

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

Trabajo Final presentado para optar al
Grado de Ingeniero Agrónomo

**ALTERNATIVAS DE CONTROL DE UNA
CABECERA DE CÁRCAVA EN LAS
NACIENTES DEL ARROYO LOS JAGÜELES,
CÓRDOBA.**

Tunut, Jonathan Fabián

DNI: 36.187.776

Director: Dr. Cisneros José Manuel DNI: 13.268.787

Co-Director: Dr. Degioanni Américo José DNI: 13.860.834

Río Cuarto - Córdoba

Junio – 2016.

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

CERTIFICADO DE APROBACIÓN

**ALTERNATIVAS DE CONTROL DE UNA CABECERA
DE CÁRCAVA EN LAS NACIENTES DEL ARROYO
LOS JAGÜELES, CÓRDOBA.**

Autor: Tunut, Jonathan Fabian

DNI: 36.187.776

Director: Dr. Cisneros José Manuel.

Co-Director: Dr. Degioanni Américo José

Aprobado y corregido de acuerdo con las sugerencias del Jurado Evaluador:

Ing. Agr. MSc. Cholaky, Carmen Gloria

Lic. MSc. González, Jorge Gustavo

Fecha de Presentación: _____/_____/_____.

Aprobado por Secretaría Académica: _____/_____/_____

Secretario Académico

INDICE DE CONTENIDOS:

RESUMEN.....	7
1. INTRODUCCIÓN.....	9
2. ANTECEDENTES	12
2.1. Antecedentes generales sobre caracterización de cuencas:	12
2.2. Antecedentes sobre modelos hidrológicos:.....	13
2.3. Antecedentes de Sistemas de Información Geográfica y Modelos Hidrológicos. ..	15
2.4. Antecedentes sobre alternativas técnicas para el control de cabeceras de cárcava.15	
2.4.1. Técnicas de control de cárcavas:.....	17
2.4.1.1 Vertedero y estructura fija:	17
2.4.1.2 Saetín de cabecera o tobogán:.....	17
2.4.1.3 Suavizado y albardonado de cabecera	18
2.4.1.4 Aleros o voladizos:	19
2.4.2. Microembalses	19
2.4.3. Bioingeniería.....	20
2.5. Antecedentes regionales y locales en control de escurrimientos:	21
3. OBJETIVOS.....	22
3.1. Objetivo General:	22
3.2. Objetivos específicos:.....	22
4. MATERIALES Y MÉTODOS	23
4.1. Características generales del área de estudio	23
4.2. Suelos.....	24
4.3. Elaboración de un Sistema de información geográfica:	25
4.3.1. Caracterización de la cuenca de aporte	25
4.3.1.1 Uso de SIG para caracterización de cuencas	25
4.3.1.2 Utilización de imágenes satelitales:.....	25
4.3.1.3 Área de la cuenca y subcuencas.....	25
4.3.1.4 Límites de cuenca y subcuencas	25
4.3.1.5 Red de drenaje, su longitud y orden	26
4.3.1.6 Pendiente de la cuenca y subcuencas.....	26
4.3.1.7 Relevamiento de uso y manejo actual de la cuenca:.....	26
4.3.1.8 Superficie ocupada por cada una de las unidades de suelos	26
4.3.1.9 Caminos rurales	26

4.3.2. Desarrollo del modelo hidrológico y estimación del escurrimiento máximo:	27
4.3.2.1 Lluvia de diseño- recopilación de datos:	27
4.3.2.2 Curva Numero (CN):	29
4.3.2.3 Modelo HEC-HMS:	31
4.4. Escenarios	31
4.5. Alternativas técnicas para el control de la cabecera de cárcava.	33
4.6. Selección del tipo de obra en función del dimensionamiento y costos.	33
5. RESULTADOS	34
5.1. Elaboración de un Sistema de Información Geográfica	34
5.1.1. Área de la cuenca y subcuencas	34
5.1.2. Red de Drenaje, su Longitud y Orden:	34
5.1.3. Pendiente de la cuenca y subcuencas:	38
5.1.4. Caminos:	38
5.1.5. Relevamiento de uso y manejo actual:	40
5.1.6. Superficie ocupada por las unidades cartográficas de suelos:	40
5.2. Desarrollo del modelo hidrológico y estimación del escurrimiento máximo:	41
5.2.1. Lluvia de diseño:	41
5.2.2. Desarrollo del modelo hidrológico para HEC-HMS	42
5.2.2.1 Microembalses: Relación Altura-Almacenaje-Descarga de microembalses.	42
5.2.2.2 Estimación de parámetros hidrológicos del modelo: Curva Número (CN) y Tiempo de Concentración (Tc).	42
5.2.2.3 Estructura del modelo	44
5.2.3. Caudales para los distintos escenarios:	48
5.2.3.1 Escenario 1. "Condición actual"	48
5.2.3.2 Escenario 2. "Condición de Conservación"	48
5.2.3.3 Escenario 3. "Condición de Degradación".	49
5.2.4. Costos de las alternativas de control de cabecera de cárcava según caudales picos	50
5.2.5. Eficacia de los microembalses	56
5.2.6. Síntesis de Resultados:	58
6. CONCLUSIONES	61
7. BIBLIOGRAFÍA	62
8. ANEXOS:	66

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Ramificación de la cárcava en Cuenca Arroyo Los Jagüeles.	10
Figura 2: Avance de cabecera de cárcava en la naciente del Arroyo Los Jagüeles sobre vía ferroviaria en el tramo Sampacho- Las Vertientes.....	10
Figura 3: Divisorias de aguas en un modelo de cuenca.	13
Figura 4: Partes de una cabecera de cárcava.....	16
Figura 5: Esquema de un Vertedero.....	17
Figura 6: Esquema de un Saetín o tobogán.....	18
Figura 7: Esquema suavizado de cárcava	18
Figura 8: Esquema de las partes constitutivas de un alero de chapa	19
Figura 9: Elementos constituyentes de un microembalse	20
Figura 10: Ubicación de la cuenca.....	23
Figura 11: Hidrograma adimensional del Centro-Sur de la Provincia de Córdoba con pico en el segundo sextil.....	27
Figura 12: Curva IDF de la localidad de General Deheza.	28
Figura 13: Factor de reducción de distribución de lluvia por Área de cuenca	29
Figura 14: Cuenca, red de drenaje, curvas de nivel y valores de las curvas de nivel..	35
Figura 15: Vista en 3D de la Cuenca Arroyo Los Jagüeles.....	36
Figura 16: Red de drenaje de la cuenca categorizada por orden	37
Figura 17: Camino de la cuenca funcionando como red de drenaje evidenciando procesos de erosión hídrica.	38
Figura 18: Camino de la cuenca en buen estado.....	38
Figura 19: Cuenca y subcuencas identificadas, caminos públicos de tierra georeferenciados, Rutas Nacional N°8 y Ruta Provincial E-86.....	39
Figura 20: Superficie ocupada por cada unidad de suelos pertenecientes a la cuenca	40
Figura 21: Hidrogramas utilizados para confeccionar la lluvia de diseño de 6hs de duración y de distintos PR en la cuenca Arroyo Los Jagüeles.	41
Figura 22: Relación Altura-Almacenaje-Descarga de microembalses.....	42
Figura 23: Gráfica descriptiva del funcionamiento de Cuenca Arroyo Los Jagüeles SIN EMBALSES.....	45
Figura 24: Gráfica descriptiva del funcionamiento de Cuenca Arroyo Los Jagüeles con 4 EMBALSES.....	46
Figura 25: Gráfica descriptiva del funcionamiento de Cuenca Arroyo Los Jagüeles con 6 EMBALSES.....	47
Figura 26: Variación del costo de los vertederos en función de Caudal Pico y N° de Embalses.	55

Figura 27: Variación del costo de un Tobogán o Saetín en función de Caudal Pico y N° de Embalses.....	56
Figura 28: Dimensiones de una estructura de un Vertedero y Estructura Fija.	66
Figura 29: Dimensiones de una estructura de un Saetín o Tobogán.	67
Figura 31: Esquema representativo, perímetro de Suavizado, disposición de los albardones y albardones de protección.	69
Figura 32: Disposición de albardones en la pendiente de una zona suavizada de cárcava.....	69
Figura 33: Dimensiones de un Alero o Voladizo.....	70
Figura 34: Descripción de costos de insumos – Parte I.....	71
Figura 35: Descripción de costos de insumos – Parte II	72
Figura 36: Descripción de costos de insumos – Parte III.....	73

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Combinación entre variables en las diferentes simulaciones	32
Tabla 2: Superficie de cada subcuenca	34
Tabla 3: Distancia de red de drenaje presente en cada subcuenca	34
Tabla 4: Pendiente media de cada subcuenca.	38
Tabla 5: Resultados obtenidos a partir de Hidrograma adimensional del Centro-Sur de la Provincia de Córdoba con pico en el segundo sextil y Curva IDF de General Deheza.....	41
Tabla 6: Valores de Curva Numero, Tiempo de Concentración y Tiempo de Traslado de cada subcuenca.	43
Tabla 7: Resultados obtenidos para el Escenario 1. Condición Actual.	48
Tabla 8: Resultados obtenidos para el Escenario 2. Condición de Conservación.	49
Tabla 9: Resultados obtenidos para el Escenario 3. Condición de Degradación.....	50
Tabla 10: Valores de caudales picos en función del escenario, lluvia de diseño-periodo de recurrencia y número de microembalses. Asignación de la técnica de control de cárcava.	51
Tabla 11: Costo total aproximado de las alternativas de control de cabecera de cárcava, microembalses y albardón de embocadura. Propuestas en función de las variantes simuladas....	52
Tabla 12: Costo de la obra hidráulica planteada para cada escenario.	53
Tabla 13: Eficacia de los microembalses en el modelo condición Actual (CN 70).....	57
Tabla 14: Eficacia de los microembalses en el modelo condición Conservacionista (CN 60).	57
Tabla 15: Eficacia de los microembalses en el modelo condición Degradada (CN 80).	58

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue evaluar diferentes alternativas técnicas para el control de una cabecera de cárcava en la cuenca Arroyo Los Jagüeles. Se realizó una caracterización de la cuenca de aporte y se determinaron valores de caudal picos erogados por la misma. En el software QGIS se calcularon parámetros morfológicos como áreas de cuenca y subcuencas, límites, red de drenaje, pendientes. Mediante giras de campo se realizó un relevamiento del uso y manejo actual. Se utilizó información meteorológica de la localidad de General Deheza y de la ciudad de Río Cuarto para confeccionar lluvias de diseño y desarrollar un modelo de simulación hidrológico con el Software HEC-HMS. El método de Curva Número se utilizó para determinar el escurrimiento. Se plantearon diferentes escenarios de uso del suelo (Actual CN 70, Conservacionista CN 60 y Degradado CN 80) y la colocación de ninguno, 4 y 6 microembalses en cada uno de ellos. A partir de esto se calcularon caudales máximos, láminas y volúmenes de escurrimiento. Se eligieron las alternativas Vertedero o Estructura Fija, Saetín o Tobogán, Suavisado y Albaronado de la cabecera y Alero o Voladizo para el control de la cabecera de cárcava. Se estableció un orden de seguridad según caudales picos (hasta 15 m³/s se realiza Aleros o voladizos, entre 15 m³/s y 30 m³/s Suavizado de la cabecera, entre 30 m³/s y 50 m³/s Saetín o tobogán y más de 50 m³/s Vertedero o Estructura Fija). Se calculó el costo total según parámetros de diseño de cada alternativa. Se determinó la variación en el costo de las obras según la variación unitaria de caudal pico en las alterativas Vertedero o Estructura Fija y Saetín o Tobogán. Finalmente se eligió la alternativa más económica de realizar según el costo, periodo de recurrencia y escenario. En la situación actual y en una condición degradada de la cuenca la mejor opción fue un Vertedero y Estructura Fija (tomando valores de periodo de recurrencia mayores a 25 años, valor utilizado generalmente en este tipo de obras hidráulicas). La construcción de un Alero o Voladizo, estructura hidráulica sencilla y de fácil construcción, solo es posible en escenarios Conservacionistas y con PR menores o iguales a 10 años. La utilización de microembalses generó una reducción del caudal pico erogado por la cuenca. Además, a medida que aumentó el número de microembalses se redujo el costo de la obra hidráulica utilizada. La brecha de caudales picos que existe entre el modelo Actual CN 70 y el modelo Conservacionista CN 60 (34.7 m³/s) o entre el modelo Degradado CN 80 y el modelo Conservacionista (91.5 m³/s) evidencian que realizar un manejo hídrico adecuado en los campos que integran la cuenca es la solución más económica.

Palabras claves: cuenca Arroyo Los Jagüeles, control de cárcava.

SUMMARY

The aim of this study was to evaluate different technical alternatives for controlling a gully in the stream basin Los Jagüeles (Río Cuarto Department, Córdoba, Argentina). A characterization of the basin contribution was made and peak flow values incurred by it were determined. In the QGIS software morphological parameters were calculated as: basin areas and subbasin, drainage network, earrings. Through field trips a survey of use and current management was performed. Weather information of the town of General Deheza and the city of Río Cuarto was used to make rain design and develop a hydrological model simulation with HEC-HMS Software. Curve number method was used to determine water run-off. Different land use scenarios (Current CN 70, Conservationist CN 60 and Degraded CN 80) and the placement of none, 4 and 6 micro-dams in each of them were proposed. From this peak flows, sheets and runoff volumes were calculated. The alternatives were selected: Drop Spillways, Pipe Spillways, Smoothing of the gully and Eave or overhang. Safety order was established as peak flows (up to 15 m³ / s eaves or overhangs is done, between 15 m³ / s and 30 m³ / s Smoothing of the gully, between 30 m³ / s and 50 m³ / s Pipe Spillways and more than 50 m³ / s Drop Spillways). The total cost was calculated according to design parameters of each alternative. It was determined variation in the cost of the works according to the unit variation in peak flow Spillway and alternative or fixed structure or flume slide. Finally the most economical alternative was elected according to cost, period of recurrence and stage. In the current situation (CN 70) and in a degraded situation (CN 80) was the best option Drop Spillway (taking values higher recurrence period of 25 years, a value generally used in this type of hydraulic works). Building an Eaves or Overhang, simple construction and easy hydraulic structure, is only possible in Conservationists scenarios and less than or equal to 10 years PR. The use of micro-dams generated a reduction of the peak flow disbursed by the basin. In addition, as the number of micro-dams increased the cost of the hydraulic force used was reduced. The gap flow peaks between the current model CN 70 and Conservationist model CN 60 (34.7 m³ / s) or between the model Degraded CN 80 and Conservationist model (91.5 m³ / s) show that design a proper water management in the fields that make up the basin is the most economical solution.

Keywords: Stream basin Los Jagüeles, gully control.

1. INTRODUCCIÓN

El desarrollo global de la agricultura de los últimos 50 años ha sido rápido y ha generado un alejamiento progresivo de los sistemas de producción tradicionales, ambientalmente menos agresivos, de bajo nivel de insumos y baja producción, - sistemas pastoriles y orgánicos. En su reemplazo se han instalado sistemas de producción de alta producción por unidad de tierra, capital o trabajo: “agricultura industrial”, circunscriptos en el paradigma de la “revolución verde” (Maxwell et al., 1995).

“La estabilidad física de una región y el mejoramiento de las capacidades productivas de sus recursos naturales constituyen condiciones básicas e imprescindibles para la implementación y mantenimiento de procesos de desarrollo de las comunidades integrantes de esos territorios. Sin ello, la sustentabilidad del crecimiento económico, el desarrollo regional y el mejoramiento de la calidad de vida de las personas, se ven seriamente comprometidos en su realización” (Cantero et al., 1999).

El aumento de la superficie cultivada de las últimas décadas mediante la incorporación de áreas marginales o ambientalmente frágiles a la producción agropecuaria, activó procesos de degradación de las tierras tales como: erosión, salinización, exportación de nutrientes, alcalinización, encostramiento, impactos sobre la biodiversidad, contaminación del acuífero e inundaciones (Boccardi y Boccardi, 2007). Tales procesos muchas veces quedan ocultos por la naturaleza del sistema productivo que, por su carácter industrial, se necesitan incorporar anualmente mayores cantidades de insumos externos para mantener la producción.

Los problemas de productividad de los suelos de la región pampeana son numerosos y las propiedades relacionadas al progreso de la degradación tienen diverso origen (Taboada, 1998). Entre todos, sin duda, la erosión hídrica es un proceso degradativo de alta incidencia en la productividad agropecuaria (Cohen et al., 2006 y Gyssels et al., 2006) por la pérdida de suelo y de agua. La importancia relativa de este proceso se relaciona a un gran número de factores, principalmente la intensidad de la lluvia y su energía cinética, la tasa de infiltración y el escurrimiento, las propiedades morfológica del suelo, la humedad, rugosidad, cobertura, gradiente y largo de la pendiente (Assouline y Ben-Hur, 2006). Además las prácticas en el uso y manejo de suelos adoptadas por los productores no siempre son las adecuadas lo que intensifica aún más este fenómeno.

Uno de los tipos de erosión que se propone estudiar en este trabajo es la erosión en zanjas o cárcavas donde el arrastre de suelos ocurre en incisiones de diferentes tamaños, que se forman y crecen durante e inmediatamente después de fuertes precipitaciones (Gutiérrez et al., 2011).

El sur de la provincia de Córdoba se encuentra surcada por números arroyos y cursos fluviales afectados por importantes procesos erosivos en general y de cárcavamiento en

particular. Estos fenómenos ocasionan un sin número de inconvenientes en las actividades de la región, ya que afectan directamente a las actividades agropecuarias que se desarrollan en los campos y a las obras de infraestructura vial, ferroviaria e hidráulica, a la vez de producir importantes impactos ambientales negativos sobre toda el área de influencia (Castelló et al., 2003).

Uno de esos cursos fluviales afectados por este proceso es el Arroyo Los Jagüeles. Este arroyo que forma parte del sistema arroyos menores del sur de Córdoba, en sus nacientes ($33^{\circ}18'29.82''$ Sur y $64^{\circ}36'40.03''$ Oeste) se ha generado una cabecera de cárcava que se encuentra activa, en continuo proceso de erosión. La removilización en masa de sedimentos ha creado una incisión en el suelo que tiene una profundidad de 4.5 m de profundidad. El frente de avance creado se encuentra ramificado en pequeñas cabeceras. A raíz de este proceso la vía ferroviaria que une a Las Vertientes con la localidad de Sampacho se encuentra destruida (figuras 1 y 2).



Figura 1: Ramificación de la cárcava en Cuenca Arroyo Los Jagüeles. (Imagen extraída de Google Earth).



Figura 2: Avance de cabecera de cárcava en la naciente del Arroyo Los Jagüeles sobre vía ferroviaria en el tramo Sampacho- Las Vertientes. Imagen de la izquierda tomada el 26/11/2010 y la de la derecha el 02/07/2012.

“La ordenación del territorio u ordenamiento territorial, entendida como la acción y efecto de seleccionar las actividades en el lugar adecuado, es un instrumento de planificación apto para lograr los múltiples objetivos involucrados en el desarrollo sustentable, considerando sus dimensiones ambientales, productiva - 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, evitar la pérdida de agua, controlar procesos de inundación, de contaminación, todo lo cual conduce a recuperar la productividad y funciones de los ecosistemas nativos, entre otros” (Cisneros et al., 2012).

Para contribuir a la finalidad de minimizar el deterioro de los suelos se plantea este estudio técnico, cuyo objetivo general es evaluar diferentes alternativas técnicas para el control de una cabecera de cárcava en la zona media de la cuenca del Arroyo Los Jagüeles (Córdoba).

2. ANTECEDENTES

2.1. Antecedentes generales sobre caracterización de cuencas:

Una cuenca hidrográfica es un área natural en la que el agua proveniente de la precipitación forma un curso principal de agua; también se define como la unidad fisiográfica conformada por el conjunto de los sistemas de cursos de agua definidos por el relieve. Los límites de la cuenca “divisoras de aguas” se definen naturalmente y corresponden a las partes más altas del área que encierra un río (Anaya Fernández, 2012).

Desde el punto de vista de su funcionamiento, una cuenca hidrográfica puede caracterizarse por su morfología (áreas de cuenca y subcuencas, límites, red de drenaje, pendientes), por la naturaleza del suelo y por la cobertura vegetal y uso del suelo, etapa clave que constituye una base fundamental para una correcta gestión y ordenamiento de una cuenca. Las propiedades morfométricas proporcionan una descripción física espacial que permite realizar comparaciones entre distintas cuencas hidrográficas y al mismo tiempo, pueden proporcionar conclusiones preliminares sobre las características ambientales del territorio a partir de la descripción precisa de la geometría de las formas superficiales (Gaspari et al., 2012).

Dentro de las características morfológicas de una cuenca el área es probablemente la característica geomorfológica más importante para una caracterización fisiográfica. Está definida como la proyección horizontal de toda el área de drenaje de un sistema de escorrentía dirigido directa o indirectamente a un mismo cauce natural (Felix Salas, 2009).

Los límites son otra característica a tener en cuenta. La delimitación de una cuenca consiste en definir la línea de divisorias de aguas la cual es una línea curva cerrada que parte y llega al punto de captación o salida mediante la unión de todos los puntos altos, además intercepta en forma perpendicular a todas las curvas de altitudes del plano o carta topográfica, razón por la cual dicha línea divisoria también se le conoce con el nombre de línea neutra de flujo (figura 3). La longitud de la línea divisoria es el perímetro de la cuenca y la superficie que encierra dicha curva es el área proyectada de la cuenca sobre un plano horizontal (Anaya Fernández, 2012).

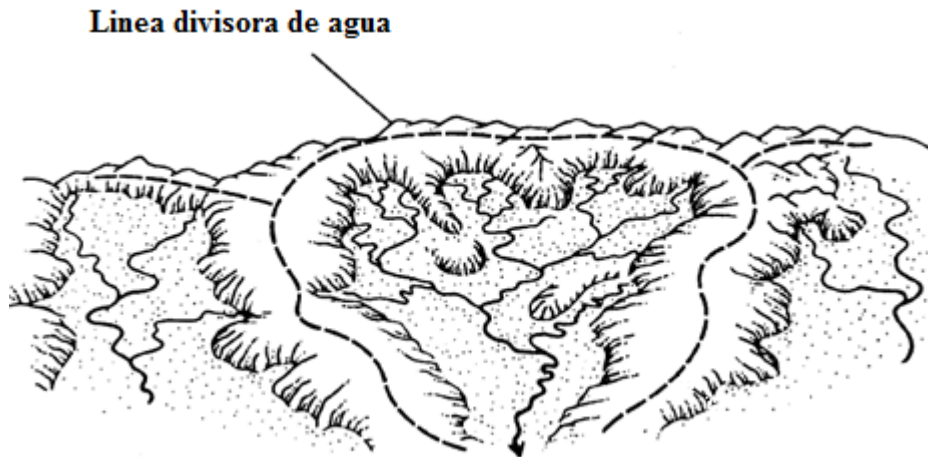


Figura 3: Divisorias de aguas en un modelo de cuenca.

Otras características importantes de cualquier cuenca son las trayectorias o el arreglo de los cauces de las corrientes naturales dentro de ella. La razón de su importancia se manifiesta en la eficiencia del sistema de drenaje en el escurrimiento resultante. La forma de drenaje proporciona indicios de las condiciones del suelo y de la superficie de la cuenca. Se llama red de drenaje, al sistema de cauces por el que fluyen los escurrimientos superficiales, subsuperficiales y subterráneos de manera temporal o permanente. Las características de una red de drenaje pueden describirse principalmente de acuerdo con el orden de las corrientes y longitud de tributarios (Felix Salas, 2009).

Los valores de pendiente en una cuenca o subcuenca también son parámetros morfométricos importantes. En ella se refleja el relieve y tiene una respuesta hidrológica mayor que la que refleja su forma. Se puede decir que a mayor pendiente la generación de escurrimiento se produce en lapsos de tiempo menores (Ibáñez Asensio et al., 2010).

2.2. Antecedentes sobre modelos hidrológicos:

La modelación hidrológica es una herramienta de gran importancia para el estudio de crecidas o avenidas que se ha extendido por todo el mundo. En la actualidad, con el empleo de estos modelos, se realiza el análisis hidrológico de cuencas y la prevención de las inundaciones; además, es posible manejar hipótesis suficientemente realistas o previsibles que ofrezcan un cierto grado de confianza para la toma de decisiones, ya sea en la ordenación del territorio en torno a los ríos o para exigir criterios de diseño de obras e infraestructuras capaces de soportar y funcionar adecuadamente en situaciones de emergencia (Dueñas, 1997).

Son varios los modelos hidrológicos que existen, entre ellos el Sistema de Modelación Hidrológico del Centro de Ingeniería Hidrológica del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los EE. UU. (HEC-HMS por sus siglas en inglés). El HEC-HMS ha sido diseñado para simular el

proceso de precipitación escorrentía de cuencas con drenaje dendrítico. El modelo ha sido creado para ser aplicado a un gran rango de situaciones geográficas y resolver diversos problemas. Los hidrogramas producidos pueden ser utilizados directamente o conjuntamente con otros programas para el estudio de diversos problemas (Rojas, 2005).

Este modelo utiliza métodos de precipitación-escorrentía para estimar los hidrogramas de escorrentía directa, generados por las precipitaciones en una cuenca o región durante un período especificado. Uno de estos métodos es el Número de Curva o Curva Número (CN) que fue desarrollado por el Soil Conservation Service (SCS) de los Estados Unidos. Este calcula las abstracciones de una tormenta, las cuales incluyen una clasificación de los llamados complejos hidrológicos suelo - vegetación, un uso y manejo de los mismos y la posible aplicación de prácticas conservacionistas (Bustamante Ortega, 2008). Es importante señalar que el mismo emplea para la estimación de los escurrimientos la lluvia total máxima ocurrida en 24 horas, y no la intensidad horaria, también es importante que la superficie analizada no deba superar las 800 ha.

HEC-HMS es un programa muy flexible. Posibilita realizar simulaciones de los procesos hidrológicos a nivel de eventos o en forma continua. Los primeros simulan el comportamiento de un sistema hídrico durante un evento de precipitación. La simulación continua puede comprender un período de tiempo con varios de estos eventos. El eventos de precipitación o lluvias de diseño es un acontecimiento ficticio futuro, cuya *intensidad media* (I) es la máxima esperable para una *duración* (D) y una *recurrencia* (F) o período de retorno preestablecidas. A partir de este concepto es posible evaluar el caudal de proyecto de una obra (o una acción) asociada a riesgo hídrico, cuando esto no es posible a partir de registros de descarga". (Caamaño Nelli et al, 2012). La relación entre estas tres variables (I-D-F) se debe deducir a partir de observaciones de lluvias intensas durante un periodo de tiempo suficientemente largo y representativo de los eventos extremos locales. Contar con las curvas I-D-F para un determinado sitio permite simplificar considerablemente los posteriores trabajos de diseño hidrológico (Weber, 2009).

En el paquete HEC-HMS (USACE, 2009) son necesarios los siguientes componentes: *modelo de la cuenca*, en donde el usuario define las distintas subcuencas y características de éstas: los valores de Curva Número (CN), tiempo de concentración y traslado, área y pendiente de cada subcuenca; *la lluvia de diseño*, en donde se introducen datos pluviométricos de estaciones meteorológicas o de tormentas de diseño; *el control de especificaciones*, sobre el cual se definen los tiempos de simulación que se desea evaluar (Bustamante Ortega, 2008). Esta simulación calcula la transformación de lluvia a caudal en un punto definido de salida en el modelo de la cuenca.

2.3. Antecedentes de Sistemas de Información Geográfica y Modelos Hidrológicos.

Según Cisneros et al. (2012) “Un sistema de información geográfica (SIG o GIS en inglés) es un sistema compuesto por hardware, software y procedimientos para capturar, manejar, analizar, modelizar y representar datos georeferenciados, con el fin de resolver problemas de gestión y planificación.”

El desarrollo SIG permite la integración de los resultados de la modelación hidrológica y las diferentes características físico-geográficas de las cuencas. Los SIG constituyen un instrumento adecuado para responder a cuestiones relacionadas con la distribución espacial y las series temporales de la escorrentía. Estos sistemas facilitan el tratamiento de la información hidrológica gracias a que incluyen procedimientos diseñados para realizar la captura, almacenamiento, manipulación, análisis, modelación y presentación de datos georeferenciados. Con ayuda de los SIG la modelación hidrológica acelera su desarrollo y aplicación pudiendo actuar a modo de plataforma para la experimentación rápida de nuevas ideas y conceptos, a la vez que sus resultados pueden ser incorporados al proceso de toma de decisiones y en la ordenación del territorio (Estrada Sifontes y Pacheco Moya, 2012)

Actualmente el desarrollo y la utilización de herramientas informáticas basadas en la idea del software libre es cada vez más extendida. Los SIG no son una excepción, planteándose como verdaderas alternativas frente al desarrollo comercial de estas tecnologías. Su aplicación a los recursos hídricos y en particular al manejo de cuencas, resulta una herramienta indispensable para conocer el ambiente y de esta manera hacer un uso sustentable del mismo (Di Franco et al., 2012).

A nivel local, existen otros antecedentes sobre la integración SIG y los modelos hidrológicos. González (1999) realiza una articulación SIG-Modelos Hidrológicos para el estudio de una cuenca representativa en Córdoba, Argentina. Corigliano (2015) plantea la elaboración de un SIG para la cuenca arroyo Chaján y el desarrollo de un modelo de simulación hidrológico, mediante el método de Curva Número, para diferentes escenarios de uso del suelo.

2.4. Antecedentes sobre alternativas técnicas para el control de cabeceras de cárcava.

Según Cisneros et. al. (2012) las técnicas de control de cabeceras de cárcava son estructuras hidráulicas construidas sobre las cabeceras de cárcavas. Tienen como objetivo detener el avance retrocedente y la profundización de los niveles de base de los cauces de desagüe afectados por este tipo de erosión. Se llama cabecera al sector activo de una cárcava,

por donde se produce su avance, el piso de la cárcava es el sector que ya ha sido erosionado y es por donde circula el escurrimiento que ingresa a la cárcava, las paredes laterales también pueden sufrir erosión, en la medida que no se estabiliza el piso (Figura 4).

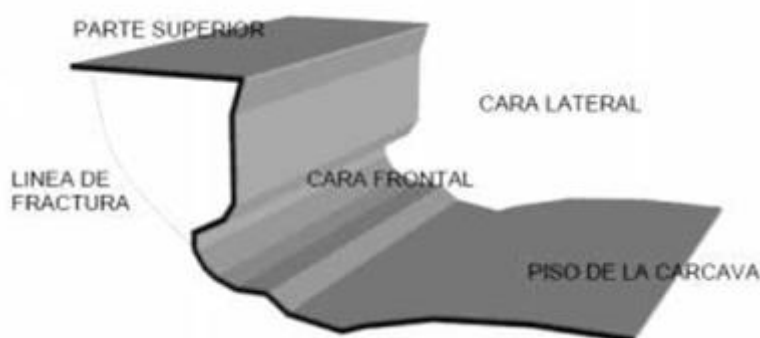


Figura 4: Partes de una cabecera de cárcava (tomado de Cisneros et al., 2012)

“El avance de la cárcava se produce por la acción combinada de la erosión en el piso al caer el agua desde la cara superior, el humedecimiento y debilitamiento del bloque por una línea de fractura, y su posterior desprendimiento. En base a ello los principios de control de cabeceras son

- Aislamiento de la parte superior de la cabecera, minimizando la infiltración de agua en el suelo en un área inmediatamente antes del corte de la cárcava. De este modo se evita que el bloque aumente de peso y caiga;
- Protección del piso y cara frontal de la cárcava. Se evita de este modo el socavamiento del fondo y de la pared inferior y el desprendimiento del bloque;
- Protección de las paredes laterales: Los taludes laterales deben estabilizarse para evitar su crecimiento en ancho
- Entrada única del agua: el agua debe entrar a la cárcava solo por una entrada protegida, normalmente por la cabecera principal. De no aislarse el ingreso al resto de las cabeceras secundarias se producirán otras cabeceras, en cada una de ellas. Dicha entrada deberá tener suficiente capacidad como para evacuar el escurrimiento máximo calculado para la cuenca en ese punto.
- Aislamiento: Se evitará la entrada de animales, tanto a las estructuras y obras complementarias, como dentro de la cárcava para impedir el pisoteo y pastoreo de la vegetación. Esto al menos en los primeros años de la estabilización. Una vez lograda puede realizarse un aprovechamiento ganadero o forestal de la cárcava.” (Cisneros et. al., 2012).

2.4.1. Técnicas de control de cárcavas:

Las siguientes alternativas técnicas se citan como alternativas para el control de cabeceras de cárcavas:

2.4.1.1 Vertedero y estructura fija:

“Son estructuras de mampostería que protegen a las paredes laterales, frontal, piso y parte superior de la cabecera mediante muros de ladrillos, piedra, gavión u hormigón armado (Figura 5). Se utiliza en cualquier tipo cárcava, siendo la práctica más costosa, por lo tanto requiere la aplicación de factores de seguridad altos (tiempo de recurrencia largos para la lluvia de diseño). Su utilidad principal está en cárcavas de tamaño medio a alto” (Cisneros et al., 2012).

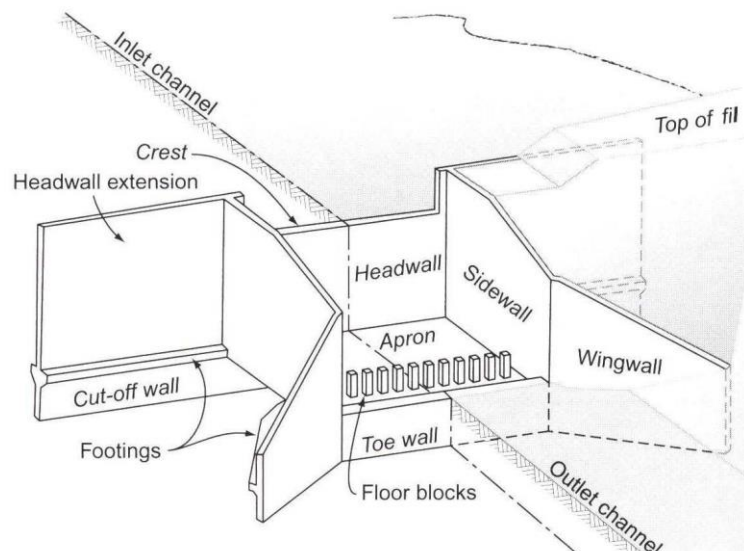


Figura 5: Esquema de un Vertedero (Tomado de Fangmeier et al., 2005).

2.4.1.2 Saetín de cabecera o tobogán:

“Esta práctica consiste en el rebajado de la cabecera de la cárcava, de manera tal que quede con una pendiente uniforme y en la construcción sobre la misma de un canal revestido de mampostería u hormigón (Figura 6). En la base del canal se emplaza la batea difusora o dissipador de energía. Se puede utilizar en cualquier tipo de cárcava; se aconseja para cárcavas no mayores a 4 metros de profundidad, límite a partir del cual, la energía a disipar es excesiva. También se pueden usar materiales alternativos al hormigón, como colchonetas de gabión (piedras y alambre tejido), chapas de zinc, hormigón ciclópeo (piedra y hormigón), bloques, geotextiles con vegetación, etc.” (Cisneros et al., 2012).

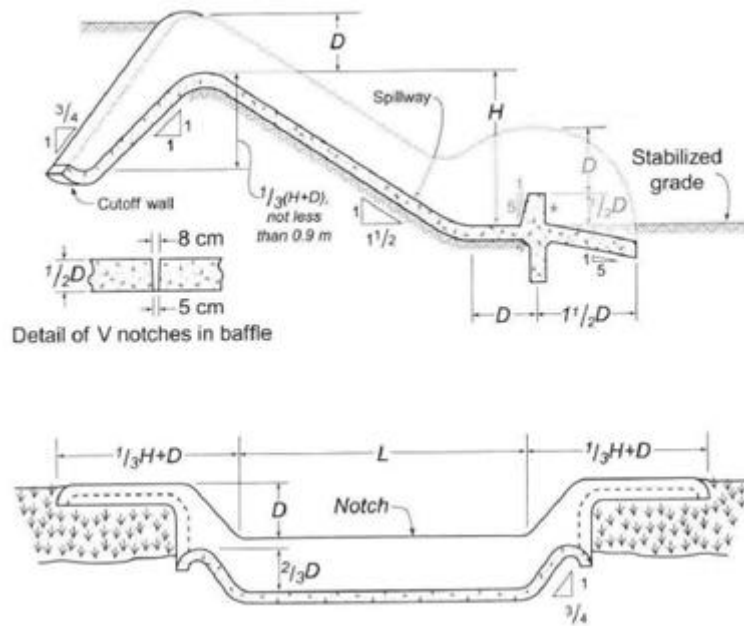


Figura 6: Esquema de un Saetín o tobogán, (Tomado de Fangmeier et al., 2005).

2.4.1.3 Suavizado y albardonado de cabecera

“Esta técnica consiste en realizar un suavizado (también llamado ataludado) de la cabecera de la cárcava, como forma de evitar el salto hidráulico (Figura 7). Luego el suavizado se protege mediante albardones y empastado, de manera de evitar la erosión de la pendiente, hasta que el flujo alcanza su velocidad mínima a nivel del piso de la cárcava. Se puede utilizar en cualquier tipo de cárcava que permita modificar la sección de entrada para evacuar el caudal previsto. La profundidad de la cárcava debe permitir el uso de maquinaria pesada (topadora, motoniveladora o pala cargadora) para efectuar el desmoronamiento del filo de la pared frontal de la cárcava y luego suavizar la cabecera con arado, motoniveladora o con la misma topadora” (Cisneros et al., 2012).

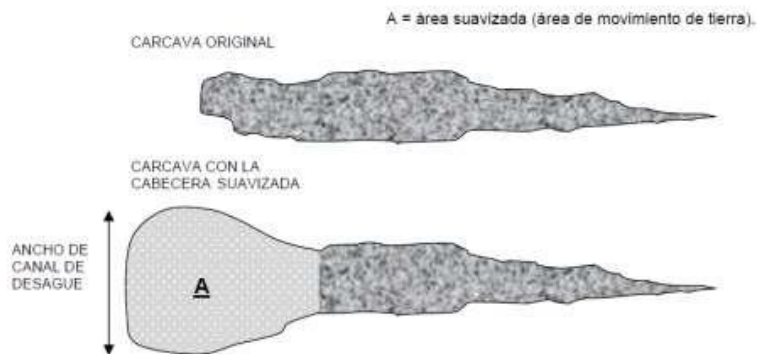


Figura 7: Esquema suavizado de cárcava (fuente: Cisneros et al., 2012).

2.4.1.4 Aleros o voladizos:

”Los aleros son técnicas consistentes en la construcción de una estructura voladiza sobre la cabecera de la cárcava, que conduzca el agua y la descargue alejada de la pared frontal, de manera que la energía de la cascada no produzca el socavamiento del fondo de la cárcava (Figura 8). Se puede realizar en cualquier tipo de cárcava, no siendo una limitante la altura de la misma. Es de construcción relativamente accesible, ya que sólo requiere chapas de zinc, postes, alambre y brea, aunque también puede construirse en hormigón armado. Sus características de economía y los materiales que requiere (todos recuperables) definen una vida útil relativamente corta (5 a 10 años), por lo tanto los caudales de diseño podrán ser menores que los estimados para obras de mayor costo” (Cisneros et al., 2012).

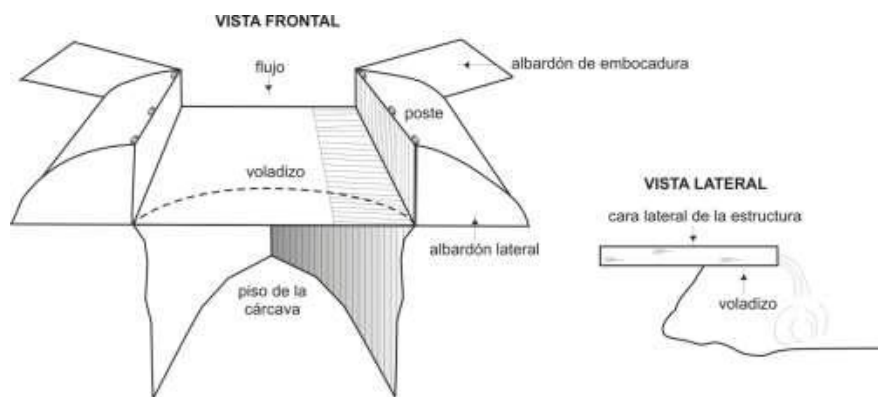


Figura 8: Esquema de las partes constitutivas de un alero de chapa (fuente: Cisneros et al., 2012).

2.4.2. Microembalses

Los microembalses son pequeñas obras hidráulicas de tierra ubicadas transversalmente a las vías naturales de escurrimiento. Está conformado por un murallón de tierra, una salida o descarga principal, un área de embalse y una salida o vertedero de emergencia (figura 9). Su función principal en la cuenca es la de disminuir caudales máximos, es decir producir la laminación del hidrograma de escurrimiento aguas abajo de la estructura de regulación (Cisneros et al., 2012). Los microembalses junto con las obras de defensa de cabeceras son efectivos en el control de cárcavas en cuencas agrícolas (Cisneros, 2010).

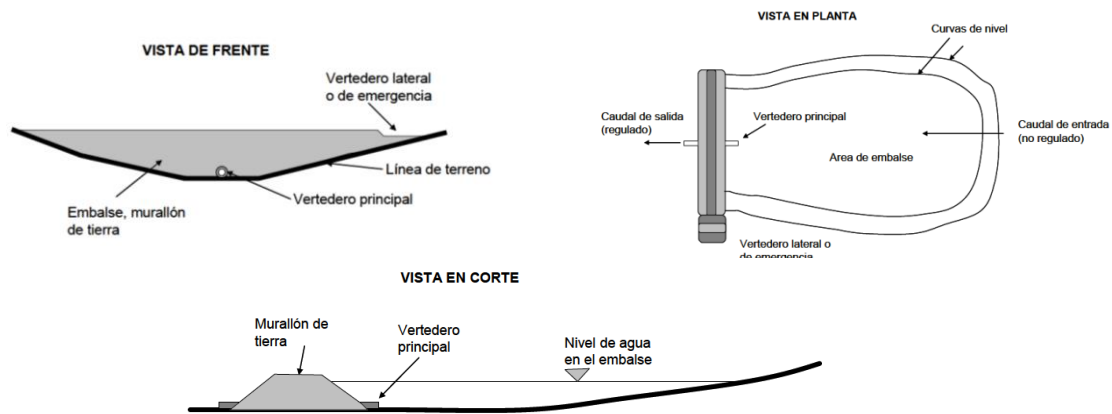


Figura 9: Elementos constituyentes de un microembalse (Cisneros et al., 2012).

La dinámica de funcionamiento de un microembalse en un evento de lluvia determinado puede ser caracterizada a través de la relación “Altura de pelo de agua-Descarga en el vertedero principal” y la relación “Altura de pelo de agua-Almacenaje en la represa”. La primera relaciona la altura que va tomando el agua a medida que se llena el embalse (carga hidráulica) y la descarga a través del vertedero de salida o vertedero de fondo; permite establecer cuál será el caudal regulado, y por lo tanto la capacidad amortiguadora de crecientes de la obra. La segunda me indica las características del relieve, aguas arriba del microembalse y su altura (Cisneros et al., 2012).

En este tipo de estructuras es posible realizar un análisis de su efectividad, bajo determinadas condiciones y supuestos. La efectividad relativa se define como porcentaje de mejora que se produce en el caudal pico y depende de las condiciones físico-funcionales de la cuenca y de la escala de percepción (Cisneros, 2010).

2.4.3. Bioingeniería

La bioingeniería se entiende como el uso de la vegetación para la estabilización de laderas, riberas de cursos de agua y el control de erosión hídrica y eólica en áreas críticas. Existen dos conceptos parecidos pero conceptualmente diferentes: Bioingeniería e ingeniería biotécnica. El primero se usa para referirse a aquellas técnicas que usan cualquier forma de vegetación, ya sea una simple planta o una colección de ellas como material de ingeniería (es decir aquel material que tiene características y comportamientos cuantificables). Ingeniería biotécnica se refiere a aquellas técnicas en las cuales la vegetación se combina con estructuras inertes, tales como muros de piedra o gaviones, de modo de combinar los beneficios estructurales de los componentes vegetativos y no vegetativos (Cisneros et al., 2012).

Las técnicas de bioingeniería se aplican en situaciones como: Estabilización y control de erosión en laderas en pendiente para construcción de caminos, terraplenes, embalses y desmontes recientes; Estabilización y revegetación de márgenes de meandros de ríos y arroyos con erosión de costas; Control y captura de sedimentos y contaminantes volcados desde las

tierras agrícolas hacia canales y cursos de agua, mediante técnicas de fajas buffer; Estabilización de médanos vivos y dunas mediante revegetación herbácea, arbustiva y arbórea; Control de saltación y rodadura de partículas en superficies sujetas a erosión eólica, producto del fuego, desmonte o rotaciones inadecuadas, mediante fajas de pasto; Estabilización de sedimentos inestables como los generados por desbordes de ríos y arroyos, coladas de barro, erosión en masa; Control de erosión de fondo de cárcavas activas. En estas situaciones las técnicas de bioingeniería permiten crear soluciones efectivas y sustentables, (desde el punto de vista económico y ambiental), ya que son tecnologías dinámicas y de acción creciente por el propio desarrollo del vegetal con el transcurrir del tiempo, están integradas al paisaje por la misma vegetación, permiten una mejora visual del sitio y aseguran su perdurabilidad y estabilidad. (Cisneros et al., 2012).

Entre las técnicas de bioingeniería más usadas se destacan: fajas buffer, fajas forestales de riberas, fanales de desagüe, forestación de cárcavas, rastrillos de retención, estacas vivas, atado de ramas vivas, colchón de ramas, capa de ramas y estacas vivas, gavión de roca vegetado, pared de piedra vegetada, capa de rocas y estacas vivas, espigones, revestimientos de orilla. (Cisneros et al., 2012).

2.5. Antecedentes regionales y locales en control de escurrimientos:

En la UNRC se documentan numerosos estudios sobre caracterización y manejo de las tierras para el control de escurrimientos. A nivel regional se destaca la propuesta para el ordenamiento de las tierras y aguas del centro-sur de Córdoba (Cantero et al., 1999) que sirvió de base técnica para implementar Plan Federal de Control de Inundaciones integrado por las provincias de Buenos Aires, Santa Fé y Córdoba. A nivel local propuestas de ordenamiento hidrológico han sido elaborados para las cuencas de aporte a las localidades de General Cabrera (Cisneros et al., 1991), General Deheza (Becerra et al., 1992) y Charras (Cisneros et al., 1992). También se han estudiado y propuesto acciones de ordenamiento hidrológico para las cuencas La Colacha (Cisneros et al., 2013), Santa Catalina (Cisneros et al., 2005) y Santa Rita (Cisneros et al., 2005) entre otras. En relación a control de cabeceras de cárcavas (Castelló et al., 2003) documenta la construcción de un dique de gaviones para estabilizar el cauce y un salto hidráulico sobre el arroyo del Gato. Magnano et al., (1987) documentan una propuesta de ordenamiento hidráulico en un establecimiento agropecuario en la zona de Cuatro Vientos (Departamento Río Cuarto, Córdoba) que para detener el avance de una cárcava se diseñó y construyó un alero de chapa. Por último, y en relación a este trabajo, Cisneros (2010) ha caracterizado la cuenca del arroyo Los Jagüeles identificando los límites y la red de drenaje a escala 1:50.000 proponiendo diversas acciones de ordenamiento, entre las que se indica controlar focos activos de erosión. Sin embargo, el autor no indica cual es la mejor alternativa técnica de control, razón por la cual constituye el problema de la presente propuesta.

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo General:

Evaluar diferentes alternativas técnicas para el control de una cabecera de cárcava en la cuenca alta del Arroyo Los Jagüeles para diferentes condiciones hidrológicas de las tierras y generar un documento escrito que sirva como base para el ordenamiento territorial de la cuenca a escala de semidetalle (escala 1:25000)

3.2. Objetivos específicos:

- Evaluar la producción de escorrentía y caudal máximo para diferentes condiciones hidrológicas de las tierras
- Diseñar alternativas de control de la cárcava
- Determinar el costo económico de control de la cabecera
- Seleccionar la mejor alternativa de control de acuerdo al costo de ejecución

4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Características generales del área de estudio

La cuenca Arroyo Los Jagüeles está comprendida entre las coordenadas $33^{\circ} 11'$ y $33^{\circ} 21'$ Sur y $64^{\circ} 54'$ y $64^{\circ} 32'$ Oeste, en la provincia de Córdoba – Argentina, próxima a la localidades de Las Vertientes hacia el Norte, Sampacho hacia el Sur y Carolina El Potosí hacia el Noroeste. Hacia el norte de la cuenca se encuentra el Arroyo Las Lajas – 630. Presenta una superficie total aproximada de 44.806 ha. Ocupa el sector intermedio del sistema del Arroyo El Gato (figura 10). Hacia el sur limita con la Cuenca Arroyo El Gato Baja y hacia el noreste con la Cuenca Arroyo Corralito. Las aguas que escurren en estos sistemas hídricos junto con el Arroyo Santa Catalina derraman en La Depresión del Tigre Muerto (Cisneros, 2010).

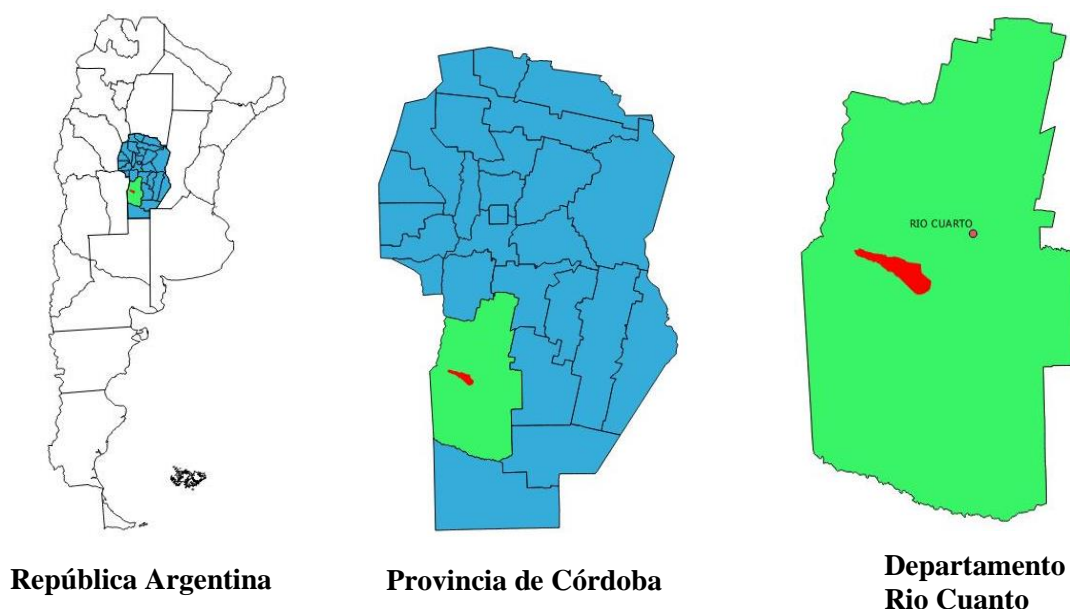


Figura 10: Ubicación de la cuenca (polígono rojo).

El paisaje de la cuenca cambia de ondulado en el extremo noroeste a plano en la región central para hacerse subnormal en el tramo final. Los Haplustoles son los suelos predominantes (Cantero et al., 1999).

La red de drenaje presenta un régimen temporario en la cuenca alta y pasa a permanente en la parte media de la cuenca debido a la acción de una cárcava que conecta la capa freática con la atmósfera. Actualmente este barranco ubicado en las nacientes del Arroyo Los Jagüeles ($33^{\circ}18'29.82''$ Sur y $64^{\circ}36'40.03''$ Oeste) sigue en proceso de erosión retrocedente y constituye uno de los puntos críticos de todo el sistema hídrico. (Cisneros, 2010).

4.2. Suelos

En el ámbito de la cuenca se han definido 3 unidades cartográficas de suelos según el Atlas de los Suelos de Córdoba (Gorgas et al., 2006). Dichas unidades son: MNud-9, MNen-30 y MJen-28. A continuación se describen brevemente:

- MNud-9:

La unidad posee una aptitud de uso clase VI y un IP 32. Su fisiografía corresponde a la Planicie Periserrana, sector medanoso. Esta unidad está compuesta por suelos a) un 50% de suelos de pendiente y concavidades de drenaje libre clasificados como Haplustol údicos, bueno a algo excesivamente drenados; con erosión hídrica actual moderada y alta susceptibilidad a la erosión hídrica. b) un 40% de suelos de loma y pendientes clasificados como Haplustol énticos, de textura franca arenosa, algo excesivamente drenados, con erosión hídrica actual ligera y erosión hídrica potencial moderada. c) 10 % de relictos medanosos.

- MNen-30

La unidad posee una aptitud de uso clase VII y un IP 16. Su fisiografía corresponde a la de una Planicie Periserrana Proximal. Esta unidad está compuesta por suelos a) un 60% de suelos de lomas y pendientes clasificados como Haplustol éntico, algo excesivamente drenados con erosión hídrica actual grave y alta susceptibilidad a la erosión hídrica. b) un 40% de suelos de pie de lomas clasificados como Haplustol típico de textura franca arenosa, bueno a algo excesivamente drenados, con severa erosión hídrica actual y alta susceptibilidad a la erosión hídrica.

- MJen-28

La unidad posee una aptitud de uso clase VI y un IP 34. Su fisiografía corresponde a una planicie periserrana distal, medanosa. Esta unidad está compuesta por suelos a) un 40% de suelos de loma y pendientes clasificados como Hapludol éntico, algo excesivamente drenado de textura franca arenosa, erosión hídrica actual moderada y susceptibilidad a erosión hídrica potencial moderada. b) un 30% de suelos de concavidades clasificados como Haplustol típico, bueno a algo excesivamente drenado, de textura franco arenosa, erosión hídrica actual moderada y erosión hídrica potencial moderada. c) un 30 % de suelos de médanos estabilizados clasificados como Udorthent típico, bueno a algo excesivamente drenado, de textura franca arenosa con erosión hídrica actual moderada y erosión hídrica potencial moderada.

4.3. Elaboración de un Sistema de información geográfica:

4.3.1. Caracterización de la cuenca de aporte

Para entender el funcionamiento hidrológico de la cuenca en estudio se detalla a continuación las metodologías propuestas.

4.3.1.1 Uso de SIG para caracterización de cuencas

Teniendo en cuenta la utilización de software de libre acceso del Open Geospatial Consortium (OGC) en este trabajo se utilizó el software Quantum GIS en su versión 2.4 para determinar algunos parámetros morfométricos de la cuenca como: áreas, pendientes, longitud de cursos, coeficientes de escurrimientos.

4.3.1.2 Utilización de imágenes satelitales:

A partir de las imágenes obtenidas en Google Earth, incorporadas al SIG mediante Quantum Gis Wroclaw se digitalizaron la cuenca, subcuencas y la red de drenaje. Mediante el GIS se calcularon algunos 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 vertió en tablas de acuerdo a la variable en análisis.

4.3.1.3 Área 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 (WGS 84) otorgadas por Google Earth a coordenadas Planares (Gauss Krüger / Faja 4). 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.

4.3.1.4 Límites de cuenca y subcuencas

Para poder definir las divisorias de agua, fue necesario elaborar un mapa planialtimétrico de la superficie en estudio. Se recurrió a una imagen correspondiente a la Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) con una resolución espacial de 90 metros que se obtuvo del Consorcio de Información Espacial. La información brindada por este DEM (Modelo de Elevación Digital) se procesó en Quantum GIS 2.4 y se obtuvieron 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 las subcuencas, se utilizó el mismo procedimiento en conjunto con

el comportamiento hidrológico que se manifiesta por la presencia de caminos, los cuales pueden actuar como conductores del escurrimiento (red de drenaje temporal).

4.3.1.5 *Red de drenaje, su longitud y orden*

La red de drenaje se delimitó de acuerdo a características fotográficas de color, textura y homogeneidad de las imágenes obtenidas a través de Google Earth, combinadas con un mapa de curvas de nivel y uno de caminos. Una vez trazada la red de drenaje en coordenadas geográficas, se convirtió a coordenadas de proyección. 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 y cuarto orden). Estos pasos se realizaron en Quantum GIS 2.4.

4.3.1.6 *Pendiente de la cuenca y subcuencas*

La pendiente media de cada subcuencas es calculada mediante Quantum GIS 2.4. interrelacionando la capa de planialtimetría (DEM) y los polígonos de superficie de cada subcuenca, así como para la cuenca completa.

4.3.1.7 *Relevamiento de uso y manejo actual de la cuenca:*

Se realizó una gira el día 25.08.2015 con el objetivo principal de reconocer el área de estudio y comparar algunos aspectos de la cuenca con la información obtenida mediante imágenes satelitales que reflejan la realidad de la zona. En la misma se recolectaron datos de uso y manejo de los suelos. Además , como complemento a la gira, se realizó una pequeña entrevista a los productores que integran la cuenca para conocer el manejo de la infiltración que realizan, cultivos que utilizan, practicas conservacionistas que implementan, entre otros.

4.3.1.8 *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 Quantum GIS 2.4 con el comando calculadora de campo (geometría, cálculo de área).

4.3.1.9 *Caminos rurales*

En la gira realizada el 25.08.2015 la trayectoria recorrida fue grabado con un GPS como metodología de levantamiento de datos, se evaluaron las condiciones de los caminos, la utilidad pública y la posibilidad de funcionamiento como red de drenaje.

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

4.3.2.1 Lluvia de diseño- recopilación de datos:

La Cuenca en estudio no cuenta con recopilación de información meteorológica histórica por lo que fue necesario estimarla a partir de otros lugares.

Para la creación de la tormenta de diseño se utilizó el hidrograma adimensional del Centro-Sur de la Provincia de Córdoba con pico en el segundo sextil (figura 11) y la Curva IDF de la localidad de General Deheza (figura 12). Se obtuvieron 6 lluvias de diseño: 39.2 mm (PR 2 años), 50.4 mm (PR 5 años), 57.8 mm (PR 10 años), 67.2 mm (PR 25 años), 74.1 mm (PR 50 años) y 81 mm (PR 100 años)

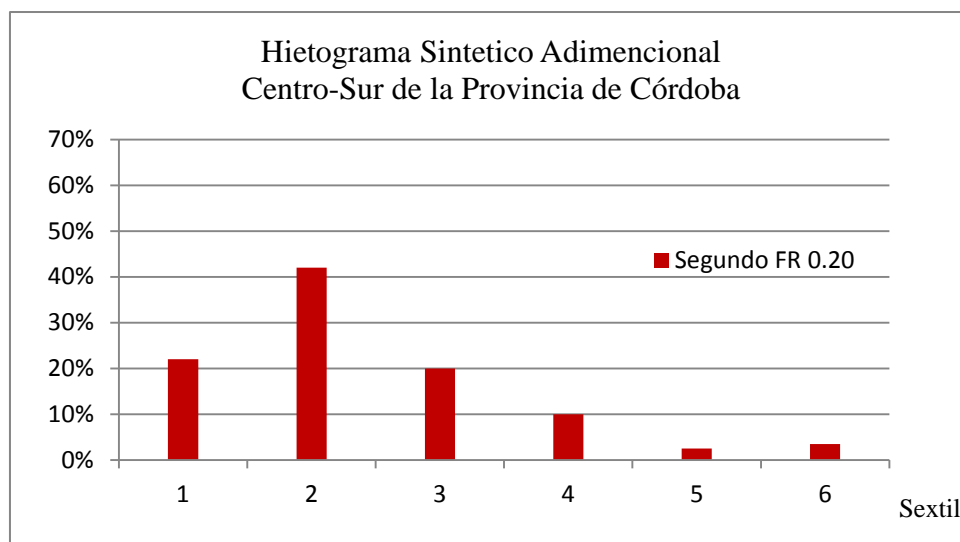


Figura 11: Hidrograma adimensional del Centro-Sur de la Provincia de Córdoba con pico en el segundo sextil (Caamaño Nelli y Dasso, 2002).

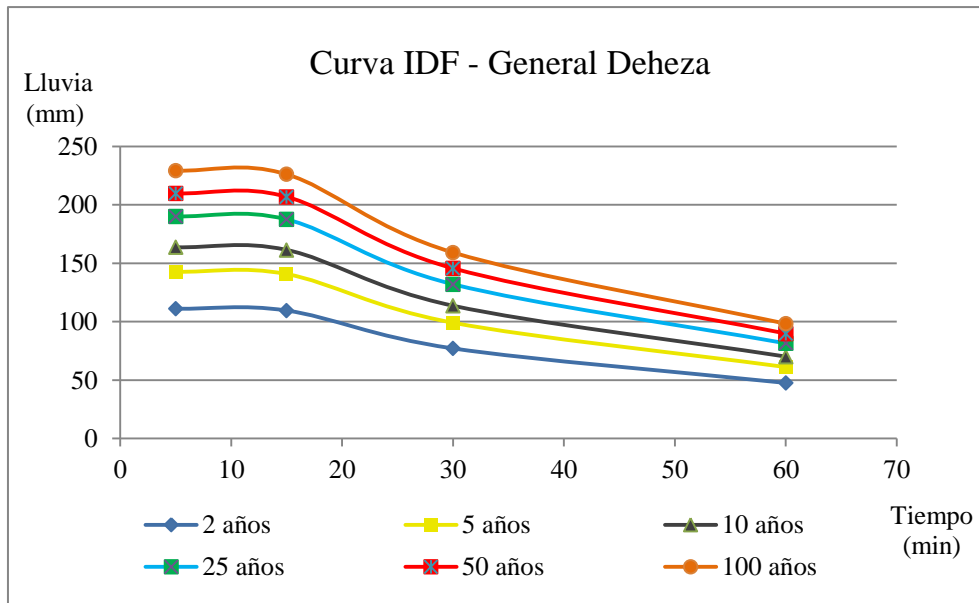


Figura 12: Curva IDF (Intensidad-Duración-Frecuencia) de la localidad de General Deheza. (Becerra et al., 1992)

Cuando se realiza la estimación de la precipitación a partir de valores puntuales no es posible reflejar toda la naturaleza del fenómeno, el cual se presenta en la realidad sobre un área con un determinado comportamiento espacial, que se encuentra influenciado principalmente por las características climatológicas y fisiográficas circundantes. El análisis de eventos máximos de precipitación en una cuenca permite estimar relaciones entre la altura de precipitación con el área y la duración, a partir de las cuales es posible determinar un factor que indica el porcentaje de precipitación puntual a tomar como promedio sobre la cuenca. Tal factor es conocido como Factor de Reducción por Área (FRA) o también Coeficiente de Decaimiento Areal (CDA), el cual es función del área de aporte y de la duración de lluvia. (Ortega Acacio y Perozo Ynestroza, 2014)

A partir de los datos obtenidos y con la información del área total de la cuenca se realizó un ajuste aplicando un FRA (figura 13).

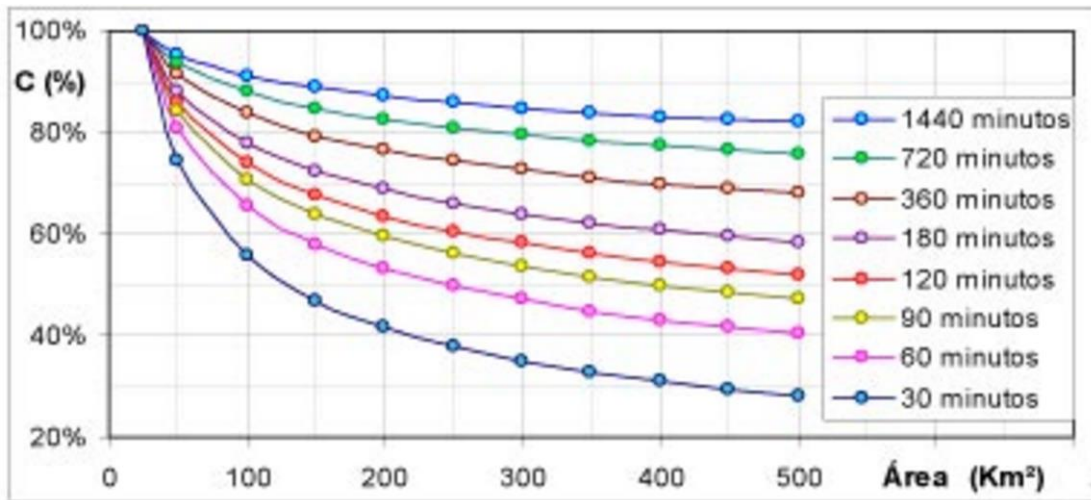


Figura 13: Factor de reducción de distribución de lluvia por Área de cuenca (Fuente: Instituto Nacional del Agua, 2010)

Se emplearon estos datos de forma tal que se representen tormentas de diseño de 6 hs de duración y con periodo de recurrencia similar al utilizado en Los Arroyos Menores del Sur de Córdoba por Cisneros (2010) en su tesis doctoral.

4.3.2.2 Curva Numero (CN):

En el presente estudio se utilizó este método para la estimación de la escorrentía máxima y para subsanar el límite de superficie impuesto por el mismo se subdividió la cuenca en subcuencas.

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 optó por utilizar una humedad antecedente de nivel 2 (**AMC II**), la cual corresponde a una situación promedio de humedad edáfica.

El Grupo Hidrológico indica el grado de infiltración-transmisión que presenta 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 caso 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.

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 (Fangmeier et al., 2005).

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

Dónde:

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 que tarda un caudal ingresante en recorrer una subcuenca y salir de la misma. Este 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 Quantum GIS 2.4. El SCS considera que el mismo es del 60 % del T_c y se calcula según la siguiente expresión:

$$T_{lag} = 0,6 \times T_c$$

4.3.2.3 Modelo HEC-HMS:

Mediante HEC-HMS (USACE, 2009) se determinaron caudales máximos, láminas y volúmenes de escurrimiento de cada subcuenca, utilizando las opciones SCS-CN, hidrograma unitario SCS y lag para traslados. El programa también se utilizó para correr los caudales de entrada y salida de reguladores de escurrimiento (microembalses) mediante la opción altura-almacenaje-descarga. Para cada una de las subcuencas se calculó el caudal pico por el método de CN, expresada $m^3.s^{-1}$. Para ello se realizó un censo de CN en los lotes que integran la cuenca.

4.4. Escenarios

A partir del relevamiento de uso y manejo de los lotes y del análisis de suelos de la cuenca, se determinó el valor de CN actual de la cuenca (CN 70). El mismo es el resultado de una ponderación entre valores de clase hidrológica, uso y manejo de suelo y manejo realizado en los campos. Los lotes evaluados presentan un 60 % de suelos de clase hidrológica A y un 40 % de suelos clase hidrológica B. En el 89% de la superficie el uso y manejo que se realiza es cultivos de granos gruesos en surcos rectos ($CN_{\text{clase hidrológica A}} = 67$ y $CN_{\text{clase hidrológica B}} = 78$), en un 3% se realiza cultivos de granos gruesos en curvas de nivel y en terrazas ($CN_{\text{clase hidrológica A}} = 62$ y $CN_{\text{clase hidrológica B}} = 71$) y en el 8 % restante se realiza leguminosas de siembra densa o praderas en rotación en surcos rectos ($CN_{\text{clase hidrológica A}} = 58$ y $CN_{\text{clase hidrológica B}} = 72$). El valor final CN ponderado es 70. Este valor se consideró como **Escenario 1** o situación actual. Se planteó un **Escenario 2** que representa una condición de manejo conservacionista de la cuenca con un valor de CN 60. También un **Escenario 3** con un valor de CN 80, que representaría una condición degradada de la cuenca. La caracterización de estos nuevos valores de CN para cada subcuenca se definió mediante la ponderación de cada subcuenca, de igual manera que para la situación actual relevada de la cuenca.

En cada escenario se simuló la colocación de ninguno, 4 y 6 microembalses reguladores de caudal. Los reguladores se ubicaron en puntos estratégicos dentro de la cuenca. Se incluyeron en los escenarios para que funcionen como amortiguadores de crecidas o avenidas.

Las diferentes combinaciones entre modelos, precipitaciones y escenarios se realizaron según lo que se indica en la tabla 1.

Tabla 1: Combinación entre variables que se tuvieron en cuenta, en las diferentes simulaciones realizadas

Escenario /CN	Lluvia Diseño - PR	Microembalses	CODIGO
ACTUAL (CN 70)	39.2 mm - PR 2 AÑOS	0 Embalses	APR2EMB0
		4 Embalses	APR2EMB4
		6 Embalses	APR2EMB6
	50.4 mm - PR 5 AÑOS	0 Embalses	APR5EMB0
		4 Embalses	APR5EMB4
		6 Embalses	APR5EMB6
	57.8 mm - PR 10 AÑOS	0 Embalses	APR10EMB0
		4 Embalses	APR10EMB4
		6 Embalses	APR10EMB6
	67.2 mm - PR 25 AÑOS	0 Embalses	APR25EMB0
		4 Embalses	APR25EMB0
		6 Embalses	APR25EMB6
	74.1 mm - PR 50 AÑOS	0 Embalses	APR50EMB0
		4 Embalses	APR50EMB4
		6 Embalses	APR50EMB6
	81 mm - PR 100 AÑOS	0 Embalses	APR100EMB0
		4 Embalses	APR100EMB4
		6 Embalses	APR100EMB6
CONSERVACIONISTA (CN 60)	39.2 mm - PR 2 AÑOS	0 Embalses	CPR2EMB0
		4 Embalses	CPR2EMB4
		6 Embalses	CPR2EMB6
	50.4 mm - PR 5 AÑOS	0 Embalses	CPR5EMB0
		4 Embalses	CPR5EMB4
		6 Embalses	CPR5EMB6
	57.8 mm - PR 10 AÑOS	0 Embalses	CPR10EMB0
		4 Embalses	CPR10EMB4
		6 Embalses	CPR10EMB6
	67.2 mm - PR 25 AÑOS	0 Embalses	CPR25EMB0
		4 Embalses	CPR25EMB0
		6 Embalses	CPR25EMB6
	74.1 mm - PR 50 AÑOS	0 Embalses	CPR50EMB0
		4 Embalses	CPR50EMB4
		6 Embalses	CPR50EMB6
	81 mm - PR 100 AÑOS	0 Embalses	CPR100EMB0
		4 Embalses	CPR100EMB4
		6 Embalses	CPR100EMB6
DEGRADADO (CN 80)	39.2 mm - PR 2 AÑOS	0 Embalses	DPR2EMB0
		4 Embalses	DPR2EMB4
		6 Embalses	DPR2EMB6
	50.4 mm - PR 5 AÑOS	0 Embalses	DPR5EMB0
		4 Embalses	DPR5EMB4
		6 Embalses	DPR5EMB6
	57.8 mm - PR 10 AÑOS	0 Embalses	DPR10EMB0
		4 Embalses	DPR10EMB4
		6 Embalses	DPR10EMB6
	67.2 mm - PR 25 AÑOS	0 Embalses	DPR25EMB0
		4 Embalses	DPR25EMB0
		6 Embalses	DPR25EMB6
	74.1 mm - PR 50 AÑOS	0 Embalses	DPR50EMB0
		4 Embalses	DPR50EMB4
		6 Embalses	DPR50EMB6
	81 mm - PR 100 AÑOS	0 Embalses	DPR100EMB0
		4 Embalses	DPR100EMB4
		6 Embalses	DPR100EMB6

4.5. Alternativas técnicas para el control de la cabecera de cárcava.

Las alternativas técnicas elegidas para el control de la cabecera de cárcava son:

- Vertedero y estructura fija
- Saetín o Tobogán
- Suavisado y Albardonado de la cabecera
- Alero o Voladizo.

4.6. Selección del tipo de obra en función del dimensionamiento y costos.

A partir de los valores de caudales pico arrojados por la simulación de las 6 lluvias de diseño en los diferentes escenarios en HEC-HMS se calcularon los diferentes parámetros básicos de diseño en la obra de control de cabecera de cárcava elegida (Ver Anexo N°1).

Para el diseño de las mismas se tomaron valores de caudal pico mediante el cual se establece un orden de seguridad en su funcionamiento ante eventos de lluvia de determinada característica. Esos caudales son:

- Hasta $15 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ se realiza Aleros o voladizos
- Entre 15 y $30 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ se realiza el Suavizado de la cabecera
- Entre 30 y $50 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ se realiza Saetín o tobogán
- Más de $50 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ se realiza Vertedero y Estructura Fija.

Los valores de parámetros básicos de construcción se utilizaron para el cálculo del costo total aproximado de la alternativa adecuada para cada situación. A partir de los mismos se calculó la cantidad de insumo a utilizar (m^3 cemento, volumen de suelo a remover, chapas, postes, alambre, materiales aislantes, alcantarillas, entre otros). En todos los casos se computaron los materiales necesarios y además la mano de obra correspondiente para la realización de la infraestructura. También se tomó en cuenta el costo de movimiento de suelo de un albardón de embocadura que tiene la función de aislar las cabeceras de cárcavas más pequeñas y conducir las aguas escurridas a una cabecera principal. Se utilizaron precios de la Dirección Provincial de vialidad de Córdoba (Ing. Civil Martinez, D., Inspector Provincial de Vialidad, Comunicación personal, 30 de octubre de 2015), (Ver Anexo 2).

Se determinó la variación en el costo de las obras proyectadas según la variación unitaria de caudal pico en las alterativas Vertedero o Estructura Fija y Saetín o Tobogán. En las alternativas Suavisado y Albardonado de la cabecera y en Alero o Voladizo se tomó en cuenta el costo de realizar la estructura para los caudales máximos que se establecieron en el orden de seguridad, es decir $30 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ y $15 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, respectivamente. Finalmente se eligió la alternativa más económica de realizar según el costo, PR y escenario.

5. RESULTADOS

5.1. Elaboración de un Sistema de Información Geográfica

5.1.1. . Área de la cuenca y subcuencas

La superficie total de la cuenca es de 13.697 ha. Corresponde a la parte alta de la Cuenca Arroyo Los Jagüeles delimitada por Cisneros (2010). Parte de las subcuencas están delimitadas por divisorias naturales, y otra parte, resultan de divisorias antrópicas como caminos, vías férreas, etc. En la figura N° 14 se detallan las curvas de nivel y la cuenca y subcuencas definidas.

La superficie total de cada subcuenca osciló entre 360 y 1288 ha. La superficie promedio de las subcuencas es de 720 ha. La descripción completa de cada subcuenca se ubica en la tabla 2.

Tabla 2: Superficie de cada subcuenca expresada en Hectáreas

id	Área (ha)	id	Área (ha)	id	Área (ha)
1	538 ha	8	502 ha	15	664 ha
2	374 ha	9	806 ha	16	1210 ha
3	374 ha	10	424 ha	17	943 ha
4	848 ha	11	624 ha	18	1034 ha
5	697 ha	12	510 ha	19	860 ha
6	711 ha	13	585 ha		
7	1288 ha	14	738 ha		

Referencias: *id*: representa el valor que identifica cada subcuenca

5.1.2. 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 4° orden. La distancia total de la red de drenaje definida en la cuenca alcanza los 115.989 m, variando en las subcuencas desde los 11.359 m hasta los 2.945 m. En la figura N° 14, 15 y 16 se detallan las características y cursos de la red de drenaje de la cuenca. La descripción detallada de la longitud de la red de drenaje se puede observar la tabla 3.

Tabla 3: Distancia de red de drenaje presente en cada subcuenca en metros

id	Long Red Dren (m)	id	Long Red Dren (m)	id	Long Red Dren (m)
1	8995 m	8	6527 m	15	2941 m
2	5343 m	9	9773 m	16	11349 m
3	4837 m	10	4045 m	17	5764 m
4	9299 m	11	6658 m	18	4236 m
5	5913 m	12	5708 m	19	5062 m
6	3016 m	13	4390 m		
7	7870 m	14	6217 m		

Referencias: *id*: representa el valor que identifica cada subcuenca

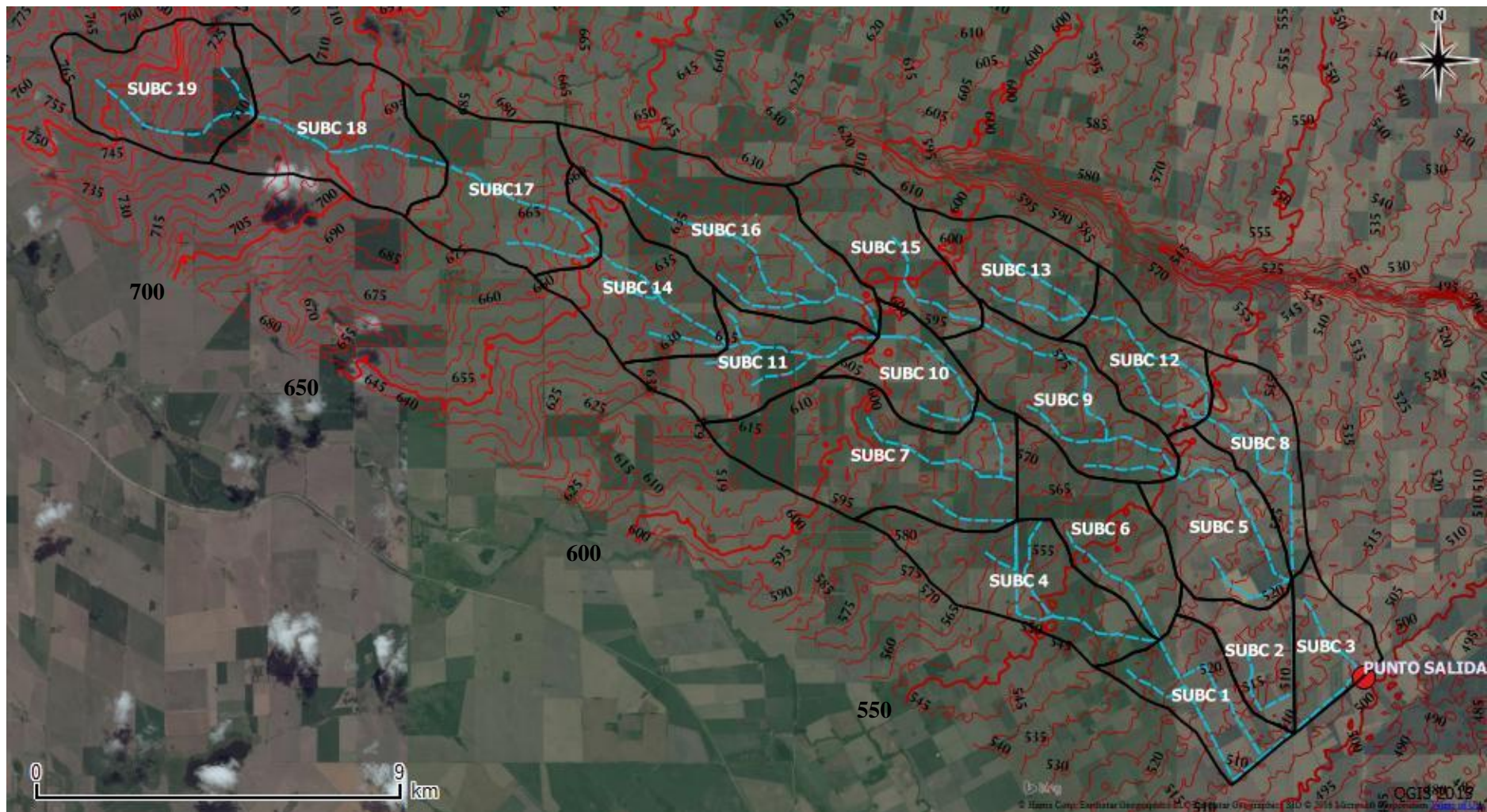


Figura 14: Cuenca y subcuencas (líneas negras), red de drenaje (líneas celestes), curvas de nivel (líneas rojas) y valores de las curvas de nivel (números negros). (Elaboración propia, imagen de fondo extraída de Google Earth).

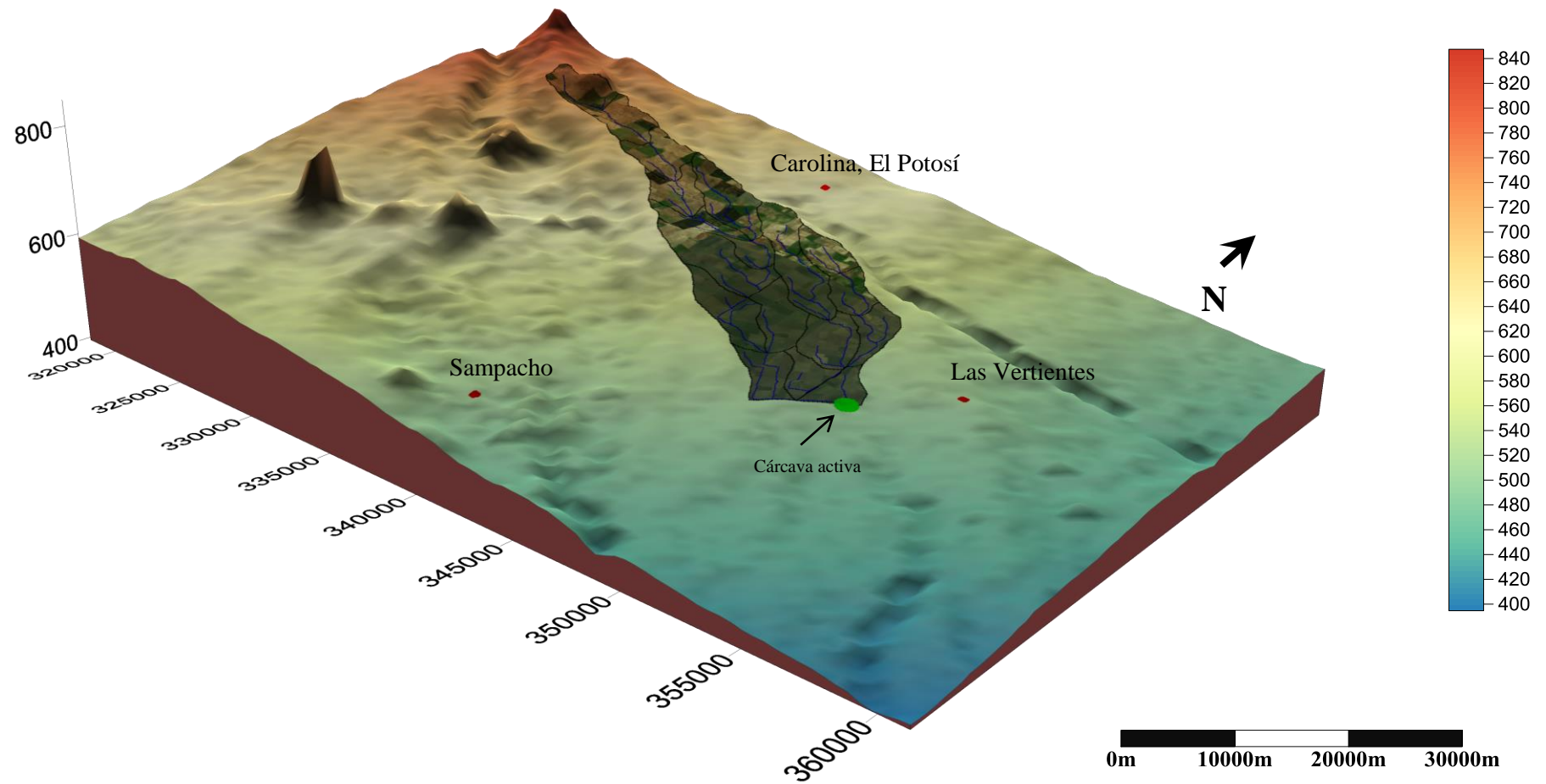


Figura 15: Vista en 3D de la Cuenca Arroyo Los Jagüeles. Los Puntos rojos son localidades próximas a la Cuenca (Sampacho, Las Vertientes y Carolina, El Potosí). En verde se visualiza la localización de la cárcava. (Elaboración Propia).

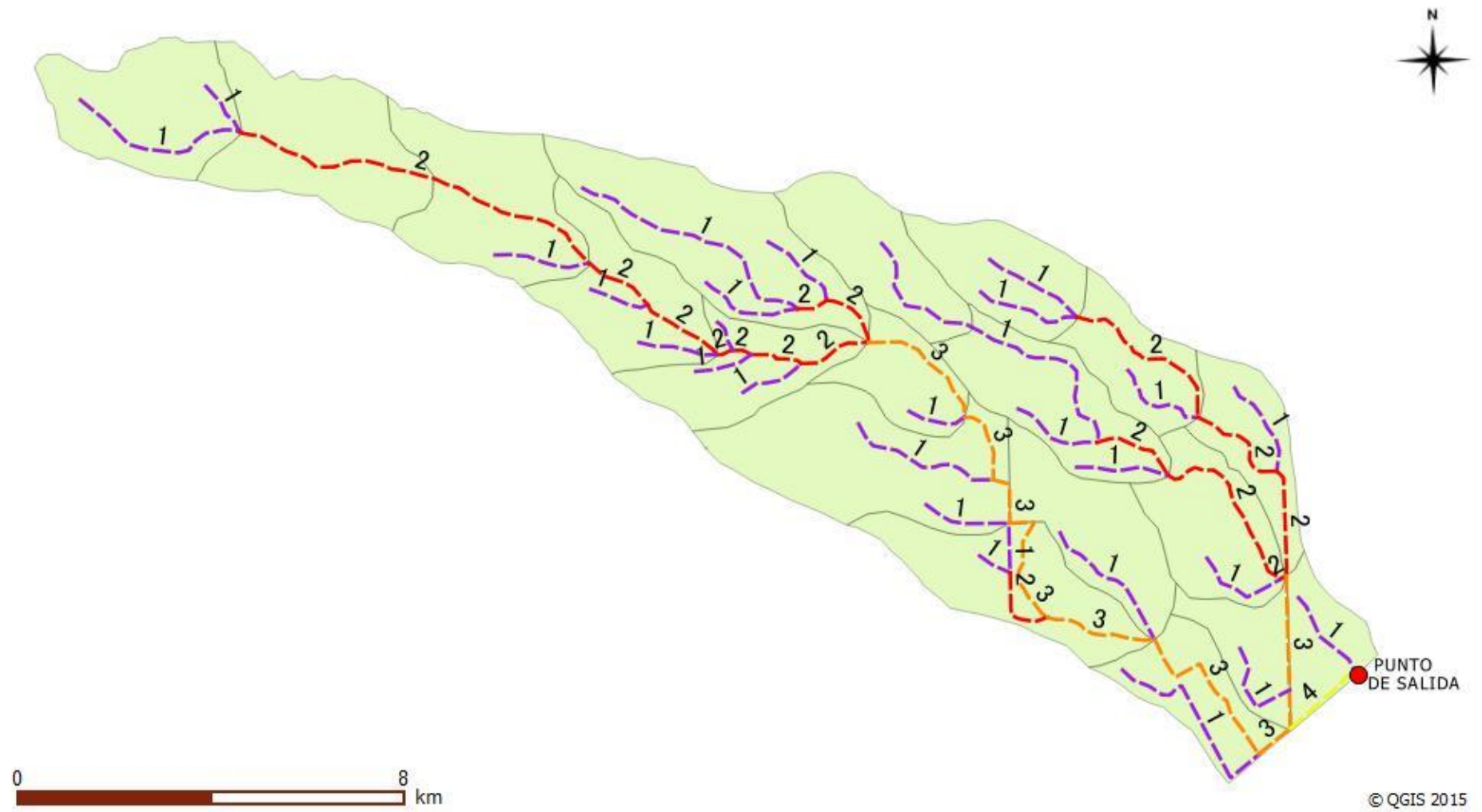


Figura 16: Red de drenaje de la cuenca categorizada por orden (Violeta primario; Rojo secundario; Naranja terciario y Amarillo Cuaternario). (Elaboración propia).

5.1.3. Pendiente de la cuenca y subcuencas:

Los valores de gradiente de pendientes en la cuenca oscilan entre el 0,62% y el 1,21%, siendo de mayor valor los del sector norte. Los menores se ubican hacia el sur de la cuenca. El valor de gradiente de pendiente media para la cuenca es de 0.78 % y para cada una de las subcuencas se encuentra detallado en la tabla 4.

Tabla 4: Pendiente media de cada subcuenca.

id	Pendiente media (%)	id	Pendiente media (%)	id	Pendiente media (%)
1	0.62 %	8	0.81 %	15	0.75 %
2	0.70 %	9	0.79 %	16	0.88 %
3	0.73 %	10	0.67 %	17	0.77 %
4	0.75 %	11	0.74 %	18	0.78 %
5	0.80 %	12	0.86 %	19	1.21 %
6	0.76 %	13	0.70 %		
7	0.78 %	14	0.80 %		

Referencias: id: representa el valor que identifica cada subcuenca

5.1.4. Caminos:

El trazado de los caminos se detalla en la Figura 19. 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 éstos a la dirección de la pendiente general de la cuenca. En las Figura 17 y 18, se pueden apreciar imágenes del estado que presentan los caminos de sentido Norte-Sur (Figura 17) y Este-Oeste (Figura 18).



Figura 17: Camino de la cuenca funcionando como red de drenaje evidenciando procesos de erosión hídrica.



Figura 18: Camino de la cuenca en buen estado

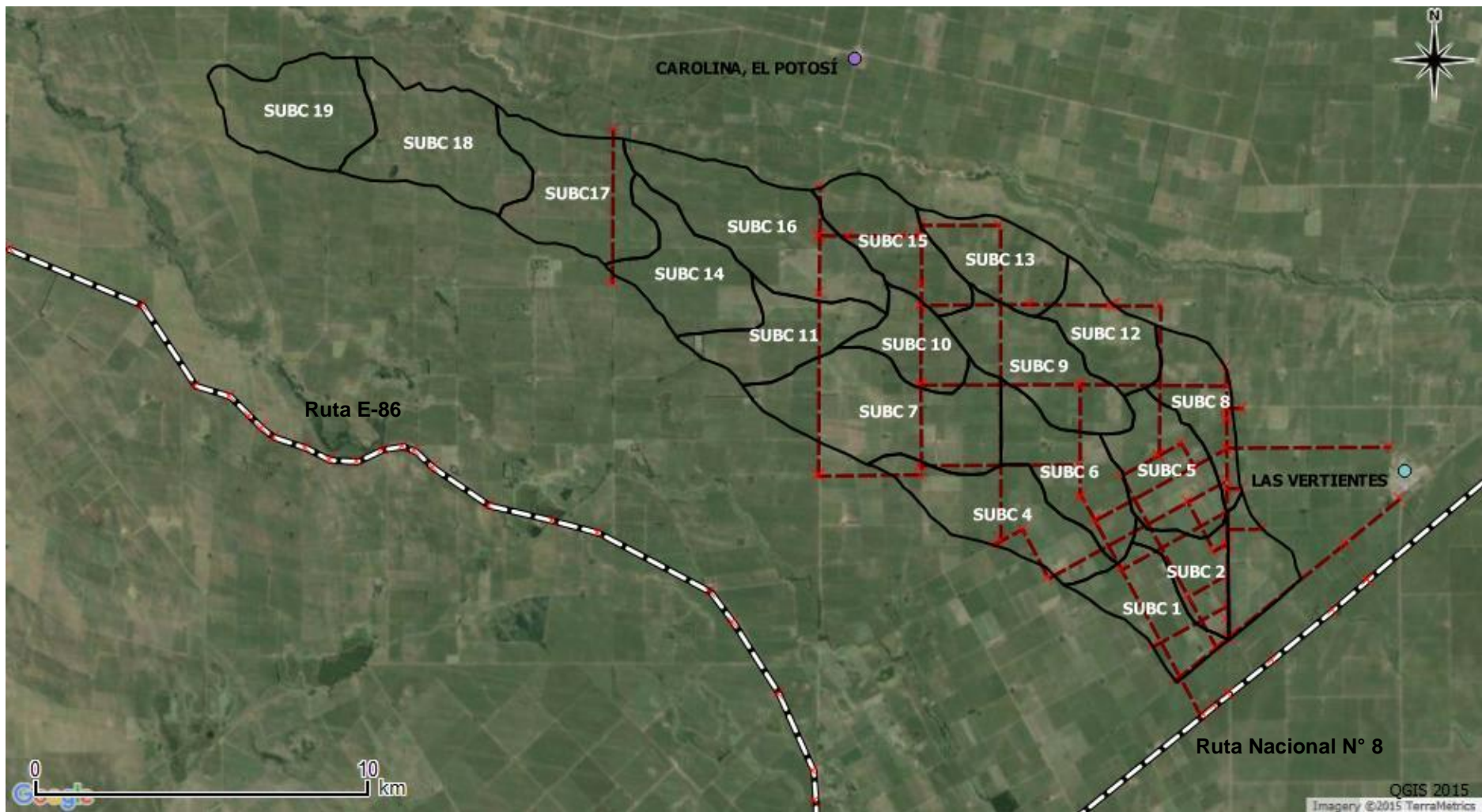


Figura 19: Cuenca y subcuencas identificadas (línea negra), caminos públicos de tierra georeferenciados (línea marrón), Rutas Nacional N°8 y Ruta Provincial E-86 (línea blanca discontinua) (Elaboración propia).

5.1.5. Relevamiento de uso y manejo actual:

La cuenca posee un uso agrícola en el 71 % de las tierras, el uso ganadero es del orden del 9 % y el agrícola-ganadero en el 20 % restante de la superficie. Los cultivos predominantes en la región son Soja (*Glicine max.*) y Maíz (*Zea mays*) representando el 56% y el 33% de la superficie sembrada en la Campaña 2014-2015, respectivamente.

En cuanto al manejo se observó una ausencia prácticamente total de técnicas de manejo del agua. Solo en el 3% de la superficie se encontraron técnicas como cultivos en terrazas y cultivos en curvas de nivel. En el manejo de la infiltración de los suelos, se observó que en un 70% de los productores que integran la cuenca no utiliza técnicas de descompactación subsuperficial.

5.1.6. Superficie ocupada por las unidades cartográficas de suelos:

Las unidades cartográficas de suelos que se presentan en la cuenca son: MNud-9 representando una superficie del 61,3% de la cuenca, seguida por MNen-30 con un 27,3% y en tercer lugar la unidad MJen-28 con un 11,4%. Esta prevalencia de unidades cartográficas está indicando una predominancia de suelos franco arenosos con susceptibilidad a erosión hídrica y eólica. En la figura 20 se presenta la superficie ocupada por cada unidad cartográfica de suelos.

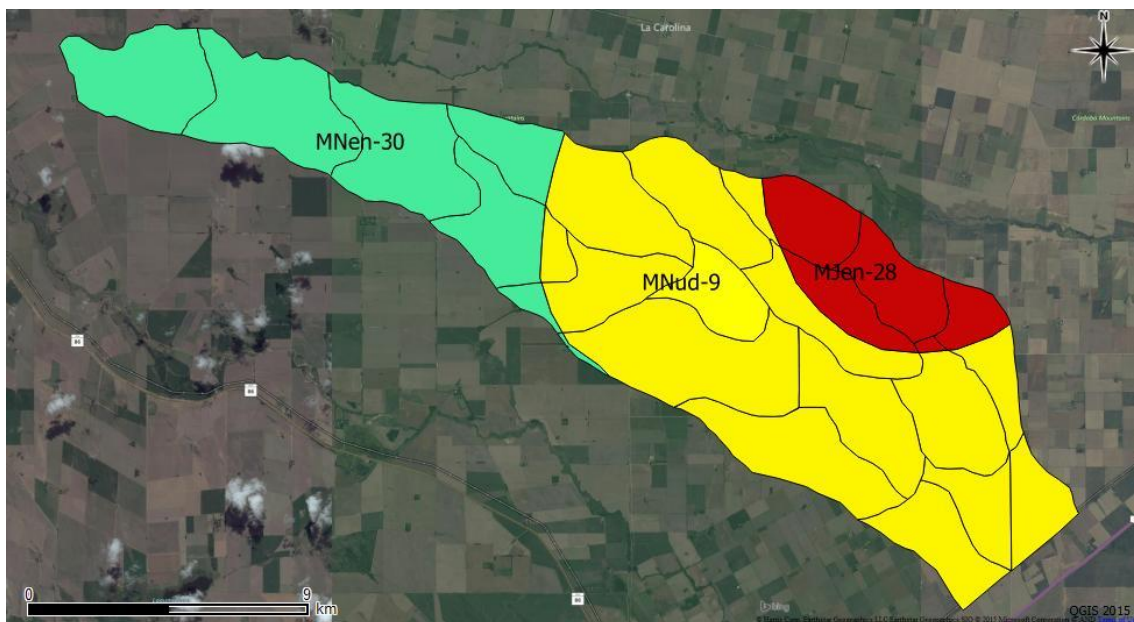


Figura 20: Superficie ocupada por cada unidad de suelos pertenecientes a la cuenca. Unidad Mnen-30 (relleno verde), unidad Mnud-9 (relleno amarillo) y unidad MJen-28 (relleno rojo). (Elaboración propia).

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

5.2.1. Lluvia de diseño:

Las lluvias de diseño utilizadas para la Cuenca Arroyo Los Jagüeles de 6 hs de duración y de distintos periodos de recurrencia se presentan a continuación en la tabla 5 y figura 21.

Tabla 5: Resultados obtenidos a partir de Hidrograma adimensional del Centro-Sur de la Provincia de Córdoba con pico en el segundo sextil y Curva IDF de General Deheza.

		FRECUENCIA (Años)					
		2 años	5 años	10 años	25 años	50 años	100 años
DURACIÓN (min)	60 min	8.6	11.1	12.7	14.8	16.3	17.8
	120 min	16.5	21.2	24.3	28.2	31.1	34
	180 min	7.8	10.1	11.6	13.4	14.8	16.2
	240 min	3.9	5	5.8	6.7	7.4	8.1
	300 min	1	1.3	1.4	1.7	1.9	2
	360 min	1.4	1.8	2	2.4	2.6	2.8
TOTAL		39.2 mm	50.4 mm	57.8 mm	67.2 mm	74.1 mm	81.0 mm

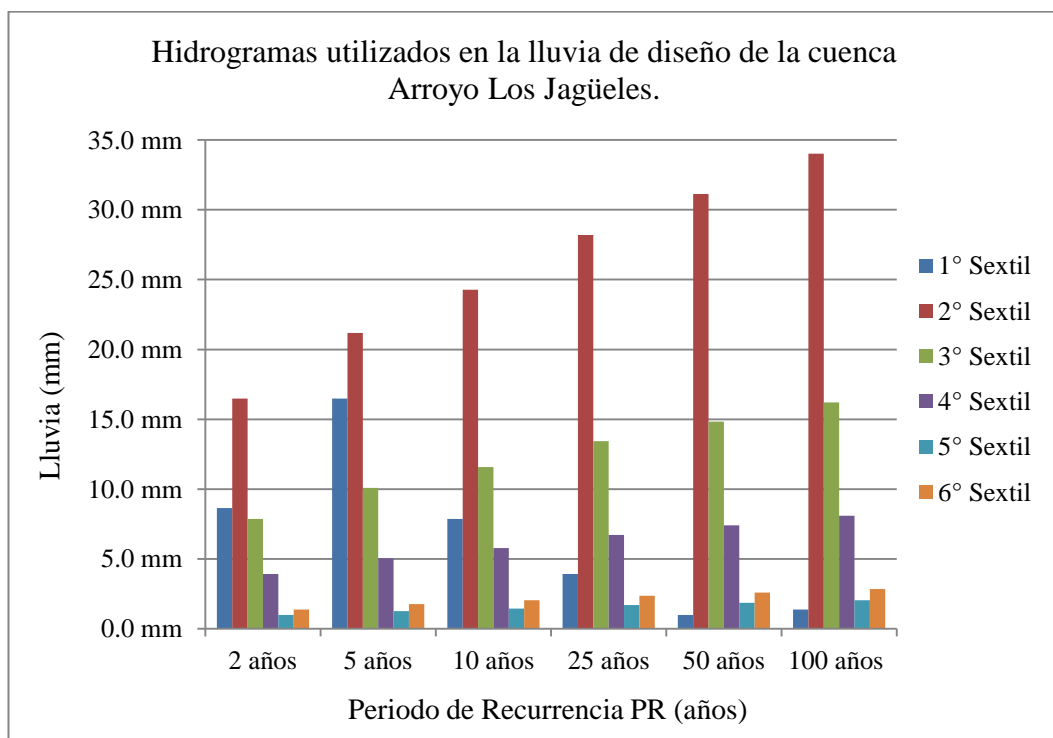


Figura 21: Hidrogramas utilizados para confeccionar la lluvia de diseño de 6hs de duración y de distintos PR en la cuenca Arroyo Los Jagüeles. Elaborado a partir de Caamaño Nelli y Dasso (2002).

5.2.2. Desarrollo del modelo hidrológico para HEC-HMS

5.2.2.1 Microembalses: Relación Altura-Almacenaje-Descarga de microembalses.

A partir de datos de altimetría, donde se calculó el volumen de almacenamiento de los microembalses, datos de diámetros de tubos de salida, donde se calculó el caudal de salida de los microembalses y datos de altura de almacenamiento, se confeccionó una relación altura-almacenaje- descarga que fue utilizada como insumo de entrada al modelo HEC-HMS para el cálculo del escurrimiento en los diferentes escenarios. En la figura 22 se muestra dicha relación.

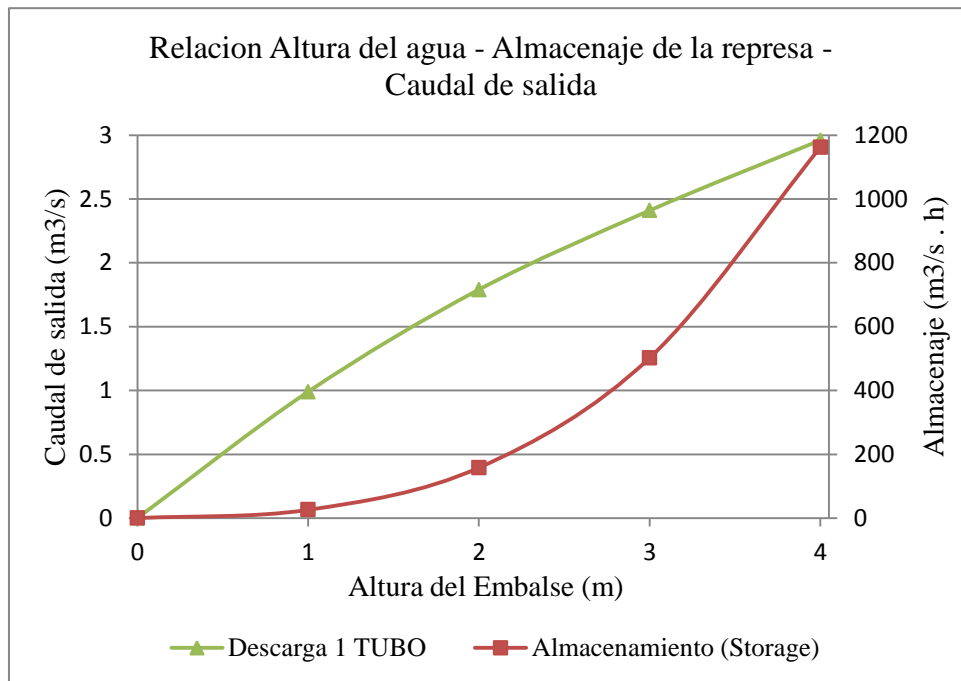


Figura 22: Relación Altura-Almacenaje-Descarga de microembalses.

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

Los valores de CN, Tc y Tlag obtenidos para cada subcuenca se detallan en la tabla 6.

Tabla 6: valores de Curva Numero, Tiempo de Concentración y Tiempo de Traslado de cada subcuenca.

	id	CN	Tc (min)	Tlag (min)
CN 70 (Actual)	1	70	36.6 min	22.0 min
	2	70	37.3 min	22.4 min
	3	69	29.5 min	17.7 min
	4	70	58.4 min	35.0 min
	5	70	36.1 min	21.7 min
	6	71	48.3 min	29.0 min
	7	70	58.6 min	35.2 min
	8	70	43.8 min	26.3 min
	9	71	44.7 min	26.8 min
	10	70	32.7 min	19.6 min
	11	70	48.0 min	28.8 min
	12	70	34.1 min	20.5 min
	13	71	40.9 min	24.6 min
	14	70	43.5 min	26.1 min
	15	70	43.1 min	25.9 min
	16	70	60.7 min	36.4 min
	17	70	47.7 min	28.6 min
	18	72	46.5 min	27.9 min
	19	70	33.1 min	19.9 min
CN 60 (Manejo Conservacionista)	1	60	47.6 min	28.6 min
	2	60	48.4 min	29.0 min
	3	59	38.5 min	23.1 min
	4	60	75.5 min	45.3 min
	5	60	46.5 min	27.9 min
	6	61	62.0 min	37.2 min
	7	60	75.1 min	45.1 min
	8	60	57.5 min	34.5 min
	9	61	57.9 min	34.7 min
	10	60	42.9 min	25.7 min
	11	60	62.6 min	37.6 min
	12	60	44.9 min	26.9 min
	13	61	52.9 min	31.7 min
	14	60	57.1 min	34.3 min
	15	60	56.7 min	34.0 min
	16	60	79.5 min	47.7 min
	17	60	62.6 min	37.6 min
	18	61	61.5 min	36.9 min
	19	60	43.5 min	26.1 min
CN 80 (Condición Degradada)	1	80	27.5 min	16.5 min
	2	80	28.0 min	16.8 min
	3	79	22.3 min	13.4 min
	4	80	43.6 min	26.2 min
	5	80	26.8 min	16.1 min
	6	81	35.6 min	21.4 min
	7	80	43.4 min	26.0 min
	8	80	33.2 min	19.9 min
	9	81	33.2 min	19.9 min
	10	80	24.8 min	14.9 min
	11	80	36.2 min	21.7 min
	12	80	25.9 min	15.5 min
	13	81	30.4 min	18.2 min
	14	80	33.0 min	19.8 min
	15	80	32.7 min	19.6 min
	16	80	45.9 min	27.6 min
	17	80	36.2 min	21.7 min
	18	81	35.3 min	21.2 min
	19	80	25.1 min	15.1 min

Referencias: **id**: representa el valor que identifica cada subcuenca. **CN**: representa el valor Ponderado de Curva Número de cada subcuenca. **Tc**: indica el valor en minutos del Tiempo de concentración de cada subcuenca. **Tlag**: representa el valor de Tiempo Lag de cada subcuenca expresado en minutos.

5.2.2.3 Estructura del modelo:

En las Figuras 23, 24 y 25 se detallan gráficamente el funcionamiento de cada modelización hidrológica, realizado, con 0, 4 y 6 embalses. Se detallan 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.



Indica la presencia de un Embalse

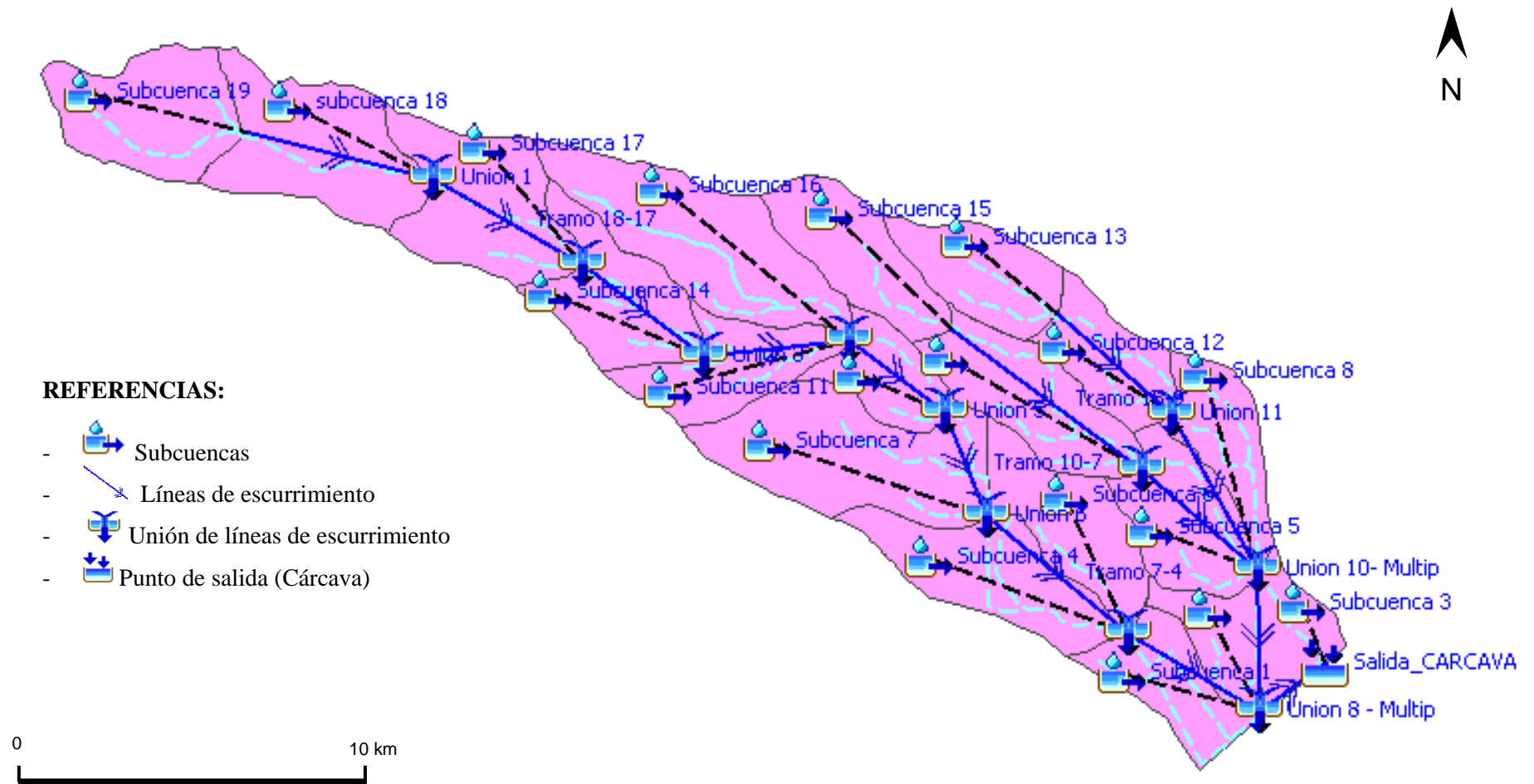


Figura 23: Gráfica descriptiva del funcionamiento de Cuenca Arroyo Los Jagüeles SIN EMBALSES.

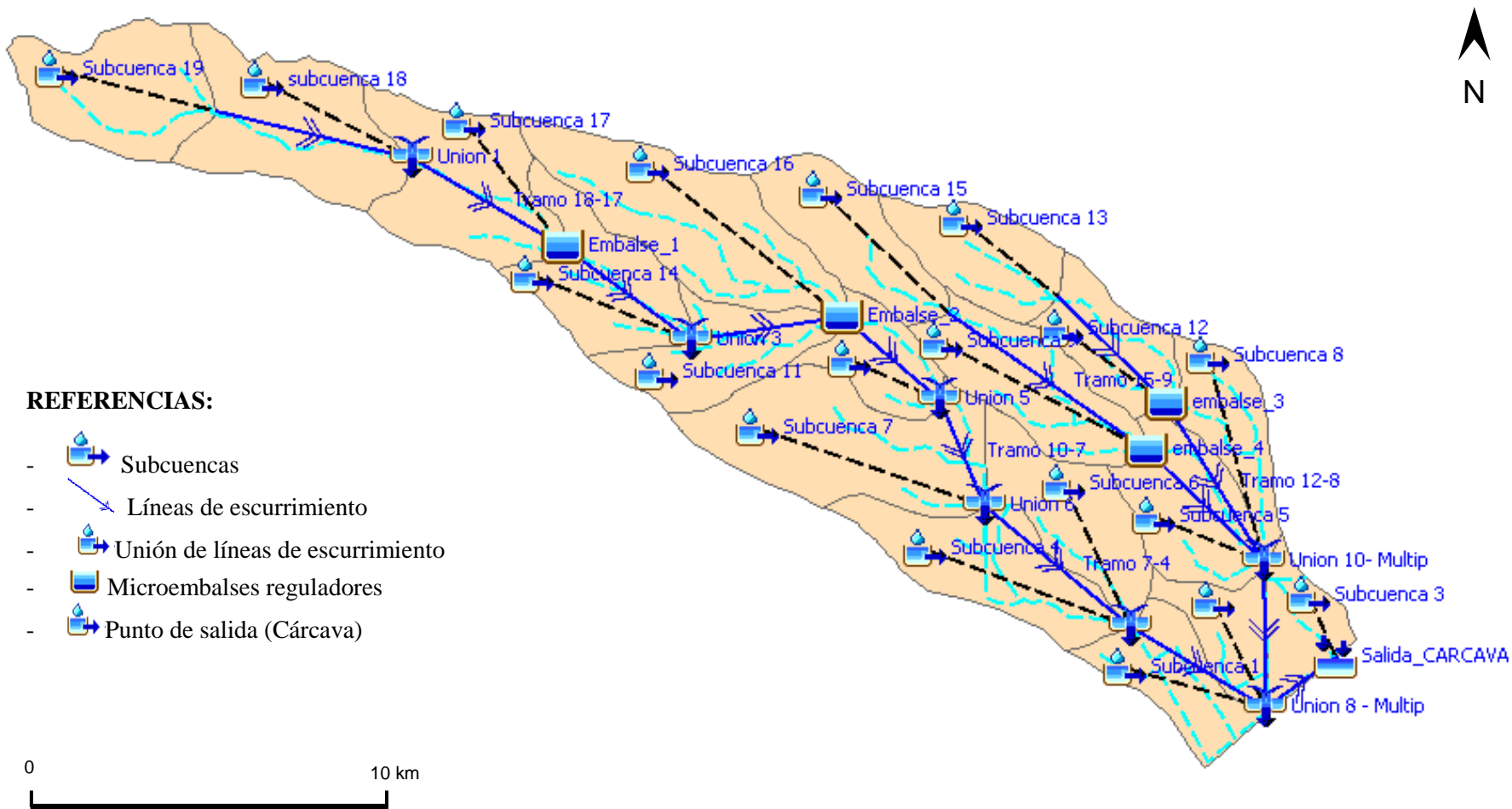


Figura 24: Gráfica descriptiva del funcionamiento de Cuenca Arroyo Los Jagüeles con 4 EMBALSES.

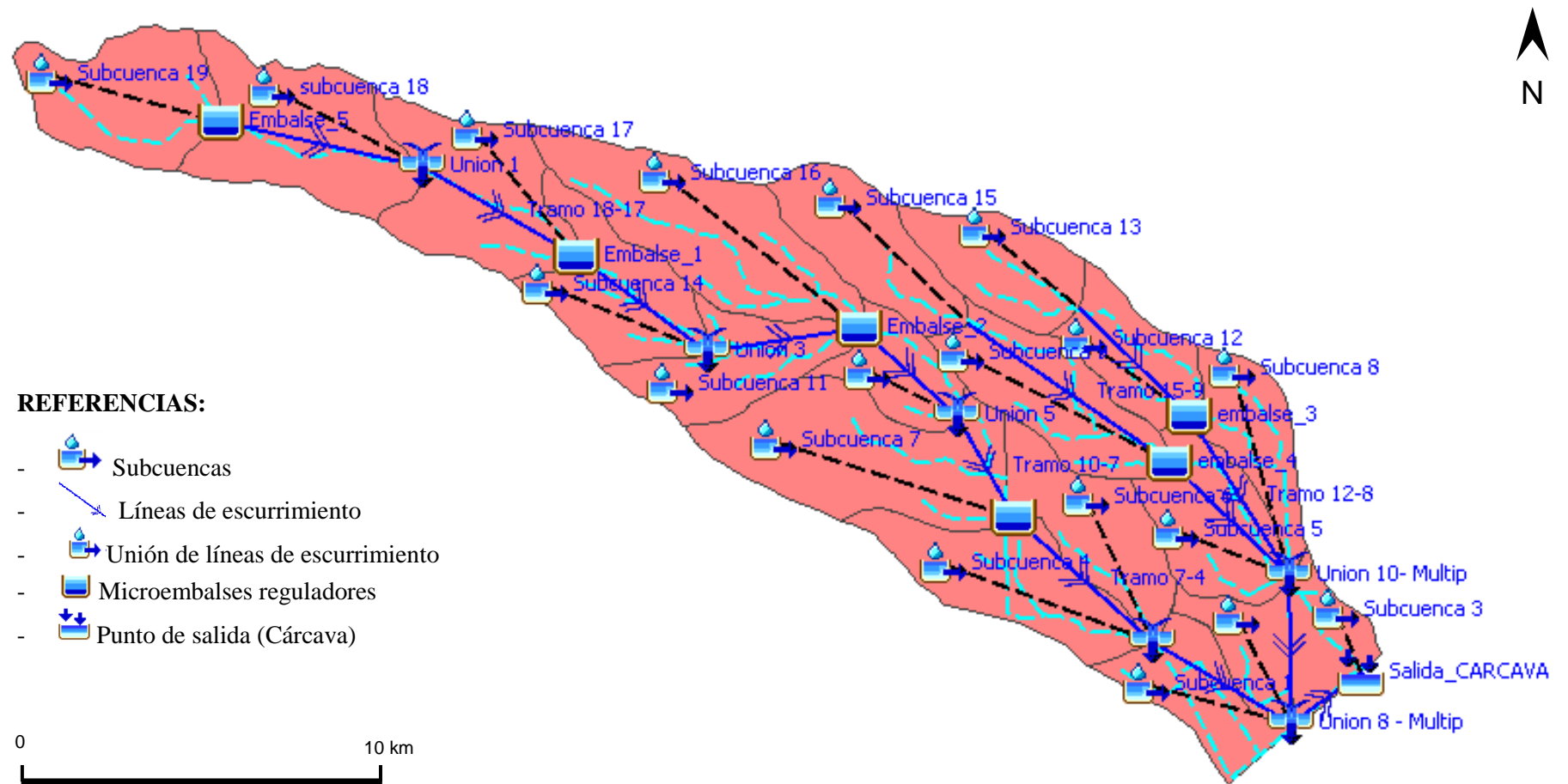


Figura 25: Gráfica descriptiva del funcionamiento de Cuenca Arroyo Los Jagüeles con 6 EMBALSES.

5.2.3. Caudales para los distintos escenarios:

5.2.3.1 Escenario 1. "Condición actual"

Indica el comportamiento de la cuenca para una condición de CN = 70, representativa de la condición actual. En la tabla 7 se indican los valores de tiempo al pico, lámina y caudal pico de la cuenca.

Tabla 7: Resultados obtenidos para el Escenario 1. Condición Actual.

Cond/CN	Lluvia (mm) y PR (Años)	Nº Embalses	Tiempo al pico (hs)	Lamina Escurrida (mm)	Caudal Pico (m ³ /s)	CODIGO
CN 70 (Actual)	39.2 mm PR 2 AÑOS	0 Embalses	6h	2.53	17.2	APR2EMB0
		4 Embalses	5h 39'	2.38	10.7	APR2EMB4
		6 Embalses	4h 30'	2.12	9.6	APR2EMB6
	50.4 mm PR 5 AÑOS	0 Embalses	5h 56'	6.21	42.5	APR5EMB0
		4 Embalses	5h 11'	5.06	26.4	APR5EMB4
		6 Embalses	4h 15'	4.26	23.4	APR5EMB6
	57.8 mm PR 10 AÑOS	0 Embalses	5h 54'	9.21	63.3	APR10EMB0
		4 Embalses	5h	7.31	39.2	APR10EMB4
		6 Embalses	4h 11'	6.14	34.6	APR10EMB6
	67.2 mm PR 25 AÑOS	0 Embalses	5h 53'	13.69	93.4	APR25EMB0
		4 Embalses	4h 46'	10.19	58.5	APR25EMB0
		6 Embalses	3h 45'	8.45	51	APR25EMB6
	74.1 mm PR 50 AÑOS	0 Embalses	5h 52'	17.35	118.2	APR50EMB0
		4 Embalses	4h 44'	12.73	74.4	APR50EMB4
		6 Embalses	3h 42'	10.5	65.6	APR50EMB6
	81 mm PR 100 AÑOS	0 Embalses	5h 52'	21.21	144.3	APR100EMB0
		4 Embalses	4h 43'	15.31	91.4	APR100EMB4
		6 Embalses	3h 40'	12.56	81.4	APR100EMB6

Referencias: **CN**: representa la base de ponderación para cada situación. **PR**: Periodo de Recurrencia. **Caudal pico (m³/s)**: 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.

5.2.3.2 Escenario 2. "Condición de Conservación".

Representa el comportamiento de la cuenca para una condición de CN= 60, valor que muestra la condición en donde se realiza un manejo conservacionista. En la tabla 8 se indican los valores de tiempo al pico, lámina y caudal pico de la cuenca.

Tabla 8: Resultados obtenidos para el Escenario 2. Condición de Conservación.

Cond/CN	Lluvia (mm) y PR (Años)	Nº Embalses	Tiempo al pico (hs)	Lamina Escurrída (mm)	Caudal Pico (m ³ /s)	CODIGO
CN 60 (Manejo Conservacionista)	39.2 mm PR 2 AÑOS	0 Embalses	7h 17´	0.18	1.3	CPR2EMB0
		4 Embalses	7h 13´	0.18	0.9	CPR2EMB4
		6 Embalses	6h	0.16	0.7	CPR2EMB6
	50.4 mm PR 5 AÑOS	0 Embalses	6h 08´	1.55	10.4	CPR5EMB0
		4 Embalses	6h 04´	1.49	6.7	CPR5EMB4
		6 Embalses	4h 52´	1.39	5.6	CPR5EMB6
	57.8 mm PR 10 AÑOS	0 Embalses	6h 06´	3.05	20.7	CPR10EMB0
		4 Embalses	5h 49´	2.88	13.1	CPR10EMB4
		6 Embalses	4h 40´	2.55	11.5	CPR10EMB6
	67.2 mm PR 25 AÑOS	0 Embalses	6h 04´	5.61	37.8	CPR25EMB0
		4 Embalses	5h 29´	4.83	23.7	CPR25EMB0
		6 Embalses	4h 31´	4.12	20.9	CPR25EMB6
	74.1 mm PR 50 AÑOS	0 Embalses	6h 03´	7.88	53	CPR50EMB0
		4 Embalses	5h 19´	6.68	33.4	CPR50EMB4
		6 Embalses	4h 26´	5.66	29.3	CPR50EMB6
	81 mm PR 100 AÑOS	0 Embalses	6h 03´	10.4	69.9	CPR100EMB0
		4 Embalses	5h 13´	8.6	44	CPR100EMB4
		6 Embalses	4h 22´	7.28	38.7	CPR100EMB6

Referencias: **CN**: representa la base de ponderación para cada situación. **PR**: Periodo de Recurrencia. **Caudal pico (m³/s)**: 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

5.2.3.3 Escenario 3. “Condición de Degradación”.

Representa el comportamiento de la cuenca para una condición de CN= 80, representativa de la condición degradada. En la tabla 9 se indican los valores de tiempo al pico, lamina y caudal pico de la cuenca.

Tabla 9: Resultados obtenidos para el Escenario 3. Condición de Degradación.

Cond/CN	Lluvia (mm) y PR (Años)	Nº Embalses	Tiempo al pico (hs)	Lamina Escurrída (mm)	Caudal Pico (m ³ /s)	CODIGO
CN 80 (Condición Degradada)	39.2 mm PR 2 AÑOS	0 Embalses	5h 45´	7.96	55.6	DPR2EMB0
		4 Embalses	4h 37´	6.37	36.4	DPR2EMB4
		6 Embalses	3h 35´	5.33	32	DPR2EMB6
	50.4 mm PR 5 AÑOS	0 Embalses	5h 44´	14.32	99.1	DPR5EMB0
		4 Embalses	4h 35´	10.28	65.4	DPR5EMB4
		6 Embalses	3h 32´	8.45	59.1	DPR5EMB6
	57.8 mm PR 10 AÑOS	0 Embalses	5h 44´	18.98	130.9	DPR10EMB0
		4 Embalses	4h 34´	13.24	86.6	DPR10EMB4
		6 Embalses	3h 31´	10.78	79	DPR10EMB6
	67.2 mm PR 25 AÑOS	0 Embalses	4h 42´	25.46	174.9	DPR25EMB0
		4 Embalses	4h 33´	16.88	114.8	DPR25EMB4
		6 Embalses	3h 29´	13.56	105.9	DPR25EMB6
	74.1 mm PR 50 AÑOS	0 Embalses	4h 41´	30.5	209.8	DPR50EMB0
		4 Embalses	4h 32´	20.08	136.9	DPR50EMB4
		6 Embalses	3h 26´	16.14	127	DPR50EMB6
	81 mm PR 100 AÑOS	0 Embalses	4h 41´	35.66	246.1	DPR100EMB0
		4 Embalses	4h 32´	23.2	159.6	DPR100EMB4
		6 Embalses	3h 17´	18.58	149.5	DPR100EMB6

Referencias: **CN**: representa la base de ponderación para cada situación. **PR**: Periodo de Recurrencia. **Caudal pico (m³/s)**: 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

5.2.4. Costos de las alternativas de control de cabecera de cárcava según caudales picos

En la tabla 10 se muestran los diferentes caudales picos obtenidos en las simulaciones en HEC-HMS para los diferentes escenarios, alternativas de regulación de escurrimientos y lluvias de diseño. En la tabla 11 se muestran el costo total aproximado de la construcción de la alternativa propuesta para cada escenario. Dentro del mismo se tuvo en cuenta el costo de realizar la obra hidráulica, el costo de realizar microembalses (si los hubiese) y el costo de un albardón de embocadura.

En la tabla 12 se observa solamente el costo de la obra hidráulica en función de la cantidad de microembalses y de PR.

Tabla 10: Valores de caudales picos ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) en función del escenario, lluvia de diseño-periodo de recurrencia y número de microembalses. Asignación de la técnica de control de cárcava.

		CN 80 (Degradado)			CN70 (Actual)			CN60 (Conservacionista)		
N° Embalses		0	4	6	0	4	6	0	4	6
Periodo de Recurrencia	2 AÑOS	55.6 m3/s (DPR2EMB0)	36.4 m3/s (DPR2EMB4)	32.0 m3/s (DPR2EMB6)	17.2 m3/s (APR2EMB0)	10.7 m3/s (APR2EMB4)	9.6 m3/s (APR2EMB6)	1.3 m3/s (CPR2EMB0)	0.9 m3/s (CPR2EMB4)	0.7 m3/s (CPR2EMB6)
	5 AÑOS	99.1 m3/s (DPR5EMB0)	65.4 m3/s (DPR5EMB4)	59.1 m3/s (DPR5EMB6)	42.5 m3/s (APR5EMB0)	26.4 m3/s (APR5EMB4)	23.4 m3/s (APR5EMB6)	10.4 m3/s (CPR5EMB0)	6.7 m3/s (CPR5EMB4)	5.6 m3/s (CPR5EMB6)
	10 AÑOS	130.9 m3/s (DPR10EMB0)	86.6 m3/s (DPR10EMB4)	79.0 m3/s (DPR10EMB6)	63.3 m3/s (APR10EMB0)	39.2 m3/s (APR10EMB4)	34.6 m3/s (APR10EMB6)	20.7 m3/s (CPR10EMB0)	13.1 m3/s (CPR10EMB4)	11.5 m3/s (CPR10EMB6)
	25 AÑOS	174.9 m3/s (DPR25EMB0)	114.8 m3/s (DPR25EMB4)	105.9 m3/s (DPR25EMB6)	93.4 m3/s (APR25EMB0)	58.5 m3/s (APR25EMB4)	51.0 m3/s (APR25EMB6)	37.8 m3/s (CPR25EMB0)	23.7 m3/s (CPR25EMB4)	20.9 m3/s (CPR25EMB6)
	50 AÑOS	209.8 m3/s (DPR50EMB0)	136.9 m3/s (DPR50EMB4)	127.0 m3/s (DPR50EMB6)	118.2 m3/s (APR50EMB0)	74.4 m3/s (APR50EMB4)	65.6 m3/s (APR50EMB6)	53.0 m3/s (CPR50EMB0)	33.4 m3/s (CPR50EMB4)	29.3 m3/s (CPR50EMB6)
	100 AÑOS	246.1 m3/s (DPR100EMB0)	159.6 m3/s (DPR100EMB4)	149.5 m3/s (DPR100EMB6)	144.3 m3/s (APR100EMB0)	91.4 m3/s (APR100EMB4)	81.4 m3/s (APR100EMB6)	69.9 m3/s (CPR100EMB0)	44.0 m3/s (APR100EMB4)	38.7 m3/s (CPR100EMB6)

Referencias: Los valores entre paréntesis son los códigos de cada escenario. Los colores en cada celda indica la alternativa elegida según el caudal pico erogado por la cuenca:

Hasta 15 m3/s – Aleros

Entre 15 y 30 m3- Suavizado de la cabecera

Entre 30 y 50 m3 – Tobogán

Más de 50 m3 - Vertedero.

	(Amarillo)
	(Verde)
	(Naranja)
	(Rojo)

Tabla 11: Costo total aproximado de las alternativas de control de cabecera de cárcava, microembalses y albardón de embocadura. Propuestas en función de las variantes simuladas.

		CN 80 (Degradado)			CN70 (Actual)			CN60 (Conservacionista)		
N° Embalses		0	4	6	0	4	6	0	4	6
Periodo de Recurrencia	2 AÑOS	\$993.562 (DPR2EMB0)	\$1.959.701 (DPR2EMB4)	\$2.478.843 (DPR2EMB6)	\$53.919 (APR2EMB0)	\$1.215.799 (APR2EMB4)	\$1.817.397 (APR2EMB6)	\$12.601 (CPR2EMB0)	\$1.215.799 (CPR2EMB4)	\$1.817.397 (CPR2EMB6)
	5 AÑOS	\$1.676.527 (DPR5EMB0)	\$2.353.045 (DPR5EMB4)	\$2.856.184 (DPR5EMB6)	\$870.829 (APR5EMB0)	\$1.257.116 (APR5EMB4)	\$1.858.715 (APR5EMB6)	\$12.601 (CPR5EMB0)	\$1.215.799 (CPR5EMB4)	\$1.817.397 (CPR5EMB6)
	10 AÑOS	\$2.173.513 (DPR10EMB0)	\$2.684.369 (DPR10EMB4)	\$3.167.191 (DPR10EMB6)	\$1.117.027 (APR10EMB0)	\$2.012.178 (APR10EMB4)	\$2.527.564 (APR10EMB6)	\$53.919 (CPR10EMB0)	\$1.215.799 (CPR10EMB4)	\$1.817.397 (CPR10EMB6)
	25 AÑOS	\$2.861.166 (DPR25EMB0)	\$3.125.092 (DPR25EMB4)	\$3.587.597 (DPR25EMB6)	\$1.587.445 (APR25EMB0)	\$2.245.208 (APR25EMB4)	\$2.729.593 (APR25EMB6)	\$782.742 (CPR25EMB0)	\$1.257.116 (CPR25EMB4)	\$1.858.715 (CPR25EMB6)
	50 AÑOS	\$3.406.600 (DPR50EMB0)	\$3.470.481 (DPR50EMB4)	\$3.917.358 (DPR50EMB6)	\$1.975.031 (APR50EMB0)	\$2.493.701 (APR50EMB4)	\$2.957.769 (APR50EMB6)	\$956.054 (CPR50EMB0)	\$1.903.475 (CPR50EMB4)	\$1.858.715 (CPR50EMB6)
	100 AÑOS	\$3.973.913 (DPR100EMB0)	\$3.825.248 (DPR100EMB4)	\$4.268.999 (DPR100EMB6)	\$2.382.934 (APR100EMB0)	\$2.759.385 (APR100EMB4)	\$3.204.699 (APR100EMB6)	\$1.220.175 (CPR100EMB0)	\$2.102.139 (APR100EMB4)	\$2.604.406 (CPR100EMB6)

Referencias: Los valores entre paréntesis son los códigos de cada escenario. Los colores en cada celda indica la alternativa elegida según el caudal pico erogado por la cuenca.

Hasta 15 m³/s – Aleros

Entre 15 y 30 m³/s- Suavizado de la cabecera

Entre 30 y 50 m³/s – Tobogán

Más de 50 m³/s - Vertedero.

	(Amarillo)
	(Verde)
	(Naranja)
	(Rojo)

Tabla 12: Costo de la obra hidráulica (Vertedero, Saetín, Suavizado de la cárcava o Alero) planteada para cada escenario.

	N° Embalses	Degradado CN 80			Actual CN70			Conservacionista CN60		
		0	4	6	0	4	6	0	4	6
Periodo Recurrencia	2 AÑOS	\$993.562 (DPR2EMB0)	\$756.503 [-\$237.059] (DPR2EMB4)	\$674.047 [-\$319.516] (DPR2EMB6)	\$53.919 (APR2EMB0)	\$12.601 [-\$41.318] (APR2EMB4)	\$12.601 [-\$41.318] (APR2EMB6)	\$12.601 (CPR2EMB0)	\$12.601 [\$0] (CPR2EMB4)	\$12.601 [\$0] (CPR2EMB6)
	5 AÑOS	\$1.676.527 (DPR5EMB0)	\$1.149.847 [-\$526.680] (DPR5EMB4)	\$1.051.388 [-\$625.139] (DPR5EMB6)	\$870.829 (APR5EMB0)	\$53.919 [-\$816.910] (APR5EMB4)	\$53.919 [-\$816.910] (APR5EMB6)	\$12.601 (CPR5EMB0)	\$12.601 [\$0] (CPR5EMB4)	\$12.601 [\$0] (CPR5EMB6)
	10 AÑOS	\$2.173.513 (DPR10EMB0)	\$1.481.171 [-\$692.342] (DPR10EMB4)	\$1.362.394 [-\$811.118] (DPR10EMB6)	\$1.117.027 (APR10EMB0)	\$808.980 [-\$308.047] (APR10EMB4)	\$722.768 [-\$394.260] (APR10EMB6)	\$53.919 (CPR10EMB0)	\$12.601 [-\$41.318] (CPR10EMB4)	\$12.601 [-\$41.318] (CPR10EMB6)
	25 AÑOS	\$2.861.166 (DPR25EMB0)	\$1.921.894 [-\$939.272] (DPR25EMB4)	\$1.782.801 [-\$1.078.365] (DPR25EMB6)	\$1.587.445 (APR25EMB0)	\$1.042.011 [-\$545.434] (APR25EMB4)	\$924.797 [-\$662.648] (APR25EMB6)	\$782.742 (CPR25EMB0)	\$53.919 [-\$728.823] (CPR25EMB4)	\$53.919 [-\$728.823] (CPR25EMB6)
	50 AÑOS	\$3.406.600 (DPR50EMB0)	\$2.267.283 [-\$1.139.316] (DPR50EMB4)	\$2.112.562 [-\$1.294.038] (DPR50EMB6)	\$1.975.031 (APR50EMB0)	\$1.290.503 [-\$684.527] (APR50EMB4)	\$1.152.973 [-\$822.058] (APR50EMB6)	\$956.054 (CPR50EMB0)	\$700.277 [-\$255.777] (CPR50EMB4)	\$53.919 [-\$902.135] (CPR50EMB6)
	100 AÑOS	\$3.973.913 (DPR100EMB0)	\$2.622.050 [-\$1.351.864] (DPR100EMB4)	\$2.464.202 [-\$1.509.711] (DPR100EMB6)	\$2.382.934 (APR100EMB0)	\$1.556.188 [-\$826.747] (APR100EMB4)	\$1.399.903 [-\$983.031] (APR100EMB6)	\$1.220.175 (CPR100EMB0)	\$898.942 [-\$321.233] (APR100EMB4)	\$799.610 [-\$420.566] (CPR100EMB6)

Referencias: Valores entre corchetes reflejan la variación en el costo de la obra hidráulica con respecto al mismo escenario sin embalses. Los valores entre paréntesis son los códigos de cada escenario. Los colores en cada celda indica la alternativa elegida según el caudal pico erogado por la cuenca.

Hasta 15 m³/s – Aleros

Entre 15 y 30 m³/s- Suavizado de la cabecera

Entre 30 y 50 m³/s – Tobogán

Más de 50 m³/s - Vertedero.

	(Amarillo)
	(Verde)
	(Naranja)
	(Rojo)

El caudal pico de los distintos escenarios oscila entre $0.7 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (CPR2EMB6) y $246.1 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (DPR100EMB0). El caudal pico promedio de todos los escenarios del modelo condición Actual (CN 70) es de $58.1 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, en el modelo condición Conservacionista (CN 60) es de $23.4 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ y en el modelo condición Degradada (CN 80) es de $114.9 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. La brecha que existe entre el promedio de todos los caudales picos entre el modelo condición Actual y el modelo condición Conservacionista es de $34.7 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$; y entre el modelo condición Degradado y el modelo condición Conservacionista es de $91.5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

El costo total oscila entre \$12.601 (CPR2EMB0) y \$4.268.999 (DPR100EMB6). El costo total promedio en los escenarios del modelo condición Actual (CN70) es de \$1.948.128, en el modelo condición Conservacionista (CN60) es de \$1.317.903 y en el modelo condición Degradado (CN80) es de \$2.898.766. Se observa que a medida que el valor de CN disminuye, el costo total de las obras disminuye.

La construcción de microembalses disminuye el costo de la obra hidráulica. Esa disminución oscila entre \$0 y \$1.509.711. La disminución promedio en el costo para el modelo condición Actual (CN70) es de \$578.619, en el modelo condición Conservacionista (CN60) es de \$286.695 y en el modelo condición Degradado (CN 80) es de \$877.035, lo que indicaría el impacto de la regulación de los escurrimientos a nivel de cuenca sobre el costo de control de una cabecera de cárcava.

En el 51.8% los escenarios se obtiene un caudal pico mayor a $50 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. En el 16% de los escenarios un caudal pico entre $30 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ y $50 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. En 12.9% de los escenarios un caudal pico entre $15 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ y $30 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ y en el 18.5% de los escenarios un caudal pico menor a $15 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

Si se tomara como periodo de recurrencia 25 años, valor utilizado generalmente en la construcción de obras para el control de cárcavas, se observa que en el modelo de cuenca Degradada (CN 80) y el Actual (CN 70) la alternativa más conveniente de realizar es un Vertedero. En cambio, en el modelo de cuenca Conservacionista (CN 60), los menores caudales picos erogados permiten la realización de obras más simples como el Suavizado de la cabecera (escenarios CPR25EMB4 y CPR25EMB6) o de menor precio como el Saetín o Tobogán que tiene un costo de \$782.742 (Escenario CPR25EMB0). Con este PR, el menor costo constructivo en el modelo de cuenca Actual es de \$1.587.445 correspondiente al código APR25EMB0 y equivale a \$115/ ha de cuenca. En el modelo de cuenca Conservacionista es de \$782,742 correspondiente al código CPR25EMB0 con un costo de \$57/ha de cuenca; y en el modelo de cuenca Degradada es de \$2.861.166 correspondiente al código DPR25EMB0, con un valor de \$208/ha de cuenca.

Un alero, una de las alternativas más simple desde el punto de vista constructivo, solo es posible construirlo en escenarios del modelo Conservacionista en PR de 2 y 5 años (códigos CPR2EMB0, CPR2EMB4, CPR2EMB6, CPR5EMB0, CPR5EMB4, CPR5EMB6) y en los

escenarios CPR10EMB4 y CPR10EMB6, es decir, cuando el PR es de 10 años y se plantean la colocación de 4 y 6 microembalses.

A partir de los resultados obtenidos se observa que la implementación de técnicas de conservación de suelo que permitan disminuir caudales picos (Escenarios Conservacionistas) permiten disminuir notablemente el costo del control de la cabecera de cárcava, además de constituir una inversión rentable y sostenible en el tiempo para productores (Vaquero et al., 2011). Indirectamente, la ejecución y puesta en marcha de dichas prácticas trae otros beneficios como: disminución de la erosión hídrica en los caminos rurales, disminución de inundaciones, menor pérdida de suelo, aumento de la productividad de los campos, entre otros.

A continuación se describen la dinámica que tiene el costo de los Vertederos y Estructura Fija (Figura 26) y Saetín o Tobogán (figura 27) en función de los caudales picos y de la cantidad de embalses. La variación del costo se debe a la variación en el ancho de la obra a medida que aumenta el caudal pico.

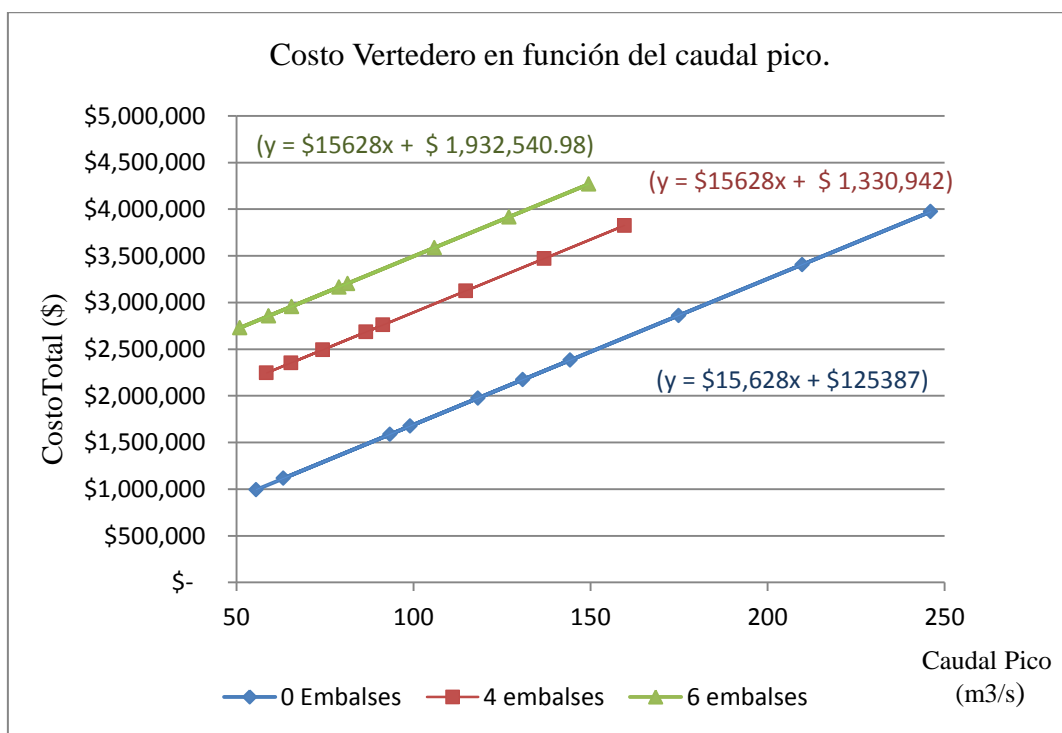


Figura 26: Variación del costo de los vertederos (Caudales picos $\geq 50 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) en función de Caudal Pico y N° de Embalses. (Entre paréntesis las funciones matemáticas que describen dicha variación). (Elaboración Propia).

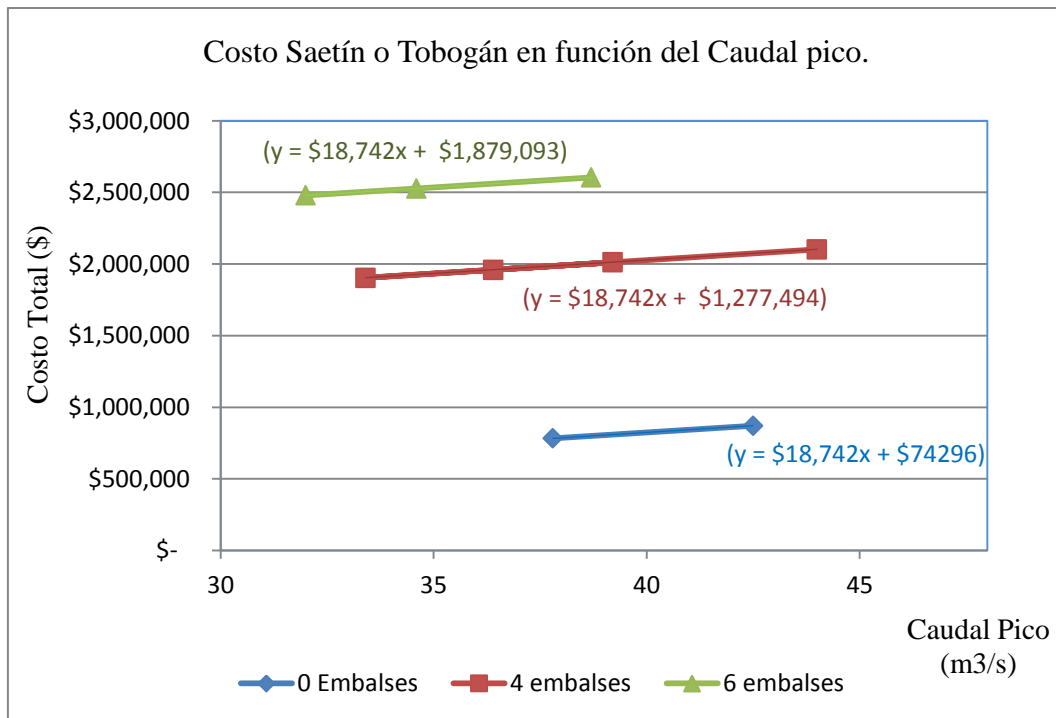


Figura 27: Variación del costo de un Tobogán o Saetín (Caudales picos $\geq 30 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ y $\leq 50 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) en función de Caudal Pico y N° de Embalses. (Entre paréntesis las funciones matemáticas que describen dicha variación). (Elaboración Propia).

El costo unitario por $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ de caudal pico en Vertederos es de \$15,628 y en Saetín o Tobogán es de \$18,742. No existe variación en el costo unitario de las restantes alternativas ya que se diseñaron para soportar los caudales de seguridad máximos. La Construcción de un microembalse demanda un costo aproximado de \$300,000.

5.2.5. Eficacia de los microembalses

En las tablas 13, 14 y 15 se describe la eficacia de los microembalses en los distintos modelos de cuenca (modelo condición Actual (CN70), modelo condición Conservacionista (CN60) y modelo condición Degradada (CN80), respectivamente).

Tabla 13: Eficacia de los microembalses en el modelo condición Actual (CN 70). (Elaboración propia).

CN	Código	Caudal sin embalses (m ³ .s ⁻¹)	Caudal con embalses (m ³ .s ⁻¹)	Diferencia (m ³ .s ⁻¹)	Numero de embalses	Eficacia (m ³ .s ⁻¹ por embalse)	Eficacia (%)
60	APR2EMB0	17.2	10.7	6.5	4	1.6	38%
	APR5EMB0	42.5	26.4	16.1	4	4.0	38%
	APR10EMB0	63.3	39.2	24.1	4	6.0	38%
	APR25EMB0	93.4	58.5	34.9	4	8.7	37%
	APR50EMB0	118.2	74.4	43.8	4	11.0	37%
	APR100EMB0	144.3	91.4	52.9	4	13.2	37%
	APR2EMB0	17.2	9.6	7.6	6	1.3	44%
	APR5EMB0	42.5	23.4	19.1	6	3.2	45%
	APR10EMB0	63.3	34.6	28.7	6	4.8	45%
	APR25EMB0	93.4	51	42.4	6	7.1	45%
	APR50EMB0	118.2	65.6	52.6	6	8.8	45%
	APR100EMB0	144.3	81.4	62.9	6	10.5	44%

En el modelo situación Actual (CN 70) la eficacia promedio teniendo en cuenta la utilización de 4 embalses en la cuenca es de 34% y si se construyen 6 embalses es de 40%. La diferencia de caudal promedio que se obtiene con 4 embalses es de 52.7 m³/s y de 60.5 m³/s con 6 embalses.

Tabla 14: Eficacia de los microembalses en el modelo condición Conservacionista (CN 60). (Elaboración propia).

CN	Código	Caudal sin embalses (m ³ .s ⁻¹)	Caudal con embalses (m ³ .s ⁻¹)	Diferencia (m ³ .s ⁻¹)	Numero de embalses	Eficacia (m ³ .s ⁻¹ por embalse)	Eficacia (%)
60	CPR2EMB0	1.3	0.9	0.4	4	0.1	31%
	CPR5EMB0	10.4	6.7	3.7	4	0.9	36%
	CPR10EMB0	20.7	13.1	7.6	4	1.9	37%
	CPR25EMB0	37.8	23.7	14.1	4	3.5	37%
	CPR50EMB0	53	33.4	19.6	4	4.9	37%
	CPR100EMB0	69.9	44	25.9	4	6.5	37%
	CPR2EMB0	1.3	0.7	0.6	6	0.1	46%
	CPR5EMB0	10.4	5.6	4.8	6	0.8	46%
	CPR10EMB0	20.7	11.5	9.2	6	1.5	44%
	CPR25EMB0	37.8	20.9	16.9	6	2.8	45%
	CPR50EMB0	53	29.3	23.7	6	4.0	45%
	CPR100EMB0	69.9	38.7	31.2	6	5.2	45%

En el modelo situación Conservacionista (CN 60) la eficacia promedio teniendo en cuenta la utilización de 4 embalses en la cuenca es de 36% y si se construyen 6 embalses es de 45%. La diferencia de caudal promedio que se obtiene con 4 embalses es de 11.8 m³/s y de 14.4 m³/s con 6 embalses.

Tabla 15: Eficacia de los microembalses en el modelo condición Degradada (CN 80). (Elaboración propia).

CN	Código	Caudal sin embalses (m ³ .s ⁻¹)	Caudal con embalses (m ³ .s ⁻¹)	Diferencia (m ³ .s ⁻¹)	Numero de embalses	Eficacia (m ³ .s ⁻¹ por embalse)	Eficacia (%)
80	DPR2EMB0	55.6	36.4	19.2	4	4.8	35%
	DPR5EMB0	99.1	65.4	33.7	4	8.4	34%
	DPR10EMB0	130.9	86.6	44.3	4	11.1	34%
	DPR25EMB0	174.9	114.8	60.1	4	15.0	34%
	DPR50EMB0	209.8	136.9	72.9	4	18.2	35%
	DPR100EMB0	246.1	159.6	86.5	4	21.6	35%
	DPR2EMB0	55.6	32	23.6	6	3.9	42%
	DPR5EMB0	99.1	59.1	40	6	6.7	40%
	DPR10EMB0	130.9	79	51.9	6	8.7	40%
	DPR25EMB0	174.9	105.9	69	6	11.5	39%
	DPR50EMB0	209.8	127	82.8	6	13.8	39%
	DPR100EMB0	246.1	149.5	96.6	6	16.1	39%

En el modelo situación Degradada (CN 80) la eficacia promedio teniendo en cuenta la utilización de 4 embalses en la cuenca es de 37% y si se construyen 6 embalses es de 45%. La diferencia de caudal promedio que se obtiene con 4 embalses es de 29.7 m³.s⁻¹ y de 35.5 m³.s⁻¹ con 6 embalses.

En los tres modelos de cuenca se obtiene una eficacia similar cuando se colocan 4 y 6 microembalses. A medida que se colocan más microembalses en la cuenca la eficacia promedio aumenta.

5.2.6. Síntesis de Resultados:

La combinación de actividad de campo con herramientas SIG permitió caracterizar la cuenca Arroyo Los Jagüeles. Esto permitió diseñar y calcular costos aproximados de alternativas para el control de una cárcava:

- La superficie total definida para la cuenca es de 13.697 ha, con un total de 19 subcuencas cuyas superficies varían entre las 360 ha y 1.288 ha, con gran predominio de suelos Francos a Franco – Arenosos. La pendiente general tiene sentido de noroeste

a sureste con un valor medio de gradiente del 0.78 % con un valor máximo de 1.21 % y un mínimo de 0,67 %. La red de drenaje de la cuenca alcanza el 4° orden y posee una longitud total de 115.989 m. En el uso del suelo predomina la agricultura ocupando un 71 % de la superficie total, uso mixto o agrícola-ganadero ganadero un 20% y 9 % ganadero. Se observaron daños en los caminos, especialmente en aquellos que presentan dirección norte-sur.

- En la cuenca se observó una ausencia prácticamente total de técnicas de manejo del agua. El 3% de la superficie cuenta con la implementación de técnicas como cultivos en terrazas y cultivos en curvas de nivel. El 70% de los productores que integran la cuenca no utiliza técnicas de descompactación subsuperficial, técnica usada en el manejo de la infiltración del agua.
- Las principales diferencias de caudal pico son atribuidas a los 3 escenarios planteados. El escenario N° 1 (situación actual) manifiesta el comportamiento de la cuenca sin que se realicen intervenciones. El escenario N° 2 (situación de conservación) exhibe el comportamiento de la cuenca si se realizaran técnicas de control de erosión en toda la cuenca. En el escenario N° 3 (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.
- Los caudales picos y costos totales para el Escenario 1 (Actual) variaron desde $9.3 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ a $144.3 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ y \$12.283 y \$2.604.406 respectivamente.
- Los caudales picos y costos totales para el Escenario 2 (Conservacionista) variaron desde $0.7 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ a $69.9 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ y \$53.919 a \$3.204.699 respectivamente.
- Los caudales picos y costos totales para el Escenario 3 (Degradado) variaron desde $32 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ a $246.1 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ y \$993.562 a \$4.268.999 respectivamente.
- El caudal pico promedio de todos los escenarios del modelo de cuenca Actual (CN 70) es de $58.1 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, en el modelo Conservacionista (CN 60) es de $23.4 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ y en modelo Degradado (CN 80) es de $114.9 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.
- La brecha que existe entre el promedio de todos los caudales picos entre el modelo Actual (CN 70) y el modelo Conservacionista (CN 60) es del $34.7 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Se logra disminuir el caudal pico en un 59.8%
- La brecha que existe entre el promedio de todos los caudales picos entre el modelo Degradado (CN 80) y el modelo Conservacionista (CN 60) es del $91.5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Se logra disminuir el caudal pico en un 79.7%.

- La construcción de embalses disminuye el costo de la obra hidráulica. Esta disminución es en promedio para el modelo Actual (CN70) de \$578.619, en el modelo Conservacionista (CN60) de \$286.695 y en el modelo Degradado (CN 80) de \$877.035.
- El costo constructivo de un vertedero varía \$15.628 por $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ de caudal pico.
- El costo constructivo de un Saetín o Tobogán varía \$18.742 por $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ de caudal pico.
- En los tres modelos de cuenca se obtiene una eficacia similar cuando se colocan 4 y 6 microembalses. A medida que aumenta la cantidad de microembalses la eficacia es mayor.
- Con PR mayores a 25 años la opción de control más favorable es un Vertedero y Estructura Fija en el escenario Actual (CN70) y en el Degradado (CN80).
- Con PR de 25 años en Escenario Actual el menor costo constructivo es de \$1.587.445 correspondiente al código APR25EMB0 y equivale a \$115/ ha de Cuenca.
- Con PR de 25 años en Escenario Conservacionista el menor costo constructivo es de \$782.742 correspondiente al código CPR25EMB0 y equivale a \$57/ha de cuenca.
- Con PR de 25 años en Escenario Degradado el menor costo constructivo es de \$2.861.166 correspondiente al código DPR25EMB0 y equivale \$208/ha de cuenca.

6. CONCLUSIONES

La simulación hidrológica que se llevó a cabo permitió una comprensión detallada del funcionamiento hidrológico del escurrimiento en la Cuenca Arroyo Los Jagüeles. Ésta brindó información sobre las condiciones actuales y sobre los posibles escenarios futuros que en la misma podría encontrarse.

La utilización de herramientas SIG combinada con modelos hidrológicos constituyó una herramienta de interés que proporcionó información necesaria para el posterior diseño y dimensionamiento de alternativas de control de cárcava.

Pensando en la situación actual y en una condición degradada de la cuenca la mejor opción es la construcción de un Vertedero y Estructura Fija, tomando valores de PR mayores a 25 años, valor utilizado generalmente en este tipo de obras hidráulicas. La construcción de un Alero o Voladizo, estructura hidráulica sencilla y de fácil construcción, solo es posible en escenarios Conservacionistas y con PR menores o iguales a 10 años.

La utilización de microembalses generó una reducción del caudal pico erogado por la cuenca. Además, a medida que aumentó el número de microembalses se redujo el costo de la obra hidráulica utilizada. Esto ayuda a comprender la importancia de incluir los microembalses como técnica para reducir caudales picos en la cuenca.

La brecha de caudales picos que existe entre el modelo Actual (CN 70) y el modelo Conservacionista (CN 60) o entre el modelo Degradado (CN 80) y el modelo Conservacionista ponen en manifiesto que realizar un manejo hídrico adecuado en los campos que integran la cuenca es la solución más económica.

A partir de este estudio se observa la importancia que tiene la promoción de proyectos de conservación y ordenamientos de tierra en la cuenca Arroyo Los jagüeles para lograr así un control efectivo de la cárcava analizada y contribuir a la disminución de la erosión hídrica en el sistema de cuencas de los Arroyo menores del Sur de Córdoba, sistema donde se encuentra inserta la cuenca en estudio.

7. BIBLIOGRAFIA

- ANAYA FERNANDEZ, O. G. 2012. Caracterización morfológica de la cuenca hidrográfica Chinchao, distrito de Chinchao, provincia de Huanuco. Universidad Nacional Agraria de la Selva, Tingo Maria - Perú. En: http://www.unas.edu.pe/web/sites/default/files/web/archivos/actividades_academicas/CARACTERIZACION%20MORFOMETRICA%20DE%20LA%20CUENCA%20HIDROGRAFICA%20CHINCHAO,%20DISTRITO%20DE%20CHINCHAO,%20PROVINCIA%20DE%20HUANUCO,.pdf. Consultado: 28.10.2015
- ASSOULINE, S Y M. BEN-HUR. 2006. "Effects of rainfall intensity and slope gradient on the dynamics of interrill erosion during soil surface sealing". *Catena* 66:211-220.
- BECERRA, V., CISNEROS, J., GIL, DE PRADA, J., CHOLAKY, C., GONZALEZ, J., MARCOS, J., BIOLE, G., DEGIOANNI, A., CANTERO, JJ., NUÑEZ, C., GIAYETTO, O., CANTU, M., BECKER, A, BLARASIN, M., DEGIOVANNI, S. Y CAMPANELLA, S. 1992. "Propuesta de ordenamiento, uso y manejo de las tierras y aguas en la cuenca de aporte hídrico a General Deheza". SeCyOT. FAV – UNRC, Argentina. 35 p.
- BOCCARDI, F. y R. BOCCARDI. 2007. "Soja en Argentina: Cosecha Amarga". En: www.ecoportal.net/content/view/full/66465. Consultado: 05/02/2013.
- BUSTAMANTE ORTEGA, R. S. 2008. "Calibración y validación del modelo HEC-HMS, en la Cuenca de Huechún, región metropolitana". Tesis de Grado. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad de Talca, Talca, Chile. 234 p.
- CAAMAÑO NELLI, G Y C.M. DASSO. 2002. "Lluvias de Diseño - Conceptos, Técnicas y Experiencias". Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET). Ed. Científica Universitaria. Argentina. 207 p.
- CAAMAÑO NELLI, G.; A. F. RICO; C. M. DASSO. 2012. "El modelo DIT 3p para predicción de lluvias máximas". **3º Taller sobre Regionalización de Precipitaciones Máximas**. Rosario, Santa Fe, Argentina. p: 71-82.
- CANTERO, A.; CANTU, M.; CISNEROS, J.; BLARASIN, M.; BECERRA, V.; GONZALEZ, J.; DEGIOANNI, A.; GIL, H.; DE PRADA, J.; DEGIOVANNI, S.; CHOLAKY, C.; VILLEGAS, M.; CABRERA, A Y C. ERIC. 1999. "Las tierras y aguas del sur de la provincia de Córdoba; Propuesta para un manejo sustentable". UNRC (Rio Cuarto, Córdoba, Argentina).
- CASTELLÓ, E.; G., VANOLI, A., RODRIGUEZ Y H. FARÍAS. 2003. "Estudios, Proyecto, Ejecución y Seguimiento de Estabilización de Cárcavas En Cauces Sobre Suelos

- Loéssicos". En: 1^{er} Simposio Regional de Ingeniería de Ríos. http://www.academia.edu/download/30928620/RE_3_3.pdf. Consultado: 10-12-2013
- CISNEROS J, DEGIOANNI, A, CANTERO G. A, GRAU J, ANTÓN J Y J DE PRADA. 2013. "Propuesta de ordenamiento de la cuenca La Colacha, Córdoba". Cap. 3. En Bases conceptuales y metodológicas para el ordenamiento territorial en el medio rural. Giayetto O, Plevich O, Lallana V y Pilatti M. Compiladores. Libroclíc Ediciones. ISBN 978-987-29233-0-3.
- CISNEROS, J, CANTÚ, M., DEGIOANNI, A., MARCOS, J., DE PRADA, J., CANTERO, A. Y BENÍTEZ, S. 1991."Propuesta de Ordenamiento, Uso y Manejo para las Cuencas de Aporte Hídrico a General Cabrera". SeCyOT-FAV. Argentina. 8 p.
- CISNEROS, J. 2010. "Bases para el ordenamiento territorial del sur de Córdoba (Argentina). El caso de la Cuenca de los Arroyos Menores". Tesis doctoral. Departamento de Matemática Aplicada a la Ingeniería Agronómica. Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España. 334 p
- CISNEROS, J., BRICCHI, E., DEGIOANNI, A., DE PRADA, J., CANTERO, A., CHOLAKY, C., GONZALEZ, J. Y BENITEZ, S. 1992 "Propuesta de Ordenamiento, Uso y Manejo para la Cuenca Hídrica de Charras". SeCyOT. FAV-UNRC. Argentina. 12 p.
- CISNEROS, J., CANTERO G., A., DEGIOANNI, A., DE PRADA, J., REYNERO, M., GONZÁLEZ, J., CHOLAKY, C., GIL, H., BECERRA, V. Y ANGELI, A. 2005. "Identificación de los focos activos de erosión hídrica lineal y programa de control de erosión en la cuenca media y alta del arroyo Santa Catalina (arroyos La Barranquita, Cipión y La Colacha)". Protocolo Específico de Cooperación Dirección Provincial de Vialidad - UNRC/FAV 2005/1 ANEXO III. 30 p. y anexo cartográfico.
- CISNEROS, J., CANTERO G., A., GONZÁLEZ, J., DE PRADA, J., REYNERO, M. GIL, H., DEGIOANNI, A., CHOLAKY, C. 2005. "Programa de control de erosión-sedimentación y de manejo ambiental de las tierras y prevención de aporte de excedentes hídricos a los caminos de la red secundaria y terciaria de la subcuenca Santa Rita". Protocolo Específico de Cooperación Dirección Provincial de Vialidad - UNRC/FAV 2005/1 ANEXO I. 44 p. y anexo cartográfico.
- CISNEROS, J.; CHOLAKY, C.; CANTERO, A.; GONZALEZ, J.; REYNERO, M.; DIEZ, A.; BERGESIO, L.; CANTERO, J.; NUÑEZ, C.; AMUCHASTEGUI, A.; DEGIOANNI, A. 2012. "Erosión Hídrica. Principios y técnicas de manejo". 1^{ra} ed. Ed. UniRio. Río Cuarto, Córdoba, Argentina. 290p.
- COHEN, M.J.; M.T. BROWN Y K.D. SHEPHERD. 2006. "Estimating the environmental cost of soil erosion at multiple scales in Kenya using emergy synthesis". Agriculture, Ecosystems and Environment. 114:249-269.

- DI FRANCO, L.; A., CUELLO.; M.C., SERAFINI. 2012. "Parametrización de la cuenca hidrográfica del río Luján, Argentina, basada en Geomática". **14° Simposio SELPER**. Cayenne, Guayana Francesa. p: 1-8.
- DUEÑAS, C. 1997 "Marco normativo vigente ante el riesgo de inundaciones". Jornadas Parlamentarias sobre prevención de riesgos relacionados con el agua. Cámara del Senado. Madrid, España. 7 p.
- ESTRADA SIFONTES, V. y PACHECO MOYA, R. M. .2012. "Modelación hidrológica con HEC-HMS en cuencas montañosas de la región oriental de Cuba". RIHA. 33. (1): 94-105.
- FANGMEIER, D.D.; W.J., ELLIOT; S.R., WORKMAN; R.L.,HUFFMAN; G. O., SCHWAB. 2005. "Soil and water conservation Engineering". 5^{ta}edición. Ed.Thomson Delmar Learning. 502 p.
- FELIX SALAS, F.B. 2009. "Análisis del escurrimiento de la cuenca del Rio San Miguel, Sonora, México, durante el 2004". Tesis de Grado. Universidad de Sonora, Hermosillo, México.
- GASPARI, F.; M., ALFONSO; V., RODRÍGUEZ; G.E., SENISTERRA; G., DENEGRÍ; M.I., DELGADO; S., BESTEIRO. 2012. "Caracterización morfométrica de La Cuenca Alta del Río Sauce Grande, Buenos Aires, Argentina". **7° Congreso de Medio Ambiente**. La Plata-Buenos Aires, Argentina. p: 1-25
- GORGAS, J.A.; J.L.,TASSILE; J., BAHILL; E., ZAMORA; H. BOSNERO; E., LOVERA; A., RAVELO. 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
- GUTIÉRREZ, Á. G.; S., SCHNABEL Y J. F. L CONTADOR. 2011. "Procesos, factores y consecuencias de la erosión por cárcavas" . *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles* (55) p: 59–80.
- GYSSSELS, G.; J. POESSEN.; A. KNAPEN.; W. VAN DESSEL Y J. LEONARD. 2007. Effects of double rilling of small grains on soil erosion by concentrated flow and crop yield. *Soil & Tillage Research*. 2^{da} ed. Ed.Advisory Board.Vol 93. p: 379-390
- IBÁÑEZ ASENSIO, S.; H., MORENO RAMÓN; J.M., GISBERT BLANQUER. 2010. "Morfología de las cuencas hidrográficas". Disponible en: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/10782/Morfolog%C3%ADa%20de%20una%20cuenca.pdf>. Consultado: 30.12.2015. p: 1-12.
- INSTITUTO NACIONAL DEL AGUA. 2010. "CIRSA - Área Hidrología – Predicciones" En: <http://www.ina.gov.ar/pdf/Cirsa-Hidro-pred.pdf>. Consultado: 10-11-2015

- MAGNANO, C; A., DEGIOANNI; G., CANTERO. 1987. "Propuesta de ordenamiento hidráulico establecimiento agropecuario". Cátedra de Uso y Manejo de Suelos. Facultad de Agronomía y Veterinaria. UNRC. 8p.
- MAXWELL, T.; R.,BIENIE; K., MATTEHEWS. 1995 Enfoques comparados sobre estrategias de uso de 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, Argentina.
- MEIJERINK, A.; BROUWER, H.; MANNAERTS, C. Y C.VALENZUELA, 1994. "Introduction to the Use of GIS for Practical Hydrology" ITC. (23). p: 1-11.
- ORTEGA ACACIO, A. B. y M. A. PEROZO YNESTROZA. 2014. "Regionalización de factores de reducción por área en una cuenca hidrográfica de Venezuela". *RIHA*. La Habana (35) p. 94-106
- ROJAS, R. 2005. "Evaluación preliminar del modelo HEC-HMS". Disponible en: <http://www.webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/rojas.r/evalhec.pdf>. Consultado: 07.12.2015. p: 1-24
- TABOADA, M. 1998. "Compactación superficial causada por la siembra directa, y regeneración estructural en suelos franco limoso pampeanos". **16° Congreso Argentino de Ciencias del Suelo**. V. Carlos Paz. Córdoba. Argentina. 361-374.
- 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 2015.
- VAQUERO, D.O. 2011." Análisis Económico y Financiero de la Conservación de Suelo y Agua, General Deheza, Córdoba, Argentina. Tesis de Grado. Universidad Nacional de Rio Cuarto, Córdoba, Argentina. 69 p.
- WEBER, J.F. 2009. "Determinación de la relación Intensidad – Duración – Recurrencia para la ciudad de La Rioja". **2° Taller de Regionalización de Precipitaciones Máximas**. Universidad Católica de Córdoba, Córdoba, Argentina. p: 7-8

8. ANEXOS:

I- Anexo N° 1:

Los parámetros de diseño que se tuvieron para el dimensionamiento y cálculo de costos constructivos de las alternativas técnicas elegidas se detallan a continuación en las figuras 43, 44, 45, 46 y 47:

- Vertedero y Estructura Fija:

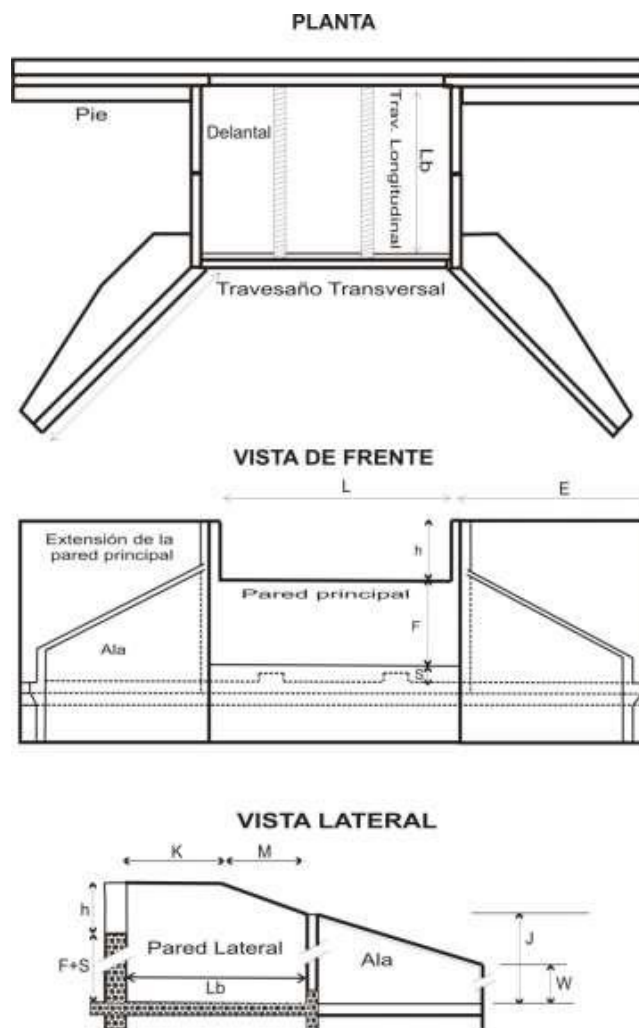


Figura 28: Dimensiones de una estructura de un Vertedero y Estructura Fija. (Cisneros et al., 2012).

Referencias:

- ✓ Largo del Vertedero (L):

$$L = \frac{(0.336 + 0.01 \times F) \times Q}{0.82 \times h^2}$$

Dónde:

Q: Capacidad de desagüe del Vertedero o Caudal Pico, en m³/s.

F: Altura del salto o altura de la cárcava, en m.

h: Altura del pelo de Agua en el Vertedero, en m.

- ✓ (E): $E = (3 \times h) + 0.61$
- ✓ (J): $J = 2 \times h$
- ✓ (Lb) $Lb = F \times \left(\frac{2.28 \times h}{F} + 0.52 \right)$
- ✓ (M) $M = 2 \times \left(F + \frac{4}{3 \times h} - j \right)$
- ✓ (K) $K = Lb + 0.13 - M$
- ✓ (S) $S = \frac{h}{3}$
- ✓ (P) $P = 2.82 \times (J - S - 0.31)$
- ✓ (W) $W = S + 0.03$

- Saetín o Tobogán:

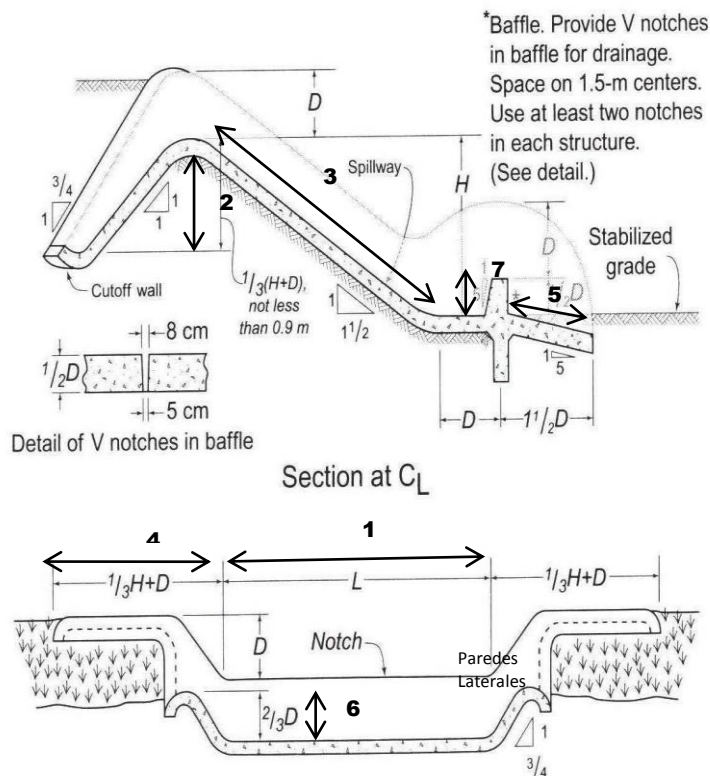


Figura 29: Dimensiones de una estructura de un Saetín o Tobogán. (Cisneros et al., 2012).

Referencias:

- 1- Ancho del Tobogán o Saetín (L)

$$L = \frac{Q}{2.11 \times h^{\frac{3}{2}}}$$

Dónde:

Q: Capacidad de desagüe del Vertedero o Caudal Pico, en m³/s.

h: Altura del pelo de Agua en el Vertedero, en m.

- 2- Altura rampa ascendente del tobogán (ARAT):

$$ARAT = \frac{1}{3} \times (H + h)$$

Dónde:

H: Altura del salto, en m.

h: Altura del pelo de Agua en el Vertedero, en m.

- 3- Largo de aliviadero (LA)

$$LA = \sqrt{(H^2 + (H \times 1.5)^2)}$$

- 4- Ancho paredes laterales (APL)

$$APL = \frac{1}{3} \times H + h$$

- 5- Prolongación desde batea difusora (PBD)

$$PBD = 1.5 \times h$$

- 6- Altura batea difusora (ABD)

$$ABD = \frac{2}{3} \times h$$

- 7- Altura bloques difusores (AD)

$$AD = \frac{1}{2} \times h$$

- Suavizado y Albardonado de la cabecera:

En la Figura 30 se observa el perímetro de suavizado de la cabecera de cárcava y la disposición de los albardones dentro de la misma.



Figura 31: Esquema representativo, perímetro de Suavizado (línea amarilla), disposición de los albardones (línea fucsia) y albardones de protección (línea roja).

La distancia entre un albardón y el próximo sale de la siguiente relación:

$$L = \frac{H}{2 \times S} \times 100$$

Dónde:

- L = distancia entre albardones, en m.
- H = altura del albardón, varía entre 0,4 - 0,6 metros,
- S = pendiente del talud suavizado.

En la Figura N° 46 se observa el diseño de los albardones. El fundamento de la protección con albardones está en su funcionamiento "ahogado" o bajo un colchón de agua. Esto se logra colocando los albardones con una separación tal que la proyección horizontal de la cresta de uno, coincida con la mitad de la altura del inmediato superior

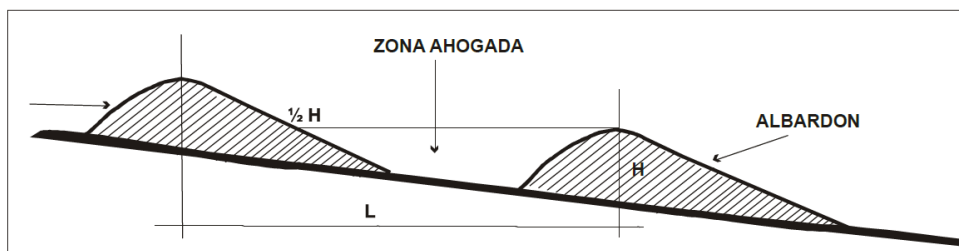


Figura 32: Disposición de albardones en la pendiente de una zona suavizada de cárcava (Cisneros et al., 2012).

- Alero o Voladizo:

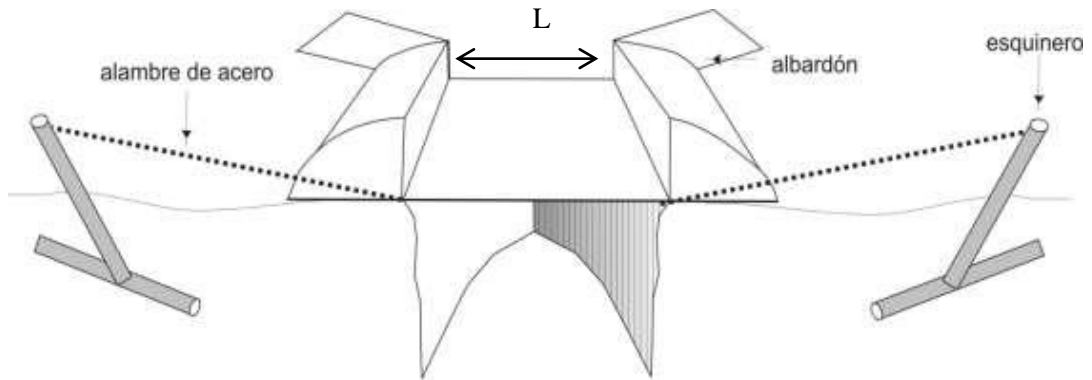


Figura 33: Dimensiones de un Alero o Voladizo. (Cisneros et al., 2012).

Referencias:

✓ *Largo del Alero (L):*

$$L = 1.86 \times Q \times h^{\frac{3}{2}}$$

Dónde:

Q: Capacidad de desagüe del Alero o caudal pico, en m³/s

h: Altura del pelo de agua, en m.

II- Anexo N° 2:

A continuación se presentan los precios de insumos utilizados para el dimensionamiento de las obras hidráulicas (figuras 48, 49 y 50).


 GOBIERNO DE LA PROVINCIA DE CORDOBA		Num. Exp. 0045-017440/15 ITEMS DE CONTRATO	MINISTERIO DE INFRAESTRUCTURA DIRECCION PROVINCIAL DE VIALIDAD PROVINCIA DE CORDOBA					
GIO-CONTRATO/ITEM ->				Pagina: 1 / 3				
OBRAS TENDIENTES A DAR PASO EN RED VIAL CAMINOS DE TIERRA, AFECTADA POR PRECIP.EXTRAORDINARIAS, EN EL MARCO DE LA EMERGENCIA LEY PROV. N°10266/15 (DTO.N°143/15)								
CODIGO	DESIGNACION	TIPO	UN.MED.	CONT.	AMP.	P.U.	IMP.	CCUM
0001	PROVISION DE PIEDRA DE PRIMERA VOLADURA	P	TN	390000	0	122.24	47673600	1
0002	ABOVEDAMIENTO REFORZADO (1000)	S	KM	0	0	2410.57	0	19.719977
0003	PROVISION DE ARENA SILICEA	S	M3	0	0	75.4	0	.616819
0004	EJECUCION DE ENARENADO	S	M2	0	0	4.1	0	.033541
0005	EJECUCION DE MEJORADO CON ARENA	S	M2	0	0	2.18	0	.017834
0006	TERRAPLEN COMPACTADO	S	M3	0	0	33.45	0	.273642
0007	TERRAPLEN COMUN	S	M3	0	0	16.68	0	.136453
0008	TERRAPLEN COMUN C/RIEGO	S	M3	0	0	24.58	0	.20108
0009	MOVIMIENTO DE SUELO CON RETROEXCAVADORA	S	M3	0	0	7.03	0	.05751
0010	EJEC. DE ESTAB. GRANULARES	S	M3	0	0	58.62	0	.479548
0011	EJEC DE SUELO CEMENTO	S	M3	0	0	63.25	0	.517425
0012	EJECUCION DE SUELO CAL	S	M3	0	0	70.28	0	.574935
0013	PROV. DE CEMENTO PORTLAND	S	TN	0	0	1332.38	0	10.899705
0014	PROV. DE CAL	S	TN	0	0	1071.09	0	8.762189
0015	PROVISIÓN DE SUELO SELECCIONADO	S	M3	0	0	7.44	0	.060864
0016	PROVISION DE MATERIAL DE TRITURACION 0-20	S	TN	0	0	77.69	0	.635553
0017	PROVISION DE AGREGADO GRUESO: PIEDRA TRITURADA 6-25	S	TN	0	0	171.37	0	1.401914
0018	PROVISIÓN DE PIEDRA 15- 30 CM	S	M3	0	0	124.96	0	1.022251
0019	PROVISION DE MATERIAL RIPIOSO	S	M3	0	0	27.26	0	.223004
0020	TRANSPORTE DE MATERIALES <10 KM	S	TN	0	0	19.57	0	.160095
0021	TRANSPORTE DE MATERIALES> 11 <30 KM	S	TNKM	0	0	1.37	0	.011207
0022	TRANSPORTE DE MATERIALES > 31 < 80 KM	S	TNKM	0	0	1.14	0	.009326
0023	TRANSPORTE DE MATERIALES > 80 KM	S	TNKM	0	0	.84	0	.006872
0024	TRANSPORTE DE MATERIALES EN SIERRA < 20 KM	S	TNKM	0	0	2.12	0	.017343
0025	HORMIGON SIMPLE TIPO "D"	S	M3.	0	0	2821.29	0	23.079925
0026	HORMIGON SIMPLE TIPO B	S	M3	0	0	3644.75	0	29.816345
0027	HORMIGON ELABORADO	S	M3	0	0	2334	0	19.093586
0028	CARPETA DE DESGASTE DE HOMIGON	S	M2	0	0	383.94	0	3.14087
0029	HORMIGON CICLOPEO	S	M3	0	0	2067.51	0	16.913531
0030	PROVISIÓN Y COLOCACION DE ARMADURAS	S	KG	0	0	14.23	0	.11641
0031	PROVISIÓN Y COLOCACIÓN DE PERFIL NORMAL I, U, L	S	KG	0	0	15.69	0	.128354

Figura 34: Descripción de costos de insumos – Parte I (Ing. Civil Martínez, D., Inspector Provincial de Vialidad, Comunicación personal, 30 de octubre de 2015)

0032	PROVISIÓN Y EJECUCIÓN DE PAVIMENTO ARTICULADO INTERTRABADO	S	M2	0	0	481.6	0	3.939791
0033	CONSTR. MUROS DE PIEDRA	S	M3	0	0	2150.86	0	17.595386
0034	MAMPOSTERIA DE LADRILLOS	S	M3	0	0	1671.64	0	13.675065
0035	DESMONTE EN TODO TERRENO	S	M3	0	0	27.37	0	.223804
0036	DESMONTE EN ROCA	S	M3	0	0	42.97	0	.351522
0037	PROVISIÓN Y COLOCACIÓN DE CAÑOS DE DIAM.0,60	S	M	0	0	1301.66	0	10.648397
0038	PROVISIÓN Y COLOCACIÓN DE CABEZALES P/ CAÑOS DE DIAM. 0,60	S	UN	0	0	1451.36	0	11.873037
0039	PROVISIÓN DE CAÑOS DE HPA° DIAM. 0,80M	S	M	0	0	1348.17	0	11.028878
0040	PROV. Y COLOC. CABEZALES 0,80	S	UN	0	0	2347.42	0	19.20337
0041	PROV. ALCANT. H° DIAM 1.00 M	S	M	0	0	1888.31	0	15.447562
0042	PROV. Y COLOC. CABEZALES 1,00	S	UN	0	0	4490.93	0	36.738629
0043	COLOCACIÓN DE CAÑOS DE HPA°	S	M	0	0	919.56	0	7.522579
0044	PROVISIÓN DE ALCANTARILLAS MODULARES DE 1,20M	S	M	0	0	4589.55	0	37.545402
0045	PROVISIÓN DE ALCANTARILLAS MODULARES DE 1.50M	S	M	0	0	5670.37	0	46.387189
0046	COLOCACIÓN DE ALCANTARILLAS MODULARES	S	M	0	0	1740.99	0	14.242392
0047	EXTRACCION ARBOLES > 45 CM	S	UN	0	0	345.99	0	2.830416
0048	EXTRACCION ARBOLES < 45 CM	S	UN	0	0	273.07	0	2.233884
0049	DESCHURQUI, DESTRONQUE Y LIMPIEZA	S	HA	0	0	10356.49	0	84.722595
0050	DESMALEZADO	S	HA	0	0	511.56	0	4.184882
0051	CONSTRUCCION DE ALAMBRADOS	S	KM.	0	0	9190.56	0	75.184555
0052	TRASLADO DE ALAMBRADOS	S	KM	0	0	12525.06	0	102.46286
0053	PROVISIÓN DE MATERIALES PARA ALAMBRADOS	S	KM	0	0	31079.89	0	254.253027
0054	PROV. Y COLOC. DE TRANQUERAS	S	UN.	0	0	4331.47	0	35.434146
0055	PROV. COLOC. DE GUARDAGANADO	S	M	0	0	5302.94	0	43.381381
0056	PROVISION Y COLOCACION DE GEOTEXTIL	S	M2	0	0	11.54	0	.094404
0057	PROVISION Y COLOCACION DE GAVIONES	S	M3	0	0	790.59	0	6.467523
0058	PROVISION Y COLOCACION DE COLCHONETAS	S	M2	0	0	450.36	0	3.684228
0059	CUADRILLA PARA TRABAJOS NO ESPECIFICADOS O DE EMERGENCIAS	S	HS	0	0	1297	0	10.610275
0060	GRÚA HIDRÁULICA TODO TERRENO PARA TRABAJOS NO ESPECIFICADOS O DE EMERGENCIA	S	HS	0	0	1591	0	13.01538
0061	CARGADOR FRONTAL PARA TRABAJOS NO ESPECIFICADOS O DE EMERGENCIA	S	HS	0	0	865	0	7.076243
0062	RETROEXCAVADORA PARA TRABAJOS NO ESP. O DE EMERGENCIA	S	HS	0	0	1209	0	9.89038
0063	TOPADORA PARA TRABAJOS NO ESPECIFICADOS O DE EMERGENCIA	S	HS	0	0	1446	0	11.829188

Figura 35: Descripción de costos de insumos – Parte II (Ing. Civil Martínez, D., Inspector Provincial de Vialidad, Comunicación personal, 30 de octubre de 2015)

0064	MOTONIVELADORA PARA TRABAJOS NO ESPECIFICADOS O DE EMERGENCIA	S	HS	0	0	960	0	7.853403
0065	CAMIÓN PARA TRABAJOS NO ESPECIFICADOS O DE EMERGENCIA	S	HS	0	0	538	0	4.401178
0066	PROVISIÓN Y COLOCACIÓN DE DEFENSAS METÁLICAS PARA PUENTE	S	M	0	0	1199.12	0	9.809555
0067	PINTURA ESTRUCTURA METALICA	S	M2	0	0	421.18	0	3.445517
0068	PROVISION Y COLOCACION DE DEFENSAS METÁLICAS.	S	M	0	0	768.64	0	6.287958
0069	SEÑALIZACION VERTICAL	S	M2	0	0	2172.32	0	17.770942
0070	ILUMINACION	S	UN	0	0	16517.98	0	135.127454
0071	FORESTACION	S	HA	0	0	15902.03	0	130.088596
0072	EMPASTADO DE BANQUINAS TALUDES Y PRÉSTAMOS	S	M2	0	0	1.94	0	.01587
0073	PILOTAJES HASTA DIÁMETRO 0.80 M	S	M3	0	0	6281.85	0	51.38948
0074	APOYOS DE NEOPRENO COLOCADOS	S	DM2	0	0	36.93	0	.302111
0075	GUNITADO	S	M2	0	0	1289.4	0	10.548102
0076	JUNTAS DE DILATACIÓN PARA PUENTES	S	M	0	0	725.41	0	5.93431
0077	ESTUDIO DE SUELOS PARA FUNDACIONES SUPERFICIALES	S	UN	0	0	1642	0	13.432592
0078	ESTUDIOS DE SUELOS PARA FUNDACIONES PROFUNDAS	S	M	0	0	1026	0	8.393325
0079	ESTUDIOS TOPOGRÁFICOS	S	KM	0	0	5096.91	0	41.695926
0080	ASESORAMIENTO TECNICO	S	DS	0	0	2284.48	0	18.688482
0081	MOVILIZACION DE OBRA	P	GL.	1	0	2326400	2326400	19031.41361 3

INSPECTOR

JEFE DE ZONA

JEFE DE DEPARTAMENTO

Figura 36: Descripción de costos de insumos – Parte III (Ing. Civil Martínez, D., Inspector Provincial de Vialidad, Comunicación personal, 30 de octubre de 2015)