



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CÓRDOBA**

**FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS**

**ÁREA DE CONSOLIDACIÓN: PLANIFICACIÓN Y MANEJO DE CUENCAS  
HIDROGRÁFICAS**

**PROYECTO DE CONTROL DE EROSIÓN HÍDRICA- LOS MOLINOS, CÓRDOBA**

**Tutor: Ing. Agrónomo (M. Sc) Luque Ricardo Luis**

**Micaela Fernández Bedini**

**AÑO 2017**

## **Índice general**

Índice general.....	2
Índice de tablas.....	4
Índice de figuras.....	5
Resumen.....	7
Palabras clave.....	7
1. Introducción.....	8
1.1 Objetivos del trabajo (generales y específicos).....	12
1.2 Ubicación geográfica.....	13
A. Delimitación y caracterización de las cuencas de aporte, estimación del número de curva y caudales.....	14
A.A Delimitación y caracterización de las cuencas de aporte.....	14
A.A.1 Materiales y métodos.....	14
A.A.1.1 Factores topográficos.....	14
A.A.1.2 Factores edáficos.....	14
A.A.1.3 Factores de manejo.....	15
A.A.1.4 Factores hidrográficos.....	15
A.A.1.5 Factores climáticos.....	17
A.A.2 Resultados.....	19
A.A.2.1 Factores topográficos.....	19
A.A.2.2 Factores edáficos.....	21
A.A.2.3 Factores de manejo.....	25
A.A.2.4 Factores hidrográficos.....	26
A.A.2.5 Factores climáticos.....	27
A.B Número de curva.....	34
A.B.1 Materiales y métodos.....	34
A.B.2 Resultados.....	36
A.C Estimación de caudales.....	40
A.C.1 Materiales y métodos.....	40
A.C.2 Resultados.....	42
B. Caracterización del predio y prácticas propuestas.....	50
B.1 Materiales y métodos.....	50
B.1.1 Selección de lotes a trabajar.....	50
B.1.2 Prácticas estructurales.....	52
Levantamiento topográfico.....	52
Cálculo y diseño de canales.....	54
Terrazas de base ancha paralelas de desagüe.....	55
Replanteo.....	57
Construcción.....	57
B.1.3 Prácticas culturales.....	59
Rotación y dirección de siembra.....	59

B.2 Resultados.....	62
B.2.1 Prácticas estructurales.....	62
Levantamiento topográfico.....	62
Cálculo y diseño de canales .....	64
Terrazas de base ancha paralelas de desagüe.....	67
PLANO LOTE 1.....	71
PLANO LOTE 2.....	72
C. Comparación del comportamiento hidrológico en tres condiciones distintas de manejo de la cuenca “a” y en lotes sistematizados.....	73
C.1 Comparación, sobre la cuenca “A”, el comportamiento hidrológico en tres condiciones distintas de manejo.....	73
C.1.1 Materiales y métodos.....	73
C.1.2 Resultados.....	74
C.2 Resultado de variación de caudal en distintas situaciones a nivel lote.....	75
C.2.1 Materiales y métodos.....	75
C.2.2 Resultados.....	77
D. Influencia de un manejo adecuado en el lote 1 a nivel económico .....	79
D.1 Materiales y métodos.....	79
D.2 Resultados.....	79
3. Conclusión.....	81
4. Bibliografía.....	82

## Índice de tablas

Tabla N°1: Erosión en Córdoba.....	8
Tabla N°2: Superficie de cuencas y subcuencas.....	21
Tabla N°3: Resultados de los cálculos de longitud del cauce principal (L), pendiente media del cauce principal (Sc) y tiempo de concentración (Tc) para cada una de las cuencas y subcuencas analizadas.....	27
Tabla N°4: Análisis de la serie de precipitaciones de Despeñaderos, periodo 2005-2016.....	28
Tabla N°5: Coeficientes de Evans, 1971. Coeficientes para estimar la intensidad de la lluvia a partir de una lluvia máxima tipo en 24 horas.....	29
Tabla N° 6: Distribución temporal de diseño aplicada a la lámina total de la cuenca “A”. Datos de Despeñaderos.....	31
Tabla N°7: Distribución temporal de diseño aplicada a la lámina total de la cuenca “B”. Datos de Despeñaderos.....	31
Tabla N°8: Comparación de datos obtenidos a partir de registros pluviométricos de Despeñaderos y Falda del Carmen para una tormenta proyecto en las dos cuencas analizadas.....	34
Tabla N°9: Grupos hidrológicos de los suelos y sus características.....	36
Tabla N°10: Número de curva de cuencas “A” y “B” en distintas situaciones de manejo.....	38
Tabla N°11: Número de curva ponderado para la cuenca “A” y “B” y sus subcuencas. También se presentan sus la y Lag time. Situación futura.....	39
Tabla N°12: Número de curva ponderado y abstracción inicial (Ia) para la cuenca “A” y sus subcuencas en situación pasada.....	39
Tabla N°13: Número de curva ponderado y abstracción inicial (Ia) para la cuenca “A” y sus subcuencas en situación presente.....	40
Tabla N°14: Caudal escurrido (m <sup>3</sup> /s) del proyecto por método de HEC-HMS 3.3 para las tres cuencas analizadas.....	43
Tabla N°15: Comparación de caudales entre datos de precipitación de Despeñaderos y Falda del Carmen.....	48
Tabla N°16: Comparación de caudales resultados del modelo hidrológico HEC-HMS 3.3 y los resultados a partir del método racional.....	49
Tabla N°17: Plan de rotación para los lotes 1 y 2.....	60
Tabla N°18: Dimensionamiento de canales.....	65
Tabla N°19: NC para la cuenca “A” y cada subcuenca en situación pasada.....	73
Tabla N°20: NC para la cuenca “A” y cada subcuenca en situación presente.....	74
Tabla N°21: NC para la cuenca “A” y cada subcuenca en situación futura.....	74
Tabla N°22: Caudales según diferentes situaciones; pasado, presente y futuro.....	74
Tabla N°23: NC según cada situación analizada.....	76
Tabla N° 24: Distribución temporal de diseño aplicada a la lámina total del lote 1.....	77
Tabla N°25: Caudales y volúmenes transportados en el lote 1 para dos situaciones analizadas.....	77
Tabla N°26: Resultados de ensayos realizados en microcuencas experimentales por el grupo de gestión ambiental de suelo y agua, FCA-UNC.....	79

Tabla N°27: Rendimientos promedio logrados en lotes con sistematización y sin. Ensayos realizados en microcuencas experimentales por el grupo de gestión ambiental de suelo y agua, FCA-UNC.....80

## ***Índice de figuras***

Figura N°1: Relación entre reducción de pérdida de suelo y cobertura de residuos.....	9
Figura N°2: Cuencas hidrográficas de la provincia de Córdoba.....	10
Figura N°3: Cuenca tributaria del Río Xanaes. ....	11
Figura N°4: Ubicación geográfica del establecimiento Los Molinos.....	13
Figura N°5: Temperaturas medias mensuales de la zona de Falda del Carmen y alrededores (Datos tomados en el periodo 1970-2011).....	17
Figura N°6: Precipitaciones mensuales de la zona de Falda del Carmen y alrededores.....	18
Figura N°7: Delimitación de cuencas.....	19
Figura N°8: Delimitación de subcuencas.....	20
Figura N°9: Ambientes geomorfológicos de la provincia de Córdoba.....	22
Figura N°10: Vegetación actual de la cuenca analizada.....	25
Figura N°11: Vías naturales de escurrimiento de las cuencas analizadas.....	26
Figura N°12: Curva I-D para una lluvia con tiempo de retorno de 10 años para datos de Despeñaderos.....	29
Figura N°13: Patrón adimensional de distribución temporal de tormentas de 60 min (cuenca “B”) y 90 min (cuenca “A”) para la zona centro de la provincia de Córdoba.....	30
Figura N° 14: Hietograma de diseño de la cuenca “A”. Datos de Despeñaderos.....	31
Figura N°15: Hietograma de diseño de la cuenca “B”. Datos de Despeñaderos.....	32
Figura N°16: Curva i-d en un tiempo de retorno de diez años para los datos de Falda del Carmen (1970-2001).....	32
Figura N°17: Hietograma de diseño para la cuenca “A”. Datos de Falda del Carmen.....	33
Figura N°18: Hietograma de diseño para la cuenca “B”. Datos de Falda del Carmen.....	33
Figura N°19: Puntos de salida de subcuencas donde se estimaron los caudales.....	44
Figura N°20: Hidrograma de la cuenca “A”. ....	45
Figura N°21: Hidrograma de las subcuencas B.1 y B.2. ....	46
Figura N°22: Hidrograma de la cuenca B.3 y B.4. ....	47
Figura N°23: Distribución de los lotes a sistematizar (uno y dos).....	50
Figura N°24: Efectos de erosión hídrica en el lote 1.....	51
Figura N°25: Efecto de la erosión hídrica en el lote 2.....	51
Figura N°26: Estación total.....	53
Figura N°27: Prisma.....	53
Figura N°28: Canal parabólico, corte transversal. ....	54
Figura N°29: Terrazas paralelas que desaguan en un canal. Ensayos realizados por el grupo de gestión ambiental de suelo y agua, FCA-UNC.....	56
Figura N°30: Construcción de terrazas con arado de disco en el lote 2.....	58

Figura N°31: Construcción de terrazas con terracedora.....	58
Figura N° 32: subdivisión del lote 1 en parcelas A y B.....	60
Figura N° 33: subdivisión del lote 2 en parcelas C y D.....	60
Figura N°34: Plano de curvas de nivel lote 1 y, curvas de nivel lote 2.....	63
Figura N°35: Ubicación de canales para el lote 1 y 2.....	64
Figura N°36: Terrazas madre y canales de los lotes 1 y 2.....	65
Figura N°37: Punto de salida de la cuenca “A” .....	66
Figura N°38: Hidrograma de la cuenca “A” en situación pasado. ....	69
Figura N°39: Hidrograma de la cuenca “A” en situación presente. ....	70
Figura N°40: Hidrograma de la cuenca “A” en situación futuro.....	75
Figura N°41: Hietograma para el lote 1. Distribución de la lámina de 43,68 mm de acuerdo al hietograma de diseño provisto por estudios en la provincia de Córdoba que corresponden a los de la Zona Centro en función al tiempo considerado para la lámina total.....	77

# **PROYECTO DE CONTROL DE EROSIÓN HÍDRICA- LOS MOLINOS, CÓRDOBA**

## **RESUMEN**

El objetivo principal del presente trabajo es proponer alternativas de manejo integral de dos lotes ubicados en cuencas adyacentes, para reducir el impacto de la erosión hídrica y evaluar cómo influye este manejo a nivel cuenca y lote en la economía del agua. Se plantearon distintas prácticas de manejo tanto culturales como estructurales, realizando una sistematización de los lotes con terrazas y canales. A partir de esto se realizaron modelos hidrológicos evaluando, en distintas condiciones de manejo, el escurrimiento del agua a nivel cuenca y lote. Se ve reflejado en los resultados como, un buen manejo, brinda beneficios en la economía del agua, en los rendimientos y, por lo tanto, a nivel económico. Encontrándose también beneficiadas las características del suelo (porosidad, materia orgánica).

**PALABRAS CLAVES:** Erosión hídrica, sistematización, escurrimiento.

## 1. INTRODUCCIÓN

En Argentina, de las 280 millones de ha de superficie continental se explotan 200 millones, y de estas hay 50 millones con procesos erosivos de distinta gravedad (Sereny y col., 1997).

En la provincia de Córdoba los problemas de erosión hídrica tienen gran significancia. En 1985 había casi dos millones de hectáreas con problemas de este tipo (tabla N°1), representando el 12% del territorio provincial aproximadamente, especialmente en las zonas del centro y sudeste de la provincia (Sereny y col., 1997)

Tabla N°1: Erosión en Córdoba. (Sereny y col., 1997)

Erosión en la Provincia de Córdoba	
Sin erosión	11.353.100 ha.
Ligera	885.700 ha.
Moderada	731.700 ha.
Severa	351.600 ha.
Muy grave	6.300 ha. (cárcavas)

Cada año el deterioro del suelo por erosión es mayor, no sólo por el aumento del número de hectáreas afectadas sino también porque el ritmo del perjuicio se acelera.

La erosión hídrica es el proceso mediante el cual las partículas del suelo son separadas y transportadas por el agua. El proceso erosivo cuenta con tres etapas; una es la de desprendimiento y remoción del material, donde se produce la alteración de la estructura superficial del suelo, destrucción de agregados, formación de costras, alteración de la relación infiltración/escurrimiento y pérdida de fertilidad. El impacto de las gotas de lluvia sobre el suelo desnudo aporta la energía necesaria para que esto suceda. La segunda etapa es la de transporte de partículas del suelo (nutrientes, materia orgánica y humus), iniciada en la anterior etapa, generado por un escurrimiento superficial que produce distintas formas de erosión. La tercera etapa es la de sedimentación, donde por una disminución de la velocidad del escurrimiento produce el depósito de partículas en el suelo. La erosividad de las lluvias, la erodibilidad del suelo, la pendiente del terreno, el grado de cobertura del mismo y la falta de prácticas de conservación, son algunos de los factores que afectan la erosión hídrica.

Las causas de los procesos de erosión hídrica pueden ser naturales, cuando el hombre no interviene en la dinámica del agua, o bien, antrópicas, cuando las actividades humanas modifican el ecosistema y generan condiciones que aceleran el proceso.

En la provincia de Córdoba se conserva menos del 5% de sus bosques nativos. Este hecho, está impulsado principalmente por la realización de actividades más rentables. Estas, causan la alteración del ecosistema debido al reemplazo de la vegetación natural por cultivada, lo que genera cambios que a su vez afectan la regulación natural de las cuencas hídricas, ocasionando un



mayor escurrimiento debido a una baja infiltración y poca retención de agua. Otras causas que desencadenan la alteración del ecosistema es la simplificación de los sistemas. El monocultivo de especies que aportan poco volumen de rastrojo, sumado, a la quema, incendios y actividades de sobrepastoreo favorecen la presencia de suelos desnudos o con escasa cobertura. Esta situación provoca el planchado del suelo, aumentando el escurrimiento por una disminución de la infiltración. Y, por ende, una disminución de la fertilidad física de los suelos debido a una consecuente erosión laminar, en surcos y en cárcavas. Todo este proceso de degradación da lugar a una merma en la producción de granos y forrajes ocasionando pérdidas económicas a los productores.

La siembra directa es una práctica que se adoptó a fines de la década delos 90' y que ayuda a disminuir la erosión hídrica y eólica, siempre y cuando se planifique una buena rotación y los cultivos que se realicen, produzcan una buena biomasa. Bajo estas condiciones, la siembra directa, ayuda al suelo a crear condiciones de resistencia a efectos erosivos de la lluvia y esorrentía, ya que permite la protección de la superficie del suelo por medio de rastrojos y/o cultivos en crecimiento, incrementa la rugosidad superficial y aumenta la permeabilidad del suelo, haciendo que la cobertura vegetal absorba el impacto de las gotas, haya un menor arrastre de material y a su vez una mayor infiltración en el suelo (figura N°1). Hecho que no se produce con labranza convencional, y que hace que los efectos de la erosión sean más acentuados (Sereny col., 1997).

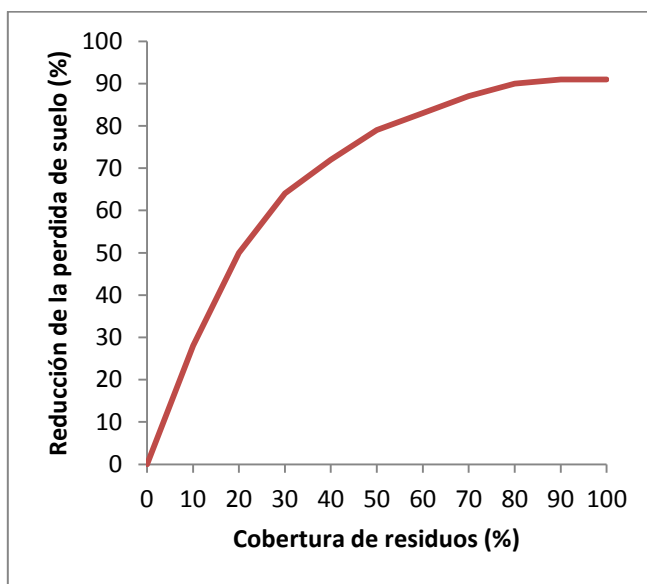


Figura N°1: Relación entre reducción de pérdida de suelo y cobertura de residuos (Sereny col., 1997).

También existen otras prácticas de conservación, que se desarrollarán posteriormente, como la rotación de cultivos, dirección de siembra o prácticas estructurales.

En el presente trabajo se estudia el caso de dos lotes ubicados en cuencas aledañas donde se realiza producción agrícola-ganadero. Estas dos cuencas están ubicadas en el piedemonte, en

los pequeños valles interserranos de la provincia de Córdoba y desaguan en el río Los Molinos, uno de los afluentes del río Xanaes (figura N°3). La cuenca perteneciente a este último río, se encuentra junto a la del río Primero en el centro-norte de la provincia de Córdoba, ocupando sólo un pequeño sector del centro-oeste de la provincia limítrofe de Santa Fe; y constituyendo uno de los sistemas endorreicos del país, sistema Mar de Ansenúza (laguna de Mar Chiquita). En la siguiente figura (N°2) se puede ubicar la cuenca del río Xanaes en el ítem 2.1.

Los escenarios donde se realizará el trabajo son zonas donde las pendientes, la clase de suelo y las prácticas agrícola-ganaderas inadecuadas, incrementan la susceptibilidad a procesos erosivos.

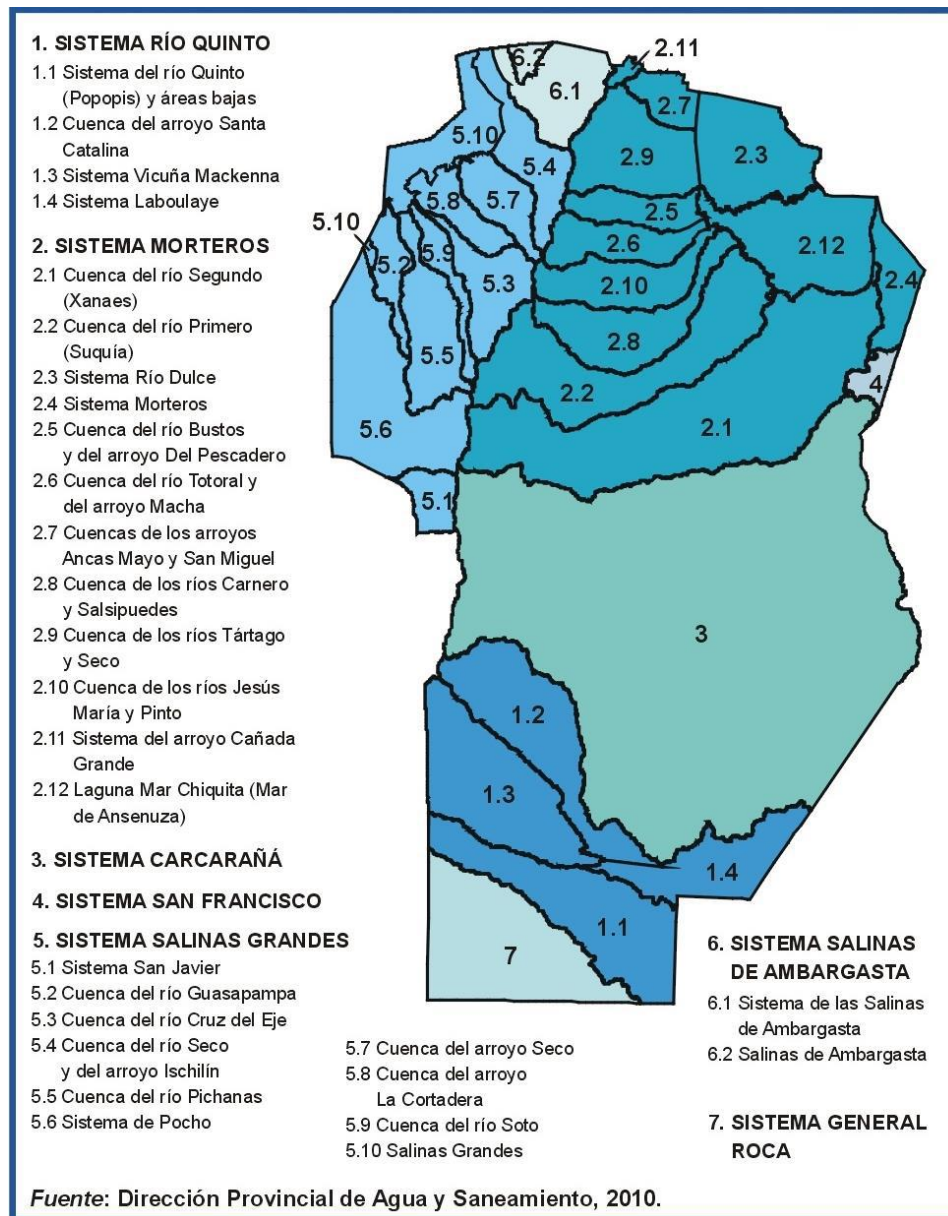


Figura N°2: Cuencas hidrográficas de la provincia de Córdoba.



Figura N°3: Cuenca tributaria del Río Xanaes. Fuente: Gobierno de la provincia de Córdoba, Córdoba turismo.

**El objetivo del trabajo es plantear prácticas estructurales y culturales en dos lotes ubicados en cuencas aledañas,** que permitan disminuir la erosión actual, logrando aumentar la infiltración para que los cultivos dispongan de mayor humedad del suelo, reducir el riesgo de inundaciones, controlar la erosión hídrica buscando recomponer el equilibrio en el ciclo hidrológico, que permita la conservación de los recursos suelo y agua.

Durante el desarrollo de un proyecto de sistematización se deben realizar diversas tareas, las cuales pueden dividirse en dos grupos:

*Nivel cuenca:*

- Estudio de la cuenca: en este punto se determinan las características de la cuenca (factores topográficos, edáficos, de manejo, hidrográficos y climáticos) y se analiza la distribución de una tormenta proyecto, a partir de esto se estiman caudales para poder tener conocimiento de los procesos erosivos que estos factores pueden causar y de esta manera poder prevenirlos mediante tareas “tranqueras adentro”.

*Nivel predial:*

- Estudios propios del terreno a sistematizar, donde se evalúa el tipo de explotación, se realiza un levantamiento topográfico y una evaluación y dimensionamiento del proyecto para su ejecución.

## **1.1 Objetivos**

### **General:**

**Proponer alternativas de manejo integral de dos lotes ubicados en cuencas adyacentes, para reducir el impacto de la erosión hídrica y evaluar cómo influye este manejo a nivel cuenca y lote en la economía del agua.**

### **Específicos:**

- A) Delimitar y caracterizar las cuencas y subcuencas que conforman y aportan a dos lotes del establecimiento “Los Molinos”.
- B) Caracterizar el predio y proponer prácticas estructurales y culturales que reduzcan la susceptibilidad a la erosión hídrica en dos lotes.
- C) Comparar, sobre una de las cuencas que conforman los lotes estudiados, el comportamiento hidrológico en tres condiciones distintas de manejo y traducir este resultado a nivel lote.
- D) Estimar cómo influye un manejo adecuado en los campos de producción agrícola a nivel económico.

## 1.2 Ubicación geográfica

El establecimiento donde se llevó a cabo el proyecto de sistematización para controlar los procesos erosivos antes mencionados se encuentra en la localidad de Los Molinos, 10 km al sur de la localidad José de la Quintana, zona perteneciente al departamento Calamuchita.

Para llegar al establecimiento desde la ciudad de Córdoba se transita por la ruta provincial 5 hasta Villa Anisacate donde se toma la ruta provincial E56. Son aproximadamente 60 km de distancia desde la ciudad de Córdoba hasta la localidad Los Molinos. Luego se toma un camino rural donde se encuentra el acceso en las coordenadas  $31^{\circ}51'1,17''$  de latitud sur y los  $64^{\circ}23'20,90''$  longitud oeste (figura N°4).

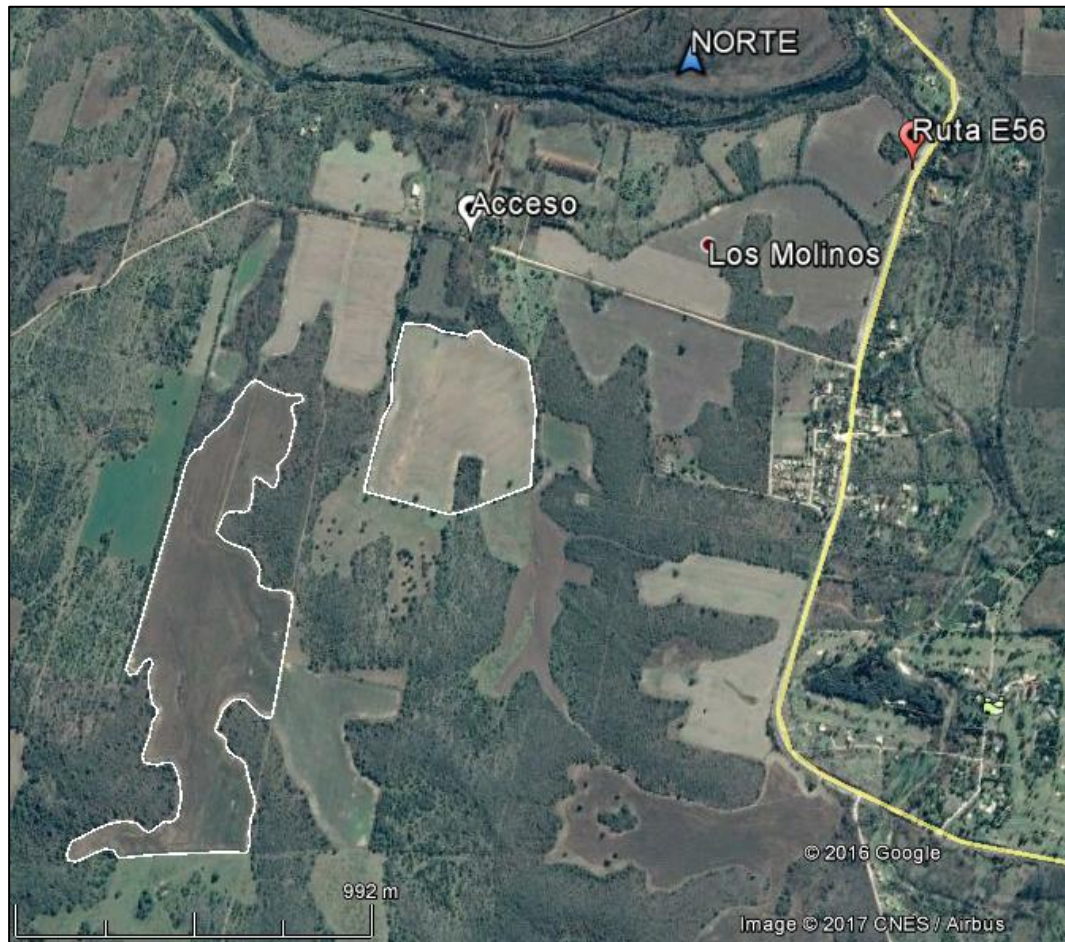


Figura N°4: Ubicación geográfica del establecimiento Los Molinos.

Referencia:  ingreso al establecimiento.

## **A) DELIMITACION Y CARACTERIZACION DE LAS CUENCAS DE APORTE, ESTIMACION DEL NUMERO DE CURVA Y CAUDALES.**

### **A.A DELIMITACION Y CARACTERIZACION DE LAS CUENCAS DE APORTE.**

#### ***A.A.1 Materiales y métodos***

A nivel cuenca se determinaron los distintos factores que influyen sobre el caudal de salida; factores topográficos, edáficos, de manejo y climáticos. Estos permiten además, caracterizar la cuenca, conocer la red hídrica y en consecuencia establecer por donde recibir el agua y por donde entregarla aguas abajo.

##### ***A.A.1.1 Factores topográficos***

Una cuenca es un área cuyos límites son las divisorias de agua. Para el estudio de una cuenca el primer paso es definir los límites, determinar las subcuencas que la comprenden y el área que abarca.

La delimitación de las cuencas se realizó a partir de una imagen satelital obtenida del Earth Explorer (<http://earthexplorer.usgs.gov/>). De ella se obtuvieron curvas de nivel del área a analizar mediante el software de sistema de información geográfica QGIS. Con la ayuda de estas curvas y mediante la observación visual en el Google Earth, se definieron dos cuencas que conforman los lotes a sistematizar, luego se marcó el punto de desagüe de los mismos. En el lote 1, dicho punto, se ubica en las coordenadas 31°51'12,73"; 64°23'49,84". En el lote 2, se determinaron dos puntos de desagüe, uno en el punto de coordenadas 31°51'8,06"; 64°23'29,45", y otro, el punto de coordenadas 31°51'8,21"; 64°23'25,12". A partir de estos se determinó el área o cuenca de aporte que contribuye al escurrimiento que pasa por esos puntos. Se obtuvieron además, los diferentes parámetros que sirvieron para el diseño de las prácticas de conservación (figura N°9).

##### ***A.A.1.2 Factores edáficos***

Se determinaron las características de los suelos del área de estudio, obtenidas de la información disponible a escala de reconocimiento 1/500000 (Jarsún, 2006). A partir de la página web [www.ordenamientoterritorialcba.com](http://www.ordenamientoterritorialcba.com) (Secretaría de Promoción Científica del Ministerio de Ciencia y Tecnología de la Provincia de Córdoba, 2010), en el Sistema de Información Geográfica, se localizó el área de estudio y se determinó el ambiente geomorfológico a la cual pertenece y los suelos que la conforman. Se tomaron datos del departamento Calamuchita, unidad cartográfica EPli-17.

### A.A.1.3 Factores de uso-manejo

El área de estudio se encuentra en la región fitogeográfica del espinal, donde sólo se observan relictos de la vegetación natural, estando la mayor parte de las tierras cultivada (Jarsún, 2006). La cuenca en estudio se encuentra en zonas de sierras donde todavía predomina el monte y algunas pasturas naturales. También existen lotes dedicados a la agricultura y ganadería.

Se pudo determinar mediante la interpretación visual de imágenes de Google Earth y visitas al campo, las alteraciones producidas por el hombre en la zona y sus consecuencias.

### A.A.1.4 Factores hidrográficos

Es importante definir la red natural de drenaje, permitiendo obtener mayor precisión sobre el escurrimiento de aguas superficiales. Las vías de escurrimiento se definieron a partir de una imagen satelital obtenida del Earth Explorer (<http://earthexplorer.usgs.gov/>) a partir de las curvas de nivel del área a analizar que se mencionaron anteriormente y mediante la observación visual en el Google Earth.

A partir de la determinación de los límites de la cuenca y las vías naturales de escurrimiento, se definieron distintos parámetros que permiten caracterizarla.

- **Longitud axial de la cuenca,  $La$ :** Equivalente a la distancia entre la desembocadura y el punto más lejano de la cuenca.
- **Ancho promedio,  $Ap$ :** Es la relación entre la superficie de la cuenca y su longitud axial.

$$Ap: A/La \quad (1)$$

Dónde:

$Ap$ : Ancho promedio en Km.

$A$ : Área en  $Km^2$ .

$La$ : Longitud axial de la cuenca en Km.

- **Factor de forma, IF:** Los parámetros de forma se explicitan a efectos de comparación eventual con otras cuencas. Este Factor o Índice de forma (IF) regula la concentración del escurrimiento superficial. Es un factor adimensional que expresa la tendencia de la cuenca a generar crecidas. El índice de forma indica que tan alargada o que tan redondeada es una cuenca. Cuando el IF es cercano a 1, se está ante una cuenca de forma redondeada, y en los casos en que IF es menor a 1, se caracteriza por ser una cuenca alargada.

IF: Ap/La (2)

Dónde:

*IF: Factor de forma, adimensional.*

*Ap: Ancho promedio en Km.*

*La: Longitud axial de la cuenca en Km.*

● **Longitud del curso principal, L:** Consiste en definir la longitud del curso (o línea de escurrimiento) principal de la cuenca (Sereny y col., 1997). La medida se determinó mediante Google Earth a partir de las vías de escurrimiento marcadas anteriormente.

● **Pendiente media del cauce principal, Sc:** Esta se infiere a partir del desnivel topográfico sobre el cauce principal y su longitud. Este parámetro, al igual que el anterior, se definió a partir de Google Earth.

$$Sc: ((H \text{ máx.} - H \text{ mín.}) / L) * 100 \quad (3)$$

Dónde:

*Sc: Pendiente media del cauce principal en %.*

*H máx.: Cota máxima en metros.*

*H mín.: Cota mínima en metros.*

*L: Longitud del cauce principal en metros.*

● **Pendiente media de la cuenca, (Sa):** En base a un mapa con curvas de nivel trazadas con una equidistancia (Eq), este índice puede ser estimado por la expresión:

$$Sa = ((Eq * Lcn) / A) * 100 \quad (4)$$

Dónde:

*Sa: Pendiente media de la cuenca en %.*

*Eq: Equidistancia de las curvas de nivel en metros.*

*Lcn: Sumatoria de todas las curvas de nivel en metros.*

*A: Área en metros cuadrados.*

Las sumatorias de todas las curvas de nivel de cada cuenca se realizó a partir del sistema de información geográfica QGIS.

● **Tiempo de concentración:** Es el tiempo que tarda la gota hidrológicamente más lejana en viajar hasta el punto de salida de la cuenca.

Existen numerosas fórmulas para el cálculo del tiempo de concentración. En el presente trabajo se utilizó la de Bransby Williams descripta a continuación.



## Bransby Williams

$$Tc=58 L / (A^{0.1} * Sc^{0.2}) \quad (5)$$

Dónde:

L: Longitud del canal en metros.

A: Área en Km<sup>2</sup>.

Sc: Pendiente media del cauce principal en m/Km.

Fuente: (Serenó, 1997).

### A.A.1.5 Factores climáticos

#### 📍 Régimen térmico y de heladas

El clima es cálido y templado. La temperatura media anual en la zona se encuentra a 18°C, siendo la temperatura media del mes más frío de 11,1°C, en julio y la temperatura media del mes más caluroso de 24,1 °C, en enero (figura N°5).

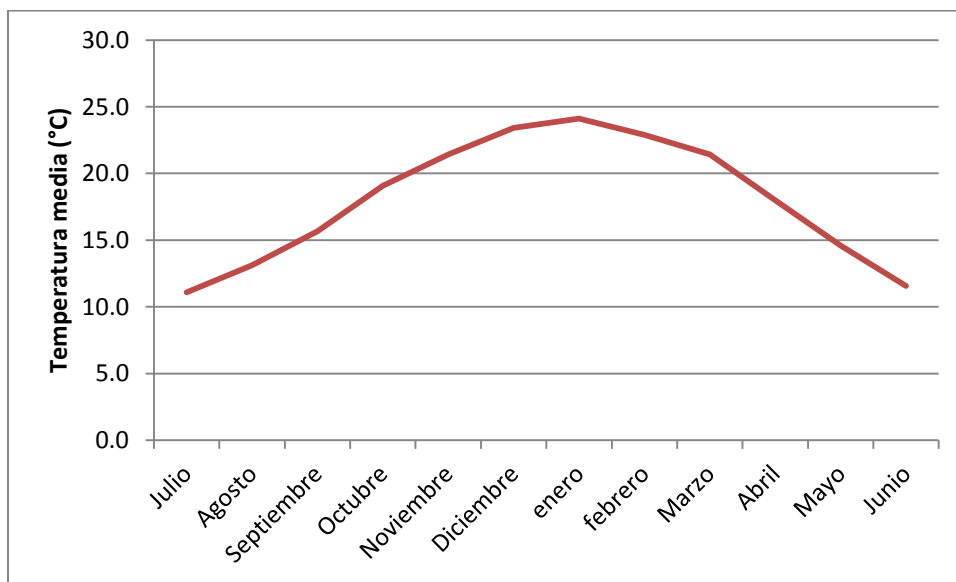


Figura N°5: Temperaturas medias mensuales de la zona de Falda del Carmen y alrededores (Datos tomados en el periodo 1970-2011). Fuente: Centro de relevamiento y evaluación de recursos agrícolas y naturales, CREAM.

En lo que respecta a temperaturas extremas registradas, las mínimas rondan los -8°C durante los meses de julio-agosto y las máximas alcanzan los 42,4°C en meses de diciembre-enero. El período de heladas se extiende desde abril a octubre en la zona, siendo de aproximadamente 210 días.

## Precipitaciones

El régimen climático al que pertenece la cuenca es el semiárido, siendo a precipitación media de 800 mm al año. Presenta una distribución de las lluvias bastante marcada (figura N°6), con aproximadamente el 80% de las mismas en los meses más cálidos (octubre-marzo), y el 20% en los meses restantes (abril-setiembre).

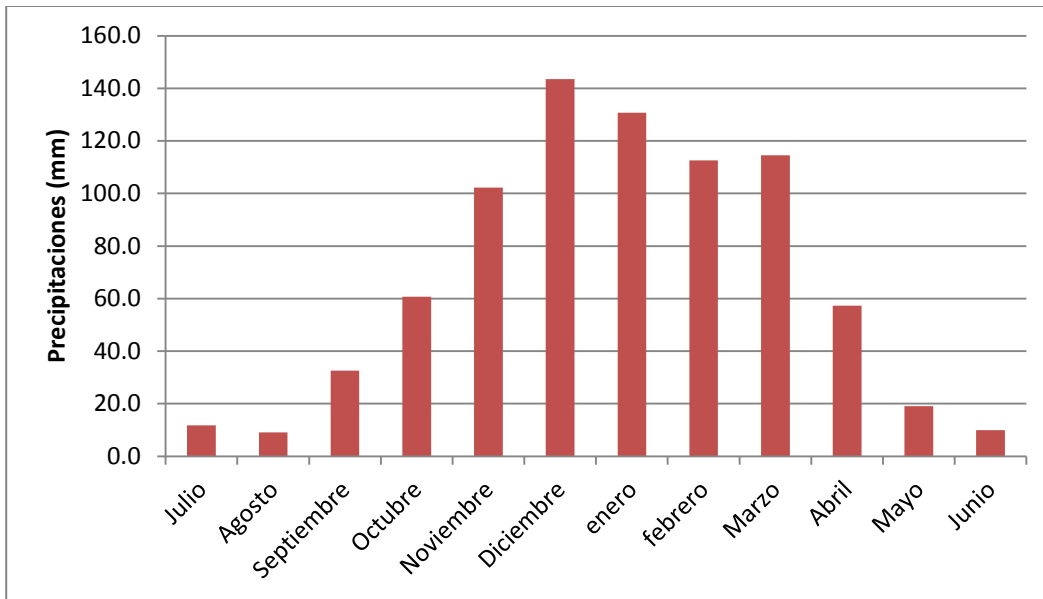


Figura N°6: Precipitaciones mensuales de la zona de Falda del Carmen y alrededores.

Para llevar adelante el estudio, se logró acceder a datos de precipitaciones de la localidad de Despeñaderos desde el año 2005 hasta el año 2016, los cuales fueron analizados mediante el método de series anuales. Estos datos fueron tomados por un productor de la zona, en el establecimiento “Santa Clara” ubicado en los alrededores de esta localidad. También se obtuvieron registros de Falda del Carmen del periodo 1970-2011, brindados por el centro de relevamiento y evaluación de recursos agrícolas y naturales (CREAN). Estos, fueron comparados con los de Despeñaderos.

## A.A.2 Resultados

### A.A.2.1 Factores topográficos

Se definieron dos cuencas que incluyen los lotes a sistematizar, nombradas cuenca "A" y "B". En la siguiente imagen (figura N°7) se pueden observar las cuencas delimitadas en verde, los lotes delimitados en blanco y las curvas de nivel, en rojo.

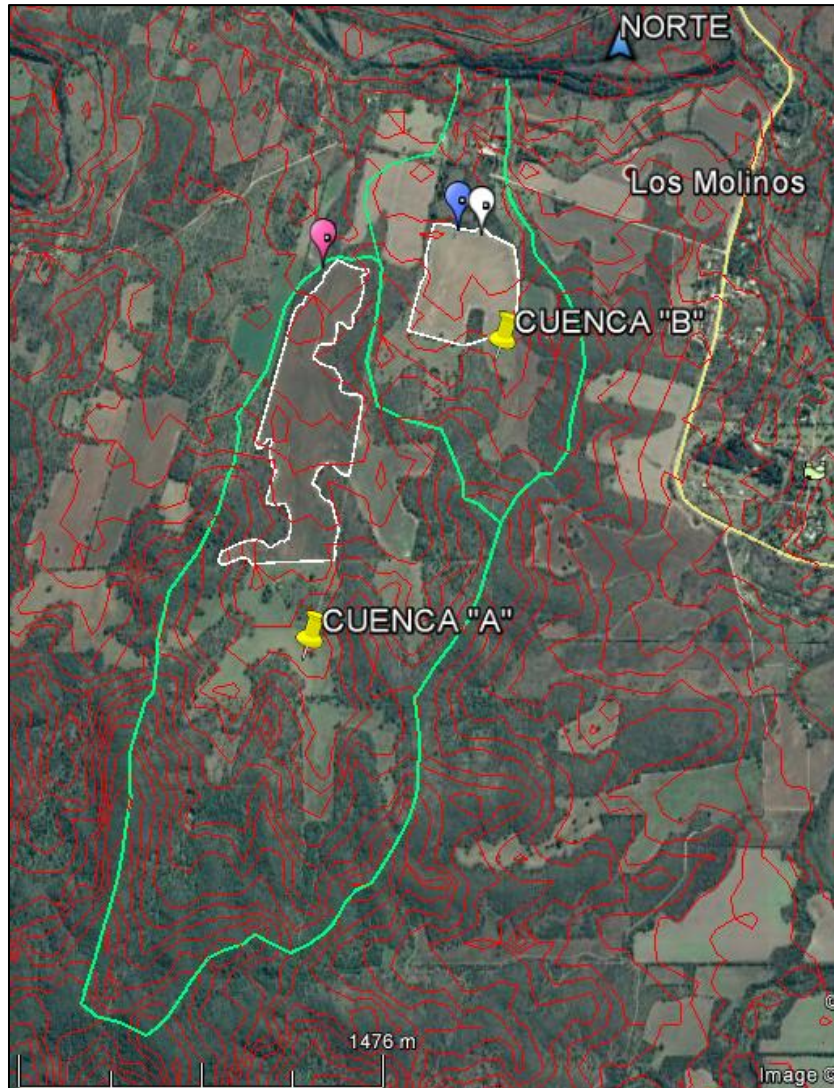





Figura N°7: Delimitación de cuencas.

#### Referencias:

-  Desagüe lote 1.
-  Desagüe 1 lote 2.
-  Desagüe 2 lote 2.

A partir de la delimitación de las cuencas se determinaron las subcuencas que la componen para poder así, estimar caudales de entrada al lote y de salida. También se calcularon las superficies de las mismas como se puede ver en la tabla N°2.

Se observó que la cuenca "A" y "B" están compuestas por cuatro subcuencas que aportan al lote 1 y 2 respectivamente. Se definieron de la siguiente manera:

- Cuenca "A": subcuenca A.1; subcuenca A.2; subcuenca A.3; subcuenca A.4.
- Cuenca "B": subcuenca B.1; subcuenca B.2; subcuenca B.3; subcuenca B.4.

En la figura N°8 se puede apreciar, en verde, la delimitación de las subcuencas con sus respectivos nombres y, en blanco, la delimitación de los lotes a sistematizar.

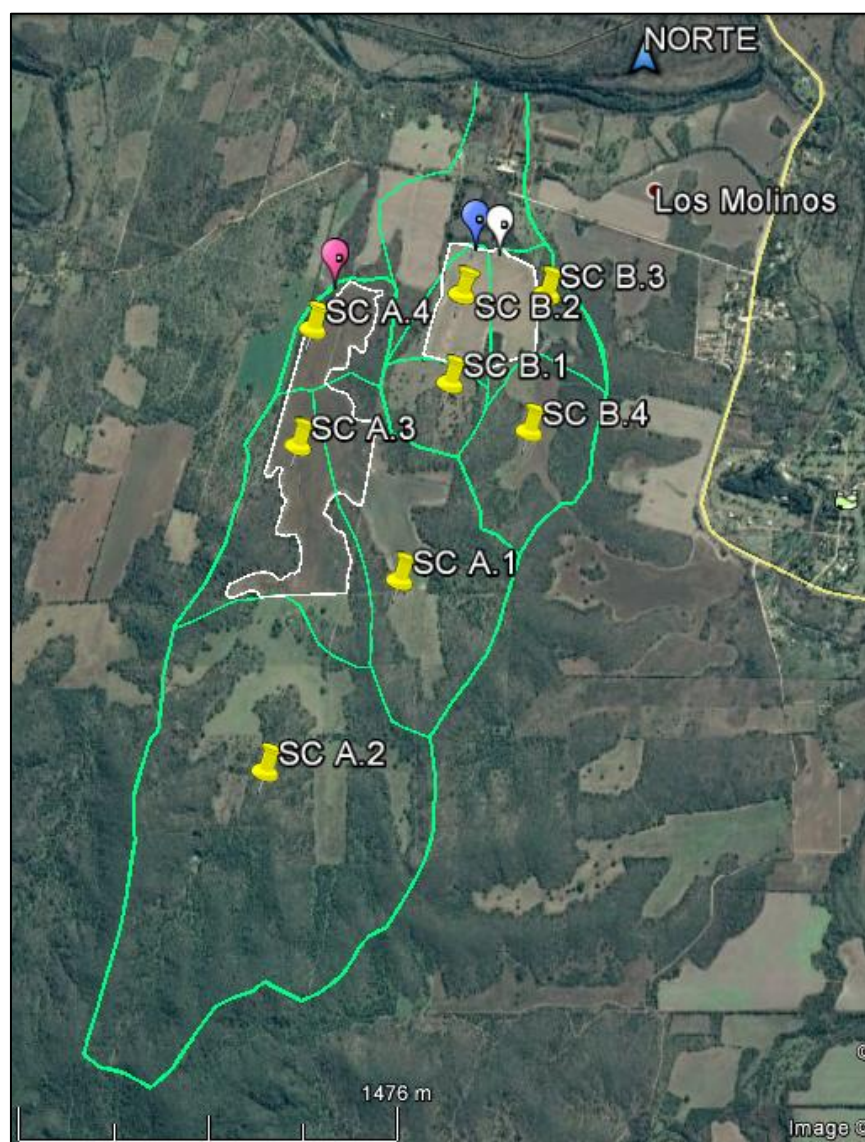


Figura N°8: Delimitación de subcuencas y lotes de estudio.

Tabla N°2: Superficie de cuencas y subcuencas.

Cuencas	Subcuencas	Superficie (ha)
A		370,4
	A.1	84,4
	A.2	210,4
	A.3	54,3
	A.4	21,3
B		142,8
	B.1	17,4
	B.2	17,7
	B.3	25,3
	B.4	39,2

### *A.A.2.2 Factores edáficos*

La provincia de Córdoba se divide en 22 ambientes geomorfológicos que tienen aspectos estructurales, de vegetación y geomórficos definidos (figura N°9). Los más afectados por la erosión hídrica son la Pampa Ondulada; la Pampa Loésica Alta; la Depresión Periférica; la Pendiente Oriental; la Planicie Periserrana Proximal y la Planicie Periserrana Distal.

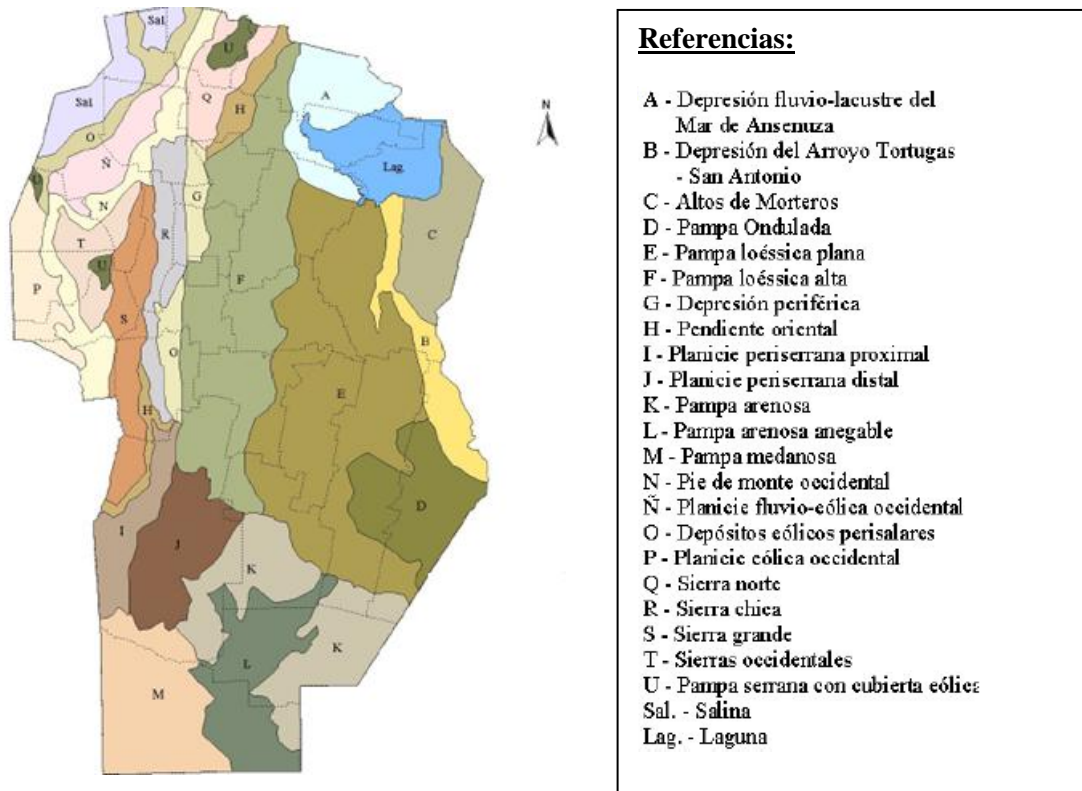


Figura N°9: Ambientes geomorfológicos de la provincia de Córdoba.

El área de estudio pertenece a la transición entre la Pampa Loésica Alta y la Depresión Periférica. Principalmente corresponde a características de la Depresión Periférica, siendo un ambiente relativamente deprimido, longitudinal, ubicado lateralmente al este de la Sierras Chicas de Córdoba y al oeste de la Pampa Loésica Alta. Está constituido por conos, abanicos aluviales, derrames y terrazas de ríos y arroyos parcialmente cubiertos por depósitos eólicos franco limosos. (Jarsún, 2006)

La zona de estudio se sitúa en la parte centro de la Depresión Periférica al límite con la Pampa Loésica Alta, donde se encuentran las fajas fluviales de los ríos Anizacate, Alta Gracia, Los Molinos, Soconcho, entre otros. Los procesos erosivos en los suelos por la acción del agua de lluvia son intensos, especialmente en los bordes de la depresión.

En esta área los ríos y arroyos de cursos permanentes en las sierras, no lo son en la llanura. Esto provoca que se pierdan o insuman en lechos arenosos al llegar al piedemonte, sólo después de lluvias intensas continúan reactivando paleocauces o irrumpiendo por caminos o campos agrícolas con los consiguientes perjuicios, como cárcavas o grandes surcos. Este proceso erosivo, se ha acentuado en los últimos años como consecuencia de la creciente intensificación en el uso del suelo, principalmente por el incremento del desmonte irracional y falta de implementación de prácticas culturales adecuadas.

Los materiales originarios de los suelos de este ambiente, tienen texturas variables, desde esqueléticas gruesas en las partes apicales de los abanicos y en los cerrillos, hasta franco limosas y aún arcillo limosas en el loess y derrames finos distales respectivamente. (Jarsún, 2006)

La unidad cartográfica en las que se encuentran ubicadas las cuencas es EPli-17. Esta unidad cartográfica, está constituida en un 40% por suelos Ustorthent lítico paralítico (suelos de laderas escarpadas), 30% Ustorthent lítico (suelos de laderas muy colinadas), 10% Haplustol fluvéntico (suelos de vallecitos) y un 20% de roca.

Las cuencas analizadas pertenecen a suelos de laderas escarpadas en zonas de mayor altura (ustorthent lítico paralítico) y suelos de vallecitos en las partes más bajas, donde actualmente se encuentra cultivado (haplustol fluvéntico). La cuenca "A" se encuentra compuesta por un 55% de suelos haplustol fluvéntico y un 45% de suelos ustorthent lítico paralítico, la cuenca "B" tiene mayor superficie de suelos de vallecitos abarcando aproximadamente un 67%, siendo el resto suelos ustorthent (33%). Se describen a continuación a partir de Los Suelos de Córdoba (2006).

### ***Suelo Ustorthent lítico paralítico***

Este suelo se encuentra vinculado a afloramientos del complejo metamórfico de las Sierras Grandes de Córdoba, en laderas con pendientes que oscilan entre 25 a 45% (escarpadas). Presenta un horizonte A poco profundo de 11 cm de espesor (epipedónocríco) con estructura esquelética franco arenosa (más del 30% de gravas y gravillas).

Sigue hacia abajo la roca alterada moderadamente friable de esquistos cristalinos con estructura de roca, penetrable por el agua de lluvia y por las raíces de los árboles con relativa facilidad.

Índice de productividad del suelo individual: 1

Clase por aptitud: VIIes. Los suelos de esta clase presentan limitaciones muy graves que los hacen inadecuados para el cultivo y su uso queda reducido casi exclusivamente al pastoreo, forestación o conservación de la fauna silvestre. Esto significa que son capaces únicamente de producir vegetación natural adaptada ya que tienen limitaciones de alta susceptibilidad a la erosión hídrica (e) por ser suelos pedregosos, de poco espesor, pobre en materia orgánica y con mucha pendiente (s).

Suelos excesivamente drenado; algo somero (75-50 cm); areno franco en superficie; areno franco en el subsuelo; moderadamente pobre en materia orgánica (1,5% - 1%); moderada capacidad de intercambio; muy fuertemente inclinado o colinado (>10%); extremadamente pedregoso; alta susceptibilidad a la erosión hídrica.

Limitantes:

- ✓ Muy baja capacidad de retención de humedad.
- ✓ Poco espesor; permite el desarrollo radicular hasta 0.75 m de profundidad.
- ✓ Pendiente fuerte.
- ✓ Alta pedregosidad/rocosidad; impracticable el uso de maquinaria agrícola.
- ✓ Alta susceptibilidad a la erosión hídrica.

- ✓ Ligera susceptibilidad a la erosión eólica.

### ***Suelo Haplustol fluvéntico***

En general se caracterizan por tener un horizonte o capa superior bien provista de materia orgánica (> 2%), bien estructurado, de color oscuro y textura que puede variar de franco arenosa a franco limosa. El espesor oscila entre 25 y 50 cm y el contenido de materia orgánica disminuye irregularmente en profundidad. Pueden o no tener calcáreo en la masa del suelo. Sub-superficialmente presentan una sucesión de capas con litología alternante y granulometría variada, fenómeno propio de los derrames de los ríos, a los cuales se vinculan estos suelos.

Son suelos con uso actual agrícola-ganaderos, limitados fundamentalmente por factores climáticos, pendientes y erosión (actual o potencial).

Índice de productividad del suelo individual: 45

Aptitud de uso: Clase IVes. Suelos que tienen limitaciones muy severas que restringen en gran medida la elección de cultivos, requieren un manejo muy cuidadoso, o ambas cosas a la vez. Son aptos para producir cultivos ocasionalmente, para pasturas, campos naturales de pastoreo, forestación. Tienen un uso agrícola restringido que requiere prácticas agronómicas de uso y manejo estrictas, incluyendo en algunos sectores más afectados las del tipo estructural (terrazas, desagües vegetados, etc.). Estos suelos presentan susceptibilidad a la erosión eólica e hídrica principalmente (e) por poseer suelos pedregosos, con baja capacidad de retención de humedad (s).

Suelos algo excesivamente drenado, con una profundidad efectiva de 120cm. Franco en superficie; franco en el subsuelo; bien provisto de materia orgánica; moderada capacidad de intercambio;

Moderadamente inclinado (pendientes del 3 al 10%); pedregoso; ligera erosión hídrica; con moderada susceptibilidad a la misma y leve susceptibilidad a la erosión eólica.

Limitantes:

- ✓ Ligera pedregosidad/rocosidad; interfiere el uso de maquinaria agrícola.
- ✓ Erosión hídrica ligera; necesidad de prácticas ocasionales de control.
- ✓ Moderada susceptibilidad a la erosión hídrica.
- ✓ Ligera susceptibilidad a la erosión eólica.



### A.A.2.3 Factores de manejo

En la siguiente figura (figura N° 10) se puede ver claramente que, en la cuenca en estudio, existen variaciones en la composición de la vegetación con respecto a la existente originalmente. Se puede observar, como se apuntó anteriormente, la realización de cultivos extensivos, la presencia de pastizales naturales y monte.

También existen otras alteraciones, como la existencia de caminos que genera una variación en el flujo natural del agua dependiendo de su orientación y pendiente. Hace que las vías naturales de escurrimiento se modifiquen y tomen el camino como canal de paso. Esto, sumado al mal mantenimiento, produce que el agua erosione el suelo y los caminos se encuentren cada vez más bajos.

Se agrega también a lo anterior, una aptitud de uso del suelo clase IV, pendientes excesivas y la forma alargada de la cuenca, que hace que los productores trabajen el suelo a favor de la pendiente, dando origen a procesos erosivos cada vez más graves. Existe una resistencia de los productores a trabajar perpendicular a la pendiente por cuestiones de practicidad y economía de tiempo, decisión que se presenta como un obstáculo a la hora de plantear prácticas de conservación del suelo.



Figura N°10: Vegetación actual de la cuenca analizada.

#### A.A.2.4 Factores hidrográficos

A continuación se presenta la figura N°11 donde se pueden observar las vías naturales de escurrimiento de las cuencas que conforman los lotes a sistematizar.

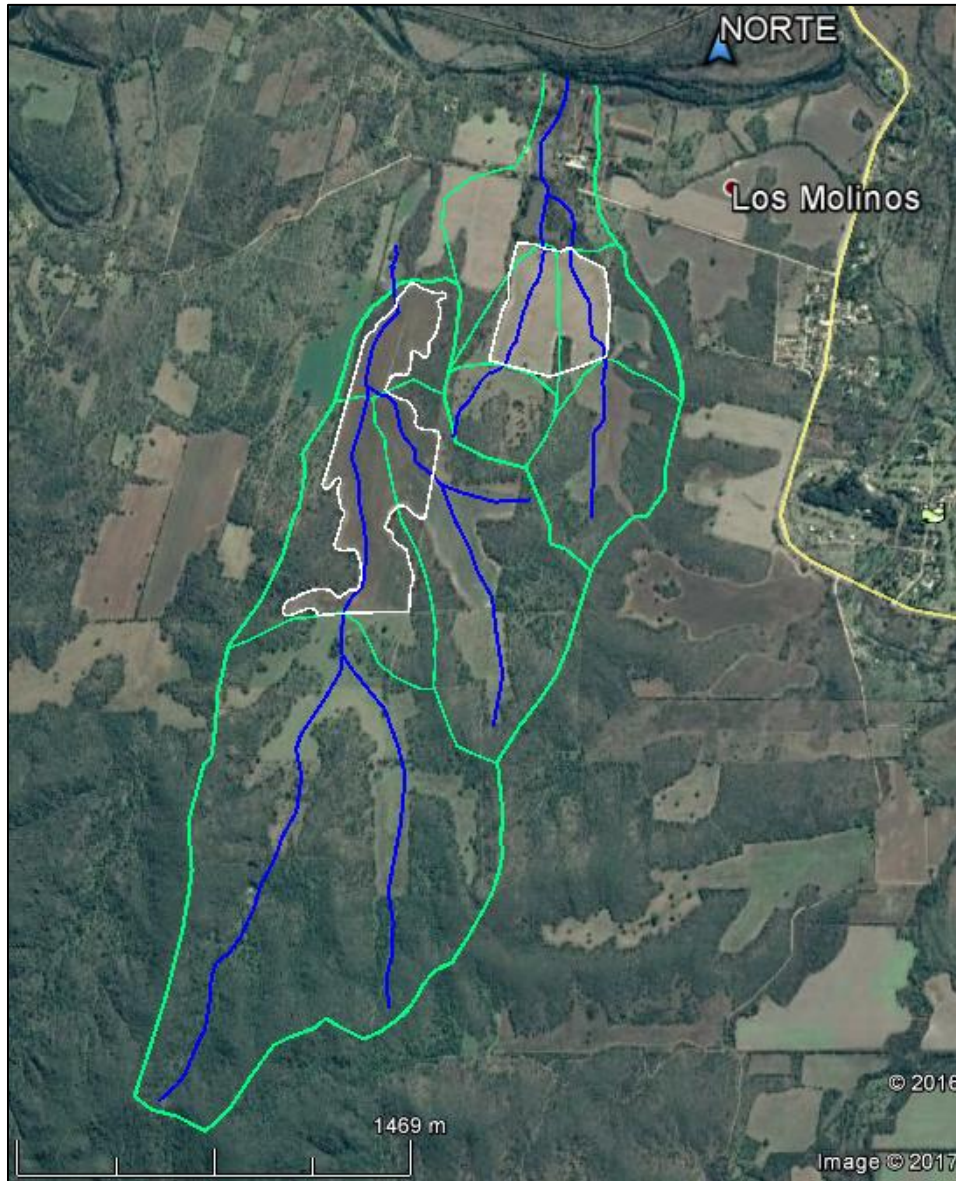


Figura N°11: Vías naturales de escurrimiento de las cuencas analizadas.

Como se mencionó en el punto A.A.1.4 existen algunos parámetros que permiten caracterizar la cuenca. Se trabajó con los de las cuencas “A” y “B” y con las subcuencas que las conforman. A continuación se presentan los resultados de cada una de las cuencas y subcuencas analizadas (tabla N°3).

Tabla N°3: Resultados de los cálculos de longitud del cauce principal (L), pendiente media del cauce principal (Sc) y tiempo de concentración (Tc) para cada una de las cuencas y subcuencas analizadas.

Cuencas	Subcuencas	L en metros	Sc en %	Tc en minutos (Bransby Williams)
"A"	A.1,A.2,A.3 y A.4	3535	2,74	93
	A.1	1527	2,5	47
	A.2	2080	3,6	55
	A.3	915	1,75	32
	A.4	545	0,92	24
"B"	B.1, B.2, B.3 y B.4	1942	0,025	57
	B.1	369	2,44	13
	B.2	540	1,3	22
	B.3	448	2,05	18
	B.4	663	2,9	22

Además para la cuenca "A" y "B" se calcularon los parámetros de factor de forma:

- **Longitud axial de la cuenca, La:**
  - ✓ Cuenca "A": 3,5 Km.
  - ✓ Cuenca "B": 2 Km.
- **Ancho promedio, Ap:**
  - ✓ Cuenca "A":  $3,704 \text{ Km}^2 / 3,5 \text{ Km} = 1,058 \text{ Km}$ .
  - ✓ Cuenca "B":  $1,428 \text{ Km}^2 / 2 \text{ Km} = 0,714 \text{ Km}$ .
- **Factor de forma, IF:**
  - ✓ Cuenca "A":  $1,058 \text{ Km} / 3,5 \text{ Km} = 0,302$ .
  - ✓ Cuenca "B":  $0,714 \text{ Km} / 2 \text{ Km} = 0,357$ .

En una cuenca redonda la peligrosidad a las crecidas es mayor. En este caso se trata de cuencas más bien alargadas.

#### A.A.2.5 Factores climáticos

Se analizaron los datos pertenecientes a la localidad de Despeñaderos (2005-2016), a partir de los cuales se obtuvo, a través del método de series anuales, la lluvia máxima estimada con un tiempo de retorno de 10 años. Con este método se selecciona la lluvia máxima diaria para cada uno de los años de las series y se ordenan decrecientemente. A partir de estos datos se estimó el tiempo de retorno (Tr) de cada lluvia máxima de cada uno de los años; este indica el

tiempo medio durante el cual se espera que la magnitud de un evento analizado sea igualada o superada una vez (Serenio y col., 1997), también se calculó la probabilidad anual de ocurrencia de las mismas (Pa). A continuación se describen las fórmulas utilizadas para el cálculo de Tr y Pa.

$$\text{Tiempo de retorno, } Tr = i / (N + 1) \quad (6)$$

Siendo i el número de orden (según un ordenamiento decreciente de los valores) y N el número de datos de la serie, en este caso 12.

$$\text{Probabilidad anual de ocurrencia, } Pa = 1/Tr \quad (7)$$

En la tabla N° 4 se pueden ver los resultados de cada uno de los años analizados. Se obtuvo que con un tiempo de retorno de diez años, valor asignado por la vida útil de la obra (Caamaño Nelli y Dasso, 2005), una precipitación de 118 mm/día. Este valor se obtuvo por ponderación ya que se encontraba entre un Tr de 13 y 6,5.

Esta lámina se desagregó mediante la utilización de los coeficientes propuestos por Evans (tabla N°5) para la obtención de la curva I-D correspondiente (figura N°12).

Tabla N°4: Análisis de la serie de precipitaciones de Despeñaderos, periodo 2005-2016.

Despeñaderos 2005-2016				
Número de orden	Año	Precipitación máxima (mm/día)	Tr (años)	Pa
1	2016	121	13,00	0,08
2	2006	115	6,50	0,15
3	2012	98	4,33	0,23
4	2015	98	3,25	0,31
5	2011	90	2,60	0,38
6	2010	80	2,17	0,46
7	2007	77	1,86	0,54
8	2005	75	1,63	0,62
9	2014	72	1,44	0,69
10	2009	62	1,30	0,77
11	2008	59	1,18	0,85
12	2013	50	1,08	0,92

Tabla N°5: Coeficientes de Evans, 1971. Coeficientes para estimar la intensidad de la lluvia a partir de una lluvia máxima tipo en 24 horas.

Duración (min)	Factor de conversión
30	0,31
60	0,36
120	0,44
360	0,69
790	0,88
1440	1

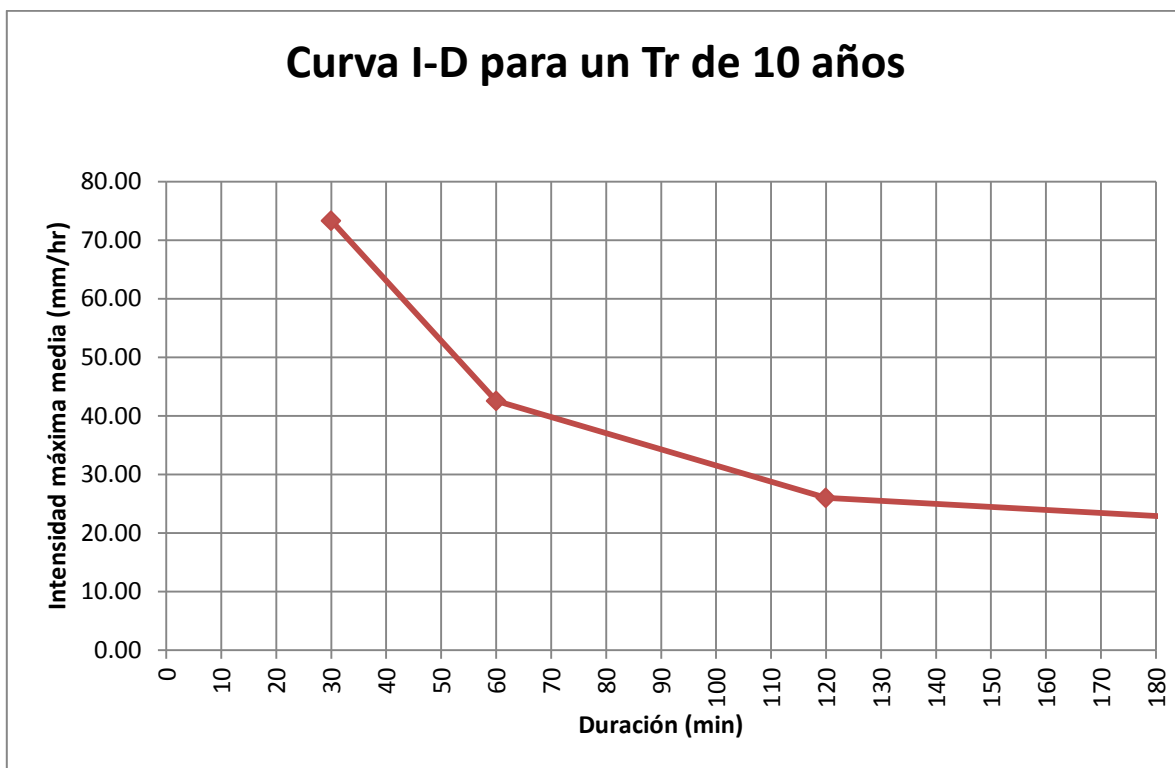


Figura N°12: Curva I-D para una lluvia con tiempo de retorno de 10 años para datos de Despeñaderos.

Considerando el tiempo de concentración de la cuenca "A" (93 min) y "B" (57 min) y de la curva I-D se obtuvo la intensidad media máxima de la precipitación, siendo esta información básica para la estimación del escurrimiento considerado para fines de diseño hidrológico. La intensidad media máxima de la precipitación es de 33 mm/h para la cuenca "A" y 44 mm/h para la "B". Estos valores se utilizaron para el cálculo de la lámina total de la tormenta de diseño, la cual se obtuvo a partir del producto entre la intensidad media máxima y la duración equivalente al tiempo de concentración.

**Cuenca "A":**

**Lam total (mm)= intensidad (mm/min) x duración (min)**

(8)

Lam total (mm) = 33 mm. /h. x 1, 55 h.

La lámina total de la tormenta de diseño es de 51,15 mm.

**Cuenca "B":**

Lam total (mm) = 44 mm. /h. x 0, 95 h.

La lámina total de la tormenta de diseño es de 41,8 mm.

Dichas láminas se afectaron según un patrón adimensional de distribución temporal interna (hietograma de diseño) provisto por estudios en la provincia de Córdoba que corresponden a los de la Zona Centro en función al tiempo considerado para la lámina total (Caamaño Nelli y Dasso, 2005). Como se puede observar (figura N°13) el pico máximo se da en el segundo sextil.

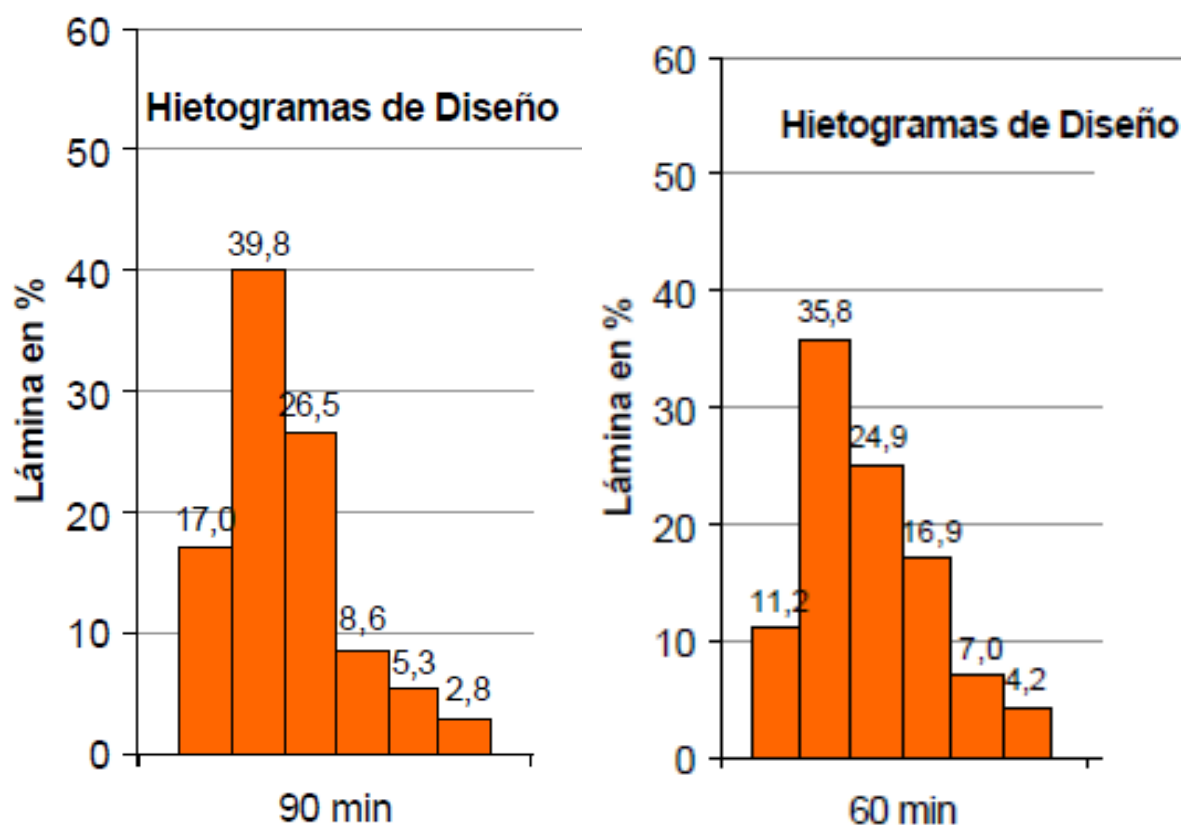


Figura N°13: Patrón adimensional de distribución temporal de tormentas de 90 min (cuenca "A") y 60 min (cuenca "B") para la zona centro de la provincia de Córdoba.

En la siguientes tablas (N°6 y 7) se observa la aplicación de la distribución temporal de diseño sobre la lámina total, considerando 6 sextiles equivalente a 10 min para la cuenca “A” y 20 min para la “B”, afectado cada uno en función al porcentaje respectivo.

Tabla N° 6: Distribución temporal de diseño aplicada a la lámina total de la cuenca “A”. Datos de Despeñaderos.

sextil	1	2	3	4	5	6
100%	17%	39,8%	26,5%	8,6%	5,3%	2,8%
51,15 mm	8,7 mm	20,36 mm	13,55 mm	4,4 mm	2,71 mm	1,43 mm

Tabla N°7: Distribución temporal de diseño aplicada a la lámina total de la cuenca “B”. Datos de Despeñaderos.

sextil	1	2	3	4	5	6
100%	11,2%	35,8%	24,9%	16,9%	7%	4,2%
41,8 mm	4,68 mm	14,96 mm	10,41 mm	7,06 mm	2,93 mm	1,76 mm

De esta forma, quedan representados en los siguientes hietogramas de diseño para la lámina total considerada (figura N° 14 y 15).

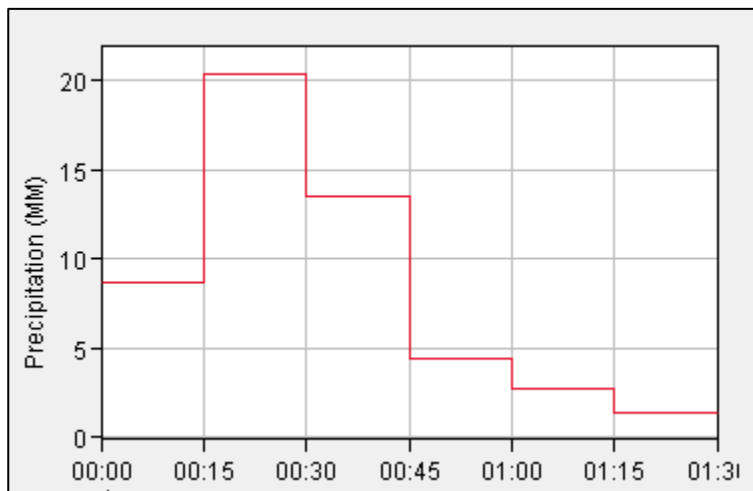


Figura N° 14: Hietograma de diseño de la cuenca “A”. Datos de Despeñaderos.

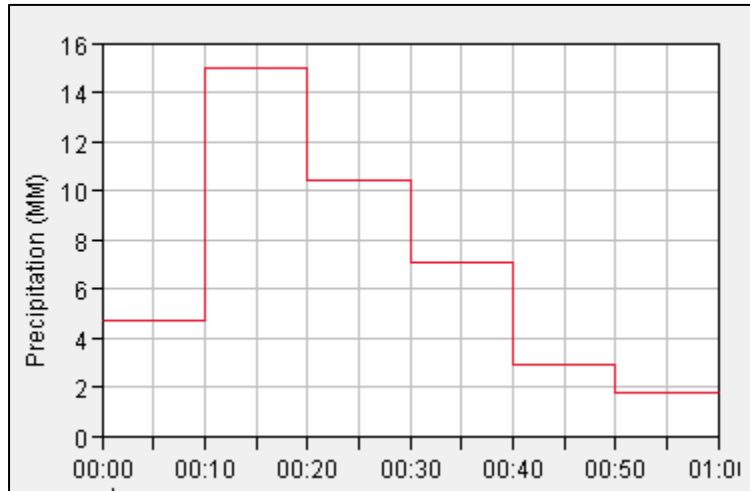


Figura N°15: Hietograma de diseño de la cuenca "B". Datos de Despeñaderos.

El mismo procedimiento, para el análisis de las tormentas, se realizó con los datos de Falda del Carmen (1970-2011) obteniéndose la siguiente curva i-d:

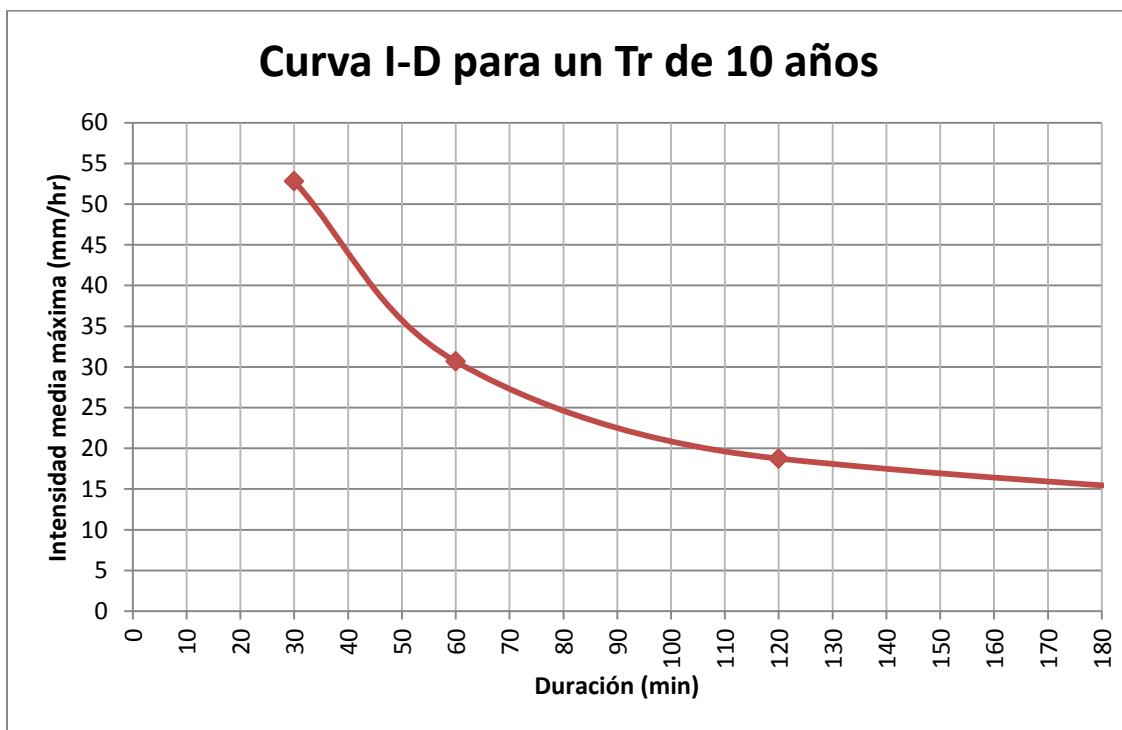


Figura N°16: Curva i-d en un tiempo de retorno de diez años para los datos de Falda del Carmen (1970-2001).



A partir del grafico anterior (figura N°16), para un tiempo de concentración de 93 minutos (cuenca "A"), se obtuvo una intensidad de 22 mm/h aprox. Esta, al ser multiplicada por la duración (93 min.) resulta en una lámina total de 34,1 mm, la cual al ser distribuida temporalmente en los seis sextiles antes mencionados genera el siguiente hietograma de diseño:

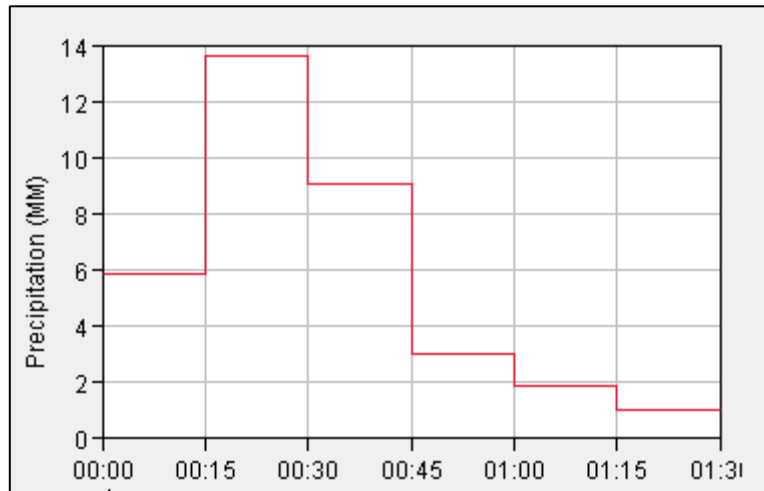


Figura N°17: Hietograma de diseño para la cuenca "A". Datos de Falda del Carmen.

El mismo proceso se realizó para la cuenca "B" lo que resulto en una lámina de 30,4 mm para una intensidad de 32 mm/ hr y un tiempo de concentración de 57 minutos (figura N°18).

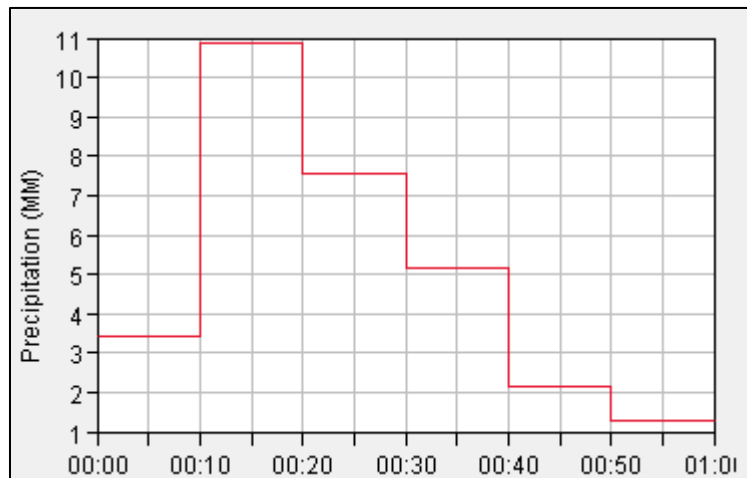


Figura N°18: Hietograma de diseño para la cuenca "B". Datos de Falda del Carmen.

A modo comparativo, en la siguiente tabla (tabla N°8), se puede observar las diferencias entre las láminas de la tormenta proyecto obtenidas a partir de los datos de Despeñaderos y de los datos de Falda del Carmen, para las dos cuencas analizadas.

Tabla N°8: Comparación de datos obtenidos a partir de registros pluviométricos de Despeñaderos y Falda del Carmen para una tormenta proyecto en las dos cuencas analizadas.

Cuencas	Lámina total (mm). Datos de Despeñaderos.	Lámina total (mm). Datos de Falda del Carmen.
A	51	34
B	42	30

Los datos de Despeñaderos resultaron en láminas mayores lo que permitirá tener un margen de seguridad a la hora de calcular el dimensionamiento de canales de desagüe en los lotes que serán sistematizados. Más adelante, en los resultados de la estimación de caudales, se podrá apreciar con mejor claridad el porqué de la elección de los datos de Despeñaderos para el dimensionamiento de la obra.

## A.B NÚMERO DE CURVA

### A.B.1 Materiales y métodos

El método del Número de Curva fue desarrollado por el Servicio de Conservación de Suelo de los Estados Unidos (SCS-USA). Es adecuado para la estimación del escurrimiento en cuencas reducidas (hasta 800 ha aproximadamente). Se lo utiliza en el presente trabajo para estimar el volumen medio de escurrimiento de una cuenca y además el caudal pico a partir del modelo hidrológico HEC-HMS3.3 (HydrologicEngineeringCenter`s – HydrologicModeling Sistema), como se verá en cálculo de caudales. Se optó por este método por ser empírico y de uso universal.

- El volumen escurrido indica la cantidad total de escurrimiento que produce una cuenca expresada en forma de lámina unitaria (mm) o en volumen total (m<sup>3</sup>, hm<sup>3</sup>). En una cuenca el volumen total escurrido (m<sup>3</sup>) surge del producto de la lámina (m) por el área de la cuenca (m<sup>2</sup>). Representa el área total bajo un hidrograma.

La expresión del escurrimiento es:

$$Lám = \frac{(P - Ia)^2}{(P - Ia) + S} \quad (9)$$

Siendo:

*Lám*: lámina de escurrimiento

*P*: precipitación

*Ia*: pérdidas iniciales

*S*: capacidad de almacenamiento actual del suelo

La precipitación es considerada como total diario, es decir como proveniente de registros pluviométricos.

El método considera “pérdidas iniciales” ( $I_o$ ) a la lámina de lluvia caída desde el inicio de la precipitación hasta el momento en que comienza el escurrimiento. Estas pérdidas están constituidas por: retención superficial + intercepción por la vegetación + infiltración previa a la iniciación del escurrimiento.

Para evitar la necesidad de estimar las variables  $I_o$  y  $S$  de la ecuación anterior, la relación entre ellas se desarrolló por medio de datos de precipitación y escurrimiento de pequeñas cuencas experimentales, resultando empíricamente de la graficación de ( $I_o$ ) versus ( $S$ ) para tormentas individuales. La relación queda entonces:

$$I_o = 0.2S \quad (10)$$

Y reemplazando en (9):

$$Lám = (P - 0.2S)^2 / P + 0.8S \quad (11)$$

El NC se relaciona con el escurrimiento a través de la capacidad del suelo para almacenar agua ( $S$ ). El valor de  $S$  varía entre cero (nula retención y máximo escurrimiento) e infinito (situación inversa). Su valor está relacionado con el NC de AMC II, según la siguiente expresión:

$$NC = 25400 / 254 + S \quad (12)$$

Si  $S$  vale cero, NC es igual a 100, máximo valor que puede tomar para el cálculo del escurrimiento.

El NC que se determina en función de los siguientes parámetros:

- ✓ Condición hidrológica (se determinan características del suelo referidas a su capacidad de infiltración y producción de escurrimiento).
- ✓ Humedad antecedente (Antecedent Moist Condition; normal: AMC II. seca: AMC I o húmeda: AMC III, cuyos límites dependen de la lámina de lluvia acumulada durante los 5 días anteriores al evento considerado).
- ✓ Uso del suelo (discrimina entre diferentes formas de aprovechamiento: monte, pastizal, distintos tipos de cultivos, etc).
- ✓ Tratamiento o prácticas de manejo.

La obtención del NC se hace por medio de tablas que consideran los parámetros mencionados arriba, para la condición AMC II. Luego hay que transformar este NC según la

precipitación de los 5 días anteriores. De este modo obteniendo el valor de NC se calcula la lámina de escurrimiento laminar con la ecuación (11).

El caudal pico, expresa la cantidad de escurrimiento instantáneo para una creciente máxima, que ocurre en una unidad de tiempo, expresada en l/s o m<sup>3</sup>/s, representada por el máximo caudal. Para esto se requieren datos de:

- Área.
- Longitud del cauce.
- Tormenta de proyecto o hietograma.
- Pendiente.

### **A.B.2 Resultados**

En el presente trabajo se estimaron números de curvas (NC) según el grupo hidrológico del suelo, humedad antecedente y el uso y manejo que se le da, para poder así, establecer comparaciones de los distintos caudales que acarrea la cuenca en las distintas situaciones bajo una misma tormenta proyecto.

#### **Grupo Hidrológico de Suelo**

Las propiedades físicas del suelo tienen influencia importante en la generación del escurrimiento superficial: se las debe reunir en un parámetro hidrológico. Este parámetro es el grupo hidrológico de suelo, y se refiere al grado mínimo de infiltración obtenido en un suelo desnudo, después de un prolongado humedecimiento. Los grupos hidrológicos son cuatro: A, B, C y D, yendo desde los que poseen un alto grado de infiltración y transmisión (potencial bajo de escurrimiento), hasta los que tienen muy bajo grado de entrada de agua al perfil (potencial alto de escurrimiento). En la tabla N° 9 se muestran las características generales de los perfiles de suelos, correspondientes a cada grupo hidrológico. (Cisneros y col., 2012)

Tabla N°9: Grupos hidrológicos de los suelos y sus características. (Cisneros Jose, 2012)

<b>Grupo hidrológico</b>	<b>Grados de infiltración-transmisión</b>	<b>Características Generales del perfil</b>
<b>A</b>	ALTO (potencial bajo de escurrimiento)	Suelos profundos, bien o excesivamente drenados; texturas arenosas, gravas, gravillas, etc.
<b>B</b>	MODERADO	Suelos moderadamente profundos, sin barreras físicas importantes, materiales más finos que arenas.
<b>C</b>	BAJO	Presencia de capas u horizontes que limitan la infiltración y transmisión del agua; texturas más finas.
<b>D</b>	MUY BAJO (potencial alto de escurrimiento)	Suelos someros o con capa densificada e impermeable cercana a la superficie; texturas arcillosas con predominio de arcillas expandibles.

Se determinó el grupo hidrológico a partir de la mínima tasa de infiltración considerada para los sistemas agrícolas con valores entre 1 y 20 mm/h, la cual representa una condición hidrológica C. Los suelos de las cuencas que corresponden a este grupo hidrológico tienen una profundidad efectiva de 120 cm, son franco en superficie y en subsuelo. También se determinó un grupo hidrológico A para las zonas de sierras por ser suelos excesivamente drenados; algo someros (75-50 cm); areno franco en superficie; areno franco en el subsuelo, por ende con alta capacidad de infiltración.

### **Humedad antecedente del suelo**

En el proyecto se consideró una condición de humedad antecedente II el cual representa a un suelo en condiciones normales (acumulación de precipitación entre 12,7 y 38,1 mm durante los últimos 5 días antes del evento).

### **Uso y Manejo del Suelo**

El uso del suelo se refiere al estado y tipo de cobertura que tienen los suelos de la cuenca, incluyendo los distintos tipos de vegetación, barbechos y usos no agrícolas del suelo (lagunas, caminos, entre otros). El manejo o tratamiento del suelo se refiere fundamentalmente a la forma de realizar las labranzas: en surcos rectos a favor de la pendiente o en contorno (siguiendo curvas de nivel). El cultivo en contorno puede ser a su vez, con o sin terrazas. (Cisneros y col., 2012)

A partir de los resultados se ponderaron los diferentes NC para cada cuenca y subcuenca según la superficie destinada a cada uso y manejo. Para la cuenca "A" también se calculó el NC para tres situaciones distintas: pasado presente y futuro para poder determinar cómo influye el manejo, en los caudales desaguados por la cuenca. Para la cuenca "B", se calculó el NC con las prácticas de conservación (futuro). A continuación la tabla con los resultados:

Tabla N°10: Número de curva de cuencas “A” y “B” en distintas situaciones de manejo.

Cuenca	Situación	Vegetación	Porcentaje	Prácticas de conservación	Condición hidrológica	Grupo Hidrológico	NC	Ponderación
A	Pasado	Matorral-herbazal que fue reemplazado por cultivos alineados	13		Buena	C	65	53
		Pastizales o pastos naturales	42		Buena	C	74	
		Matorral-herbazal	45		Buena	A	30	
	Presente	Cultivos alineados	25	Sin	Pobre	C	88	68
		Pastizales o pastos naturales	30		Pobre	C	86	
		Monte con pastos	45		Pobre	A	45	
	Futuro	Cultivos alineados	25	*Con Terrazas, siembra cortando la pendiente y rotación	Buena	C	77	65
		Pastizales o pastos naturales	30		Pobre	C	86	
		Monte con pastos	45		Pobre	A	45	
B	Futuro	Cultivos alineados	39	*Con terrazas, siembra cortando la pendiente y rotación	Buena	C	77	69
		Pastizales o pastos naturales	28		Pobre	C	86	
		Montes con pastos	33		Pobre	A	45	

\*El efecto hidrológico de estas prácticas es aumentar la retención y detención superficial del agua y conducir excedentes en forma no erosiva.

De la misma manera se calcularon los distintos números de curva para cada subcuenca (tabla N°11). Además, para las subcuencas de la cuenca "A", se estimaron los NC en las tres situaciones antes planteadas como se observa en las tablas N° 12 y 13.

Tabla N°11: Número de curva ponderado para la cuenca "A" y "B" y sus subcuencas. También se presentan sus  $la$  y Lag time. Situación futura.

Cuencas	Subcuencas	NC Ponderado	$la$ (mm)	Lag time (minutos)
"A"	A.1, A.2, A.3 y A.4	65	27,4	56
	A.1	65	27,4	28
	A.2	59	35,3	33
	A.3	67	25	19
	A.4	71	20,7	14
"B"	B.1, B.2, B.3 y B.4	69	22,8	34
	B.1	61	32,5	8
	B.2	73	18,8	13
	B.3	65	27,4	11
	B.4	61	32,5	13

\*Estos datos fueron los que se utilizaron para la estimación de caudales para el dimensionamiento de los canales.

Tabla N°12: Número de curva ponderado y abstracción inicial ( $la$ ) para la cuenca "A" y sus subcuencas en situación pasada.

Cuencas	Subcuencas	NC Ponderado	$la$ (mm)
"A"	A.1, A.2, A.3 y A.4	53	45
	A.1	53	45
	A.2	45	41,8
	A.3	58	36,8
	A.4	62	31,1

Tabla N°13: Número de curva ponderado y abstracción inicial (Ia) para la cuenca "A" y sus subcuencas en situación presente.

Cuencas	Subcuencas	NC Ponderado	Ia (mm)
"A"	A.1, A.2, A.3 y A.4	68	23,9
	A.1	68	23,9
	A.2	59	35,3
	A.3	75	16,9
	A.4	79	13,5

## A.C ESTIMACIÓN DE CAUDAL

### A.C.1 Materiales y métodos

La estimación del caudal máximo de salida de la cuenca se realizó a partir del modelo hidrológico HEC-HMS 3.3 (Hydrologic Engineering Center's – Hydrologic Modeling System) con la metodología SCS NUMERO DE CURVA, diseñado para simular los procesos de precipitación-escorrentía de los sistemas de cuencas dendríticas, también se obtuvieron los caudales a partir del Método Racional para poder tener parámetros de comparación y poder discernir que caudales utilizar para el diseño de canales.

Dentro de los usos del **modelo hidrológico HEC-HMS 3.3**, se puede mencionar la estimación de caudales pico de cuencas y subcuencas para diseño de estructuras de conducción y control de escurrimientos (canales, defensas de cabecera de cárcavas, alcantarillas, etc.). (Cisneros y col., 2012).

En HEC-HMS se denomina proyecto, al ensayo de simulación hidrológica de una cuenca. En él están involucrados todos los componentes necesarios para arribar con éxito a uno o varios ensayos de simulación sobre una determinada cuenca.

Todo proyecto está integrado por cuatro componentes principales:

- ✓ Modelo de cuenca, se incluyen todos los componentes físicos (cuencas, cursos, subcuencas, etc.) y funcionales (áreas, retardos, CN, etc.) que actúan para transformar la precipitación total a precipitación efectiva.

La precipitación efectiva va a constituir el escurrimiento de superficie. Hay varios procesos por los cuales la precipitación es abstraída por la cuenca: infiltración, interceptión, almacenaje de superficie, evaporación y evapotranspiración. Para modelos de eventos, el énfasis está en la infiltración y todas las otras pérdidas están consideradas dentro de la abstracción inicial.

En el modelo se cargaron los datos de cada subcuenca como se presenta en la tabla N°10. La información básica de cada subcuenca requerida para la simulación es: Área (km<sup>2</sup>),



Curva Número (CN), Abstracción Inicial (mm) y Tiempo Lag (min). La abstracción o pérdida inicial, es definida como una fracción de la retención potencial máxima ( $I_a = 0,2 * S$ ), es decir que, la retención o abstracción inicial es el 20% de la capacidad de retención total. El 80% restante corresponde a la infiltración después que el escurrimiento ha comenzado. (Jose Cisneros, 2012). El tiempo Lag es el tiempo desde el centro de gravedad de las precipitaciones hasta el pico del hidrograma y se indica como el 60% del TC.

- ✓ Modelo meteorológico, se define un hietograma a cada cuenca.
- ✓ Especificaciones de control, definen el comienzo y fin de la simulación y el intervalo de tiempo de cálculo.
- ✓ Definición de datos en series de tiempo, se definen el o los hietogramas de lluvias de diseño (mm de lluvia en cada intervalo de tiempo). El hietograma correspondiente a la cuenca se obtuvo a partir de registros de precipitaciones de la localidad de Despeñaderos desarrollado anteriormente en los resultados de factores climáticos. Párrafos más adelante se justifica esta elección.

Por otra parte, el **Método Racional** constituye el proceso de cálculo más antiguo que existe para estimar descargas máximas (Serenio y col., 1997).

Mediante este método se estima el caudal máximo a partir de la precipitación, es deductivo, supone que las descargas son directamente proporcionales a la intensidad de lluvia neta y, a su vez, abarca todas las abstracciones en un solo coeficiente C (coeficiente de escorrentía) estimado sobre la base de las características de la cuenca. Este coeficiente se define como la relación entre el volumen escurrido y el total precipitado.

Este método presupone:

- ✓ El caudal pico ocurre cuando toda la superficie de aporte contribuye al escurrimiento registrado a la salida de la cuenca.
- ✓ La lluvia presenta uniformidad espacial y temporal, siendo su duración igual al tiempo de concentración de la cuenca.
- ✓ Las condiciones de permeabilidad se mantienen constante durante la lluvia.

Las mayores ventajas del método son su simplicidad y la racionalidad de su empleo. Las limitaciones del mismo son:

- ✓ Solo permite estimar el caudal máximo (solo un punto del hidrograma). En la práctica se lo asocia a un hidrograma de tipo triangular con tiempo base de  $2 * T_c$ . En la realidad el escurrimiento superficial sufre un efecto de amortiguación provocado por la rugosidad de la superficie y el efecto de almacenamiento superficial.
- ✓ Cuando la cuenca se torna compleja, con varias subcuencas, tiende a sobreestimar el caudal máximo.
- ✓ No contempla el flujo canalizado, considerando solamente el flujo sobre el terreno.
- ✓ Encierra algunas incertidumbres, fundamentalmente relativas a la adopción del valor del coeficiente C.

Este método es aplicable fundamentalmente en cuencas pequeñas con superficies máximas de hasta  $5 \text{ km}^2$  de superficie aproximadamente.

A continuación se presenta la fórmula:

$$Q = 0,00278.C.I.A \quad (13)$$

*Dónde:*

*Q: Es el caudal máximo, en m<sup>3</sup>/s.*

*C: Es el coeficiente de escurrimiento, adimensional.*

*I: Es la intensidad media máxima de la lluvia para una duración igual al tiempo de concentración de la cuenca, en mm/h.*

*A: Es el área de la cuenca drenada, en ha.*

*0,00278: Factor de conversión de unidades.*

Para determinar el valor del coeficiente C se tuvieron en cuenta los siguientes parámetros (Sereny y col., 1997):

- Vegetación.
- Tipo de suelo.
- Pendiente del terreno.

### **A.C.2 Resultados**

Con el modelo hidrológico HEC-HMS 3.3 se obtuvieron resultados de escurrimiento. En una primera instancia es considerado laminar pero a nivel del modelo hidrológico en cuestión se determina que este es concentrado a la salida de la cuenca.

Luego de la simulación considerando los parámetros antes mencionados se obtuvieron los siguientes resultados mostrados en la tabla N°14 para las cuencas "A" y "B":

Tabla N°14: Caudal escurrido ( $m^3/s$ ) del proyecto por método de HEC-HMS 3.3 para las dos cuencas analizadas.

Cuenca	Descripción (figura N°19)	Descarga pico ( $m^3/s$ )	Tiempo del pico (minutos)	Volumen total (mm)
A	Punto de salida de subcuenca A.2 (1)	0,7	95	1
	Punto de salida de cuenca A.4 (A.1, A.2, A.3 y A.4) (2)	1,3	105	3
	Punto de salida de subcuenca A.1 (3)	0,8	80	4
	Punto de juntura de dos vías de escurrimiento (A.1, A.2 y A.3) (4)	1,6	80	2
B	Punto de salida de subcuenca B.1 (5)	0,1	55	1
	Punto de salida de la subcuenca B.2 (B.1 y B.2) (6)	0,4	50	3
	Punto de salida de la subcuenca B.3 (B.3 y B.4) (7)	0,2	55	1
	Punto de salida de la subcuenca B.4 (8)	0,1	60	1

Aclaración:

- El caudal se estima en varios puntos para poder llevar a cabo el cálculo de dimensionamiento del canal adecuadamente.
- Los números en paréntesis corresponden con los de la figura N°19.

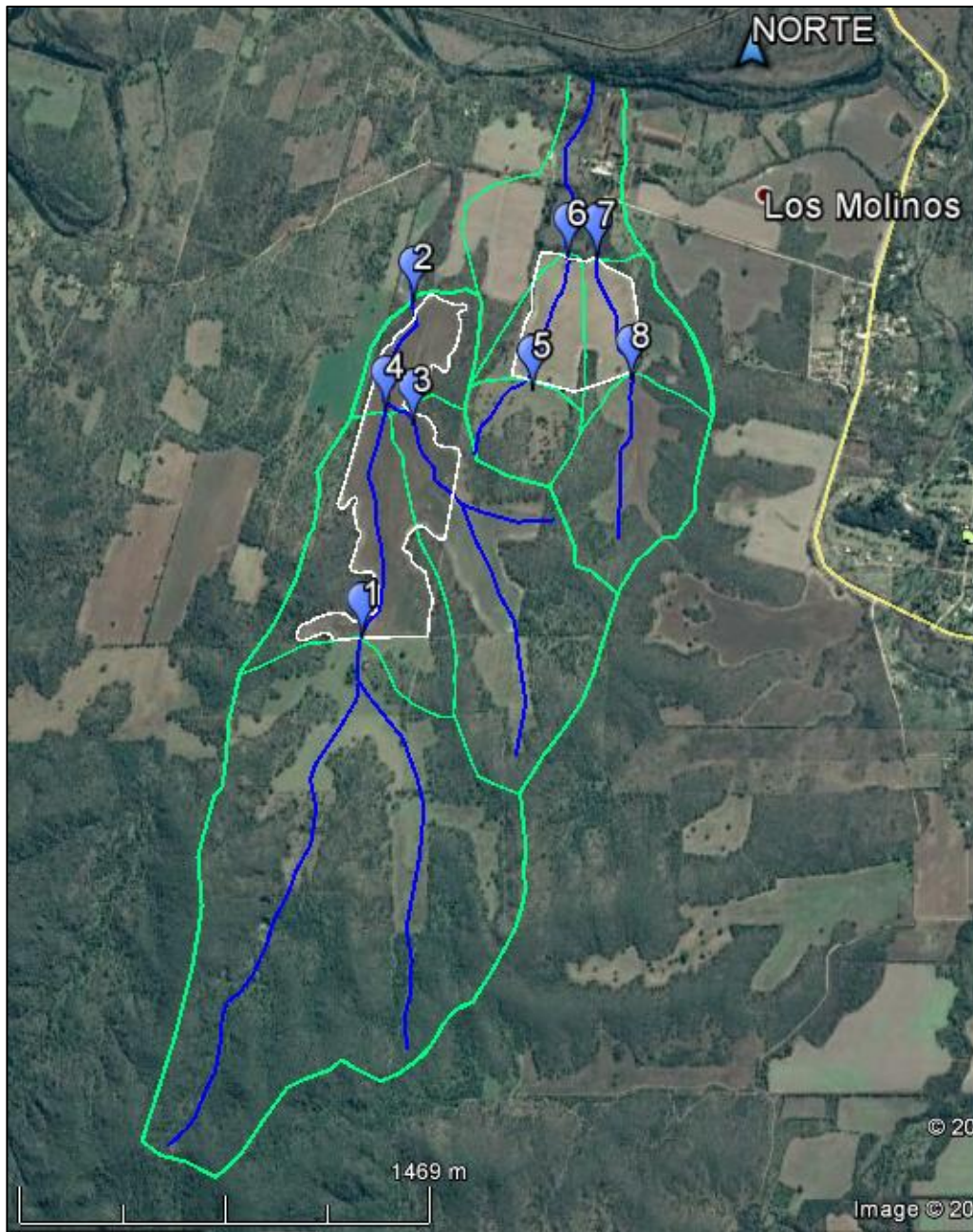


Figura N°19: Puntos de salida de subcuencas donde se estimaron los caudales.

Se analizaron los hidrogramas obtenidos a la salida de los lotes 1 y 2. Siendo estos, los caudales desaguados en la cuenca "A" (punto 2 en la figura N°19), en la subcuenca B.2 (punto 6 en la figura N°19, teniendo en cuenta el caudal proveniente de la subcuenca B.1) y, en la subcuenca B.3 (punto 7 de la figura N°19, teniendo en cuenta el caudal proveniente de la subcuenca B.4), para una lluvia proyecto. Como se puede observar en las siguientes figuras:

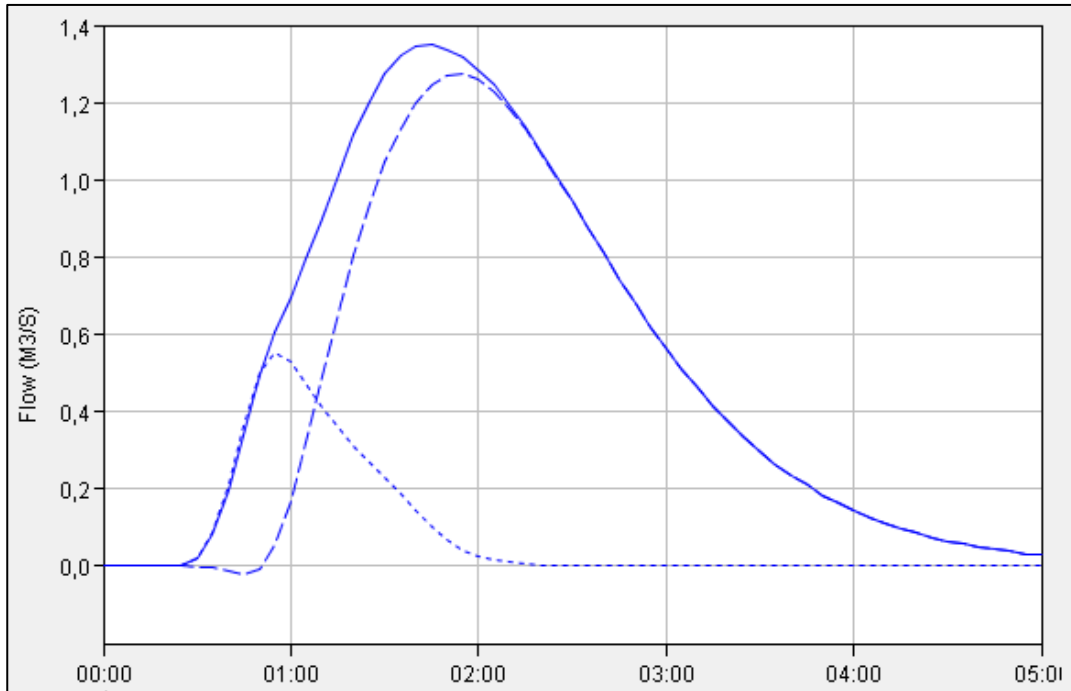


Figura N°20: Hidrograma de la cuenca "A". Donde son representadas gráficamente las descargas instantáneas de un curso de agua en función del tiempo, con un máximo caudal a la salida de la cuenca equivalente a  $1,3 \text{ m}^3/\text{s}$  alcanzado a las 1:45 h de iniciado el evento.

*Referencias:*

- Caudal escurrido en el punto de salida de la cuenca A.
- Caudal de las cuencas A.1, A.2 y A.3 que transita por la subcuenca A.4.
- Caudal escurrido en la subcuenca A.4.

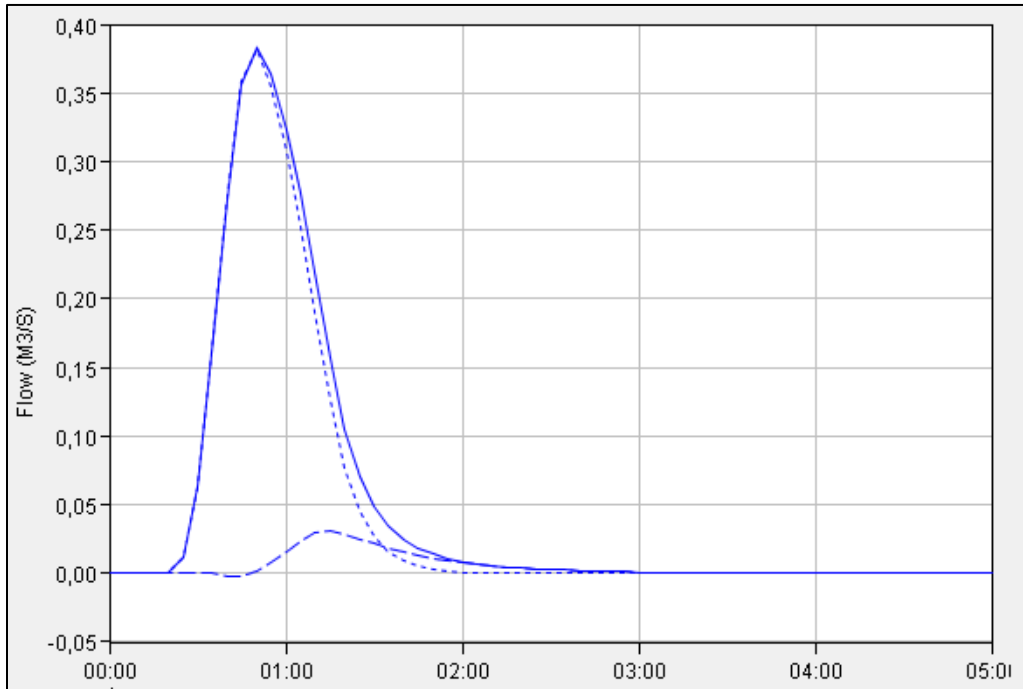


Figura N°21: Hidrograma de las subcuencas B.1 y B.2, donde el máximo caudal equivale a  $0,4\text{m}^3/\text{s}$  alcanzado a las 0:50 h de iniciado el evento.

*Referencias:*

- Caudal en el punto de salida de la cuenca B.2 (B.1+B.2).
- Caudal escurrido proveniente de la subcuenca B.2.
- Caudal de la subcuenca B.1 que transita por la subcuenca B.2.

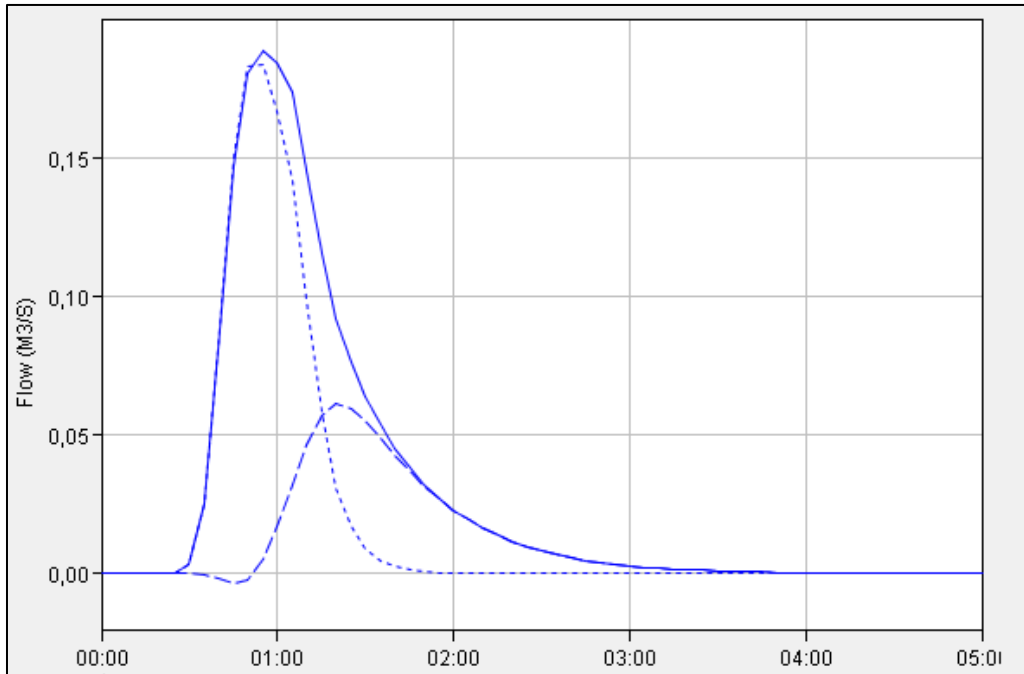


Figura N°22: Hidrograma de la cuenca B.3 y B.4, donde el máximo caudal equivale a  $0,2 \text{ m}^3/\text{s}$  alcanzado a las 0:55 h de iniciado el evento.

*Referencias:*

- Caudal en el punto de salida de la subcuenca B.3 (B.3+B.4).
- Caudal escurrido proveniente de la subcuenca B.3.
- Caudal escurrido proveniente de la subcuenca B.4.

Estos datos se compararon con los resultados obtenidos a partir de registros de Falda del Carmen, dando como resultado los siguientes caudales:

Tabla N°15: Comparación de caudales entre datos de precipitación de Despeñaderos y Falda del Carmen.

Cuenca	Descripción (ver figura N°19)	Descarga pico (m <sup>3</sup> /s) Despeñaderos	Descarga pico (m <sup>3</sup> /s) Falda del Carmen
A	Punto de salida de subcuena A.4 (A.1, A.2, A.3 y A.4) (2)	1,3	0,1
B	Punto de salida de subcuena B.2 (B.1 y B.2) (6)	0,4	0,1
	Punto de salida de la subcuena B.3 (B.3 y B.4) (7)	0,2	0

\*Los números en paréntesis pertenecen a la figura N°19.

A partir de estos resultados se optó por tomar los caudales obtenidos a partir de datos de Despeñaderos. Si bien estos registros son de menor significación estadística que los de Falda del Carmen, incluyen antecedentes de los últimos años más lluviosos que permiten tener un margen de seguridad para evitar el sub-dimensionamiento de la obra. Otra razón por la que se eligieron los registros de Despeñaderos, fue por la cercanía a la cuenca analizada.

Los caudales obtenidos por el modelo hidrológico HEC-HMS también fueron comparados con los resultados obtenidos a partir del método racional, considerando para el cálculo los siguientes coeficientes C, según las distintas características de las subcuencas, que luego fueron ponderados de acuerdo a la proporción de cada tipo de vegetación para cada subcuena:

- Vegetación: Tierras cultivadas.
  - Tipo de suelo: limo-arenoso.
  - Pendiente del terreno: 0-5%.
- } **C= 0,3.**



- Vegetación: Monte natural.
  - Tipo de suelo: limo-arenoso.
  - Pendiente del terreno: 5-10%.
- } **C= 0,25.**

Por lo cual el valor de dicho coeficiente toma un valor ponderado según la proporción de monte y tierras cultivadas de cada subcuenca:

- |                        |                        |
|------------------------|------------------------|
| ✓ Subcuenca A.1: 0,28. | ✓ Subcuenca B.1: 0,28. |
| ✓ Subcuenca A.2: 0,27. | ✓ Subcuenca B.2: 0,29. |
| ✓ Subcuenca A.3: 0,29. | ✓ Subcuenca B.3: 0,28. |
| ✓ Subcuenca A.4: 0,29. | ✓ Subcuenca B.4: 0,27. |

Para el cálculo de caudal con el método racional también se tuvo en cuenta una intensidad media máxima para la cuenca "A" de 33 mm/h y, 44 mm/h, para la cuenca "B", como se apuntó en el ítem A.A.2.5. También se tuvieron en cuenta las áreas de cada subcuenca.

Tabla N°16: Comparación de caudales resultados del modelo hidrológico HEC-HMS 3.3 y los resultados a partir del método racional.

Cuenca	Descripción (figura N°19)	Caudal pico (m <sup>3</sup> /s) HEC-HMS 3.3	Caudal pico (m <sup>3</sup> /s) Método Racional
A	Punto de salida de subcuenca A.4 (A.1, A.2, A.3 y A.4) (2)	1,3	9,5
B	Punto de salida de subcuenca B.2 (B.1 y B.2) (6)	0,4	1,24
	Punto de salida de la subcuenca B.3 (B.3 y B.4) (7)	0,2	2,21

\*Los números en paréntesis pertenecen a la figura N°19.

Los caudales obtenidos a partir de los dos métodos aplicados muestran diferencias cuantitativas importantes. Se optó por utilizar el valor que se obtuvo mediante el HEC-HMS 3.3 para el diseño y dimensionamiento del canal de desagüe de la cuenca, por la mayor cantidad de variables aplicadas en el software lo cual le da mayor base física al cálculo.

## B) CARACTERIZACIÓN DEL PREDIO Y PRÁCTICAS PROPUESTAS

### B.1 Materiales y métodos

Para llevar adelante el proyecto de control de erosión hídrica se trabajó en el establecimiento “Los Molinos”, este cuenta con 400 ha. Su uso es mixto (agrícola-ganadero), actualmente se encuentra trabajado bajo contrato de alquiler. En la figura N°23 se puede observar el límite del establecimiento en rojo, y los lotes agrícolas a sistematizar, en blanco.



Figura N°23: Distribución de los lotes a sistematizar (uno y dos).

#### B.1.1 Selección de lotes a trabajar

Dentro del establecimiento se seleccionaron como objeto de estudio los lotes 1 y 2 (figura N°23) por ser de uso agrícola y observarse procesos erosivos en surcos y cárcavas como se puede

apreciar en las figuras N°24 y N°25. El lote 1 cuenta con 37 ha y, el lote dos, con 21 ha. La superficie se estimó a partir del software AutoCAD.

Ambos lotes se trabajan de igual manera, a favor de la pendiente y con rotación soja-maíz (1:1). Esto, sumado al desnivel observado y las características de los suelos da origen a las consecuencias antes mencionadas.



Figura N°24: Efectos de erosión hídrica en el lote 1.



Figura N°25: Efecto de la erosión hídrica en el lote 2.

A partir de este hecho, se propone realizar prácticas tanto estructurales como de manejo que logren disminuir o controlar los daños producidos por erosión hídrica.

### *B.1.2 Prácticas estructurales*

Se propone realizar terrazas de base ancha (cultivables) paralelas de desagüe.

Antes de realizar un proyecto de sistematización, es necesario un plano de curvas de nivel. Para la obtención un mayor detalle del relieve de los lotes se procedió a la realización del levantamiento topográfico. A partir del plano de curvas de nivel se estimó por donde pasarían los canales y se diseñaron en un plano las terrazas.

#### LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO

El levantamiento topográfico es un conjunto de actividades que se realizan en el campo con el objetivo de capturar información necesaria para determinar las coordenadas rectangulares de los puntos del terreno, directamente o mediante un proceso de cálculo (Pachas, 2009), con las cuales se obtiene por un lado, la representación gráfica del terreno levantado y por otro, sirven para cálculo de áreas, distancias, etc.

Cabe destacar que existe una etapa previa al levantamiento topográfico, la planificación, donde se tomaron decisiones para fijar cuando se llevará a cabo la acción, quien la realizará, en qué lugar y como se ejecutará dicho levantamiento. Se debe tener una idea previa de la topografía del lugar, establecer los accidentes topográficos más importantes y las construcciones existentes en el área, para poder de esta manera hacer una planificación eficiente del levantamiento y utilizar como referencia y control las coordenadas de los puntos conocidos. A partir de la información recolectada y de programas como Google Earth fue necesario realizar un croquis del lugar a levantar para utilizarlo como referencia. Una vez realizado un plan de actividades se procedió a realizar el trabajo a campo.

Existen distintos métodos para realizar el levantamiento. Estos, han ido variando a la par de los avances tecnológicos, incorporándolos, creando equipos más eficiente, ligeros, pero sobre todo más fáciles de utilizar. Dentro de estas innovaciones tecnológicas se encuentra la estación total (Figura N°26) utilizada para realizar este trabajo en el establecimiento “Los Molinos”.

### Estación total:



Figura N°26: Estación total.

Es un instrumento que integra en un sólo equipo las funciones realizadas por el teodolito electrónico, un medidor electrónico de distancias y un microprocesador para realizar los cálculos que sean necesarios para determinar las coordenadas rectangulares de los puntos del terreno (Pachas, 2009).

Para operar una estación total se comenzó haciendo estación en un punto del terreno a relevar y luego se procedió a la nivelación del aparato. Para iniciar las mediciones fue necesario orientar la Estación Total previamente, para lo cual se requiere hacer estación en un punto de coordenadas conocidas o supuestas y conocer un azimut de referencia, el cual se introduce mediante el teclado. El número de estaciones varía según el grado de desnivel del terreno.

Con este Instrumento se puede medir distancias verticales y horizontales, ángulos verticales y horizontales e internamente con un microprocesador programado, calcula las coordenadas topográficas (norte [y], este [x] y elevación [z]) de los puntos visados.

Estos instrumentos poseen también tarjetas magnéticas para almacenamiento de datos, los cuales pueden ser cargados en una computadora y utilizados con programas para procesamiento de dicha información como se verá más adelante.

Para realizar la medición de distancias en uno de los extremos se encuentra la Estación Total y en el otro extremo se coloca un reflector o prisma (figura N°27); la visual entre la Estación Total y el reflector o prisma se debe encontrar libre de obstáculos, el instrumento transmite al prisma una señal electromagnética que regresa desde el reflector.



Figura N°27: Prisma.

## CÁLCULO Y DISEÑO DE CANALES

Para el cálculo y diseño de los canales de desagüe se necesitaron datos de los lotes como:

- ✓ Caudal pico en una tormenta proyecto y caudales de entrada a los lotes.
- ✓ Pendiente de la vía de escurrimiento que se transformará en canales.
- ✓ Suelo: Según la textura y estructura del suelo será la velocidad máxima a que pueda conducirse agua sin provocar daños. También las características del suelo pueden influir.
- ✓ Cobertura: el cálculo se efectúa considerando que se contara con una buena cobertura vegetal considerando mezcla de pasturas de altura entre 15-25 cm, ya que desnudo es fácilmente erosionable.

La forma de la sección transversal que normalmente se recomienda para estos proyectos es la parabólica, por ser más estable además de permitir el paso transversal de la maquinaria agrícola (figura N°28).

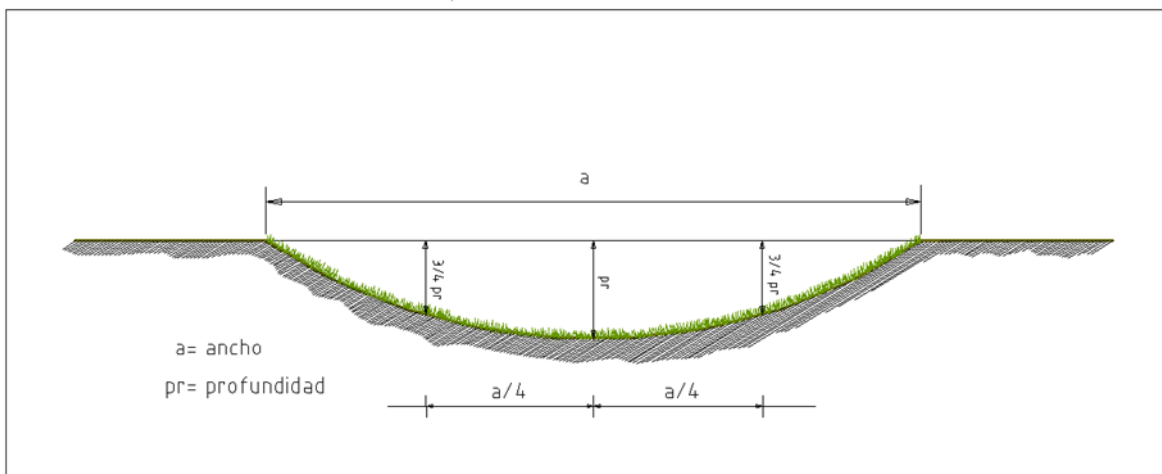


Figura N°28: Canal parabólico, corte transversal.

Para el cálculo de este tipo de canales, primero se estimó la velocidad máxima admisible (que no produce erosión) para ese suelo y cobertura.

Considerando:

- cobertura vegetal: mezcla de pasturas.
- Pendientes: 0-5%.
- Suelos resistentes a poco resistentes.

La velocidad máxima admisible fue de 1.22 a 1.53 m/s. (Sereny y col., 1997)

Luego se calculó el radio hidráulico según Manning.

$$R = (V * n / i^{1/2})^{3/2} \quad (14)$$

En donde:

*R* = Radio hidráulico.

*V* = Velocidad máxima admisible (m/s).

*n* = coeficiente de Manning. Se tomó el de canales con vegetación media de 0,04.

*i* = pendiente de cauce (m/m).

En un tercer paso se calculó la profundidad del canal:

$$pr = 1,5 * R \quad (15)$$

En donde:

*pr* = profundidad del canal de desagüe (m).

*R* = Radio hidráulico.

Y, por último, el ancho del canal a partir de la fórmula:

$$a = 1,5 * (Q / V * pr.) \quad (16)$$

En donde:

*a* = ancho del canal de desagüe (m).

*Q* = Caudal de diseño (m<sup>3</sup>/s).

*V* = Velocidad máxima admisible (m/s).

*Pr* = profundidad del canal de desagüe (m).

#### TERRAZAS DE BASE ANCHA PARALELAS DE DESAGÜE

Se denomina paralelización de diseño cuando se siguen líneas paralelas (curvas o rectas), según el análisis de la planialtimetría. El hecho de que sean paralelas es a los efectos de facilitar las labores de labranza, siembra y cosecha.

Para diseñar estas terrazas es indispensable tener en cuenta el desnivel y la longitud de las mismas. La pendiente o desnivel de las mismas hacia el desagüe puede variar de 0 hasta 0,5% de pendiente. No se debe alcanzar la pendiente cero (0) ya que, en este último caso, son definidas como terrazas de absorción. De esta manera, el agua circula por el canal de la terraza con velocidades adecuadas para evita que el propio lecho del canal llegue a sufrir erosión. En cuanto a la longitud de la terraza es conveniente considerar un máximo tolerable, lo que va a depender del manejo y que las condiciones sean favorables, pudiendo llegar hasta los 500m (Sereny y col., 1997).

A lo largo de las terrazas paralelas de desagüe la pendiente no resulta uniforme, esto se debe a que el terreno por lo general no tiene pendiente uniforme. Ante esta situación, lo que se busca es que la pendiente de todas las terrazas varíe entre el mínimo y el máximo permitido.

Estas, conducirán el agua de escorrentía hacia el canal de desagüe (figura N°29) por efecto de la pendiente longitudinal con la que son diseñadas.



Figura N°29: Terrazas paralelas que desaguan en un canal. Ensayos realizados por el grupo de gestión ambiental de suelo y agua, FCA-UNC.

Para poder proyectar terrazas en un plano se debe definir previamente el espaciamiento vertical (EV) y el horizontal (EH). Este espaciamiento se da en función de:

- ✓ Precipitaciones.
- ✓ Pendiente del terreno (mayor pendiente, menor espaciamiento).
- ✓ Capacidad de infiltración del suelo.
- ✓ Cobertura del terreno.

Para el espaciamiento vertical una formula muy usada por el servicio de Conservación de Suelos de los EEUU es:



$$EV = (x * S + y) 0,305 \quad (17)$$

Dónde:

*x*: es una variable que depende de la intensidad de las precipitaciones de la región o zona de que se trate y su valor varía entre 0,4 y 0,8. El valor para un tiempo de retorno de diez años y una intensidad diaria de aproximadamente 100 mm es de 0,6.

*S*: es la pendiente en porcentaje.

*y*: sus valores varían de 1 - 4 según características del suelo, cultivo y prácticas de manejo. 1 para condiciones de alto potencial de escorrentía, 4 para condiciones contrarias. Se tomara un valor medio de 2,5.

0,305: es un factor de conversión de pies a metros.

El espaciamiento horizontal se obtiene dividiendo el espaciamiento vertical por la pendiente del terreno en tanto por uno (función tangente).

$$EH = EV / \text{tg } w \quad (18)$$

## REPLANTEO

Una vez realizado el diseño de terrazas y dimensionamiento de canales, se procede a la realización del replanteo en el terreno del proyecto. Este, consiste en la operación de marcar en el terreno lo que se ha proyectado o diseñado en el plano. Lo que se replantea en el terreno es solamente la terraza madre ya que las otras se copian paralelas con la sembradora o con alguna maquinaria propia del establecimiento que cuente con GPS diferencial (Sereny y col., 1997). Según el proyecto y los elementos de trabajos con los que se disponga, se puede optar por diferentes métodos:

- ✓ Replanteo con cinta.
- ✓ Replanteo por coordenadas (teodolito, estación total o GPS diferencial)

## CONSTRUCCIÓN

Esta etapa viene después de planteado el proyecto en plano y del replanteo en el terreno. Dentro del establecimiento se cuenta solamente con arado de disco y con tractor enganche de tres puntos (figura N°30), pero esta tarea también puede realizarse con arado de rejas, con motoniveladora o niveladora de arrastre en donde el trabajo se facilita notablemente y es muy reciente la introducción en nuestro medio de un implemento específico para esta tarea conocido como terracedores (figura N°31).



Figura N°30: Construcción de terrazas con arado de disco en el lote 2.



Figura N°31: Construcción de terrazas con terracedora.

Para la construcción de una terraza se cuenta con la línea de ubicación de la misma. Si es la primera, o sea la terraza madre, se tendrá la línea materializada con estacas o jalones. Con el implemento que cuentan dentro del establecimiento, arado de disco, la primera pasada de la herramienta se hace sobre la línea marcada. La segunda (de vuelta) se tira la tierra en sentido contrario, pero cuidando de dejar una franja de medio metro sin roturar. Las demás, se efectúan tirando la tierra hacia el medio, de modo que lo que algunas pasadas aflojan, otras desplazan hacia el medio.

El ancho completo, considerando tanto el canal como el terraplén, es de 12 a 15 m y de altura debe ser de 0,4 a 0,5 m de altura, contando desde el fondo del canal (Sereny y col., 1997).

La construcción de las terrazas en el lote se debe comenzar siempre por las de más arriba. Por si ocurre una lluvia antes de que estén terminadas para evitar que se rompan.

En caso que se comiencen por la terraza que se ubica en la zona más baja del predio, el área de captación de agua de esta será mucho mayor que la estimada y por lo tanto la terraza se verá superada. La rotura de una terraza provoca la rotura de las ubicadas hacia abajo.

Luego de marcar las terrazas madre, las demás terrazas se pueden posicionar con la referencia de los surcos del cultivo anterior (cuando las terrazas madres se marcan un año y al año siguiente las restantes) o bien, con la marca dejada por el marcador de la sembradora (todas levantadas el mismo año). El establecimiento cuenta con banderillero satelital que se basa en el sistema de posicionamiento global GPS, lo cual resulta más fácil determinar donde se ubicarán las demás terrazas.

### *B.1.3 Prácticas culturales*

#### ROTACIÓN Y DIRECCIÓN DE SIEMBRA

Se sugiere, luego de realizarse el proyecto de sistematización o el levantamiento de las terrazas madre, que la dirección de siembra acompañe a estas para evitar su rotura y permitir una mayor durabilidad de las mismas y, a su vez, garantizar al máximo su funcionamiento. El cometido de los cultivos sembrados a favor de las terrazas es reducir las pérdidas de suelo por erosión y favorecer la captación y conservación del agua de lluvia, ya que los surcos formados por las labranzas detienen y almacenan el agua en el suelo, obteniendo una mejor distribución de la humedad en el perfil. Se recomienda también utilizar un sistema de siembra directa para garantizar buena cobertura en el lote y, aprovechar las ventajas conocidas que este sistema puede brindar.

En el caso del lote 1 trabajar el lote a favor de las terrazas resulta dificultoso ya que es alargado a favor de la pendiente. Frente a esta situación el productor deberá tener en cuenta la mantención más frecuente de las terrazas.

Otra práctica cultural que permite el control de la erosión hídrica son las rotaciones de cultivo. Ayudan a la conservación del agua, control de malezas, mejora en propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos, reducción de la presión de plagas y enfermedades y, al aumento en la eficiencia en el uso del agua (Álvarez, 2013).

Se subdividieron los dos lotes en cuatro parcelas (dos parcelas por lote), denominadas A (16 ha) y B (19 ha), para el lote 1 (figura N°32) y, C (10 ha) y D (11 ha), para el lote 2 (figura N°33), siguiendo el plan de rotación de la tabla N°17.

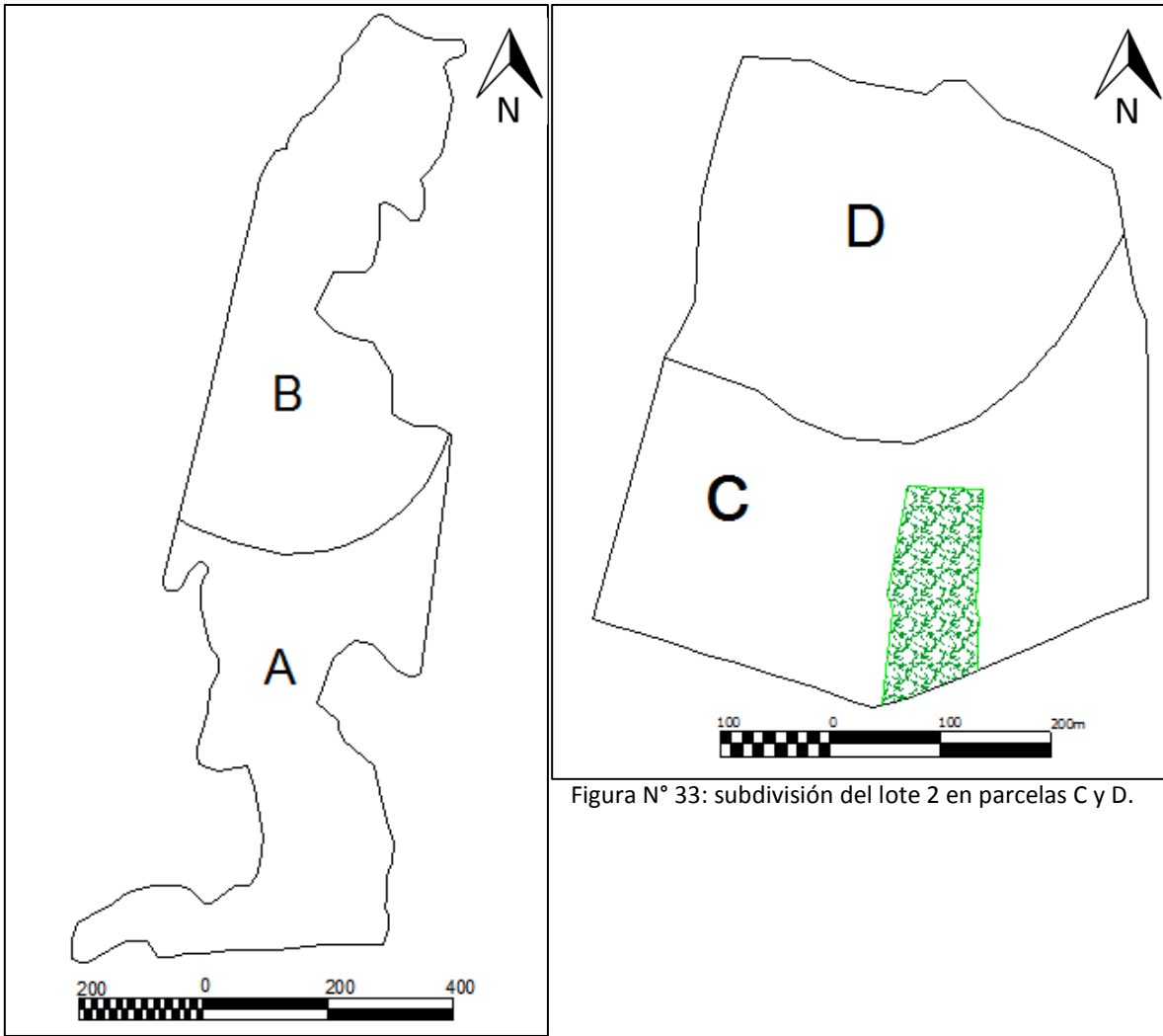


Figura N° 33: subdivisión del lote 2 en parcelas C y D.

Figura N° 32: subdivisión del lote 1 en parcelas A y B.

Tabla N°17: Plan de rotación para los lotes 1 y 2.

Año\Lote	A	B	C	D
1	BB/M	VS cs C (CC)/ Sg	T (CC)/ S	BB/M
2	BB/M	BB/M	VS cs C (CC)/ Sg	T (CC)/ S
3	T (CC)/ S	BB/M	BB/M	VS cs C (CC)/ Sg
4	VS cs C (CC)/ Sg	T (CC)/ S	BB/M	BB/M

Referencias: BB= barbecho, C= centeno, CC= cultivo cobertura, cs= consociado, M= maíz, S= soja, Sg= sorgo, T= triticale, VS= vicia sativa.

El maíz y el sorgo son cultivos con buen desarrollo radicular que permite la fijación del suelo y garantizan un buen rastrojo.

Los cultivos cobertura (CC) contribuyen a la fijación de carbono, facilitan el control de malezas, y reciclan nutrientes (Álvarez, 2013). Además, permiten mantener elevadas tasas de infiltración del agua de lluvia por las diversas acciones que realizan. Protegen al suelo del impacto de las gotas de lluvia, a su vez estos residuos actúan como pequeños diques demorando el escurrimiento y prolongan el tiempo para su entrada en el suelo. También intervienen en la macro porosidad del suelo, al descomponerse sus raíces generan un sistema de canales o galerías. Se debe tener en cuenta el momento de secado del CC que, sin duda, no deberá ir más allá de la floración si se trata de una leguminosa, y de la espigazón en el caso de las gramíneas, ya que a partir de estos momentos se incrementa significativamente el consumo de agua. Una mayor cobertura de biomasa disminuye la amplitud térmica del suelo superficialmente, y se traduce en menos pérdida de agua por evaporación. Esto genera una mejora en la eficiencia del uso del agua, que puede aumentar la disponibilidad para el cultivo agrícola siguiente (Álvarez, 2013). Se eligió como CC, la consociación de centeno y vicia sativa ya que el cultivo de vicia garantiza un buen residuo hasta la próxima siembra y brinda aportes de nitrógeno al siguiente cultivo. Otros beneficios adicionales a la fijación biológica de nitrógeno cuando se emplean especies leguminosas, es también mantener a pleno la actividad biológica del suelo. Por intermedio del sistema radical, se mejorará la estructura, porosidad y procesos relacionados con la fertilidad edáfica (Álvarez, 2013). El centeno es una gramínea tolerante al frío y al estrés hídrico y produce un abundante volumen de residuo que se descompone más lentamente que el de otras gramíneas de invierno, debido a su mayor contenido en lignina. Como el material generado no es retirado ni comido, los nutrientes agregados al CC son reciclados en el cultivo siguiente “al mismo fertilizante lo usamos dos veces” (Álvarez, 2013). La asociación de distintas especies de cultivos de cobertura permite sumar sus cualidades al material vegetal producido (Capurro, 2015). El otro cultivo de cobertura que se plantea es el triticale, siendo de rápido crecimiento y garantizando una buena biomasa.

El mantenimiento de una efectiva cantidad de rastrojo en la superficie es un punto crucial para la conservación de suelos. Los rastrojos protegen la superficie del suelo de la erosión, ya que, como se mencionó con anterioridad, absorben la energía del impacto de las gotas de lluvia disminuyendo su efecto dispersivo sobre las partículas del suelo; también reducen el encostramiento superficial con lo cual aumentan la infiltración evitando el sellado en suelos recién sembrados y disminuyen la velocidad de escorrentía y por ende su capacidad de transporte y muchas partículas de suelo son redepositadas.

## **B.2 Resultados**

### *B.2.1 Prácticas estructurales*

#### LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO

Para la realización del levantamiento a campo con estación total, en primera instancia, se definió la posición que se les daría a las estaciones para poder visualizar la totalidad del terreno, para lo cual en este trabajo se definieron 3 estaciones identificadas en el levantamiento con las letras "A", "B" y "C" para el lote 1 (figura N°34) y una estación "A" para el lote 2 (figura N°35).

Durante el levantamiento se relevaron 164 puntos para el lote 1 y 66 puntos para el lote 2 mediante el desplazamiento del prisma, posicionándolos en los lugares que nos permitían representar las variaciones del terreno.

Una vez finalizado el levantamiento, se obtuvo las coordenadas norte [y], este [x] y elevación [z] de los puntos visados y mediante la utilización de los software Surfer y AutoCAD se obtuvo la planialtimetría de los lotes en estudio como muestra la figura N°34 Y N°35, en donde representa el desnivel existente permitiendo un posterior análisis de la pendiente de los lotes.

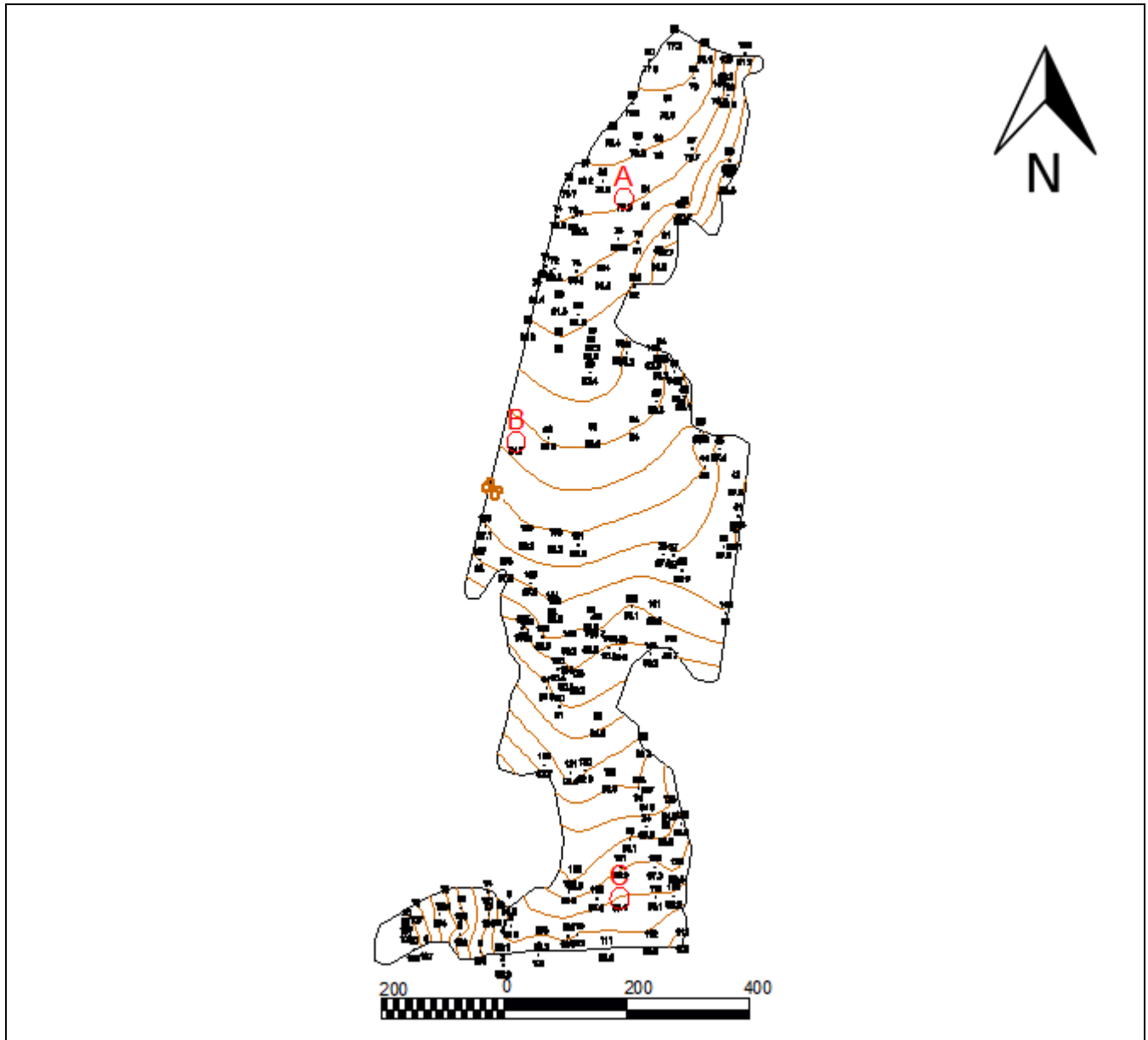


Figura N°34: Plano de curvas de nivel lote 1 con equidistancia 1 metro, con las tres estaciones en rojo A, B y C de norte a sur.

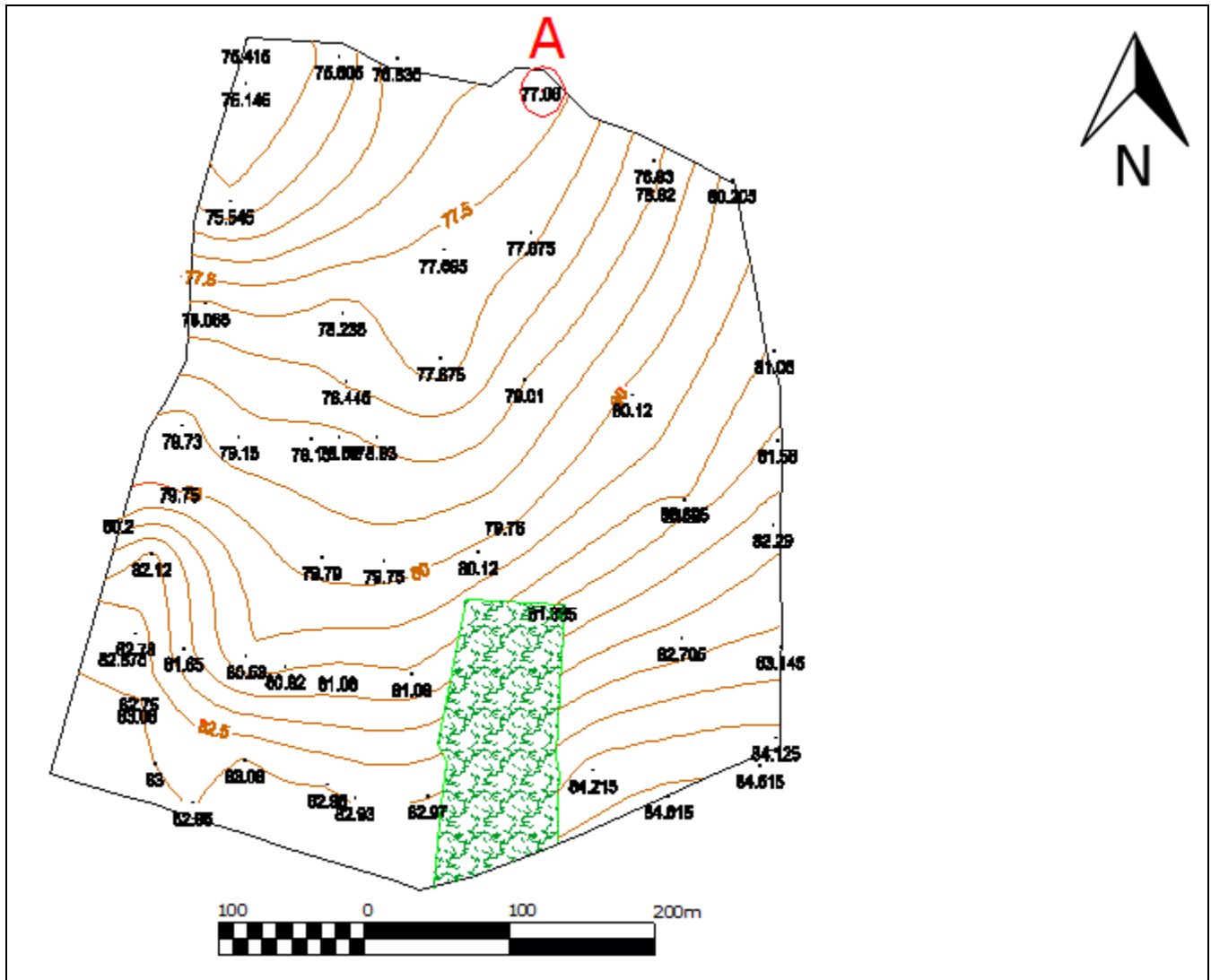


Figura N°35: Plano de curvas de nivel del lote 2, con equidistancia de 0,5 metros obtenidas a partir del levantamiento topográfico.

### CÁLCULO Y DISEÑO DE CANALES

Para determinar la ubicación del canal se tomaron en cuenta las vías de escurrimiento principales. Para el lote uno los canales se dividieron en tres secciones, 1; 2 y 3, por transportar distintos caudales y tener pendiente diferente (figura N°36). Y, en el lote número dos se plantean dos canales de dimensiones similares como se observa en la figura N°37.

A continuación se presenta una tabla con los resultados del dimensionamiento de canales:



Tabla N°18: Dimensionamiento de canales.

Lote	Canal	Tramo	Longitud (metros)	Pendiente (%)	Área de aporte (ha)	Caudal pico (m <sup>3</sup> /s)	Ancho (metros)	Profundidad (metros)	Velocidad (m/s)
1	1	A-B	948,4	1,85	264,72	0,8	4,7	0,25	1,03
	2	B-C	340	1,18	286,05	1,6	6,7	0,35	1,03
	3	D-B	480	1,25	84,35	0,8	3,2	0,35	1,06
2	4	E-F	491,6	1,3	35,14	0,4	3*	0,3*	1,08
	5	G-H	454,5	1,54	64,53	0,2	3*	0,3*	1,06

\*Aclaración: Se toman estas como dimensiones mínimas admisibles para la construcción de un canal, ya que, el resultado del cálculo para los canales 4 y 5, da medidas muy pequeñas.

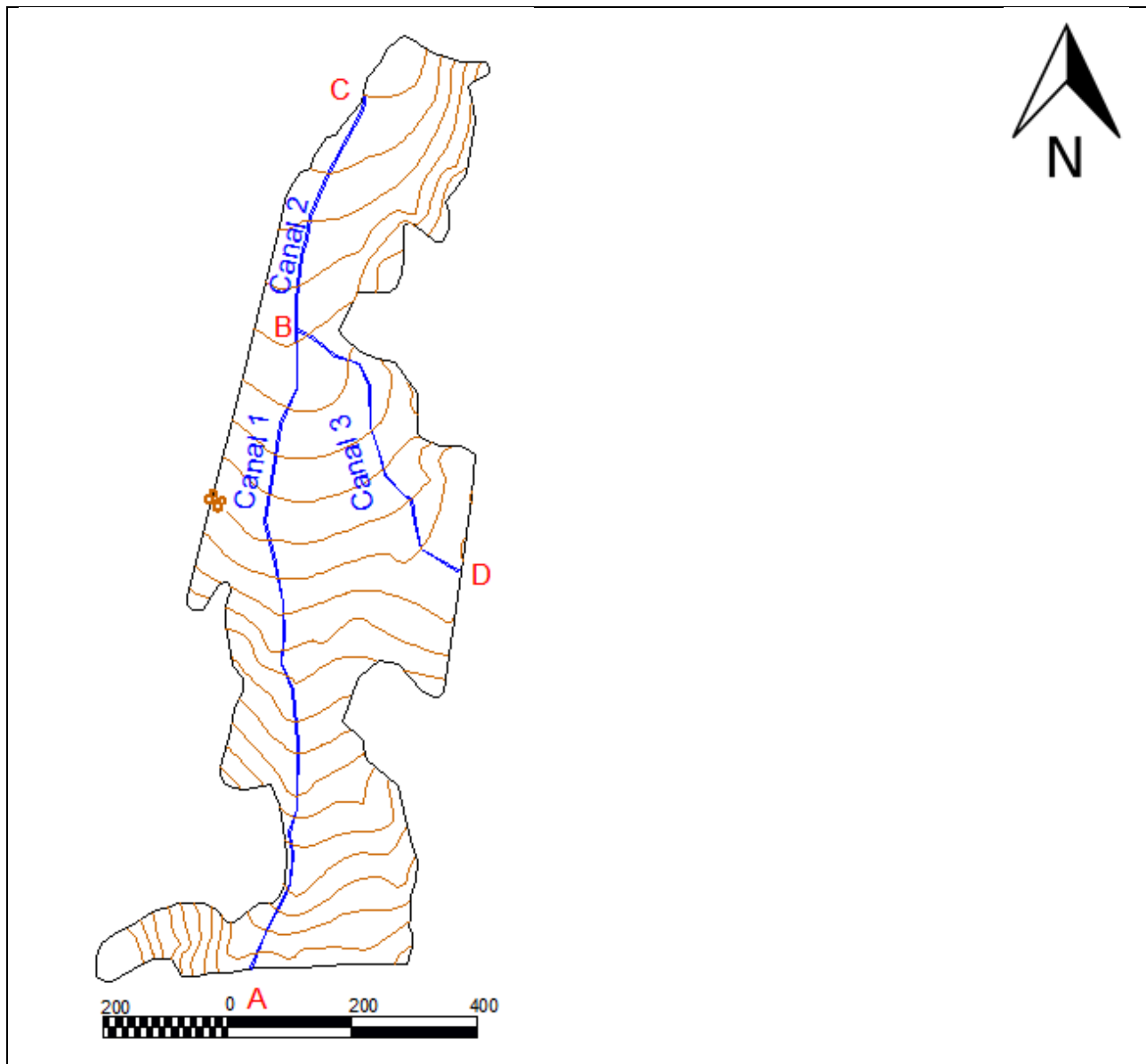


Figura N°36: Ubicación de canales para el lote 1.

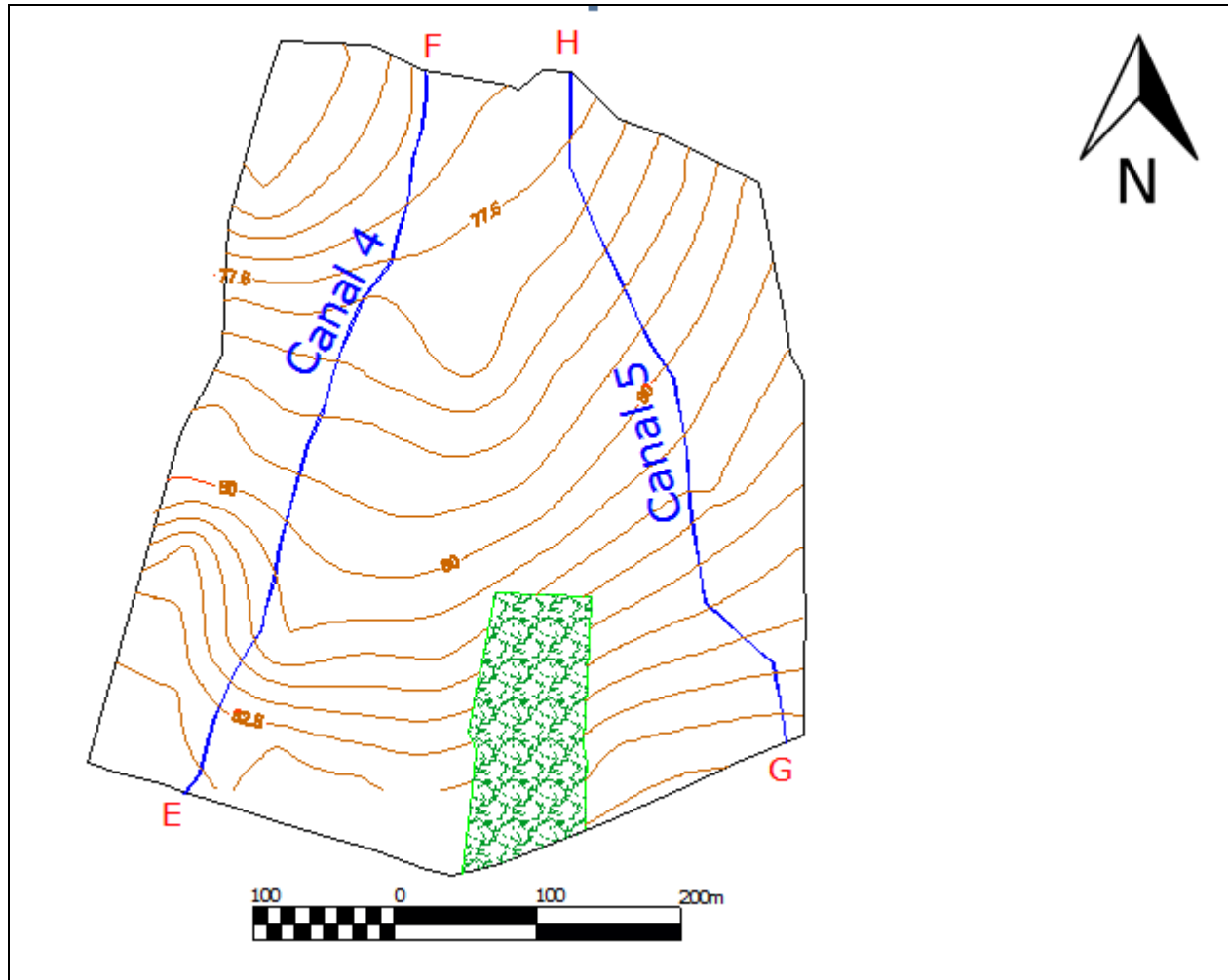


Figura N°37: Ubicación de canales para el lote 2.

El canal debe ser vegetado antes de realizar todas las terrazas para evitar la erosión del mismo en caso que suceda una lluvia copiosa. Se sugiere realizar una mezcla de pastura de acuerdo a las que se adapten mejor a la zona, por ejemplo, grama rhodes y algún cereal de invierno como centeno o avena. Estos permitirían que la grama se establezca mejor.

## TERRAZAS DE BASE ANCHA PARALELAS DE DESAGÜE

Se implementaron para la sistematización del lote 1 y 2, terrazas paralelas de desagüe y se propuso dejar una porción de la parte sur del lote 1 (2 ha) para el pastoreo de los animales por presentar excesiva pendiente (4,5%)

Antes de realizar el trazado de las terrazas se definió el EV y el EH que van a tener las mismas. Se tuvo en cuenta que la pendiente de la parte norte del lote 1 es mucho más pronunciada (3,12%) que la del centro (1,64%) y sur (2,3%) del mismo por lo tanto los EV y EH de estas tres partes, son diferentes. A su vez, tanto en el lote 1 como en el 2, por la variabilidad del terreno, se plantearon distintas familias de terrazas.

En el establecimiento cuentan con una sembradora de 9 hileras distanciadas a 0,52 m equivalente a un ancho de labor de 4,7 m por lo cual se debe ajustar el EH a múltiplos de este valor.

### Lote 1:

- ✓ Parte norte, familia de terrazas “a”:

Pendiente (%)	3,12
EV (m)	1,334
EH (m)	42,74
EH ajustado (m)	42,3

- ✓ Parte central, familias “b” y “c”:

Pendiente (%)	1,64
EV (m)	1,06
EH (m)	64,63
EH ajustado (m)	61,1

- ✓ Parte sur, familias “d” y “e”:

Pendiente (%)	2,3
EV (m)	1,18
EH (m)	51,45
EH ajustado (m)	51,7

Lote 2: todas las familias ("f", "g", "h", "i", "j", "k"):

Pendiente (%)	1,94
EV (m)	1,12
EH (m)	58,82
EH ajustado (m)	56,4

Como terrazas madres para cada una de las familias planteadas, se eligieron las de mayor longitud ya que éstas nos posibilitan al momento de marcar las demás un copiado correcto tanto por la sembradora como en la implementación de banderilleros satelitales.

A continuación se presentan los resultados obtenidos y los planos de ambos lotes con las terrazas madres y los canales, también se pueden ver las flechas que indican el flujo de agua hacia los canales:



Figura N°38: Terrazas madre y canales del lote 1.

*Referencias:*

- *En rojo se presentan las terrazas madre;*
- *los canales en azul;*
- *y, en amarillo, el pastizal.*

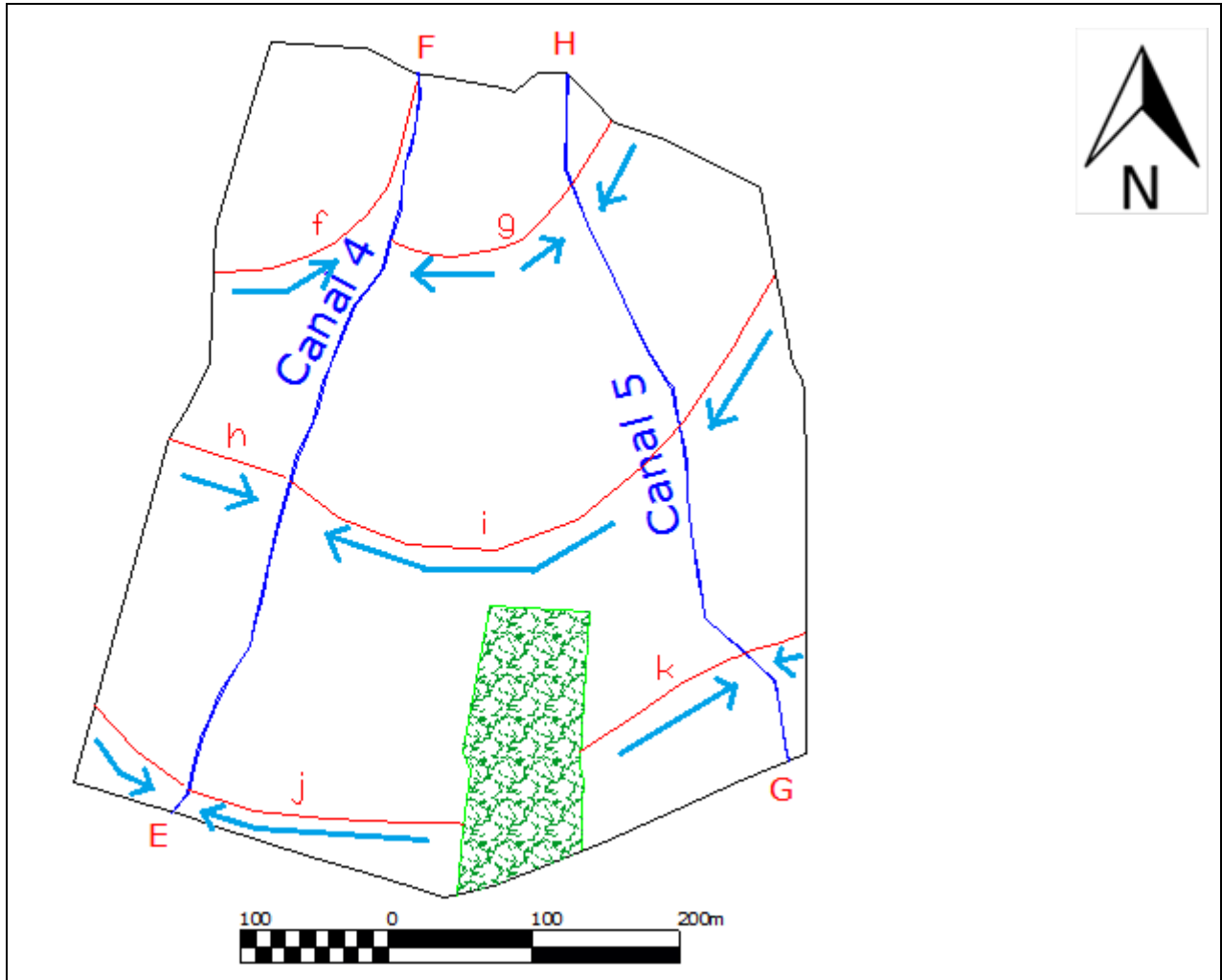
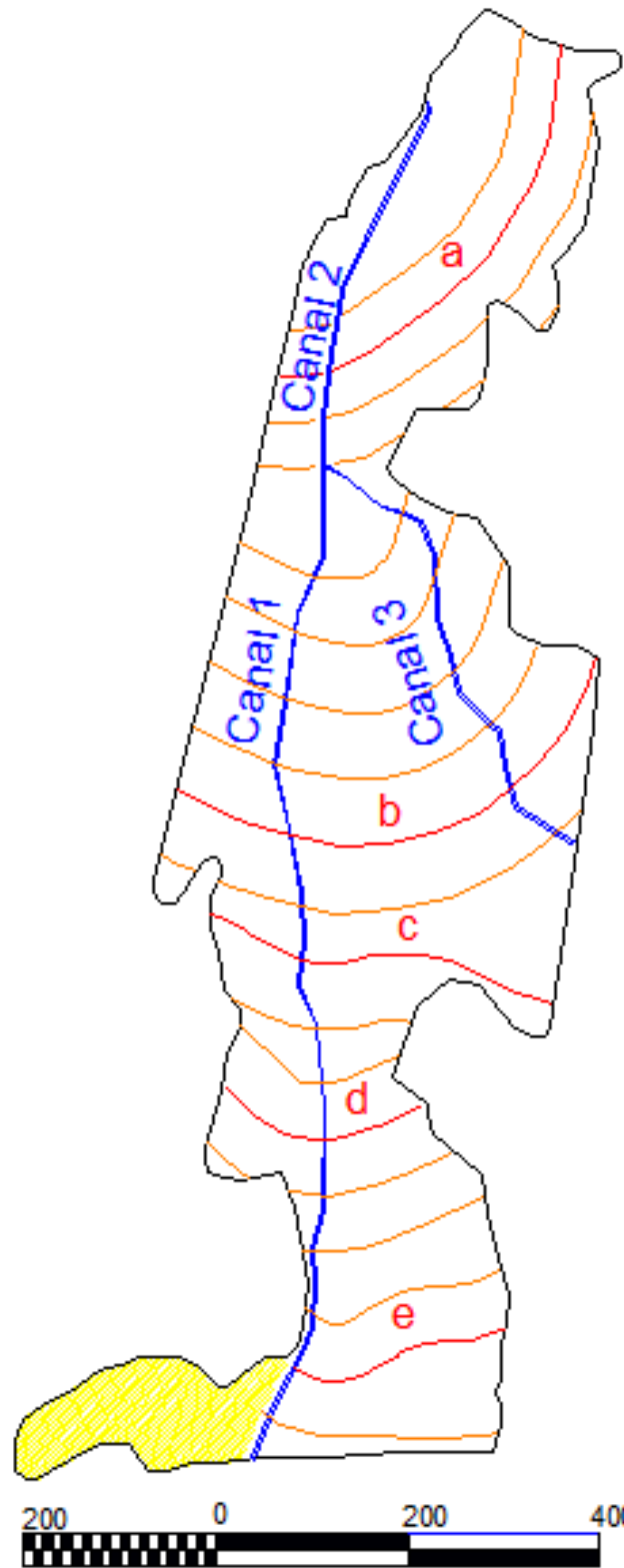


Figura N°39: Terrazas madre y canales del lote 2.

*Referencias:*

- *En rojo se presentan las terrazas madre;*
- *los canales en azul;*
- *y, en verde, monte.*

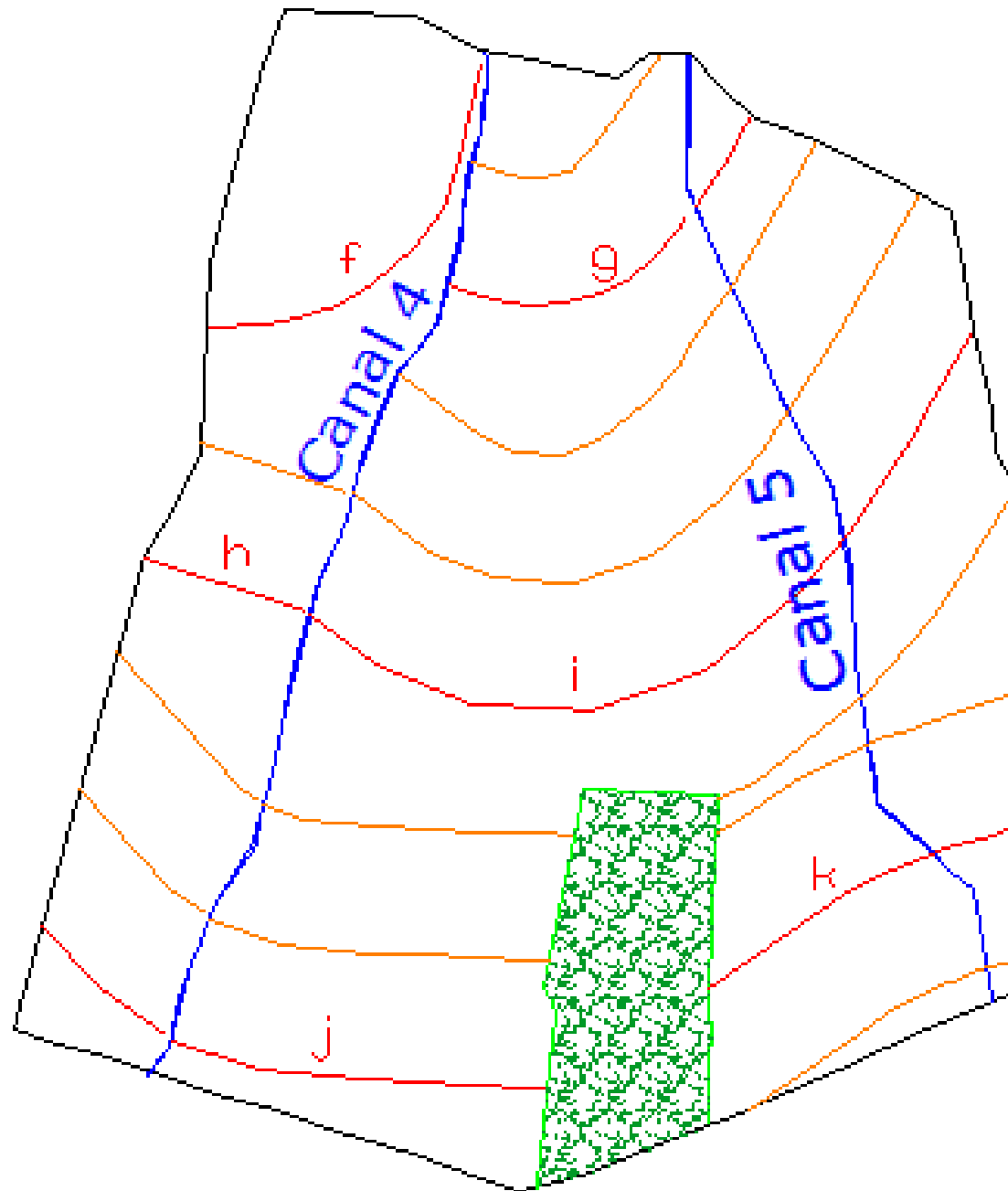
PLANO LOTE 1



Referencias	
Negro	Limite del lote
Amarillo	Pasturas
Azul	Canales con sus nombres
Rojo	Terrazas madres y nombre de familia
Anaranjado	Terrazas

Dimensiones de Canales				
	Canales	1	2	3
	a= ancho (m)	4,7	6,7	3,2
	pr= profundidad (m)	0,25	0,35	0,35

PLANO LOTE 2



Referencias	
Negro	Limite del lote
Verde	Monte
Azul	Canales con sus nombres
Rojo	Terrazas madres y nombre de familia
Anaranjado	Terrazas

Dimensiones de Canales			
	Canales	4	5
	a= ancho (m)	3	3
	pr= profundidad (m)	0,3	0,3



## C) COMPARACION DEL COMPORTAMIENTO HIDROLÓGICO EN TRES CONDICIONES DISTINTAS DE MANEJO DE LA CUENCA “A” Y EN LOTES SISTEMATIZADOS.

### C.1 Comparación, sobre la cuenca “A”, el comportamiento hidrológico en tres condiciones distintas de manejo.

#### C.1.1 Materiales y métodos

Se realizó un modelo mediante el simulador hidrológico HEC-HMS 3.3 (HydrologicEngineeringCenter`s – HydrologicModeling Sistema) para tres situaciones en la cuenca “A”, para poder analizar y comparar como varía el escurrimiento en la cuenca según el tipo de cobertura y el manejo que se le dé. A continuación se presentan las 3 situaciones analizadas (tabla N°10):

1. Pasado: donde la cobertura en la cuenca era la original de pastizales y monte, se calculó un NC aproximado, deduciendo que hubo originalmente. NC: 53
2. Presente: el NC se calculó según el manejo y la cobertura actual. A partir de la visita a la cuenca y por imágenes de Google Earth se pudo observar la presencia mayoritaria de monte y pastizales naturales pero también una gran superficie dedicadas a cultivos extensivos principalmente soja y maíz, trabajada sin ninguna práctica de conservación y con escasa cobertura. NC: 68
3. Futuro: se determinó un NC de acuerdo a las prácticas planteadas con anterioridad (rotación de cultivos, sistematización del terreno mediante terrazas y canales de desagüe empastados y siembra a favor de las terrazas). NC: 65

De manera similar, se calcularon nuevos números de curva para cada subcuenca para situación pasado, presente y futuro:

Tabla N°19: NC para la cuenca “A” y cada subcuenca en situación pasada.

Cuencas	Subcuencas	NC Ponderado	la (mm)
"A"	A.1+A.2+A.3+A.4	53	45
	A.1	53	45
	A.2	45	41,8
	A.3	58	36,8
	A.4	62	31,1

Tabla N°20: NC para la cuenca "A" y cada subcuenca en situación presente.

Cuencas	Subcuencas	NC Ponderado	la (mm)
"A"	A.1+A.2+A.3+A.4	68	23,9
	A.1	68	23,9
	A.2	59	35,3
	A.3	75	16,9
	A.4	79	13,5

Tabla N°21: NC para la cuenca "A" y cada subcuenca en situación futura.

Cuencas	Subcuencas	NC Ponderado	la (mm)
"A"	A.1+A.2+A.3+A.4	65	27,4
	A.1	65	27,4
	A.2	59	35,3
	A.3	67	25
	A.4	71	20,7

### C.1.2 Resultados

A continuación se presentan los caudales determinados mediante HEC-HMS 3.3 (tabla N°22) en el punto de salida de la cuenca "A" (figura N°40):

Tabla N°22: Caudales según diferentes situaciones; pasado, presente y futuro.

Situación	Caudal pico a la salida de la cuenca (m <sup>3</sup> /s)	Incremento a partir del caudal pasado (%)
Pasado (original)	0,2	~
Presente (con manejo actual)	2,3	1050
Futuro (con prácticas de conservación)	1,3	550

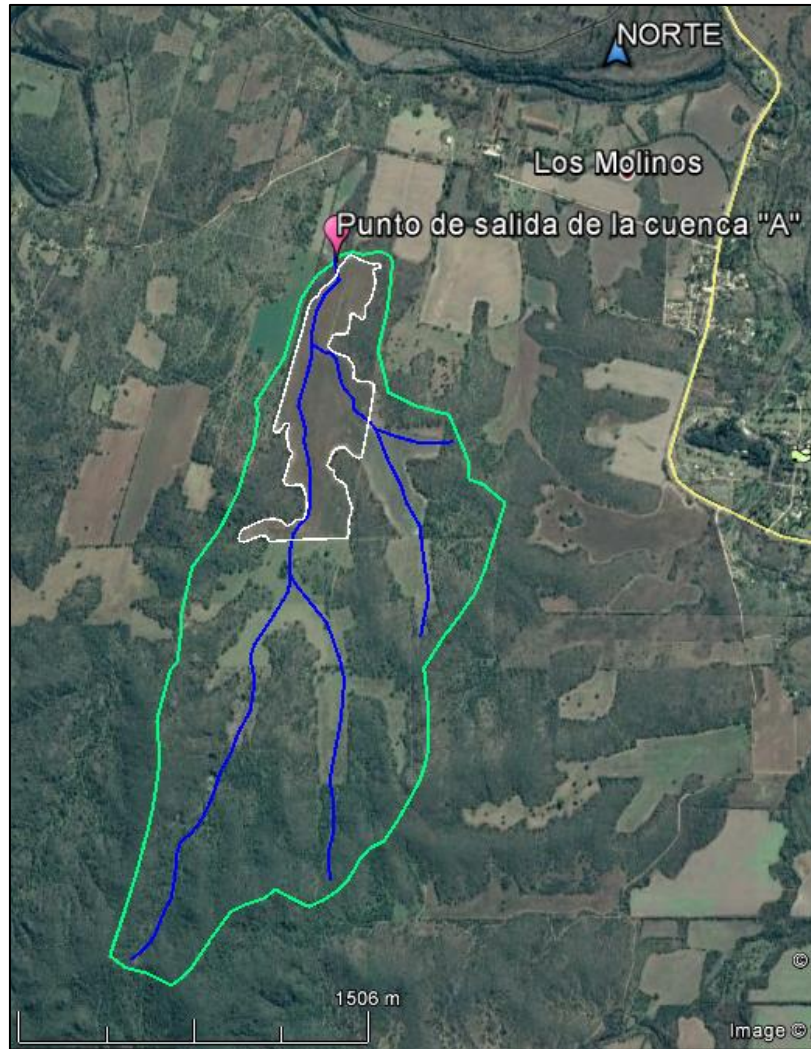


Figura N°40: Punto de salida de la cuenca "A".

Como se puede apreciar en la tabla de arriba, las prácticas de conservación permiten disminuir el caudal escurrido en la cuenca un 50% respecto al actual. A causa de la pobre cobertura y las prácticas que se realizan (mencionadas en factores de manejo) hay un gran incremento en el caudal respecto al original, llegando a ser del 1050%.

## **C.2. Variación de caudal en distintas situaciones a nivel lote.**

### **C.2.1 Materiales y métodos**

Al igual que como se realizó en la cuenca "A", se compararon, a través de una modelación mediante el simulador hidrológico HEC-HMS 3.3 (HydrologicEngineeringCenter`s – HydrologicModeling Sistema), dos situaciones para el lote 1. Se analizó y comparó como varía el escurrimiento en el lote según el tipo de cobertura y el manejo que se le dé.

1. Primera situación: Presente. Actualmente el lote se trabaja sin prácticas conservacionistas. Realizando principalmente maíz y soja, trabajando el lote a favor de la pendiente.
2. Segunda situación: Futuro. Realizando rotación, terrazas y trabajando el lote de manera perpendicular a la pendiente.

Para la simulación se determinaron dos números de curva, uno para cada situación, como se muestra en la tabla siguiente:

Tabla N°23: NC según cada situación analizada.

Situación	Vegetación	Porcentaje	Prácticas de conservación	Condición hidrológica	Grupo Hidrológico	NC
Presente	Cultivos alineados	100	Sin	Pobre	C	88
Futuro	Cultivos alineados	100	Terrazas, rotación de cultivos, siembra perpendicular a la pendiente	Buena	C	77

Se trabajó a su vez con un tiempo de concentración para el lote 1 de 48 minutos o, que es lo mismo, 0,8 h. Este se calculó con la fórmula de Bransby Williams a partir de los siguientes datos, medidos a partir de AutoCAD:

- Largo del cauce principal: 1316 m.
- Pendiente del cauce principal: 0,017 m/m.
- Superficie: 37 ha.

Utilizando el gráfico de la figura N°12 se obtuvo una intensidad de la tormenta proyecto de 56 mm/h. A partir del producto del TC y la intensidad se obtuvo una lámina de 43,68 mm. Dicha lámina se afectó según un patrón adimensional de distribución temporal interna de 60 minutos (hietograma de diseño) provisto por estudios en la provincia de Córdoba que corresponden a los de la zona centro en función al tiempo considerado para la lámina total (Caamaño Nelli y Dasso, 2005) (figura N°13).

En la siguiente tabla (N°24) se observa la aplicación de la distribución temporal de diseño sobre la lámina total, considerando 6 sextiles equivalente a 10 min, afectado cada uno en función al porcentaje respectivo.

Tabla N° 24: Distribución temporal de diseño aplicada a la lámina total del lote 1.

sextil	1	2	3	4	5	6
100%	11,2%	35,8%	24,9%	16,9%	7%	4,2%
43,68 mm	4,89 mm	15,64 mm	10,88 mm	7,38 mm	3,06 mm	1,83 mm

De esta forma, queda representa en el siguiente hietograma de diseño para la lámina total considerada (figura N°41).

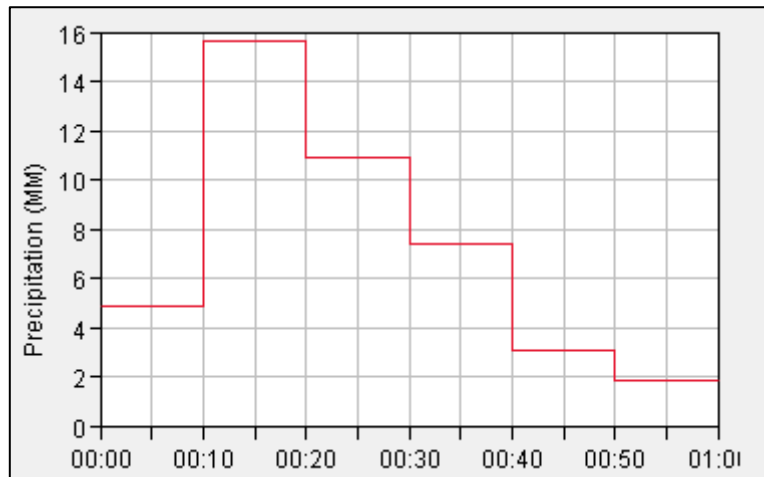


Figura N°41: Hietograma para el lote 1. Distribución de la lámina de 43,68 mm de acuerdo al hietograma de diseño provisto por estudios en la provincia de Córdoba que corresponden a los de la zona centro en función al tiempo considerado para la lámina total.

## C.2.2 Resultados

Se obtuvieron dos caudales con diferencias significativas como se puede ver en la siguiente tabla:

Tabla N°25: Caudales y volúmenes transportados en el lote 1 para dos situaciones analizadas.

Situación	Descarga pico (m <sup>3</sup> /s)	Tiempo del pico (minutos)	Lámina total (mm)
Presente	2,7	60	19
Futuro	1,1	65	8

Cuando la intensidad de la precipitación supera la capacidad de infiltración del suelo, el agua que escurre, a medida que aumenta la distancia recorrida, va aumentando su volumen y velocidad, y por lo tanto su poder erosivo. La función de las terrazas es interceptar el escurrimiento superficial antes de que provoque erosión y a su vez aumentar la infiltración para que los cultivos dispongan de más humedad, evitar el riesgo de inundación, etc. Esta práctica sumada a un correcto plan de rotación garantizando una buena cobertura del suelo son las causas que permiten disminuir este escurrimiento y el poder erosivo que este genera.

## D) INFLUENCIA DE UN MANEJO ADECUADO EN EL LOTE 1 A NIVEL ECONÓMICO

### D.1 Materiales y métodos

En el punto C.2 se analizó para el lote 1 la influencia de las prácticas de conservación de suelos. A partir de los resultados, se tradujo la diferencia de volumen interceptado por el suelo a ganancia económica.

Las prácticas conservacionistas favorecerían a una mayor retención e infiltración de agua en el suelo, logrando un incremento en los rendimientos de los cultivos debido a una mayor disponibilidad y aprovechamiento del agua por parte de los mismos. La estimación del incremento de la producción de granos de maíz se hizo considerando una eficiencia del uso del agua (EUA) de 21,2 Kg/ ha.mm (Valenzuela y col., 2010).

### D.2 Resultados

La diferencia del volumen escurrido en el lote es de 11 mm, que, traducido a granos de acuerdo a la EUA del maíz sería:

$$0,0212 \text{ tn/ ha.mm} * 11 \text{ mm} = \mathbf{0,233 \text{ tn/ha.}}$$

Traduciendo estos resultados a valores económicos actuales, tomando las cotizaciones del maíz para el 6 de abril del 2017 en la Bolsa de Comercio de Rosario de 2300 \$/tn, se percibe una ganancia de **536,4 \$/ha**. El lote 1 cuenta con 37 ha los que significaría una ganancia para este de **\$ 19850 aprox.**

Existen otros estudios, realizados por investigadores de nuestra facultad, que demuestran como varia la escorrentía a través de los años en una cuenca sistematizada, comparada con otra sin sistematizar (tabla N°26). Estos resultados se tradujeron a rendimientos en cultivo de soja especificado en la tabla N° 27 (Vettorello y col., 2012).

Tabla N°26: Resultados de ensayos realizados en microcuencas experimentales por el grupo de gestión ambiental de suelo y agua, FCA-UNC.

Fecha	Precipitación (mm)	Escorrentía (mm)		Relación
		Cuenca Sistematizada	Cuenca No Sistematizada	
29/12/2000	22	0.3	5	17
04/01/2002	28	0	0.3	
04/01/2002	16	0.1	3	31
10/01/2002	22	0	3	
21/01/2003	43	0.3	7	22

En esta tabla se puede observar que el escurrimiento de la cuenca no sistematizada resulta de hasta 31 veces más comparado con la sistematizada.

Tabla N°27: Rendimientos promedio logrados en lotes con sistematización y sin. Ensayos realizados en microcuencas experimentales por el grupo de gestión ambiental de suelo y agua, FCA-UNC.

Campaña	Precipitación (mm)	Rendimientos (qq/ha)	
		Sin sistematización	Con sistematización
Año húmedo	814	33	39
Año seco	545	13	20
Promedio		23	29.5

A partir de estos datos se puede decir que un manejo adecuado del lote no solo permite que el sistema sea sustentable en el tiempo, sino que también permite una ganancia económica.



## 2. CONCLUSIÓN

A partir de todo lo expresado anteriormente es evidente que se deben tomar medidas de conservación de suelos, principalmente en estas zonas de valles interserranos donde los suelos son susceptibles a la erosión hídrica y, a su vez son trabajados para actividades agropecuarias de manera inadecuada. Es importante conservar tanto el recurso suelo como agua ya que son los principales factores de producción y es la clave para una producción agrícola sostenible. Por esto se llevó a cabo la realización del presente trabajo, planteando prácticas que permitan mitigar los daños causados por mal manejo donde se ha priorizado el beneficio económico a costas del ambiente y sin medir consecuencias futuras donde las pérdidas son más graves.

Realizando prácticas de conservación como las planteadas, se podrá obtener beneficios como la mayor acumulación de agua en el perfil del suelo del lote, logrando la disminución de los excedentes pluviales, mejora la porosidad del suelo, el contenido de materia orgánica, favorece las condiciones para el desarrollo radicular, entre otros. Todos estos aspectos se ven reflejados en un aumento de los rendimientos de los cultivos, aportando un beneficio económico ya cuantificado anteriormente.

### 3. BIBLIOGRAFÍA

- Caamaño Nelli, G; Dasso, C. M. 2005. Lluvias de diseño, Conceptos, técnicas y experiencias. Editorial Científica Universitaria Universitas. Córdoba.
- Capurro, Julia. 2015. Cultivos de cobertura mejoran la productividad. INTA Informa.
- Cisneros, José Manuel; Cholaky, Carmen Gloria; Cantero Gutierrez, Alberto; Gonzalez, Jorge Gustavo; Reynero, Miguel Angel; Diez, Alejandro; Bergesio, Leonardo. 2012. Erosión Hídrica, Principios y Técnicas de Manejo. 1ra edición. UniRío Editora. Río Cuarto, Córdoba.
- Cristian Álvarez; Alberto Quiroga; Diego Santos; Marcelo Bodrero. 2013. Contribuciones de los cultivos de cobertura a la sostenibilidad de los sistemas de producción. Ediciones: INTA. Argentina.
- Dr. Bahill Jarsún, Geól. Juan A. Gorgas Ms.Sc., Dr. Eduardo Zamora, Geól. Hésmer Bosnero, Géol. Edgar Lovera, Dr. Andrés Ravelo, Ing. Agr. José Luis Tassile. 2006. Los suelos. Agencia Córdoba Ambiente e INTA- EEA Manfredi. Córdoba.
- EVANS, T. E. 1971. Hydrological Report. Parte I y II. UNDP-FAO-INTA Arg/26. Paraná.
- INTA. (s.f.). Visor de GeoINTA. Obtenido de Visor de GeoINTA: <http://geointa.inta.gov.ar/visor/?p=857>
- Pachas, R. 2009. El levantamiento topográfico: Uso del GPS y estación total. Recuperado el noviembre de 2015, de Universidad de Los Andes- Trujillo, Venezuela.: <http://www.saber.ula.ve/bitstream/123456789/30397/1/articulo3.pdf>
- Secretaría de Promoción Científica del Ministerio de Ciencia y Tecnología de la Provincia de Córdoba, R. A. 2010. Bases ambientales para el ordenamiento territorial del espacio rural de la provincia de Córdoba (BAOTCba) . Obtenido de Bases ambientales para el ordenamiento territorial del espacio rural de la provincia de Córdoba (BAOTCba) : <http://www.ordenamientoterritorialcba.com/web3/>
- Serenó, R. 1997. Manual de control de erosión hídrica. Programa de evaluación y control de la erosión hídrica. Secretaria de Ciencias y Técnica. Universidad Nacional de Córdoba.
- Servicio de Conservación de Suelo de los Estados Unidos (SCS-USA). El método del número de curva del soil conservation service.
- Valenzuela C., Della Maggiora A., Echarte L., Cambareri M. y Polizz M.2010. Evapotranspiración y eficiencia en el uso de agua en intercultivos maíz-soja vs cultivos puros: [http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1850-468X2009000200001](http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1850-468X2009000200001)
- Vettorello, C.I.; Esmoriz, G.F.; Luque, R.L.; Sereno, R. 2012. Caracterización de parámetros edáficos, hidrológicos y de cultivo en cuencas de la región semiárida de Córdoba, Argentina. Parte II: Comparación de sistemas de manejo del suelo. Aguas, suelo y vegetación en cuencas Iberoamericanas. Ed: Gráfica Cervantes. España. ISBN 978-84-937437-4-1 PP. 295-324.