

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

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

**EVALUACION DE LA EROSION HIDRICA EN LA SUBCUENCA LA COLACHA  
DEL ARROYO SANTA CATALINA (CORDOBA)**

**ALUMNO: MARTIN COASSOLO  
DIRECTOR: ING. AGR. MSC JOSE MANUEL CISNEROS  
CODIRECTOR: ING. AGR. MSC. MIGUEL ANGEL REYNERO**

***RIO CUARTO, Córdoba***

***OCTUBRE DE 2007***

## **CERTIFICADO DE APROBACIÓN**

*EVALUACION DE LA EROSION HIDRICA EN LA SUBCUENCA LA  
COLACHA DEL ARROYO SANTA CATALINA (CORDOBA)*

**ALUMNO: MARTIN COASSOLO**

**D.N.I.**

**DIRECTOR: ING. AGR. MSC JOSE MANUEL CISNEROS**

**CODIRECTOR: ING. AGR. MSC. MIGUEL ANGEL REYNERO**

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

**ING. AGR. DR. RAUL CRESPI** \_\_\_\_\_

**ING. AGR. DR. HECTOR PAGLIARICCI** \_\_\_\_\_

**ING. AGR. DR. AMERICO DEGIOANNI** \_\_\_\_\_

**Fecha de Presentación:** \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_.

**Aprobado por Secretaría Académica:** \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_.

\_\_\_\_\_  
**Secretario Académico**

## INDICE GENERAL

I. INTRODUCCIÓN .....	7
II. ANTECEDENTES.....	11
II.1. Geomorfología, geología .....	11
II.2. Clima.....	11
II.3. Procesos de erosión.....	12
II.4. Proyectos de ordenamiento de tierras.....	15
III. HIPÓESIS .....	16
IV. OBJETIVOS.....	16
IV.1. Objetivo general: .....	16
IV.2. Objetivos específicos: .....	16
V. MATERIALES Y METODOS .....	18
V.1. Área de estudio.....	18
V.2. Cambios en el uso de la tierra.....	18
V.3. Evaluación de la erosión en cárcavas .....	19
V.4. Evaluación de la erosión laminar y en surcos .....	20
V.5. Hidrología superficial .....	21
VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	25
VI.1. Cambios en el uso de la tierra.....	25
VI.2. Estimación de la erosión laminar y en surcos .....	26
VI.3. Erosión en cárcavas.....	34
VI.4. Pérdida de suelo y producción de sedimentos global de la cuenca	38
VI.5. Estimación de caudales pico de las cuencas.....	39
VII. CONCLUSIONES.....	47
VIII. BIBLIOGRAFIA.....	49

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Localización de la cuenca del arroyo La Colacha en el sudeste de Córdoba. ....	18
Figura 2: Producción de sedimentos in situ en Mg/ha/año en labranza convencional y reducida para los años 1986 y 2004. ....	30
Figura 3: Pérdida de suelo en Mg/ha/año para los tres tipos de labranza en cuatro escenarios. Año 1986. ....	31
Figura 4: Pérdida de suelo en Mg/ha/año para los tres tipos de labranza en cuatro escenarios. Año 2004. ....	32
Figura 5: Pérdida de suelo en t/ha/año para las labranzas convencional, mínima y 50% de la superficie convencional y 50% directa, en cuatro escenarios diferentes. Año 2004. ....	33
Figura 6: Pérdida de suelo dadas en toda la extensión de la cuenca, en t/año, para las labranzas convencional, mínima y 50% de la superficie convencional y 50% directa, en cuatro escenarios diferentes. Año 2004. ....	34
Figura 7: Principales focos activos de erosión en cárcavas de la cuenca del arroyo La Colacha. ....	35
Figura 8: Delimitación de cuencas y subcuencas del sistema hídrico La Colacha. ....	41
Figura 9: Distribución del caudal de la totalidad de la cuenca en el tiempo para condiciones de suelo tradicionales (CN 74). ....	45
Figura 10: Comparación de la distribución del caudal en el tiempo entre situación actual (CN 74) y situaciones extremas (CN 68 y 78). ....	46

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Porcentaje de uso de las tierras para los años 1986 y 2004 en la cuenca La Colacha (Departamento Río Cuarto). .....	25
Tabla 2: Datos climáticos para la estimación del valor R en la cuenca La Colacha. ....	26
Tabla 3: Datos de perfil para le estimación del factor K. ....	27
Tabla 4: Descripción del factor C para para la cuenca La Colacha para los años 1986 y 2004. ....	28
Tabla 5: Tasa de pérdida de suelo en Mg/ha/año en labranza convencional y reducida para los años 1986 y 2004. ....	29
Tabla 6: Producción de sedimentos estimada para toda la cuenca La Colacha (Mg/ha/año) en labranza convencional y reducida para los años 1986 y 2004..	30
Tabla 7: Pérdida de suelo en Mg/ha/año para los tres tipos de labranza con cuatro escenarios de prácticas de conservación en la cuenca del arroyo La Colacha. Año1986. ....	31
Tabla 8: Pérdida de suelo en Mg/ha/año para los tres tipos de labranza con cuatro escenarios de prácticas de conservación en la cuenca del arroyo La Colacha. Año2004. ....	32
Tabla 9: Pérdida de suelo en t/ha/año para las labranzas convencional, mínima y 50% de la superficie convencional y 50% directa, en cuatro escenarios diferentes. Año 2004. ....	33
Tabla 10: Pérdida de suelo en toda la extensión de la cuenca (Mg/año), para las labranzas convencional, mínima y 50% de la superficie convencional y 50% directa, en cuatro escenarios diferentes de prácticas de conservación. Año 2004. ....	33
Tabla 11: Precipitaciones pluviales totales de las lluvias de 24 horas igual o mayor de 12,7 mm para los años 1974 a 1996 predio determinado y base anual promedio, en mm. ....	36
Tabla 12: Estimación del avance anual promedio de las cabeceras de cárcavas, área de desagüe por encima de las mismas y pérdida de suelo como consecuencia de la erosión en cárcavas.....	37
Tabla 13: Producción de sedimentos para la cuenca La Colacha para las condiciones de uso del suelo de 1986 y 2004.....	38
Tabla 14: Obtención de la CN de la cuenca La Colacha para la condición del año 1986.....	39
Tabla 15: Obtención de la CN de la cuenca La Colacha para la condición de manejo actual (2004). ....	39
Tabla 16: Caracterización hidrológica de la cuenca La Colacha (subcuencas en Figura 9).....	42
Tabla 17: Parámetros utilizados para la obtención de la velocidad de los cursos longitudes de los cauces y tiempos de retardo (Lag) de los ríos.....	43

Tabla 18: Estimación de caudales pico para las simulaciones con CN tradicional (74) y extremas (68 y 78) de las diferentes subcuencas que conforman la cuenca "La Colacha".	44
Tabla 19: Distribución del caudal de la totalidad de la cuenca La Colacha en el tiempo para condiciones de suelo actuales (CN 74).	45
Tabla 20: Comparación de la distribución del caudal en el tiempo entre situación tradicional (CN 74) y situaciones extremas (CN 68 y 78).	46

## RESUMEN

La región pampeana en general y la región de influencia de la UNRC en particular vienen sufriendo una creciente presión de uso de sus tierras. Uno de los principales impactos ambientales de la intensificación agrícola es el aumento en las tasas de erosión hídrica, en especial de las cuencas agrícolas onduladas del Oeste de la región. El trabajo se desarrolló en la cuenca del arroyo La Colacha (20.000 ha), tributario del arroyo Santa Catalina.

El objetivo planteado es evaluar la erosión hídrica en una subcuenca representativa del arroyo Santa Catalina, bajo la hipótesis de que los cambios de uso de la tierra durante los últimos 30 años intensificaron la erosión laminar y en cárcavas en la subcuenca.

Los cambios en el uso del suelo se evaluaron mediante análisis de censos, la erosión en cárcavas se evaluó mediante un modelo del SCS, la erosión laminar y en surcos se estimó mediante el modelo RUSLE2. Se definieron cuencas y subcuencas para el cálculo hidrológico mediante el procedimiento HEC-HMS, utilizando el método de la Curva Número del SCS.

Los resultados muestran un incremento en la ocupación de suelo por soja del 36 % en reemplazo de pasturas y verdeos invernales entre el año 1986 y el 2004. La erosión en surcos y laminar se incrementó en aproximadamente un 5 %, al igual que la tasa de producción de sedimentos. Esta última se estimó en el orden de entre 200 a 300.000 Mg/año. La erosión en cárcavas estimada estuvo en el orden de 38.000 Mg/año.

Se concluye sobre la necesidad de adopción masiva de prácticas de conservación de suelos y aguas que permitan mitigar los efectos negativos del cambio de uso en los próximos años.

## SUMMARY

Pampean region come to a increasing intensification of soil use. This soil use changes with agricultural intensification induce environmental impacts such as increase soil erosion, in special in rolling basins of western region of Río Cuarto. This work is Developer in La Colacha basin (20.000 ha), a stream of Santa Catalina River. El objetivo planteado es evaluar la erosión hídrica en una subcuenca representativa del arroyo Santa Catalina, bajo la hipótesis de que los cambios de uso de la tierra durante los últimos 30 años intensificaron la erosión laminar y en cárcavas en la subcuenca.

Los cambios en el uso del suelo se evaluaron mediante análisis de censos, la erosión en cárcavas se evaluó mediante un modelo del SCS, la erosión laminar y en surcos se estimó mediante el modelo RUSLE2. Se definieron cuencas y subcuencas para el cálculo hidrológico mediante el procedimiento HEC-HMS, utilizando el método de la Curva Número del SCS.

Los resultados muestran un incremento en la ocupación de suelo por soja del 36 % en reemplazo de pasturas y verdeos invernales entre el año 1986 y el 2004. La erosión en surcos y laminar se incrementó en aproximadamente un 5 %, al igual que la tasa de producción de sedimentos. Esta última se estimó en el orden de entre 200 a 300.000 Mg/año. La erosión en cárcavas estimada estuvo en el orden de 38.000 Mg/año.

Se concluye sobre la necesidad de adopción masiva de prácticas de conservación de suelos y aguas que permitan mitigar los efectos negativos del cambio de uso en los próximos años.



## INTRODUCCIÓN

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

En las últimas tres décadas las tierras agrícolas del país sufrieron una extraordinaria transformación de su actividad productiva, caracterizada por un gran aumento de la producción, adopción de paquetes tecnológicos como la soja RG y la siembra directa, desarrollo de nuevas formas organizativas de la producción y un acelerado proceso de agriculturización, que en la región pampeana y extrapampeana desplazó alrededor de 5.000.000 de hectáreas de uso ganadero a la agricultura (Casas, 1998).

Las relaciones entre la degradación de los recursos naturales de un área y sus posibilidades de desarrollo sostenido son objeto de intenso debate, las diferentes posturas responden a paradigmas que fluctúan entre la economía de fronteras (en la que se basa la agricultura industrial), pasando al de ecología profunda (base de los sistemas orgánicos), hasta los basados en el concepto de eco-desarrollo o Desarrollo Sustentable, que intenta un mejor diálogo entre economía y ecología (Colby, 1989).

La región pampeana en general y la región de influencia de la UNRC en particular vienen sufriendo una creciente presión de uso de sus tierras, basadas en un estilo de desarrollo fuertemente influido por el primer tipo de paradigma (Panigatti y Viglizzo, 1995, Cisneros et al. 2001).

El área de estudio de este trabajo, la cuenca del arroyo La Colacha, pertenecía a un inmenso latifundio ganadero hasta mediados del siglo XX, momento en el que se produce una gran subdivisión de la tierra con la colonización del sector y la incorporación de la agricultura invernal (trigo, lino, avena y centeno) que es reemplazada paulatinamente por agricultura estival (maíz, maní, girasol y soja).

Actualmente el uso de la tierra es agrícola-ganadero con fluctuaciones dependientes del mercado internacional (Becker et al., 2002). Estos profundos cambios en la productividad del trabajo agrícola generaron, como consecuencia, la

eliminación de alrededor de 90.000 productores del área pampeana, correspondiendo, en Córdoba, al 36% de los empresarios rurales (CNA, 2002).

Uno de los principales impactos ambientales de la intensificación agrícola es el aumento en las tasas de erosión hídrica, y la degradación de las propiedades fundamentales de los suelos.

En la actualidad, la distribución de la erosión edáfica a lo largo del año y alrededor del mundo sólo pueden explicarse parcialmente, pero la explicación contribuye a definir los problemas más urgentes que afronta la conservación de suelos en diversos ambientes (Kirkby y Morgan, 1991).

La importancia de las pérdidas de suelo superficial por erosión es superior a lo que representa el espesor de suelo perdido, porque lo que se lleva el agua es la mejor parte del suelo. Lo que se pierde, es la porción superior del suelo (horizonte A) que es la zona de mejores propiedades físicas y de mayor concentración de algunos elementos importantes (Casas, 1998).

Los canales superficiales formados cuando los surcos de erosión (o arroyuelos) se combinan y se desarrollan hasta el grado de que no pueden ser eliminados por las operaciones normales de labranza, se definen como cárcavas. Las cárcavas son por lo general canales profundos y de paredes empinadas que se encuentran en las tierras altas y comúnmente se presentan en áreas con subsuelos profundos y frágiles (Kirkby y Morgan, 1991).

Este trabajo de tesis tiene por objetivo verificar si el cambio de uso de las tierras en la cuenca La Colacha tuvo efecto directo sobre la erosión laminar y en cárcavas y sobre la producción de escorrentía.

El mismo se desarrolló en el marco del Programa de investigación “Bases para la gestión sustentable de las tierras del sur de Córdoba” subsidiado por SECYT UNRC y aportes de convenio con la Dirección de Agua y Saneamiento de la Provincia de Córdoba (DIPAS).

## I. ANTECEDENTES

### I.1. Geomorfología, geología

La cuenca del arroyo La Colacha, tributario del arroyo Santa Catalina en su cuenca alta, está conformada por dos grandes unidades geomorfológicas: pedemonte y llanuras onduladas (Cantero et al., 1998). El pedemonte se caracteriza por ser la base del ambiente serrano, de origen tectónico y relieve fuertemente ondulado. Las llanuras fuertemente onduladas, ubicadas hacia el este de la unidad anterior, se caracterizan por un relieve más suave, con suelos más profundos y procesos geomórficos relativamente intensos de erosión hídrica.

Los suelos de la cuenca se desarrollan sobre materiales loessicos franco arenosos muy finos, y pertenecen a los subgrupos Haplustoles/Hapludoles típicos y énticos en lomas y laderas, hasta Argiudoles típicos y cumúlicos en los sectores más cóncavos y planos bajos (Cantero et al, 1986). Toda la cuenca está surcada por ríos y arroyos que nacen en la región serrana a los que se suman otros originados en depresiones tectónicas de la llanura.

Desde mediados del siglo pasado estas tierras sufrieron una total sustitución de la vegetación natural del Espinal por cultivos, primero trigo, luego por maíz y en la última década por soja y maní, lo cual contribuyó a la intensificación de la erosión laminar y en cárcavas, degradación física, química y biológica del suelo (Cisneros et al., 1997a, 2004; 2006).

### I.2. Clima

Cantero et al. (1986), definieron al clima de la zona como subhúmedo con estación seca. El clima es templado húmedo con una estación seca muy marcada y las precipitaciones concentradas en primavera-verano (81%), y con tormentas que alcanzan intensidades de más de 100 mm/h. La precipitación media es de 909 mm (Becker et al., 2002).

La región presenta un régimen climático con tendencia al incremento de las precipitaciones hacia las sierras, y una intensidad y erosividad de las mismas en

primavera-verano que provoca un incremento de los volúmenes de escurrimiento y constituye un alto riesgo de erosión que favorece la degradación de los suelos por erosión hídrica (Cantú et al., 2000).

Actualmente existen registros sistemáticos de precipitaciones en la estación experimental “La Aguada”, de la UNRC, con los cuales es posible realizar distintos tipos de estimaciones (Cátedra de Agroclimatología UNRC, 2003).

El incremento marcado de las lluvias a partir del ciclo Niño de 1997-98 (de hasta 200 mm en las medias históricas), se considera como uno de los factores que incidió en la intensificación del uso del suelo (INTA, 2003b), junto con las relaciones económicas de precios relativos y la aparición de nuevas tecnologías (paquete tecnológico siembra directa - soja RG).

### **I.3. Procesos de erosión**

Casas (1998) define la erosión como un proceso físico por el cual el suelo mismo o alguna de sus partes componentes (arena, limo, arcilla o materia orgánica) son removidas o aflojadas, transportadas por el agua o por el viento y por último depositadas en otro lugar. También, este autor afirma que el desmonte de áreas boscosas sin reponer la cobertura, el sobrepastoreo, el excesivo laboreo del suelo y la quema de restos vegetales son entre otras prácticas, las que causan más erosión.

La erosión de los suelos es un tema preocupante. Un 20% de la superficie utilizada con fines agrícola en Argentina sufre síntomas de erosión que van de moderadas a severas, teniendo tanto la erosión eólica como la hídrica una incidencia más o menos equivalente (Prego, 1988). La región pampeana aparece especialmente expuesta a problemas de erosión debido a un cambio en los patrones de uso de la tierra ocurrida entre las décadas de 1960 y 1990 (Pizarro y Cascardo, 1991).

Existen algunos criterios (Agriculture and Agri-Food Canada, 2000), actualmente en uso, que tienden a clasificar el nivel de riesgo de erosión hídrica en 5 categorías: tolerable (menos de  $6 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$  de sedimentos), bajo ( $6\text{-}11 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$ ), moderado ( $11\text{-}22 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$ ), alto ( $22\text{-}33 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$ ), y severo (más de  $33 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$ ).

Uno de los primeros estudios de la erosión en cárcavas fue obra de Woodburn (1949) en la región central norte de Mississippi, y concluyó que la erosión en cárcavas en esa región podría estimarse en aproximadamente 0,0126 mm de pérdida de suelo por m<sup>2</sup> de área superficial activa de cárcavas por año. (Kirkby y Morgan, 1991)

Piest et al. (1976) hicieron notar que la erosión de los conductos de drenaje en la región de loess de la parte central de los Estados Unidos ha aumentado durante las últimas décadas, y estimaron tasas anuales de erosión de 0,45 kg/m<sup>2</sup> debido a la degradación del canal. La erosión de los conductos de drenaje y en las cárcavas representaba aproximadamente el 50 por ciento de la erosión total de la cuenca acuífera (Kirkby y Morgan, 1991).

En Argentina, en 1957 el ex Instituto de Suelos y Agrotecnia estimó una erosión hídrica, considerando todos sus grados de intensidad, de 18.300.000 ha. Tres décadas después, FECIC (1988) informó que la superficie con esta problemática había ascendido a 25.000.000 de ha. Esto indica que el incremento en esos 30 años fue de 6.700.000 ha. Así la superficie afectada por erosión hídrica hasta esa fecha en el país creció a un ritmo de 223.000 ha por año. Los datos arrojados en ese mismo año para la Provincia de Córdoba fueron de 1.100.000 ha., un 7% del total.

A partir de la década del 70, con el comienzo de la siembra de soja, se inició una fuerte expansión del sector agrario en su faz primaria, acompañada por el desarrollo de la actividad industrial. En los últimos 35 años, la superficie sembrada con oleaginosas ha pasado de 2.900.000 de hectáreas en la campaña 1970/1971 a 16.700.000 hectáreas en la última campaña; este proceso fue liderado por el complejo sojero, representando hoy el 90% de la superficie sembrada con oleaginosas. En tanto, la de cereales, que compite con las oleaginosas por el uso del suelo, cayó de 16.700.000 hectáreas a 8.000.000 en el mismo período (SAGPYA, 2005)

Con la aparición de un paquete tecnológico basado en la siembra directa, el uso casi exclusivo de glifosato para el control de malezas en variedades de soja RG, el incremento en el uso de fertilizantes y la presencia de un ciclo húmedo en el centro-oeste pampeano, hicieron que entre 1990 y 2002 más de 5.000.000 de ha fueran incorporadas a la producción agrícola y, de persistir el actual ciclo húmedo, es de

esperar una tendencia creciente, en especial hacia el Norte y Oeste de la región Pampeana (CEPAL, 2005).

En nuestra región, la tecnología de las sojas RG tuvo una incidencia superior al resto de la región pampeana ya que produjo el reemplazo no solo de la ganadería en todas sus formas, sino de los cultivos de alta producción de materia seca como sorgo y maíz. Un elemento adicional en la intensificación agrícola lo constituye el desplazamiento del cultivo de maní hacia el sur, este y oeste de la provincia (Cisneros et al., 2003).

Para la reducción de las pérdidas de suelo, Viglizzo et al. (2002), cita las principales prácticas y herramientas de probada eficacia que permiten reducir considerablemente el riesgo de erosión en los suelos tales como: siembra directa, distintas variantes de labranza reducida adecuadas a diferentes ambientes y tipos de suelo, labranza perpendicular a las pendientes, reducción de la profundidad y velocidad de labranza, cultivos en curvas de nivel, cultivos en fajas, entre otros.

Cisneros et al. (1997a) estudiaron los efectos del uso agrícola sobre las propiedades físicas de suelos agrícolas Haplustoles típicos del centro de la provincia de Córdoba en contraste con una situación de no uso, observando un nivel de deterioro próximo al máximo posible, para propiedades como infiltración, densidad aparente y conductividad hidráulica.

La evaluación de la pérdida de suelo por erosión hídrica en la región pedemontana en el suroeste de la provincia de Córdoba, mostró que existe una vinculación entre las propiedades físicas y biológicas con los procesos de degradación de suelo por erosión hídrica. (Becker et al., 2002). Estos investigadores estudiaron la erosión hídrica laminar en relación con la degradación de suelos en el suroeste de la provincia de Córdoba concluyendo que la mayor pérdida de suelo se vincula principalmente con la densidad aparente, el gradiente de la pendiente y la distribución de agregados estables al agua.

Cantero et al. (1986) realizaron una caracterización en cuanto a clima, fisiografía, hidrografía y suelos del departamento Río Cuarto. En ella se definieron unidades cartográficas homogéneas (catastrales) y se desarrolló un índice de valor indicativo de la aptitud relativa de las tierras.

Degioanni (1999) caracterizó los usos posibles de la tierra en la región en estudio, definiendo territorialmente los más adecuados para un desarrollo sustentable de la zona.

La cuenca del arroyo La Colacha se encuentra dentro de la pedanía San Bartolomé donde están representadas dos unidades cartográficas o complejos de suelos, Co-6 abarcando el 40% del área total, íntimamente vinculada a la red de drenaje, y la porción restante, MJtc-7, circundando la anterior (INTA, 2003a)

La erosión hídrica ha provocado graves daños a la infraestructura de caminos y puentes en la región. Blarasin et al. (1994) y Cisneros et al. (1997b) localizaron y caracterizaron los sitios con erosión actual y potencial en el área de estudio y concluyeron sobre la fragilidad de la infraestructura regional.

Un trabajo reciente (Cisneros et al., 2006) evaluó el funcionamiento de técnicas de control de erosión en cárcavas, en el área de estudio, concluyendo sobre la fragilidad de los materiales de suelos, y la importancia de los abordajes bioingenieriles para el control de los procesos erosivos en cárcavas.

En cuanto a la legislación relacionada a la prevención de la degradación, la conservación y control de la capacidad productiva de los suelos, la prevención de todo proceso de degradación, la recuperación de los suelos degradados y la promoción de la educación conservacionista del suelo, se declaran de orden público en todo el territorio de la Provincia de Córdoba. (Senado y Cámara de Diputados de la Provincia de Córdoba, Ley 8936/2001).

#### **I.4. Proyectos de ordenamiento de tierras**

En la cuenca en estudio se desarrollaron diversos proyectos de ordenamiento de cuencas en el marco de la Ley Nacional 22428/81, a partir de la formación de Consorcios de Conservación de Suelos entre los años 1983 y 1986, y la cuenca en estudio forma parte del primer Distrito de Conservación de Suelos de la Provincia de Córdoba, creado en 1983.

Entre 1988 y 1998 en la Universidad se desarrolló un Programa de Manejo Integrado de Tierras y Aguas para el Sur de la Provincia de Córdoba (Cantero et al., 1988), el cual es objeto de permanentes actualizaciones. En él se han definido 29 unidades de tierras y cuencas, sus características y las principales estrategias y métodos de ordenamiento. A un nivel más detallado se han realizado estudios para

cuenca serranas, mal drenadas y para el área media del río Quinto (Cisneros et al., 2001).

La DIPAS conjuntamente con el Ministerio de Economía y Obras Públicas de la Nación, están llevando adelante el Plan Nacional de Control de Inundaciones (Subsecretaría de Recursos Hídricos, 2004), que tiene prevista la construcción de 9 presas, dos sobre el arroyo Cipión, otro tributario del arroyo Santa Catalina de cuya cuenca forma parte el presente estudio.

En este sentido el presente trabajo de tesis pretende aportar conocimientos para la caracterización hidrológica y sedimentológica de la cuenca, para mejorar el diseño y contribuir a la vida útil de dichas presas.

## II. HIPÓTESIS

Los cambios de uso de la tierra durante los últimos 30 años intensificaron la erosión laminar y en cárcavas en la subcuenca La Colacha del Arroyo Santa Catalina (Córdoba).

## III. OBJETIVOS

### III.1. Objetivo general:

Evaluar la erosión hídrica en una subcuenca representativa del arroyo Santa Catalina.

### III.2. Objetivos específicos:

IV.2.1. Estimar el avance de la erosión en cárcavas en los últimos treinta años.

IV.2.2. Estimar la erosión laminar y en surcos mediante modelos de simulación.

IV.2.3. Estimar los cambios en el potencial de escurrimiento de la cuenca (lámina escurrida y caudal pico).

IV.2.4. Evaluar el cambio de uso de la tierra y su influencia en los procesos anteriores.





## IV. MATERIALES Y METODOS

### IV.1. Área de estudio

La cuenca en estudio corresponde al arroyo La Colacha, y se encuentra ubicada entre los 32° 55' y 33° 55' latitud sur y 62° 30' y 65° 05' de longitud oeste, entre las localidades de Cuatro Vientos, La Aguada, Rodeo Viejo y La Barranquita, ocupando una superficie de aproximadamente 20.000 ha (Figura 1).

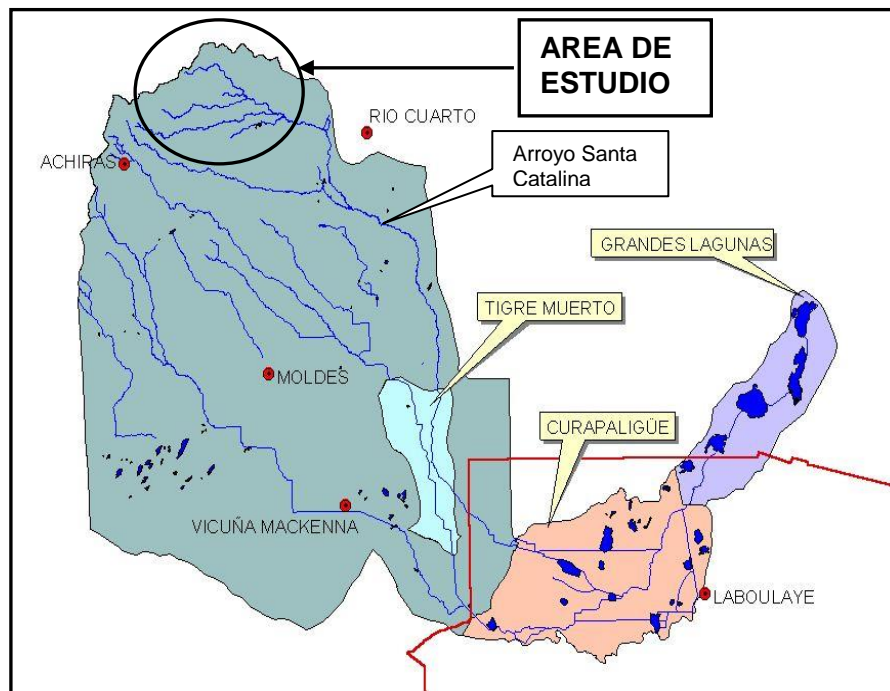


Figura 1: Localización de la cuenca del arroyo La Colacha en el sudeste de Córdoba.

### IV.2. Cambios en el uso de la tierra

Por razones de disponibilidad y confiabilidad se decidió trabajar con datos del Censo Nacional Agropecuario de los años 1986 y 1999 (SAGyRR, 1986 y SAyG 1999) los que permiten estimar, a nivel de pedanías, los usos actuales de las tierras. Dicha información se complementó con recorridos de campo en la cuenca para estimar los usos al año 2006, y se recurrió a informantes calificados para corroborar la certeza de los datos.

Con estos datos se plantearon escenarios posibles para cada fecha como los diferentes sistemas de labranza (convencional, mínima y directa) combinados o no

con posibles técnicas de manejo (siembras o cultivo en contorno, fajas empastadas y terrazas). En el caso 1986 la variable “siembra directa” no se utilizó ya que en ese entonces aún no se había adoptado esta práctica en nuestro país, en una superficie significativa.

Con la información recogida se estimaron los parámetros de los modelos de pérdida de suelo y agua, para con estos, apreciar el impacto del cambio de uso sobre los procesos erosivos.

### **IV.3. Evaluación de la erosión en cárcavas**

La erosión en cárcavas se estimó mediante el método del Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos (citado por Kirby y Morgan, 1991) que estima el avance anual promedio de la cabecera de una cárcava mediante la siguiente expresión:

$$R = (5.25 * 10^{-3}) * A^{0.46} * P^{0.20}$$

donde:

$R$  = Avance anual promedio de la cabeza de la cárcava, en m

$A$  = área de desagüe por encima de la cabeza de la cárcava, en m<sup>2</sup>, y

$P$  = la precipitación pluvial total de las lluvias de 24 horas igual o mayor de 12,7 mm para un predio determinado, convertida a una base anual promedio, en mm.

Los valores de  $A$  fueron obtenidos con el método de la cuadrícula y verificados con el software SIG Arcview.

Para obtener  $P$  se utilizaron series de lluvias de los años 1974 a 1996 de la estación meteorológica La Aguada (Cátedra de Agrometeorología UNRC, 2004) y se promediaron los resultados provenientes de la sumatoria de precipitaciones diarias mayores a 12,7 mm para cada año.

Obtenidos los valores de  $R$  para las cabeceras de cárcavas identificadas, se estimó la superficie abarcada por la sección transversal de un canal representativo de la cuenca. El producto resultante de ambas cifras y el Peso Específico Aparente (PEA) dan toneladas anuales de suelo perdidas como consecuencia del avance de la cabecera de la cárcava, según:

$$PAS = R * S * PEA$$

donde:

$PAS$  = Pérdida Anual de Suelo, en t/año,

$R$  = avance anual promedio de la cabeza de la cárcava, en m,

$S$  = superficie abarcada por la sección transversal de un canal representativo de la cuenca, en  $m^2$ , y

$PEA$  = Peso Específico Aparente del suelo del lugar, en  $Mg/m^3$ .

Como valor de  $S$  se consideró una sección transversal de  $30 m^2$  (10 m de base y 3m de profundidad), y al  $PEA$  se le dio un valor de  $1,30 Mg/m^3$ .

Luego, para conocer las pérdidas de suelo por avance de una cabecera de cárcava en varios años, se multiplica la  $PAS$  por la cantidad de años en cuestión.

#### **IV.4. Evaluación de la erosión laminar y en surcos**

La pérdida de suelo promedio anual se estimó mediante el modelo de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo Revisada (RUSLE 2, USDA-ARS, 2003) se trabajó a nivel de los tipos de tierras y usos más importantes. Este software arroja entre otros, datos de suelo desprendido (sedimentos generados in situ) y de sedimento perdido (sedimento que alcanza los cauces y se pierde). El modelo RUSLE se basa en la siguiente expresión:

$$A = R . K . L . S . C . P$$

en donde:

$A$ = pérdida promedio anual de suelo ( $Mg/ha/año$ ) para una rotación,

$R$ = factor de erosividad por precipitación pluvial,

$K$ = factor de erodabilidad del suelo,

$L$ = factor de longitud de pendiente,

$S$ = factor de gradiente de pendiente,

$C$ = factor de cobertura y manejo de cosecha.

$P$ = factor de métodos de control de erosión.

Para definir el factor  $R$ , se utilizó la estimación realizada por de Prada (2004), en base a precipitaciones de La Aguada.

Para el factor K, se utilizaron las características de los perfiles 45 y 13 representando el 60% y 40% de la superficie total de la cuenca respectivamente (INTA, 2003), definiéndose un valor de  $K=0,054$ .

Como valor de S se tomó un valor promedio de 1 % de pendiente y una longitud fija de 305 m.

El factor C se utilizó tomando los datos de una rotación media del año 1986 y otra de la actualidad, a fin de detectar cuáles fueron los cambios debidos a este factor. Para el año 1986 se consideró que el sistema de laboreo predominante era el tradicional, y para la actualidad se consideró un 50 % de la superficie con siembra directa.

No se consideraron prácticas de conservación de suelos para la estimación, ya que es prácticamente inexistente este tipo de práctica en la cuenca.

En una segunda etapa se modelaron las pérdidas de suelo aplicando diferentes prácticas de conservación tales como siembras en contorno, fajas filtro al 10% y, lo que prácticamente serían terrazas de absorción (pendiente de 0.1%) con desagüe al pie, una a una y en ese orden. El objetivo fue visualizar el grado de incidencia que cada una de estas prácticas tiene en el grado de conservación del suelo.

Para la estimación de la producción de sedimentos se utilizó el mismo modelo RUSLE, que ya trae incorporado un comando para la estimación de los sedimentos perdidos por año. Los mismos fueron integrados con los sedimentos perdidos por erosión en cárcavas, para la estimación de la producción total de sedimentos de la cuenca.

## **IV.5. Hidrología superficial**

### **V.5.1. Parámetros hidrológicos**

Se procedió a la definición de la red de desagüe, delimitación de la cuenca y subcuencas del arroyo La Colacha, para lo cual se utilizaron los siguientes materiales cartográficos:

- fotogramas (escala 1:20000),
- mosaicos aerofotográficos (escala 1:50000),
- planchetas del I.G.M. (escala 1:50000)

- imágenes satelitales LANDSAT TM (CONAE, 2005).

Con ellos se procedió a recabar y organizar la información acerca de pendientes (gradiente, longitud y dirección de flujo) y posible ubicación de cárcavas.

La información fue digitalizada y organizada en un SIG mediante el programa ArcView versión 3.3. (ESRI, 2005).

La información de uso del suelo fue utilizada para definir la curva número (CN, USDA, 1968), de la cuenca y estimar el potencial de escurrimiento.

#### V.5.2. Funcionamiento de la cuenca

Para evaluar el funcionamiento y poder erosivo de la cuenca es necesario conocer el tamaño y número de las subcuencas. Para tal efecto se identificaron tres subcuencas de funcionamiento independiente una de otra y se las nombró con los números romanos I, II y III. A su vez, cada una de estas fue subdividida en superficies de menor tamaño, que van de 300 a 1100 ha, e identificada con letra mayúscula como subíndice del número romano al cual corresponde. El método de individualización fue mediante el seguimiento de divisorias de aguas y curvas de nivel obtenidas de cartas topográficas del IGM (Escala 1:50.000).

#### V.5.3. Red de drenaje

Otro componente a localizar es la red de drenaje y caudales dirigidos a cárcavas, ya que la interacción de estos elementos darán mayor o menor susceptibilidad a la erosión (Schwab et al., 1992). Para hacerlo se utilizaron cartas topográficas del IGM escala 1:50.000 correspondientes a Las Albahacas (3366-18-3), La Aguada (3366-18-4), La Barranquita (3366-24-1) y Cuatro Vientos (3366-18-14).

#### V.5.4. Caudal pico

Para la modelación y estimación de caudales máximos de la cuenca se utilizó el Sistema de Modelación Hidrológica del Centro de Ingeniería Hidrológica del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de EE.UU., conocido por las siglas HEC-HMS (Hydrologic Engineering Center – Hydrologic Modeling System, 1995). Este modelo requiere la siguiente información:

- Superficie de cuencas: se utilizó el método de la cuadrícula y se verificaron los datos con el programa SIG Arcview, al igual que las longitudes de cada subcuenca y cauce.

- Curva Número: Los valores de Curva Número fueron extraídos del Apoyo didáctico Manejo de áreas sujetas a erosión hídrica (Cantero et al., 2002), para condiciones de humedad antecedente AMC II y ponderados según porcentaje de tierras destinadas a las diferentes producciones agrícolas. Se concluyó que la CN correspondiente a la situación actual es la de valor 74 y se la llamó “CN tradicional”. A su vez, y a fin de verificar y cuantificar la sensibilidad de este parámetro, se trabajó con otras dos CN extremas de valor superior (78), e inferior (68).

- Pendientes: se utilizaron planchetas del IGM escala 1:50.000 y regla milimétrica. Conociendo la distancia entre dos puntos (distancia en plancheta) y las respectivas cotas se procede el siguiente cálculo. Estos valores fueron chequeados con el comando Measure de Google Earth.

- Longitud de cada subcuenca y ríos o cauces: se implementó el mismo método que para cálculo de gradiente de pendientes.

- Grupo hidrológico de suelo: Por la descripción del perfil de las unidades antes mencionadas se concluye que pertenecen a la clase hidrológica B (INTA, 2003).

- Precipitaciones: Se utilizó una precipitación de 83 mm en 3 horas, correspondiente a una recurrencia de 25 años (González, 1999).

- Componentes del hidrograma (Schwab et al., 1992):

a. Tiempo de concentración: Se estimó en base al procedimiento propuesto por el SCS-USDA, según

$$TC = \{L^{0,8} \cdot [(1000/CN)-9]^{0,7} / (4407 \cdot P^{0,5})\}$$

donde:

TC= tiempo de concentración,

L= longitud de la subcuenca,

CN= curva número, y

P= pendiente.

b. Tiempo Lag: utilizado para estimar la forma de los hidrogramas, se toma como el 60% del Tiempo de Concentración.

c. Tiempo de retardo de ríos y cauces: Proviene del cociente entre longitud de los mismos y la velocidad alcanzada en el cauce o río, estimada a partir de la ecuación de Manning:

$$V = 1/n \cdot R^{2/3} \cdot S^{1/2}$$

siendo:

V= velocidad (m/seg),

n= coeficiente de rugosidad de Manning,

R= radio hidráulico (m), y

S= pendiente

Los resultados obtenidos se contrastaron con simulaciones con las CN extremas (CN=78 y CN=68) para poder apreciar el grado de sensibilidad del caudal pico ante estas variaciones.



## V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### V.1. Cambios en el uso de la tierra

La cuenca abarca aproximadamente el 70% de la pedanía San Bartolomé, perteneciendo el 30% restante a pedemonte y Sierra de Comechingones. Las unidades cartográficas que conforman el área de estudio son Co-6 y MJtc-7 (INTA, 2003). Se observan cambios significativos en el uso de la tierra cuando contrastamos la situación actual con otra de décadas anteriores (Tabla 1).

**Tabla 1: Porcentaje de uso de las tierras para los años 1986 y 2004 en la cuenca La Colacha (Departamento Río Cuarto).**

Tipo de uso o Cultivo	AÑO 1986	AÑO 2004	Cambio 86-04 (%)
	%	%	
Pasturas	46	20	-26
Verdeos invierno	18	10	-8
Soja	6	42	+36
Maíz	20	21	+1
Girasol	10	7	-3
<b>TOTAL</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>-</b>

Como puede observarse en los últimos 28 años la cantidad de tierras destinadas a pasturas y verdeos de invierno disminuyó a poco menos de la mitad. Entre otros factores, este cambio se debió a la aparición de la soja como alternativa de mayor rentabilidad, practicidad y plasticidad ecológica, la cual lidera hoy la ocupación de tierras, y ha reemplazado a las superficies ganaderas.

El maíz es un cultivo que se ha mantenido en la rotación, en particular debido a la tradición porcina de muchos establecimientos de la cuenca, mientras que el girasol es un cultivo poco difundido en las últimas campañas, al igual que sorgo, que prácticamente no se cultiva para cosecha.

## V.2. Estimación de la erosión laminar y en surcos

Los parámetros utilizados para la estimación de la erosión laminar y en surcos mediante el modelo RUSLE 2 son los siguientes:

### VI.2.1.- Factor R, erosividad del clima

Este parámetro toma en cuenta distribución y cantidad de precipitaciones y la intensidad máxima en 30 minutos con una recurrencia de 10 años. Para la zona se determinó un factor R de  $4050 \text{ Mj.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{año}^{-1}$ . La precipitación media anual utilizada fue de 800 mm. A continuación se presentan la tabla de datos con los que el programa RUSLE 2 llega al resultado de R.

**Tabla 2: Datos climáticos para la estimación del valor R en la cuenca La Colacha.**

<b>Clima Mensual</b>				
<b>Mes</b>	<b>Promedio de Temperaturas (°C)</b>	<b>Precipitación mensual (mm)</b>	<b>Distribución mensual de R</b>	<b>Densidad de erosión R/mm ppt</b>
Enero	23	130	650	4.87
Febrero	22	92	490	5.28
Marzo	20	97	490	5.01
Abril	16	92	240	2.64
Mayo	13	31	160	5.23
Junio	9.5	11	81	7.37
Julio	8.4	8.0	81	10.1
Agosto	11	13	81	6.23
Septiembre	13	27	160	6.00
Octubre	17	52	410	7.79
Noviembre	20	130	650	5.14
Diciembre	23	120	650	5.49
<b>TOTAL</b>	-	<b>800</b>	<b>4050</b>	-

### VI.2.2.- Factor K, erodabilidad de los suelos

Es necesaria la composición textural del perfil y la clase hidrológica a la cual pertenece para determinar el *factor de erodibilidad del suelo*,  $K$  ( $Mg.ha^{-1}.ha.h.Mj^{-1}mm^{-1}$ ). Ambos perfiles contienen suelos profundos, sin barreras físicas importantes y buenas características productivas, aunque susceptibles a la degradación física (encostramientos y pisos) y biológica (pérdida de material orgánico superficial).

**Tabla 3: Datos de perfil para le estimación del factor K.**

Perfil N° (*)	Textura	%Arcilla	%Limo	%Arena	Grupo Hidrológico	Perdida tolerable de suelo (Mg/ha/año)	Erodibilidad (K)
13	Franco	21	53	26	B	6.7	0.047
45	Franco arenoso	10	49	41	B	6.7	0.054

(\*) Tomados de INTA, 2003, Mapa de Suelos 1:500.000.

### VI.2.3.- Factor LS, longitud y gradiente de pendiente

Para la determinación del *factor de longitud de pendiente*,  $L$ , y *factor de gradiente pendiente*,  $S$ , se fijaron los valores de 305 metros y 1% respectivamente. El valor de 305 m es el máximo que permite el programa RUSLE 2, y la pendiente se tomó como la pendiente general de la cuenca, asumiendo que, con la información disponible, no es posible el trazado de mapas por pendiente, por lo que se optó por tomar un valor medio.

### VI.2.4.- Factor C, labranzas, manejo del cultivo y productividad

La rotación tipo, utilizada para el cálculo se tomó como la secuencia de cultivos y los rendimientos medios expresados en la Tabla 4, para ambos años, asignándole una ponderación por el número de años en la rotación, considerando 4 años para las pasturas, y un año para los cultivos anuales.

Las operaciones de labranza se consideraron como convencionales (LC) y reducidas (LR) para 1986, y para el año 2004 se consideró además en el cálculo la inclusión de la siembra directa (SD), una técnica fuertemente asociada a la soja. En la Tabla 4 se muestran las variables consideradas para la obtención del valor C.

**Tabla 4: Descripción del factor C para para la cuenca La Colacha para los años 1986 y 2004.**

Año 1986						
Cultivo	Producción (Mg/ha)	LC	LR	SD	LC y LR	LC y SD
Alfalfa en pastoreo continuo		si	no	no	no	no
Verdeo de invierno	2,3	si	no	no	no	no
Trigo	1,4	si	si	no	si	no
Soja						
Maíz	4,1	si	si	no	si	no
Girasol	1,7	si	si	no	si	no
Año 2004						
Cultivo	Producción (Mg/ha)	LC	LR	SD	LC y LR	LC y SD
Alfalfa en pastoreo continuo		si	no	no	no	no
Verdeo de invierno	2,3	si	no	no	no	no
Trigo	2,3	si	si	si	no	si
Soja	2,5	-	si	si	si	no
Maíz	6,0	si	si	si	no	si
Girasol	1,9	si	si	si	no	si

LC = laboreo convencional, LR = laboreo reducido, SD = siembra directa.

#### VI.2.5.- Factor P, técnicas de control de erosión

En el estado actual de manejo de las cuencas, la superficie bajo sistemas de conservación (terrazas, fajas, cultivos en contorno) es poco significativa, por lo no se tuvieron en cuenta en la estimación, asumiendo una pérdida de suelos sólo influidas por condiciones naturales y por la rotación y labranzas. En una segunda etapa de la modelación se toman en cuenta estas técnicas para analizar los escenarios con y sin adopción de técnicas mejoradas de manejo.

#### VI.2.6.- Pérdida de suelo estimada para cada situación (1986 y 2004).

Las estimaciones realizadas con el modelo RUSLE 2 indican una pérdida de suelo promedio de 8,94 y 9,42 Mg/ha/año entre los años 1986 y 2004 respectivamente, de acuerdo a los escenarios reales de uso del suelo de cada año considerado. Para el año 2004 se consideró 50% siembra directa y 50% convencional, y para 1986 labranza convencional en toda la extensión de la cuenca, teniendo en cuenta que la rotación estaba integrada con un 46% de pasturas

perennes. Se puede observar una diferencia entre ambas situaciones de un 5,4%, probablemente explicada por la sustitución del área pastoril de 1986 por el cultivo de soja en siembra directa en 2004.

Esto significa que el cambio de uso de las tierras incrementó la pérdida de suelo en 0,5 Mg/ha/año, en valores aun por encima de los mínimos tolerables, establecidos en 6,7 Mg/ha/año (USDA ARS, 2003).

#### **VI.2.8.- Producción de Sedimentos**

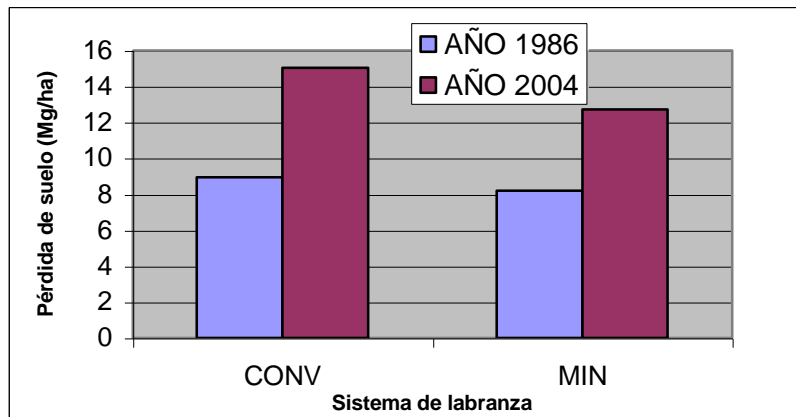
Al no practicarse técnicas de retención (terrazas, fajas) los valores de producción y pérdida de sedimentos son idénticos en cualquiera de los dos escenarios. En otras palabras, todo el sedimento producido se pierde, por lo cual, según esta metodología de estimación, la producción de sedimentos derivada a los cauces es similar a la pérdida de suelo.

No se hizo comparación entre años con siembra directa ya que para 1986 aún no se había adoptado este tipo de práctica cultural. No obstante en la Tabla 5 se indican los valores de pérdida de suelo asumiendo sólo los cambios en los sistemas de labranza. Aquí se puede observar una marcada diferencia entre años sobre la producción de sedimentos total debido al mayor porcentaje de pasturas perennes y ausencia del cultivo de soja.

Los resultados de la Tabla 5 y Figura 2 indican de que manera se incrementa la erosión potencial de los suelos sólo por el cambio de uso del suelo, y cual es la dimensión del efecto de adoptar prácticas de laboreo conservacionista. Tener en cuenta que estas estimaciones no consideran prácticas de manejo del relieve (cultivo en contorno, fajas y/o terrazas).

**Tabla 5: Tasa de pérdida de suelo en Mg/ha/año en labranza convencional y reducida para los años 1986 y 2004.**

<b>Sistema de siembra</b>	<b>Año 1986</b>	<b>Año 2004</b>	<b>Cambio 86-04</b>
Convencional	8,94	15,04	+68 %
Reducida	8,20	12,72	+55 %



**Figura 2: Producción de sedimentos in situ en Mg/ha/año en labranza convencional y reducida para los años 1986 y 2004.**

Según los criterios internacionales para clasificar el riesgo de erosión (Agriculture and Agri-food Canada, 2000), en las situaciones planteadas para el año 1986 el riesgo es bajo (6 a 11 Mg/ha/año), mientras que para la actualidad el riesgo se ha tornado moderado (11 a 22 Mg/ha/año).

Los resultados llevados a una estimación para toda la extensión de la cuenca (22.059 ha), muestran la magnitud de la producción de sedimentos en este otro nivel de escala de análisis (Tabla 6).

**Tabla 6: Producción de sedimentos estimada para toda la cuenca La Colacha (Mg/ha/año) en labranza convencional y reducida para los años 1986 y 2004.**

Sistema de siembra	Año 1986	Año 2004	Cambio 86-04
Convencional	197.119	331.679	+68 %
Reducida	180.786	280.753	+55 %

### VI.2.9. Producción de sedimentos y prácticas de conservación

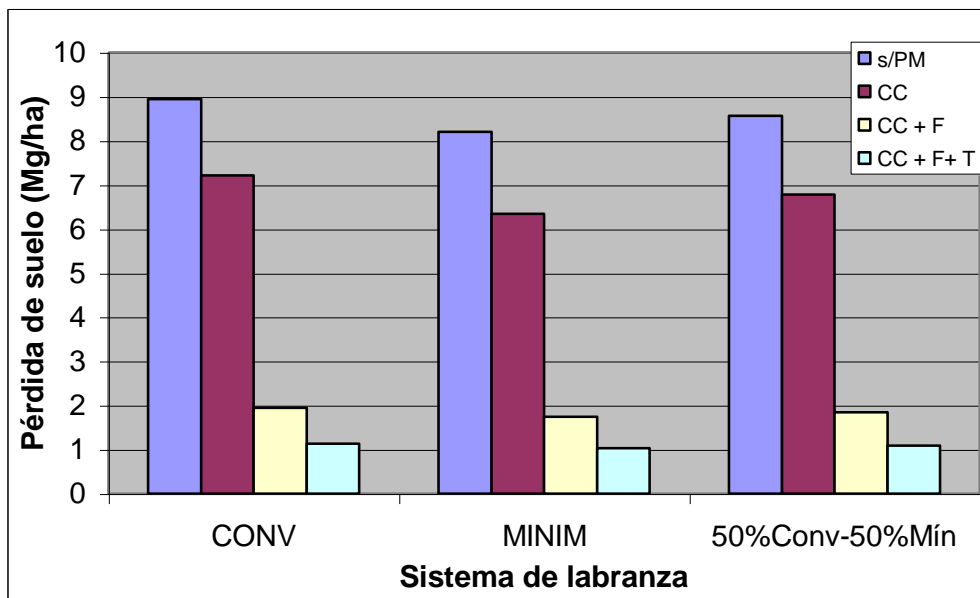
Existen técnicas de manejo como siembras en contorno, fajas empastadas y de terrazas de absorción o desagüe para evitar la pérdida de suelo de un sector determinado, impidiendo que el material en suspensión llegue a la red de drenaje y se pierda (Schwab et al., 1992; Morgan y Rickson, 1995).

En la Tabla 7 y Figura 3 se han estimado los efectos de dichas prácticas sobre la pérdida de suelo para las condiciones de uso del año 1986. Nótese que en labranza convencional sembrado a favor de la pendiente y sin técnicas de manejo

alguna, los sedimentos generados en un lugar salen en su totalidad del sistema (lote o cuenca).

**Tabla 7: Pérdida de suelo en Mg/ha/año para los tres tipos de labranza con cuatro escenarios de prácticas de conservación en la cuenca del arroyo La Colacha. Año 1986.**

Sistema de Siembra	Prácticas de conservación			
	<sup>s</sup> /PM	CCP	CCP + F	CCP + F+ T
Convencional	8,94	7,21	1,94	1,13
Mínima	8,20	6,35	1,75	1,03
50%Conv 50%Mín	8,57	6,78	1,84	1,08



**Figura 3: Pérdida de suelo en Mg/ha/año para los tres tipos de labranza en cuatro escenarios. Año 1986.**

donde:

<sup>s</sup>/PM = Sin Práctica de Manejo.

CC = Cultivo en Contorno Perfecto.

F = Cultivo en fajas en contorno.

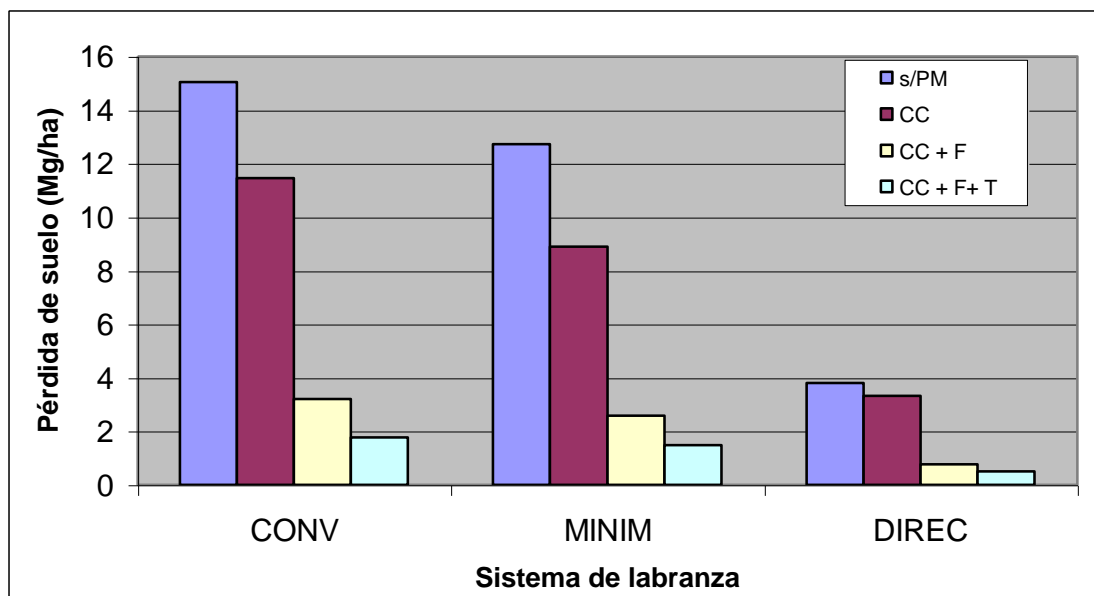
T = Cultivo en terrazas de 0,1% de pendiente.

Analizando las condiciones de uso del año 2004, para las mismas variables, los resultados muestran incrementos en las pérdidas de suelo del mismo orden que las analizadas en el apartado anterior (Tabla 8 y Figura 4). Se incluye además la

estimación para sistemas de siembra directa, en los cuales se aprecia una importante reducción de la pérdida de suelo.

**Tabla 8: Pérdida de suelo en Mg/ha/año para los tres tipos de labranza con cuatro escenarios de prácticas de conservación en la cuenca del arroyo La Colacha. Año 2004.**

Sistema de Siembra	Prácticas de conservación			
	s/PM	CCP	CCP + F	CCP + F + T
Convencional	15,04	11,46	3,21	1,78
Mínima	12,72	8,90	2,58	1,47
Directa	3,80	3,33	0,77	0,50



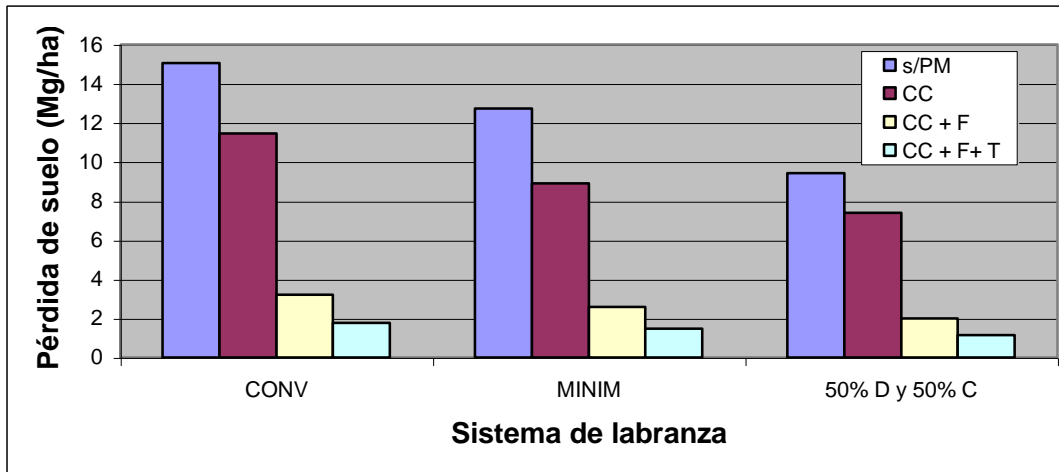
**Figura 4: Pérdida de suelo en Mg/ha/año para los tres tipos de labranza en cuatro escenarios. Año 2004.**

Una situación de contraste actualizada, más cercana a la realidad, la refleja la Figura 5 donde se considera que la superficie de la cuenca es laboreada en un 50% de forma convencional, y en el 50% restante se practica siembra directa. Del análisis de la tabla se desprende que pueden combinarse apropiadamente técnicas de labranza y de manejo del relieve que reduzcan las tasas de erosión por debajo de los umbrales tolerables.



**Tabla 9: Pérdida de suelo en t/ha/año para las labranzas convencional, mínima y 50% de la superficie convencional y 50% directa, en cuatro escenarios diferentes. Año 2004.**

Sistema de Siembra	Prácticas de Conservación			
	<sup>s</sup> /PM	CCP	CCP + F	CCP + F+ T
Convencional	15,04	11,46	3,21	1,78
Mínima	12,73	8,90	2,58	1,47
50% Convencional- 50% Directa	9,42	7,40	1,99	1,14

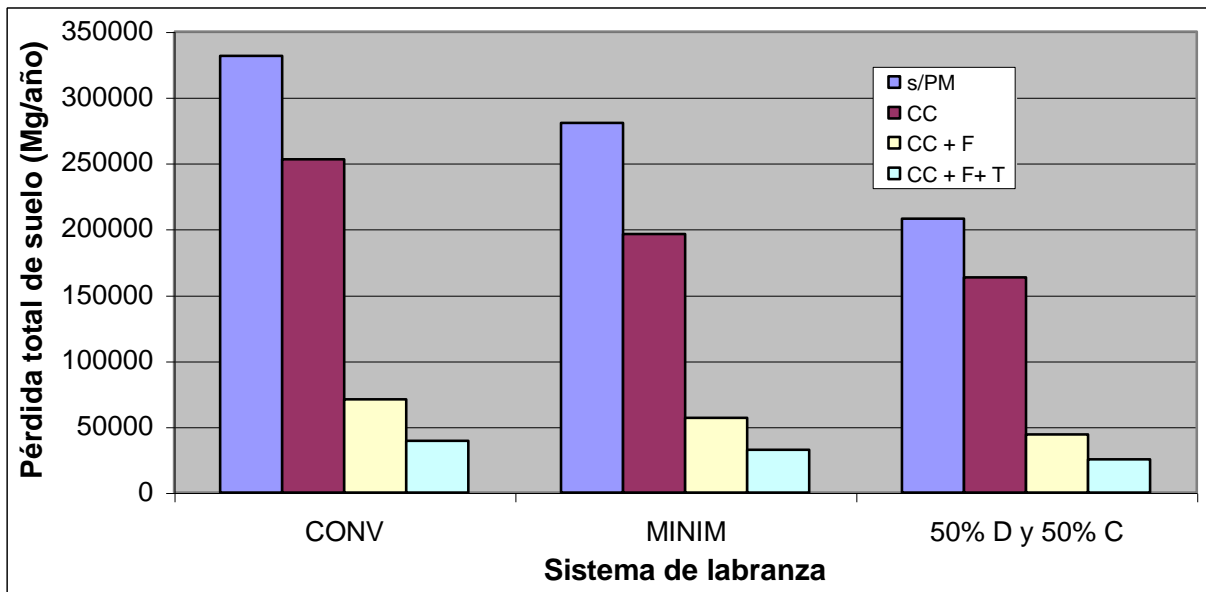


**Figura 5: Pérdida de suelo en t/ha/año para las labranzas convencional, mínima y 50% de la superficie convencional y 50% directa, en cuatro escenarios diferentes. Año 2004.**

Agregando los datos a nivel de toda la cuenca, se obtienen los datos de producción total de sedimentos que pueden llegar a los cauces y, eventualmente a las presas proyectadas, como una primera aproximación (Tabla 10 y Figura 6).

**Tabla 10: Pérdida de suelo en toda la extensión de la cuenca (Mg/año), para las labranzas convencional, mínima y 50% de la superficie convencional y 50% directa, en cuatro escenarios diferentes de prácticas de conservación. Año 2004.**

Sistema de Siembra	Prácticas de Conservación			
	<sup>s</sup> /PM	CC	CC + F	CC + F+ T
Convencional	331.679	252.840	70.774	39.255
Minima	280.754	196.325	56.939	32.535
50% Convencional- 50% Directa	207.763	163.142	43.934	25.091



**Figura 6: Pérdida de suelo dadas en toda la extensión de la cuenca, en t/año, para las labranzas convencional, mínima y 50% de la superficie convencional y 50% directa, en cuatro escenarios diferentes. Año 2004.**

En las Figuras 3 a 6 se puede apreciar que a medida que al sistema se le suman prácticas de manejo, la cantidad de suelo que alcanza los cauces disminuye dramáticamente, evidenciándose aún más en los sistemas de labranza convencional donde se presenta la mayor exposición del suelo a los efectos erosivos de las lluvias, por lo cual se produce la mayor producción de sedimentos.

Por otra parte, se podría especular que, de continuarse el actual ritmo de reemplazo de pasturas, y cultivos de maíz por soja, la tendencia de incremento de la pérdida de suelo se seguirá incrementando, a pesar de la adopción de la siembra directa que es alta en este cultivo, y sólo la adopción de otras prácticas de conservación pueden revertir esta tendencia para la zona en estudio.

### **V.3. Erosión en cárcavas**

En la Figura 7 se indican las principales áreas activas de erosión en cárcavas detectadas en la zona bajo estudio. En dichas áreas se han señalado puntos con cabeceras activas en cuencas con flujo permanente y temporario, por lo que los valores obtenidos mediante el modelo deben tomarse como conservadores respecto a la erosión real, ya que los cursos permanentes tienen mayor potencial erosivo que las cárcavas de cuencas con flujo no permanente.

bb

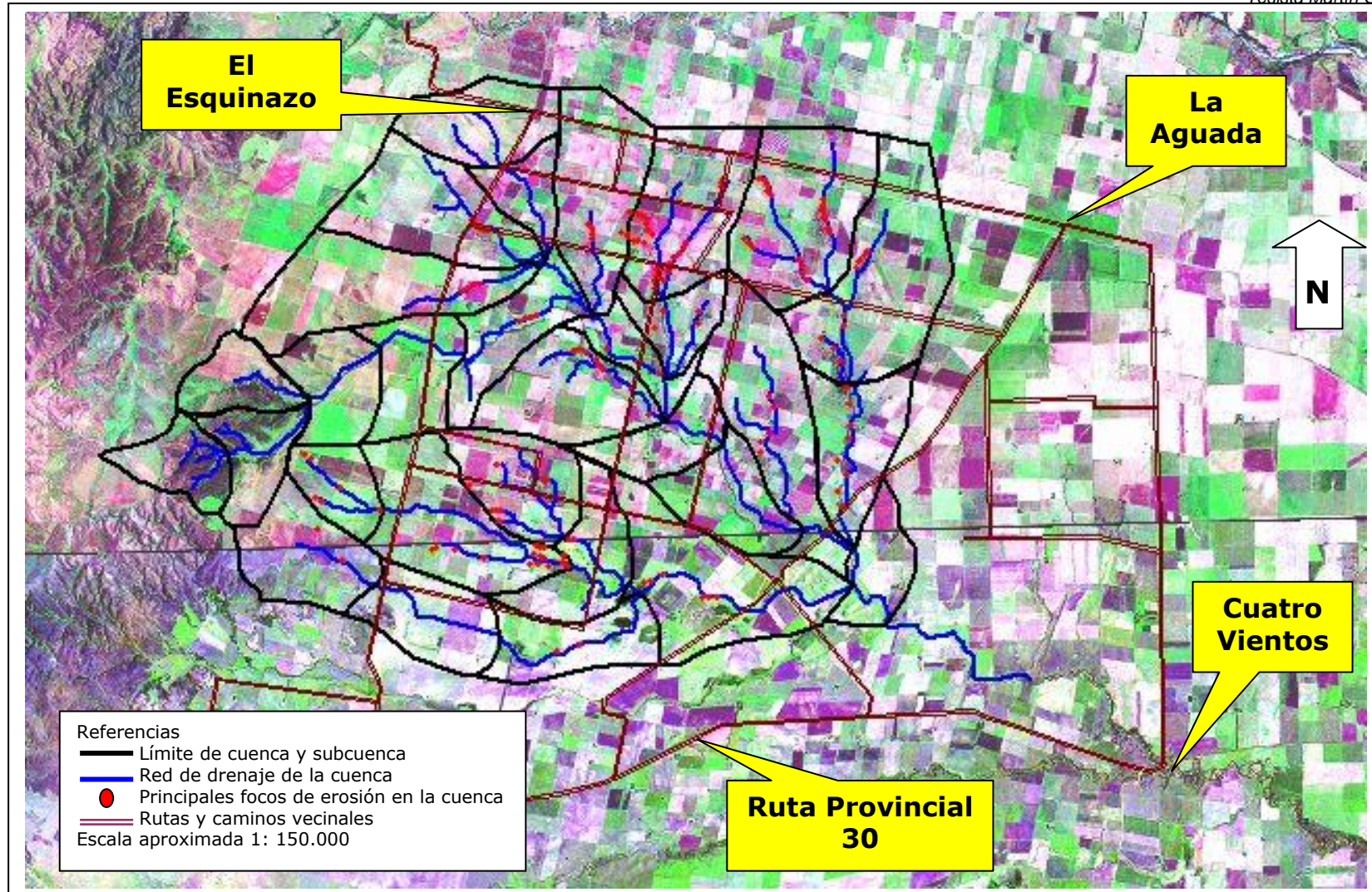


Figura 7: Principales focos activos de erosión en cárcavas de la cuenca del arroyo La Colacha.

La precipitación media anual de lluvias mayores a 12,7 mm se indica en la Tabla 11. En la Tabla 12 se presentan las áreas de desagüe por encima de la cabecera de cada una de las cárcavas activas identificadas en la cuenca (Figura 8), y el avance anual promedio de las respectivas cabeceras junto con las pérdidas de suelo correspondiente al espacio tridimensional dejado por dicho avance.

**Tabla 11: Precipitaciones pluviales totales de las lluvias de 24 horas igual o mayor de 12,7 mm para los años 1974 a 1996 predio determinado y base anual promedio, en mm.**

<b>Año</b>	<b>Sumatoria de lluvias mayores o iguales a 12,7 mm</b>
1974	443,9
1975	402
1976	563,6
1977	450,8
1978	830
1979	656,4
1980	618,6
1981	545,5
1982	530,2
1983	624,9
1984	971,1
1985	495,5
1986	603,5
1987	621,1
1988	372,4
1989	240
1990	526,5
1991	655,1
1992	503,5
1993	803
1994	493,3
1995	482
<b>Base anual promedio (P)</b>	<b>560,7</b>

**Tabla 12: Estimación del avance anual promedio de las cabeceras de cárcavas, área de desagüe por encima de las mismas y pérdida de suelo como consecuencia de la erosión en cárcavas.**

<b>Cárcava N° (Figura 8)</b>	<b>Área de desagüe por encima de la cabecera de la cárcava (m<sup>2</sup>).</b>	<b>Avance anual promedio de la cabecera de la cárcava (m).</b>	<b>Pérdida de suelo (m<sup>3</sup>/año).</b>	<b>Pérdida de suelo (Mg/año)</b>
1	2430000	16,12	483,5	628,6
2	4860000	22,17	665,1	864,6
3	7290000	26,72	801,5	1041,9
4	16810000	39,23	1177,0	1530,1
5	1280000	12,00	360,0	468,0
6	3845000	19,90	597,1	776,3
7	1420000	12,59	377,6	490,9
8	2840000	17,32	519,5	675,3
9	13860000	35,90	1077,1	1400,2
10	530000	8,00	240,0	312,0
11	700000	9,09	272,8	354,6
12	1390000	12,46	373,9	486,1
13	350000	6,61	198,3	257,8
14	7260000	26,66	799,9	1039,9
15	7570000	27,18	815,5	1060,1
16	9080000	29,55	886,6	1152,6
17	6650000	25,61	768,3	998,8
18	7360000	77,39	2321,6	3018,1
19	89090000	84,49	2534,8	3295,3
20	2620000	16,68	500,5	650,7
21	8570000	28,78	863,4	1122,4
22	3090000	18,00	540,0	702,0
23	10310000	31,33	940,0	1222,0
24	1320000	12,17	365,2	474,7
25	4190000	20,71	621,2	807,6
26	10060000	30,98	929,4	1208,3
27	4090000	20,48	614,4	798,7
28	5580000	23,62	708,7	921,3
29	6510000	25,36	760,8	989,0
30	21800000	44,22	1326,5	1724,5
31	730000	9,27	278,1	361,5
32	26870000	48,68	1460,5	1898,6
<b>Total</b>		<b>944,91</b>	<b>28.347</b>	<b>36.851</b>



Como puede apreciarse, el avance medio de las cárcavas en la cuenca está en el orden de 26 m/año, con máximo de 86 y mínimo de 6 m/año.

#### **V.4. Pérdida de suelo y producción de sedimentos global de la cuenca**

Hasta aquí se han estimado las pérdidas de suelo por erosión laminar y en surcos, y por avance de cabecearas de cárcavas por separado. La pérdida de suelo global o total producida en toda la cuenca resulta de la sumatoria de estas dos formas de erosión. Se tomó como dato de erosión laminar y en surcos, por su similitud con la situación dada en los últimos años, la producción de sedimentos que alcanza los cursos de agua para las condiciones 50% convencional y 50% siembra directa, sin ninguna técnica de manejo ya vistas como siembras en contorno, fajas filtro y terrazas.

Las lluvias que generan erosión en cárcavas se consideraron similares para ambas épocas, por lo que el valor de pérdida media anual por cárcavas no varió entre ambos períodos. La producción de sedimentos media anual estimada para las condiciones del año 1986 y las del año 2004 se indican en la Tabla 13.

**Tabla 13: Producción de sedimentos para la cuenca La Colacha para las condiciones de uso del suelo de 1986 y 2004.**

<b>Año</b>	<b>Erosión laminar y en surcos (Mg/año)</b>	<b>Erosión en cárcavas y cauces (Mg/año)</b>	<b>Producción de sedimentos media anual (Mg/año)</b>
1986	197.119	36.851	233.970
2004	207.763	36.851	244.614
<b>Variación 86-04</b>	<b>+ 5 %</b>	<b>-</b>	<b>+ 5 %</b>

Se desprende de esta estimación que la producción de sedimentos global de la cuenca se incrementó en el orden de un 5 % en los últimos 28 años, sin considerar incrementos mayores en la erosión en cauces. Esta tendencia ya fue reportada como de probable ocurrencia por Casas (2001), al analizar las tendencias a la agriculturización de la región pampeana, y en especial las áreas extrapampeanas.

## V.5. Estimación de caudales pico de las cuencas.

### V.5.1. **Determinación de la Curva Número (CN) de la cuenca**

En las Tablas 14 y 15 se indican los parámetros utilizados para el cálculo del CN en los años 1986 y 2004. Para el año 1986 se estimó un valor ponderado de 74, mientras que para el 2004 el valor de CN se incrementó a casi 76 (3% de incremento).

Este incremento en el potencial de escurrimiento de los suelos es coherente con las mayores pérdidas de suelo estimadas en los apartados anteriores, y se explicaría principalmente por el fuerte reemplazo del cultivo de soja por pasturas perennes y verdes de invierno, cultivos de menor potencial de escurrimiento, por permanecer con mayor cobertura en la etapa de fuertes precipitaciones (Noviembre-Diciembre).

**Tabla 14: Obtención de la CN de la cuenca La Colacha para la condición del año 1986.**

Cultivo	%	CN	CN ponderada
Pasturas, surcos rectos, estado malo a regular.	46	69	31.74
Verdeos de invierno, surcos rectos, estado malo a regular.	18	75	13.5
Trigo, surcos rectos, estado malo	6	75	4.5
Maíz, surcos rectos, estado malo.	20	81	16.2
Girasol, surcos rectos, estado malo.	10	81	8.1
CN ponderada, condición 1986			<b>74.0</b>

**Tabla 15: Obtención de la CN de la cuenca La Colacha para la condición de manejo actual (2004).**

Cultivo	%	CN	CN ponderada
Pasturas, surcos rectos, estado malo a regular.	20	69	13.8
Verdeos de invierno, surcos rectos, estado malo a regular	10	75	7.5
Soja, surcos rectos, estado bueno.	42	78	32.76
Maíz, surcos rectos, estado bueno.	21	78	16.38
Girasol, surcos rectos, estado regular	7	78	5.46
CN ponderada, condición actual año 2004			<b>75.9</b>
Variación CN 1986-2004			<b>3 %</b>

## **V.5.2. Estimación del caudal pico de la cuenca**

La cuenca La Colacha tiene una superficie de 22.059 ha, y está conformada por 30 subcuencas, conectadas superficialmente por su red de drenaje. En la Figura 8 se presenta el mapa de cuencas y subcuencas que conforman el sistema hídrico del arroyo La Colacha, y en las Tabla 16 a 18 se indican sus características hidrológicas.





**Tabla 16: Caracterización hidrológica de la cuenca La Colacha (subcuencas en Figura 9)**

Sub-cuenca	Área (ha)	Longitud máxima (m)	Curva Número	Pendiente (%)	Tiempo de Concentración (min)	Tiempo Lag (min)
I <sub>A</sub>	3,84	2770	74	0,44	332,8	200
I <sub>B</sub>	7,29	3730	74	0,60	363,5	218
I <sub>C</sub>	6,43	3750	74	1,11	268,2	161
I <sub>D</sub>	6,19	4300	74	1,00	315,5	189
I <sub>E</sub>	13,46	6500	74	1,07	425,1	255
I <sub>F</sub>	10,93	5820	74	0,71	475,5	285
I <sub>G</sub>	6,94	3970	74	0,91	310,4	186
I <sub>H</sub>	6,35	3300	74	0,95	261,9	157
II <sub>A</sub>	4,18	2900	74	2,67	141,0	85
II <sub>B</sub>	4,07	3100	74	3,40	131,6	79
II <sub>C</sub>	5,62	2550	74	2,91	121,8	73
II <sub>D</sub>	5,89	3100	74	2,76	146,2	88
II <sub>E</sub>	6,09	4400	74	1,33	278,3	167
II <sub>F</sub>	3,14	3000	74	1,29	208,2	125
II <sub>G</sub>	10,09	5360	74	1,46	311,0	187
II <sub>H</sub>	6,65	2300	74	2,00	135,2	81
II <sub>I</sub>	10,31	4870	74	2,00	246,4	148
II <sub>J</sub>	3,76	2930	74	1,03	229,2	138
II <sub>K</sub>	4,68	3300	74	1,00	255,3	153
II <sub>L</sub>	11,68	7600	74	1,05	486,3	292
II <sub>M</sub>	6,07	3800	74	1,03	282,2	169
II <sub>N</sub>	8,74	4700	74	1,20	309,2	186
II <sub>O</sub>	4,76	3400	74	2,41	168,3	101
II <sub>P</sub>	11,69	7551	74	1,25	442,7	266
II <sub>Q</sub>	9,89	5670	74	1,80	293,4	176
II <sub>R</sub>	3,26	3070	74	1,80	179,6	108
III <sub>A</sub>	12,40	4200	74	1,48	254,3	153
III <sub>B</sub>	14,47	6300	74	1,00	428,2	257
III <sub>C</sub>	7,47	4940	74	1,43	294,9	177
III <sub>D</sub>	4,25	3600	74	1,13	257,8	155

**Tabla 17: Parámetros utilizados para la obtención de la velocidad de los cursos longitudinales de los cauces y tiempos de retardo (Lag) de los ríos.**

Río N°	Coefficiente de rugosidad	Pendiente (%)	Radio hidráulico (m)	Velocidad (m/s)	Longitud de ríos (m)	Tiempo Lag (min)
1	0,02	0,44	0,3	1.50	1600	13,82
2	0,02	0,60	0,3	1.75	939	8,11
3	0,02	1,11	0,3	2.38	6260	54,06
5	0,02	1,00	0,3	2.26	1300	11,23
6	0,02	1,07	0,3	2.34	3450	29,79
7	0,02	0,71	0,3	1.90	5470	47,24
8	0,02	0,91	0,3	2.15	1570	13,56
9	0,02	0,95	0,3	2.20	2500	21,59
10	0,02	2,67	0,3	3.69	2200	19,00
11	0,02	3,40	0,3	4.16	4630	39,99
12	0,02	2,91	0,3	3.85	974	8,41
13	0,02	2,76	0,3	3.75	2540	21,94
14	0,02	1,33	0,3	2.60	2000	17,27
15	0,02	1,29	0,3	2.57	2500	21,59
16	0,02	1,46	0,3	2.73	3499	30,22
17	0,02	2,00	0,3	3.19	5000	43,18
18	0,02	2,00	0,3	3.19	1750	15,11
19	0,02	1,03	0,3	2.29	4100	35,41
20	0,02	1,00	0,3	2.26	2820	24,35
21	0,02	1,05	0,3	2.31	2540	21,94
22	0,02	1,03	0,3	2.29	2200	19,00
23	0,02	1,20	0,3	2.47	2850	24,61

Los datos hasta aquí detallados son necesarios para el conocimiento de la dinámica de los caudales de cada subcuenca, los que son integrados para la obtención de los caudales pico mediante el procedimiento del HEC-HMS (2003). A continuación se puntualizan los resultados obtenidos de las corridas con los contrastes dados por las variaciones de la CN.

**Tabla 18: Estimación de caudales pico para las simulaciones con CN tradicional (74) y extremas (68 y 78) de las diferentes subcuencas que conforman la cuenca “La Colacha”.**

Subcuenca	Área de drenaje (ha)	Caudal pico (m <sup>3</sup> /s)		
		CN=74	CN=68	CN=78
I B	729	9,9	6,3	13,4
I C	643	11,0	7,1	14,9
I A	384	5,6	3,6	7,6
I F	1.093	11,9	7,5	16,2
I G	694	10,7	6,9	14,4
I D	619	9,4	6,0	12,7
I H	635	11,0	7,2	14,9
II A	418	10,4	7,0	13,6
II B	407	10,2	7,0	13,7
II O	476	10,7	7,2	14,4
II C	562	14,7	10,1	19,5
II D	589	14,4	9,7	18,6
II H	665	16,7	11,3	22,2
II G	1.009	15,4	10,0	20,9
II P	1.169	14,1	9,0	19,3
II R	326	7,0	4,6	9,1
II E	609	10,2	6,6	13,7
II Q	989	16,3	10,5	21,9
II I	1.031	18,8	12,3	24,8
II J	376	7,2	4,7	9,6
II F	314	6,3	4,2	8,4
II N	874	13,4	8,7	18,2
II K	468	8,3	5,4	11,1
II M	607	10,1	6,5	13,5
III A	1.240	22,0	14,3	29,6
III B	1.447	17,2	10,9	23,4
II L	1.168	12,4	7,8	17,0
III C	747	12,0	7,7	16,1
I E	1.346	16,1	10,2	21,9
III D	425	7,4	4,8	10,0
<b>Salida de la cuenca</b>	<b>22.059</b>	<b>317,2</b>	<b>207,0</b>	<b>422,3</b>

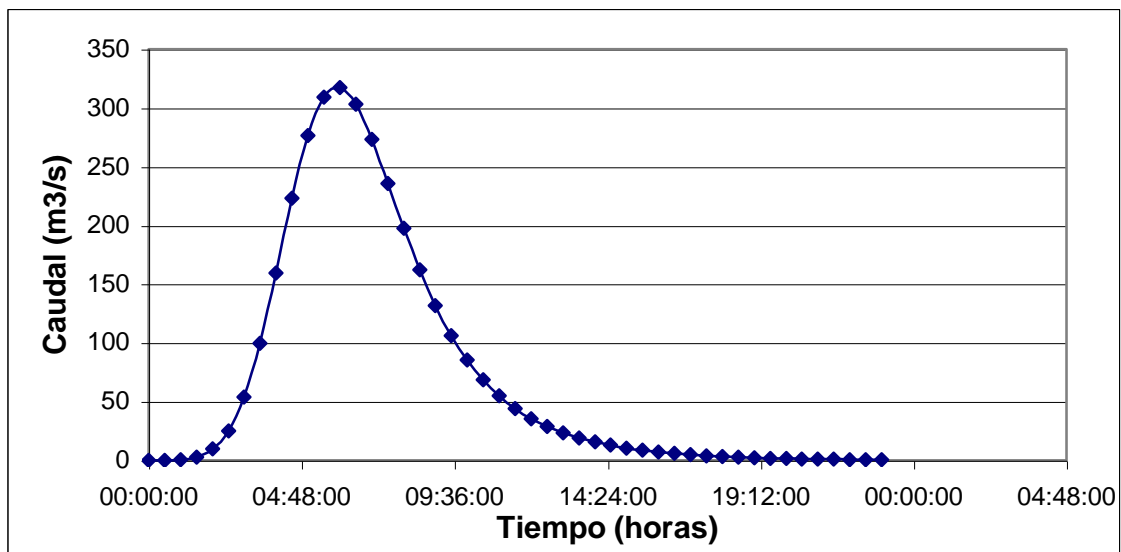
El caudal es dinámico en el tiempo llegando en un momento dado al máximo, conociéndose este punto como “caudal pico”. Cada subcuenca va volcando su caudal, en diferentes tiempos, a la red de drenaje conformando así el caudal pico correspondiente a toda la extensión de la cuenca. Esto, junto al tiempo de concentración y distancias de cada subcuenca al punto de salida de la cuenca, explica, no sólo el motivo por el cual el máximo caudal se da en un momento dado, sino también el funcionamiento de la cuenca en cuestión.

En la Tabla 19 y Figura 9 se indica el hidrograma para la creciente máxima estimado para la cuenca La Colacha a la salida. Para la cuenca, el tiempo al pico se

da alrededor de las 6 hs de iniciada la tormenta, con una duración total del hidrograma de alrededor de 23 hs.

**Tabla 19: Distribución del caudal de la totalidad de la cuenca La Colacha en el tiempo para condiciones de suelo actuales (CN 74).**

TIEMPO (Hs)	CAUDAL (m <sup>3</sup> /s)
00:00	0
02:00	9,56
04:00	159,63
06:00	317,22
08:00	197,38
12:00	35,6
16:00	7,02
20:00	1,43
23:00	0,46



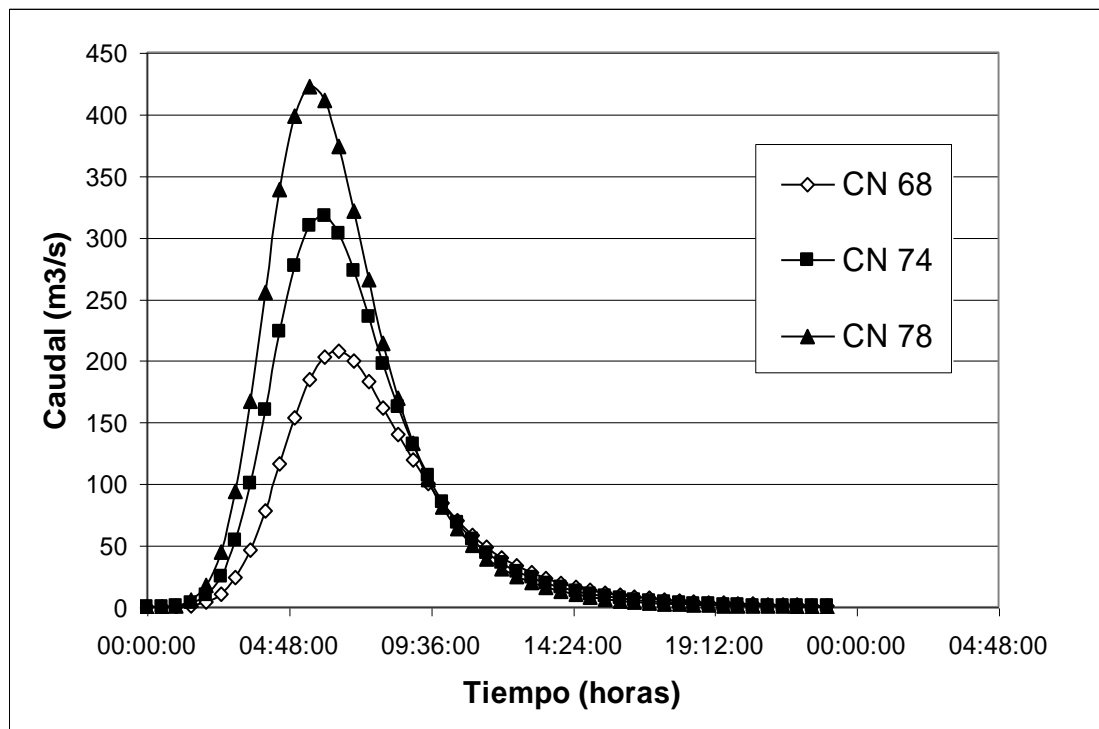
**Figura 9: Distribución del caudal de la totalidad de la cuenca en el tiempo para condiciones de suelo tradicionales (CN 74).**

A continuación se puede apreciar la sensibilidad que presenta el sistema de escurrimiento ante cambios en las técnicas de manejo y estado superficial de las tierras debido fundamentalmente por el porcentaje de cobertura, provocando cambios en el valor de la CN. En la Tabla 20 y la Figura 10 se indica la estimación

de caudales para las condiciones extremas de funcionamiento de la cuenca: condición óptima CN=68 y condición degradada, CN=78.

**Tabla 20: Comparación de la distribución del caudal en el tiempo entre situación tradicional (CN 74) y situaciones extremas (CN 68 y 78).**

TIEMPO	CN 68	CN 74	CN 78
00:00	0	0	0
03:00	23.89	53.91	93.68
05:30	184.54	309.19	422.38
06:00	202.94	317.22	411.34
06:30	207.3	302.92	373.98
09:00	118.91	131.88	132.53
13:00	27.54	23.48	19.75
19:00	3.45	2.1	1.4
23:00	0.89	0.46	0.17



**Figura 10: Comparación de la distribución del caudal en el tiempo entre situación actual (CN 74) y situaciones extremas (CN 68 y 78).**

Se puede observar que para CN 78, donde se da el mayor escurrimiento, el caudal pico no sólo es 105 m<sup>3</sup>/s mayor, sino que por su tasa de aumento del escurrimiento más intensa llega al caudal máximo 30 minutos antes. Todo lo

contrario ocurre cuando planteamos mejores condiciones de superficie como las que se dan con CN 68. Esto da idea de las diferentes velocidades logradas por el agua escurrida entre situaciones, alcanzando mayor velocidad erosiva en ambientes donde sus condiciones favorecen el escurrimiento.

Por otro lado, en escenarios conservacionistas, con mínimas labranzas que aseguran aceptable o muy buena cobertura, se posibilita que esas diferencias de caudales ya vistas sean almacenadas por el suelo proveyéndolo de mayor cantidad de agua para los cultivos con las consecuentes mejoras en el rendimiento.

## VI. CONCLUSIONES

- La superficie de la cuenca pasó de tener casi un 50% de su superficie ocupada por pasturas perennes a, en la actualidad, solo un 20%. Si bien las prácticas de manejo actuales tienden a ser más conservacionistas que en la década del '80, haciendo una visión a gran escala de la cuenca nos encontramos con resultados de erosión mayores en la actualidad, del orden del 5 %. Esto se explica por la gran superficie con pastura perenne (todo el año empastado) décadas atrás, que mantenía cubierto y estructurado al suelo por varios años.

- La producción de sedimentos sufrió un aumento similar y, al no realizarse ninguna técnica de manejo, lo producido se pierde, por consiguiente también aumentó en la misma proporción la pérdida de suelo. La producción global de sedimentos por erosión laminar y en surcos para la cuenca estuvo en el orden de las 200.000 a 300.000 Mg/año.

- La interceptación de la gota de lluvia por parte de las praderas y la protección de las condiciones superficiales y subsuperficiales del suelo dan a éste mejor infiltración y menor escurrimiento que en condiciones de labranza convencional y mínima. Observando el funcionamiento global de la cuenca, el escurrimiento va en detrimento con la superficie de pasturas perennes. Esto explica una menor erosión laminar y en surcos con respecto a superficies laboreadas o semi-laboreadas como existen en la actualidad.

- El avance de la erosión en cárcavas varió entre 6 y más de 80 m, generando una producción global de sedimentos del orden de 38.000 Mg/año.

- Si bien se confirmaría la hipótesis de que el cambio de uso incrementó las tasas de erosión, los resultados no son de la magnitud esperada entre ambos años de comparación, debido a un efecto de compensación entre la disminución del área empastada y la aparición de la siembra directa y aumento de labranzas mínimas en detrimento de labranzas convencionales.

- Sin embargo, la pérdida anual de suelo es elevada y seguirá siéndolo de no tomarse medidas al respecto. Es posible revertir la situación mediante el uso de un conjunto de técnicas de rotaciones y sistematizaciones que garantizarían pérdidas mínimas de suelo. Para esto es precisa la intervención de los entes gubernamentales pertinente para prestar concientización, capacitación, herramientas y financiamiento en conservación de suelos y aguas.



## VII. BIBLIOGRAFIA

- Agriculture and Agri-Food Canada: 2000, Environmental Sustainability of Canadian Agriculture: Report of the Agri-Environmental Indicator Project, in: T. J. McRae, C. A. S. Smith, and L. J. Gregorich (eds).
- Becker, A.; Cantú, M.; Schiavo, H.; Ossana, J. 2002. Evaluación de la pérdida de suelo por erosión hídrica en la región pedemontana del suroeste de Córdoba, Argentina.
- Becker, A.; Ossana J.; Cantú M.; Musso T. 2002. "Erosión hídrica laminar en relación a la degradación de suelos en el suroeste de la provincia de Córdoba". Presentado al XVIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Puerto Madryn (Chubut), Argentina.
- Blarasin, M, Degiovanni, S., Cantú, M., Eric, C. Cabrera, A., Cisneros, J., González, J., Cholaky, C. 1994. Diagnóstico global del funcionamiento hídrico de las cuencas que afectan las trazas de la ruta Nacional 7, entre las ciudades de Laboulaye y Villa Mercedes, y la ruta Nacional 8 entre Canals y Villa Mercedes. Convenio UNRC – Empresa Caminos del Oeste S.A. 145 pags.
- Cantero, A.; Bricchi, E.; Becerra, V.; Cisneros, J.; Gil, H. 1986. Zonificación y descripción de las tierras del departamento Río Cuarto. (Córdoba). Publicación UNRC. 80 pags.
- Cantero, A ; Cantú, N; Cisneros, J; Cantero, J; Blasarín, M ; Degioanni, A ; González, J ; Becerra, V ; Gil, H ; De Prada, J ; Degiovanni, S ; Cholaky, C ; Villegas, M ; Cabrera, A ; Eric, C. 1998 – Las tierras y aguas del sur de Córdoba – Propuesta para un manejo sustentable. UNRC. 108 pags.
- Cantero, A.; Becerra, V.; Cisneros, J.; Cholaky, C.; González, J.; Reynero, M. 2002. Manejo de áreas sujetas a erosión hídrica. Apoyo didáctico del curso de profundización "Ingeniería en Conservación de suelos". Facultad de Agronomía y Veterinaria, UNRC.
- Cantú, M.; Becker, A.; Schiavo, H. 2000. "Metodología cualitativa para la evaluación del riesgo de erosión hídrica . Validación en una cuenca pedemontana del suroeste de la provincia de Córdoba". Presentado al XVII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Mar del Plata (Buenos Aires), Argentina.
- Casas, R. 1998 Los procesos de degradación y la conservación de suelos en la República Argentina. En: Durán, D (comp.). La Argentina Ambiental. Naturaleza y Sociedad. Lugar Editorial, B. Aires.
- Casas, R. 2001. La conservación de los suelos y la sustentabilidad de los sistemas agrícolas. Disertación Premio Antonio J. Prego 2000. Academia Nacional de Agronomía y Veterinaria.
- Cátedra de Agroclimatología, UNRC. 2003, 2004. Estadísticas climáticas.
- CEPAL 2005. Análisis sistémico de la agriculturización en la pampa húmeda argentina y sus consecuencias en regiones extrapampeanas: sostenibilidad, brechas de conocimiento e integración de políticas. Serie Medio Ambiente y Desarrollo N° 118. Santiago de Chile.

- Cisneros, J.; Cholaky, C.; Bricchi, E.; Giayetto, O.; Cantero, J. J. 1997a. Efectos del uso agrícola sobre las propiedades físicas de un suelo Haplustol típico del centro de Córdoba. Rev. UNRC. 17 (1): 13-22.
- Cisneros, J.M., M. A. Reynero, A. Degioanni, J. González Y C. Cholaky. 1997b. Evaluación de zonas de inundación de la calzada de la ruta nacional n° 8 entre el km 618 al km 642. Convenio UNRC – Caminos del Oeste S. A.. Res. 101/97.
- Cisneros, J.M., H. A. Gil, A. Cantero Gutiérrez, A. J. Degioanni, M. Reynero, A. Chiapparoli, C. Pereyra, M. Geymonat, L. Issaly, V. Feire, M. Vigliocco, D. Chesta. 2001 Propuesta de Creación de Distritos de Ordenamiento Ambiental en el Sudeste de Córdoba. II. Cuenca Media y Baja del Río Quinto, Canales Asociados y Lagunas Interconectadas. Informe Final Convenio UNRC – Dirección de Saneamiento y Obras Hidráulicas de la Provincia de Buenos Aires.
- Cisneros, J. 2003. “El avance de la frontera agrícola. Implicancias futuras”. Seminario: “El futuro de la agricultura argentina”: Análisis estratégico para volver al liderazgo. Para Sociedad Rural de Río Cuarto, Córdoba, Argentina.
- Cisneros, J.M.; De Prada, J.D.; Degioanni, A.; Cantero Gutiérrez, A.; Gil, H.; Reynero, M.A.; Shah, F., Bravo Ureta, B. 2004. Erosión hídrica y cambio de uso de los suelos en Córdoba. Evaluación mediante el modelo RUSLE 2. XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Paraná (Entre Ríos), En Actas del Congreso, trabajo completo en CD.
- Cisneros, J.M., Cantero, G.A., Gil H., Becerra, V.H., Reynero, M.A., Cholaky, C.G., Gonzalez, J., Degioanni, A.J. 2006. Erosión en cárcavas: evaluación de técnicas de control en suelos franco-arenosos no cohesivos. XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Ciudad de Salta, Setiembre de 2006, pag. 409. En CD.
- CNA (Censo Nacional Agropecuario) 2002. En: [www.sagpya.mecon.gov.ar/new/0-0/programas/economia\\_agraria/index/censo](http://www.sagpya.mecon.gov.ar/new/0-0/programas/economia_agraria/index/censo).
- Colby, M. E. 1989. “The evolution of Paradigms of Environmental Management in Development, SPR Discussion Paper N° 1.
- CONAE (Comisión Nacional de Actividades Espaciales). 2005. Imágenes LANDSAT TM 5 cedidas a la UNRC.
- Degioanni, A. 1999. Organización territorial de la producción Agraria en la región de Río Cuarto (Argentina). Tesis Doctoral. Universidad de Alcalá de Henares, España.
- ESRI. 2005. ArcView version 3.3. Manual de Usuario.
- FECIC. 1986. El deterioro del ambiente en Argentina. PROSA-FECIC (Eds.).
- H.E.C.-HMS (Hydrologic Engineering Center – Hydrologic Modeling System). 1995 Visix Software Inc. Versión 2.2.2. En [www.usace.army.mil](http://www.usace.army.mil)
- INTA. 2003a. Los suelos de la provincia de Córdoba. Nivel de Reconocimiento 1:500.000. 567 pags.

- INTA 2003b. El INTA ante la preocupación por la sustentabilidad de largo plazo de la producción agrícola argentina. Documento institucional en [www.inta.gov.ar](http://www.inta.gov.ar)
- Kirkby M.J., R.P.C. Morgan. 1991. Erosión de suelos. Noriega Limusa.
- Maxwell, T.; Birnie, R. y Matthews, K. 1995 Enfoques comparados sobre estrategias de uso de la tierra en las agriculturas tradicionales y modernas. En: *II Seminario Internacional Desarrollo Agropecuario Sustentable. Estrategias para el uso agropecuario del territorio.* (Editado por INTA, INDEC), Buenos Aires.
- Morgan, R.P.C. y R. J. Rickson, 1995. *Slope Stabilization and Erosion Control- A Bioengineering Approach.* E & FN SPON, Inglaterra, 274 pags.
- Panigatti, J. y Viglizzo, E. 1995. El rol de los Organismos de Ciencia y Tecnología en el diseño de estrategias sobre uso del territorio. En: *II Seminario Internacional de Desarrollo Agropecuario sustentable. Estrategias para el Uso Agropecuario del Territorio.* Recopilación y Coordinación: Verde, L. y Viglizzo, E. Buenos Aires, INTA-INDEC,31-52.
- Piest, R., Beer, C., y Spomer, R. 1976. Entrenchment of drainage systems in Western Iowa and Northwestern Missouri. "Proceedings of the Third Federal Inter-Agency Sedimentation Conference, PB-245-100, Water Resources Council, Washington, D.C., págs5-48—5-60.
- Pizarro, J. y Cascardo, A, 1991. La evolución de la agricultura pampeana. En: *El Desarrollo Agropecuario Pampeano.* (Editado por INDEC, INTA, IICA), P. 149-259, Grupo Editor latinoamericano S.R.L., Buenos Aires.
- Prego, A. 1988. Antecedentes sobre erosión, degradación ambiental y conservación del suelo. En: *El Deterioro del Ambiente en Argentina.* FECIC, Buenos Aires, p 5-18.
- SAGPyA, 2004, 2005. "Estadísticas" Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentos, Argentina. [http://www.sagpya.mecon.gov.ar/0-0/index/agricultura/index\\_agricultura.htm](http://www.sagpya.mecon.gov.ar/0-0/index/agricultura/index_agricultura.htm)
- SAGyRR. "Relevamiento De Productores Agropecuarios," Secretaría de Agricultura, Ganadería y Recursos Renovables. Córdoba: Gobierno de la Provincia de Córdoba, 1986.
- Schwab, G.; Frevert, R.; Edminster, T.; Barnes, K. 1992. *Ingeniería de Conservación de Suelos y Aguas.* Noriega Limusa.
- Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación. 1999-2004. Plan Federal de Control de Inundaciones En. [www.obraspublicas.gov.ar/hidricos/](http://www.obraspublicas.gov.ar/hidricos/)
- USDA ARS. 2003. Revised Universal Soil Loss Equation, Version 2. En [www.rusle2.org](http://www.rusle2.org)
- USDA, SCS, 1968. A Method for Estimating Volumen and Rate of Runoff in Small Watershed. Scs-Tp-149.
- Viglizzo, E.; Pordomingo, A.; Castro, M.; Lértora, F. 2002. "La sustentabilidad ambiental del agro pampeano". Programa Nacional de Gestión Ambiental. INTA.
- Woodburn, R. 1949. Science studies a gully. *Soil conservation*, 15(1), 11-13.