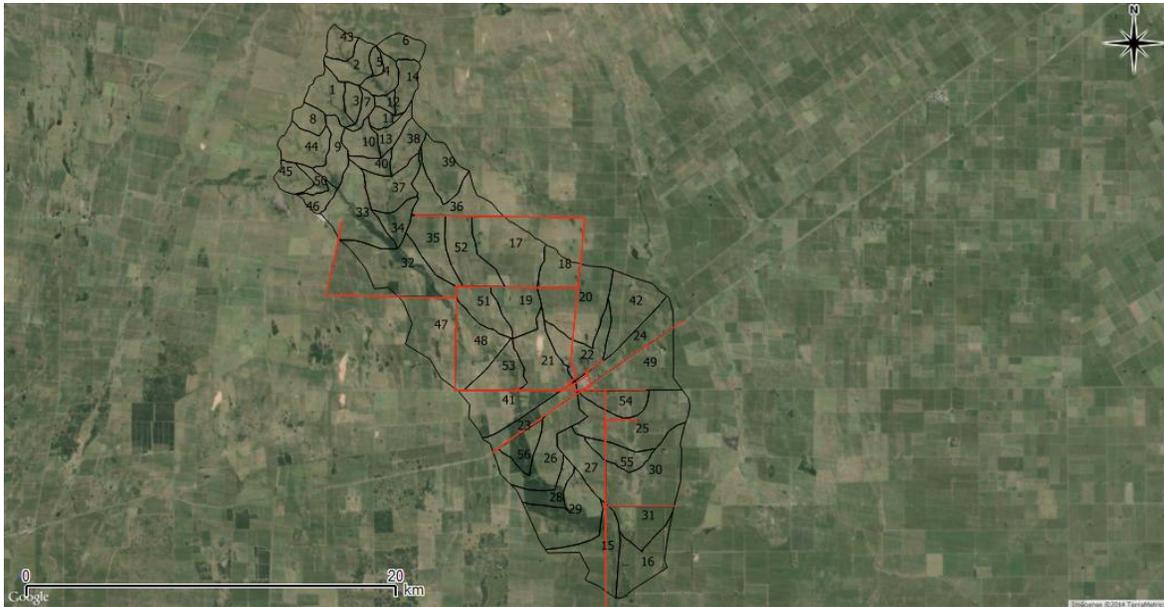


Figura N° 9: Cuenca y subcuencas identificadas (línea negra), caminos públicos georeferenciados (línea roja). (Elaboración propia)

i.g. Pendientes:

Los valores de gradiente de pendientes en la cuenca oscilan entre el 0,61% y el 3,97%, siendo los de mayores valores los del sector norte, las menores se ubican hacia el sur en la cuenca. El valor de gradiente de pendiente media para la cuenca es de 1,39 % y para cada una de las subcuencas se encuentran detallados en la tabla Anexo N° 3.

i.h. Red de Drenaje, su Longitud y Orden:

Debido a la gran importancia del conocimiento sobre las redes de drenaje para la modelación y comprensión del funcionamiento hidrológico de la cuenca, se clasificó a los distintos segmentos de la red de drenaje en órdenes, logrando alcanzar hasta el 5° orden. La distancia total de la red de drenaje definida en la cuenca alcanza los 218.076 m, variando en las subcuencas desde los 6.166 m hasta los 604m. En la figura N° 10 y 11 se detallan las características y cursos de la red de drenaje de la cuenca. Para la descripción detallada de las variables que componen a la red de Drenaje, observar la tabla Anexo N° 4.

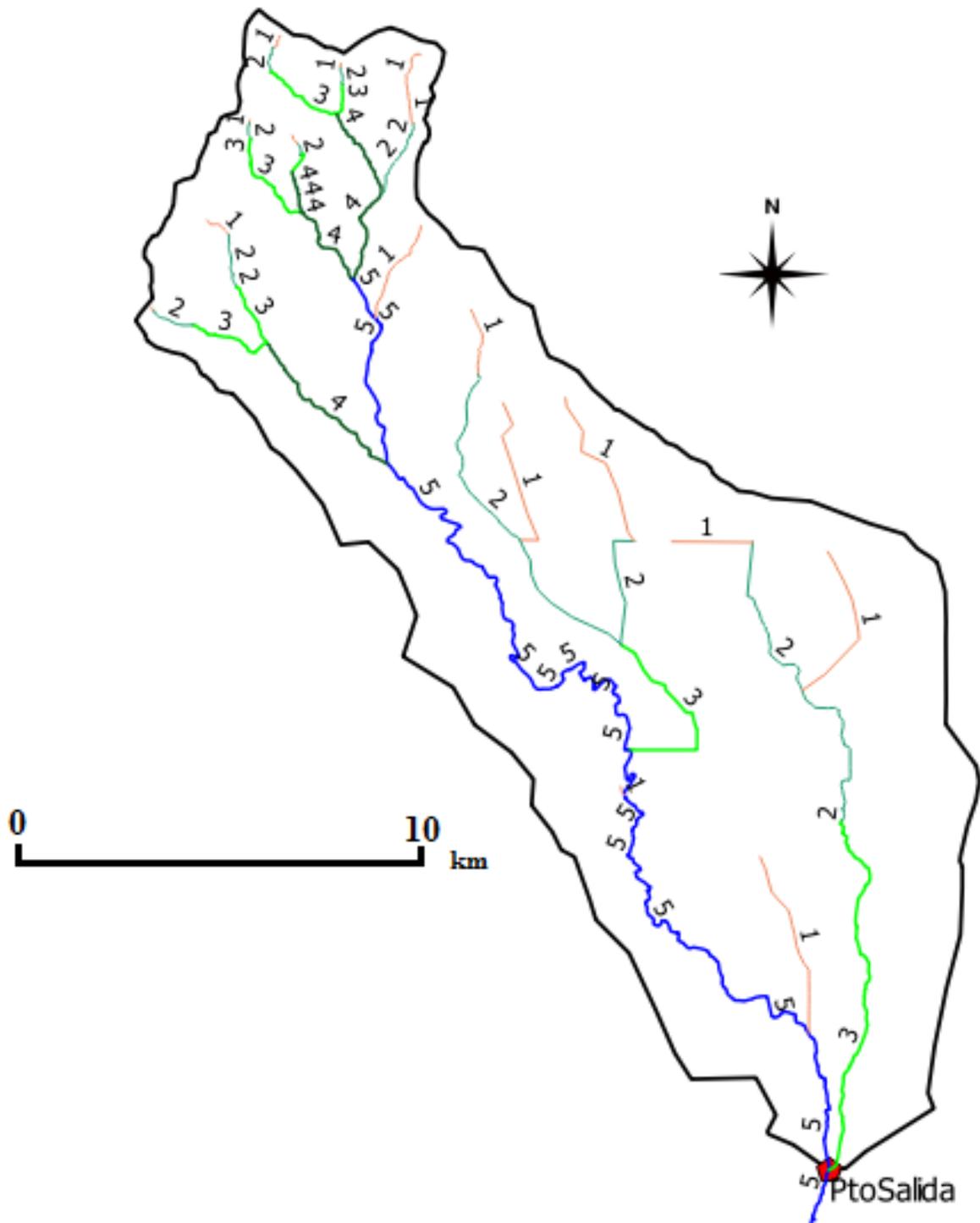


Figura N° 10: Red de drenaje de la cuenca categorizada por orden (Rojo primario; Celeste secundario; Verde terciario; Amarillo Cuaternario y Azul de quinto orden). (Elaboración propia)

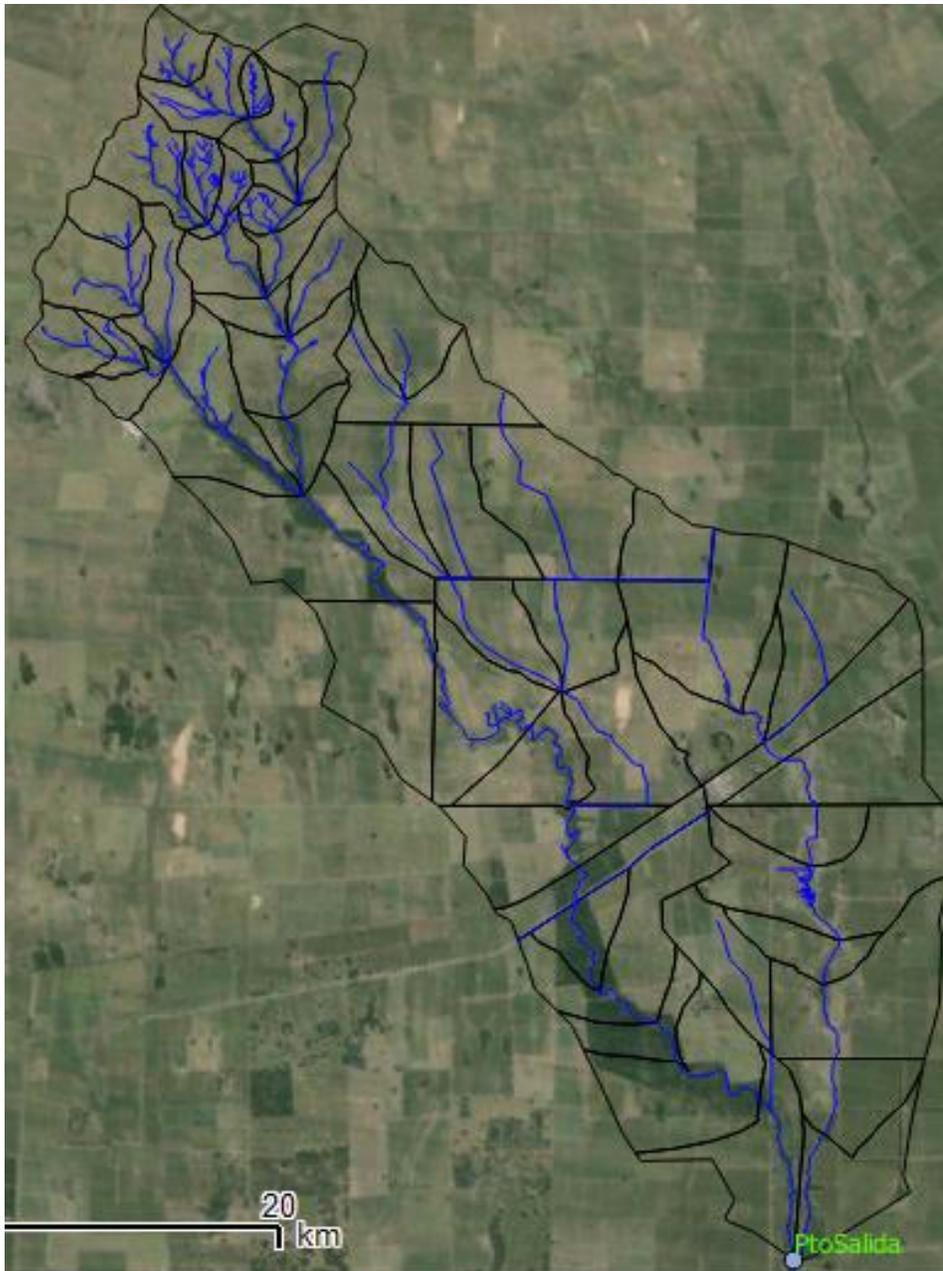


Figura N° 11: Red de Drenaje de la Cuenca. Cuenca Chaján (línea negra), Red de Drenaje (línea azul).

ii. Desarrollo del modelo hidrológico para HEC-HMS

ii.a. Estimación de parámetros hidrológicos del modelo: Curva Número (CN) y Tiempo de Concentración (Tc).

Los valores de CN obtenidos para cada sub cuenca se agruparon por características en común en 6 secciones diferentes según el Grupo Hidrológico, Uso, Manejo y Estado (ver tabla N° 4).

Tabla N° 4: Valores de CN utilizados en la cuenca.

GH	Uso	Manejo	Estado	CN Actual
C	Pastizales	-	Regular	79
B	Praderas	Surcos Rectos	Bueno	72
B	Cultivos en Surcos	Surcos Rectos	Bueno	78
B	Praderas en Rotación	Surcos Rectos	Bueno	72
C	Cultivos en Surcos	Surcos Rectos	Bueno	85
C	Praderas en Rotación	Surcos Rectos	Bueno	81

Los valores de tiempo de concentración para las subcuencas fueron de marcadamente diferentes entre los distintos escenarios y modelos planteados, arrojando valores que van desde los 66 hasta los 1843 minutos, dando un promedio de 958 minutos por subcuenca en el modelo **6SC**, y de 323 minutos en el modelo **56SC**. Las tablas descriptivas que contienen toda la información se encuentran en el Anexo son las N° 5, 6, 7 y 8.

ii.b. Estructura del modelo:

En las Figuras N° 12, 13 y 14 se detalla gráficamente el funcionamiento de cada modelo hidrológico realizado, el de 56 subcuencas y el de 6 subcuencas. Detallándose los identificadores correspondientes a cada subcuenca y el destino de caudal de agua recolectado por la subcuenca, a su vez, estos caudales son trasladados de subcuenca en subcuenca sumado a los aportes propios de caudal de cada una hasta que se alcanza el punto final de salida.

A continuación se detalla la función en el modelo de cada ícono gráfico que la compone.



Indica la presencia de una superficie generadora de escorrentía.



Indica el punto de confluencia de una o varias subcuencas, que definen un caudal y lo trasladan hacia un cauce que proviene cuenca de arriba hacia otra subcuenca.



Indica el punto final de análisis de la cuenca.



Indica la dirección y el sentido del caudal a medida que este se traslada a través de las subcuencas.



Figura N° 12: Gráfica descriptiva del funcionamiento del modelo 56SC (mitad superior).

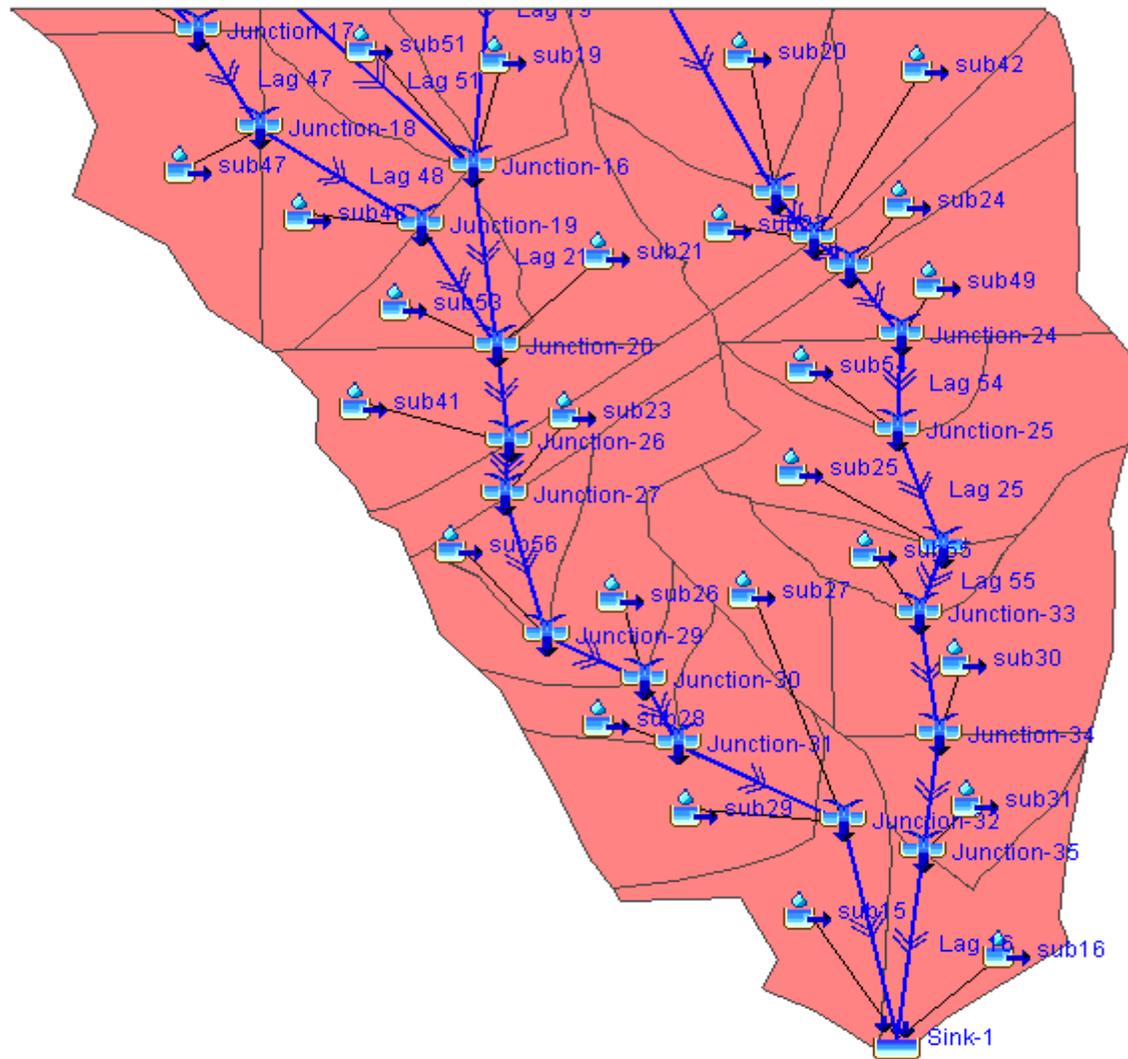


Figura N° 13: Gráfica descriptiva del funcionamiento del modelo 56SC (mitad inferior).

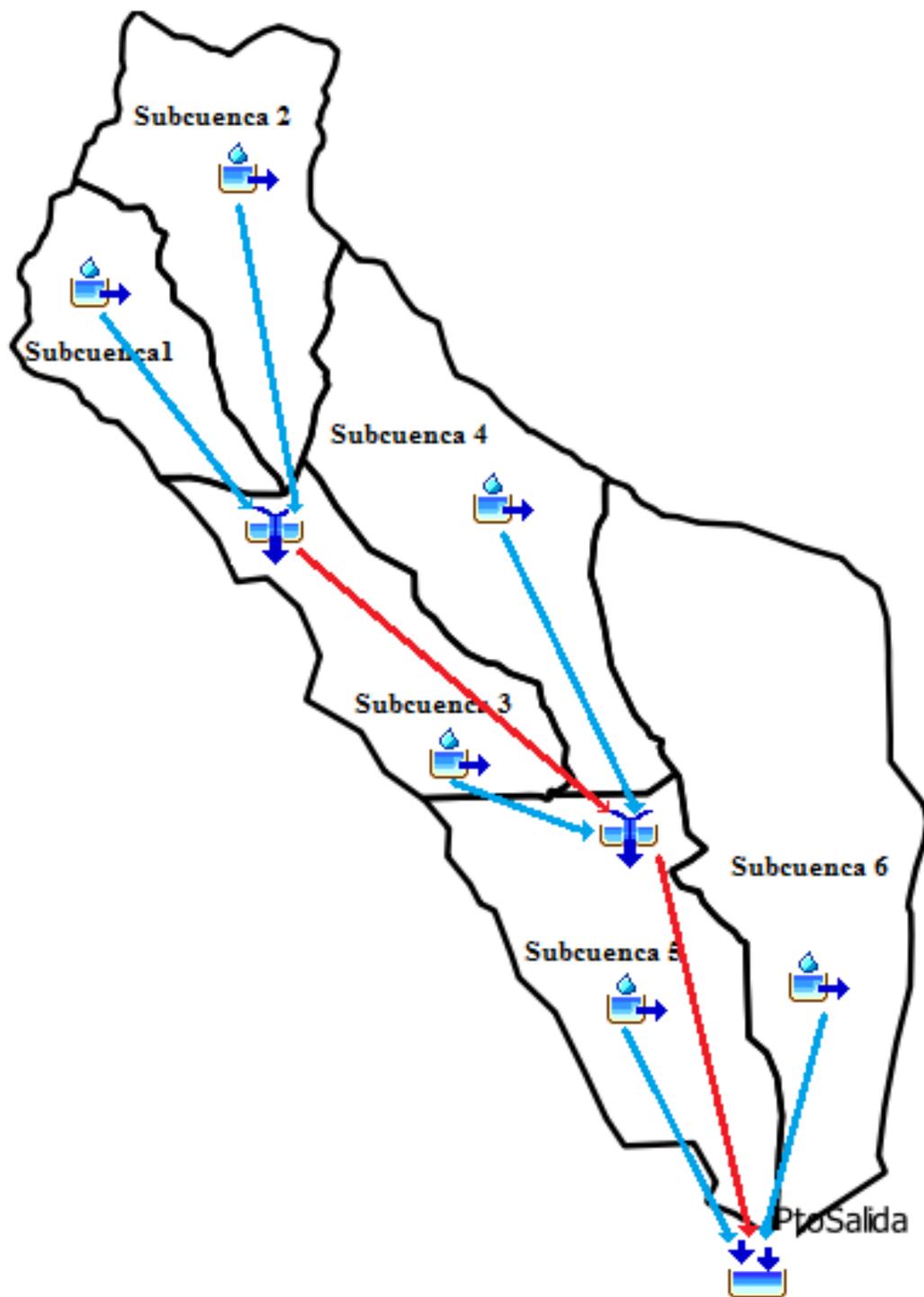


Figura N° 14: Gráfica descriptiva del funcionamiento del modelo de 6 subcuencas. Las líneas celestes detallan la dirección del caudal de agua generado en cada subcuenca; la líneas rojas muestran hacia donde se traslada el caudal recibido que proviene de otra subcuenca.

ii.c. Caudales para los distintos escenarios:

ii.c.1. Escenario 1. Condición actual

Indica el comportamiento de la cuenca para una condición de CN= 52, representativa de la condición actual. En la Tabla N° 5 se indican los valores de tiempo al pico, lámina y caudal pico de la cuenca.

Tabla N° 5: Resultados obtenidos para el Escenario 1. Condición Actual.

Cond/CN	Lluvia (mm)	Situación	Tiempo al pico (hr)	Lámina Escurrida (mm)	Caudal pico (m3)	Código
Actual CN 52	87	6SC	16h	6,54	23	A56SC87
		56SC	15h 30´	6,48	37	A6SC87
	85,7	6SC	21h 45´	6,08	19,8	A56SC85,7
		56CS	19h	6,03	27,3	A6SC85,7

Referencias: CN: representa la base de ponderación para cada situación. Caudal pico (m³): indica el máximo caudal que se obtiene en el punto de salida de la cuenca; Lámina escurrida (mm): indica la cantidad agua que escurre fuera de la cuenca expresada en lámina; Tiempo al pico: indica la cantidad de horas y minutos desde el inicio de la lluvia hasta que este se produce.

En las Figuras N° 15 (A56SC87) y N° 16 (A6SC87), se indica el comportamiento hidrológico de los dos modelos de cuenca para el escenario N° 1 con una lluvia de 87 mm en 6 hs. Se puede observar una diferencia de caudales del orden del 37,8 % menores para el modelo de 6SC, asociada además a un mayor tiempo al pico de 16 hs para el modelo 6SC, respecto a las 15 hs y 30´ en las 56SC. Estas diferencias podrían atribuirse al tamaño de las subcuencas analizadas, considerando que el método CN fue desarrollado para cuencas de 800 has (USDA, 1984). En este sentido se consideran valores más confiables los obtenidos por el modelo 56SC.

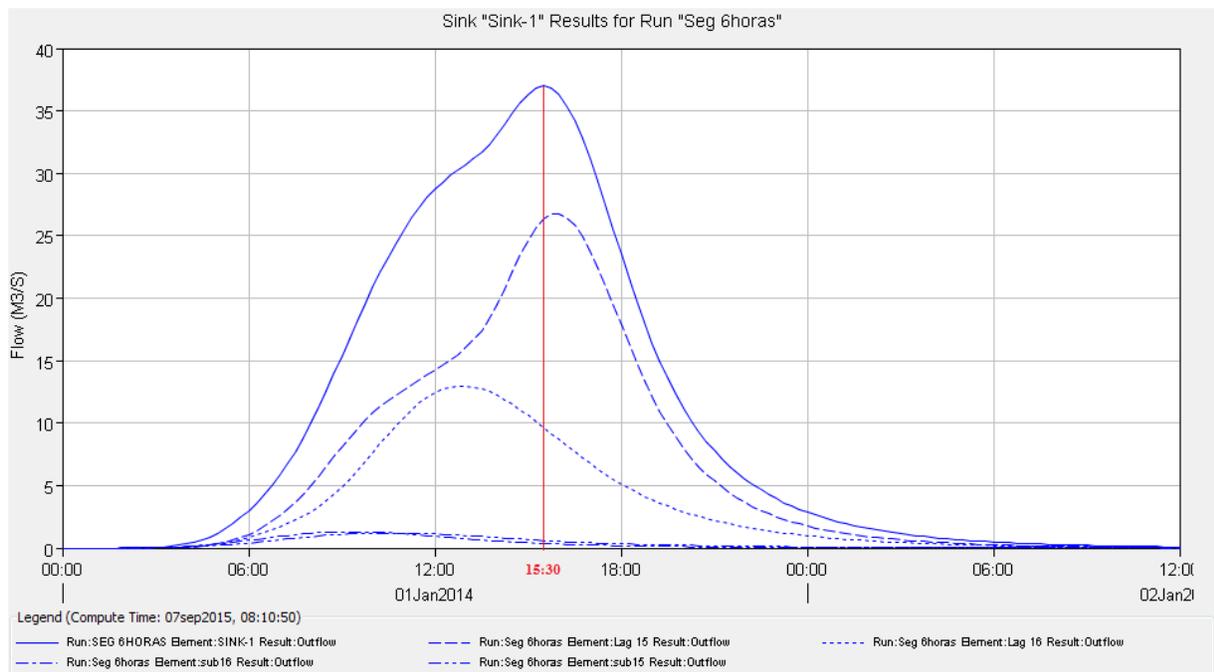


Figura N° 15: Hidrograma para la simulación “A56SC87”. La línea roja indica el pico de caudal y el tiempo al pico debajo de la misma.

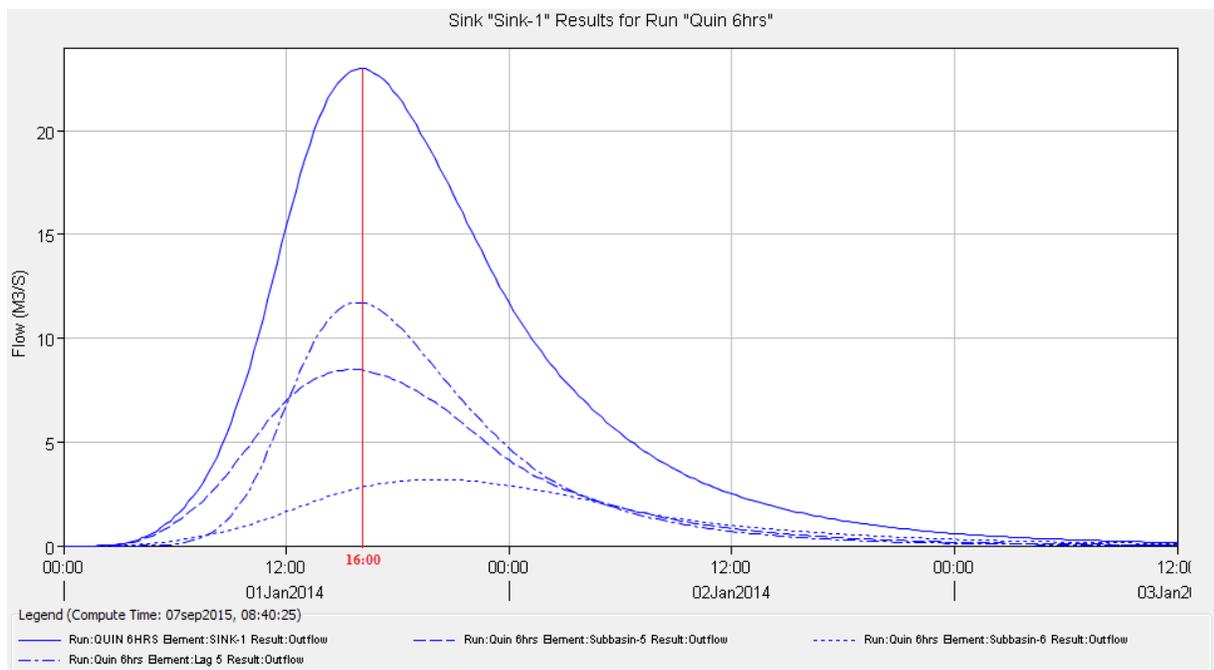


Figura N° 16: Hidrograma para la simulación “A6SC87”. La línea roja indica el pico de caudal y el tiempo al pico debajo de la misma.

En las Figuras N° 17 (**A56SC85,7**) y N° 18 (**A6SC85,7**), se indica el comportamiento hidrológico de los dos modelos de cuenca para el escenario N° 1 con una lluvia de 85,7 mm en 14 hs 30'. Se puede observar una diferencia de caudales del orden del 27,5 % menores para el modelo de **6SC**, asociada además a un mayor tiempo al pico de 21 hs 45' para el modelo **6SC**. Estas diferencias podrían atribuirse al tamaño de las subcuencas analizadas, considerando que el método CN fue desarrollado para cuencas de 800 has (USDA, 1984). En este sentido se consideran valores más confiables los obtenidos por el modelo **56SC**.

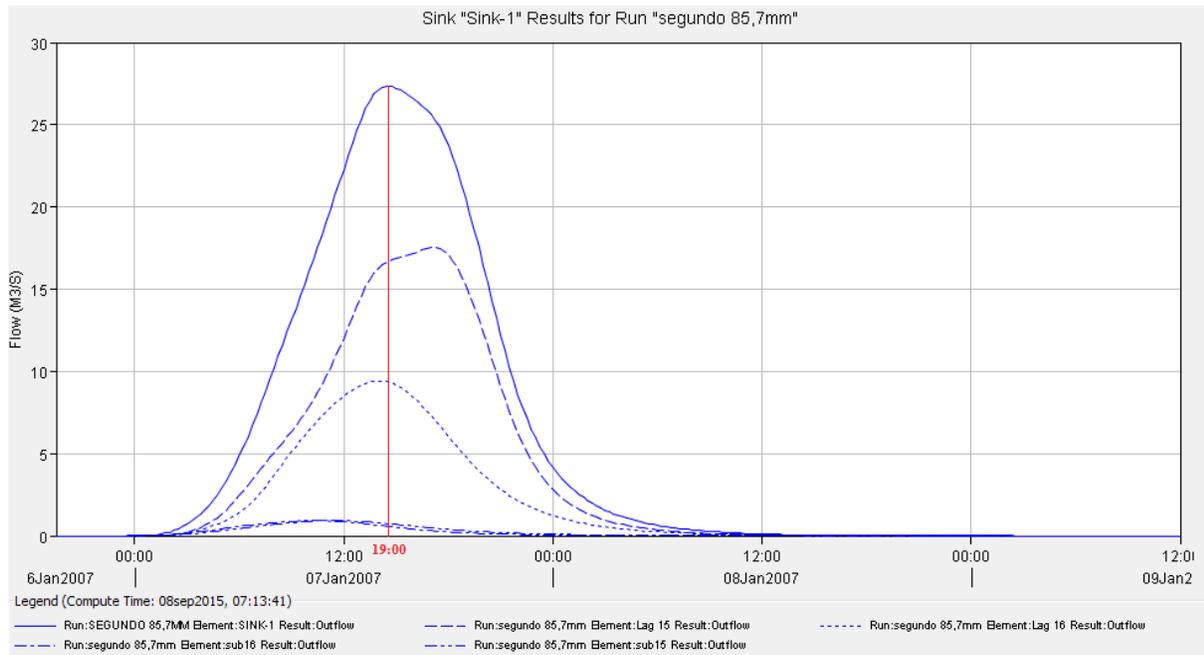


Figura N° 17: Hidrograma para la simulación “A56SC85,7”. La línea roja indica el pico de caudal y el tiempo al pico debajo de la misma.

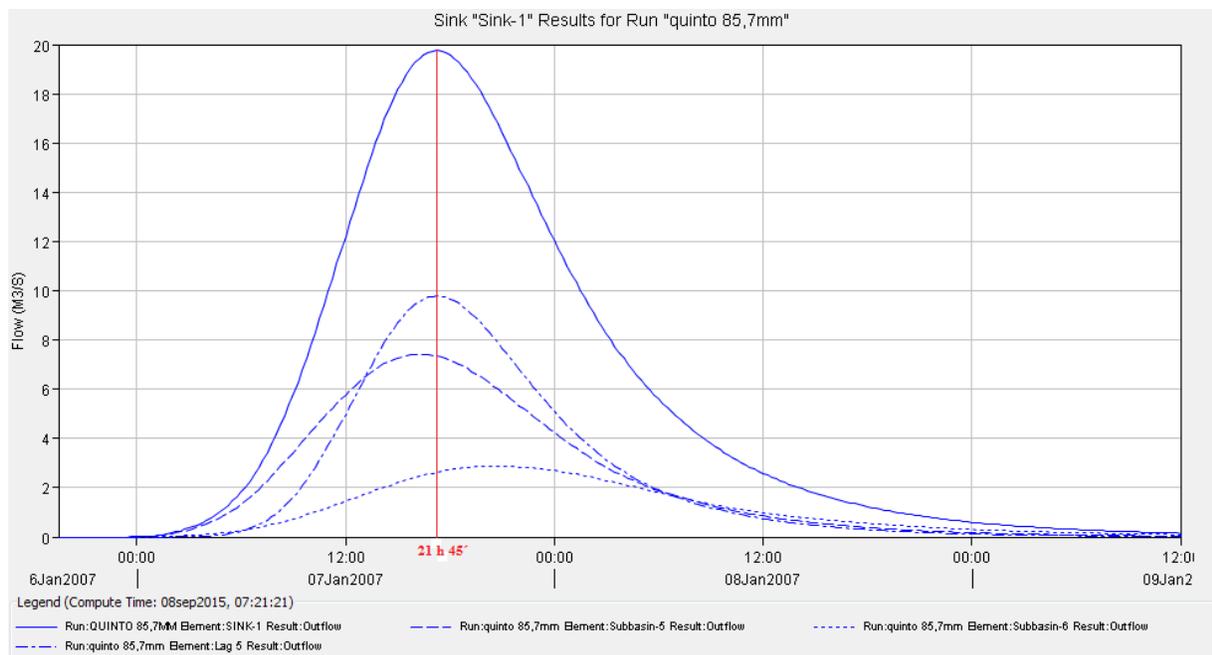


Figura N° 18: Hidrograma para la simulación “A6SC85,7”. La línea roja indica el pico de caudal y el tiempo al pico debajo de la misma.

ii.c.2. Escenario 2. Condición de Degradación.

Representa el comportamiento de la cuenca para una condición de CN= 74, representativa de la condición degradada. En la Tabla N° 6 se indican los valores de tiempo al pico, lamina y caudal pico de la cuenca.

Tabla N° 6: Resultados obtenidos para el Escenario 2. Condición Degradada.

Cond/CN	Lluvia (mm)	Situación	Tiempo al pico (hr)	Lámina Escurrída (mm)	Caudal pico (m3)	Código
Degradada CN 74	87	6SC	15h 15´	32,15	114,9	D56SC87
		56SC	13h 45	30,61	194,5	D6SC87
	85,7	6SC	19h 45´	31,04	95,7	D56SC85,7
		56SC	19h	29,52	168,1	D6SC85,7

Referencias: **CN:** representa la base de ponderación para cada situación. **Caudal pico (m³):** indica el máximo caudal que se obtiene en el punto de salida de la cuenca; **Lámina escurrida (mm):** indica la cantidad agua que escurre fuera de la cuenca expresada en lámina; **Tiempo al pico:** indica la cantidad de horas y minutos desde el inicio de la lluvia hasta que este se produce.

En las Figuras N° 19 (**D56SC87**) y N° 20 (**D6SC87**), se indica el comportamiento hidrológico de los dos modelos de cuenca para el escenario N° 2 con una lluvia de 87 mm en 6hs. Se puede observar una diferencia de caudales del orden del 40,9 % menores para el modelo de **6SC**, asociada además a un mayor tiempo al pico de 15h 15' para el modelo **6SC**. Estas diferencias podrían atribuirse al tamaño de las subcuencas analizadas, considerando que el método CN fue desarrollado para cuencas de 800 has (USDA, 1984). En este sentido se consideran valores más confiables los obtenidos por el modelo **56SC**.

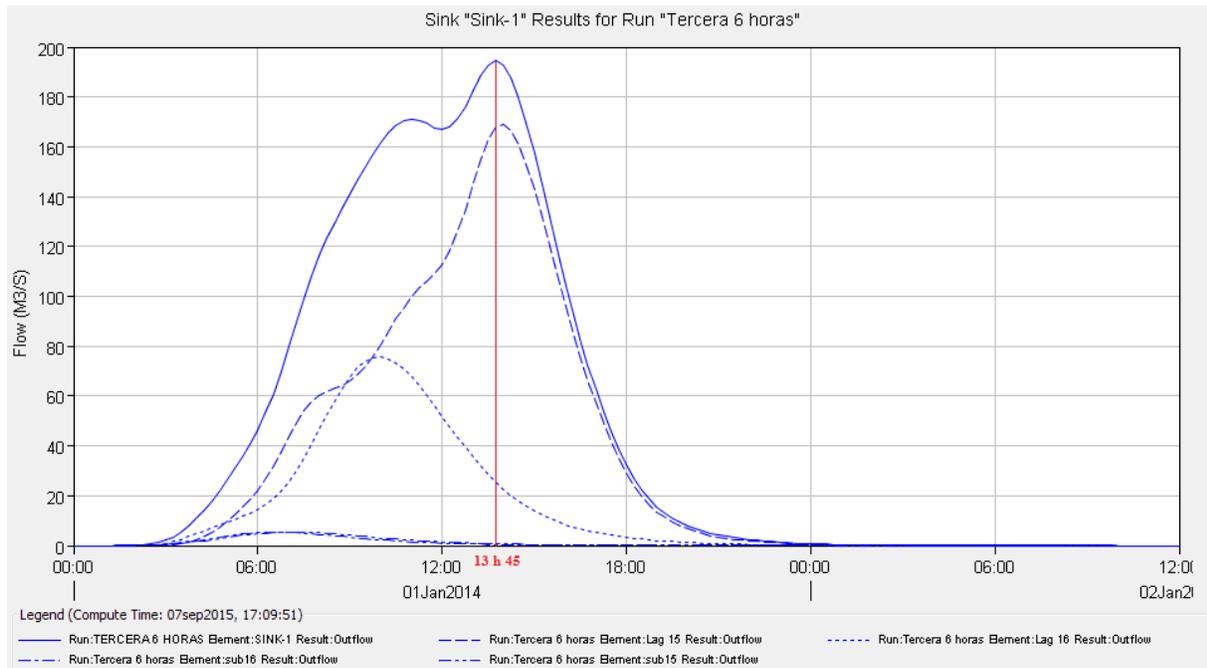


Figura N° 19: Hidrograma para la simulación “D56SC87”. La línea roja indica el pico de caudal y el tiempo al pico debajo de la misma.

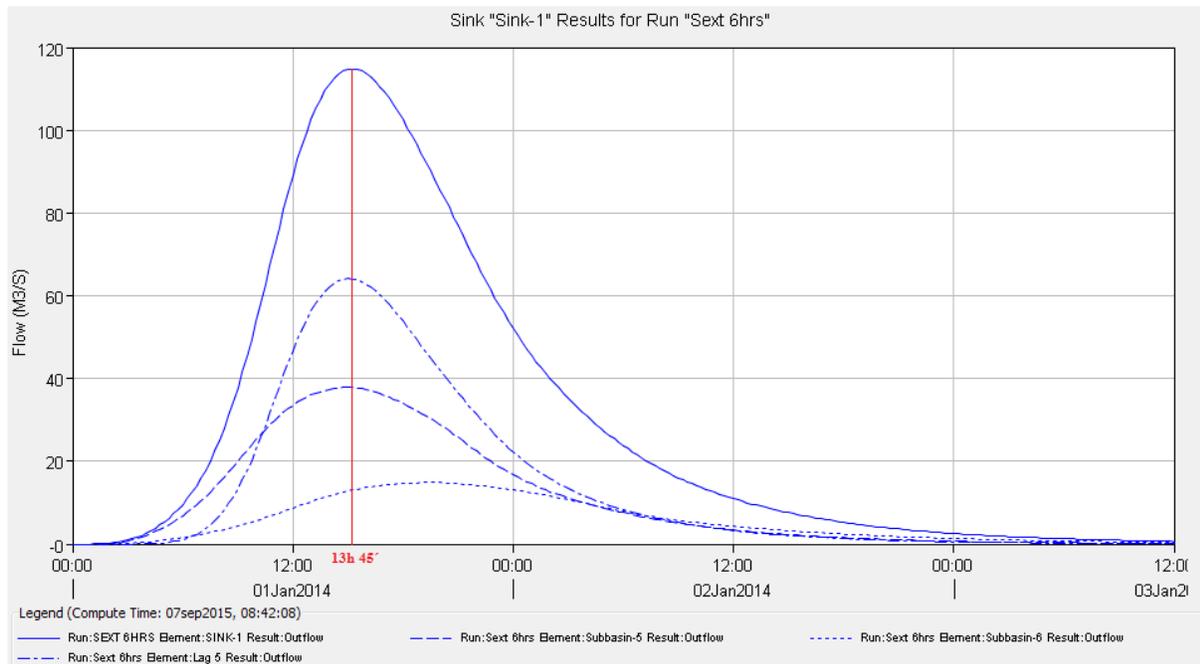


Figura N° 20: Hidrograma para la simulación "D6SC87". La línea roja indica el pico de caudal y el tiempo al pico debajo de la misma.

En las Figuras N° 21 (**D56SC85,7**) y N°22 (**D6SC85,7**), se indica el comportamiento hidrológico de los dos modelos de cuenca para el escenario N° 2 con una lluvia de 85,7 mm en 14h 30'. Se puede observar una diferencia de caudales del orden del 43 % menores para el modelo de **6SC**, asociada además a un mayor tiempo al pico de 19 h 45' para el modelo **6SC**. Estas diferencias podrían atribuirse al tamaño de las subcuencas analizadas, considerando que el método CN fue desarrollado para cuencas de 800 has (USDA, 1984). En este sentido se consideran valores más confiables los obtenidos por el modelo **56SC**.

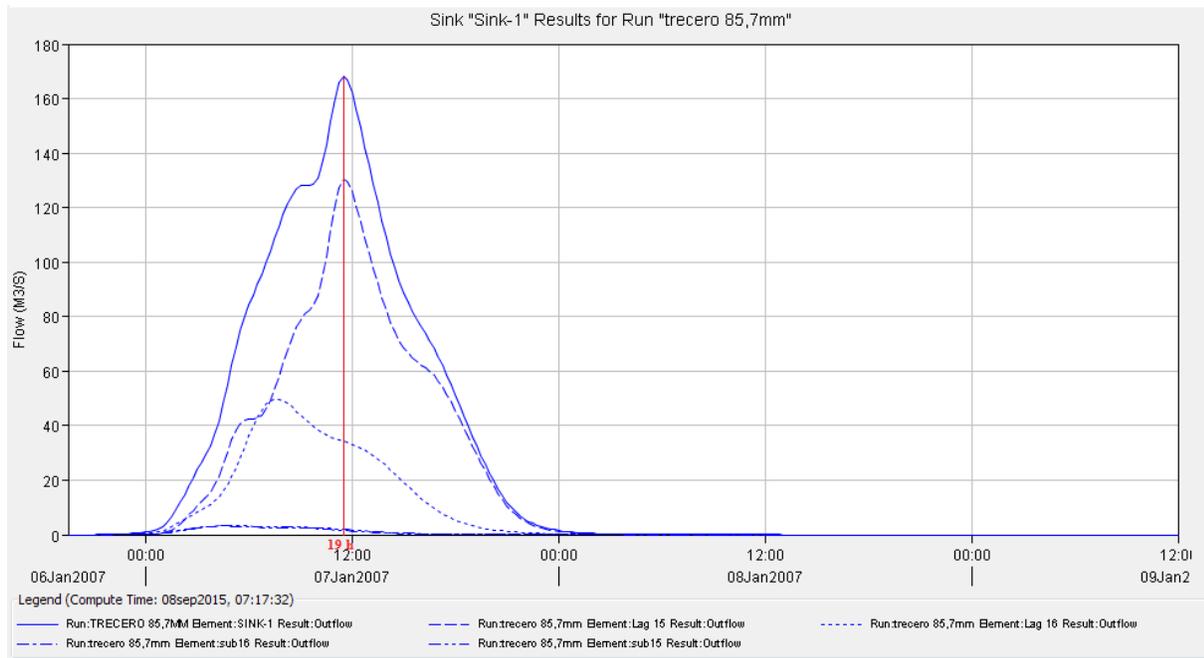


Figura N° 21: Hidrograma para la simulación “D56SC85,7”. La línea roja indica el pico de caudal y el tiempo al pico debajo de la misma.

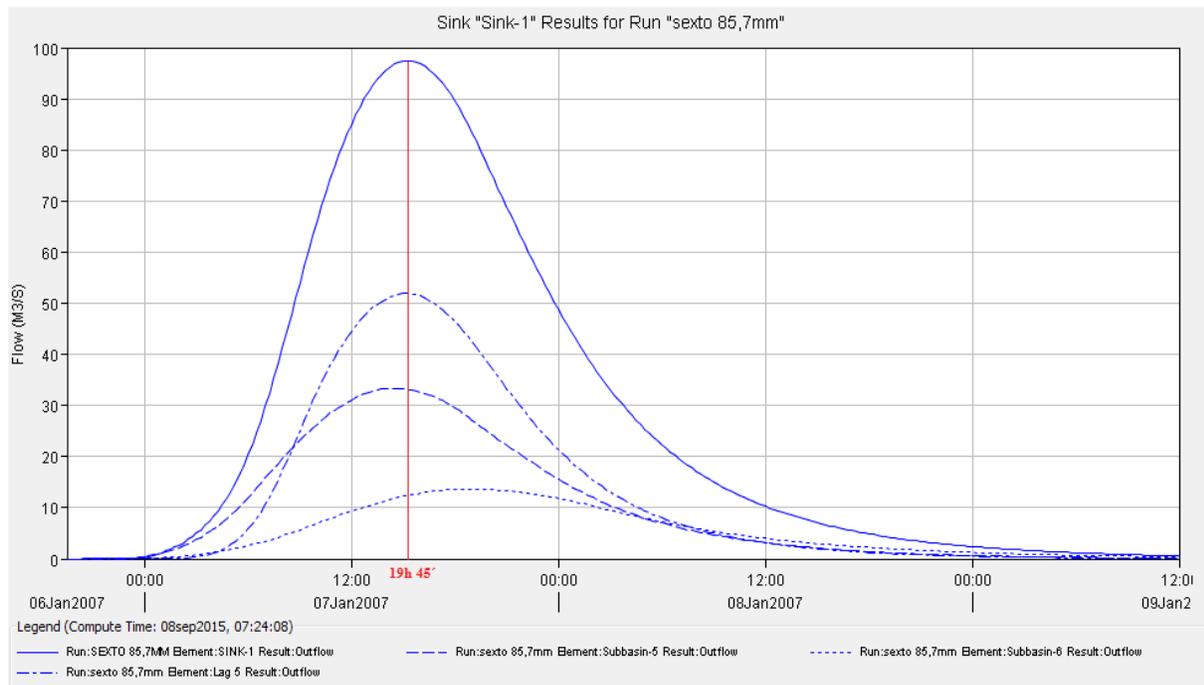


Figura N° 22: Hidrograma para la simulación “D6SC85,7”. La línea roja indica el pico de caudal y el tiempo al pico debajo de la misma.

ii.c.3. Escenario 3. Condición de Conservación.

Representa el comportamiento de la cuenca para una condición de CN= 48, representativa de la condición conservacionista. En la Tabla N° 7 se indican los valores de tiempo al pico, lamina y caudal pico de la cuenca.

Tabla N° 7: Resultados obtenidos para el Escenario 3. Condición de Conservación.

Cond/CN	Lluvia (mm)	Situación	Tiempo al pico (hr)	Lámina Escurrida (mm)	Caudal pico (m3)	Código
Conservación	87	6SC	17h 30´	4,05	12,8	C56SC87
		56SC	16h	3,4	22	C6SC87
CN 48	85,7	6SC	23h 15´	3,7	11,2	C56SC85,7
		56SC	21h 45´	3,1	15,6	D6SC85,7

Referencias: CN: representa la base de ponderación para cada situación. Caudal pico (m³): indica el máximo caudal que se obtiene en el punto de salida de la cuenca; Lámina escurrida (mm): indica la cantidad agua que escurre fuera de la cuenca expresada en lámina; Tiempo al pico: indica la cantidad de horas y minutos desde el inicio de la lluvia hasta que este se produce.

En las Figuras N° 23 (C56SC87) y N° 24 (C6SC87), se indica el comportamiento hidrológico de los dos modelos de cuenca para el escenario N° 3 con una lluvia de 87 mm en 6hs. Se puede observar una diferencia de caudales del orden del 41,8% menores para el modelo de 6SC, asociada además a un mayor tiempo al pico de 17h 30´ para el modelo 6SC. Estas diferencias podrían atribuirse al tamaño de las subcuencas analizadas, considerando que el método CN fue desarrollado para cuencas de 800 has (USDA, 1984). En este sentido se consideran valores más confiables los obtenidos por el modelo 56SC.

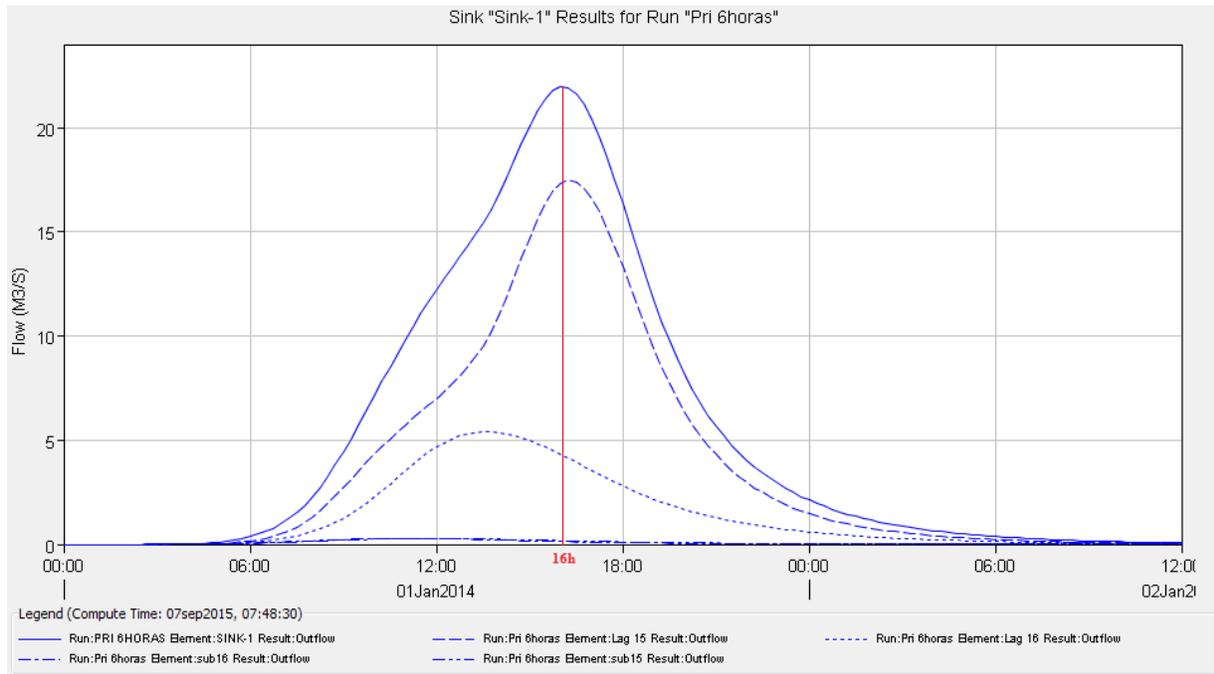


Figura N° 23: Hidrograma para la simulación "C56SC87". La línea roja indica el pico de caudal y el tiempo al pico debajo de la misma.

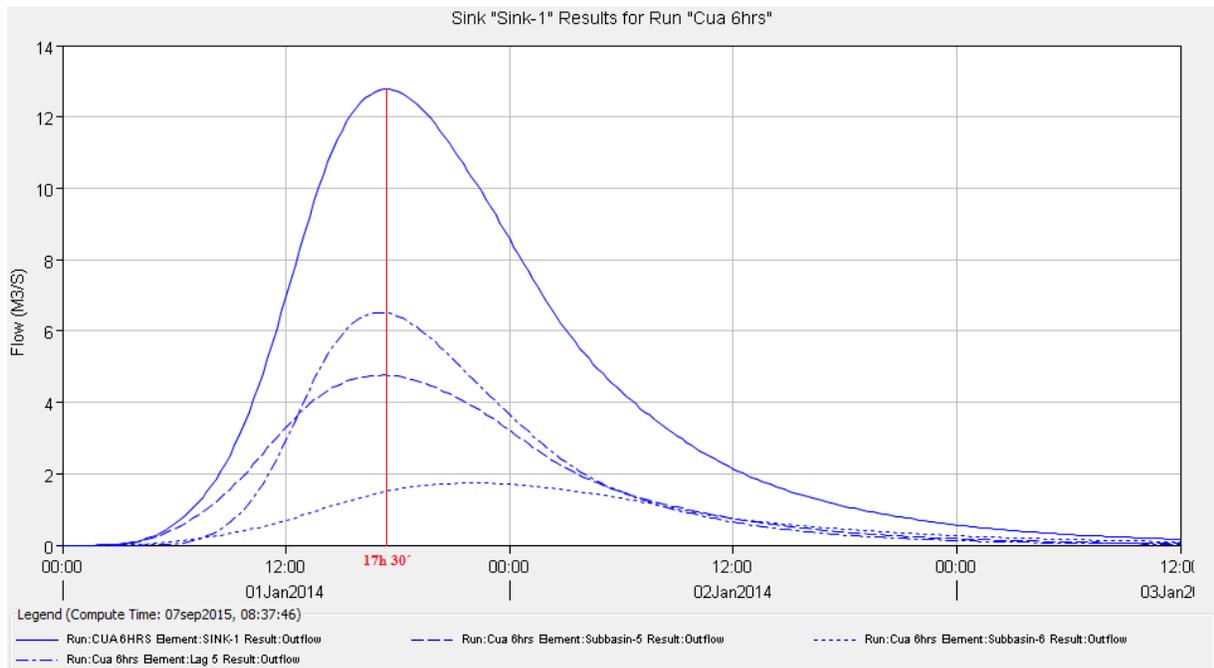


Figura N° 24: Hidrograma para la simulación "C6SC87". La línea roja indica el pico de caudal y el tiempo al pico debajo de la misma.

En las Figuras N° 25 (**C56SC85,7**) y N° 26 (**C6SC85,7**), se indica el comportamiento hidrológico de los dos modelos de cuenca para el escenario N° 3 con una lluvia de 85,7 mm en 6hs. Se puede observar una diferencia de caudales del orden del 28,2% menores para el modelo de **6SC**, asociada además a un mayor tiempo al pico de 23h 15' para el modelo **6SC**. Estas diferencias podrían atribuirse al tamaño de las subcuencas analizadas, considerando que el método CN fue desarrollado para cuencas de 800 has (USDA, 1984). En este sentido se consideran valores más confiables los obtenidos por el modelo **56SC**.

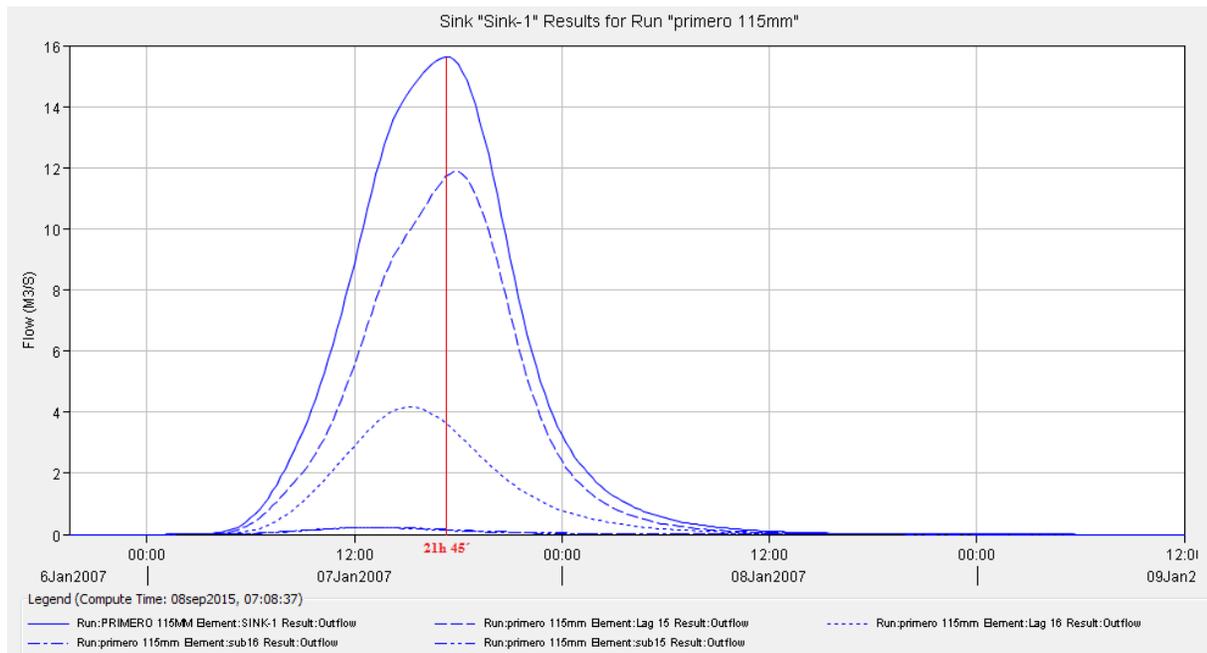


Figura N° 25: Hidrograma para la simulación “C56SC85,7”. La línea roja indica el pico de caudal y el tiempo al pico debajo de la misma.

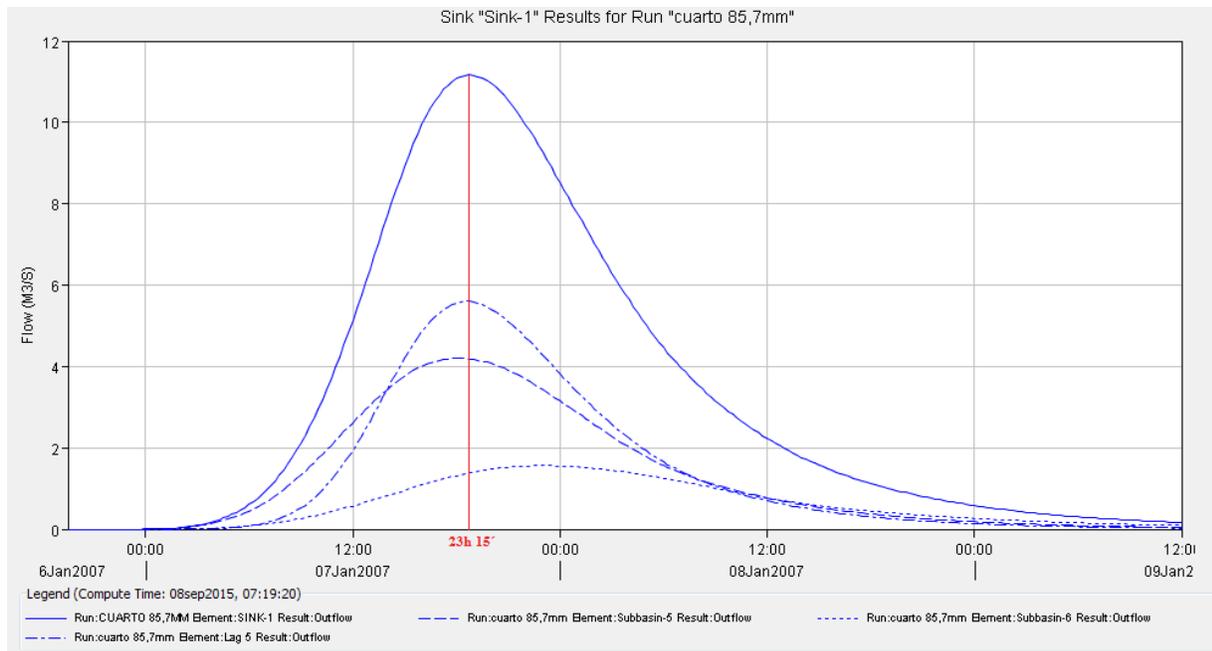


Figura N° 26: Hidrograma para la simulación “C6SC85,7”. La línea roja indica el pico de caudal y el tiempo al pico debajo de la misma.

iii. Síntesis de resultados

La combinación de actividad de campo con herramientas SIG permitió caracterizar la cuenca Arroyo Chaján:

- La superficie total definida para la cuenca es de 19.868 ha, con un total de 56 subcuencas cuyas superficies varían entre las 846 ha y las 354,8 ha, con gran predominio de suelos Francos a Franco – Arenosos. La pendiente general tiene sentido de norte a sur con un valor medio de gradiente del 1,39 %, con un valor máximo de 3,97 % y un mínimo de 0,67 %. La red de drenaje de la cuenca alcanza el 5° orden y posee una longitud total de 218.076 m. En el uso del suelo predomina la Agricultura ocupando un 44 % de la superficie total, ganadero 34% y uso mixto o agrícola-ganadero de un 34 %. Las aguas del arroyo presentaron una muy buena calidad tanto para hacienda como para riego, variando su salinidad desde 0,24 gr/lit a 4,83 gr/lit en forma creciente hacia el sector bajo de la cuenca. Se observaron daños en los caminos, especialmente en aquellos que presentan dirección norte-sur.
- Las diferencias encontradas entre los modelos de simulación (**56SC** y **6SC**), se mantienen para todas las simulaciones. Esto es atribuido a la limitante en el tamaño de la superficie de evaluación de 800 ha que impone el método de la Curva Número.

- Las principales diferencias de Caudal pico (Q_p), son atribuidas a los 3 escenarios planteados. El escenario N° 1 (situación actual), manifiesta el comportamiento de la cuenca sin que se realicen intervenciones. En el escenario N° 2 (situación degradada), se analizó el funcionamiento de la cuenca en un estado de deterioro general, mostrando un posible futuro funcionamiento de la misma si no se realizaran técnicas y manejos que eviten deterioros irreversibles. El escenario N° 3 (situación de conservación), exhibe el comportamiento de la cuenca si se realizaran técnicas de control de erosión en toda la cuenca.
- Los caudales pico para el escenario 1. Condición actual variaron entre $19,8 \text{ m}^3/\text{s}$ y $27,3 \text{ m}^3/\text{s}$.
- Los caudales pico para el escenario 2. Condición Degradada variaron entre $95,7 \text{ m}^3/\text{s}$ y $194,5 \text{ m}^3/\text{s}$.
- Los caudales pico para el escenario 3. Condición conservacionista actual variaron entre $11,2 \text{ m}^3/\text{s}$ y $22 \text{ m}^3/\text{s}$.

Conclusiones

- La combinación de las herramientas SIG con modelos hidrológicos permiten evaluar diferentes escenarios de la cuenca Arroyo Chaján.
- La simulación hidrológica de la cuenca, permitió una comprensión detallada de la misma, brindando información sobre la condición actual y sobre posibles escenarios futuros en que la misma podría encontrarse.
- La utilización combinada de SIG - Modelo Hidrológico, constituye una herramienta de interés para analizar propuestas de ordenamiento hidrológico para las cuencas hídricas.

BIBLIOGRAFÍA

- Agriculture and Agri-Food Canada: 2000, Environmental Sustainability of Canadian Agriculture: Report of the Agri-Environmental Indicator Project, in: T. J. McRae, C. A. S. Smith, and L. J. Gregorich (eds).
- Barbeito, O.; Beltramone, C.; Ambrosino, S.; Contreras, P. 2008, Estudio Geomorfológico de la Cuenca del Morro. Departamento Pedernera. (San Luis, Argentina).
- Bertalanffy, L. 1968: General System Theory, Braziller, New York. pp. 26-29
- Canale, A. (INTA Laboulaye), Montesano, A. (SECYOT-FAV-UNRC) (INTA Río Cuarto) 2012
- Cantero, A. y M. Cantu, 1985: Manejo integrado de los recursos naturales para la optimización de su productividad en el centro sur de la Provincia de Córdoba (Argentina). Revista UNRC. Vol.IV N°2. pp.173-175
- Cantero, A.; Cantu, M.; Cisneros, J.; Cantero, J.; Blarasin, M.; Becerra, V.; Gonzalez, J.; Degianni, A.; Gil, H.; De Prada, J.; Degiovanni, S.; Cholaky, C.; Villegas, M.; Cabrera, A Y C. Eric. 1998 Las tierras y aguas del sur de Córdoba; Propuestas para un manejo sustentable. (Río Cuarto, Córdoba, Argentina). UNRC
- Chow, V. Maidment, C. y L. Mays 1994. "Hidrología Aplicada". Ed. Mc Graw-Hill.
- Christian, C. y G. Stewart 1953: Summary of genral report on Survey of Katherine-Darwin Region, 1946 (CSIRO) Land Research Series, 1. pp.24.
- Cisneros, J. Bases para el ordenamiento territorial del sur de Córdoba (Argentina). El caso de la Cuenca de los Arroyos Menores. Tesis Doctoral. 2010.
- Cisneros, J., Degioanni, A., Diez, A., Bergesio, A., Cantero, A. y González, J. 2012a. Inundación, Anegamiento y Erosión de Tierras en el sur este de Córdoba. Universidad Nacional de Río Cuarto.
- Cisneros, J.; Cholaky, C.; Cantero, A.; Gonzalez, J.; Reynero, M.; Diez, A.; Bergesio, L.; Cantero, J.; Nuñez, C.; Amuchastegui, A.; Degioanni, A. 2012b. Erosión Hídrica. Principios y técnicas de manejo. UNRC.
- Colby, M. E. 1989 "The evolution of Paradigms of Environmental Management in Development, SRP Discussion Paper N°1".
- Colombo, G.; González, J. y C. Cholaky Pérez. 2012. Rendimiento de maíz sembrado en curvas de nivel en función del contenido hídrico edáfico. XIX Congreso Latinoamericano y XXIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Mar del Plata, Argentina. Actas.
- Comas, D. y E. Ruiz. 1993: Fundamentos en Sistemas de información Geográfica, Barcelona, Ariel.

- Corral M., González J., Castelló E. Giovine L. y Vilchez G. FCEFyN, UNC – FAYV, UNRC, 2009. Ajuste del Modelo Hidrológico HEC-HMS para la cuenca Achiras – El Gato, Córdoba, Argentina.
- De Rosnay., 1974 An introduction to database systems. The systems programming series. Addison-Wesley.
- Degioanni, A. 1995: Aplicación de un SIG para la estimación de caudales extraordinarias en la región centro-sur de Córdoba. Universidad de Alcalá de Henares. España. Inédito.
- Degioanni, A. 1998. Organización territorial de la producción agraria en la región de Río Cuarto (Argentina). Tesis Doctoral. Universidad de Alcalá de Henares. España.
- Degioanni, A.; Delmonte, C.; Moreno, S. 2002. Las inundaciones en la provincia de Córdoba (Argentina). Breve descripción del problema y síntesis de la cartografía disponible.
- Degioanni, A.; Gil, H.; Becerra, V.; Bonadeo, E.; Cisneros, J.; de Prada, J.; Diez, A.; Bergesio, L. y Cantero, G.A. 2012. Cultivos, Uso y Manejo de los suelos en el Sur de Córdoba. Enseñanzas de la sequía 2011-2012. Universidad Nacional de Río Cuarto – Facultad de Agronomía y Veterinaria.
- Diaz de Teran Mira, J. 1989. Tipos y metodologías de cartografías geoambientales o geocientíficas. En: F. Ayala y J. Jordá (Eds.). Geología Ambiental. ITGE. pp. 239-254.
- Schwab, G. Fangmeier, D.; Elliot, W.; Workman, S.; Huffman, R.; 2006. “Soil and Water, Conservation Engineering”. Fifth Edition.
- G. Bavera 2009: Aguas y Aguadas para el ganado, 3ª edición del autor, Río Cuarto., pag 123-125
- Gil, H.A., de Prada, J.D., Hernandez, J., Pereyra, C. y A.R. Angeli. 2008. Análisis de la Percepción del Productor sobre la Problemática Ambiental. En: de Prada J.D. y J. Penna (Eds.) Percepción económica y visión de los productores agropecuarios de los problemas ambientales en el Sur de Córdoba, Argentina. Instituto de Economía y Sociología INTA, 94 pp.
- Gonzales, J. 1999 Sistemas de información geográfica (SIG) y modelos hidrológicos: Articulación para el estudio de una cuenca representativa en Córdoba, (Argentina). Tesis de Magister. Maestría en planificación y manejo de cuencas hidrográficas Universidad Nacional del Comahue.
- Google earth 2013. <http://www.google.com>. Imagen tomada año 2013.
- Gorgas. Lovera. Agencia Córdoba Ambiente 2006, Área Subordinación Suelos, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, EEA Manfredi, Córdoba. “Recursos Naturales de la Provincia de Córdoba, Los Suelos”. Escala 1 : 500.000.
- Karplus, W. 1983: The spectrum of mathematical model, Perspectives in computing. Vol. 3. N° 2.

- Llamas, J. 1993: Hidrología General, Principios y aplicaciones. Servicio Editorial. Universidad del País Vasco.
- Maguire, D. 1991: An overview and definition of GIS. En: D. Maguire, M. Goodchild y D. Rhind (EDS) Geographical Information Systems, Vol 1. Longman, New York.
- Maidment, D.; Ed. Goodrich, M.; Parks, B. And L. Steyaert. 1993: GIS and hydrologic models. Environmental Modeling with GIS. pp. 147-167.
- Maxwell, T.; Birnie, R. Matthews, K. 1995 Enfoques comparados sobre estrategias de uso de las tierras en las agriculturas tradicionales y modernas. En: II Seminario Internacional Desarrollo Agropecuario Sustentable. Estrategias para el uso agropecuario del territorio. (Editado por INTA, INDEC), Buenos Aires.
- Maza, J., Fornero, L., Litwin, C. y P. Hernandez 1993: ARHymo Manual del Usuario. INCYTH-Centro Regional Andino. Mendoza.
- Meijerink, A.; Brouwer, H.; Mannaerts, C. y C. Valenzuela, 1994. Introduction to the Use of GIS for Practical Hydrology, ITC:Publication Number 23. The Netherlands. Pp 1-11.
- Morgan R.P.C. y R. J. Rickson, (1995). Slope Stabilization and Erosion Control- A Bioengineering Approach. E & FN SPON. Inglaterra. 274 pp.
- NCGIA 1990: National Center for Geographic Information and Analisis. M. Goodchild y K. Kemp (eds). Vol. 1. Universidad de California. EE.UU.
- Quantum GIS Development Team (2012). Quantum GIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project. <http://qgis.osgeo.org>
- Rumie Vittar, R.; Cabrera, A; Blarasin, M. (2009) Monitoreo de la variación espacio-temporal de las relaciones hidrodinámicas y geoquímicas entre agua superficial y subterránea mediante geoindicadores en la cuenca arroyo Chaján. Universidad Nacional de Río Cuarto.
- The CGIAR Consortium for Spatial Information (CGIAR-CSI). <http://srtm.csi.cgiar.org/> .
- Tricart, J. 1973: Geomorfología de la Pampa Deprimida, Col. Científica N°12 INTA. Buenos Aires.
- Troeh, F.R., Hobbs, J.A. y R.L. Donahue, R.L. (1991). Soil and Water Conservation. Second Edition. Prentice Hall, Inc. 530 pp.
- Troll, K. 1966: Landscape ecology, Paper S 4 of the proceedings of the 1st. International Seminar on Integrated Survey of the Natural Environment. ITC-UNESCO Centre on Integrated Survey, Delft April 1966.
- USACE (US Army Corp of Engineers). 2009. HEC-HMS Hydrologic model System, V 3.4. Diciembre 2009. <http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/>. Consultado año 2013.

- USDA-SCS. 1972. Section 4: Hydrology. In National Engineering Handbook (NEH). Washington, D.C.: USDA Soil Conservation Service.
- Zonneveld, I.S. 1979: Evaluación de Tierras y Ciencia del Paisaje. Ministerio de Agricultura y Ganadería de Uruguay, Uruguay 92 p. Versión española por L. de León.

ANEXO

Distribución de precipitaciones: A continuación puede observarse en la tabla de distribución de las precipitaciones simuladas en HEC-HMS, para la cuenca Chaján (115 mm), con datos ponderados de la precipitación validada para la cuenca El Gato (87,5 mm) en el mismo período de tiempo (6-7/01/2009).

Tabla Anexo N° 1: distribución de la precipitación para ambas cuencas en el mismo período de tiempo.

Fecha	Hora	El Gato	Chaján	Fecha	Hora	El Gato	Chaján	Fecha	Hora	El Gato	Chaján
06-ene-07	19:30	1,5	2,0	07-ene-07	00:30	1,0	1,3	07-ene-07	05:30	1,0	1,3
06-ene-07	19:45	0,0	0,0	07-ene-07	00:45	1,5	2,0	07-ene-07	05:45	0,8	1,1
06-ene-07	20:00	10,2	13,7	07-ene-07	01:00	1,0	1,3	07-ene-07	06:00	0,8	1,1
06-ene-07	20:15	4,6	6,2	07-ene-07	01:15	2,3	3,1	07-ene-07	06:15	0,5	0,7
06-ene-07	20:30	0,5	0,7	07-ene-07	01:30	1,5	2,0	07-ene-07	06:30	1,0	1,3
06-ene-07	20:45	0,3	0,4	07-ene-07	01:45	1,3	1,7	07-ene-07	06:45	1,0	1,3
06-ene-07	21:00	7,1	9,5	07-ene-07	02:00	0,8	1,1	07-ene-07	07:00	0,3	0,4
06-ene-07	21:15	0,3	0,4	07-ene-07	02:15	0,5	0,7	07-ene-07	07:15	0,3	0,4
06-ene-07	21:30	0,0	0,0	07-ene-07	02:30	0,3	0,4	07-ene-07	07:30	0,5	0,7
06-ene-07	21:45	0,0	0,0	07-ene-07	02:45	1,0	1,3	07-ene-07	07:45	0,3	0,4
06-ene-07	22:00	0,0	0,0	07-ene-07	03:00	0,5	0,7	07-ene-07	08:00	0,5	0,7
06-ene-07	22:15	0,0	0,0	07-ene-07	03:15	1,0	1,3	07-ene-07	08:15	0,3	0,4
06-ene-07	22:30	0,0	0,0	07-ene-07	03:30	0,5	0,7	07-ene-07	08:30	0,0	0,0
06-ene-07	22:45	0,0	0,0	07-ene-07	03:45	1,3	1,7	07-ene-07	08:45	0,3	0,4
06-ene-07	23:00	0,5	0,7	07-ene-07	04:00	0,3	0,4	07-ene-07	09:00	0,0	0,0
06-ene-07	23:15	7,1	9,5	07-ene-07	04:15	0,8	1,1	07-ene-07	09:15	0,0	0,0
06-ene-07	23:30	13,5	18,1	07-ene-07	04:30	1,3	1,7	07-ene-07	09:30	0,0	0,0
06-ene-07	23:45	7,4	9,9	07-ene-07	04:45	1,3	1,7	07-ene-07	09:45	0,3	0,4
07-ene-07	00:00	3,0	4,0	07-ene-07	05:00	0,8	1,1				
07-ene-07	00:15	1,5	2,0	07-ene-07	05:15	1,3	1,7				

Pendientes y superficie ocupada por cada subcuenca: En la tabla Anexo N° 2 y N° 3 se detallan los valores definidos de superficie (ha) y pendiente (%) para cada una de las subcuencas delimitadas en el modelo detallado.

Tabla Anexo N° 2: Superficie de cada subcuenca expresada en Hectáreas.

id	Superficie (ha)						
1	295	15	488	29	708	43	162
2	254	16	441	30	779	44	337
3	114	17	740	31	348	45	174
4	180	18	255	32	737	46	107
5	61	19	354	33	630	47	671
6	191	20	746	34	198	48	529
7	91	21	511	35	398	49	590
8	152	22	397	36	453	50	86
9	255	23	267	37	381	51	309
10	205	24	412	38	221	52	477
11	95	25	846	39	364	53	327
12	65	26	644	40	124	54	270
13	148	27	354	41	529	55	219
14	201	28	212	42	558	56	220

Referencias: id: Identificador de cada subcuenca; Superficie (ha): representa la cantidad de superficie en hectáreas ocupada por cada una de las subcuencas.



Figura Anexo N° 1: Cuenca y subcuencas (línea negra), número asignado a cada subcuenca (azul).
(Elaboración propia)

Tabla Anexo N° 3: Pendiente media de cada subcuenca.

id	S media (%)						
1	3,25	15	0,76	29	0,76	43	3,41
2	3,15	16	1,01	30	0,61	44	2,93
3	2,99	17	1,48	31	0,69	45	3,18
4	2,75	18	1,67	32	1,11	46	3,44
5	3,97	19	0,82	33	1,98	47	0,944
6	2,79	20	0,99	34	1,64	48	1,12
7	2,7	21	1,02	35	1,18	49	0,78
8	2,8	22	1,17	36	1,89	50	2,95
9	2,92	23	0,96	37	2,1	51	0,76
10	2,51	24	0,84	38	2,39	52	1,12
11	2,51	25	0,73	39	1,58	53	1,77
12	2,12	26	0,74	40	2,15	54	0,73
13	2,14	27	0,65	41	1,72	55	0,77
14	2,49	28	0,63	42	0,88	56	0,72

Referencias: **S media (%)**: representa la pendiente media de cada subcuenca; **id**: representa el identificador de cada subcuenca.

En la figura Anexo N° 2 se identifica la red de drenaje de la cuenca con la clasificación por órdenes.

En la tabla Anexo N° 4 se detallan las distancias de red de drenaje en cada subcuenca.

Tabla Anexo N° 4: Distancia de red de drenaje presente en cada subcuenca en metros.

id	Long Red Dren (m)						
1	6.166,85	15	5.070,13	29	2.662,96	43	3.319
2	7.111,9	16	3.041,38	30	1.837,87	44	4.221,33
3	6.076,17	17	5.228,29	31	1.735,15	45	2.239,44
4	2.882,55	18	2.872,44	32	4.043,41	46	756,9
5	3.646,94	19	2.390,61	33	7.398,01	47	1.843,27
6	777,05	20	3.065,56	34	1.811,14	48	6.097,61
7	2.984,56	21	4.539,32	35	5.278,68	49	1.542,94
8	1.350,9	22	961,74	36	3.292,4	50	2.070,41
9	4.193,79	23	5571,2	37	3.211,05	51	3.603,25
10	2.751,67	24	604,33	38	2.390,46	52	3.548,06
11	4.113,26	25	5.407,6	39	1.485,01	53	3.981,09
12	1.093,18	26	1.887,97	40	1.474,76	54	1.423,71
13	1.597,42	27	2.986,38	41	2.354,91	55	1.032,64
14	2.970,12	28	1.013,31	42	3.790,02	56	2.734,61

Referencias: **id**: Identificador de la subcuenca; **Long Red Dren (m)**: representa la longitud total en metros de las redes de drenaje que posee cada subcuenca.

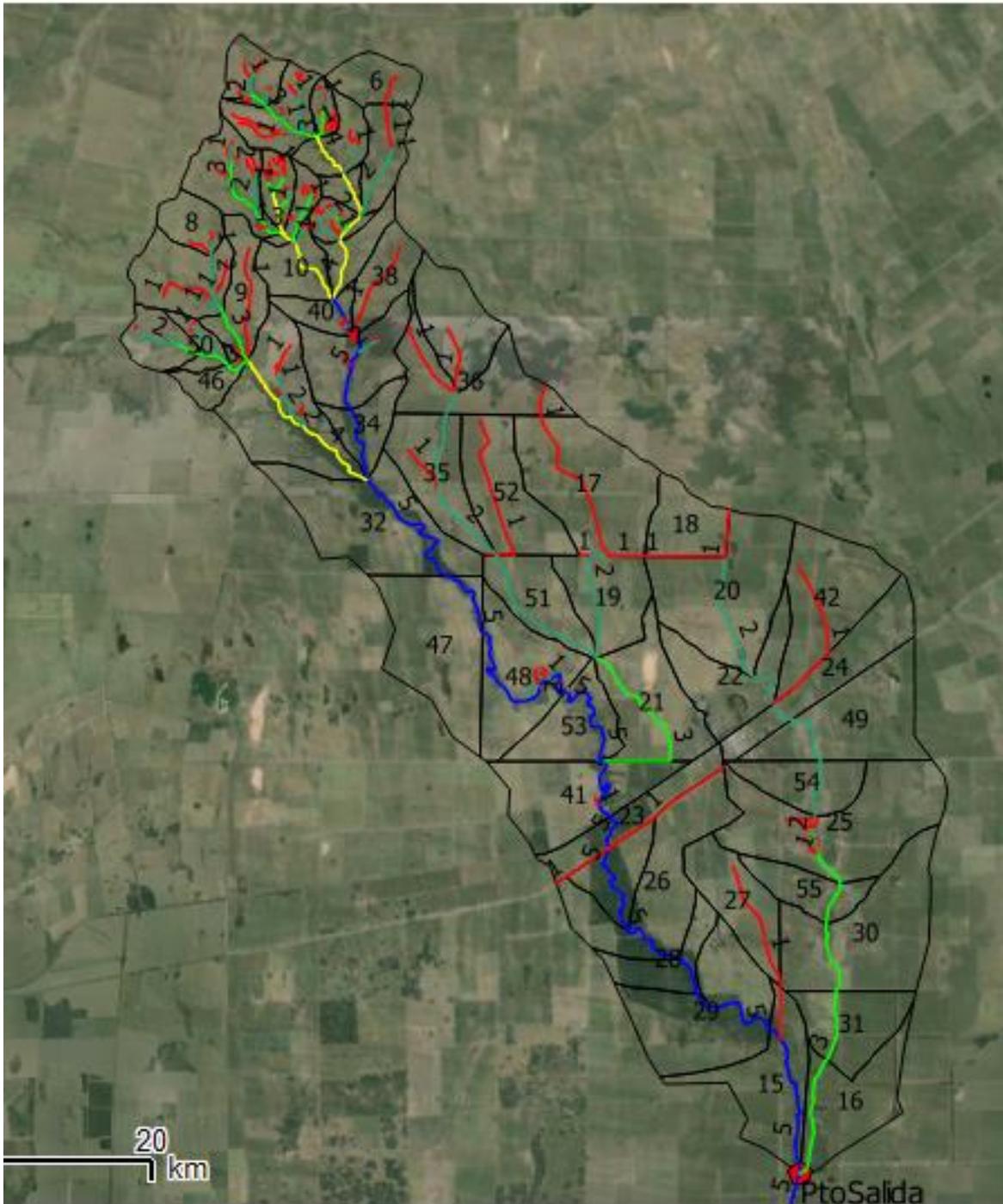


Figura Anexo N° 2 Red de drenaje de la cuenca categorizada por orden (Rojo primario; Celeste secundario; Verde terciario; Amarillo Cuaternario y Azul de quinto orden). (Elaboración propia)

Valores de Curva Número: Los valores definidos para cada subcuenca se detallan en la tabla Anexo N° 5, detallando las características de Grupo Hidrológico, Uso, Manejo y Estado predominante en cada una de ellas. En la tabla Anexo N° 6 se describen los valores ponderados de CN para cada subcuenca tomando como base los datos de CN validados de la cuenca El Gato, para la condición actual y para cada uno de los 2 escenarios planteados

Tabla Anexo N° 5: Valor de Curva Número (CN) de cada subcuenca

Id	GH	Uso	Manejo	Estado	CN Actual
1	C	Pastizales		Regular	79
2	C	Pastizales		Regular	79
3	C	Pastizales		Regular	79
4	C	Pastizales		Regular	79
5	C	Pastizales		Regular	79
6	C	Pastizales		Regular	79
7	C	Pastizales		Regular	79
8	C	Pastizales		Regular	79
9	C	Pastizales		Regular	79
10	C	Pastizales		Regular	79
11	C	Pastizales		Regular	79
12	C	Pastizales		Regular	79
13	C	Pastizales		Regular	79
14	C	Pastizales		Regular	79
15	B	Praderas	Surcos Rectos	Bueno	72
16	B	Praderas	Surcos Rectos	Bueno	72
17	B	Cultivos en Surcos	Surcos Rectos	Bueno	78
18	B	Cultivos en Surcos	Surcos Rectos	Bueno	78
19	B	Cultivos en Surcos	Surcos Rectos	Bueno	78
20	B	Cultivos en Surcos	Surcos Rectos	Bueno	78
21	B	Praderas en Rotación	Surcos Rectos	Bueno	72
22	B	Praderas en Rotación	Surcos Rectos	Bueno	72
23	B	Praderas en Rotación	Surcos Rectos	Bueno	72
24	B	Praderas en Rotación	Surcos Rectos	Bueno	72
25	B	Praderas en Rotación	Surcos Rectos	Bueno	72
26	B	Praderas en Rotación	Surcos Rectos	Bueno	72
27	B	Praderas en Rotación	Surcos Rectos	Bueno	72
28	B	Praderas en Rotación	Surcos Rectos	Bueno	72
29	B	Praderas en Rotación	Surcos Rectos	Bueno	72
30	B	Praderas en Rotación	Surcos Rectos	Bueno	72
31	B	Praderas en Rotación	Surcos Rectos	Bueno	72
32	B	Cultivos en Surcos	Surcos Rectos	Bueno	72

33	C	Cultivos en Surcos	Surcos Rectos	Bueno	85
34	C	Cultivos en Surcos	Surcos Rectos	Bueno	85
35	B	Cultivos en Surcos	Surcos Rectos	Bueno	78
36	C	Praderas en Rotación	Surcos Rectos	Bueno	81
37	C	Praderas en Rotación	Surcos Rectos	Bueno	81
38	C	Praderas en Rotación	Surcos Rectos	Bueno	81
39	C	Praderas en Rotación	Surcos Rectos	Bueno	81
40	C	Praderas en Rotación	Surcos Rectos	Bueno	81
41	B	Praderas en Rotación	Surcos Rectos	Bueno	72
42	B	Praderas en Rotación	Surcos Rectos	Bueno	72
43	C	Pastizales		Regular	79
44	C	Pastizales		Regular	79
45	C	Pastizales		Regular	79
46	C	Pastizales		Regular	79
47	B	Cultivos en Surcos	Surcos Rectos	Bueno	78
48	B	Cultivos en Surcos	Surcos Rectos	Bueno	78
49	B	Cultivos en Surcos	Surcos Rectos	Bueno	78
50	C	Pastizales		Regular	79
51	B	Cultivos en Surcos	Surcos Rectos	Bueno	78
52	B	Cultivos en Surcos	Surcos Rectos	Bueno	78
53	B	Cultivos en Surcos	Surcos Rectos	Bueno	78
54	B	Cultivos en Surcos	Surcos Rectos	Bueno	78
55	B	Cultivos en Surcos	Surcos Rectos	Bueno	78
56	B	Cultivos en Surcos	Surcos Rectos	Bueno	78

*Referencias: **Id**: Representa el identificador asignado a cada subcuenca; **GH**: Representa el grupo hidrológico a la que pertenece cada subcuenca; **USO**: Indica el uso mayoritario de la superficie de cada subcuenca; **MANEJO**: Indica el método de manejo mayoritario de cada subcuenca; **ESTADO**: Indica la condición actual de cada subcuenca. Estos resultados fueron definidos y corroborados en las giras de reconocimiento.*

Tabla Anexo N° 6: Valores de CN Ponderados para la situación actual de la cuenca.

id	CN Validada 52						
1	50,85	15	49,59	29	51,50	43	55,79
2	50,85	16	49,59	30	51,50	44	51,50
3	50,85	17	50,85	31	55,79	45	55,79
4	50,85	18	50,85	32	51,50	46	51,50
5	50,85	19	50,85	33	49,59	47	51,50
6	50,85	20	47,26	34	49,59	48	55,79
7	50,85	21	50,85	35	51,50	49	55,79
8	50,85	22	50,85	36	51,50	50	55,79
9	50,85	23	50,85	37	55,79	51	55,79
10	50,85	24	50,85	38	55,79	52	55,79
11	50,85	25	51,50	39	55,79	53	55,79
12	50,85	26	51,50	40	55,79	54	51,50
13	47,26	27	51,50	41	55,79	55	51,50
14	49,59	28	51,50	42	55,79	56	51,50

Referencias: id: Identificador de subcuenca; CN Validada 52: Nuevo valor asumido por cada subcuenca con la Curva Número 52 Validada como parámetro referencia.

Tiempos de concentración y Tiempo Lag: En la tabla Anexo N° 7 se detallan los valores obtenidos para cada subcuenca en los 3 escenarios planteados. En la tabla Anexo N° 8 se encuentran los resultados obtenidos para el modelo simplificado.

Tabla Anexo N° 7 de tiempo de concentración y traslado o lag de c/u con su valor de CN.

id	CN Validada 74	TC(min)	Tlag(min)	CN Validada 52	TC(min)	Tlag(min)	CN Validada 48	TC(min)	Tlag(min)
1	72,36	137	-	50,85	240	-	46,94	265	-
2	72,36	114	69	50,85	199	120	46,94	220	132
3	72,36	101	61	50,85	176	106	46,94	195	117
4	72,36	120	72	50,85	210	126	46,94	232	139
5	72,36	66	-	50,85	115	-	46,94	127	-
6	72,36	85	-	50,85	149	-	46,94	165	-
7	72,36	105	63	50,85	183	110	46,94	202	121
8	72,36	92	-	50,85	160	-	46,94	177	-
9	72,36	157	94	50,85	274	165	46,94	303	182
10	72,36	117	70	50,85	204	123	46,94	226	136
11	72,36	72	43	50,85	126	76	46,94	140	84
12	72,36	89	53	50,85	155	93	46,94	172	103
13	67,25	190	114	47,26	316	190	43,62	348	209
14	70,57	147	88	49,59	252	151	45,78	278	167
15	70,57	412	247	49,59	705	423	45,78	778	467
16	70,57	364	218	49,59	623	374	45,78	688	413

17	72,36	235	141	50,85	410	246	46,94	453	272
18	72,36	158	-	50,85	275	-	46,94	304	-
19	72,36	238	143	50,85	415	249	46,94	458	275
20	67,25	341	205	47,26	569	341	43,62	625	375
21	72,36	307	184	50,85	535	321	46,94	592	355
22	72,36	241	145	50,85	420	252	46,94	464	279
23	72,36	284	170	50,85	495	297	46,94	548	329
24	72,36	350	210	50,85	610	366	46,94	675	405
25	73,29	341	205	51,50	601	360	47,54	665	399
26	73,29	389	234	51,50	685	411	47,54	758	455
27	73,29	364	-	51,50	640	-	47,54	709	-
28	73,29	251	151	51,50	443	266	47,54	490	294
29	73,29	265	159	51,50	467	280	47,54	517	310
30	73,29	421	253	51,50	742	445	47,54	821	492
31	79,40	211	127	55,79	400	240	51,50	445	267
32	73,29	354	212	51,50	623	374	47,54	689	414
33	70,57	259	156	49,59	444	267	45,78	490	294
34	70,57	175	105	49,59	301	180	45,78	332	199
35	73,29	278	167	51,50	489	294	47,54	541	325
36	73,29	185	111	51,50	325	195	47,54	359	216
37	79,40	139	84	55,79	263	158	51,50	293	176
38	79,40	123	-	55,79	232	-	51,50	258	-
39	79,40	171	-	55,79	323	-	51,50	360	-
40	79,40	107	64	55,79	201	121	51,50	224	135
41	79,40	155	93	55,79	294	176	51,50	327	196
42	79,40	276	-	55,79	522	-	51,50	582	-
43	79,40	70	-	55,79	133	-	51,50	148	-
44	73,29	121	73	51,50	213	128	47,54	235	141
45	79,40	77	-	55,79	145	-	51,50	162	-
46	73,29	89	53	51,50	157	94	47,54	174	104
47	73,29	244	146	51,50	429	257	47,54	474	285
48	79,40	199	120	55,79	377	226	51,50	420	252
49	79,40	260	156	55,79	492	295	51,50	548	329
50	79,40	82	49	55,79	155	93	51,50	172	103
51	79,40	256	153	55,79	483	290	51,50	538	323
52	79,40	198	119	55,79	375	225	51,50	418	251
53	79,40	127	76	55,79	240	144	51,50	268	161
54	73,29	236	142	51,50	416	249	47,54	460	276
55	73,29	242	145	51,50	426	255	47,54	471	282
56	73,29	254	152	51,50	447	268	47,54	495	297

Tabla Anexo N° 8 de valores de los atributos de cada subcuenca en el modelo simplificado.

	Nº Subcuenca	Val Pond CN	Tc (min)	Tlag (min)
CN Actual Validada 74	1	71,59	427	256
	2	70,51	345	207
	3	73,29	615	369
	4	73,54	669	402
	5	79,00	645	387
	6	77,23	902	541
CN Degradada Validada 52	1	50,30	739	443
	2	49,55	592	355
	3	51,50	1083	650
	4	51,68	1181	709
	5	55,52	1213	728
	6	54,27	1658	995
CN Conservacionista Validada 48	1	46,44	816	490
	2	45,74	653	392
	3	47,54	1198	719
	4	47,70	1307	784
	5	51,25	1351	811
	6	50,09	1843	1106

*Referencias: **Val Pond CN** Representa el valor de CN de cada subcuenca; **Tc (min)** Representa el tiempo de concentración para cada subcuenca; **Tlag (min)** Representa el tiempo de traslado o tiempo lag de cada subcuenca.*

Composición gráfica del modelo simplificado con cada una de sus subcuencas y su conformación (Figuras anexo N° 3 y 4). En la tabla Anexo N° 9 se describe como cada nueva subcuenca está compuesta por las subcuencas del modelo simplificado.

Tabla Anexo N° 9: Resultados de la composición en el modelo simplificado para cada subcuenca definida.

N° Subcuenca	1	2	3	4	5	6
Subcuencas que componen la cada subcuenca en el modelo simplificado	1	8	32	17	15	16
	2	9	47	19	23	18
	3	33	48	21	26	20
	4	44	53	35	27	22
	5	45		36	28	24
	6	46		39	29	25
	7	50		51	41	30
	10			52	56	31
	11					42
	12					49
	13					54
	14					55
	34					
	37					
	38					
	40					
43						

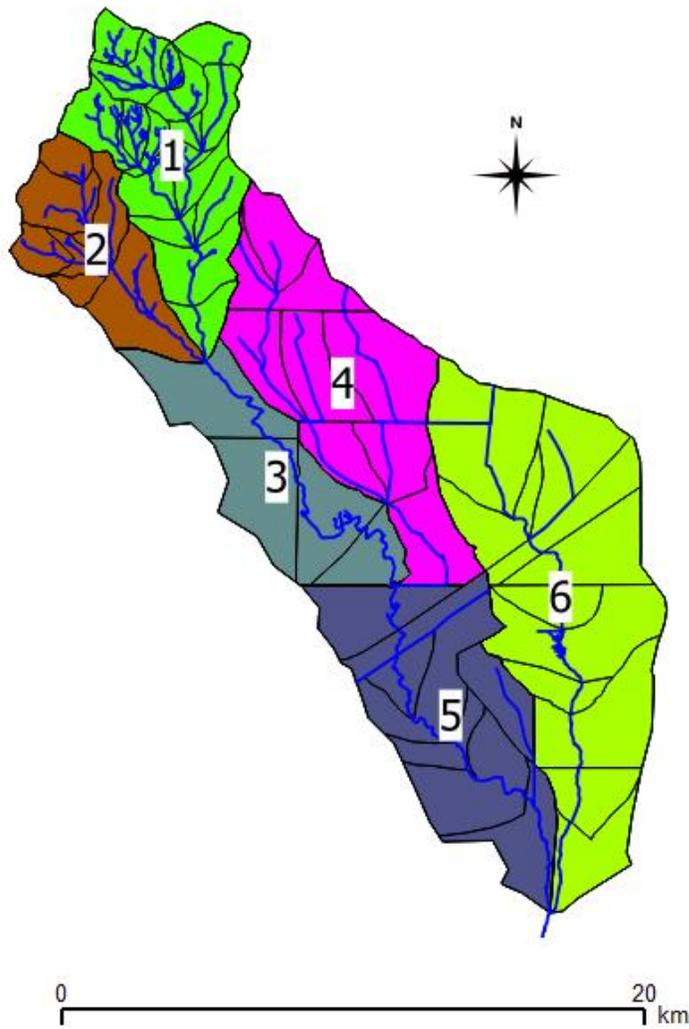


Figura Anexo N° 3: Representación simplificada de la cuenca Arroyo, integrada por 6 subcuencas. (Elaboración propia)

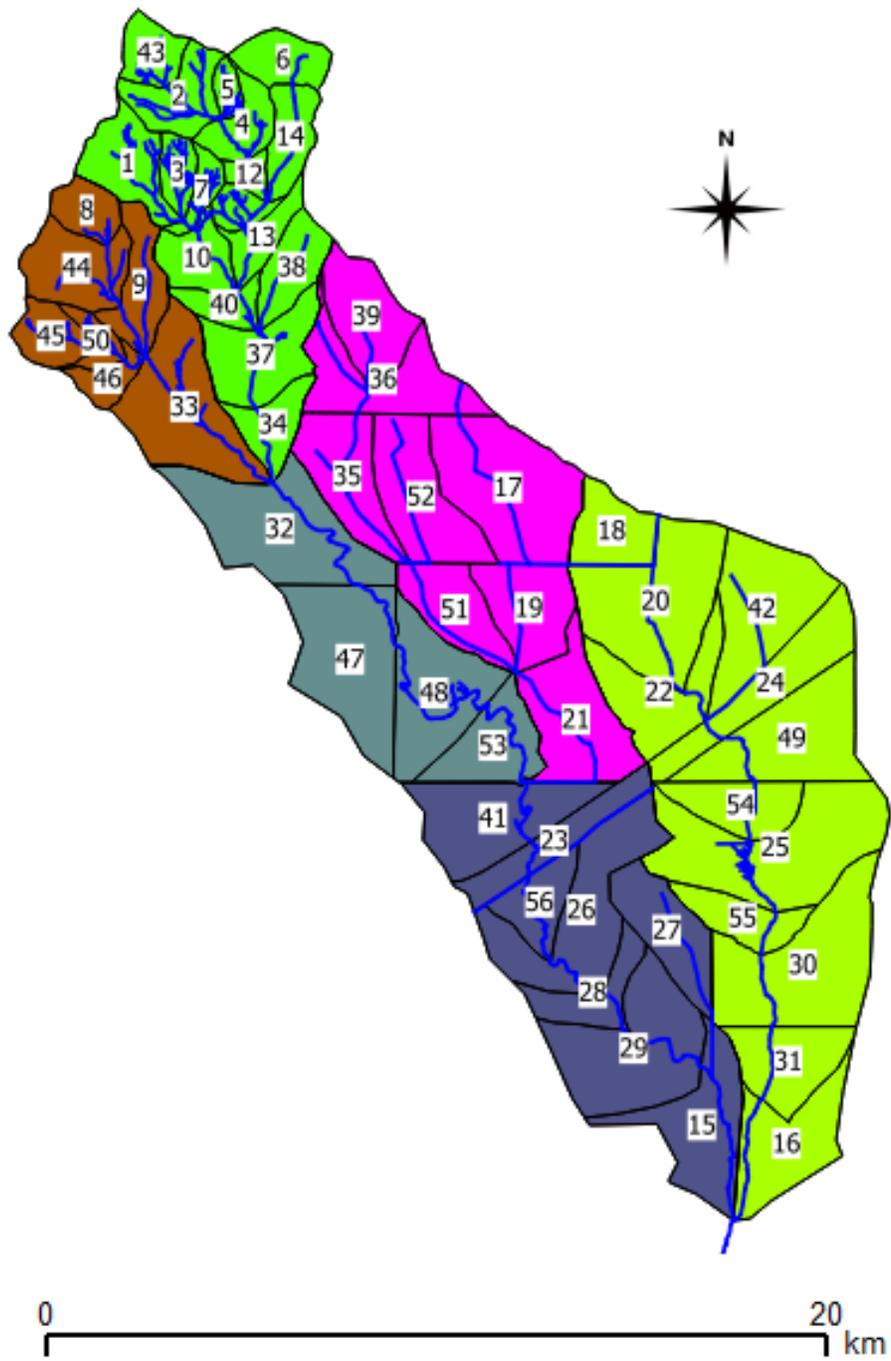


Figura Anexo N° 4: Las subcuencas que componen cada una de las nuevas unidades definidas para la simplificación del modelo. (Elaboración propia)

