



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CÓRDOBA
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

AREA DE CONSOLIDACION
Planificación y Manejo de Cuencas Hidrográficas.

Proyecto: Control de erosión hídrica en el Campo Escuela de la
Facultad de Ciencias Agropecuarias - UNC.

Tutor: Ing. Agr. Luque Ricardo Luis

Bóveda Martín Alejandro

CORDOBA, 2015.

Índice General

Índice General	2
Índice de tablas	4
Índice de figuras	4
Introducción	6
Objetivos del trabajo.....	12
Objetivo General	12
Objetivos Específicos.....	12
Metodología	13
1) A nivel de cuenca	13
A) Factores topográficos	14
Área de la cuenca	15
Perímetro de la cuenca	15
Longitud axial de la cuenca	15
Ancho promedio.....	15
Factor de forma.....	16
Coeficiente de compacidad de Gravelius	16
B) Factores edáficos:	17
Unidad cartográfica MNen-4.....	18
Unidad cartográfica MNTc-21.....	19
C) Factores antropogénicos y de manejo.....	20
D) Factores hidrográficos	22
Densidad de drenaje	23
Pendiente media del cauce principal	23
Tiempo de concentración.....	23
E) Factores climáticos.....	25
Método del número curva	32
Estimación de caudal.....	35
I. Método Racional	35
II. Método de Cook.....	37
III. HEC-HMS 3.3.....	38
Diseño del canal de desagüe.....	42

2) A nivel predial	45
Selección de lote a sistematizar	46
Levantamiento topográfico.....	47
Suelos	49
Proyecto de sistematización	50
Dimensionamiento de canales de desagües secundarios.....	55
Replanteo	56
Construcción.....	57
Resultado.....	59
Aplicación de los resultados prediales al resto de la cuenca	60
Impacto de la sistematización sobre los rendimientos.....	61
Conclusión	62
Bibliografía	63

Índice de tablas

Tabla Nº 1: Erosión Hídrica en la Provincia de Córdoba.....	7
Tabla Nº 2: Análisis de la serie de precipitaciones-periodo 1959-2013.....	28
Tabla Nº 3: Coeficientes para estimar la intensidad de la lluvia a partir de una lluvia máxima tipo en 24horas.....	29
Tabla Nº 4: Distribución temporal de diseño aplicada a la lámina total.....	31
Tabla Nº 5: Parámetros considerados para cálculo de caudal mediante método de cook.....	37
Tabla Nº 6: Resultado de caudales con los diferentes métodos.....	41
Tabla Nº 7: Características de los suelos en lotes a sistematizar.....	49
Tabla Nº 8: Intervalo Vertical e Intervalo Horizontal en función al gradiente de pendiente.....	53
Tabla Nº 9: Dimensionamiento de canales de desagües secundarios.....	55
Tabla Nº 10: Estimación del caudal con y sin sistematización.....	60
Tabla Nº 11: Rendimientos en soja con y sin terrazas.....	61
Tabla Nº 12: Rendimientos en maíz con y sin terrazas.....	61

Índice de figuras

Figura Nº 1: Proceso de erosión hídrica.....	6
Figura Nº 2: Cuencas Hídricas Superficiales de la Provincia de Córdoba.....	8
Figura Nº 3: Cuenca de Rio Primero.....	9
Figura Nº 4: Ambientes Geomorfológicos Pampa loésica alta o Plataforma basculada (F).....	10
Figura Nº 5: Ubicación geográfica del campo escuela F.C.A. – U.N.C.....	11
Figura Nº 6: Delimitación de la cuenca definida que incluye parte del campo escuela.....	14
Figura Nº 7: Unidades cartográficas de la cuenca.....	17
Figura Nº 8: Lotes y camino dentro del área de interés.....	21
Figura Nº 9: Red de drenaje de la cuenca.....	22
Figura Nº 10: T°C medias mensuales.....	25
Figura Nº 11: Aplicación de método del polígono de Thiessen.....	26
Figura Nº 12: Curva I-D para una lluvia con tiempo de retorno de 10 años.....	29
Figura Nº 13: Hietograma de diseño para zona centro de la provincia de Córdoba.....	30
Figura Nº 14: Hietograma de diseño.....	31
Figura Nº 15: Modificación del escurrimiento superficial en función al tipo de uso del suelo.....	32
Figura Nº 16: Número de curva.....	33
Figura Nº 17: Representación gráfica del comportamiento del agua y su escurrimiento.....	34
Figura Nº 18: Caudal escurrido (m ³ /s) del proyecto por método de HEC-HMS 3.3.....	39

Figura Nº 19: Hidrograma del proyecto.....	40
Figura Nº 20: Sección transversal de un canal parabólico.....	44
Figura Nº 21: Distribución de lotes del campo escuela de la facultad de ciencias agropecuarias.....	45
Figura Nº 22: Lotes a sistematizar.....	46
Figura Nº 23: Estación total utilizada para el levantamiento topográfico.....	47
Figura Nº 24: Plano de curva de nivel obtenido a partir del levantamiento.....	48
Figura Nº 25: Suelos a nivel predial.....	49
Figura Nº 26: Terrazas rectas paralelizadas.....	50
Figura Nº 27: Terrazas curvas paralelizadas.....	50
Figura Nº 28: Terrazas paralelas de desagüe y canal de desagüe.....	51
Figura Nº 29: Diseño de terrazas madre para cada familia de terrazas.....	55
Figura Nº 30: Rastra de disco.....	57
Figura Nº 31: Construcción con terracedor de arrastre.....	57
Figura Nº 32: Terracedor de arrastre.....	57
Figura Nº 33: Construcción con motoniveladora.....	57
Figura Nº 34: Sección transversal de una terraza.....	59

Introducción

En las últimas décadas, la producción agropecuaria ha producido una acentuada degradación de los recursos naturales, modificando el medio ambiente de formas diversas. Entre ellas podemos destacar: la remoción de la cubierta vegetal y la alteración de la estructura del suelo. La primera, puede ser en forma total o parcial, asociada a prácticas de tala, quema, sobrepastoreo y agricultura. La alteración de la estructura de suelo se produce por diferentes causas; pisoteo de animales, labranzas tradicionales, excesivo tránsito de maquinarias, etc. Todas estas acciones y procesos, sumados al efecto producido por las elevadas pendientes y las intensas precipitaciones, provocan la remoción, transporte y sedimentación de los materiales del suelo, efecto denominado erosión hídrica. (Figura N° 1)



Figura N° 1: Proceso de erosión hídrica.

En Argentina, existen aproximadamente 280 millones de hectáreas de superficie continental de las cuales se explotan 200 millones, de esta última hay 50 millones que sufren procesos erosivos de diversa gravedad (Serenó, 1997).

A su vez, según datos del instituto de suelos de INTA Castelar, las pérdidas económicas por disminución en los rendimientos de la producción agrícola, debido a la degradación de los suelos, oscila entre 160 y 180 millones de dólares anuales, sin considerar los daños económicos producidos por inundaciones, destrucción de vías de comunicación, etc. (Serenó, 1997).

A nivel provincial, en gran parte del territorio se observan importantes consecuencias vinculadas a la problemática de la erosión hídrica (tabla Nº 1), esto se debe al avance de la frontera agrícola y a un manejo inadecuado de los sistemas agropecuarios. (Sereno 1997).

Tabla Nº 1: Erosión Hídrica en la Provincia de Córdoba.

GRADO	%
Sin erosión	85,1
Ligera	6,64
Moderada	5,48
Severa	2,63
Grave (Cárcavas)	0,15

El incremento constante de la superficie destinada a monocultivo de soja produce una disminución de rastrojo, lo que trae como consecuencia un menor aporte de materia orgánica al suelo. Esto afecta la estabilidad de los agregados y la capacidad de retención de agua y nutrientes (FAO, 1995). Por otra parte, el impacto de la gota de lluvia sobre el suelo desnudo produce mayor daño causando degradación y el posterior sellado de la superficie del suelo, lo que genera un mayor escurrimiento del agua superficial, provocando daños en caminos, alcantarillas, puentes, vías férreas, etc. (Sereno, 1997). Esto se evidencio en las inundaciones producidas en varias localidades de la provincia como por ejemplo: Córdoba Capital, Hernando, Río Tercero, General Cabrera, Las Perdices; Por lo que la erosión hídrica ya no es solo un problema de áreas agrícolas con pendientes pronunciadas y mal manejo, sino que también ocurre en la zona de sierra, el piedemonte y la llanura.

Cuencas hídricas superficiales de la provincia de Córdoba

La provincia de Córdoba, está dividida en 7 sistemas de cuencas hídricas superficiales como se muestra en la Figura N°: 2.

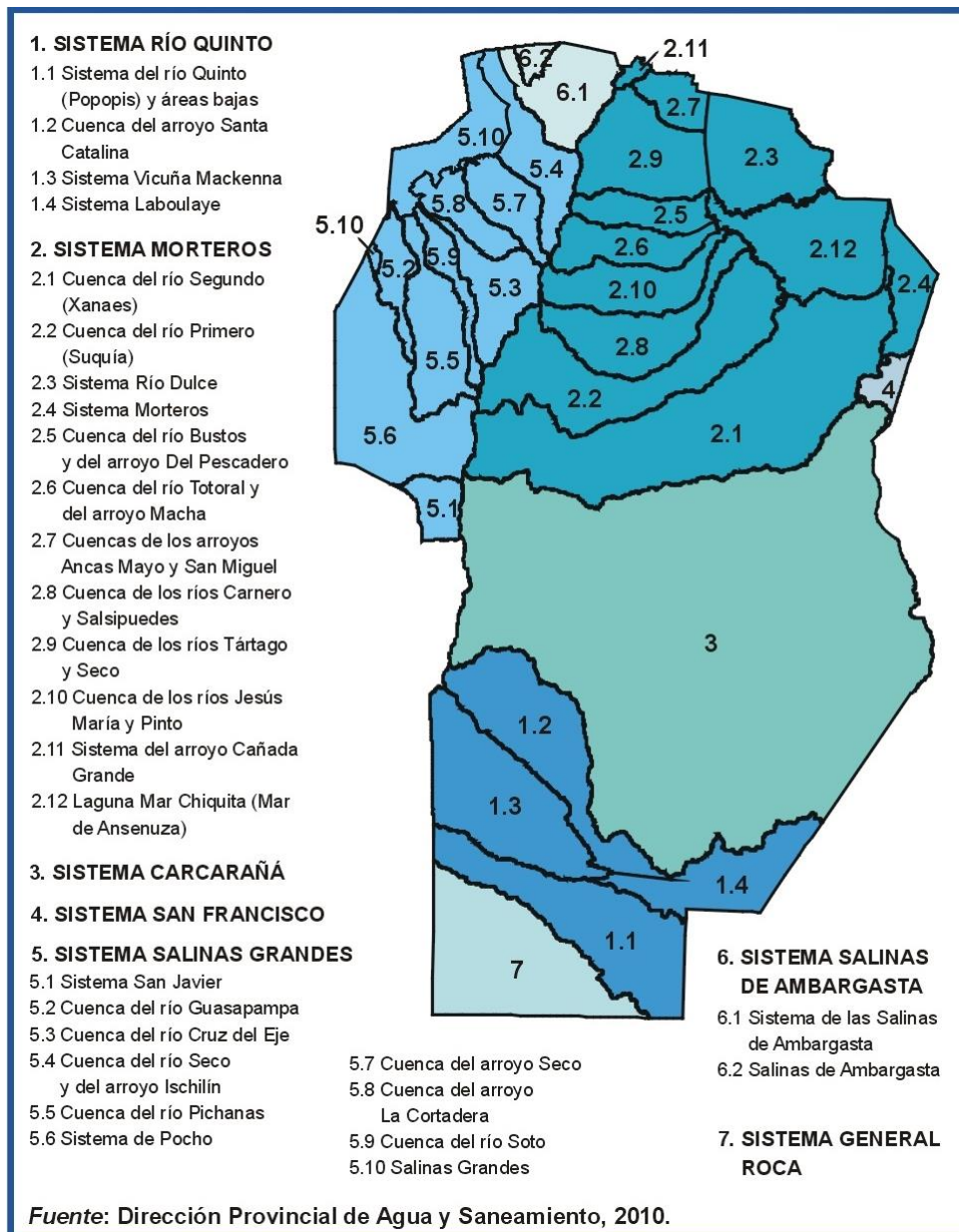


Figura N° 2: Cuencas Hídricas Superficiales de la Provincia de Córdoba.

El presente trabajo se focaliza en la cuenca del Río Primero del **sistema Morteros** que pertenece al sistema endorreico del Mar de Ansenusa (Laguna de Mar Chiquita).

En la parte superior de la cuenca, como se observa en la Figura N° 3, se encuentran numerosos ríos y arroyos, como el río Yuspe, Icho Cruz, que dan origen a la formación de dos ríos importantes: el Cosquín y el San Antonio. Los mismos desembocan en el lago San Roque, donde nace el Río Primero o Suquía recibiendo como únicos afluentes el río Ceballos y el arroyo La Cañada. A partir de este punto, el río escurre en sentido SO-NE hasta desembocar en la laguna Mar Chiquita.

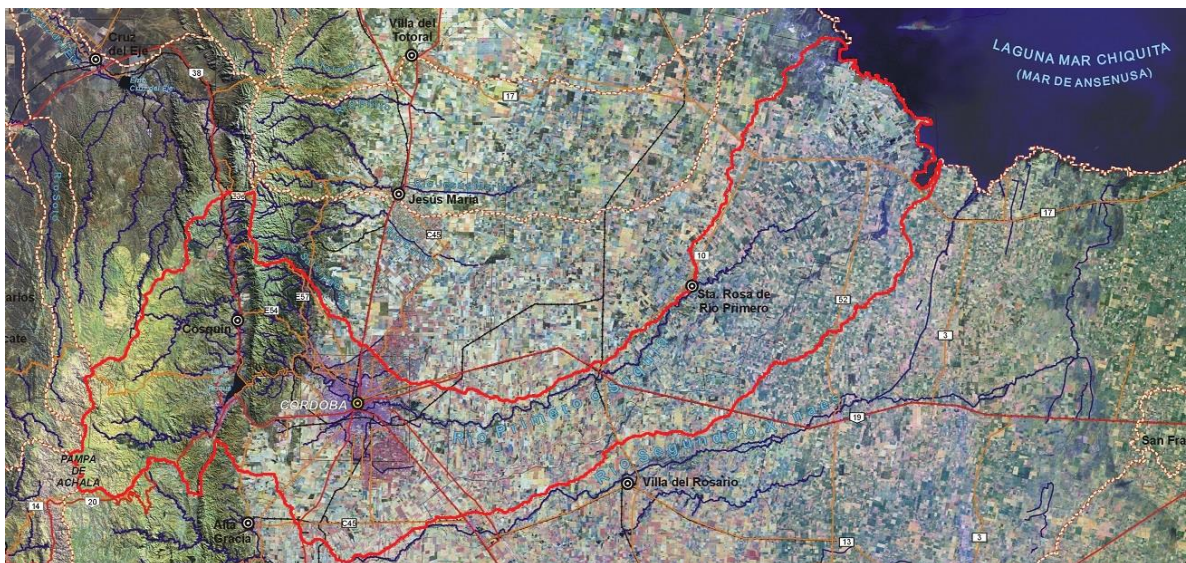


Figura N° 3: Cuenca de Río Primero.

En la cuenca del río Primero se pueden identificar 3 ambientes geomorfológicos; la pendiente oriental (R), la depresión periférica (G) y la pampa loessica alta o plataforma basculada (F) (Figura N°4). En este último se encuentra la cuenca en estudio, que por su intenso uso agrícola, el inadecuado laboreo de los suelos, y sus pronunciadas pendientes que oscilan entre 0,5 y el 2%, presenta manifestación de erosión hídrica.

Por lo anteriormente expuesto, surge la necesidad de realizar estudios para un adecuado manejo y control del fenómeno erosivo.

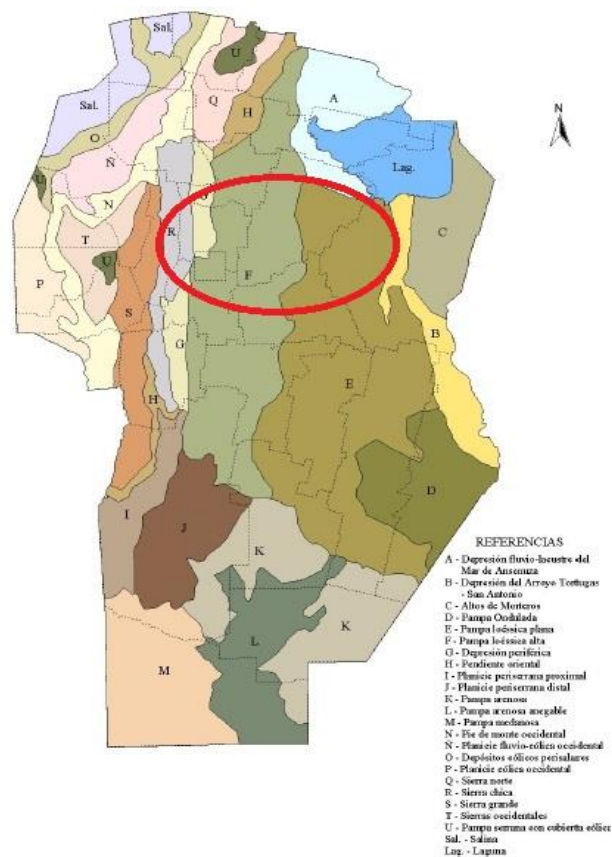


Figura N° 4: Ambientes Geomorfológicos Pampa loésica alta o Plataforma basculada (F)- Córdoba.

AREA DE ESTUDIO

Dentro de la plataforma basculada de la provincia de Córdoba, se trabajó en un sector con problemas de erosión hídrica del campo escuela de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la U.N.C. en el cual se proyectarán trabajos de sistematización para controlar dichos procesos.

El establecimiento se encuentra ubicado en el departamento Santa María aproximadamente a 27 km al sud-este de la ciudad de Córdoba y a 20 km al norte de Toledo, entre los 31° 60' de latitud sur y los 35° 55' de longitud oeste (Figura N° 5).

El acceso desde la ciudad de Córdoba es a través de la ruta nacional N° 9 o actualmente por la autopista Córdoba-Villa María desviando por el camino a Capilla de los Remedios (Meyer Paz *et al*, 1985).

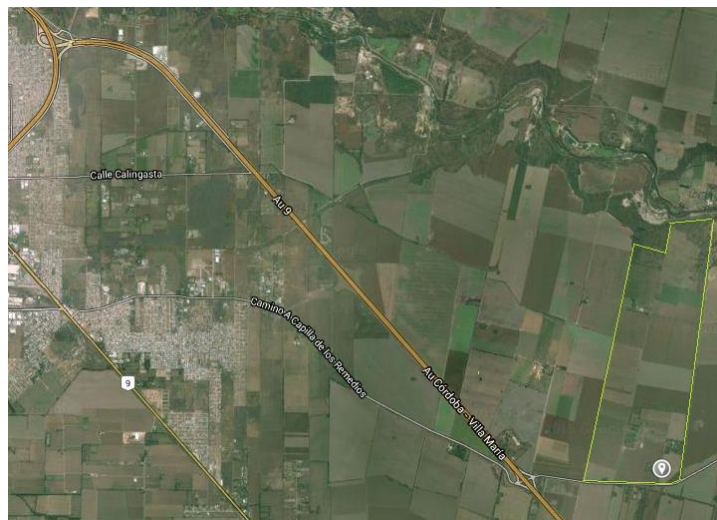



Figura N° 5: Ubicación geográfica del campo escuela F.C.A. – U.N.C.

Referencia:  ingreso al campo escuela

Objetivos del trabajo

Objetivo General

- Proponer prácticas estructurales para controlar la erosión hídrica en un lote seleccionado dentro del campo experimental de la Facultad de Ciencias Agropecuarias - U.N.C.

Objetivos Específicos

A nivel de cuenca

- Delimitar la cuenca definida por el punto de desagüe de coordenadas geográficas (-31.452610, -63.996765) ubicado en el Lote 18 del campo escuela.
- Caracterizar la cuenca que incluye parte del campo escuela.
- Estimar el caudal máximo que escurre de la cuenca de aporte.
- Comparar el caudal escurrido de la cuenca sin sistematizar y sistematizada; y cómo impacta sobre los rendimientos.

A nivel predial

- Obtener la plani-altimetría a partir del levantamiento topográfico del lote en estudio.
- Proyectar una sistematización con terrazas y canales de desagüe empastados.
- Proponer el replanteo y construcción de terrazas y canales empastados.

Metodología

En esta etapa del trabajo, se describen métodos que posibilitan la obtención de resultados parciales, los cuales son de gran importancia para alcanzar los objetivos planteados, considerando dos niveles de estudio: la cuenca y el predio.

1) A nivel de cuenca

Para estimar el caudal máximo que escurre de la cuenca de aporte y el posterior dimensionamiento de canales empastados de desagüe se emplearon los siguientes métodos: Simulador Hidrológico HEC-HMS 3.3 – Hidrologic Engineering Center's – Hydrologic Modeling System (Ponce 1989), Método Racional (Serenó, 1997), Método de Cook (Hudson, 1982) para lo cual fue necesario caracterizar la cuenca en estudio a partir de los siguientes factores:

- A. Factores topográficos.
- B. Factores edáficos.
- C. Factores antropogénicos y de manejo.
- D. Factores hidrográficos.
- E. Factores climáticos.


A) Factores topográficos

En primera instancia se definió y marcó el punto de desagüe de coordenadas geográficas - 31.452610, -63.996765, para determinar el área que contribuirá al escurrimiento de la cuenca y que proporciona el flujo del agua hacia el cauce principal, obteniendo a partir de su estudio diferentes parámetros que sirvieron para cálculos y diseño de las prácticas de conservación.

La delimitación de la cuenca se realizó partiendo de un modelo digital de elevación (MDE) que mediante la utilización de los softwares Envicclassic y MGig permitió obtener las curvas de nivel del área. Posteriormente se analizó el plano resultante, sobre el cual se pudieron identificar y trazar las divisorias de aguas quedando definida la superficie de la cuenca, como se puede observar en la Figura N° 6.



Figura N° 6: Delimitación de la cuenca definida que incluye parte del campo escuela (F.C.A – U.N.C.)

Referencia:  Punto de desagüe de la cuenca en estudio.

Para la caracterización de la cuenca se hizo enfoque en la descripción de diferentes parámetros que permiten analizar el comportamiento de la misma, la dinámica de la precipitación y su posterior escurrimiento, además muchos de ellos son requeridos como datos de entrada en la mayoría de los modelos hidrológicos para el análisis y estimación de los caudales escurridos. También son utilizados para comparar distintas cuencas y su funcionamiento (Gaspari, 2009).

Los principales parámetros topográficos medidos de la cuenca son:

Área de la cuenca

El área (A) es la superficie de proyección horizontal encerrada por las divisorias de agua. La superficie de la cuenca en estudio es de 281,2 ha. (2,812 km²) la cual se obtuvo mediante la utilización del GeoINTA el cual tiene una herramienta que nos facilita estimar dicho valor.

Por ser una pequeña superficie, presenta mayor sensibilidad ante precipitaciones de alta intensidad y corta duración.

Perímetro de la cuenca

El perímetro (P) es la línea envolvente de la cuenca hidrográfica y mide aproximadamente 7.89km.

Longitud axial de la cuenca

La longitud axial (La), equivalente a la distancia entre la desembocadura y el punto más lejano de la cuenca, es de 2,9 km.

Ancho promedio

El ancho promedio (Ap) es la relación entre la superficie de la cuenca y su longitud axial.

$$Ap = \frac{A}{La} = \frac{2,812km^2}{2,9km} = 0,97km \quad (1)$$

Los parámetros de forma se explicitan a efectos de comparación eventual con otras cuencas.

Factor de forma

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.

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.

$$IF = \frac{Ap}{La} = \frac{0,97km}{2,9km} = 0,34 \quad (2)$$

Dónde: IF = Índice de forma.

Ap = Ancho promedio de la cuenca en km.

La = Longitud axial de la cuenca en km.

Coefficiente de compacidad de Gravelius

El coeficiente de compacidad de Gravelius (Kc) es un índice adimensional que permite relacionar el perímetro de la cuenca con el perímetro de un círculo de área equivalente al de la cuenca.

$$Kc = \frac{0,28P}{\sqrt{A}} = \frac{0,28*7,89}{\sqrt{2,812}} = 1,299 \quad (3)$$

Dónde: Kc = Coeficiente de compacidad.

P = Perímetro de la cuenca km.

A = Área de la cuenca km².

A medida que su Kc tiende a 1, se dice que la forma de la cuenca tiende a ser redonda, la peligrosidad de la cuenca a las crecidas es mayor, por las distancias relativas de los puntos de la divisoria con respecto a uno central.

Según los valores de los coeficientes, la cuenca tendrá diferentes formas:

Kc: 1.00 cuenca redonda.

Kc: 1.25 cuenca oval redonda.

Kc: 1.50 cuenca oblonga.

Kc: 1.75 cuenca rectangular oblonga.

B) Factores edáficos:

Otro de los factores de importancia al momento de describir la cuenca, son los factores edáficos. Dentro de la cuenca se pudo determinar una gran homogeneidad edáfica que comprende a suelos caracterizados como jóvenes o de escaso desarrollo debido básicamente a las bajas precipitaciones dominantes, observándose dos Unidades cartográficas, obtenidas a partir de los Suelos de Córdoba (2006) en los cuales se destacan consociación Haplustoles énticos y una asociación con predominancia de Haplustoles típicos, como se observa en la Figura N° 7. (Agencia Córdoba Ambiente, 2006).



Figura N° 7: Unidades cartográficas de la cuenca.

Referencias: MNen-4: Haplustol éntico. MNtc-21: Asociación con predominancia de Haplustol típico.

Unidad cartográfica MNen-4

Constituido en su totalidad por Haplustoles énticos (100%)

El perfil modal que representa esta familia corresponde con la serie Oncativo.

Suelo:

Haplustol éntico

Unidad compuesta por un horizonte superficial A, de color oscuro, de 23 cm de espesor, de textura franco limosa y estructura en bloques moderados, regularmente provisto de materia orgánica (epipedón mólico), seguido de un horizonte de transición (AC) con escaso desarrollo y poco alterado, pasando gradualmente al material originario (Ck) a los 55 cm de profundidad de textura franco limosa, masivo y abundante calcáreo pulverulento diseminado en la masa del suelo, constituyendo un suelo poco evolucionado. Presentan por lo tanto, una secuencia de horizontes A-AC-C, desarrollados en condiciones climáticas semiáridas, con drenaje bueno a excesivo y existencia de napas freáticas profundas que no afectan el perfil del suelo.

Estos suelos se forman a partir de sedimentos eólicos depositados de granulometría variada, dando origen a diferentes clases texturales como franco arenoso, francos a francos limosos.

En general, son suelos con aptitud agrícola, que presentan en todos los casos limitaciones climáticas de moderada a severa. Los suelos francos limosos generalmente presentan problemas de planchado cuando son excesivamente laboreados.

En esta unidad cartográfica se pueden destacar las siguientes características:

Índice de productividad: 68

Aptitud de uso: clase IIIc. (Limitante climática)

Fisiografía: pampa loésica alta, sectores planos.

Unidad cartográfica MNtc-21

Corresponde a una asociación de Ustorthent típico (30%), Ustifluent típico (30%) y Haplustol típico (40%).

Suelos:

Ustifluent típico

Suelo moderadamente bien drenado; profundo (+ de 100cm); franco arenoso en superficie; franco arenoso en el subsuelo; moderadamente pobre en materia orgánica; moderada capacidad de intercambio.

Índice de productividad del suelo individual: 26

Ustorthent típico

Suelo moderadamente bien drenado; profundo (+ de 100 cm); franco arenoso en superficie; franco arenoso en el subsuelo; moderadamente salino; pobre en materia orgánica; baja capacidad de intercambio.

Índice de productividad del suelo individual: 26

Haplustol típico

Presenta un horizonte superficial A, color oscuro, de 23 cm de espesor, bien estructurado, franco limoso en superficie, bien provisto de materia orgánica (epipedón mólico); un horizonte subsuperficial algo enriquecido en arcilla iluvial (horizonte cámbico) hasta los 40 cm; debido a características de régimen ustico de humedad (clima semiárido-subhúmedo) se observa la presencia de un horizonte de transición hasta alcanzar el material originario (Ck) a los 55cm.

La secuencia de horizontes es A-Bw-BC-C. Son suelos profundos, bien drenados y fértiles, originados a partir de sedimentos eólicos franco arenosos.

Son suelos eminentemente agrícolas, de buena productividad, con limitaciones climáticas propias del régimen de precipitaciones donde están ubicados, por lo tanto, las prácticas aplicadas deben ser destinadas al manejo, conservación y acumulación de agua en el perfil.

Se destacan para este suelo las siguientes características:

Índice de productividad: 65

Aptitud de uso: clase IIIec. (Limitante: erosión y climática).

Fisiografía: pampa loésica alta, áreas de derrame.

Limitante: Ligera susceptibilidad a erosión hídrica.

Dentro de la cuenca en estudio se encontró aproximadamente un 90% de Haplustol típico dentro de la unidad y próximo al río un 10 % de la superficie correspondería a Ustifluent típico.

C) Factores antropogénicos y de manejo

A nivel general, la expansión agrícola constituye uno de los cambios más frecuentes producidos por el hombre en relación al uso del suelo. La superficie destinada a cultivos anuales se expandió en las últimas décadas, avanzando tanto sobre vegetación natural como en áreas de cultivos perennes (alfalfa y otras especies forrajeras), en donde estos últimos ocupaban los potreros muchos años. Dicha expansión fue acompañada por un aumento de la carga animal debido a una mayor concentración de la actividad ganadera en la región que posteriormente fue desplazada a regiones menos productivas (Paruelo *et al*, 2005).

La transformación de bosques nativos en áreas agrícolas está impulsada, sobre todo, por el interés privado en una actividad más rentable. Pero dicha producción causa la alteración del ecosistema debido al reemplazo de la vegetación natural por cultivada, lo que genera variación, tanto por composición como por manejo del mismo.

Estos cambios generan alteraciones que afectan la regulación natural de las cuencas hídricas, ocasionando un mayor escurrimiento debido a una baja infiltración y poca retención de agua.

La existencia de caminos también genera una variación en el flujo natural del agua dependiendo de su orientación, pendiente y en gran medida por la compactación en el mismo debida al tránsito de vehículos.

En la Figura N° 8 se puede observar que, en la cuenca en estudio, existen variaciones en la composición de la vegetación con respecto a la existente originalmente, donde predomina en la actualidad, cultivos extensivos, como así también se aprecia diferencias en el uso de los suelos entre lotes colindantes. (división de lotes y su respectivo laboreo).



Figura N°8: Lotes y camino dentro del área de interés.

D) Factores hidrográficos

Dentro de estos factores presenta gran relevancia la red natural de drenaje, permitiendo obtener mayor precisión sobre el escurrimiento de aguas superficiales, sobre todo cuando no se dispone de información de los factores hidrometeorológicos (Gaspari, 2009).

La forma y la densidad de la red de drenaje corresponden a la distribución de los cauces que lo conforman. Esta distribución de la red de drenaje se puede expresar mediante índices que describen de alguna manera la geometría de la red (Figura N° 9).

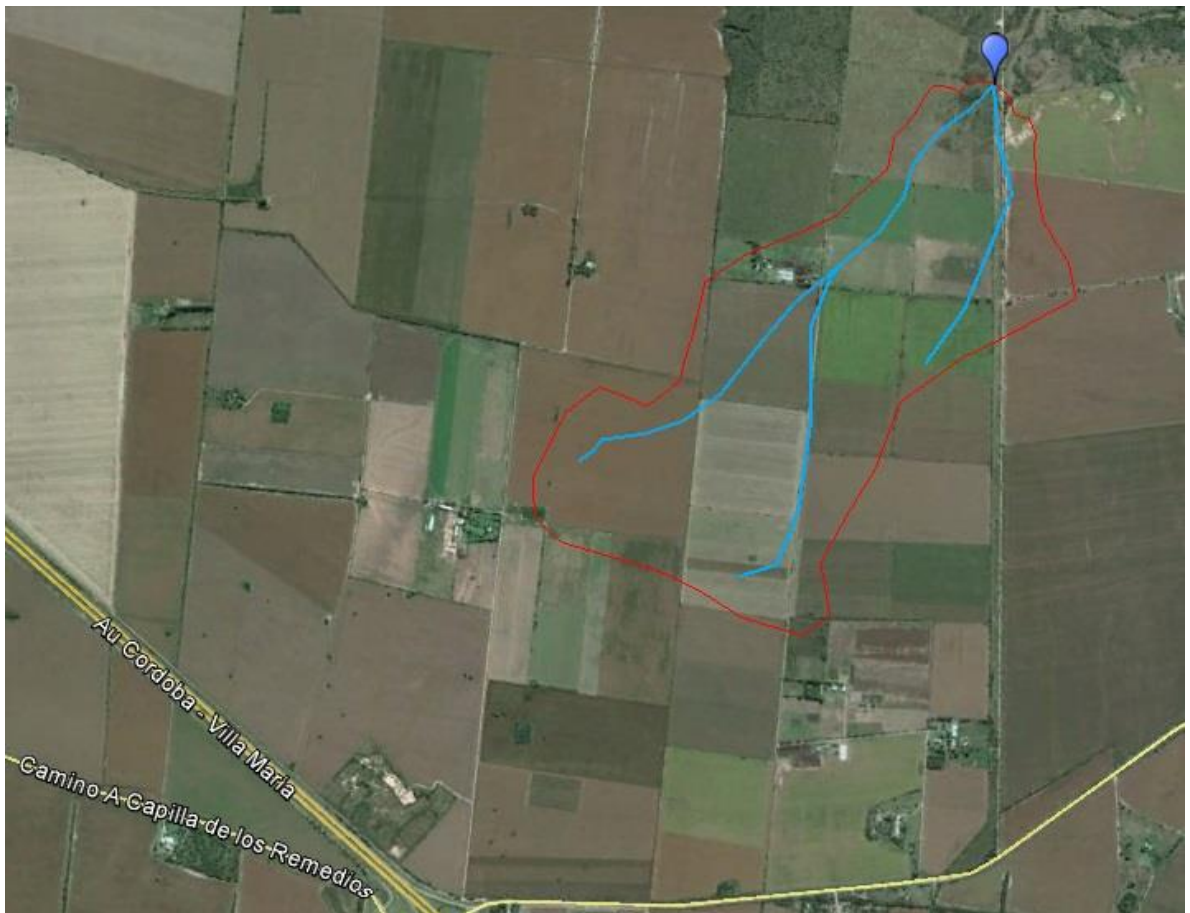


Figura N° 9: Red de drenaje de la cuenca.

Densidad de drenaje

Se Define como la relación entre la suma de las longitudes de todos los cursos de agua que drenan en la cuenca con respecto al área de la misma.

$$Dd = \frac{Ln}{A} = \frac{5,75 \text{ km}}{2,812 \text{ km}^2} = 2,04 \frac{\text{km}}{\text{km}^2} \quad (4)$$

Dónde: Longitud de todos los cursos de agua de la cuenca (Ln): km

Área: Km²

Sin tener en cuenta otros factores del medio físico de la cuenca, cuanto mayor sea la densidad de drenaje, más rápida será la respuesta de la cuenca frente a una tormenta, evacuando la escorrentía en menor tiempo.

Pendiente media del cauce principal

Esta se deduce a partir del desnivel topográfico sobre el cauce principal y la longitud del mismo

$$J = \left[\left(\frac{H \text{ max} - H \text{ min}}{L} \right) \right] \times 100 = \frac{379\text{m} - 355\text{m}}{2700\text{m}} \times 100 = 0,88\% \quad (5)$$

Dónde: Pendiente media del cauce principal (Sc o J): %

Cota máxima (Hmax): m

Cota mínima (Hmin): m

Longitud del canal (L): m

Tiempo de concentración

Es el tiempo que tarda la gota hidrológicamente más lejana en viajar hasta el punto de salida. Para ello se supone que el tiempo de duración de la lluvia es, por lo menos, igual al tiempo de concentración y que se distribuye uniformemente en toda la cuenca.

Existen numerosas fórmulas para el cálculo del tiempo de concentración.

Bransby Williams

$$T_c = 58 L / (A^{0,1} * S_c^{0,2}) \quad (6)$$

$$T_c = 58 (2700m) / ((2,81km^2)^{0,1} * (9 m/km)^{0,2})$$

Dónde: Longitud del canal (L): m

Área: Km²

Pendiente media del cauce principal (Sc o J): m/Km

Tiempo de concentración: **1,52 h ó 91 min**

RamserKerby

$$T_c = 0,02 * L^{0,77} * S_c^{-0,385} + ((2 n_{lam} Lo) / Sa^{0,5})^{0,467} \quad (7)$$

$$T_c = 0,02 * 2700m^{0,77} * 0,009m/m^{-0,385} + ((2 (0,3) (200m)) / (0,004m/m)^{0,5})^{0,467}$$

Dónde: Longitud del canal (L): m

Pendiente media del cauce principal (Sc o J): m/m

Longitud de escurrimiento sobre el terreno, "overlandflow" (Lo): m

Pendiente media del plano de escurrimiento sobre el terreno (Sa): m/m

Tiempo de concentración: **1,55 h ó 93 min.**

E) Factores climáticos

Esta zona se caracteriza por un clima templado con una temperatura media anual de 16,9 °C; una variación mensual como se observa en la Figura N° 10, por lo que se pueden caracterizar las estaciones en veranos cálidos e inviernos benignos. Es una región que soporta heladas en forma periódica durante los meses de mayo a septiembre dejando un período libre de heladas de 260 días aproximadamente. Vientos con cierta intensidad del N-NE (INTA Manfredi, 1987).

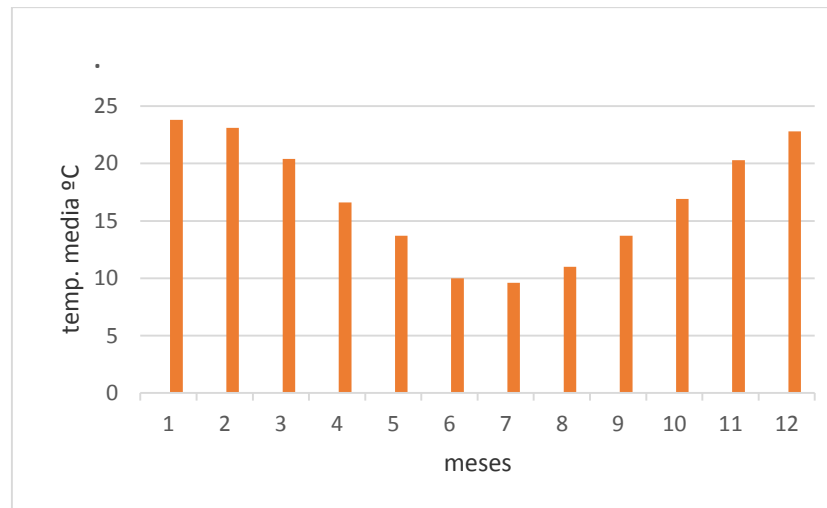


Figura N° 10: T° C medias mensuales, elaborado a partir de la carta de suelo de Villa del Rosario, 1987

La pluviometría media en la zona es de aproximadamente de 700 mm con una distribución estacional de tipo monzónico. El período lluvioso se extiende de octubre a marzo (520 mm), el cual representa el 78% de las precipitaciones anuales.

La precipitación contribuye en gran medida al flujo del agua de cuenca considerando tanto lo infiltrado como el escurrimiento superficial; por lo que su medición es de gran importancia y puede efectuarse de dos maneras dependiendo el equipamiento de la estación meteorológica, mediante pluviómetro o pluviógrafos.

Para llevar adelante el estudio, se logró acceder a datos de precipitaciones de Córdoba, Pilar y Villa del Rosario; a partir de los cuales se seleccionó la información que correspondería al área en estudio. Para ello se aplicó el método del polígono de Thiessen que permitió determinar la serie considerada para una zona a través del área de influencia de cada pluviómetro. Para la construcción del polígono de Thiessen se trazaron líneas rectas que unen las distintas localidades formando un triángulo, los puntos donde se cortan las líneas bisectrices definieron el polígono de Thiessen, como se observa en la Figura N° 11 (Gaspari, 2009).

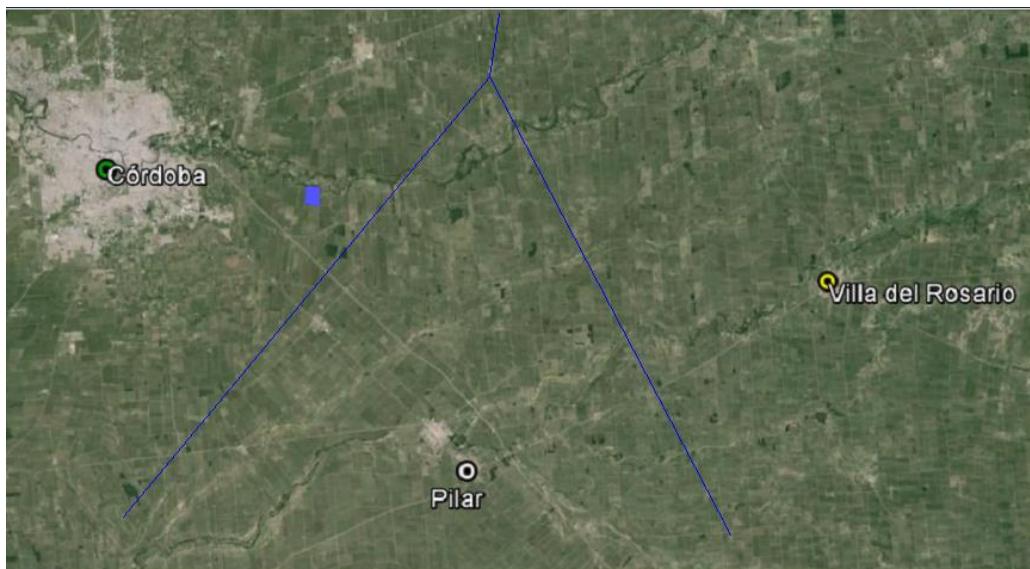


Figura N°11: Aplicación de método del polígono de Thiessen.

Referencia: ■ Ubicación geográfica del lote a trabajar y de la cuenca en estudio.

De esta manera se determinó que el área en estudio correspondía al área de influencia de la ciudad de Córdoba, por lo que se utilizaron los datos pluviográficos del observatorio perteneciente al Servicio Meteorológico Nacional.

Dicha estación proporcionó una serie de datos de precipitaciones diarias entre los años 1959-2013, la cual tiene mayor respaldo estadístico brindando mayor confiabilidad en los resultados. El método utilizado para el estudio de las lluvias máximas es el de Series Anuales. En esta, se selecciona exclusivamente la lluvia máxima diaria para cada uno de los años de las series.

En los estudios de la erosión hídrica y de diseño de estructuras hidrológicas para su control, resulta importante el conocimiento de los periodos de retorno (T_r) de esas lluvias máximas diarias, el cual representa el intervalo de tiempo esperado entre dos lluvias máximas diarias. De igual magnitud a la lluvia máxima diaria utilizada, además es importante conocer la probabilidad anual de ocurrencia de la misma (P_a) (Marelli *et al*, 1983).

Tiempo de retorno (T_r)

$$T_r = \frac{N+1}{m} \quad (8)$$

Donde

N: Número de años, en que se determinó la lluvia máxima diaria anual.

m: Número de orden de las lluvias máximas diarias anuales, ordenada en sentido decreciente

Probabilidad anual (P_x)

$$P_x = \frac{1}{T_r} \quad (9)$$

En la tabla N° 2 se muestran las lluvias diarias de la serie con mayor registro ubicados en orden decreciente tomando el total de datos correspondientes a los 55 años analizados.

Tabla N° 2: Análisis de la serie de precipitaciones-periodo 1959-2013.

orden	mm/dia	año	fecha	Tr	Pa
1	198,0	2003	26/12/2003	56	0,02
2	138,6	1997	11/12/1997	28	0,04
3	133,4	1981	09/04/1981	19	0,05
4	129,8	1973	06/03/1973	14	0,07
5	121,8	1993	10/11/1993	11	0,09
6	120,0	1999	31/10/1999	9	0,11
6	120,0	1999	31/10/1999	9	0,11
7	111,7	1975	13/03/1975	8	0,13
8	110,5	1985	08/02/1985	7	0,14
9	105,0	1977	26/12/1977	6	0,16
10	105,0	1980	07/04/1980	6	0,18
11	99,0	2006	12/01/2006	5	0,20
12	98,2	1987	22/01/1987	5	0,21
13	95,8	1969	04/02/1969	4	0,23
14	94,5	1972	22/12/1972	4	0,25
15	94,0	2000	11/01/2000	4	0,27
...					
54	40,7	1962	07/12/1962	1	0,96
55	34,4	1965	19/12/1965	1	0,98

Considerando la escasa diferencia entre los valores de precipitación para tiempos de retornos de 9 y 11 años (121,8 y 120 respectivamente) se obtuvo mediante una ponderación el valor de precipitación para un tiempo de retorno de 10 años siendo este igual a 121mm/día, valor asignado por la vida útil de la obra. (Camaño Nelli y Dasso, 2005).

La lámina obtenida se desagregó para la obtención de la curva I-D correspondiente, para lo cual fue necesaria la utilización de los coeficientes propuestos por Evans (1971) (Tabla N°3 y Figura N°12).

Tabla N°3: Coeficientes para estimar la intensidad de la lluvia a partir de una lluvia máxima tipo en 24 horas.

Duración	30 min	1h	2h	6h	12h	24h
Factor de conversión	0,31	0,36	0,44	0,69	0,88	1

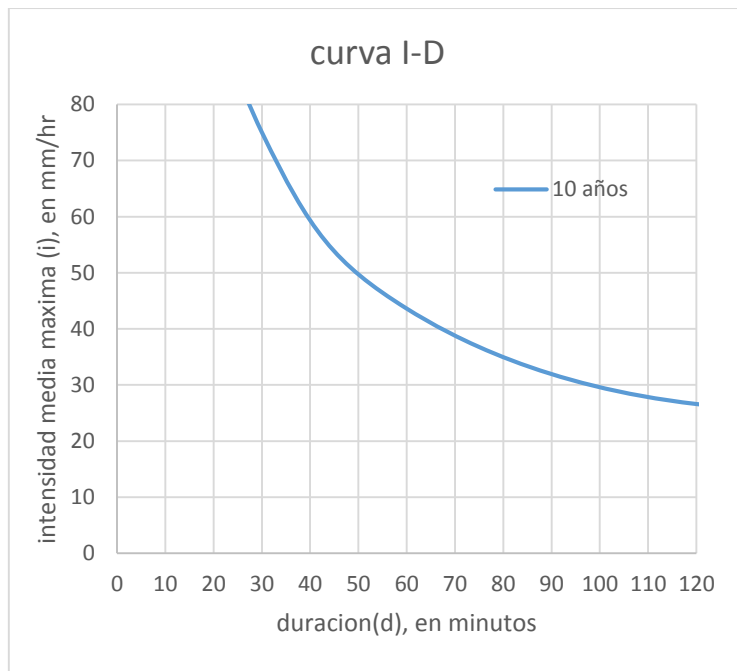


Figura N° 12: Curva I-D para una lluvia con tiempo de retorno de 10 años.

Considerando el tiempo de concentración de la cuenca (91 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.

Intensidad media de la precipitación

$$i = 32 \text{ mm/h} = 0,53 \text{ mm/min}$$

Se procedió al cálculo de la lámina total de la tormenta de diseño a partir de la dicha intensidad por la duración equivalente al tiempo de concentración.

$$\text{Lam total (mm)} = \text{intensidad (mm/min)} \times \text{duración (min)} \quad (10)$$

$$\text{Lam total (mm)} = 0,53 \text{ mm/min} \times 91 \text{ min}$$

La lámina total de la tormenta de diseño es de 48,5mm

Dicha lámina se afectó 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. (Camaño Nelli y Dasso, 2005)

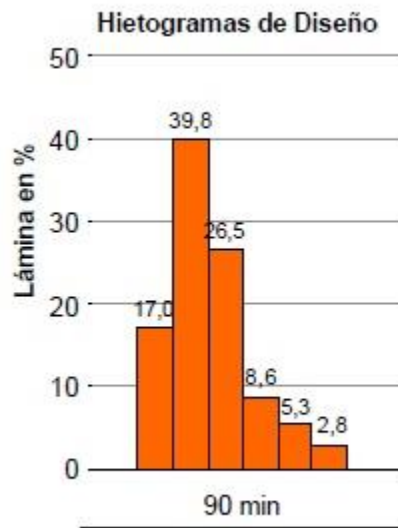


Figura Nº 13: Patrón adimensional de distribución temporal de tormentas de 90 min de duración para la zona centro de la provincia de Córdoba.

En la siguiente tabla (N° 4) se observa la aplicación de la distribución temporal de diseño sobre la lámina total, considerando 6 sextiles equivalente a 15 min, afectado cada uno en función al porcentaje respectivo con un pico máximo en el segundo sextil.

Tabla N° 4: Distribución temporal de diseño aplicada a la lámina total

sextil	1	2	3	4	5	6
%	17	39.8	26.5	8.6	5.3	2.8
48.5 mm	8,25mm	19,3mm	12,8mm	4,8mm	2,6mm	1,4mm

De esta forma, queda representado en el siguiente hietograma de diseño para la lámina total considerada (Figura N° 14).

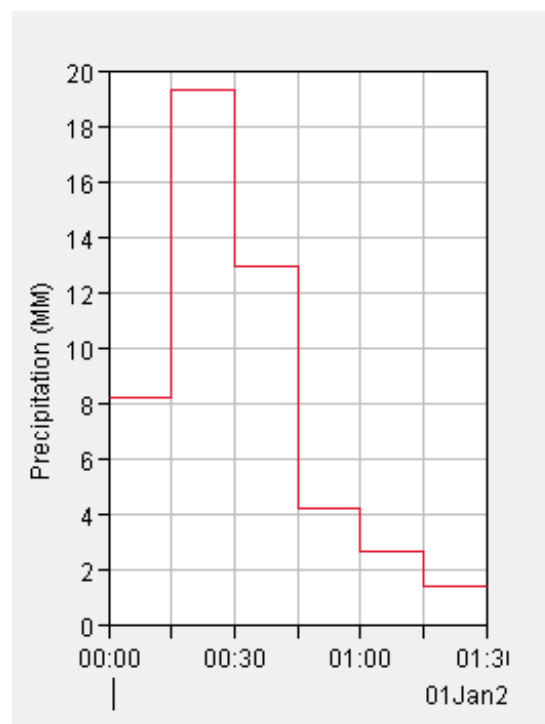


Figura N° 14: Hietograma de diseño.

Método del número curva

Este método consiste en la obtención del denominado Número de Curva o Curva Número (NC) en función de las características de la cuenca previamente descrita, siendo su determinación de gran importancia para su posterior utilización en el método de cálculo de caudal HEC-HMS 3.3.

El método del Número de Curva fue desarrollado por el Servicio de Conservación de Suelo de los Estados Unidos (SCS). Es un método sencillo para calcular la lluvia efectiva a partir de la lluvia acumulada, la cobertura del suelo, el uso de suelo y las condiciones de humedad del mismo. Este método permite calcular las abstracciones de la precipitación de una tormenta, que por diferencia establece el escurrimiento (Gaspari, 2009).

La combinación entre factores edáficos y antropogénicos conformará en su conjunto un complejo suelo - vegetación, el cual determinará el comportamiento del agua dado por la infiltración y escurrimiento de la precipitación en función del grado de permeabilidad del suelo (Figura Nº 15).

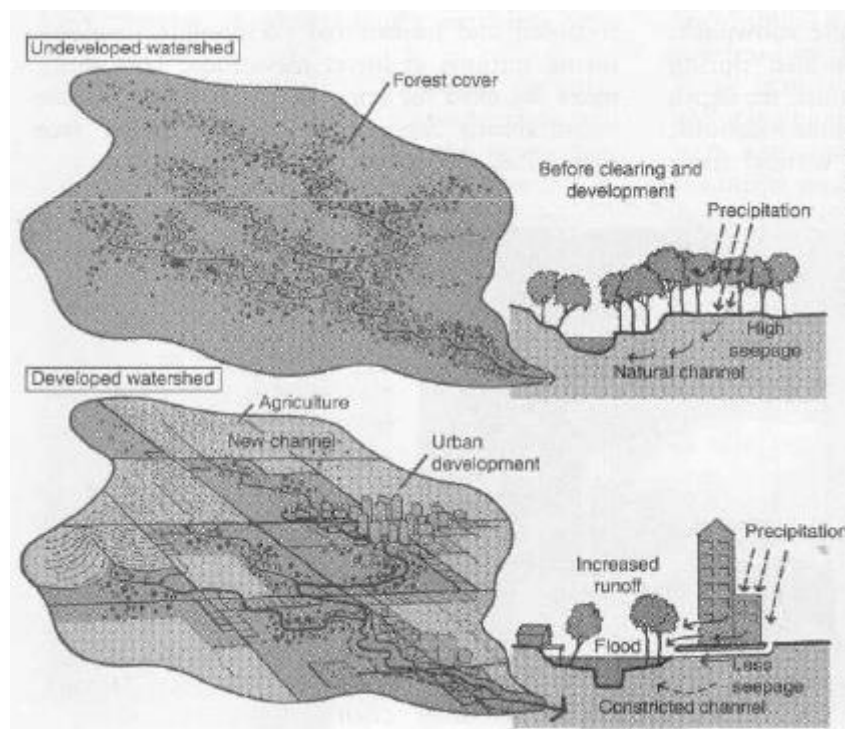


Figura Nº 15: Modificación del escurrimiento superficial en función al tipo de uso del suelo.

Para la estimación de la lámina escurrida se debe definir, en primera instancia, el valor del **número de curva** por medio de tablas que consideran los siguientes factores:

1. El uso del suelo es un factor de gran influencia en el escurrimiento del agua precipitada, para lo cual, según el manejo descrito de la cuenca (implementación de cultivos anuales), se considera la utilización de cultivos alineados dispuestos en líneas rectas con residuo en cobertura (R+CR).
2. La condición de humedad antecedente o estado de humedad del suelo previo a la ocurrencia de la precipitación es otro parámetro a tener en cuenta. Esto se determina en base a una lluvia ocurrida 5 días antes. En el proyecto se consideró una condición de humedad antecedente III (equivalente a más de 38.1 mm durante los últimos días) el cual representa a un suelo húmedo, que en cierta forma podría reflejar un mayor escurrimiento de la lluvia, con el objeto de estimar el caudal escurrido ante condiciones más desfavorables.
3. El grupo hidrológico, para el que se debe utilizar la clase textural del suelo a partir de los suelos descriptos (Agencia Córdoba Ambiente, 2006).

Haplustol típico

arena	limo	arcilla
16,2%	47,8%	36%

Haplustol éntico

arena	limo	Arcilla
14,1%	69,9%	16%

Otra forma de determinar el grupo hidrológico es a partir de la mínima tasa de infiltración considerada para los sistemas agrícolas con valores entre 1 y 20 mm/h.

Ambas metodologías planteadas coinciden en un grupo hidrológico "C", representados por suelos pocos profundos que presentan poca permeabilidad al estar saturados.

Numero de Curva obtenido:

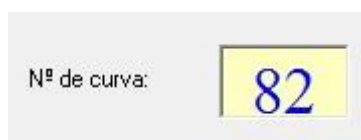


Figura Nº 16: Número de curva.

El método considera, para la estimación de la lámina escurrida, la determinación de la retención potencial máxima del suelo (S) como se observa en la siguiente ecuación:

$$S = 254 \left(\frac{100}{NC} - 1 \right) = 254 \left(\frac{100}{82} - 1 \right) = 55,7 \quad (11)$$

En donde: NC: número de curva

S: retención potencial máxima

A partir de ello, obtener las “pérdidas iniciales” (I_o) considerada como la lámina de lluvia caída desde el inicio de la precipitación hasta el momento que comienza el escurrimiento, equivalente a:

$$I_o = 0,2 * S = 0,2 * 55,7 = 11,14 \quad (12)$$

En donde I_o: pérdidas iniciales

S: retención potencial máxima.

Dichos parámetros serán posteriormente utilizados para el cálculo de caudal escurrido, representado gráficamente en la Figura N° 17.

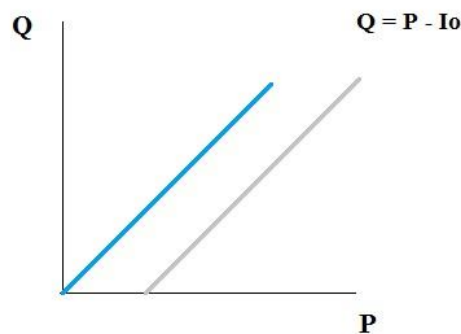


Figura N° 17: Representación gráfica del comportamiento del agua y su escurrimiento.

La expresión de la lámina escurrida es:

$$Lam = \frac{(P - 0,2S)^2}{P + 0,8S} = \frac{(121 - 0,2 \times 55,7)^2}{121 + 0,8 \times 55,7} = 72,9 \text{ mm} \quad (13)$$

Siendo Lam: lámina de escurrimiento.

P: precipitación (mm).

S: retención potencial máxima.

Estimación de caudal

Esto se realizó con la aplicación de diferentes métodos:

- I. Método racional
- II. Método de Cook
- III. simulador hidrológico:
HEC-HMS3.3 (Hydrologic Engineering Center`s – Hydrologic Modeling Sistema)

I. Método Racional

Este método constituye el proceso de cálculo más antiguo que existe para estimar descargas máximas (Serenó, 1997).

Mediante este método se estima el caudal máximo a partir de la precipitación, abarcando todas las abstracciones en un solo coeficiente C (coeficiente de escorrentía) estimado sobre la base de las características de la cuenca. Este método es muy usado para cuencas de Área < 10 km². (Ministerio de Transporte y Comunicación, 2010).

$$Q = 0,278 \cdot C \cdot I \cdot A$$

Q = es el gasto máximo, en m³ /s

C = es el coeficiente de escurrimiento

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 km².

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:

- a. 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.

- b. Cuando la cuenca se torna compleja, con varias subcuencas, tiende a sobreestimar el caudal máximo.
- c. No contempla el flujo canalizado, considerando solamente el flujo sobre el terreno.
- d. Encierra algunas incertidumbres, fundamentalmente relativas a la adopción del valor del coeficiente C.

Para determinar el valor del coeficiente C se utilizaron los siguientes parámetros. (Ministerio de Transporte y Comunicación, 2010).

- Cobertura vegetal: cultivo.
- Tipo de suelo: permeable.
- Pendiente del terreno: < 1%.

Por lo cual el valor de dicho coeficiente según características de la cuenca equivale a **0.2**

Determinación del caudal máximo

$$Q \text{ (m}^3\text{/s)} = 0,278 \cdot C \cdot I \text{ (mm/h)} \cdot A \text{ (km}^2\text{)} \quad (14)$$

$$Q = 0,278 \cdot 0,2 \cdot 32 \text{ mm/h} \cdot 2,812 \text{ km}^2$$

$$Q = 5 \text{ m}^3\text{/s.}$$

II. Método de Cook

Consiste en la sumatoria de varios números, con los cuales se caracteriza la cuenca, cada uno de ellos representa el grado en que la escorrentía de una cuenca es influenciada por una característica particular (Hudson, 1982).

Para definir esos números se consideran las características de la cuenca en cuatro parámetros como se indica en la tabla N°5:

Tabla N° 5: Parámetros considerados para cálculo de caudal mediante método de Cook.

variables	valor
Relieve	(5) Tierra relativamente llana, con pendientes media del 0-5%.
Infiltración en el suelo	(5) Elevada; arena profunda u otro suelo que tome el agua fácil y rápidamente.
Cobertura vegetal	(10) Moderada a buena; cerca del 50% del área cubierta por pradera y menos del 50% del área con cultivos limpios.
Retención en superficie	(10) Normal; considerable retención en depressiones superficiales.

Obteniendo a partir de la sumatoria el valor (C) que equivale a característica de la cuenca, el cual su valor es de (30) con el que se introduce en tablas ya confeccionadas para cuencas de forma larga y delgada, y el área de la cuenca en hectáreas, para nuestro caso, el valor de la escorrentía obtenida es de 80 pies³/s. que multiplicado por 0.07 da un caudal estimado de **5,6 m³/s.**

III. HEC-HMS 3.3

Es un software que permite simular la transformación de la lluvia proyectada en escurrimiento, a través de un sistema que integra diferentes métodos hidrológicos para el tránsito de caudales. Esta particularidad le otorga gran flexibilidad ya que permite combinar diferentes rutinas obteniendo así una mayor aproximación con la realidad. Pueden simular la generación de avenidas en la cuenca, con las características que esta presenta en el momento de la simulación, en especial el uso del suelo o cubierta vegetal, para la precipitación seleccionada. (Gaspari, 2009)

COMPONENTES DEL MODELO (Ponce, 1989)

Los componentes del modelo de cuenca a simular son: (1) Precipitación, (2) Abstracción Hidrológica, y obteniendo a partir de ellos el (3) Escurrimiento. Usualmente la precipitación es el dato de entrada al modelo, las abstracciones hidrológicas son determinadas por las propiedades de la cuenca, y el escurrimiento es la salida del modelo.

(1) La precipitación es el proceso que guía el modelado de una cuenca. El escurrimiento de superficie es una consecuencia directa del exceso de lluvia. La lluvia puede ser descrita en los siguientes términos:

- (a) intensidad de lluvia: **32mm/h.**
- (b) duración: **91mm** equivalente al tiempo de concentración.
- (c) frecuencia: para un tiempo de retorno de **10 años.**
- (d) distribución temporal: según hietograma de diseño.
- (e) distribución espacial: uniforme ya que la precipitación se considera que cubre el área en su totalidad.

Todos estos datos se obtuvieron de los cálculos y análisis antes descritos.

(2) Abstracción hidrológica:

Son los procesos físicos que actúan para reducir la precipitación total a precipitación efectiva. Eventualmente, la precipitación efectiva va a constituir el escurrimiento de superficie. Hay varios procesos por los cuales la precipitación es abstraída por la cuenca(a) infiltración, (b) intercepción, (c) almacenaje de superficie, (d) evaporación y (e) evapotranspiración. Para modelos de eventos, el énfasis está en la infiltración y todas las otras abstracciones están consideradas dentro de la abstracción inicial.

(a) infiltración: el método del número de curva de escurrimiento SCS equivalente a **82**, el cual tiene en cuenta en forma explícita la infiltración. (Entre **1-20mm/h**)

(b) abstracción o pérdida inicial: equivalente a **11,14mm** la cual es una fracción muy pequeña del total de la lluvia para las tormentas de alta intensidad y baja frecuencia de ocurrencia. Definida como una fracción de la retención potencial máxima ($I_a = 0,2 \times S$).

(3) Escurrimiento:

Este en una primera instancia es considerado laminar pero a nivel del modelo hidrológico en cuestión se determina que este es concentrado y no distribuido, a la salida de la cuenca.

Luego de la simulación considerando los parámetros antes mencionados se obtuvo los siguientes resultados mostrados en las figuras N° 18 y 19:

Project: campo escuela		Simulation Run: Run 7		
Start of Run:	01ene2000, 00:00	Basin Model:	cuenca 1	
End of Run:	01ene2000, 05:00	Meteorologic Model:	Met 1	
Compute Time:	18sep2015, 05:55:49	Control Specifications:	Control 1	
Volume Units: <input checked="" type="radio"/> MM <input type="radio"/> 1000 M3				
Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (MM)
Subbasin-1	2.812	5.1	01ene2000, 02:15	14.40

Figura N° 18: Caudal escurrido (m^3/s) del proyecto por método de HEC-HMS 3.3.

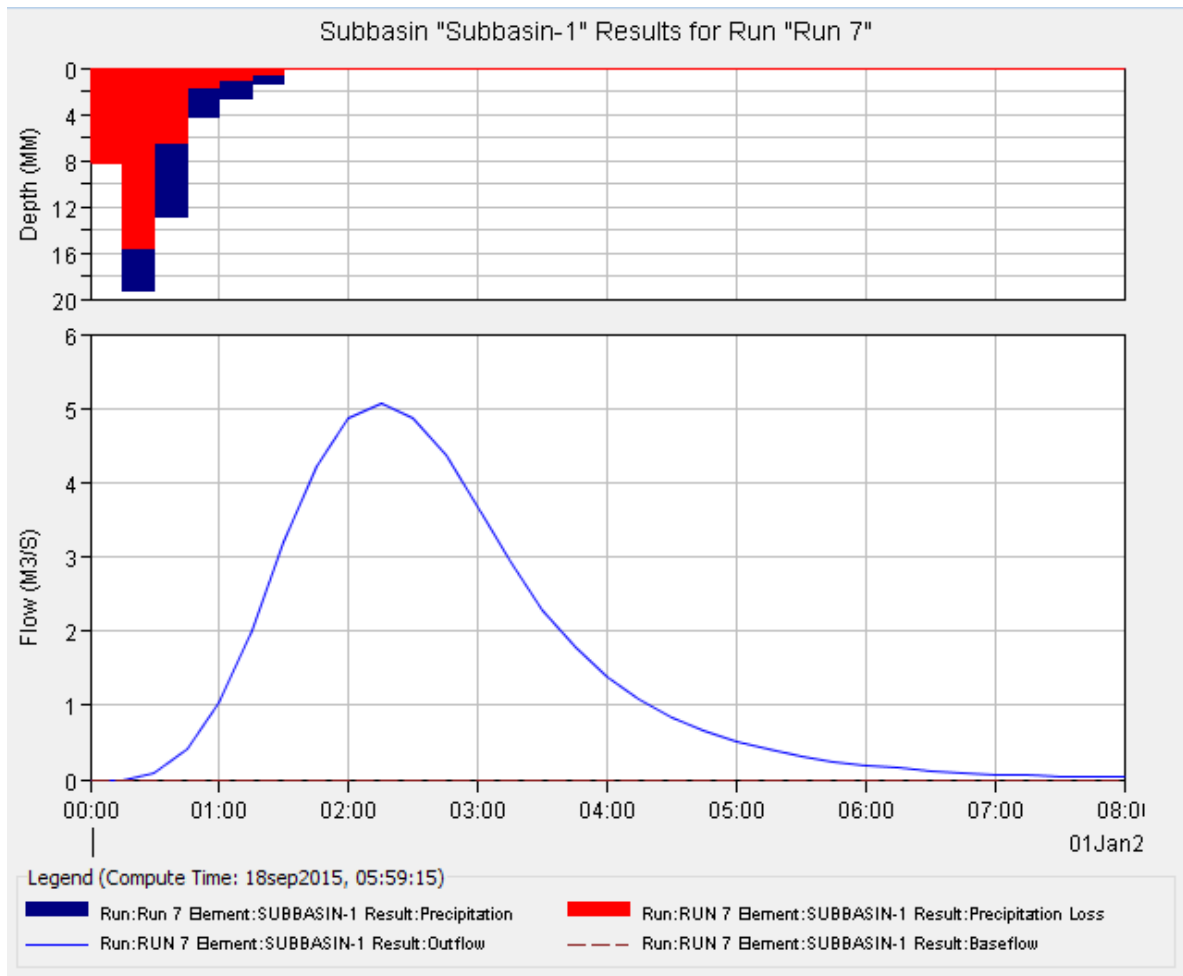


Figura N° 19: hidrograma del proyecto.

Este hidrograma es la representación gráfica de las descargas instantáneas de un curso de agua en función del tiempo, con un máximo caudal equivalente a 5,1m³/s alcanzado a las 2,15hr de iniciado el evento.

Tabla Nº 6: Resultado de caudales con los diferentes métodos.

Caudal estimado - Q (m ³ /s.)		
Método Racional	Método de Cook	HEC-HMS 3.3
5 m ³ /s.	5,6 m ³ /s.	5,1 m ³ /s.

Resultados parcial

Los caudales obtenidos a partir con los diferentes métodos aplicados, no muestran diferencias cuantitativas importantes por lo que se utilizara el valor que se obtuvo mediante el HEC-HMS 3.3 (equivalente a 5,1 m³/s) 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.

Diseño del canal de desagüe

Para el diseño y dimensionamiento de dicho canal de desagüe será necesaria información obtenida previamente, como:

-Caudal: 5.1 m³/s.

-Pendiente de la vía de escurrimiento que se transformara en canales: 0.86%.

-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 ya que pueden ser una limitante de la profundidad de diseño y por lo tanto obliga a considerar otras dimensiones de la sección.

-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.

Considerando la forma de la sección transversal recomienda para estos proyectos, las de tipo parabólica, por ser más estable y además, permitir el paso transversal de la maquinaria agrícola. (Serenó, 1997).

Primer paso: estimación de la velocidad máxima admisible (que no produce erosión) para ese suelo y cobertura.

Considerando:

- cobertura vegetal: normal.
- material desuelo: Arena limosa muy fina.

Velocidad máxima admisible: 0,75 m/s.

Fuente: Hudson, 1982.

Segundo paso: cálculo de radio hidráulico según Manning.

$$V = \frac{R^{2/3} \cdot i^{1/2}}{n} \quad R = \left| \frac{V \cdot n}{\sqrt{i}} \right|^{3/2} = \left| \frac{0,75 \times 0,06}{\sqrt{0,0086}} \right|^{3/2} = 0,33 \quad (15)$$

En donde:

R = Radio hidráulico.

V = Velocidad máxima admisible (m/s).

n = coeficiente de Manning.

i = pendiente de cauce (m/m).

Tercer paso: cálculo de profundidad

$$R = \frac{2}{3} * pr \quad pr = 1,5 * R \quad pr = 1,5 * 0,33 = 0,5 \text{ m} \quad (16)$$

En donde:

pr = profundidad del canal de desagüe (m).

R = Radio hidráulico.

Cuarto paso: cálculo de ancho

La sección (S) es:

$$S = \frac{2}{3} \cdot a \cdot pr \quad \text{de donde} \quad a = \frac{3 \cdot S}{2 \cdot pr} \quad (17)$$

Haciendo $S = Q / V$ se tiene

$$a = 1,5 \frac{Q}{V \cdot pr} = 1,5 \frac{5,1}{0,75 \times 0,5} = 20,6 \text{ m} \quad (18)$$

En donde:

a = ancho del canal de desagüe (m).

Q = Caudal de diseño (m³/s).

V = Velocidad máxima admisible (m/s).

Pr = profundidad del canal de desagüe (m).

Una vez definido los valores, el canal queda dimensionado y mediante la realización de su verificación, permite delatar cualquier equivocación que se pueda haber cometido. Siendo recomendable realizarse antes de replantear y ejecutar la obra. Al mismo, se le deberá añadir un margen de seguridad por la incertidumbre de los datos como también por los costos de ejecución.

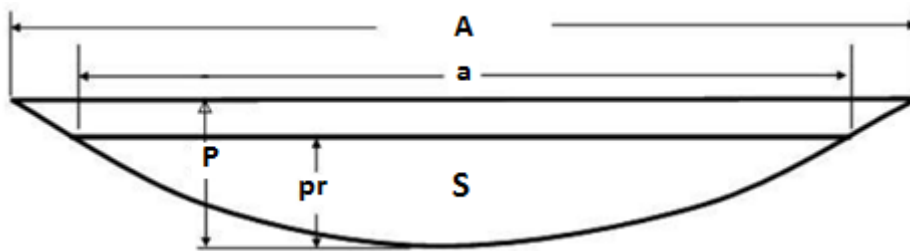


Figura N° 20: Sección transversal de un canal parabólico.

En donde:

A = ancho máximo del canal considerando un margen de seguridad;

a = ancho del canal considerando el caudal de diseño;

P = profundidad máxima del canal considerando un margen de seguridad;

Pr = profundidad del canal considerando el caudal de diseño.

S = sección transversal.

2) A nivel predial

Para llevar adelante el proyecto de control de erosión hídrica se trabajó en el establecimiento “Campo Escuela” perteneciente a la Facultad de Ciencias Agropecuarias, el establecimiento cuenta con 586 hectáreas de las cuales son productivas 576 ha. Su uso es mixto (agrícola-ganadero), subdivididas en 19 lotes, como se observa en la figura N° 21, y la superficie restante, equivalente a 10 hectáreas, están ocupadas por diferentes instalaciones. (Meyer Paz, 1985)

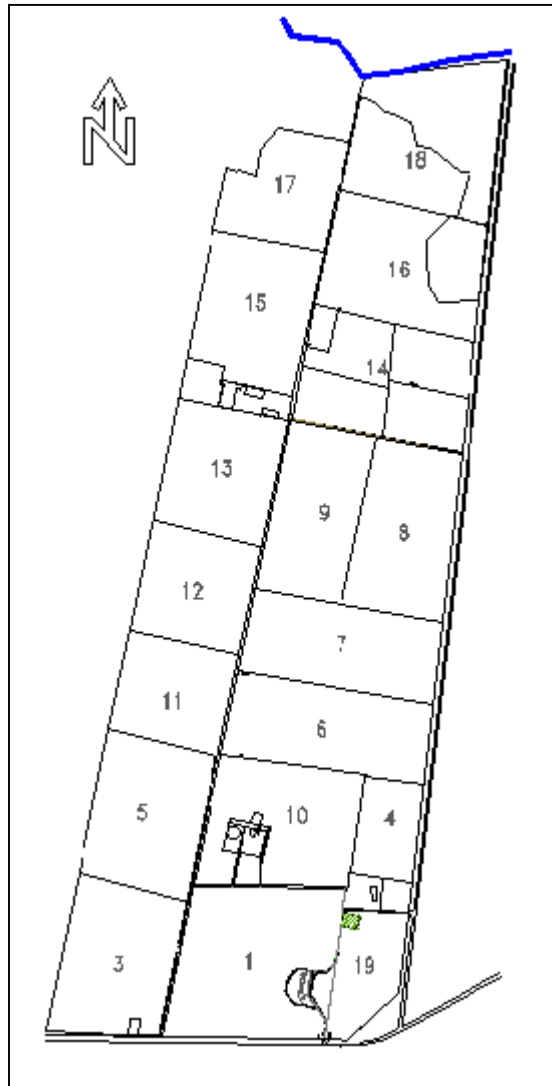


Figura N° 21: Distribución de lotes del campo escuela de la facultad de ciencias agropecuarias

Selección de lotes a sistematizar

Dentro del establecimiento se seleccionaron como objeto de estudio los lotes 14 y 16 por visualizarse procesos erosivos.

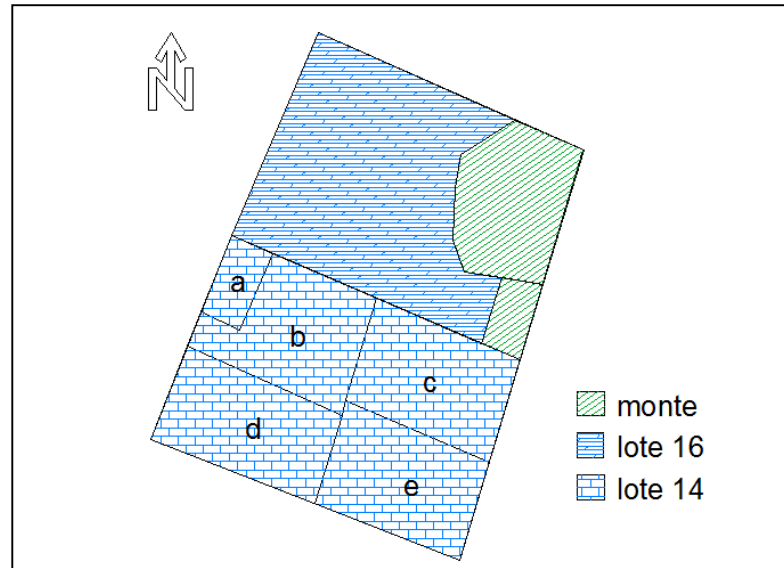


Figura N° 22: Lotes a sistematizar.

Manejo actual de los lotes

Lote 14

Subdivisión a- b- c (18,25ha): actualmente (Año 2015) se encuentra implantada una alfalfa de 2 años destinada para el consumo de la cabaña. Esta se aprovecha en forma mecánica o mediante pastoreo directo.

Subdivisión d- e (20,5ha): ambos provienen de un sorgo forrajero como cultivo antecesor, en los cuales hoy encontramos:

Lote d- avena

Lote e- cebada forrajera.

En este lote, entre cada cultivo, se pasa dos veces una rastra de disco y ocasionalmente se pasa un rolo para romper y desmenuzar agregados y posteriormente se siembra.

Lote 16

Este lote tiene 26,7ha las que tienen diferentes pasturas perennes como gatton panic y grama bahiana, encontrándose en un estado degradado. A este lote se le pasa un rolo para control de renovales. Su aprovechamiento es para consumo del ganado y puede ser mediante pastoreo directo o en forma mecánica.

Estas prácticas de manejo llevadas a cabo en los lotes, son consideradas desfavorable por la remoción permanente de los suelos sumado desnivel observado, lo que aumenta la susceptibilidad de estos a los procesos erosivos.

Para la obtención un mayor detalle del relieve de los lotes se procedió a la realización del levantamiento topográfico, siendo de suma importancia en el proyecto de sistematización

Levantamiento topográfico

Es el conjunto de tareas para estudiar el relieve y posterior confección de un plano de curvas de nivel. Existen varios métodos para realizar esta tarea, los cuales han ido variando a la par de los avances tecnológicos, incorporándolos, creando equipos más eficiente, ligeros, pero sobre todo más fáciles de utilizar. Se obtiene como resultado de sus aplicaciones, datos de campo cada vez más confiables, de mejor calidad y sobre todo en un tiempo de ejecución menor y ahorrando largas jornadas para el ordenamiento y clasificación de la información recabada, y de cálculo de datos para poder realizar los planos correspondientes (Cruz Meléndez, 2008). Dentro de dichas innovaciones tecnológicas se encuentra la estación total utilizada para realizar este trabajo en el Campo Escuela de la Facultad (Figura N°23).

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.



Figura N° 23: Estación total utilizada para el levantamiento topográfico.

Procedimiento para 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 dos estaciones identificadas en el levantamiento con los números 1 (A) y 39 (B) (Figura N° 24).

Durante el levantamiento se relevaron 92 puntos 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 del software Surfer. Así se obtuvo la planialtimetría del lote en estudio como muestra la figura N° 24 en donde representa el desnivel existente permitiendo un posterior análisis de la pendiente de los lotes.

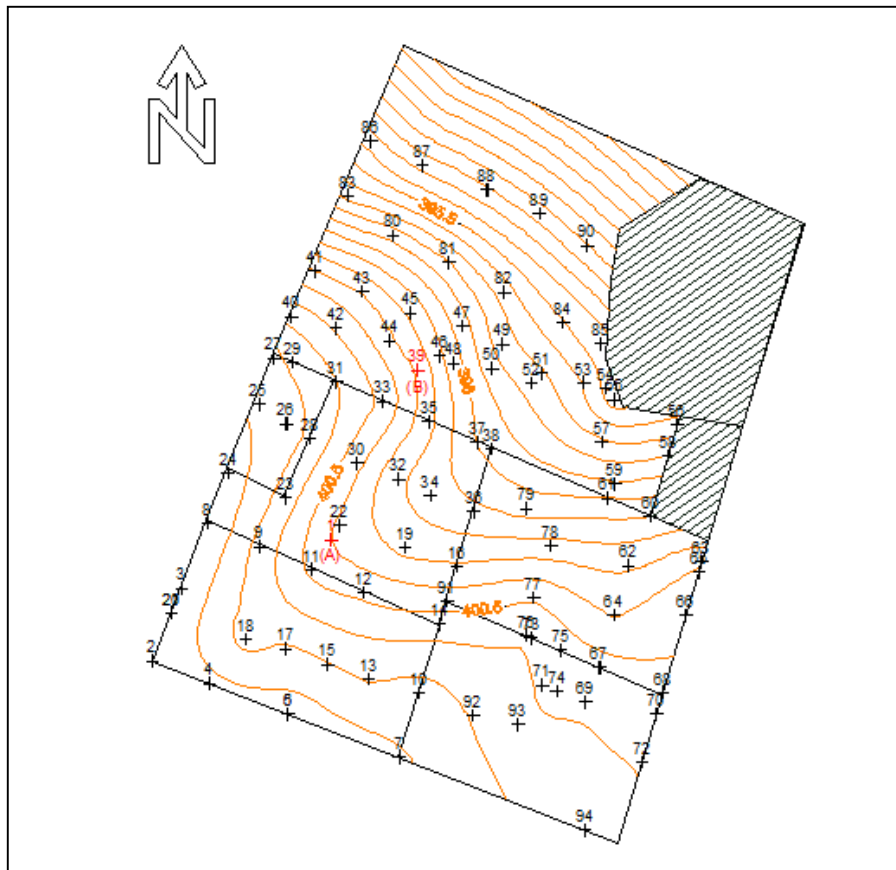


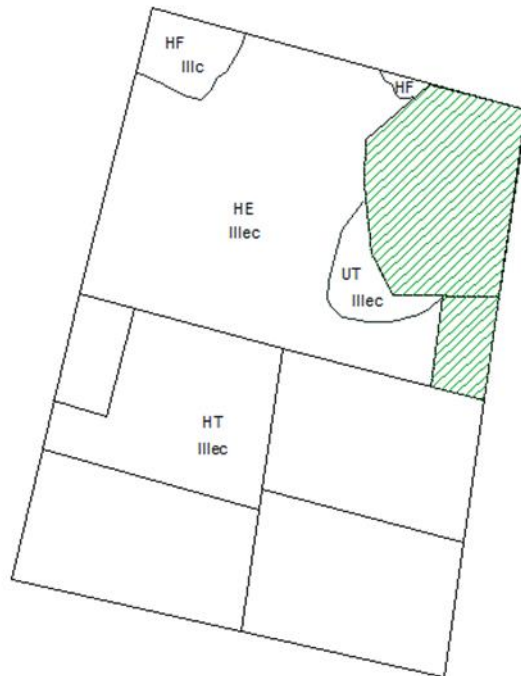
Figura N° 24: Plano de curva de nivel obtenido a partir del levantamiento.

Suelos

En los lotes a sistematizar se identificaron los suelos descriptos en la tabla N° 7.

Tabla N° 7: características de los suelos en lotes a sistematizar

Unidad Cartográfica	Descripción	Cap. de uso
Consociación HT (Haplustol típico)	Epipedón mólico de 23 cm de espesor, franco limoso en superficie, bien provisto de materia orgánica, un horizonte subsuperficial algo enriquecido en arcilla iluvial hasta los 40 cm; un horizonte de transición hasta alcanzar el material originario (Ck) a los 55cm.	IIIec
Consociación UT (Ustortent típico)	Epipedón ócrico de 20 cm de espesor de textura franco arenoso en superficie; franco arenoso en el subsuelo; moderadamente bien drenado; pobre en materia orgánica	IIIec
Consociación HE (Haplustoléntico)	Epipedón mólico de 21 cm de espesor de textura franco limosa en superficial, y un horizonte cálcico a 51 cm de profundidad, algo excesivamente drenado	IIIec
Consociación HF (Haplustol fluvéntico)	Epipedón mólico de 24 cm de espesor, buena aptitud productiva, bien drenado	IIIc



Suelos	Capacidad de Uso
Haplustol Típico (HT)	III ec
Ustortent Típico (UT)	III ec
Haplustol Entico (HE)	III ec
Haplustol Fluventico (HF)	III c

Figura N° 25: Suelos a nivel predial.

Proyecto de sistematización

A partir de la capacidad de uso de estos suelos (clase IIIec) y su aptitud agrícola se definió para la sistematización de estos lotes, la implementación de terrazas paralelas de desagüe, siendo una de las características para el diseño de éstas, la posibilidad de paralelización en el trazado (Figura N° 26 y 27. 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 labranzas; además, permiten una distribución más homogénea de la humedad del suelo (Cisneros, 2012).



Figura N°26: Terrazas rectas paralelizadas.



Figura N°27: Terrazas curvas paralelizadas.

Otros parámetros importantes para el diseño de las terrazas de desagüe son, 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. Se procura utilizar el menor desnivel posible, sin alcanzar pendiente cero (0), 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 (Cisneros, 2012)

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 (Sereno, 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 paralelas varíen entre el mínimo y el máximo permitido.

La finalidad de la sistematización controlar los procesos de erosión hídrica, demorando y disminuyendo el escurrimiento para favorecer la infiltración, con una mayor retención de agua en el terreno y por ende su disponibilidad para el cultivo.

Estas terrazas paralelas de desagüe conducen el agua de esorrentía hacia el canal de desagüe (Figura N° 28) por efecto de la pendiente longitudinal con la que son diseñadas.



Figura N° 28: terrazas paralelas de desagüe y canal de desagüe.

Diseño y dimensiones de terrazas

Espaciamiento entre terrazas

Es en función de:

- Precipitación.
- Pendiente del terreno.
- Capacidad de infiltración del suelo.
- Cobertura del terreno.

Espaciamiento vertical:

Existen diferentes fórmulas empíricas utilizadas para el cálculo del intervalo vertical. En el presente informe se empleó la propuesta por el servicio de conservación de suelo del USDA (USDA, 1984).

$$E.V. = (x * S + y) 0,305 \quad (19)$$

En donde:

x es una variable que depende de la intensidad de las precipitaciones, y su valor varía entre 0,4 y 0,8. Considerando para un tiempo de retorno de 10 años y una intensidad diaria de 121mm/día. Para lo cual el valor de (x) sería **0,5**

y depende de la capacidad de infiltración del suelo y de la cobertura vegetal durante la época de lluvias intensas. Sus valores son:

y= 1,0 suelos con baja capacidad y velocidad de infiltración y pobre cobertura.

y= 1,5 suelos en que uno de los factores es favorable y el otro no.

y= 2,0 ambos factores son favorables.

Se definió para este parámetro un valor de **1,5** considerando una favorable velocidad de infiltración por la permeabilidad de los suelos pero pobre en cuanto a cobertura vegetal.

S es la pendiente del terreno en porcentaje.

0,305 es el factor de conversión de pies a metros.

Espaciamiento horizontal:

Este es parámetro de diseño esencial, su estimación es para lograr que la escorrentía que fluye sobre el terreno entre dos terrazas no alcance velocidad erosiva.

$$E.H. = \frac{E.V}{tg w} \quad (19)$$

En donde:

EV: Espaciamiento vertical obtenido.

Tg w: Pendiente del terreno en m/m.

Un criterio adicional para ajustar el IH entre terrazas es el de considerar que debe ser múltiplo del ancho de las maquinarias a utilizar, para facilitar las operaciones sobre las mismas (Cisneros, 2012).

En el establecimiento cuentan con una sembradora de 9 hileras distanciadas a 0.52m equivalente a un ancho de labor de 4.7 m por lo cual se debe ajustar el EH a múltiplos de este valor.

En términos generales, los espaciamientos a utilizarse en suelos permeables, ricos en materia orgánica, en terrenos donde se practican rotaciones y en zonas con baja intensidad de lluvia pueden ser mayores. Por lo contrario, un menor espaciamiento es en suelos poco permeables, en suelos con cultivos que ejercen poca protección al suelo y precipitaciones de alta intensidad. En la tabla Nº 8 se presentan valores de IV e EH recomendados para EEUU que pueden servir como guía para estimar los distanciamientos en una situación local cuando no se dispone de otros datos para calculo más preciso (Cisneros, 2012). En este trabajo, el dimensionamiento se realizó con las formulas propuestas por USDA.

Tabla Nº 8: Intervalo Vertical e Intervalo Horizontal en función al gradiente de pendiente.

Pendiente del terreno (%)	Intervalo vertical (IV) (m)		Intervalo horizontal (IH) (m)	
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
1	0,50	0,70	50,0	70,0
2	0,64	0,86	32,0	43,0
3	0,70	0,95	23,0	31,0
4	0,76	1,00	10,0	25,0
5	0,83	1,12	16,6	22,4
6	0,89	1,20	14,8	20,0
7	0,96	1,29	13,7	18,4
8	1,02	1,38	12,8	17,3
9	1,08	1,47	12,0	16,3
10	1,15	1,55	11,5	15,5
11	1,21	1,64	11,0	14,9
12	1,28	1,73	10,6	14,4

Finalmente, al momento del diseño, ocurre frecuentemente que según la topografía del terreno aparece la necesidad de establecer más de un conjunto de terrazas paralelas en un mismo lote. En este caso cada conjunto se denomina “familia de terrazas”.

Parámetros de diseño

Lote 14

Para los lotes a-b-d por presentar similares características se unificó el diseño, planteando una única familia. (Figura N°29)

Familia 1

pendiente	1,00%
Espaciamiento vertical	0,61m
Espaciamiento horizontal	61m
Espaciamiento ajustado a maquinaria	60,8m

Lote c

Familia 2

pendiente	1,45%
Espaciamiento vertical	0,68m
Espaciamiento horizontal	46,8m
Espaciamiento ajustado a maquinaria	46,8m

Lote e

Familia 3

pendiente	0,89%
Espaciamiento vertical	0,59m
Espaciamiento horizontal	66,6m
Espaciamiento ajustado a maquinaria	65,5

Lote 16

Para el cual se definieron tres familias (4-5-6) en función a la planialtimetría del terreno.

pendiente	2,00%
Espaciamiento vertical	0,76m
Espaciamiento horizontal	38,1m
Espaciamiento ajustado a maquinaria	37,4m

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 banderillos satelitales.

Planteo de terrazas madres para cada familia según las características planteadas de los lotes

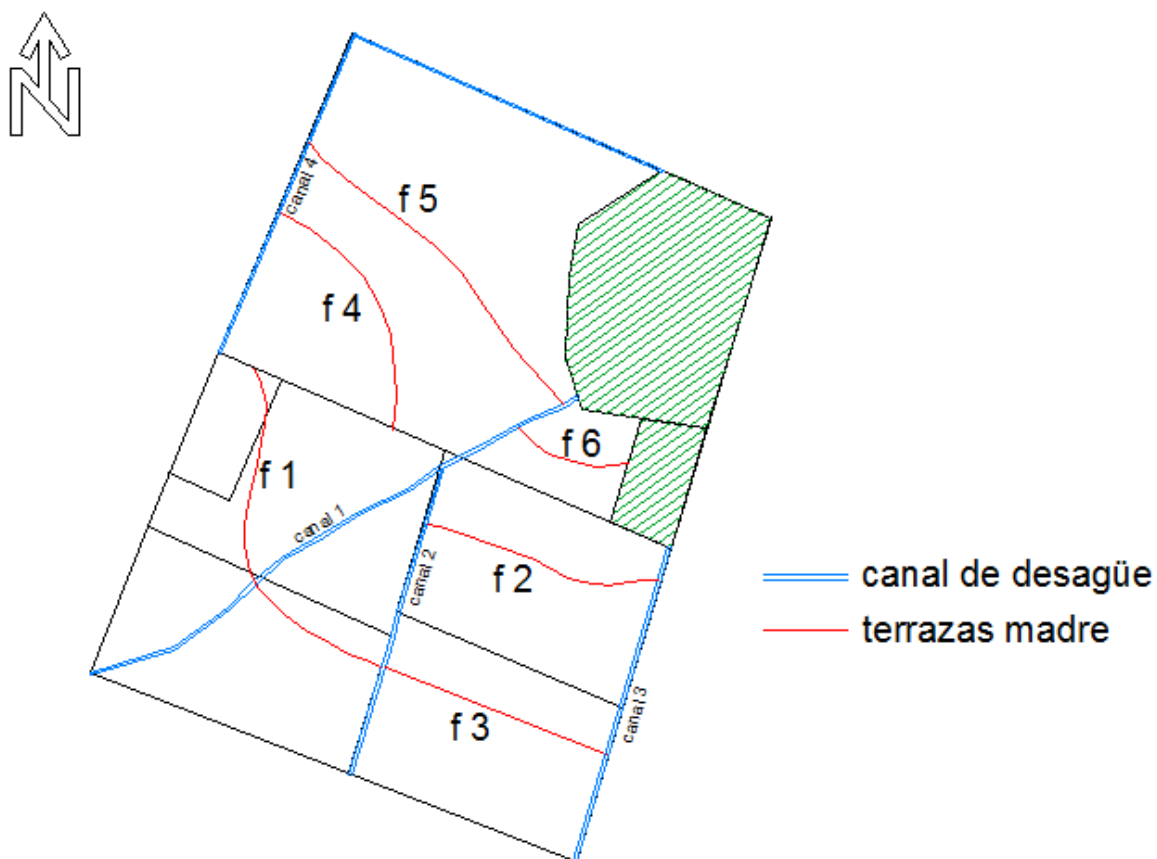


Figura Nº 29: Diseño de terrazas madre para cada familia de terrazas

Dimensionamiento de canales de desagües secundarios

Tabla Nº 9: Dimensionamiento de canales de desagües secundarios.

	pendiente (%)	área de aporte (ha)	caudal (m ³ /s)	vel (m/s)	profundidad (m)	ancho (m)
canal 1	0,86	281,2	5,1	0,74	0,5	20,6
canal 2	0,83	6,72	0,12	0,4	0,2	2,3
canal 3	0,4	11,69	0,21	0,4	0,35	2,3
canal 4	1,1	20,45	0,38	0,66	0,35	2,5

Para los canales de desagüe secundarios (2-3-4) se estableció un ancho entre 2 y 2,5 m para facilitar su construcción y mantenimiento con las maquinarias ajustado a velocidades menores de conducción.

Replanteo

Luego del procesamiento de la información a gabinete y definición de todos los parámetros de diseño: IV, EH, tipo de terrazas y dimensionamiento de canales de desagües, se procede a la realización del replanteo en el terreno del proyecto.

El replanteo 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 (figura anterior) ya que las otras se copian paralelas con la sembradora o con alguna maquinaria propia del establecimiento que cuente con GPS diferencial (Serenó, 1997).

Según el proyecto y los elementos de trabajos con los que se disponga se puede optar por diferentes métodos:

- Replanteo con cinta o distanciómetro.
- Replanteo con estación total.
- Replanteo con 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 rastras de disco, 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 nuestra zona de un implemento específico para esta tarea conocido como terracedores. (Figura N° 30 a 33)



Figura N° 30: Rastra de disco.



Figura N° 31: Construcción con terracedor de arrastre.



Figura N° 32: Terracedor de arrastre.



Figura N° 33: Construcción con motoniveladora.

Primero se construye la terraza madre, la que deberá estar materializada con estacas, jalones, cañas, etc. Después se continuara con las restantes, para lo cual se contará con la referencia dejada por el marcador de la sembradora cuando todas las terrazas son levantadas (construidas) el mismo año (Serenó 1997).

Con el implemento que cuentan dentro de del establecimiento (arado de disco) se produce de la siguiente manera: 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.

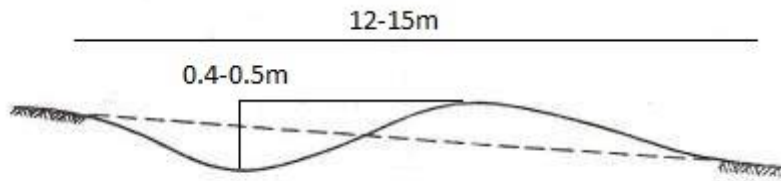


Figura N° 34: Sección transversal de una terraza.

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.

Resultado

Plano final de diseño.

Aplicación de los resultados prediales al resto de la cuenca

Teniendo en cuenta la importancia de la conservación de los recursos naturales, tanto el suelo como el agua, resulta evidente la necesidad de sistematización, por lo que aplicándose la técnica se reduce los procesos erosivos favoreciendo la retención de agua en épocas de sequía y disminuyendo la lámina escurrida ante años húmedos.

Lo planteado a nivel predial sería conveniente proyectarlo en la cuenca para reducir el aporte de esorrentía estimado a partir de las 282 has, en función a el uso del suelo y cubierta vegetal para la precipitación seleccionada, como se muestra en la tabla Nº 10.

Tabla Nº 10: estimación del caudal con y sin sistematización.

	CN	Caudal (m ³ /s)
Sin Terrazas	82	5,1
Con Terrazas	70	2,6

Considerando que la cuenca se trabajara con las prácticas de manejo adecuadas como sistematización en terraza, siembra directa, rotación de cultivo y manejo de residuos, con fines de conservación de los recursos, el cálculo resultante daría un NC 70.

Impacto de la sistematización sobre los rendimientos.

Según estudios realizados por investigadores de nuestra facultad, la implementación de la sistematización favorecería 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 por parte de los mismos, demostrado tanto en cultivo de soja (Vettorello et al, 2012) como cultivo de maíz (Esmoriz y Vettorello 2013) especificado en la tabla N° 11 y N° 12 respectivamente.

Tabla N° 11: rendimientos en soja con y sin terrazas.

SOJA	RENDIMIENTO (qq/Ha)		
CAMPAÑA	2000-01	2001-02	2002-03
CON TERRAZAS	39,0	31,4	20,3
SIN TERRAZAS	32,8	30,0	12,8

Tabla N° 12: rendimientos en maíz con y sin terrazas

MAÍZ	RENDIMIENTO (qq/Ha)
CAMPAÑA	2012-13
CON TERRAZAS	96,9
SIN TERRAZAS	80,2

Conclusión

A partir de lo observado y descrito durante el presente trabajo, resultó evidente la necesidad de tomar medidas que permitan lograr que los paisajes básicamente modificados por la intervención del hombre, se acerquen en algún grado a su situación original.

Es por esto que se llevó a cabo la realización de dicho estudio, para la proyección de la sistematización de lotes con terrazas paralelas con desagüe, y de esta forma reducir el proceso de erosión, ante manejos inadecuados observados en la cuenca.

Así mismo, la sistematización llevaría a pensar en los múltiples beneficios que obtendrían productores al adoptar dicha técnica. Los mismos consisten en una mayor acumulación de agua en el perfil del suelo del lote, logrando la disminución de los excedentes pluviales y favoreciendo el aumento de los rendimientos de los cultivos, ya cuantificado en investigaciones mencionadas anteriormente.

La proyección de la sistematización en la cuenca completa permitiría reducir los caudales aportados por la misma y en consecuencia disminuir la superficie del terreno destinada a canales.

Para finalizar, este trabajo obra en poder del Departamento de Ingeniería y Mecanización Rural y del Decanato de la Facultad de Ciencias Agropecuarias, dado que es de suma importancia concretar la sistematización de estos lotes para mitigar los problemas planteados y permitir el saneamiento de la superficie afectada, minimizando problemas de erosión y en consecuencia, anegamiento e inundación de las áreas bajas.

Bibliografía

- Agencia Córdoba Ambiente. 2006. Los suelos. Recursos naturales de la provincia de Córdoba. Córdoba.
- Camaño Nelli, G; Dasso, C. M. 2005. Lluvias de diseño, Conceptos, técnicas y experiencias. Editorial Científica Universitaria Universitas.
- Cisneros, J. 2012. Erosión Hídrica, Principios y Técnicas de Manejo. 1ra edición. UniRío Editora. Río Cuarto.
- Cruz Meléndez, E. 2008. Estación total aplicada al levantamiento topográfico de una comunidad rural. Escuela superior de Ingeniería y Arquitectura U.P. Zacatenco. México D.F.
- Esmoriz, G; Vettorello, C. I. 2012/2013. Selección de indicadores de calidad de suelo en un área piloto de la región central de la provincia de Córdoba. Informe de proyecto SeCyT "B" – UNC. Córdoba.
- EVANS, T. E. 1971. Hydrological Report. Parte I y II. UNDP-FAO-INTA Arg/26. Paraná. (Evans 1971)
- FAO. 1995. Manual de prácticas integradas de manejo y conservación de suelos. Boletín de tierras y aguas de la FAO. Ibadán, Nigeria.
- Gaspari, F. J. 2009. Manual de manejo integrado de cuencas hidrográficas. Primera edición. La Plata.
- Hudson N. 1982. Conservación del suelo. Ed Reverte. Barcelona.
- Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. 1987. Córdoba. Carta de suelos de la República Argentina, Hoja 3163-26 Villa del Rosario.
- MARELLI, H.J; LATTANZI, A; DIAZ, R; WEIR, E. 1983. Técnicas de conservación de suelo. Prácticas Conservacionistas para el sector este de la cuenca del río Carcarañá. Información para extensión. Serie: Suelos y Agroclimatología Nº3. INTA EERA. Marcos Juárez.
- Meyer Paz, R; Rambaldi, A. N; Tartara E. L. 1985. Método de Planificación por objetivos, Campo experimental de la facultad de Ciencias Agropecuarias. Departamento de Economía y Sociología Rural. Administración rural. F.C.A.- U.N.C.
- Ministerio de Transporte y Comunicación. 2010. Manual de hidrología, hidráulica y drenaje. Perú.
- Paruelo, J. M; Guerschman, J. P; Veron, S. R. 2005. Expansión agrícola y cambio en el uso de suelo. Facultad de Agronomía, U.B.A. Volumen 15. Nº 87.
- Ponce, V. M. 1989. "Engineering Hydrology". Editorial Prentice Hall. Capítulo 13.
- Serenó, R. 1997. Manual de control de erosión hídrica. Programa de evaluación y control de la erosión hídrica. Secretaría de Ciencias y Técnica. Universidad Nacional de Córdoba.
- Servicio de conservación de suelo (SCS). 1984. Departamento de agricultura de EUA. Manual de conservación de suelos. Ed. Limusa SA. México.
- 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.